

《双相双循环厌氧反应器技术规范》

(征求意见稿)

编制说明

《双相双循环厌氧反应器技术规范》起草组

二〇二五年九月二十二日

目 录

1. 编制背景	1
1.1 相关政策.....	1
1.2 国内外该产品市场情况.....	1
1.3 国内外该技术的研究现状.....	2
1.4 国内外该行业管理现状.....	4
2. 编制的必要性	4
2.1 行业存在的问题.....	4
2.2 拟解决的重点问题.....	5
2.3 预期达到的效果.....	5
2.4 标准化意义.....	6
3. 国内外标准化情况	6
4. 工作简况	6
4.1 起草单位及分工.....	6
4.2 主要起草人情况简介.....	6
4.3 主要工作过程.....	7
5. 标准主要技术内容及编制依据	9
5.1 标准框架.....	9
5.2 适用范围.....	9
5.3 规范性引用文件.....	9
5.4 术语和定义.....	11
5.5 主要技术内容.....	12

6. 与现行相关标准的协调关系	14
7. 重大分歧意见的处理经过和依据	15
8. 标准实施建议	16
9. 其他应予说明的情况（涉及专利情况）	18

1. 编制背景

1.1 相关政策

在国家环保政策方面，我国近年来对工业废水治理的要求日益严格，相关政策法规推动高浓度有机废水处理技术的发展。《水污染防治行动计划》（“水十条”）要求重点行业（化工、制药、食品等）废水处理达标排放，推动高效、低耗处理技术的应用。《污水综合排放标准》（GB 8978）严格规定 COD、SS 等污染物的排放限值，促使企业采用更高效的厌氧处理工艺。《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918）对污水处理厂的出水水质提出更高要求，推动厌氧技术的优化升级。《“十四五”生态环境规划》强调工业废水减量化、资源化处理，鼓励沼气回收利用，促进低碳环保技术发展。

在安全与防爆要求方面，《爆炸性环境用设备通用要求》（GB 3836.1）规范厌氧反应器的防爆电气设备选型，确保沼气（CH₄、H₂S）处理安全。《建筑物防雷设计规范》（GB 50057）要求厌氧反应器配备防雷接地措施，防止雷击引发爆炸事故。《恶臭污染物排放标准》（GB 14554）限制 H₂S 等恶臭气体排放，推动反应器密封性和气体处理技术的改进。

在行业标准支持方面，《上流式厌氧反应器》（JB/T 10669）为厌氧反应器设计提供基础参考，但未涵盖双相双循环工艺。《升流式厌氧污泥床反应器污水处理工程技术规范》（HJ 2013）适用于 UASB 工艺，但双相双循环技术需更精细的标准指导。

1.2 国内外该产品市场情况

目前，国内对双相双循环厌氧反应器的市场需求旺盛，随着化工、制药、食品、酿酒等行业的高浓度有机废水处理需求持续增长，传统厌氧技术（如 UASB）已难以满足高效、稳定运行的要求，而双相双循环厌氧反应器因其高 COD 去除率（≥80%）和抗冲击能力受到青睐。双相双循环厌氧反应器的主要应用领包括制药行业的抗生素、发酵类废水（COD 5000~15000 mg/L），食品加工行业的淀粉、酒精废水（COD 3000~10000 mg/L）以及化工行业的农药、染料废水。目前，国内环保企业（如碧水源、维尔利、中持股份）逐步推出双相厌氧反应器产品，但标准化程度较低。部分中小企业仍采用传统 UASB 或 IC 反应器，升

级需求明显。

国外市场方面，欧美市场处于全面领先地位，其中荷兰 Paques 公司开发的 IC 反应器、德国 Biothane 公司开发的 Biobed® EGSB、美国 ADI 公司开发的 Hybrid Reactor 占据了高端的市场。荷兰 Paques 公司的 IC 反应器在全球食品、造纸行业广泛应用，COD 去除率可达 85%~95%。Biothane 公司的 Biobed® EGSB 技术适用于高盐废水，已在欧洲多个化工废水项目成功应用。亚洲市场呈现出明显的增长趋势，印度、东南亚等地区因工业化加速，对高效厌氧技术的需求上升，中国企业的出口潜力较大。

1.3 国内外该技术的研究现状

1.3.1 国内研究现状

(1) 两相分离与微生物调控

国内学者在厌氧反应器的两相分离方面进行了大量研究，主要集中在 pH 调控、水力停留时间 (HRT) 优化和微生物群落分析。同济大学学者研究发现，产酸相的最佳 pH 范围为 4.5~6.0，而产甲烷相需维持在 7.0~8.0，采用碳酸氢钠 (NaHCO₃) 和氢氧化钠 (NaOH) 联合调节可稳定两相环境。清华大学通过在线 pH 传感器+自动加药系统，实现动态调控，减少人工干预，提高系统稳定性。哈尔滨工业大学研究表明，产酸相的 HRT 应控制在 12~24 小时，产甲烷相 HRT 为 24~48 小时，过短会导致酸化，过长则降低处理效率。浙江大学采用梯度负荷启动法，逐步缩短 HRT (从 48h 降至 10 h)，成功实现高 COD (8000 mg/L) 制药废水的稳定处理。中国科学院生态环境研究中心通过高通量测序发现，产酸相优势菌为梭菌属 (*Clostridium*) 和拟杆菌属 (*Bacteroides*)，而产甲烷相以甲烷八叠球菌 (*Methanosarcina*) 和甲烷丝菌 (*Methanotherrix*) 为主。天津大学研究显示，外循环回流可促进产甲烷菌富集，使甲烷产率提高 15%~20%。

(2) 污泥颗粒化技术

污泥颗粒化是厌氧反应器高效运行的关键，国内研究聚焦于颗粒污泥形成机制和强化方法：中国科学技术大学实验表明，产甲烷区上升流速控制在 0.8~1.2 m/h 时，污泥颗粒化效

果最佳，粒径可达 1.5~2.0 mm。北京工业大学发现，过低流速 (<0.5 m/h) 会导致污泥沉降堆积，过高 (>1.5 m/h) 则引发污泥流失。华南理工大学研究指出，投加 Ca^{2+} (100~200 mg/L) 可增强污泥结构强度，减少解体风险。西安建筑科技大学尝试添加活性炭 (5~10 g/L)，提高污泥导电性，加速产甲烷过程。

1.3.2 国外研究现状

(1) 高效反应器设计与优化

欧美国家在厌氧反应器领域技术领先，重点研究方向包括传质强化、智能控制和新型材料应用。在传质强化技术方面，荷兰 Paques 公司的 IC 反应器通过气提+内回流设计，使 COD 去除率高达 95%，已广泛应用于啤酒、造纸废水处理。德国 Biothane 公司的 Biobed® EGSB 反应器采用微膨胀床技术，上升流速达 3~5 m/h，适用于高浓度悬浮物废水。在智能指控方面，美国斯坦福大学开发 AI 算法，实时监测 pH、VFA（挥发性脂肪酸）、产气量等参数，自动调节 HRT 和回流比，使能耗降低 20%。丹麦技术大学利用机器学习预测污泥活性变化，提前预警系统崩溃风险。在新型材料应用方面，瑞士 EAWAG 研究所在反应器中填充碳纤维，增强直接种间电子传递 (DIET)，使甲烷产率提升 30%。日本东京大学研究纳米 Fe_3O_4 对产甲烷菌的促进作用，发现其可缩短启动时间 40%。

(2) 抗冲击负荷与毒性耐受

荷兰 Wageningen 大学通过耐盐菌种驯化，使厌氧系统在 NaCl 10 g/L 条件下仍保持 80% COD 去除率。西班牙巴塞罗那大学研究硫化物抑制对策，投加 FeCl_3 沉淀 H_2S ，减少对产甲烷菌的毒性。美国密歇根大学采用微氧预处理 ($\text{DO}<0.5 \text{ mg/L}$)，将苯系物降解率从 50% 提高至 85%。

(3) 资源回收与能源化

资源回收与能源化主要围绕沼气提纯和磷回收。德国 Linde 公司开发膜分离+PSA (变压吸附) 技术，将沼气 (CH_4 60%~70%) 提纯至生物天然气 ($\text{CH}_4>95\%$)，用于车用燃料。瑞典普拉克公司在污水处理厂集成沼气发电+余热回收，能源自给率达 120%。比利时根特大

学在厌氧反应器后接鸟粪石（MAP）结晶工艺，从废水中回收磷，纯度达 90%。

综上所述，国内双相双循环厌氧反应器研究在两相分离、污泥颗粒化和工程应用方面已取得显著进展，但与国际领先水平相比，在智能化控制、抗冲击负荷和能源回收方面仍有差距。未来需加强 AI 技术、新型材料和资源化技术的研发，推动该技术向高效、低碳、智慧化方向发展。

1.3.3 国内外同类技术对比

序号	项目名称	同类技术	与本技术的主要区别
1	两相分离方式	两相厌氧反应器	两相厌氧反应器：物理分隔两相，但无循环强化，传质效率低。 本技术：双循环（内+外）协同，增强传质与反应稳定性。
2	污泥颗粒化	UASB（上流式厌氧污泥床）	UASB：依赖自然颗粒化，启动慢（3-6 个月）。 本技术：外循环调控上升流速（0.8-1.2 m/h），加速颗粒化（1-2 个月）。
3	抗冲击负荷能力	IC（内循环厌氧反应器）	IC：可抗±20% COD 波动，恢复时间>36 小时。 本技术：耐受±30% 波动，恢复时间≤24 小时，且盐度耐受达 5000 mg/L。
4	能耗效率	EGSB（膨胀颗粒污泥床）	EGSB：高上升流速（3-5 m/h），能耗>1.0 kWh/吨水。 本技术：气提内循环+优化外循环，能耗≤0.8 kWh/吨水。

1.3.4 主要应用单位应用情况

序号	应用单位名称	应用技术	应用起止时间	单位类型	效益
1	江苏淮河化工有限公司	双相双循环厌氧反应器	2022-2024	国有企业	COD 去除率提升至 85%，能耗降低 30%。
2	江苏剑牌农化股份有限公司	双相双循环厌氧反应器	2022-2024	股份有限公司	生化系统运行成本减少 20%。

1.4 国内外该行业管理现状

目前，国内外尚无专门针对双相双循环厌氧反应器的技术标准，相关设计、制造和验收多参照通用厌氧反应器规范（如 HJ 2013-2012）。本标准填补了该领域技术标准的空白。

2. 编制的必要性

（行业存在问题、拟解决的重点问题、预期达到的效果，拟产生的社会、经济及生态环境效益等）

2.1 行业存在的问题

高浓有机废水处理效率低：现有厌氧反应技术（如 UASB、EGSB）对高 COD (≥ 2000 mg/L)、高盐分 (≥ 5000 mg/L) 废水的适应性较差，COD 去除率普遍低于 70%，且易受水质波动影响。传统单相厌氧工艺难以实现产酸菌与产甲烷菌的协同优化，导致反应效率低、启动周期长（通常需 2-3 个月）。

运行稳定性不足：抗冲击负荷能力弱，COD 负荷波动超过 $\pm 20\%$ 时易引发酸化崩溃（挥发酸积累 > 2000 mg/L），恢复时间长达 48 小时以上。硫化物抑制问题突出，产甲烷区 H₂S 浓度超标 (> 100 mg/L) 会严重抑制微生物活性。

能耗与成本偏高：现有技术吨水处理能耗普遍 > 1.2 kWh，年维护成本占设备投资的 5%-8%，经济性较差。缺乏标准化设计，非标设备占比高，导致制造与维护成本增加。

2.2 拟解决的重点问题

两相分离与双循环协同优化：通过物理分隔与 pH 调控（产酸区 4.5-6.0，产甲烷区 7.0-8.0），实现产酸相与产甲烷相的高效分离，避免菌群竞争。内循环（气提流速 1-5 m/s）与外循环（上升流速 0.8-1.2 m/h）协同强化传质，提升污泥颗粒化程度（粒径 ≥ 1.5 mm）。

抗冲击负荷与稳定性提升：标准化设计抗波动能力（COD 负荷 $\pm 30\%$ 时恢复时间 ≤ 24 小时），通过外循环碱度调节（碳酸氢钠/氢氧化钠投加）抑制酸化。集成 H₂S 实时监测 (≤ 10 ppm) 与铁盐沉淀措施，降低硫化物毒性。

能耗与成本控制：规定吨水处理能耗 ≤ 0.8 kWh，年维护成本 $\leq 3\%$ 设备投资，通过气提内循环替代机械搅拌降低能耗。统一耐腐蚀材料（如 316L 不锈钢）、三相分离器倾角 (45°-60°) 等关键参数，减少非标定制。

2.3 预期达到的效果

技术性能提升：COD 去除率 $\geq 80\%$ ，出水 COD ≤ 600 mg/L（进水 4000-6000 mg/L），盐分耐受 ≥ 5000 mg/L。连续运行周期 ≥ 1 年，无严重污泥流失或酸化现象。

经济与社会效益：降低吨水处理成本 30% 以上，推动化工、制药等行业废水处理达标排放（符合 GB 8978）。缩短启动周期至 1 个月内，提升设备利用率。

生态环境效益：沼气（CH₄ 纯度>60%）回收利用，减少温室气体排放。减少化学药剂（如铁盐）投加量，降低二次污染风险。

2.4 标准化意义

本标准的制定将填补双相双循环厌氧反应器技术规范的空白，为设计、制造、验收及运行提供统一依据，推动高浓有机废水处理技术向高效、低碳、标准化方向发展。

3. 国内外标准化情况

序号	规范文件	主要内容	与本文件的主要区别
1	HJ 2013-2012 (UASB 技术规范)	范围： 规范 UASB 反应器处理中高浓度有机废水的设计、建设与运行管理。 核心技术要素： 包括工艺设计、检测控制、施工验收、运行维护及沼气利用等要求。	未涉及两相分离及双循环协同工艺。
2	JB/T 10669-2006	范围： 规范上流式厌氧反应器的设计、制造及运行管理，适用于有机废水处理。 核心技术要素： 涵盖定义、分类、技术要求、试验方法、检验规则及包装运输等。	缺乏对耐腐蚀材料、气提流速等细节规定。

4. 工作简况

4.1 起草单位及分工

序号	起草单位	任务分工
1	南京大学	负责双相双循环厌氧反应器的微生物作用机理研究及工艺参数优化。
2	扬子江生态文明创新中心	组织标准应用示范，推动技术成果转化与产业化推广
3	南京大学盐城环保技术与工程研究院	开展小试实验验证，提供反应器运行性能的关键数据支持
4	河南君和环保科技有限公司	开展中试实验验证，提供反应器中试运行性能的关键数据支持
5	南京环保产业创新中心有限公司	负责反应器结构设计优化研究
6	江苏南大华兴环保科技股份公司	成果转化与产业化推广
7	南京理工大学	负责反应器结构设计优化研究

4.2 主要起草人情况简介

序号	姓名	职称/职务	工作单位	研究方向
1	李爱民	教授	南京大学	毒害有机污染物控制与资源化
2	李俊	副研究员	南京大学	厌氧生物处理技术
3	邢立群	高级工程师	南京大学盐城环保技术与工程研究院	新污染物控制与风险评估
4	李燕	副教授	南京理工大学	溶解性有机物的特性解析及与环境影响
5	潘旸	副教授	南京大学	高风险消毒副产物的识别与控制
6	高小娟	工程师	扬子江生态文明创新中心	毒害有机污染物控制与资源化
7	陈讯	工程师	扬子江生态文明创新中心	环境污染检测与功能材料开发
8	姜笔存	高级工程师	南京环保产业创新中心有限公司	水污染控制与治理
9	代吉华	高级工程师	河南君和环保科技有限公司	厌氧生物处理技术
10	戴建军	正高级工程师	江苏南大华兴环保科技股份公司	水污染控制
11	杨峰	高级工程师	江苏南大华兴环保科技股份公司	水污染控制
12	于伟华	高级工程师	南京环保产业创新中心有限公司	水污染控制与治理

4.3 主要工作过程

4.3.1 标准预研

2024年5月，成立双相双循环厌氧反应器标准编制工作组。编制组成员由南京大学环境学院、南京大学盐城环保技术与工程研究院、南京理工大学化工学院等单位的污水处理专家和工程师共同组成。

2024年5月至8月，工作组系统收集整理国内外双相厌氧反应技术的研究资料和应用案例，重点分析化工、制药、食品等行业高浓有机废水的处理需求和技术瓶颈。同时全面调

研国内外相关标准规范，包括 GB 50014-2006《室外排水设计规范》、HJ 2013-2012《升流式厌氧污泥床反应器污水处理工程技术规范》等 12 项标准，明确现有标准在双相双循环工艺方面的空白和不足。

2024 年 9 月至 2024 年 4 月，在实验室开展了小试规模的双相双循环厌氧反应器处理高硫酸盐废水的研究，研究结果表明，当硫酸盐浓度达 5000 mg/L 时，传统 IC 反应器 COD 去除率不足 50%，而本装置可将硫酸盐的处理阈值提升至 10000 mg/L，并维持 80%以上的 COD 去除率。此外该装置拥有更高的厌氧中间产物 VFAs 的转换效率，且可以将液相中对微生物有毒性抑制的自由硫化氢分子浓度控制在 50 mg/L 以内。我们在实验室进行了小试实验，将淮化硝化废水先通过零价铁还原提高可生化性，再进入双相双循环厌氧反应器。并通过好氧污泥呼吸速率（Oxygen Uptake Rate, OUR）来表征废水的毒性变化。在小试研究基础上，我们分别在江苏淮河化工有限公司（淮化）和江苏剑牌农化股份有限公司（剑牌）开展了 20t/d 双相双循环厌氧反应器的中试研究。研究结果表明，淮化硝化废水为高毒废水，经零价铁还原和双相双循环厌氧反应器后，由高毒转化为无毒，厌氧产甲烷性能由不能产甲烷（0）转变为可产甲烷（17.48 ml）；COD 值可以由最初的 2158 mg/L 降至 498 mg/L，降低了近 80%；硫酸根由 4728 mg/L 降至 2220 mg/L，降低了一半以上。针对剑牌的高盐废水，双相双循环厌氧反应器在盐浓度达 5000 mg/L 的条件下，依然可以去除 80%以上的 COD，COD 由 5000 mg/L 以上降至 1000 mg/L 左右。在前期研究基础上，南京环保产业创业中心将双相双循环厌氧反应器推广应用到新疆哈密兰炭废水处理和金丹聚乳酸废水处理项目上，取得了稳定的有机污染物去除效果。

4.4.2 立项申请

2025 年 6 月，指南编制组向江苏省环境科学学会正式提交立项申请。

4.4.3 标准立项审查会

2025 年 7 月 10 日，江苏省环境科学学会在南京组织召开了标准立项审查会，经专家质询和讨论，同意立项。

4.4.4 标准起草

2025年10月，标准编制组针对专家意见进行了认真研讨和修改形成标准初稿。

4.4.5 标准初审会

2025年10月17日—27日，江苏省环境科学学会组织专家对标准初稿进行了函审。标准编制组针对专家意见进行了认真研讨和修改形成标准征求意见稿。

4.4.6 征求意见

2025年11月17日—2025年12月17日，江苏省环境科学学会公开征求意见。

4.4.7 标准修改和送审稿形成

××年××月，标准编制组根据征集的意见，对标准进行了认真修改，形成送审稿。

4.4.8 标准送审稿审查

××年××月××日，江苏省环境科学学会组织召开了标准送审稿审查会，经专家质询和讨论，专家组一致同意通过审查，建议起草组根据专家意见修改后提交报批稿，进入发布程序。

4.4.9 标准报批

××年××月，起草组根据专家意见修改后向江苏省环境科学学会提交报批稿。

4.4.10 标准发布

××年××月××日，江苏省环境科学学会于批准发布。

5. 标准主要内容及编制依据

5.1 标准框架

本标准规定了双相双循环厌氧反应器的结构、技术要求、相分离流程、以及包装运输要求，适用于高浓有机废水的处理装置设计、制造、验收及运行。

5.2 适用范围

本标准适用于化工、制药、食品等行业的高浓有机废水处理工程。

5.3 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适

用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本(包括所有的修改单) 适用于本文件。

GB/T191-2008 包装储运图示标志

GB 8978 污水综合排放标准

GB 12801 生产过程安全卫生要求总则

GB 3836.1-2000 爆炸性环境 第 1 部分：设备 通用要求

GB 14554-1993 恶臭污染物排放标准

GB 18918-2002 城镇污水处理厂污染物排放标准

GB 50014-2006 室外排水设计规范

GB 50017 钢结构设计规范

GB 50046 工业建筑防腐蚀设计规范

GB 50057-2010 建筑物防雷设计规范

GB 50058 爆炸危险环境电力装置设计规范

GB 50869-2013 城镇污水处理厂污泥处理处置技术规范

GB 51063 工业企业沼气工程设计规范

AQ/T 3033 化工建设项目安全设计管理导则

AQ 3009-2007 防爆电气设备安全检查规范

CJJ 60 城市污水处理厂运行、维护及安全技术规程

CJ 3025 城市污水处理厂污水污泥排放标准

HJ 576-2010 厌氧-缺氧-好氧活性污泥法污水处理工程技术规范

HJ 2013-2012 升流式厌氧污泥床反应器污水处理工程技术规范

HJ 2023-2012 厌氧颗粒污泥膨胀床反应器废水处理工程技术规范

HJ 2024-2012 完全混合式厌氧反应池废水处理工程技术规范

JB/T 10669-2006 上流式厌氧反应器

TSG 21 压力容器安全技术监察规程

5.4 术语和定义

5.4.1 双相双循环 two-phase dual-cycle

双相双循环是指在同一个厌氧反应装置内，通过物理分离与化学调控将污水处理过程分为两个功能相（产酸相、产甲烷相），并辅以内循环和外循环两套系统协同运行的工艺模式。具体定义为：

(1) 两相分离：

产酸相：在低 pH (4.5-6.0) 条件下，利用产酸菌将复杂有机物水解为小分子有机酸。

产甲烷相：在中性 pH (7.0-8.0) 条件下，产甲烷菌将小分子有机酸转化为甲烷和二氧化碳，并通过内外循环系统强化传质与反应效率。

(2) 双循环协同：

内循环系统：利用气提作用（产气上升携带混合液）将反应液从产甲烷区输送至气液分离器，分离气体后液体回流至产甲烷区，形成内部循环，增强混合与传质。

外循环系统：通过泵将产甲烷区的部分混合液引出，经调节 pH 和碱度后回流至产甲烷区入口，维持反应环境稳定并促进污泥颗粒化。

5.4.2 高浓有机废水 high-concentration organic wastewater

高浓有机废水是指化学需氧量 (COD) 浓度通常高于 2000 mg/L (部分行业标准可能更高) 的工业或生活废水，其核心特征是有机污染物浓度高、生物降解性差异大、可能含有毒性物质。

依据：高浓度有机废水的定义 (COD>2000mg/L) 参考了《HJ 2013-2012 升流式厌氧污泥床反应器污水处理工程技术规范》等行业通用门槛，并结合了化工、制药等行业废水有机负荷高的特点。明确适用范围有助于用户准确判断本技术的适用场景，避免误用。

5.4.3 三相分离器 three-phase separator

安装于厌氧污泥床中上部，收集反应区产生的沼气，并使悬浮物沉淀、出水排放，实现

气体、 固体、 液体分离的装置。

5.5 主要技术内容

5.5.1 反应器组成

结构设计：明确了反应器从底部到顶部的核心构成部件，包括产酸区、产甲烷区、沉淀区以及配套的布水、三相分离、循环系统，并提供了结构示意图。

体积比例：规定了产酸区、产甲烷区、沉淀区的体积比为 2: 3~6: 1~1.5。

循环系统：规定了内循环气提流速（1-5 m/s）和外循环控制的上升流速（0.8-1.2 m/h）。

制造与材料：要求三相分离器焊接无缝隙、倾斜角度>50°；内循环管路需通过气密性测试；装置本体采用耐腐蚀材料（如 316L 不锈钢或碳钢衬塑）。

依据：结构设计借鉴并融合了 UASB（HJ 2013）、EGSB（HJ 2023）等成熟厌氧反应器的优点，其双区室一体化设计依据是实现产酸菌和产甲烷菌各自最佳生长环境，从而提高整体反应速率和系统抗冲击负荷能力。体积比的确定基于前期中试试验和研究文献，旨在为两相微生物提供充足的停留时间，并确保沉淀区有足够的固液分离能力。内循环气提流速参考了 EGSB 反应器的成功经验，以维持较高的传质效率；外循环流速范围旨在保证污泥床的适度膨胀，避免污泥流失。制造要求依据 TSG 21《压力容器安全技术监察规程》和 GB 50046《工业建筑防腐蚀设计规范》，确保设备的结构完整性和在腐蚀性环境下的耐久性。

5.5.2 安全要求

设置了全面细致的安全条款，包括气体（H₂S, CH₄）泄漏检测与报警、防爆设计与阻火器设置、强制通风、保温控温、化学品安全储存、个人防护装备、设备防静电与接地、操作人员培训与持证上岗、应急预案与演练等。

依据：严格遵循国家强制性安全标准。防爆电气要求依据 GB 3836.1；防雷接地依据 GB 50057；爆炸危险环境设计依据 GB 50058；安全设计管理参考 AQ/T 3033。这些条款的制定是为了有效防控厌氧消化过程中产生的易燃、有毒气体带来的爆炸、中毒风险，以及化学品使用中的腐蚀风险，将“安全第一，预防为主”的原则落到实处。

5.5.3 运行管理

启动与相分离：详细规定了采用 pH 调控和逐步缩短 HRT（从 48 小时至 10 小时）的动力学控制方法，实现产酸相（pH 4.5-6.0）和产甲烷相（pH 7.0-8.0）的分离，并给出了挥发酸积累等异常情况的处理措施。

进水水质：规定了进水 pH、营养比、悬浮物、氨氮、COD 浓度范围，并要求严格控制有毒物质。

日常监控与维护：明确了 COD、pH、硫化物、气体浓度、温度等日常监测指标，以及污泥活性检测、设备清理检修的频率和要求。

依据：启动程序是基于厌氧微生物学原理，通过创造不同的生态位，引导并强化功能菌群的空间自然分离。该方法是本技术成功应用的关键，其参数经大量实验验证，能有效防止启动阶段的“酸化”失败。进水水质要求综合参考了 GB 50014《室外排水设计规范》、HJ 576《厌氧-缺氧-好氧活性污泥法污水处理工程技术规范》及各类工业废水特点，旨在为厌氧微生物提供稳定、适宜的生存环境。监控与维护制度参考了 CJJ 60《城市污水处理厂运行、维护及安全技术规程》，旨在通过预防性维护和精细化管控，保障反应器的长期稳定运行。

5.5.4 检验与验收

规定了设备出厂前的检验项目（如密封性、材质、气提效率、分离效率、安全系统测试）和工程竣工后的验收标准。验收要求包括连续 72 小时性能测试，指标为 COD 去除率 $\geq 90\%$ 、出水 COD $\leq 600 \text{ mg/L}$ 、吨水处理能耗 $\leq 0.8 \text{ kWh}$ 等，并需由具备 CMA 资质的机构出具检测报告。

依据：检验要求旨在确保设备制造质量符合设计规范。性能验收标准主要依据 GB 8978《污水综合排放标准》中对相关行业的排放限值，并结合该技术的处理潜力，设定了优于常规标准的去除率要求。引入第三方检测和能耗指标，是为了客观评估处理效能，并引导该技术向高效、节能的方向发展。

5.5.5 标志、包装与运输

对设备标志、包装防护（特别是对易损部件的保护）、随行技术文件及运输过程提出了具体要求。

依据：主要依据 GB/T 191《包装储运图示标志》，旨在确保设备在交付客户前，能得到妥善处理，防止在储运过程中发生损坏、缺失，保障设备的完好性和可安装性。

6. 与现行相关标准的协调关系

6.1 与国家标准及行业标准的协调性

本标准在制定过程中充分参考并协调了以下现行国家标准及行业标准的要求，确保技术内容的一致性和互补性：

GB 50014-2006《室外排水设计规范》：本标准的反应器设计参数（如上升流速、污泥负荷）与其规定的厌氧处理单元技术要求相协调，确保系统水力负荷和结构安全性符合规范。

GB 3836.1-2000《爆炸性环境 第1部分：设备通用要求》：本标准第5.5节的安全要求（如防爆电气设备、阻火器设置）严格遵循其防爆等级和安装规范。

GB 8978《污水综合排放标准》：本标准第7.2.4条的出水水质指标（COD、SS、pH）与其规定的排放限值直接对应，确保验收结果合法合规。

HJ 2013-2012《升流式厌氧污泥床反应器污水处理工程技术规范》：本标准的相分离工艺、三相分离器设计及污泥接种要求与其技术条款兼容，并在此基础上强化了双循环系统的协同控制。

JB/T 10669-2006《上流式厌氧反应器》：本标准的制造要求（如焊接标准、材质选择）与其机械性能规定一致，同时补充了双相结构的特殊工艺要求。

6.2 与安全及环保标准的衔接

GB 14554-1993《恶臭污染物排放标准》：本标准第5.5.1条的气体泄漏监测及第7.2.3条的H₂S排放限值与其衔接，确保沼气处理后的恶臭浓度达标。

AQ 3009-2007《防爆电气设备安全检查规范》：本标准第 5.5.11 条的防爆设备选型及检验要求引用其条款，保障操作区域的安全性。

GB 50057-2010《建筑物防雷设计规范》：本标准第 5.5.12 条的防雷接地措施与其技术要求完全一致。

6.3 与行业技术规范的差异化补充

双相分离工艺的独特性：相较于 HJ 2023-2012（膨胀床反应器）和 HJ 2024-2012（完全混合式反应器），本标准新增了产酸相与产甲烷相的物理化学分离方法（pH 调控、双循环系统），并明确了体积比（2:4:1）和相间连接单元的设计要求。

能耗与抗冲击负荷指标：本标准第 5.4 节提出的吨水能耗（ $\leq 0.8 \text{ kWh}$ ）和抗负荷波动能力（ $\pm 30\% \text{ COD}$ ）严于同类标准，体现了技术先进性。

7. 重大分歧意见的处理经过和依据

7.1 分歧意见的背景

在制定本标准的过程中，针对双相双循环厌氧反应器的关键技术要求、性能指标及安全规定，起草组与相关行业专家、企业代表及标准化机构进行了多轮讨论，主要分歧点集中在以下几个方面：一是两相分离的 pH 控制范围，部分专家认为产酸相的 pH 下限（4.5）可能抑制部分水解菌活性，建议放宽至 5.0；而另一部分专家则强调严格低 pH 对相分离的必要性。二是抗冲击负荷的恢复时间，企业对“COD 负荷波动 $\pm 30\%$ 时恢复时间 ≤ 24 小时”的指标提出异议，认为部分高毒性废水需更长的恢复周期。三是污泥接种量，部分设计单位提议降低产甲烷区接种量（从 30%~50% 降至 20%~40%），以节约成本；但科研机构强调高接种量对快速启动的关键作用。

7.2 分歧处理意见

针对 pH 控制范围争议，起草组联合三家污水处理厂进行对比试验，结果显示在 pH

4.5~6.0 条件下，产酸相挥发性脂肪酸（VFA）生成效率较 pH 5.0~6.5 提高 18%，且未显著抑制水解菌活性。因此采纳试验数据，维持原 pH 范围。针对抗冲击负荷指标争议，分析化工、制药行业 12 个案例数据，90% 的稳定运行系统可在 24 小时内恢复，但部分含酚类废水需 48 小时，因此保留≤24 小时的要求，同时在 6.5.1 条款中增加例外说明：“对含生物抑制物的废水，可延长 HRT 至 48 小时”。针对污泥接种量争议，对比 5 个工程案例发现，接种量≥30% 时，系统启动时间缩短 40%，且抗负荷波动能力显著提升。因此坚持原接种量要求，同时在 5.7.2 条款中注明“对低浓度废水（COD<3000 mg/L），可酌情减少至 25%”。

8. 标准实施建议

8.1 组织措施

8.1.1 成立标准实施工作组

由环保部门、行业协会、设计院、设备制造商、污水处理厂代表组成。主要职责包括监督标准执行情况，协调解决实施问题；组织培训、宣贯会议，提高行业认知度；收集反馈意见，推动标准优化更新。

8.1.2 建立标准执行监督机制

地方生态环境局、市场监督管理局联合监督。检查内容包括设备制造是否符合本标准技术要求（如材质、防爆等级）；运行管理是否按标准执行（如 pH 调控、污泥接种量）；验收检测是否满足 COD 去除率、H₂S 排放限值等指标。对达标企业给予环保补贴或税收优惠，对违规企业限期整改，严重者暂停运营资格。

8.1.3 开展行业培训与认证

对污水处理厂操作人员、环保工程师、设备制造商技术人员进行培训，培训内容包括标准核心条款解读（如相分离控制、安全防爆要求），实操技能（如污泥接种、循环系统调节）和应急处理（气体泄漏、污泥流失应对措施）。

颁发《双相双循环厌氧反应器操作资格证书》，持证上岗。

8.2 技术措施

8.2.1 设备制造与安装技术指导

制造要求：严格执行 5.6.3.2 条款的焊接、气密性测试标准。采用 SS316L 不锈钢或碳钢衬塑，并提供材质检测报告。

安装规范：三相分离器倾斜角度严格控制在 45°~60°。

8.2.2 运行优化技术支持

采用动力学控制法，结合 pH 实时调控，确保两相分离稳定。推荐使用颗粒污泥（粒径 $\geq 1.5\text{mm}$ ），缩短启动时间。

安装在线监测系统（COD、pH、H₂S、CH₄），数据实时上传至监管平台。定期检测污泥活性（比产甲烷活性 $\geq 0.2\text{gCOD}/(\text{gVSS}\cdot\text{d})$ ），及时补充污泥。

8.2.3 安全与应急技术保障

防爆措施：沼气收集系统设置阻火器+防爆膜，定期检查密封性。操作间安装防爆风机，确保 CH₄ 浓度 < 爆炸下限的 10%。

应急预案：配备便携式 H₂S 检测仪、CO₂ 灭火器、防毒面具。每季度演练气体泄漏、火灾等突发情况处置流程。

8.3 过渡办法

8.3.1 现有设备的改造升级

适用范围：已建成的传统厌氧反应器（如 UASB、IC 反应器）。

改造重点：加装两相连接单元，实现产酸区与产甲烷区分隔。增设内循环系统（气提装置）和外循环泵。

过渡期：给予 1~2 年改造时间，逾期未达标者限产或停用。

8.3.2 分阶段实施计划

第一阶段（1年内）：重点行业（化工、制药、食品）新建项目强制采用本标准。开展

标准宣贯会，培训首批操作人员。

第二阶段（2~3年）：现有高浓度废水处理设施逐步改造，纳入环保考核。建立标准案例库，推广最佳实践。

8.3.3 标准与现行政策的衔接

环保验收：出水 COD、SS 等指标需同时满足 GB 8978 和本标准要求。恶臭气体排放执行 GB 14554-1993，但监测频次按本标准 5.7.4.2 执行。

补贴政策：对采用本标准的新建或改造项目，优先给予绿色信贷或技改资金支持。组织措施、技术措施、过渡办法等

9. 其他应予说明的情况（涉及专利情况）

9.1 专利使用要求

合法授权：采用本标准设计、制造或运营双相双循环厌氧反应器的单位或个人，若实施已声明专利的技术方案，需与专利权人签订书面许可协议，并支付合理许可费。未经许可，不得以商业目的使用受专利保护的技术内容。

争议解决：若因专利实施引发纠纷，标准使用者可与专利权人协商解决，或通过法律途径处理。标准归口单位不承担专利侵权责任。

9.2 免责声明

本标准发布机构及起草单位不对以下情况承担责任：（1）因未获专利授权导致的侵权问题；（2）因专利技术更新或失效引发的标准适用性争议；（3）第三方声称拥有本标准相关技术的知识产权但未提前声明的纠纷。