

低温条件下市政污水处理系统微生物群落结构调控与脱氮效能提升研究

张阳阳

河南清尚环保科技有限公司 河南 郑州 450000

摘要: 随着冬季低温对市政污水处理效能的显著制约,微生物群落结构调控成为提升脱氮效能的关键。本文聚焦低温条件下市政污水处理系统,深入探讨微生物群落结构调控与脱氮效能提升。低温对微生物代谢速率、群落组成及污水处理系统脱氮效能产生显著影响。文章系统研究了微生物群落结构调控方法,涵盖物理、化学、生物及综合调控;同时提出脱氮效能提升策略,包括微生物强化、工艺优化、环境条件调控与运行管理。旨在为低温环境下市政污水处理系统的高效稳定运行提供理论依据与实践指导,推动污水处理行业在低温条件下的技术进步与效能提升。

关键词: 低温条件; 市政污水处理; 微生物群落结构; 脱氮效能

引言: 低温环境是市政污水处理系统面临的常见挑战之一,对系统处理效能影响显著。在低温条件下,微生物的生理活动受到抑制,代谢速率减缓,群落结构发生改变,进而导致污水处理系统脱氮等关键功能下降。这不仅影响出水水质,还可能对生态环境造成潜在威胁。目前,针对低温条件下市政污水处理系统的研究虽有开展,但在微生物群落结构精准调控与脱氮效能大幅提升方面仍存在不足。因此,深入研究低温条件下市政污水处理系统微生物群落结构调控与脱氮效能提升策略,具有重要的理论意义和实际应用价值,对保障污水处理系统稳定运行、改善水环境质量至关重要。

1 低温条件下市政污水处理系统微生物的概述

在市政污水处理系统中,微生物扮演着至关重要的角色,它们是污水处理的核心“工作者”,通过一系列的代谢活动,将污水中的有机物、氮、磷等污染物转化为无害或易于处理的物质。(1)低温条件对市政污水处理系统中的微生物有着独特的影响。从微生物种类来看,低温环境下,嗜冷菌和耐冷菌成为优势菌群。嗜冷菌具有独特的细胞膜结构和酶系统,能在低温下保持较高的酶活性,从而维持正常的代谢活动;耐冷菌虽非严格嗜冷,但可在一定低温范围内生存并发挥功能。(2)这些微生物的代谢途径也因低温而发生改变。在低温时,微生物的酶促反应速率降低,导致有机物的分解、氮的转化等过程变缓。不过,部分微生物会通过调整自身代谢策略来适应低温,如增加细胞内不饱和脂肪酸的含量,以维持细胞膜的流动性^[1]。(3)低温还会影响微生物之间的相互作用和群落结构。一些共生或互利关系可能被打破,而某些具有抗低温特性的微生物会逐渐占据优势,形成新的

群落平衡。深入研究低温条件下市政污水处理系统微生物的特性,对于优化污水处理工艺、提高处理效能具有重要意义。

2 低温对市政污水处理系统的影响

2.1 低温对微生物代谢速率的影响

低温会显著降低市政污水处理系统中微生物的代谢速率。酶是微生物代谢的催化剂,温度降低时,酶的活性受到抑制,导致生化反应速度减慢。微生物摄取营养物质的速率下降,对污染物的分解转化能力减弱。例如,在低温条件下,好氧微生物对有机物的氧化分解过程变缓,有机物不能及时被降解,使得出水中的化学需氧量(COD)等指标升高,影响污水处理效果,导致处理效率降低。

2.2 低温对微生物群落组成的影响

低温会改变市政污水处理系统中的微生物群落组成。不同微生物对温度的适应能力存在差异,低温环境下,一些耐冷的微生物逐渐成为优势种群,而一些对温度较为敏感的微生物数量会减少。比如,某些低温菌属会大量繁殖,它们具有特殊的酶系统和细胞结构,能在低温下维持一定的代谢活性。相反,一些中温菌的生长和繁殖受到抑制,群落结构发生改变,进而影响整个污水处理系统的生态平衡和功能稳定性。

2.3 低温对污水处理系统脱氮效能的影响

低温对污水处理系统的脱氮效能产生明显的负面影响。在硝化过程中,硝化细菌的活性随温度降低而大幅下降,氨氮转化为亚硝酸盐氮和硝酸盐氮的速率减慢,导致氨氮去除效率降低。反硝化过程同样受低温影响,反硝化细菌的代谢活性减弱,硝酸盐氮还原为氮气的过程受阻,

使得总氮去除效果变差。低温还会影响微生物之间的协同作用,进一步削弱脱氮系统的整体效能,导致出水氨氮含量超标^[2]。

3 低温条件下市政污水处理系统微生物群落结构调控方法研究

3.1 物理调控方法

物理调控方法主要通过改变污水处理系统的物理环境来影响微生物群落结构。温度调控是关键,可采用加热装置提升水温,为微生物提供适宜生长温度,增强其代谢活性,促进优势菌群繁殖,优化群落结构。但加热成本较高,需综合考虑能耗与处理效果。光照调控方面,部分微生物对光照有特定需求,合理控制光照强度和时长,可调节微生物生长周期和代谢途径。例如,某些光合细菌在适宜光照下能更好地参与污染物降解。此外,通过改变水流状态,如调整曝气强度、水流速度等,能影响微生物的附着和分布。增加曝气可提高溶解氧含量,利于好氧微生物生长;调整水流速度能改变微生物与污染物的接触频率,促进物质传递,进而影响群落结构组成,使系统更高效地处理污水。

3.2 化学调控方法

化学调控方法利用化学物质来调节微生物群落结构。添加营养剂是常见手段,根据微生物生长需求,适量补充碳源、氮源、磷源等营养物质,可促进特定微生物的生长繁殖,改变群落中各菌群的相对丰度。投加化学药剂可抑制有害微生物生长,如投加消毒剂可杀灭部分病原菌,减少其对有益微生物的竞争压力。同时,一些化学物质能调节微生物的代谢途径,如添加电子受体可改变反硝化细菌的反硝化过程,提高脱氮效率。但化学调控需严格控制药剂种类和投加量,避免对微生物产生过度抑制或二次污染,确保污水处理系统的稳定运行和良好处理效果。

3.3 生物调控方法

生物调控方法借助生物间的相互作用来优化微生物群落结构。引入优势菌种是一种有效方式,通过投加具有高效降解能力或特定功能的微生物,增加其在群落中的比例,提升系统处理能力。如引入硝化细菌可强化氨氮去除效果。利用生物间的共生、互利关系也能调节群落结构,某些微生物能分泌促进其他微生物生长的物质,形成互利共生体系,提高群落的稳定性和处理效率。此外,构建微生物燃料电池等生物系统,利用微生物的电化学活性,不仅能处理污水,还能实现能源回收,同时改变微生物群落的能量代谢模式,优化群落组成。

3.4 综合调控方法

综合调控方法结合物理、化学和生物调控手段,全方位优化低温条件下市政污水处理系统微生物群落结构。先通过物理方法,如加热和调整曝气,为微生物创造适宜的物理环境,提高其基础代谢活性。再利用化学方法,合理添加营养剂和化学药剂,精准调节微生物的营养需求和代谢途径,促进有益微生物生长,抑制有害微生物。最后采用生物调控方法,引入优势菌种或构建生物共生体系,进一步优化群落结构,增强系统的处理能力和稳定性。综合调控能充分发挥各方法的优势,弥补单一方法的不足,从多个层面协同作用,更好地适应低温环境变化,提高污水处理系统在低温条件下的脱氮效能和整体处理水平,实现高效、稳定、可持续的污水处理目标^[3]。

4 低温条件下市政污水处理系统脱氮效能提升策略

4.1 微生物强化

在低温条件下,微生物强化是提升市政污水处理系统脱氮效能的重要策略。低温会抑制微生物的代谢活性,导致脱氮相关微生物的生长和功能发挥受限。通过微生物强化,可针对性地改善这一状况。(1)可筛选和引入耐低温且具有高效脱氮能力的优势菌种。这些菌种在低温环境中仍能保持较高的酶活性,维持正常的硝化、反硝化等脱氮代谢过程。例如,某些耐冷的硝化细菌和反硝化细菌,能在低温下有效将氨氮转化为亚硝酸盐氮、硝酸盐氮,并进一步将其还原为氮气,从而强化脱氮效果。(2)利用微生物间的协同作用进行强化。构建功能互补的微生物群落,使不同微生物在脱氮过程中发挥各自优势。如好氧菌与厌氧菌协同,好氧菌在有氧条件下进行硝化反应,厌氧菌在缺氧环境下完成反硝化,通过合理调控群落结构,提高脱氮效率。(3)还可通过微生物固定化技术强化脱氮微生物。将高效脱氮微生物固定在载体上,提高其在低温污水中的浓度和稳定性,增强微生物与污染物的接触机会,促进脱氮反应的持续进行,进而提升低温下市政污水处理系统的脱氮效能。

4.2 工艺优化

低温条件下,对市政污水处理系统工艺进行优化是提升脱氮效能的关键举措。(1)在反应流程方面,可适当延长水力停留时间。低温使微生物代谢速率降低,延长停留时间能让污水与微生物充分接触,保证硝化、反硝化等脱氮反应有足够时间进行,提高氨氮、总氮的去除率。同时,合理调整污泥龄也至关重要,较长的污泥龄有利于世代时间较长的硝化细菌等脱氮微生物的生长和积累,增强系统的硝化能力。(2)曝气控制也是工艺优化的重要环节。低温时,需根据微生物的需氧量精准调节曝气量。过大的曝气量不仅会增加能耗,还可能破坏微

生物的生存环境；而过小则无法满足好氧微生物的代谢需求。通过实时监测溶解氧浓度，动态调整曝气强度，为硝化细菌等好氧脱氮微生物创造适宜的生存条件。(3)优化污泥回流和混合液回流比例。合适的回流比例能保证系统内微生物的浓度和活性，促进脱氮过程的物质循环和能量流动，提高脱氮效率。通过综合调整这些工艺参数，可使市政污水处理系统在低温条件下更好地适应环境变化，实现脱氮效能的显著提升。

4.3 环境条件调控

温环境下，对市政污水处理系统的环境条件进行精准调控，是提升脱氮效能不可或缺的环节。(1)温度调控是核心要点。尽管低温是既定条件，但可通过局部加热或保温措施，尽量提升反应区域的温度。例如，在生物反应池表面覆盖保温材料，减少热量散失；对于关键的反应单元，采用加热棒等设备适度升温，为脱氮微生物营造相对适宜的温度环境，增强其酶活性，促进硝化、反硝化等反应的进行。(2)溶解氧的调控也十分关键。不同类型的脱氮微生物对溶解氧的需求不同，硝化细菌是好氧菌，需要充足的溶解氧来完成氨氮的氧化；而反硝化细菌是厌氧菌，在缺氧环境下才能将硝酸盐氮还原为氮气。因此，要根据不同反应阶段的需求，合理控制溶解氧浓度，通过调节曝气量、曝气方式等，实现溶解氧的精准分布，满足各脱氮微生物的生理需求。(3)pH值对微生物的活性和脱氮反应也有显著影响。保持适宜的pH范围，能维持微生物细胞内酶的稳定性，促进营养物质的吸收和代谢产物的排出。可通过投加酸碱调节剂等方式，将污水pH值控制在合适区间，为脱氮微生物创造良好的生存环境，进而提升系统的脱氮效能。

4.4 运行管理

低温条件下，市政污水处理系统运行管理需全方位、精细化，以提升脱氮效能。(1)在监测控制上，构建实时、精准的监测网络至关重要。持续跟踪进水水质、水温、溶解氧、pH值以及氨氮、总氮等关键指标，通过数据分析及时洞察系统运行态势。依据监测结果，动态调整工艺

参数，如根据水温变化微调曝气量，确保硝化与反硝化反应在低温下仍能有效进行。(2)人员管理方面，强化操作人员专业素养。定期组织低温运行知识培训与技能考核，使其熟悉低温对脱氮微生物及工艺的影响，掌握应急处理方法。制定严格的操作规范与值班制度，保证人员按时巡检、准确记录，及时发现并解决问题。(3)设备维护不容忽视。低温易使设备出现故障，要制定详细的维护计划，定期对曝气机、加热装置、水泵等关键设备进行保养与检修，确保设备性能稳定。同时，储备必要的易损件与应急物资，以便在设备突发故障时迅速更换与修复。(4)建立完善的运行管理档案，记录系统运行数据、维护情况与问题处理过程，为后续优化运行提供参考依据，助力市政污水处理系统在低温条件下稳定、高效运行，实现脱氮效能的持续提升^[4]。

结束语

低温对市政污水处理系统的微生物群落结构与脱氮效能影响显著，本研究围绕此展开深入探索。通过微生物强化、工艺优化、环境条件调控及运行管理等多维度策略，有效改善了低温下微生物群落结构，提升了脱氮效能。但研究仍有局限，未来需进一步挖掘耐低温微生物资源，优化调控技术间的协同作用。同时，结合新兴技术如人工智能进行精准调控，实现污水处理系统在低温下的高效、稳定运行，为城市水环境改善和可持续发展提供更有力的技术支撑。

参考文献

- [1]杨晓贝.城市污水脱氮除磷效果的强化途径及发展方向[J].化纤与纺织技术,2024,53(04):97-99.
- [2]王铁健.分析微生物群落在污水处理过程中的作用[J].清洗世界,2023,39(12):136-138.
- [3]吴伟林,杨帆,孟章进,姜桂英,方芝.江苏油田污水处理系统中微生物群落结构及分布特征研究[J].石油化工应用,2021,37(10):80-84+122.
- [4]李雨浓,温东辉.污水处理厂尾水排放对受纳水域微生物群落的影响[J].环境工程,123-124.