



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION



Directrizes Técnicas para o Desenvolvimento de Pequenas Centrais Hidroeléctricas

PROJECTO

Parte 5: Esquema de engenharia e estrutura hidráulica

SHP/TG 002-5: 2019



DECLARAÇÃO DE EXONERAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Este documento foi produzido sem edição formal das Nações Unidas. As designações e a apresentação do material deste documento não implicam a expressão de qualquer opinião por parte do Secretariado da Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) sobre o estatuto jurídico de qualquer país, território, cidade ou área das suas autoridades, ou sobre a delimitação das respectivas fronteiras ou limites, sistema económico ou grau de desenvolvimento. Designações como "desenvolvido", "industrializado" e "em desenvolvimento" são utilizadas para fins estatísticos e não expressam necessariamente uma opinião sobre a etapa alcançada por um determinado país ou área no processo de desenvolvimento. A menção de nomes de empresas ou produtos comerciais não constitui uma aprovação por parte da UNIDO. Embora tenha sido tomado grande cuidado para manter a precisão das informações aqui contidas, nem a UNIDO nem os seus Estados Membros assumem qualquer responsabilidade pelas consequências que possam advir do uso do material. Este documento pode ser citado ou reimpresso livremente, mas o seu reconhecimento é necessário.

Directrizes Técnicas para o
Desenvolvimento de Pequenas Centrais
Hidroeléctricas
PROJECTO

**Parte 5: Esquema de engenharia
e estrutura hidráulica**

AGRADECIMENTOS

As directrizes técnicas (DT) são o resultado de um esforço de colaboração entre a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) e a Rede Internacional de Pequenas Centrais de Energia Hidroelétrica (INSHP). Cerca de 80 peritos internacionais e 40 agências internacionais estiveram envolvidos na preparação do documento e na revisão geral pelos pares, e forneceram sugestões e opiniões específicas para tornar as directrizes técnicas profissionais e aplicáveis.

A UNIDO e a INSHP estão enormemente gratas pelas contribuições recebidas durante o desenvolvimento destas directrizes, em particular, as fornecidas pelas seguintes organizações internacionais:

- O Mercado Comum da África Oriental e Austral (COMESA)
- A Rede Global de Centros Regionais de Energia Sustentável (GN-SEC), particularmente o Centro para as Energias Renováveis e Eficiência Energética da CEDEAO (ECREEE), o Centro para as Energias Renováveis e Eficiência Energética da África Oriental (EACREEE), o Centro para as Energias Renováveis e Eficiência Energética do Pacífico (PCREEE) e o Centro para as Energias Renováveis e Eficiência Energética das Caraíbas (CCREEE).

O governo chinês facilitou a finalização dessas directrizes e teve grande importância na sua conclusão.

O desenvolvimento destas directrizes beneficiam extraordinariamente dos pensamentos, das revisões e das críticas construtivas, como também das contribuições de: Sr. Adnan Ahmed Shawky Atwa, Sr. Adoyi John Ochigbo, Sr. Arun Kumar, Sr. Atul Sarthak, Sr. Bassey Edet Nkposong, Sr. Bernardo Calzadilla-Sarmiento, Sra. Chang Fangyuan, Sr. Chen Changjun, Sra. Chen Hongying, Sr. Chen Xiaodong, Sra. Chen Yan, Sra. Chen Yueqing, Sra. Cheng Xialei, Sr. Chileshe Kapaya Matantilo, Sra. Chileshe Mpundu Kapwepwe, Sr. Deogratias Kamweya, Sr. Dolwin Khan, Sr. Dong Guofeng, Sr. Ejaz Hussain Butt, Sra. Eva Kremere, Sra. Fang Lin, Sr. Fu Liangliang, Sr. Garaio Donald Gafiye, Sr. Guei Guillaume Fulbert Kouhie, Sr. Guo Chenguang, Sr. Guo Hongyou, Sr. Harold John Annegam, Sra. Hou ling, Sr. Hu Jianwei, Sra. Hu Xiaobo, Sr. Hu Yunchu, Sr. Huang Haiyang, Sr. Huang Zhengmin, Sra. Januka Gyawali, Sr. Jiang Songkun, Sr. K. M. Dhahesan Unnithan, Sr. Kipyego Cheluget, Sr. Kolade Esan, Sr. Lamysier Castellanos Rigoberto, Sr. Li Zhiwu, Sra. Li Hui, Sr. Li Xiaoyong, Sra. Li Jingjing, Sra. Li Sa, Sr. Li Zhenggui, Sra. Liang Hong, Sr. Liang Yong, Sr. Lin Xuxin, Sr. Liu Deyou, Sr. Liu Heng, Sr. Louis Philippe Jacques Tavernier, Sra. Lu Xiaoyan, Sr. Lv Jianping, Sr. Manuel Mattiat, Sr. Martin Lugmayr, Sr. Mohamedain SeifElnasr, Sr. Mundia Simainga, Sr. Mukayi Musarurwa, Sr. Olumide TaiwoAlade, Sr. Ou Chuanqi, Sra. Pan Meiting, Sr. Pan Weiping, Sr. Ralf Steffen Kaeser, Sr. Rudolf Hüpfel, Sr. Rui Jun, Sr. Rao Dayi, Sr. Sandeep Kher, Sr. Sergio Armando Trelles Jasso, Sr. Sindiso Ngwenga, Sr. Sidney Kilmete, Sra. Sitraka Zarasoa Rakotomahefa, Sr. Shang Zhihong, Sr. Shen Cunke, Sr. Shi Rongqing, Sra. Sanja Komadina, Sr. Tareqemtairah, Sr. Tokihiko Fujimoto, Sr. Tovoniaina Ramanantsoa Andriampaniry, Sr. Tan Xiangqing, Sr. Tong Leyi, Sr. Wang Xinliang, Sr. Wang Fuyun, Sr. Wang Baoluo, Sr. Wei Jianghui, Sr. Wu Cong, Sra. Xie Lihua, Sr. Xiong Jie, Sra. Xu Jie, Sra. Xu Xiaoyan, Sr. Xu Wei, Sr. Yohane Mukabe, Sr. Yan Wenjiao, Sr. Yang Weijun, Sra. Yan Li, Sr. Yao Shenghong, Sr. Zeng Jingnian, Sr. Zhao Guojun, Sr. Zhang Min, Sr. Zhang Liansheng, Sr. Zhang Zhenzhong, Sr. Zhang Xiaowen, Sra. Zhang Yingnan, Sr. Zheng Liang, Sr. Zheng Yu, Sr. Zhou Shuhua, Sra. Zhu Mingjuan.

Seria muito bem-vinda a provisão de outras recomendações e sugestões para a execução da actualização.

Índice

Prefácio.....	III
Introdução.....	IV
1 Âmbito.....	1
2 Referências normativas.....	1
3 Termos e definições.....	1
4 Norma de controlo de cheias.....	1
4.1 Disposições gerais.....	1
4.2 Estrutura hidráulica permanente.....	2
4.3 Estrutura hidráulica temporária.....	2
4.4 Bordo livre da estrutura.....	2
5 Disposição geral de engenharia.....	3
5.1 Disposições gerais.....	3
5.2 Selecção do local da barragem.....	5
5.3 Selecção do local da comporta de descarga.....	7
5.4 Selecção do local para a central de energia hidroeléctrica.....	8
5.5 Selecção do tipo de barragem.....	8
5.6 Disposição do projecto.....	8
6 Estrutura de retenção de água.....	9
6.1 Barragem gravítica.....	9
6.2 Barragem em Arco.....	38
6.3 Barragem de enrocamento com face de betão.....	49
6.4 Barragem de terra-rocha compactada.....	63
6.5 Barragem com comporta basculante automática hidráulica.....	81
7 Estrutura de descarga de água.....	86
7.1 Descarregador de cheias.....	86
7.2 Comporta de descarga.....	99
8 Estrutura de desvio das águas.....	116
8.1 Entrada de água.....	116
8.2 Túnel de desvio e câmara de compensação.....	123
8.3 Canal de desvio da água e câmara de carga.....	134
8.4 Estrutura do canal.....	142
8.5 Condução forçada.....	149
8.6 Bacia de desassoreamento.....	157
9 Casa das máquinas.....	162
9.1 Disposições gerais.....	162
9.2 Disposição da área da fábrica.....	163
9.3 Disposição interna da casa das máquinas.....	166
9.4 Análise de estabilidade global para a casa das máquinas no solo.....	172
9.5 Projecto estrutural da casa das máquinas.....	179

10	Monitorização de segurança de engenharia	192
10.1	Disposições gerais	192
10.2	Projecto de monitorização de segurança	194
11	Resistência do betão, durabilidade e desempenho do aço.....	205
11.1	Resistência do betão	205
11.2	Durabilidade do betão	207
11.3	Reforço	212
Apêndice A (Normativo) Cálculo do avanço da onda		216

Prefácio

A Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) é uma agência especializada no âmbito do sistema das Nações Unidas para promover o desenvolvimento industrial global inclusivo e sustentável (ISID). A relevância do ISID como abordagem integrada aos três pilares do desenvolvimento sustentável é reconhecida pela Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável e pelos Objectivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) correspondentes, que contarão com o esforço das Nações Unidas e dos países rumo ao desenvolvimento sustentável nos próximos quinze anos. O mandato da UNIDO para o ISID engloba a necessidade de apoiar a criação de sistemas energéticos sustentáveis, uma vez que a energia é essencial para o desenvolvimento económico e social e para a melhoria da qualidade de vida. A preocupação e o debate internacional sobre energia têm crescido cada vez mais nas últimas duas décadas, com as questões da redução da pobreza, dos riscos ambientais e das alterações climáticas a assumirem agora um lugar central.

A INSHP (Rede Internacional de Pequenas Centrais de Energia Hidroeléctrica) é uma organização internacional de coordenação e promoção para o desenvolvimento global de pequenas centrais de energia hidroeléctrica (PCH), baseada na participação voluntária de pontos focais regionais, sub-regionais e nacionais, instituições relevantes, serviços públicos e empresas, e cujo principal objectivo são as prestações sociais. A INSHP visa a promoção do desenvolvimento global de PCH através da cooperação triangular técnica e económica entre países em desenvolvimento, países desenvolvidos e organizações internacionais, a fim de abastecer as zonas rurais dos países em desenvolvimento com energia ambientalmente saudável, acessível e adequada, o que levará ao aumento das oportunidades de trabalho, à melhoria dos ambientes ecológicos, à redução da pobreza, à melhoria dos padrões de vida e culturais locais e ao desenvolvimento económico.

A UNIDO e a INSHP colaboram no Relatório Mundial de Desenvolvimento de Pequenas Centrais de Energia Hidroeléctrica desde 2010. Com base nos relatórios, os requisitos e o desenvolvimento de PCH não estavam equiparados. Uma das barreiras ao desenvolvimento na maioria dos países é a falta de tecnologias. A UNIDO, em colaboração com a INSHP, através da cooperação com peritos globais, e com base em experiências de desenvolvimento bem-sucedidas, decidiu desenvolver as directrizes técnicas das PCH para satisfazer a procura dos Estados-Membros.

Estas directrizes técnicas foram elaboradas de acordo com as regras editoriais das Directivas ISO/IEC, Parte 2 (consultar www.iso.org/directives).

Chama-se especial atenção para a possibilidade de que alguns dos elementos destas directrizes técnicas possam estar sujeitos a direitos de patente. A UNIDO e a INSHP não serão responsáveis pela identificação desses mesmos direitos de patente.

Introdução

Uma Pequena Central de Energia Hidroeléctrica (PCH) é cada vez mais reconhecida como uma importante solução de energia renovável para a electrificação de áreas rurais remotas. Contudo, embora a maioria dos países europeus, da América do Norte e do Sul e a China tenham elevados níveis de capacidade instalada, o potencial de uma PCH em muitos países em desenvolvimento permanece desconhecido e é prejudicado por vários factores, incluindo a falta de boas práticas ou normas globalmente acordadas para o desenvolvimento de uma PCH.

Estas Directrizes Técnicas para o Desenvolvimento de Pequenas Centrais de Energia Hidroeléctrica (TG) abordarão as limitações actuais dos regulamentos aplicados às directrizes técnicas para as PCH, aplicando os conhecimentos especializados e as melhores práticas existentes em todo o mundo. Pretende-se que os países utilizem estas directrizes para apoiar as suas políticas, tecnologias e ecossistemas actuais. Os países com competências institucionais e técnicas limitadas serão capazes de melhorar a sua base de conhecimentos no desenvolvimento de instalações de PCH, atraindo assim mais investimentos para projectos de PCH, encorajando políticas favoráveis e, conseqüentemente, ajudando no desenvolvimento económico a nível nacional. Estas directrizes técnicas serão valiosas para todos os países, mas permitem, especialmente, a partilha de experiências e melhores práticas entre países que têm conhecimentos técnicos limitados.

As directrizes técnicas podem ser utilizadas como princípios e fundamentos para o planeamento, estruturação, construção e gestão de PCH até 30 MW.

- Os Termos e Definições nas directrizes técnicas especificam os termos e definições técnicas profissionais comumente usados para PCH.
- As Directrizes do projecto fornecem directrizes para os requisitos básicos, metodologia e procedimento em termos de selecção do local, hidrologia, geologia, esquema do projecto, configurações, cálculos de energia, hidráulica, selecção de equipamentos electromecânicos, construção, estimativas de custo do projecto, pré-avaliação económica, financiamento, avaliações sociais e ambientais — com o objectivo final de obter as melhores soluções de projecto.
- As Directrizes das unidades especificam os requisitos técnicos para turbinas nas PCH, geradores, sistemas de regulação de turbinas hidráulicas, sistemas de excitação e válvulas principais, como também para sistemas de supervisão, controlo, protecção e de alimentação eléctrica de corrente contínua.
- As Directrizes de construção podem ser utilizadas como documentos de orientação técnica para a construção de projectos de PCH.
- As Directrizes de gestão fornecem orientações técnicas para a gestão, operação e manutenção, renovação técnica e aceitação de projectos de PCH.

Directrizes Técnicas para o Desenvolvimento de Pequenas Centrais Hidroeléctricas-Projecto

Parte 5: Esquema de engenharia e estrutura hidráulica

1 Âmbito

Esta Parte das Directrizes da estrutura esclarece as normas de controlo de cheias para as estruturas hidráulicas de uma pequena central de energia hidroeléctrica (PCH), define os requisitos específicos para o esquema geral da engenharia, como também a selecção do tipo e o projecto da estrutura de retenção de água, da estrutura de descarga de água, a estrutura de desvio, a casa das máquinas e a subestação de distribuição, e especifica os requisitos técnicos para a supervisão de segurança da engenharia, e para o desempenho do betão e do aço.

A altura máxima aplicável de uma barragem de reservatório neste documento é: 30 m para uma barragem de terra-rocha compactada, 50 m para uma barragem de enrocamento com face de betão e 70 m para uma barragem de gravidade de betão (alvenaria).

2 Referências normativas

Os seguintes documentos são referidos no texto de tal forma que parte ou a totalidade do seu conteúdo constitui uma exigência deste documento. Para referências datadas, é apenas aplicável a edição citada. Para referências não datadas, é aplicável a última edição do documento referenciado (incluindo quaisquer alterações).

SHP/TG 001, *Directrizes técnicas para o desenvolvimento de pequenas centrais de energia hidroeléctrica — Termos e definições.*

3 Termos e definições

Para efeitos do presente documento, são aplicáveis os termos e definições apresentados em SHP/TG 001.

4 Norma de controlo de cheias

4.1 Disposições gerais

4.1.1 O padrão de controlo de cheias para um projecto hidroeléctrico deve ser determinado por análise e demonstração exaustiva, de acordo com os requisitos de factores económicos, sociais, políticos e ambientais sobre a segurança do controlo de cheias, coordenando as relações entre a parte e o todo, entre o curto e o longo-prazo, entre a montante e a jusante, entre a margem esquerda e direita, e entre o rio e os seus afluentes.

4.1.2 O padrão de controlo de cheias deve ser expresso com o intervalo de recorrência da prevenção de cheias. O padrão de controlo de cheias pode adoptar tanto o padrão do projecto de cheias, como o padrão de irrigação por tanques, de acordo com as necessidades dos diferentes objetos de protecção.

4.2 Estrutura hidráulica permanente

O padrão de controlo de cheias [intervalo de recorrência (ano)] para estruturas hidráulicas de centrais de energia hidroeléctrica com diferentes capacidades de reservatório e capacidade instalada pode ser determinado de acordo com a Tabela 1, ou pode ser seleccionado de acordo com os regulamentos locais/nacionais para objectivos de protecção.

Tabela 1 Intervalo de recorrência (ano) dos padrões de controlo de cheias para estruturas hidráulicas

Estrutura hidráulica	Estrutura da central hidroeléctrica ou reservatório ≤ 10 MW com capacidade de armazenamento de 1×10^6 m ³		Estrutura de central hidroeléctrica ou reservatório de 10 MW a 30 MW com capacidade de armazenamento de $(1-10) \times 10^6$ m ³	
	Padrão de projecto	Verificar padrão	Padrão de projecto	Verificar padrão
Barragem em betão (alvenaria de pedra)	20~30	100~200	30~50	200~500
Barragem de terra laminada/barragem de enrocamento	20~30	200~300	30~50	300~1 000
Comporta de descarga (comporta basculante)	10	20~50	10~20	50~100
Casa das máquinas (subestação de distribuição)	20~30	50	30~50	100
Estrutura de transporte de água	10~20	30~50	10	20~30
Dissipação de energia e estrutura anti-decapagem	10	/	20	/
Estrutura do canal	10	20~30	10~20	30~50

4.3 Estrutura hidráulica temporária

Os padrões de controlo de cheias das estruturas temporárias de retenção e descarga de água utilizadas durante o período de construção de uma central hidroeléctrica devem ser determinados de acordo com a estrutura dos edifícios. Quando a estrutura terra-rocha é usada, o projecto pode ser executado com base em 5 a 10 anos de cheias de retorno. Quando a estrutura de betão ou alvenaria de pedra é utilizada, o projecto pode ser executado com base em 3 a 5 anos de cheias de retorno.

4.4 Bordo livre da estrutura

4.4.1 A elevação do coroamento da barragem (ou do topo da parede contra ondas) da estrutura de retenção de água na central de energia hidroeléctrica deve ser determinada de acordo com o nível de água estática em condições de cheias de projecto de engenharia e irrigação por tanques, mais o correspondente escoamento das ondas, a altura de retenção do vento e o bordo livre de segurança. A elevação do coroamento da barragem da estrutura de retenção não deve ser inferior ao nível normal de água do reservatório e do nível de irrigação por tanques.

4.4.2 O bordo livre das estruturas hidráulicas pode ser determinado de acordo com o tipo de estrutura e com referência com a Tabela 2.

Tabela 2 Estrutura hidráulica do bordo livre

Unidade: m

Estrutura hidráulica	Padrão de projecto	Verificar padrão
Barragem em betão (alvenaria de pedra)	0,4	0,3
Barragem de terra laminada/barragem de enrocamento	0,5	0,3
Comporta de descarga (quando retém água)	0,3 (abastecimento normal de água)	0,2 (retenção máxima de água)
Comporta de descarga (quando descarrega água)	0,5	0,4
Descarregador de cheias	0,4 (quando retém água)	0,3 (quando descarrega água)

5 Disposição geral de engenharia

5.1 Disposições gerais

5.1.1 As centrais de energia hidroeléctrica podem ser classificadas como centrais de energia hidroeléctrica do pé da barragem, do leito do rio, de desvio e híbridas de acordo com o modo de desenvolvimento.

5.1.2 O esquema geral de engenharia de uma pequena central de energia hidroeléctrica pode incluir a selecção do local da barragem, da via de desvio e do local da central (subestação de distribuição), bem como a selecção do tipo de barragem e o esquema de engenharia de um projecto polivalente.

5.1.3 A disposição do projecto hidroeléctrico pode ser realizada de acordo com os seguintes princípios.

- a) Os requisitos para controlo de cheias, geração de energia, navegação, pesca, silvicultura, transporte e eco-ambiente devem ser considerados de forma exaustiva.
- b) As estruturas do projecto devem ser dispostas de forma compacta para atender às exigências funcionais, força e estabilidade, de modo a garantir que funcionem normalmente em quaisquer condições de trabalho. O custo total de construção e o custo operacional anual do projecto devem ser reduzidos para uma operação e gestão conveniente.
- c) A estrutura pode ser utilizada para múltiplos fins, ou pode ser uma estrutura temporária e a estrutura permanente deve ser combinada na disposição.
- d) O método de desvio de construção, o método de construção das estruturas principais e o calendário de construção devem ser seleccionados para conveniência da construção, garantir um curto período de construção e custos de construção baixos.
- e) A estética da disposição do projecto deve ser integrada com o ambiente envolvente de acordo com as condições locais, de modo a criar um ambiente multi-funcional e agradável.

5.1.4 Quando a estrutura de retenção de água (excepto a barragem em arco) estiver disposta, o eixo da barragem deve ser curto e direito. O eixo recto relativamente mais longo ou o eixo da linha quebrada ou curva também pode ser adoptado de acordo com a situação real.

5.1.5 A disposição da estrutura de descarga de água deve ser determinada de acordo com o tipo de barragem adoptada pela estrutura de retenção de água e as condições geológicas e topográficas próximas do local da barragem.

5.1.6 A disposição da entrada de água deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) Em qualquer período, é necessário fornecer água sem interrupção, de acordo com os requisitos de desvio.
- b) Num rio rico em sedimentos, devem ser tomadas medidas eficazes de controlo de sedimentos para evitar que os sedimentos entrem no canal de desvio.
- c) No que diz respeito aos trabalhos da altura para uma utilização exhaustiva, é necessário assegurar que as estruturas possam funcionar normalmente e não interferem umas com as outras.
- d) Devem ser tomadas medidas para evitar que a elementos flutuantes, como gelo flutuante, entre no canal de desvio.
- e) A regulação necessária deve ser realizada no canal do rio próximo à entrada para aproximar a corrente principal da entrada de água para assegurar o volume de entrada de água necessário.
- f) A disposição da estrutura de entrada deve ser conveniente para fácil gestão das modernas instalações de gestão.

5.1.7 A disposição da casa das máquinas deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) Os canais de entrada e saída devem ser tão curtos quanto possível; o caudal de água deve ser regular; a perda de altura deve ser pequena e a saída de água não deve ficar obstruída ou ser afectada por blocos de gelo.
- b) As obras de fuga devem ser suficientemente profundas e largas, a curvatura plana deve ser extensa, e a profundidade deverá variar gradualmente, e as obras de fuga devem ficar ligadas sem problemas ao caudal ou canal natural do rio.
- c) O caudal de água ou as instalações de dissipação de energia nas saídas das estruturas de descarga devem estar dispostas de modo a evitar, tanto quanto possível, a elevação do nível da água a jusante da central de energia hidroeléctrica.

5.1.8 Para a concepção das estruturas hidráulicas devem ser recolhidos os seguintes dados.

- a) Dados topográficos: incluindo mapa topográfico regional em pequena escala (1:10 000 a 1: 50 000) e o mapa topográfico criado do local da barragem em grande escala (1: 200 a 1: 1000).

- b) Dados geológicos: os resultados do levantamento geológico da área da barragem, incluindo a distribuição e profundidade da sobrecarga, litologia, estrutura e profundidade de carga das rochas, nível freático e profundidade de enterramento do leito de confinamento relativo, fundação da barragem, esteira de intempérie e correia de descarga do encontro da barragem, bem como a distribuição e características das falhas, particularmente as falhas ao longo do rio e com queda de baixo ângulo. Devem reconhecer a propriedade e estrutura geológica do estrato rochoso, a hidrogeologia, a estabilidade do talude lateral, o cárstico, a massa de deslizamento e o gás nocivo ao longo do percurso do sistema de desvio, bem como o stress do solo e a situação de rotura na região com elevado stress do solo.
- c) Dados hidrológicos e meteorológicos: todas as características hidrológicas do rio na área do projecto, tais como escoamento superficial, cheia, nível de água correspondente e carga sedimentar; factores meteorológicos da área do projecto, incluindo luz solar, chuva, queda de neve, vento, temperatura do ar, humidade e temperatura da água.
- d) Os resultados dos cálculos de energia hidráulica: incluem o nível de água de cada característica do reservatório (nível normal do reservatório, nível de inundação projectado, nível de inundação verificado, nível mínimo de recolha de água para geração de energia), parâmetros característicos das estruturas de descarga de inundação (tamanho da saída, elevação de controlo, modo de despacho).
- e) Dados do material de construção: incluindo a distribuição do material de construção no local da barragem e na área próxima, incluindo a qualidade, quantidade e propriedades físicas e mecânicas do material de construção natural (blocos de pedra e cascalho arenoso), bem como os parâmetros característicos, distância de transporte e custo do material, como cimento e aço estrutural, etc.
- f) Dados de sedimentos: o conteúdo, partículas, rigidez, peso unitário e movimentação da carga do leito e carga em suspensão no rio com grande carga de sedimentos. A morfologia de deposição e elevação do sedimento na área do reservatório também deve ser recolhida para a captação da água.
- g) Dados de poluição: para o canal do rio com muito lixo, devem ser recolhidos a fonte, variedade, quantidade e padrão de deriva do lixo.
- h) Dados de gelo: para o rio em região de geada, o período de gelo, características do gelo flutuante e a quantidade de gelo flutuante; o tamanho dos blocos/flocos de gelo e a espessura da camada de gelo; os dados operacionais para a entrada da central de energia hidroeléctrica no Inverno em condições semelhantes devem ser recolhidos.

5.2 Seleção do local da barragem

5.2.1 Os possíveis locais alternativos para barragens devem ser previstos de acordo com as condições geológicas e topográficas de acesso ao rio, bem como com as exigências de desenvolvimento e utilização; o tipo de barragem representativa do eixo da barragem e o traçado do projecto de cada local de barragem devem ser determinados através de estudo e comparação, e o local da barragem deve ser seleccionado após uma comparação técnica e económica exaustiva.

5.2.2 Os seguintes requisitos devem ser cumpridos para as condições topográficas e geológicas do troço do rio e para o seu desenvolvimento e utilização.

- a) O vale estreito do rio com condições geológicas favoráveis é adequado para uma barragem em arco.
- b) O vale amplo do rio com condições geológicas relativamente boas é adequado para uma barragem gravitacional.
- c) Se o vale do rio é largo, o leito do rio é profundo e espesso ou as condições geológicas são relativamente pobres, e o material local como terra, pedra e cascalho são abundantes, é adequado para uma barragem de terra e enrocamento.

5.2.3 O local da barragem para vários tipos de barragens deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) No que diz respeito ao local de uma barragem gravitacional, as rochas devem ter força, integridade e homogeneidade suficientes.
- b) No caso de uma barragem em arco de betão, os requisitos de resistência e integridade da massa rochosa são maiores do que os de uma barragem gravitacional, enquanto que o encontro da barragem deve ser estável.
- c) No que diz respeito à terra e aos locais das barragens de enrocamento, é necessário verificar a espessura da camada de fundação da barragem e se existe uma camada de solo liquefeita na fundação da barragem.

5.2.4 A selecção do local da barragem deve considerar os seguintes factores.

- a) Deve ser conveniente para o desvio da construção.
- b) O terreno perto do local da barragem deve ser relativamente amplo e aberto para conveniência na colocação do canteiro de obras.
- c) Deve ser dada atenção à diferença entre a disposição geral da construção e as condições de gestão da operação para facilitar a operação e gestão do projecto.
- d) As condições de tráfego externo devem ser consideradas.
- e) A variedade, reserva, qualidade, quantidade, distribuição e distância de transporte dos diferentes materiais de construção devem ser levadas em conta.

5.2.5 A comparação e selecção do local da barragem deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) É preferível seleccionar o local da barragem com menos submersão, menos aquisição de terrenos e menos reabilitação/recolocação.
- b) O impacto sobre o meio ambiente deve ser considerado para a selecção do local da barragem, e os objectos sensíveis devem ser mínimos.
- c) O reservatório com tecnologia fiável e economia razoável deve ser seleccionado para evitar colapso e deslizamento de terras em grande escala na área do reservatório após o represamento. Em áreas montanhosas e planas, deve ser evitada a imersão excessiva.

5.2.6 Na área onde o pico de aceleração do movimento do solo no local da barragem é maior ou igual a 0,1 g ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$), devem ser tomadas medidas de construção anti-sísmica para as estruturas hidráulicas.

5.3 Selecção do local da comporta de descarga

5.3.1 A barragem deve ser seleccionada através de comparação técnica e económica de acordo com a função, características e requisitos de aplicação da comporta de descarga, e considerando, de forma exaustiva, factores como terreno, geologia, caudal de água, sedimentos, terra congelada, condições do gelo, construção, gestão e meio ambiente.

5.3.2 O local da comporta de descarga deve ser seleccionado de acordo com as fontes de material, tráfego externo, desvio da construção, disposição do local, drenagem da cava de fundação, abastecimento de água e electricidade para a construção. Os seguintes requisitos devem ser cumpridos.

- a) A comporta de descarga deve ficar localizada num troço recto e relativamente estável, e as condições de fuga, estabilidade e deformação da fundação da comporta de descarga e dos ombros da comporta de descarga de ambos os lados devem ser consideradas.
- b) O local da barragem da comporta de descarga com abas, da comporta de descarga de cheias e da comporta de descarga de decapagem de areia deve ser seleccionado na zona de acesso ao rio com um canal de rio recto e um regime fluvial relativamente estável. O eixo da comporta de descarga deve ser ortogonal à linha central do canal do rio; o comprimento das secções rectas dos canais a montante e a jusante do rio não deve ser inferior a 5 vezes a largura da superfície da água à entrada da comporta de descarga. A comporta de descarga de cheias localizada no troço curvo deve ser disposta na porção de talvegue do rio.
- c) O local para a comporta de descarga de entrada deve ser seleccionado no troço recto com margens basicamente estáveis ou no ponto final de uma margem côncava ligeiramente curvada para a região a jusante. A intersecção entre a linha central da comporta de descarga de entrada e a linha central do curso do rio (canal) não deve ser superior a 30° , e o seu canal de desvio a montante (canal) não deve ser excessivamente longo.

5.3.3 No que diz respeito à comporta de descarga de um rio fortemente carregado de sedimentos, a comporta de descarga de sedimentos (comporta de descarga de desassoreamento) ou a comporta de descarga de sedimentos deve ser colocada na posição adjacente da comporta de descarga de entrada ou na entrada de água de outras estruturas de admissão, e o problema de deposição de sedimentos na comporta de descarga de admissão ou noutras estruturas de admissão deve ser devidamente resolvido.

5.4 Seleção do local para a central de energia hidroeléctrica

5.4.1 A casa das máquinas das centrais de energia hidroeléctrica de desvio deve ficar longe da barragem, e localizada abaixo do talude elevado e íngreme. A câmara de compensação (tanque) ou câmara de carga deve ser disposta no talude íngreme; o maciço entre a casa das máquinas e a câmara de compensação ou câmara de carga deve ser estável, com pouca permeabilidade à água.

5.4.2 A entrada da casa das máquinas no leito do rio deve evitar a deposição e erosão de sedimentos, o entupimento causado por lixo flutuante e gelo. Quando a casa das máquinas é adjacente ao descarregador de cheia, deve ser construída entre eles uma parede divisória suficientemente longa; a casa das máquinas, a subestação de distribuição e a subestação devem ser mantidos a uma certa distância, a salvo do jacto de descarga da cheia.

5.5 Seleção do tipo de barragem

5.5.1 Se o tráfego for inconveniente ou se o agregado de aço, cimento e betão for insuficiente na região da barragem, mas os materiais de terra e pedra forem abundantes e o terreno for adequado para a construção do descarregador de cheia da margem do rio, então uma barragem de terra e enrocamento deve ser seleccionada e construída com precedência usando materiais locais.

5.5.2 Se as condições geológicas forem relativamente boas, e se muitos agregados de cascalho ou materiais de pedra estiverem disponíveis na região local, e o acesso e tráfego estiverem relativamente disponíveis, poderá ser construída uma barragem gravítica. A cheia pode ser descarregada directamente do topo da barragem.

5.5.3 Se o local da barragem for num vale estreito em V ou em U com bons encontros em ambos os lados, pode ser construída uma barragem em arco. A barragem em arco geralmente custa menos, o período de construção é curto, e a cheia pode ser descarregada do topo da barragem ou da abertura no corpo da barragem.

5.6 Disposição do projecto

5.6.1 A estrutura de descarga de uma barragem de terra e enrocamento deve ser construída na fundação de rocha da margem, podendo ser adoptado um descarregador de cheia aberto e túnel.

- Se o terreno em ambas as margens for abrupto e a base de rocha for em forma de sela com elevação apropriada, ou se o terreno em ambas as margens for regular e o coroamento for em forma de sela, e existir um canal conveniente para canalizar a cheia para o rio na região a jusante do local onde uma estrutura auxiliar de retenção de água da barragem deve ser construída, o descarregador de cheia da margem do rio deve ser construído.

- Se a entrada do descarregador de cheia estiver nessa posição, mas a via de descarga da cheia daí em diante for canalizada para outro canal do rio, o problema de controlo de cheias de outro canal do rio deve ser resolvido adequadamente.
- Quando as vantagens acima mencionadas não estão disponíveis perto do local da barragem ou numa parte remota da região a montante, o descarregador de cheia deve ser colocado no encontro da barragem.

5.6.2 A secção do descarregador de cheia deve ser utilizada como estrutura principal de drenagem dos projectos de barragens gravíticas de betão ou alvenaria, e a disposição da estrutura de drenagem deve ser consistente com a direcção do eixo do rio. Quando as condições geológicas são diferentes ao longo do eixo da barragem, a barragem de transbordo deve ser colocada sobre uma base relativamente sólida.

5.6.3 A secção do descarregador de cheia deve ser utilizada como estrutura principal de drenagem dos projectos de barragens gravíticas de betão ou alvenaria, e a disposição da estrutura de drenagem deve ser consistente com a direcção do eixo do rio. Se a base de rocha for em forma de sela com elevação apropriada em ambas as margens, e houver um canal que seja conveniente para canalizar a cheia para o rio na região a jusante, o descarregador de cheia pode ser colocado na margem do rio.

5.6.4 Quando se leva a cabo um projecto num rio com alta concentração de sedimentos, o efeito do assoreamento do reservatório e da erosão do leito do rio a jusante deve ser considerado na disposição da descarga de água e da estrutura de captação. Para um projecto hidráulico localizado num rio com alta concentração de sedimentos, devem providenciarem-se aberturas no fundo ou um túnel com grande diâmetro.

5.6.5 Os requisitos de água do ambiente ecológico a jusante devem ser consideradas na disposição das estruturas do projecto.

6 Estrutura de retenção de água

6.1 Barragem gravítica

6.1.1 Projecto de barragem gravítica

- a) Selecção do local da barragem e disposição do projecto: incluir a selecção do local da barragem e do eixo da barragem, e determinar a disposição das estruturas do projecto, o tipo estrutural do corpo da barragem e a ligação entre o corpo da barragem e ambas as margens ou outras estruturas, etc. A disposição das estruturas de descarga das cheias deve ser considerada em primeiro lugar.
- b) Projecto da estrutura de descarga do corpo da barragem: calcular da regulação do escoamento, estudar e comparar a disposição e as dimensões da estrutura de descarga, determinar o nível de inundação e conceptualizar as instalações de dissipação de energia e de anti-decapagem para a estrutura de descarga. Deve ser dada preferência a um descarregador de cheias sem comporta para a barragem, e as aberturas de descarga de cheias e de esvaziamento do reservatório podem ser preparadas de acordo com os requisitos funcionais.

- c) Cálculo da estrutura da barragem: determinar a carga sustentada pelo corpo da barragem, analisar a combinação da carga e analisar a estabilidade e tensão do corpo da barragem (incluindo cálculo anti-sísmico).
- d) Zonamento do corpo da barragem e concepção do material: determinar os materiais utilizados para o corpo da barragem, efectuar o zonamento do corpo da barragem e elevar os requisitos do índice de desempenho para várias zonas, bem como os requisitos de matérias-primas, relação água-cimento do betão, conteúdo de cimento e classificação do agregado.
- e) Selecção da superfície da fundação da barragem e concepção do tratamento da fundação: de acordo com os requisitos de estabilidade do corpo da barragem e tensão da fundação, esclarecer os requisitos para a superfície da fundação, capacidade de carga da fundação da barragem, anti-infiltração, drenagem e gunitagem. Concepção das medidas de tratamento para a fractura da fundação, falha, zona de fractura, camada intercalada fraca e escavação de taludes.
- f) Projecto de controlo de temperatura para o corpo da barragem: de acordo com os requisitos de controlo de temperatura e prevenção de fissuras, determinar a separação, as camadas da barragem e as medidas de controlo de temperatura para o corpo da barragem.

6.1.2 Estrutura do corpo da barragem

6.1.2.1 O coroamento da barragem gravítica deve ser mais alto do que o nível da irrisação por tanques, a parede contra ondas deve ficar disposta no lado a jusante do coroamento da barragem e a elevação da parede contra-ondas deve ser superior à elevação superior da onda. A diferença de altura (bordo livre) entre o coroamento da parede contra ondas e o nível normal do reservatório ou o nível da irrigação por tanques pode ser calculada com a Fórmula (1); e deve aplicar a mais alta das elevações do coroamento da parede contra ondas.

$$\Delta h = h_p + h_z + h_c \quad \dots\dots\dots (1)$$

onde

Δh é a diferença de altura entre o coroamento da parede contra ondas e o nível normal do reservatório ou o nível da cheia de verificação, em m;

h_p é a altura de onda da frequência correspondente P é calculada de acordo com o Apêndice A (P - 1 % para a barragem gravítica), em m;

h_z é a altura da onda, a calcular de acordo com o Apêndice A, em m;

h_c é o bordo livre, seleccione de acordo com a Tabela 2, em metros.

6.1.2.2 A largura do coroamento das barragens que não transbordam deve ser determinada de acordo com o desenho do perfil e com os requisitos de gestão da operação, e não deve ser inferior a 3 m. As paredes contra ondas de betão armado ligadas ao corpo da barragem devem ter uma altura de 1,2 m no lado a montante do coroamento da barragem. Os corrimãos devem ser colocados no lado a jusante do coroamento da barragem. Quando a talha móvel é utilizada no coroamento da barragem, a largura do coroamento deve satisfazer a exigência de instalação dos carris do guindaste da comporta.

6.1.2.3 A secção transversal de uma secção de barragem sem transbordo deve ser determinada de acordo com os seguintes requisitos.

- a) A secção transversal básica de uma secção de barragem sem transbordo deve ser triangular, e o seu pico deve estar próximo do coroamento da barragem; a estrutura do coroamento da barragem deve estar disposto acima da secção transversal básica.
- b) A superfície a montante do corpo da barragem pode ser um plano vertical, plano oblíquo ou plano dobrado. O talude a montante de uma barragem gravítica deve ser de 1: 0 a 1: 0,2. Se o talude da barragem for um plano dobrado, a elevação do ponto de inclinação dobrado deve ser determinada em combinação com a disposição das comportas de água da central de energia hidroeléctrica, bem como a inclinação da barragem a jusante.
- c) O talude da barragem a jusante pode ser de 1: 0,6 a 1: 0,8, e devem ser seleccionados de acordo com os requisitos de estabilidade e tensão combinados com o talude da barragem a montante, ao mesmo tempo. Para a barragem gravítica integral com a ranhura de chave na junta transversal para a gunitagem, o talude da barragem pode ser seleccionado considerando a força combinada das secções adjacentes da barragem.

6.1.2.4 A secção transversal da secção de barragem sem transbordo deve ser determinada de acordo com os seguintes requisitos.

- a) Quanto à curva da superfície do açude da secção da barragem de transbordo, a curva de potência pode ser utilizada se for providenciado um transbordo aberto; a parábola de transbordo do orifício pode ser adoptada se o muro corta-águas for providenciado e utilizado para retenção de água; outras curvas da superfície do açude também podem ser aplicadas com base em estudos e testes.
- b) O comprimento do bordo de ataque, o número de furos, o tipo de orifício, o tamanho e a elevação do coroamento do açude da secção de transbordo da descarga superficial para a descarga de cheia devem ser determinados através de uma comparação exaustiva com a operação do reservatório e os requisitos de descarga de cheia, anti-decapagem e dissipação de energia do leito do rio a jusante e de ambas as margens, bem como a relação entre o corpo da barragem e as estruturas adjacentes.
- c) A dissipação de energia e os métodos anti-decapagem para a área a jusante da descarga de cheias devem incluir o caudal defletor, o subcaudal, o caudal superficial, a gamela e a dissipação de energia conjunta, que deve ser razoavelmente seleccionada de acordo com a altura da barragem, as condições geológicas e topográficas do leito do rio a jusante e de ambas as margens da fundação da barragem, e as mudanças na profundidade da água do canal do rio a jusante, e em combinação com os requisitos para a descarga de gelo e detritos.
- d) Sob condições de pressão atmosférica local, a pressão negativa não deve ocorrer perto do descarregador de cheia de superfície e do tecto da barreira de transbordo com furos rasos quando a comporta de cheias estiver totalmente aberta; quando a comporta estiver parcialmente aberta, pode ser permitida uma ligeira pressão negativa com base no estudo. No caso de descarga de uma cheia de projecto em modo totalmente aberto, a pressão negativa não deve exceder 0,03 MPa; no caso de uma descarga uma cheia de verificação com o modo totalmente aberto, a pressão negativa não deve exceder 0,06 MPa.

- e) O tipo razoável de ranhura da comporta deve ser seleccionado para evitar pressão negativa excessiva causada pela erosão por cavitação na ranhura da comporta.
- f) A secção do calcanhar da barragem de transbordo deve ser seleccionada de acordo com o modo de dissipação de energia a jusante.
- g) Os tipos e dimensões de plataformas de comportas devem cumprir os requisitos da disposição estrutural e das condições de caudal. No caso de uma comporta lisa, a plataforma pilar na ranhura da comporta deve ser suficientemente espessa e forte para satisfazer os requisitos da estrutura.
- h) Quando a barragem de transbordo também funciona como passagem de gelo, deve ser dimensionada tendo em conta os dados do gelo; a profundidade da água no açude deve ser superior à espessura máxima do gelo durante o período de deriva; os blocos de gelo devem poder descarregar livremente sem danificar as instalações a jusante; medidas, tais como paredes-guia e paredes de retenção, devem ser implementadas a jusante; a cabeça da plataforma da comporta deve ter a forma de um ângulo agudo.
- i) O descarregador de cheia da barragem gravítica de alvenaria deve estar no modo aberto. Se houver uma comporta, a estabilidade estrutural e a tensão tanto da plataforma da comporta como da câmara devem ser analisadas.

6.1.2.5 As saídas no corpo da barragem devem cumprir os seguintes requisitos.

- a) As saídas no corpo da barragem podem ser dispostas na secção inferior da secção da barragem de transbordo ou numa secção dedicada de saídas de descarga da barragem, e devem estar equipadas com sistemas de dissipação de energia.
- b) As saídas no corpo da barragem podem utilizar um túnel de caudal livre ou um furo de pressão, no qual o caudal de pressão e o caudal sem pressão não devem ocorrer alternadamente.
- c) O túnel de caudal livre deve estar em linha recta no plano; quando uma curva é necessária, é também necessário realizar uma análise específica, e verificar o esquema através de testes do modelo hidráulico.
- d) A protecção do revestimento do túnel de descarga no corpo da barragem deve ser determinada através da condição hidráulica, tamanho do orifício, características do caudal de água e condições de funcionamento dos orifícios. Quanto ao túnel de pressão com pressão interna de água relativamente alta e a secção de pressão do túnel de caudal livre, deve ser utilizado o revestimento de aço ou betão de alto desempenho, e o revestimento de aço deve ser combinado com o betão circundante de forma fiável.

6.1.3 Projecto da secção do corpo da barragem

6.1.3.1 O desenho da secção do corpo da barragem deve obedecer aos seguintes princípios.

- a) No que diz respeito à barragem gravítica de betão, os resultados do cálculo da mecânica dos materiais e o método do equilíbrio dos limites do corpo rígido devem ser utilizados como base para determinar a secção do corpo da barragem.
- b) A secção de concepção da barragem gravítica deve ser controlada pela combinação de carga básica, e revista pela combinação de carga especial. Quando é revista pela combinação de carga especial, a interacção espacial do corpo da barragem pode ser considerada ou outras medidas apropriadas podem ser tomadas, mas a secção de concepção não deve ser controlada pela combinação de carga especial.
- c) A resistência T e a estabilidade da barragem gravítica com juntas transversais podem ser calculadas de acordo com o problema planar; uma secção da barragem ou largura da unidade pode ser aplicada ao cálculo. No caso de ser aplicada gunita nas juntas transversais, a força e estabilidade podem ser calculadas tendo em conta o efeito inteiro do corpo da barragem.

6.1.3.2 A carga e a combinação de carga que afectam uma barragem gravítica incluem o seguinte.

- a) Carga
 - 1) O peso do corpo da barragem e seu equipamento permanente: o peso do betão do corpo da barragem pode ser de 23,5 kN/m³ a 24,0 kN/m³; o peso da alvenaria pode ser de 22.0 kN/m³ a 24.0 kN/m³.
 - 2) Pressão hidrostática: a pressão hidrostática a montante deve ser determinada de acordo com o nível de água especificado pela função do reservatório e combinação de carga, enquanto que a pressão hidrostática a jusante deve ser determinada de acordo com o correspondente nível de água desfavorável a jusante.
 - 3) A pressão de elevação deve ser calculada como a força distribuída que actua verticalmente em toda a área da secção transversal calculada. Quando os furos de gunitagem e drenagem são colocados, o valor pode ser deduzido de acordo com o coeficiente de pressão de infiltração.
 - 4) A pressão dos sedimentos deve ser determinada de acordo com as características hidrológicas e sedimentares do rio no local da barragem, o traçado do projeto, o modo de operação do reservatório e o cálculo da decapagem e assoreamento dos sedimentos, a fim de determinar a espessura dos sedimentos em frente da barragem.
 - 5) A pressão da onda deve ser calculada com base nos elementos da onda. As diferentes combinações de carga devem adoptar velocidades de vento diferentes, as combinações básicas podem adoptar velocidades de vento máximas anuais com um período de recorrência de 50 anos e as combinações especiais podem adoptar a velocidade de vento máxima anual durante anos.

- 6) A pressão do gelo deve ser tida em conta quando se forma uma camada grossa de gelo na superfície do reservatório em áreas de frio intenso.
- 7) A pressão da terra refere-se ao papel do aterro no corpo da barragem.
- 8) A pressão hidrodinâmica numa determinada superfície de escoamento deve ser tida em conta quando se adopta o transbordo do coroamento da barragem ou a superfície da barragem.
- 9) As cargas sísmicas incluem a força de inércia sísmica do corpo da barragem e a pressão hidrodinâmica sísmica; quando a aceleração de pico do solo é maior ou igual a 0,1 g, devem ser efectuados cálculos anti-sísmicos.
- 10) Outras cargas que possam ocorrer.

b) Combinação de carga

A combinação de carga de estabilidade antiderrapante e cálculo de tensões da barragem gravítica de betão pode consistir na combinação básica e na combinação especial. A combinação de carga está sujeita ao disposto no Quadro 3, e as outras possíveis combinações desvantajosas devem ser consideradas, quando necessário. Os seguintes requisitos devem ser cumpridos.

- 1) A combinação de carga mais desvantajosa no cálculo deve ser seleccionada de acordo com a possibilidade real da acção simultânea de várias cargas.
- 2) Uma barragem construída por etapas deve ser calculada por etapas de acordo com a combinação de carga correspondente.
- 3) As condições durante o período de construção devem ser verificadas, se necessário, como uma combinação especial.
- 4) Se for considerado que o equipamento de drenagem bloqueia facilmente e deve ser frequentemente reparado de acordo com as condições geológicas e outras condições, a falha de drenagem deve ser considerada como uma combinação especial.

Quadro 3 Quadro de combinação de cargas

Carga cargas	Principais considerações	Carga										Notas
		Peso morto	Pressão hidrostática	Pressão de elevação	Pressão do lodo	Pressão das ondas	Pressão do gelo	Carga de terramoto	Pressão hidrodinâmica	Pressão do solo	Outras cargas	
Combinação cargas	(1) Em situação de nível normal do reservatório	√	√	√	√	√	—	—	—	√	√	A pressão do solo dependerá do facto de ser utilizada terra e as pedras para encher o corpo da barragem (o mesmo abaixo).
	(2) Em situação do nível de cheia de projecto	√	√	√	√	√	—	—	√	√	√	
	(3) Em situação de congelamento	√	√	√	√	—	√	—	√	√	√	A pressão hidrostática e a pressão de elevação devem ser calculadas pelo nível de água do reservatório correspondente no inverno.
Combinação especial	(1) Em situação de cheias de verificação	√	√	√	√	√	—	—	√	√	√	
	(2) Em situação de terramoto	√	√	√	√	√	—	√	—	√	√	A pressão hidrostática, a pressão de elevação e a pressão das ondas devem ser calculadas de acordo com o nível normal do reservatório, ou podem ser especificadas separadamente quando tiverem sido demonstradas.
NOTA Em relação à situação de terramoto, a pressão das ondas não será incluída quando for tida em consideração a estação do inverno e a pressão do gelo.												

6.1.3.3 O cálculo de tensões para barragens deve cumprir as seguintes disposições.

- a) O cálculo de tensões da barragem pode basear-se na escala do projecto e na estrutura do corpo da barragem, incluindo alguns ou todos os seguintes conteúdos, ou outros conteúdos.
 - 1) Calcular a tensão na secção seleccionada do corpo da barragem (seleccionar a secção de cálculo de acordo com a altura da barragem, incluindo a superfície da fundação da barragem, a secção do talude dobrado e outras secções que devam ser calculadas).
 - 2) Calcular a tensão local nos pontos fracos (tais como cavernas, tubagens de drenagem de água e condutas de entrada para a central de energia hidroeléctrica) do corpo da barragem.
 - 3) Calcular a tensão dos pontos individuais (tais como plataforma da comporta, muro corta-águas, parede guia e estrutura de suporte de entrada de água) do corpo da barragem.
 - 4) Analisar a tensão interna na fundação da barragem, quando necessário.
- b) A tensão vertical normal do calcanhar e do pé da barragem da superfície de fundação da barragem gravítica deve cumprir os seguintes requisitos.
 - 1) Período de serviço: em várias combinações de cargas, a tensão normal vertical do calcanhar da barragem não deve incluir a tensão de tracção e a tensão normal vertical do pé da barragem deve ser inferior à tensão de compressão admissível da fundação da barragem.
 - 2) Período de construção: a tensão vertical normal do pé da barragem gravítica de betão não pode ser superior a 0,1 MPa.
- c) A tensão do corpo de uma barragem gravítica deve cumprir os seguintes requisitos.
 - 1) Período de serviço: a tensão vertical normal na superfície a montante do corpo da barragem não deve incluir a tensão de tracção; a tensão de compressão máxima principal do corpo da barragem não deve ser superior à tensão de compressão admissível dos materiais.
 - 2) Período de construção: a tensão de compressão principal em qualquer secção do corpo da barragem não deve ser superior à tensão de compressão permitida dos materiais; na superfície a jusante do corpo da barragem, a tensão de tracção principal da barragem de betão não deve ser superior a 0,2 MPa.
- d) A tensão admissível do betão deve estar em conformidade com as seguintes disposições.
 - 1) A tensão admissível do corpo da barragem pode ser determinada dividindo o valor padrão da resistência do betão pelo factor de segurança. O valor padrão da resistência do betão pode utilizar a resistência do cubo de 150 mm com a idade de 90 dias, e a taxa de garantia de resistência é de 80%.

- 2) O factor de segurança da resistência à compressão do betão do corpo da barragem não deve ser inferior a 4,0 para a combinação básica e não deve ser inferior a 3,5 para a combinação especial (excluindo terremotos). Se a exigência de tracção para o betão local se aplicar, o factor de segurança de tracção não deve ser inferior a 4,0.
- 3) Quando se considera a carga sísmica, o factor de segurança de compressão do betão da barragem deve ser 4,1, e o factor de segurança de tracção pode ser 2,4.
- e) A tensão vertical normal da fundação da barragem gravítica e da secção transversal do corpo da barragem deve ser calculada de acordo com a Fórmula (2).

$$\sigma_v = \frac{\sum W}{A} + \frac{\sum Mx}{J} \dots\dots\dots (2)$$

onde

σ_v é a tensão vertical normal da secção de cálculo, em kPa;

$\sum W$ é a soma da força normal na secção de cálculo afectada por todas as cargas (incluindo a pressão ascendente, a mesma abaixo) na secção da barragem ou 1 m de comprimento da barragem, em kN;

$\sum M$ é a soma do binário de todas as cargas que actuam sobre a secção da barragem ou 1 m de comprimento da barragem para o eixo centróide da secção de cálculo, em kN • m;

A é a área de cálculo da secção da barragem ou 1 m de comprimento da barragem, em m²;

X é a distância do ponto de cálculo até ao eixo centróide na secção de cálculo, em m;

J é o momento de inércia da secção de cálculo na secção da barragem ou 1 m de comprimento da barragem até ao eixo centróide; para a secção rectangular é $h^2/6$, em que h se refere à altura da secção de cálculo, em m⁴.

- f) O cálculo da estabilidade antiderrapante do corpo da barragem deve respeitar as seguintes disposições:
- 1) O cálculo da estabilidade antiderrapante do corpo da barragem inclui principalmente os seguintes conteúdos:
- (1) cálculo da estabilidade antiderrapante do corpo da barragem ao longo da superfície da fundação da barragem;
- (2) cálculo da estabilidade de deslizamento profundo para a fundação da barragem quando a superfície estrutural fraca ou a fractura por imersão de baixo ângulo existe na massa rochosa da fundação da barragem.

- 2) A estabilidade antiderrapante do corpo da barragem gravítica pode ser calculada com a Fórmula de resistência ao cisalhamento (3) ou a Fórmula de resistência ao cisalhamento (4).

$$K' = \frac{f' \sum W + C'A}{\sum P} \dots\dots\dots (3)$$

onde

K' é o factor de segurança de estabilidade antiderrapante é calculado de acordo com a resistência ao cisalhamento;

$\sum W$ é o componente normal de todas as cargas (incluindo a pressão de elevação, a mesma abaixo) que actuam sobre o corpo da barragem até ao plano de deslizamento, em kN;

$\sum P$ é o componente tangencial de todas as cargas que actuam sobre o corpo da barragem até o plano de deslizamento, em kN;

f' é o coeficiente de atrito resistente ao cisalhamento da superfície de contacto entre o betão do corpo da barragem e a fundação da barragem;

C' é a força coesiva resistente ao cisalhamento da superfície de contacto entre o betão do corpo da barragem e a fundação da barragem, em KPa;

A é a área seccional da superfície de contacto da fundação da barragem, em m².

$$K = \frac{f \sum W}{\sum P} \dots\dots\dots (4)$$

onde

K é o factor de segurança antiderrapante de estabilidade calculado de acordo com a resistência ao cisalhamento;

f é o coeficiente de atrito de cisalhamento da superfície de contacto entre o betão do corpo da barragem e a fundação da barragem.

- 3) Para o cálculo da estabilidade antiderrapante profunda, o corpo deslizante deve ser dividido em duas partes, e o método de igual factor de segurança deve ser adoptado para as colocar no estado de equilíbrio final, respectivamente, como ilustrado na Figura 1. A estabilidade profunda antiderrapante da fundação da barragem gravítica pode ser calculada de acordo com as fórmulas de resistência ao cisalhamento (5) e (6) ou as fórmulas de resistência ao cisalhamento (7) e (8).

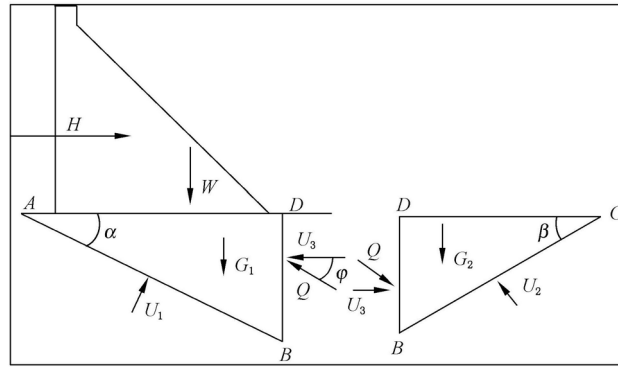


Figura 1 Diagrama esquemático do painel de deslizamento de cunha dupla

(1) Quando a estabilidade do bloco ABD é considerada:

$$K'_1 = \frac{f'_1 [(W + G_1) \cos\alpha - H \sin\alpha - Q \sin(\varphi - \alpha) - U_1 + U_3 \sin\alpha] + c'_1 A_1}{(W + G_1) \sin\alpha + H \cos\alpha - U_3 \cos\alpha - Q \cos(\varphi - \alpha)} \dots\dots (5)$$

(2) Quando a estabilidade do bloco BCD é considerada:

$$K'_2 = \frac{f'_2 [G_2 \cos\beta + Q \sin(\varphi + \beta) - U_2 + U_3 \sin\beta] + c'_2 A_2}{Q \cos(\varphi + \beta) - G_2 \sin\beta + U_3 \cos\beta} \dots\dots\dots (6)$$

O factor de segurança antiderrapante K' é resolvido de acordo com $K' = K'_1 = K'_2$.

onde

K'_1 and K'_2 é o factor de segurança de estabilidade antiderrapante calculado de acordo com a resistência ao cisalhamento;

W é o componente vertical de todas as cargas (excluindo a pressão ascendente, a mesma abaixo) que actua sobre o corpo da barragem, em kN;

H é o componente horizontal de todas as cargas que actuam sobre o corpo da barragem, em kN;

G_1 and G_2 é a força de ação vertical do peso das massas rochosas ABD e BCD, em kN;

f'_1 and f'_2 é o coeficiente de atrito resistente ao cisalhamento das superfícies deslizantes AB e BC;

c'_1 and c'_2 é a força coesiva resistente ao cisalhamento das superfícies deslizantes AB e

BC, in kPa;

A_1 e A_2 é a área das superfícies AB e BC, em m²;

α e β é o ângulo de intersecção entre as superfícies AB e BC e o plano horizontal, em (°);

U_1, U_2 e U_3 é a pressão ascendente nas superfícies AB, BC e BD, em kN;

Q é a força que actua na superfície BD, em kN.

Φ é o ângulo de intersecção entre a força que actua na superfície BD e o plano horizontal; a seleccionar na demonstração; por uma questão de segurança, pode ser necessário 0°.

(3) Se a estabilidade do bloco ABD for considerada:

$$K_1 = \frac{f_1 [(W + G_1) \cos\alpha - H\sin\alpha - Q\sin(\varphi - \alpha) - U_1 + U_3\sin\alpha]}{(W + G_1) \sin\alpha + H\cos\alpha - U_3\cos\alpha - Q\cos(\varphi - \alpha)} \dots\dots(7)$$

(4) Se a estabilidade do bloco BCD for considerada:

$$K_2 = \frac{f_2 [G_2\cos\beta + Q\sin(\varphi + \beta) - U_2 + U_3\sin\beta]}{Q\cos(\varphi + \beta) - G_2\sin\beta + U_3\cos\beta} \dots\dots\dots(8)$$

O factor de segurança antiderrapante K é resolvido de acordo com $K = K_1 = K_2$.

onde

K_1 e K_2 é o factor de segurança antiderrapante de estabilidade calculado de acordo com a resistência ao cisalhamento;

f_1 e f_2 é o coeficiente de atrito de resistência ao cisalhamento das superfícies deslizantes AB e BC.

4) O cálculo da estabilidade antiderrapante para o corpo da barragem gravítica deve cumprir os seguintes requisitos.

(1) A análise de estabilidade antiderrapante deve ser calculada de acordo com a fórmula de resistência ao cisalhamento. O cálculo pode ser realizado de acordo com a fórmula de resistência ao cisalhamento quando a massa rochosa da fundação da barragem é relativamente fraca, como rocha macia ou uma superfície estrutural fraca.

- (2) O factor de segurança antiderrapante K' e K para o cálculo da estabilidade de deslizamento profundo da fundação da barragem não deve ser inferior aos valores exigidos na Tabela 4 e na Tabela 5.

Tabela 4 Factor de segurança da estabilidade de antideslizamento K' calculado de acordo com as fórmulas de quebra de cisalhamento

Combinação de carga		K'
Combinação básica		3.0
Combinação especial	(1) Situação de cheia verificada	2.5
	(2) Situação de terramoto	2.3

Tabela 5 Factor de segurança da estabilidade de antideslizamento K calculado de acordo com as fórmulas de cisalhamento

Combinação de carga		K
Combinação básica		1,05
Combinação especial	(1) Situação de cheia verificada	1.00
	(2) Situação de terramoto	1.00

6.1.4 Construção do corpo da barragem

6.1.4.1 As galerias e passagens no interior da barragem devem cumprir as seguintes disposições.

- a) As galerias e passagens no interior da barragem devem ser concebidas para múltiplos fins, incluindo a gunitagem das fundações, drenagem, monitorização da segurança, inspecção e manutenção, operação, mobilidade no interior da barragem e os requisitos do período de construção. Com base no cumprimento dos requisitos operacionais e de construção, as galerias e passagens devem ser combinadas, e a quantidade e dimensões das galerias e passagens devem ser minimizadas.
- b) A galeria não deve ser providenciada para barragens baixas; quando a altura da barragem for superior a 30 m ou o equipamento de gunitagem for limitado, deve ser providenciada uma galeria de gunitagem de fundação.
 - A espessura do piso da galeria não deve ser inferior a 3 m, a espessura do betão entre a galeria e a superfície da barragem a montante deve satisfazer os requisitos de anti-infiltração (de preferência 0,05 a 0,1 vezes a altura de água que actua sobre a face da barragem) e não deve ser inferior a 3 m, e a distância em relação a outros túneis de descarga não deve ser inferior a 3 m até 5 m.
 - O declive longitudinal da galeria de gunitagem da fundação deve ser inferior a 45°; a inclinação da galeria longa é superior a 45°, a plataforma de segurança e os corrimãos devem ser dispostos em secções e a diferença de elevação da plataforma de segurança deve ser de 15 m a 20 m.
 - Quando a inclinação de ambas as margens for superior a 45°, a galeria de gunitagem da fundação pode ser disposta em camadas e ligada com veios verticais.

- c) A secção da galeria no interior da barragem pode ter forma arqueada ou rectangular.
- O tamanho da secção da galeria de gunitagem da fundação deve ser determinado de acordo com as dimensões e requisitos operacionais da máquina e ferramentas de furação e gunitagem, com uma largura na ordem dos 2,5 m a 3,0 m e uma altura na ordem dos 3,0 m a 3,5 m.
 - As dimensões das outras galerias devem poder assegurar as suas funções e passagem livre, com uma largura não inferior a 1,2 m e uma altura não inferior a 2,2 m.
- d) A galeria deve estar equipada com iluminação suficiente e boas condições de ventilação, e todos os tipos de equipamento eléctrico e linhas devem estar devidamente isolados. A drenagem por gravidade pode ser utilizada quando o fundo da galeria é superior ao nível verificado das águas a jusante; um poço colector deve ser providenciado e bombeado por uma bomba de água quando o fundo da galeria é inferior ao nível verificado das águas a jusante.
- e) A ponte de acesso por detrás da barragem deve ser construída na face a jusante da barragem, acima do nível elevado de água, que deve ser coordenada com a disposição das cavernas e galerias no corpo da barragem.
- f) Devem ser implementadas medidas eficazes de combate a incêndios na galeria e nas câmaras da bomba de água.

6.1.4.2 As juntas do corpo da barragem devem cumprir as seguintes disposições.

- a) A divisão das juntas longitudinais e transversais deve ser determinada por comparação global, de acordo com as condições geológicas e topográficas, disposição do corpo da barragem, dimensão da secção do corpo da barragem, tensão de temperatura e condições de construção. O intervalo entre juntas transversais deve ser de 15 m a 20 m e o intervalo entre juntas longitudinais deve ser de 15 m a 30 m.
- b) Quando as juntas transversais forem utilizadas como juntas de dilatação ou juntas de subsidência, estas devem ser construídas como juntas permanentes, não deve ser aplicada gunitagem na superfície da junta e devem ser tomadas medidas de vedação de água junto à superfície da barragem a montante. Nos casos seguintes, as articulações transversais devem ser temporárias e deve ser-lhes aplicada gunitagem no todo ou em parte.
- 1) Se o vale for estreito, uma barragem gravítica monolítica é utilizada com vista a reforçar a estrutura e a estabilidade do corpo da barragem.
 - 2) As secções adjacentes da barragem estão ligadas ao todo para melhorar a estabilidade do corpo da barragem no talude da margem se este for relativamente íngreme.
 - 3) As secções adjacentes da barragem estão ligadas ao todo para aumentar a rigidez do corpo da barragem nas secções localizadas numa zona vulnerável a fracturas.

- 4) As secções adjacentes da barragem estão ligadas ao todo para aumentar as propriedades anti-sísmicas do corpo da barragem na área meizosísmica com um pico de aceleração do movimento de terra superior a 0,2 g.
- c) O espaçamento das juntas transversais deve ser adaptado à estrutura da barragem, tais como tubos embutidos na barragem, túnel de descarga, saída inferior de desvio e saída superficial de transbordo no coroamento da barragem. Para a secção da barragem num talude de uma margem, as juntas transversais devem ser colocadas nas posições com quebras ou curvas.
- d) As juntas longitudinais não devem ser necessárias para barragens médias/baixas, mas podem ser consideradas devido à limitação da capacidade de colocação ou aos requisitos de controlo de temperatura.
- As juntas longitudinais podem ser utilizadas a uma determinada elevação; se forem prolongadas até à superfície da barragem, devem cruzar-se com a superfície da barragem na vertical.
 - Na superfície da junta longitudinal, deve ser colocada a ranhura de chaveta horizontal e o sistema de gunitagem deve ser enterrado para gunitagem.
- e) As juntas longitudinais e transversais devem ser divididas em várias áreas com as placas batentes da gunitagem para gunitagem. A superfície de cada área de gunitagem pode ser de 200m² a 400m², a sua altura pode ser de 10 m a 15 m e a pressão de gunitagem pode ser de 0,1 MPa a 0,3 MPa. A aplicação de gunitagem deve ser efectuada durante a época de baixa temperatura; a temperatura de gunitagem deve ser a temperatura estável do corpo da barragem.
- f) A espessura dos blocos de betonagem separados por juntas de construção horizontais deve ser de 1,5 m a 4,0 m, e o valor mais pequeno é escolhido quando está próximo da superfície do leito rochoso.
- Antes do betão superior ser colocado, é necessário lavar as juntas horizontais de construção, pavimentar com argamassa de cimento ou betão de agregado fino com 20 mm a 30 mm de espessura, e as juntas horizontais de construção entre blocos de betonagem adjacentes na mesma secção da barragem devem ser alternadas.
 - Quando a junta de construção horizontal intersectar com o arco superior da galeria, a distância da junta de construção horizontal acima da galeria até ao topo da galeria não deve ser inferior a 1,5 m.

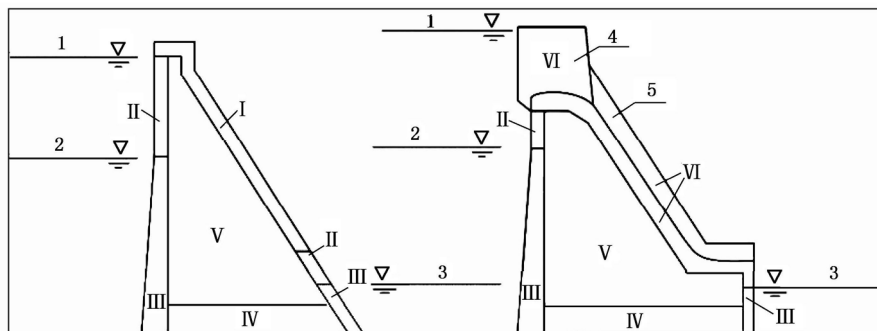
6.1.4.3 A vedação e drenagem de água do corpo da barragem deve cumprir as seguintes disposições.

- a) As instalações de vedação de água devem ser dispostas na superfície a montante (incluindo a parede contra ondas), no plano de transbordo e abaixo do nível mais alto de água a jusante na superfície a jusante e à volta das galerias e túneis na passagem da barragem através das juntas.
- b) O sistema de vedação de água no plano de transbordo deve ser soldado com a estrutura hidromecânica embutida no fundo da comporta para formar uma estrutura fechada. As instalações de vedação de água da parede contra ondas devem estar ligadas ao sistema de vedação de água do corpo da barragem.

- c) A faixa de vedação de água na junta transversal perto da superfície a montante deve estar devidamente ligada à fundação da barragem e a profundidade da faixa de vedação de água enterrada no leito rochoso pode ser de 0,3 m a 0,5 m.
- A faixa de vedação de água pode utilizar uma faixa de cobre com uma espessura de 1,0 mm a 1,2 mm; a junta transversal entre a faixa de vedação de água e a superfície da barragem a montante pode ser preenchida com materiais de vedação flexíveis.
 - A faixa de vedação de água de cobre deve ser moldada; o comprimento de cada lado embutido no betão não deve ser inferior a 0,2 m a 0,25 m.
 - A barragem gravítica com uma altura inferior a 30 m pode utilizar cordões de plástico ou borracha para vedar a água; os modelos padrão apropriados devem ser seleccionados de acordo com a altura operacional, condições climáticas, posição e conveniência de construção, e devem ser tomadas medidas eficazes para evitar deformações durante a instalação.
- d) Uma tubulação de drenagem recta ou quase recta deve ser instalada a jusante da barreira impermeável na superfície a montante do corpo da barragem.
- A parte inferior do tubo de drenagem deve ser ligada à galeria de drenagem longitudinal, e a parte superior deve ser ligada à galeria superior ou ao coroamento da barragem (ou abaixo da superfície de transbordo).
 - O tubo de drenagem pode ter a forma de um tubo estirado, furos perfurados ou betão não-fino prefabricado; o espaçamento dos tubos deve ser de 2 m a 3 m e o diâmetro interno dos tubos deve ser de 0,15 m a 0,25 m.
- e) A água que penetra no tubo de drenagem deve ser recolhida para a galeria de drenagem longitudinal, importada para o poço colector de água ao longo do tubo colector ou tubo colector de drenagem e depois drenada para o lado a jusante por bombeamento ou caudal por gravidade. A área da secção de uma vala de descarga deve ser de 0,3 m x 0,3 m e o talude inferior deve ser de 3‰. Deve evitar-se que a construção de tubos de drenagem seja bloqueada por betão ou detritos.
- f) Para a impermeabilização de uma barragem de alvenaria de pedra, qualquer uma das faces de betão (betão armado) pode ser colocada no lado a montante do corpo da barragem, ou as paredes do núcleo de betão podem ser instaladas perto da superfície a montante. A espessura superior do painel de betão ou da parede do núcleo não deve ser inferior a 300 mm e a espessura inferior deve ser de 1/30 a 1/60 da altura máxima de água.

6.1.4.4 O zonamento dos materiais do corpo da barragem deve cumprir as seguintes disposições.

- a) Cimento, agregados, água, aditivos e aditivos utilizados para o betão da barragem devem cumprir as disposições das normas locais em vigor.
- b) O betão da barragem deve ser zonado de acordo com diferentes posições e condições, como ilustrado na Figura 2. Os requisitos de desempenho do zonamento estão sujeitos às disposições da Tabela 6.



Legenda

- 1 nível máximo de água a montante
- 2 nível mínimo de água a montante
- 3 nível mínimo de água a jusante
- 4 plataforma da comporta
- 5 parede guia
- I área de betão na superfície externa do corpo da barragem acima do nível da água a montante e a jusante
- II área de betão na superfície externa do corpo da barragem nas áreas de mudança do nível de água a montante e a jusante
- III área de betão na superfície externa do corpo da barragem abaixo do nível da água a montante e a jusante
- IV área de betão da fundação do corpo da barragem
- V área de betão no interior do corpo da barragem
- VI área de betão em pontos de anti-decapagem (como superfície de transbordo, abertura de descarga, parede divisória e plataforma da comporta)

Figura 2 Diagrama de zonamento do corpo da barragem em betão
Tabela 6 Requisitos de desempenho do zonamento de betão da barragem

Áreas	Força	Anti permeabilidade	Resistente a gelo	Anti decapagem	Anti erosão	Calor baixo	Relação máxima água-cimento	Principais elementos para zonamento
I	+	-	++	-	-	+	+	Resistente às geadas
n	+	+	++	-	+	+	+	Resistente às geadas e anti-fractura
III	++	++	+	-	+	+	+	Anti-permeabilidade e anti-fractura
IV	++	+	+	-	+	++	+	Anti-fractura
V	++	+	+	-	-	++	+	
VI	++	-	++	++	++	+	+	Anti-decapagem e resistente ao desgaste

NOTA Na tabela, os itens marcados com "++" são os principais factores de controlo para seleccionar a classe de betão para várias áreas, os itens marcados com "+" são os itens para os quais os requisitos devem ser aumentados e os itens marcados com "-" são os itens para os quais os requisitos não precisam ser aumentados.

- c) O grau de resistência do betão no mesmo bloco não deve exceder dois tipos, a diferença de grau não deve exceder dois níveis, e a espessura não deve ser inferior a 2 m a 3 m.
- d) A resistência do betão em redor de grandes orifícios, como aberturas de fundo de desvio, tubulação de desvio e túneis de descarga de água no corpo da barragem, bem como o betão no corpo da barragem com aceleração de pico de movimento do solo acima de 0,2 g deve ser adequadamente aumentada.
- O grau de resistência do betão no corpo da barragem não deve ser inferior a C₉₀ 10 (de acordo com a amostra cúbica com comprimento lateral de 150 mm fabricada e curada com método padrão; a resistência à compressão com uma taxa de sucesso de 80% medida com o método de ensaio padrão até 90 dias de idade não deve ser inferior a 10 MPa).
 - O grau de resistência do betão na superfície de transbordo não deve ser inferior a C₂₈ 25 (de acordo com a amostra cúbica com comprimento lateral de 150 mm fabricada e curada com método padrão; a força de compressão com uma taxa de sucesso de 95% medida com o método de ensaio padrão até 28 dias de idade não deve ser inferior a 25 MPa).
- e) Para além dos requisitos de resistência do projecto, o betão da barragem deve também satisfazer os requisitos de curabilidade de anti-infiltração, resistência à geadas, anti-decapagem e resistência ao desgaste e resistência à corrosão e baixa resistência ao calor, respectivamente, de acordo com as condições de funcionamento da barragem e as condições específicas do clima local.
- f) O grau de resistência à infiltração do betão da barragem deve ser adoptado de acordo com a Tabela 7, de acordo com as posições e o gradiente hidráulico. No que diz respeito às estruturas sujeitas à corrosão causada pela água, o seu grau de resistência à infiltração deve ser particularmente testado e estudado, mas não deve ser inferior a W4; o grau de resistência à infiltração do betão deve ser medido com uma amostra com 90 dias de idade, de acordo com o tempo para o corpo da barragem suportar a acção da pressão da água.

Tabela 7 Valor mínimo admissível do grau de resistência à infiltração do betão da barragem

Não.	Posição	Gradiente hidráulico	Nível de resistência a infiltrações
1	No interior do corpo da barragem		W2
2	Outras posições do corpo da barragem devem ser consideradas em conformidade com o gradiente hidráulico.	$i < 10$	W4
		$10 \leq i < 30$	W6
		$30 \leq i < 50$	W8
		$i \geq 50$	W10
NOTA	Na Tabela, / refere-se ao gradiente hidráulico.		

- g) Em relação às regiões com requisitos de resistência à geadas, o grau de resistência à geadas para o betão da barragem deve ser seleccionado com referência ao Quadro 8 e de acordo com múltiplos factores, incluindo o zonamento climático, tempos de ciclo de congelamento, condições microclimáticas locais da superfície, grau de saturação de humidade, importância dos componentes estruturais e a complexidade da assistência. O grau de resistência à geadas do betão na região onde a temperatura média mensal é inferior a -25 °C deve ser determinado de acordo com a situação específica.

Tabela 8 Grau de resistência à geada do betão da barragem

Regiões climáticas	Região de frio severo		Região fria		Região temperada
	≥100	<100	≥100	<100	
Tempos de ciclo anual de congelamento-descongelamento (tempos)	≥100	<100	≥100	<100	
As posições que são importantes na estrutura suportam um frio extremo e são difíceis de prestar assistência: A barragem de transbordo com velocidade de caudal superior a 25 m/s, gelo transbordante, sedimentos pesados ou carga pesada no leito, buracos profundos ou superfície de transbordo em outra posição e betão de segunda fase.	F400	F300	F300	F200	F100
Posições que suportam um frio extremo, mas que têm condições de prestar assistência; a) Área de mudança de nível de água da superfície a montante de uma barragem gravítica no inverno; (b) Superfícies de transbordo do descarregador de cheia e saídas de água com velocidade de caudal inferior a 25 m/s.	F300	F250	F200	F150	F50
As posições que resistem a um frio relativamente extremo: A posição exposta no lado sombreado da barragem gravítica	F250	F200	F150	F150	F50
As posições que suportam ligeiramente o frio: A posição exposta no lado ensolarado de uma barragem gravítica.	F200	F150	F100	F100	F50
Parte subaquática ou betão interno da barragem gravítica	F50				
NOTA 1	Os tempos do ciclo anual de congelamento-degelo referem-se aos tempos de alternância para a temperatura do ar que cai desde mais de +3 °C para menos de -3 °C e depois sobe até acima de +3 °C num ano e os tempos de subida-descida dos níveis de água pré-definidos quando a temperatura média diária do ar é inferior a -3 °C num ano, o que for maior;				
NOTA 2	O padrão de zonamento climático é: Região fria severa refere-se a uma região com a temperatura média mensal inferior ou igual a -10 °C ; Região fria refere-se a uma região com a mais baixa temperatura média mensal superior a -10 °C , mas inferior ou igual a -3 °C ; Região temperada refere-se a uma região com a mais baixa temperatura média mensal superior a -3 °C.				
NOTA 3	O lado ensolarado refere-se à superfície que não ficará na sombra do maciço ou edifício se a maioria dos dias no inverno forem bons e o tempo médio de luz solar for de 4 horas. Caso contrário, deve ser considerado o lado sombreado.				

- h) De acordo com os requisitos de durabilidade do betão da barragem, a relação água-cimento do betão não deve ser superior aos valores indicados na Tabela 9.

Tabela 9 Relação máxima de água-cimento do betão

Regiões climáticas	Zonamento do betão da barragem					
	I	n	III	IV	V	VI
Regiões frias e muito frias	0,55	0,45	0,50	0,50	0,65	0,45
Região temperada	0,60	0,50	0,55	0,55	0,65	0,45

- i) Se a água ambiente for erosiva, o cimento com melhor desempenho antierosivo deve ser seleccionado; a relação água-cimento do betão na área externa de mudança de nível de água e do betão subaquático pode ser reduzida em 0,05 em comparação com a da Tabela 9. Para o betão na área de caudal de alta velocidade, deve ser utilizado o betão em regime de caudal baixo ou o betão em pó de silício de alta resistência com propriedades anti-erosivas e de resistência ao desgaste.

6.1.4.5 Os materiais do corpo da barragem de alvenaria devem cumprir os seguintes regulamentos.

- a) A pedra de alvenaria deve ter uma textura fresca, completa e dura, sem espinhas nem fissuras. A pedra de alvenaria deve ser de forma aproximadamente quadrada, basicamente paralela e aproximadamente lisa nos lados superior e inferior, e ter uma espessura superior a 200 mm sem cantos afiados ou arestas finas.
- b) Os materiais de ligação do corpo em alvenaria incluem argamassa de cimento e betão. A relação de Poisson μ dos blocos de alvenaria deve ser de 0,2 a 0,25.
- c) A resistência máxima à compressão f_{cc} das pedras de alvenaria pode ser seleccionada de acordo com a Tabela 10.

Tabela 10 Resistência máxima à compressão axial dos blocos de alvenaria

Unidade: MPa

Bloco de alvenaria	Resistência compressiva da rocha saturada	Força					
		Betão		Argamassa de cimento			
		15,0	10,0	12,5	10,0	7,5	5,0
Pedra de alvenaria	≥100	24,0	18,8	18,8	16,0	13,2	11,2
	80	22,0	17,1	17,1	14,8	12,2	10,0
	60	19,2	14,8	14,8	12,8	10,8	8,8
	50	17,3	13,2	13,2	11,6	10,0	8,0
	40	14,6	11,8	11,8	10,0	8,8	7,2
	30	10,8	10,0	10,0	8,8	7,0	6,4

6.1.5 Projecto do tratamento das fundações da barragem

6.1.5.1 Os princípios de tratamento das fundações da barragem devem estar em conformidade com as seguintes disposições:

- a) O esquema de tratamento da fundação deve ser determinado com base na verificação das condições geológicas do local da barragem e na análise das necessidades da barragem na fundação. O esquema de tratamento da fundação da barragem deve cumprir os seguintes requisitos.
- A fundação da barragem tem resistência suficiente para satisfazer os requisitos de estabilidade de infiltração.
 - A fundação da barragem tem integridade, homogeneidade e rigidez suficientes para satisfazer os requisitos de estabilidade antiderrapante e reduzir o desnível de assentamento.
 - A fundação da barragem tem durabilidade suficiente para evitar a deterioração da propriedade rochosa sob a acção prolongada da água.
- b) O projecto de tratamento da fundação da barragem inclui a escavação da fundação da barragem, o anti-infiltração e drenagem, gunitagem de consolidação, o tratamento da zona de ruptura da falha e da superfície estrutural fraca, e a prevenção e tratamento de infiltrações cársticas.

6.1.5.2 O projecto da escavação da fundação da barragem deve cumprir as seguintes disposições.

- a) A posição da superfície da fundação deve ser determinada através de comparação económica e técnica de acordo com os requisitos da estrutura da barragem para a fundação, efeito do tratamento de reforço da fundação e da tecnologia de construção, período de construção e despesas. A quantidade de escavação pode ser reduzida através das medidas de tratamento de reforço da fundação e medidas de ajuste da estrutura superior com base na satisfação dos requisitos de resistência e estabilidade da fundação da barragem.
- Quando a altura da barragem é superior a 50 m, pode ser construída na área central do leito rochoso com erosão ligeira a moderada.
 - Quando a altura da barragem é inferior a 50 m, pode ser construída na parte central a superior do leito rochoso com erosão moderada.
 - No que respeita à secção da barragem na posição relativamente alta, os critérios podem ser adequadamente reduzidos.
- b) A forma da superfície da fundação de uma barragem gravítica deve ser determinada de acordo com as condições geológicas e topográficas e com as exigências da estrutura superior. A diferença de elevação entre montante e jusante da superfície da fundação não deve ser demasiado grande e deve estar ligeiramente em linha com o lado a montante. Se a diferença de elevação da superfície da fundação for demasiado grande ou em linha com o lado a jusante, esta deve ser escavada em forma de grande degrau com um ângulo obtuso.
- A diferença de elevação entre os degraus deve ser coordenada com a dimensão dos blocos de betonagem do betão e a posição da sub-junta, e adaptar-se à espessura do betão do corpo da barragem no pé da barragem. A diferença de elevação não deve exceder 5 m, e o degrau deve ser ligado a um talude regular com declive superior a 1: 0,5.

- No que respeita à posição com grande diferença de elevação da fundação, a divisão da secção da barragem deve ser ajustada ou deve ser efectuado o tratamento necessário.
- c) A superfície da fundação das secções da barragem em talude na margem deve ser escavada em degraus com largura suficiente ao longo do eixo da barragem, ou devem ser tomadas outras medidas estruturais para garantir a estabilidade lateral do corpo da barragem.
- d) Se defeitos geológicos de engenharia local na fundação, tais como fracturas de superfície misturadas com lama, cápsulas erodidas, zona de fracturas, área densa da junta, material de enchimento do cárter e camada intermédia fraca enterrada devem ser removidos em combinação com a escavação da fundação ou devem ser tratados após a escavação local.
- e) O método de rebentamento na escavação da fundação da barragem deve ser assegurado para proteger a massa rochosa da fundação da barragem de ser danificada ou exposta a consequências adversas. Devem ser tomadas as medidas de protecção correspondentes para as massas rochosas vulneráveis à erosão e que podem virar facilmente com a lama.

6.1.5.3 A gunitagem de consolidação para a fundação da barragem deve cumprir as seguintes disposições.

- a) A concepção da gunitagem de consolidação para a fundação da barragem deve ser determinada de acordo com as condições geológicas de engenharia da fundação da barragem, a altura da barragem e os dados de ensaio da gunitagem, e deve cumprir as seguintes disposições.
 - 1) A gunitagem de consolidação deve ser executada numa determinada faixa a montante e a jusante da fundação da barragem; quando surgem fracturas na massa rochosa da fundação da barragem e a gunitagem de consolidação é uma opção, a gunitagem de consolidação pode ser executada em toda a zona da fundação da barragem, e a zona de gunitagem de consolidação pode ser adequadamente expandida para lá da fundação da barragem, de acordo com as condições de tensão e geológicas da fundação da barragem.
 - 2) A gunitagem de consolidação deve ser realizada para a fundação da barragem no lado a montante da cortina impermeável.
 - 3) A gunitagem de consolidação deve ser reforçada na zona de fractura da falha ou nas zonas afectadas em ambos os lados, ou para outros defeitos geológicos.
 - 4) Após a escavação e enchimento da caverna cárstica e do canal na fundação, a gunitagem de consolidação deve ser devidamente reforçada em torno das cavernas cársticas e das ranhuras de solução na fundação, após a limpeza e o enchimento de acordo com a distribuição cárstica.

- b) O espaçamento dos poros e o espaçamento entre linhas dos furos de consolidação podem estar no intervalo de 3 m a 4 m, ou determinados através do teste de gunitagem. A profundidade da gunitagem de consolidação deve ser determinada de acordo com a altura da barragem e as condições geológicas após a escavação, podendo situar-se no intervalo de 5 m a 8 m.
- c) Os furos da gunitagem de consolidação devem ser dispostos em forma de quincôncio; em relação às zonas de falha e fractura relativamente extensas, os furos devem ser dispostos de maneira especial. A direcção dos furos de gunitagem deve ser determinada em função da ocorrência de fracturas principais combinadas com as condições de construção, para que possam passar por mais fissuras.
- d) A gunitagem de consolidação da fundação da barragem na zona a montante da cortina e na posição com defeito geológico deve ser realizada após a aplicação da cobertura protectora de betão de 3 m a 4 m e a gunitagem de consolidação noutros pontos pode ser realizada sob a forma de cobertura protectora de betão, de acordo com as condições geológicas; mediante demonstração, a gunitagem de consolidação também pode ser realizada sem cobertura protectora de betão ou por vedação com betão de nivelamento.
- e) De acordo com o princípio de não levantamento da massa rochosa da fundação e do betão de cobertura, a pressão da gunitagem de consolidação deve ser aumentada o máximo possível.
- Quando há uma cobertura protectora pesada, a pressão pode ser entre 0,4 MPa e 0,7 MPa, de acordo com a espessura da manta.
 - Quando a gunitagem é vedada com betão de nivelamento, a sua pressão de gunitagem deve ser determinada através de testes de gunitagem, podendo ser de 0,2 MPa a 0,4 MPa.
 - No que diz respeito ao leito rochoso e à rocha macia com superfície estrutural de baixo ângulo, a sua pressão de gunitagem deve ser determinada através de ensaio de gunitagem.

6.1.5.4 O projeto de anti-infiltração e drenagem da fundação da barragem deve cumprir as seguintes disposições.

- a) O projecto de controlo de infiltração e drenagem da fundação da barragem deve basear-se na geologia de engenharia, estado hidrogeológico e dados de teste de gunitagem da fundação da barragem, em combinação com a função do reservatório e a altura da barragem e considerar de forma exaustiva a relação entre a anti-infiltração e a drenagem para determinar as medidas específicas.
- b) A anti-infiltração da fundação da barragem deve ser feita através de gunitagem de cortinas. A cortina impermeável deve cumprir os seguintes requisitos.
- 1) Reduzir a infiltração da fundação da barragem e em torno da barragem para evitar que o caudal da infiltração afecte negativamente a estabilidade da fundação da barragem e os taludes de ambos os lados.

- 2) Evitar falhas de infiltração nas fracas superfícies estruturais da fundação da barragem, numa zona de fractura por falha, enchimento de ruptura de massa rochosa e estrato rochoso com fraca impermeabilidade.
 - 3) Baixar a pressão ascendente e a infiltração da fundação da barragem dentro do valor permitido sob a acção conjunta da cortina e da drenagem da fundação da barragem.
 - 4) Ter continuidade fiável e impermeabilidade e durabilidade suficientes.
- c) A linha central da cortina de gunitagem deve ser colocada a 1/10 da largura do fundo da barragem a partir da superfície da barragem.
- d) A profundidade de gunitagem da cortina deve ser determinada de acordo com as condições hidrogeológicas da fundação rochosa, e deve cumprir as seguintes disposições.
- 1) Cortina fechada: quando existe uma camada impermeável relativa fiável sob a fundação da barragem, e a profundidade de enterramento é relativamente baixa, a cortina impermeável deve ser prolongada de 3 m a 5 m neste estrato rochoso. A taxa permeável q da camada relativamente impermeável deve ser de 5 Lu.
 - 2) Cortina suspensa: quando a profundidade de enterramento da camada impermeável relativa sob a fundação da barragem é relativamente profunda ou a distribuição da camada impermeável relativa é irregular, a profundidade da cortina deve ser determinada por estudos com referência ao cálculo da infiltração, consideradas as condições geológicas de engenharia e a pressão de elevação da fundação da barragem, e em combinação com a experiência da engenharia, e deve ser seleccionada no âmbito de 0,3 a 0,7 vezes a altura da água.
- e) O comprimento da cortina impermeável estendida no talude da margem e a direcção do eixo da cortina devem ser determinados de acordo com as condições geológicas e hidrológicas de engenharia. A cortina deve ser prolongada até à camada impermeável relativa ou à intersecção entre o nível normal do reservatório e o nível de água subterrânea, e deve ser ligada à cortina no leito do rio.
- f) A cortina impermeável pode ser disposta em fila única.
- Quando é necessário reforçar a cortina anti-infiltração na área com más condições geológicas, particularmente fissuras de massa rochosa desenvolvidas ou possível deformação de infiltração, o número de linhas de cortina pode ser adequadamente aumentado.
 - Quando a cortina é formada com várias filas de furos de gunitagem, uma fila de furos deve ser perfurada até à profundidade de projecto e a profundidade das filas restantes pode ser de 1/2 a 2/3 da profundidade de projecto.
 - A distância do buraco da cortina pode ser de 1,5 m a 3 m e a distância da linha pode ser ligeiramente inferior.

- Os furos devem ser feitos através da fractura principal e do leito da massa rochosa, e podem ser construídos como furos inclinados com ângulo de inclinação de 0° a 10° para o lado a montante.
- g) A gunitagem da cortina deve ser feita após a colocação de betão de determinada espessura como cobertura protectora pesada. A pressão da gunitagem deve ser determinada através de teste; 1,0 a 1,5 vezes a cabeça estática na parte frontal da barragem deve ser seleccionada na 1ª secção dos furos da cortina, e então a pressão pode ser aumentada gradualmente nas secções seguintes; na secção inferior do furo, 2 a 3 vezes a cabeça estática na parte frontal da barragem pode ser seleccionada; quando a gunitagem é aplicada, o betão do corpo da barragem e a massa rochosa da fundação da barragem não devem ser levantados.
- h) Se, no corpo da barragem, existirem galerias de drenagem de gunitagem, os furos de drenagem principais da fundação da barragem podem ser construídos no lado a jusante da cortina impermeável da galeria, e a distância entre o furo de drenagem principal e o furo da cortina na superfície da fundação não deve ser inferior a 2 m.
- Quando a altura da barragem for superior a 30 m, podem ser construídas 1 a 2 filas de furos de drenagem auxiliares no lado a jusante dos furos de drenagem principais, se necessário. A distância entre os furos de drenagem principais pode ser de 2 m a 3 m, e a distância entre os furos de drenagem auxiliares pode ser de 3 m a 5 m.
 - Quando existir na fundação uma camada impermeável relativa e um estrato rochoso com ângulo de queda regular, os furos de drenagem devem ser razoavelmente dispostos de acordo com a sua distribuição.
- i) Quando a altura da barragem é baixa, as condições do leito rochoso são boas e a camada é permeável por semana (o coeficiente de permeabilidade é inferior a 1×10^{-5} mm/s), a cortina pode não ser necessária e apenas a drenagem é providenciada, mas a gunitagem de consolidação deve ser efectuada a montante da superfície de fundação da barragem.
- j) A profundidade dos furos de drenagem deve ser determinada de acordo com a profundidade da cortina e da gunitagem de consolidação e as condições geológicas e hidrogeológicas de engenharia da fundação.
- 1) A profundidade dos furos de drenagem principais deve ser de 0,4 a 0,6 vezes a profundidade da cortina, e não deve ser inferior a 10 m; quando existir um aquífero artesianos fracturado ou uma área permeável profunda na fundação da barragem, os furos de drenagem principais devem ser prolongados para esta posição, além de reforçar as medidas anti-infiltração.
 - 2) A profundidade dos furos de drenagem auxiliar pode ser de 6 m a 12 m.
- k) Quando o nível alto de água a jusante dura muito tempo ou a permeabilidade da massa rochosa é relativamente grande, a cortina fechada e impermeável deve ser construída no pé da barragem.
- l) Podem ser providenciadas instalações especiais de drenagem na fundação da barragem da secção do talude da margem; os túneis de drenagem podem ser construídos no maciço do talude da margem, quando necessário, com os furos de drenagem também construídos.

- m) Quando existir o perigo de desabamento da parede do orifício de drenagem ou o furo de drenagem passar por uma superfície estrutural fraca ou por fracturas misturadas com lama, devem ser implementadas as medidas de protecção correspondentes.

6.1.5.5 O tratamento da zona fracturada por falha e do plano estrutural fraco devem cumprir os seguintes requisitos.

- a) A zona de fractura por falha exposta no perímetro da fundação da barragem é composta principalmente por rochas tectónicas duras. Quando afecta pouco a resistência e a deformação por compressão da fundação, a massa rochosa da zona de fractura da falha e as suas zonas de influência em ambos os lados podem ser adequadamente escavadas. Quando o componente principal é rocha tectónica fraca e afecta de alguma maneira a resistência e deformação por compressão da fundação, pode ser reforçada com uma capa de betão. A profundidade da capa de betão pode ser de 1,0 a 1,5 vezes a largura da zona de fractura da falha ou determinada de acordo com o cálculo. O tratamento da zona de fractura da falha longitudinal que corre a montante e a jusante da fundação da barragem deve prolongar-se adequadamente para além do montante e jusante da fundação da barragem.
- b) O deslocamento do betão, a parede crenelada de betão, a capa de betão e outras medidas podem ser adoptadas para diferentes profundidades de superfície fraca da estrutura. Estacas antiderrapantes, cabos de ancoragem pré-tensionados e gunitagem química também podem ser adoptadas, quando necessário.
- c) Os métodos de tratamento anti-infiltração para a zona cárstica incluem a gunitagem de cortinas anti-infiltração, paredes anti-infiltração, etc., que devem ser seleccionadas de acordo com a escala, lei de desenvolvimento, propriedades de enchimento, permeabilidade e outras condições cársticas. Para cavernas cársticas ou fissuras cársticas com elevada permeabilidade, o tratamento por gunitagem de alta pressão pode ser realizado após a escavação necessária e o enchimento de betão ou a colocação de furos (poços) de bloqueio da gunite. Os materiais de gunitagem podem ser seleccionados de acordo com a escala das grutas e fissuras cársticas e os materiais de enchimento, tais como polpa de cimento puro, argamassa de cimento, polpa de massa de cimento, polpa de cinza de cimento. Se necessário, podem ser abertos furos de grande diâmetro para despejar betão de agregado fino de alto caudal.

6.1.6 Tratamento de taludes

6.1.6.1 O tratamento do talude e a concepção do reforço devem estar em conformidade com os seguintes princípios, e ser seleccionados após comparação económica e técnica.

- a) Factores como as condições topográficas e geológicas do talude, a tecnologia de construção e a dificuldade devem ser considerados de forma exhaustiva. A relação entre o edifício e o talude também deve ser considerada para os taludes associados ao edifício.
- b) Se forem necessárias múltiplas medidas para o tratamento e reforço de taludes, as características técnicas e a adequação de cada medida devem ser consideradas de forma exhaustiva, de modo a formar um sistema interrelacionado de controlo e reforço.

- c) As medidas de tratamento devem ser consideradas preferencialmente. Podem ser previstas medidas de reforço caso as medidas de tratamento não possam cumprir os requisitos ou não possam ser aplicadas.
- d) O projecto deve ser melhorado e revisto de acordo com as alterações das condições geológicas e as **informações de monitorização de segurança reveladas durante o período de construção**.

6.1.6.2 No caso de taludes relacionados com edifícios novos, no pressuposto de cumprir a disposição dos edifícios, a direcção e a forma do talude escavado deve ser determinada de acordo com as características topográficas e geológicas e deve garantir a estabilidade da inclinação. Se a direcção e a forma do talude escavado forem inconsistentes com a disposição do edifício, esta deve ser ajustada, se possível.

6.1.6.3 Uma ou mais das seguintes medidas podem ser aplicadas no tratamento e reforço de taludes :

- a) deslizamento, escavação de taludes e compressão de taludes;
- b) drenagem e controlo de infiltrações. A drenagem inclui a intercepção e drenagem na superfície do talude e acima do coroamento do talude, bem como a drenagem do corpo do talude;
- c) a protecção de taludes inclui vários suportes e protecção de alvenaria de pedra, vegetação artificial aplicada a taludes de solo e gunite, gunite de fibra, gunite de malha metálica, suporte flexível positivo e geossintético, etc. para taludes de rocha;
- d) o ancoradouro do talude inclui hastes de ancoragem, tampões antiderrapantes, etc;
- e) As estruturas de retenção incluem tipos de muros de retenção, estacas resistentes a deslizamentos, rebites no solo, medidas flexíveis de apoio passivo, etc.

6.1.6.4 Um sistema completo de intercepção e drenagem superficial deve ser instalado no tratamento e reforço de taludes. Se a estabilidade do talude estiver intimamente relacionada com a saturação da massa rochosa ou do solo e a elevação das águas subterrâneas causada pela infiltração das águas superficiais, devem ser previstas medidas anti-infiltração tanto dentro do talude como perto da área do talude.

6.1.6.5 Quando são tomadas medidas de ancoragem para reforçar o talude, a viabilidade técnica e racionalidade económica da seguinte combinação de estruturas de ancoragem e de retenção deve ser estudada:

- a) haste de ancoragem e parede de retenção;
- b) haste de ancoragem e pilha antiderrapante;

- c) haste de ancoragem e treliça de betão;
- d) haste de ancoragem e laje de betão.

6.1.6.6 O tratamento de taludes e reforços devem ter em conta a protecção ambiental e estar em harmonia com os edifícios circundantes e o ambiente.

6.1.7 Controlo de temperatura e anti-fragmentação do corpo da barragem

6.1.7.1 Os princípios de controlo de temperatura devem estar em conformidade com as seguintes disposições.

- a) No caso de uma barragem média com uma altura de barragem superior a 30 m, o projecto de controlo de temperatura deve ser realizado, devendo ser propostas normas de controlo de temperatura e medidas de prevenção de fissuras. No caso de uma barragem baixa, o controlo da temperatura e o projecto de prevenção de fissuras deve ser realizado com referência a uma experiência de engenharia semelhante.
- b) Para o projecto de controlo de temperatura, é necessário registar a temperatura média anual e a amplitude, a temperatura média mensal plurianual/térmica de dez dias, a amplitude e a duração da queda repentina da temperatura e a frequência correspondente, a temperatura da água do rio, a temperatura do solo da fundação da represa, a luz solar e a temperatura da água de reservatórios similares, etc.
- c) Para o projecto de controlo de temperatura, é necessário estudar a diferença de temperatura permitida da fundação, a diferença de temperatura entre o interior e o exterior da barragem e a temperatura máxima na barragem, e prestar atenção ao projecto de isolamento para ondas frias e inverno.
- d) O valor final da tensão do betão na zona restricta de uma fundação com 28 dias de idade não deve ser inferior a $0,85 \times 10^{-4}$. Para que a qualidade da construção seja uniforme e elevada, o módulo de deformação do leito rochoso e do betão é semelhante e o bloco de betonagem é colocado uniformemente em intervalos curtos, a diferença de temperatura permitida de uma fundação de betão normal deve ser determinada de acordo com as disposições da Tabela 11.

Tabela 11 Diferença de temperatura admissível ΔT do betão na zona restricta da fundação de betão normal

Altura até à superfície da fundação (h)	Comprimento lateral longo do bloco de betonagem (l)				
	Menos de 17 m	17 m~21 m	21 m~30 m	30 m~40 m	40 m para o bloco inteiro
0~0,21	26~24	24~22	22-19	19~16	16~14
0,21~0,41	28~26	26~25	25~22	22~19	19~17

- e) Para a superfície exposta de betão com menos de 28 dias de idade, devem ser tomadas medidas de isolamento; para as posições importantes como a zona de grande contenção da fundação e a superfície a montante, a superfície deve ser estritamente protegida. Para o betão da fundação, superfície a montante e outras posições importantes expostas durante um longo período, também devem ser consideradas medidas de isolamento para a superfície de betão exposta após 28 dias.

- f) No processo de construção, os blocos de barragens devem subir tão uniformemente quanto possível, a diferença de altura entre blocos de barragens adjacentes não deve exceder 10 m a 12 m e o intervalo de colocação entre blocos de barragens adjacentes deve ser inferior a 30 dias.

6.1.7.2 Para o controlo da temperatura, podem ser tomadas as seguintes medidas.

- a) De acordo com os requisitos anti-fissuras, o grau de resistência do betão na posição de fundação do corpo da barragem não deve ser inferior a $C_{90} 20$, e o grau de resistência do betão no corpo da barragem não deve ser inferior a $C_{90} 10$. Para a superfície a montante, o grau de resistência do betão deve ser determinado de forma exaustiva, de acordo com os requisitos de resistência à infiltração, à fissuração e à geada e com as condições de construção.
- b) É necessário organizar razoavelmente os procedimentos de construção em betão e quantidade de colocação para todo o ano. É aconselhável despejar o betão na área confinada da fundação durante a estação de baixas temperaturas, e despejar o betão à noite na estação de temperaturas altas, e deve evitar-se o despejo de betão da barragem numa área muito fria no inverno.
- c) Na premissa de não influenciar a resistência e durabilidade do betão, devem ser tomadas as seguintes medidas para reduzir o valor térmico:
- 1) utilizar cimento micro-expansivo com valor de aquecimento relativamente baixo ou óxido de magnésio relativamente alto;
 - 2) colocar betão de assentamento baixo ou betão duro;
 - 3) adicionar um aditivo eficiente;
 - 4) tomar medidas exaustivas, como melhorar a classificação do betão e adicionar a mistura.
- d) As seguintes medidas podem ser tomadas para reduzir a temperatura máxima do betão e para satisfazer os requisitos de gunitagem das juntas.
- 1) Controlar a espessura de elevação do betão. No verão, reduzir a espessura de elevação do betão, mas a espessura não deve ser inferior a 1,0 m; garantir o intervalo normal e é permitido regar ou borrifar a superfície do betão.

- 2) Reduzir a temperatura do betão durante a construção. Pulverizar água sobre a pilha de agregado áspero, pulverizar com gotículas, aumentar a altura da pilha de agregado, retirar material do coroamento do solo, misturar com a água de refrigeração, adicionar gelo quando misturar o betão e controlar rigorosamente o tempo de transporte do betão e a duração da exposição antes de cobrir a elevação do betão.
- 3) Enterrar a tubulação de água de refrigeração no corpo da barragem e a água de abastecimento para refrigeração. Quando a água é abastecida, a diferença de temperatura entre o corpo da barragem e a água de refrigeração não deve ser superior a 25 °C e a velocidade de redução de temperatura do corpo da barragem não deve ser superior a 1 °C/d.

6.2 Barragem em Arco

6.2.1 Projecto principal da barragem em arco

6.2.1.1 Para além de cumprir os requisitos de 6.1.1, o projecto da barragem em arco deve dar prioridade à selecção da forma da barragem, às condições geológicas e hidrogeológicas da base do arco do local da barragem.

6.2.1.2 As barragens em arco são classificadas como barragem de arco fino (relação espessuras-altura inferior a 0,2), barragem de arco médio (relação espessuras-altura inferior a 0,2 - 0,35), e barragem de arco grosso (relação espessuras-altura superior a 0,35). As questões estruturais das barragens causadas pelas descargas de cheias devem ser estudadas para as barragens de arco fino.

6.2.1.3 Instalações para reduzir ou esvaziar a água do reservatório devem ser consideradas para as barragens em arco. O projeto anti-sísmico é necessário para barragens em arco localizadas em áreas sísmicas.

6.2.2 Estrutura do corpo da barragem

6.2.2.1 A disposição do coroamento da barragem em arco deve cumprir os requisitos dos pontos 6.1.2.1 e 6.1.2.2.

6.2.2.2 Deve ser utilizada a descarga de cheias sobre o coroamento da barragem e através das aberturas do corpo da barragem. O modo de descarga do coroamento da barragem deve ser usado preferencialmente. As aberturas através do corpo da barragem devem ficar afastadas longe da zona de grande tensão e da zona de contenção de tensão da fundação.

6.2.2.3 Quando a cheia é descarregada através do corpo da barragem em arco, os seguintes requisitos devem ser cumpridos.

- a) O caudal descarregado deve regressar sem problemas ao canal, deve ser mantida uma distância segura suficiente entre o caudal descarregado e o pé da barragem, uma profundidade de almofada de água suficiente deve ser mantida no lado a jusante e o corpo da barragem, a estabilidade do maciço de ambos os lados e a segurança operacional de outras estruturas não devem ser afectados.

- b) Quando a quantidade de descarga de cheia é grande, a extensão longitudinal ou difusão transversal dos pontos de queda ou a dissipação da energia colidida deve ser estudada.
- c) Deve ser dada atenção à influência adversa da atomização da descarga de cheias no maciço a jusante de ambos os lados, equipamento eléctrico e mobilidade; e as medidas de protecção correspondentes devem ser tomadas, quando necessário.
- d) Quando a inundação é descarregada por uma abertura no corpo da barragem, as medidas de prevenção e descarga do lixo devem ser instaladas.

6.2.3 Projecto da forma da barragem em arco

6.2.3.1 A selecção da forma da barragem em arco deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) A forma da barragem em arco deve ser escolhida de acordo com a forma do vale (relação de aspecto) no local da barragem, condições geológicas, estabilidade dos encontros, tensão do corpo da barragem, disposição da descarga de cheias e condições de construção.
- b) Ao seleccionar a forma da barragem em arco de acordo com a forma do vale no local da barragem, devem ser cumpridas as seguintes disposições.
 - 1) Em relação a um vale em forma de V, pode ser seleccionada uma barragem em arco de curvatura dupla.
 - 2) Em relação a um vale em U, pode ser seleccionada uma barragem de arco de uma curvatura ou curvatura dupla.
 - 3) Quando a simetria do vale do rio no local da barragem é relativamente pobre, o arco horizontal do corpo da barragem pode ser concebido com um arco assimétrico.
 - 4) Quando a forma do vale do rio é irregular ou existe um sulco local profundo no leito do rio, a barragem deve ser concebida como uma barragem em arco com um encontro de amortecimento.
- c) Quando as condições geológicas e topográficas forem desfavoráveis, a forma da barragem em arco deve ser seleccionada de acordo com os seguintes requisitos.
 - 1) Pode ser adoptada uma barragem em arco com arco de curvatura variável, com anéis de arco tabular em ambas as extremidades e assente na imposta inclinada para a secção profunda do maciço.
 - 2) Pode ser adoptada uma barragem em arco com espessura de arco variável cada vez mais espessa na direcção da imposta ou com encontro de amortecimento.

- 3) Quando os leitos rochosos em ambas as margens do local da barragem são relativamente pobres ou o terreno é relativamente largo, a plataforma de gravidade ou o contra-apoio pode ser concebido para se ligar à barragem em arco.
- d) O desenho da forma da barragem em arco deve cumprir os seguintes requisitos.
- 1) Um arco com espessura e curvatura variável com alteração regular da tensão do corpo da barragem deve ser adoptado, quando necessário, para atender aos requisitos de cálculo do corpo da barragem.
 - 2) O ângulo central máximo do anel do arco horizontal pode ser entre 75° a 110°, e o ângulo de intersecção entre a linha tangente do intradorso da imposta e a linha de contorno da superfície rochosa disponível não deve ser inferior a 30°.
 - 3) A secção vertical da consola deve ter sido razoavelmente projectada e o grau de saliência da superfície a montante da consola projectada não deve ser superior a 0,3 : 1. Sob o pressuposto de satisfazer o padrão de controlo da tensão de peso morto e a disposição dos orifícios das barragens, o maior grau de saliência da superfície projectada a jusante pode ser seleccionado (horizontal a vertical).
- e) De acordo com a tensão do corpo da barragem, estabilidade do encontro e as condições específicas de engenharia, podem ser adoptadas formas de arcos que mudam de curvatura, incluindo parábola, elipse, hipérbole, círculo multicêntrico e espiral logarítmica.

6.2.3.2 O desenho da forma da barragem em arco deve seguir os seguintes passos.

- a) É necessário definir primeiro a equação curvilínea do eixo da barragem do arco, o seu ângulo central e a sua posição coordenada correspondente. Quando o eixo da barragem é um arco circular, a posição central do círculo, o raio do eixo da barragem e o ângulo semi-central devem ser determinados em primeiro lugar.
- b) O desenho da forma da barragem em arco deve primeiro determinar a consola do coroamento, o anel de arco horizontal e a forma preliminar da barragem em arco, e depois criar o projecto de optimização da forma.
- c) A posição da encosta do coroamento deve ficar no ponto mais baixo da linha da linha de secção disponível do leito rochoso no vale do rio; quando o fundo do vale do rio é relativamente plano, pode ficar na posição central do vale. A concepção da secção da consola do coroamento inclui a espessura do coroamento e do fundo, a curva da superfície a montante e a curva da superfície a jusante.
 - A espessura do arco superior é igual à espessura do coroamento da barragem e deve ser superior a 3,0 m, a espessura inferior pode ser definida preliminarmente de acordo com a experiência e, em seguida, ajustada ainda mais de acordo com os resultados da análise de tensões.

- A curva a montante de uma barragem em arco de curvatura dupla pode ser seleccionada como arco circular ou combinação de arco circular, curva quadrática, curva cúbica e outros tipos de curvas; a curva a montante de uma barragem em arco de curvatura simples pode ser seleccionada como uma linha recta ou uma linha dobrada.
 - Quando as superfícies a montante e a jusante são curvas, a superfície da barragem deve ser lisa e contínua para garantir as melhores condições de distribuição de tensão.
- d) A elevação dos anéis de arco horizontal deve ser determinada primeiro e a quantidade de anéis de arco pode ser de 5 a 10. Os tipos de arcos podem incluir arco circular holocêntrico, arco circular multicêntrico, arco elíptico, arco parabólico e espiral de toro; a curvatura deve ser gradualmente reduzida desde o coroamento até à imposta. O anel de arco horizontal pode ser abordado com a linha central do anel de arco e a função da espessura do arco; a linha central do anel de arco pode ser abordada com a equação do raio de curvatura com o ângulo central como a variável independente.
- e) A forma inicial da barragem em arco pode ser obtida determinando a consola do coroamento e o anel de arco horizontal. A racionalidade da forma da barragem em arco pode ser inspeccionada com o método de análise numérica e a forma apropriada deve ser obtida por várias iterações e optimizações. A distribuição da tensão da barragem em arco e a força de actuação na imposta será calculada pelo método da consola em arco e a estabilidade antiderrapante do encontro da barragem em arco será revista pelo método do equilíbrio do limite do corpo rígido.
- f) O projeto de optimização da forma da barragem em arco tem como objectivo organizar primeiro várias condições de restrição e considerar o volume da barragem em arco como a função objectiva optimizada; as funções de restrição incluem restrição geométrica, restrição de tensão e restrição de estabilidade; então a forma da barragem em arco deve ser resolvida através da metodologia de programação matemática. A análise de tensão estrutural deve ser realizada com o método de arco-consola.

6.2.4 Análise de tensão e estabilidade

6.2.4.1 A carga e a combinação de carga actuando sobre a barragem em arco deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) As cargas que actuam na barragem em arco incluem: peso morto do corpo da barragem, pressão hidrostática, pressão de elevação, pressão de sedimentos, pressão de ondas, pressão de gelo, pressão hidrodinâmica, carga sísmica, carga de temperatura e outras cargas possíveis.
- b) A combinação de carga de projecto de barragem em arco pode ser dividida na combinação básica e na combinação especial, de acordo com as disposições da Tabela 12.

Tabela 12 Combinação para efeitos de acção

Combinação de carga	Considerações principais	Categoria de carga										
		Peso morto	Pressão hidrostática	Carga de temperatura		Pressão de elevação	Pressão dos sedimentos	Pressão das ondas	Pressão do gelo	Pressão hidrodinâmica	Carga sísmica	
				Aumento projectado de temperatura normal	Concebida para redução normal de temperatura							
Combinação básica	1. Nível normal do reservatório	√	√	√	—	√	√	√	√	—	—	
	2. Nível normal do reservatório	√	√	—	√	√	√	√	—	—	—	
	3. Nível de inundação projectado	√	√	—	√	√	√	√	—	—	—	
	4. Nível de água morta (ou nível de água de operação mais baixo)	√	√	—	√	√	√	√	—	—	—	
	5. Outras combinações de cargas adversas comuns											
Combinação especial	1. Situação das cheias verificadas	√	√	—	√	√	√	√	—	√	—	
	2. Situação de terramoto	1) Combinação básica 1 + carga sísmica	√	√	√	—	√	√	√	√	—	√
		2) Combinação básica 2 + carga sísmica	√	√	—	√	√	√	√	—	—	√
		3) Nível de água baixo comum + carga sísmica	√	√	—	√	√	√	√	—	—	√
	3. Período de construção	1) Sem gunitagem	√	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		2) Ocorreram cheias na construção sem gunitagem	√	√	—	—	—	—	—	—	—	—
		3) Aplicação de gunite	√	—	√	√	—	—	—	—	—	—
		4) A cheia da construção ocorreu sem gunitagem	√	√	—	√	—	—	—	—	—	—
4. Outra combinação de carga adversa rara												
NOTA 1	Nas combinações de carga acima, as combinações de carga controlada podem ser seleccionadas para cálculo de acordo com a situação real do projecto.											
NOTA 2	Em áreas de terremotos frequentes, devem ser tomadas medidas para fechar o arco a tempo quando o período de construção for mais longo. Quando necessário, a carga sísmica é considerada na combinação de carga.											
NOTA 3	Condições de construção 3) deve ser necessário ter em conta a gunitagem, como uma combinação especial.											

6.2.4.2 Na análise de tensão da barragem em arco, pelo menos parte ou todos os seguintes conteúdos podem ser calculados de acordo com a escala do projecto, a situação específica da barragem e as várias fases de projecto:

- a) a distribuição da tensão por várias secções de cálculo (incluindo o encontro do arco, o coroamento do arco e outras posições com tensão a calcular) ;

- b) a tensão principal das superfícies a montante/jusante do corpo da barragem em vários pontos de cálculo;
- c) a tensão local das posições fracas (cavernas e tubagens de drenagem) do corpo da barragem;
- d) a tensão interna da fundação da barragem (particularmente a camada fraca intercalada e a falha) deve ser analisada, quando necessário.

6.2.4.3 Na análise da tensão da barragem em arco, as seguintes questões devem ser estudadas de acordo com a sua importância e necessidade:

- a) a influência de diferentes formas e disposições na distribuição da tensão do corpo da barragem;
- b) a influência da deformação das fundações sobre a tensão do corpo da barragem;
- c) a influência de grandes cavernas no corpo da barragem sobre o tensão do corpo da barragem;
- d) a influência do represamento faseado, da construção faseada, dos procedimentos de construção sobre a tensão do corpo da barragem;
- e) a influência da temperatura de vedação da junta do arco sobre a tensão do corpo da barragem; a temperatura de vedação da junta do arco que é favorável à tensão do corpo da barragem deve ser seleccionada em primeiro lugar;
- f) a influência do deslizamento do betão na tensão do corpo da barragem;
- g) antes de aplicar a gunite, as juntas transversais no corpo da barragem, deve ser verificada a tensão e estabilidade do corpo da barragem contra a capotagem da secção individual da barragem;
- h) a influência na tensão do corpo da barragem se o encontro de gravidade, o contra-apoio ou a junta periférica forem fixados para uma barragem em arco.

6.2.4.4 A análise da tensão da barragem em arco deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) A barragem em arco com uma situação relativamente complexa (como grandes cavernas na barragem em arco ou condições de fundação complicadas), o método dos elementos finitos também deve ser adoptado para análise, além do cálculo com o método da consola em arco.
- b) Quando a análise da tensão da consola em arco é realizada, o sistema de grelha da consola deve estar razoavelmente disposto de acordo com as condições topográficas e geológicas e a grelha deve ser densificada na posição com mudanças relativamente grandes de gradiente de tensão.

- c) Quando o método de elementos finitos é utilizado para análise da tensão, o âmbito de cálculo da fundação não deve ser inferior a 1,5 vezes a altura da barragem e o resultado do cálculo da tensão deve ser submetido a um tratamento equivalente. A divisão da unidade deve atender à precisão exigida pelo projecto; o tipo da unidade deve ser razoavelmente seleccionado de acordo com a forma da barragem em arco; o cálculo deve ser próximo da situação real; e o processo de construção deve ser considerado para o cálculo do peso morto do corpo da barragem.

6.2.4.5 Os índices de controlo devem cumprir as seguintes disposições.

- a) A tensão de compressão principal e a tensão de tracção principal do corpo da barragem devem cumprir as seguintes disposições quando calculadas pelo método da consola em arco.
- 1) Tensão compressiva permitida: a tensão compressiva permitida do betão pode ser determinada dividindo o valor padrão da resistência do betão (o valor final da resistência axial à compressão do corpo de alvenaria) pelo factor de segurança. O valor padrão de resistência do betão pode ter a resistência de 150 mm de cubo com 90 dias de idade, e a taxa garantida é de 80%. Para a combinação de carga básica, o factor de segurança deve ser 3,5; para a combinação de carga especial em condições não sísmicas, o factor de segurança deve ser 3,0.
 - 2) Tensão de tracção permitida: sob a premissa de manter o encontro estável, o âmbito de acção e o valor da tensão de tracção do corpo da barragem pode ser reduzido através do ajustamento da forma da barragem. Para a combinação de carga básica, a tensão de tracção não deve ser superior a 1,2 MPa; para a combinação de carga especial em condições não sísmicas, a tensão de tracção não deve ser superior a 1,5 MPa.
- b) No cálculo com o método dos elementos finitos, também deve ser calculada a tensão equivalente ao elemento finito. A tensão de tracção principal e a tensão de compressão principal do corpo da barragem obtidas de acordo com a tensão equivalente a elementos finitos devem cumprir as seguintes disposições para o índice de controlo de tensão.
- 1) Tensão de compressão admissível: está sujeita ao disposto no ponto 6.2.4.5, alínea a).
 - 2) Tensão de tracção admissível: em relação à combinação de carga básica, a tensão de tracção não deve ser superior a 1,5 MPa; em relação à combinação de carga especial em condições não sísmicas, a tensão de tracção não deve ser superior a 2,0 MPa.
- c) Na análise da tensão da barragem em arco, devem também ser verificadas a tensão e a estabilidade do corpo da barragem contra capotamento durante o período de construção, para além do período de funcionamento. Antes de aplicar a gunita, as costuras do corpo da barragem, a tensão máxima de tracção do corpo da barragem não deve ser superior a 0,5 MPa, e o ponto da força resultante deve respeitar o limite de 2/3 no centro da espessura do corpo da barragem sob a acção única do peso morto do corpo da barragem. Quando o corpo da barragem fica sujeito a uma cheia de construção antes de ser aplicada gunita nas juntas transversais, a estabilidade contra a inversão do factor de segurança para o corpo da barragem não deve ser inferior a 1.2.

- d) Quando se considera a carga sísmica, o coeficiente de segurança de compressão do betão da barragem é de 4.1 e o factor de segurança de tracção é de 2.4.

6.2.4.6 A análise de estabilidade da barragem em arco deve obedecer aos seguintes princípios.

- a) Ao avaliar a estabilidade dos encontros de ambos os lados, devem ser realizados os seguintes trabalhos básicos:
- 1) conferir os dados de prospecção geológica e hidrogeológica de engenharia para a massa rochosa de ambos os lados;
 - 2) compreender as condições de teste para as propriedades físicas e mecânicas da rocha, superfície estrutural e enchimento, estudar os resultados do teste, seleccionar e utilizar os dados do projecto de forma razoável;
 - 3) determinar as várias forças que actuam no encontro;
 - 4) adoptar o método de análise de estabilidade razoável.
- b) Ao estudar a estabilidade do encontro, é necessário analisar exhaustivamente os factores de influência, tais como a disposição da barragem (incluindo o eixo da barragem, disposição plana, estrutura do encontro em arco, forma e método de libertação de cheias), a tensão do corpo da barragem, o tratamento das fundações e o método de construção.
- c) No que diz respeito aos dados geológicos para a análise da estabilidade da barragem em arco, para além da exploração de rotina, é também necessário verificar a ocorrência (incluindo a directividade da fractura descontínua em grupos), desníveis, grau intensivo, taxa de conectividade, enchimento e diastrofismo das principais superfícies estruturais fracas que influenciam o deslizamento da massa rochosa ou que podem causar deformações relativamente significativas no encontro, bem como a possível combinação da superfície estrutural, a natureza e as suas características de distribuição do caudal de infiltração subsuperficial na massa rochosa do encontro.
- d) Os índices de mecânica das rochas para a análise da estabilidade do encontro incluem a resistência à compressão, resistência ao cisalhamento, resistência à tração e módulo de deformação, razão de Poisson e coeficiente de permeabilidade devem ser obtidos por recolha de amostras para teste de laboratório.
- e) A análise da estabilidade do encontro envolve principalmente o estudo do possível deslizamento da massa rochosa; no entanto, quando a área próxima ao lado a jusante do encontro está sujeita a deformação relativamente significativa devido a uma falha relativamente significativa ou faixa fraca, o problema de deformação do encontro também deve ser estudado em particular.
- f) O cálculo da estabilidade antiderrapante deve cumprir os seguintes requisitos.

- 1) O limite da possível massa deslizante na análise de estabilidade antiderrapante deve ser composto por várias superfícies deslizantes e faces livres. As superfícies deslizantes devem ser várias superfícies estruturais na massa rochosa, particularmente as superfícies estruturais fracas; as faces livres devem ser a superfície ou a superfície estrutural fraca. As superfícies deslizantes devem ser determinadas após a obtenção da forma mais provável de falha deslizante, com base no levantamento geológico de engenharia.
- 2) O coeficiente de resistência ao cisalhamento da superfície de deslizamento e da massa rochosa em ambos os lados (incluindo o enchimento da superfície de deslizamento) deve ser determinado através de estudo conjunto pelos projetistas, geólogos e testadores, de acordo com os valores dos testes de amostragem, em combinação com a situação real da massa rochosa, as possíveis alterações após o enchimento de água e as medidas de tratamento de engenharia tomadas, e com referência à experiência de engenharia similar.
- 3) O cálculo da estabilidade do encontro deve incluir a força de impacto transferida do corpo da barragem, o peso morto da massa rochosa, a pressão de infiltração e a carga sísmica. O método numérico de cálculo para a estabilidade antiderrapante do encontro geralmente emprega o método de equilíbrio do limite rígido do corpo. A força de actuação transferida do corpo da barragem é calculada utilizando o resultado correspondente calculado com o método do consola em arco. A barragem em arco com condições geológicas complexas deve ser analisada pelo método dos elementos finitos ou por outros métodos.
- 4) Quando o método de equilíbrio de limite de corpo rígido é usado para a análise de estabilidade antiderrapante, ele pode ser calculado de acordo com a Fórmula (3) ou a Fórmula (4).
- 5) Os factores de segurança K' e K do cálculo de estabilidade antiderrapante não devem ser inferiores aos valores requeridos na Tabela 13.

Tabela 13 Factor de segurança de estabilidade antiderrapante

Combinação de carga		K'	K
Combinação básica		3.0	1,30
Combinação especial	Condições não sísmicas	2.5	1,10
	Condições sísmicas	2,7	/

6.2.5 Construção do corpo da barragem

6.2.5.1 As juntas do corpo da barragem devem cumprir os seguintes requisitos.

- a) As juntas transversais devem ser fixadas para a barragem em arco de concreto, que deve ser disposta no sentido radial ou quase radial, a superfície da junta transversal pode ser um plano vertical, a superfície inferior da junta transversal deve ser quase ortogonal ao plano básico e o ângulo de intersecção não deve ser inferior a 60°. Deve ser fornecido um rasgo de chaveta na superfície da junta transversal e um sistema de gunitagem deve ser embutido. O rasgo de chaveta deve estar na direcção vertical, e deve ser trapezoidal ou em forma de arco.

- b) As posições e espaçamento das juntas transversais devem ser determinadas considerando factores como as condições de fundação da barragem, controlo de temperatura, distribuição da tensão no corpo da barragem, tamanho do orifício de liberação de cheia no corpo da barragem, disposição estrutural das cavernas na barragem e capacidade de colocação do betão, que podem causar fracturas no betão. O espaçamento entre as juntas transversais (comprimento do arco ao longo da superfície a montante) deve ser de 15 m a 25 m.
- c) A gunitagem das juntas deve ser aplicada em juntas transversais e longitudinais. Quando a gunitagem é aplicada, a temperatura do corpo da barragem deve ser reduzida para o valor de projecto exigido. A largura de abertura das juntas não deve ser inferior a 0,5 mm. A idade do corpo da barragem em betão de ambos os lados da junta não deve ser inferior a 4 meses após terem sido tomadas medidas eficazes. Só após a betonagem do chorume betumado atingir a força esperada, o corpo da barragem pode reter a água e suportar a força. Quando as juntas transversais (longitudinais) da barragem em arco não tiverem sido rompidas e for necessária uma contenção temporária das cheias, deve ser feita uma demonstração especial.
- d) As superfícies das juntas devem ser divididas em várias áreas fechadas com placas de betume para aplicação de gunitagem. As faixas de vedação de água da superfície a montante e a jusante das juntas transversais podem ser utilizadas em simultâneo como placas de betume para aplicação da gunitagem.
- A área de cada aplicação de gunitagem deve ser de 200 m² a 400 m², e a altura deve ser de 9 m a 15 m.
 - Na formação de tubagens de gunitagem e elevação e instalações de descarga, podem ser adoptados o modo de tracção de tubos de plásticos e o modo de caixa de despulpagem.
 - Os orifícios de entrada e saída da gunitagem e a saída do tubo de escoamento da água na mesma zona de gunitagem da junta transversal (longitudinal) devem estar concentrados nas zonas próximas da galeria ou da ponte a jusante da barragem.
- e) A pressão de enchimento da junta transversal (longitudinal) deve ser determinada de acordo com a tensão do corpo da barragem e as condições de deformação. Para além da camada superior, a parte superior da área de gunitagem deve ter uma cobertura protectora de betão de 9 m de espessura. A pressão de gunitagem da camada superior pode ser de 0,1 MPa a 0,3 MPa.

6.2.5.2 As galerias e passagens da barragem devem ser dispostas para uma variedade de fins, tais como a gunitagem das fundações, drenagem, monitorização de segurança, inspecção e manutenção, operação, mobilidade na barragem e os requisitos do período de construção. Em relação às barragens de arco fino, as galerias podem não estar dispostas. A disposição das galerias pode ser feita de acordo com 6.1.4.1.

6.2.5.3 As faixas de vedação de água devem ser dispostas na superfície a montante da junta transversal no corpo da barragem, na superfície a jusante e na superfície de transbordo das juntas transversais abaixo do nível da água de verificação a jusante, bem como na superfície de contacto entre o corpo da barragem na secção do talude íngreme e no talude lateral. As faixas de vedação de água para as juntas transversais ou fundação devem estar devidamente ligadas à fundação da barragem; a profundidade de enterramento da faixa de vedação de água ligada no leito rochoso pode ser de 0,3 m a 0,5 m. A vedação de água pode ser concebida de acordo com o ponto 6.1.4.3.

6.2.5.4 Os tubos verticais de drenagem devem ser instalados no corpo da barragem, que podem ser implementados de acordo com os requisitos do ponto 6.1.4.3. A barragem de arco fino em áreas livres de congelamento pode não estar equipada com tubos de drenagem.

6.2.5.5 O zonamento do material da barragem deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) A resistência deve ser considerada como o principal índice de controlo no projecto da divisão do grau de resistência do betão da barragem em arco. Outros índices de desempenho do betão devem ser verificados de acordo com os requisitos de diferentes partes do corpo da barragem; os índices de desempenho do betão local podem ser melhorados, quando necessário, com diferentes graus de resistência definidos. Quando a espessura do corpo da barragem é inferior a 20 m, o grau de resistência do betão não deve ser zonado. A largura mínima da mesma camada de grau de resistência do betão não deve ser inferior a 2 m.
- b) Os índices mecânicos e térmicos do betão devem ser estudados de forma exaustiva. Além de satisfazer os baixos requisitos térmicos do betão, o betão deve ter resistência suficiente, especialmente a sua resistência inicial. O índice de durabilidade do material de betão pode ser seleccionado de acordo com os requisitos do ponto 6.1.4.4.

6.2.6 Projecto do tratamento das fundações da barragem

6.2.6.1 O tratamento das fundações da barragem inclui a escavação, a gunitagem de consolidação, o controlo de infiltrações e drenagem, o tratamento contra infiltrações cársticas, a zona de fractura causada por falha e o tratamento de superfície fraca, devendo cumprir os requisitos do ponto 6.1.5. Deve ser dada especial atenção à forma da superfície das fundações, resultando em efeitos adversos na distribuição da tensão no corpo da barragem.

6.2.6.2 A escavação das fundações da barragem deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) A superfície rochosa em ambas as margens deve ser escavada num plano radial. Quando o volume escavado é demasiado substancial devido a um encontro em arco relativamente espesso, deve ser utilizado o plano radial incompleto. Está provado que a superfície rochosa para o encontro também pode ser escavada em outras formas.
- b) A diferença de elevação entre os lados a montante e a jusante da superfície da rocha na secção do leito do rio não deve ser demasiado grande e deve ser ligeiramente inclinada para o lado a montante.
- c) O projeto de rebentamento da escavação da fundação da barragem deve adoptar o método de rebentamento pré-divisão. O talude longitudinal de toda a fundação da barragem deve ser liso, sem alterações abruptas.

6.2.6.3 Para melhorar a resistência ao cisalhamento da superfície de contacto da fundação da barragem em arco e evitar infiltrações ao longo da superfície de contacto da fundação, a gunitagem de contacto deve ser efectuada para paredes íngremes com uma inclinação superior a 50° - 60°. A gunitagem de contacto deve ser realizada utilizando os furos de gunitagem de consolidação e os furos de gunitagem da cortina.

6.2.6.4 Quando a estabilidade e segurança do encontro em arco é afectada por superfícies estruturais fracas, tais como a inter-assentamento ou deslocamento dentro das duas rochas do encontro, devem ser implementadas medidas de reforço correspondentes (tais como chaves antiderrapantes, paredes de transferência de carga e consolidação da gunitagem de alta pressão) para a fundação do encontro.

6.2.7 Controlo de temperatura

6.2.7.1 O controlo da temperatura da barragem em arco deve basear-se nas condições naturais, tais como temperatura do ar, temperatura da água e temperatura do solo, e nas características estruturais do corpo da barragem, matérias-primas para o desempenho do betão e do betão, e devem ser formuladas normas razoáveis de controlo de temperatura e medidas de prevenção de fissuras.

6.2.7.2 Os requisitos de controlo da temperatura do betão podem ser implementados de acordo com os requisitos do ponto 6.1.7.

6.2.7.3 O campo de temperatura da gunitagem da barragem em arco (ou seja, o campo de temperatura da gunitagem) deve ser ajustado de acordo com o campo de temperatura do betão do corpo da barragem. A disposição dos tubos de água de refrigeração e a selecção do método de refrigeração da água deve ser benéfica para reduzir a carga de temperatura da barragem em arco. Com o tempo, deve ser aplicada gunitagem na barragem em arco com secção saliente. Quando a gunitagem é realizada na secção da barragem durante a época de temperaturas altas, a superfície da barragem deve ser mantida quente.

6.3 Barragem de enrocamento com face de betão

6.3.1 Disposições gerais

6.3.1.1 O eixo da barragem deve ser determinado por comparação técnica e económica, de acordo com as condições geológicas e topográficas do local da barragem, e a favor da colocação da laje de pé e outras estruturas do projecto, bem como da conveniência de construção. O eixo da barragem deve ficar disposto em linha recta.

6.3.1.2 O corpo da barragem pode ser construído sobre o denso depósito aluvial no leito do rio. Quando o depósito aluvial contiver uma camada de areia de sedimentos fina e uma camada de solo coesivo, a sua segurança e racionalidade económica devem ser demonstradas em combinação com a análise da estabilidade e deformação do corpo da barragem.

6.3.1.3 Quando o descarregador de cheia é colocado no encontro da barragem, a ligação entre a laje da face e a parede lateral do descarregador de cheia ou a parede guia deve ser devidamente concebidas.

6.3.1.4 Quando o estilo e o tamanho da estrutura da disposição do projecto, uma comparação exaustiva deve ser feita em combinação com o equilíbrio entre o volume escavado das rochas para as estruturas e o volume de enchimento do corpo da barragem.

6.3.2 Coroamento da barragem

6.3.2.1 O coroamento da barragem de enrocamento não deve ser inferior ao nível da cheia de verificação. O lado a montante do coroamento da barragem será providenciado com a parede contra ondas, e a elevação da parede contra ondas será superior à elevação do topo da onda. A diferença de elevação entre o coroamento da parede contra ondas e o nível normal do reservatório ou o nível da cheia de verificação pode ser calculada com a Fórmula (9). A altura da parede contra ondas pode ser de 4 m a 6 m e o coroamento da parede pode ser 1 m a 1,2 m acima do coroamento da barragem. A barreira ou curva deve ser disposta no lado a jusante do coroamento da barragem.

$$\Delta h = R_f + h_z + A \dots\dots\dots(9)$$

Onde

Δh é a diferença de altura entre o coroamento da parede contra ondas e o nível normal do reservatório ou o nível da cheia de verificação, em m;

R_f é o avanço da onda, a calcular de acordo com o Apêndice A, em m;

h_z é a diferença de altura entre a linha central da onda e o nível normal do reservatório ou o nível da cheia de verificação, a calcular de acordo com o Apêndice A, em m;

A é o bordo livre, seleccione de acordo com a Tabela 2, em metros.

6.3.2.2 A margem de assentamento deve ser reservada no coroamento da barragem, e o seu valor deve ser determinado por cálculo ou analogia de engenharia.

6.3.2.3 A largura do coroamento da barragem deve ser determinada de acordo com o requisito operacional, a disposição das instalações no coroamento da barragem e os requisitos de construção; a largura do coroamento da barragem deve ser de 5 m a 8 m. Quando o coroamento da barragem é utilizado para o transporte, a largura do coroamento da barragem deve ser seleccionado de acordo com as disposições aplicáveis.

6.3.2.4 A parede contra ondas deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) A elevação da junta horizontal entre a parede contra ondas e o topo da face de betão deve ser superior ao nível normal do reservatório.
- b) O corpo da barragem acima da elevação inferior da parede contra ondas deve ser preenchido com materiais finos de enrocamento e o pavimento deve ser colocado. Quando houver estradas no coroamento da barragem, o pavimento no coroamento da barragem deve ser concebido de acordo com as normas de estrada.

- c) O acesso de 0,6 m a 0,8 m de largura para inspecção deve ser disposto na laje de base a montante da parede vertical da parede contra ondas.
- d) A parede contra ondas deve ser firme e impermeável, e deve ser submetida a uma verificação de estabilidade e resistência. A parede contra ondas deve ter juntas de expansão nas quais deve ser instalada uma camada de cordões de cobre de vedação de água ou cintas de vedação de água em PVC, e ser ligada às faixas de vedação de água para a junta horizontal entre a parede contra ondas e a laje da face.

6.3.2.5 A estrutura do coroamento da barragem deve ser económica e prática, o projecto do edifício deve ser bonito e elegante, e a iluminação e drenagem devem ser projectadas adequadamente.

6.3.3 Talude da barragem

6.3.3.1 Quando os materiais de construção da barragem são materiais duros de boa qualidade para o enrocamento, o declive das vertentes a montante e a jusante dos taludes da barragem pode ser de 1: 1.3 a 1: 1.4; quando os materiais de construção da barragem são agregados de cascalho arenoso natural, o declive das vertentes a montante e a jusante dos taludes da barragem pode ser de 1: 1.5 a 1: 1.6. O talude da barragem construída sobre um enrocamento ou fundação macia deve ser determinada pelo cálculo de estabilidade.

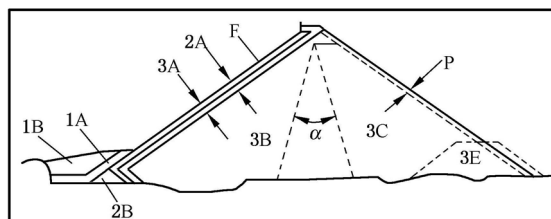
6.3.3.2 Quando as estradas são construídas no talude da barragem a jusante, o talude da barragem entre as estradas pode ser ajustado na posição local.

6.3.3.3 O talude da barragem a jusante deve ser empilhado com blocos de rocha; a superfície do talude deve ser plana e ter uma aparência adequada.

6.3.3.4 A planura deve ser obrigatória para a superfície do talude a montante na área da camada de amortecimento durante o período de construção e ser protegida de forma atempada.

6.3.4 Zonamento do corpo da barragem

6.3.4.1 O corpo da barragem deve ser zonado de acordo com as fontes agregadas, bem como com os requisitos de resistência, permeabilidade, compressibilidade, conveniência de construção e racionalidade económica. O corpo da barragem pode ser zonado, de montante a jusante, na zona da camada amortecimento, zona de transição, zona de enrocamento principal e zona de enrocamento a jusante. A área da camada intermédia amortecimento deve ser disposta abaixo das juntas periféricas. A permeabilidade à água dos materiais da barragem em diferentes áreas deve ser aumentada de montante para jusante, de acordo com o requisito de transição hidráulica. O material da barragem para a área de enrocamento a jusante acima do nível de água a jusante não está sujeito a esta restrição. A compressibilidade da secção a montante do corpo da barragem de enrocamento deve ter baixa. O enrocamento de pedra dura pode ser disposto sob a água do pé da barragem a jusante do corpo da barragem, se necessário, esta zona de enrocamento pode ser a parte integrante da enseadeira a jusante. Podem ser adicionadas zonas adicionais do corpo da barragem ao próprio corpo em combinação com os materiais rochosos escavados nas estruturas e as fontes agregadas disponíveis nas proximidades. Consulte a Figura 3 para o diagrama esquemático de zonamento do corpo da barragem de enrocamento duro sobre a fundação da rocha.



Legenda

1A	área de cobertura protectora a montante	1B	zona da cobertura protectora pesada
2A	zona da camada amortecimento	2B	zona de camadas especiais
3A	zona de transição	3B	zona principal de enrocamento
3C	área de enrocamento a jusante	3E	zona de enrocamento
P	alvenaria de blocos de pedra	F	laje de betão da face

Figura 3 Diagrama esquemático de zonamento do corpo da barragem de enrocamento duro sobre fundação rochosa

6.3.4.2 A largura horizontal da área da camada amortecimento deve ser determinada de acordo com a altura da barragem, o terreno, o processo de construção e a comparação económica.

- Quando descarregar directamente de carro, nivelar com bulldozer, a largura horizontal da área da camada amortecimento não deve ser inferior a 3 m.
- Quando são tomadas medidas especiais de espalhamento, a largura da área da camada de amortecimento pode ser reduzida e a largura da área de transição pode ser aumentada de forma correspondente.
- A área da camada amortecimento deve ser estendida adequadamente para a região a jusante ao longo da superfície de contacto do leito rochoso; o comprimento da extensão está relacionado com o terreno do talude da margem, as características do leito rochoso e a altura da barragem. A área da camada de amortecimento especial com a compactação da camada fina deve ser disposta no lado a jusante da junta periférica.

6.3.4.3 Se o material duro de enrocamento for utilizado como área principal de enrocamento, a área de transição deve ser disposta entre a área principal de enrocamento e a área da camada de amortecimento. A largura horizontal da área de transição não deve ser inferior a 3 m.

6.3.4.4 Quando o material de enrocamento mole for utilizado como área principal de enrocamento de barragens médias/baixas e a sua permeabilidade não satisfizer os requisitos de drenagem livre, a área de drenagem vertical deve ser disposta no lado a montante da barragem e a área de drenagem horizontal deve ser disposta ao longo do fundo. A capacidade de drenagem da área de drenagem deve garantir que toda a água de infiltração possa ser drenada livremente para fora da barragem; o filtro invertido pode ser disposto no lado a montante da área de drenagem vertical, quando necessário. O material de enrocamento (cascalho) para a área de drenagem deve ser duro e com alta resistência às intempéries.

6.3.4.5 No que respeita ao corpo da barragem construído com areia e cascalho, devem ser providenciadas áreas de drenagem vertical e horizontal fiáveis.

- A elevação superior da área de drenagem vertical deve ser superior ao nível normal do reservatório, e a capacidade de drenagem da área de drenagem deve garantir que toda a água de infiltração possa ser drenada livremente para fora da barragem.
- A necessidade de organizar a área de transição entre a área da camada de amortecimento e a área do enrocamento principal de cascalho de areia dependerá da classificação do agregado de cascalho de areia.
- A protecção do talude deve ser aplicada no lado a jusante, ou os materiais de rocha escavada podem ser utilizados para a área de enrocamento a jusante.

6.3.4.6 Se a fundação da barragem for uma camada de areia, e a camada intermédia em relação aos materiais da barragem não cumprir os requisitos de filtragem, o filtro horizontal deve ser disposto na superfície da fundação da barragem.

6.3.5 Materiais da barragem

6.3.5.1 Os materiais da camada de amortecimento podem ser agregados artificiais, cascalho arenoso ou uma mistura de ambos; os agregados artificiais devem ser feitos de rochas duras e altamente resistentes às intempéries. Os materiais da camada de amortecimento devem ter uma boa classificação com um tamanho máximo de partículas de 80 mm a 100 mm, o conteúdo de partículas menores que 5 mm deve ser de 30% a 50% e o conteúdo de partículas menores que 0,075 mm não deve exceder 8%. Após a compactação, deve ter baixa compressibilidade e alta resistência ao cisalhamento, e boas características construtivas. Ao represar com agregados de cascalho arenoso natural, o material da camada de amortecimento deve ter uma classificação contínua e uma estrutura interna estável; após a compactação, o coeficiente de permeabilidade deve ser de 1×10^{-4} mm/s to 1×10^{-5} mm/s. No caso de uma barragem de enrocamento com face de betão numa região fria, a composição granular do material da camada de amortecimento deve satisfazer os requisitos de permeabilidade da água.

6.3.5.2 Devem ser utilizados materiais anti-filtro com tamanho máximo de partículas não superior a 40 mm, estrutura interna estável e efeito autopolimerizante sobre as cinzas de carvão do telhado da junta, areia fina sedimentosa e chorume de calafetagem para a área de almofada especial.

6.3.5.3 O material de transição deve ser classificado continuamente e a dimensão máxima das partículas não deve exceder os 300 mm. Após a compactação de rolamento, deve ter baixa compressibilidade, alta resistência ao cisalhamento e livre permeabilidade à água. Os materiais de transição podem empregar material de enrocamento escavado, agregados de cascalho arenoso natural crivado ou material rochoso da escavação do túnel.

6.3.5.4 O material rochoso principal de rocha dura deve ter boa composição granulométrica após a compactação, e o tamanho máximo das partículas não deve exceder a espessura da camada compactada. O conteúdo de partículas menores que 5 mm não deve exceder 20% e o conteúdo de partículas menores que 0,075 mm não deve exceder 5%; deve ter baixa compressibilidade e alta resistência ao cisalhamento.

6.3.5.5 A zona de enrocamento a jusante abaixo do nível de água a jusante deve ser construída com material de enrocamento duro e altamente resistente às intempéries, e o conteúdo de partículas menores que 0,075 mm deve ser controlado para não ser superior a 5%, após a compactação de rolamento, deve drenar a água livremente; os requisitos para materiais de barragens da zona de enrocamento a jusante acima do nível da água a jusante podem ser reduzidos.

6.3.5.6 Quando é realizada a represa com agregado de cascalho arenoso, os agregados devem ser utilizados na área seca da barragem se o teor de partículas menores que 0,075 mm for superior a 8%.

6.3.6 Normas de enchimento

6.3.6.1 Os padrões de enchimento do material da camada de amortecimento, material de transição, material principal de enrocamento e material de enrocamento a jusante podem ser seleccionados preliminarmente pela experiência de acordo com a Tabela 14; no projecto, a porosidade ou densidade relativa, o parâmetro de classificação e compactação rolante dos materiais da barragem devem ser especificados ao mesmo tempo. A densidade seca de projecto pode ser convertida com base na porosidade e densidade da rocha. A densidade seca média não deve ser inferior ao valor convertido da porosidade de projecto ou densidade relativa, e a sua diferença padrão não deve ser superior a 100 kg/m³. Os padrões de enchimento da área de almofada especial não devem ser inferiores aos da área de amortecimento.

Tabela 14 Porosidade de projecto ou densidade relativa

Materiais da barragem	Material da camada de amortecimento	Material de areia e cascalho	Material de transição	Material principal do enrocamento	Material de enrocamento a jusante
Porosidade (%)	15~20	/	18~22	20~25	23~28
Densidade relativa	/	0,75~0,85	/	/	/

6.3.6.2 As normas de enchimento devem ser revistas e corrigidas através de teste de compactação rolante, e devem ser determinados os parâmetros de compactação rolante correspondentes. No processo de construção, dois tipos de parâmetros, nomeadamente os parâmetros de compactação de rolamento e a porosidade ou densidade relativa, devem ser utilizados para controlo, devendo o primeiro ser dominante.

6.3.6.3 O índice de projecto e os padrões de enchimento de material de rocha macia devem ser determinados através do teste.

6.3.6.4 Os requisitos de adição de água para o enchimento de materiais de barragens devem ser propostos, e a quantidade de adição de água pode ser determinada de acordo com a experiência ou teste. Se tiver sido verificado através do teste de compactação de rolamento que os materiais de enrocamento com alto coeficiente de amolecimento não podem ser adicionados de água quando a acção de rolamento da água não é óbvia. Quando a água não puder ser adicionada durante a construção no Inverno, na região fria, devem ser tomadas medidas apropriadas para alcançar os requisitos de projecto.

6.3.7 Laje do pé

6.3.7.1 A laje do pé deve ser colocada sobre o leito rochoso, que é dura, resistente à erosão, rochoso, e moderada a fraca resistência às intempéries.

6.3.7.2 A disposição da laje do pé na fundação rochosa deve ser seleccionada de acordo com as condições geológicas e topográficas, e deve ser disposta horizontalmente; quando o talude da margem for muito acentuada, outras formas de disposição também podem ser adoptadas.

6.3.7.3 Quando a disposição é restricta pelas condições geológicas ou topográficas, isto pode ser resolvido adicionando uma placa de ligação ou betão de enchimento; a parede do pé pode ser usada localmente em vez da laje do pé após demonstração.

6.3.7.4 Após a primeira fase de escavação da laje do pé, deve ser feita a montagem secundária da laje do pé; a posição do eixo da barragem pode ser ajustada adequadamente, quando necessário.

6.3.7.5 A largura da laje do pé pode ser determinada de acordo com a inclinação hidráulica permitida do leito rochoso debaixo da laje do pé e as medidas de tratamento da fundação; a sua largura mínima deve ser de 3 m. O gradiente hidráulico permitido deve cumprir as disposições da Tabela 15. Após a largura da laje do pé cumprir os requisitos de disposição dos furos de gunitagem, a laje anti-infiltração (laje de betão armado ou laje de gunitagem de malha reforçada) pode ser disposta no lado a jusante da laje do pé para prolongar as vias de infiltração e cumprir os requisitos de inclinação hidráulica; e o material filtrante deve ser coberto na superfície superior e a jusante da laje anti-infiltração.

Tabela 15 Inclinação hidráulica permitida do leito rochoso sob a laje do pé

Grau de resistência às intempéries	Fresco e ligeiramente erodido	Ligeiramente erodido	Altamente erodido	Completamente erodido
Inclinação hidráulica permitida	≥20	10~20	5~10	3~5

6.3.7.6 A espessura da laje do pé do pé pode ser inferior à espessura da laje da face ligada, mas não deve ser inferior a 0,3 m.

6.3.7.7 A laje do pé da fundação de cascalho de areia com a parede corta-águas deve ser dividida numa secção a montante e secção a jusante. A laje do pé da secção a montante deve ser construída após a conclusão da parede corta-águas e antes do primeiro enchimento do reservatório.

6.3.7.8 A superfície a jusante da laje do pé deve ser vertical à placa de face; a altura da laje do pé debaixo da superfície inferior da laje de face não deve ser inferior a 0,9 m; pode ser baixada para as posições inferiores da barragem em ambas as margens.

6.3.7.9 O betão da laje do pé deve ter elevada durabilidade, anti-permeabilidade, resistência à fissuração e maneabilidade da construção, e os requisitos devem ser iguais aos da laje da face. Os índices de durabilidade dos materiais de betão podem ser seleccionados de acordo com os requisitos do ponto 6.1.4.4.

6.3.7.10 A laje do pé deve empregar uma viga de reforço de camada única de duas vias; a relação de reforço de cada direcção pode ser de 0,3% a 0,4%. A espessura da camada protectora da viga de reforço para a laje do pé na fundação de rocha deve ser de 100 mm a 150 mm; em relação à laje do pé não em cima da fundação de rocha, a viga de reforço deve ser disposta na parte central da secção da laje do pé.

6.3.7.11 As barras de ancoragem devem ser usadas para ligar a laje do pé com a base; os parâmetros da barra de ancoragem podem ser determinados pela experiência. Quando existe uma superfície estrutural de baixo ângulo perto da superfície da fundação da laje do pé, os parâmetros das barras de ancoragem devem ser determinados de acordo com os requisitos de estabilidade ou de resistência à pressão de gunitagem.

6.3.8 Face de betão

6.3.8.1 A espessura da laje da face deve ser tal que a inclinação hidráulica sob a laje não seja superior a 200. A espessura da face pode ser determinada de acordo com a Fórmula (10); a espessura da laje das barragens média/baixa pode ser de 0,3 m a 0,4 m.

$$t = 0.30 + (0.002 \sim 0.0035) H \dots\dots\dots (10)$$

onde

t é a espessura da laje da face, em m;

H é a distância vertical desde a secção de cálculo até ao topo da laje de face, em m.

6.3.8.2 A separação da laje da face deve ser feita de acordo com a deformação do corpo da barragem e as condições de construção, e o espaçamento das juntas verticais pode ser de 12 m a 18 m.

6.3.8.3 A elevação superior da laje de face despejada por etapas deve ser cerca de 5 m mais baixa do que a elevação de enchimento da plataforma de betonagem, devendo as suas juntas horizontais ser tratadas como as juntas de construção.

6.3.8.4 O betão facial deve ter durabilidade relativamente alta, anti-permeabilidade, resistência à fissuração e maneabilidade da construção. O grau de resistência do betão frontal não deve ser inferior a C25, o grau de anti-infiltração não deve ser inferior a W8 e o grau de resistência à geada deve cumprir os requisitos de descongelamento.

6.3.8.5 O betão facial deve empregar cimento Portland de alto grau de resistência de 52,5 ou cimento Portland comum. Cinzas de carvão ou outros aditivos de qualidade devem ser misturados no betão facial. O grau de qualidade da cinza de carvão não deve ser inferior ao grau II; e a quantidade de mistura deve ser de 15% a 30%; o menor valor deve ser usado na região de frio intenso e o maior valor deve ser tomado na região de frio regular. Se o material de areia for relativamente grosseiro, devem ser usadas cinzas de carvão em excesso para melhorar o desempenho do betão. O aditivo de entrada de ar e o aditivo redutor de água devem ser adicionados ao betão facial; outros aditivos para regular o tempo de assentamento do betão podem ser adicionados conforme necessário. A variedade e quantidade de aditivos e misturas a utilizar devem ser determinadas por teste.

6.3.8.6 O betão facial deve empregar agregado de grau II. A absorção de água do material de areia para a face não deve ser superior a 3%, o teor de sedimentos não deve ser superior a 2% e o módulo de finura deve estar na faixa de 2,4 a 2,8. A absorção de água do material rochoso não deve ser superior a 2% e o teor de sedimentos não deve ser superior a 1%.

6.3.8.7 A relação água-cimento do betão facial não deve ser superior a 0,50 na região regular, e não deve ser superior a 0,45 na região de frio extremo e na região fria. As quedas na entrada da calha devem ser controladas entre 30 mm a 70 mm e o teor de ar do betão deve ser controlado entre 4% a 6%.

6.3.8.8 A face deve empregar vigas de reforço de camada única de duas vias. As vigas de reforço devem ser dispostas na parte central da secção da face, a relação de reforço em cada direcção deve ser de 0,3% a 0,4% e a relação de reforço horizontal pode ser inferior à relação de reforço vertical. Os reforços construtivos resistentes à extrusão devem ser dispostos em ambos os lados da junta vertical da junta periférica da barragem alta e da junta periférica adjacente.

6.3.8.9 A proporção da mistura do betão facial deve ser optimizada. Devem ser usados aditivos e aditivos de qualidade para reduzir o conteúdo de cimento e diminuir o aumento de temperatura do calor de hidratação e a distorção da contracção, e para evitar fissuras no painel.

6.3.8.10 A superfície da fundação da laje da face deve ser lisa em geral e livre de flutuações significativas; não se devem formar localmente poços profundos ou saliências agudas. A forma lateral deve ser direita.

6.3.8.11 O betão facial deve ser colocado na estação de baixa temperatura; a temperatura de colocação do betão deve ser controlada e medidas devem ser tomadas, quando necessário, para reduzir a temperatura de colocação.

6.3.8.12 Após a remoção do molde, o betão da face deve ser oportunamente coberto com preservação do calor e hidratação, e deve ser mantido continuamente húmido para manutenção. Deve ser evitada a insolação, vento forte, onda de frio e impacto frio da água de cura até que o reservatório esteja cheio de água ou pelo menos durante 90 dias. A preservação do calor externo deve ser efectivamente efectuada para o betão da face na região fria até que o reservatório seja enchido com água.

6.3.8.13 Quando a largura da fenda da face for superior a 0,2 mm ou a fenda for considerada uma fenda penetrante, devem ser tomadas medidas especiais para o tratamento; para uma barragem de enrocamento de face de betão em região de frio extremo, o padrão de tratamento para fissuras da face deve ser rigorosamente determinado.

6.3.9 Junta e vedação de água

6.3.9.1 As juntas da barragem de enrocamento com face de betão devem estar equipadas com faixas de cobre de vedação de água no fundo.

- Os cordões de cobre de vedação de água devem ser feitos de material de cobre fino em espiral com uma percentagem de alongamento não inferior a 20%, e formados no local por compressão; as juntas de transição devem ser especialmente maquinadas; a espessura deve ser de 0,8 mm a 1 mm.
- A resistência à tracção, alongamento na ruptura, rigidez de Shore e temperatura de fissuração das faixas de vedação de água em PVC e dos cordões de vedação de água de borracha devem cumprir os requisitos do projecto.

6.3.9.2 Os cordões de vedação de água de cobre do fundo, as faixas de paragem da água intermédias em PVC ou de borracha devem formar um sistema de vedação de água independente e fechado.

6.3.9.3 As juntas devem ser instaladas no fundo do cordão de vedação de água de cobre. A tábuca betumada ou outros painéis de enchimento de alta resistência devem ser instalados nas juntas periféricas.

6.3.9.4 As juntas verticais tensoras devem ficar dispostas na laje de face junto aos dois encontros da barragem e as juntas verticais compressivas devem ficar dispostas na laje de face nas outras zonas. A quantidade de juntas verticais tensoras deve ser determinada de acordo com as condições geológicas e topográficas, com referência aos resultados do cálculo de tensão-deformação e em combinação com a experiência da engenharia.

6.3.9.5 Os materiais de enchimento não devem ser utilizados nas juntas verticais; a superfície da junta deve ser revestida com uma fina camada de emulsão asfáltica ou outros materiais antiaderentes. As juntas verticais devem estar a cerca de 0,6 m da direcção normal da junta periférica, e devem estar verticais em relação às juntas periféricas.

6.3.9.6 Para as juntas verticais compressivas devem ser instaladas os cordões inferiores de cobre de vedação de água em cobre. As juntas e a almofada de argamassa devem ficar dispostas no fundo do cordão de cobre de vedação de água. A resistência da argamassa deve ser igual à do betão da face.

6.3.9.7 As juntas de expansão necessárias devem ser dispostas para a laje superior da fundação rochosa de acordo com as condições topográficas ou geológicas após a escavação, e devem ser escalonadas com a junta vertical da face. A junta de expansão não será preenchida com os materiais de enchimento, mas a superfície da junta será revestida com uma fina camada de emulsão asfáltica ou outros materiais antiaderentes. Deve ser instalado um sistema de vedação de água e deve ser formado um sistema fechado de vedação de água com os cordões de vedação de água e o leito rochoso das juntas circundantes.

6.3.9.8 As juntas de dilatação devem ser dispostas para a laje superior do pé no depósito aluvial e fundação rochosa com defeitos geológicos; a estrutura das juntas deve ser igual à da laje superior do pé na fundação rochosa.

6.3.9.9 Para além dos cordões de vedação de água em cobre do fundo, as juntas entre a parede contra ondas e a laje da face devem ser preenchidas com massa de enchimento flexível pré-plastificada; quando a elevação desta junta for superior ao nível normal do reservatório, a massa de enchimento flexível pré-plastificada nas partes central e inferior das juntas pode ser substituída por uma placa impregnada de asfalto.

6.3.9.10 Quando a laje de face estiver ligada ao descarregador de cheia ou à parede lateral de outras estruturas, as juntas devem ser concebidas de acordo com as juntas periféricas, e devem ser tomadas medidas para reduzir o deslocamento da massa do enrocamento no fundo da junta.

6.3.9.11 Se a laje de face for betonada por etapas, se existirem requisitos de tecnologia de construção ou se ocorrerem acidentes durante o vazamento, as juntas de construção devem ser dispostas.

6.3.10 Escavação de fundações de barragens

6.3.10.1 A superfície da escavação da laje do pé deve ser lisa, e mantida afastada de coroamentos íngremes e taludes adversos. Quando existirem coroamentos íngremes e taludes adversos que obstruam a compactação rolante do material da camada de almofada, estes devem ser tratados por corte do talude ou enchimento com betão, ou a posição da laje do pé deve ser reajustada.

6.3.10.2 O talude lateral a montante acima da elevação da laje do pé deve ser projectada como talude lateral permanente.

6.3.10.3 Quando a área da laje a jusante for escavada no talude superior, o seu declive deve ser inferior ao da superfície; quando estiver ligado à escavação da encosta inferior, o declive não deve ser superior a 1: 0.5.

6.3.10.4 O corpo da barragem de enrocamento pode ser disposto na fundação da rocha desgastada, e o módulo de deformação não deve ser inferior ao do corpo da barragem de enrocamento. A fundação do enrocamento dentro dos limites de 0,3 a 0,5 vezes a altura da barragem no lado a jusante da laje do pé deve ter uma compressibilidade relativamente baixa. Após a escavação, não é permitido talude ou coroamento íngreme superior a 1: 0.25 para dificultar a compactação do enrocamento; os requisitos para a compressibilidade das restantes partes da fundação podem ser reduzidos, e só é necessário cumprir os requisitos de estabilidade de um talude escavado após a escavação.

6.3.10.5 Quando o talude da margem do vale do rio for superior a 45°, o gradiente de escavação de ambas as margens a montante do eixo da barragem deve ser especialmente determinado juntamente com a disposição da área de baixa compressão no corpo do enrocamento.

6.3.10.6 A escavação da camada de areia da fundação da barragem deve ser determinada através de exploração detalhada, teste e demonstração.

6.3.11 Tratamento de fundações de barragens

6.3.11.1 Se o leito rochoso no âmbito da laje do pé estiver sujeito a condições geológicas desfavoráveis como uma falha, zona de fractura e camada intercalada fraca, a sua influência na fundação da barragem após a infiltração, a deformação da infiltração e corrosão deve ser estudada de acordo com a sua ocorrência, materiais de escala e composição de modo a determinar o gradiente hidráulico admissível do leito rochoso sob a laje do pé, tratamento anti-infiltração e medidas de controlo de infiltração (tais como tampão de betão, parede corta-águas, aumento da largura da laje do pé ou laje anti-infiltração a jusante, bem como protecção nos lados a montante e a jusante com material filtrante).

6.3.11.2 A gunitagem de consolidação e a gunitagem de cortina para o leito rochoso sob a laje do pé devem ser projectadas de forma adequada. A gunitagem de consolidação deve ser pavimentada, 2 a 4 filas devem ser dispostas e a profundidade não deve ser inferior a 5 m.

6.3.11.3 A gunitagem da cortina deve ser disposta no meio da laje do pé, podendo ser combinada com a gunitagem de consolidação. Os furos de gunitagem das cortinas devem ser dispostos numa só fila. A profundidade da cortina pode ser de 5 m em massa rochosa com permeabilidade de 5 Lu a 10 Lu, ou determinada de acordo com a altura da barragem (1/3 a 1/2). O controlo da infiltração dos encontros em ambas as margens deve ser efectuado de forma adequada. Em condições hidrogeológicas complexas, ou quando a profundidade de enterramento do leito confinado relativo é relativamente profunda, a cortina impermeável deve ser especialmente concebida em combinação com experiência de engenharia semelhante.

6.3.11.4 No projecto de gunitagem devem ser especificadas as medidas especiais para melhorar a durabilidade da cortina com gunitagem e a pressão de gunitagem no leito rochoso, que deve ser verificada através de teste de gunitagem.

6.3.11.5 Quando a laje do pé está disposta sobre a camada de areia do leito do rio, pode ser utilizada a parede de corte de betão; o fundo da parede corta-águas deve estar embutido no leito ligeiramente erodido. A protecção do filtro da zona de infiltração, bem como a ligação entre a laje do pé e a parede corta-águas, deve ser projectados de forma adequada.

6.3.11.6 Quando a laje do pé está disposta sobre a fundação cárstica, o método de tratamento anti-infiltração é igual ao da fundação da barragem gravítica na região cárstica.

6.3.12 Cálculo do corpo da barragem

6.3.12.1 Quando a barragem de enrocamento da face de betão apresenta um dos casos abaixo, deve ser realizada a análise de estabilidade correspondente:

- a) a fraca camada intercalada existe na fundação da barragem ou existem camadas finas de areia, lodo ou argila que se encontram na camada de cascalho de areia da fundação da barragem;
- b) o pico de aceleração do solo é superior ou igual a 0,2 g;

- c) durante o período de construção, a água transborda a barragem de enrocamento, ou o corpo da barragem de enrocamento retém a água ou garante a protecção contra cheias com a camada de amortecimento e secção temporária, e a profundidade de retenção da água é relativamente profunda;
- d) o corpo da barragem é preenchido principalmente com materiais de rocha macia;
- e) as condições topográficas são desfavoráveis.

6.3.12.2 O método sueco de arco circular ou método de cunha deslizante pode ser usado para calcular a estabilidade da barragem de enrocamento de face. O factor de segurança da estabilidade antiderrapante deve ser o seguinte.

- a) As condições normais de funcionamento, tais como um período de infiltração estável e uma queda normal do nível de água não são inferiores a 1,15.
- b) Condições de funcionamento anormais como período de construção, operação normal e terremotos não são inferiores a 1,05.

6.3.12.3 Quando a espessura da laje do pé for superior a 2 m ou quando a parede de pé alto for adoptada, o cálculo de estabilidade e a análise da tensão devem ser efectuados. A estabilidade da laje do pé deve ser calculada com o método de equilíbrio do limite rígido do corpo. No cálculo não será incluída a acção da barra de ancoragem da laje do pé e a transferência de força entre a face e a laje do pé, mas poderá ser incluída a pressão activa da terra do enrocamento na laje do pé, ou a pressão lateral aplicada à face pela pressão da água do reservatório.

6.3.13 Medidas resistentes aos terremotos

6.3.13.1 Quando o pico de aceleração do solo for superior ou igual a 0,2 g, devem ser tomadas as seguintes medidas de resistência a terremotos.

- a) Adoptar um coroamento da barragem relativamente grande e um talude de barragem regular na parte superior, mas íngreme na parte inferior, e dispor a bancada na posição em que o talude da barragem varia.
- b) Melhorar a estabilidade na parte superior do talude através da aplicação de malha de reforço horizontal.
- c) Adoptar uma parede contra ondas relativamente baixa e tomar medidas para melhorar a estabilidade da parede contra ondas.
- d) Ao determinar o bordo livre do corpo da barragem, ter em conta o assentamento adicional da barragem e da fundação sob a acção do terremoto.
- e) Aumentar a densidade de compactação dos materiais de enrocamento para o corpo da barragem, particularmente a densidade de compactação na posição com uma mudança brusca do terreno.
- f) Aumentar a largura da área da camada de amortecimento. Quando o talude da margem é muito acentuada, é necessário prolongar adequadamente o comprimento do contacto entre os materiais da camada de amortecimento e o leito rochoso, e reduzir a granulometria máxima da camada de amortecimento.

- g) É necessário seleccionar várias juntas verticais na parte central da face e preencher a placa impregnada de asfalto ou outro painel de enchimento de alta resistência e compressibilidade nas juntas.
- h) Aumentar a relação de reforço da face superior no meio do vale, particularmente a relação de reforço na face do talude.

6.3.13.2 Ao encher o corpo da barragem com areia e cascalho, é necessário aumentar a capacidade de drenagem da área de drenagem; pressionar o talude a jusante com grandes blocos de rocha ou encher o talude a jusante com materiais de enrocamento.

6.3.14 Construção faseada

6.3.14.1 O enchimento faseado da barragem de enrocamento deve ser planeado de acordo com os seguintes princípios.

- a) Os materiais da camada de amortecimento e os materiais de transição devem ser enchidos simultaneamente com os materiais do enrocamento para as partes adjacentes (pelo menos 20 m de largura).
- b) O gradiente de ligação entre os materiais de enrocamento não deve ser superior a 1: 1.3, e o gradiente do cascalho arenoso natural não deve ser superior a 1: 1.5.
- c) A rampa temporária para transporte de materiais de barragens pode ser providenciada conforme necessário na área de enrocamento.
- d) Quando o corpo da barragem de enrocamento é usado para a prevenção de cheias ou os caudais de inundação sobre a face da barragem, as zonas e fases de enchimento devem ser adaptáveis aos requisitos de controlo de cheias.

6.3.14.2 Quando a elevação da superfície da fundação da laje do pé for inferior à elevação da fundação do corpo da barragem de enrocamento, as medidas de drenagem devem ser concebidas para o período de construção do corpo da barragem de enrocamento.

6.3.14.3 Antes de despejar a face de betão, é permitida a utilização do corpo da barragem de enrocamento ou secção temporária para retenção e protecção contra cheias, mas os requisitos de estabilidade antiderrapante e estabilidade de infiltração devem ser cumpridos.

6.3.14.4 Quando a barragem de enrocamento é utilizada para retenção e protecção contra cheias, uma das medidas, como a compactação por rolo de argamassa de baixa resistência, gunite ou pulverização de asfalto emulsificado catiónico, deve ser implementada no talude a montante da zona da camada de amortecimento para reforço da encosta.

6.3.14.5 A água pode correr sobre o corpo da barragem de enrocamento durante o período de construção se a superfície do talude tiver sido protegida.

6.3.14.6 Quando a água correr sobre o corpo da barragem de enrocamento, deve poder resistir ao escoamento da água até à face e fundação da barragem. Durante a concepção das medidas de protecção contra o transbordo da face da barragem, a protecção da ligação entre o corpo da barragem de enrocamento e ambas as margens devem ser consideradas, bem como as partes próximas do pé da barragem a jusante.

6.4 Barragem de terra-rocha compactada

6.4.1 Disposições gerais

6.4.1.1 O local da barragem deve ser seleccionado sobre um leito rochoso com uma estrutura geológica simples, ou fundação de areia e cascalho com espessura mínima ou fundação de solo denso. O local da barragem não deve ser seleccionado na camada de areia fortemente permeável com grande espessura, na região cárstica desenvolvida, nem no estrato rochoso seriamente erodido, zona de falha activa e fundação mole; se inevitável, as medidas de tratamento devem ser implementadas.

6.4.1.2 A barragem de terra-rocha compactada pode adoptar os tipos de barragem de terra e enrocamento com corpo terra-rocha, barragem de terra e enrocamento com corpo artificial anti-infiltração e barragem de transbordo de terra e enrocamento.

- a) Para a barragem de terra e para a barragem de enrocamento, o corpo de terra anti-infiltração pode ser colocado na parte média do corpo da barragem (isto é, o núcleo da barragem de terra-enrocamento), e o resto do corpo da barragem deve ser preenchido com materiais permeáveis (areia, cascalho de areia ou material de enrocamento). No caso do corpo anti-infiltração de terra ficar localizado no lado a montante do corpo da barragem (isto é, barragem de terra-enrocamento de núcleo inclinado), e então o resto do corpo da barragem deve ser preenchido com materiais permeáveis (areia, cascalho de areia ou material de enrocamento). A camada relativamente espessa de cascalho de areia ou camada de enrocamento também pode ser disposta no lado a montante da parede inclinada à terra.
- b) O corpo anti-infiltração da barragem de terra e enrocamento com corpo anti-infiltração artificial pode utilizar betão armado, betuminoso e geomembrana; o resto do corpo da barragem pode ser preenchido com materiais de cascalho de areia e materiais de enrocamento. O corpo anti-infiltração pode ficar localizado na superfície a montante, no meio ou na parte do meio a montante da barragem. Quando o pico de aceleração do solo for superior ou igual a 0,1 g, a parede do núcleo rígido não deve ser adoptada em áreas sísmicas.

6.4.2 Materiais de construção de barragens

6.4.2.1 O solo e os materiais rochosos para a construção de barragens devem ser seleccionados de acordo com os seguintes princípios.

- a) Os materiais do solo e das rochas para enchimento do corpo da barragem devem ter as propriedades físicas e mecânicas adaptáveis à sua utilização pretendida, e ter uma estabilidade relativamente boa a longo-prazo.
- b) Com o pressuposto de não afectar a segurança da engenharia, os materiais próximos ao local da barragem e os materiais escavados das estruturas do projecto devem ser utilizados em primeiro lugar.

c) Fácil para escavação e transporte.

6.4.2.2 O material do solo com teor de sal solúvel em água superior a 5%, ou com teor orgânico superior a 5%, não deve ser utilizada argila dura seca, solo dispersivo ou argila mole para a construção de barragens.

6.4.2.3 Os corpos anti-infiltração podem ser preenchidos com solo coeso e de cascalho (incluindo material rochoso erodido).

- O coeficiente de permeabilidade após compactação não deve ser superior a 1×10^{-5} mm/s para a barragem de terra homogênea; e não deve ser superior a 1×10^{-6} mm/s para a parede do núcleo, parede inclinada e cobertura protectora.
- Os corpos anti-infiltração devem ser preenchidos com material do solo com um índice de plasticidade $IP = 7-20$; se for utilizado material do solo com um índice de plasticidade inferior, é necessário aumentar adequadamente a espessura do corpo anti-infiltração e construir adequadamente o filtro.
- O teor de humidade do material do solo deve estar próximo do teor ideal de humidade; o solo deve ser tratado adequadamente se houver uma diferença significativa.

6.4.2.4 No que diz respeito ao solo de cascalho (incluindo material rochoso erodido) para o corpo anti-infiltração, o conteúdo de partículas com granulometria não superior a 5 mm não deve ser superior a 50%, o conteúdo de partículas com granulometria inferior a 0,074 mm não deve ser inferior a 15%, a granulometria máxima não deve exceder 150 mm ou 2/3 da espessura de pavimentação do solo e deve ocorrer o fenómeno da concentração de partículas grossas.

6.4.2.5 Se o material de solo impermeável natural for insuficiente na área local, pode ser utilizado o solo coesivo, o solo arenoso e de paralelepípedos de cascalho, ou uma mistura de solo coesivo e de paralelepípedos de cascalho, mas estes devem ser misturados uniformemente.

6.4.2.6 Quando o solo de cascalho é utilizado (incluindo material rochoso erodido) ou mistura mineral como material impermeável da barragem, o âmbito do classificação do material do solo deve ser proposto através de teste.

6.4.2.7 O solo laterítico eluvial ou com forma de laterite do talude com estrutura granular estável têm alto teor de humidade, mas baixa densidade seca, enquanto a resistência ao cisalhamento é relativamente alta, a permeabilidade e a compressibilidade é relativamente baixa, pelo que poderiam ser utilizados para preencher o corpo anti-infiltração da terra e da barragem de enrocamento.

6.4.2.8 Quando o solo expansivo é utilizado para encher o corpo anti-infiltração, deve ser colocada uma camada protectora contra pressão suficiente.

6.4.2.9 Se o loess colapsável for utilizado na construção de barragens, a sua estrutura original ficará danificada e o teor de humidade do enchimento deverá ser igual ou ligeiramente superior ao teor óptimo de humidade.

6.4.2.10 Não deve ser usada terra congelada para a construção de barragens. Quando terra congelada é utilizada para a construção de barragens, o conteúdo dos blocos de terra congelada não deve ser superior a 10%; o diâmetro do bloco de terra congelada máxima não deve ser superior a 1/2 da espessura do pavimento; o teor de humidade da terra congelada deve ser igual ou ligeiramente inferior ao teor de humidade do limite plástico.

6.4.2.11 O corpo da barragem deve satisfazer os requisitos de estabilidade e drenagem da mesma.

- Deve ser preenchido com areia de areia medianamente áspera, cascalho de areia, lastro de rocha ou material de enrocamento.
- A areia média-fina uniforme e o lodo podem ser utilizados para a zona seca da estrutura da barragem.
- No que diz respeito ao material de rocha macia erodido de resistência relativamente baixo, deve ser considerada a variação da graduação após a compactação, bem como a redução da resistência e da permeabilidade à água após a imersão em água, pelo que esse material deve ser utilizado na posição apropriada na estrutura da barragem.
- Os materiais rochosos com relativamente alta resistência à compressão e resistência às intempéries devem ser seleccionados para as instalações de protecção e drenagem do talude a montante.
- A relação entre o comprimento máximo e o comprimento mínimo da aresta do bloco de rocha não deve ser superior a 2.0; o diâmetro e o peso dos materiais da rocha devem poder cumprir os requisitos de resistência às ondas.

6.4.2.12 Para o filtro, camada de amortecimento e camada de transição da barragem deve ser utilizada areia média-grossa, material arenoso natural ou material peneirado ou rochoso laminado; a composição granulométrica deve poder cumprir os requisitos de drenagem anti-filtração. Devem ser estáveis a longo-prazo e o teor de lodo ($d < 0,1$ mm) deve ser inferior a 5%.

6.4.2.13 A geomembrana para anti-infiltração e o geotêxtil para drenagem anti-filtração na barragem de terra e enrocamento devem satisfazer as propriedades físicas e mecânicas, características hidráulicas e durabilidade correspondentes aos requisitos de engenharia. A granulometria do solo protegido deve cumprir o critério de drenagem anti-filtração.

6.4.3 Normas de enchimento

6.4.3.1 O corpo da barragem deve ser denso e uniforme, ter resistência suficiente ao cisalhamento, compressibilidade relativamente baixa e cumprir os requisitos de controlo do caudal de infiltração. Os padrões de enchimento devem ser razoavelmente especificados para que a compactação do solo preenchido cumpra os requisitos de segurança e seja económica e razoável. No processo de construção, os padrões de enchimento especificados devem ser revistos e analisados.

6.4.3.2 No que respeita ao solo coeso, a densidade seca compactada deve ser determinada de acordo com a densidade seca máxima do teste de compactação padrão multiplicada pelo grau de compactação. O grau de compactação pode ser de 0,95 a 0,97. O teor de humidade do solo de enchimento deve ser controlado de acordo com o teor óptimo de humidade e o desvio admissível deve ser de ± 3%.

6.4.3.3 No que diz respeito ao solo saibroso, o teste de compactação da amostra bruta deve ser efectuado com um aparelho de teste de compactação de grande escala para obter a densidade seca máxima e o teor óptimo de humidade para diferentes teores de agregados grosseiros ($d \geq 5\text{mm}$), e depois a densidade seca máxima é multiplicada pelo grau de compactação de 0,95 a 0,97 de modo a obter a densidade seca para controlar o enchimento do solo saibroso. Quando o teste de compactação em grande escala g não está disponível, pode ser determinado nos dois casos seguintes de acordo com os diferentes conteúdos agregados grossos.

a) No que diz respeito ao solo saibroso com um teor de agregados grossos inferior a 40%, a porção de agregado fino ($d < 5\text{ mm}$) pode ser considerada para o teste de compactação para determinar a densidade seca máxima e o teor óptimo de humidade do agregado fino; a densidade seca máxima e o teor óptimo de humidade da amostra bruta de solo saibroso com diferentes teores de agregados grossos devem ser calculados com as Fórmulas (11) e (12), e são multiplicados pelo grau de compactação para obter o padrão de enchimento para o solo saibroso.

$$\gamma d_{\max} = \frac{-1}{\frac{P}{\Delta s} + \frac{(1-P)}{(\gamma d)_0}} \dots\dots\dots (11)$$

$$\omega_{\text{op}} = \omega_0 (1 - P) \dots\dots\dots (12)$$

onde

γd_{\max} é a densidade máxima seca do solo saibroso, em r/cm^3

P é o conteúdo de cascalho com granulometria $d > 5\text{ mm}$, calculada em décimas;

Δs é a densidade da gravidade com granulometria $d > 5\text{ mm}$, em gr/cm^3 ;

$(\gamma d)_0$ é a densidade máxima de solo seco de grão fino com granulometria $d < 5\text{ mm}$, em gr/cm^3 ;

ω_{op} é o teor óptimo de humidade do solo saibroso;

ω_0 é o teor óptimo de humidade do solo de grão fino com granulometria $d < 5\text{ mm}$.

- b) No que diz respeito ao solo saibroso com um teor de agregados grossos superior a 40%, é necessário corrigir a densidade máxima seca e o teor óptimo de humidade da amostra bruta, ou reduzir adequadamente o grau de compactação. Os padrões de enchimento serão determinados nesta base.

6.4.3.4 Os padrões de compactação para material de areia e cascalho de areia devem ser controlados de acordo com a densidade relativa (D_r) e a D_r deve ser $\geq 0,7$. Quando os dados do teste são insuficientes, também pode ser controlado com (γ_d); é necessário que o material de areia $\gamma_d = 1600 \text{ kg/m}^3$ a 1700 kg/m^3 ; quando o conteúdo de cascalho do material de areia é de 40% a 70%, $\gamma_d \geq 2000 \text{ kg/m}^3$ é considerado de acordo com os diferentes conteúdos de cascalho. O padrão de compactação do material de enrocamento deve ser controlado de acordo com a porosidade (n) e é necessário que n seja igual a 20% a 28%.

6.4.4 Tratamento de fundações de barragens

6.4.4.1 O tratamento das fundações de areia e cascalho deve obedecer aos seguintes princípios

- a) O controlo anti-infiltração da fundação da barragem pode ser construído por meio de vala de corte, cobertura protectora ou tecnologia de gunitagem de alta pressão; após comparação técnica e económica, a parede corta-águas de betão também pode ser utilizada. As instalações de drenagem a jusante podem incluir a camada de drenagem horizontal, prisma de drenagem, vala de drenagem no pé da barragem, poço de descarga e cobertura protectora ponderada.
- b) A vala de corte com argila de aterro aberta deve ser utilizada quando a espessura da areia e do cascalho for inferior a 15 m.
- c) A vala de corte deve ser colocada sob o corpo anti-infiltração. A vala de corte para a barragem de terra homogénea pode ser disposta na faixa de largura de 1/3 do fundo da barragem, desde o eixo da barragem até ao pé da barragem a montante.
- d) A largura inferior da vala de corte deve ser determinada de acordo com o gradiente de infiltração admissível para o material de terra preenchido.
- A relação de permeabilidade permitida deve ser de 3 para solo franco leve, 3 a 5 para solo franco e 5 a 7 para argila.
 - A largura mínima do fundo não deve ser inferior a 3,0 m.
 - O talude da escavação para a vala de corte deve ser determinado de acordo com a resistência ao cisalhamento e a profundidade de escavação do material de revestimento, pode ser 1: 1.5 a 1: 2.
 - A vala de corte deve ser enchida com o mesmo material de terra que o corpo anti-infiltração do corpo da barragem, e a sua densidade seca compactada deve ser igual à do corpo anti-infiltração do corpo da barragem. Quando o material do solo e o cascalho de areia da fundação da barragem não cumprirem os requisitos de filtro invertido, o filtro invertido deve ser disposto na superfície a jusante da vala de corte.

- e) A profundidade da vala de corte embutida no leito confinante relativo, leito impermeável ou rocha erodida (incluindo o leito do rio e ambas as margens) não deve ser inferior a 0,5 m. Se surgirem fracturas na superfície do leito rochoso, podem ser enchidas com argamassa de cimento, ou uma camada de betão pode ser aplicada para separar as fracturas do material de enchimento do corpo da barragem. Pode ser aplicada gunitagem ao leito rochoso, quando necessário.
- f) Se a fundação da barragem estiver sobre o estrato com a camada de areia e cascalho e a camada intercalada de aquitardos, a diferença do coeficiente de permeabilidade entre o aquitardos e a camada de areia e cascalho é mais de 100 vezes, e são relativamente espessos e contínuos, a camada superior de areia e cascalho pode ser escavada e a vala de corte pode ser construída sobre este aquitardos.
- g) Se a camada de areia e cascalho da fundação da barragem for relativamente espessa, é muito difícil escavar a vala de corte e é necessário tomar medidas verticais anti-infiltração, as medidas de gunitagem com jacto de alta pressão ou a parede corta-águas de betão podem ser implementadas.
- h) Se a camada de areia e cascalho da fundação da barragem for relativamente espessa, as medidas de cobertura a montante mais as medidas de drenagem anti-filtração a jusante podem ser implementadas.
- i) Para o projecto da cobertura protectora, o comprimento, espessura e coeficiente de permeabilidade razoáveis da manta devem ser determinados para controlar o gradiente de infiltração e a descarga de infiltração para a fundação da barragem dentro da faixa permissível.
- O comprimento da cobertura protectora não deve ser inferior a 5 vezes a cabeça de água.
 - A espessura da extremidade a montante da manta deve ser de 0,5 m a 1,0 m, a espessura na ligação entre a sua extremidade e o corpo anti-infiltração deve cumprir os requisitos de descarga de infiltração para a fundação da barragem e o gradiente de infiltração admissível para a cobertura protectora, mas não deve ser inferior a 2,5 m.
 - A cobertura protectora deve ser preenchida com solo coeso com um coeficiente de permeabilidade igual ou inferior a 1×10^{-5} mm/s.
- j) A lama e o húmus na superfície da fundação da cobertura protectora devem ser limpos cuidadosamente. É necessário escavar na fundação da cobertura protectora para a recolha de amostras e saber mais sobre a composição do grão. As superfícies da fundação devem ser compactadas e niveladas, e não deve haver concentração de cascalho. O princípio da anti-filtração deve ser respeitado entre o material de terra para a cobertura protectora e a areia e cascalho para a fundação da barragem; caso contrário, deve ser disposto o filtro invertido.
- k) Se a camada natural do solo for utilizada como cobertura protectora é necessário conhecer a sua distribuição, espessura e permeabilidade, e determinar os seus efeitos anti-poluição e se é necessária uma cobertura protectora artificial adicional ou outras medidas de reforço. Quando o solo é emprestado da área a montante da barragem, deve ser emprestado para além do âmbito certo do pé da barragem a montante.

- l) Se a geomembrana for usada como material anti-infiltração da cobertura protectora, é necessário pavimentar, ligar e proteger adequadamente a geomembrana para evitar que ela seja danificada.
- m) Após a cobertura, é necessário pavimentar o solo solto ou a carga de escória na superfície para protecção. Na parte que é susceptível de ser varrida pela onda, é necessário pavimentar os blocos de rocha na manta para protecção.
- n) Se a infiltração das fundações da barragem puder ser controlada após as medidas verticais de anti-infiltração serem tomadas, as medidas de drenagem a jusante podem ser adequadamente simplificadas e a vala de drenagem anti-filtração pode ser disposta no pé da barragem. Quando é utilizada uma infiltração de cobertura protectora, as instalações de drenagem, incluindo a camada de drenagem horizontal, o prisma de drenagem de enrocamento e a vala de drenagem anti-filtração, podem ser dispostas no lado a jusante; e o poço de descarga e a cobertura protectora permeável a jusante devem ser dispostos quando necessário.
- o) O fundo de todos os sistemas de drenagem deve ser disposto sobre a base permeável.
- Se a superfície da fundação da barragem é o aquitardo com espessura estreita, é necessário escavar através do aquitardo;
 - Se o aquitardo é muito espesso, é permitido construir o poço de descarga no leito permeável e conduzir a água até à vala de drenagem no pé da barragem a jusante; a profundidade da parede de alívio no leito permeável não deve ser inferior a 1/2 da espessura do leito permeável.
 - A vala de drenagem deve ter secção de drenagem suficiente e o projecto do filtro deve ser executado corretamente. A vala de drenagem transversal (vertical ao eixo da barragem) deve ser disposta de modo a conduzir a água de infiltração para a área a jusante.
- p) A drenagem anti-filtração deve ser pavimentada no âmbito da fundação a jusante da barragem, onde o talude de fuga é superior ao valor admissível. Quando necessário, a cobertura protectora permeável também deve ser pavimentada e os requisitos de filtragem inversa devem ser cumpridos entre a cobertura protectora permeável e a fundação.

6.4.4.2 O solo liquefeito e o tratamento de base do solo mole devem cumprir os seguintes princípios.

- a) A possibilidade de liquefação sísmica deve ser considerada para as fundações de sedimentos saturados, de areia fina e média, bem como para os solos menos coesivos (tais como solos franco saturado, solo franco arenoso sedoso, solo franco leve e solo franco sedimentos leves) na região do terramoto.

- b) A camada de solo, que foi considerada como sendo passível de ficar liquefeita, deve ser escavada e substituída por material de solo que cumpra os requisitos. Se for difícil ou dispendioso escavar, é necessário tomar medidas de reforço para alcançar o estado denso adaptável à intensidade sísmica do projecto. As medidas de reforço podem incluir: compactação rasa, vibro-densificação da camada superficial, método de explosão profunda, método de compactação dinâmica da pilha de areia, reforço vibratório e de impacto e consolidação dinâmica.
- c) Se for necessário construir a barragem sobre o solo mole, deve ser realizado o tratamento da fundação; os métodos de tratamento incluem substituição da areia, plataforma de supressão, poço de areia mais cobertura protectora de drenagem horizontal, reforço vibratório e de impacto e leito com geossintéticos.
- d) A velocidade de enchimento do corpo da barragem deve ser controlada por qualquer método utilizado para tratar a base do solo macio.

6.4.4.3 O tratamento da base do loess dobrável deve cumprir os seguintes princípios.

- a) Para as fundações do loess colapsável de pequena espessura, a sua possibilidade de desmontagem pode ser eliminada por escavação, prensagem ou compactação superficial. Sob a premissa de garantir a estabilidade do corpo da barragem, pode ser escavada a camada de solo com menor densidade seca superficial e maior possibilidade de ocorrer colapso, devendo ser reservada a camada de solo da parte inferior.
- b) Quando o loess colapsável da fundação da barragem é relativamente espesso, a fundação deve ser tratada com o método de pré-imersão. Quando a espessura do loess colapsável for superior a 15 m, o processo de pré-imersão pode ser acelerado através de furos ou de um veio vertical profundo. O âmbito do tratamento de pré-imersão deve ser maior do que o âmbito da fundação da barragem, e ser ampliado até uma vez o valor da profundidade de imersão das direções a montante e a jusante da fundação da barragem. O tratamento de imersão da fundação da barragem deve ser combinado com o enchimento do corpo da barragem para aumentar o peso e acelerar a colapsibilidade da água.
- c) Quando a fundação da barragem é colapsável, também pode ser tratada pelo método de apiloamento pesado; o número de vezes que o apiloamento é feito e sua profundidade de influência deve ser determinada através de teste.
- d) Quando a fundação de loess colapsável é tratada com o método de vibro-flutuação, o espaçamento dos furos, diâmetro do furo e profundidade do furo deve ser determinado com referência à experiência do projecto concluído ou através de teste.
- e) A cavidade subterrânea como dolinas, sulcos de animais, cavernas e poços de enterro na fundação da barragem deve ser verificada e tratada.

6.4.4.4 O tratamento de rochas e fundações cársticas devem cumprir os seguintes requisitos.

- a) Quando a permeabilidade à água da fundação rochosa é relativamente elevada, o que influencia o enchimento de água, bem como a segurança do corpo da barragem e da fundação da barragem, as medidas de tratamento devem ser implementadas.

- b) Quando a faixa intensiva das fissuras nas juntas ou uma zona de fractura por falha existe na fundação da rocha no âmbito da fundação da barragem ou da vala de corte, as medidas de tratamento correspondentes devem ser determinadas de acordo com a sua ocorrência, largura e profundidade, bem como a influência da tubagem e da corrosão na fundação da barragem e no corpo da barragem. As medidas de tratamento incluem:
 - 1) escavação de um sulco e enchimento de betão;
 - 2) aumentando a largura do fundo da vala de corte;
 - 3) pavimentação do filtro invertido nas posições expostas da zona de falha e fractura a jusante.
- c) Na construção de uma barragem na região cárstica, devem ser verificadas as condições hidrogeológicas, bem como a situação de distribuição cárstica do local da barragem e seus arredores.
- d) A fundação cárstica pode ser tratada por corte, bloqueio, imobilização, pavimentação e separação. Um método ou uma combinação de vários métodos pode ser usado de acordo com a situação da engenharia e da infiltração.

6.4.5 Ligação do corpo da barragem à fundação e ao talude da margem

6.4.5.1 A terra enchida do corpo da barragem deve ser devidamente combinada com a fundação e o talude da margem, e deve não ter os seguintes casos:

- a) a infiltração de água percorre a superfície de contacto entre o corpo da barragem e a fundação da barragem;
- b) a superfície fraca é formada e a estabilidade do corpo da barragem é afectada;
- c) ocorre o assentamento desigual e o surgimento de fissuras.

6.4.5.2 Antes de encher o corpo da barragem, a fundação da barragem e o talude da margem devem ser limpos de acordo com os seguintes requisitos.

- a) Limpar a relva, as raízes das árvores, o solo de plantio e o ripado de pedra na fundação e o talude da margem no âmbito da secção da barragem. Deve ser feito o tratamento de poços, cavernas, poços de teste e buracos perfurados.
- b) É necessário remover as pedras soltas na superfície, o solo solto nos poços e as rochas salientes nas ligações entre o corpo anti-infiltração da barragem de terra e de enrocamento e a fundação da rocha/talude da margem; o corpo anti-infiltração deve entrar em contacto com a superfície da rocha; se surgirem fissuras no leito rochoso, deve ser disposta a placa de cobertura de betão ou pulverizada a argamassa de cimento ou betão na superfície de contacto entre o leito rochoso e o corpo anti-infiltração da barragem para separar o leito rochoso do corpo anti-infiltração; deve ser aplicada a gunita ao leito rochoso quando necessário.

6.4.5.3 A inclinação da rocha deve ser o mais regular possível, mas não deve ser transformada em degraus ou ter uma inclinação adversa ou mudança brusca de inclinação; quando o talude da margem é regular na parte superior e íngreme na parte inferior, o ângulo de inclinação múltipla da parte saliente não deve ser inferior a 20°. A inclinação do talude na margem de rochas em contacto com o corpo anti-infiltração não deve ser superior a 1: 0,5 e o declive do talude da margem de terra não deve ser superior a 1: 1.5. O declive da superfície de contacto entre o corpo anti-infiltração e a estrutura de betão não deve ser superior a 1: 0.25. Na ligação entre o material permeável da barragem e o talude da margem, o gradiente de contacto não será especialmente especificado, mas o talude da margem deverá assegurar a sua própria estabilidade.

6.4.5.4 Na ligação entre o corpo anti-infiltração de terra e o talude da margem, a secção do corpo anti-infiltração ou a espessura do filtro invertido a jusante deve ser aumentada.

6.4.5.5 Os requisitos de anti-filtração devem ser cumpridos entre a sobrecarga da fundação ou o enchimento de fissuração rochosa do talude da margem e a estrutura da barragem do filtro; caso contrário, o filtro invertido deve ser disposto.

6.4.6 Estrutura do corpo da barragem

6.4.6.1 A elevação do coroamento da barragem de terra e enrocamento é determinada pelo nível normal de água ou pelo nível de cheias e pelo bordo livre da crista. O bordo livre do coroamento pode ser calculado de acordo com a Fórmula (9). Quando a parede contra ondas está disposta no lado a montante do coroamento da barragem, a elevação superior da parede contra ondas deve ser superior à elevação superior da onda, e o coroamento da barragem não deve ser inferior a 0,5 m acima do nível de cheias de retenção ou do nível normal do reservatório. Na zona sísmica, a altura do sismo pode ser de 0,5 m a 1,0 m de acordo com a intensidade sísmica e a profundidade da água em frente à barragem.

6.4.6.2 O coroamento da barragem deve ser reservado com uma margem de liquidação, cujo valor deve ser determinado por cálculo ou analogia de engenharia. A margem de assentamento reservada pode ser aumentada adequadamente na área do terramoto.

6.4.6.3 A largura do coroamento da barragem deve satisfazer os requisitos de mobilidade, construção e operação e revisão geral. A largura do coroamento da barragem pode ser de 4 m a 6 m.

6.4.6.4 Materiais flexíveis, como cascalho, cascalho de areia ou betão betuminoso podem ser utilizados no pavimento do coroamento da barragem. O pavimento do coroamento da barragem pode estar inclinado de 2% a 3% para o lado a montante e para o lado a jusante, respectivamente, ou apenas para o lado a jusante. O sistema de drenagem a jusante deve estar devidamente equipado.

6.4.6.5 O talude da barragem deve cumprir os requisitos de estabilidade. A necessidade de dispor bancadas nos taludes a montante e a jusante da barragem pode ser determinada de acordo com as exigências reais; a sua largura não deve ser inferior a 1,0 m; a diferença de altura entre bancadas pode ser de 8 m a 12 m.

6.4.6.6 A dimensão da secção do corpo anti-infiltração de terra deve cumprir os requisitos de estabilidade de infiltração, e a infiltração deve ser controlada dentro do âmbito permitido.

6.4.6.7 A espessura do corpo anti-infiltração de terra deve aumentar gradualmente de cima para baixo, e a largura superior não deve ser inferior a 1,5 m; a espessura inferior pode ser determinada de acordo com o gradiente de permeabilidade permissiva, mas não deve ser inferior a 3,0 m. Nas regiões frias, a espessura da camada protectora do solo da parede do núcleo argiloso deve ser superior à profundidade local do solo congelado.

6.4.6.8 Se a geomembrana for utilizada como anti-infiltração, deve ser pavimentada uma camada protectora sobre a geomembrana e uma camada de suporte sob a mesma. A camada protectora é constituída pela camada de superfície e pela camada de amortecimento. A camada protectora deve ser capaz de prevenir a geomembrana da radiação ultravioleta. A camada de suporte deve uniformizar a tensão da geomembrana e protegê-la contra danos causados pela tensão centralizada parcial.

6.4.6.9 A geomembrana anti-infiltração deve formar um sistema de anti-infiltração fechado juntamente com a fundação da barragem, o talude da margem ou outras estruturas de betão. As juntas periféricas devem ser devidamente tratadas e as suas dimensões estruturais devem ser capazes de satisfazer os requisitos do gradiente de infiltração e deformação.

6.4.6.10 A elevação superior do corpo anti-infiltração deve ficar, pelo menos, a 0,3 m acima do nível normal de água e não deve ser inferior ao nível de água de retenção; Se a parede contra ondas estiver disposta no topo do corpo anti-infiltração, a sua elevação superior não pode ser limitada por este parágrafo, mas não deve ser inferior ao nível normal de água.

6.4.6.11 O princípio de anti-filtração deve ser aplicado entre o corpo de anti-infiltração de terra (incluindo barragem homogénea, parede do núcleo, parede inclinada, cobertura protectora e vala de corte) e o corpo de drenagem da estrutura da barragem ou do leito permeável da fundação da barragem; caso contrário, o filtro invertido deve ser disposto, ou tanto o filtro invertido, como a camada de transição devem ser dispostos.

6.4.6.12 Se o princípio anti-filtração não puder ser aplicado entre a estrutura da barragem e a fundação da barragem, o filtro invertido deve ser disposto.

6.4.6.13 Quando o corpo da barragem é preenchido com vários tipos de terra e materiais de enrocamento, o princípio anti-filtração deve ser aplicado entre as diferentes camadas do solo. Perto da parede do núcleo ou parede inclinada, o solo e materiais de enrocamento com menor permeabilidade e partículas mais finas devem ser preenchidos; e o solo e materiais de pedra com maior permeabilidade e partículas mais grosseiras devem ser preenchidos perto do talude da barragem.

6.4.6.14 O filtro invertido deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) Deve ser capaz de evitar que o solo protegido seja deformado por infiltração; o material do filtro invertido deve ser solo sem tubagem.
- b) a sua permeabilidade à água deve ser maior do que a do solo protegido, e pode drenar a água de infiltração sem problemas.
- c) Não ficar obstruído por partículas finas ($d < 0,1$ mm).
- d) Deve ser durável e estável, e as suas propriedades não mudarão com o tempo ou sob a influência do meio ambiente durante o período de serviço.

6.4.6.15 O filtro invertido e a camada de transição devem ser compactados. A espessura do filtro invertido deve ser determinada de acordo com as finalidades do material e do método de construção. A espessura mínima de cada camada de filtração horizontal pode ser de 0,3 m e a de cada filtro invertido vertical ou inclinado pode ser de 0,4 m. Quando é construído com as máquinas, a largura horizontal mínima deve ser determinada de acordo com as máquinas de construção e o método de construção. A espessura do filtro invertido construído sobre a base do solo macio deve ser aumentada adequadamente.

6.4.6.16 O material do filtro granular deve ser determinado de acordo com o seguinte critério.

- a) A relação entre o solo protegido e o filtro invertido deve cumprir os requisitos de D_{15}/d_{85} menor ou igual a 5 e D_{15}/d_{15} maior ou igual a 5. D_{15} significa que o peso do solo menor que o tamanho do grão do material filtrante ocupa 15% do peso total do solo; d_{85} (d_{15}) significa o tamanho do grão do solo protegido e o peso do solo menor que o tamanho do grão do solo protegido é 85% (15%) do peso total do solo.
- b) Quando a terra protegida é de grão fino (CL e /CH) e d_{85} igual a 0,01 mm a 0,03 mm, a areia ou areia de cascalho com D_{15} inferior ou igual a 0,5 mm pode ser utilizada como filtro invertido.
- c) Em relação ao solo protegido com um coeficiente não uniforme relativamente elevado (η), d_{15} e d_{85} , das porções de grão fino com η inferior ou igual a 5 a 8 na curva de classificação.
- d) No que diz respeito à gradação da folga do solo, d_{15} e d_{85} do grupo de grãos abaixo da seção de nível da curva de classificação (geralmente menos de 1 mm a 5 mm) devem ser usados como tamanho do grão para o cálculo.
- e) Quando o coeficiente de não homogeneidade (η) da primeira camada for superior a 5 a 8 cascalho de areia, é necessário que o conteúdo de cascalho (d maior ou igual a 5 mm) seja 60%, e a porção D_{15} no seu material fino (d inferior a 5 mm) deve ser considerada como tamanho do grão para o cálculo.

6.4.7 Drenagem no corpo da barragem

6.4.7.1 As instalações de drenagem devem ser providenciadas para a barragem de terra e enrocamento, e devem cumprir os seguintes requisitos.

- a) Baixar a linha de infiltração do corpo da barragem, reduzir a pressão dos poros, controlar a infiltração e melhorar a estabilidade do corpo da barragem.
- b) Possuir capacidade de drenagem suficiente e drenar livremente toda a água de infiltração.
- c) Desenho de acordo com o princípio de anti-filtração para evitar que ocorram falhas no corpo da barragem e o solo da fundação causadas por infiltração.
- d) Os materiais para a drenagem devem ser blocos de rocha, macadame ou cascalho de areia que sejam duros e resistentes às intempéries.

6.4.7.2 As instalações de drenagem para o corpo da barragem incluem o prisma de drenagem, a drenagem na face do talude, a drenagem no corpo da barragem (incluindo a drenagem horizontal com cobertura protectora, a drenagem vertical e a drenagem em forma de grelha) ou uma combinação das medidas acima mencionadas.

6.4.7.3 A selecção do tipo de instalações de drenagem para o corpo da barragem deve ser determinada em combinação com os requisitos de drenagem para o corpo da barragem e para a fundação da barragem, e com uma análise exaustiva da seguinte situação:

- a) o tipo de barragem e as propriedades dos materiais do corpo da barragem e da fundação da barragem;
- b) as condições geológicas e hidrogeológicas de engenharia da fundação da barragem;
- c) o nível de água a jusante;
- d) a situação material e da construção das instalações de drenagem;
- e) as condições climáticas da área da barragem.

6.4.7.4 Os requisitos para o prisma de drenagem são os seguintes.

- a) O prisma de drenagem aplica-se à situação em que existe água na região a jusante; a sua elevação superior deve estar pelo menos 0,5 m acima do nível máximo de água a jusante.
- b) A distância mínima entre a linha de infiltração do corpo da barragem e a face da barragem deve ser maior do que a profundidade de penetração da geada nesta região.

- c) A largura superior do prisma de drenagem deve cumprir os requisitos de construção e observação, que não deve ser inferior a 1,0 m.
- d) O talude interno e externo do prisma de drenagem pode ser determinado de acordo com os materiais rochosos e as condições de construção; a inclinação do talude interno pode ser de 1: 1.0 e o declive do talude exterior pode ser 1: 1.5 ou menos.

6.4.7.5 Os requisitos para a drenagem da face dos taludes são os seguintes.

- a) A parte superior de drenagem da face do talude deve ser superior ao ponto de saída da linha de infiltração; a diferença de altura deve fazer com que a linha de infiltração do corpo da barragem fique abaixo da linha de congelamento, mas não deve ser inferior a 1,5 m.
- b) A espessura da drenagem da face do talude deve ser maior que a profundidade de penetração da geada.

6.4.7.6 Os requisitos para a drenagem horizontal da cobertura protectora são os seguintes.

- a) A drenagem da cobertura protectora horizontal é aplicável à situação em que não há água a jusante.
- b) O dreno longitudinal aberto ligado à mesma deve ficar no pé da drenagem da cobertura protectora horizontal da barragem; o fundo do dreno aberto deve ser inferior à superfície inferior da drenagem da cobertura protectora; numa região fria, devem ser asseguradas secções de drenagem suficientes após o congelamento do dreno aberto.
- c) No que respeita à barragem de terra homogénea, a drenagem horizontal da cobertura protectora deve ser preenchida com areia de granulometria média ou areia de cascalho, que deve satisfazer os requisitos de anti-filtração e estar isenta de fenómenos de concentração de cascalho; as partículas relativamente grandes devem ser removidas; o teor de sedimentos (d inferior a 0,1 mm) deve ser inferior a 5% e o coeficiente de permeabilidade deve ser superior ao da fundação da barragem e do corpo da barragem.
- d) A espessura da cobertura protectora pode ser determinada com base no dobro da capacidade de infiltração; para a fundação da barragem propensa a produzir assentamento irregular, a espessura da drenagem horizontal da cobertura protectora deve ser aumentada.
- e) O comprimento da drenagem da cobertura protectora horizontal estendida no corpo da barragem pode ser de 1/3 a 1/4 da largura do fundo da barragem.
- f) Nas superfícies de fundação da barragem de ambas as margens, o dreno de pulverização transversal deve ser disposto de modo a facilitar a subsecção da água de infiltração na cobertura protectora recolhida e conduzida até à vala de drenagem do pé da barragem. A superfície superior do dreno de pulverização deve ser inferior à superfície inferior da cobertura protectora.

6.4.7.7 A drenagem vertical pode ser disposta no corpo homogéneo da barragem, que está ligado à extremidade a montante da drenagem da cobertura protectora horizontal para reter a infiltração na barragem e baixar a linha de infiltração.

6.4.7.8 As dimensões das faixas de drenagem longitudinal e vertical na rede de drenagem devem ser determinadas de acordo com o cálculo da infiltração; a sua capacidade de drenagem não deve ser inferior ao dobro da capacidade de infiltração. A largura da faixa de drenagem transversal deve ser superior a 0,5 m, o espaçamento entre as faixas deve ser de 20 m a 50 m e o declive não deve ser superior a 1%. Se as dimensões calculadas da rede de drenagem forem demasiado grandes, o tubo de drenagem de betão pode ser disposto nas faixas de drenagem, a parede do tubo deve ser perfurada com furos e o diâmetro do tubo não deve ser inferior a 0,15 m. A velocidade do caudal na tubulação deve ser de 0,2 m/s a 1,0 m/s; o material filtrante deve ser preenchido ao redor do corpo da tubulação.

6.4.8 Protecção de taludes

6.4.8.1 A disposição da protecção do talude da barragem na face da barragem deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) A protecção do talude a montante deve resistir ao impacto das ondas e evitar danos causados por blocos de gelo e detritos.
- b) Deve ser evitada no corpo da barragem a formação de geadas e a fissuração do solo criada por seca.
- c) A superfície do talude deve ser protegida da chuva.
- d) O solo não coesivo deve ser protegido para não ser arrastado pelo vento.
- e) A destruição causada por animais deve ser evitada.

6.4.8.2 O talude a montante pode incluir a protecção do talude, protecção do enrocamento do talude, protecção do talude em alvenaria, protecção do betão ou betão betuminoso do talude.

6.4.8.3 A camada de amortecimento deve ser disposta entre o corpo da barragem e o revestimento do enrocamento.

6.4.8.4 A protecção do talude a montante não é necessária se o nível mínimo de água do reservatório for inferior a 1,5 m.

6.4.8.5 A protecção do talude a jusante pode incluir um talude com relva, macadame ou protecção de talude de paralelepípedos e um revestimento de pedra britada (ou bloco pré-fabricado de betão). Se o corpo da barragem estiver enchido com rocha, macadame ou paralelepípedos, a protecção do talude pode não ser possível.

6.4.8.6 Na região fria, a espessura da protecção do talude a montante/jusante e a camada de amortecimento da massa do solo não devem ser inferiores à profundidade de penetração da geada.

6.4.8.7 As juntas longitudinais/transversais e os furos de drenagem devem ser dispostos para a protecção da alvenaria ou do talude de betão.

6.4.8.8 O apoio das fundações deve ser providenciado no pé da protecção do talude.

6.4.9 Drenagem na face da barragem

6.4.9.1 As valas de drenagem longitudinais e transversais devem ser dispostas no talude a jusante.

- a) As valas de drenagem longitudinais (no sentido do eixo da barragem) devem ser dispostas no lado interior da bancada.
- b) As valas de drenagem transversais devem ser estendidas desde o coroamento da barragem até à vala de drenagem no pé da barragem ou abaixo do nível mínimo de água a jusante.
- c) As valas de drenagem transversais podem ser dispostas em intervalos de 50 m a 100 m, devendo haver pelo menos duas valas de drenagem transversais. As valas de drenagem longitudinais e transversais devem estar interligadas.
- d) O tamanho da secção líquida da vala de drenagem pode ser de 0,4 m x 0,3 m. A vala de drenagem pode ser construída com alvenaria ou blocos de betão.

6.4.9.2 A vala de drenagem deve ser disposta na ligação entre o corpo da barragem e o talude da margem; a sua área de captação deve incluir a área de captação efectiva dos taludes da margem.

6.4.10 Cálculo para o corpo da barragem

6.4.10.1 O cálculo da infiltração de terra e da barragem de enrocamento deve incluir os seguintes conteúdos:

- a) determinar a localização da linha de infiltração da barragem e o seu ponto de fuga a jusante, e desenhar o mapa de distribuição ou o mapa da rede de caudal da linha equipotencial dentro do corpo da barragem e da fundação;
- b) determinar o caudal de infiltração do corpo e da fundação da barragem;
- c) determinar o gradiente de fuga entre a secção de fuga do talude da barragem e a superfície da fundação da barragem a jusante, bem como o gradiente de infiltração entre diferentes camadas de solo;
- d) determinar a posição da linha de infiltração ou a pressão dos poros no talude da barragem a montante, quando o nível de água do reservatório cai;
- e) determinar a linha equipotencial, a taxa de caudal de infiltração e o gradiente de infiltração do encontro.

6.4.10.2 O cálculo da infiltração deve considerar todos os tipos de condições adversas no funcionamento do reservatório, incluindo as seguintes combinações de níveis de água:

- a) o nível normal de água de armazenamento a montante e o correspondente nível de água mais baixo a jusante;
- b) nível de cheia projectado a montante e o nível de água correspondente a jusante;
- c) a montante, o nível de inundação controlado e o nível de água correspondente a jusante;
- d) a condição mais desfavorável para a estabilidade do talude da barragem a montante quando o nível de água do reservatório cai.

6.4.10.3 A anisotropia do coeficiente de permeabilidade do corpo e da fundação da barragem deve ser considerada no cálculo da infiltração. O valor médio do alto valor do coeficiente de permeabilidade do solo deve ser usado para calcular o caudal de infiltração, e o valor médio do pequeno valor deve ser usado para calcular a linha de infiltração quando o nível de água cai. Devem ser tomadas medidas de controlo de infiltração necessárias através do cálculo da infiltração.

6.4.10.4 A estabilidade da barragem de terra-rocha deve ser calculada nas quatro situações seguintes:

- a) o talude a jusante da barragem durante o período de infiltração estável;
- b) o talude da barragem a montante durante o período de descida do nível de água do reservatório;
- c) taludes de barragens a montante e a jusante durante o período de construção (incluindo o período de conclusão);
- d) funcionamento normal dos taludes a montante e a jusante da barragem em caso de terremotos.

Onde, a) e b) as condições de funcionamento são normais e o factor de segurança antiderrapante não é inferior a 1,25; c) a condição de funcionamento é a condição de funcionamento anormal I e o factor de segurança antiderrapante não é inferior a 1,15; d) a condição de funcionamento é a condição operacional de funcionamento II e o factor de segurança antiderrapante não é inferior a 1,10.

6.4.10.5 A estabilidade estática da barragem deve ser calculada com o método do círculo sueco, de acordo com a teoria do equilíbrio dos limites do corpo rígido para a barragem homogénea, a barragem de parede do núcleo e a barragem de terra grossa com núcleo inclinado; ou com o método da cunha deslizante para a barragem de terra fina com núcleo inclinado, barragem de parede do núcleo fino e corpo da barragem com entrelaçamento de solo macio na fundação da barragem.

6.4.10.6 A estabilidade da barragem de terra e enrocamento durante o período de construção pode ser calculada com o método de tensão total; a amostra de solo correspondente à densidade seca projectada e ao teor de humidade do enchimento pode ser preparada para o teste de cisalhamento rápido directo (ou cisalhamento tri-axial não drenado); o índice de resistência C_u e ϕ_u devem ser usados para calcular a estabilidade. A tensão que actua no arco de deslizamento é a tensão total gerada pelo peso morto da massa do solo.

6.4.10.7 Para a barragem sobre uma fundação de loess colapsável, a influência da redução da força na estabilidade do corpo da barragem causada pela imersão da fundação na estabilidade do corpo da barragem durante o represamento do reservatório deve ser calculada se a fundação não for tratada durante a construção.

6.4.10.8 Para a barragem sobre fundação de solo mole, a estabilidade durante o período de construção deve ser verificada se a fundação não tiver sido tratada. Pode ser adoptado o índice de resistência C_u do teste de cisalhamento rápido directo (ou tri-axial não drenado) em densidade seca natural e o teor de humidade do solo da fundação, ou pode ser adoptado o índice de resistência do teste de compressão não confinada ou do teste de cisalhamento transversal da placa. Se as medidas de consolidação de drenagem foram implementadas para a fundação, deve ser considerada a consolidação da fundação em vários graus durante o período de construção e o tempo de conclusão; se a pressão dos poros for dissipada, o cálculo pode ser realizado com o método de tensão eficaz; neste caso, pode ser utilizado o índice de resistência do teste de cisalhamento rápido directo (ou cisalhamento tri-axial drenado).

6.4.10.9 O método de tensão eficaz deve ser usado para trabalhar o período de infiltração estável, e a pressão dos poros e a tensão eficaz actuando na superfície deslizante devem ser calculadas de acordo com a linha equipotencial da rede de caudal de infiltração; o índice de resistência ao cisalhamento directo lento (ou cisalhamento tri-axial drenado) deve ser usado. Para simplificar o teste, o índice de resistência ao cisalhamento rápido de consolidação directa também pode ser estimado.

6.4.10.10 Durante o período de queda do nível de água, a queda da linha de infiltração no corpo da barragem pode ser considerada como estando em sincronia com o nível de água do reservatório para o solo não coesivo, como material rochoso ou cascalho de areia, independentemente da pressão do poro.

6.4.10.11 No que diz respeito ao corpo de anti-infiltração do solo, quando o nível de água cai, a pressão dos poros no corpo da barragem ou na fundação da barragem durante o período de queda do nível de água pode ser obtida de acordo com o diagrama da rede de caudal após a queda do nível de água e pode ser calculada com o método de tensão eficaz; a pressão dos poros também pode ser calculada com o seguinte método simplificado assumindo que a linha de infiltração permanece inalterada antes e depois da queda do nível de água; calcular o bloco na peça abaixo do nível de água antes de cair com o peso da unidade flutuante, calcular a força de deslizamento com o peso saturado do bloco entre o nível de água caído e a linha de infiltração, calcular a força de resistência ao deslizamento com o peso da unidade flutuante, utilizar o peso real para os blocos na peça acima da linha de infiltração; a resistência ao cisalhamento emprega o índice de resistência ao cisalhamento rápido de solidificação directa (ou consolidação tri-axial sem drenagem).

6.4.10.12 Para a barragem de terra e enrocamento, será calculado o assentamento total do corpo da barragem e da fundação da barragem, assim como o assentamento durante o período de construção. A liquidação total pode ser calculada camada por camada de acordo com a curva de compressão do corpo da barragem e da fundação da barragem, e depois resumida.

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{e_{0i} - e_i}{1 - e_{0i}} h_i \dots\dots\dots (13)$$

onde

S é a liquidação total, em m;

n é o número de camadas;

e_{0i} é a porosidade inicial na camada i ;

e_i é a porosidade na camada i sob o efeito da carga superior;

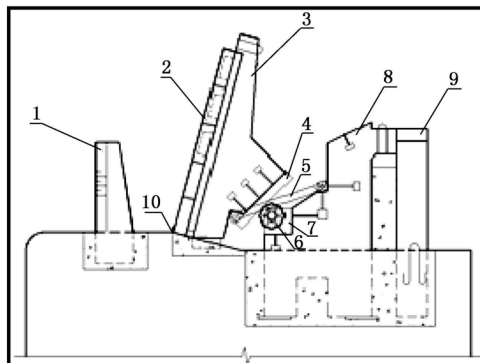
h_i é a espessura do solo na camada i , em m.

6.4.10.13 De acordo com os dados empíricos, o assentamento do corpo da barragem durante o período de construção pode ser de 80% do assentamento final da barragem de terra e pode ser de 90% do assentamento final das barragens de enrocamento ou de cascalho. O resultado da liquidação total deduzida para a liquidação durante o período de construção é a liquidação após a conclusão.

6.5 Barragem com comporta basculante automática hidráulica

6.5.1 Disposições gerais

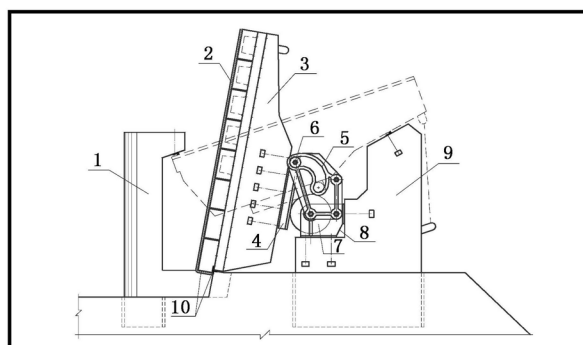
6.5.1.1 A seleção do tipo da comporta hidráulica automática deve cumprir os requisitos de utilização abrangente de água e descarga de cheias. Deve ser utilizada a comporta basculante automática com rodas com biela e a comporta basculante automática hidráulica com suportes duplos (ver figura 4 e figura 5); a altura da comporta não deve ser superior a 5 m.



Legenda

- | | | | |
|---|-------------------------|----|----------------------------|
| 1 | plataforma de protecção | 2 | face |
| 3 | estabilizador | 4 | carril |
| 5 | biela | 6 | roda de pás (ou roda fixa) |
| 7 | assento da roda | 8 | contraforte |
| 9 | ponte de serviço | 10 | vedação de água do fundo |

Figura 4 Esquema da estrutura da comporta basculante hidráulica automática de rodas com biela



Legenda

1	plataforma limitadora	2	face
3	estabilizador	4	carril direito
5	carril de guia	6	bloco móvel
7	bloco de coroas	8	assento da roda
9	contraforte	10	de vedação de água

Figura 5 Esquema de estrutura da comporta basculante hidráulica automática com rodas com suportes duplos

6.5.1.2 A comporta basculante deve ser usada para projectos de armazenamento de água em rios de médio e pequeno porte em áreas montanhosas e acidentadas. A comporta basculante não deve ser utilizada para projectos de controlo de inundações e de drenagem.

6.5.1.3 Se a profundidade da água a montante do açude em frente da comporta de descarga for superior ao dobro da altura da comporta durante a descarga de cheia, a comporta basculante não deve ser seleccionada.

6.5.1.4 Quando a comporta basculante está disposta no canal do rio e o rio atinge o nível de água a jusante, o teste do modelo hidráulico deve ser realizado para demonstração.

6.5.1.5 A comporta basculante não deve suportar a pressão estática do gelo. Quando a comporta basculante é adoptada em áreas frias, as medidas anticongelamento, como jacto hidráulico e jacto de ar comprimido, devem ser seleccionadas de acordo com a temperatura do ar e as mudanças no nível de água do reservatório.

6.5.1.6 No que diz respeito ao canal do rio que requer controlo automático para a gestão da operação, deve ser seleccionada a comporta basculante hidráulica.

6.5.1.7 A comporta de regulação ou comporta de descarga de decapagem deve ser disposta para a barragem com uma comporta basculante de acordo com as condições topográficas do leito do rio.

6.5.2 Disposição da barragem com comporta basculante

6.5.2.1 A selecção do local da comporta basculante deve ser compatível com a disposição geral do projecto; deve ser seleccionada a secção do rio com curso recto e caudal de água estável. O deslocamento da comporta basculante no rio com regime de caudal complexo ou a comporta basculante com capacidade de descarga superior a 1000 m³/s deve ser demonstrado através de teste de modelo hidráulico.

6.5.2.2 Quando a comporta de descarga é construída no rio a jusante e de confluência multi-tributária, o local da comporta deve ser seleccionado na posição com condições de caudal regular e estável a jusante da confluência.

6.5.2.3 O eixo da comporta basculante deve ser vertical ao sentido do caudal de água do rio; a largura da comporta deve satisfazer os requisitos do projecto de descarga e cheias de verificação.

6.5.2.4 A ligação da comporta basculante com ambas as margens deve fazer com que a água flua regularmente através da comporta. A ligação entre as paredes a montante/jusante e ambas as extremidades da plataforma da margem deve ser regular; o comprimento ao longo da direcção do caudal de água deve ser determinado de acordo com as condições de entrada/saída do caudal de água e os requisitos anti-decapagem.

6.5.3 Construção da comporta basculante

6.5.3.1 O açude de coroamento largo ou o açude prático trapezoidal deve ser adoptado para o tipo de açude basculante. A elevação do coroamento do açude deve ser determinada de acordo com o terreno, geologia, nível de água, caudal, sedimentos, construção e condições de assistência, e deve ser 0,5 m superior à elevação média do terreno do leito do rio a montante; a largura do coroamento do açude deve cumprir os requisitos de instalação e assistência da comporta basculante.

6.5.3.2 O comprimento seccional da laje base da comporta deve estar em harmonia com o vão da comporta basculante; as juntas da laje base devem ser dispostas nas juntas da comporta basculante. O comprimento seccional da laje de base da comporta na fundação rochosa não deve exceder 20 m; o comprimento seccional da laje de base da comporta na fundação do solo não deve exceder 35 m.

6.5.3.3 Quando a largura da comporta basculante for superior a 50 m, as plataformas divisoras devem ser dispostas no meio para separar a comporta basculante em várias partes; o número de comportas basculantes deve ser de 5 a 8. A distância estendida a montante desde a extremidade da plataforma de separação até à borda dianteira da face não deve ser inferior a 3 m.

6.5.3.4 As plataformas de protecção podem ser dispostas em frente da laje frontal da comporta basculante; a estrutura fixa da âncora de tracção para manutenção da comporta basculante deve ser enterrada na laje de base ou no contraforte atrás da comporta. O acesso de manutenção deve ser providenciado atrás do suporte da comporta basculante, e a largura deve ser de 0,6 m.

6.5.3.5 A vala dedicada ao tubo deve ser disposta no contraforte e na laje de base da comporta da comporta hidráulicamente assistida; a dimensão reservada da vala do tubo deve satisfazer os requisitos de ligação do cilindro hidráulico e do tubo de óleo e a espessura da cobertura de betão na segunda fase.

6.5.3.6 A estação de bombagem hidráulica e o equipamento eléctrico para o sistema de controlo hidráulico devem ser colocados na sala de controlo. O espaço necessário para instalação e manutenção do equipamento, assim como uma passagem com largura não inferior a 0,8 m, deve ser reservado na sala de controlo. O equipamento eléctrico deve ser protegido contra o pó, humidade, névoa salina, geada e areia.

6.5.4 Desenho da comporta basculante

6.5.4.1 A profundidade da água para abrir a porta basculante deve ser de 0,1 m a 0,25 m mais profunda que o topo da comporta, a profundidade da água para fechar a comporta a montante do açude não deve ser inferior a 0,9 vezes a altura da comporta vertical e o ângulo máximo de abaixamento da comporta basculante não deve ser superior a 80°.

6.5.4.2 A comporta basculante deve adoptar uma estrutura pré-fabricada de betão armado, os elementos do conjunto devem ser compostos pela placa frontal, o estabilizador e o contraforte, que devem cumprir os requisitos de resistência, anti-fissuração e durabilidade.

6.5.4.3 A placa frontal da comporta deve adoptar uma estrutura de viga de consola dupla (vigas longitudinais). A altura do centro de gravidade do corpo da comporta basculante não deve ser superior a 0,45 vezes a altura do corpo da comporta.

6.5.4.4 O contraforte deve adoptar uma estrutura de betão armado. O fundo do suporte pré-fabricado deve ser introduzido no copo de fundação; a profundidade do suporte não deve ser inferior ao dobro do comprimento do bordo curto.

6.5.4.5 Os furos de ventilação devem ser dispostos na plataforma da comporta da comporta basculante para fornecer ar sob a comporta. O fundo do furo de ventilação deve ser disposto na posição 1/3 da altura da comporta, por detrás da comporta. A elevação do topo do furo de ventilação deve ser determinada de acordo com o nível de cheia de verificação mais o bordo livre.

6.5.4.6 As rodas intermédias devem ser de ferro fundido ou aço fundido, a biela deve ser de aço moldado, os carris devem ser de aço laminado ou aço fundido, o veio principal deve ser de aço #45, o assento da roda deve ser de chapa ou aço fundido e a placa do carril guia deve ser de ferro fundido nodular; os membros de aço devem satisfazer os requisitos de resistência estrutural.

6.5.4.7 Para o corpo do açude da comporta basculante, devem ser calculadas a estabilidade antiderrapante, tensão estrutural, estabilidade contra caudal de infiltração e dissipação de energia e anti-corrosão; entretanto, deve ser considerada a influência da dissipação de energia em condições de trabalho desfavoráveis, como efluentes centralizados devido ao empenhamento e revisão geral da comporta.

6.5.5 Cálculo da descarga da comporta basculante

6.5.5.1 A comporta basculante de controlo automático hidráulico pode completar independentemente as acções de abertura, abertura e fechamento total da comporta com a ajuda da força hidráulica e do peso morto da comporta. Os principais índices de concepção e operação para a comporta basculante devem cumprir os seguintes requisitos.

- a) Quando não houver existir nenhum requisito especial para o nível de escorva da comporta, o nível de água deve ser 0,1 m a 0,25 m mais alto do que a parte superior da comporta quando esta estiver fechada.
- b) A inclinação da placa frontal depois de a comporta estar totalmente virado pode ser determinada de acordo com a altura fixa do açude, o gradiente do canal do rio e o efeito de recaudal, e deve ser de 75° a 80°.

c) O braço de força para recuar a comporta deve ser de 0,08 m a 0,16 m.

6.5.5.2 A descarga da comporta basculante é uma mistura de caudal de açude na comporta e o caudal de orifício sob a comporta. A descarga de água através da comporta basculante pode ser calculada de acordo com a Fórmula de caudal do açude (14) a (17).

$$Q = mcB \sqrt{2g} H_0^{1.5} \dots\dots\dots (14)$$

$$c = - 0.560 \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^2 + 1.554 \left(\frac{S_1}{S_2} \right) - 0.041 \dots\dots\dots (15)$$

$$S_1 = B \times (H_2 - H \times \cos \alpha) \dots\dots\dots (16)$$

$$S_2 = H_2 \times B \dots\dots\dots (17)$$

Quando o caudal de água é descarregado livremente através dos furos no açude da comporta basculante, o coeficiente *m* de descarga de água através da comporta e o factor de correcção *c* pode ser calculado de acordo com as Fórmulas (18) a (19).

a) Para o açude de coroamento largo com bainha circular de entrada:

quando $0 < H_1/H_2 < 3.0$

$$m = 0.32 + 0.01 \frac{3 - H_1/H_2}{0.46 + 0.75 H_1/H_2} \dots\dots\dots (18)$$

quando $H_1/H_2 \geq 3.0$, $m = 0.32$

b) Para o açude de coroamento largo e com o bordo de entrada em ângulo recto:

quando $0 < H_1/H_2 < 3.0$,

$$m = 0.36 + 0.01 \frac{3 - H_1/H_2}{1.2 + 1.5 H_1/H_2} \dots\dots\dots (19)$$

quando $H_1/H_2 \geq 3.0$, $m = 0.36$

onde

Q é a descarga de água através da comporta, em m³/s;

m é o coeficiente de descarga para o açude de coroamento largo;

c é o factor de correcção; tendo em consideração a influência do bloqueio da água pela face e pela contracção lateral, bem como a contracção lateral;

- S_1 é a área aberta quando a água está bloqueada pela folha da comporta, em m^2 ;
- S_2 é a área aberta acima do coroamento do açude no mesmo nível de água quando a água não está bloqueada pela folha da comporta, em m^2 ;
- B é a largura do caudal de passagem, em m;
- g é a aceleração da gravidade, considerar $9,81 \text{ m/s}^2$;
- H_0 é a altura da água, incluindo a velocidade de aproximação, em m;
- H_1 é a altura do açude, em metros;
- H_2 é a profundidade da água sobre o açude, em metros;
- H é a altura da comporta, em metros;
- α é o ângulo de viragem da comporta no sentido vertical, em ($^\circ$).

7 Estrutura de descarga de água

7.1 Descarregador de cheias

7.1.1 Disposições gerais

7.1.1.1 A disposição do descarregador de cheias ribeirinho pode incluir o canal de entrada, secção de controlo, calha de descarga, dissipação de energia e instalações anti-decapagem e canal de saída.

7.1.1.2 A disposição do descarregador de cheias deve ser considerada de forma exaustiva em combinação com a disposição geral do projecto para evitar interferência mútua de estruturas, como a descarga de cheias e a geração de energia na disposição.

7.1.1.3 A descarga e a dissipação de energia devem ser razoavelmente seleccionadas para a disposição do descarregador de cheias; o caudal de água de saída deve ser ligado sem problemas ao canal do rio a jusante para evitar a erosão grave e a erosão do leito do rio a jusante e dos taludes das margens pelo caudal de água, e a sedimentação do canal do rio, de modo a assegurar o funcionamento normal de outras estruturas do projecto.

7.1.1.4 O terreno e as condições geológicas favoráveis devem ser seleccionados para a localização do descarregador de cheias. A localização deve ser na margem ou no desfiladeiro e deve ser evitado o talude elevado formado pela escavação.

7.1.1.5 Quando o declive das encostas da barragem em ambas as margens é elevado e a disposição requer uma largura relativamente grande de borda dianteira de transbordo, podem ser adoptada a entrada do canal lateral ou outros tipos de entradas.

7.1.1.6 O descarregador de cheias deve ser colocado sobre a fundação estável e deve ser dada suficiente atenção ao impacto negativo das condições hidrogeológicas na estabilidade das estruturas e dos taludes laterais após a conclusão do reservatório.

7.1.1.7 A entrada e a saída do descarregador de cheias devem ser dispostas de modo a assegurar um caudal de água regular. O eixo do descarregador de cheias deve ser recto; quando for necessário fazer uma curva, a curva deve ser disposta no canal de entrada ou na secção do canal de saída.

7.1.1.8 Quando o descarregador de cheias é colocado perto da encosta da barragem, a sua disposição e descarga não devem afectar a estabilidade das encostas da barragem e dos taludes das margens.

7.1.1.9 A fonte de alimentação de reserva deve ser fornecida para o guincho de comporta e o aparelho básico de bombeamento para o descarregador de cheia, a fim de garantir uma fonte de alimentação fiável.

7.1.1.10 Quando equipado tanto com o descarregador de cheias normal como com o descarregador de cheias extraordinário, a capacidade de descarga do descarregador de cheias normal não deve ser inferior ao valor requerido pela norma de cheias do projecto. O descarregador de cheia aberto deve ser usado para o descarregador de cheia extraordinário. A descarga máxima total do descarregador de cheias extraordinário não deve exceder a inundação natural com a mesma frequência no local da barragem.

7.1.2 Disposição do descarregador de cheias

7.1.2.1 A disposição do canal de admissão deve obedecer aos seguintes princípios.

- a) Devem ser seleccionadas condições geológicas e topográficas favoráveis.
- b) A direcção do eixo deve ser seleccionada para assegurar um influxo de água regular.
- c) Quando o canal de admissão é relativamente longo, a secção de transição deve ser disposta antes da secção de controlo e o seu comprimento deve ser determinado de acordo com a velocidade do caudal, mas não deve ser inferior ao dobro da profundidade da água em frente do açude.
- d) Quando for necessário que o canal faça uma curva, o raio de viragem do eixo não deve ser inferior a 4 vezes a largura inferior do canal, e a secção recta entre a curva e o açude de controlo (comporta) não deve ser inferior ao dobro da cabeça do açude.

7.1.2.2 A entrada do canal de admissão deve ser disposta de acordo com as condições locais, de modo a que o caudal de água entre regularmente no canal e a forma da entrada deve ser simples. Quando a entrada é colocada na encosta da barragem, a parede guia com superfície curva no sentido do caudal de água deve ser disposta no lado próximo da barragem; o lado próximo da encosta pode ser escavado ou forrado na superfície curva regular. Quando a entrada é colocada numa passagem de frente para o reservatório, deve ser colocada de forma simétrica ou basicamente simétrica do tipo sino-boca.

7.1.2.3 Quando a largura inferior do canal de admissão encolhe no sentido do caudal de água, a relação das larguras inferiores na cabeceira e na extremidade traseira do canal de admissão deve ser de 1 a 3, a largura inferior deve ser igual à borda dianteira do transbordo na ligação com a secção de controlo e a laje de base deve ser plana ou ter um pequeno talude adverso.

7.1.2.4 O fundo do canal de entrada no leito rochoso pode não ser revestido; quando a perda de altura é relativamente grande ou o requisito de velocidade de não-corrente não pode ser satisfeito, a necessidade de revestimento deve ser determinada através de comparação de custos. Quando a litologia é pobre, deve ser revestida.

7.1.2.5 O raio de curvatura do arco horizontal da parede guia vertical para o canal de admissão não deve ser inferior ao dobro da largura do fundo do canal, o comprimento da parede guia no sentido do caudal de água deve ser superior ao dobro da profundidade da água em frente ao açude e a elevação do coroamento da parede guia deve ser superior ao nível máximo de água do reservatório durante a descarga de cheias.

- Em relação ao canal de admissão adjacente à terra e ao corpo da barragem de enrocamento, a parede guia deve ser pelo menos suficientemente longa para bloquear o talude do pé da barragem.
- No que diz respeito à parede guia dentro da distância do dobro da profundidade da água em frente do açude até à secção de controlo, o coroamento da parede deve ser superior ao nível máximo de água do reservatório durante o controlo de inundações.
- Em relação à parede guia que tem mais do dobro do comprimento da profundidade da água em frente ao açude, pode ser disposta como um tipo de submersão, e o coroamento da parede deve ser adequadamente mais alto do que a face da barragem.

7.1.2.6 O projecto da secção de controlo deve incluir o açude (comporta) que controla a capacidade de descarga e as estruturas de ligação de ambos os lados. A selecção do eixo do açude de controlo (comporta) deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) Os requisitos gerais de disposição do canal de admissão, da calha de descarga, da dissipação de energia e das instalações anti-decapagem e do canal de saída devem ser considerados de forma exaustiva.
- b) Os requisitos de resistência, estabilidade, anti-permeabilidade e durabilidade das fundações devem ser cumpridos.
- c) Deve facilitar o tráfego externo e a disposição das estruturas em ambos os lados.
- d) Quando o açude de controlo (comporta) estiver próximo do encontro da barragem, deverá estar em harmonia com a disposição da barragem.
- e) Deve facilitar a disposição do sistema de anti-infiltração; o sistema de drenagem anti-infiltração, incluindo a vedação de água para o açude (comporta) e ambas as margens (ou barragem) devem formar um sistema integral.

7.1.2.7 O tipo de açude de controlo deve ser seleccionado através de uma comparação técnica e económica exaustiva, de acordo com as condições topográficas e geológicas, condições hidráulicas e requisitos operacionais. O açude prático, o açude de coroamento largo e o açude do ressalto podem ser aplicados tanto em tipo aberto, como com o muro corta-águas. O açude de transbordo aberto deve ser favorecido. A necessidade de organizar a comporta no coroamento do açude deve ser demonstrada e determinada a partir dos aspectos de segurança de engenharia, regulação de cheias, operação de reservatórios e investimento do projecto.

7.1.2.8 O coroamento do açude do descarregador de cheias lateral pode ser fornecido sem uma comporta. A secção transversal do canal lateral deve ser uma secção trapezoidal estreita; a inclinação do lado do talude pode ser determinada de acordo com as características do leito rochoso e o talude do lado do açude pode ser de 1: 0.5 a 1: 0.9.

7.1.2.9 O tipo e as dimensões da plataforma da comporta devem cumprir os requisitos do comporta (incluindo a ranhura da comporta), a disposição da ponte de acesso e da ponte de serviço, bem como as condições de caudal de água, a estrutura, os requisitos operacionais e de revisão geral geral.

7.1.2.10 A disposição da ponte de serviço e da ponte de acesso para o açude de controlo (comporta) deve ser determinada de acordo com os requisitos do guincho da comporta, operação, observação, revisão geral geral e tráfego. Se forem utilizadas as pontes para prevenção de cheias e salvamento de emergência, a ponte de serviço e a ponte de acesso devem ser dispostas separadamente, e o espaço livre sob a ponte deve cumprir os requisitos de descarga de cheias, gelo e detritos.

7.1.2.11 A elevação superior do cais, do muro corta-águas ou da parede da plataforma do descarregador de cheias não deve ser inferior ao nível da cheia de verificação mais o valor do bordo livre quando a cheia de verificação for descarregada; e a elevação do coroamento não deve ser inferior ao nível da cheia de projecto ou ao nível normal do reservatório mais a altura calculada da onda e o valor do bordo livre quando a água for bloqueada. Quando o descarregador de cheias estiver próximo do encontro da barragem, a elevação superior da secção de controlo deve ser consistente com a elevação do coroamento da barragem.

7.1.2.12 A disposição da inclinação longitudinal, do plano e da secção transversal da calha de descarga deve ser determinada através de comparação económica e técnica, de acordo com as condições topográficas e geológicas e as condições hidráulicas. Quando a curva no plano da calha de descarga é ajustada, os seguintes requisitos devem ser cumpridos.

- a) A distribuição da velocidade do caudal deve ser uniforme na secção transversal.
- b) A onda de choque afecta pouco a perturbação do caudal.
- c) A secção de transição regular pode ser disposta entre a secção recta e a secção curva.
- d) O gradiente transversal deve ser disposto no fundo do canal na curva e nas secções de transição regular.
- e) O raio de curvatura da curva da secção transversal rectangular deve ser de 6 a 10 vezes a largura da calha de descarga; em relação à calha de descarga com grande capacidade de descarga e alta velocidade de caudal, o parâmetro de curvatura deve ser determinado através do teste do modelo hidráulico.

- f) O gradiente longitudinal da calha de descarga deve ser maior que a inclinação crítica do caudal de água; quando for necessário mudar o gradiente devido às restrições, a mudança de gradiente longitudinal não deve ser excessiva, e deve passar de regular para íngreme.
- g) A calha de descarga deve utilizar uma secção transversal rectangular. Quando a secção transversal trapezoidal é utilizada em combinação com a escavação rochosa, o declive do talude lateral não deve ser inferior a 1: 1.5, e deve ser dada atenção à velocidade de caudal desigual daí derivada.

7.1.2.13 O tipo de dissipação de energia e as instalações anti-decapagem do descarregador de cheias devem ser seleccionadas por comparação técnica e económica, de acordo com as condições topográficas e geológicas, condições de descarga, modo de operação, profundidade da água a jusante, capacidade anti-decapagem do leito do rio, requisitos de dissipação de energia e anti-decapagem, ligação ao caudal de água a jusante e influência sobre outras estruturas. O descarregador de cheias de transbordo na margem do rio pode recorrer à dissipação de energia por esquema de jacto de trajectória ou a dissipação de energia por esquema de subcaudal, e o caudal facial, caudal de balde ou outros esquemas de dissipação de energia também podem ser adoptados.

7.1.2.14 A dissipação de energia pelo esquema de jacto de trajectória pode ser utilizada para projectos em fundações rochosas com cabeças de água altas ou médias; a instalação de balde de trajectória invertida para o vertedouro pode empregar o tipo de largura equivalente, tipo de difusão ou tipo de contracção. A viragem dos baldes pode ser contínua, diferencial ou com formas anormais. Quando a dissipação de energia por esquema de jacto de trajectória é utilizada, as influências da atomização do caudal de jacto e da névoa de lama do rio carregado de sedimentos pesados na segurança e funcionamento normal de outras estruturas do projecto e nos taludes das margens deve ser seriamente considerada. Nos casos seguintes, devem ser implementadas as medidas adequadas para o tratamento.

- a) A superfície estrutural fraca com as zonas de queda de baixo ângulo e falha de fractura que se estende até jusante da fundação, que pode ser cortada pelo poço de decapagem, pondo em risco a segurança das estruturas.
- b) Os taludes das margens podem ser destruídos, pondo em perigo a estabilidade do encontro da barragem ou bloqueando o canal de descarga ou o canal do rio a jusante.
- c) Os picos e refluxos a jusante põem em perigo a segurança e o funcionamento normal da barragem e de outras estruturas.

7.1.2.15 A dissipação de energia do caudal inferior pode ser utilizada para todo o tipo de fundações ou projectos com requisitos rigorosos de regime de caudal. As instalações de dissipação de energia do caudal inferior podem incluir bacias de amortecimento com fundo plano ou talude, bacia de destilação difusoras e bacia de destilação de contracção, bem como todos os tipos de dissipadores de energia auxiliar. Quando necessário, a bacia de amortecimento multifases pode ser providenciada, e deve ser dada atenção ao problema de abrasão dos sedimentos.

7.1.2.16 A dissipação de energia do caudal superficial pode ser usada para o projecto onde o nível de água a jusante é mais alto do que a profundidade da água após o salto e a variação do nível da água não é grande, e o leito do rio e ambas as margens têm uma capacidade anti-decapagem relativamente alta dentro de um determinado âmbito, ou onde a descarga de gelo é necessária.

7.1.2.17 O balde ou dissipador de energia do tipo balde pode ser usado para projectos onde a profundidade da água a jusante é maior que a profundidade da água após o salto, o leito do rio a jusante e ambas as margens têm uma certa capacidade anti-decapagem, mas não deve ser usado quando é necessário descarregar detritos. A parede divisória deve ser disposta a jusante.

7.1.2.18 Quando não for possível descarregada a água descarregada do descarregador de cheias directamente no canal do rio após a dissipação de energia e causar danos, o canal de saída deve ser providenciado. A selecção da rota do canal de saída deve ser económica e razoável, e a direcção do seu eixo deve estar em conformidade com o regime do rio a jusante. A largura do canal de saída deve impedir que o caudal de água se concentre excessivamente e evitar o escorrimento nocivo do caudal de refração nas margens do rio.

7.1.3 Projecto Hidráulico

7.1.3.1 O projecto hidráulico para o descarregador de cheia deve incluir o cálculo da capacidade de descarga, concepção da forma do limite do caudal, cálculo do perfil da superfície da água e da linha de inclinação hidráulica, cálculo hidráulico da curva, cálculo hidráulico da dissipação de energia e projecto anti-decapagem e resistência à cavitação para a área de caudal de alta velocidade. O projecto hidráulico do descarregador de cheias deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) A capacidade de descarga deve satisfazer o caudal de descarga necessário de acordo com as condições de projecto e verificação.
- b) A forma deve ser razoável e simples, o caudal de água deve ser regular e estável, e a cavitação deve ser evitada.
- c) O regime de caudal de água descarregada e o caudal de água devem cumprir os requisitos de decapagem e assoreamento no leito do rio.

7.1.3.2 A concepção hidráulica do canal de entrada deve tornar o caudal de água no canal regular e estável, a flutuação do nível de água e o declive transversal da superfície da água devem ser ligeiros e o recaudal e o vórtice devem ser evitados.

7.1.3.3 A velocidade de descarga de concepção no canal de entrada deve ser superior à velocidade sem inclinação da carga suspensa, mas inferior à velocidade sem inclinação do canal, e a perda de carga deve ser relativamente pequena. A velocidade de descarga de projecto do canal deve ser de 3 m/s a 5 m/s.

7.1.3.4 A curva da superfície da água do canal pode ser calculada com o método de soma gradual de acordo com a equação de energia estabelecida com base na secção de controlo desde a cabeça do canal de desvio até 3 a 5 vezes a cabeça do açude em frente do açude.

7.1.3.5 No que diz respeito aos açudes abertos (incluindo o açude dianteiro e o açude lateral), a superfície do açude a jusante do coroamento do açude deve ser calculada de acordo com a curva de potência tipo WES, e a cabeça do açude a montante do coroamento do açude deve ser calculada recorrendo curvas bi-arco, tri-arco ou elípticas.

7.1.3.6 Quando o açude prático baixo é seleccionado, a altura do açude a montante deve ser $P1 \geq 0.3 H_d$ e a altura do açude a jusante deve ser $P2 \geq 0.6 H_d$, onde H_d se refere à cabeça de projecto estabelecida da curva de superfície do açude. A curva de superfície do açude é subsequentemente ligada a uma secção recta, e o gradiente deve ser superior a 1: 1.

7.1.3.7 Quando a relação da altura máxima acima do coroamento do açude com a altura do orifício $H_{max}/D > 2$, ou a comporta está totalmente aberta mas a descarga de água ainda é considerada como descarga do orifício, a curva da superfície do açude a jusante do orifício deve ter a forma de parábola. A extremidade inferior do muro corta-águas pode empregar a elipse, arco ou outros tipos.

7.1.3.8 Em relação ao açude baixo com a altura do açude inferior a 3 m, o açude de coroamento largo ou o açude de ressalto pode ser adoptado.

7.1.3.9 A pressão da superfície do açude perto do coroamento prático do açude deve cumprir as seguintes disposições:

- a) A pressão negativa não deve ocorrer na superfície do açude quando a comporta estiver totalmente aberta para cheias frequentes.
- b) O valor da pressão negativa perto do coroamento do açude não deve ser superior a 0,03 MPa quando a comporta de cheia estiver totalmente aberta.
- c) O valor da pressão negativa perto do coroamento do açude não deve ser superior a 0,06 MPa quando a comporta de cheia de verificação estiver totalmente aberta.

7.1.3.10 O raio R do anti-arco ligado entre a extremidade do açude prático e a calha de descarga pode ser de 3 a 6 vezes a profundidade máxima da água no ponto mais baixo do anti-arco, e o valor maior deve ser seleccionado quando a velocidade do caudal é alta.

7.1.3.11 O perfil da superfície de água da secção da calha de descarga deve ser calculado com o método de soma por etapas, de acordo com a equação energética. No cálculo, a secção de cálculo inicial e a sua profundidade de água devem ser devidamente determinadas.

7.1.3.12 Quando o caudal de água da calha de descarga é arejado, a profundidade da água após a aeração do caudal deve ser considerada.

7.1.3.13 Quando a secção de contracção é colocada na secção da calha de descarga, o cálculo da onda de choque pode não ser realizado se o ângulo da garganta for inferior a 6° . Caso contrário, a onda de choque do caudal rápido deve ser verificada.

7.1.3.14 Quando a calha de descarga contém a curva no plano, deve ser calculada a diferença de nível transversal de água na secção da curva.

7.1.3.15 O projecto hidráulico da secção do canal lateral no descarregador de cheias lateral deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) O talude inferior i do canal lateral deve ter inclinação única, e deve ser menor que a inclinação crítica i_{ke} calculada de acordo com a profundidade crítica da água h_{ke} na secção da extremidade do canal lateral. Quando o caudal de concepção é drenado, o caudal no canal deve ser lento.
- b) A altura h_s da profundidade da água na secção da cabeça do canal lateral acima do coroamento do açude deve ser inferior a metade da cabeça do açude H_o para garantir que a descarga no canal lateral não fique submersa.
- c) A relação da largura inferior nas secções dianteira e traseira do canal lateral, b_u/b_e , pode ser de 0,5 a 1,0.
- d) O salto hidráulico não deve ocorrer no canal lateral nem na secção final do canal; a secção de ajustamento deve ser disposta no final do canal, mas não deve ficar adjacente à secção de contracção ou à secção de curva. O comprimento da secção de ajuste L_2 pode ser h_{ke} (2 a 3) e o talude inferior deve ser horizontal. A altura d da soleira ascendente a extremidade final pode ser de 0,1 a 0,2 vezes a profundidade crítica da água h_k na secção dianteira da calha de descarga.
- e) A diferença transversal da superfície da água na secção do canal lateral deve ser limitada dentro de um determinado âmbito; a subida da superfície da água perto da encosta, Δh , deve ser de 10% a 25% da profundidade média da água h .

7.1.3.16 A ligação curva deve ser utilizada para a mudança da inclinação inferior da secção de descarga.

- Se a inclinação do fundo variar de regular para íngreme, pode ser adoptada uma ligação de parábola.
- Se a inclinação do fundo variar de íngreme para regular, pode ser adoptada um ligação em arco; o raio do arco R pode ser de 3 a 6 vezes a profundidade da água h na secção com mudanças de inclinação, e o valor maior deve ser seleccionado se a velocidade do caudal for alta.
- Se as instalações de captação de ar utilizadas para aliviar a cavitação estiverem dispostas na secção da calha de descarga, dentro do seu âmbito de protecção, o modo de ligação na posição com alterações de gradiente não pode ser limitado pelas disposições acima referidas.

7.1.3.17 A altura da parede lateral da secção da calha de descarga deve basear-se na linha de superfície da água depois de ter em conta a flutuação e a aeração mais um bordo livre de 0,5 m a 1,5 m. Para as peças com condições hidráulicas complexas, como a secção de contracção (difusão), e a secção de curva, deve ser adoptado um grande valor.

7.1.3.18 Uma série de cálculos devem ser realizados para diferentes caudais no projecto hidráulico da dissipação de energia do balde de trajectória. O comprimento da trajectória do jacto de segurança, a largura do jacto de água na água e a profundidade máxima admissível de decapagem devem ser determinados com o pressuposto de não afectar a estabilidade da fundação do rebordo do balde e dos taludes das margens de ambos os lados, e de garantir a segurança das estruturas adjacentes. O talude a montante do poço de decapagem deve ser determinado de acordo com as condições geológicas, e deve ser na ordem de 1: 3 a 1: 6. Enquanto isso, devem ser tidos em conta o caudal de decapagem pelo caudal de pressão da parede e o caudal de queda, assim como as medidas de protecção.

7.1.3.19 O raio R do anti-arco na secção de balde deflector pode ser de 6 a 12 vezes a profundidade máxima da água h no ponto mais baixo do anti-arco; o raio do anti-arco deve utilizar o valor maior se a inclinação inferior da calha de descarga for relativamente íngreme, a velocidade do caudal e a descarga unitária na secção anti-arco são relativamente altas.

7.1.3.20 O ângulo do balde deflector pode ser de 15° a 35°. Quando for utilizado um tipo diferencial de balde deflector, o raio do anti-arco, a relação de largura dos rebordos do balde alto/baixo, a diferença de elevação e a diferença do ângulo de jacto devem ser razoavelmente seleccionados.

7.1.3.21 A elevação do balde deflector deve garantir a formação do caudal deflector livre, que pode ser ligeiramente inferior ao nível máximo de água a jusante.

7.1.3.22 O projecto hidráulico de dissipação de energia de caudal inferior deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) É necessário formar um salto hidráulico estável de baixa taxa de submersão na bacia de amortecimento, e evitar o recaudal de ambos os lados.
- b) A bacia de amortecimento deve ser uma secção transversal rectangular de largura igual.
- c) Quando a velocidade média do caudal do pré-salto for superior a 16 m/s a 18 m/s, os dissipadores de energia auxiliares, como o bloco de soleira da calha e o bloco de deflectores, não devem ser dispostos na água.

7.1.3.23 No projecto hidráulico de dissipação de energia do caudal de fundo, o caudal a vários níveis deve ser calculado para determinar a elevação do fundo da bacia, o comprimento da bacia e a disposição da soleira da extremidade. A altura das paredes laterais em ambos os lados da bacia de amortecimento pode ser determinada de acordo com a profundidade da água após o salto e o bordo livre apropriado. Quando a velocidade do caudal de saída da bacia de amortecimento excede o caudal permitido de anti-decapagem do leito rochoso, ou quando o leito do rio a jusante da bacia de amortecimento não é uma fundação rochosa, devem ser tomadas medidas de protecção, incluindo a parede principal de anti-decapagem, o avental e a vala de anti-decapagem.

7.1.3.24 O caudal de água do canal de saída deve ser regular e estável, e não deve causar danos por erosão.

7.1.3.25 Deve ser dada atenção ao desenho da resistência à cavitação do descarregador de cheias. Para posições e regiões propensas à corrosão por cavitação, as seguintes medidas de resistência à cavitação podem ser implementadas.

- a) Seleccionar uma forma razoável.
- b) Controlar a desniveação parcial da superfície da parede no limite do caudal de água, incluindo o escalonamento das juntas, a marca da placa, as extremidades das vigas de reforço, a desniveação da superfície de betão, bem como outras irregularidades da superfície e a soleira de queda deixada pela construção de betão.
- c) Quando a velocidade do caudal exceder 35 m/s, devem ser criadas instalações de redução da corrosão por aeração.
- d) Seleccionar modos de operação razoáveis.
- e) Adoptar os materiais com boa resistência à cavitação.

7.1.3.26 Em rios com sedimentos pesados, o efeito combinado do caudal de areia nas paredes laterais deve ser considerado simultaneamente. Devem ser seleccionados materiais com boa resistência à cavitação e resistência à abrasão. Quando as instalações de redução da corrosão por aeração forem adoptadas, os problemas de abrasão e assoreamento dos sedimentos devem ser demonstrados.

7.1.4 Concepção das estruturas

7.1.4.1 A influência da tensão de temperatura na estrutura de betão do descarregador de cheias deve ser considerada, e as medidas estruturais e de construção necessárias devem ser implementadas de acordo com as condições climáticas locais, características estruturais e restrições das fundações.

7.1.4.2 O fundo do canal de entrada no leito rochoso pode não estar revestido. Quando o revestimento é necessário para o fundo do canal, pode ser usado um escudo de betão, pedra de bloco de lama ou pedra de bloco seco.

7.1.4.3 A espessura do revestimento do fundo pode ser determinada de acordo com os requisitos estruturais. A espessura do revestimento de betão pode ser de 300 mm; a estabilidade anti-infiltração e anti-flutuação deve ser verificada, quando necessário.

7.1.4.4 A estrutura do açude de controlo (comporta de descarga) pode ser separada ou integrada. A estrutura separada aplica-se à fundação com litologia relativamente homogénea, enquanto a estrutura integral se aplica à fundação com pouca homogeneidade. As juntas transversais (no sentido do caudal) no piso separado podem ser do tipo vertical, de degrau, basculante ou ranhura de chaveta, de acordo com os requisitos de transferência de tensão. As instalações de vedação de água devem ficar dispostas nas juntas estruturais dentro do âmbito da secção de controlo. A placa inferior separada deve verificar a sua estabilidade anti-drenagem, e devem ser tomadas medidas de drenagem ou ancoragem quando necessário.

7.1.4.5 A espessura do piso da calha de descarga não deve ser inferior a 0,3 m. Podem ser tomadas as medidas de engenharia necessárias, incluindo anti-infiltração, drenagem, vedação de água e ancoragem. As juntas estruturais devem ficar dispostas no piso da calha de descarga, e as suas posições devem cumprir os requisitos da disposição estrutural. O espaçamento entre as juntas longitudinais/transversais pode ser de 10 m a 15 m e a vedação de água deve ser providenciada para as juntas.

7.1.4.6 As juntas longitudinais e transversais no piso da calha de descarga podem utilizar juntas planas. Quando a fundação for visivelmente irregular, as juntas transversais devem empregar uma junta parcialmente sobreposta, uma junta completa ou uma junta com ranhura de chaveta. No que diz respeito ao piso da calha de descarga em que pode ocorrer assentamento irregular ou que não está equipado com barras de ancoragem, a ranhura de chaveta deve ser disposta na extremidade a montante do bloco, e devem ser adoptadas juntas transversais totalmente sobrepostas nos blocos a montante/jusante.

7.1.4.7 As juntas estruturais verticais em relação ao sentido do caudal não devem ser dispostas no balde deflector.

7.1.4.8 Para o avental da bacia de amortecimento, deve ser revista a estabilidade anti-flutuação. Quando o avental estiver equipado com barras de ancoragem, as barras de ancoragem devem ficar estendidas para cima e ligadas à malha de aço da superfície da blindagem de protecção.

7.1.4.9 O espaçamento dos aventais deve ser igual ao do piso da calha de descarga. Os cordões de vedação de água devem ser dispostas nas juntas. As juntas verticais no sentido do caudal devem ser juntas semi-sobrepostas ou juntas de ranhura de chaveta; as juntas ao longo do sentido do caudal devem ser juntas de chaveta.

7.1.4.10 As juntas estruturais devem ser dispostas para a parede guia, parede lateral ou parede lateral ao longo da face inclinada que retém o solo ou não retém o solo em ambos os lados do canal de admissão, secção de controlo, calha de descarga, balde deflector e a bacia de amortecimento do descarregador de cheias para os separar do pavimento. Para o projecto da parede lateral, a estabilidade antiderrapante, a tensão normal da base e a distância excêntrica resultante da força da base devem ser verificadas, e sua estabilidade anti-capotagem também deve ser verificada, quando necessário.

7.1.4.11 Quando as condições geológicas são relativamente pobres na região de saída das instalações de dissipação de energia, a parede principal de anti-decapagem, o muro de ala, açude auxiliar, avental ou fossa anti-decapagem podem ser dispostas de acordo com o tipo de dissipação de energia.

7.1.5 Projecto do tratamento da fundação

7.1.5.1 O projecto do tratamento da fundação para o descarregador de cheia deve cumprir os requisitos de várias posições sobre capacidade de carga, estabilidade antiderrapante, deformação da fundação, controle de infiltração, anti-decapagem e durabilidade em combinação com a estrutura e características operacionais das estruturas.

7.1.5.2 A fundação de posições importantes do descarregador de cheias deve ser escavada até à parte do meio ligeiramente erodida até à parte superior do estrato rochoso. Drenos não revestidos devem ser escavados até ao estrato de rocha duro e integral das rochas frescas ou ligeiramente erodidas. Para o leito rochoso, que fica facilmente erodido e barrento, devem ser propostas as correspondentes medidas de protecção da construção.

7.1.5.3 No que diz respeito às fundações com estrato de rocha pobre, podem ser tomadas as medidas de reforço para melhorar as condições das fundações, e a profundidade da escavação deve ser determinada através de comparação técnica e económica.

7.1.5.4 A forma da cava de fundação para as estruturas deve ser determinada de acordo com as condições geológicas e topográficas, bem como as exigências das estruturas superiores, e a face da escavação deve ser contínua e lisa. A cava de fundação na secção de controlo deve inclinar-se ligeiramente para o lado a montante, podendo ser escavada em forma de degrau com um ângulo obtuso se for limitado pelas condições geológicas e topográficas, se a diferença de altura for demasiado grande ou se está ligeiramente inclinada para o lado a jusante.

7.1.5.5 O âmbito e a profundidade da gunitagem de consolidação da fundação do descarregador de cheias devem ser determinados de acordo com o grau de fragmentação da rocha, a profundidade da erosão, a dimensão da fractura e a tensão da fundação. A gunitagem de consolidação deve ser realizada após o betão ser despejado.

7.1.5.6 A disposição das instalações de anti-infiltração e drenagem para a fundação do descarregador de cheia deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) Reduzir a infiltração e evitar a infiltração da fundação do açude (comporta de descarga).
- b) Evitar falhas de infiltração na camada fraca intercalada, zona de fractura por falha, enchimento fraco de fissuras de massa rochosa e outras fundações com fraco desempenho de deformação de anti-infiltração.
- c) Reduzir a pressão de elevação da base da estrutura.
- d) Ter continuidade fiável e durabilidade suficiente.
- e) A cortina anti-infiltração não deve ser disposta na região de tensão de tracção da superfície inferior da estrutura.
- f) Em regiões de frio intenso, as instalações de drenagem devem ser protegidas do gelo e de falhas causadas por congelamento.

7.1.5.7 A cortina de gunitagem com cimento deve ser utilizada como medida anti-infiltração para a fundação do açude (comporta de descarga) e suas margens, ou uma parede principal de betão, parede corta-águas, placa horizontal anti-infiltração ou qualquer combinação de ambas pode ser adoptada de acordo com as condições. A gunitagem das cortinas deve ser testada, quando necessário.

7.1.5.8 O alcance e a profundidade da cortina de anti-infiltração na secção de controlo devem estar de acordo com as seguintes disposições:

- a) Quando existe uma camada de impermeabilização relativa evidente sob a fundação, a cortina geral deve ser estendida de 2 a 3 m para dentro da camada de impermeabilização. O padrão de controlo da permeabilidade da camada impermeável relativa deve ser inferior a 5 Lu.

- b) Quando a profundidade de enterramento da camada impermeável relativa da fundação é relativamente pequena ou a sua distribuição é irregular, a posição da cortina pode ser seleccionada dentro da profundidade máxima da água superior a 0,3 a 0,7 vezes a superfície da fundação do açude (comporta de descarga). Quando existe uma zona de fractura com forte permeabilidade, a profundidade e a espessura devem ser aumentadas adequadamente.
- c) O alcance, profundidade e orientação da cortina de anti-infiltração estendida no talude da margem deve ser determinada de acordo com as condições hidrogeológicas e geológicas de engenharia; e a cortina de anti-infiltração deve ser estendida até à intersecção entre o nível normal do reservatório e a linha de alcance do leito de confinamento relativo (ou linha de água subterrânea antes do enchimento de água).
- d) A cortina do descarregador de cheias junto ao encontro da barragem deve ser ligada à cortina da barragem para formar um sistema integral anti-infiltração.

7.1.5.9 Os furos de gunitagem das cortinas devem ser dispostos em fila; na secção com condições geológicas relativamente pobres, massa rochosa quebrada, desenvolvimento de fracturas ou possível deformação causada pela infiltração, os furos de gunitagem podem ser dispostos em duas filas, e dispostos alternadamente com a primeira fila de furos de gunitagem. O espaçamento entre furos para a gunitagem das cortinas pode ser de 1,5 m a 3,0 m, e a distância entre linhas deve ser ligeiramente menor do que o espaçamento entre furos. A direcção de perfuração da cortina deve ser vertical ou ligeiramente inclinada para o lado a montante; os furos devem ser feitos através do plano de base da massa rochosa e da fractura principal, mas não devem ser inclinados para o lado a jusante.

7.1.5.10 A gunitagem de cortinas deve ser efectuada após a pesagem da cobertura de betão com uma certa espessura e gunitagem de consolidação. A pressão de gunitagem pode ser determinada através de teste, e não deve ser inferior a 0,2 MPa a 0,5 MPa para a secção de superfície dos furos da cortina, não deve ser inferior a 0,4 MPa a 0,8 MPa para a secção inferior dos furos da cortina, sob o princípio de que a massa de rocha não é levantada.

7.1.5.11 As instalações de drenagem sob o piso da calha de descarga devem ser dispostas de acordo com as condições específicas.

- a) As valas de descarga longitudinal e transversal (tubos) devem ser dispostas sob o piso da calha de descarga, para formar um sistema de rede de valas (tubos) interligadas.
- b) A cobertura protectora de drenagem contínua ou a combinação de uma cobertura protectora de drenagem e uma vala de drenagem (tubo) pode ser colocada na área onde a fundação de rocha fraca, a pressão de elevação do piso inferior é muito grande ou as barras de ancoragem são inconvenientes para serem colocadas.
- c) O espaçamento entre as valas de drenagem transversais/longitudinais (tubos) deve corresponder às juntas longitudinais/transversais no chão, mas as valas de drenagem (tubos) não devem ser dispostas ao longo das juntas.

7.2 Comporta de descarga

7.2.1 Disposições gerais

7.2.1.1 A câmara da comporta de descarga pode ter uma estrutura de tipo aberto, de muro corta-águas, de bueiro ou de duas plataformas, de acordo com as características de descarga e os requisitos operacionais. O centro de gravidade de toda a estrutura da câmara de comportas de descarga deve estar o mais próximo possível do centro do pavimento da câmara de comportas de descarga e inclinado para o lado com o nível de água mais elevado. Os princípios de selecção são os seguintes.

- a) Em relação à comporta de descarga com uma elevação relativamente alta da soleira e uma altura de retenção de água relativamente baixa, a estrutura do tipo aberto pode ser adoptada.
- b) No que diz respeito à comporta de descarga com elevação relativamente baixa da soleira e altura elevada de retenção de água, pode ser adoptado o muro corta-águas ou a estrutura do tipo de bueiro. A junta de assentamento não deve ser providenciada dentro da câmara de comportas de descarga do tipo bueiro.

7.2.1.2 A selecção da estrutura da comporta de descarga e a sua disposição sobre a fundação macia devem cumprir os seguintes requisitos:

- a) A câmara da comporta de descarga deve ser bem equilibrada, de peso leve, integridade forte e alta rigidez.
- b) A diferença de pressão das fundações entre as secções adjacentes deve ser pequena.
- c) Os tipos e materiais de vedação de água a seleccionar devem ser duráveis e adaptáveis a deformações relativamente significativas.
- d) O comprimento e a profundidade de enterramento do piso devem ser aumentados adequadamente.

7.2.1.3 A selecção da estrutura e a disposição da comporta de descarga na fundação da camada de gelo deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) A estrutura da câmara da comporta de descarga deve ter integridade forte e rigidez alta.
- b) No que diz respeito à comporta de descarga sobre a fundação de gelo, a sua profundidade de enterramento da fundação não deve ser inferior à profundidade de congelamento de concepção da fundação.
- c) Com a premissa de cumprir os requisitos de capacidade de carga do solo de fundação, a área de contacto entre o fundo da câmara de comportas de descarga e o solo de gelo deve ser reduzida.
- d) Com a premissa de cumprir os requisitos para as condições de anti-infiltração, anti-decapagem e junta de caudal, o comprimento de entrada e saída deve ser reduzido.

- e) O tamanho do bloco das estruturas inferiores, incluindo a cobertura protectora de comportas de descarga e o chão da bacia de amortecimento exposto no inverno, deve ser reduzido adequadamente.

7.2.1.4 A selecção da estrutura e a disposição da comporta de descarga nas regiões sísmicas devem cumprir os seguintes requisitos.

- a) A câmara da comporta de descarga deve ser bem equilibrada, de peso leve, integridade forte e rigidez alta.
- b) A altura da estrutura dobrada da ponte de serviço deve ser reduzida, o peso superior e a ligação de cisalhamento entre a coluna da estrutura dobrada e a estrutura do tabuleiro do plataforma/ponte da ponte devem ser reduzidos.
- c) As juntas devem ser dispostas na plataforma da comporta, e os tipos e materiais de vedação de água a utilizar devem ser duráveis e adaptáveis a deformações relativamente significativas.
- d) A ligação entre a fundação e o chão da câmara da comporta de descarga deve ser reforçada e devem ser tomadas medidas eficazes contra a infiltração.
- e) A profundidade de enchimento por detrás da plataforma lateral (parede da plataforma) deve ser devidamente baixada para reduzir a carga adicional.
- f) A estrutura de betão deve ser adoptada para cobertura protectora anti-infiltração a montante, e devem ser distribuídos reforços apropriados.

7.2.2 Disposição da câmara da comporta de descarga

7.2.2.1 A estrutura da câmara da comporta de descarga do tipo aberto pode ser integrada ou separada de acordo com as condições das fundações e a situação de tensão. O tipo separado não deve ser usado para a estrutura da câmara da comporta de descarga do tipo de bueiro.

7.2.2.2 A elevação superior da comporta de descarga deve ser determinada de acordo com os dois modos operacionais de retenção de água e descarga de água.

- a) No caso de retenção de água, a elevação do topo da comporta de descarga não deve ser inferior à soma do nível normal do reservatório (ou do nível máximo de retenção de água) da comporta de descarga mais a altura calculada da onda e o bordo livre correspondente.
- b) Em caso de descarga de água, a elevação do topo da comporta de descarga não deve ser inferior à soma do nível de inundação de projecto (ou do nível de inundação de verificação) e a altura do bordo livre correspondente.

7.2.2.3 A elevação da soleira da comporta de descarga deve ser determinada por comparação técnica e económica de acordo com a elevação do fundo do rio (canal), caudal de água, sedimentos, topografia e geologia, bem como as condições de construção e operacionais combinadas com o tipo de açude seleccionado, tipo de comporta de descarga e largura total da rede dos orifícios das comportas de descarga.

7.2.2.4 A largura total da rede dos orifícios das comportas de descarga deve ser determinada por comparação técnica e económica de acordo com as características de descarga, as condições geológicas do leito do rio a jusante e os requisitos de descarga segura, combinados com a selecção do diâmetro e do número de orifícios das comportas.

7.2.2.5 O diâmetro do orifício da comporta de descarga deve ser determinado por uma análise exaustiva de acordo com as condições de fundação da comporta, requisitos operacionais e tipo de estrutura da comporta, capacidade de elevação, bem como a fabricação, transporte e instalação da comporta. Quando a comporta de descarga tiver menos de 8 orifícios, o número de orifícios deve ser ímpar para segurança da operação.

7.2.2.6 Em geral, a câmara da comporta de descarga deve utilizar pisos planos; quando a comporta de descarga estiver sobre a fundação macia e a carga for relativamente pesada, o piso plano tipo caixa também pode ser usado.

7.2.2.7 A espessura do piso da câmara da comporta de descarga deve ser determinada através de cálculos de acordo com as condições da fundação da câmara da comporta de descarga, as cargas actuantes e a largura do orifício da comporta de descarga e em combinação com os requisitos de composição.

7.2.2.8 O comprimento seccional da estrutura da câmara da comporta de descarga na vertical em relação ao sentido do caudal (ou seja, o espaçamento entre juntas permanentes ao longo do sentido do caudal) deve ser determinado de acordo com as condições da fundação e as características estruturais da comporta de descarga, e tendo em consideração os métodos e medidas de construção.

7.2.2.9 No que diz respeito à comporta de descarga sobre fundação sólida ou baseada em estacas, as juntas podem ser dispostas no chão da câmara da comporta de descarga ou na plataforma da comporta para segmentação; no que diz respeito à comporta de descarga sobre a fundação fraca ou na região do terramoto, as juntas devem ser dispostas na parte do meio da plataforma da comporta para segmentação.

7.2.2.10 O comprimento da secção da comporta de descarga na fundação rochosa não deve exceder 20 m, e o comprimento da secção da comporta de descarga na fundação do solo não deve exceder 35 m. As juntas permanentes podem ser de corte vertical, de laçada inclinada ou de laçada serrilhada; a largura da junta pode ser de 20 mm a 30 mm.

7.2.2.11 O projecto do contorno da plataforma da comporta deve cumprir os requisitos de caudal regular através da comporta de descarga, pequena contracção lateral e grande capacidade de caudal. A cabeça da plataforma a montante pode ser semicircular e a cabeça da plataforma a jusante pode ter forma aerodinâmica.

7.2.2.12 A espessura da plataforma da comporta deve ser determinada de acordo com o diâmetro do orifício da comporta de descarga, condições de tensão, requisitos estruturais e métodos de construção. A espessura mínima não deve ser inferior a 0,4 m na ranhura da plataforma da comporta cais da comporta plana.

7.2.2.13 A abertura da comporta de serviço deve ficar disposta na posição da plataforma com caudal relativamente regular, e a sua relação largura-profundidade deve ser de 1,6 para 1,8. A distância líquida entre a abertura da comporta ensecadeira e a abertura da comporta de serviço não deve ser inferior a 1,5 m.

7.2.2.14 A selecção do tipo e disposição da estrutura da comporta deve ser razoavelmente determinada de acordo com o seu estado de tensão, requisitos de operação de controlo, fabrico, transporte, instalação e condições de manutenção, e em combinação com a disposição estrutural da câmara da comporta de descarga. O topo da comporta submersa deve ficar 0,3 m a 0,5 m acima do nível máximo de água possível.

- a) Para a comporta de descarga com altura de retenção de água relativamente alta e orifício de grande diâmetro, e quando a descarga de água deve ser controlada com a comporta, deve adoptar-se a comporta radial.
- b) Quando as juntas permanentes estão dispostas no chão da câmara da comporta de descarga, a comporta plana deve ser adoptada.
- c) Se for necessária comporta de descarga para descarregar gelo ou deixar passar madeira, deve ser adoptada a comporta de arco horizontal plana ou a comporta de arco horizontal para baixo; a comporta de arco horizontal inferior não deve ser usada para a comporta da eclusa no rio com sedimentos pesados.
- d) A comporta ensecadeira deve utilizar a comporta plana ou a comporta de paragem de toros.

7.2.2.15 As elevações do fundo das vigas da ponte de serviço, ponte de manutenção e ponte de acesso devem estar, pelo menos, 0,5 m acima do nível máximo de inundação; se houver gelo flutuante, a elevação deve ser 0,2 m mais alta do que a superfície de gelo flutuante.

7.2.3 Disposição anti-sísmica e de anti-infiltração

7.2.3.1 A disposição da drenagem e da anti-infiltração da comporta de descarga deve ser determinada através de uma análise exaustiva de acordo com as condições geológicas da fundação da comporta de descarga e a diferença entre os níveis de água a montante e a jusante, combinada com a disposição da câmara da comporta de descarga, a dissipação de energia e a anti-decapagem e as ligações a ambas as margens.

7.2.3.2 A linha de contorno da fundação da comporta de descarga sobre a fundação homogénea do solo deve ser determinada através de uma disposição razoável de acordo com as instalações anti-infiltração e de drenagem seleccionadas. O comprimento de anti-infiltração preliminar da fundação da comporta de descarga deve cumprir os requisitos da Fórmula (20).

$$L = C \Delta H \dots\dots\dots (20)$$

onde

L é o comprimento de anti-infiltração da fundação da comporta de descarga, ou seja, a soma do comprimento da secção horizontal e da secção vertical das peças anti-infiltração na linha de contorno da fundação da comporta de descarga, em m;

ΔH é a diferença entre os níveis de água a montante e a jusante, em m;

C é o coeficiente de percurso de infiltração permitido.

7.2.3.3 Quando a fundação da comporta de descarga for de solo franco médio, solo franco leve ou solo franco pesado, as coberturas protectoras de betão armado ou argila, ou as coberturas protectoras anti-infiltração da geomembrana devem ser dispostas a montante da câmara da comporta de descarga; a camada de filtração deve ser disposta no fundo do avental a jusante da câmara da comporta de descarga. O coeficiente de permeabilidade da cobertura protectora de argila deve ser, pelo menos, 100 vezes inferior ao do solo da fundação.

7.2.3.4 Quando a fundação da comporta de descarga é uma camada de solo franco relativamente fino, e o seu estrato subjacente é espesso em relação ao leito confinante, deve ser verificada a estabilidade anti-infiltração e anti-flutuação do solo sobrejacente. Quando necessário, o poço de drenagem ou vala de drenagem no leito de confinamento relativo pode ser disposto no lado a jusante da câmara da comporta de descarga, devendo ser tomadas medidas de prevenção de entupimento.

7.2.3.5 Quando a fundação da comporta de descarga é de sedimentos, solo franco, solo franco leve ou solo franco leve e arenoso, a cobertura protectora deve ser combinada com os corpos verticais anti-infiltração (laje de betão armado, cortina de argamassa de cimento, cortina de gunitagem de jacto de alta pressão, muro corta-águas de betão e estrutura vertical anti-infiltração da geomembrana) para o montante da câmara da comporta de descarga e os corpos verticais anti-infiltração devem ser colocados a montante do piso da câmara da comporta de descarga. Na fundação de areia fina e sedosa na região sísmica, os corpos verticais anti-infiltração sob o chão da câmara da comporta de descarga devem formar uma estrutura fechada. No que diz respeito ao sedimento, areia fina, solo franco arenoso leve ou fundação de solo franco arenoso leve, o declive médio da infiltração e o declive de saída devem ser inferiores aos valores permitidos, e a camada de filtração com boa classificação deve ser disposta na saída da infiltração (incluindo a infiltração lateral existente em ambas as margens).

7.2.3.6 Quando a fundação da comporta de descarga é uma camada de solo arenoso relativamente fina ou camada de cascalho de areia, e o estrato subjacente é um leito de confinamento relativamente espesso, a vala ou o muro corta-águas deve ser disposto a montante do chão da câmara da comporta de descarga, e a camada de filtro deve ser disposta na saída de infiltração a jusante da câmara da comporta de descarga. A profundidade da vala de corte e do muro corta-águas embutidos no leito de confinamento relativo não deve ser inferior a 1,0 m. Quando a camada de areia da fundação da comporta de descarga é relativamente espessa, a combinação da cobertura protectora e do muro corta-águas suspenso pode ser adoptada a montante da câmara da comporta de descarga, e a camada de filtro deve ser disposta na saída de infiltração a jusante da câmara da comporta de descarga. Quando a fundação da comporta de descarga é uma camada de cascalho arenoso ou de cascalho grosso misturado com um leito de seixos de granulometria relativamente grande, a parede chave profunda ou muro corta-águas deve ser disposto a montante do chão da câmara da comporta de descarga, e a camada de filtração deve ser disposta na saída de infiltração a jusante da câmara da comporta de descarga.

7.2.3.7 Quando a fundação da comporta de descarga estiver entrelaçada com solo fino e coeso e solo arenoso, deve ser adicionado um corpo vertical anti-infiltração na extremidade frontal da cobertura protectora; a vala de drenagem ou poço de drenagem raso deve ser disposto a jusante da câmara da comporta de descarga e as medidas de prevenção de entupimento devem ser tomadas.

7.2.3.8 Quando a fundação da comporta de descarga é uma fundação de rocha, a cortina de gunitagem de cimento pode ser disposta na extremidade a montante do pavimento da câmara da comporta de descarga, de acordo com os requisitos de anti-infiltração.

7.2.3.9 As paredes chave devem ser dispostas nas extremidades a montante e a jusante do chão da câmara da comporta de descarga e a profundidade das paredes chave pode ser de 0,5 m a 1,5 m.

7.2.3.10 O comprimento da cobertura protectora pode ser determinado de acordo com os requisitos de anti-infiltração da fundação da comporta de descarga, e normalmente deve ser de 3 a 5 vezes a diferença máxima entre os níveis de água a montante e a jusante.

- a) A espessura mínima das coberturas protectoras de betão ou betão armado não deve ser inferior a 0,4 m, o espaçamento entre as juntas permanentes no sentido do caudal pode ser de 8 m a 20 m, o espaçamento entre as juntas da cobertura protectora perto da parede da ala deve empregar o valor menor e a largura da junta pode ser de 20 mm a 30 mm.
- b) A espessura da argila ou da cobertura protectora de solo franco deve ser determinada através de cálculos de acordo com o gradiente hidráulico permitido para o material do solo de cobertura. A espessura mínima da sua extremidade frontal não deve ser inferior a 0,6 m, e a espessura deve ser aumentada gradualmente na direcção da câmara da comporta de descarga. A camada protectora deve ser disposta sobre a cobertura protectora.
- c) A espessura da geomembrana de anti-infiltração deve ser determinada de acordo com a cabeça actuante, a largura da possível fractura da massa do solo abaixo da membrana, bem como o esforço e a resistência da membrana, mas não deve ser inferior a 0,5 mm. A camada protectora deve ser disposta sobre a geomembrana.
- d) Nas regiões frias e de frio intenso, o espaçamento das juntas permanentes deve ser adequadamente reduzido no betão ou cobertura protectora de betão armado, a espessura da argila ou a cobertura protectora de solo franco deve ser aumentada adequadamente, e deve evitar-se que a cobertura protectora fique exposta à atmosfera no inverno.

7.2.3.11 A espessura mínima da pilha de placas de betão armado não deve ser inferior a 0,2 m, a largura não deve ser inferior a 0,4 m e as pilhas de placas devem ser ligadas com a língua e a ranhura trapezoidal. A espessura mínima da cortina de argamassa de cimento ou da cortina de gunitagem de jacto de alta pressão não deve ser inferior a 0,1 m e a espessura mínima do muro corta-águas de betão não deve ser inferior a 0,2 m. A espessura da geomembrana subterrânea vertical anti-infiltração não deve ser inferior a 0,25 mm; a geomembrana composta deve ser usada, e sua espessura não deve ser inferior a 0,5 mm.

7.2.4 Dissipação de energia e disposição anti-decapagem

7.2.4.1 A dissipação de energia de subcaudal deve ser utilizada no lado a jusante da comporta de descarga. A disposição das instalações de dissipação de energia deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) Quando a profundidade da água a jusante da comporta de descarga é menor do que a profundidade após o salto, a bacia de amortecimento de corte inferior pode ser utilizada para a dissipação de energia. A bacia de amortecimento pode estar ligada ao chão da comporta de descarga pelo talude; o gradiente do talude não deve ser superior a 1: 4.
- b) Quando a profundidade da água a jusante da comporta de descarga é ligeiramente inferior à profundidade após o salto, a bacia de amortecimento do tipo soleira de amortecimento pode ser utilizada para dissipação de energia.
- c) Quando a profundidade da água a jusante da comporta de descarga é muito inferior à profundidade após o salto e a profundidade calculada da bacia de amortecimento é relativamente profunda, a combinação da bacia de amortecimento de corte inferior com a bacia de amortecimento do tipo soleira de amortecimento pode ser utilizada para a dissipação de energia.
- d) Quando a diferença entre os níveis de água a montante e a jusante da comporta de descarga é relativamente grande, e a profundidade da água a jusante é relativamente baixa, a bacia de amortecimento secundária ou multi-estágio pode ser utilizada para dissipação de energia.
- e) O avental e a fossa (ou parede anti-decapagem) devem ser dispostos para a bacia de amortecimento de corte inferior, a bacia de amortecimento do tipo soleira de amortecimento e a bacia de amortecimento do tipo combinado.
- f) Os dissipadores de energia auxiliares, tais como plataformas de dissipadores e vigas de dissipadores, podem ser dispostos na bacia de amortecimento.

7.2.4.2 Quando a profundidade da água a jusante da comporta de descarga é relativamente profunda, a variação é relativamente pequena e a capacidade anti-decapagem do leito do rio e o talude da margem é relativamente forte, a dissipação de energia do tipo caudal superficial pode ser utilizada.

7.2.4.3 Quando a cabeça suportada pela comporta de descarga é relativamente alta e o leito do rio a jusante e os taludes das margens são massas de rocha duras, pode ser utilizada a dissipação de energia do tipo caudal deflector.

7.2.4.4 No que diz respeito à comporta de descarga construída sobre o rio fortemente sedimentado que transporta cascalho relativamente grande, a bacia de amortecimento não deve ser disposta; pode ser ligada ao canal a jusante do rio através do avental inclinado anti-decapagem e resistente à erosão, e a parede anti-decapagem deve ser disposta no final. Na posição com caudal de água alto, devem ser tomadas medidas anti-decapagem e anti-cavitação.

7.2.4.5 No que diz respeito às comportas de descarga de grande escala com vários orifícios, as plataformas divisórias ou as paredes-guia podem ser dispostas para dissipação de energia e anti-decapagem em diferentes zonas.

7.2.4.6 O avental deve ser flexível, permeável à água e com superfície áspera; a sua composição e capacidade anti-decapagem deve ser adaptável à velocidade do caudal de água. O declive do avental deve ser igual ou inferior a 1:10; a trincheira (ou parede anti-decapagem) deve ser disposta na sua extremidade; a camada de amortecimento deve ser disposta por baixo do avental.

7.2.4.7 A disposição de engenharia da protecção do talude a montante/jusante e da protecção do fundo a montante da comporta de descarga deve ser determinada de acordo com a vala anti-decapagem e a capacidade anti-decapagem do solo do leito do rio. O comprimento da protecção do talude deve ser maior do que o comprimento da protecção inferior (avental). As camadas de amortecimento devem ser dispostas sob a protecção do talude e a protecção inferior. A trincheira (ou parede anti-decapagem) também deve ser disposta na extremidade da cabeça da protecção inferior a montante, quando necessário.

7.2.5 Esquema de ligação de ambas as margens

7.2.5.1 A ligação entre os dois lados da comporta de descarga deve assegurar a estabilidade dos taludes das margens, melhorar as condições de entrada/saída de água da comporta de descarga, aumentar a capacidade de descarga e a dissipação de energia e os efeitos anti-decapagem, cumprir os requisitos laterais de anti-infiltração, reduzir a influência da carga lateral no chão da câmara da comporta de descarga e ser favorável ao ambiente. A disposição da ligação entre dois lados deve ser adaptável à disposição da câmara da comporta de descarga.

7.2.5.2 A ligação entre ambas as margens da comporta de descarga deve ser da estrutura da parede vertical; quando a diferença entre os níveis de água a montante e a jusante não for grande, a estrutura do talude também pode ser adoptada, mas deve ser considerada a resistência à infiltração, anti-decapagem e à geada. Na fundação sólida ou moderadamente sólida, a parede da plataforma e a parede da ala podem ser do tipo gravitacional ou estrutura de contraforte; na fundação macia, a estrutura da caixa vazia deve ser adoptada. A combinação ou separação da parede da plataforma e da plataforma da comporta lateral deve ser determinada de acordo com a estrutura da câmara da comporta de descarga e as condições das fundações.

7.2.5.3 Quando as paredes da plataforma forem necessárias em ambos os lados da câmara da comporta de descarga, as paredes da plataforma devem ser separadas das plataformas da comporta lateral se a câmara da comporta de descarga for segmentada por juntas no meio da plataforma da comporta; as paredes da plataforma podem ser usadas simultaneamente como plataformas da comporta lateral ou podem ser do tipo caixa vazia se a câmara da comporta de descarga for segmentada por juntas no chão da comporta de descarga. Para estruturas da câmara da comporta de descarga não abertas com menos orifícios de comporta de descarga e sem junta permanente, as plataformas da comporta lateral podem ser usadas para substituir as paredes da plataforma.

7.2.5.4 As paredes a montante e a jusante devem ser ligadas regularmente à câmara da comporta de descarga e aos taludes das margens. A disposição plana da parede de ala a montante deve ser em forma de arco ou arco elíptico; enquanto a disposição plana da parede a jusante deve ser uma combinação de arco (ou arco elíptico) e linha recta ou uma linha de dobra. No solo duro coeso e na fundação rochosa, as paredes a montante e a jusante podem estar ligadas aos taludes das margens pelas superfícies empenadas.

7.2.5.5 O comprimento projectado da parede a montante ao longo da direcção do caudal de água deve ser maior ou igual ao comprimento da cobertura protectora. O ângulo de divergência médio da parede a jusante deve ser de 7° a 12° de cada lado e o seu comprimento projectado ao longo da direcção do caudal de água deve ser maior ou igual ao comprimento da bacia de amortecimento. De acordo com os requisitos laterais de anti-infiltração, a elevação superior das paredes a montante e a jusante deve ser superior aos níveis de água de funcionamento mais desfavoráveis dos lados a montante e a jusante, respectivamente.

7.2.5.6 O comprimento da subsecção da parede da ala deve ser determinado de acordo com a estrutura e as condições das fundações. O comprimento da subsecção da parede da ala sobre a fundação sólida ou semi-sólida pode ser de 15 m a 20 m; o comprimento da subsecção da parede da ala sobre a fundação macia ou do solo de aterro pode ser encurtado adequadamente.

7.2.6 Projecto hidráulico

7.2.6.1 O projecto hidráulico da comporta de descarga deve incluir o cálculo da largura total da rede do orifício da comporta de descarga, o projecto e cálculo da dissipação de energia e das instalações anti-decapagem, bem como a formulação do modo operacional da comporta de descarga.

7.2.6.2 No projecto hidráulico é necessário considerar as influências negativas da possível sedimentação ou decapagem nos leitos dos rios a montante e a jusante, bem como a variação do estágio de descida da comporta de descarga, após a construção da comporta de descarga, sobre a capacidade de descarga e as instalações de dissipação de energia e anti-decapagem.

7.2.6.3 A descarga da unidade da comporta de descarga deve ser seleccionada de acordo com as condições geológicas do leito do rio a jusante, diferença entre os níveis de água a montante e a jusante, profundidade da água a jusante, relação entre a largura total da câmara da comporta de descarga e a largura do canal do rio, características de construção da comporta de descarga e dissipação de energia a jusante e instalações anti-decapagem.

7.2.6.4 A diferença entre os níveis de água a montante e a jusante da comporta de descarga deve ser seleccionada através de uma comparação exaustiva, de acordo com a influência da submersão a montante, da descarga de unidade permissível e do custo de construção da comporta de descarga. A diferença entre os níveis de água a montante e a jusante da comporta de descarga na área de planície pode ser de 0,1 m a 0,3 m.

7.2.6.5 As instalações de dissipação de energia e anti-decapagem no lado a jusante da comporta de descarga devem cumprir os requisitos de dissipação da energia cinética e difusão uniforme do caudal de água em todas as condições hidráulicas possíveis, e devem estar devidamente ligadas ao canal do rio a jusante.

7.2.6.6 Para o projecto de dissipação de energia por subcaudal, o cálculo hidráulico deve ser realizado de acordo com as condições de descarga (particularmente a condição de caudal inicial) da comporta de descarga para determinar a profundidade, comprimento e espessura do piso da bacia de amortecimento.

7.2.6.7 Para o projecto de dissipação de energia de caudal superficial, o cálculo hidráulico deve ser realizado de acordo com a descarga em vários estágios da comporta de descarga e os níveis de água correspondentes para possíveis combinações para seleccionar a altura da soleira em queda, ângulo de elevação do topo da soleira, raio e comprimento anti-arco da soleira em queda, empurrão e para evitar a erosão da fundação da eclusa e o problema de erosão das margens a jusante.

7.2.6.8 Para o projecto de dissipação de energia por caudal deflector, o cálculo hidráulico deve ser realizado de acordo com a descarga em vários estágios da comporta de descarga para seleccionar a elevação superior do balde deflector, o raio anti-arco e o ângulo do balde, para calcular a distância do jacto e devem ser tomadas a profundidade máxima do poço de decapagem para o caudal descarregado e as medidas de protecção necessárias.

7.2.6.9 O comprimento do avental deve ser determinado de acordo com os possíveis níveis de desvantagem da água e a combinação do caudal.

7.2.6.10 A profundidade da vala anti-decapagem a jusante deve ser determinada de forma exaustiva através das propriedades do solo do leito do rio, da descarga unitária da extremidade do avental e da profundidade da água a jusante, mas não deve ser inferior à profundidade de decapagem do leito do rio na extremidade do avental.

7.2.6.11 A profundidade da vala anti-decapagem a montante deve ser determinada de forma exaustiva através das propriedades do solo do leito do rio, da descarga unitária na cabeça da protecção do fundo a montante e da profundidade da água a montante, mas não deve ser inferior à profundidade de decapagem do leito do rio na cabeça da protecção do fundo a montante.

7.2.6.12 Para o controlo e operação da comporta de descarga, a sequência de abertura e fecho da comporta de descarga e a abertura da mesma devem ser especificadas de acordo com o projecto hidráulico ou com os resultados dos testes de modelo hidráulico da comporta de descarga, para evitar um regime de caudal desfavorável, como caudal concentrado ou caudal refractivo. O modo de controlo e operação da comporta de descarga deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) Quando a água é descarregada através dos orifícios das comportas de descarga, o salto hidráulico deve ocorrer completamente na bacia de amortecimento em todos os casos.
- b) As comportas de descarga devem ser abertas e fechadas uniformemente por etapas ao mesmo tempo. Se não foi possível abrir ou fechar todas ao mesmo tempo, a comporta pode ser aberta por secções ou zonas desde os orifícios intermédios até ambos os lados, ou aberta e fechada simetricamente por todos os outros orifícios, e ser fechada na sequência oposta.
- c) No que diz respeito aos orifícios das comporta de descarga de dois andares ou da comporta de descarga de duas folhas dispostas em camadas, é necessário abrir primeiro os orifícios das comportas inferiores ou a folha inferior da comporta de descarga, e depois abrir os orifícios das comportas de descarga na camada superior ou na folha superior da comporta de descarga; quando fechar, executar esta operação na sequência oposta.

- d) Controlar rigorosamente a abertura da comporta de descarga sob condições de caudal inicial e evitar que a comporta de descarga permaneça na área aberta com vibração relativamente significativa ao descarregar a água.
- e) Ao fechar a comporta de descarga ou reduzir a sua abertura, evitar que o nível de água do canal do rio a jusante da comporta de descarga desça demasiado rápido.

7.2.7 Projecto anti-infiltração e anti-drenagem

7.2.7.1 O projecto de anti-infiltração e drenagem da comporta de descarga deve ser realizado de acordo com as condições geológicas da fundação da comporta de descarga, a disposição da fundação da comporta de descarga e a linha de contorno em ambos os lados, bem como as condições do nível de água a montante e a jusante. O seu conteúdo deve incluir: cálculo da pressão de infiltração, verificação da estabilidade anti-infiltração, concepção da camada de filtração, concepção da cortina anti-infiltração e dos orifícios de drenagem e concepção da vedação de água de junta permanente.

7.2.7.2 A pressão de infiltração no fundo da fundação da comporta de descarga na fundação rochosa pode ser calculada com o método de distribuição linear da secção transversal total, mas devem ser consideradas as acções e efeitos do ajustamento da cortina anti-infiltração e do orifício de drenagem na redução da pressão de infiltração.

7.2.7.3 A pressão de infiltração que actua sobre o fundo da fundação da comporta de descarga localizada na base de terra pode ser calculada com o método do coeficiente de resistência melhorado ou método da rede de caudal; em relação à importante comporta de descarga na base do solo complexo, deve ser utilizado o método de cálculo numérico.

7.2.7.4 Quando o coeficiente de permeabilidade das camadas de solo por detrás da parede da plataforma e da parede da ala for inferior ou igual ao do solo da fundação, a pressão de infiltração lateral pode ser calculada aproximadamente adoptando a pressão de infiltração frontal no fundo da comporta de descarga nas posições correspondentes, mas deve ser tida em conta a influência da variação do nível de água em frente da parede e da recarga de água subterrânea atrás da parede; quando o coeficiente de permeabilidade das camadas de solo atrás da parede da plataforma e da parede da ala for superior ao do solo da fundação, o caudal de desvio lateral pode ser calculado com o método de cálculo para a infiltração sob pressão no fundo da comporta de descarga.

7.2.7.5 Ao verificar a estabilidade da fundação da comporta de descarga, os gradientes de infiltração da secção horizontal e da secção de saída devem ser inferiores aos correspondentes valores de gradiente de infiltração permitidos para o solo, respectivamente.

7.2.7.6 Os furos de gunitagem da cortina na fundação da comporta de descarga devem ser dispostos em uma única linha, com intervalos de 1,5 m a 3,0 m e profundidade do furo de 0,3 a 0,7 vezes a profundidade máxima da água na comporta de descarga. A gunitagem da cortina deve ser realizada após o acabamento de uma camada de betão de cobertura e também a conclusão do processo de gunitagem de consolidação. A pressão de gunitagem não deve elevar as rochas da fundação; o padrão de controlo para a taxa permeável da cortina anti-infiltração não deve ser superior a 5 Lu.

7.2.7.7 Após a gunitagem das cortinas, os furos de drenagem devem ser dispostos numa única fila, e a distância até aos furos de gunitagem das cortinas não deve ser inferior a 2,0 m. O espaçamento entre os furos de drenagem deve ser de 2,0 m a 3,0 m, a profundidade do furo deve ser de 0,4 a 0,6 vezes a profundidade do furo de gunitagem da cortina e não deve ser inferior à profundidade do furo de gunitagem de consolidação.

7.2.7.8 Uma camada de vedação de água deve ser providenciada para as juntas permanentes dentro do âmbito da anti-infiltração; o tipo de vedação de água deve ser adaptável aos requisitos de assentamento irregular e mudança de temperatura. Os materiais de vedação de água devem ser duráveis; a intersecção entre a vedação de água vertical e a vedação de água horizontal deve constituir um sistema de vedação.

7.2.8 Conceção estrutural

7.2.8.1 A concepção estrutural da comporta de descarga deve ser realizada de acordo com as condições de tensão da estrutura e as condições geológicas de engenharia, que devem incluir:

- a) carga e combinação de carga;
- b) cálculo da estabilidade da câmara da comporta de descarga, parede da plataforma e parede da ala;
- c) análise de tensão estrutural.

7.2.8.2 Quando a alvenaria é utilizada em parte da estrutura da comporta de descarga, as faixas de rocha ou blocos de pedra devem ser resistentes às intempéries, a taxa de perda por congelamento/descongelamento deve ser inferior a 1%, o peso unitário não deve ser inferior a 30 kg e o grau de resistência da argamassa de alvenaria não deve ser inferior a M7.5. Devem ser tomadas medidas eficazes de drenagem anti-infiltração para a estrutura de alvenaria; nas regiões frias e frias severas, devem também ser tomadas medidas de isolamento térmico e anti-congelamento para a estrutura de alvenaria da comporta de descarga.

7.2.8.3 Além da análise cuidadosa da acção sísmica e do cálculo sísmico, podem ser adotadas medidas sísmicas seguras e fiáveis para as comportas de descarga em áreas sísmicas com aceleração máxima do solo maior ou igual a 0,1 g.

7.2.8.4 As cargas que actuam nas comportas de descarga incluem: peso morto, peso da água, pressão hidrostática, pressão de elevação, pressão da terra, pressão dos sedimentos, pressão do vento, pressão das ondas, pressão do gelo, carga sísmica, e outras cargas possíveis. As cargas podem ser classificadas em carga básica e carga especial. No projecto das comportas de descarga, devem ser combinadas várias cargas que podem actuar simultaneamente, as quais podem ser utilizadas com referência ao Quadro 16. Outras possíveis combinações desvantajosas também podem ser consideradas quando necessário.

Tabela 16 Combinação de carga de cálculo da comporta de descarga

Combinação de carga	Condição de cálculo	Cargas											Descrição		
		Peso morto	Peso da água	Pressão hidrostática	Pressão de elevação	Pressão do solo	Pressão do lodo	Pressão do vento	Pressão das ondas	Pressão do gelo	Pressão de congelamento do solo	Carga de terramoto		Outros	
Combinação básica	Condição de conclusão da construção	√	—	—	—	√	—	—	—	—	—	—	—	√	A pressão ascendente gerada pela água subterrânea pode ser considerada, quando necessário.
	Condição normal do nível do reservatório	√	√	√	√	√	√	√	√	—	—	—	—	√	O peso da água, a pressão hidrostática, a pressão ascendente e a pressão das ondas são calculadas de acordo com a combinação normal do nível do reservatório.
	Condição do nível de inundação do projecto	√	√	√	√	√	√	√	√	—	—	—	—	—	O peso da água, a pressão hidrostática, a pressão de elevação e a pressão das ondas são calculadas de acordo com a combinação do nível de inundação de projecto.
	Estado de geadas	√	√	√	√	√	√	√	—	√	√	—	—	√	O peso da água, a pressão hidrostática, a pressão de elevação e a pressão de gelo são calculadas de acordo com a combinação normal do nível do reservatório.
Combinação especial	Condição de construção	√	—	—	—	√	—	—	—	—	—	—	—	√	Devem ser consideradas as cargas temporárias em várias fases da construção.
	Estado de revisão geral	√	—	√	√	√	√	√	√	—	—	—	—	√	A pressão hidrostática, a pressão ascendente e a pressão das ondas são calculadas de acordo com a combinação normal do nível do reservatório (ou de acordo com a combinação de nível de inundação de projecto ou condição de baixo nível de água no inverno, quando necessário).
	Verificar o estado do nível de inundação	√	√	√	√	√	√	√	√	—	—	—	—	—	O peso da água, a pressão hidrostática, a pressão ascendente e a pressão das ondas são calculadas de acordo com a combinação do nível de cheia de verificação.
	Condição de terramoto	√	√	√	√	√	√	√	√	—	—	√	—	—	O peso da água, a pressão hidrostática, a pressão ascendente e a pressão das ondas são calculadas de acordo com a combinação normal do nível do reservatório.

7.2.8.5 Para o cálculo da estabilidade da câmara da comporta de descarga, deve ser utilizada como unidade de cálculo a secção da comporta entre duas juntas permanentes adjacentes ao longo da direcção do caudal de água.

7.2.8.6 O cálculo da estabilidade da câmara da comporta de descarga na fundação do solo deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) Em várias condições de cálculo, a tensão média da fundação da câmara da comporta de descarga não deve ser superior à capacidade de carga permitida da fundação, e a tensão máxima da fundação não deve ser superior a 1,2 vezes a capacidade de carga permitida da fundação.
- b) A relação entre as tensões máximas e mínimas de fundação da câmara da comporta de descarga deve cumprir a provisão para o valor permitido na Tabela 17.
- c) O factor de segurança antiderrapante ao longo da superfície da fundação da câmara da comporta de descarga não deve ser inferior ao valor de segurança permitido (1,20 para a combinação de carga básica e 1,0 a 1,05 para a combinação de carga especial).

Tabela 17 Valor admissível para a relação entre as tensões máximas e mínimas das fundações da câmara da comporta de descarga na fundação do solo

Fundação solo	Combinação de carga	
	Combinação básica	Combinação especial
Macia	1,50	2,00
Dureza média	2,00	2,50
Dura	2,50	3,00

7.2.8.7 O cálculo da estabilidade da câmara da comporta de descarga sobre a fundação rochosa deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) Em quaisquer condições de cálculo, a tensão máxima da fundação da câmara da comporta de descarga não deve ser maior do que a capacidade de carga permitida da fundação.
- b) Em condições não sísmicas, a tensão de tracção não deve ocorrer sobre a fundação da câmara da comporta de descarga; em condições de terramoto, a tensão de tracção sobre a fundação da câmara da comporta de descarga não deve ser superior a 100 kPa.
- c) O factor de segurança antiderrapante ao longo da superfície da fundação da câmara da comporta de descarga não deve ser inferior ao valor permitido para a segurança (se calculado de acordo com a fórmula de atrito puro): 1,05 para a combinação básica e 1,0 para a combinação especial; se calculado de acordo com a fórmula de resistência ao cisalhamento: 3,0 para a combinação básica e 2,5 para a combinação especial).

7.2.8.8 A tensão na fundação da câmara da comporta de descarga deve ser calculada, respectivamente, de acordo com as seguintes disposições, de acordo com a disposição estrutural e a tensão.

- a) Quando a disposição estrutural e as tensões são simétricas, o cálculo deve ser realizado de acordo com a Fórmula (21).

$$P_{\max/\min} = \frac{\sum G}{A} \pm \frac{\sum M}{W} \dots\dots\dots (21)$$

onde

$P_{\max/\min}$ é o valor máximo ou mínimo da tensão de fundação calculada da câmara da comporta de descarga calculada, em kPa;

$\sum G$ são as cargas verticais que actuam sobre a câmara da comporta de descarga (incluindo a pressão ascendente sobre a superfície da fundação da câmara da comporta de descarga, em kN;

$\sum M$ é o momento em que todas as cargas verticais e horizontais actuam na câmara da comporta de descarga em relação ao eixo central da superfície da fundação vertical em relação ao sentido do caudal de água, em kN • m;

A é a área da superfície da fundação da câmara da comporta de descarga, em m²;

W é o momento seccional da superfície da fundação da câmara da comporta de descarga em relação ao eixo central da superfície desta fundação vertical ao sentido do caudal de água, em m³.

- b) Quando a disposição estrutural e as tensões são assimétricas, o cálculo deve ser realizado de acordo com a Fórmula (22).

$$P_{\max/\min} = \frac{\sum G}{A} \pm \frac{\sum M_x}{W_x} \pm \frac{\sum M_y}{W_y} \dots\dots\dots (22)$$

onde

$\sum M_x, \sum M_y$ é o momento em que todas as cargas verticais e horizontais actuam sobre a câmara da comporta de descarga em relação ao eixo central x e y da superfície da fundação, em kN • m;

W_x, W_y é o momento seccional da superfície da fundação da câmara da comporta de descarga em relação ao eixo centroidal x e y desta superfície de fundação, em m³.

7.2.8.9 O factor de segurança K_c de estabilidade antiderrapante na fundação do solo ao longo da superfície da superfície da câmara da comporta de descarga deve ser calculado de acordo com a Fórmula (23) ou a Fórmula (24).

$$K_c = \frac{f \sum G}{\sum H} \dots\dots\dots (23)$$

$$K_c = \frac{\text{tg} \phi_0 \sum G + C_0 A}{\sum H} \dots\dots\dots (24)$$

onde

K_c é o factor de segurança antiderrapante ao longo da superfície da fundação da câmara da comporta de descarga;

f é o coeficiente de atrito entre a superfície da fundação da câmara da comporta de descarga e a fundação;

$\sum H$ são as cargas horizontais que actuam sobre a câmara da comporta de descarga, em kN;

ϕ_0 é o ângulo de fricção entre a superfície da fundação da câmara da comporta de descarga e a fundação do solo, em (°);

C_0 é a força coesiva entre a superfície da fundação da câmara da comporta de descarga e a fundação do solo, em kPa.

7.2.8.10 O factor de segurança antiderrapante da estabilidade na fundação de rocha ao longo da superfície da câmara da comporta de descarga deve ser calculado de acordo com a Fórmula (23) ou com a Fórmula (25).

$$K_c = \frac{f \sum G + C' A}{\sum H} \dots\dots\dots (25)$$

onde

f' é o coeficiente de atrito resistente ao cisalhamento entre a superfície da fundação da câmara da comporta de descarga e a fundação rochosa;

C' é a força coesiva de resistência ao cisalhamento (kPa) entre a superfície da fundação da câmara da comporta de descarga e a fundação da rocha;

k é o factor de segurança antiderrapante da estabilidade. Quando a câmara da comporta de descarga está sujeita à acção de uma carga horizontal bidireccional, e a estabilidade antiderrapante na direcção de sua força resultante deve ser verificada.

7.2.8.11 Na ausência de dados de teste, o coeficiente de atrito f entre a superfície da fundação da câmara da comporta de descarga e a fundação pode ser seleccionado a partir dos valores empíricos indicados na Tabela 18, de acordo com a categoria da fundação.

Tabela 18 Valores empíricos do coeficiente de atrito f entre a superfície da fundação da comporta de descarga e a fundação

Categoria da fundação		f
Barro	Fraco	0,20~0,25
	Médio-Duro	0,25~0,35
	Dura	0,35~0,45
Textura argilosa e solo franco-argiloso		0,25~0,40
Solo franco arenoso e solo franco com sedimentos		0,35~0,40
Areia fina e areia muito fina		0,40~0,45
Areia média e areia grossa		0,45~0,50
Cascalho de areia		0,40~0,50
Cascalho e paralelepípedos		0,50~0,55
Solo de cascalho		0,40~0,50
Pedra macia	Extremamente macia	0,40~0,45
	Macia	0,45~0,55
	Relativamente macia	0,55~0,60
Rocha dura	Relativamente dura	0,60~0,65
	Dura	0,65~0,70

7.2.8.12 O ângulo de atrito φ_0 e a força coesiva C_0 entre a superfície da fundação da câmara da comporta de descarga e a fundação do solo podem ser adoptados de acordo com a categoria da fundação do solo e com referência à Tabela 19.

Tabela 19 Valores φ_0 e C_0 (fundação do solo)

Categoria de fundação do solo	φ_0	C_0
Solo coesivo	$0,9\varphi$	$(0,2-0,3) C$
Solo arenoso	$(0,85-0,9) \varphi$	0

7.2.8.13 O coeficiente de atrito resistente ao cisalhamento f' e a força coesiva C' entre a superfície da fundação da câmara da comporta de descarga e a fundação da rocha podem ser seleccionados de acordo com os resultados do teste de resistência ao cisalhamento para rochas em laboratório e os valores indicados na Tabela 20.

Tabela 20 Valores f' e C' (fundação rochosa)

Categoria de fundação rochosa		f'	C' (MPa)
Rocha dura	Dura	1,5~1,3	1,5~1,3
	Relativamente dura	1,3~1,1	1,3~1,1
Pedra macia	Relativamente macia	1,1~0,9	1,1~0,7
	Macia	0,9~0,7	0,7~0,3
	Muito macia	0,~0,4	0,3~0,05

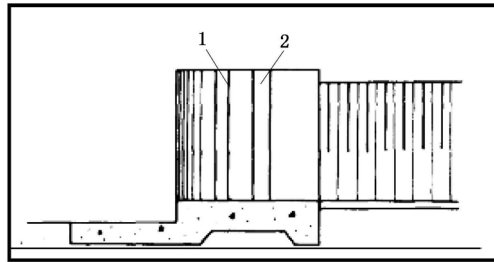
7.2.8.14 Se a câmara da comporta de descarga estiver equipada com duas comportas ensecadeiras ou com apenas uma comporta ensecadeira, a estabilidade de anti-flutuação deve ser calculada quando a porta de serviço e a comporta ensecadeira forem utilizadas para inspecção. O factor de segurança da estabilidade de anti-flutuação da câmara da comporta de descarga não deve ser inferior a 1,10 sob combinação de carga básica e não deve ser inferior a 1,05 sob combinação de carga especial.

8 Estrutura de desvio das águas

8.1 Entrada de água

8.1.1 As entradas de água incluem os seguintes tipos.

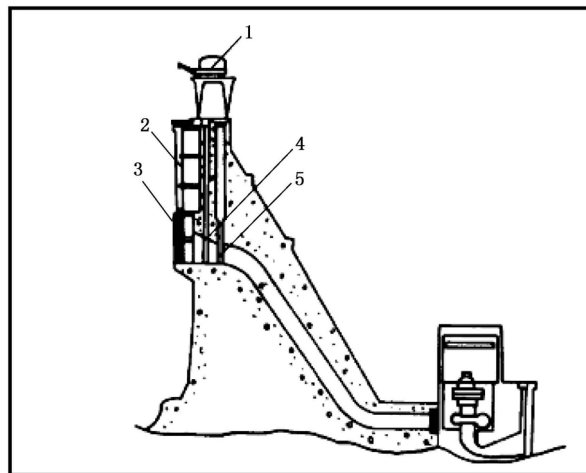
- a) A entrada aberta deve aplicar-se à central de energia hidroeléctrica de desvio sem pressão, e o nível de água na borda dianteira da entrada deve variar pouco.
- b) A entrada do leito do rio deve ser aplicada à casa das máquinas hidroeléctrica do leito do rio, que é parte integrante da estrutura da central de electricidade.
- c) A entrada da barragem deve aplicar-se a todo o tipo de barragens de betão e barragens de alvenaria.
- d) A entrada da margem deve ser aplicada à central de energia hidroeléctrica do tipo desvio de pressão, podendo ser classificada como entrada de torre da margem, entrada de veio e entrada de talude da margem de acordo com as suas características estruturais e posição da comporta. A entrada da torre da margem deve aplicar-se às condições geológicas não são conducentes à boca do sino na massa rochosa da margem. A entrada do veio deve aplicar-se ao talude da margem com uma massa de rocha integral e estável, e que seja conveniente para o tráfego externo. A condição de aplicação da entrada do talude da margem é igual à da entrada do veio.



Legenda

- 1 abertura da comporta ensecadeira
- 2 ranhura da comporta de serviço

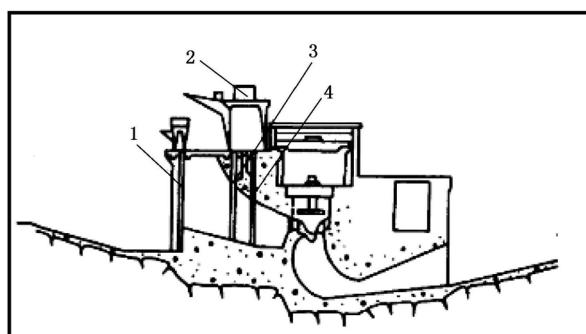
a) Entrada aberta



Legenda

- 1 guincho
- 2 armação da plataforma do lixo
- 3 plataforma do lixo
- 4 abertura da comporta ensecadeira
- 5 ranhura de comporta de emergência

b) Entrada da barragem

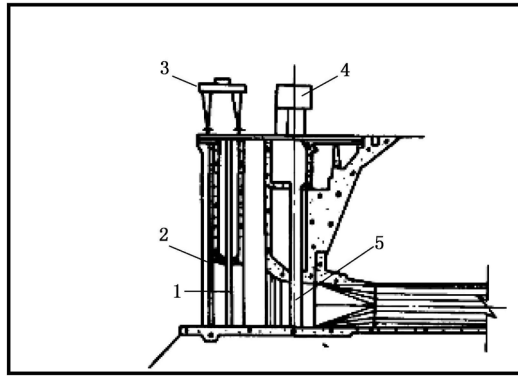


Legenda

- 1 plataforma do lixo
- 2 guincho
- 3 abertura da comporta ensecadeira
- 4 ranhura de comporta de emergência

c) Entrada do leito do rio

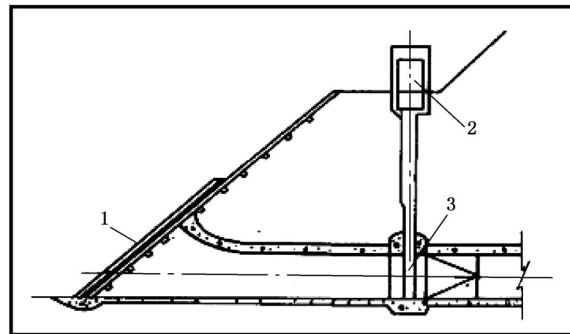
Figura 6 Tipos de entrada de água



Legenda

- | | | | |
|---|----------------------------------|---|-----------------------------------|
| 1 | abertura da comporta ensecadeira | 4 | sala do guincho |
| 2 | plataforma do lixo | 5 | ranhura de comporta de emergência |
| 3 | guincho | | |

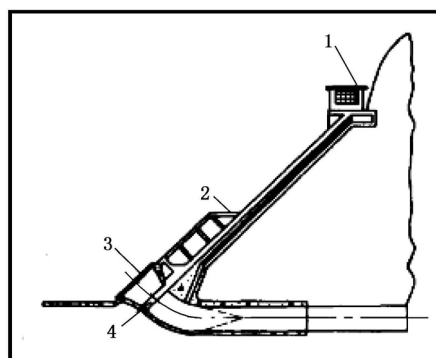
d) Entrada da torre da margem



Legenda

- | | |
|---|-----------------------------------|
| 1 | plataforma do lixo |
| 2 | sala do guincho |
| 3 | ranhura de comporta de emergência |

e) Entrada do veio



Legenda

- | | | | |
|---|-----------------------|---|-----------------------------------|
| 1 | sala do guincho | 3 | plataforma do lixo |
| 2 | plataforma de limpeza | 4 | ranhura de comporta de emergência |

f) Entrada do talude da margem

Figura 6 (continuação)

8.1.2 A composição da entrada de água deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) A entrada de água deve incluir a secção de retenção de lixo, a secção de entrada, a secção da comporta, a secção de transição e a estrutura superior; entretanto, devem ser providenciados o furo de enchimento de água e o furo de ventilação. Para a central de energia hidroeléctrica no rio com grandes volumes de sedimentos, o rio com grandes volumes de lixo e em regiões de frio intenso, devem ser construídas, respectivamente, as estruturas de controlo de sedimentos, de prevenção da poluição ou anti-gelo.
- b) A plataforma do lixo, a comporta, o guincho, as instalações de limpeza e observação devem ser instaladas na entrada de água.

8.1.3 Os princípios de disposição da entrada de água devem cumprir as seguintes disposições.

- a) Em vários níveis de água operacionais, a entrada de água deve assegurar que o caudal de água seja regular, estável, uniforme e minimize a perda de carga, devendo o caudal necessário ser conduzido ou interrompido de acordo com as necessidades operacionais.
- b) Devem ser evitados vórtices em funil na ventilação. Caso contrário, devem ser tomadas medidas de prevenção.
- c) O equipamento para a entrada captação de água deve estar completo, as comportas e guinchos devem ser acessíveis, de fácil manutenção e funcionamento fiável, e as instalações de enchimento de água, ventilação e mobilidade devem estar desobstruídas.
- d) Devem ser tomadas as medidas eficazes de controlo de sedimentos para que a entrada de água no rio de sedimentos pesados seja feita de forma a evitar que a carga do leito entre no sistema de desvio.
- e) Devem ser tomadas medidas eficazes de condução, descarga e limpeza do lixo para a entrada de água no rio com o lixo pesado, para evitar que o lixo se concentre na borda dianteira da entrada de água, bloqueando a plataforma do lixo e afectando o funcionamento da central de energia hidroeléctrica.
- f) Devem ser tomadas as medidas anti-gelo necessárias para a entrada de água na região de frio intenso.

8.1.4 A entrada de água deve cumprir os seguintes requisitos para a prevenção de sedimentos, lixo e gelo.

- a) O controlo de sedimentos deve ser considerado durante a selecção da localização do projecto, disposição geral, disposição das estruturas de descarga de cheias e selecção do modo de operação do reservatório, rio de sedimentos pesados. A concepção do controlo de sedimentos da entrada de água deve adoptar, de forma abrangente, medidas como a orientação, retenção, descarga, assentamento e descarga de sedimentos, e cumprir os seguintes requisitos.
 - 1) Orientação dos sedimentos: o projecto deve ser disposto de modo a separar os sedimentos da água, desviar a água e descarregar os sedimentos para os canalizar para longe da entrada de água.

- 2) Retenção de sedimentos: a soleira de retenção de sedimentos deve ser disposta de forma a reter os sedimentos do leito na borda dianteira da entrada de água.
 - 3) Descarga de sedimentos: o esquema de operação de regulação do reservatório deve ser otimizado para descarregar os sedimentos em frente da entrada de água para a jusante.
 - 4) Assentamento de sedimentos: a bacia de desassoreamento deve ser disposta para assentar o sedimento do leito na bacia.
 - 5) Descarga de sedimentos: o esquema de operação de regulação do reservatório deve ser otimizado para lavar os sedimentos da bacia de desassoreamento para jusante.
- b) A entrada de água no rio com o lixo pesado não deve ser directamente oposta ao caudal principal que transporta o lixo. O projecto de prevenção de lixo para a entrada de água deve ser realizado com total consideração pelas medidas de orientação, descarga e retenção do lixo. As instalações de retenção de lixo devem cumprir os requisitos de limpeza de lixo e desvio de água.
- 1) Condução do lixo: a parede guia deve ser disposta para canalizar o lixo para longe da entrada de água.
 - 2) Descarga do lixo: o esquema de funcionamento da regulação do reservatório deve ser otimizado para descarregar o lixo em frente da entrada de água para a jusante.
 - 3) Retenção do lixo: o suporte do lixo e a plataforma de limpeza do lixo devem ser dispostos na borda dianteira da entrada de água, e o lixo deve ser limpo com o removedor do lixo.
 - 4) A área de abertura do cesto do lixo deve ser conduzida pela velocidade do caudal através da plataforma. A velocidade do caudal pode ser de 0,8 m/s a 1,2 m/s.
- c) A entrada de água nas zonas de congelamento deve evitar o impacto directo do gelo flutuante, otimizar a regulação do reservatório e limitar a produção de gelo flutuante. O traçado anti-gelo para a entrada de água deve adoptar medidas como a orientação e descarga de gelo.

8.1.5 O sistema de desvio sem pressão deve empregar uma entrada aberta. O traçado de uma entrada aberta deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) A entrada deve ser seleccionada no leito estável do rio, e deve ser colocada perto do canal principal; mas não deve ser colocada no leito do rio com um leito amplo e espalhado. A entrada não deve ficar perto das junções de afluentes ou ravinas que transportem uma grande quantidade de carga de leito. A entrada não deve ficar na zona de recirculação propícia à acumulação de lixo e deve ser protegida do impacto directo do gelo flutuante ou de madeira à deriva.

- b) Se a entrada é utilizada principalmente para controlo de sedimentos, a sua posição deve ser seleccionada na margem côncava do troço curvo, e a posição mais favorável é perto da área a jusante do vértice da curva; se a entrada for utilizada principalmente para evitar lixo ou gelo, deve ser seleccionada no troço recto.
- c) As paredes de alas em ambas as margens do canal de aproximação a montante da entrada devem ser dispostas regularmente para garantir o caudal de desvio regular e estável.
- d) O tamanho do orifício de entrada deve ser seleccionado de acordo com a cabeça de operação e o caudal de projecto, e tendo em consideração a velocidade de caudal na abertura, série de dimensões da comporta e capacidade do guincho.
- e) A entrada deve ser capaz de introduzir um caudal suficiente para a produção de energia eléctrica ao nível mínimo de água de funcionamento a montante.
- f) A elevação do piso da entrada deve ser determinada em combinação com as instalações de controlo e descarga de sedimentos para evitar que a carga do leito entre no canal de adução.
- g) O cálculo hidráulico da entrada deve incluir o cálculo da descarga de desvio.

8.1.6 O sistema de desvio de pressão deve ter uma entrada na margem. A concepção de uma entrada na margem deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) A entrada deve ser seleccionada em combinação com as condições geológicas e topográficas. A entrada da torre não deve ser disposta na área de intensidade alta de terremotos.
- b) O terreno favorável deve ser plenamente utilizado para reduzir a escavação de terra-rocha e para evitar, se possível, a escavação de taludes elevados. A secção com boas condições geológicas deve ser seleccionada para garantir que a fundação seja fiável e a encosta estável.
- c) A entrada deve garantir uma profundidade submersa suficiente abaixo do nível mínimo de água de operação a montante.
- d) A elevação do piso da entrada deve cumprir os requisitos de controlo de sedimentos, que devem ser superiores à elevação equilibrada da decapagem e assoreamento do reservatório na borda dianteira da abertura ou localizado ao alcance do funil de descarga de sedimentos e acima da elevação do sedimento assentado.
- e) O limite de transbordo da secção de entrada na secção de entrada deve utilizar a curva próxima da linha de caudal ou curva circular.

- f) A área da abertura da entrada não deve ser menor que a área do canal de adução atrás dela.
- g) A comporta de serviço, a comporta de emergência e a comporta ensecadeira devem ser dispostas na secção da comporta de entrada. O tipo das comportas acima mencionadas deve ser determinado pelo tipo de entrada, o tipo e o comprimento do canal de adução, se a válvula de comporta está instalada no canal de adução, e os requisitos de protecção para as estruturas a jusante da entrada. A válvula de enchimento deve ser disposta de modo a facilitar a operação, inspecção e manutenção.
- h) O furo de ventilação deve ser disposto por detrás da comporta de entrada. A abertura superior do furo de ventilação deve ser separada da sala de operação para a comporta, que conduz ao exterior, para longe do local de trabalho do pessoal e acima do nível máximo de água do reservatório a montante. Quando a abertura superior leva à área a jusante da estrutura de retenção de água, a pulverização de água em caso de emergência não deve pôr em risco a segurança da instalação. Quando a paragem da água é instalada na frente da comporta, o veio da comporta pode ser utilizado como orifício de ventilação, mas a sua saída deve ser bem ventilada.
- i) O tipo de contracção graduada deve ser adoptado para a ligação entre o canal de adução de entrada e o canal de adução de pressão. O comprimento da secção de transição não deve ser inferior a 1,0 a 2,0 vezes a largura do canal de adução (ou diâmetro do túnel).
- j) O cálculo hidráulico para a entrada deve incluir a perda de altura da entrada, a área do furo de ventilação e o tempo de enchimento de água da tubagem. A perda de altura deve incluir a perda parcial da plataforma do lixo, da entrada, da ranhura da comporta e da secção de transição, assim como a perda de fricção.

8.1.7 O cálculo da estrutura de entrada de água deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) A estrutura de entrada de água deve ser calculada e verificada, respectivamente, de acordo com o estado limite de capacidade de carga e o estado limite de capacidade de serviço.
 - 1) Estado limite da capacidade de carga: incluindo o cálculo da estabilidade global antiderrapante, anti-flutuação e anti-viragem das estruturas, o cálculo da capacidade de carga de compressão da rocha da fundação no plano da fundação e o cálculo da capacidade de resistência sísmica.
 - 2) Estado limite de manutenção: verificação da tensão de tracção a montante e a jusante no plano de fundação da entrada de água com o método da mecânica do material. A tensão de tracção não deve ocorrer na tensão normal vertical sobre a fundação da entrada de água sob a combinação padrão de superfície a montante e a tensão de tracção permitida na superfície a jusante não deve ser superior a 100 kPa.
- b) A estrutura de entrada de água deve ter estabilidade, resistência, rigidez e durabilidade suficientes.

- c) As tensões na entrada do tipo barragem devem ser calculadas em secções de acordo com as condições de funcionamento, carga do corpo da barragem e distribuição de tensões.
- d) A base da torre e a estrutura do corpo da torre podem ser calculadas respectivamente de acordo com a estrutura invertida e a estrutura sobre a fundação elástica.
- e) O orifício da comporta de entrada aberta pode ser projectado de acordo com a estrutura invertida na fundação elástica ou na placa de fundação elástica.
- f) A estabilidade global da resistência de flutuação da entrada da torre deve ser calculada. O corpo da torre pode ser calculado de acordo com o cilindro ou estrutura; a base da torre pode ser concebida de acordo com a placa de fundação elástica ou a estrutura invertida sobre a fundação elástica.
- g) Sob várias combinações de cargas, a tensão vertical normal máxima na superfície da fundação da margem ou da entrada da torre não deve ser inferior à tensão de compressão admissível da fundação; a tensão vertical normal mínima deve ser superior a 0. A tensão nas fundações fundas deve ser verificada novamente, quando necessário.

8.1.8 O tratamento das fundações de entrada de água deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) A entrada de água na fundação rochosa deve ser colocada sobre o leito rochoso disponível; a fundação com ocorrência de fractura parcial, camada intercalada fraca e rocha instável deve ser escavada ou reforçada para satisfazer os requisitos de capacidade de carga, estabilidade antiderrapante e deformação causada por assentamento.
- b) O talude da entrada da margem deve ser limpa, renovada e equipada com medidas de drenagem superficial. A massa rochosa parcialmente instável deve ser escavada ou reforçada.
- c) Devem ser tomadas as medidas correspondentes para o tratamento das entradas de água das fundações em fundações macias.

8.2 Túnel de desvio e câmara de compensação

8.2.1 O túnel e a câmara de compensação devem cumprir os seguintes princípios.

- a) A selecção do traçado do túnel deve cumprir os requisitos gerais de traçado do projecto.
- b) O percurso do túnel deve ser seleccionado através da comparação técnica e económica dos esquemas de acordo com a finalidade do túnel, e em consideração exaustiva com vários factores, incluindo topografia, geologia, hidráulica, construção, operação, estruturas ao longo do percurso, disposição geral do projecto e influência sobre o meio ambiente.

- c) Com a premissa de satisfazer os requisitos do traçado geral do projecto, o percurso do túnel deve ser seleccionado na região com estrutura geológica simples ao longo do percurso, ou seja, massa rochosa integral e estável, rocha dura, rocha espessa sobreposta, boas condições hidrogeológicas e acesso conveniente à construção.
- d) O ângulo de intersecção entre o percurso do túnel e o estrato rochoso, a superfície da fractura, bem como a zona principal fraca, deve ser grande, se possível. Na massa rochosa de uma estrutura de bloco integral, o ângulo de intersecção não deve ser inferior a 30°. Na massa rochosa estratificada, particularmente na rocha fina com a inclinação acentuada e ligação solta entre camadas, o ângulo de intersecção não deve ser inferior a 45°.
- e) Considerando a estabilidade das rochas adjacentes, o percurso do túnel deve ser consistente com a direcção da máxima tensão horizontal do solo ou o ângulo de intersecção deve ser minimizado para o túnel na área com tensão alta do solo.
- f) A espessura mínima de cobertura da massa rochosa acima do topo do túnel e do lado da margem do túnel da montanha deve ser determinada através de uma análise abrangente de acordo com as condições topográficas e geológicas, forma e tamanho da secção do túnel, condições de escavação, pressão interna da água, padrão de revestimento, características de permeabilidade da rocha adjacente e os resultados dos cálculos estruturais. A espessura mínima da massa rochosa do túnel de pressão pode ser calculada com a Fórmula (26). Deve também garantir que a rocha adjacente não produza instabilidade de infiltração e fracturação hidráulica.

$$C_{RM} = \frac{F \gamma_w h_s}{\gamma_R \cos \alpha} \dots\dots\dots (26)$$

onde

C_{RM} é a espessura mínima de cobertura do estrato rochoso;

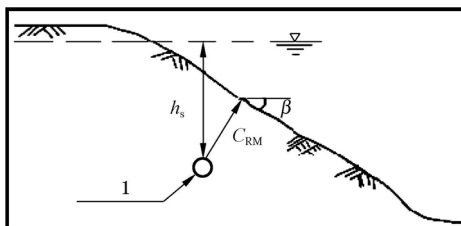
h_s é a altura hidrostática no túnel;

γ_w é o peso da unidade da água;

γ_R é o peso unitário da rocha;

α é a inclinação do talude do rio, em (°) , quando $\alpha > 60^\circ$ considerar $\alpha = 60^\circ$;

F é o coeficiente empírico, considerar 1,3 a 1,5.



Legenda

1 conduta forçada de alta pressão

Figura 7 Cálculos de espessura para a rocha sobreposta da conduta forçada subterrânea

- g) A espessura da massa rochosa entre dois túneis adjacentes não deve ser inferior ao dobro do diâmetro do túnel (ou da largura do túnel). Se a massa rochosa for favorável, a espessura pode ser adequadamente reduzida, mas não deve ser inferior ao diâmetro do túnel (ou à largura do túnel).
- h) Quando o percurso do túnel passa pela fundação da barragem, pelo encontro da barragem ou pela fundação de outras estruturas, a espessura da massa rochosa entre a estrutura e o túnel deve ser suficiente para satisfazer os requisitos estruturais e de anti-infiltração.
- i) Quando o percurso do túnel se depara com ravinas, os esquemas de contorno ou de deslizamento devem ser comparados nos seus aspectos técnicos e económicos, de acordo com as condições topográficas, geológicas, hidrológicas e de construção. Quando o esquema de atravessar ravinas é adoptado, a posição de travessia deve ser razoavelmente seleccionada, e as medidas de engenharia devem ser aplicadas para reforçar a fundação da estrutura de travessia da ravina, a posição de ligação do túnel e o talude da face do túnel.
- j) O percurso do túnel deve ser recto no plano, se possível. Quando for curvo, o raio de curvatura do túnel sem pressão não deve ser inferior a 5 vezes o diâmetro do túnel (ou largura do túnel) e o canto não deve ser superior a 60°; os requisitos podem ser adequadamente reduzidos para o túnel de pressão. A secção recta deve ser disposta no início e no final da curva, cujo comprimento não deve ser inferior a 5 vezes o diâmetro do túnel (ou largura do túnel).
- k) Quando a curva vertical é disposta para o tubo, o raio da curva vertical normalmente não deve ser inferior a 5 vezes o diâmetro do túnel (ou largura do túnel), mas os requisitos podem ser adequadamente reduzidos para o túnel de pressão. Quando for necessário traçar a curva vertical, deve facilitar a construção.
- l) A inclinação longitudinal da secção do tubo deve ser seleccionada através de comparação técnica e económica de acordo com os requisitos operacionais, ligação entre as áreas a montante e a jusante, elevação inferior da estrutura ao longo do percurso, bem como condições de construção e revisão. A inclinação longitudinal ao longo do percurso não deve variar muito, e o talude zero não deve ser disposto e um talude adverso deve ser evitado.

- m) Não deve haver pressão alternada e caudal não pressurizado no túnel de pressão. A cabeça de pressão mínima no topo de todo o túnel não deve ser inferior a 2 m sob as condições de funcionamento mais desfavoráveis.
- n) Quando o percurso do túnel seleccionado for relativamente longo, a galeria de acesso da construção deve ser considerada. O número e a extensão das galerias de acesso da construção devem ser determinados através de análise de acordo com as condições topográficas e geológicas ao longo do percurso, método de construção e situação do tráfego externo, e para o benefício de equilibrar a quantidade de trabalho para diferentes secções do túnel e o período de construção.
- o) O ajustamento da câmara de compensação no túnel de desvio de pressão deve ser determinado à luz de uma comparação técnico-económica, considerando os factores como o cálculo da garantia de regulação da unidade e a análise das condições de funcionamento, tendo em conta o papel da central de energia hidroeléctrica no sistema eléctrico, bem como a topografia, geologia e disposição do túnel. A câmara de compensação deve ficar perto da casa das máquinas. Devem ser evitadas condições geológicas desfavoráveis para a câmara de compensação, a fim de aliviar os efeitos adversos da infiltração nas rochas adjacentes e a estabilidade do talude.
- p) A selecção do tipo da câmara de compensação deve cumprir os seguintes requisitos.
 - 1) Ondas de sobretensão da conduta forçada podem ser efectivamente reflectidas.
 - 2) A sobretensão será estável no caso de pequenas mudanças de carga em turbinas geradoras.
 - 3) Em caso de grandes mudanças de carga no gerador da turbina, a amplitude da superfície da água na câmara de compensação será baixa e atenuação das ondas será rápida.

8.2.2 As estruturas do túnel e da câmara de compensação devem cumprir os seguintes requisitos.

- a) A forma e dimensão da secção do túnel deve ser determinada através de análise técnica e económica de acordo com a finalidade do túnel, condições hidráulicas, condições geológicas de engenharia, tensão do solo, condições de funcionamento do revestimento do revestimento e método de construção.
- b) O túnel de pressão é normalmente utilizado para o túnel de desvio da geração de energia. Quando o nível de água a montante muda pouco e o caudal de desvio é relativamente estável, o túnel sem pressão também pode ser utilizado.
- c) O túnel de pressão deve utilizar a secção circular. Se o diâmetro do túnel e a pressão interna/externa da água não forem grandes, outras formas seccionais convenientes para a construção também podem ser usadas.
- d) O túnel sem pressão deve utilizar a secção de parede recta com arco circular; o ângulo central do arco circular deve ser de 90° a 180°; quando for necessário aumentar a pressão na imposta, o ângulo central inferior a 90° também pode ser aceitável. A relação altura-largura da secção deve ser seleccionada de acordo com as condições hidráulicas e geológicas, mas deve ser de 1 para 1,5. Quando o nível de água varia muito no túnel, deve ser aplicada a relação grande. Quando as condições geológicas são relativamente pobres, a secção circular ou em forma de ferradura pode ser seleccionada.

- e) A relação altura-largura da secção deve ser adaptável às condições de tensão no solo; se a tensão horizontal no solo for maior que a tensão vertical no solo, a secção com menor altura mas maior largura pode ser utilizada; se a tensão vertical no solo for maior que a tensão horizontal no solo, a secção com maior altura mas menor largura pode ser utilizada.
- f) Em relação ao túnel relativamente longo, podem ser usadas formas de secções múltiplas ou padrões de revestimento, mas não deve haver muita variedade de formas de secções ou padrões de revestimento. A secção de transição deve ser disposta entre diferentes secções ou padrões de revestimento. O limite da secção de transição deve empregar a curva fácil, e ser conveniente para a construção. O ângulo do cone da secção de transição no túnel de pressão deve ser de 6° a 10° , o seu comprimento não deve ser inferior a 1,5 a 2,0 vezes o diâmetro do túnel (ou largura do túnel) e o intervalo entre duas secções de transição não deve ser muito pequeno.
- g) A dimensão transversal do túnel hidroeléctrico deve ser determinada através de análise em conformidade com o princípio de minimização da soma dos custos de engenharia do túnel e o custo da perda de energia.
- h) A dimensão mínima da secção transversal deve ser determinada de acordo com os requisitos de construção: o diâmetro interior da secção circular não deve ser inferior a 1,8 m, a altura da secção não circular não deve ser inferior a 1,8 m e a largura não deve ser inferior a 1,5 m. A largura do túnel deve ser superior a 2,2 m no caso de o seu comprimento ser superior a 1,5 km.
- i) No túnel sem pressão com baixa velocidade de caudal, o espaço acima do perfil da superfície da água não deve ser inferior a 15% da área seccional do túnel e sua altura não deve ser inferior a 0,4 m sob condições de caudal constante, se as condições de ventilação forem boas. Em condições de caudal não constante, os valores acima mencionados podem ser reduzidos apropriadamente quando a onda de sobretensão tiver sido considerada no cálculo, e o valor acima mencionado pode ser aumentado apropriadamente para o túnel relativamente longo e para o túnel sem revestimento ou revestimento com parafusos de gunita projectada.
- j) Uma câmara de compensação deve ser subterrânea e deve ser revestida com ancoragem e gunita, betão e betão armado, etc.

8.2.3 Os cálculos hidráulicos devem cumprir os seguintes requisitos.

- a) O cálculo hidráulico do túnel sem pressão inclui a capacidade de descarga, a ligação dos caudais a montante e a jusante e o perfil de superfície da água.

- b) O cálculo hidráulico do túnel de pressão inclui a capacidade de descarga, a perda de carga e a linha de grau hidráulico.
- c) A perda de carga do túnel hidráulico inclui a perda por atrito e a perda parcial que deve ser calculada respectivamente.
 - 1) O valor do coeficiente de rugosidade n seleccionado no cálculo da perda por atrito deve ser determinado através de uma análise exaustiva de acordo com a tecnologia de construção, possíveis alterações após a operação e os benefícios económicos.
 - 2) O coeficiente utilizado no cálculo da perda parcial pode ser determinado através de análise com referência aos dados hidráulicos, ou decidido através de teste, quando necessário.
- d) A capacidade de descarga do túnel deve ser calculada respectivamente para o túnel de pressão e para o túnel sem pressão de acordo com as condições de caudal de água.
 - 1) Túnel de pressão: calculado de acordo com o caudal da tubagem.
 - 2) Túnel sem pressão: calculado de acordo com o caudal da represa para a entrada aberta; calculado de acordo com o caudal da tubulação para a entrada profunda.
- e) No que diz respeito ao cálculo do perfil de superfície de água para o túnel sem pressão, a classificação do perfil de superfície de água deve ser determinada em primeiro lugar. Após a selecção da secção de controlo, o cálculo pode ser realizado seleccionando a secção de controlo e, em seguida, calculando o processo de totalização por etapas ou outros métodos.

8.2.4 O revestimento do túnel e a estrutura de suporte

8.2.4.1 O revestimento e a estrutura de suporte do túnel devem cumprir os seguintes requisitos gerais.

- a) Os suportes do túnel devem manter estável a rocha circundante ou fornecer o tempo necessário para a estabilização da rocha circundante. Podem ser utilizados os seguintes modos de suporte: haste de ancoragem, ancoragem e gunite, estrutura de aço, gunite de malha de reforço.
- b) O revestimento de túneis inclui o revestimento de gunite, revestimento de betão, revestimento de betão armado,, etc., com as seguintes funções:
 - 1) reforçar as rochas adjacentes, e as rochas adjacentes e os revestimentos pressupõem a carga em conjunto;
 - 2) suavizar a superfície rochosa circundante para reduzir a rugosidade;
 - 3) melhorar a capacidade anti-infiltração das rochas adjacentes;

- 4) evitar que a rocha adjacente seja removida e danificada devido ao caudal, atmosfera, temperatura e humidade.
- c) na carga calculada pela estrutura do revestimento do túnel pode ser classificada na carga básica e carga especial de acordo com suas funções, incluindo o peso morto do revestimento, pressão da rocha adjacente, tensão no solo, pressão interna da água, pressão externa da água, pressão da gunitagem, carga de construção, carga de temperatura, carga sísmica, etc. As cargas que actuam sobre o revestimento devem ser combinadas nas combinações básicas e especiais de acordo com a possibilidade de existirem simultaneamente dois tipos de cargas indicadas acima.
- d) A pressão da rocha adjacente que actua sobre o revestimento do túnel deve ser determinada de acordo com as características da rocha adjacente, profundidade de enterramento, forma e tamanho seccional, método de construção, condições de suporte após a escavação, tempo de colocação do betão no revestimento e redistribuição da tensão da rocha adjacente durante a construção.
- 1) Para a rocha adjacente I , a pressão da rocha quebrada pode ser ignorada no projecto do revestimento. A tensão no solo deve ser estudada de acordo com a profundidade de enterramento do túnel.
 - 2) Para as rochas adjacentes I e II , a pressão da rocha quebrada pode ser estimada de acordo com a Fórmula (27) antes da escavação do túnel.

$$q_v = (0.1 \sim 0.2) \gamma_R B \quad \dots\dots\dots (27)$$

onde

γ_R é o peso da unidade de rocha, em kN/m³;

B é a largura da escavação do túnel, em metros;

q_v é a pressão das rochas circundantes distribuídas uniformemente, em kN/m².

Após a escavação do túnel, a pressão que actua sobre o revestimento deve ser analisada pelo método do balanço de blocos ou pelo método dos elementos finitos de acordo com os dados geológicos suplementares e deve ser feita a correcção necessária.

- 3) Para rochas adjacentes IV e V , a pressão das rochas circundantes pode ser estimada com a teoria do equilíbrio de meios soltos.
- 4) Caso as rochas adjacentes sejam suportadas por um revestimento combinado de parafusos e gunita ou estruturas de aço que atinjam um estado estável, a importância da pressão da rocha circundante que actua sobre o revestimento interno de betão armado ou revestimento de betão pode ser minimizada ou ignorada.

8.2.4.2 O túnel com revestimento de betão e betão armado deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) A espessura do revestimento de betão e de betão armado deve ser determinada de acordo com os requisitos de resistência, anti-infiltração e composição, e em combinação com o método de construção. A espessura do revestimento de betão armado simples não deve ser inferior a 0,3 m; a espessura do revestimento de betão armado de camada dupla não deve ser inferior a 0,4 m.
- b) Os requisitos anti-fissuras ou de limitação de fissuras devem ser propostos para o betão e para o revestimento de betão armado de acordo com as condições rochosas adjacentes, requisitos anti-infiltração, estado de funcionamento do túnel e importância do projecto. Este requisito pode não ser necessário para o revestimento utilizado apenas para nivelar a superfície das rochas adjacentes.
- c) Se a infiltração da água interna ameaçar a segurança das rochas adjacentes e estruturas adjacentes após a ocorrência de fendas no revestimento do túnel, o revestimento deve ser concebido de acordo com os requisitos anti-fissuração; caso contrário, pode ser concebido de acordo com os requisitos de fissuras restrictas. A largura máxima da fenda calculada não deve exceder 0,2 mm a 0,3 mm quando projectada de acordo com a fenda restricta. Quando a água é corrosiva, a largura máxima calculada da fenda não deve exceder 0,15 mm a 0,25 mm. Se o revestimento não cumprir facilmente os requisitos de anti-fissurização ou restrição de fissuras, podem ser tomadas outras medidas.
- d) De acordo com os requisitos de resistência e anti-infiltração do betão, o grau de resistência do betão e do revestimento do betão armado não deve ser inferior a C20.
- e) Para o revestimento de betão e betão armado, as juntas de deformação devem ser dispostas e as correspondentes medidas anti-infiltração devem ser aplicadas na intersecção de poços, galerias de acesso e outras posições onde as condições geológicas mudam obviamente (tais como as posições que passam por uma falha relativamente grande ou zona fracturada fraca), ou outras posições onde pode ocorrer um deslocamento relativo significativo. Quando as condições geológicas das rochas adjacentes são relativamente uniformes, apenas as juntas de construção são fornecidas.
- f) O comprimento da secção colocada ao longo do percurso do túnel deve ser determinado através de análise de acordo com a capacidade de colocação e a retracção da temperatura. O comprimento pode ser de 6 m a 12 m. As juntas circunferenciais do arco inferior e do arco lateral/de coroamento não devem ser escalonadas.
- g) No que respeita às juntas de construção circulares do revestimento do túnel sem pressão, o aço de distribuição não pode penetrar na superfície da junta, o betão não pode ser rugoso e a vedação de água não pode ser disposta se não houver necessidade de anti-infiltração. No que diz respeito ao túnel de pressão e ao túnel sem pressão com requisitos de anti-infiltração, devem ser implementadas as medidas necessárias para o tratamento das juntas de construção circular do revestimento, de acordo com as condições específicas.

- h) As juntas longitudinais de construção no revestimento do túnel devem ser rugosas e dispostas nas posições com tensão de ruptura relativamente baixa e tensão de cisalhamento na estrutura do revestimento do túnel. Quando for necessário revestir primeiro o arco superior na construção, a superfície da junta invertida do encontro deve ser tratada adequadamente.
- i) Determinados comprimentos de sobreposição devem ser reservados para a ligação entre o revestimento de betão armado e o revestimento de chapa de aço (o comprimento de sobreposição deve ser determinado em função da cabeça de água e não deve ser inferior a 1 m), devendo o anel da barragem ou outras medidas anti-infiltração serem dispostas no revestimento de chapa de aço. No que diz respeito ao túnel de pressão com alta pressão interna de água, deve ser estudada a necessidade de dispor a cortina estanque e as instalações de drenagem na extremidade do revestimento de betão armado.

8.2.4.3 Os túneis sem revestimento e os túneis com ancoragem de suporte e gunita devem cumprir os seguintes requisitos.

- a) O túnel na massa rochosa integral, dura e de baixa permeabilidade, pode não ser revestido mediante análises técnicas e económicas, se o caudal de água no túnel não danificar a rocha, e a infiltração externa de água interna não influenciar a estabilidade das estruturas adjacentes, das rochas adjacentes e da encosta. Devem ser tomadas medidas de reforço adequadas para a entrada/saída do túnel sem revestimento e da secção do túnel com requisitos especiais. O piso do túnel não revestido deve ser nivelado com betão. Os colectores de rocha devem ser providenciados para o desvio de água e túnel de geração de energia sem revestimento. A posição, volume, profundidade e número de compartimentos podem ser determinados de acordo com o comprimento, condições geológicas e condições hidráulicas da secção do túnel, bem como as condições de limpeza.
- b) Se a escavação do túnel sem revestimento for efectuada com o método de jacto de perfuração, deve ser aplicado o processo de jacto regular; os requisitos de qualidade do jacto regular incluem o seguinte.
 - 1) Tanto o valor de sobre-escavação radial como a diferença de flutuação da superfície da rocha escavada devem ser inferiores a 0,2 m.
 - 2) Os traços do furo devem ser distribuídos uniformemente na superfície circundante da escavação, e a taxa de retenção dos traços do furo não deve ser inferior a 70%. A taxa de retenção dos traços dos furos refere-se à percentagem da relação entre a quantidade de furos com traços e a quantidade total dos furos adjacentes.
 - 3) Não devem existir fissuras evidentes nas rochas adjacentes.
 - 4) Não deve ocorrer sub-escavação.

- c) Para a secção do túnel onde a massa rochosa é relativamente integral e dura, mas tem uma resistência relativamente fraca às intempéries e um desempenho anti-infiltração e a infiltração externa de água interna não cause deterioração das rochas adjacentes ou resulte numa sequência adversa, o revestimento do parafuso de gunite pode ser adoptado após análise técnica e económica.
- d) Os seguintes padrões de revestimento de parafusos de gunite podem ser seleccionados de acordo com as condições da rocha adjacente, características de operação do túnel, bem como as funções e requisitos do revestimento de parafusos de gunite:
- 1) revestimento de gunite;
 - 2) revestimento combinado de gunite e parafuso de ancoragem;
 - 3) revestimento combinado de gunite, parafuso de ancoragem e tapete de barras;
 - 4) revestimento combinado de ancoragem de gunite e betão ou betão armado.
- e) A força de ligação entre a camada de gunite e as rochas adjacentes não deve ser inferior a 0,8 MPa nas rochas adjacentes de categoria III ou superior. A espessura do revestimento de gunite não deve normalmente ser inferior a 50 mm e a espessura máxima não deve ser superior a 200 mm. A resistência à compressão da gunite não deve ser inferior a 20 MPa.
- f) As rochas adjacentes relativamente instáveis devem ser reforçadas com o revestimento combinado de gunite e parafuso de ancoragem. Os blocos de rocha parcialmente instáveis podem ser reforçados com uma ancoragem de argamassa suspensa e o parafuso de ancoragem deve ficar vertical em relação à superfície da rocha, o comprimento do parafuso na rocha estável circundante deve ser de 40 a 50 vezes o diâmetro do parafuso de ancoragem e o diâmetro do parafuso de ancoragem não deve ser inferior a 16 mm. No que diz respeito às rochas adjacentes com estabilidade integral relativamente fraca, deve ser utilizado o sistema de parafusos de rocha. O diâmetro do parafuso de ancoragem não deve ser inferior a 16 mm e o comprimento deve ser de 2 m a 4 m; e devem ser observadas as seguintes disposições:
- 1) Os parafusos de ancoragem devem ficar verticais em relação à superfície estrutural principal; quando a superfície estrutural principal não for óbvia, pode ficar vertical em relação à linha de contorno em redor do túnel.
 - 2) As posições na superfície da rocha circundante devem ser dispostas em quincôncio.
 - 3) O espaçamento entre os parafusos de ancoragem não deve ser superior a metade do seu comprimento, e não deve ser superior a 1,25 m para a rocha desfavorável adjacente.
- g) As rochas adjacentes com estrutura e fissuras desenvolvidas devem ser forradas de forma combinada com a gunite, o parafuso de ancoragem e o reforço do tapete de barras. A disposição do reforço do tapete de barras deve respeitar as seguintes disposições:

- 1) O diâmetro do reforço longitudinal da armadura do tapete de barras deve ser de 6 mm a 10 mm e o diâmetro da armadura circunferencial deve ser de 6 mm a 12 mm.
 - 2) O espaçamento do tapete deve ser de 200 mm a 300 mm.
 - 3) A espessura da camada protectora de gunitite para o reforço do tapete de barras não deve ser inferior a 50 mm.
 - 4) A ligação entre o reforço do tapete de barras e o parafuso de ancoragem deve ser fixada por soldadura.
 - 5) A intersecção do reforço do tapete de barras deve ser fixada com firmeza (recomenda-se a soldadura no intervalo e a sua fixação no intervalo).
- h) A entrada/saída do túnel com ancoragem de gunitite, e as posições à frente e atrás da câmara da comporta de descarga devem ser revestidas com betão ou betão armado; o comprimento do revestimento deve ser determinado de acordo com as condições específicas e não deve ser inferior a 2 a 3 vezes o diâmetro do túnel (ou largura do túnel).

8.2.4.4 A gunitagem, a anti-infiltração e a drenagem do revestimento do túnel devem cumprir os seguintes requisitos.

- a) A parte superior do betão e do revestimento de betão armado devem ser enchidas e deve ser-lhes aplicada gunitite. O âmbito, o espaçamento dos furos, o espaçamento entre fileiras, a pressão de gunitagem e a densidade da gunitite de enchimento e de gunitagem devem ser determinados através de análise de acordo com o tipo de estrutura do revestimento, as condições de trabalho no túnel e o método de construção.
- b) O alcance do enchimento e da gunitagem deve estar entre 90° a 120° do ângulo central do arco superior, o espaçamento entre furos e linhas deve ser de 2 m a 6 m, a pressão de gunitagem deve ser de 0,2 MPa a 0,3 MPa e a profundidade do furo de gunitagem nas rochas adjacentes deve ser de, pelo menos, 50 mm.
- c) A gunitagem de consolidação das rochas adjacentes deve ser determinada através de comparação técnica e económica. Os parâmetros da gunitagem de consolidação podem ser determinados por analogia de engenharia ou teste de campo. O espaçamento entre as filas deve ser de 2 m a 4 m e pelo menos 6 buracos devem ser dispostos em uma fila e dispostos simetricamente. A profundidade do buraco nas rochas adjacentes deve ser aproximadamente igual ao comprimento do raio do túnel. A pressão de gunitagem deve ser de 1,5 a 2,0 vezes a pressão interna da água.
- d) No projecto de anti-infiltração e drenagem do túnel, o entupimento (como o revestimento e a gunitagem), retenção (como a cortina anti-infiltração) e drenagem medida (como os furos de drenagem e a galeria de drenagem) devem ser seleccionados através de uma análise exaustiva de acordo com a geologia de engenharia, hidrogeologia e condições de projecto das rochas adjacentes ao longo do percurso do túnel e com alusão à situação específica com o objectivo de melhorar a estrutura do revestimento e as condições de trabalho das rochas circundantes.

- e) Os furos de drenagem podem ser dispostos no túnel sem pressão. O espaçamento entre furos de drenagem, o espaçamento entre linhas e a profundidade dos furos deve ser determinado através de análise de acordo com as condições hidrogeológicas. O espaçamento entre furos e o espaçamento entre linhas deve ser de 2 m a 4 m, e a profundidade do furo no estrato rochoso deve ser de 2 m a 4 m.
- f) No que diz respeito ao túnel de pressão cujo desenho do revestimento é controlado pela pressão externa da água, devem ser tomadas as medidas de drenagem para reduzir a intensidade da pressão externa da água, mas a infiltração externa da água interna deve ser evitada.
- g) No que diz respeito aos túneis sem revestimento de betão, mas apenas com revestimento de parafusos com gunite, devem ser tomadas as medidas anti-infiltração necessárias na saída do túnel de pressão na posição em que a espessura do revestimento da rocha adjacente acima do topo do túnel seja menor do que a cabeça de pressão interna de água para a secção do túnel com rochas adjacentes das categorias IV e V, e na posição em que a espessura das rochas adjacentes próximas à margem da encosta seja menor do que 1,5 vezes a cabeça de pressão interna de água; entretanto, deve ser dada atenção à instabilidade da rocha adjacente e da encosta.

8.3 Canal de desvio da água e câmara de carga

8.3.1 Disposições gerais

8.3.1.1 Se a altura do coroamento do dique do canal auto-regulado permanecer inalterada ao longo do comprimento do canal e o fundo do canal se estender ao longo do canal num determinado declive, a represa de transbordo pode não estar disposta no final do canal. No que diz respeito ao canal auto-regulado, a comporta ensecadeira deve ser disposta na entrada de água. Se a elevação do coroamento do dique do canal não auto-regulado for reduzida ao longo do comprimento do canal, e o seu declive for consistente com o declive inferior do canal, a estrutura de descarga, tal como o açude de transbordo, deve ser disposta na câmara de carga, na extremidade do fim do canal. No que respeita ao canal auto-regulado, a comporta de serviço e a comporta ensecadeira devem ser dispostas na entrada de água (ou a ranhura da porta pode ser reservada).

8.3.1.2 No que respeita à selecção dos tipos de canais de desvio de água, o canal auto-regulado, canal não auto-regulado ou canal combinado com funções auto-reguladoras e não auto-reguladoras deve ser seleccionado através de comparação técnica e económica, em conjunto com as condições topográficas, geológicas, construtivas e operacionais, bem como a disposição geral do projecto.

8.3.1.3 O canal auto-regulado pode ser adoptado se os seguintes requisitos forem cumpridos.

- a) A mudança do nível de água do canal é pequena, o canal é relativamente curto, o gradiente longitudinal do fundo do canal é pequeno e a maior parte do canal é escavada.

- b) As condições para a estrutura de descarga do edifício não estão disponíveis.
- c) A operação requer a utilização de água de armazenamento como capacidade reguladora da central de energia hidroeléctrica.
- d) Na concepção do canal de desvio da água e da câmara de carga, as questões relativas ao controlo de cheias, prevenção de infiltração, anti-poluição, prevenção de sedimentos e resistência ao gelo devem ser tratadas adequadamente.
- e) No que diz respeito à secção do canal junto à entrada de água, o âmbito de protecção e as correspondentes medidas de engenharia devem ser determinadas para o controlo da inundação do talude exterior de acordo com a situação de descarga de água.

8.3.2 Princípios da disposição do canal e câmara de carga

8.3.2.1 O percurso do canal deve ser o mais recto possível, e deve ser seleccionado no local onde a escavação e o enchimento são basicamente equilibrados; se não for possível, a zona de enchimento alto e escavação profunda devem ser evitadas o máximo possível, e a curva não deve ser acentuada. Em relação ao canal do revestimento, o raio de curva não deve ser inferior a $2,5B$ (B refere-se à largura da superfície da água do canal); em relação a um canal sem revestimento, o raio de curva não deve ser inferior a $5B$.

8.3.2.2 Em zonas montanhosas e acidentadas, o percurso dos canais deve ser traçado ao longo da linha de contorno. Quando o canal atravessa um vale ou cume, os esquemas de enchimento exaustivo, escavação profunda, desvio, aqueduto e escavação de túneis devem ser comparados e deve ser seleccionado o ideal. O canal deve ser ortogonal em relação à estrada e ao rio.

8.3.2.3 O percurso do canal deve ser mantido afastado da região com fugas graves, areia movediça, terra lamacenta, deslizamentos de terras e um estrato rochoso que é difícil de escavar. Vários esquemas podem ser propostos e comparados, quando necessário, por exemplo, mantendo-se afastado da área de deslizamento de terras, contornando e enchendo, reduzindo a infiltração com medidas anti-infiltração, cruzando a área de areias movediças com o corredor da caixa e garantindo o funcionamento seguro do canal com revestimento de betão ou betão armado.

8.3.2.4 Para melhorar as condições de construção e garantir a qualidade da engenharia, o transporte, o abastecimento de água e fonte de alimentação, o local da construção mecânica, o empréstimo de solo e a deterioração do terreno para a construção devem ser considerados de forma abrangente.

8.3.3 Disposição das estruturas no canal

8.3.3.1 A estrutura de descarga deve empregar o tipo de açude lateral. O açude lateral deve ser disposto na câmara de carga (ou na posição próxima à câmara de carga) ou na posição onde o canal atravessa a ravina.

8.3.3.2 O projecto hidráulico do açude deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) Em relação ao canal de desvio da água, a elevação do coroamento do açude lateral deve ser 0,1 m a 0,2 m mais alta do que a elevação da superfície da água de transbordo quando a central de energia hidroeléctrica funciona normalmente no caudal de projecto.
- b) O comprimento do coroamento do açude e a cabeça média da água em frente ao açude devem ser determinados através de cálculo e comparação.
- c) A água que flui através do açude deve ser mantida fluindo livremente, e o canal lateral ou canal íngreme para descarga de água e dissipação de energia necessária e as instalações de controlo de erosão devem ser dispostas por detrás do açude de acordo com as condições reais.
- d) Pode ser utilizado o açude de secção transversal prática ou o açude trapezoidal ou o açude de secção de vácuo.
- e) As paredes-guia de ambos os lados do açude lateral devem cumprir os requisitos de manter o caudal de água regular.

8.3.3.3 Para satisfazer os requisitos de revisão geral do canal, devem ser dispostos os furos de drenagem. Os furos de drenagem devem ser combinados com as instalações de descarga de sedimentos, irrigação e abastecimento de água.

8.3.3.4 Quando o canal for relativamente longo e se entrar muito lixo no canal ao longo da rota, devem ser providenciadas instalações adicionais de retenção e limpeza do lixo nas posições apropriadas.

8.3.3.5 Instalações eficazes de descarga de sedimentos, como o tubo de vórtice de descarga de sedimentos, devem ser dispostas no canal para manusear os sedimentos (principalmente carga de leito) no canal.

8.3.3.6 As instalações de segurança e mobilidade necessárias devem ser dispostas ao longo do percurso do canal de desvio de água.

8.3.4 Projecto do gradiente longitudinal e da secção transversal do canal

8.3.4.1 O traçado da secção longitudinal do canal inclui: determinação do gradiente longitudinal do canal, da linha de água normal, da linha de água mínima, da linha de água máxima, da elevação do fundo do canal, do nível do solo ao longo do percurso do canal e da elevação do coroamento do dique .

8.3.4.2 Ao seleccionar o gradiente longitudinal do canal devem ser observados os seguintes princípios.

- a) Inclinação do solo: a inclinação longitudinal do canal deve estar o mais próxima possível da inclinação do solo.

- b) Condições geológicas: em relação ao canal propenso à decapagem, o gradiente longitudinal deve ser regular; em relação ao canal com condições geológicas favoráveis, o gradiente longitudinal pode ser aumentado adequadamente.
- c) Grandeza do caudal: quando o caudal é forte, o gradiente longitudinal deve ser regular, quando o caudal é baixo, o gradiente longitudinal deve ser ligeiramente mais inclinado.
- d) Concentração de sedimentos: quando a concentração de sedimentos do caudal de água é baixa, deve ser dada atenção à prevenção da decapagem, e o gradiente longitudinal deve ser regular; quando a concentração de sedimentos é alta, deve ser dada atenção à prevenção do assoreamento, e o gradiente longitudinal deve ser íngreme.
- e) Cabeça de água.

8.3.4.3 O tamanho da secção do canal deve ser determinado através de cálculo hidráulico de acordo com os requisitos operacionais. A secção deve ser projectada de acordo com o caudal de concepção e verificada de acordo com o caudal aumentado.

8.3.4.4 A concepção razoável da secção do canal deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) A capacidade de carga de água deve ser suficiente para satisfazer as necessidades hídricas.
- b) O nível de água deve satisfazer as exigências da irrigação por gravidade.
- c) A velocidade do caudal no canal deve evitar a decapagem ou assoreamento do canal e a realização de uma decapagem periódica e um balanço de assoreamento.
- d) O talude lateral deve ser estável para garantir o funcionamento seguro do canal.
- e) A forma da secção deve ser razoável para reduzir a infiltração e outras perdas, e melhorar o coeficiente de utilização da água.
- f) Deve cumprir os requisitos de utilização abrangente e ser especializado em muitas áreas.
- g) A quantidade de engenharia deve ser a menor possível.

8.3.4.5 O canal deve empregar a secção transversal trapezoidal. O coroamento do dique deve reservar uma certa largura e bordo livre.

8.3.4.6 O âmbito de selecção da velocidade do caudal de projecto para o canal de desvio de água da central de energia hidroeléctrica: a velocidade do caudal deve ser de 1 m/s a 2 m/s para o canal revestido e ser de 0,6 m/s a 0,9 m/s para o canal de terra.

8.3.4.7 O canal de desvio de água da central de energia hidroeléctrica deve ser revestido com materiais duráveis e com bom desempenho anti-infiltração, de acordo com as condições locais.

8.3.5 Projecto da câmara de carga

8.3.5.1 A câmara de carga deve ser composta por uma câmara frontal, câmara de admissão, parede de pressão, estrutura de descarga, descarga de sedimentos, retenção de gelo e estruturas de descarga de gelo. Na disposição plana, a linha central da tomada de água da central de energia hidroeléctrica deve coincidir com a linha central do canal de desvio de água. O projecto da câmara de carga deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) A câmara de entrada deve ser mais larga e profunda do que o canal; o canal deve ser ligado ao corpo da câmara de carga com difusor de transição (câmara frontal).
- b) A estrutura de descarga deve evitar que a água da câmara de carga transborde para o coroamento do dique.
- c) A retenção de gelo, a calha de gelo e a galeria de decapagem devem evitar os perigos do sedimento e do gelo.

8.3.5.2 A disposição da câmara de carga deve ser compacta e razoável para assegurar um caudal de água regular, operação flexível e fiável e uma estrutura segura e económica.

8.3.5.3 A câmara de carga deve ser colocada na parte superior do talude íngreme; deve ser dada especial atenção à estabilidade das fundações e aos problemas de anti-infiltração para garantir a estabilidade da câmara de carga. Deve estar perto da casa das máquinas.

8.3.5.4 O ângulo de difusão plano β do canal de ligação à câmara de carga não deve ser superior a 10° a 15°.

8.3.5.5 A altura do piso na extremidade traseira da câmara frontal deve ser 0,5 m a 1,0 m mais baixa do que a elevação do piso da câmara de entrada.

8.3.5.6 Quando a linha central do canal é inconsistente com a linha central da conduta forçada, a curva de conexão regular e a parede guia podem ser adoptadas. A largura da câmara frontal deve ser cerca de 1,0 a 1,5 vezes a largura da câmara de entrada, e o comprimento deve ser de 2,5 a 3,0 vezes a largura.

8.3.5.7 Quando existirem mais de duas condutas forçadas, a câmara de entrada deve ser separada em várias câmaras de entrada independentes com plataformas de separação; a plataforma do lixo, a comporta ensecadeira, a comporta de serviço, o guincho, a tubagem de desvio, o furo de ventilação e a ponte de serviço devem ser dispostos em cada câmara de entrada.

8.3.6 Cálculo hidráulico

8.3.6.1 O cálculo hidráulico inclui:

- a) cálculo hidráulico do caudal constante e do caudal instável do canal de desvio de água e do sistema da câmara de carga;
- b) concepção hidráulica e cálculo de dissipação de energia para a estrutura de descarga;
- c) concepção e cálculo hidráulico para a estrutura de desassoreamento;
- d) cálculo hidráulico de outras estruturas de transbordo.

8.3.6.2 O caudal de concepção do canal deve incluir o caudal máximo de desvio da central de energia hidroeléctrica, bem como a perda por fuga e evaporação do canal. O caudal de concepção da secção do canal correspondente pode ser aumentado, quando necessário.

8.3.6.3 O nível de água da central de energia hidroeléctrica durante o seu funcionamento normal no caudal de projecto deve ser utilizado como o nível de água normal da câmara de carga. Neste caso, o sistema de canais deve funcionar no regime de caudal uniforme ou quase uniforme.

8.3.6.4 O nível máximo de água na câmara de carga e no canal deve ser determinado de acordo com o nível máximo de sobrecarga de água quando a central de energia hidroeléctrica de repente todas as cargas no processo normal de funcionamento no caudal de projecto. Em relação ao canal auto-regulado, este refere-se ao nível máximo de água de sobrecarga no final do canal obtido a partir do cálculo do caudal não auto-regulado; em relação ao canal não auto-regulado, refere-se ao nível de água correspondente quando a barragem de transbordo descarrega o caudal máximo.

8.3.6.5 O nível mínimo de água na câmara de carga e no canal deve ser determinado de acordo com qualquer uma das seguintes condições:

- a) o caudal mínimo de desvio de água para a geração de energia na estação seca da frequência de projecto, quando o canal funciona normalmente;
- b) quando o canal é necessário para descarregar gelo no Inverno;
- c) no nível de água baixo, quando o nível de água na câmara de carga cai subitamente devido ao aumento repentino da carga da turbina, o nível mínimo de água de funcionamento deve ser determinado de acordo com os requisitos operacionais da central de energia hidroeléctrica para garantir a profundidade de submersão exigida pela câmara de entrada.

8.3.6.6 Em condições normais de funcionamento do caudal de projecto da central de energia hidroeléctrica, o canal prismático deve ser calculado de acordo com o caudal uniforme do canal aberto; no que respeita ao canal não prismático, deve ser calculado o caudal constante e lento variável do canal aberto.

8.3.7 Projecto da página do canal anti-infiltração

8.3.7.1 Os materiais anti-infiltração do canal devem incluir solo, solo cimentado, alvenaria, membrana, betão betuminoso e betão, entre os quais, solo calcário, mistura de três elementos, mistura de quatro elementos e solo cimentado devem ser utilizados para os trabalhos de anti-infiltração do canal na região regular.

8.3.7.2 Os trabalhos do canal anti-infiltração devem estar de acordo com os princípios de ajustamento das medidas às condições locais e de utilização de materiais locais. A qualidade da construção deve ser garantida para satisfazer os requisitos de concepção da anti-infiltração. Entretanto, a gestão deve ser melhorada para assegurar a vida útil projectada e melhorar os benefícios.

8.3.7.3 Os trabalhos de anti-infiltração do canal devem ser realizados durante as estações quentes.

8.3.7.4 Os materiais do solo para os trabalhos do canal de anti-infiltração devem cumprir as disposições da Tabela 21.

Tabela 21 Requisitos técnicos do material do solo de anti-infiltração

Itens	Solo coesivo, mistura de areia queimada anti-infiltração	Solo de calcário, mistura de três elementos e mistura de quatro elementos anti-infiltração	Camada protectora do solo de anti-infiltração da membrana e camada de transição	Anti-infiltração de solo cimentado
Teor de grãos de argila (%)	20~30	15~30	3~30	8~12
Teor de grãos de areia (%)	10~60	10~60	10~60	50~80
Índice de plasticidade I_p	10~17	7~17	1~17	/
Tamanho máximo de partícula do partículas do solo (mm)	<5	<5	<5	<5
Conteúdo orgânico (%)	<3,0	<1,0	/	2,0
Conteúdo de rochas solúveis (%)	<2,0	<2,0	<2,0	<2,5
Conteúdo do nódulo de caliche, raízes das árvores e raízes de relva	Inaceitável	Inaceitável	Inaceitável	Inaceitável

8.3.7.5 A proporção da mistura de referência de material do solo deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) A proporção da mistura de solo calcário pode ser de cal: solo = 1: 3 a 1: 9. Quando utilizada, a dosagem da cal deve ser aumentada ou diminuída conforme apropriado, de acordo com a duração do período de armazenamento da cal, e o seu âmbito de variação deve ser controlado dentro de $\pm 10\%$.
- b) A proporção da mistura de três elementos pode ser de cal: peso total do solo e areia = 1: 4 a 1: 9, onde o peso do solo deve ser de 30% a 60% do peso total do solo e da areia; em relação ao solo argiloso com um limite elevado de líquidos, o peso do solo não deve ser superior a 50% do peso total do solo e da areia.

- c) Quando a mistura de quatro elementos é utilizada, pode ser preparada adicionando 25% a 35% de paralelepípedos ou macadame, com base na proporção da mistura de três elementos.
- d) Na mistura de areia argilosa, a relação entre o solo argiloso com um limite elevado de líquidos e o peso total da areia e do solo deve ser de 1: 1.

8.3.7.6 O teor óptimo de humidade do solo de cal e da mistura de três elementos pode ser seleccionado de acordo com os seguintes requisitos.

- a) Pode ser de 20% a 30% para o solo calcário.
- b) Pode ser de 15% a 20% para a mistura de três elementos e para a mistura de quatro elementos.
- c) Deve ser controlado dentro de $\pm 4\%$ do limite de plástico para a mistura de solo liso e areia queimada.

8.3.7.7 O grau de resistência ao gelo do cimento não deve ser inferior a F12. A dosagem de cimento deve ser de 8% a 12% e o coeficiente de anti-infiltração não deve ser superior a 1×10^{-6} mm/s.

8.3.7.8 A espessura da membrana plástica escura deve ser de 0,2 mm a 0,6 mm. Nas regiões frias e muito frias, a membrana de polietileno pode ser usada como preferência.

8.3.7.9 A espessura da estrutura de anti-infiltração do canal deve ser determinada de acordo com a Tabela 22.

Tabela 22 Espessura adequada da estrutura de anti-infiltração do canal

Categoria da estrutura de anti-infiltração		Espessura (mm)
Material do solo	Argila (apiloada)	≥ 300
	Solo de calcário e mistura de três elementos	100~200
Solo cimentado		60~100
Alvenaria	paralelepípedos de pedra seca	100~300
	Blocos de pedra com argamassa de cimento	200~300
	Pedra vestida com argamassa de cimento	150~250
	Laje com argamassa de cimento	>30
Material de membrana enterrada (camada protectora do material do solo)	Película plástica	0,2~0,6
	Camada de amortecimento (terra argilosa, areia e calcário) abaixo do material da membrana	30~50
	Camada protectora de material do solo acima da membrana (apiloada)	400~700
Betão betuminoso	Moldado no local	50~100
	Pré-fabricados + pavimentação	50~80

Tabela 22 (continuação)

Categoria da estrutura de anti-infiltração		Espessura (mm)
Betão	Moldado no local (sem reforço)	60~120
	Moldado no local (equipado com reforço)	60~100
	Pré-fabricados + pavimentação	40~100
	Construção por processo de injeção	40~80

8.4 Estrutura do canal

8.4.1 Aqueduto

8.4.1.1 A disposição do aqueduto deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) O aqueduto é uma estrutura de transporte de água de caudal aberto suspenso sobre o canal para atravessar o rio, vala, canal, estrada ou terra baixa, e deve ser composto pela secção de ligação de entrada/saída, corpo do aqueduto e suporte estrutural. As suas condições de trabalho e requisitos de projecto devem cumprir os requisitos do planeamento e concepção de todos os trabalhos de desvio.
- b) A disposição do aqueduto será determinada através de comparação tecno-económica de acordo com as condições topográficas e geológicas, escala do projecto e requisitos gerais da disposição do projecto. A disposição do aqueduto deve ser capaz de reduzir o comprimento do corpo do aqueduto, reduzir a quantidade de engenharia das fundações e reduzir a altura do suporte da plataforma.
- c) O eixo do aqueduto deve ser curto e recto, a entrada e a saída devem evitar curvas abruptas e devem ser dispostas no canal escavado.
- d) O aqueduto que atravessa o rio deve estar num local estável com um caudal de água rectilíneo.

8.4.1.2 A estrutura das secções de entrada/saída deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) A disposição das secções de entrada/saída deve facilitar a passagem regular a água do canal para dentro do aqueduto para evitar a decapagem e reduzir a perda de nível.
- b) O canal à frente e atrás da entrada e saída do aqueduto deve ter um certo comprimento de secção recta, que se liga regularmente ao corpo do aqueduto. Na disposição plana, devem ser evitadas curvas abruptas para evitar a deterioração da condição do caudal de água, que afectará o transporte normal da água e causará o fenómeno de decapagem.
- c) As secções de transição devem ser dispostas na entrada e saída do aqueduto. Os padrões das secções de transição podem incluir a superfície deformada, a parede da ala invertida e a parede alargada.

d) A protecção fiável do fundo e do talude do rio deve ser disposta na secção de entrada e saída.

8.4.1.3 A estrutura do corpo do aqueduto deve cumprir os seguintes requisitos.

a) A relação profundidade/largura da secção transversal do aqueduto deve ser $h/B = 0,6$ a $0,8$.

b) O vão e tipo de suporte (suporte simples ou de consola dupla) do aqueduto deve ser determinado de acordo com o caudal, condições topográficas e geológicas, e condições de construção.

c) O vão do aqueduto com a viga de suporte simples deve ser de 10 m a 15 m; o comprimento de cada secção do aqueduto com consola dupla deve ser de 20 m a 30 m; de acordo com a situação real, o aqueduto pode ser colocado no aqueduto com o vão e consola dupla iguais, o aqueduto com a mesma deflexão e a consola dupla ou o aqueduto com o vão desigual, deflexão desigual e consola dupla.

d) A espessura da parede lateral e do pavimento do aqueduto deve cumprir os requisitos de resistência e anti-fissuração, e deve ser determinada através de análise de tensões.

- A parede lateral deve ser utilizada simultaneamente como viga longitudinal, e deve cumprir os requisitos de estabilidade longitudinal.
- No que respeita ao aqueduto rectangular com barra transversal, a relação entre a espessura da parede lateral t e a altura da parede H deve ser $t/H = 1/12$ a $1/16$; no que diz respeito ao aqueduto com nervuras sem barra transversal, a espessura da parede pode ser adequadamente reduzida, mas não deve ser inferior a 150 mm; no que respeita ao aqueduto sem nervuras sem barra transversal, a espessura da parede lateral deve ser adequadamente aumentada, deve ser variável, mas a espessura do topo da parede não deve ser inferior a 150 mm.
- A espessura do chão do aqueduto deve ser igual à do fundo da parede lateral; em relação ao aqueduto com viga longitudinal múltipla, a espessura do chão pode ser menor que a espessura do fundo da parede lateral.
- O ângulo suplementar deve ser também adicionado na intersecção entre a parede lateral e o chão. A largura e altura do ângulo suplementar deve ser de 200 mm a 300 mm.

e) O espaçamento entre as barras transversais do aqueduto rectangular com barra transversal deve ser de 1,5 m a 2,5 m e o comprimento lateral da secção transversal deve ser de cerca de 200 mm.

f) O espaçamento entre as nervuras transversais do aqueduto sem nervuras deve cumprir os requisitos de que a parede lateral e o chão do aqueduto se transformem em lajes de duas vias.

- A relação H/L , da altura da parede lateral H e o intervalo de espaçamento das nervuras L_1 e a relação B/L_1 da largura do chão do aqueduto B e o intervalo de espaçamento das nervuras L_1 deve ser de 1,0 a 2,0.
 - A largura da nervura não deve ser inferior à espessura da parede lateral e do solo do aqueduto e a espessura líquida da nervura deve ser igual ou ligeiramente superior à largura da nervura.
 - Se for necessário transformar a parede lateral e o chão do aqueduto numa placa de suporte com quatro arestas fixas, a espessura superior e inferior da parede lateral devem ser parcialmente aumentadas e a rigidez da parede lateral superior, inferior e da nervura deve ser mais de 8 vezes superior à rigidez da laje.
- g) A laje da consola da passagem lateral grande deve ficar disposta no topo da parede lateral do aqueduto rectangular sem barra transversal, com uma espessura de 60 mm a 100 mm e uma largura de 700 mm a 1 000 mm. A laje da passagem lateral do aqueduto com barra transversal deve ser colocada sobre a barra transversal.
- h) A espessura da parede lateral, da laje superior e do chão do aqueduto do tipo caixa deve ser, na sua maioria, igual, e não deve ser inferior a 300 mm.
- i) O bordo livre da parede lateral deve ser determinado de acordo com o caudal e os requisitos gerais de planeamento, e deve ser igual ou ligeiramente superior ao bordo livre dos canais a montante e a jusante.

8.4.1.4 Os cálculos hidráulicos devem cumprir os seguintes requisitos.

- a) O cálculo hidráulico do aqueduto deve determinar a forma da secção transversal do caudal e a dimensão do aqueduto, o gradiente longitudinal do fundo do aqueduto e a elevação da entrada/saída, e verificar se a perda de nível cumpre os requisitos de planeamento do sistema de canais.
- b) A dimensão da secção transversal do aqueduto deve ser projectada de acordo com o caudal de concepção, verificada de acordo com o caudal máximo e calculada com a fórmula hidráulica.
- c) Quando o comprimento do aqueduto $L \geq (15 \text{ a } 20) h$ (h refere-se à profundidade da água no aqueduto), a dimensão deve ser calculada de acordo com a fórmula de caudal uniforme de canal aberto. Quando $L < (15 \text{ a } 20) h$, a dimensão pode ser calculada de acordo com a fórmula de submersão do açude de coroamento largo.
- d) Quando o gradiente longitudinal do aqueduto é determinado primeiro, é aconselhável considerar $i = 1/500$ a $1/1500$, e a velocidade de caudal no aqueduto de 1 m/s a 2 m/s.

8.4.2 Sifão invertido

8.4.2.1 A disposição do sifão invertido deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) O sifão invertido deve ser composto pela secção de entrada, secção do corpo do tubo e secção de saída. As suas condições de funcionamento e requisitos de concepção devem cumprir os requisitos de concepção de planeamento para todos os trabalhos de desvio.
- b) A disposição das tubagens será determinada através de comparação técnica e económica de acordo com as condições topográficas e geológicas, escala do projecto e traçado geral das obras.
- c) A tubagem deve ser seleccionada na região com excelentes condições topográficas e geológicas, e deve ser mantida afastada do deslizamento de terras, colapso ou áreas propensas a riscos de águas subterrâneas.
- d) Na face vertical, a tubagem deve evitar fenómenos convexos. Se for impossível evitar, uma válvula de respiro deve ser disposta nas posições apropriadas da tubagem.
- e) A tubagem deve estar equipada com instalações, como instalações de decapagem, drenagem e revisão geral manual. O tubo de elevação também deve ser colocado para facilitar a remoção de juntas de tubos.
- f) A tubagem e as secções de entrada/saída devem ser colocadas sobre as fundações escavadas.
- g) O raio de curva da tubagem circular não deve ser inferior a 3 vezes o diâmetro dos tubos. A curva plana e a curva vertical próximas uma da outra devem ser combinadas numa curva tridimensional. A curva e a secção de transição próximas uma da outra devem ser combinadas numa secção de curva de transição.
- h) Na região fria, as medidas anticongelamento necessárias devem ser tomadas de acordo com os requisitos de concepção de anticongelamento.
- i) A profundidade do tubo enterrado deve cumprir os seguintes requisitos.
 - 1) Isolamento térmico: a parte superior do tubo deve estar, pelo menos, 0,5 m a 0,8 m abaixo da camada de solo.
 - 2) Anti-congelamento: a parte superior do tubo deve estar, pelo menos, 1,0 m a 1,5 m abaixo da camada de solo congelado.
 - 3) Anti-decapagem: o topo do tubo deve estar, pelo menos, 0,5 m abaixo da linha de decapagem.
 - 4) Tubo enterrado sob a estrada ou canal: o topo do tubo deve estar, pelo menos, 1,0 m abaixo da superfície da estrada ou do fundo do canal.
 - 5) Camada superior: a parte superior do tubo deve ficar abaixo da camada superior (de aragem) (a profundidade da camada superior rebocada pelo tractor deve ser de 0,6 m a 1,0 m).

8.4.2.2 A estrutura das secções de entrada/saída deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) Nas secções de entrada/saída, as estruturas, incluindo a bacia de gravilha, soleira de retenção de sedimentos, comporta de descarga de decapagem, porta de descarga de água, comporta de controlo, bacia de amortecimento, suporte do lixo, boca de sino e secção de transição devem ser dispostas de acordo com os requisitos específicos de engenharia.
- b) O tipo e a elevação das estruturas na entrada/saída devem assegurar que o caudal de água na entrada e saída da tubagem seja submerso para evitar que o vórtice de salto hidráulico e de funilagem seja trazido ao ar ao passar por caudais diferentes. O limite deve ser regular para reduzir a perda de altura.
- c) As ligações da estrutura como a bacia de amortecimento e a comporta de controlo podem ser dispostos na entrada e na saída.

8.4.2.3 A estrutura da secção do corpo da tubagem deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) O projecto da secção do corpo dos tubos inclui a selecção do padrão seccional da tubagem, assim como a dimensão, quantidade e material da tubagem.
- b) O maciço de ancoragem deve ser disposto na curva da tubagem.
 - Quando a secção recta da tubagem é relativamente longa, os maciços de ancoragem devem ser dispostos a cada 150 m a 200 m.
 - Quando a tubagem é colocada no talude, os maciços de ancoragem devem ser dispostos a cada 50 m a 100 m para evitar o deslizamento do corpo da tubagem.
 - O espaçamento entre maciços de ancoragem deve ser determinado através de cálculos de acordo com as condições topográficas e geológicas.
- c) As juntas de expansão-subsidência devem ser dispostas entre as secções dos tubos.
- d) Tipo de junta entre secções de tubos: são principalmente juntas planas e junta de manga para tubo de betão armado fundido no local, a primeira é usada para a tubagem com cabeça relativamente baixa; a entrada e a junta de espigão são usados principalmente para tubos pré-fabricados e tubos pré-tensionados.
- e) O comprimento da secção da tubagem de betão moldado no local deve ser de 15 m a 20 m na fundação do solo e de 10 m a 15 m na fundação da rocha. O comprimento da secção do tubo de betão pré-fabricado deve ser inferior a 5 m.

8.4.2.4 Os cálculos hidráulicos devem cumprir os seguintes requisitos.

- a) Principais tarefas para o cálculo hidráulico do sifão invertido:

- 1) para determinar a secção transversal do caudal da tubagem e a quantidade de tubagens;
 - 2) para determinar a disposição e a dimensão das secções de entrada/saída, assim como a elevação em várias posições;
 - 3) para verificar se a capacidade de descarga, perda de altura e ligação de superfície da água cumprem os requisitos de concepção.
- b) A velocidade do caudal no sifão invertido deve ser seleccionada através de comparação técnica e económica de acordo com o valor de perda de altura permitido e os requisitos para não ocorrer assoreamento nos tubos.
- 1) Tubo de betão: quando o caudal de concepção passar pelo tubo, a velocidade média do caudal no tubo deve ser de 1,5 m/s a 3,0 m/s e a velocidade máxima pode atingir 4 m/s; quando a velocidade mínima do caudal for calculada de acordo com o caudal mínimo, a velocidade do caudal no tubo deve ser superior à velocidade do caudal de sedimentos transportados.
 - 2) Tubo de aço: a velocidade do caudal deve ser de 4 m/s a 6 m/s.
- c) A perda de altura do sifão invertido deve incluir a perda de altura local e a perda de altura por fricção. A perda de altura local deve incluir as perdas que ocorrem na plataforma do lixo, entrada, ranhura da comporta, secção de transição, curva, junta do tubo e saída.
- d) O caudal de água no sifão invertido deve ser calculado de acordo com a fórmula de caudal do tubo de pressão.
- e) A entrada e saída do sifão invertido deve ser concebida de acordo com o caudal de projecto e o caudal submerso, e depois as duas condições de trabalho seguintes devem ser verificadas.
- 1) Se o caudal na entrada e na saída ainda está submerso ao passar por um caudal médio ou pequeno.
 - 2) Se a elevação do nível de água dos canais de entrada/saída e o topo do aterro satisfazem os requisitos de funcionamento seguro quando o caudal é aumentado.
- f) Quando a velocidade do caudal na saída da tubagem for relativamente alta, a ligação da superfície da água deve ser verificada quando o caudal aumentar. Se ocorrer um tipo de salto de água de accionamento remoto, a estrutura de ligação da bacia de amortecimento deve ser disposta na saída. Se a diferença de altura entre os canais de entrada e saída for superior à perda total de altura da tubagem quando um caudal médio ou pequeno passar, a superfície da água na entrada pode causar o salto hidráulico quando o caudal cai no tubo, causar pulsação e aeração, e afectar a segurança do funcionamento. Neste caso, a disposição da entrada e saída deve ser corrigida de acordo com a perda total da altura.

8.4.2.5 Os cálculos estruturais devem cumprir os seguintes requisitos.

- a) A combinação de carga do projecto estrutural do sifão invertido deve ser considerada de forma exaustiva de acordo com a disposição da engenharia, bem como as condições mais desvantajosas que possam ocorrer durante o período de funcionamento, conforme indicado na Tabela 23.

Tabela 23 Combinação de cargas para cálculo estrutural da tubagem

Tipo de tubagem	Combinação de carga	Carga básica							Carga especial		Observações		
		Peso morto	Peso total da água do tubo	Pressão interna de água do projecto	pressão externa de água	Pressão do solo	Carga no solo	Carga de temperatura	Carga de neve	Contra-força de apoio	Verificar a pressão interna da água	Força sísmica	
Conduitas forçadas expostas	Combinação cargas	√	√	√				√	√	√			
	Combinação especial (I)	√	√					√	√	√	√		
	Combinação especial (II)	√	√	√				√	√	√		√	
Tubo enterrado	Combinação cargas (I)	√	√	√		√	√	√	√	√			
	Combinação básica (II)	√				√	√	√	√	√			Tubo vazio
	Combinação especial	√	√		√	√	√		√	√			
Tubo enterrado no leito do rio	Combinação cargas (I)	√	√	√	√	√				√			
	Combinação cargas (II)	√			√	√				√			Período de revisão geral da tubagem
	Combinação especial	√	√		√	√				√	√		

- b) A estrutura da tubagem de betão armado deve ser concebida de acordo com os requisitos de que não sejam permitidas fissuras, e devem ser tomadas medidas anti-fissuras e anti-decapagem.

8.5 Conduta forçada

8.5.1 Disposições gerais

8.5.1.1 O percurso da conduta forçada deve cumprir os requisitos gerais de disposição e deve ser determinado através de comparação técnica e económica, tendo em conta as condições topográficas e geológicas. O percurso deve ser curto e recto para que o caudal de água seja regular, a perda de altura seja pequena, e a construção e operação sejam seguras e convenientes.

8.5.1.2 A quantidade de condutas forçadas deve ser determinada através de comparação técnica e económica de acordo com o número de unidades, comprimento da tubagem, fases de instalação das unidades, nível de fabrico e instalação, condições de transporte, condições topográficas e geológicas, modo de funcionamento da central de energia hidroeléctrica e a sua posição no sistema de energia eléctrica.

8.5.1.3 O diâmetro do tubo deve ser determinado através de comparação técnica e económica. Vários diâmetros de tubo podem ser fornecidos de acordo com a disposição e a variação da pressão interna. Mas os diâmetros não devem variar muito.

8.5.1.4 A parte superior da conduta forçada deve estar, pelo menos, 2 m abaixo da linha de pressão mínima.

8.5.1.5 Em relação à conduta forçada exposta, a conduta forçada na barragem e a conduta forçada subterrânea sem válvula de entrada de água em frente da turbina, a válvula de comporta rápida e as instalações de revisão necessárias devem ser dispostas na extremidade superior da conduta forçada. No que diz respeito à conduta forçada subterrânea, a válvula da comporta de emergência deve ser disposta na extremidade da cabeça se a cabeça da entrada de água para a conduta forçada for relativamente longa, a pressão na conduta forçada for relativamente alta e a profundidade do enterro não for profunda.

8.5.1.6 O dispositivo de protecção contra transbordo deve ser disposto para a conduta forçada.

8.5.1.7 A válvula da comporta rápida ou válvula da comporta de emergência na extremidade da cabeça da conduta forçada deve estar equipada com dispositivos de operação remota (sala de controlo central) e local que devem ter uma fonte de alimentação fiável.

8.5.1.8 O furo de ventilação (poço) ou válvula de ventilação deve ser disposta no lado a jusante, perto da válvula de comporta rápida e da válvula de comporta de emergência, e o furo de ventilação não deve ser bloqueado pelo caudal da água de saída da válvula de enchimento. A extremidade superior do furo de ventilação deve estar fora da sala do guincho e acima do nível da cheia de verificação.

8.5.1.9 O raio de curva da conduta forçada não deve ser inferior a 3 vezes o diâmetro do tubo. A curva plana e a curva vertical próximas uma da outra devem ser combinadas numa curva tridimensional; a curva e o tubo redutor próximos um do outro devem ser combinados numa curva redutora.

8.5.1.10 A instalação de drenagem deve ser disposta no ponto mais baixo da conduta forçada.

8.5.1.11 A composição da conduta forçada deve cumprir as seguintes disposições.

- a) Além do requisito de análise estrutural, a espessura mínima (incluindo a espessura da camada anti-corrosão) da parede do tubo não só deve cumprir os requisitos da análise estrutural, mas também ter em conta os requisitos do processo de fabricação, instalação e transporte para garantir a rigidez necessária. A espessura mínima da parede do tubo não deve ser inferior a $(D/800) + 4$ mm (D refere-se ao diâmetro do tubo, em mm) nem inferior a 6 mm.
- b) Na posição com alteração na espessura da parede do tubo, o diâmetro externo da conduta forçada exposta deve permanecer inalterado, o diâmetro interno da conduta forçada enterrada deve permanecer inalterado e a diferença de espessura da parede do tubo deve ser de 2 mm. Quando são soldadas chapas de aço de diferentes espessuras, a ligação da chapa mais grossa deve ser processada num talude de 1: 3, se a diferença de espessura for superior a 4 mm.
- c) O espaçamento entre as soldaduras circunferenciais no tubo recto não deve ser inferior a 0,5 m. As estruturas especiais, como o ramal de escape, não devem ser inferiores aos valores elevados, como se segue:
 - 1) 10 vezes a espessura da parede do tubo;
 - 2) 0,3 m;
 - 3) $3,5 \sqrt{rt}$, r refere-se ao raio do tubo e t refere-se à espessura da parede do tubo.
- d) O ângulo de curvatura entre as secções de tubo adjacentes da secção de curvatura deve ser inferior a 10° .
- e) Em relação ao tubo cónico redutor na posição com a mudança de diâmetro, o ângulo do vértice cónico não deve ser superior a 7° .

8.5.2 Condutas forçadas expostas

8.5.2.1 Os princípios da disposição da conduta forçada exposta incluem o seguinte.

- a) O percurso da conduta forçada exposta deve ser mantido afastado das áreas onde pode ocorrer deslizamento ou colapso de terras. Se a secção individual do tubo não puder evitar a influência de inundações torrenciais e queda de rochas, pode ser resolvido pela conduta forçada exposta no túnel, conduta forçada subterrânea ou conduta forçada enterrada com revestimento de betão.
- b) As instalações de drenagem de emergência e anti-decapagem devem ser instaladas.

- c) O fundo da conduta forçada exposta deve estar, pelo menos, 0,6 m acima da superfície do solo.
- d) A conduta forçada exposta deve ser transformada em secções. O maciço de ancoragem deve ser disposto na curva, entre os blocos a conduta forçada é apoiada com o encontro. A junta de expansão deve ser disposta entre dois maciços de ancoragem, e a junta de expansão deve estar no lado a jusante do maciço de ancoragem.
- e) Se a secção recta do tubo for muito longa (cerca de mais de 150 m), os maciços de ancoragem podem ser dispostos ao longo da secção recta do tubo. Se o gradiente longitudinal da conduta forçada for relativamente regular, os maciços de ancoragem podem não ser necessários, mas a junta de expansão deve ser disposta no meio desta secção. O anel de amortecimento flexível deve ser disposto na posição em que a conduta forçada passa através da parede a montante da casa das máquinas principal.
- f) O espaçamento entre suportes deve ser determinado através da análise de tensão da conduta forçada e tendo em conta as condições de instalação, tipos de suporte e condições de fundação. Os suportes devem ser dispostos em intervalos iguais entre dois maciços de ancoragem adjacentes. O espaçamento para o vão com a junta de expansão deve ser reduzido. As medidas estruturais correspondentes devem ser tomadas se a fundação apresentar a possibilidade de produzir uma liquidação irregular.
- g) O tipo de encontro pode ser determinado de acordo com o diâmetro do tubo D :
 - 1) encontro côncavo, se $D \leq 1$ m e a conduta forçada tiver equipada com anel de apoio;
 - 2) encontro côncavo, se $D \leq 2$ m e a conduta forçada está equipada com anel de apoio;
 - 3) encontro de cobertura, se $D = 1$ m a 3 m e a conduta forçada estiver equipada com anel de apoio;
 - 4) contrafortes rolantes, se $D > 2$ m;
 - 5) encontro oscilante, se $D > 2$ m.
- h) O espaçamento entre os maciços de ancoragem e os encontros deve ser reduzido nas regiões sísmicas.
- i) As valas de drenagem devem ser dispostas de ambos os lados da conduta forçada, e as valas de drenagem transversais devem ser dispostas no solo por baixo da conduta forçada. O acesso deve ser construído ao longo da tubagem.

8.5.2.2 Os requisitos para o cálculo estrutural da conduta forçada exposta incluem o seguinte.

- a) O cálculo estrutural da conduta forçada exposta inclui o cálculo da tensão da parede do tubo e o cálculo da estabilidade da resistência à compressão, como mostra a Tabela 24.

Tabela 24 Combinação de cargas para o cálculo estrutural da conduta forçada exposta

Combinação de carga	Combinação básica			Combinação especial			
	Condição normal de funcionamento I	Condição normal de funcionamento II	Condições de trabalho em vazio	Condições especiais de funcionamento	Teste de pressão de água	Condição de construção	Condição de terramoto
Pressão hidrostática ao nível normal do reservatório		√					
Pressão máxima sob condições de trabalho normais	√						
Pressão máxima sob condições de trabalho normais				√			
Pressão interna de água para teste de pressão de água					√		
Peso morto da estrutura da conduta forçada	√	√		√	√	√	√
Peso total da água na conduta forçada	√	√		√			√
Peso parcial da água no tubo quando a conduta forçada está cheia ou drenada						√	
Força causada pela mudança de temperatura	√	√			√		√
Pressão de água que actua sobre a posição com o mudança no diâmetro da tubagem, voltas e no obturador, válvula da comporta e acoplamento de expansão	√	√		√			√
Força causada pelo assentamento desigual do maciço de ancoragem e do encontro	√	√					√
Carga eólica		√			√		
Carga de neve		√			√		
Carga de construção					√		
Carga de terramoto							√
Diferença de pressão de ar causada pelo equipamento de ventilação quando a tubagem está vazia			√				

- b) Quando a pressão interna é suportada pela conduta forçada com anel de apoio, as suas posições básicas de cálculo incluem o meio do vão, a borda da área de tensão na parede do tubo perto do anel de apoio, o anel de rigidez e a parede do tubo de derivação, bem como o anel de apoio e a parede do tubo de derivação.
- c) O padrão de suporte do anel de apoio deve ser seleccionado em combinação com as condições técnicas e económicas de todo o projecto da tubagem, podendo ser suporte lateral ou suporte inferior.

- d) Os alicerces do suporte de âncora e do encontro da conduta forçada exposta devem ser sólidos e estáveis, e devem ser dispostos sobre a fundação rochosa.
- O valor máximo para a tensão da fundação não deve superior à capacidade de carga permitida da fundação.
 - O tamanho do corpo do encontro deve ser útil para distribuir uniformemente a tensão das fundações.
 - Para além da capacidade de carga e dos requisitos de estabilidade, a influência do assentamento irregular da fundação na pressão interna da conduta forçada deve ser estudada, se os suportes e plataformas forem colocados no solo ou em fundações semi-rochosas.

8.5.3 Conduitas forçadas subterrâneas

8.5.3.1 A conduta forçada subterrânea deve ser disposta de acordo com os seguintes princípios.

- a) O percurso da conduta forçada subterrâneo deve ser seleccionado na região com excelentes condições topográficas e geológicas, e deve ser mantido afastado da secção com pressão rochosa muito alta, pressão das águas subterrâneas e influxo de água. A conduta forçada subterrânea deve ser enterrada profundamente; a espessura da camada de rocha pode ser determinada de acordo com a Fórmula (28).
- b) Deve ser utilizado um único tubo com várias unidades de abastecimento de água para conduta forçada subterrânea. Se a tubagem for relativamente curta, o volume de entrada de água for relativamente grande, o número de unidades é grande, o intervalo de tempo é relativamente longo ou as condições geológicas de engenharia não são adequadas para a escavação da caverna com grande secção, duas ou mais tubagens podem ser adoptadas através de comparação técnica e económica; o espaçamento entre duas tubagens adjacentes deve ser determinado tendo em conta a influência da escavação com jacto de granalha, devendo também ser verificada a resistência da rocha.
- c) O tipo de veio (túnel horizontal, veio inclinado e veio vertical) e a inclinação devem ser seleccionados de acordo com os requisitos da disposição, condições geológicas de engenharia e condições de construção.
- d) As medidas de drenagem devem ser tomadas na região com pressão relativamente alta das águas subterrâneas. As medidas de drenagem podem incluir o túnel de drenagem, o furo de drenagem e o sistema de tubos de drenagem, e devem ser combinadas com a cortina de gunitagem. As medidas de drenagem devem ser fiáveis, e devem poder ser mantidas. O poço de observação a longo-prazo, ou manómetro, deve ser colocado para monitorizar as alterações do nível das águas subterrâneas.

8.5.3.2 Os requisitos para o cálculo estrutural da conduta forçada subterrânea incluem o seguinte.

- a) Na análise estrutural da conduta forçada subterrânea, a pressão interna da água deve ser suportada conjuntamente pela conduta forçada, o revestimento de betão e a rocha, e as fissuras existentes entre eles devem ser tidas em consideração.
- b) O revestimento de betão deve suportar a pressão da rocha e transferir a resistência elástica da rocha adjacente. A conduta forçada deve suportar toda a pressão externa da água e a pressão negativa.
- c) A análise estrutural da conduta forçada subterrânea pode ser determinada de acordo com a Tabela 25.

Tabela 25 Combinação de cargas para o cálculo estrutural da conduta forçada subterrânea

Carga	Combinação de carga	Combinação básica		Combinação especial	
		Condição de funcionamento normal	Condições de trabalho em vazio	Condições especiais de funcionamento	Condição de construção
	Pressão máxima sob condições de trabalho normais	√			
	Pressão máxima sob condições de trabalho normais			√	
	Pressão das águas subterrâneas		√		
	Diferença de pressão de ar causada pelo equipamento de ventilação quando a tubagem está vazia		√		
	Carga de construção, pressão de gunitagem ou pressão de betão não endurecido				√

- d) A conduta forçada subterrânea deve tirar o máximo partido da capacidade de carga da rocha adjacente. As condições geológicas de engenharia devem ser suficientemente estudadas para determinar a capacidade de carga da conduta forçada.
- e) Para uma secção do revestimento de tubos de aço perto do lado a montante da casa das máquinas, o coeficiente de resistência elástica da unidade da rocha adjacente deve ser adequadamente reduzido.
- f) A pressão da água subterrânea suportada pela conduta forçada subterrânea pode ser determinada de acordo com os dados de exploração e tendo em conta o enchimento do reservatório e a infiltração do sistema de desvio.
- g) O conector do tubo de aço ligado ao revestimento de betão armado deve ser devidamente tratado. No cálculo, deve ser tida em conta a possibilidade de aumento da pressão das águas subterrâneas devido à fugas das fissuras de betão.

8.5.4 Conduitas forçadas embutidas na barragem

8.5.4.1 A conduta forçada embutida na barragem deve obedecer aos seguintes princípios.

- a) A posição plana da conduta forçada deve ficar no centro da secção da barragem e o seu diâmetro não deve ser superior a 1/3 da largura da secção da barragem. Quando a conduta forçada é colocada, devem ser tidas em conta as influências da conduta forçada na estabilidade e tensão do corpo da barragem, assim como a interferência da construção.
- b) O furo de ventilação deve ser disposto de forma a evitar que o transbordo do orifício do tubo afecte o funcionamento normal do equipamento eléctrico por detrás da barragem.
- c) A entrada da conduta forçada deve estar equipada com uma válvula de enchimento de água ou um tubo de derivação para encher a água, e a área da superfície da válvula de enchimento e do tubo de derivação deve ser inferior a 1/5 da área da superfície do furo de ventilação.

8.5.4.2 A estrutura da conduta forçada embutida na barragem deve ser avaliada de acordo com os seguintes princípios.

- a) Se a espessura mínima do betão adjacente for superior ao diâmetro da conduta forçada, a conduta forçada na barragem será considerada como sendo o tubo multicamadas composto pela conduta forçada, o reforço e o betão que suportam a pressão interna da água conjuntamente, e a influência das fissuras entre a conduta forçada e o betão, assim como as fissuras do betão, devem ser consideradas.
- b) Se a espessura mínima do betão adjacente estiver entre o raio e o diâmetro da conduta forçada, deve ser verificada se deve ser considerada a capacidade de carga da junta.
- c) Se a espessura mínima do betão adjacente for inferior ao raio da conduta forçada, a conduta forçada deve suportar a carga separadamente.
- d) A conduta forçada equipada com uma camada de amortecimento elástica pode ser projectada de acordo com a conduta forçada exposta.
- e) Toda a pressão externa deve ser considerada como sendo suportada pela conduta forçada. A pressão da água de infiltração do corpo da barragem pode variar linearmente ao longo do eixo da conduta forçada, e a pressão externa mínima não deve ser inferior a 0,2 MPa.

8.5.5 Tubo de aço bifurcado

8.5.5.1 O tubo de aço bifurcado deve ser projectado de acordo com os seguintes princípios.

- a) A estrutura deve ser razoável, e a concentração de tensão e deformação geradas não deve ser muito grande.

- b) O caudal de água deve ser regular, a perda de altura deve ser baixa. e o vórtice e a vibração devem ser reduzidos. Após a bifurcação, a velocidade do caudal deve aumentar gradualmente.
- c) Deve tornar o fabrico, transporte e instalação convenientes.

8.5.5.2 A estrutura do tubo bifurcado deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) O tipo de tubo bifurcado deve ser seleccionado através de comparação técnica e económica, tendo em conta o custo de fabricação e engenharia civil, perda de altura, pressão interna da água, dimensão e condições de tensão do tubo bifurcado, tipo de disposição e experiência de construção.
- b) As linhas centrais do tubo principal e do ramal de escape do tubo bifurcado devem ficar posicionadas no mesmo plano.
- c) A disposição típica do tubo bifurcado, inclui ramificações assimétricas, simétricas em forma de Y ou em forma de três ramos.

8.5.6 Cálculo hidráulico

8.5.6.1 O cálculo hidráulico da conduta forçada deve incluir o cálculo da perda de altura e do golpe de aríete.

8.5.6.2 Os resultados do cálculo da perda de altura devem incluir: a linha de pressão máxima em condições normais de funcionamento, a linha de pressão máxima em condições especiais de funcionamento e a linha de pressão mínima.

8.5.6.3 O cálculo do golpe de aríete deve ser realizado em coordenação com o cálculo das mudanças de velocidade de rotação da unidade. As condições de cálculo devem ser determinadas em função da situação de funcionamento da central de energia hidroeléctrica e do sistema de energia eléctrica.

8.5.6.4 O valor adoptado para o aumento de pressão na extremidade traseira da conduta forçada não deve ser inferior a 10% da pressão hidrostática na conduta forçada ao nível normal do reservatório.

8.5.6.5 O cálculo preliminar da pressão do golpe de aríete pode ser realizado sob as seguintes condições de trabalho.

- a) Cálculo da pressão máxima em condições de trabalho normais:
 - para o golpe de aríete da conduta forçada, corresponde ao nível normal do reservatório, e ocorre quando todas as cargas de todas as unidades para as quais a água é fornecida por este reservatório são repentinamente abandonadas.

- para o pico máximo da câmara de compensação ou câmara de carga, corresponde ao nível normal do reservatório, e ocorre quando todas as cargas de todas as unidades para as quais a água é fornecida por esta câmara de compensação ou câmara de carga são repentinamente abandonadas.
 - se o golpe de aríete da conduta forçada puder ser sobreposto ao pico da câmara de compensação ou da câmara de carga, o efeito depois de se juntarem será tido em conta. Se, do estudo da situação operacional da central de energia hidroeléctrica, se verificar que não é possível abandonar todas as cargas simultaneamente, o cálculo pode ser efectuado de acordo com a parte abandonada da carga.
- b) Cálculo da pressão máxima sob a condição especial de trabalho: a situação é idêntica, mas o nível do reservatório refere-se ao nível máximo de água para a geração de energia.
- c) Cálculo da pressão mínima: o golpe de aríete do reservatório corresponde ao nível de água morta do reservatório, e ocorre quando todas as unidades, excepto uma, para as quais a água é fornecida por este reservatório, estão a funcionar a plena carga, e a unidade sem carga vai do ralenti para o funcionamento a plena carga. Se o sistema tiver requisitos especiais de operação, a amplitude de aumento de carga pode ser determinada de acordo com a situação específica.

8.6 Bacia de desassoreamento

8.6.1 Disposições gerais

8.6.1.1 A instalação da bacia de desassoreamento deve ser projectada para o funcionamento, e deve ser consistente com a operação do projecto, e deve ser determinada após comparação técnica e económica.

8.6.1.2 O conteúdo de sedimentos em suspensão, a distribuição granulométrica dos sedimentos e os dados de dureza medidos devem ser recolhidos no troço onde se encontra o projecto.

8.6.1.3 Devem ser recolhidas medidas de resistência ao desgaste e anti-desgaste das peças de transbordo da turbina, intervalo de revisão geral da turbina e a altura prática da turbina.

8.6.2 Princípio de disposição da bacia de desassoreamento

8.6.2.1 A localização da bacia de desassoreamento deve ser adjacente à entrada da primeira estrutura de admissão. Quando as condições topográficas ou a altura da descarga não puderem cumprir os requisitos, a bacia de desassoreamento pode ser movida para o local apropriado ao longo do canal de desvio. A bacia de desassoreamento deve ser disposta com uma aplicação razoável das condições topográficas e geológicas para evitar as más secções. Caso contrário, devem ser tomadas as medidas de engenharia correspondentes.

8.6.2.2 A bacia de desassoreamento de descarga hidráulica deve ser adoptada nas centrais de energia hidroeléctricas. A bacia de desassoreamento de descarga hidráulica deve ter uma altura e caudal de água suficientes. Se o terreno for largo, a bacia de desassoreamento deve ser a bacia de desassoreamento de descarga regular; se o terreno for estreito, a bacia de desassoreamento deve ser a bacia de desassoreamento de descarga contínua.

8.6.2.3 O eixo da bacia de desassoreamento deve ser coincidente com o eixo do canal de desvio antes da entrada da bacia de desassoreamento. Quando existe um ângulo, devem ser tomadas medidas para assegurar a distribuição uniforme da velocidade e da direcção do caudal na secção de trabalho da bacia de desassoreamento.

8.6.2.4 Os requisitos de disposição da secção de ligação a montante da bacia de desassoreamento são os seguintes.

- a) O padrão de difusão simétrico deve ser adoptado na disposição plana da secção de difusão, e o ângulo de difusão unilateral não deve ser superior a 12° . A soma do ângulo difusor em ambos os lados não deve ser superior a 24° com o padrão de difusão assimétrico. Na ligação entre a placa inferior da secção e o fundo da água da secção de trabalho não deve haver uma soleira descendente.
- b) As plataformas de distribuição de água ou outras instalações rectificadoras devem ser instalados dentro da secção de ligação, e a sua localização, dimensão e direcção devem ser determinadas pelo teste do modelo hidráulico.
- c) A bacia de desassoreamento de descarga regular deve estar equipada com a comporta de entrada da câmara das águas. Onde existir uma fonte de esgoto, a plataforma do lixo e as instalações de limpeza devem ser instaladas na comporta de entrada. A soleira da comporta de entrada deve estar nivelada com, ou estar ligeiramente mais alta do que, a placa inferior a montante. O tamanho da comporta de entrada deve respeitar a disposição e os requisitos operacionais da comporta, do guincho, da plataforma do lixo e das instalações de limpeza.
- d) O espaçamento entre linhas, o espaçamento entre grelhas ou a disposição das plataformas de distribuição de água da grelha rectificadora por detrás da comporta de entrada deve ser determinado de acordo com o teste do modelo hidráulico.

8.6.2.5 A secção de funcionamento da bacia de desassoreamento deve não só cumprir os requisitos de sedimentação, mas também cumprir os requisitos de assoreamento e remoção de areia. A saída do canal de descarga de areia não deve ser levantado pela cheia perene do percurso do rio (o intervalo de recorrência de 2 anos) durante a estação de cheias.

8.6.2.6 Os requisitos da secção de funcionamento da bacia de desassoreamento de lavagem regular são os seguintes.

- a) As comportas de descarga de areia devem ser colocadas no final da secção de funcionamento da bacia de desassoreamento de descarga regular. A comporta e o equipamento do guincho da comporta de descarga de areia devem cumprir os requisitos das condições de abertura parcial da comporta.
- b) O canal de descarga de areia a jusante da comporta de descarga de areia deve adoptar a forma de descarga de areia sem pressão, e a sua inclinação longitudinal não deve ser mais lenta do que a inclinação longitudinal da secção de trabalho da bacia de desassoreamento. A saída do canal de descarga de areia deve ter medidas de anti-decapagem e anti-assoreamento para garantir a descarga regular da areia.

8.6.2.7 Os requisitos da secção de funcionamento da bacia de desassoreamento de descarga contínua são os seguintes.

- a) A bacia de desassoreamento de descarga contínua é constituída por vários corredores de ramificação e um corredor principal.
- b) O fundo da secção de funcionamento da bacia de desassoreamento de descarga contínua pode ser transformado em vários canais trapezoidais invertidos ao longo da largura do tanque e o ângulo do talude da parede do canal (ângulo com a direcção horizontal) deve ser superior ao ângulo de repouso subaquático do sedimento. A placa inferior do canal deve ser disposta com um furo de areia e ligada ao corredor de ramificação da descarga de areia.
- c) Os corredores de ramificação do sistema de descarga da bacia de descarga contínua devem ser dispostos sob o furo de entrada de areia no fundo da bacia no sentido do caudal de água. Cada corredor de ramificação deve fluir para um corredor principal. Mais de um sistema de descarga deve ser instalado na secção de funcionamento da bacia de desassoreamento, e o comprimento do corredor de ramificação do sistema de descarga frontal deve ser menor do que o do sistema de descarga traseira.
- d) Os corredores principais e ramais devem ter boas condições hidráulicas e devem ser implementadas medidas anti-desgaste. A descarga de areia do corredor principal deve ter medidas anti-decapagem e anti-assoreamento, e garantir uma descarga de areia regular.
- e) A comporta de descarga e o equipamento do guincho da comporta de descarga de areia devem cumprir os requisitos das condições de abertura parcial da comporta de descarga.
- f) A bacia de desassoreamento de descarga contínua de câmara única deve estar equipada com a comporta de descarga de areia de emergência no final da secção de funcionamento da bacia de desassoreamento.

8.6.2.8 O açude de transbordo lateral deve ser instalado na secção de funcionamento da bacia de desassoreamento, no canal de desvio ou na parte apropriada do curso de água, e a altura do coroamento do açude deve ser ligeiramente superior ao nível de água de funcionamento da bacia de desassoreamento. A capacidade de transbordo deve ser determinada de acordo com factores, como a carga descartada das unidades hidroeléctricas e o possível caudal excessivo da comporta de descarga.

8.6.2.9 A secção de ligação a jusante da bacia de desassoreamento da central hidroeléctrica deve adoptar o tipo de contracção gradual. Quando a jusante está um canal de desvio de água sob pressão, a profundidade da água na secção deve cumprir os requisitos mínimos de profundidade submersa de uma entrada de água sob pressão e não deve haver vórtice vertical e aeração.

8.6.3 Determinação da dimensão principal da bacia de desassoreamento

8.6.3.1 O tamanho da bacia de desassoreamento inclui principalmente a profundidade de funcionamento, largura de funcionamento, comprimento de funcionamento e o talude longitudinal do fundo da secção de funcionamento.

8.6.3.2 Os requisitos de cálculo para a profundidade de funcionamento da bacia de descarga regular são os seguintes.

a) A profundidade da água da entrada da secção de funcionamento da bacia de descarga regular deve corresponder à Fórmula (28).

$$H \leq \Delta Z + \frac{q}{v_c} - (iL_w + i_0 L_0) \dots\dots\dots (28)$$

onde

H é a profundidade da água da entrada da secção de funcionamento, em m;

ΔZ é a diferença de nível de água entre o nível de água de descarga de areia da bacia de desassoreamento e o nível do rio natural na saída do canal de descarga de areia, em m;

q é o caudal por unidade de largura no canal de descarga de areia, em $m^3/(s \cdot m)$;

v_c é a velocidade do caudal de descarga no canal de descarga de areia, em m/s;

i é o talude inferior da secção de funcionamento da bacia de desassoreamento;

L_w é o comprimento da secção de funcionamento da bacia de desassoreamento, em m;

i_0 é o talude do fundo do canal de descarga de areia;

L_0 é o comprimento do canal de descarga de areia, em m.

b) A profundidade de funcionamento da entrada da secção de funcionamento da bacia de desassoreamento de descarga regular deve ser calculada de acordo com a Fórmula (29).

$$H_c = H - \Delta H_k \dots\dots\dots (29)$$

onde

H_c é a profundidade de funcionamento da secção de funcionamento da bacia de desassoreamento, em m;

ΔH_k é a espessura admissível da sedimentação durante a operação, em m. No esquema inicial, $(0,25 \text{ a } 0,30)H$ pode ser escolhido.

8.6.3.3 A profundidade de funcionamento da secção de funcionamento da bacia de desassoreamento de descarga contínua deve cumprir os requisitos da Fórmula (30).

$$H_c = \Delta Z_i - (1 + \sum \xi) \frac{v_c^2}{2g} - v_c^2 \int_0^L \frac{dL}{c^2 R} \dots\dots\dots (30)$$

onde

ΔZ_i é a diferença de altura entre o nível de água de operação da bacia de desassoreamento e o topo da saída do corredor, em m;

$\sum \xi$ é a soma dos coeficientes de perda da altura parcial;

L é o comprimento total dos corredores das ramificações e do corredor principal, em m;

c é o coeficiente de Chezy;

R é o raio hidráulico, em m.

8.6.3.4 A largura de funcionamento pode ser calculada de acordo com a Fórmula (31).

$$B = \frac{Q}{H_w v} \dots\dots\dots (31)$$

onde

B é a largura de funcionamento, em m;

Q é o caudal de funcionamento, em m³/s;

v é a taxa média de caudal na bacia. Quando o esquema inicial é adoptado, pode ser seleccionado dentro do seguinte intervalo: quando o tamanho mínimo das partículas de sedimentação é de 0,05 mm a 0,10 mm, o valor pode ser de 0,05 m/s a 0,15 m/s; quando o tamanho mínimo das partículas de sedimentação é de 0,25 mm, o valor pode ser de 0,25 m/s a 0,55 m/s; quando o tamanho mínimo das partículas de sedimentação é de 0,35 mm, o valor pode ser de 0,40 m/s a 0,8 m/s;

H_w é a profundidade média de funcionamento, em m.

8.6.3.5 A profundidade de funcionamento da secção de funcionamento da bacia de descarga hidráulica pode ser seleccionada entre 3 m e 8 m. A relação entre a largura e a profundidade da secção de funcionamento com câmara única não deve ser superior a 4,5.

8.6.3.6 A largura do compartimento na secção de funcionamento da bacia de desassoreamento de descarga regular deve satisfazer a Fórmula (32).

$$b_s = \frac{Q'_s}{q_s} \dots\dots\dots (32)$$

onde

b_s é a largura do compartimento na secção de funcionamento da bacia de desassoreamento de descarga regular, em m;

Q'_s é a velocidade do caudal de descarga de areia na bacia, em m³/s;

q_s é a velocidade de descarga de areia por unidade de largura na bacia, em m³/(s • m).

8.6.3.7 O comprimento calculado da bacia de desassoreamento deve ser determinado de acordo com a velocidade de sedimentação e a taxa de sedimentação da granulometria das partículas de sedimentação. O comprimento da secção de funcionamento de projecto deve ser 1,2 vezes o comprimento calculado. Se necessário, devem ser realizados testes modelo para verificar a taxa de sedimentação do sedimento em suspensão e a concentração sedimentar da bacia de saída.

8.6.3.8 A secção de funcionamento da bacia de desassoreamento de descarga regular deve ter um certo talude inferior longitudinal e deve satisfazer a Fórmula (33).

$$i \geq \frac{v_{1c}^2}{c^2 R} \dots\dots\dots (33)$$

onde

v_{1c} é a velocidade do caudal de descarga de areia, em m/s.

9 Casa das máquinas

9.1 Disposições gerais

9.1.1 De acordo com a estrutura e características de tensão, a casa das máquinas deve incluir os seguintes tipos.

- a) Casa das máquinas no pé da barragem: a casa das máquinas está localizada no pé da barragem; a casa das máquinas está separada da barragem com as juntas de expansão-liquidação; a pressão da água a montante é completamente suportada pela barragem, e a casa das máquinas não suporta a pressão da água a montante; a água para geração de energia é conduzida para dentro da turbina através da conduta forçada no corpo da barragem.

- b) Casa de máquinas de desvio: o seu canal de adução é relativamente longo; pode ser classificado na casa das máquinas de desvio de pressão e casa das máquinas de desvio sem pressão, dependendo do caudal de água estar ou não no canal de adução sob pressão.
- c) Casa das máquinas no leito do rio: fica no leito do rio; a casa das máquinas retém a água e é uma das estruturas de retenção de água.

9.1.2 A casa das máquinas da central de energia hidroeléctrica deve ser constituída por duas partes, nomeadamente a casa das máquinas principal e a casa das máquinas auxiliar, incluindo cinco sistemas principais, ou seja, o sistema de caudal de água, o sistema de corrente eléctrica, o sistema de equipamento de controlo eléctrico, o sistema de equipamento de controlo mecânico e o sistema de equipamento auxiliar.

9.2 Disposição da área da fábrica

9.2.1 A disposição da casa das máquinas e da área da central de energia hidroeléctrica deve ser concebida de acordo com as condições topográficas, geológicas e ambientais, e em combinação com a disposição geral de todo o projecto, e deve respeitar os seguintes princípios:

- a) A casa das máquinas principal, a casa das máquinas auxiliar, o local do transformador principal, a subestação de distribuição, a linha de saída de tensão alta/baixa, o acesso, o desvio de água e as estruturas de águas a jusante devem estar adequadamente dispostas para tornar o funcionamento da central de energia hidroeléctrica seguro, fácil de gerir e manter, e para ter em conta os requisitos de protecção paisagística, ecológica e ambiental.
- b) A disposição e operação da casa das máquinas, bem como a estrutura de descarga de cheias, estrutura de descarga de sedimentos, estrutura de navegação e estrada de pesca devem ser devidamente coordenadas para evitar perturbações e garantir a segurança e o funcionamento normal da central de energia hidroeléctrica.
- c) As medidas de segurança para o controlo de cheias, drenagem e controlo de incêndios, bem como as condições necessárias para a manutenção na área da planta devem ser consideradas de forma exaustiva.
- d) Menos expropriações ou nenhuma expropriação de terras cultivadas. Protecção da vegetação natural, protecção do ambiente e protecção de relíquias culturais.
- e) O planeamento global do ambiente do edificio na área da central deve ser devidamente executado, e o tratamento estético das principais estruturas deve ser realizado de forma adequada.
- f) O funcionamento e a gestão das instalações auxiliares de produção devem ser organizados de modo uniforme.
- g) Optimizar a disposição de cada estrutura, tendo em conta de forma exaustiva os procedimentos de construção, o desvio da construção e os requisitos do período de construção do primeiro lote de unidades.

9.2.2 A casa das máquinas principal deve ser construída sobre a fundação estável da rocha ou sobre a fundação sólida do solo.

- A casa das máquinas deve ser mantida afastada da ravina e da massa em colapso. As medidas preventivas correspondentes devem ser totalmente estudadas e implementadas para os possíveis depósitos de cheias torrenciais, caudal de detritos de lama ou massa em colapso que ocorrem sob os mesmos padrões de cheias que para a casa das máquinas.
- Quando a casa das máquinas ficar localizada no pé do talude elevado e íngreme, devem ser tomadas medidas de segurança e devem ser providenciadas instalações de intercepção e drenagem.
- Devem ser tomadas soluções fiáveis de tratamento de fundações quando a casa das máquinas estiver sobre a fundação macia.
- A casa das máquinas na margem do rio deve ser posicionada ao longo da direcção do rio, mas não ocupar a secção de descarga de cheias do canal do rio para evitar o impacto directo da cheia na central. Devem ser tomadas medidas temporárias para evitar que a casa das máquinas fique submersa quando a cheia exceder a norma de projecto.

9.2.3 Quando a conduta forçada é exposta, a casa das máquinas deve ser posicionada na direcção livre do impacto directo do caudal de água numa emergência; se não for possível, devem ser tomadas outras medidas de protecção.

9.2.4 A localização da casa das máquinas auxiliar deve ser coordenada com o local do transformador principal, a localização da casa das máquinas principal e os requisitos ambientais, e deve ser determinada através de uma comparação exaustiva. Entretanto, o espaço efectivo deve ser razoavelmente utilizado para o tráfego externo conveniente, em combinação com a exigência de conveniência operacional e de gestão.

9.2.5 A localização do transformador principal e da subestação de distribuição deve ser determinada em combinação com os requisitos de instalação, revisão geral, transporte, acesso de combate a incêndios, linha de entrada e de saída e protecção contra incêndios e explosões, e em conformidade com os seguintes princípios.

- a) O transformador principal deve ficar perto da casa das máquinas principal e a sua elevação deve ser igual à da plataforma de instalação. A protecção contra incêndio e explosões, assim como a ventilação e a dissipação de calor no local para o transformador principal devem estar em conformidade com os regulamentos pertinentes.
- b) A subestação de distribuição deve ficar próxima do transformador principal, e deve ser posicionada na secção com fundação estável e talude lateral, ou em outros locais adequados; a sua linha de entrada e saída não deve passar sobre o salto hidráulico ou a região do caudal de jacto da estrutura. A posição da subestação de distribuição deve ficar longe da ravina; se não for possível, devem ser tomadas as medidas preventivas para cheias torrenciais, caudal de detritos e massa em colapso.
- c) O local da linha de saída deve estar perto da subestação de distribuição. No que diz respeito à subestação de distribuição interior, o local da linha de saída pode ser colocado na parte superior da casa das máquinas.

9.2.6 A ampliação e reconstrução da casa das máquinas deve fazer com que as estruturas e instalações antigas e novas sejam coordenadas para garantir a segurança das estruturas antigas; durante a construção, o impacto sobre a geração de energia deve ser minimizado.

9.2.7 A disposição da parte de entrada de água da casa das máquinas no leito do rio deve ser combinada com a disposição do concepção para resolver adequadamente a influência dos sedimentos, detritos e gelo flutuante na geração de energia.

9.2.8 A casa das máquinas no pé da barragem deve ter juntas de deformação permanente entre a casa das máquinas e a barragem. Para satisfazer a estabilidade geral da casa das máquinas e da barragem ou outros requisitos, a ligação integral da casa das máquinas e da barragem pode ser adoptada após demonstração.

9.2.9 Quando a casa das máquinas estiver adjacente à estrutura de descarga, o comprimento da parede guia disposta entre elas deve ser suficiente.

9.2.10 O canal de adução deve ser disposto de acordo com a situação específica da central de energia hidroeléctrica e de acordo com os seguintes princípios.

- a) Deve ser disposto tendo em conta as influências das condições de funcionamento da unidade, condições geológicas e topográficas, direcção do caudal do canal do rio, descarga de cheias, descarga de sedimentos e outras estruturas; e as medidas de protecção devem ser tomadas para as posições propensas a colapsar ou entupir.
- b) As influências da variação do leito do rio devido à descarga do projecto, o remanso do projecto da cascata a jusante e a escavação de areia no leito do rio devem ser considerados.
- c) O nível da água a jusante da casa das máquinas não deve ser elevado por meio da descarga de escória.

9.2.11 O sistema de controlo de cheias e drenagem na área da central deve ser concebido de acordo com os seguintes requisitos.

- a) Os locais das casas das máquinas principal/auxiliares e do transformador principal, bem como da subestação de distribuição, não devem ser submersos ao nível de água de protecção.
- b) A drenagem da água, a disposição da vala, o método de drenagem e as instalações de drenagem na área da casa das máquinas devem ser determinados de acordo com a importância da casa das máquinas da central de energia hidroeléctrica, características climáticas locais, intensidade das chuvas de projecto, duração das chuvas, intervalo de recorrência das chuvas de projecto, propriedades da captação de água, características topográficas, bem como outras bacias possíveis. O intervalo de recorrência da chuva de projecto pode ser de 3 a 5 anos e a duração da chuva de projecto pode ser de 5 min a 15 min.
- c) Devem ser tomadas medidas fiáveis para evitar o refluxo de cheias.

- d) Devem ser tomadas as medidas de protecção correspondentes em relação aos efeitos adversos causados pelas descargas de cheias, chuvas ou atomização.
- e) Medidas necessárias de bloqueio, desvio e drenagem devem ser tomadas para a caverna, vala dos tubos, passagem e entalhe reservado que pode causar a inundação da casa das máquinas.
- f) Deve ser projectada a drenagem das águas superficiais e subterrâneas a partir do talude lateral das diversas estruturas.

9.2.12 O tráfego na área da central deve ser disposto de acordo com os seguintes princípios.

- a) O tráfego deve ser planeado e organizado de forma exaustiva, tanto a curto como a longo-prazo, e deve cumprir os requisitos de carga e descarga conveniente de máquinas de transporte pesadas e de grandes dimensões do equipamento electromecânico.
- b) O tráfego principal deve ser mantido desimpedido nas condições normalizadas de cheias de projecto; o tráfego de peões não deve ser interrompido nas condições normalizadas de cheias de controlo; devem ser tomadas medidas de protecção apropriadas para a secção no âmbito da descarga de água e atomização.
- c) A secção recta deve ser disposta em frente à estrada de entrada.
- d) O declive longitudinal de projecto da estrada de entrada deve ser inferior a 8% , o declive longitudinal máximo deve ser inferior a 12% na secção cuja disposição é difícil de traçar devido à limitação do estado topográfico, a largura das estradas principais no interior da área da casa das máquinas não deve ser inferior a 3,5 m, e o desvio pode ser disposto em frente da casa das máquinas.
- e) No que diz respeito à casa das máquinas com nível elevado de águas a jusante, o modo de transporte vertical pode ser usado para entrar e sair da casa das máquinas.
- f) A estrada de entrada deve ser conduzida para a casa das máquinas a partir do lado a jusante. Quando, por causa do terreno, à geologia e às condições de disposição do projecto, a estrada de entrada for conduzida para a casa das máquinas a partir do fim da casa das máquinas paralela ao seu eixo, devem ser colocados os sinais de aviso ou de interceptação.

9.2.13 Na área da central, devem ser dispostas as instalações de controlo de incêndio; o grau de resistência ao fogo da casa das máquinas deve estar de acordo com as disposições sobre controlo de incêndios.

9.3 Disposição interna da casa das máquinas

9.3.1 Para a disposição interna da casa das máquinas, a dimensão e o espaço de cada peça devem ser razoavelmente determinados e distribuídos de acordo com a escala da central de energia hidroeléctrica, tipo de casa das máquinas, características ambientais, projecto de engenharia civil, disposição dos equipamentos electromecânicos, manutenção da operação, instalação e revisão geral.

9.3.2 A dimensão plana da casa das máquinas para a unidade horizontal deve ser determinada de acordo com a dimensão plana (diâmetro) da caixa espiral e o comprimento de toda a plataforma da unidade. A dimensão plana da casa das máquinas para a unidade vertical deve ser determinada de acordo com a dimensão (largura) da base do gerador e o comprimento da unidade. A dimensão plana da casa das máquinas para a unidade tubular em bolbo deve ser determinada de acordo com a dimensão do caminho de caudal, a espessura da plataforma da comporta e a disposição das comportas de entrada e saída e do guincho. Além disso, devem ser tidos em conta os equipamentos auxiliares, como a válvula principal, o regulador e o painel local, bem como o caminho pedonal na casa das máquinas. A altura da casa das máquinas deve ser determinada pelas condições de elevação do equipamento e pela elevação da instalação da turbina.

9.3.3 O espaçamento entre as unidades da casa das máquinas principal deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) Para a unidade horizontal, os requisitos de instalação e manutenção devem ser cumpridos. O rotor do gerador deve poder ser extraído e inserido se necessário, e o espaçamento da rede entre unidades não deve ser inferior a 1,5 m a 2,0 m.
- b) Para unidade vertical, deve ser determinado no plano de acordo com o diâmetro da tampa do ventilador do gerador, o tamanho da caixa espiral e o tubo de aspiração.
 - A espessura das plataformas de separação entre as caixas em espiral de betão adjacentes e entre os tubos de aspiração não deve ser inferior a 1,0 m a 2,0 m (utilizar o valor elevado quando a junta permanente estiver disposta).
 - A espessura da plataforma de separação entre as caixas metálicas em espiral não deve ser inferior a 1,0 m.
 - O espaçamento da rede entre as placas de cobertura da ventoinha do gerador não deve ser inferior a 1,5 m a 2,0 m.
 - A espessura de betão necessária entre o tubo de aspiração deve ser tida em conta para o espaçamento entre as unidades da casa das máquinas no interior da barragem e a casa das máquinas do tipo transbordo.
- c) Para a unidade tubular de bolbo, deve ser determinada de acordo com a largura da trajectória do caudal, o número de unidades e o método de separação de juntas. O comprimento adicional da unidade lateral deve ser determinado pela linha limite do gancho da ponte-guindaste, que deve ser de 3 m a 5 m.

9.3.4 A dimensão de controlo da sala de máquinas principal da casa das máquinas principal deve ser determinada de acordo com os seguintes princípios.

- a) O comprimento e largura da casa das máquinas principal deve ser determinado tendo em conta o número de unidades, os componentes de passagem de caudal da turbina, as dimensões do gerador e da conduta de ar, o modo de elevação do guindaste, a posição da válvula principal e do regulador, os requisitos estruturais da casa das máquinas, a operação e manutenção, e a mobilidade na casa das máquinas.

- b) Os componentes de passagem de caudal da turbina e os modos de suporte da unidade devem ser seleccionados de acordo com os dados fornecidos pelo fabricante e os requisitos da estrutura hidráulica.
- c) Quando o comprimento da plataforma da unidade for controlado pela dimensão da caixa em espiral, o comprimento da caixa em espiral deve cumprir os requisitos espaciais exigidos pela instalação da caixa em espiral metálica, e a dimensão espacial mínima não deve ser inferior a 0,8 m; para a caixa em espiral de betão, a sua espessura de parede deve ser determinada pela resistência, rigidez e requisitos estruturais.
- d) Quando o comprimento da plataforma da unidade é controlado pelas dimensões do gerador e da sua conduta de ar, o espaçamento entre unidades deve não só cumprir os requisitos de disposição do equipamento, mas também manter a largura necessária da passagem.
- e) O comprimento da plataforma da unidade na casa das máquinas no pé da barragem deve ser coordenado com as juntas do corpo da barragem. Para a casa das máquinas de desvio através dos túneis, também deve ser adaptável à espessura da massa rochosa entre as condutas forçadas.
- f) Quando os furos de descarga e drenagem de sedimentos estão dispostos no compartimento da unidade, a resistência estrutural, composição e requisitos de construção dos furos devem ser cumpridos ao mesmo tempo.
- g) O comprimento e largura da casa das máquinas principal deve cumprir os requisitos do âmbito de trabalho efectivo do gancho do guindaste, a disposição da válvula principal e do regulador, a mobilidade na casa das máquinas e o tamanho estrutural.
- h) As dimensões estruturais da casa das máquinas principal acima e abaixo da água devem ser concomitantemente coordenadas e consideradas.
- i) O comprimento da plataforma da unidade lateral (unidade na plataforma final) deve ser determinado em combinação com a posição da plataforma de instalação, a diferença de altura entre a sala das máquinas principal e a plataforma de instalação, bem como o alcance de elevação do guindaste.

9.3.5 A dimensão e a disposição da plataforma de instalação na casa das máquinas principal pode ser determinada de acordo com os seguintes princípios.

- a) A área da plataforma de instalação deve ser determinada de forma exhaustiva pelo tipo de casa das máquinas, estrutura da unidade, progresso da instalação e revisão geral expandida de uma unidade.
- b) Quando os dados não estão disponíveis, o comprimento da plataforma de instalação pode ser de 1,25 a 1,5 vezes o comprimento da plataforma da unidade; em relação à central de energia hidroeléctrica com unidades múltiplas, a área da plataforma de instalação pode ser aumentada conforme necessário ou uma plataforma de instalação auxiliar pode ser providenciada.

- c) A elevação do solo da plataforma de instalação deve ser igual à do piso do gerador; se o nível da cheia a jusante for superior à elevação do solo do piso do gerador, a elevação da plataforma de instalação pode ser aumentada.
- d) A disposição da plataforma de instalação deve satisfazer os requisitos de transporte, instalação e revisão geral do equipamento ou o acesso de veículos para movimentação de acordo com o número de unidades instaladas. A plataforma de instalação pode ser disposta numa extremidade, duas extremidades ou na secção do meio da casa das máquinas principal.
- e) A disposição da plataforma de instalação deve ser adaptável aos métodos de transporte do equipamento principal.

9.3.6 A disposição e a elevação superior do carril do guindaste na casa das máquinas principal devem ser determinadas de acordo com os seguintes requisitos.

- a) O requisito de elevação das partes principais da unidade deve ser cumprido. Quando a válvula de entrada está disposta na casa das máquinas, a linha central deve ser disposta dentro do âmbito de trabalho do gancho do guindaste.
- b) A elevação superior do carril do guindaste deve ser determinada de acordo com as especificações do guindaste, bem como os requisitos de elevação durante a instalação e revisão geral das unidades, e deve cumprir os requisitos de carga/descarga das mercadorias no veículo de transporte na casa das máquinas.
- c) A distância líquida entre o topo do guindaste e o tecto da casa das máquinas (ou o cabo inferior da treliça do telhado e a base da lâmpada) não deve ser inferior a 0,3 m.
- d) O espaço necessário para remover e instalar a tampa redutora, o bloco de enrolamento e o motor devem ser reservados nas posições apropriadas do telhado da casa das máquinas.
- e) Para além da necessidade de espaço do carro de translação, o espaço para a instalação e revisão geral do mecanismo de translação do carro, bem como o espaço de manobra para o pessoal, devem ser reservados nas posições apropriadas no intervalo entre a extremidade da guindaste e as paredes a montante/jusante.
- f) A largura da face superior da viga do guindaste (incluindo o passadiço da viga do guindaste) deve cumprir os requisitos de passagem do pessoal que opera o guindaste, pelo que as escadas de mão devem ser fornecidas aos operadores (no caso de estar equipado com cabina de condução) e ao pessoal de revisão geral para entrar ou sair do guindaste.

- g) A distância de segurança entre o componente elevado e o equipamento instalado, a estrutura e o solo não deve ser inferior a 0,3 m.

9.3.7 A mobilidade na casa das máquinas força deve cumprir as seguintes disposições.

- a) A mobilidade na casa das máquinas (incluindo a escada, a escada em espiral, o suporte da escada, os furos de elevação, a passagem horizontal e a galeria) deve ser conveniente para a gestão e benéfica para a revisão geral e rápida resolução de problemas.
- b) A dimensão da passagem principal, bem como a largura, o talude e a saída de emergência devem cumprir os requisitos dos códigos de concepção electromecânica e de protecção contra incêndios.
- c) A passagem horizontal recta por toda a casa das máquinas deve ser disposta no piso do gerador e no piso da turbina.
- d) Uma escada deve ser disposta a cada 1 a 2 plataformas entre os andares principais incluindo o piso do gerador, o piso do tubo condutor de corrente e o piso da turbina; pelo menos duas escadas devem ser dispostas em toda a instalação.
- e) Os furos de elevação para instalação e revisão geral devem ser dispostos na casa das máquinas principal dentro do âmbito de trabalho do gancho do guindaste e na casa das máquinas auxiliar necessária para a elevação do equipamento electromecânico.

9.3.8 A disposição e as dimensões do poço da turbina devem cumprir os requisitos de instalação e manutenção da unidade; a resistência e rigidez da estrutura de suporte da unidade, bem como a caixa espiral e a estrutura de suporte do anel de suporte devem ser suficientes.

9.3.9 A elevação de cada piso da casa das máquinas principal deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) Os requisitos da disposição da unidade e do equipamento auxiliar, bem como a instalação, revisão geral, operação, manutenção, dimensão estrutural e espaço do edifício, devem ser cumpridos.
- b) A elevação da instalação da turbina deve ser determinada por demonstração técnica e económica de acordo com as características da unidade fornecidas pelo fabricante, a altura de aspiração da turbina e o nível mínimo de águas a jusante durante o período de funcionamento da central de energia hidroeléctrica, combinado com as condições topográficas e geológicas da casa das máquinas.
- c) A elevação do piso da turbina deve ser determinada de acordo com a dimensão da secção da entrada da caixa espiral, assim como a espessura mínima da estrutura de betão na parte superior da caixa espiral.

- d) A elevação do piso do gerador deve cumprir os requisitos da disposição do piso do gerador, e a influência da disposição do equipamento no piso da turbina, bem como a disposição dos cabos da bus e o nível de água a jusante também deve ser considerada.
- e) Se o espaço da casa das máquinas principal for suficiente, o piso dos cabos também pode ser disposto abaixo do piso do gerador; o seu espaço líquido deve cumprir os requisitos de instalação das principais linhas e cabos de saída, manutenção de operação e controlo de incêndio do gerador.
- f) A elevação da cobertura deve ser determinada de acordo com o tipo de cobertura e a dimensão estrutural, e deve cumprir os requisitos de instalação e revisão geral dos componentes do guindaste, instalação do tecto da casa das máquinas, a disposição das instalações de iluminação e isolamento térmico.

9.3.10 A disposição das obras de fuga deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) A largura da plataforma das obras de fuga deve cumprir os requisitos da dimensão da estrutura do fecho traseira e do guincho, elevação da comporta, mobilidade, instalações de controlo de inundações a jusante e controlo de incêndios.
- b) O comprimento da plataforma traseira pode ser determinado de acordo com os requisitos da operação da talha e da revisão geral da comporta.
- c) No que diz respeito à casa das máquinas com um tubo de aspiração relativamente longo, o transformador principal, a subestação de distribuição ou a casa das máquinas auxiliar podem ser colocados na plataforma traseira; se for necessário aumentar o comprimento do tubo de aspiração para este fim, deve ser demonstrado nos aspectos técnicos e económicos.

9.3.11 A disposição da sala de controlo deve ser determinada de acordo com os seguintes princípios.

- a) Deve ser conveniente para a gestão da operação e manutenção, e conveniente para o trânsito por etapas e poupança de cabos. Deve ser evitada a influência da vibração, do ruído e do campo magnético.
- b) A sua elevação pode ser igual ou ligeiramente superior à elevação do piso do gerador. Quando a sala de controlo for superior ao piso do gerador, a mobilidade entre ambos deve ser conveniente.
- c) Quando a sala de controlo é disposta no centro de controlo centralizado remoto, a sala de serviço de transição pode ser disposta na casa das máquinas auxiliar.
- d) A casa das máquinas auxiliar para equipamentos de ruído elevado, como o compressor de ar e o equipamento de ventilação, não deve ser disposta próximo da sala de controlo.

- e) Devem ser implementadas medidas eficazes para evitar vibrações da unidade na sala de controlo construída sobre a plataforma traseira.
- f) A posição e orientação com boas condições naturais de ventilação e iluminação devem ser seleccionadas.
- g) Pelo menos duas entradas/saídas devem ser providenciadas.
- h) Devem ser providenciadas instalações completas de segurança e controle de incêndio.

9.3.12 A área da casa das máquinas auxiliar e a disposição interna devem ser determinadas de acordo com os requisitos da disposição, manutenção, teste e gestão do equipamento electromecânico, em conjunto com as condições específicas da casa das máquinas.

9.4 Análise de estabilidade global para a casa das máquinas no solo

9.4.1 Disposições gerais

9.4.1.1 A análise da estabilidade global da casa das máquinas deve ser realizada de acordo com as condições das fundações, características estruturais e condições de construção. O conteúdo específico pode incluir o seguinte.

- a) Cálculo da estabilidade anti-derrapante da superfície da fundação. Quando a superfície estrutural fraca desfavorável à estabilidade geral da casa das máquinas existe na fundação da casa das máquinas, o cálculo da estabilidade anti-derrapante profunda da casa das máquinas ao longo da estrutura fraca também deve ser calculado. Para uma casa das máquinas localizada na fundação de terra, a estabilidade anti-derrapante do piso do muro corta-águas deve ser verificado.
- b) Cálculo da tensão normal sobre a superfície das fundações da casa das máquinas.
- c) Verificação da estabilidade de anti-flutuação da casa das máquinas (incluindo a situação onde o betão da segunda fase da casa das máquinas não tenha sido colocado).
- d) No que diz respeito à casa das máquinas não sobre a fundação rochosa, a capacidade de carga, deformação e assentamento da fundação deve ser verificada.

9.4.1.2 A estabilidade geral e a tensão da fundação da casa das máquinas devem ser calculadas pelo método da mecânica dos materiais.

9.4.1.3 Os cálculos para a estabilidade geral e a tensão de fundação da casa das máquinas devem ser realizados, respectivamente, de acordo com as combinações de carga com o compartimento da plataforma de instalação, o compartimento da plataforma lateral e a secção da plataforma de instalação como uma unidade separada. Quando a pressão lateral da água actua sobre a plataforma lateral da unidade e a secção da plataforma de instalação, a estabilidade geral e a tensão no solo sob o efeito da pressão da água nos dois sentidos também deve ser verificada.

9.4.1.4 No que diz respeito à casa das máquinas no pé da barragem, o efeito combinado da casa das máquinas e da barragem deve ser considerado quando a casa das máquinas e a barragem estiverem ligadas como um todo.

9.4.2 Cargas e combinação de cargas

9.4.2.1 As cargas que actuam sobre a casa das máquinas devem incluir: peso morto da casa das máquinas e do respectivo equipamento permanente, peso do aterro e peso da água que actua sobre casa das máquinas, pressão hidrostática, pressão ascendente, pressão de sedimentos, pressão de ondas, pressão de gelo, carga sísmica, carga dinâmica devido ao curto-circuito do gerador e outras cargas possíveis.

9.4.2.2 O peso morto de cada parte da casa das máquinas deve ser determinado de acordo com a sua dimensão geométrica e peso do material. O peso dos materiais comuns deve ser seleccionado de acordo com os seguintes valores:

- a) 25 kN/m³ para o betão armado;
- b) o peso unitário da alvenaria deve ser de 21 kN/m³ a 25 kN/m³;
- c) o peso unitário da unidade de terra e enrocamento enchidos deve ser de 16 kN/m³ a 18 kN/m³.
- d) o peso da água deve ser calculado de acordo com o volume real; o peso unitário da água pode ser de 10 kN/m³. No que diz respeito ao peso da água do rio carregado de sedimentos pesados, a influência da concentração real de sedimentos deve ser tida em conta.

9.4.2.3 No que diz respeito ao peso do equipamento electromecânico na casa das máquinas, o peso do equipamento principal estacionário deve ser calculado, não podendo ser considerado o equipamento auxiliar e o equipamento não estacionário.

9.4.2.4 A pressão hidrostática que actua sobre casa das máquinas deve ser determinada através de cálculos de acordo com os níveis de água a montante e a jusante da casa das máquinas em diferentes condições de funcionamento. No que diz respeito ao rio de sedimentos pesados, a influência da concentração de sedimentos no peso da água deve ser tida em conta para o rio de sedimentos pesados.

9.4.2.5 A pressão de elevação que actua sobre casa das máquinas sobre uma fundação rochosa deve ser calculada de acordo com os seguintes princípios.

- a) Deve ser calculado de acordo com a força distribuída em todas as áreas da secção de cálculo.

- b) O padrão de distribuição da pressão ascendente do piso da casa das máquinas do lado do rio pode ser determinado respectivamente sob as três condições seguintes.
- 1) Quando a cortina anti-infiltração e o furo de drenagem estão dispostos no lado a montante da casa das máquinas, o padrão de pressão ascendente deve ser adoptado de acordo com a Figura 8(a) e o coeficiente de intensidade de pressão de infiltração α deve ser de 0,25.
 - 2) Quando a cortina anti-infiltração e o furo de drenagem não estão dispostos no lado a montante da casa das máquinas, a altura efectiva da pressão ascendente está no lado a montante do piso da casa das máquinas e é H_2 no lado a jusante, que estão ligados com uma linha recta, como mostrado na Figura 8(b).
 - 3) Quando a cortina anti-infiltração e o furo de drenagem estão dispostos no lado a montante da casa das máquinas e os furos de drenagem e o sistema de bombeamento-drenagem estão dispostos no lado a jusante, o padrão de pressão ascendente é o mostrado na Figura 8(c), onde α_1 é 0,2 e α_2 é 0,5.

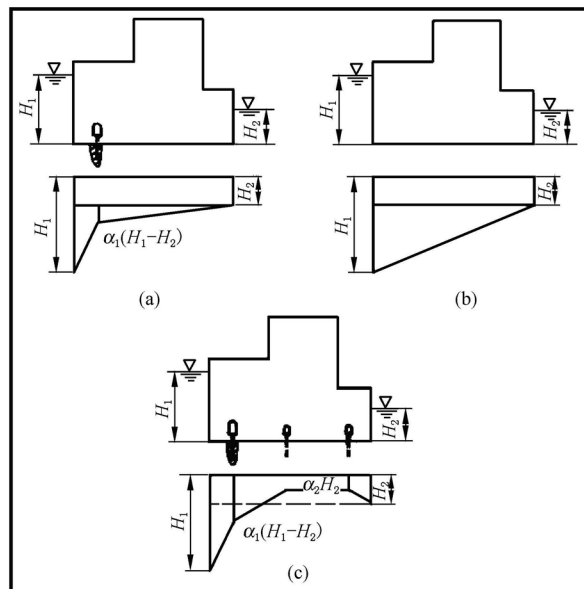
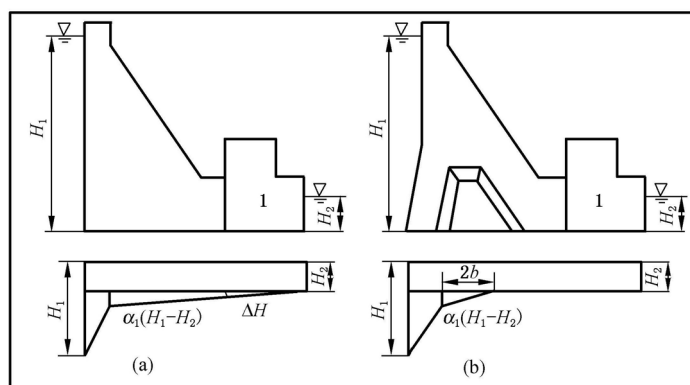


Figura 8 Padrão de distribuição da pressão de elevação da casa das máquinas de retenção de água

- c) No que diz respeito à casa das máquinas no pé da barragem, quando a casa das máquinas e a barragem estão ligadas como um todo ou as juntas de deformação permanente estão dispostas entre a casa das máquinas e a barragem, e foram seladas com a paragem de água, o seu padrão de distribuição de pressão ascendente deve ser considerado em conjunto com o corpo da barragem.

- 1) No que diz respeito à casa das máquinas no pé da barragem gravítica, quando a cortina anti-infiltração e os furos de drenagem estão dispostos na fundação da barragem a montante, e não há instalação de bombeamento e drenagem na fundação da barragem a jusante, o padrão de pressão ascendente é igual ao que é mostrado na Figura 9(a); ΔH é determinado através de cálculo de acordo com as posições da cortina e dos furos de drenagem, bem como o valor a .
- 2) Em relação à casa das máquinas no pé da barragem e da barragem oca, $\Delta H = 0$, como mostrado na Figura 9(b).



Legenda

- 1 casa das máquinas
 b a largura do corpo da barragem na junta larga

Figura 9 Padrão de distribuição da pressão de elevação da casa das máquinas no pé da barragem

- d) A pressão a montante que actua sobre o edifício de uma casa das máquinas na margem do rio pode ser determinada de acordo com o nível de água subterrânea e as instalações de drenagem.
- e) Quando a duração do pico da cheia é relativamente curta e o nível da cheia a jusante é relativamente alto, o padrão de distribuição da pressão de elevação da casa das máquinas pode ser reduzido, tendo em conta o efeito do tempo.

9.4.2.6 O padrão de distribuição da pressão ascendente da casa das máquinas não construída sobre fundação rochosa deve ser determinado através de cálculo ou teste de simulação de acordo com a situação específica do projecto para o contorno subterrâneo das estruturas na casa das máquinas, bem como as características de permeabilidade da fundação.

9.4.2.7 As combinações de carga podem ser classificadas em combinação básica e combinação especial. A combinação de carga para a análise de estabilidade global da casa das máquinas pode ser adoptada com referência às disposições da Tabela 26. Outras possíveis combinações desfavoráveis também podem ser consideradas, quando necessário.

Tabela 26 Combinação de cargas

Combinação de carga	Condição de cálculo	Nível de água a montante/a jusante	Categoria de carga										Observações		
			Peso morto da estrutura	Equipamento permanente	Peso da água	Peso de terra e rocha enchidos	Pressão hidrostática	Pressão de elevação	Pressão das ondas	Pressão dos sedimentos	Pressão do solo	Pressão do gelo		Carga sísmica	
Combinação básica	Funcionamento normal	a1	Nível normal do reservatório a montante e nível mínimo de água a jusante	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
		a2	Nível de cheia de projecto a montante e nível de água a montante/a jusante	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
		b	Nível de cheia de projecto a jusante	√	√	√	√	√	√				√		
Combinação especial	Manutenção de unidades	a	Nível de água normal do reservatório a montante e nível de água de manutenção a jusante	√		√	√	√	√	√	√	√	√	√	
		b	Nível da água de manutenção a jusante	√		√	√	√	√				√		
	Unidade não instalada	a	Nível normal do reservatório a montante ou nível de cheia de projecto e nível de água a jusante	√		√	√	√	√	√	√	√	√	√	(1) O betão de segunda fase para a caixa espiral não foi colocado (2) O peso da água deve ser determinado de acordo com a situação real.
		b	Nível de cheia de projecto a jusante	√		√	√	√	√				√		

Tabela 26 (continuação)

Combinção de carga	Condição de cálculo	Nível de água a montante/a jusante	Categoria de carga										Observações	
			Peso morto da estrutura	Equipamento permanente	Peso da água	Peso de terra e rocha enchidos	Pressão hidrostática	Pressão de elevação	Pressão das ondas	Pressão dos sedimentos	Pressão do solo	Pressão do gelo		Carga sísmica
Combinção especial	Operação anormal	a	Nível de cheia de controlo a montante e nível de cheia de controlo a jusante	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
		b	Nível das cheias de verificação a jusante	√	√	√	√	√	√		√			
	Condição de terramoto	a	Nível normal do reservatório a montante e nível mínimo de água a jusante	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	Pode ser especificado o contrário se os níveis de água a montante e a jusante forem sujeitos a outra demonstração
		b	Nível de água a montante/a jusante	√	√	√	√	√	√		√		√	
Notas 1		Na tabela, a aplica-se à casa das máquinas de retenção de água e b aplica-se à casa das máquinas no pé da barragem e à casa das máquinas do lado do rio;												
Notas 2		Se a pressão das ondas e a pressão do gelo não ocorrerem ao mesmo tempo, qualquer uma delas pode ser seleccionada para o cálculo de acordo com a situação real;												
Notas 3		A situação durante a construção deve ser verificada conforme necessário e pode ser utilizada como sendo a combinação especial;												
Notas 4		Pode ser utilizada como combinação especial se a situação de falha de drenagem for considerada quando os furos de drenagem são dispostos na fundação da casa das máquinas;												
Notas 5		O nível de água a jusante correspondente, no Caso a2 em Funcionamento Normal, Caso a em Unidade não seja Instalada, e Caso a em Funcionamento Anormal, refere-se aos níveis de água que são mais desfavoráveis para a casa das máquinas quando o nível de cheias de projecto ou verificação do nível de cheias ocorre a montante, incluindo os cenários de descarga de inundação ou nenhuma descarga de inundação da barragem;												
Notas 6		O nível de água a montante é determinado pela disposição da superfície da água para a casa das máquinas no pé da barragem, e pela mesa subterrânea para a casa das máquinas do lado do rio.												

9.4.3 Cálculo da estabilidade geral e da tensão no solo

9.4.3.1 A estabilidade anti-derrapante de toda a casa das máquinas pode ser calculada da Fórmula (23) à Fórmula (25), e cada força é a força que actua sobre a fundação da casa das máquinas. O factor mínimo de segurança para a estabilidade anti-derrapante da casa das máquinas deve cumprir os requisitos da Tabela 27.

Tabela 27 Factores mínimos de segurança para a estabilidade anti-derrapante da casa das máquinas

Tipo de fundação	Combinação de carga	Factor de Segurança	Fórmula Aplicada
Base macia	Combinação básica	1,25	Fórmula (23) ,(24)
	Combinação especial I	1,10	
	Combinação especial H	1,05	
Base rochosa	Combinação básica	1,10	Fórmula (23)
	Combinação especial I	1,05	
	Combinação especial H	1.00	
	Combinação básica	3,00	Fórmula (25)
	Combinação especial I	2,50	
	Combinação especial H	2,30	
NOTA A combinação especial I é para o caso de manutenção de geradores de turbinas, período de construção, conclusão e funcionamento anormal. A combinação especial H é para o caso de terramoto.			

9.4.3.2 A tensão normal na fundação da casa das máquinas pode ser calculada com a Fórmula (22). A tensão média na fundação do solo não deve ser superior à capacidade de carga permitida; a tensão máxima não deve ser inferior a 1,2 vezes a capacidade de carga permitida da fundação. A tabela 17 indica os coeficientes não uniformes admissíveis para as tensões normais que actuam sobre as fundações.

9.4.3.3 A tensão normal na superfície da fundação da casa das máquinas sobre a fundação da rocha deve cumprir os seguintes requisitos quando calculada pelo método da mecânica do material.

- a) A tensão normal máxima suportada pela superfície da fundação da casa das máquinas não deve ser superior à capacidade de carga admissível da fundação. Em condições de terramoto, a capacidade de carga permitida da fundação pode ser aumentada adequadamente.
- b) A tensão normal mínima (contabilizada na pressão de elevação) suportada pela superfície das fundações da casa das máquinas deve cumprir os seguintes requisitos.
 - 1) A casa das máquinas do leito do rio deve ser superior a zero em caso de terramoto; em condições de terramoto, a tensão de tracção permitida não deve ser superior a 0,1 MPa.
 - 2) A casa das máquinas na barragem e na casa das máquinas do lado do rio deve ser superior a zero em condições normais de funcionamento; tensão de tracção parcial não superior a 0,1 MPa a 0,2 MPa é aceitável sob as condições de "manutenção da unidade", "unidade não foi instalada" e "operação anormal". Se a tensão de tracção for superior a 0,2 MPa em condições de terramoto, isto deve ser particularmente demonstrado.

9.4.3.4 A estabilidade de anti-flutuação da casa das máquinas pode ser calculada com a Fórmula (34) com o cenário mais desfavorável, onde a manutenção do gerador de turbina, gerador de turbina a não ser instalado, funcionamento anormal são como apresentados na Tabela 25.

$$K_f = \frac{\sum W}{U} \dots\dots\dots (34)$$

onde

K_f é o factor de segurança de estabilidade de anti-flutuação, superior a 1,1 em qualquer condição;

$\sum W$ é o peso (forças) da plataforma da unidade ou plataforma de instalação, em kN;

U é a pressão ascendente total que actua sobre a plataforma da unidade ou plataforma de instalação, em kN.

9.4.3.5 O comprimento do percurso de infiltração da casa das máquinas na fundação do solo deve cumprir os requisitos de estabilidade da infiltração da fundação. O comprimento do caminho de infiltração pode ser calculado com a Fórmula (20).

9.5 Projecto estrutural da casa das máquinas

9.5.1 Disposições gerais

9.5.1.1 A estrutura da casa das máquinas da central de energia hidroeléctrica pode ser dividida em estrutura superior e estrutura inferior.

- A estrutura superior inclui a coluna da estrutura dobrada, viga do guindaste, viga e laje do rés-do-chão, telhado, viga de ligação, viga anelar e estrutura de água traseira.
- A estrutura inferior inclui a parede de contenção, piso, viga e laje do piso da turbina, plataforma do gerador, caixa em espiral, tubo de aspiração, poço colector de água, plataforma da comporta de água traseira e plataforma das obras de fuga.

9.5.1.2 A concepção estrutural da casa das máquinas deve ser calculada e verificada, respectivamente, de acordo com as seguintes disposições, de acordo com os requisitos do estado limite da capacidade de carga e do estado limite normal de capacidade de serviço.

- a) Capacidade de carga: a capacidade de carga deve ser calculada para todos os membros estruturais da casa das máquinas; a capacidade de carga sísmica deve ser calculada para as estruturas que requerem fortificação sísmica.
- b) Deformação: a deformação deve ser verificada para os elementos estruturais que necessitam de controlo da deformação, tais como a viga do guindaste e a estrutura da casa das máquinas.

- c) Controlo de fissuras: a largura da fissura ou fenda deve ser verificada para os membros da estrutura inferior que suportam a pressão da água, como a caixa espiral de betão armado, a plataforma da comporta, o muro corta-águas e a parede de retenção de água; a largura da fissura deve ser verificada para os membros da estrutura superior necessários para limitar a largura da fissura.

9.5.1.3 Os elementos estruturais gerais da estrutura da casa das máquinas só podem estar sujeitos ao cálculo da força estática; no entanto, o cálculo dinâmico deve ser realizado para os elementos estruturais que suportam directamente as cargas vibratórias do equipamento, tais como a estrutura de suporte do gerador. A estrutura geral pode ser calculada com o método da mecânica estrutural; além do método da mecânica estrutural, a estrutura complexa também deve ser calculada e analisada com o método dos elementos finitos.

9.5.1.4 O betão das partes da casa das máquinas deve cumprir os requisitos de resistência; além dos requisitos de durabilidade, incluindo a anti-permeabilidade, resistência à geada, controlo de erosão e anti-decapagem devem ser aumentados de acordo com as condições ambientais, condições de serviço e condições climáticas locais, respectivamente. O grau de resistência do betão pode ser adoptado com referência à Tabela 28.

Tabela 28 Grau de resistência do betão em várias partes da estrutura da casa das máquinas

Não.	Parte estrutural	Grau de resistência (28 dias de idade)	Observações
1	Fundações de grande volume	≥C20	
2	Tubo de aspiração, caixa em espiral, plataforma do gerador, caixa da ventoinha, plataforma da comporta traseira e parede subaquática	≥C25	
3	Estrutura de betão na área de mudança de nível de água	≥C25	
4	Viga estrutural superior, placa e pilar	≥C25	
5	Tabuleiro da ponte e treliça do telhado da viga de guindaste betão armado pré-fabricada	≥C30	Não inferior a C35 quando o reforço HRB400 é utilizado.
6	Membro de betão armado pré-tensionado	≥C35	Quando o fio de aço de alta resistência e as barras de têmpera térmica são utilizados para reforços pré-tensionados, o grau de resistência do betão não deve ser inferior a C40.
NOTA 1	Se o membro emprega reforço HRB400 e suporta acções repetidas, o grau de resistência do betão não deve ser inferior a C25;		
NOTA 2	As posições com condições graves de descongelamento após congelamento e que são necessárias para a resistência anti-decapagem e à abrasão, isto deve ser determinado através de pesquisa dedicada, e o grau de resistência do betão não deve ser inferior a C25.		

9.5.2 Estrutura da parte inferior

9.5.2.1 Quando a fundação é rochosa e integral, pode ser transformada no piso separado ou no piso removido. A espessura do piso deve ser de 0,3 m a 0,5 m. Se o piso for omitido, a superfície rochosa deve ser polida e deve ser capaz de resistir ao impacto e ao desgaste. No que diz respeito à casa das máquinas com más condições geológicas, o pavimento de betão armado integral deve ser utilizado e a espessura deve ser de 2 m a 3 m ou mais.

9.5.2.2 A estrutura do tubo de aspiração pode ser dividida em três partes: a secção do tubo cónico, a secção do tubo de cotovelo e a secção do difusor; a força interna deve ser analisada pelo método correspondente.

9.5.2.3 As cargas de concepção da estrutura do tubo de aspiração podem incluir: peso morto da estrutura, peso da estrutura e equipamento acima do tecto do tubo de aspiração, pressão interna da água, pressão externa da água e pressão de elevação.

9.5.2.4 A estrutura do tubo de aspiração deve ser calculada nas quatro condições seguintes.

- a) Funcionamento normal: as cargas combinadas incluem o peso morto da estrutura, o peso da estrutura e equipamento acima do tecto do tubo de aspiração, a pressão interna da água (nível normal de água a jusante), a pressão externa da água (nível normal de água a jusante) e a pressão ascendente (nível normal de água a jusante).
- b) Período de manutenção: as cargas combinadas incluem o peso morto da estrutura, o peso da estrutura e equipamentos acima do tecto do tubo de aspiração, a pressão externa da água (nível normal de água a jusante) e a pressão ascendente (nível normal de água a jusante).
- c) Período de construção: as cargas combinadas incluem o peso morto da estrutura e o peso da estrutura e do equipamento acima do tecto do tubo de aspiração.
- d) Operação da cheia de verificação: as cargas combinadas incluem o peso morto da estrutura, o peso da estrutura e equipamentos acima do tecto do tubo de aspiração, a pressão interna da água (verificar nível de água a jusante), a pressão externa da água (verificar nível de água a jusante) e a pressão de elevação (verificar nível de água a jusante).

9.5.2.5 A força interna da estrutura do tubo de aspiração deve ser calculada de acordo com os seguintes princípios.

- a) O sentido do caudal de água vertical deve ser simplificado no problema do plano, ou seja, o zonamento ao longo do sentido do caudal de água para obter vários perfis, e o cálculo de acordo com a estrutura do plano.
- b) No que diz respeito à casa das máquinas com o elevado nível de águas a jusante, deve ser verificada a resistência do telhado, do chão e do suporte ao longo da direcção do caudal de água.

9.5.2.6 A caixa em espiral metálica deve ser utilizada para as centrais de energia hidroeléctrica com alturas médias ou altas; enquanto a caixa em espiral de betão armado deve ser utilizada para as estações com alturas baixas (altura < 30 m) quando o tamanho da caixa em espiral for pequeno.

9.5.2.7 As cargas de concepção da estrutura da caixa em espiral de betão armado são as seguintes:

- a) o peso morto da estrutura;
- b) cargas transferidas da plataforma do gerador e da caixa da ventoinha;
- c) carga activa no chão da turbina;
- d) pressão interna da água.

9.5.2.8 A concepção da estrutura da caixa em espiral de betão armado deve ser calculada de acordo com as seguintes condições de trabalho.

- a) Para o funcionamento normal da caixa em espiral que não suporta a pressão interna da água, a carga combinada inclui o peso morto da estrutura, as cargas transferidas da plataforma do gerador e da caixa da ventoinha e a carga activa no chão da turbina.
- b) Para o funcionamento normal da caixa em espiral sob pressão interna de água, a carga combinada inclui o peso morto da estrutura, as cargas transferidas da plataforma do gerador e da caixa da ventoinha, a carga no chão da turbina e a pressão interna da água.

9.5.2.9 Os seguintes pressupostos devem ser adoptados na concepção e cálculo da estrutura da caixa em espiral de betão armado.

- a) As fissuras são aceitáveis quando a caixa em espiral sem pressão interna de água é projectada.
- b) As fissuras são aceitáveis quando a caixa em espiral que suporta a pressão interna da água é projectada; ou a largura de desenvolvimento da fissura é limitada na concepção da caixa em espiral.
- c) A tensão da temperatura não será considerada.

9.5.2.10 A plataforma do gerador é a estrutura de suporte do gerador e da turbina e suporta enormes cargas activas e cargas mortas; a estrutura de betão armado deve assegurar rigidez, resistência e estabilidade suficientes. A concepção da plataforma do gerador também inclui a parede de betão adjacente à passagem do vento do gerador (escudo contra o vento).

9.5.2.11 As cargas de concepção da estrutura da plataforma do gerador devem ser as seguintes.

- a) Cargas mortas:
- 1) o peso morto da plataforma do gerador;
 - 2) peso morto da laje do piso do gerador e a carga activa sobre ela;
 - 3) o peso do estator do gerador;
 - 4) peso do estator do excitador e do equipamento auxiliar;
 - 5) peso da estrutura superior;
 - 6) peso da estrutura inferior;
 - 7) o peso da turbina.
- b) Cargas activas:
- 1) peso do rotor do gerador juntamente com o veio;
 - 2) peso do rotor do excitador;
 - 3) peso do rotor da turbina juntamente com o veio;
 - 4) propulsão hidráulica axial da turbina;
 - 5) força centrífuga horizontal;
 - 6) binário normal do gerador;
 - 7) binário de curto-circuito do gerador.

9.5.2.12 A concepção e o cálculo da plataforma do gerador devem ser efectuados em duas condições de trabalho, a saber, condições normais de funcionamento e condições de curto-circuito. A combinação de carga deve estar em conformidade com as seguintes disposições.

- a) Funcionamento normal: a combinação de cargas deve incluir cargas mortas (1) a (7) e cargas activas (1) a (6).
- b) Curto-circuito: a combinação de cargas deve incluir cargas mortas (1) a (7), cargas activas (1) a (5) e a carga activa (7).

9.5.2.13 O cálculo dinâmico da plataforma do gerador deve ser efectuado de acordo com os seguintes princípios.

- a) A ressonância, amplitude e coeficiente dinâmico devem ser verificados.
- b) A relação da diferença entre a frequência de vibração natural e a frequência de vibração forçada da plataforma do gerador para a frequência de vibração natural deve ser superior a 20% a 30%, ou a relação da diferença entre a frequência de vibração forçada e a frequência de vibração natural para a frequência de vibração forçada da plataforma do gerador deve ser superior a 20% a 30% para evitar a ressonância.
- c) A amplitude da vibração forçada da plataforma do gerador deve cumprir os seguintes requisitos: a amplitude vertical não deve ser superior a 0,1 mm para a combinação a longo prazo ou não deve ser superior a 0,15 mm para a combinação a curto prazo; a soma das amplitudes horizontais transversais e de torção não deve ser superior a 0,15 mm para a combinação a longo prazo, ou não deve ser superior a 0,2 mm para a combinação a curto prazo.

9.5.2.14 As cargas de concepção da estrutura de carga da caixa da ventoinha são as seguintes:

- a) peso morto e peso da laje do piso do gerador.
- b) carga activa do piso do gerador.
- c) tensão da temperatura.
- d) propulsão horizontal do macaco de elevação sobre a estrutura superior do gerador.
- e) binário de retenção aplicado pelo piso do gerador à caixa da ventoinha quando o binário de curto-circuito ocorre com o gerador.

9.5.2.15 A estrutura da caixa da ventoinha deve ser concebida de acordo com os seguintes princípios e métodos.

- a) A sua parte inferior deve ser fixa, e a parte superior deve ser ligada à laje do piso do gerador como um todo.
- b) A força interna causada pelo efeito da temperatura deve ser reduzida, tendo em conta a influência após a fissurização da estrutura, ou o efeito da temperatura pode ser compensado com a redução da resistência de concepção do reforço.
- c) A largura máxima da fissura da caixa da ventoinha deve ser de 0,4 mm no estado normal de funcionamento.

9.5.2.16 A carga da unidade tubular em bolbo deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) A carga da unidade tubular em bulbo deve ser determinada de acordo com as cinco condições seguintes:
- 1) a roda é esvaziada;
 - 2) a roda está cheia de água;
 - 3) em condições de funcionamento nominais;
 - 4) condição de descarga de carga;
 - 5) estado de funcionamento não controlado.
- b) A secção de entrada de água e a secção do tubo de aspiração podem ser calculadas de acordo com a estrutura plana na viga elástica da fundação, utilizando a largura da unidade da estrutura. As direcções radial e axial devem ser consideradas na concepção estrutural da secção média da passagem do caudal. Ver tabela 29 para as cargas que actuam sobre a secção intermédia da passagem do caudal e a sua combinação.

Tabela 29 Cargas que actuam na secção intermédia da roda e a combinação de cargas

Situação de concepção	Estado limite	Combinação de carga	Condição de cálculo	Cargas							
				Peso morto	Peso da água	Pressão interna da água	Pressão externa da água	Pressão de elevação	Força de actuação da unidade	Temperatura	Força sísmica
Situação persistente	Estado limite da capacidade de carga	Combinação básica	Funcionamento normal	√	√	√	√	√	√	√	—
			Estado de revisão geral	√	—	—	√	√	—	√	—
Combinação accidental		Verificar inundação	√	√	√	√	√	√	√	—	—
		Situação de	√	√	√	√	√	√	√	—	√
		Não controlado	√	√	√	√	√	√	√	√	—
Situação accidental		Curto-circuito	√	√	√	√	√	√	√	√	—
Situação persistente	Estado limite de operacionalidade	Combinação padrão	Funcionamento normal	√	√	√	√	√	√	√	—

- c) Os princípios e métodos de cálculo estrutural devem cumprir os seguintes requisitos.
- 1) O efeito de revestimento do recetáculo tubular não será considerado no cálculo estrutural da secção intermédia da passagem do caudal; todas as cargas serão suportadas pelo betão armado.
 - 2) Sob a acção da carga axial, o cálculo estrutural não deve ser feito para o piso e as plataformas laterais na direcção axial (na direcção do caudal de água), mas devem ser reforçados adequadamente quando o reforço é colocado. A força interna no sentido axial no telhado da roda deve ser calculada separadamente.
 - 3) Quando o método de mecânica estrutural é utilizado para o cálculo, a largura da unidade deve ser obtida ao longo da direcção do caudal de água sob a acção da carga radial e calculada de acordo com a estrutura plana sobre a fundação elástica.
 - 4) Quando o método de mecânica estrutural é utilizado para o cálculo, o telhado é uma estrutura em arco em duas plataformas laterais da roda; pode ser simplificado numa viga rectangular com duas extremidades fixas. A tensão concentrada da coluna no recetáculo tubular do telhado é relativamente grande, pelo que o cálculo deve ser efectuado de acordo com a carga concentrada na viga e as barras suspensas devem ser equipadas. Quando a relação altura-espaço da viga $h/l > 0,5$ (h é a altura da viga e l é a largura líquida da viga), a análise de tensão e a disposição do reforço devem ser realizadas de acordo com a viga profunda.
 - 5) Quando é analisado com o método dos elementos finitos, a secção central da roda pode ser utilizada para a análise global. A tensão concentra-se na ligação entre a coluna do recetáculo tubular e o betão, de modo que as barras de reforço nesta posição devem ser relativamente reforçadas.
 - 6) No cálculo da força estática estrutural, a carga activa deve ser multiplicada pelo coeficiente dinâmico.

9.5.3 Estrutura na estrutura superior

9.5.3.1 As cargas suportadas pela viga do guindaste incluem o peso morto da viga, o peso do carril de aço e seus acessórios, a pressão vertical da roda da grua e as acções horizontais transversais/longitudinais. O valor padrão de peso do carril de aço e seus acessórios deve ser determinado de acordo com os dados do fabricante, podendo ser de 1,5 kN/m a 2,0 kN/m para o cálculo preliminar. Os valores padrão das acções horizontais transversais e longitudinais do guindaste devem ser adoptados de acordo com o possível valor máximo fornecido pelo fabricante.

9.5.3.2 Deve ser calculado o valor padrão do binário que actua sobre a viga do guindaste.

9.5.3.3 A concepção da viga do guindaste deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) Além do projecto de acordo com a capacidade de carga, a deflexão também deve ser verificada de acordo com os requisitos operacionais normais.
- b) Deflexão máxima permitida na combinação a curto-prazo da viga do guindaste da ponte eléctrica: $L_0/600$ para a viga de betão armado do guindaste; $L_0/750$ para a estrutura de aço (L_0 refere-se ao vão calculado da viga do guindaste).
- c) No que respeita à viga do guindaste de betão armado, a largura de desenvolvimento da fenda também deve ser verificada e a fenda máxima em combinação a curto-prazo não deve ser superior a 0,3 mm.
- d) Se o guindaste na casa das máquinas da central de energia hidroeléctrica for um sistema de trabalho ligeiro, a resistência à fadiga pode não ser verificada para a viga do guindaste.

9.5.3.4 A concepção da ligação entre a viga do guindaste e a coluna deve cumprir os requisitos de suporte de carga parcial, resistência ao binário e anti-deformação dos suportes.

9.5.3.5 A disposição da estrutura da casa das máquinas deve cumprir o seguinte requisito.

- a) A disposição das colunas deve cumprir os requisitos de instalação e revisão geral do equipamento electromecânico, e o espaçamento das colunas deve ser unificado, e deve ser adaptável às juntas entre os compartimentos das unidades.
- b) A coluna não deve ser disposta directamente sobre a placa superior do tubo de aspiração, caixa em espiral ou tubo de aço.
- c) A estrutura da casa das máquinas deve satisfazer o requisito de resistência estrutural, e a sua rigidez também deve ser suficiente. No estado limite normal de utilização, o deslocamento lateral no topo do carril da viga do guindaste não deve exceder o valor limite permitido para o deslocamento normal da grua, e o deslocamento máximo da coluna no topo do carril, no caso da combinação padrão, não deve exceder os valores permitidos na Tabela 30.

Tabela 30 Valor de deslocamento admissível do topo da coluna

Não.	Variedade de deformações	Calculado de acordo com a estrutura plana	Calculado de acordo com a estrutura espacial
1	Deslocamento transversal (o telhado da casa das máquinas foi coberto)	$H/1\ 800$	$H/2\ 000$
2	Deslocamento transversal (o telhado da casa das máquinas não foi coberto)	$H/2\ 500$	
3	Deslocamento longitudinal	$H/4\ 000$	

NOTA *H* refere-se à altura desde a superfície da fundação na extremidade inferior da coluna até à superfície superior do carril da viga do guindaste.

- d) As acções suportadas pela estrutura da casa das máquinas e a combinação de efeitos de acção podem ser adoptadas com referência ao Quadro 31.

Tabela 31 Combinação do efeito de acção da estrutura da casa das máquinas

Situação de concepção	Estado limite	Combinação de efeitos de acção	Condição de cálculo	Nome da acção													
				Peso morto da estrutura	Peso do equipamento electromecânico permanente no telhado	Carga activa ou carga de neve no telhado	Carga no piso da central eléctrica	Pressão da água		Carga do guindaste		Carga eólica	Efeito da temperatura	Carga de construção	Acção do terramoto		
								Concepção do nível de cheia ou nível normal do reservatório	Nível da cheia de verificação	Força de travagem horizontal do guindaste	Pressão da roda do guindaste						
Situação persistente	Estado limite da capacidade de carga	Combinação básica (I)	1. O guindaste está totalmente carregado	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓						
			2. O guindaste está sem carga + força eólica	✓	✓	✓	✓	✓				✓					
Situação transitória	Estado limite da capacidade de carga	Combinação básica (II)	1. O guindaste está totalmente carregado + força eólica + efeito da temperatura	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓					
			2. Período de construção	✓								✓			✓		
Situação accidental	Estado limite da capacidade de carga	Combinação accidental	1. O guindaste está sem carga + acção sísmica	✓	✓		✓	✓		✓							✓
			2. O guindaste está sem carga + pressão da água da cheia de verificação	✓	✓		✓				✓	✓					

Tabela 31 (continuação)

Situação de concepção	Estado limite	Combinação de efeitos de acção	Condição de cálculo	Nome da acção													
				Peso morto da estrutura	Peso do equipamento electromecânico permanente no telhado	Carga activa ou carga de neve no telhado	Carga no piso da central eléctrica	Pressão da água		Carga do guindaste		Carga eólica	Efeito da temperatura	Carga de construção	Acção do terramoto		
								Concepção do nível de cheia ou nível normal do reservatório	Nível da cheia de verificação	Pressão da roda do guindaste	Força de travagem horizontal do guindaste						
Situação persistente	Estado limite de capacidade de serviço	Combinação a curto ou longo-prazo	1. O guindaste está totalmente carregado	√	√	√	√	√	√	√	√						
			2. O guindaste está sem carga + força eólica	√	√	√	√	√	√	√	√	√					
Situação transitória	Estado limite de capacidade de serviço	Combinação a curto-prazo	1. O guindaste está com carga completa + carga eólica + efeito da temperatura	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√				
			2. Período de construção	√									√				√
NOTA 1				Quando os efeitos das cargas são combinados, a condição de que "o telhado da casa das máquinas não foi selado durante o período de construção" ou a condição de que "o telhado da casa das máquinas foi selado mas o betão da segunda fase não foi colocado para o poço da turbina" deve ser tida em conta; os valores dos efeitos das cargas de construção e sua combinação devem ser determinados de acordo com as condições específicas;													
NOTA 2				O efeito da temperatura da estrutura é determinado de acordo com o tipo de estrutura superior e a importância.													

9.5.3.6 A estrutura da casa das máquinas pode ser calculada como uma estrutura plana; o seu diagrama de cálculo deve ser determinado de acordo com as seguintes disposições.

- a) O vão transversal da casa das máquinas deve ser determinado de acordo com o eixo; para a coluna escalonada com secções transversais variáveis, o eixo passa pelo ponto médio da secção transversal mínima.

- b) A altura da coluna inferior deve ser a distância da extremidade fixa da coluna até à face superior da consola. A altura da coluna superior deve ser a distância da face superior da consola até à face superior da coluna, se for articulada, ou a distância da face superior da consola até ao centro da viga transversal quando a ligação rígida é adoptada.
- c) Quando a laje do piso (viga) está ligada à coluna com apoio simples, a retenção da laje (viga) à coluna não pode ser tida em conta; se a laje (viga) estiver ligada como um todo, deve ser considerada com base na dobradiça fixa, na ligação rígida ou na junta elástica de acordo com a rigidez da laje (viga).
- d) A elevação da extremidade fixa da fundação da coluna da estrutura deve ser determinada de acordo com a condição de restrição da fundação.
- e) Quando a coluna da estrutura e a viga do telhado são fundidas numa só peça ou a estrutura de chapa grossa de betão é adoptada para o telhado, a ligação entre a coluna da estrutura e o telhado deve ser considerada como aplicando a ligação rígida; quando o telhado é uma estrutura de treliça de tecto (betão pré-fabricado ou treliça de tecto de aço), a ligação entre a coluna da estrutura e a treliça do tecto deve ser considerada como aplicando a ligação da dobradiça.

9.5.3.7 A estrutura longitudinal da casa das máquinas suporta principalmente o peso morto da estrutura, a força longitudinal de travagem horizontal do guindaste, a força sísmica, a carga longitudinal do vento, a influência da temperatura e o momento de flexão longitudinal excêntrico gerado pela diferença de contra-força vertical entre duas vigas adjacentes do guindaste. O valor padrão do momento de flexão longitudinal excêntrico M_y , pode ser estimado de acordo com a Fórmula (35).

$$M_y = \Delta R e \dots\dots\dots (35)$$

onde

ΔR é o valor padrão da diferença de contra-força entre as vigas de guindastes adjacentes, em kN;

e é a distância excêntrica para o centro da coluna ΔR , em m.

9.5.3.8 A concepção do sistema de telhado deve cumprir as seguintes disposições.

- a) O telhado pode utilizar a estrutura de betão ou estrutura de aço leve de acordo com a carga do telhado, o vão da casa das máquinas, a dificuldade de construção e o período de construção.
- b) O sistema do telhado deve ser projectado em combinação com o ambiente natural da central de energia hidroeléctrica, a disposição da casa das máquinas e os requisitos de funcionamento, e satisfazer os requisitos de drenagem, isolamento térmico, controlo de incêndios e resistência a terremotos; o telhado pode utilizar a chapa de isolamento térmico; a faixa de luz natural pode ser disposta quando necessário.

- c) A inclinação do telhado deve ser seleccionada em combinação com a intensidade da chuva local, tipo estrutural do telhado e tratamento de elevação da estrutura.

9.5.4 Concepção de combate a incêndios

9.5.4.1 Os perigos de incêndio e as classificações de resistência ao incêndio para a casa das máquinas devem ser classificados de acordo com os princípios estipulados nas normas nacionais.

9.5.4.2 A largura da rede e o espaço vertical do acesso de combate a incêndios não devem ser inferiores a 4,0 m respectivamente, para garantir que o camião de combate a incêndios possa chegar à entrada da casa das máquinas no solo. Não deve haver obstáculos que impeçam o funcionamento do camião de combate a incêndios entre a entrada do incêndio e a casa das máquinas. O acesso de combate a incêndios, o local de combate a incêndios e as condutas e valas subterrâneas devem ser capazes de suportar a pressão de grandes camiões. A inclinação do terreno aberto, para estacionamento dos camiões dos bombeiros, não deve ser superior a 3%. A entrada de incêndio final deve estar equipada com uma faixa de rotação ou viragem.

9.5.4.3 A casa das máquinas principal e a casa das máquinas auxiliar com altura inferior a 24 m deve ser dividida numa zona de combate a incêndios. A fim de garantir a segurança no combate a incêndios, os principais locais que se incendiam facilmente e locais com requisitos especiais, tais como tanques de óleo, salas de tratamento de óleo, salas de cabos, corredores de bus e veios devem ser separados por paredes resistentes a incêndios, portas corta-fogo, janelas e válvulas corta-fogo.

9.5.4.4 O número de segurança existente para as casas das máquinas principal e auxiliar não deve ser inferior a duas, e deve haver uma que conduza directamente ao solo. O acesso à fábrica pode ser utilizado como saída de emergência directamente para o exterior. Para cada piso abaixo do piso do gerador, a distância entre o local de trabalho interior mais afastado e a saída de emergência mais próxima não deve exceder 60 m.

9.5.4.5 As portas, passadiços e escadas para uma evacuação segura devem cumprir os seguintes requisitos.

- a) A largura da porta de rede não deve ser inferior a 0,9 m e a porta deve ser aberta no sentido da evacuação.
- b) A largura da passagem da rede não deve ser inferior a 1,2 m.
- c) A largura da rede da escada não deve ser inferior a 1,1 m com um declive não superior a 45°. A largura da rede de escadas para a plataforma da unidade principal não deve ser inferior a 0,8 m.

9.5.5 Aquecimento e ventilação

9.5.5.1 A concepção do aquecimento, ventilação e ar condicionado da central de energia hidroeléctrica deve estar em conformidade com os regulamentos nacionais relevantes, que devem ser económicos e razoáveis, tecnologicamente avançados e satisfazer os requisitos de higiene industrial e protecção ambiental.

9.5.5.2 A ventilação natural é o método preferencial para uma casa das máquinas à superfície. Quando a ventilação natural não puder satisfazer os requisitos dos parâmetros do ar interior, pode ser utilizada ventilação natural e mecânica combinada, ventilação mecânica e ar condicionado local.

9.5.6 Conceção estrutural

9.5.6.1 As juntas de deformação devem ser fornecidas tendo em conta os seguintes requisitos.

- a) Devem ser previstas juntas de deformação permanentes entre a plataforma da unidade e suas estruturas adjacentes, como a barragem, a plataforma de instalação e a casa das máquinas auxiliar.
- b) Os intervalos entre as juntas de deformação permanente da plataforma da unidade devem ser de 20 m a 30 m e podem ser aumentados adequadamente no caso de serem tomadas medidas relacionadas.
- c) A largura das juntas de deformação permanente deve ser determinada com base na deformação do edifício relacionada com a temperatura, assentamento, requisitos estruturais anti-sísmicos e outras condições. A largura das estruturas sobre uma fundação de rocha pode ser de 10 mm a 20 mm e talvez aumentada para a sua estrutura superior. A largura das estruturas sobre uma fundação regular deve ser calculada com base na deformação não uniforme da fundação.
- d) Para garantir a largura das juntas de deformação permanente, os materiais de enchimento podem ser colocados nas juntas. Os materiais de enchimento devem ser flexíveis e aplicáveis à deformação.

9.5.6.2 A paragem de água e a selecção de material devem cumprir os seguintes requisitos.

- a) Nas juntas de deformação permanente deve ser colocada uma paragem de água fiável e o ajuste das tiras de paragem de água deve ser conducente às condições de tensão da estrutura. Se necessário, podem ser instalados furos de drenagem e tubos após as instalações de paragem de água.
- b) Os materiais de vedação da água podem ser faixas de cobre, faixas de aço inoxidável, borracha, plásticos, asfalto e materiais sintéticos macromoléculas, seleccionados de acordo com a largura da junta de deformação, pressão da água, condições ambientais e a sua localização.
- c) A vedação da água estendida para a rocha da fundação deve estar devidamente ligada à fundação e a profundidade na fundação de rocha deve ser de 300 mm a 500 mm.

10 Monitorização de segurança de engenharia

10.1 Disposições gerais

10.1.1 As instalações de monitorização necessárias devem ser organizadas de acordo com o tipo de barragem, altura da barragem, condições geológicas, tipo estrutural e características. As principais tarefas do projecto de monitorização de segurança incluem:

- a) monitorizar o estado de funcionamento e segurança das estruturas do projecto durante o período de construção, período de armazenamento de água e período de operação;
- b) para inspeccionar o projecto e orientar a construção e a operação;
- c) para recolher dados para a investigação científica.

10.1.2 O âmbito da monitorização de segurança do projecto deve incluir o corpo da barragem, a fundação da barragem, o encontro da barragem, o talude próximo à área da barragem que tenha um impacto significativo na segurança do projecto e outras estruturas e equipamentos que sejam directamente relevantes para a segurança do projecto.

10.1.3 A concepção da monitorização de segurança deve obedecer aos seguintes princípios.

- a) O sistema de monitorização de segurança deve ser capaz de reflectir o desempenho operacional real do projecto e da fundação durante o período de construção, armazenamento e período de operação.
- b) A secção chave da barragem de monitorização e a secção geral da barragem de monitorização devem ser determinadas em função da altura da barragem, das condições geológicas, das características estruturais, bem como da representatividade do mesmo tipo de barragem; os pontos chave devem ser destacados na disposição dos pontos de referência.
- c) Os itens de monitorização devem ser organizados com plena consideração e coordenados. Alguns pontos de referência importantes na secção ou posições chave de monitorização podem ser monitorizados através de, pelo menos, dois métodos de monitorização; os instrumentos para monitorizar quantidades físicas importantes em posições chave podem ser fornecidos com o instrumento de standby. Os itens e instrumentos de monitorização devem ser instalados sem afectar a segurança do projecto.
- d) O desempenho do instrumento e equipamento de monitorização a seleccionar deve ser estável e fiável, e adequado para trabalhos a longo-prazo em condições difíceis. O intervalo de medição e a precisão do instrumento deve cumprir os requisitos de monitorização. O instrumento para os principais itens de monitorização a observar a longo-prazo deve ser facilmente substituído.
- e) Devem ser adoptados os instrumentos/equipamentos com tecnologias avançadas, e devem ser reservados para futuras melhorias técnicas.
- f) O sistema de monitorização online/automático deve ser organizado, e as condições de observação manual também devem estar disponíveis.

10.1.4 No projecto de monitorização de segurança, as seguintes questões devem ser enfatizadas.

- a) Em coordenação com o projecto estrutural da barragem, é razoável dispor a galeria de observação e estação de observação.

- b) Proporcionar condições favoráveis de mobilidade, iluminação, prevenção de humidade, impermeabilidade ao vento, drenagem, isolamento térmico e segurança para as instalações de monitorização.
- c) A incorporação e instalação das instalações de monitorização devem ser mantidas o mais afastadas possível da perturbação da construção. Os instrumentos e cabos devem ser protegidos com medidas eficazes.
- d) O âmbito de mudança prevista dos valores observados deve ser proposto para os principais itens de monitorização de acordo com o cálculo teórico ou com os resultados do modelo de teste.
- e) Deve ser dada atenção ao projecto de monitorização de segurança para o período de construção e o primeiro período de armazenamento, e os pontos de referência para os pontos de medição devem ser obtidos atempadamente para os principais pontos de monitorização. Antes do enchimento de água pela primeira vez, deve ser preparado o plano de monitorização detalhado. Se as instalações de monitorização permanente não tiverem sido concluídas ou as condições de monitorização não tiverem sido fornecidas antes do enchimento de água pela primeira vez, devem ser tomadas as medidas de monitorização temporárias correspondentes.
- f) De acordo com as condições específicas do projecto, os requisitos técnicos de monitorização devem ser levantados para os itens de monitorização.

10.2 Projecto de monitorização de segurança

10.2.1 A monitorização da barragem gravítica deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) A monitorização da barragem gravítica deve focar-se na deformação do corpo da barragem e na infiltração das fundações. Os itens de monitorização podem ser determinados em função da altura da barragem e das características do projecto, bem como das condições geológicas.
- b) A disposição das instalações de monitorização da deformação deve cumprir os seguintes requisitos.
 - 1) O deslocamento horizontal do corpo da barragem e da fundação da barragem deve ser monitorizado com o método de alinhamento do fio de tensão, método de alinhamento a laser a vácuo e método de linha normal. Se o eixo da barragem é relativamente curto e as condições são favoráveis, o deslocamento horizontal do corpo da barragem também pode ser monitorizado com o método da linha de colimação, ou o método de colimação a laser de ar. Para o fim da linha de colimação, deve ser utilizada a linha de prumo invertida como ponto de controlo da operação.
 - 2) A deflexão do corpo da barragem deve ser monitorizada com o método de linha normal.

- 3) O deslocamento horizontal superficial do talude da margem e a massa de deslizamento de terras próximo à área da barragem devem ser monitorizados com a rede de triangulação, o método da linha de colimação e o método da intersecção. O deslocamento horizontal profundo pode ser monitorizado com o grupo de linha de prumo invertido, extensómetro de múltiplas posições, deflectómetro ou clinómetros.
 - 4) A importante estrutura de falha ou a fraca superfície estrutural no âmbito da fundação da barragem deve ser monitorizada com o grupo de linhas de prumo invertidas, clinómetros ou com o extensómetro de múltiplas posições.
 - 5) O deslocamento vertical do corpo da barragem e da fundação da barragem deve ser monitorizado com o método de nivelamento preciso e o método de alinhamento a laser a vácuo. Também pode ser monitorizado com o método de nivelamento estático do fluido de acordo com as condições específicas. A marca do ponto de partida para a medição precisa do nivelamento deve ser colocada no leito do talude da margem, perto da barragem. A estabilidade da marca de referência inicial deve ser periodicamente inspeccionada com a referência. O marco de referência deve ser disposto na região a jusante da barragem que não será afectada pela deformação da área do reservatório. O sistema de alinhamento a laser de vácuo e a linha de medição do nivelamento estático do fluido devem ser dispostos na galeria horizontal do corpo da barragem; o ponto de controlo de operação para o deslocamento vertical deve ser disposto em ambas as extremidades e seus pontos de referência devem ser dispostos em coordenação com os pontos precisos de referência do nivelamento.
 - 6) O deslocamento vertical do talude da margem e a massa de deslizamento de terras próxima da massa da barragem devem ser monitorizados com o método de nivelamento preciso, o medidor de assentamento ou o extensómetro de múltiplas posições. A região alpina também pode ser monitorizada com o método de elevação triangular. O método da elevação triangular pode ser combinado com o método da rede triangular para obter uma "rede tridimensional" quando necessário.
 - 7) A inclinação do corpo da barragem e da fundação da barragem deve ser monitorizada com o método preciso de nivelamento, o medidor de inclinação ou o método de nivelamento estático do fluido.
- c) A disposição das instalações de monitorização de infiltrações deve cumprir os seguintes requisitos.
- 1) A secção de monitorização longitudinal e a secção de monitorização transversal devem ser dispostas de acordo com a escala de projecto, as condições geológicas da fundação da barragem e as medidas de engenharia de controlo de infiltrações; podem ser definidas 1 a 2 secções de monitorização longitudinal e devem ser seleccionadas pelo menos 3 secções de monitorização transversal; a pressão ascendente da fundação da barragem pode ser monitorizada com o tubo piezómetro ou o osmómetro.
 - A secção de monitorização longitudinal deve ser disposta na primeira linha de cortina de drenagem. Um ponto de referência deve ser disposto em cada secção da barragem. Na secção da barragem com condições geológicas complexas, a quantidade de pontos de referência deve ser adequadamente aumentada.

- As secções transversais de monitorização devem ser dispostas na secção mais alta da barragem, na secção da barragem do talude da margem e na secção da barragem na plataforma da margem do vale com a complexa estrutura geológica. O espaçamento entre as secções transversais de monitorização deve ser de 50 m a 100 m; na região onde as condições geológicas da fundação da barragem são simples, o espaçamento pode ser maior.
 - Pelo menos 3 pontos de referência devem ser dispostos em cada secção de monitorização. Os pontos de referência devem ser colocados em frente da cortina de anti-infiltração, quando necessário. Quando existir uma cortina de anti-infiltração a jusante, os pontos de referência devem ser dispostos no seu lado a montante.
- 2) Na monitorização da pressão de infiltração profunda da fundação da barragem, o tubo piezométrico ou osmómetro deve ser especificamente disposto de acordo com as condições geológicas da fundação da barragem e as principais falhas geológicas. No caso de grandes falhas ou zonas fortemente permeáveis, os pontos de referência devem ser dispostos ao longo da possível direcção de infiltração.
 - 3) A pressão de infiltração do corpo da barragem deve ser disposta entre a superfície a montante da barragem e o tubo de drenagem do corpo da barragem, ao longo do meio de dois tubos de drenagem adjacentes do corpo da barragem, entre as juntas horizontais de construção ao longo do sentido do caudal de água e as juntas horizontais superiores e inferiores de construção do betão do corpo da barragem, e uma fila de medidores de pressão de infiltração deve ser disposta respectivamente para monitorizar a pressão de infiltração das juntas horizontais de construção e do betão do corpo da barragem.
 - 4) Para a monitorização da infiltração ao redor da barragem, 2 a 3 secções de monitorização podem ser dispostas ao longo da linha de caudal atrás da cortina de infiltração para as encostas da barragem em ambas as margens; pelo menos 3 pontos de referência devem ser dispostos em cada secção de monitorização. O furo para o tubo piezométrico deve ser tão profundo quanto a forte camada permeável e abaixo da linha de água subterrânea antes da construção da barragem. Alguns pontos de referência devem ser dispostos em frente à cortina de anti-infiltração, quando necessário.
 - 5) Para monitorizar a infiltração, o açude de medição deve ser disposto em secções na vala de drenagem da galeria de fundação da barragem para monitorizar a infiltração da fundação da barragem, corpo da barragem, leito do rio e ambas as margens, respectivamente. Quando a fuga for relativamente significativa devido a defeitos, juntas frias e fissuras no betão do corpo da barragem, a fuga deve ser recolhida e medida com o método de volume. Em relação ao furo de drenagem com fuga relativamente significativa, a fuga deve ser medida num único furo com o método de volume.

- 6) Para a análise da qualidade da água, devem ser seleccionados os furos representativos de drenagem ou de monitorização de infiltração em redor da barragem, devem ser recolhidas regularmente amostras de água para análise da qualidade da água e comparadas com a qualidade da água do reservatório; se for encontrada água de precipitação ou erosão, devem ser recolhidas amostras de água para análise completa.
- d) A disposição das instalações de monitorização de tensão, deformação e temperatura deve cumprir os seguintes requisitos.
- 1) Uma secção de monitorização vertical em relação ao eixo da barragem, bem como uma ou várias secções de monitorização horizontal, devem ser dispostas ao longo do eixo da secção chave da barragem de monitorização.
 - 2) Os instrumentos de monitorização de tensão e tensão devem ser dispostos de forma concentrada nas secções de monitorização importantes e nas secções transversais de monitorização. Quando necessário, a periferia das grandes aberturas representativas e a galeria, a posição perto da face de junção entre o betão e o leito rochoso ou outras posições com tensão complexa devem ser seleccionadas para traçar os pontos de referência.
 - 3) A secção de monitorização importante da barragem pode ser utilizada como secção da barragem de monitorização da temperatura. Os pontos de referência devem ser dispostos de acordo com o campo de temperatura do corpo da barragem e a temperatura da superfície da barragem e da fundação. A monitorização temporária da temperatura durante o período de construção deve ser combinada com a monitorização permanente da temperatura.
 - 4) Na secção de monitorização importante da barragem, os medidores de juntas podem ser dispostos em diferentes elevações das juntas longitudinais e transversais onde será aplicada gunita. Na secção da barragem do talude da margem, os medidores de juntas devem ser dispostos na superfície de contacto entre o betão e o leito rochoso, de acordo com a condição específica. No que respeita às posições que podem ter fissuras, o medidor de fissuras deve ser colocado no betão.
 - 5) Devem ser recolhidas amostras do parafuso de ancoragem pré-tensionado ou o cabo de ancoragem pré-tensionado para monitorizar as alterações no estado de tensão.
 - 6) Os pontos de referência da tensão de reforço podem ser dispostos nas estruturas importantes de betão armado.

10.2.2 A monitorização da barragem do arco deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) A monitorização de rotina da barragem em arco deve focar-se nas deformações do corpo da barragem, no suporte do arco e no infiltração. Os itens de monitorização podem ser determinados de acordo com a altura da barragem, características do projecto e condições geológicas.

- b) O controlo do deslocamento horizontal e da deflexão deve respeitar as seguintes disposições
- 1) O deslocamento horizontal do corpo da barragem e da fundação da barragem pode ser monitorizado pelo método de linha normal, método semi-linear, rede de triangulação, método de intersecção frontal e método transversal.
 - O método da linha normal é preferencial para monitorizar o deslocamento horizontal do corpo da barragem e a fundação da barragem.
 - A linha de prumo invertida deve ser disposta nas extremidades das semi-linhas e fios como ponto de controlo da operação.
 - O ponto fixo do método de intersecção pode ser verificado com a rede de triangulação.
 - A estabilidade da linha de prumo invertida utilizada como ponto de controlo da operação deve ser verificada periodicamente pela rede de controlo de monitorização horizontal.
 - 2) O deslocamento horizontal do suporte do arco e da superfície do talude da margem próxima da área da barragem pode ser monitorizado com a rede de triangulação ou a rede de trilateração, o método de intersecção e o método semi-linear. O deslocamento horizontal do suporte do arco e da superfície do talude da margem junto da área da barragem, assim como o deslocamento horizontal devido a falhas geológicas como falhas e fissuras podem ser monitorizados com o grupo de prumo invertido, ou monitorizados com instrumentos de medição eléctricos, tais como um medidor de deformação do leito rochoso, extensómetro de múltiplas posições e inclinómetro de furo, que devem ser dispostos de acordo com as várias condições.
 - 3) A deflexão do corpo da barragem deve ser monitorizada com o método de linha vertical. Deve haver pelo menos três pontos de referência de deflexão na secção de monitorização da barragem.
- c) O controlo do deslocamento vertical e da inclinação deve respeitar as seguintes disposições.
- 1) O deslocamento vertical do corpo da barragem e da fundação da barragem deve ser monitorizado com o método de nivelamento preciso. Também pode ser monitorizado com o método de nivelamento estático do fluido de acordo com a condição específica.
 - A marca do ponto de partida para a medição precisa do nivelamento deve ser colocada no leito do talude da margem, perto da barragem. A estabilidade da marca de referência inicial deve ser periodicamente inspeccionada com a referência. A referência deve ser disposta a jusante da barragem onde a deformação do reservatório não será afectada ou terá uma ligeira influência.

- O método de nivelamento estático do fluido aplica-se à monitorização do deslocamento vertical do corpo da barragem e da fundação da barragem na galeria horizontal do corpo da barragem; seus pontos de referência devem ser dispostos em combinação com os pontos precisos de nivelamento.
- 2) O deslocamento vertical do talude da margem e o deslizamento de terras próximo da área da barragem devem ser monitorizados com o método de nivelamento preciso. O método da elevação triangular também pode ser usado na região alpina. O método da elevação triangular pode ser combinado com o método da triangulação para obter uma "rede tridimensional", quando necessário.
 - 3) A inclinação do corpo do arco de gravidade e da fundação da barragem deve ser monitorizada com o método de nivelamento preciso ou com o método de nivelamento estático do fluido.
- d) O controlo da infiltração deve cumprir as seguintes disposições.
- 1) Para a monitorização da pressão de elevação na fundação da barragem gravitacional, o tubo piezómetro ou osmómetro pode ser disposto na secção de monitorização longitudinal e na secção de monitorização transversal.
 - A secção de monitorização longitudinal deve ser colocada na primeira linha de cortina de drenagem por detrás da cortina anti-infiltração; um ponto de referência deve ser colocado em cada secção da barragem. Na secção com condições geológicas complexas, a quantidade de pontos de referência pode ser aumentada adequadamente.
 - A secção de monitorização transversal deve ser colocada no sentido radial; a posição da secção deve ser determinada de acordo com a altura da barragem, o comprimento da barragem, a espessura da barragem e as condições geológicas. Devem existir pelo menos três pontos de referência para a pressão de elevação na secção de monitorização transversal. Os pontos de referência podem ser colocados em frente da cortina de gunitagem na secção importante de monitorização da barragem, quando necessário.
 - As barragens de arco fino com boas condições geológicas podem ser equipadas com menos ou nenhuma instalação de monitorização de pressão ascendente.
 - 2) Para monitorizar a pressão de infiltração profunda da fundação da barragem, o tubo piezométrico ou o osmómetro pode ser especificamente disposto de acordo com as condições geológicas da fundação da barragem e as principais falhas geológicas existentes para monitorizar a pressão de infiltração da parte profunda da fundação da barragem e do leito rochoso no suporte do arco.
 - 3) A monitorização da pressão de infiltração do corpo da barragem não pode ser realizada para o corpo da barragem em arco fino; para a barragem em arco de gravidade, o osmómetro pode ser disposto para monitorização se for necessário observar a eficiência dos tubos de drenagem do corpo da barragem e a distribuição da pressão de infiltração do corpo da barragem.

- 4) Para monitorização da infiltração em redor da barragem, 2 a 3 secções de monitorização devem ser dispostas ao longo da linha de caudal por detrás da cortina de infiltração para as encostas da barragem em ambas as margens; pelo menos 3 furos de observação devem ser dispostos em cada secção de monitorização. O furo deve atingir o estrato fortemente permeável e ser perfurado através da linha de água subterrânea antes da construção da barragem.
 - 5) Para monitorizar a infiltração, o açude de medição deve ser disposto na vala de drenagem na galeria da fundação da barragem para monitorizar a infiltração da fundação da barragem e do corpo da barragem, respectivamente. No que respeita aos furos de drenagem com infiltrações relativamente altas, a medição deve ser efectuada num único furo com o método de volume.
- e) A monitorização do stress, tensão e temperatura deve cumprir as seguintes disposições.
- 1) A secção de monitorização e a secção transversal de monitorização do corpo da barragem deve ser seleccionada de acordo com a altura, comprimento, forma, estrutura e condições geológicas da barragem, e de acordo com o sistema de arcos e o sistema de vigas.
 - A secção de monitorização vertical perpendicular ao eixo da barragem pode ser disposta ao longo da direcção radial na coroa do arco, arco 1/4 ou viga da consola com uma grande abertura.
 - A secção transversal de monitorização deve ser disposta na posição com a tensão máxima de suporte do arco.
 - A secção da barragem de monitorização da temperatura da barragem em arco deve ser a secção importante da barragem de monitorização do sistema de monitorização de segurança.
 - A secção de monitorização deve ser disposta ao longo da secção central da secção da barragem.
 - 2) No que diz respeito à disposição dos instrumentos de monitorização, os instrumentos de monitorização de esforço e tensão devem ser dispostos de forma concentrada na secção de monitorização e na secção transversal de monitorização da barragem em arco. Os pontos de referência podem ser dispostos na abertura representativa, na galeria e na junta da barragem, quando necessário. O ponto de monitorização da temperatura corporal da barragem deve ser disposto de acordo com o estado do campo de temperatura.
 - 1) O impulso tangencial e a força de cisalhamento radial do suporte do arco deve ser o foco da monitorização de tensões da barragem em arco. Para além do extensómetro, o medidor de tensão de compressão também pode ser disposto na direcção do impulso do arco para monitorizar directamente a impulso tangencial do arco.

- 2) A quantidade e a disposição dos instrumentos nas matrizes de medição da tensão devem ser determinadas de acordo com o estado de tensão dos pontos de monitorização.
- 3) Na zona de tensão da barragem em arco, no calcanhar da barragem ou em outras partes limítrofes onde possam ocorrer tensões de tracção, o medidor de fissuras também pode ser colocado para monitorizar as possíveis fissuras ou a situação de combinação do betão e da rocha, para além do medidor de tensão.
- 4) Na secção da barragem de monitorização de temperatura, 3 a 7 secções transversais de monitorização podem ser dispostas de acordo com as diferentes alturas da barragem. 3 a 5 pontos de referência podem ser dispostos na linha de intersecção entre a secção transversal de monitorização e a secção central da barragem. Na posição próxima da face da barragem com um gradiente de temperatura relativamente acentuado ou em torno da grande abertura, a quantidade de pontos de referência pode ser adequadamente aumentada. Quando a diferença de luz solar entre ambas as margens da barragem em arco é relativamente significativa, os pontos de referência de temperatura devem ser dispostos nas superfícies a jusante dos encontros esquerdo e direito do arco. Pontos de referência de temperatura adicionais podem ser dispostos na secção transversal de monitorização de tensão do suporte do arco, se necessário.
- 5) Para monitorização da temperatura da fundação da barragem, podem ser colocados furos de 5 m a 10 m de profundidade no fundo da secção de monitorização da temperatura e os medidores de temperatura podem ser enterrados a diferentes profundidades.
- 6) A monitorização temporária da temperatura durante o período de construção deve ser combinada com a monitorização permanente da temperatura.
- 7) Para monitorização das mudanças de abertura das juntas transversais ou longitudinais na barragem em arco, um medidor de fissuras controlado pode ser disposto no centro da área de gunitagem da junta da barragem para monitorização.

10.2.3 A monitorização da barragem de enrocamento com face de betão deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) As instalações de monitorização da barragem de enrocamento com face de betão devem ser dispostas de acordo com os seguintes princípios.
 - 1) A monitorização interna da deformação deve ser feita em combinação com a monitorização externa da deformação para reflectir o estado de funcionamento da barragem.
 - 2) Os pontos de observação do deslocamento na superfície externa podem ser dispostos em intervalos iguais.

- 3) Para monitorização interna, pelo menos uma secção transversal de monitorização deve ser disposta na posição com a altura máxima da barragem e as secções longitudinais de monitorização devem ser dispostas ao longo do eixo da barragem.
 - 4) As instalações internas de monitorização devem ser mantidas afastadas da perturbação causada pela construção e facilitar a operação de monitorização para garantir que a monitorização necessária do projecto ainda possa ser realizada sob condições climáticas adversas.
 - 5) Deve ser dada preferência a itens de monitorização, como deformação e infiltração, com ênfase na deformação da face de betão, deflexão tridimensional da articulação periférica, deslocamento do corpo da barragem e infiltração.
- b) O âmbito previsto dos valores de monitorização deve ser determinado e o tipo e a gama de medição dos instrumentos de monitorização devem ser seleccionados de acordo com os resultados do cálculo do projecto e os resultados da monitorização de projectos semelhantes.
- c) Os seguintes itens de monitorização devem ser organizados:
- 1) deslocamento vertical e deslocamento horizontal da face da barragem;
 - 2) deslocamento vertical no corpo da barragem, deslocamento horizontal no sentido do rio e deslocamento horizontal ao longo do eixo da barragem;
 - 3) deslocação conjunta;
 - 4) deformação facial e deformação;
 - 5) se a fundação da barragem contiver uma camada de cobertura, o item de monitorização do assentamento deve ser disposto para a camada de cobertura da fundação da barragem;
 - 6) infiltração.

10.2.4 A monitorização da barragem de terra-rocha compactada deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) As instalações de observação devem ser providenciadas para a barragem de terra e enrocamento. Os itens de observação podem ser determinados de acordo com a importância do projecto, tipo de barragem, altura da barragem e condições geológicas.
- b) A observação da terra e da barragem de enrocamento inclui principalmente a inspecção visual de rotina e a observação externa. Os itens de observação a dispor devem incluir principalmente o assentamento e deslocamento superficial, a infiltração, a turbidez da água infiltrada e os níveis de água a montante/jusante.

- c) 1 a 2 secções de observação de assentamento e deslocamento horizontal devem ser dispostas para a barragem de terra e de enrocamento ao longo do eixo da barragem; 2 a 3 pontos de observação devem ser dispostos no coroamento da barragem e no talude a jusante da barragem em cada secção. Os pontos de deslocamento e de assentamento devem ser dispostos na ligação entre a barragem de terra e a estrutura de betão, as posições com tubos enterrados sob a barragem e a posição com uma mudança na profundidade de enchimento.
- d) O método de medição do volume do método do açude de medição de água pode ser usado para observar o caudal de infiltração, e a turbidez da água infiltrada deve ser observada.
- e) Para a barragem sobre uma camada de cobertura de cascalho de areia, os tubos de observação do nível de água devem ser dispostos na fundação da barragem, e 1 a 2 secções de observação devem ser dispostas ao longo do eixo da barragem. Cada secção deve estar equipada com 2 a 3 tubos de observação. O tubo de observação da linha de infiltração do corpo da barragem deve ser disposto, quando necessário.
- f) Para a barragem construída sobre fundação de solo mole, a deformação do assentamento deve ser observada durante o período de construção; juntamente com a subida do corpo da barragem, os pontos de observação para o deslocamento do assentamento devem ser dispostos nos taludes da barragem a montante/jusante e para além da inclinação do pé; as secções devem ser dispostas em intervalos de 50 m a 100 m ao longo do eixo da barragem; 3 a 5 pontos de observação devem ser dispostos em cada secção. Os pontos de referência durante o período de construção devem ser combinados com os pontos de medição permanentes. Os tubos de observação da pressão dos poros da fundação da barragem devem ser dispostos, quando necessário.
- g) Quando as fundações são desmontáveis, os pontos de medição do assentamento das fundações e os pontos de referência do deslocamento do corpo da barragem podem ser dispostos.
- h) A observação do aspecto (tais como fissuras, colapsos, revoluções, ebulição da areia e explosão da água) deve ser realizada frequente e periodicamente para a terra e para a barragem de enrocamento. O descarregador de cheias, a comporta do túnel de transporte de água e o guincho devem ser inspecionados periodicamente para garantir que a comporta pode ser aberta e fechada com flexibilidade.
- i) Todos os dados e resultados da inspecção observados devem ser classificados e analisados a tempo; as medidas oportunas devem ser tomadas em caso de qualquer anomalia.

10.2.5 A monitorização da casa das máquinas deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) A monitorização externa da casa das máquinas deve incluir a monitorização do deslocamento das estruturas, assentamento, pressão de elevação das fundações e infiltração.

- b) No que diz respeito às fundações da casa das máquinas com condições geológicas precárias, a necessária monitorização das tensões e deformações do solo deve ser organizada de acordo com o projecto do tratamento das fundações.
- c) No que diz respeito à fundação da casa das máquinas com aquífero confinado e à fundação da casa das máquinas com superfície de deslizamento profundo, o equipamento de medição da pressão profunda deve ser enterrado, além da monitorização da pressão ascensional ao longo da superfície da fundação da estrutura.
- d) No que diz respeito à monitorização da estabilidade do talude dentro da área da casa das máquinas, a deformação necessária do deslocamento do talude, o nível das águas subterrâneas e a monitorização das infiltrações devem ser dispostos de acordo com as condições hidrogeológicas e geológicas de engenharia, bem como com o projecto de protecção de engenharia.

10.2.6 A monitorização do talude deve cumprir os seguintes requisitos.

- a) Deve ser dada prioridade à monitorização da estabilidade global do talude, enquanto a monitorização da estabilidade local deve ser tida em conta. A monitorização da estabilidade baseia-se principalmente na deformação do talude. O deslocamento da superfície deve ser monitorizado principalmente no caso em que a superfície do deslizamento de terras já esteja determinada.
- b) A monitorização de deslocamento e deformação inclui monitorização externa (monitorização de deslocamento e assentamento do talude, monitorização de comprimento e largura de fissuras) e monitorização interna (monitorização de deformação subterrânea, monitorização de superfície deslizante ou de actividade de falha).
- c) A monitorização das águas subterrâneas inclui a monitorização do lençol freático e da pressão, da descarga nos pontos de drenagem e da qualidade da água.
- d) A monitorização das estruturas de reforço de taludes inclui a monitorização do esforço de tracção da pilha resistente ao deslizamento, furo anti-cisalhamento, furo de ancoragem, cabo de ancoragem e parede de retenção.
- e) A monitorização especial de taludes importantes de engenharia inclui a monitorização da precipitação, tensão da crusta, terramoto, etc.
- f) Um ou mais perfis de monitorização representativos devem ser definidos considerando as características geológicas e de engenharia do talude de reforço, sendo que com cada perfil tem, pelo menos, três pontos de monitorização. O perfil de monitorização deve ser combinado, tanto quanto possível, com o perfil de exploração geológica, como com o perfil de análise de estabilidade. A disposição dos pontos de monitorização do deslocamento superficial deve ser combinada com a localização dos pontos de monitorização da deformação subterrânea para correlacionar o deslocamento superficial com a deformação subterrânea.

- g) Monitorização de deslocamento superficial: a rede de triangulação e a rede de nivelamento devem ser definidas para taludes significativos. O método de levantamento geodésico deve ser usado para monitorizar os pontos de observação de superfície. Em geral, os taludes podem ser monitorizados através de métodos de medição simples, como a linha de visão.
- h) A monitorização da superfície do talude e fissuras profundas: medidores tridimensionais ou simples de juntas são utilizados para a monitorização de acordo com a sua importância. A inspecção e monitorização de patrulhamento geológico da distribuição, quantidade e comprimento também devem ser realizadas para as fissuras superficiais.

11 Resistência do betão, durabilidade e desempenho do aço

11.1 Resistência do betão

11.1.1 O betão deve cumprir os requisitos de resistência e satisfazer os requisitos de durabilidade de baixa permeabilidade, resistência à geadas, anti-erosão e anti-decapagem, respectivamente, de acordo com as condições de trabalho e as condições climáticas regionais das estruturas. No que respeita à estrutura de betão de grande volume com requisitos relativamente elevados para evitar fissuras térmicas, os requisitos de alta expansão e baixas propriedades térmicas devem ser propostos no projecto, devendo ser seleccionado o cimento de baixo calor ou adicionado o aditivo e a mistura apropriados.

11.1.2 O grau de resistência do betão da estrutura de betão armado não deve ser inferior a C20; quando é utilizada um reforço com resistência à tracção de 400 MPa ou superior, o grau de resistência do betão não deve ser inferior a C25. O grau de resistência do betão da estrutura de betão pré-tensionado não deve ser inferior a C40.

11.1.3 Os valores de projecto f_c e f_t para a compressão axial e a resistência à tracção axial do betão devem ser determinados de acordo com a Tabela 32. No cálculo de elementos de betão armado moldado no local sob compressão axial e compressão excêntrica, se o lado longo da secção ou o diâmetro for inferior a 300 mm, o valor de concepção da resistência do betão na tabela deve ser multiplicado pelo coeficiente 0,8; esta restrição não pode ser imposta quando a qualidade do elemento (como a colocação do betão, a secção transversal e as dimensões do eixo) estiver garantida.

Tabela 32 Valor de concepção da resistência do betão

Unidade: N/mm²

Variedade de força	Símbolo	Grau de resistência do betão									
		C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60
Força compressiva axial	f_c	7,2	9,6	11,9	14,3	16,7	19,1	21,1	23,1	25,3	27,5
Resistência à tracção axial	f_t	0,91	1,10	1,27	1,43	1,57	1,71	1,80	1,89	1,96	2,04

11.1.4 Na concepção dos elementos estruturais da estrutura de betão, a resistência a longo-prazo do betão não deve ser utilizada. No entanto, a resistência compressiva aos 60 dias ou 90 dias pode ser utilizada após avaliação suficiente de acordo com o tipo de estrutura, condições climáticas regionais e tempo de transferência de carga. A relação de aumento da resistência à compressão em diferentes idades do betão deve ser determinada através de teste. Se os dados de teste não estiverem disponíveis, a relação pode ser usada com referência à Tabela 33.

Tabela 33 Razão de resistência compressiva em diferentes idades do betão

Variedade de cimento	Idade do betão			
	7 dias	28 dias	60 dias	90 dias
Cimento Portland comum	0,55-0,65	1,0	1,10	1,20
Cimento de escória de alto-forno Portland	0,45-0,55	1,0	1,20	1,30
Cimento Portland-pozzolana	0,45-0,55	1,0	1,15	1,25

NOTA Na tabela, o valor é a relação quando a resistência à idade de 28 dias é presumivelmente 1,0; em relação aos membros curados com vapor, o aumento da resistência à compressão juntamente com a idade não será considerado; na tabela, as influências da mistura e do aditivo do betão não são consideradas nos valores; na tabela, os valores aplicam-se ao betão com uma resistência de betão M30 ou inferior; a relação da resistência à compressão do betão com um grau de resistência superior a M30 deve ser determinada através de testes.

11.1.5 O módulo de elasticidade compressiva ou de tração E_c do betão aos 28 dias de idade pode ser adoptado com referência à Tabela 36. A razão de Poisson ν_c do betão pode ser de 0,167. O módulo de cisalhamento G_c do betão pode ser 0,4 vezes o módulo de elasticidade E_c do betão na Tabela 34.

Tabela 34 Módulo de elasticidade do betão

Grau de resistência do betão	E_c (N/mm ²)	Grau de resistência do betão	E_c (N/mm ²)
C15	$2,20 \times 10^4$	C40	$3,25 \times 10^4$
C20	$2,55 \times 10^4$	C45	$3,35 \times 10^4$
C25	$2,80 \times 10^4$	C50	$3,45 \times 10^4$
C30	$3,00 \times 10^4$	C55	$3,55 \times 10^4$
C35	$3,15 \times 10^4$	C60	$3,60 \times 10^4$

11.1.6 A densidade do betão deve ser determinada por meio de testes. Sem dados de teste disponíveis, a densidade pode ser presumida como sendo 24 kN/m³ para betão de cimento liso; e 25 kN/m³ para betão de cimento armado.

11.2 Durabilidade do betão

11.2.1 As estruturas hidráulicas permanentes de betão devem cumprir os requisitos de durabilidade. Os requisitos de durabilidade correspondentes podem ser apresentados de acordo com a categoria ambiental da estrutura. A categoria do ambiente pode ser adequadamente melhorada ou piorada de acordo com o estado real das medidas de protecção da superfície da estrutura, bem como o nível de controlo de qualidade de construção prevista, mas a categoria do ambiente não deve ser inferior à categoria I nem superior à categoria V. O requisito de durabilidade pode não ser necessário para estruturas temporárias.

11.2.2 Os requisitos de durabilidade das estruturas de betão devem ser projectados de acordo com a vida útil de projecto da estrutura e com a categoria ambiental especificada na Tabela 35. Quando as condições técnicas não podem garantir que todos os membros estruturais (componentes) da estrutura possam alcançar a mesma durabilidade que a vida útil projectada da estrutura, o projecto deve estipular o número de vezes que os membros estruturais (componentes) devem ser revistos ou substituídos durante a vida útil projectada. Todos os membros estruturais indicados que requeiram revisão ou substituição devem ser projectados tendo em conta a sua capacidade para serem reparados ou substituídos em condições de construção e funcionamento. A vida útil prevista dos membros estruturais não qualificados para reparação deve ser igual à vida útil prevista de toda a estrutura.

Tabela 35 Categorias de ambiente para estruturas hidráulicas de betão

Categorias ambientais	Condições
I	Ambiente interior normal
II	Ambiente húmido interior; ambiente exterior; subaquático ou subterrâneo a longo-prazo
III	Região de alteração do nível de água, ambiente subterrâneo com águas subterrâneas corrosivas; sob a água do mar
IV	Região atmosférica sobre o mar; região de acção da névoa salina leve
V	Ambiente em que o sal de degelo é utilizado; região de alteração do nível de água do mar e região de salpicos de ondas; região atmosférica no mar no limite de 15 m acima do nível médio do mar; névoa salina pesada região de acção; ambiente com acção corrosiva elevada do meio
NOTA 1	O limite entre a região atmosférica no mar e a região de salpicos de ondas é o nível máximo de água mais 1,5 m; o limite entre a região de salpicos de ondas e a região de alteração de nível é o nível máximo de água menos 1,0 m; o limite entre a região de alteração de nível e a região subaquática é o nível mínimo de água menos 1.0 m; a região de acção da névoa salina pesada refere-se ao ambiente exterior na costa com um limite de 50 m da linha da maré cheia; a região de acção da névoa salina leve refere-se ao ambiente exterior na costa com um limite de 50 m a 200 m da linha da maré cheia.
NOTA 2	No que diz respeito às estruturas sob condições ambientais das categorias II e III com descongelamento relativamente elevado, a sua categoria ambiental pode ser melhorada por uma categoria.

11.2.3 A vida útil projectada da estação PCH é de 50 anos. Os requisitos básicos de durabilidade do betão armado devem cumprir os requisitos da Tabela 36.

Tabela 36 Requisitos básicos para a durabilidade do betão armado

Categoria de ambiente	Grau mínimo de resistência do betão	Dosagem mínima do cimento (kg/m ³)	Relação máxima do cimento-água	Relação máxima do ião de cloro (%)	Teor máximo alcalino (kg/m ³)
I	C20	220	0,60	1,0	Não limitado
n	C20	260	0,55	0,3	3.0
III	C25	300	0,50	0,2	3.0
IV	C30	320	0,45	0,1	2.5
V	C35	360	0,40	0,06	2.5

NOTA 1 O grau de resistência mínimo do betão para a estrutura de betão pré-tensionado com fio de aço e o cordão de aço não deve ser inferior a M40; a dosagem mínima de cimento não deve ser inferior a 300 kg/m³

NOTA 2 Quando o aditivo ou aditivo ativo que poderia melhorar a durabilidade é adicionado ao betão, a dosagem mínima de cimento pode ser adequadamente reduzida;

NOTA 3 No que respeita à estrutura superior da ponte, bem como às estruturas das vigas e pilares em ambiente aberto, o grau de resistência do betão não deve ser inferior a C25;

NOTA 4 O teor de iões de cloro refere-se à percentagem de iões de cloro na dosagem do cimento; o teor de iões de cloro no elemento de betão pré-tensionado não deve ser superior a 0,06% ;

NOTA 5 Quando um agregado de reacção não alcalina é utilizado, o conteúdo alcalino no betão não pode ser limitado;

NOTA 6 No que respeita aos elementos estruturais de uma estrutura no ambiente das categorias III e IV e sujeita a geadas extremas, a relação de água-cimento máxima do betão deve satisfazer os requisitos de concepção de resistência à geadas da estrutura hidráulica;

NOTA 7 Na região de alteração do nível de água do mar e na região de salpicos de ondas da área quente, todos os tipos de requisitos básicos para a durabilidade do betão devem ser adequadamente mais rigorosos que os requisitos especificados na Tabela.

11.2.4 Quando for necessário ter em conta a durabilidade para a estrutura de betão liso, os requisitos básicos de durabilidade podem ser reduzidos em uma categoria a partir da categoria de ambiente real e com referência à Tabela 36 desta documentação.

11.2.5 No que diz respeito à estrutura com um requisito de anti-infiltração, o betão deve cumprir as disposições do respectivo grau de anti-infiltração. O grau de anti-infiltração do betão deve ser testado de acordo com a amostra padrão aos 28 dias de idade; e os graus de anti-infiltração para o betão incluem: W2, W4, W6, W8, W10 e W12. Os graus de anti-infiltração também podem ser medidos com a amostra na idade de 60 dias ou 90 dias, com referência ao tempo em que a estrutura começa a suportar a pressão da água. Os graus de anti-infiltração do betão para a estrutura devem ser determinados de acordo com a cabeça, o gradiente hidráulico, bem como as condições de drenagem a jusante, as condições de qualidade da água e a classificação de perigo da água de infiltração, e não devem ser inferiores ao valor especificado na Tabela 37.

Tabela 37 Valores mínimos admissíveis para os graus de anti-infiltração do betão

Não.	Tipo estrutural e condições de funcionamento		Graus de anti-infiltração
1	Superfície a jusante da estrutura de grande volume de betão e interior de estruturas		W2
2	Superfície de retenção de água da estrutura de betão de grande volume	$H < 30$	W4
		$30 \leq H < 70$	W6
		$70 \leq H < 150$	W8
		$H \geq 150$	W10
3	Face a jusante dos elementos estruturais da estrutura de betão liso e do betão armado, onde a água pode infiltrar-se livremente	$I < 10$	W4
		$0 \leq I < 30$	W6
		$30 \leq I < 50$	W8
		$I \geq 50$	W10
<p>NOTA 1 <i>H</i> refere-se à cabeça (m) e <i>I</i> refere-se ao gradiente hidráulico;</p> <p>NOTA 2 Quando a barreira impermeável dedicada e fiável tiver sido colocada na superfície da estrutura, o grau de anti-infiltração do betão especificado nesta tabela pode ser adequadamente reduzido;</p> <p>NOTA 3 No que diz respeito às estruturas sujeitas à acção da água corrosiva, o grau de anti-infiltração do betão deve ser avaliado através de testes específicos, mas não deve ser inferior a W4;</p> <p>NOTA 4 No que respeita aos elementos estruturais (tais como o muro corta-águas da fundação) enterrados na fundação, o grau de anti-infiltração do betão pode ser seleccionado de acordo com as disposições do item 3 desta Tabela;</p> <p>NOTA 5 No que respeita aos elementos estruturais de betão liso e às estruturas de betão armado onde a água pode escorrer livremente da face a jusante, o grau de anti-infiltração do betão pode ser reduzido em um grau, de acordo com o item 3 da tabela, quando a altura for inferior a 10 m;</p> <p>NOTA 6 No que diz respeito às estruturas na região de frio extremo, na região fria e com um declive hidráulico relativamente acentuado, o grau de anti-infiltração deve ser aumentado em um grau, de acordo com as disposições da Tabela.</p>			

11.2.6 O grau de resistência do betão à geadas deve ser medido com o método de teste de geadas rápida usando a amostra com 28 dias de idade, que contém seis graus, nomeadamente F400, F300, F200, F150, F100 e F50. Após o teste, o grau de resistência à geadas também pode ser medido com a amostra aos 60 ou 90 dias de idade. No que diz respeito às estruturas com necessidade de resistência à geadas, os graus de resistência à geadas devem ser seleccionados com referência ao Quadro 38, de acordo com as regiões climáticas, tempos de ciclo de congelamento, condições microclimáticas locais da superfície, grau de saturação de humidade e condições de manutenção. Quando existem muitos factores desfavoráveis, o grau de resistência à geadas pode ser aumentado em um grau.

Tabela 38 Graus de resistência à geada para betão

Não.	Regiões climáticas	Frio extremo		Frio		Médio
		≥100	<100	≥100	<100	
1	<p>Locais sujeitos a geada extrema e difíceis de resolver</p> <p>(1) Posição da água a jusante da central de energia hidroeléctrica, a região de alteração do nível de água no Inverno na entrada/saída da central de energia hidroeléctrica de armazenamento, a segunda fase de betão da fenda da comporta e a fundação dos carris;</p> <p>(2) Membros estruturais e betão de segunda fase na região de alteração do nível de água da comporta de navegação navegável no inverno ou não navegável sob a influência do nível de água a jusante da central de energia hidroeléctrica;</p> <p>(3) Superfície de transbordo e betão de segunda fase do descarregador de cheias, o furo de passagem ou outras posições de transporte de água com velocidade de caudal superior a 25 m/s, com gelo flutuante, sedimentos pesados ou carga pesada no leito;</p> <p>(4) Abrir a conduta forçada de betão armado, a calha e a comporta de enchimento de paredes finas com água no inverno.</p>	F300	F300	F300	F200	F100
2	<p>Locais sujeitos a fortes geadas, mas com facilidade de resolução</p> <p>(1) Região de alteração do nível de água no inverno, na face a montante da estrutura de betão de grande volume;</p> <p>(2) A parte traseira da central de energia hidroeléctrica ou comporta de navegação, barricada e talude de protecção do canal de aproximação;</p> <p>(3) Superfícies de transbordo do descarregador de cheia, túnel de transporte de água e sistema de desvio de água com uma velocidade de caudal inferior a 25 m/s;</p> <p>(4) Pavimento, corrimões da plataforma, cornija, parede, laje, coluna, plataforma, galeria ou paredes finas do veio vertical, propenso à acumulação de neve, geada ou saturação.</p>	F300	F200	F200	F150	F50
3	<p>Locais sujeitos a geadas relativamente fortes</p> <p>(1) Localizações expostas da estrutura de betão de grande volume no lado sombreado;</p> <p>(2) Estruturas de canais com água ou propensas à acumulação de neve e gelo durante muito tempo no Inverno</p>	F200	F200	F150	F150	F50

Tabela 38 (continuação)

Não.	Regiões climáticas	Frio extremo		Frio		Médio
		≥100	<100	≥100	<100	
	Tempos de ciclo anual de congelamento/descongelamento					—
4	Locais sujeitos a geadas relativamente regulares (1) Locais expostos da estrutura de betão de grande volume no lado ensolarado (2) Estruturas de canal seco sem água no inverno (3) Membro da parede subaquática; (4) Superfície de transbordo com uma velocidade de caudal superior a 25 m/s	F200	F150	F100	F100	F50
5	Betão debaixo de água, no solo e o betão interno de grande volume	F50	F50	—	—	—

- NOTA 1** Os tempos do ciclo anual de congelamento-degelo referem-se ao ciclo alternativo da temperatura do ar que desce desde acima dos 3 °C até abaixo dos -3 °C e que sobe até acima de +3 °C em 1 ano e os tempos de subida e descida dos níveis de água pré-definidos quando a temperatura média diária do ar é inferior a -3 °C em 1 ano, o que for maior;
- NOTA 2** O padrão de zonamento climático é o seguinte:
A região de frio extremo refere-se à região com a temperatura média mensal mais baixa, inferior ou igual a -10 °C ao longo dos anos;
A região fria refere-se à região com a mais baixa temperatura média mensal superior a -10 °C, mas inferior ou igual a -3 °C ao longo dos anos;
Região amena refere-se à região com a mais baixa temperatura média mensal superior a -3 °C.
- NOTA 3** A área de alteração do nível de água no inverno refere-se aos locais de 0,5 m a 1 m abaixo do nível mínimo possível de água no inverno a 1 m (lado ensolarado), 2 m (lado sombreado) ou 4 m (região da água a jusante da central de energia hidroeléctrica) acima do nível máximo possível de água no inverno durante o período de funcionamento.
- NOTA 4** O lado ensolarado refere-se à superfície que não fica sombreada pelo maciço ou edifício se a maior parte dos dias no inverno forem claros e o tempo médio de sol for de 4h ou mais. Caso contrário, deve ser considerado como lado sombreado.
- NOTA 5** O grau de resistência do betão à geada na região com a temperatura média mensal inferior a -3 °C deve ser determinado através de experimentação, de acordo com as condições específicas;
- NOTA 6** Na região que não requer de tratamento de resistência à geada, o grau de resistência do betão à geada não deve ser inferior a F50.

11.2.7 O aditivo que entra no ar será misturado no betão resistente à geada. A variedade e quantidade de cimento, aditivo e mistura, a relação água-cimento, proporção da mistura e teor de ar devem ser determinados através de testes ou seleccionados de acordo com os requisitos de projecto de resistência à geada das estruturas hidráulicas. O aditivo que entra no ar deve ser misturado com o betão utilizado no ambiente marinho, apesar de não haver necessidade de resistência à geada.

11.2.8 No que respeita ao betão em contacto com o meio corrosivo, deve ser utilizado cimento anticorrosivo, misturado com aditivo activo de alta qualidade, ou ao mesmo tempo, o revestimento especial de superfície e outras medidas de protecção. Para as peças que sofrem de erosão por cavitação de caudal de alta velocidade, devem ser adoptadas medidas como perfil estrutural razoável, melhoria das condições de ventilação, aumento da densidade do betão, controlo rigoroso da planura da superfície da estrutura ou fixação de camada superficial de protecção especial. Para as peças com abrasão de sedimentos, devem ser utilizados agregados duros, a relação água-cimento deve ser reduzida, o grau de resistência do betão deve ser melhorado e o método de construção deve ser melhorado; devem ser utilizados materiais de protecção da superfície resistentes ao desgaste ou betão de fibras, quando necessário.

11.2.9 Quando a categoria ambiental for categoria IV ou categoria V, a forma da estrutura deve ser regular, não devendo ser utilizado o tipo de estrutura com paredes finas, com nervuras e multiangulares. No que respeita à superfície do betão armado e aos locais propensos a elevadas concentrações de sal de descongelação e corrosão elevada por sal com cloro, os materiais anticorrosivos podem ser aplicados por imersão ou revestimento; o inibidor de corrosão pode ser adicionado ao betão; a barra portadora de carga deve utilizar a barra com nervuras com revestimento de epóxi; no que respeita a reforços pré-tensionados, ancoragem e conector, devem ser tomadas medidas de protecção específicas; no que respeita às estruturas importantes, as medidas de protecção catódica podem ser tomadas após a corrosão dos reforços e as condições para a implementação futura da protecção catódica devem ser previstas no projecto e na construção.

11.3 Reforço

11.3.1 O nível de confiança para o valor padrão de força do reforço não deve ser inferior a 95%. O valor padrão de resistência do reforço regular é determinado de acordo com a tensão de ruptura, expressa por f_{yk} e deve ser adoptado com referência à Tabela 39; o valor padrão de resistência do cordão de aço pré-tensionado, fio de aço, barra moldada por calor e aço torcido é determinado de acordo com a tensão de ruptura, expressa por f_{ptk} e adoptada com referência à Tabela 40.

Tabela 39 Valor padrão da força do reforço regular

Unidade: N/mm²

Variedade		Símbolo	d (mm)	f_{yk}
Barra de aço laminada a quente	HPB235 (0235)	ϕ	8~20	235
	HRB335 (20MnSi)	B	6~50	335
	HRB400 (20MnSiV, 20MnSiNb, 20MnTi)	C	6~50	400
	RRB400 (K20MnSi)	C ^R	8-40	400
NOTA 1	O diâmetro d da barra de aço laminado a quente refere-se ao diâmetro nominal;			
NOTA 2	Quando o diâmetro do reforço for superior a 40 mm, deve ser adoptada uma prática de engenharia fiável.			

Tabela 40 Valor padrão da resistência do reforço pré-tensionado

Unidade: N/mm²

Variedade		Símbolo	Diâmetro nominal <i>d</i> (mm)	<i>f</i> _{ptk}	
Fio de aço	1 x 2	φ^S	5, 5,8	1570, 1720, 1860, 1960	
			8,10	1470, 1570, 1720, 1860, 1960	
			12	1470, 1570, 1720, 1860	
	1 x 3		6,2, 6,5	1570, 1720, 1860, 1960	
			8,6	1470, 1570, 1720, 1860, 1960	
			8,74	1570, 1670, 1860	
			10,8, 12,9	1470, 1570, 1720, 1860, 1960	
			1 X3I	8,74	1570, 1670, 1860
			1 x 7	9,5, 11, 1, 12,7	1720, 1860, 1960
	15,2			1 470, 1570, 1670, 1720, 1860, 1960	
	15,7			1770, 1860	
	17,8			1720, 1860	
	(1 x 7)C			12,7	1860
				15,2	1820
			18,0	1720	
Fio de aço sem tensão	Fio de aço liso Arame de aço com nervuras helicoidais	φ^P φ^H	4, 4,8, 5	1470, 1570, 1670, 1770, 1860	
			6, 6,25, 7	1470, 1570, 1670, 1770	
			8, 9	1470, 1570	
			10, 12	1470	
	Fio indentado		φ^I	≤5	1470, 1570, 1670, 1770, 1860
				>5	1470, 1570, 1670, 1770
Barra temperada por calor	40Si2Mn	φ^{HT}	6	1470	
	48Si2Mn		8.2		
	45Si2Cr		10		
Aço torcido	PSB 785	φ^{PS}	18, 25, 32, 36, 40	980	
	PSB 830			1030	
	PSB 930			1080	
	PSB 1080			1230	

NOTA 1 O diâmetro *d* do fio de aço refere-se ao diâmetro circunscrito do fio de aço, ou seja, o diâmetro nominal *D_n*; o diâmetro *d* do fio de aço, barra temperada com calor e aço torcido refere-se ao diâmetro nominal;

NOTA 2 1 x 3| refere-se ao cordão de aço colocado com três fios indentados; (1 x 7)C refere-se ao cordão de aço colocado com sete fios e sujeito a estiragem.

11.3.2 O valor de projecto da resistência à tracção f_y e o valor de resistência à compressão f_y do reforço regular deve ser adoptado com referência à Tabela 41; o valor de concepção da resistência à compressão f_{py} e o valor de concepção da resistência à compressão f'_{py} do reforço pré-tensionado deve ser adoptado com referência à Tabela 42. Quando são utilizados reforços de diferentes variedades nos membros estruturais, cada variedade de reforço deve empregar o seu próprio valor de concepção da força.

Tabela 41 Valores de resistência de concepção do reforço regular

Unidade: N/mm²

Variedade		Símbolo	f_y	f'_{py}
Barra de aço laminada a quente	HPB235(Q235)	Φ	210	210
	HRB335(20MnSi)	B	300	300
	HRB400(20MnSiV, 20MnSiNb, 20MnTi)	C	360	360
	RRB400(K20MnSi)	C ^R	360	360
NOTA Na estrutura de betão armado, quando a resistência à tracção (valor de concepção) do reforço para a tensão axial e os pequenos elementos de tensão excêntrica for superior a 300 N/mm ² , deve ser adoptado o valor de 300 N/mm ² .				

Tabela 42 Valores de resistência de concepção do reforço pré-tensionado

Unidade: N/mm²

Variedade		Símbolo	f_{ptk}	f_{py}	f'_{py}
Cordão de aço	1 x 2 1 x 3 1 x 3l 1 x 7 (1 x 7)C	Φ^S	1470	1040	390
			1570	1110	
			1670	1180	
			1720	1220	
			1770	1250	
			1820	1290	
			1860	1320	
			1960	1380	
Fio de aço sem stress	Fio de aço liso Fio de aço com nervuras indentado Fio indentado	Φ^P Φ^H Φ^I	1470	1040	410
			1570	1110	
			1670	1180	
			1770	1250	
			1860	1320	
Barra temperada com calor	40Si2Mn	Φ^{HT}	1470	1040	400
	48Si2Mn				
	45Si2Cr				
Aço torcido	PSB 785	Φ^{PS}	980	650	400
	PSB 830		1030	685	
	PSB 930		1080	720	
	PSB 1080		1230	820	

11.3.3 O módulo de elasticidade E_s do reforço pode ser adoptado com referência à Tabela 43.

Tabela 43 Módulo de elasticidade E_s do reforço

Unidade: N/mm²

Variedade de reforços	E_s
Reforço de grau HPB 235	$2,1 \times 10^5$
Reforço de grau HRB 335, reforço de grau HRB 400 e reforço de grau RRB 400	$2,0 \times 10^5$
Fio de aço sem tensão (fio de aço liso, fio de aço com nervuras helicoidais e fio indentado)	$2,05 \times 10^5$
Cordão de aço	$1,95 \times 10^5$
Barra temperada com calor e aço torcido	$2,0 \times 10^5$
NOTA O módulo de elasticidade medido pode ser usado para o cordão de aço, quando necessário.	

Apêndice A
(Normativo)
Cálculo do avanço da onda

A. 1 Elementos básicos para o cálculo das ondas criadas pelo vento

A.1.1 Velocidade máxima anual do vento. Refere-se ao valor máximo anual da velocidade média do vento durante 10 minutos à altura de 10 m acima da superfície da água; a velocidade do vento à altura $Z(m)$ acima da superfície da água deve ser multiplicada pelo factor de correcção K_z da Tabela A.1 antes da utilização. Se os dados da estação de observação em terra forem utilizados, devem ser corrigidos para a velocidade do vento à altura de 10 m acima da superfície da água do reservatório, com referência aos dados relevantes. Se os dados de velocidade do vento observados não estiverem disponíveis, a velocidade do vento pode ser estimada de acordo com a força do vento que ocorreu nesta região, com referência à escala de Beaufort para o cálculo das ondas. Na região costeira, a condição de que o nível de cheia e a onda máxima ocorram ao mesmo tempo devem ser considerados.

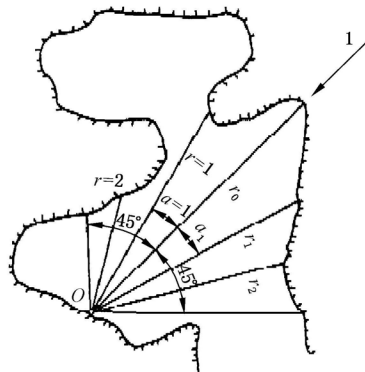
Tabela A.1 Coeficiente de correcção da altura da velocidade do vento

Altura Z (m)	2	5	10	15	20
Correcção Coeficiente K_z	1,25	1,10	1,00	0,96	0,90

A.1.2 O comprimento de busca (busca efectiva) deve ser determinado de acordo com as seguintes condições.

- a) Quando a área da água em ambos os lados da direcção do vento é relativamente larga, a distância linear do ponto de cálculo para o outro lado pode ser usada.
- b) Quando há um estreitamento local na direcção do vento e a largura do ponto de estreitamento b é inferior a 12 vezes o comprimento das ondas calculado, o comprimento da zona de vento pode ser definido como 5 vezes b e, ao mesmo tempo, não é inferior à distância em linha recta do ponto calculado até ao ponto de estreitamento.
- c) Quando a área da água em ambos os lados da direcção do vento é estreita ou a forma da área da água é irregular, ou existe uma barreira como uma ilha, o raio principal pode intersectar-se com o limite da área da água contra o vento a partir do ponto de cálculo, então vários raios devem ser feitos com um intervalo de $7,5^\circ$ em ambos os lados do raio principal e respectivamente intersectar-se com o limite da água do mar. Como mostrado na Figura A. 1, D_0 refere-se à distância do ponto de cálculo ao outro lado na direcção do raio principal, D_i refere-se ao ângulo de intersecção entre o raio i e o raio principal, $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$; refere-se ao ângulo de intersecção entre o raio i e o raio principal, $\alpha_i = 7.5/$ (normalmente $i = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \pm 5$ e ± 6); se presumindo que $\alpha_0 = 0$, o comprimento equivalente da busca D pode ser calculado de acordo com a fórmula (A.1).

$$D = \frac{\sum_i D_i \cos^2 a_i}{\sum_i \cos a_i} \quad (i = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \pm 5, \pm 6) \quad \dots\dots\dots (A.1)$$



Legenda
 1 direção predominante do vento

Figura A.1 Esquema de cálculo do equivalente da busca

A.1.3 Profundidade média da área do mar na busca. A profundidade média deve ser obtida de acordo com o perfil do terreno preparado ao longo da direção do vento; o nível de água calculado deve ser consistente com o nível de água estática sob as condições de concepção correspondentes.

A.2 Cálculo dos parâmetros da onda

A.2.1 A velocidade do vento de projecto para o cálculo da velocidade das ondas deve basear-se nos dados locais da velocidade máxima do vento medida ao longo dos anos e deve ser a seguinte.

- a) Em condições normais de funcionamento (nível normal de água), a velocidade do vento de concepção deve ser 1,5 vezes a média anual da velocidade máxima do vento.
- b) Em condições anormais de funcionamento (nível de água de verificação), a velocidade do vento de concepção deve ser a média anual da velocidade máxima do vento.

A.2.2 De acordo com as condições específicas do reservatório proposto, os parâmetros das ondas devem ser calculados de acordo com as três condições seguintes.

- a) O parâmetro de onda do reservatório na região plana e costeira deve ser calculado de acordo com as Fórmulas (A.2) e (A.3).

$$\frac{gh_m}{v_0^2} = 0.13 \text{th} \left[0.7 \left(\frac{gH_m}{v_0^2} \right)^{0.7} \right] \text{th} \left\{ \frac{0.0018 (gD / v_0^2)^{0.45}}{0.13 \text{th} [0.7 (gH_m / v_0^2)^{0.7}]} \right\} \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

$$\frac{g T_m}{v_0} = 13.9 \left(\frac{g h_m}{v_0^2} \right)^{0.5} \dots\dots\dots (A.3)$$

onde

h_m é a altura média da onda, em m;

T_m é o período médio das ondas, em s;

v_0 é a velocidade do vento calculada, em m/s;

D é o comprimento da busca, em m;

H_m é a profundidade média da área de água, em m;

G é a aceleração da gravidade, aplicar 9.81 m/s².

- b) O parâmetro das ondas dos reservatórios na área montanhosa e plana deve ser calculado de acordo com as Fórmulas (A.4) e (A.5) (aplicam-se a um reservatório profundo, $v_0 < 26.5$ m/s e $D < 7,5$ km).

$$\frac{g h_{2\%}}{v_0^2} = 0.006 25 v_0^{1/6} \left\{ \frac{gD}{v_0^2} \right\}^{1/3} \dots\dots\dots (A.4)$$

$$\frac{g L_m}{v_0^2} = 0.038 6 \left(\frac{gD}{v_0^2} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (A.5)$$

onde

$h_{2\%}$ é a altura das ondas com uma frequência acumulada de 2%, em m;

L_m é o comprimento médio das ondas, em metros.

- c) Os parâmetros das ondas do reservatório no desfiladeiro interior devem ser calculados de acordo com as Fórmulas (A.6) e (A.7) (aplicar a $v_0 < 20$ m/s e $D < 20$ km).

$$\frac{gh}{v_0^2} = 0.007 6 v_0^{-1/12} \left(\frac{gD}{v_0^2} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (A.6)$$

$$\frac{g L_m}{v_0^2} = 0.331 v_0^{-1/2.15} \left(\frac{gD}{v_0^2} \right)^{1/3.75} \dots\dots\dots (A.7)$$

onde

h é a altura da onda $h_{5\%}$ a uma frequência acumulada de 5% quando $gD/v_0^2 = 20$ a 250;

é a altura de onda $h_{10\%}$ a uma frequência acumulada de 10% quando $gD/v_0^2 = 250$ a 1000.

A.2.3 A relação entre a altura de onda h_P na frequência acumulada de P(%) e a altura média de peso pode ser convertida com referência à Tabela A.2.

Tabela A.2 Relação entre a altura da onda h_P e a altura média da onda no acumulado frequência de P(%)

\bar{H}/d	P(%)	0,1	1	2	3	4	5	10	13	20	50
0,0	H_P/\bar{H}	2,97	2,42	2,23	2,11	2,02	1,95	1,71	1,61	1,43	0,94
0,1		2,70	2,26	2,09	2,00	1,92	1,86	1,65	1,56	1,41	0,96
0,2		2,46	2,09	1,96	1,88	1,81	1,76	1,59	1,51	1,37	0,98
0,3		2,23	1,93	1,82	1,76	1,70	1,66	1,52	1,45	1,34	1,00
0,4		2,01	1,78	1,69	1,64	1,60	1,56	1,44	1,39	1,30	1,01
0,5		1,80	1,63	1,56	1,52	1,49	1,46	1,37	1,33	1,25	1,01

A.2.4 O comprimento médio das ondas L_m e o período médio das ondas T_m podem ser convertidos de acordo com a Fórmula (A.8).

$$L_m = \frac{gT_m^2}{2\pi} \operatorname{th} \frac{2\pi H}{L_m} \dots\dots\dots (A.8)$$

A.2.5 A altitude do vento acumulado h_z pode ser convertida de acordo com a Fórmula (A.9).

$$h_z = \frac{kv_0^2 D}{2gH_m} \cos\beta \dots\dots\dots (A.9)$$

onde

k é o coeficiente abrangente de resistência ao atrito, aplicar $3.6E^{-6}$;

β é a intersecção entre a direcção do vento de cálculo e a linha perpendicular ao eixo da barragem, em (°).

A.3 Cálculo do avanço da onda

A.3.1 A onda de concepção da barragem de terra e enrocamento (barragem de enrocamento) aplica o valor de acumulação de $R_{5\%}$ na frequência acumulada de 5%. Em relação à barragem com uma altura de barragem superior a 30 m, deve ser utilizado o valor de acumulação de $R_{1\%}$ com a frequência acumulada de 1%.

A.3.2 Sob a acção directa do vento, a subida da onda para a frente na inclinação única pode ser determinada com o seguinte método.

a) Quando $m = 1,5$ a $5,0$,

$$R_F = \frac{K_\Delta K_V K_F}{\sqrt{1 + m^2}} \sqrt{HL} \dots\dots\dots (A.10)$$

onde

R_F é a subida de onda na frequência acumulada F , em m;

K_Δ é o coeficiente de permeabilidade do factor de rugosidade do talude, a avaliar de acordo com o tipo de protecção superficial. 1,0 para betão betuminoso, 0,9 para betão, 0,75 a 0,8 para alvenaria e 0,85 a 0,9 para relva;

K_V é o coeficiente empírico; a valorizar de acordo com a Tabela A.3;

K_F é a razão de conversão para a relação cumulativa da acumulação, a avaliar de acordo com a Tabela A.4;

m é a relação do talude;

\bar{H} é a altura média da onda na parte da frente do dique, em m;

L é o comprimento médio da onda na parte da frente do dique, em m.

Tabela A.3 Coeficiente empírico

$\frac{V}{\sqrt{gd}}$	≤ 1	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	≥ 5.0
K_V	1.00	1.02	1.08	1.16	1.22	1.25	1.28	1.30

Tabela A.4 Taxa de conversão da frequência acumulada da rodagem K_F

$\frac{\bar{H}}{d}$	$F(\%)$	0.1	1	2	3	4	5	10	13	20	50
< 0.1	$\frac{R_F}{R}$	2.66	2.23	2.07	1.97	1.90	1.84	1.64	1.54	1.39	0.96
$0.1 \sim 0.3$		2.44	2.08	1.94	1.86	1.80	1.75	1.57	1.48	1.36	0.97
> 0.3		2.13	1.86	1.76	1.70	1.65	1.61	1.48	1.40	1.31	0.99

Nota: \bar{R} — significa acumulação, $K_F = \frac{R_F}{\bar{R}}$

b) Quando $m \leq 1,25$,

$$R_F = K_\Delta K_V K_F R_0 \bar{H} \dots\dots\dots (A.11)$$

onde

R_0 é o valor relativo da subida do talude regular ($K_\Delta = 1$) sem vento, a ser determinado de acordo com a Tabela A.5.

Tabela A.5 Valor R_0

$m = \cot \alpha$	0.00	0.50	1.00	1.25
R_0	1.24	1.45	2.20	2.50

c) Quando $1,25 < m < 1,5$, os valores calculados de $m = 1,5$ e $m = 1,25$ podem ser determinados por interpolação.