

DOI: 10.13544/j.cnki.jeg.2014.04.016

从淮河出山店水库的斑脱岩事件到葛洲坝工程泥化夹层恶化,黏土岩泥化预测研究*

曲永新

(中国科学院地质与地球物理研究所,中国科学院页岩气与地质工程重点实验室 北京 100029)

摘要 在1958年河南出山店水库建设中,因对坝基中斑脱岩在工程运营中工程性质的变化问题缺乏研究而被迫下马。10年后,在葛洲坝工程建设中又遇到了同类问题。多年的宏观微观研究结果表明,黏土岩(斑脱岩)泥化夹层的形成是层间剪切破坏的结果。因此,坝基中黏土岩不会产生泥化。

关键词 斑脱岩 黏土岩 泥化夹层 预测

中图分类号:P642.3 文献标识码:A

FROM THE BENTONITE INCIDENT AT THE CHUSHANDIAN RESERVOIR PROJECT TO PREDICTION RESEARCH OF CLAYSTONE MUDZATION AT THE GEZHOUBA PROJECT

QU Yongxin

(Key Laboratory of Shale Gas and Geoenvironment, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract Reservoir project of the Chushandian was get downed in 1958a, Because of lacking research for problem on the properties change under engineering condition. After 10a, Gezhouba construction project also met with similar problem. Macro and micro reasearch results show the mudzation seam of claystone is caused by interbedding shear failure of rock structure. For this reason, the claystone in dam foundation is stable.

Key words Bentonite, Claystone, Mudzation seam, Prediction

0 引言

谷先生虽然离开我们已32年,但谷先生的身影、谷先生的言传身教使我受益终生;谷先生的学术思想和对国家重大工程建设忘我的献身精神,谷先生对年轻人的关怀和指导一直留在我心中,成为我从事工程地质研究的精神支柱和楷模,亦为我一

生从事软弱岩石和区域土研究指明了方向。关注出山店斑脱岩问题和投身葛洲坝软弱夹层研究,便是其中之一。

1 出山店水库斑脱岩(Bentonite)事件

(1)斑脱岩(Bentonite)在中国通常称之为膨润土,是指蒙脱石含量超过50%的岩石(或非金属矿

* 收稿日期:2014-03-18;收到修改稿日期:2014-06-13.

作者简介:曲永新(1937-),男,研究员,博士生导师,主要从事软弱岩石和区域土的研究工作。Email: quyongxinbj@163.com

物材料)。成因上有原生(火山灰蚀变而成),和次生(沉积)之分。由于斑脱石具有极强的物理化学活性和胀缩性而成为工程建设中极强的膨胀岩和各种地质工程隐患的物质基础。

(2)河南信阳出山店水库是淮河中上游的大型水库:1958年,正当数万民工进入现场,水库大坝即将开工之际,在坝址工程地质勘察中发现坝基古近纪(E)地层中厚层斑脱岩的分布,并上报到中华人民共和国水利部(以下简称水利部)。当时水利部前苏联一位专家指出:“在斑脱岩坝基上建设大坝是不可想象的、十分危险的”。在当时的政治背景和科学背景下,水利部根据前苏联专家的意见,决定在搞清工程问题之前,不能施工。热火朝天的水利大跃进场面被迫停工、下马。作为治淮工程总地质工程师的谷先生虽然对前苏联专家意见有所怀疑,但无可奈何,于是一面组织人员对出山店周边地区同一工程地质条件的中小型水库运营情况进行现场调查,一面委托李博威先生专门到北京大学化学系在付鹰教授指导下,从事矿物化学方面的专门研究,试图从矿物化学方面查明本质,其成果发表在1962年科学出版社出版的图书中^[1],这是我国首次从工程地质角度研究膨胀岩的成果。限于当时国内外工程地质和岩土力学水平,当时的研究还无法做出在工程上的结论。

(3)1973年出山店水库建设又提到日程上来,又开始新一轮的工程地质勘察,谷先生指示我去信阳五里店原生膨润土矿取样开展出山店水库斑脱岩研究,当时虽然开展了矿物化学方面研究,限于当时的研究思路 and 水平仍没有在工程问题的研究上有所进展。

2 历史的机遇和挑战——葛洲坝工程泥化夹层恶化和黏土岩泥化研究

(1)作为长江第一坝的长江葛洲坝水利枢纽工程,它是整个长江三峡工程的配套工程(三峡工程的反调节水库)。1969年文革期间工程匆忙上马,因严重的泥沙淤积、软弱夹层抗滑稳定和施工质量3大工程问题没有解决,1972年工程被迫停工,补充勘察设计研究。1973年9月在谷先生等室领导的安排下,本人陪同王思敬先生参加了在宜昌举行的葛洲坝工程地质研讨会。软弱夹层成为本工程最关键的工程地质问题,决定开展系统全面勘察试验研究。其中“在长期渗压水作用下泥化夹层和黏土

岩变化趋势研究”是其中重要研究任务之一。参加该项目的除主办方——原长江水利委员会勘测总队505地质队,长江科学院外,原中国科学院地质研究所、中国科学院武汉岩土力学研究所是主要参加单位,后来又增加了中国地质科学院水文地质环境地质研究所。该项目得到了葛洲坝工程设计代表处曹乐安总工程师高度关注,要求项目组必须回答:“泥化夹层在工程长期作用下是否会恶化?未泥化的岩土岩是否会泥化?”并说“这个问题不解决,我吃不吃饭睡不好觉;每到长江洪峰的到来,我便会提心吊胆。”作为参加此任务的我和研究组自1973年10月至1977年10月历时4a,持续不断地研究,其中包括其他水电工程软弱夹层的辅助研究,达到了项目的要求。

(2)葛洲坝工程位于长江三峡南津关出口54km处江汉盆地西端的长江干流上。因江心洲葛洲坝和黄草坝在枯水期露出水面,将长江河道分为大江(主航道)、二江、三江。第1期工程即二、三江工程的坝基为下白垩统五龙组红层。五龙组实际上是以红色泥质粉砂岩为主,夹有众多砂岩、粉砂质泥岩和黏土岩的一套河湖相地层,地层极为平缓,倾角仅 $\angle 4^\circ \sim \angle 8^\circ$,倾向下游,岩性岩相在水平和垂直方向上极不稳定。在坝基范围内分布着近50层沉积软层即黏土岩和粉砂质黏土岩夹层,它们的规模、性状各不相同,同时发现泥化夹层10多层,有些泥化夹层与未泥化黏土岩共生共存。由于它们对大坝抗滑稳定的控制作用,原长江水利委员会勘测总队505地质队曾进行了上万米的岩心钻探。由于无法取出泥化层岩心,不得不采用直径达1m的岩心钻探,该技术不仅可以直接取出数米长的岩心,而且地质人员可以直接进入钻孔中进行描述和观察,为查明软弱夹层性状分布奠定了基础。大量勘探平洞和基坑中现场岩体力学试验,为各类软弱夹层强度和变形指标的确定提供了科学依据。

(3)泥化夹层和黏土岩(斑脱岩)在水利工程作用下变化趋势问题是前人未曾研究而工程上又十分迫切要回答的科学问题。黏土岩在坝基下的变化问题在本质上是当年出山店水库斑脱岩问题的再现。

我们通过基坑开挖地质剖面和大量勘探平洞进行露头处泥化夹层和黏土岩夹层性状、分布、岩层组合关系、微小构造形迹观察,原状样的采集,攻克了黏土岩样和泥化夹层样固化和薄片制备技术难题。通过偏光显微镜和扫描电镜观察、黏土矿物和物理化学性质测试、泥化夹层长期渗透试验、天然样和干

燥样的浸水崩解试验等途径,开展了系统的综合研究,获得了突破性进展。

①黏土岩夹层岩石结构的构造破坏是泥化夹层形成的前提。所谓泥化夹层是指层状岩体中与岩层产状一致呈软塑状态分布的泥质薄夹层,其厚度从数毫米至数厘米。

葛洲坝工程的泥化夹层按其岩层组合关系和性状分为两大类,即层间错动型(如 308、227、129 夹层等)和层内错动型(以 202 夹层为代表),后者发生在厚层红色粉砂质黏土岩内,由两组缓倾角节理追踪破坏而成。

黏土岩泥化夹层是于黏土岩夹层底界面处分布的软塑状黏土层,虽其厚度不大,但顶底面均为连续分布的光亮滑动镜面。其上分布多组擦痕,有时尚有 Ca 质薄膜,泥化夹层本身为定向分布的鳞片状破劈理带(微劈石厚 $\leq 1\text{mm}$)。偏光显微镜和扫描电镜下可以清楚地看到强烈的变形现象,还可以看到方解石细脉的充填和地下水淋滤形成的条带。而与泥化夹层共生的黏土岩层除了稀疏分布的节理外,则无有劈理化的构造破坏。上述事实说明,泥化夹层为原生黏土岩夹层中遭层间剪切作用所形成的剪切区,其上下为影响带。

②在地下水长期作用下泥化夹层物质成分变化。泥化夹层与未泥化黏土岩的黏土矿物 XRD 和 DTA 法定性分析结果表明:两者主要黏土矿物类型及组合基本相同,但泥化夹层中的高岭石含量明显增高;泥化夹层的比表面积、阳离子交换量、液限等物理化学性质指标也比黏土岩有所降低(表 1)^[2]。

上述事实说明:黏土岩岩石结构遭到构造破坏后的鳞片状剪切带在地下水长期作用下的水化水解作用,不仅性状上明显泥化,而且发生了黏土矿物的转化即高岭石化作用。

③层间剪切破坏的形式与泥化关系^[3]。葛洲坝工程和其他水电工程层间(层内)剪切错动带构造破坏形式的现场调查表明:按构造破坏形式可分为两大类,即剪切破坏型和脆性破坏型。剪切破坏型按破劈理密度或微劈石厚度可分为:a.鳞片状破劈理带(>1000 条 $\cdot\text{m}^{-1}$);b.片状破劈理带($1000\sim 200$ 条 $\cdot\text{m}^{-1}$);c.板状破劈理型($200\sim 100$ 条 $\cdot\text{m}^{-1}$);d.层间节理型(节理密度 <100 条 $\cdot\text{m}^{-1}$)。脆性破坏型按破坏形式分为碎块状(角砾状)、粉状、角砾夹岩粉(或岩粉夹角砾状)(表 2)。

虽然泥化夹层的形成与层间剪切作用密切相关,但泥化夹层的形成更与原岩结构破坏与否有关。

表 1 葛洲坝工程 3 种斑脱岩(黏土岩)及泥化层物化性质指标对比

Table 1 Compare of physical-chemical properties on Bentonite and their mudzation seam at Gezhouba project

夹层编号	岩性名称	液限 / (%)	比表面积 / $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$	交换量 / $\text{meq} \cdot (100\text{g})^{-1}$
308	灰绿色黏土岩	75.3-80.0	575.6-720.6	73.15-74.11
		77.65	648.1	73.63
	泥化层	60.69-70.65	516.8-618.8	52.25-70.36
		65.67	567.74	61.31
227	猪肝色黏土岩	71.5-81.1	704.7-717	83.69-86.73
		76.3	710.85	85.21
	泥化层	67.7-80.7	595.1-698.4	76.99-81.47
		74.2	641.75	79.23
129	肉红色黏土岩	71.0	809.2	99.7
	泥化层	62.3	681.6	97.5

XRD、DTA 测试结果和表中指标所显示的黏土岩均属斑脱岩

表 2 层间、层内剪切带的工程分类与泥化、软化关系

Table 2 Engineering geological classification of the interbedding shear zone and relation with mudzation degree

按破坏机理分类	按破坏形态分类	分类指标	与泥化关系	实例
剪切破坏型 (I)	鳞片状破劈理型 (I-1)	劈理频度 (>1000 条 $\cdot\text{m}^{-1}$)	泥化	葛洲坝 308、227、129、230 号夹层
	片状破劈理型 (I-2)	劈理频度 ($1000\sim 500$ 条 $\cdot\text{m}^{-1}$)	软化	
	板状破劈理型 (I-3)	劈理频度 ($500\sim 100$ 条 $\cdot\text{m}^{-1}$)	结构面泥膜	
	层间节理型 (I-4)	节理频度 (<100 条 $\cdot\text{m}^{-1}$)	结构面泥膜	三峡连子崖、林县金牛山
脆性破坏型 (II)	角砾状破碎夹层 (II-1)	颗粒直径 $>2\text{mm}$		
	岩粉状、砂状破碎夹层 (II-2)	颗粒直径 $\leq 2\text{mm}$	泥化、液化	攀枝花小宝顶煤矿粉煤
	角砾岩粉状破碎夹层 (II-3)	角砾、岩粉共存	仅岩粉泥化	葛洲坝 202 夹层、重庆大足石刻

角砾状和粉状剪切带在地下水作用下仅岩粉泥化,因而也称破碎夹泥层。

④长期渗压水作用下物理化学性质的变化研究。采用 308 号黏土岩泥化夹层重塑样,在长江水作用下持续半年的渗透试验结果^[4]表明,除了易溶盐含量和游离 SiO_2 , 游离 AlO_3 含量微小减少外,主要发生了江水中 Ca^{2+} 对黏土矿物吸附 Na^+ 的交换作用,因而导致液限和塑性指数略有减小,因此长期渗压水作用下泥化夹层的性状不会恶化。

(4)黏土岩的干燥活化效应与水下黏土岩性状的稳定性。

①现场的干燥活化现象。在葛洲坝工程 1973~1975 年补充勘探期间,发现直径一米以及数米的黏土质粉砂岩钻孔大岩心,裸露放置在基坑之上,一、两周之后的一场大雨便变成一堆泥土。

②1973 年、1974 年间夏天,我们从勘探平洞中取出大块 227 和 308 夹层新鲜黏土岩(斑脱岩)块呈鲜艳的猪肝色和灰绿色,裸露一个小时后颜色明显变浅,放置阳台上 2~3d 便干燥收缩成碎块,碎块放到水杯中,迅速变成一滩泥巴。

③1974 年雨季,我在基坑开挖的现场,从露头处取出一大块 227 黏土岩块,立即放入装满长江水的塑料桶中。回到北京试验室中把它转入一个大玻璃缸中,放置 2a 多未出现膨胀、崩解和泥化现象。于是作出工程结论,天然埋藏的黏土岩(斑脱岩)在不遭受干燥失水的条件下不会产生泥化^[5]。

④20 世纪 80 年代初,在对中国东部膨胀岩判别研究中,将膨胀岩因干燥失水而发生膨胀、崩解作用称之为干燥活化作用,其本质是干燥失水导致岩石吸力势的增加和微结构的潜在破坏,因而可以预测膨胀岩性状变化^[6]。

⑤1979 年南非 Olivier. H.J 通过气候试验箱对不同相对湿度环境下泥岩性状长期监测测试结果,亦发现环境相对湿度变化对泥岩性状变化的影响,相对湿度越小(即干燥程度越大)性状变化越大。相对湿度大于 80% 条件下不变化^[7]。

3 结 语

(1)对葛洲坝泥化夹层和黏土岩持续 4a 的研究,获得了:“在长期渗压水作用下黏土岩泥化夹层不会恶化,黏土岩在不遭受机械扰动和干燥失水条件下不会泥化的”工程结论。葛洲坝工程自 1979 年正式运营发电 35a,没有发生因软弱夹层而产生的工程问题。

(2)1958 年淮河出山店水库,因斑脱岩问题而被迫停工。但限于当时的研究水平,无法从本质上揭示大坝建设不会导致斑脱岩性状恶化的原因。时隔 15a,葛洲坝的上述研究成果回答了谷先生要我解决出山店斑脱岩问题的研究任务。当年因斑脱岩的问题把水库建设推迟了 20 多年,成为历史上的遗憾,但科学在进步,工程建设中的错判定会有所减少。

(3)在 1973 年冬至 1976 年期间,我有幸多次陪同谷先生参加葛洲坝工程设计审查和工程决策会

议。不仅亲身感受了谷先生在中国水电工程建设领域的崇高威望、超凡的记忆力和表达力;与专家、广大科技人员的亲和力以及吃透工程设计意图和工程问题,针对性地解决工程地质问题的能力。谷先生成为我终身学习的榜样和楷模。

参 考 文 献

- [1] 谷德振,李博威. 从出山店斑脱岩的性质讨论坝址的工程地质条件[M]. 北京: 科学出版社,1962.
Gu Dezhen, Li Bowei. Discuss to engineering geological condition on dam site by bentonite properties of Chushandian reservoir project[M]. Beijing: Science Press, 1962.
- [2] 曲永新,单世桐,徐晓岚,等. 某水利工程泥化夹层的形成及变化趋势的研究[J]. 地质科学,1977, (4):363~371.
Qu Yongxin, Shan Shitong, Xu Xiaolan, et al. Occurrence of argillitization interbeds and the trend of its changes in a certain construction project[J]. Scientia Geological Sinica, 1977, (4): 363~371.
- [3] 曲永新,徐瑞春. 长江葛洲坝工程层间剪切带的研究[C]//全国首届工程地质学术会议论文选集. 北京: 科学出版社,1983.
Qu Yongxin, Xu Ruichun. Study of the interbedding shear zone at Gezhouba project on the Yangtze River[C]//Proceedings of the First Engineering Geology Conference in China. Beijing: Science Press, 1983.
- [4] 曲永新,徐晓岚. 某工程 308 号黏土岩泥化夹层在渗压水长期作用下变化趋势的研究[A]. 中国科学院地质研究所. 岩体工程地质力学问题(二)[C]. 1978, 科学出版社.
Qu Yongxin, Xu Xiaolan. Study of the trend of changes an No.308 mudzation seam under permeating pressure water[A]. Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences. Engineering geomechanical problems of rock mass (2)[C]. Beijing: Science Press, 1978.
- [5] 曲永新. 软弱夹层的工程地质预报[C]//工程地质力学文集. 北京: 地质出版社, 1985.
Qu Yongxin. Engineering geological prediction of incompetent intercalation [C] // Research on Engineering Geomechanics. Beijing: Geological Publishing House, 1985.
- [6] 曲永新,张永双,杨俊峰,等. 中国膨胀性岩土一体化工程地质分类理论与实践:中国工程地质五十年[M]. 北京: 地震出版社,2000.
Qu Yongxin, Zhang Yongshuang, Yang Junfeng, et al. Theory and practice of the unified engineering geological classification to swelling rocks and swelling soil in China [M]. Beijing: Seismological Press, 2000.
- [7] Olivier. H.J. Some aspects of the influence on mineralogy and moisture redistribution on the weathering behavior of mudrock[C] // Proceeding of the 4th International Conference of Rock Mechanics. Montreux; 1979.