

附件三：

《完全混合式厌氧反应池污水处理

工程技术规范》

（征求意见稿）

编制说明

《污水处理工程技术规范工程技术规范》编制组

二〇一一年三月

目 次

1 任务来源.....	3
2 标准制定必要性.....	3
3 主要工作过程.....	3
4 国内外相关标准研究.....	5
5 同类工程现状调研.....	6
6 主要技术内容及说明.....	21
7 标准实施的环境效益与经济技术分析.....	29
8 标准实施建议.....	30

1 任务来源

2008年，环境保护部下达了“《关于下达2008年度国家环境保护标准修订项目计划的通知》”（环办函〔2008〕44号），其中提出了制定《污水厌氧生物处理工程技术规范—厌氧生物滤池法（厌氧消化）》（项目编号1453.11号）行业标准的任务。中国环境保护产业协会承担该标准的编制工作。参编单位有哈尔滨工业大学、清华大学等。

2 标准制定必要性

完全混合式厌氧反应池目前在我国城市污水和工业废水处理工程实践中已得到广泛应用。很多管理部门、设计部门、技术研究单位，在从事完全混合式厌氧反应池的设计和运行管理工作中也积累了一些实际经验，但是目前国内尚缺乏可操作性的技术规范用以指导完全混合式厌氧反应池工艺处理设施的建设与运行。总结国内外完全混合式厌氧反应池技术发展与应用的经验，编制完全混合式厌氧反应池技术规范，对正确应用和科学管理完全混合式厌氧反应池工艺的污水处理厂（站）具有积极的意义。使基于完全混合式厌氧反应池工艺的污水处理设施从建设到运行全过程能够有一个技术规范进行控制，对于保证完全混合式厌氧反应池工艺处理工程的建设质量，保证工艺的稳定运行，以及保证环境保护主管部门有序监管都具有重要的意义，也是废水处理工艺方法标准体系建设的重要内容。

完全混合式厌氧反应池工艺作为应用较为广泛和成功的处理方法，与升流式厌氧污泥床（UASB）、升流式颗粒污泥膨胀床（EGSB），在形式和功能上互相补充，可形成较完整的污水厌氧生物处理体系。根据标准体系建设和环境管理的实际需要，本工程技术规范在原题目基础上确定为“完全混合式厌氧反应池污水处理工程技术规范”。

3 主要工作过程

1) 根据国家环境保护标准制（修）订项目计划，2008年1月，成立编制组并开展工作。

2) 2008年5月，编制工作从国内外相关标准和文献的资料调研开始，对国内外厌氧废水处理工艺相关的规范、技术资料和工程实例进行了广泛的调研，编制了本开题报告和编制大纲。

3) 2008年11月20日，所有参编单位在京召开了项目启动会，通过与会专家的充分讨论，建议将本标准的名称由“污水厌氧生物处理工程技术规范—厌氧生物滤池法”改为“污水厌氧生物处理工程技术规范—厌氧活性污泥法”，原因如下：

a) “厌氧生物滤池法”是UASB发展的前身，由于其适用范围窄，技术较为落后，目前在国内外已少有应用。因此，如制定厌氧生物滤池法技术规范，将缺乏依据性，并缺少工程应用前景。

b) “厌氧活性污泥法”具有良好的降解效能，在国内外应用广泛。但由于缺少科学的工程技术规范作指导，使许多建好的“厌氧活性污泥工艺”未能达到预期的目标。

c) “厌氧活性污泥法”多为完全混合式的反应器，UASB 是升流式的污泥床、EGSB 是升流式的污泥膨胀床，它们在形式和功能上互相补充，可形成较完整的污水厌氧生物处理体系。同时编写完成这三种工艺的工程技术规范，对厌氧生物技术的发展将起到重要的指导意义。

d) “厌氧活性污泥法”其主体是厌氧反应池，改变了人们对于厌氧反应池仅仅是用来处理污泥的传统观念；同时，也可和好氧活性污泥法遥相呼应，厌氧反应池则对应好氧活性污泥法中的曝气池，使得污水处理体系更加完整科学。

与会的任南琪院士等专家从技术门类的科学性、完整性和技术应用的广泛性出发，建议将本标准的名称“废水厌氧生物处理工程技术规范—厌氧生物滤池法”改为“厌氧活性污泥法污水处理工程技术规范”。

4) 根据开题会确定的编制原则，按照编制组任务分工，进行了标准文本、编制说明等编制工作，完成了标准文本和编制说明等初稿。

5) 初稿审查工作

2009 年 7 月 7 日，所有参编单位在京召开了标准文本和编制说明初稿审查工作，通过与会专家的充分讨论，根据标准文本和编制说明初稿中的内容，建议再次将本标准的名称由“污水厌氧生物处理工程技术规范—厌氧活性污泥法”改为“完全混合式厌氧反应池污水处理工程技术规范”，原因如下：

a) “厌氧活性污泥法”指的是完整的一套污水处理工艺，其不仅包括厌氧反应器本身，还包括其他配套设备，所以这个标准名称太大。本工程技术规范主要目的是规定一个厌氧反应器污水处理工程的工艺设计、主要设备、检测和控制、施工与验收、运行与维护的技术要求，所以“厌氧活性污泥法”这个名称也不太合适。

b) “厌氧活性污泥法”多为完全混合式的反应器，UASB 是升流式的污泥床、EGSB 是升流式的污泥膨胀床，所以应将“厌氧活性污泥法”改为“完全混合式厌氧反应池”，它与 UASB 和 EGSB 在形式和功能上互相补充，可形成较完整的污水厌氧生物处理体系。同时编写完成这三种工艺的工程技术规范，对厌氧生物技术的发展将起到重要的指导意义。

6) 根据专家对初稿提出的意见和建议，进行了修订和完善，完成了“完全混合式厌氧反应池污水处理工程技术规范”标准文本和编制说明的征求意见稿。

4 国内外相关标准研究

在国家现行建设项目环境保护条例和相关环境监督管理法律法规中，对环境保护设施的建设与正确使用均提出了要求。本规范属于环境污染治理工艺方法规范，是国家环境标准体

系之环境工程技术规范的一个组成部分，与环境污染治理工程技术规范并用，将为环境保护设施的建设、运行以及环境监督管理的标准化提供技术支撑。

本规范的编制以国家环境保护现有法律、法规、标准为主要依据，同时参考水处理行业其他相关的技术规范和设计手册，结合国内外有关厌氧废水处理工艺运行的文献以及调研取得的国内厌氧废水处理工艺运行情况数据资料，总结编制了本规范。编制中参考的标准和文件主要有：

GB 12348	工业企业厂界噪声标准
GB 12801	生产过程安全卫生要求总则
GB 18599	一般工业固体废物贮存、处置场污染控制标准
GB 18918	城镇污水处理厂污染物排放标准
GB 3096	声环境质量标准
GB 50014	室外排水设计规范
GB 50016	建筑设计防火规范
GB 50053	10KV及以下变电所设计规范
GB 50187	工业企业总平面设计规范
GB 50204	混凝土结构工程施工质量验收规范
GB 50222	建筑内部装修设计防火规范
GB 50231	机械设备安装工程施工及验收通用规范
GB 50268	给水排水管道工程施工及验收规范
GB 50040	动力器基础设计规范
GBJ 87	工业企业噪声控制设计规范
GBJ 141	给水排水构筑物施工及验收规范
GBZ 1	工业企业设计卫生标准
GBZ 2	工作场所有害因素职业接触限值
JGJ 37	民用建筑设计通则
CJ 3025	城市污水处理厂污水污泥排放标准
CJJ 60	城市污水处理厂运行、维护及其安全技术规程
CJ/T 51	城市污水水质检验方法标准
HJ/T 283	环境保护产品技术要求 厢式压滤机和板框压滤机
HJ/T 284	环境保护产品技术要求 袋式除尘器用电磁脉冲阀

HJ/T 285	环境保护产品技术要求 工业粉尘湿式除尘装置
HJ/T 353	水污染源在线监测系统安装技术规范（试行）
HJ/T 354	水污染源在线监测系统验收技术规范（试行）
HJ/T 355	水污染源在线监测系统运行与考核技术规范（试行）
NY-T 1220	沼气工程技术规范
SHT3535	石油化工混凝土水池工程施工及验收规范
《建设项目竣工环境保护验收管理办法》 国家环保部 2001 年	

5 同类工程现状调研

传统厌氧反应池，即是完全混合式厌氧反应池，池内没有填料，池中通过搅拌使得废水与污泥充分混合，经过厌氧微生物的厌氧反应降解有机废水。完全混合式厌氧反应池与 UASB、EGSB 在形式和功能上互相补充，各有其优势和特点，可形成较完整的污水厌氧生物处理体系。完全混合式厌氧反应池基本包括两种形式，一种是无污泥回流的完全混合式厌氧反应池，一种是有污泥回流的完全混合式厌氧反应池。完全混合式厌氧反应池其主体是厌氧反应池，对高浓度废水具有良好的降解效能，改变了人们对于厌氧反应池仅仅是用来处理污泥的传统观念，其特别适合于高浓度高悬浮物的废水处理，在国内外应用广泛；据不完全统计，国内外采用无污泥回流的完全混合式厌氧反应池已建工程达 100 余座，在建和拟建工程达 150 余座，采用有污泥回流的完全混合式厌氧反应池已建工程达 80 余座，在建和拟建工程达 170 余座，如某些制药、印染、化工、酒精等企业目前正在建设或拟建完全混合式厌氧反应池，建设规模从 1000m³/d 到 100000m³/d 不等。但由于缺少科学的工程技术规范作指导，使许多建好的“厌氧活性污泥工艺”未能达到预期的目标。因此编写完成这种工艺的工程技术规范，对厌氧生物技术的发展将起到重要的指导意义。

5.1 厌氧反应池的发展及国内外现状

5.1.1 国外厌氧反应池的发展现状

1895 年 Donald 设计了世界上第一个厌氧反应化粪池，厌氧化粪池的创建是厌氧处理工艺发展史上的一个重要里程碑。1899 年 HarryW.Clark 设计了一个分离的消化器，先把污水沉淀后再厌氧发酵。1912 年在英国伯明翰市建成了一个用土堤围起来的露天敞开式的厌氧消化池，由于不加热，消化时间长约 100d 左右。由于池子不加盖，污泥消化效果不好，并向周围环境散发恶臭。后来，德国人 Kremer 提出了加盖的密闭式消化池，这种消化池被称作传统消化池。这种厌氧消化池是没有搅拌的，微生物与基质混合效果不好，处理效率低。

1920 年英国的 Waston 将 Kremer 的二级消化池加以改进，采用沼气作为动力用泵对消化池的污泥进行机械搅拌，应用于科尔—霍尔污水处理厂。

1925 年德国的 Ruhrverbandn 在埃森市，1926 年美国多尔-奥利佛公司在威斯康辛州安替哥市，都建成了安装有加热设备和集气装置的密闭式消化池。

20 世纪 40 年代在澳大利亚出现了连续搅拌的厌氧消化池，改善了厌氧污泥与废水的混合，提高了处理效率，但同时由于反应器内的完全混合状态导致污泥随出水流失，污泥在反应器中的停留时间（SRT）和废水的停留时间（HRT）是相同的，因此，反应器中污泥浓度很低，不能大量或者高负荷地处理废水，一般浓度较高的废水要得到比较好的处理效果，往往需要在反应器中停留几天甚至几十天，这项工艺主要应用于城市污水厂的污泥消化，而应用于工业废水处理是不经济的，需要进一步发展。

1950 年，南非人 Stander 发现了在厌氧反应器中保持大量细菌的重要性，开发了一种处理酒厂和药厂废液的装置称为厌氧澄清器，这种装置把厌氧消化和沉淀合建在一起。1955 年 Schroefler 等人仿照好氧活性污泥法，开发了厌氧接触消化工艺（ACP），他在厌氧消化池后设置了沉淀池和污泥回流，实现了污泥在反应器中的停留时间大于废水的停留时间，使厌氧消化池内可以维持较高的污泥浓度，有机负荷及其处理效率显著提高，从而可以有效地应用于工业废水的处理。ACP 对于高浓度、难降解、高悬浮物或含有毒物工业废水的处理以及应对冲击负荷等情况，具有得天独厚的优势。

德国、丹麦、荷兰等发达国家的沼气工程装备已达到设计标准化、产品系列化、生产工业化，质量得到有效控制。工程装备的组装技术也达到模块化、规范化。其大型厌氧消化装置（容积为 2000~5000m³）为圆柱型立式罐，多为钢结构（Lipp 罐居多），小型厌氧消化装置（容积在 200~1500m³）多为圆柱型立式罐、钢结构或钢筋混凝土结构。二级厌氧消化装置（立式罐）顶部常常装有双膜储气罩，构成了发酵、储气一体化装置，既节省了单独设计储气装置的费用（比分体式降低 15%左右）和占地面积，又解决了在寒冷地区冬季储气装置水封防冻的问题，丹麦一体化设备如图 1。

在德国，建设沼气工程以获取能源为主要目的。这种采用作物和粪便两种原料进行混合发酵的沼气工程在德国得到快速发展。由于混合发酵原料 SS 含量和 TS 浓度都比较高，适合采用全混合厌氧反应器。从采用的反应器类型看，约 90%为立式全混合反应器，少数采用卧式反应器，主要用于含沙和纤维量高的原料，而且受结构限制，此类反应器的容积一般低于 300m³，还有不到 10%的工程采用两种反应器联合应用的方式。随着材料技术的发展，一些工程采用了将发酵罐和储气柜一体化的设计，即在反应器的上部安装双层膜用以储存沼

气，见图 2 和图 3。受结构的局限，这种反应器的容积最大不宜超过 1200m^3 ，如果建造更大容积的反应器，则多采用立式大型全混合反应器。



图1 丹麦一体化设备

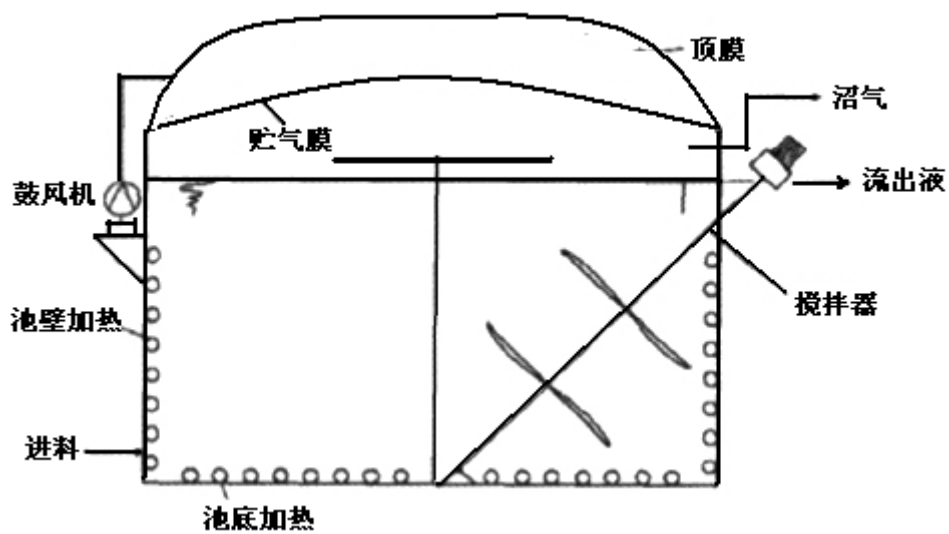


图2 双层膜顶反应器结构示意图



图 3 双层膜顶反应器照片

在处理柠檬酸废水方面：瑞典的 Anament 工厂，采用厌氧接触法（ACP）处理生产柠檬酸的废水中试研究，在 37℃ 下，COD 去除率为 78.7%。我国的南通柠檬酸厂，采用 1000m³ 的厌氧消化器 2 座，废水 COD 为 21000 mg/L~31000mg/L，在中温条件下运行，COD 去除率可达 90%。

在造纸废水处理方面，1983 年，瑞典首先将厌氧接触法应用于亚硫酸盐制浆造纸工业废水的处理，至 1988 年，全世界至少有 6 个制浆造纸厂采用这项工艺。瑞典的 HylteBruk 工厂用设计能力为 11300kgBOD/d 的厌氧接触法处理 SP 浆蒸发冷凝水，BOD 去除率为 73%；美国的 Alaska Pulp 工厂用设计能力为 56000kgBOD/d 的厌氧接触法处理苛化提取液，BOD 去除率为 75%；土耳其的 Modern Karton 工厂用设计能力为 17000kgBOD/d 的厌氧接触工艺，BOD 去除率为 98%；西班牙的 Saica 工厂用设计能力为 50000kgBOD/d 的厌氧接触法工艺处理黑夜，BOD 去除率为 90%；前西德的 Holtzmann 工厂用设计能力为 14000kgBOD/d 处理 SP 浆蒸发冷凝水，去除率为 98.5%。

在制药废水处理方面，日本的园田赖工厂用厌氧接触法工艺处理青霉素废水，BOD 去除率达到 95%，上药三厂用厌氧接触法处理四环素生产废水，BOD 去除率达到 95%。

5.1.2 国内厌氧反应池的发展现状

国内完全混合式厌氧反应池处理工业废水工程应用最成功的是薯干酒精废水的处理。由于薯干酒精废水固液分离比较困难，至今国内也没有十分有效的手段，采取其他厌氧工艺形式，过多的悬浮物都会造成很大不利影响，而厌氧接触法的特点得以发挥。早在 20 世纪 80 年代，原轻工部环保所就指导国内近百家酒精厂采用厌氧接触法处理薯干酒精糟液，在降低污染负荷的同时，生产沼气供民用或工业原料。南阳酒精总厂（现天冠集团）每年转化为沼气的 COD 总量达 3300t 以上，市区的 40% 的居民都使用沼气，产生了巨大的环境效益、社

会效益和一定的经济效益。接触厌氧工艺还应用于其他一些工业废水的处理，例如染整漂洗废水、木薯酒糟废水、豆制品废水、造纸废水、啤酒废水等工程中，现分述如下。

(1) 染整漂洗废水处理

四川某服装厂染整和漂洗的废水产生量大，成分复杂，悬浮物、色度、有机物的含量均很高，按国家规定必须治理达标后方可排放。该厂采用厌氧和 CASS 组合工艺对该厂产生的废水进行治理，处理出的 COD、BOD₅、SS、NH₃-N 等各项指标均达到《纺织染整工业水污染物排放标准》(GB-4287-93)一级标准。厌氧反应池容积负荷设计为 $N_s=2.0\text{kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ；水力停留时间(HRT)为 20h，厌氧反应器对 COD 的去除率为 75%。

(2) 木薯酒糟废水处理

目前，将厌氧反应池广泛用于木薯酒糟废水处理。某国内废水治理工程日处理木薯酒糟废水 300t，pH 值恒定约为 4.5 左右，废水经离心机固液分离后及厌氧反应池处理。厌氧反应池总有效容积 300m³，池深 5m，共四格串联。铁屑、焦炭填料设在第一格，采用兼氧形式，池顶无盖板，并设有手动葫芦便于定期补充铁屑。铁、炭混合物的湿填充容积为 25m³，废水与铁、炭接触停留时间为 2h。

(3) BCTMP 高浓废水处理工程

BCTMP 废水污染特征指标为：COD 为 4897mg/L，BOD 为 1507 mg/L，SS 为 2020 mg/L，TSS 为 6342 mg/L，pH 为 6.98，色度为 900 倍，温度为 48°C。厌氧反应池容积为 20m×12m×3.5m，有效容积 800m³，水力停留时间(HRT)为 4h。厌氧反应池反应器投资需人民币 140 万元。2007 年 5 月 18 日，粗滤后废水 BOD₅ 为 1285 mg/L，厌氧反应池处理后 433 mg/L，SBR 处理后 44 mg/L，混凝处理后 29 mg/L，原水 BOD 总去除率达 97.7%。

(4) 豆制品废水

进入厌氧反应池废水 COD 为 2460mg/L，出水 COD 为 480mg/L，进水 SS 为 600mg/L，出水 SS 为 95mg/L。厌氧反应池采用钢筋混凝土结构，尺寸 6.5m×8m×5.5 m，有效水深 5 m，有效容积 220 m³，HRT24 h，容积负荷 2.1 kgCOD/(m³·d)。厌氧反应池末端为中间池，中间池内采用穿孔管鼓风曝气，曝气强度 9m³/m²。在这里可吹脱部分氨氮和其他可挥发小分子有机物质，中间池与调节池曝气共用 1 台罗茨鼓风机。中间池内还设置污泥回流泵，将在中间池沉淀的厌氧污泥用污泥泵回流至厌氧反应池进水口，以补充厌氧反应池的污泥浓度，并控制废水的碱度平衡，减少系统对碱度的需求量，从而降低运行费用。另一方面回流水还可降低厌氧反应池进水的 COD，并增大进水流量，改善厌氧反应池内的水力状况。

(5) 废纸造纸生产废水

根据生化进水浓度的高低,选择将厌氧控制在水解酸化阶段或完全厌氧阶段,建议当生化进水 COD>800 mg/L 采用完全厌氧反应器。好氧处理一般采用活性污泥法、接触氧化法或氧化塘,其中以活性污泥法应用最广。厌氧系统容积负荷可取 2~15 kgCOD/(m³·d),好氧系统污泥负荷可取 0.25~0.6 kgCOD/(kgMLSS·d)。

(6) 黄姜皂素废水处理

厌氧工程工段采用厌氧反应池。启动初期进水温度为 26~32℃,进水 COD 12 000~28000 mg/L, SO₄²⁻浓度 1700~3500 mg/L, pH 值为 5.5~7.33。

(7) 精致棉废水处理工程

采用完全混合式厌氧反应池进行处理,生产废水水质包括蒸煮黑液滤液、一次洗涤水和二次洗涤水,废水 pH 为 8-9, COD 为 1200 mg/L, BOD 为 360 mg/L, SS 为 210 mg/L, 色度为 1600 倍,水量为 3000 m³/d,厌氧反应池规格为 20m×20m×5.5 m,停留时间为 15h,后接接触氧化池。

(8) 啤酒废水处理工程

采用钢筋砼结构,中温消化。完全混合式厌氧反应器有效容积为 200m³, COD 容积负荷率 6.4kgCOD/m³·d, BOD₅ 容积负荷率 2.89kgBOD₅/m³·d, 设计尺寸为 8.0m×5.0m×5.5m; 产甲烷反应器有效容积为 375m³, COD 容积负荷率 2.4kgCOD/ m³·d, BOD₅ 容积负荷率 3.2kgBOD₅/m³·d, 甲烷产率为 0.15m³/kgCOD, 设计尺寸为 15.0m×5.0m×5.5m。

(9) 染整废水处理工程

完全混合式厌氧反应池:完全混合式厌氧反应池设 1 座,有效容积 V=40×30×5=6000 m³。体积负荷 N_v=1.34kgCOD/m³·d。装设 8 台水下搅拌机,间歇运行,使污泥与污水充分接触,提高反应效果。完全混合式厌氧反应作用可将水中部分难生化降解的大分子有机物降解为易于生化降解的小分子有机物,提高可生化性,降低废水的色度。

(10) 天然骨素生产废水处理

设计水量 350m³/d,进水 COD4580-12050 mg/L,去除率达 80%以上。完全混合式厌氧反应池将污水中非溶解态大分子等难以生物降解的有机物,经过厌氧微生物的水解酸化作用转化为溶解态的小分子有机物,可进一步提高废水的可生化性,为后续的好氧生物处理创造条件。完全混合式厌氧反应池为钢筋砼结构,容积 110 m³,池深 5.9m,停留时间 6.5 h。

(11) 酿酒废水工程

进水 COD=1000~5000 mg/L,完全混合式厌氧反应池 HRT=12.5h, COD 去除率

30~45%。BOD₅ 值为 550~900mg/L, SS 值为 300 ~ 500mg/L, NH₄-N 值为 15 ~ 25mg/L, pH 值为 6~9, 属中高浓度易生化类有机废水。污水处理厂的设计处理规模为 10000m³/d。

缺氧池主要目的是增强工艺对有机物的去除能力和脱氮除磷的功能。在缺氧条件下, 回流污泥中的聚磷菌受到抑制, 只能释放体内的磷酸盐获取能量, 同时吸收污水中可以快速生化降解的溶解性有机物来维持生存。缺氧池分两组, 有效容积:1080m³, 设潜水搅拌机 4 台, pH 计 2 台, 污泥浓度计 2 台, 温度计 2 台。

(12) 抗生素废水处理中的应用

厌氧水解池结构形式为钢筋混凝土, 单格尺寸 48 m×11 m×3.6 m, 共 6 格, 有效容积 9500 m³, 水力停留时间 11.4 h, 容积负荷 COD 8.95 kg/(m³·d), 复合填料 4200 m³。厌氧水解池设置污泥回流系统。水解酸化启动初始阶段采用低负荷运行, 反应器负荷 COD 低于 2 kg/(m³·d), 之后稳步提升污泥负荷。随着试运行时间的延长, 污泥流失量增大, 当水解酸化池内的平均污泥量低于 4 g/L 时, 可以用潜污泵把带出的污泥回流至水解酸化池。

(13) CSTR 甲烷发酵系统处理制糖废水

研究表明, 以有机废水好氧处理工艺的剩余污泥为种泥, 在接种量 MLVSS 为 8.52g/L, 温度为(35 ± 1)°C, COD 浓度为 4000mg/L, HRT 为 18h, 系统 pH 值保持在 6.5~7.5 等条件下; CSTR 可在 84d 左右形成具有完整甲烷发酵过程的絮状悬浮厌氧活性污泥系统。CSTR 甲烷发酵系统对负荷冲击表现出了良好的调节能力, 在有机负荷从 5.3 kgCOD/(m³·d) 提高到 9.33 kg COD/(m³·d) 时, 反应系统可在 16d 内重新达到稳定运行状态, 其出水 COD 可稳定在 1100 mg/L 左右, COD 去除率和产气量平均为 84% 和 38L/d, 发酵气中的 CO₂ 和 CH₄ 含量分别为 41% 和 48% 。

反应器采用连续流方式运行, 分为两个阶段。1-126d 为第一运行阶段, 是 CSTR 的启动和污泥驯化期, 水力停留时间(HRT)控制为 18h, 进水 COD 浓度为 4000mg/L, 通过调节进水 pH 值的方式, 使反应系统的 pH 值维持在 6.5~7.0 之间, 反应温度控制在((35 ± 1)°C; 第 127 天以后的运行行为第二阶段, 进水 COD 浓度提高为 7000mg/L, 其他控制参数不变。

5.2 厌氧反应池的主要工艺形式

从 5.1 部分所述可以看出, 厌氧反应池的主要工艺形式有两种:

(1) 传统无污泥回流的厌氧反应池 又称完全混合厌氧反应器 (anaerobic complete stirred tank reactor, ACSTR), 污水或污泥定期或连续加入反应池, 经厌氧反应的污泥和废水从反应池底部和上部排出, 所产沼气从顶部排出。在进行中温和高温发酵时, 常需加热发酵料液。一般采用在池外设热交换器的方法间接加热或采用蒸汽直接加热。厌氧发酵反应过

程和液体与污泥的分离过程在同一池内实现，为使进料和厌氧污泥密切接触而设有搅拌装置，一般情况下每隔 2~4 小时搅拌一次。排放反应液时通常停止搅拌，带沉淀分离后从上部排出上清液。传统厌氧反应池是一个无回流完全混合反应器，它的水力停留时间（HRT）和固体停留时间（SRT）相等，为保证处理效率必须有较长的水力停留时间，通常为几天甚至几十天，因而构筑物大，用于加热和搅拌的能量较多。

（2）有污泥回流的厌氧反应池（anaerobic contact process, ACP）即为厌氧接触池，是在完全混合厌氧反应器基础上，参照好氧活性污泥方法形成的工艺，在一个厌氧的完全混合反应器后增加了污泥分离和回流装置，排出的混合液首先在沉淀池进行固液分离，污水由沉淀池上部排出，沉淀下的污泥回流厌氧反应池，从而使 SRT 大于 HRT，增加了反应器中的污泥浓度，一般可达到 5~10gMLVSS/L。ACP 适宜处理高悬浮高浓度有机废水，废水中含有悬浮固体在 10000~20000mg/L，入流 COD 在 2000~100000mg/L，反应器内泥水的混合多通过连续或间歇的机械搅拌实现，也可通过其他方式如装设射流泵实现。

5.3 厌氧废水处理工艺的主要特点

5.3.1 传统厌氧废水处理工艺中完全混合式厌氧反应池的主要特点

（1）没有污泥回流，水力停留时间（HRT）和固体停留时间（SRT）相等，并且水力停留时间长。由于传统无污泥回流厌氧反应池无法保持或补充厌氧活性污泥，厌氧反应池内难以保持大量的微生物，因此生化反应速率很慢，要得到较完全的厌氧反应，就必须要有很长的水力停留时间。

（2）在一个池内实现了厌氧反应和固液的分离，在厌氧反应池的上部留出一定的体积以收集所产生的沼气。进料大多是间断进行也有连续进料，传统无回流厌氧反应池一般容积负荷率中温为 2~3kgCOD/（m³·d），高温为 5~6 kgCOD/（m³·d）。

（3）可以直接处理悬浮固体含量较高或颗粒较大的高浓度有机废水。传统无回流厌氧反应池是借助于反应池内的厌氧反应污泥来净化有机物，主要用来处理城市污水处理厂污泥。

（4）无搅拌的反应池会出现料液分层现象，导致微生物不能与料液均匀接触，厌氧处理效果差。

5.3.2 厌氧接触工艺中完全混合式厌氧反应池的主要特点

（1）增设了沉淀池和污泥回流设施，使得水力停留时间（HRT）和固体停留时间（SRT）分离，并且 SRT 大于 HRT，有效地增加了反应器中的污泥浓度，进而提高了代谢速率，增强了耐冲击力。

(2) 厌氧反应池的容积负荷较传统无污泥回流反应池高，水力停留时间比传统无污泥回流厌氧反应池大大缩短；如常温下，传统无污泥回流厌氧反应池为 15~30d，而接触法小于 10d。

(3) 可以直接处理悬浮固体含量较高或颗粒较大的高浓度有机废水。微生物可附着在悬浮颗粒上，使微生物与有机废水的接触面积很大，并能在沉淀分离装置中很好的沉淀。

(4) 工艺启动容易，对高负荷冲击具有较大的承受能力，运行稳定，管理方便。

(5) 在厌氧接触反应池中，形成了絮状厌氧污泥，反应器中的正压使悬浮液中的溶解气体过饱和，当废水进入沉淀池中，这些气体将释放出并被絮状污泥吸附，同时絮状污泥在反应器中吸附的残余有机物在沉淀池中仍继续转化为少量气体，这些气体也会吸附于污泥上，从而使得原本难于沉降的絮体污泥，沉降更加困难，有出现污泥膨胀的可能。

5.4 广东佛山市某染整厂废水处理工程

5.4.1 工程概况

广东佛山某染整厂从事针织棉布染整生产，每天产生废水约 3500 m³。废水中悬浮物、胶体物、COD 成分和无机盐浓度高。此外，由于活性染料、直接染料、分散染料及染料的还原中间产物芳香胺对微生物具有一定的抑制作用，且废水水质随市场式样和季节波动较大，为保证废水长期稳定达标排放采用了混凝沉淀-接触厌氧-接触氧化组合工艺处理该厂生产产生的废水。

废水水质及排放标准列于表 1。处理出水需严格执行广东省水污染物排放限值（DB44/26-2001）第二时段一级排放标准。

表1 染整废水水质指标和排放标准

指标	COD(mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	SS(mg/L)	色度/倍	硫化物(mg/L)	pH
废水水质	650~1250	180~350	350~550	600~950	35~55	8~12
排放标准	≤100	≤20	≤60	≤40	≤0.5	6~9

5.4.2 工艺流程

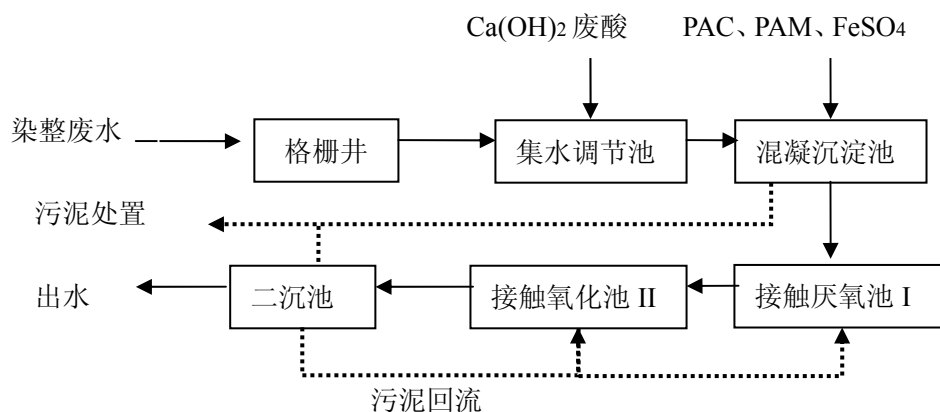


图 4 工艺流程

5.4.3 出水水质

工程正常运行 6 个多月后，由当地环境监测站进行连续 3d（2 次/d）的水质监测，统计平均值列于表 2。结果表明，系统对 COD、BOD₅、SS、色度及硫化物的总去除率分别达到 92%、94.6%、89.3%、96.2%和 99.5%，出水各项指标达到或优于排放限值的要求。

表2 工程进出水水质

指标	COD(mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	SS(mg/L)	色度/倍	硫化物(mg/L)	PH
进水	905.2	261.5	446.8	780	45.9	9.5
出水	72.3	14.1	47.6	30	0.25	6.8

5.4.4 经济指标

该项目工程土建费用 190 万元，设备、管道、填料和安装费用共 158 万元，吨水投资为 995 元。运行费用主要包括药剂费（Ca(OH)₂、废酸、PAC、FeSO₄·7H₂O、PAM）0.45 元/m³、人工费 0.1 元/m³和电费 0.28 元/m³（运行设备总功率 54 kW，电费按每度 0.75 元折算），则废水处理费用折算后为 0.83 元/m³。

5.5 山东博兴酒厂酒糟废液处理工程

5.5.1 工程概述

山东博兴酒厂酒糟废液处理工程处理废液的规模为700m³/d。山东博兴酒厂为酒精生产企业，所用生产原料为薯干，生产工艺流程如图。该厂所产生的废水主要为酒糟废液，主要污染物包括COD、BOD₅、SS等。废水中主要污染物的浓度及处理要求见表3。

表3 废水中主要污染物的浓度及处理要求

项目	原水浓度	出水要求	去除率/%
COD (mg/L)	40750	<350	99.1
BOD ₅ (mg/L)	15599	<200	98.7
SS (mg/L)	26278	<200	99.2

pH 值

3.96~4.4

6~9

处理出水执行《污水综合排放标准》GB 8978-88中对酒精行业（以薯干为原料）现有企业规定的二级排放标准，1t酒精最高允许排水量80m³。处理工程中所用主要化学品为脱水用絮凝剂（聚丙烯酰胺），年用量约30t/a。

5.5.2 工艺流程图

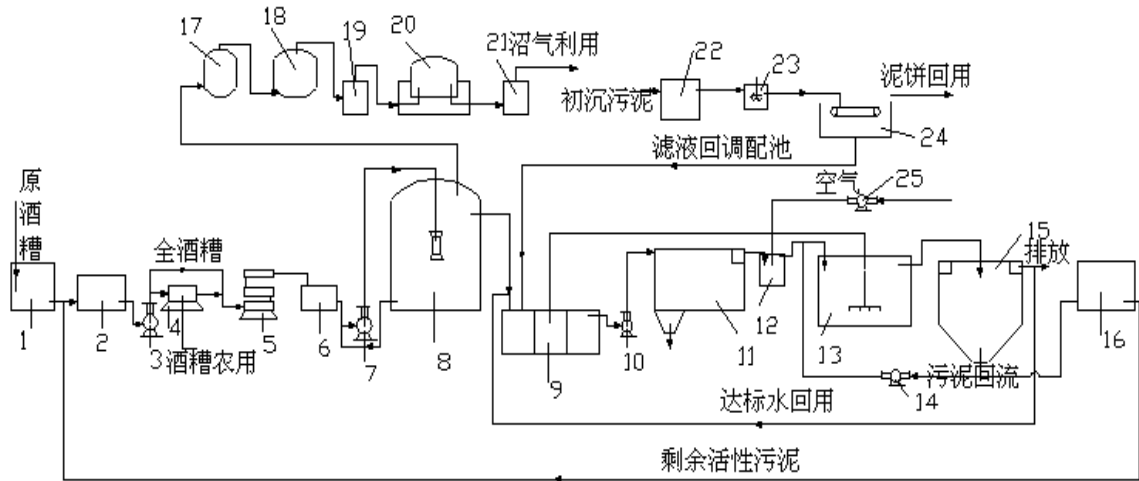


图 5 山东省博兴酒厂酒糟废液处理工程工艺流程图

1—调节池；2—沉砂池；3—输送泵；4—卧螺离心机；5—换热器；6—贮槽；7—循环泵；8—厌氧罐；9—调节池；10—输送泵；11—初沉池；12—预曝罐；13—曝气池；14—提升泵；15—二沉池；16—剩余活性污泥贮槽；17—气液分离器；18—脱硫罐；19—水封；20—气柜；21—水封；22—初沉污泥贮槽；23—药液搅拌罐；24—污泥脱水机；25—鼓风机

5.5.3 主要工艺参数

(1) 厌氧部分

厌氧罐挥发酸浓度：500~1500 mg/L；pH 值：6~9；厌氧反应温度：52~54℃；污泥投配率 5%。

(2) 好氧部分

曝气池进水 BOD 浓度：800~2500 mg/L；污泥指数 100；曝气池溶解氧浓度：1~5 mg/L；污泥龄：6~14d；停留时间：16~25h；温度：20~30℃。混合液污泥浓度 1500~4000 mg/L；pH 值 6~8。

5.5.4 运行情况

(1) 建设与投产时间

1996 年 4~6 月设计；1996 年 6~12 月建设；厌氧投产时间 1997 年 2 月；好氧投产时间

1997年12月。该工程同通过山东省环保局组织的专家组的验收。

(2) 处理出水监测结果

表4 工程处理出水监测结果

项目	COD	BOD ₅	SS
进水浓度 (mg/L)	40750	15599	26278
出水浓度 (mg/L)	291	115	100

5.5.5 主要技术经济指标

山东博兴酒厂酒糟废液处理工程总投资 550 万元人民币。由于本工艺处理酒精糟液时产生沼气，可回收大量能源，扣除厌氧、好氧处理费用后，每年尚可赢利 50 万元左右（其中尚未计算免除排污罚款的收益和出售厌氧污泥肥料收入）。

5.6 哈尔滨马利酵母废水处理工程

5.6.1 工程概况

哈尔滨马利酵母有限公司是以甜菜糖蜜为主要原料发酵生产食品酵母，其产生的废水是高浓度有机废水。Purac于2000年7月以菲迪克合同条款承接了此项目工程，2003年3月移交用户使用。工程设计处理水量为1900m³/d，进水水质COD ≤17528 mg/L，BOD₅ ≤12248 mg/L，TSS ≤2000 mg/L；保证处理水质COD去除率≥95%，BOD₅ ≤60 mg/L，TSS ≤200 mg/L。

5.6.2 工艺流程

酵母厂产生的废水先经过格栅去除大颗粒杂质后进入热交换器加热，再进入均衡/水解池和完全混合式厌氧反应池，产生的沼气通过顶部沼气管排出后利用，废水进入兰美拉沉淀池进行分离后废水进入好氧系统，由于此废水含氮较高，故该好氧系统设计为硝化-反硝化处理系统，其出水通过二沉池澄清后进入化学絮凝段，沉淀污泥回流到曝气池，剩余活性污泥送入厌氧反应池再反应。由于此废水中含有大量难降解的有机物，仅生化处理系统难以去除，因此在二沉池后增加化学絮凝段。厌氧反应池产生的剩余污泥和化学絮凝段产生的沉淀污泥经离心脱水机脱水后运出处置。

5.6.3 主要构筑物及相关参数

均衡/水解池	有效容积	1,000 m ³
厌氧反应池	有效容积	12,000 m ³
兰美拉沉淀池	斜板面积	352 m ²
硝化池	有效容积	3,685m ³
反硝化池	有效容积	4,735m ³

二沉池 表面积 158 m²

化学沉淀池 表面积 158 m²

5.7 哈尔滨中药二厂废水处理工程

(1) 中药二厂废水的来源及水质分析

哈尔滨中药二厂是全民所有制企业，隶属于哈尔滨医药集团股份有限公司。是以生产治疗多发病和疑难病用药为主，滋补保健药为辅，以巩固蜜丸、酏水等传统剂型品种为基础，以发展口服液、针剂等新型新产品为重点的综合性中成药企业。

中药二厂废水主要来源于洗罐、洗贮桶、洗瓶、冲洗地面等各项工艺过程中，并伴随有酒精废液排放至污水处理系统。排放的是一种污染物种类繁多、成分复杂的高浓度难降解有机废水，该废水间歇排放，虽无毒但有害，具有COD高、可生化性差、水质水量变化大、色度高等特点，处理难度极大。

(2) 中药二厂废水设计指标

本工程废水设计指标：处理水量：一期 750吨/天，二期1500 吨/天。总排放生产废水水质指标列于表5中。

表5 本工程生产废水设计水质指标

COD (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	SS (mg/L)	总氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	油 (mg/L)	pH
19200	3613	418	22	16	8	6-7

本工程处理废水采用《污水综合排放标准》（GB8978-1996）中的二级排放标准。出水COD小于150 mg/L，出水BOD₅小于60 mg/L，COD去除率大于99%，BOD去除率大于98.5%。

(3) 中药二厂废水处理流程

废水处理工艺流程如图6所示。

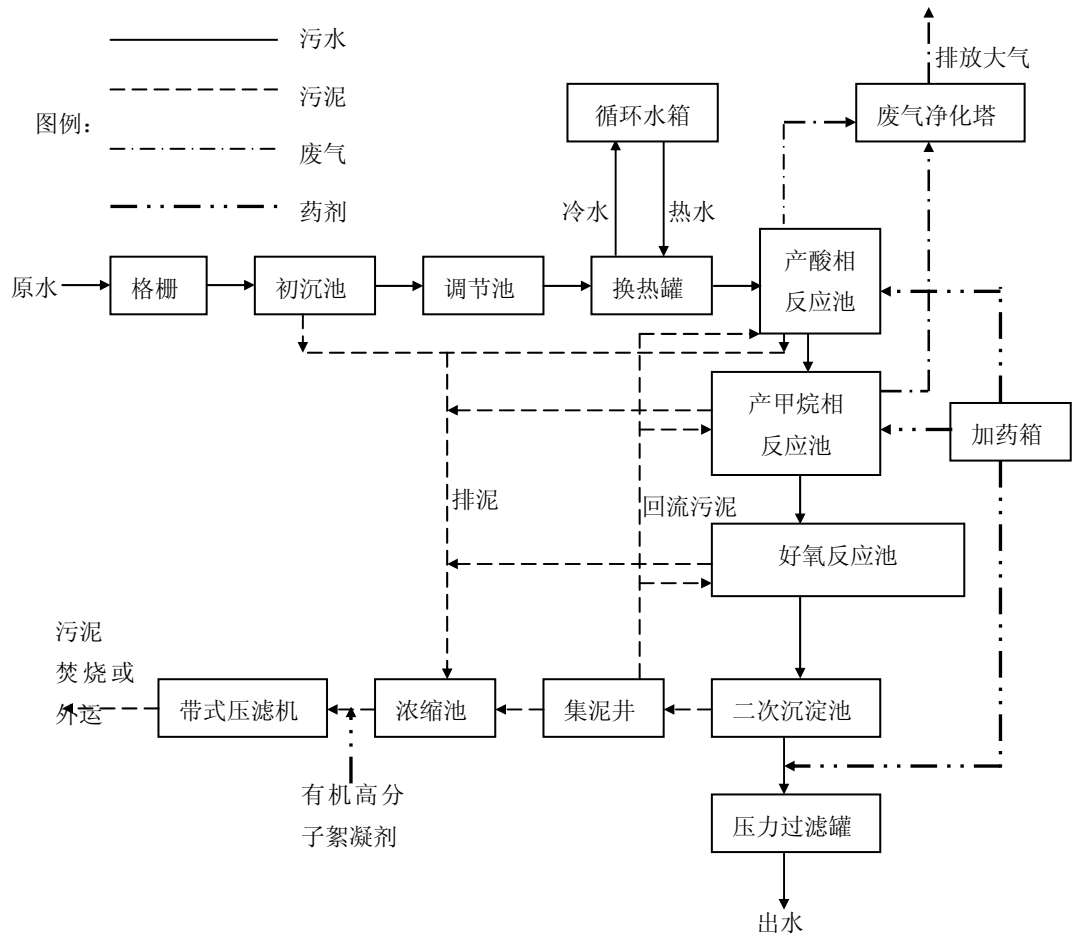


图 6 中药二厂废水处理工艺流

(4) 废水处理构筑物

中药二厂主要处理构筑物如表6所示。

表6 中药二厂废水处理主要构筑物一览表

序号	名称	规格	数量
1	初沉池	$V=42\text{ m}^3$	3座
2	调节池	$V=675\text{ m}^3$	1座
3	产酸发酵反应罐	$D\times H=6\times 5.2\text{M}$	3座
4	复合厌氧反应器	$V=900\text{ m}^3$ H=10M	2座
5	交叉流好氧反应池	$V=375\text{ m}^3$ H=6M	2组
6	沉淀池	$V=65\text{ m}^3$	2

座					
7	砂滤罐	$V=15\text{ m}^3$	$D=1.4\text{M}$	钢砼	2个
8	带式压滤机	$B=1.0\text{M}$	$N=1.5\text{KW}$		1台

下图为建筑构筑物及设备实况部分。



图7 中药二厂污水处理站外貌



图8 完全混合式厌氧反应池

(5) CSTR产酸发酵反应罐的性能分析 高效产酸发酵反应罐是一种新开发的新型专利设备（CSTR：发明专利号ZL 98 2 40801.3）：

a. 结构形式：反应罐内设气液固三相分离装置，为反应区和沉淀区的一体化结构。反应罐内还设有搅拌装置，通过轴封保证反应区良好的密封条件，由外设的两个换热罐进水自控加热来保持罐内温度为 $35^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。参见图9。

b. 性能分析：具有接触反应、布水良好的性能，这是反应器处理效率高，应用效果好的保证。

高效产酸发酵反应罐中基质与微生物的主要接触方式为搅拌接触，同时伴有流动接触、气泡搅动接触即利用外加的搅拌力对进水和反应罐内厌氧反应污泥进行人工搅拌混合，与其它两种搅拌方式比较，搅拌接触更为充分，作用更明显。反应器通过这种搅拌方式避免产生死区，形成非产甲烷菌良好的生存环境。另外，该方式除完成基质与微生物的接触外，还有以下作用：

- (1) 使罐内温度均匀；
- (2) 使气泡与污泥颗粒及时脱附，防止污泥浮升，并强化传质过程；
- (3) 防止浮渣层的形成；
- (4) 可通过排泥浓度的控制，维持反应罐内污泥浓度

图 9 CSTR 产酸发酵反应

但是，该方式需要机械、配电、自控等方面精确的配合，如果不能按照设计图纸购买设备和施工，会出现污泥流失或搅拌不充分等现象。

c. 技术优越性：① 细菌的自固定化方式为絮状污泥，富集的生物量高，有机负荷率高；②搅拌的接触方式，使基质与微生物接触更充分，作用更明显，该方式既可避免产生死区，又可形成非产甲烷菌良好的生存环境。

d. 工程设计参数：共分为 3 个反应罐，每个反应罐有效容积 $V=125\text{m}^3$ ，直径 $D=6\text{m}$ ，高度 $H=5.2\text{m}$ ，设计停留时间 $\text{HRT}=12\text{h}$ ，设计 COD 去除率：15%~20%。

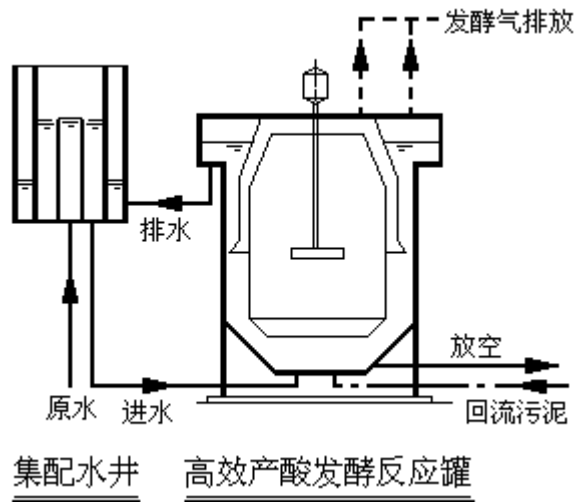


图 9 高效产酸发酵反应罐

6 主要技术内容及说明

6.1 适用范围

本标准适用于采用完全混合式厌氧反应池废水处理的建设工程，特别适用于悬浮物浓度

较高的废水处理。适用行业包括：畜牧业、食品制造业、造纸及纸制品业、肉类加工业、制糖工业、发酵和酿造工业、制药工业、纺织染整工业等高浓度废水行业。

6.2 编制原则

本规范编制遵循以下主要原则：

(1) 实践性原则。分析总结厌氧废水处理工艺处理高浓度工业废水的工程实践经验和存在问题，按照工程技术规范编制总原则的要求，确定规范的结构和内容。

(2) 完整性原则。根据环境工程技术规范应服务于环境管理、运行管理以及工程设计与验收的要求，规范的内容应包括工艺方法、运行管理等主要技术要求的内容，基本覆盖厌氧废水处理工艺及主要的变形工艺方法。

(3) 科学性原则。规范的工艺方法分类科学、层次清晰、结构合理，并具有一定的可分解性和可扩展空间。

(4) 先进实用与可操作性原则。规范的主要内容应既代表了当前的先进水平，又应以大量的工程实践为基础，突出技术要求的针对性和科学合理性，以便于使用。

6.3 主要编制内容

本规范包括正文和附录两部分，其中正文部分共分十一章，包括规范的适用范围、规范性引用文件、术语和定义、一般规定、设计流量和设计水质、完全混合式厌氧反应池设计工艺、主要设备、检测和控制、电气系统、施工与验收、运行与维护；附录包括规范性附录和资料性附录。下面就规范中的几个主要方面作说明。

6.3.1 完全混合式厌氧反应池工艺的适用性

完全混合式厌氧反应池工艺适用于处理高浓度有机工业废水。适用行业包括：发酵工业、制浆造纸业、肉类加工业等高浓度有机废水行业；但不太适合于低浓度有机废（污）水以及毒性较强行业废水如医疗、重金属工业等废水的处理。经过完全混合式厌氧反应池工艺处理的工业废（污）水，通常不能达到GB18918一级A的标准；要符合再生水处理进水要求，需要在后面接一个好氧工艺进一步处理。

本标准适用于工业废（污）水处理工程从设计、施工到验收、运行的全过程管理和已建工程的运行管理，可作为环境影响评价、工程设计、环境保护验收及建成后运行与管理的技术依据。

6.3.2 完全混合式厌氧反应池工艺的适用处理规模

完全混合式厌氧反应池工艺由于处理的废（污）水浓度高，因而污泥龄较长，处理水量相对较小。所以，通常该工艺适用于水量适中的工业废（污）水的处理。当然，对于水量非

常大的高浓度有机废水，可以通过增加厌氧反应池的组数来处理。

6.3.3 设计流量和设计水质

工业废水波动性很大，同时由于同一生产线，产品不同产生的废水水量水质均可能差别很大，因此对于以工业废水为主的污水处理设施的设计水量水质参数要做实际调查和测定。

原有企业的废水处理设施新建和改扩建工程，要根据实际生产中的水质水量的排放规律来确定工程设计水量、水质及其变化系数；新建工程，可以参考同类产品生产企业的废水相关数据进行确定。由于企业所处地域、水资源条件等外界因素不同，废水水质水量会有较大变化，建议厌氧反应池主体工程按日平均水量水质设计，进水、预处理设施及管道按日平均水量乘以最大变化系数设计。

工业园区合建的处理设施的设计水质水量，要考虑所有需处理的企业废水的排放规律以及整体规划与中近期规划等因素，确定分期工程的设计水量、水质。

由于工业废水的情况很复杂，因此本规范建议，以工业废水为主的工程需要做细致的调查研究工作，根据实际情况确定废水水质水量。

6.3.4 预处理系统

完全混合式厌氧反应池污水处理工程进水系统前应设格栅，后设置沉砂池。当悬浮物浓度（SS）低于五日生化需氧量(BOD₅)设计值1.5倍时，污水处理工程可不设初次沉淀池。

6.4 厌氧反应器运行参数

6.4.1 温度

一般认为，产甲烷菌的温度范围为5℃~60℃，在35℃和53℃上下可以分别获得较高的厌氧反应效率，温度为40℃~45℃时，厌氧反应效率较低，根据不同产甲烷菌适宜温度条件的不同，厌氧法可分为常温厌氧反应、中温厌氧反应和高温厌氧反应三种类型。

①常温厌氧废水处理，指在自然气温或水温下进行废水厌氧处理的工艺，适宜温度范围10℃~30℃。

②中温厌氧废水处理，适宜温度30℃~40℃，若低于30℃或者高于40℃，厌氧废水处理的效率即趋向明显地降低。

③高温厌氧废水处理，适宜温度为40~55℃。

上述适宜温度有时因其他工艺条件的不同而有某种程度的差异，如反应器内较高的污泥浓度，即较高的微生物酶浓度，则使温度的影响不易显露出来。在一定温度范围内，温度提高，有机物去除率提高，产气量提高。一般认为，高温厌氧废水处理比中温厌氧废水处理沼气产量约高一倍。温度的高低不仅影响沼气的产量，而且影响沼气中甲烷的含量和厌氧反

应产生污泥的性质，对不同性质的底物影响程度不同。

温度的急剧变化和上下波动不利于厌氧废水处理作用。短小时内温度升降 5°C ，沼气产量明显下降，波动的幅度过大时，甚至停止产气。温度的波动，不仅影响沼气产量，还影响沼气中的甲烷含量，此其高温厌氧废水处理对温度变化更为敏感。因此在设计厌氧反应器时常采取一定的控温措施，尽可能使厌氧反应器在恒温下运行，温度变化幅度不超过 $2\sim 3^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

6.4.2 pH 值

厌氧反应中产酸菌和产甲烷菌对pH值的要求不同，产酸细菌适宜的pH值范围较广，在 $4.5\sim 8.0$ 之间；产甲烷菌要求环境介质pH值在中位附近，最适pH值为 $7.0\sim 7.2$ ， $\text{pH}6.6\sim 7.4$ 较为适宜。在完全混合式厌氧反应器处理废水的应用中，由于产酸和产甲烷在同一构筑物内进行，故为了维持平衡，避免过多的酸积累，应将反应器内的pH值控制在 $6.5\sim 7.5$ （最好在 $6.8\sim 7.2$ ）的范围内。若pH值降到5以下，对产甲烷菌毒性较大，同时产酸作用本身也受抑制，整个厌氧反应过程即停滞，此时即使pH值恢复到7.0左右，厌氧装置的处理能力仍不易恢复；而在稍高pH值时，只要恢复中性，产甲烷菌能较快地恢复活性。所以厌氧装置适宜在中性或稍偏碱性的状态下运行。

6.4.3 氧化还原电位

厌氧反应器介质中的氧浓度可根据浓度与电位的关系判断，即由氧化还原电位表达。产甲烷菌对氧和氧化剂非常敏感，研究表明，产甲烷菌初始繁殖的环境条件是氧化还原电位不能高于 -330mV ，在厌氧反应全过程中，不产甲烷阶段可在兼氧条件下完成，氧化还原电位为 $+0.1\text{ V}\sim -0.1\text{V}$ ，而在产甲烷阶段，氧化还原电位须控制为 $-0.3\text{ V}\sim -0.35\text{V}$ （中温厌氧反应）与 $-0.56\text{ V}\sim -0.6\text{V}$ （高温厌氧反应），常温厌氧反应与中温相近。产甲烷阶段氧化还原电位的临界值为 -0.2V 。

氧是影响厌氧反应器中氧化还原电位条件的主要因素，除此之外，挥发性有机酸的增减、pH值的升降以及铵离子浓度的高低等因素均影响系统的还原强度。如pH值低，氧化还原电位高；pH值高，氧化还原电位低。

6.4.4 有机负荷

在厌氧法中，有机负荷通常指容积有机负荷，即厌氧反应池单位有效容积每天接受的有机物量（ $\text{kgCOD}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ ）。

厌氧处理系统正常运转取决于产酸与产甲烷反应速率的相对平衡。若有机负荷过高，则产酸率将大于用酸（产甲烷）率，挥发酸将累积而使pH值下降、破坏产甲烷阶段的正常进行，导致系统失败。此外，有机负荷过高，则过高的水力负荷会使厌氧反应系统中污泥的

流失速率大于增长速率而降低厌氧反应效率。相反若有机负荷过低，物料产气率或有机物去除率虽可提高，但容积产气率降低，反应器容积将增大，使厌氧反应设备的利用效率降低，投资和运行费用提高。

6.4.5 搅拌和混合

采用搅拌措施能显著地提高厌氧的效率，但是对于混合搅拌程度与强度要有所控制，一般认为，产甲烷菌的生长需要相对较宁静的环境，厌氧反应池的每次搅拌时间不应超过1h，反应器内的物质移动速度不宜超过0.5m/s，因为这是微生物生命活动的临界速度。搅拌的作用还与污水废物的性状有关，当含不溶性物质较多时，因易于生成浮渣，搅拌的功效更加显著；对可溶性废物或易厌氧反应悬浮固体的污水，搅拌的功效也相对地小一些。

搅拌的方法有：（1）机械搅拌器搅拌法；（2）反应液循环搅拌法；（3）沼气循环搅拌法等。其中沼气循环搅拌，还有利于使沼气中的CO₂作为产甲烷的底物被细菌利用，提高甲烷的产量。

具体采用哪种搅拌设备要根据反应池的设计和尺寸来定，另外在设计中使用向上流搅拌桨并增加进水口可以改善池内水流条件，减少短流的发生。

6.4.6 废水的营养比

厌氧微生物的生长繁殖需按一定的比例提取碳、氮、磷以及其他微量元素。工程上主要控制进料的碳、氮、磷比例，一般认为，厌氧法中碳：氮：磷控制为200~300：5：1为宜。此比值大于好氧法中100：5：1，这与厌氧微生物对碳素养分的利用率较好氧微生物低有关。在碳、氮、磷比例中，碳氮比例对厌氧反应的影响更为重要。研究表明，合适的C/N为10~18：1。

碳氮比太高，厌氧菌增殖缓慢，而且反应液的缓冲能力降低，pH值容易下降；碳氮比太低，氮不能被充分利用，系统中氮的过分积累导致pH值上升至8.0以上，将抑制产甲烷菌的生长繁殖，使厌氧反应效率降低。

表7列出了文献中关于厌氧法的一些最佳控制参数，供设计参考。

表7 厌氧反应最佳控制参数

控制参数	最佳值	范围值
pH 值	6.8~7.4	6.4~7.8
氧化还原电位（ORP）（mV）	-520~ -530	-490~ -550
有机酸（以乙酸计）（mg/L）	50~500	>2000
碳酸盐碱度（以 CaCO ₃ 计）（mg/L）	1500~3000	1000~5000

温度	中温 30~35°C, ±1°C/d	20~40°C
	高温 50~56°C, ±1°C/d	45~60°C
水力停留时间 (d)	10~15	7~30
产气成分: CH ₄ (体积%)	55~60	50~65
CO ₂ (体积%)	40~45	45~50

6.5 厌氧反应器的设计计算简述

厌氧反应器的设计包括工艺设备的选型、反应器容积的计算和设备构造的确定等。

厌氧处理装置的选择,在很大程度上取决于废水中的悬浮物含量、粒度和厌氧可降解性。如上流式厌氧污泥床反应器和厌氧生物滤池等新型厌氧反应器虽厌氧反应效能高,但在处理含悬浮固体物较多的污水时,却不宜采用。随着污水中悬浮物的增加,厌氧滤池的处理能力下降,逐渐接近其他工艺的处理能力,不仅如此,它还易于引起填料的堵塞;上流式厌氧污泥床反应器可以允许进水带有一定量的悬浮物,但过多的悬浮物将使污泥凝聚、颗粒化性能恶化,比活性下降,设备不能保持正常的流态,进而使处理能力下降,甚至设备堵塞。对于固体物含量较高的料液,宜采用常规厌氧反应池和厌氧接触反应工艺,或者采用两步厌氧反应工艺处理。但是,用厌氧接触法处理可溶性废水时,大量微生物处于分散状态,不易与水分离而随沉淀池出水流出系统,这就对维持较长的污泥龄造成了困难。对于这类含低悬浮固体、高浓度可溶性有机质的废水,则更适合用上流式厌氧污泥床及应器等高效厌氧反应器处理。

厌氧反应器的容积是一个很重要的设计参数,要完成一定的废水厌氧处理任务,必须保证反应器要有足够的有效容积。计算厌氧反应器容积的方法很多,普遍采用的方法有有机物容积负荷法、水力停留时间法和动力学计算方法。

1. 按有机物容积负荷和水力停留时间计算

从试验数据或同类型废水有效处理的经验数据中确定一个合适的有机物负荷值LV或水力停留时间 θ ,用下列计算式计算反应器的有效容积:

$$V=Q \times S_0 / L_v$$

$$V=Q \times \theta$$

因为不同类型的厌氧反应器或同型的反应器设备对不同质的废水,以及在不同工艺条件下的LV或 θ 最佳值相差很大,故在选用设计参数时应特别注意。

2. 根据动力学模式计算

根据动力学公式计算厌氧反应器容积。如对厌氧接触法,有

$$V = \frac{\theta_c Y Q (S_0 - S_e)}{x(1 + k_d \theta_c)}$$

如果假定所有脂肪酸发酵过程的Y、 k_d 和K值都相等，则

$$(S_e)_{\text{总}} = \frac{K_c(1 + k_d \theta_c)}{\theta_c(YK - k_d) - 1}$$

式中 K_c 等于在废水处理中原有或产生的各种脂肪酸的饱和常数之和，即 $K_c = \sum K_s$ 。

废水在反应器中的停留时间可由下式计算

$$\theta = \frac{S_0 - S_e}{Kx(S_e - S_n)} = \frac{1}{YK(S_e - S_n) - k_d}$$

6.6 搅拌系统

厌氧池应采用机械搅拌，混合功率宜采用 $5 \sim 8 \text{W/m}^3$ ，应选用安装角度可调的搅拌器。机械搅拌器布置的间距、位置，应根据试验确定或由供货厂方提供。应根据反应池的池形选配搅拌器，每个反应池内应设置2台以上的搅拌器，搅拌器应对称布置。

6.7 回流系统

污泥回流设施应采用不易产生复氧的离心泵、混流泵、潜水泵等设备，应分别按生物处理工艺系统中的最大污泥回流比和最大混合液回流比计算确定，回流设备不应少于2台，并设备用，宜有调节流量的措施。

6.8 消毒系统

消毒系统的设计应符合GB 50014-2006第6.13节的规定。

6.9 厌氧设备启动运行调试过程中的关键技术问题

6.9.1 厌氧设备的启动

厌氧设备在进入正常运行之前应进行污泥的培养和驯化。

厌氧处理工艺的缺点之一是微生物增殖缓慢。设备启动时间长，若能取得大量的厌氧活性污泥就可缩短投产期。

厌氧活性污泥可以取自正在工作的厌氧处理构筑物或江河湖泊沼泽底泥，下水道及污水集积腐臭处等厌氧生境中的污泥，最好选择同类物料厌氧反应污泥；如果采用一般的未经厌氧反应的有机污泥自行培养，所需时间更长。一般来说，接种污泥量为反应器有效容积的10%~90%，依反应污泥的来源方便情况酌定，启动初期MLSS可达45g/L，原则上接种量比例增大，使启动时间缩短，其次是接种污泥中所含微生物种类的比例也应协调，特别要求含丰富的产甲烷细菌，因为它繁殖的世代时间较长。

在启动过程中,控制升温速度为 $1^{\circ}\text{C}/\text{h}$,达到要求温度即保持恒温;注意保持pH值在6.8~7.8之间;采用较长的HRT,控制在30~60h之间;此外,有机负荷常常成为影响启动成功的关键性因素。

启动的初始有机负荷因工艺类型、废水性质、温度等的工艺条件以及接种污泥的性质而异。常取较低的初始负荷,继而通过逐步增加负荷而完成启动。有的工艺对负荷的要求格外严格,例如厌氧污泥床反应器启动时,初始负荷仅为 $0.1\sim 0.2\text{kgCOD}/\text{kgMLVSS}\cdot\text{d}$ (相应的容积负荷则依污泥的浓度而异),至可降解的COD去除率达到80%,或者反应器出水中挥发性有机酸的浓度已较低(低于 $1000\text{mg}/\text{L}$)的时候,再以每一步按原负荷的50%递增幅度增加负荷。如果出水中挥发性有机酸浓度较高,则不宜再提高负荷,甚至应酌情降低。其他厌氧反应器对初始负荷以及随后负荷递增过程的要求,不如厌氧污泥床反应器拘谨,故启动所需的时间往往较短些。此外,当废水的缓冲性能较佳时(如猪粪液类),可取较高的负荷下完成启动,如 $1.2\sim 1.5\text{kgCOD}/\text{kgMLVSS}\cdot\text{d}$,这种启动方式时间较短,但对含碳水化合物较多、缺乏缓冲性物质的料液,需添加一些缓冲物质,才能高负荷启动,否则,易使系统酸败,启动难以成功。

正常的成熟污泥呈深灰到黑色,带焦油气,无硫化氢臭,pH值在7.0~7.5之间,污泥易脱水和干化。当进水量达到要求,并取得较高的处理效率,产气量大,含甲烷成分高时,可认为启动基本结束。

6.9.2 厌氧设备的稳定运行

厌氧设备的稳定运行较厌氧设备的启动相对简单,需要控制的因素与启动设备阶段大致相同,其稳定运行主要是通过对其温度、pH、污泥负荷等因素的控制来实现。

如前所述,厌氧反应分为常温、中温和高温三种温度控制,稳定运行阶段,要尽量将系统温度控制在相应最适温度范围内,使系统保持较高的有机物去除效率,另外,系统运行中应避免温度发生急剧变化和上下波动,温度变化幅度不超过 $2\sim 3^{\circ}\text{C}/\text{h}$,否则会造成沼气产量的下降,不利于厌氧反应过程的进行。

稳定运行期间应关注pH的变化,系统pH值降到5以下会对产甲烷菌造成损害和对产酸作用造成抑制,且难以恢复;而在稍高pH值时,只要恢复中性,产甲烷菌能较快地恢复活性。所以厌氧装置适宜在中性或稍偏碱性的状态下运行。在完全混合式厌氧反应器处理废水的应用中,系统最佳的pH值范围为6.8~7.2。

有机负荷也是维持系统稳定运行的重要控制指标,在通常的情况下,常规完全混合式厌氧反应工艺中温处理高浓度工业废水的有机负荷为 $2\sim 3\text{kgCOD}/\text{m}^3\cdot\text{d}$,在高温下为 $4\sim$

6kgCOD/m³·d。国外有报道在中温30℃用厌氧接触法处理屠宰废水和腌菜废水，其最大有机负荷为6~8 kgCOD/m³·d在处理具体废水时，最好通过试验来确定其最适宜的有机负荷。另外，实际工程显示，稳定运行期，将HRT控制在10~15h左右，MLSS为35~50g/L，MLVSS变化范围为20~35g/L，此时污泥负荷最适范围为0.2~0.5kgCOD/（kgMLVSS·d）。

6.9.3 厌氧反应器运行中的欠平衡现象及其原因

启动后，厌氧反应系统的操作与管理主要是通过对产气量、气体成分、池内碱度、pH值、有机物去除中等进行检测和监督，调节和控制好各项工艺条件，保持厌氧反应作用的平衡性，使系统符合设计的效率指标稳定运作。

保持厌氧反应作用的平衡性是厌氧反应系统运行管理的关键。厌氧反应过程易于出现酸化，即产酸量与用酸量不协调，这种现象称为欠平衡。厌氧反应作用欠平衡时可以显示出如下的症状：（1）反应液挥发性有机酸浓度增高；（2）沼气中甲烷含量降低；（3）反应液pH值下降；（4）沼气产量下降；（5）有机物去除率下降。诸症状中最先显示的是挥发性有机酸浓度的增高，故它是一项最有用的监视参数，有助于尽早地察觉欠平衡状态的出现。其他症状则因其显示的滞缓性，或者因其并非专一的欠平衡症状，故不如前者那样灵敏有用。

厌氧反应作用欠平衡的原因是多方面的，如：有机负荷过高；进水pH值过低或过高；碱度过低，缓冲能力差；有毒物质抑制；反应温应急剧波动；池内有溶解氧及氧化剂存在等。

一经检测到系统处于欠平衡状态时，就必须立即控制并加以纠正，以避免欠平衡状态进一步发展到厌氧反应作用停顿的程度。可暂时投加石灰乳以中和积累的酸，但过量石灰乳能起杀菌作用。解决欠平衡的根本办法是查明失去平衡的原因，有针对性地采取纠正措施。

6.9.4 运行管理中的安全要求

厌氧设备的运行管理很重要的问题是安全问题。沼气中的甲烷比空气轻、非常易燃，空气中甲烷含量为5%~15%时，遇明火即发生爆炸。因此反应池、贮气罐、沼气管道及其附属设备等沼气系统，都应绝对密封，无沼气漏出。并且不能使空气有进入沼气系统的可能，周围严禁明火和电气火花。所有电气设备应满足防爆要求。沼气中含有微量有毒的硫化氢，但低浓度的硫化氢就能被人们所察觉。硫化氢比空气重，必须预防它在低凹处积聚。沼气中的二氧化碳也比空气重，同样应防止在低凹处积聚，因为它虽然无毒，却能使人窒息。因此，凡需因出料或检修进入反应池之前，务必以新鲜空气彻底置换池内的反应气体，以策安全。

6.10 实施本规范的管理措施建议

建议各级环境保护主管部门及相关监督管理部门，在环境影响评价、建设项目环境保护管理、排污许可证管理和日常环境监督管理等项工作中积极采用本规范，以加强对环境保护设

施的监管。

7 标准实施的环境效益与经济技术分析

标准内容体现了厌氧生物法污染治理的全过程控制，对保证达标排放，进而保护环境，促进循环经济发展起到推动作用。本标准推荐的处理工艺均为当前国内外广泛使用的工艺，有大量的工程实例为佐证，是成熟、可靠、经济、实用的工艺技术，标准实施后可带来以下效益：

- 1、有利于国家相关环保政策的贯彻执行，从技术层面确保实现使用厌氧生物法达标排放，减低环境污染，实现环境效益；
- 2、工艺技术路线与我国当前的经济、技术发展水平相适应的，符合广大业内人士的经济承受能力。
- 3、使厌氧生物法工程设计、施工、验收及运行管理等环节的技术应用规范化，保证工程质量，提高工程运行效益。

8 标准实施建议

在国家现行建设项目环境保护条例和相关环境监督管理法律法规中，对环境保护设施的建设与正确使用均提出了要求。本规范属于环境污染治理工艺技术规范，是国家环境标准体系之环境工程技术规范的一个组成部分，将为环境保护设施的建设、运行以及环境监督管理的标准化提供技术支撑。

建议各级环境保护主管部门及相关监督管理部门，在环境影响评价、建设项目环境保护管理、排污许可证管理和日常环境监督管理等项工作中积极采用本标准，以加强对环境保护设施的监管。