

# 短程硝化-反硝化技术在城市污水处理中的应用研究

陈佳申 邱剑波 徐华华 朱琦  
宁波市城市排水有限公司 浙江 宁波 315040

**摘要:** 随着城市化进程的加快,城市污水排放量急剧增加,水体富营养化问题日益严重。短程硝化-反硝化技术作为一种新型的生物脱氮技术,因其高效、低能耗、低污泥产量等优点,在城市污水处理中得到了广泛应用。本文综述了短程硝化-反硝化技术的原理、特点、应用现状及其在城市污水处理中的优势与挑战,旨在为城市污水处理技术的优化升级提供参考。

**关键词:** 短程硝化-反硝化技术;城市污水处理;应用

## 引言

氮污染是水体富营养化的主要原因之一,而城市污水是氮污染的主要来源。传统的生物脱氮技术包括硝化和反硝化两个过程,其中硝化过程将氨氮氧化为硝酸盐,反硝化过程则将硝酸盐还原为氮气。然而,传统技术存在能耗高、碳源需求大、污泥产量多等问题。短程硝化-反硝化技术通过控制硝化反应只进行到亚硝酸盐阶段,随后进行反硝化,有效解决了这些问题,成为城市污水处理领域的研究热点。

### 1 短程硝化-反硝化技术原理

短程硝化-反硝化技术是一种高效的生物脱氮工艺,其核心原理在于充分利用硝酸菌和亚硝酸菌在生长速率和底物亲和力等动力学特性上的显著差异。在硝化反应阶段,该技术通过精确调控反应环境中的关键参数,如溶解氧浓度、pH值以及温度等,为氨氧化细菌(AOB)创造有利的生长条件。AOB在这些条件下能够高效地将氨氮( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ )氧化为亚硝酸盐氮( $\text{NO}_2^-\text{-N}$ ),同时,通过特定的抑制策略,如降低溶解氧浓度或调节pH值,有效抑制亚硝酸盐氧化细菌(NO<sub>B</sub>)的活性,从而阻止亚硝酸盐氮进一步被氧化为硝酸盐氮( $\text{NO}_3^-\text{-N}$ )。进入反硝化反应阶段,亚硝酸盐氮成为反硝化菌的电子受体。在缺氧或微氧条件下,反硝化菌利用有机碳源作为电子供体,将亚硝酸盐氮逐步还原为氮气( $\text{N}_2$ ),最终实现氮元素从水体中的有效去除。这一过程不仅减少了传统硝化-反硝化过程中所需的氧量,还降低了能耗和污泥产量,具有显著的环境效益和经济效益。

### 2 短程硝化-反硝化技术的特点

短程硝化-反硝化技术作为一种创新的生物脱氮工艺,凭借其独特的技术优势,以其高效性、低能耗、低污泥产量和灵活性等显著特点,在水处理领域展现出了广泛的应用前景。随着技术的不断发展和完善,相信短

程硝化-反硝化技术将在未来发挥更加重要的作用。

#### 2.1 高效性

短程硝化-反硝化技术以其高效的氮去除率而著称。在传统硝化-反硝化过程中,氨氮首先被氧化为亚硝酸盐,再进一步氧化为硝酸盐,最后通过反硝化作用还原为氮气。而短程硝化-反硝化技术通过控制反应条件,使氨氧化细菌(AOB)将氨氮直接氧化为亚硝酸盐,随后亚硝酸盐在反硝化菌的作用下被还原为氮气。这一过程中省略了亚硝酸盐到硝酸盐的氧化步骤,从而大大缩短了反应时间,提高了氮的去除效率<sup>[1]</sup>。此外,短程硝化-反硝化技术还能够快速响应水质变化,对于不同浓度的氨氮污水都能保持较高的处理效率。这种高效性不仅体现在处理速度上,还体现在处理效果上,能够确保出水水质达到相关排放标准,甚至优于标准。

#### 2.2 低能耗

能耗是水处理过程中一个重要的经济指标。与传统硝化-反硝化技术相比,短程硝化-反硝化技术在能耗方面具有显著优势。由于该技术避免了硝酸盐的生成,从而减少了硝化过程中所需的氧量。在传统硝化过程中,为了将亚硝酸盐氧化为硝酸盐,需要大量的氧气作为电子受体。而短程硝化-反硝化技术通过控制反应条件,抑制了亚硝酸盐氧化细菌(NO<sub>B</sub>)的活性,从而减少了氧气的消耗。同时,在反硝化过程中,短程硝化-反硝化技术可以直接利用亚硝酸盐作为电子受体,而不需要像传统反硝化过程那样先将硝酸盐还原为亚硝酸盐。这一步骤的省略不仅减少了反应时间,还减少了反硝化过程对碳源的需求。碳源是反硝化过程中必不可少的电子供体,其成本较高。因此,短程硝化-反硝化技术通过减少碳源的需求,进一步降低了能耗。

#### 2.3 低污泥产量

污泥处理是水处理过程中的一个重要环节,也是成

本较高的一个环节。短程硝化-反硝化技术通过减少硝酸盐的生成，相应地减少了污泥的产量。在传统硝化-反硝化过程中，硝酸盐的生成会导致微生物细胞的增殖，从而产生大量的污泥。而短程硝化-反硝化技术通过控制反应条件，抑制了硝酸盐的生成，从而减少了微生物细胞的增殖，降低了污泥的产量。污泥产量的减少不仅降低了污泥处理成本，还减少了污泥处理过程中可能产生的二次污染问题。因此，短程硝化-反硝化技术在环保和经济方面都具有显著优势。

### 2.4 灵活性

短程硝化-反硝化技术具有高度的灵活性，可以与其他工艺联用，以适应不同类型污水的处理需求。例如，它可以与AAO（厌氧-好氧）工艺联用，通过厌氧段去除污水中的有机物，同时为好氧段提供碳源；好氧段则进行短程硝化反应，将氨氮氧化为亚硝酸盐；最后通过反硝化作用将亚硝酸盐还原为氮气。这种联用方式可以充分发挥各自工艺的优势，提高整体处理效果<sup>[2]</sup>。此外，短程硝化-反硝化技术还可以与MBR（膜生物反应器）等先进工艺联用。MBR工艺通过膜的高效截留作用，可以实现污泥的高浓度培养和长泥龄运行，从而进一步提高处理效率。将短程硝化-反硝化技术与MBR工艺联用，可以充分发挥两者的优势，实现高效、低能耗、低污泥产量的污水处理目标。

## 3 短程硝化-反硝化技术在城市污水处理中的应用实践

### 3.1 案例一：某污水处理厂

#### 3.1.1 项目背景

某污水处理厂面临着提高处理效率、降低能耗的需求。为了优化污水处理工艺，该厂采用了短程反硝化耦合部分厌氧氨氧化深度脱氮技术，对污水处理工艺进行了升级改造。

#### 3.1.2 技术应用

(1) 工艺流程：污水首先进入生化池的厌氧区，厌氧区生物膜和污泥中的反硝化菌进行短程反硝化，将回流污泥中的硝态氮还原为亚硝态氮，再由生物膜上的厌氧氨氧化菌将亚硝态氮和氨氮转化为氮气。随后，污水进入缺氧区，进行进一步的短程反硝化过程。最后，污水进入好氧区，氨氧化菌与亚硝酸盐氧化菌将剩余的氨氮氧化为硝态氮。(2) 技术特点：生化池中装填了悬浮填料，填充率为15%~20%（各生化池填充率不一致），实现了厌氧氨氧化菌等功能菌群的高度富集，提高了脱氮效率和生化池自养脱氮比例。

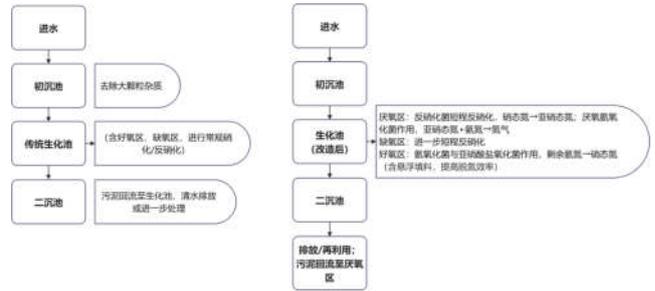


图1 改造前后工艺流程图

### 3.1.3 应用效果

(1) 节能降耗：与传统硝化/反硝化脱氮工艺相比，该技术可节约30%的曝气能耗，无需外加碳源，仅通过对原水中碳源的有效利用，出水总氮可削减至10mg/L以下。(2) 环境效益：生化反应过程中减少了二氧化碳和氧化亚氮等温室气体排放，有助于减少污水处理过程的碳排放。(3) 经济效益：出水指标稳定达到国家标准，吨水处理费仅0.30~0.40元，节能降耗效果显著。生产出的高品质再生水可用于河道补水、循环冷却、市政绿化等，取得了良好的社会、经济和环境效益。

### 3.2 案例二：某污水处理厂

#### 3.2.1 项目背景

该污水处理厂采用序批式活性污泥法（CASS工艺）处理污水，但存在脱氮效果不理想、能耗较高的问题。为了提高脱氮效率、降低运行成本，采用了短程硝化反硝化技术优化序批式反应。

#### 3.2.2 技术应用

(1) 工艺流程：在原有CASS工艺的基础上，通过延长回流时间、增加回流量、改变进水方式等措施，优化短程硝化反硝化条件。具体来说，延长回流时间至24小时，增加回流量至后回流比127%，采用双池同时进水方式，并在适当阶段投加外置碳源。(2) 技术特点：短程硝化反硝化技术跳过了传统的硝酸盐氧化阶段，直接形成氨氮→亚硝酸盐→氮气的反应链，节约了曝气能耗和碳源消耗。

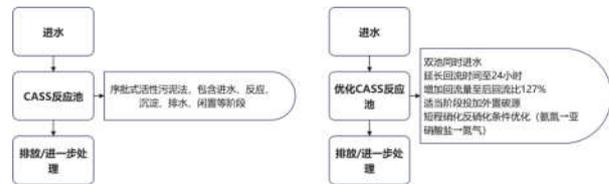


图2 改造前后工艺流程图

### 3.2.3 应用效果：

(1) 脱氮效率提升：出水总氮稳定降低2~5mg/L，有效提升了污水脱氮效果。(2) 碳源节约：至少节省20%的碳源用量，降低了运行成本。(3) 技术创新：形成了

基于时序优化的短程硝化反硝化序批式反应创新体系,获得了4项专利证书(其中1项发明专利),为污水处理行业的绿色低碳发展提供了新思路。

#### 4 短程硝化-反硝化技术挑战与对策

短程硝化-反硝化技术作为一种高效、低能耗的生物脱氮工艺,虽然在水处理领域展现出了巨大的潜力,但在实际应用过程中也面临着一些挑战。但通过加强运行管理、优化处理效果和解决亚硝酸盐毒性问题等对策,可以克服这些挑战,充分发挥其优势,为水处理领域做出更大的贡献。

##### 4.1 运行管理要求高

短程硝化-反硝化技术的运行受环境因素影响较大,如温度、pH值、溶解氧等条件的变化都会对处理效果产生显著影响。这些环境因素不仅影响着微生物的活性,还直接关系到硝化和反硝化过程的进行。例如,温度过高或过低都会导致微生物活性下降,从而影响氮的去除效率;pH值的变化会影响微生物的细胞结构和酶活性,进而影响其代谢过程;溶解氧的浓度则是硝化过程的关键因素,过高或过低都会影响硝化菌的活性。因此,短程硝化-反硝化技术的运行管理要求较高,需要专业的人员进行操作和维护。操作人员不仅需要具备扎实的专业知识,还需要有丰富的实践经验,能够准确判断和处理各种异常情况<sup>[3]</sup>。同时,为了确保处理效果的稳定,还需要建立完善的监测和控制体系,对关键参数进行实时监测和调控。针对这一挑战,可以采取以下对策:加强操作人员的培训和教育,提高其专业素养和实践能力。建立完善的监测和控制体系,对关键参数进行实时监测和调控。开展相关研究,探索不同环境因素对短程硝化-反硝化技术的影响机制,为运行管理提供理论依据。

##### 4.2 处理效果受污水类型影响

短程硝化-反硝化技术对于某些特殊类型污水的处理效果可能不够理想。这主要是由于不同类型的污水中所含的污染物种类和浓度差异较大,对微生物的活性和处理效果产生不同影响。例如,对于含有高浓度有机物或有毒物质的污水,微生物的活性可能会受到抑制,从而影响硝化和反硝化过程的进行。为了克服这一挑战,需要进一步研究和优化短程硝化-反硝化技术。具体对策包括:开展针对特殊类型污水的处理效果研究,探索其处理机制和优化方法。通过调整运行参数、添加特定微生物或改进工艺结构等方式,提高处理效果。加强与其他处理技术的联用研究,发挥各自优势,提高整体处理效

果。此外,还可以考虑采用预处理技术,如物理、化学或生物预处理方法,去除污水中的部分污染物,减轻短程硝化-反硝化技术的处理负担,提高其处理效果。

##### 4.3 亚硝酸盐毒性问题

亚硝酸盐是短程硝化-反硝化技术过程中的一个中间产物,它具有一定的毒性。如果出水中亚硝酸盐浓度过高,不仅会对环境造成污染,还可能对人体健康产生危害。因此,反硝化过程必须进行得比较彻底,以确保出水中亚硝酸盐浓度很低<sup>[4]</sup>。然而,在实际运行过程中,由于各种因素的影响,如反硝化菌的活性、碳源的充足性、溶解氧的浓度等,反硝化过程可能无法进行得完全彻底,导致出水中亚硝酸盐浓度偏高。为了解决这一挑战,可以采取以下对策:优化反硝化条件,提高反硝化菌的活性。这可以通过调整温度、pH值、溶解氧等参数来实现。确保碳源的充足性。碳源是反硝化过程中的电子供体,其充足性直接影响反硝化过程的进行。因此,需要根据实际情况添加适量的碳源。加强出水监测和管理。对出水中的亚硝酸盐浓度进行实时监测,一旦发现浓度偏高,及时采取措施进行调整和优化。除了上述对策外,还可以考虑采用后处理技术,如化学沉淀、吸附或生物处理等方法,进一步去除出水中的亚硝酸盐,确保其浓度达到相关排放标准。

#### 结语

短程硝化-反硝化技术作为一种新型的生物脱氮技术,在城市污水处理中展现出了显著的优势。然而,该技术的应用仍面临一些挑战。未来,应进一步优化运行参数和工艺条件,提高短程硝化-反硝化技术的脱氮效果和稳定性;同时,研发新型的生物催化剂和反应器,提高该技术的适应性和灵活性;加强该技术的实际应用和推广,促进其在各类污水处理厂的应用和普及。

#### 参考文献

- [1]张志文.短程硝化反硝化脱氮技术在污水处理中应用研究进展[J].工业微生物,2024,54(06):60-63.
- [2]毛霖,荆黎.短程硝化-反硝化技术在城市生活污水处理中的应用研究[J].化学工程师,2022,36(10):41-44.
- [3]李维卿.短程硝化-反硝化技术处理城市生活污水运行特征分析[J].皮革制作与环保科技,2023,4(24):97-99.
- [4]阚子建.A2/O-BAF工艺短程硝化模式下反硝化除磷技术在处理低C/N城市污水中的效能[J].中国新技术新产品,2023,(01):118-120.