

低温条件下城市生活垃圾填埋场渗滤液脱氮技术的改进与应用

陈熙彤

青岛汇君环境能源工程有限公司 山东 青岛 266100

【摘要】：城市生活垃圾填埋场渗滤液的处理，尤其在低温条件下，面临着传统处理技术效果下降的挑战。低温环境中微生物活性降低，导致脱氮工艺效率显著下降。因此，需要改进现有技术以确保处理效果。本文综述了低温条件下的渗滤液脱氮技术，重点分析了反硝化过程的生物脱氮技术、膜分离创新方法及反应器优化设计，提出复合型脱氮技术。最后，结合案例分析，总结了改进后的脱氮工艺在低温环境下的应用效果与前景。

【关键词】：低温条件；垃圾填埋场；渗滤液；脱氮技术；反硝化；膜分离；废水处理

DOI:10.12417/2811-0536.25.12.040

引言

随着城市化进程的加快，垃圾填埋场成为城市固体废弃物的重要处理方式。然而，垃圾填埋场在运营过程中产生的渗滤液富含氮等污染物，特别是氨氮，如果未经有效处理，最终排放将导致水体富营养化，破坏生态系统。低温条件下，传统脱氮技术受到抑制，因此，提高低温环境下渗滤液的脱氮效果是当前亟待解决的难题。本文将探讨低温条件下渗滤液脱氮技术的研究进展及改进方案，以提高处理效率与经济效益。

1 低温环境对渗滤液处理的影响

1.1 低温对微生物活性的影响

低温环境显著降低了微生物的生长速度和代谢活性，尤其是生物脱氮过程中的反硝化菌活性。当温度下降至 5℃ 以下时，硝酸盐还原过程的速率会大幅减慢，甚至完全停止，导致脱氮效果严重降低。研究表明，在此条件下，反硝化细菌的代谢活动被抑制，硝酸盐无法有效还原为氮气。传统的硝化反硝化工艺在低温环境下的脱氮效率会显著下降，导致生物脱氮的处理能力变弱，进一步加大了处理成本。为了应对这一问题，研究者们正在探索新的技术手段，以维持低温下微生物活性的稳定性，如通过优化培养基成分和使用耐寒菌株等方法来提高低温下的处理效率。如何在低温环境下保持微生物活性并优化脱氮效果，成为渗滤液处理技术研究中的关键课题之一。

1.2 低温对脱氮工艺的影响

低温不仅影响微生物的代谢速率，还显著改变了化学反应的速率，导致物理化学脱氮技术的效率下降。尤其在低温下，化学沉淀法中氨氮的去除效果较差，某些化学药剂在低温环境下的活性降低，导致反应速率减缓，甚至无法完成预定的反应过程。此外，低温环境会增加药剂的消耗，进而提升处理成本，影响整体处理效益。传统的物理化学脱氮方法无法有效应对

低温对反应速率的影响。因此，在低温环境下，开发适应性强、效率高的脱氮技术，成为确保渗滤液在低温下仍能高效处理的关键。结合生物与化学脱氮的优点，提出多重脱氮技术组合的解决方案，能够有效提高低温条件下的脱氮效率。

1.3 低温对处理系统的影响

低温不仅对微生物代谢和化学反应产生影响，还对渗滤液处理系统的各个环节产生显著作用。在低温环境下，填埋场渗滤液的流动性明显下降，增加了膜过滤系统的阻力，从而影响膜的通量和分离效果。随着温度降低，膜表面容易发生污染，导致膜的通量下降，增加了膜清洗的频率和成本。此外，低温环境还会导致反应器内气体的溶解度发生变化，影响气体的传质过程，从而降低气体交换效率。气体的溶解度降低使得气体与液体的接触面积减少，影响了氧气和氮气的交换效率，导致反应过程中的氧供给不足，影响反应器的处理效果。为了应对这些挑战，需要对渗滤液处理系统的结构进行优化，例如通过采用温控技术、增强气体分布系统的设计以及选择适应低温环境的膜材料，从而提高系统在低温下的运行稳定性与处理效果。这些优化措施能确保渗滤液处理系统在低温条件下依然能够稳定运行，达到预期的处理效果。

2 低温条件下的脱氮技术

2.1 生物脱氮技术

生物脱氮是一种通过微生物的代谢活动，将渗滤液中的氮污染物转化为氮气或其他较为稳定的物质的方法，广泛应用于渗滤液的氮污染治理中。在低温条件下，生物脱氮技术面临较大的挑战，因为低温会显著降低微生物的代谢活性，尤其是反硝化菌的活性。因此，研究者在低温环境下提高生物脱氮效率的关键之一是对反硝化过程进行改进。近年来，通过采用耐寒性较强的反硝化菌种，如某些寒冷水域微生物，或

通过基因工程手段改造微生物的抗低温能力,研究者成功地提升了低温条件下的生物脱氮效率。这些耐寒菌株能够在较低的温度下仍然维持较高的代谢活性,从而保持较好的脱氮效果。此外,通过调整反硝化工艺的的参数,如降低进水浓度、优化反应温度等,能够进一步提高低温条件下的生物脱氮效率。这些技术的进步为低温环境下渗滤液的高效脱氮提供了有力支持。

2.2 膜分离与脱氮的结合应用

膜分离技术是废水处理领域中一种有效的物理分离方法,能够通过物理屏障作用将水中的污染物与水分离。在低温环境下,膜分离技术展现了较好的稳定性和可靠性。尤其是反渗透膜和超滤膜,能够高效去除渗滤液中的氨氮、悬浮物以及有机物。在低温环境下,膜分离技术能够与生物脱氮技术结合,形成互补效果。反渗透膜可以通过高精度过滤去除溶解的氨氮和其他有害物质,超滤膜则有助于去除较大的悬浮物、细菌和有机物,进一步提高处理效果。在膜系统的集成应用中,膜污染的问题常常成为一大挑战,特别是在低温下,膜表面的污染问题更加显著。为了减少膜污染,研究者提出了多种解决方案,如采用抗污染膜材料、优化膜清洗频率及方式等。这些措施能够有效减少膜污染,延长膜的使用寿命,同时提高脱氮效果。因此,膜分离与生物脱氮技术的结合,不仅增强了脱氮效果,还减少了膜污染的风险,为低温环境下的渗滤液处理提供了有效的技术支持。

2.3 化学脱氮技术

化学脱氮技术通过加药与化学反应,将渗滤液中的氨氮转化为无害的气体或沉淀物。这一技术常用于低温条件下的渗滤液处理,尤其是在处理氨氮浓度较高的渗滤液时,能够快速高效地去除氮污染。然而,低温环境会使某些化学反应的速率显著减慢,从而影响脱氮效果。因此,为了提高低温条件下的脱氮效果,研究者通过优化反应条件,选择适合低温环境下使用的化学药剂,如温度适应性较强的催化剂和助剂,来保持较高的脱氮效率。例如,引入不同类型的催化剂,如铁基或铜基催化剂,可以加速氨氮的转化过程,促进其快速转化为无害气体或沉淀物,从而有效去除渗滤液中的氮污染。此外,化学反应器的设计也是优化低温脱氮效果的关键因素之一。研究表明,合理设计反应器的结构、优化反应器的温控系统及反应条件,能够显著提高化学脱氮技术在低温环境下的稳定性与效率。因此,化学脱氮技术在低温条件下仍然能够保持较好的脱氮效果,为低温环境下的渗滤液处理提供

了有效的技术途径。

3 低温条件下脱氮技术的改进方案

3.1 低温适应性微生物的筛选与应用

为了提高低温条件下的脱氮效果,筛选和应用低温适应性强的反硝化细菌成为研究的关键方向。低温适应性微生物能够在低温环境下保持较高的反硝化活性,从而有效提高生物脱氮效率。研究表明,低温适应性反硝化菌能够在 5°C 以下的低温条件下,仍然维持较高的代谢速率和反硝化活性,这为低温环境中的渗滤液处理提供了有力支持。此外,近年来,基因工程手段的应用为改造微生物耐低温能力提供了新的可能。通过基因编辑,提升微生物对低温的适应性,能够进一步增强其在低温环境中的活性,从而提升生物脱氮过程的稳定性和效率。未来,研究者将重点关注低温适应性微生物的筛选与改造,并探索不同菌株之间的协同作用,以达到最佳的脱氮效果。通过将低温适应性微生物与其他技术结合,能够进一步提高低温环境下脱氮技术的整体效率。

3.2 复合脱氮技术的开发与应用

复合脱氮技术通过将多种脱氮工艺进行有效组合,能够充分发挥各自的优势,提高整体脱氮效果。在低温条件下,单一的脱氮技术通常难以应对多种复杂情况,因此,复合脱氮技术成为解决这一问题的重要途径。通过结合生物脱氮、膜分离和化学脱氮等多种方法,复合脱氮技术不仅能够克服单一工艺的局限性,还能充分提高脱氮效率。例如,生物反应器与膜分离系统的结合,能够在去除渗滤液中的氮污染物的同时,利用膜技术控制膜污染,从而提升系统的长期稳定性。在低温环境下,复合脱氮技术通过整合各类脱氮工艺,可以有效应对低温对反硝化活性和化学反应速率的抑制作用,达到优化脱氮效果的目的。此外,复合技术还能够提高系统的容错性和适应性,在处理过程中更加灵活,适应不同温度变化的影响。因此,未来的研究将继续探索复合脱氮技术的优化和创新,力求在低温环境下实现渗滤液处理的高效脱氮。

3.3 优化反应器设计与操作

低温条件下,反应器的设计与操作是确保脱氮技术高效运行的关键因素。低温环境使得反应器内微生物的活性明显下降,从而影响整体的脱氮效率。因此,优化反应器的设计和操作,特别是气流分布、温度调控和溶氧控制,成为提高反应效率的关键所在。研究表明,反应器的气流分布和溶氧控制能够直接影响微生物的活性及其代谢效率,尤其是在低温条件下,合

理的温控和气体交换优化能有效提升微生物的代谢活性,改善脱氮效果。在设计过程中,反应器的温控系统应具备精准的温度调节功能,确保在低温条件下维持适宜的微生物生长温度。此外,反应器的气流分布系统应确保气体在反应器内的均匀分布,促进气体与液体的充分接触,提升反应效率。通过优化这些关键操作参数,能够有效克服低温对反应器性能的影响,确保脱氮过程在低温环境下的高效运行。未来的研究将在这些方面进一步深化,探索更多高效、低能耗的反应器设计与操作方案。

4 实际应用与案例分析

4.1 低温环境下的案例应用

在寒冷地区的渗滤液处理项目中,低温适应性脱氮技术已经被成功应用于一些实际案例中。例如,某垃圾填埋场采用了改良的生物反应器与膜分离技术相结合的复合型脱氮工艺,成功应对了低温环境下的氮污染问题。该项目结合了低温适应性反硝化菌种与高效膜分离系统,能够在 5°C 以下的低温条件下,维持较高的氮去除效率。通过长时间的运行监测,项目结果表明,复合型脱氮工艺能够在低温环境下保持稳定的氮去除效果,并且对渗滤液中的其他污染物也有较好的去除作用。此外,通过优化反应器设计,确保了气流的均匀分布和温度控制,进一步提升了系统的稳定性和处理效率。该项目的成功应用不仅有效保护了当地的水资源环境,还为寒冷地区的渗滤液处理提供

了宝贵的实践经验,证明了低温适应性脱氮技术在极端环境下的可行性和效能。

4.2 脱氮技术的经济性分析

尽管低温条件下的脱氮技术面临一些挑战,但随着技术的改进,实际应用中已展现出较高的经济效益。通过采用低温适应性微生物和优化反应器设计,处理效率得到了提升,进而降低了单位处理成本。膜分离技术的应用减少了膜污染和清洗成本,有效降低了整体运行费用。膜技术通过物理屏障去除氮污染物和悬浮物,减少了化学药剂使用,同时延长膜寿命,降低了更换膜组件的费用。优化的反应器设计还降低了能耗,提高了气体交换效率,从而减少了能源消耗,进一步降低运营成本。虽然低温脱氮技术初期投入较高,但从长期运行来看,技术改进后的脱氮系统在降低运行费用和提升效益方面具备显著优势,为类似项目的推广提供了经济保障。

5 结语

低温条件下的渗滤液脱氮技术仍面临许多挑战,但通过多种技术的改进与融合,已经取得了显著进展。通过低温适应性微生物的筛选、复合脱氮技术的应用以及反应器的优化设计,可以有效提升低温条件下的脱氮效率。在未来的发展中,随着技术的不断创新与优化,低温环境下的渗滤液处理技术将更加成熟,为城市垃圾填埋场渗滤液的处理提供更为高效、经济、环保的解决方案。

参考文献:

- [1] 刘青晨,占美丽,张国栋,等.基于 Web of Science 对垃圾渗滤液处理处置的文献计量分析[J].山东化工,2024,53(07):229-236+240.
- [2] 黄光芪,梁剑成,魏江州,等.城镇生活垃圾渗滤液全量化处理研究进展[J].工业安全与环保,2024,50(02):79-82.
- [3] 邵俊.垃圾渗滤液及膜处理浓缩液低温蒸发技术工艺浅析[J].当代化工研究,2023,(20):147-149.
- [4] 孟杰,曹梦,魏桂芹,等.垃圾渗滤液处理专利技术分析[J].现代化工,2023,43(10):13-18.
- [5] 李俊鹏.厌氧氨氧化相关工艺处理垃圾渗滤液脱氮研究现状[J].辽宁化工,2023,52(04):554-556+560.