 T/CECS×××**-**××××

中 国 工 程 建 设 标 准 化 协 会 标 准

**城镇污水部分厌氧氨氧化脱氮技术指南**

**Guideline for nitrogen removal technology via partial anammox of mainstream municipal wastewater treatment**

（征求意见稿）

中国工程建设标准化协会标准

城镇污水部分厌氧氨氧化脱氮技术指南

Guideline for nitrogen removal technology via partial anammox of mainstream municipal wastewater treatment

T/CECS×××**-**××××

主编单位：北京工业大学

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2 0×× 年 ××月××日

前　　言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2023年第二批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2023]第50号）的要求，编制组经过广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内外的先进经验，并在广泛征求意见的基础上，制定本指南。

本指南共分6章和1个附录，主要技术内容包括：总则、应用原则与工艺类型、工艺选择与设计基本规定、工艺调试要点、工程验收与运行管理。

请注意本指南的某些内容可能直接或间接涉及专利，本指南的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本指南由中国工程建设标准化协会城市给水排水专业委员会归口管理，由北京工业大学负责具体技术内容的解释。本指南在执行过程中如有需要修改或补充之处，请将有关资料和建议寄送解释单位（地址：北京市朝阳区平乐园100号，电话：010-67392627）。

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 主编单位： | 北京工业大学 | | | | |
| 参编单位： | 同济大学 | | | | |
|  | 北京市市政工程设计研究总院有限公司  上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司  中国市政工程华北设计研究总院有限公司  哈尔滨工业大学（深圳）  北京城市排水集团有限责任公司 | | | | |
|  | 北控水务集团有限公司  中国水环境集团 | | | | |
|  | 杭州师范大学  中节能国祯环保科技股份有限公司 | | | | |
|  | 武汉市天源环保股份有限公司  江苏裕隆环保有限公司  君集环境科技有限公司 | | | | |
| 主要起草人： |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| 主要审查人： |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

目 次

[第一章 总则 1](#_Toc195281308)

[第一节 编制目的 1](#_Toc195281309)

[第二节 适用范围 1](#_Toc195281310)

[第二章 应用原则与工艺类型 2](#_Toc195281311)

[第一节 应用原则 2](#_Toc195281312)

[第二节 工艺类型 4](#_Toc195281313)

[第三章 工艺选择与设计基本规定 8](#_Toc195281314)

[第一节 总体设计 8](#_Toc195281315)

[第二节 城市污水预处理 8](#_Toc195281316)

[第三节 菌种富集与污泥接种 8](#_Toc195281317)

[第四节 短程硝化联合厌氧氨氧化脱氮工艺设计 9](#_Toc195281318)

[第五节 短程反硝化与厌氧氨氧化联合脱氮工艺设计 16](#_Toc195281319)

[第六节 双短程与厌氧氨氧化联合脱氮工艺设计 20](#_Toc195281320)

[第四章 工艺调试与验收 26](#_Toc195281321)

[第一节 调试流程与基本要求 26](#_Toc195281322)

[第二节 关键调试参数与控制范围 28](#_Toc195281323)

[第三节 工程验收要点 30](#_Toc195281324)

[第五章 工程验收与运行管理 32](#_Toc195281325)

[第一节 运行与维护 32](#_Toc195281326)

[第二节 检测要求 33](#_Toc195281327)

[第三节 安全管理 34](#_Toc195281328)

[第四节 工艺失稳恢复策略 35](#_Toc195281329)

[参考资料 39](#_Toc195281330)

# 第一章 总则

## 第一节 编制目的

为提升我国主流城市污水厌氧氨氧化脱氮工艺设计与运行管理水平，依据国家和行业相关法律法规和标准规范，编制本指南。

## 第二节 适用范围

本指南规定了主流城市污水处理采用短程硝化与短程反硝化厌氧氨氧化的脱氮工艺设计、工艺调试要点、运行管理与维护的技术要求。

本指南适用于采用厌氧氨氧化脱氮工艺的城镇污水处理工程。

# 第二章 应用原则与工艺类型

## 第一节 应用原则

一、主流城市污水厌氧氨氧化脱氮工艺的意义与挑战

厌氧氨氧化是指，厌氧氨氧化菌在缺氧条件下，以亚硝态氮作为电子受体，将氨氮氧化为氮气，并产生少量硝态氮（式1）。这一发现不仅使人们对自然界氮循环有了新的认识，也意味着微生物氮代谢途径本质上的改变，推动了污水生物脱氮技术的发展，开启了以厌氧氨氧化为代表的新型工艺技术研究阶段。厌氧氨氧化菌是化能自养菌，以CO2为无机碳源，无需曝气和有机碳源，从而大大节省能耗和药剂投加；厌氧氨氧化菌倍增时间3~14天，污泥产量少；而厌氧氨氧化能够实现较高脱氮负荷。因此，厌氧氨氧化具有经济高效的重要优势，已成为污水脱氮领域的研究热点。

NH4+ + 1.32 NO2- + 0.066HCO3- + 0.13H+ →1.02N2 +

0.26 NO3- + 0.066CH2O0.5N0.15 + 2.03H2O （2-1）

一般自然水体中，厌氧氨氧化反应的电子受体亚硝态氮并不存在，需通过其他途径获取。目前普遍采用的亚硝态氮获取途径是短程硝化过程，即在好氧条件下，氨氮氧化为亚硝态氮而不被继续氧化为硝态氮（式2）。将该过程与厌氧氨氧化结合的自养脱氮工艺，可节省70%曝气能耗和100%有机碳源。目前，该技术已成功应用于污泥消化液、垃圾渗滤液、制药废水等高氨氮废水处理工程。然而，对于氨氮浓度较低的城市污水，该工艺至今未实现规模化应用，关键问题在于难以稳定获取反应基质亚硝态氮。

NH4+ + 2O2 → NO2- + 2H2O （2-2）

亚硝态氮是反硝化过程重要的中间产物。反硝化过程在不同硝态氮浓度、碳氮比（COD/NO3--N）、碳源类型、pH等条件下均可能出现不同程度的亚硝态氮积累。硝态氮还原以亚硝态氮为终产物的“短程反硝化”过程已被证明是作为厌氧氨氧化反应底物获取的新途径。该过程在长期运行中能够维持稳定、高效的产亚硝态氮效率；反应速率较快，产亚硝态氮负荷高；控制简单，无需复杂的控制手段；基于短程反硝化的厌氧氨氧化工艺能够节省80%有机碳源、50%曝气能耗、降低污泥产量和温室气体排放，具有经济优势和环境效益。

二、主流城市污水厌氧氨氧化脱氮工艺的应用原则

1. 工艺路线选择原则

（1）采用短程硝化耦合厌氧氨氧化工艺时，应通过控制低溶解氧（0.2-0.5 mg/L）和短污泥龄（≤3天）实现亚硝酸盐氧化菌的有效抑制和淘洗，确保短程硝化的稳定维持；

（2）采用短程反硝化耦合厌氧氨氧化工艺时，如碳氮比过低（COD/TN＜2），宜选用乙酸钠、污泥厌氧发酵碳源等易生物降解碳源作为补充碳源，严格控制反硝化终点至亚硝态氮阶段。

2. 工艺参数控制原则

（1）采用短程硝化与厌氧氨氧化相结合工艺时，通过曝气时间调控厌氧氨氧化脱氮单元的氨氮与亚硝态氮的比例在合理范围；

（2）采用短程反硝化与厌氧氨氧化相结合工艺时，通过缺氧区水力停留时间和碳氮比调控厌氧氨氧化脱氮单元的氨氮与硝态氮的比例在合理范围；

（3）控制反应体系pH值在7.0-8.5；

（4）通过热能回收系统保持反应温度在25-30℃。

3. 运行保障原则

（1）建立完善的多参数在线监测网络，实时监控关键水质指标；

（2）合理调节硝化液回流比例（例如A2/O工艺建议回流比范围100%-300%），确保功能菌群活性；

（3）制定针对低温条件及抑制性物质的应急预案，保障工艺在极端情况下快速恢复和稳定运行。

三、主流城市污水厌氧氨氧化脱氮工艺设计

1. 工程施工建设：污水处理厂的工程施工建设需遵循现行国家标准《城镇污水处理厂工程施工规范》GB 51221的规定，施工组织设计及施工方案的编制需遵循现行国家标准《市政工程施工组织设计规范》GB/T 50903的有关规定。

2. 构筑物设计规范：污水处理构筑物的施工需遵循现行国家标准《大体积混凝土施工标准》GB 50496和《混凝土结构设计规范》GB 50010的有关规定。

3. 噪声控制要求：污水处理厂的施工、设计及运行应采取有效的噪声防治措施，噪声排放需遵循现行国家标准《工业企业厂界环境噪声排放标准》GB 12348。

4. 防火设计规定：污水处理厂建筑物的防火设计需遵循现行国家标准《建筑设计防火规范》GBJ 16和《建筑内部装修设计防火规范》GB 50222的要求进行。

5. 环境保护要求：污水处理厂在施工、运行时产生的废水、废气、废渣等污染物需严格按照当地环境排放标准执行，以避免二次污染的发生。

## 第二节 工艺类型

一、短程硝化联合厌氧氨氧化工艺

短程硝化联合厌氧氨氧化是一种应用较为广泛污水处理工艺。工艺原理为氨氧化菌在好氧状态下将氨氮氧化成亚硝态氮，随后厌氧氨氧化菌在缺氧状态下将氨氮和亚硝态氮转化成氮气和硝态氮。与传统硝化反硝化工艺相比，该工艺具有节省曝气、无需有机碳源、温室气体产量低等优点。

该工艺长期运行的关键在于维持氨氧化菌的增长，抑制亚硝酸盐氧化菌的增长，通常可通过控制溶解氧、温度、pH、污泥龄、游离氨、游离亚硝酸盐浓度等参数来实现。

该工艺可分为一体式短程硝化耦合厌氧氨氧化工艺与两段式短程硝化-厌氧氨氧化工艺，如图2-1和图2-2所示。

****

图2-1 一体式短程硝化耦合厌氧氨氧化工艺流程

****

图2-2 两段式短程硝化-厌氧氨氧化工艺流程

二、短程反硝化耦合厌氧氨氧化工艺

短程反硝化耦合厌氧氨氧化工艺原理为短程反硝化菌在缺氧状态下利用电子供体将硝态氮还原成亚硝态氮，随后厌氧氨氧化菌在缺氧状态下将氨氮和亚硝态氮转化成氮气和硝态氮。与传统硝化反硝化工艺相比，该工艺具有无需曝气、有机碳源需求少、污泥产量低、温室气体产量少等优点。

该工艺长期运行的关键在于稳定高效地控制短程反硝化过程，可通过控制碳源类型、COD/NO3--N、温度、pH等因素优化短程反硝化效果，从而保证该工艺的处理效率。

该工艺可分为一体式短程反硝化耦合厌氧氨氧化工艺与两段式短程反硝化-厌氧氨氧化工艺，如图2-3和图2-4所示。

****

图2-3 一体式短程反硝化耦合厌氧氨氧化工艺流程

****

图2-4 两段式短程反硝化-厌氧氨氧化工艺流程

此外，通过内源短程反硝化过程也可以为厌氧氨氧化反应提供基质亚硝态氮，即内源短程反硝化耦合厌氧氨氧化工艺。内源反硝化耦合厌氧氨氧化工艺原理为内源反硝化菌在厌氧状态下吸收城市污水内的有机物并储存为聚-β-羟基烷酸（PHAs），伴随着胞内糖原的消耗和磷酸盐浓度的下降。在缺氧状态下内源反硝化菌利用PHAs可将部分硝态氮还原为亚硝态氮，随后厌氧氨氧化菌将氨氮和亚硝态氮转化成氮气和硝态氮，产生的硝态氮被进一步还原为氮气或亚硝态氮用于进行厌氧氨氧化反应，如图2-5所示。内源反硝化过程可减少有机物波动对厌氧氨氧化造成的冲击影响，理论上可实现100%的脱氮效率。

****

图2-5 内源反硝化耦合厌氧氨氧化工艺流程

三、双短程耦合厌氧氨氧化工艺

1. 工艺原理

双短程耦合厌氧氨氧化工艺结合了短程硝化与短程反硝化的优势，通过分步调控实现高效脱氮。工艺原理为：在短程硝化阶段，在低溶解氧（0.2-0.5 mg/L）和短污泥龄（≤3 d）条件下，氨氧化菌将部分氨氮氧化为亚硝态氮，同时抑制亚硝酸盐氧化菌活性，实现亚硝酸盐的高效积累。在短程反硝化阶段，利用原水中的有机碳源，异养反硝化菌将硝态氮还原至亚硝态氮，避免过度还原为氮气。在厌氧条件下，厌氧氨氧化菌以氨氮为电子供体、亚硝态氮为电子受体，直接转化为氮气，实现高效自养脱氮。

该工艺通过短程硝化与短程反硝化的协同作用，优化亚硝态氮供给，提升厌氧氨氧化反应效率，同时减少有机碳源需求，降低曝气能耗，典型工艺流程如图2-6所示。

****

图2-6 双短程耦合厌氧氨氧化工艺流程

2. 工艺优势

相较于传统硝化-反硝化以及单一厌氧氨氧化工艺，双短程耦合厌氧氨氧化工艺具备以下优势：

（1）节能降耗：短程硝化减少25%-40%的曝气能耗，短程反硝化降低60%以上的碳源投加量；

（2）高效脱氮：厌氧氨氧化理论上脱氮贡献率达89%，产生的硝态氮可通过短程反硝化耦合厌氧氨氧化途径去除，理论上能实现100%脱氮；

（3）污泥减量：厌氧氨氧化菌增殖缓慢，污泥产率较低；

（4）绿色低碳：减少碳源投加量，降低温室气体排放。

# 第三章 工艺选择与设计基本规定

## 第一节 总体设计

根据水质条件与出水排放要求选择脱氮工艺：

（1）进水BOD5/TN≤1.5，优选一体式短程硝化耦合厌氧氨氧化工艺，好氧反应池宜采用生物膜系统。当出水需要达到城市污水一级A排放标准（GB18918）时，可以在好氧池后设置一体式短程反硝化耦合厌氧氨氧化进行深度脱氮。

（2）进水1.5< BOD5/TN < 2.5，优选双短程耦合厌氧氨氧化脱氮工艺。

（3）进水BOD5/TN≥2.5，优选短程反硝化与厌氧氨氧化联合脱氮工艺，缺氧反应池宜采用生物膜系统。

## 第二节 城市污水预处理

当采用一体式短程硝化耦合厌氧氨氧化工艺时，城市污水需通过预处理系统去除部分有机物，使进入一体式短程硝化耦合厌氧氨氧化系统的BOD5/TN在0.5以下。可采用化学强化一级处理、高负荷活性污泥接触-稳定处理、精密筛分过滤处理等碳捕集技术分离颗粒态和胶体态有机质，降低进水COD/NO3--N。当短程反硝化系统进水COD/NO3--N低于2.5时，可通过外加有机碳源进行补偿。

## 第三节 菌种富集与污泥接种

一、短程硝化/短程反硝化菌种富集

1. 接种污泥

建议采用城市污水处理厂活性污泥作为接种物，通过原位富集培养实现功能菌群的定向驯化。

2. 短程硝化功能菌培养

维持低溶解氧（0.2–0.5 mg/L）和短污泥龄（≤3 d）选择性富集氨氧化菌，抑制亚硝酸盐氧化菌，实现亚硝态氮高效积累。

3. 短程反硝化功能菌培养

优先选用乙酸钠等易降解有机碳源，控制进水COD/NO3--N，将硝态氮还原控制在亚硝态氮阶段，以驯化培养短程反硝化功能菌。

二、厌氧氨氧化菌种富集

厌氧氨氧化菌作为自养型微生物，生长缓慢，倍增时间约10-30天，可通过定向富集培养或接种策略确保厌氧氨氧化菌活性启动。

1. 接种污泥

优先选用稳定运行的厌氧氨氧化系统的剩余污泥，其次是商业化厌氧氨氧化菌剂和同工艺富集的污泥。接种方式可采用一次性接种（适用于中小规模系统）和分阶段接种（适用于大规模污水处理系统）。

2. 厌氧氨氧化菌培养

控制进水氨氮与亚硝态氮浓度比接近1:1.32，可逐步增加系统进水氮负荷提高厌氧氨氧化菌活性。此外，厌氧氨氧化处理单元在适宜温度（25-30℃）、pH（7.0-8.5）及低溶解氧（＜0.5 mg/L）时，自养脱氮效果能够得到提高。

## 第四节 短程硝化联合厌氧氨氧化脱氮工艺设计

一、工艺流程

短程硝化联合厌氧氨氧化是一种自养脱氮工艺，根据反应器集成方式分为一体式（工艺流程见图3-1）和两段式（工艺流程见图3-2）。工艺核心处理单元包括：预处理单元、短程硝化单元、厌氧氨氧化单元、二沉池。各处理单元功能如下：在预处理单元去除悬浮物、调节水质水量；在短程硝化单元通过控制溶解氧浓度（0.2-0.5 mg/L）及pH（7.5-8.5）将部分氨氮氧化为亚硝态氮，实现亚硝化过程；在厌氧氨氧化单元，通过调控氨氮与亚硝态氮基质比例及溶解氧浓度（≤0.2 mg/L），厌氧氨氧化菌将氨氮和亚硝态氮直接转化为氮气。该工艺通过自养微生物主导氮素转化路径，较传统工艺显著降低曝气能耗及污泥产率。其中，一体式短程硝化联合厌氧氨氧化工艺是在同一单元实现短程硝化和厌氧氨氧化协同反应，有效节省了占地面积。

****

图3-1 一体式短程硝化耦合厌氧氨氧化工艺流程

****

图3-2 两段式短程硝化-厌氧氨氧化工艺流程

二、适用范围

短程硝化联合厌氧氨氧化脱氮工艺适用于工业废水中食品加工、制药、石化等高氨氮废水；市政污水中污泥消化液；特殊废水，如垃圾渗滤液、养殖废水等。此外，还适用于处理低碳氮比废水。

三、生化池设计原则

1. 设计原则

根据水质特点与用地需求，可以选择一体式或两段式构型。在一体式构型中，通过控制好氧阶段溶解氧浓度实现硝化菌与厌氧氨氧化菌的协同反应，从而有效节省占地面积；而在两段式构型中，则分设短程硝化和厌氧氨氧化单元。在短程硝化单元，维持溶解氧浓度在0.2-0.5 mg/L，以抑制亚硝酸盐氧化菌的活性，确保实现较高的亚硝态氮；在厌氧氨氧化单元控制溶解氧浓度≤0.2 mg/L。此外，还可在厌氧氨氧化单元前设计调节池或分段进水系统，以应对进水氨氮波动。生化池容积可按照如下公式进行计算：

（3-1）

 （3-2）

 （3-3）

式中：——生化池容积，m3；

——污水设计流量，m3/d；

——生化池进水氨态氮质量浓度，mg/L；

——生化池出水氨态氮质量浓度，mg/L；

——生化池设计污泥龄值，d；

——污泥总产率系数（MLSS/BOD5），kg⁄kg，宜根据试验资料确定，无试验资料时，系统有初沉池时取0.3～0.5，无初沉池时取0.6～1.0；

——生物反应池内混合液悬浮固体（MLSS）平均浓度，g/L；

——安全系数，取1.5～3.0；

——硝化菌生长速率，d−1；

——生物反应池中氨氮质量浓度，mg/L；

——硝化作用中氮的半速率常数，mg/L，一般取1.0；

———设计水温，℃。

2. 工艺参数

为了确定生化池的尺寸特征，还需确定流入生化池的流量，进行物料平衡计算。此外，进行生化池设计一般需根据以下参数（表3-1）：反应池五日生化需氧量污泥负荷、MLSS、MLVSS、污泥泥龄、水力停留时间、污泥回流比、需氧量、BOD5去除率以及TN去除率。

表3-1 生化池设计参数

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目名称 | | 符号 | 单位 | 参考值 |
| 反应池五日生化需氧量污泥负荷 | BOD5/MLVSS |  | kg/（kg·d） | 0.30～0.60 |
| BOD5/MLSS | kg/（kg·d） | 0.20～0.40 |
| 反应池混合液悬浮固体（MLSS）平均质量浓度 | |  | g/L | 2.0～5.0 |
| 反应池混合液挥发性悬浮固体（MLVSS）平均质量浓度 | |  | g/L | 1.5～2.8 |
| MLVSS在MLSS中所占比例 | 设初沉池 |  | g/g | 0.65～0.85 |
| 不设初沉池 | g/g | 0.5～0.75 |
| 设计污泥泥龄 | |  | d | 3～7 |
| 污泥产率系数（VSS/BOD5） | 设初沉池 |  | kg/kg | 0.3～0.6 |
| 不设初沉池 | kg/kg | 0.5～0.8 |
| 厌氧水力停留时间 | |  | h | 1～2 |
| 好氧水力停留时间 | |  | h | 5～10 |
| 总水力停留时间 | | HRT | h | 8～18 |
| 污泥回流比 | |  | % | 40～100 |
| 需氧量（O2/BOD5） | |  | kg/kg | 0.7～1.1 |
| BOD5去除率 | |  | % | 80～95 |
| TN去除率 | |  | % | 75～90 |

四、曝气系统设计原则

为稳定维持短程硝化和厌氧氨氧化功能菌的活性，需对曝气系统进行分区调控。在短程硝化单元，控制溶解氧浓度在0.2-0.5 mg/L，优先考虑间歇曝气和实时控制系统，实现氨氮氧化为亚硝态氮，有利于厌氧氨氧化菌的原位富集。除此之外，需氧量、供气量、水力停留时间和污泥龄的计算如下：

1. 需氧量的计算

（1）好氧池的污水需氧量，根据BOD、去除率、氨氮的硝化及氮去除等要求确定，并按式（3-4）计算:

|  |  |
| --- | --- |
|  | （3-4） |

式中：——设计污水需氧量（O2），kg/d；

——碳的氧当量，当含碳物质以 BOD5计时，取1.47；

——污水设计流量，m3/d；

——生物反应池进水五日生化需氧量，mg/L；

——生物反应池出水五日生化需氧量，mg/L；

——细菌细胞的氧当量，取1.42；

——排出生物反应池系统的微生物量（MLVSS），kg/d；

——氧化每千克氨氮所需氧量，kg/kg，取4.57；

——生物反应池进水总凯氏氮质量浓度，mg/L；

——生物反应池出水总凯氏氨质量浓度，mg/L；

——生物反应池进水总氨质量浓度，mg/L；

——生物反应池出水硝态氮质量浓度，mg/L。

（2）选用曝气设备时，应根据不同设备的特征、位于水面下的深度、污水的氧总转移特性、当地的海拔高度以及预期生物反应池中的水温和溶解氧浓度等因素,将计算的污水需氧量按下列公式（3-5）换算为标准状态下污水需氧量：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （3-5） |

其中：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （3-6） |
|  | （3-7） |
|  | （3-8） |

式中：——标准状态下污水需氧量(O2)，kg/d；

——需氧量修正系数，采用鼓风曝气装置时按式（3-6）、式（3-7）、式（3-8）计算；

——设计污水需氧量(O2)，kg/d；

——标准状态下清水中饱和溶解氧质量浓度，mg，取9.17；

——混合液中总传氧系数与清水中总传氧系数之比，一般取0.8~0.85；

——液的饱和溶解氧值与清水中的饱和溶解氧值之比，一般取0.9~0.97；

——T ℃、实际计算压力时，清水表面饱和溶解氧，mg/L；

——混合液剩余溶解氧，mg，一般取2；

——设计水温，℃；

——T℃、实际计算压力时，曝气装置所在水下深处至池面的清水中平均溶解值，mg/L；

——曝气池逸出气体中含氧，%；

——曝气装置所处的绝对压力，MPa；

——曝气设备氧的利用率，%。

（3）采用鼓风曝气装置时，可按式（3-9）将标准状态下污水需氧量换算为标准状态下的供气量。

|  |  |
| --- | --- |
|  | （3-9） |

式中：——标准状态下的供气量，m3/h；

——标准状态下污水需氧量（O₂），kg/h；

——曝气设备氧的利用率，%。

2. 曝气方式的选择

（1） 曝气方式应结合供氧效率、能耗、维护检修、气温和水温等因素进行综合比较后确定，优先考虑间歇曝气与实时控制方式。

（2）大、中型污水处理厂宜选择鼓风式中微孔水下曝气系统，小型污水处理厂可根据实际情况选择适当的曝气系统。

3. 鼓风机与鼓风机房

（1）应根据风量和风压选择鼓风机。大、中型污水处理厂宜选择单级高速离心鼓风机或多级低速离心鼓风机，小型污水处理厂和工业废水处理站可选择罗茨鼓风机。

（2）单级高速离心鼓风机、罗茨鼓风机需分别遵循现行国家标准《环境保护产品技术要求 单级高速曝气离心鼓风机》HJ/T 278和《环境保护产品技术要求 罗茨鼓风机》HJ/T 251的规定。

（3）鼓风机的备用需遵循现行国家标准《室外排水设计标准》GB 50014的有关规定。

（4）鼓风机及鼓风机房应采取隔音降噪措施，并需遵循现行国家标准《建筑施工场界环境噪声排放标准》GB 12523的规定。

4. 曝气器

（1）曝气器材质和形式的选择应考虑污水水质、工艺要求、操作维修等因素。

（2）中、微孔曝气器的技术性能需遵循现行国家标准《环境保护产品技术要求 中、微孔曝气器》HJ/T 252的规定。

（3）好氧池(区)的曝气器应布置合理，不留有死角和空缺区域。

（4）曝气器的数量应根据曝气池的供气量和单个曝气器的额定供气量及服务面积确定。

（5）曝气池的供气主管道和供气支管道的配置应当合理，末梢支管连接曝气器组的供气压力应满足曝气器的工作压力。

五、水力停留时间

短程硝化与厌氧氨氧化联合脱氮工艺水力停留时间按公式（3-10）计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （3-10） |

式中：——水力停留时间（HRT），h；

——曝气池的有效容积，m3；

——曝气池的设计流量，m3/d。

六、污泥龄

在短程硝化与厌氧氨氧化联合脱氮工艺中，活性污泥存在多种形态，主要包括悬浮絮体活性污泥、悬浮颗粒污泥、附着载体生物膜。此处计算的污泥龄，主要是针对悬浮絮体污泥。

污泥龄，又称固体平均停留时间（SRT），是指在曝气池内，微生物从其生成到排出的平均停留时间，也就是曝气池内的微生物全部更新一次所需要的时间。从工程上来说，在稳定条件下，就是曝气池内活性污泥总量与每日增长的污泥量之比，可按式（3-11）计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （3-11） |

式中：——污泥龄（生物固体平均停留时间），d；

——曝气池内每日增长的活性污泥量，在稳定状态下，即因排出系统的活性污泥量，kg/d。

每日排除系统外的活性污泥量，包括作为剩余污泥排出的和随处理水流出的，其按式（3-12）计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （3-12） |

式中：——作为剩余污泥排放的剩余量，m3/d；

——剩余污泥排放的剩余量，kg/m3；

——排放的处理水中悬浮固定浓度，kg/m3。

于是值为：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （3-13） |

在一般条件下，值极低，可忽略不计，即污泥龄可按式（3-14）计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （3-14） |

七、填料投加

为实现厌氧氨氧化菌富集与持留，需要在厌氧氨氧化单元投加填料，通过填料填充比调节、孔径及比表面积筛选、拦截筛网设计，形成厌氧氨氧化生物膜。具体的注意事项如下：

1. 根据工程实践经验，悬浮填料的投加比例通常在20%-50%。过量投加可能导致填料堆积，影响流化效果，甚至造成出水筛网堵塞和填料溢出等不利后果。

2. 拦截筛网的孔径应为填料直径的2/3至3/4。孔径过小可能影响出水效率，而孔径过大则可能导致填料流失，堵塞后续处理单元的管道和设备。

3. 优先考虑在好氧区与缺氧区连接处设置拦截筛网，根据污水处理厂生化池构造，在缺氧与好氧区连接处竖向或横向布置，应考虑根据水量调节筛网动态及工作尺寸。

4. 填料的比表面积应在400至800 m²/m³之间。

5. 池内的水平水流速度对填料的流化性能至关重要。流速过低可能导致填料流化效果不佳，而流速过高则可能导致填料在拦截筛网处堆积。据资料，流速在20至30 m/h时，填料流化效果较好，但该数值仅供参考。

6. 池子应尽可能设置成廊道式，更有利于填料流化。设计时应根据现场条件确定池子的具体类型和廊道分布数量。

## 第五节 短程反硝化与厌氧氨氧化联合脱氮工艺设计

一、工艺流程

采用短程反硝化耦合厌氧氨氧化技术处理主流城市污水，需要同时脱氮与除磷时，可以采用典型的厌氧/缺氧/好氧工艺，其基本工艺流程图如下：



图3-3 短程反硝化耦合厌氧氨氧化工艺流程

可根据场景、水质、水量等因素采用不同的变形或改进工艺形式，如多级A/O、UCT、A2/O+BAF等。

其机理简述如下图所示：

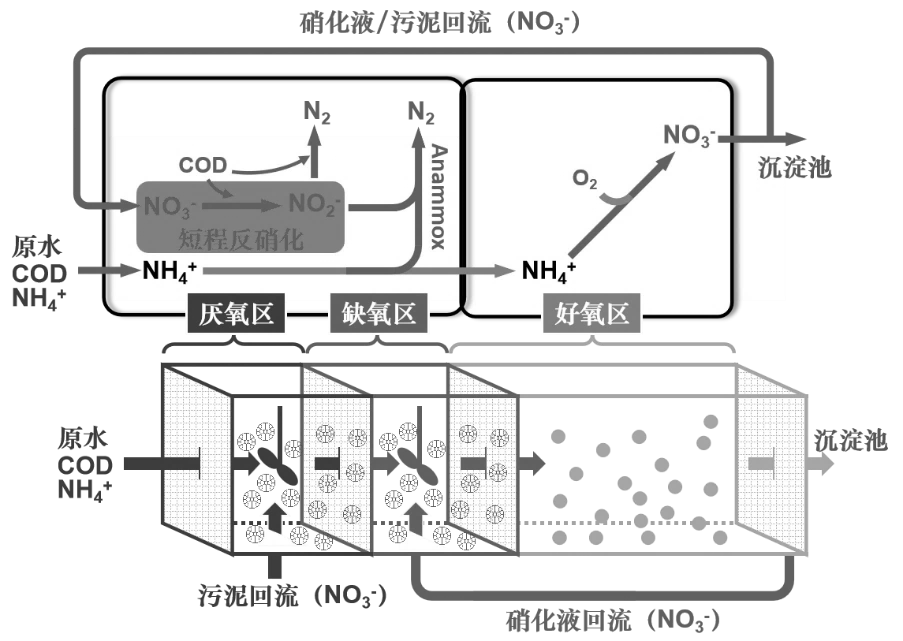


图3-4 短程反硝化耦合厌氧氨氧化脱氮机理图

二、适用范围

对于推流式的主流厌氧氨氧化工艺，如A2/O、A/O、多级A/O、SBR、氧化沟工艺，可采用短程反硝化耦合厌氧氨氧化技术，新建或对现有城市污水处理厂的已有推流式工艺进行升级改造。

三、生化池构造

生化池构造设计应遵循以下原则

1. 厌氧池和缺氧池宜设置为廊道式，不同廊道之间设置导流型，强化填料的流化效果；

2. 在厌氧池和缺氧池内配置低速潜流搅拌器，特别是导流墙两端填料循环受限的区域，应加强搅拌混合，使填料在池内匀速流化，防止填料堆积。

3. 不同的流化单元连通处宜设置填料防流失与阻塞装置。

4. 为防止溶解氧破坏厌氧与缺氧环境，在厌氧池和缺氧池内优先选择无曝气式动态拦截筛网，根据污水处理厂生化池构造，在缺氧与好氧区连接处竖向或横向布置，并能够根据水量调节筛网动态及工作尺寸

5. 厌氧池和缺氧池设计成如下方式：



图3-5 厌氧池和缺氧池（a）形式

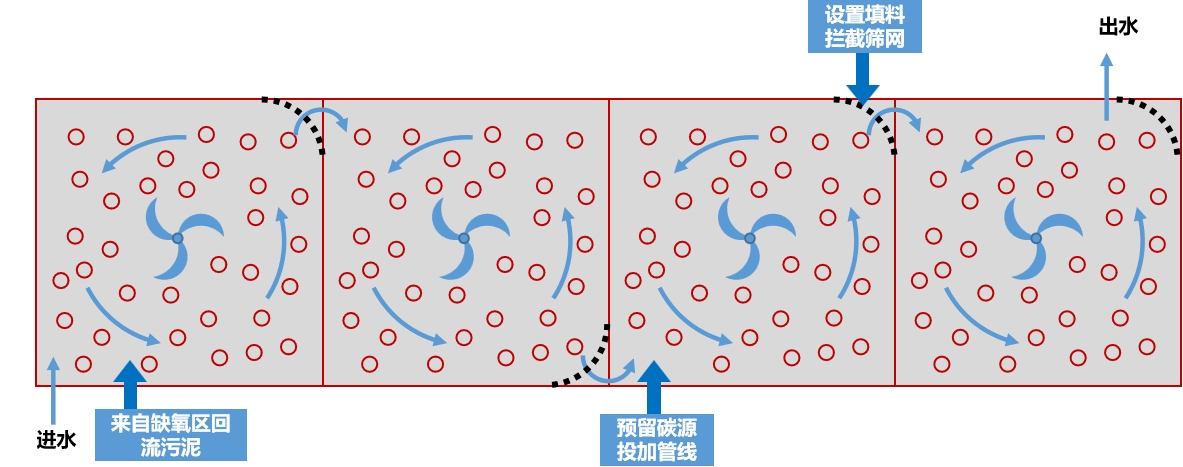


图3-6 厌氧池和缺氧池（b）形式

6. 厌氧池、缺氧池、好氧池的容积是否特殊设计，应该关注去除负荷，从自养和异养脱氮的比例，设置比例系数。从设计角度考虑，应尽可能设计充足的缺氧停留时间，缩短好氧停留时间，以加强短程反硝化耦合厌氧氨氧化效果。

四、水力停留时间

生化池的总水力停留时间在8-18个小时，北方寒冷地区因微生物低温下代谢减缓宜根据情况适当延长。

厌氧池水力停留时间在1-3个小时，缺氧池水力停留时间在2-5个小时，好氧池5-10个小时。

五、污泥龄

当系统设置悬浮污泥和生物膜时，生物膜会面临生长自然脱落，因此系统污泥龄是复合的。

悬浮污泥的污泥龄宜设置在8~25天。

六、回流比

回流比的设计需考虑自养脱氮比例。如采用A2/O工艺，污泥回流比设置为40~100%，硝化液回流比设置为100~300%。

污泥与硝化液回流比是系统厌氧氨氧化脱氮的重要参数。若污泥回流比R是100%，硝化液回流比r是200%。假如在厌氧缺氧区通过厌氧氨氧化各去除0.5mg/L的氨氮，根据其生化反应方程：

NH4+ + 1.32NO2- + 0.66HCO3-→N2 + 0.26NO3- + 2.03H2O （3-15）

则，厌氧、缺氧区通过厌氧氨氧化去除的TN总量是：

（2Q+4Q）× 0.5 ×（1+1.32-0.26）= Q × 6.18

整个生化池的出水TN浓度降低：

七、药剂投加

1. 外加碳源

当进入生化池的COD/TN较低时，宜在厌氧池和缺氧池投加一定量碳源。

投加碳源类型，建议投加乙酸钠作为碳源，乙酸钠可作为强化短程反硝化过程的优选碳源。投加碳源量按如下计算：

COD = 2.86 ×*ΔN* × *Q* （3-16）

其中：COD——投加碳源对应的COD量， g/d；

*ΔN*——硝态氮的脱除量， mg/L；

*Q*——生化池进水流量， m3/d。

2. 其他药剂

当系统在脱氮的同时考虑生物除磷，应考虑脱氮和除磷的碳源需求量；也可考虑投加除磷药剂进行化学除磷。

八、填料投加

为实现短程反硝化与厌氧氨氧化功能菌的选择性富集，需投加填料。基于功能微生物的代谢特性定向明确填料的投加位置，同时通过适配性筛选确定适宜的填料类型，具体如下：

1. 填料投加位置

（1）填料宜投加厌氧和缺氧区，优先投加在缺氧区。

（2）对于缺氧区的投加位置应该具体情况具体分析，在碳氮比在正常范围内的进水时，填料建议投加在缺氧区的前段。

2. 填料选型

（1）厌氧池和缺氧池填料宜选用密度略比水轻、强度大、易于挂膜的类型。

（2）选用的填料宜直径适中，避免流失和阻塞。

3. 搅拌系统

（1）厌氧池和缺氧池宜设置机械搅拌，选用安装角度可调的搅拌器，角度偏下有利于漂浮的填料流化运转。

（2）搅拌器选用低速桨叶适中的型号。

## 第六节 双短程与厌氧氨氧化联合脱氮工艺设计

一、工艺流程

短程硝化耦合厌氧氨氧化工艺存在亚硝酸盐氧化菌难以抑制、亚硝态氮底物来源不稳定以及曝气能耗高等问题；而短程反硝化耦合厌氧氨氧化工艺存在硝态氮底物获取以及药剂能耗高等问题。为了减少厌氧氨氧化的应用限制，通过同时结合短程硝化与短程反硝化两种方式为厌氧氨氧化过程提供底物，达到发挥二者的优势并弥补劣势的目的，被称为双短程耦合厌氧氨氧化工艺。相比于独立的短程硝化耦合厌氧氨氧化工艺，双短程耦合厌氧氨氧化工艺对亚硝酸盐氧化菌抑制的要求更低，且产生的硝态氮可以被短程反硝化还原并进一步被厌氧氨氧化利用，达到100%的理论无机氮去除率，弥补短程硝化耦合厌氧氨氧化工艺中理论无机氮去除率仅有89%的劣势。同时，原水中部分氨氮被短程硝化耦合厌氧氨氧化过程去除，仅有小部分的氨氮被完全硝化为硝态氮被短程反硝化还原。因此，双短程工艺相比独立的短程硝化耦合厌氧氨氧化工艺，不需要严格的亚硝酸盐氧化菌抑制并可节约大量的曝气，具有可持续发展的潜力。此外，短程反硝化过程可以充分利用原水碳源，实现多种菌群协同作用，多种途径协同为厌氧氨氧化提供底物，提高主流城市污水应用厌氧氨氧化技术的稳定性。

目前，根据构建不同的反应器实现双短程耦合厌氧氨氧化工艺，主要的工艺形式可分为一段式和两段式两种。

一段式可以在单级SBR系统中实现，原水首先进入好氧段通过部分短程硝化耦合厌氧氨氧化过程脱氮，未反应完的氨氮以及亚硝酸盐氧化菌产生的硝态氮和厌氧氨氧化的副产物硝态氮在SBR缺氧段通过短程反硝化耦合厌氧氨氧化去除。然而原水先经过硝化的运行模式势必会浪费原水碳源，造成好氧异养菌的大量繁殖，而在缺氧段短程反硝化又需外加碳源，造成不必要的能耗浪费。因此，一段式工艺演化为通过厌氧/好氧/缺氧的方式运行，原水中的碳源在厌氧段储存为内碳源，好氧段发生部分短程硝化耦合厌氧氨氧化过程脱氮，缺氧段发生短程反硝化耦合厌氧氨氧化过程。

两段式则是分别构建短程硝化或短程硝化耦合厌氧氨氧化反应器以及短程反硝化耦合厌氧氨氧化反应器，原水进入短程硝化反应器，将氨氮转化为亚硝态氮或硝态氮后再进入短程反硝化耦合厌氧氨氧化反应器进行脱氮。与一段式情况类似，原水先经过硝化的运行模式势必会浪费原水碳源的浪费，因此，在两段式运行过程中，可以调整为原水先进入短程反硝化耦合厌氧氨氧化反应器进行厌氧储存碳源，上清液再流至短程硝化反应器，出水再次回流至短程反硝化耦合厌氧氨氧化反应器进行脱氮，此工艺中，原水中的碳源得到充分利用，好氧硝化、缺氧反硝化与厌氧氨氧化互不干扰。具体工艺流程如图3-7所示。



图3-7 双短程耦合厌氧氨氧化工艺流程示意图

二、适用范围

理论上双短程耦合厌氧氨氧化工艺可应用于主流城镇污水或水质类似城镇污水的工业废水。短程硝化耦合厌氧氨氧化工艺应用于侧流污水有稳定的处理性能，综合考虑双短程耦合厌氧氨氧化工艺可适用于以下废水的处理：

1. 中小城镇生活污水和水质类似生活污水的低浓度工业废水处理，否则应根据进水水质情况采取相应的前处理措施；

2. 高氨氮废水处理深度处理，如污泥消化液、垃圾渗滤液、焦化废水等。

三、生化池构造

双短程耦合厌氧氨氧化工艺的生化池构型选择及容积计算应依据日处理水流量适配原则进行。对于中小型水厂，宜采用A2/O、多段A/O、SBR反应池；而对于大型水厂，则宜采用连续流A/O/A反应池。以SBR和连续流A/O/A反应池为例，容积计算如下：

1. SBR反应池有效反应容积

 （3-17）

式中：

——反应池有效容积，m3；

——每个周期进水量，m3；

——反应池进水五日生化需氧量，mg/L；

——反应池的五日生化需氧量污泥负荷（BOD5/MLSS），kg/（kg·d）；

*X*——反应池内混合液悬浮固体（MLSS）平均质量浓度，kg/m3；

——每个周期反应时间，h。

2. 连续流厌氧/好氧/缺氧反应池有效反应容积

厌氧池（区）的有效容积可按式计算

 （3-18）

式中：

——厌氧池（区）有效容积，m3；

——厌氧池（区）水利停留时间，h；

*Q*——污水设计流量，m3/d；

好氧池（区）的有效容积可按式计算

 （3-19）

 （3-20）

 （3-21）

式中：

——好氧池（区）有效容积，m3；

*Q*——污水设计流量，m3/d；

——生物反应池进水五日生化需氧量浓度，mg/L；

——生物反应池出水五日生化需氧量浓度，mg/L；

——好氧池（区）设计污泥泥龄值，d；

——污泥总产率系数（MLSS/BOD5），kg/kg，宜根据试验资料确定，无试验资料时，系统有初沉池时取0.3~0.5，无初沉池时取0.6~1.0；

*X*——生物反应池内MLSS平均浓度，mg/L；

*F*——安全系数，取1.5~3.0；

𝜇——硝化菌生长速率，d-1；

——生物反应池中氨氮质量浓度，mg/L；

——硝化作用中氮的半速率常数，mg/L，一般取1.0；

*T*——设计水温，oC。

缺氧池（区）的有效容积可按式计算

 （3-22）

 （3-23）

 （3-24）

式中：

——缺氧池（区）有效容积，m3；

*Q*——污水设计流量，m3/d；

——生物反应池进水总凯氏氮质量浓度，mg/L；

——生物反应池出水总氮质量浓度，mg/L；

——排出生物反应池系统的微生物量，kg/d；

——T oC时的脱氮速率（NO3-/MLSS），kg/（kg·d），宜根据试验资料确定；

*X*——生物反应池内MLSS平均浓度，g/L；

——20 oC时的脱氮速率（NO3-/MLSS），kg/（kg·d），宜取0.03~0.06；

*T*——设计水温，oC；

——单位体积混合液中，MLVSS占MLSS的比例，g/g；

——污泥总产率系数（MLSS/BOD5），kg/kg，宜根据试验资料确定，无试验资料时，系统有初沉池时取0.3~0.5，无初沉池时取0.6~1.0；

——生物反应池进水五日生化需氧量浓度，mg/L；

——生物反应池出水五日生化需氧量浓度，mg/L。

四、关键参数选取范围

根据日处理水流量的不同，双短程耦合厌氧氨氧化生化池的设计采用不同的池型，以实现工艺参数的协同优化调控。主要设计参数包括：反应池五日生化需氧量污泥负荷、MLSS、MLVSS、污泥产率系数、水力停留时间、污泥回流比、混合液回流比、需氧量、BOD5去除率、TN去除率等，宜按照下表3-2、表3-3规定取值。

表3-2 主要设计参数

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目名称 | | 符号 | 单位 | 参考值 |
| 反应池五日生化需氧量污泥负荷 | BOD5/MLVSS | *Ls* | kg/（kg·d） | 0.15~0.25 |
| BOD5/MLSS | kg/（kg·d） | 0.07~0.15 |
| 反应池混合液悬浮固体（MLSS）平均质量浓度 | | *X* | kg/m3 | 2.5~7.5 |
| 总氮负荷率（TN/MLSS） | |  | kg/（kg·d） | ≤0.15 |
| 污泥产率系数（VSS/BOD5） | 设初沉池 | *Y* | kg/kg | 0.3~0.6 |
| 不设初沉池 | kg/kg | 0.5~0.8 |
| 厌氧水力停留时间占反应时间比例 | |  | % | 5~20 |
| 缺氧水力停留时间占反应时间比例 | |  | % | 20~35 |
| 好氧水力停留时间占反应时间比例 | |  | % | 45~75 |
| 总水力停留时间 | | HRT | h | 10~18 |
| 污泥回流比 | | *R* | % | 50~100 |
| 混合液回流比 | | *R1* | % | ≥100 |
| 需氧量（O2/BOD5） | | O2 | kg/kg | 1.5~2.0 |
| 活性污泥容积指数 | | SVI | ml/g | 70~140 |
| BOD5去除率 | | *η* | % | ≥90 |
| TN去除率 | | *η* | % | ≥85 |

表3-3 连续流A/O/A工艺主要设计参数

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目名称 | | 符号 | 单位 | 参数值 |
| 反应池五日生化需氧量污泥负荷 | BOD5/MLVSS | *Ls* | kg/（kg·d） | 0.2~0.4 |
| 反应池混合液悬浮固体（MLSS）平均浓度 | | *X* | g/L | 3~7 |
| 反应池混合液挥发性悬浮固体（MLVSS）平均质量浓度 | | *Xv* | g/L | 2.1~4.9 |
| 内源污泥产率系数 | | *Y* | kg/kg | 0.2~0.5 |
| 内源反硝化脱氮速率 | | *Ked* | g/（g·d） | 0.01~0.03 |
| 微生物内源代谢反应的自身氧化率 | | *b* | *d-1* | 0.05~0.2 |

五、药剂投加

针对进水碳氮比不足、总磷超标等水质问题，需结合水质监测数据与工程实践经验，精准确定外加碳源投加量、化学除磷剂投加量以及功能填料配置方案，确保脱氮除磷协同提升与系统稳定运行。

1. 外加碳源

当进入反应池的BOD5/总凯氏氮（TKN）小于4时，宜在缺氧池（区）投加碳源。碳源储存罐容量应为理论加药量的7~14 d投加量，加药系统不宜少于2套，应采用计量泵投加。

2. 化学除磷

当出水总磷不能达到排放标准要求时，宜采用化学除磷作为辅助手段。最佳药剂种类、投放量和投加点宜通过试验或参照类似工程确定。化学药剂储存罐容量应为理论加药量的4~7 d投加量，加药系统不宜少于2套，应采用计量泵投加。接触铝盐和铁盐等腐蚀性物质的设备和管道应采取防腐措施。

3. 填料投加

宜在好氧（区）及缺氧池（区）投加填料培养生物膜，以富集并持留厌氧氨氧化菌。最佳填充比宜通过试验或参照类似工程确定。填料种类多为悬浮填料、浮挂式填料及悬挂式填料，具体填料类型的选择宜通过类似工程确定。

# 第四章 工艺调试与验收

## 第一节 调试流程与基本要求

一、调试流程

为保证污水处理设备的安全、可靠、高效运行，显著提高污水处理效率，减少水资源浪费和药剂投加，同时降低能耗，具备较好的社会效益和经济效益，需要进行工艺调试，调试的流程依次为试通水、单机调试、清水联动试车、污水联动试车（活性污泥培养与驯化）、调试与试运行，具体操作步骤如下：

1. 试通水：检验处理工艺的构筑物及其设备能否满足设计要求；按设计水位高程要求，检查水路是否畅通，保证正常运行后满水量自流和安全超越功能，防止出现冒水和跑水现象。

按照设计工艺顺序向各单元进行充水试验，充水完成后，检查液面动静及构筑物池体的渗漏和耐压情况，检查污水污泥流程的顺畅性，比较实际水位与设计水位，检查处理单元与连通管渠水流通畅性，检验附属设施是否正常操作，流量与水位控制装置是否有效。

2. 单机调试：工艺设计中单独工作运行的设备、装置称为单机。应在充水后，进行单机调试。单机调试包括各种设备安装后的单机运行和处理单元构筑物的试水。

（1）调试前准备工作： 检查仪表和电流稳定情况、控制环路的功能以及是否有液体泄漏等；

（2）空载试车：无负荷开启设备，检查设备能否正常运行；

（3）负载试车：荷载调试直到每台设备正常连续运转规定时间且达到生产厂商的要求；

（4）调试结束：断开电源消除负荷，检查设备有无异常，检查各处紧固件，整理记录，清理现场。

3. 清水联动试车：打通工艺流程，检验设备、自动仪表和连接各工艺单元的管道、阀门等是否满足设计和使用要求。

（1）试车前准备工作：检查各机械设备、电气、仪表的状态，各工艺管线是否畅通，控制系统是否正常；

（2）开启阀门和水泵：按顺序开启各构筑物的阀门和水泵；

（3）启动设备：依次启动各种设备，检测运行状况；

（4）试车结束：准确及时做好运行记录，发现问题及时召集各方解决。

4. 污水联动试车（活性污泥培养与驯化）：将目标污水引入污水处理厂，进一步检验设备运行的稳定性，进行污泥的培养与驯化。

活性污泥培养与驯化的目标是培养出足够数量的活性污泥，并且活性污泥的质量足够好，同时培养出的活性污泥能适应所处理污水的性质和环境条件。

活性污泥的培养有接种培养和自然培养两种方法，自然培养又包括连续培养和间歇培养。对于接种培养，有条件的污水处理厂可以从相似的污水处理厂引进厌氧氨氧化菌种，在菌种输送过程中需注意避光且无氧，在菌种投入新的厌氧氨氧化工艺中，一般经过1-2周的适应性运行菌种即可恢复活性；而无条件的可以引进城市污水处理厂厌氧消化污泥作为菌种进行培养，在避光、无氧的条件下控制进水pH、温度、COD/TN、氨氮负荷等运行参数，一般经过3-4个月的时间即可完成菌种驯化过程。此培养方法的特点是培养时间短，微生物所需驯化时间短，适用于小型污水处理厂。自然培养无需投入接种污泥，是利用污水中现有的少量微生物逐渐繁殖的过程。对于连续培养，连续进水、出水和回流，培养后期逐渐加大水量，剩余污泥不排出；对于间歇培养，循环进行闷曝、静沉和进水三个过程，每次进水量有所增加，每次闷曝时间应比上次缩短，即进水次数增加，此方法成本低，微生物积累周期长，驯化时间长，操作工作量大，适用于大型污水处理厂。

活性污泥驯化成功的标示为活性污泥及MLSS达到设计标准，稳定运行出水水质达到设计标准，生物处理系统各指标达到设计要求，曝气池微生物丰富，出现原生动物。对于厌氧氨氧化菌，由于含有丰富的细胞色素c，其成熟之后污泥呈浅红色。在活性污泥培养与驯化过程中，污泥的颜色变化逐渐由黑色变为黄棕色，再进一步变浅，最后逐渐出现砖红色，并有肉眼可见的红色颗粒，这可作为厌氧氨氧化菌培养成熟的标志。

5. 调试与试运行：详细记录调试过程中的参数、出现的问题和解决的方法，确定后期运行方案。

在各构筑物、管线、阀门检验完毕，清水、污水联动试车完成以及工艺控制系统运行正常的前提条件下，日常监测表征污水处理效果（氨氮、总氮、总磷、COD、BOD5、SS等）、污泥情况（MLSS、MLVSS、SV、SVI、微生物镜检等）以及环境条件（温度、pH、DO等）的各项指标。

二、基本要求

调试中应严格执行操作规程，定时巡回检查设备运转情况，检测工艺控制点参数，通过化验分析、工艺条件控制、感官指标等及时掌握水处理的变化情况。

调试中应当做到如下技术要求：

1. 调试前，应根据污水处理厂的需要配备相应数目的调试操作人员；调试操作人员应根据设计方案、图纸和相关说明书等提前了解整个工艺概况，熟悉本处理工艺流程以及相关设施、设备的运行要求及技术指标。

2. 调试前应全面检查设施及设备的完整情况，主要包括供电配电设备、电机是否完好，电气设备绝缘性能是否合格，周围环境是否正常，各种显示仪表是否正常等，排除安全隐患。

3. 调试操作人员在调试过程中应严格执行仪器仪表、设备、自控系统安全操作规程，建立健全岗位责任制，确保运行操作的规范性与安全性。

4. 在调试期间应做好调试记录，除工艺参数调整外，全部设备的运行情况也应做相应的记录，包括处理污水量、污泥产量、药剂耗用量、生产电耗量、自来水耗量等，对进出水水质和活性污泥等同样应有足够的分析数据。

5. 在调试阶段，工艺运行的控制、调整应以培养、驯化污泥为主，检查各工艺设备运行状况。对污水处理厂的运行切实做好控制、观察、记录和分析检验工作。

6. 调试阶段的出水水质和污染物去除率可低于正常运行时的要求，出格对氮和磷的去除，在调试初期不做要求。

## 第二节 关键调试参数与控制范围

主流城市污水厌氧氨氧化脱氮工艺的关键是获得足量的厌氧氨氧化菌，并将其有效保留在反应器内，使反应器达到设计的厌氧氨氧化效能。在调试阶段，通过控制关键调试参数，可以促进厌氧氨氧化菌的生长和有效持留。

一、温度

温度是影响厌氧氨氧化菌生长代谢的重要环境条件。在15-30℃，厌氧氨氧化活性较为活跃，而低于15℃时，厌氧氨氧化活性急剧下降。因此，生化池的温度通常控制在15-25℃，这个温度区间较为适宜厌氧氨氧化菌、硝化菌及反硝化菌等各种功能菌团的生长繁殖，低于15℃或高于25℃，均会影响其生长繁殖，也会影响反应速率，同时降低脱氮除磷效率。

二、溶解氧（DO）

污水调试运行中需把生化池各处理单元的溶解氧（DO）控制在合理范围内以满足不同生化反应的要求。厌氧池DO通常控制在0.2 mg/L以下，缺氧池DO通常控制在0.5 mg/L以下，根据实际情况，缺氧池DO控制在0.2-0.5 mg/L时脱氮除磷效果最佳，好氧池DO通常控制在2-4 mg/L，根据实际情况，好氧池DO控制在1-2 mg/L时同样能够正常反应，因此可根据污水处理厂实际运行情况进行调整。

三、pH

pH能够影响功能微生物细胞酶的活性，6.5-8.0的pH范围能够为多种功能微生物提供良好的生长环境，保证城市污水的脱氮除磷效果。由于氨氧化菌和亚硝酸盐氧化菌生长的最佳pH范围分别为7.0-8.5和6.0-7.5，反硝化菌可在6.0-9.0的pH范围内增殖，厌氧氨氧化菌的适宜pH范围为6.7-8.3，因此在实际运行过程中，pH通常尽量控制在7-8之间。

四、C/N、C/P

在同时具备脱氮除磷效果时，进水通常需要同时满足C/N为4-6，C/P为15左右。

五、氨氮负荷

厌氧氨氧化工艺的氨氮容积负荷宜控制在0.3-0.5 kg NH4+/(m3·d)，氨氮污泥浓度负荷宜控制在0.02-0.3 kg NH4+/(kgMLSS·d)。

六、活性污泥内外回流比（R1、R2）

外回流是指剩余污泥合理排放后二沉池污泥全部回流到曝气池中，保证曝气池的污泥浓度，从而保证其处理能力，外回流比（R1）一般控制在50%-75%之间。内回流是把好氧池的硝化液通过泵回流到缺氧池中，以有机碳源作为电子供体进行反硝化，从而实现脱氮，内回流比（R2）一般控制在200%-400%之间。

七、污泥沉降比（SV30）

正常运行时，活性污泥30分钟沉降比一般在15%-40%之间，实际运行过程中，控制在20%-30%最佳。

八、污泥指数（SVI）

污泥指数（SVI）通常控制在70-150 mL/g之间，SVI太高，可能发生污泥膨胀，SVI太低，污泥活性可能降低，污泥老化。

九、活性污泥浓度（MLSS）

活性污泥浓度（MLSS）是指曝气池末端出口混合液悬浮固体含量，它能够反映曝气池中微生物的数量。MLSS通常控制在3-8 g/L，同时处理工业废水的城市污水处理厂控制相对较高，一般在5-6 g/L之间。

十、有机负荷率（F/M）

有机负荷率（F/M）也叫污泥负荷，是指单位重量的活性污泥在单位时间内所承受的有机物数量，或生化池单位有效体积在单位时间内去除的有机物数量，其通常控制在0.2-0.4之间。

十一、污泥龄（SRT）

活性污泥的污泥龄（SRT）一般在15 d左右，但厌氧氨氧化菌生长速率较低，倍增时间较长，为10-30 d，为了保证厌氧氨氧化效果，SRT可控制在10-30 d左右。

十二、水力停留时间（HRT）

水力停留时间（HRT）是保证污水处理效果的基础。HRT宜控制在8-12 h，过长的HRT会增加设施投资及运行费用。

## 第三节 工程验收要点

废水处理设施符合行业设计规范和标准，结构安全可靠，满足废水处理要求，材料合格，符合设计要求。

设施安装符合制造商要求，设备性能稳定，运行测试合格，符合设计要求。

环境影响评估符合法规，噪音、振动等环境污染控制在合理范围内，空气、水质监测合格，符合出水排放要求。

工程符合设计图纸和合同要求，完工文件齐全，包括验收报告、施工日志等。

施工验收应对建（构）筑物、工艺设备、管线，供电系统及自控系统进行功能性试验。

施工验收需遵循现行国家标准《城镇污水处理厂工程质量验收规范》GB 50334的规定。

项目验收应对系统进行联动调试，检查工艺单元运行情况，观测污水处理效果应符合设计要求，需遵循现行国家标准《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB 18918排放标准，且厌氧氨氧化工艺对于整体体系脱氮贡献率应不低于30%。

# 第五章 工程验收与运行管理

## 第一节 运行与维护

一、系统启动

一段式短程硝化耦合厌氧氨氧化工艺中可接种短程硝化污泥、普通活性污泥或厌氧氨氧化污泥，MLVSS宜达到2000 mg/L以上。

两段式短程硝化耦合厌氧氨氧化工艺中短程硝化段接种短程硝化污泥或普通活性污泥，MLVSS宜达到2000 mg/L以上。

两段式短程硝化耦合厌氧氨氧化工艺中厌氧氨氧化段推荐采用厌氧氨氧化相对丰度高于10%的厌氧氨氧化种泥，若采用生物膜形式，生物膜填料填充比高于10%；若采用颗粒污泥形式，MLVSS宜达到2000 mg/L以上。

两段式短程硝化耦合厌氧氨氧化工艺中推荐在前段短程硝化池出水亚硝酸盐积累率>80%后，在启动后段厌氧氨氧化池。

二、系统运行

一段式短程硝化耦合厌氧氨氧化工艺中，溶解氧浓度宜为0.1~0.4 mg/L。

一段式短程硝化耦合厌氧氨氧化工艺中，进水应保证pH值介于7~8。当进水pH低于6.5或碱度低于4倍的氨氮浓度时，应根据实际情况投加补碱药剂。补碱药剂宜采用碳酸氢钠、碳酸钠、氢氧化钠等。

一段式短程硝化耦合厌氧氨氧化工艺中，控制MLVSS在3000~5000 mg/L，可选择性排出絮体污泥，将厌氧氨氧化颗粒污泥通过旋流分离器进行分离后返回系统中，当颗粒污泥浓度过高时，可适量排出系统。

两段式短程硝化耦合厌氧氨氧化工艺中，短程硝化池溶解氧浓度宜为0.2~0.7 mg/L，厌氧氨氧化池中溶解氧浓度宜低于0.2 mg/L。

两段式短程硝化耦合厌氧氨氧化工艺中，厌氧氨氧化段进水应保证pH值介于7~8，否则应投加酸性物质（如盐酸等）或碱性物质（如氢氧化钠等）进行调节。

两段式短程硝化耦合厌氧氨氧化工艺中，短程硝化段MLVSS宜控制在2000~2500 mg/L，厌氧氨氧化段MLVSS宜控制在2000~4000 mg/L。

两段式短程硝化耦合厌氧氨氧化工艺中，当短程硝化池进水pH低于6.5或碱度低于4倍的氨氮浓度时，应投加补碱药剂。厌氧氨氧化池进水pH低于6.5或碱度小于200 mg/L，应投加补碱药剂。补碱药剂宜采用碳酸氢钠、碳酸钠、氢氧化钠等。

一段式和两段式短程硝化耦合厌氧氨氧化工艺中，厌氧氨氧化段温度宜控制在25~35℃；若温度低于20℃，需采用加温措施；若温度高于35℃，需采用冷却措施。

当出水TN无法满足污水排放标准时，根据具体情况增设深度处理单元，如后置反硝化、膜滤单元等。

三、日常维护

一段式短程硝化耦合厌氧氨氧化工艺以及两段式的短程硝化段应调控运行参数实现系统中亚硝酸盐氧化菌活性的选择性抑制，如采用低氧曝气、间歇曝气等策略。

两段式短程硝化耦合厌氧氨氧化工艺中，在接种厌氧氨氧化污泥颗粒污泥后的运行初期，宜通过提高回流比或增加机械搅拌方式促进颗粒污泥的形成。

当污水水质波动大或含有抑制性物质，使得污泥沉降性能差、甚至污泥流失时，可投加高亲和力的生物填料。

在低温季节时，可适当减少排泥，提高污泥浓度，保障工艺运行效果。

一段式短程硝化耦合厌氧氨氧化工艺运行中，应定期监测记录进出水的COD、BOD5、SS、TKN、氨氮、亚硝态氮、硝态氮、总磷、PO43--P、pH、溶解氧、碱度、温度以及污泥MLSS、MLVSS、SV、SVI等指标。

两段式短程硝化耦合厌氧氨氧化工艺运行中，应定期分别监测记录短程硝化段和厌氧氨氧化段进出水的COD、BOD5、SS、TKN、氨氮、亚硝态氮、硝态氮、总磷、PO43--P、pH、溶解氧、碱度、温度以及污泥MLSS、MLVSS、SV、SVI等指标。

## 第二节 检测要求

处理工艺设施维护运营期间，单位应按照国家有关规定检测进出水水质，向城镇排水主管部门、环境保护主管部门报送污水处理水质和水量、主要污染物削减量等信息，并按照有关规定和维护运营合同，向城镇排水主管部门报送生产运营成本等信息。

应设置具备常规污染物检测能力的专用化验室，按相关规定对污水处理设施实施全过程监测，同时应制定化验分析质量控制标准，提高测试数据的可靠性，定期检定和校验化验计量设备。

工艺性能评估的内容包括但不限于：污水处理设施（主要构筑物和关键设备）的运行效果（出水水质及主要污染物有机物和氮素的削减效果）和污水处理设施现有能耗物耗水平和与降低处理成本相关的经济性能。

处理工艺设施污水厂应建立完备的设备台账和档案，设备台账应自设备移交时同步建立，并包括移交时的资料数据和使用后的动态增减变化。

处理工艺设施应建立设备运行记录，用日志、周报或月报的形式及时、真实、完整的记录和保存设备运行和使用情况。

处理工艺设施应设置功能完善的设施运行中央控制平台和大屏幕显示器，以全面记录并实时反映污水处理厂的运行状况，中控系统主要检测内容包括月流量（进、出水水量）、COD、氨氮（以N计）、亚硝态氮、硝态氮以及关键工艺参数DO、MLSS等。

中央控制系统的记录不得修改，既定关键数据的监控不得撤销，系统不得具有系统数据修改和系统监控目标选择性撤销等功能，数据记录应及时按要求存档备检，所记录数据应至少保存一年。

检测过程需遵循《城镇排水与污水处理条例》和现行国家标准《城镇污水处理厂运行监督管理技术规范》HJ 2038等的相关规定。

## 第三节 安全管理

处理工艺设施维护运营单位应当明确污泥、恶臭性气体、厂界噪声等污染物的处置方式，保证处理处置后的以上内容符合国家有关标准，对产生的以上污染物以及处理处置后的去向、用途、用量等进行跟踪、记录，并向城镇排水主管部门、环境保护主管部门报告。

处理工艺设施维护运营单位应当为进出水在线监测系统的安全运行提供保障条件。

应具有完备的防火、防爆、防突发事件的设施、设备和技术措施，制定突发事故环境应急预案，严格执行环境保护法律法规。

处理工艺设施应结合实际健全运行管理体系，编制《污水处理运行管理手册》，建立岗位责任、操作规程、运行巡检、安全生产、设备维护、人员考核培训、信息记录和档案管理等规章制度。

处理安全事故或者突发事件发生后，设施维护运营单位应当立即启动本单位应急预案，采取防护措施、组织抢修，并及时向城镇排水主管部门和有关部门报告。

## 第四节 工艺失稳恢复策略

污水处理厂的稳定运行是正常出水的根本保证。但在运行管理过程中，难以避免发生异常情况，通过及时采取正确措施，可以有效恢复正常运营并达到预期处理效果。以下是污水处理厂运行过程中可能出现的异常情况及相应的解决措施。

一、污水处理效果下降

1. 脱氮效果差

产生原因：曝气池内污泥龄过长，硝化过程进行充分，在沉淀池内发生反硝化过程，氮呈气体脱出附于污泥上，导致污泥整块上浮。

解决措施：增加污泥回流量或及时排出剩余污泥；降低混合液污泥浓度，缩短污泥龄，降低DO浓度，使之不进行硝化过程。

2. 除磷效果差

产生原因：厌氧池未保持严格厌氧状态，即DO未低于0.2 mg/L，聚磷菌无法有效释磷，或好氧池DO未保持在2.0 mg/L以上，聚磷菌无法有效吸磷。

解决措施：可通过调整鼓风机充氧量和调节回流污泥量使DO在厌氧池低于0.2 mg/L，好氧池高于2 mg/L；在废水中直接投加化学除磷药剂，起到除磷与絮凝的双重作用。

二、处理过程异常

1. 污泥膨胀

产生原因：污泥膨胀最突出的表现是SVI大于150%。污水中碳水化合物较多、DO不足、缺乏氮、磷等营养物质、水温高以及pH较低等情况均易引起污泥膨胀。此外，超负荷、污泥龄过长、有机物浓度梯度小、排泥不畅等也会引起污泥膨胀。

解决措施：缺氧、水温高等加大曝气量，降低水温，减轻负荷，或适当降低MLSS，使需氧量减少；污泥负荷率过高，可适当提高MLSS，以调整负荷，必要时可停止进水“闷曝”一段时间；缺氮、磷等养料，可投加硝化污泥或氮、磷等成分；pH值过低，可投加石灰等调节pH（6-8）；污泥大量流失，可投加氯化铁促进凝聚，刺激菌胶团生长，也可投加漂白粉或液氯，抑制丝状菌繁殖，也可投加硅藻土、粘土等物质。

2. 污泥解体

产生原因：污泥解体现象表现为处理水质浑浊、污泥絮凝体微细化、处理效果变坏等，可能是进水含有有毒物质，细胞合成受到抑制。

解决措施：对进水水质进行化验分析，确定有毒物质，随后减少进水水量，加大曝气量，尽快使生化系统恢复活性；调整进水量；调整回流污泥量，控制MLSS；调整曝气量；调整排泥量。

3. 污泥上浮

产生原因：污泥停留时间过长，有机质腐败；沉淀池有死角，局部积泥厌氧，产生CH4、CO2、N2等气体附于污泥使之上浮；回流比过小，污泥回流不及时使之厌氧。

解决措施：保持及时排泥，避免污泥在沉淀池内停留时间过长；清除沉淀池内壁、部件或某些死角的污泥；加大回流比，防止污泥在沉淀池停留时间太长；曝气池末端增加供氧，使进入二沉池的混合液内有足够的DO，使污泥不处于反硝化状态；对于反硝化造成的污泥上浮，可以增大剩余污泥排放，缩短SRT。

4. 生化池泡沫

产生原因：废水中表面活性物质在曝气的搅拌和吹脱作用下形成化学泡沫；反硝化作用产生氮气带动部分污泥上浮，产生反硝化泡沫；曝气池中丝状菌大量增殖，产生生物泡沫。

解决措施：用自来水或处理后的出水喷洒生化池水面；投加消泡剂，如柴油，煤油；加大回流污泥量，增加生化池中活性污泥的浓度。

5. 污泥发白

产生原因：缺少营养，丝状菌等大量繁殖，菌胶团生长不良；pH值过高或过低，引起丝状菌大量生长，污泥松散，体积偏大。

解决措施：按营养配比调整进水负荷；调整进水pH值，保持曝气池pH值在6-8之间。

6. 污泥发黑

产生原因：曝气池溶解氧过低，有机物厌氧分解释放出H2S，其与Fe作用生成FeS。

解决措施：增加供氧量，提高曝气池溶解氧或加大回流污泥。

7. 曝气池内产生茶色或灰色泡沫

产生原因：污泥老化，污泥龄过高，解絮后的污泥附于泡沫上。

解决措施：增加排泥，逐渐更新系统中的新生污泥，控制运行环境，保证新生污泥有较强的活性，可保持DO稳定在1.0-3.0 mg/L，同时均衡营养物质比例，适当投加营养盐。

8. 沉淀池沉降效果变差，且出水悬浮物升高

产生原因：负荷过高，有机物分解不完全影响污泥沉淀性能，沉降效果变差；负荷过低，污泥缺乏营养，耐低营养细菌增多，絮凝性能变差；污泥龄较长，系统中污泥浓度过高并且污泥结构松散不易沉降；水温过高使小分子有机物增多，菌胶团吸附过多有机物造成污泥解絮。

解决措施：降低负荷，减少进水COD总量，提高DO使污泥性能逐渐恢复；增加进水量，使其控制在合适的范围，保持较高DO状态，抑制低营养细菌继续增加；加大剩余污泥排放量，将污泥浓度控制到合理范围内；降低曝气池水温，控制好DO水平。

9. 进水水质波动

解决措施：当进水COD较高时，提高生物池对有机负荷的去除率，加强DO的监测力度，增加曝气量，提高生物池污泥浓度以提高单位生物池的处理能力；当进水氨氮较高时，调整生物池运行，加大曝气量，提高污泥浓度，减少剩余污泥排放量；当进水COD、氨氮等较低时，根据运行情况适当降低污泥浓度或缩短SRT来达到污泥最佳状态；当SS偏高时，加大沉淀池排泥量，加大生物系统回流比，调整深度处理单元药剂投加量；当进水总磷物质过高、除磷效果不理想时，加强出水在线监控，若总磷含量接近警戒线，适当加大药剂投加量，维持出水总磷物质保持稳定。

10. 进水量超过设计负荷

解决措施：增加泵的开启台数，降低集水井水位，直到所有泵满负荷运行；减少停留时间，增大处理量；二沉池全部投入使用；注意监控生化系统运行参数；加大生化池上清液、二沉池出水及总出水抽检频次。

11. 进水量不足

解决措施：提升泵房尽量保持水泵平稳进水，但需避免水泵低液位运行；回流比控制在50%-100%；二沉池投入一半；注意监控生化系统运行参数。

# 参考资料

1.《城镇污水处理厂工程施工规范》GB 51221

2.《市政工程施工组织设计规范》GB/T 50903

3.《大体积混凝土施工标准》GB 50496

4.《混凝土结构设计规范》GB 50010

5.《工业企业厂界环境噪声排放标准》GB 12348

6.《建筑设计防火规范》GBJ 16

7.《建筑内部装修设计防火规范》GB 50222

8.《环境保护产品技术要求 单级高速曝气离心鼓风机》HJ/T 278

9.《环境保护产品技术要求 罗茨鼓风机》HJ/T 251

10.《室外排水设计标准》GB 50014

11.《建筑施工场界环境噪声排放标准》GB 12523

12.《环境保护产品技术要求 中、微孔曝气器》HJ/T 252

13.《城镇污水处理厂工程质量验收规范》GB 50334

14.《城镇污水处理厂污染物排放标准》GB 18918

15.《城镇污水处理厂运行监督管理技术规范》HJ 2038

16.《厌氧-缺氧-好氧活性污泥法污水处理工程技术规范》HJ 576

17.《序批式活性污泥法污水处理工程技术规范》HJ 577