

基于生物膜技术的市政污水深度处理工艺开发与应用

吴淑顺

中远海运博鳌有限公司博鳌亚洲论坛大酒店 海南 琼海 571400

摘要: 本文聚焦于基于生物膜技术的市政污水深度处理工艺的开发与应用。首先阐述了市政污水深度处理的必要性和当前面临的挑战,接着详细介绍了生物膜技术的基本原理、常见类型。然后深入探讨了基于生物膜技术的市政污水深度处理工艺的开发过程,包括工艺流程设计、反应器选型与优化、生物膜载体选择等关键环节。同时,结合实际案例分析了该工艺在市政污水处理厂的应用效果,包括对污染物的去除效率、运行稳定性以及对环境的影响等方面。最后对基于生物膜技术的市政污水深度处理工艺的发展前景进行了展望,旨在为市政污水深度处理提供一种高效、可行的技术方案,推动水环境的改善和可持续发展。

关键词: 生物膜技术; 市政污水; 深度处理工艺; 开发应用

1 引言

随着城市化进程的加速和人口的不断增长,市政污水的排放量日益增加。传统的市政污水处理工艺虽然能够去除大部分的有机物和悬浮物,但对于一些难降解有机物、氮磷等营养物质的去除效果有限,导致出水水质难以满足日益严格的环保要求和水资源回用标准。因此,开展市政污水深度处理工艺的研究和应用具有重要的现实意义。生物膜技术作为一种高效的污水处理技术,具有处理效果好、抗冲击负荷能力强、运行稳定等优点,在市政污水深度处理领域具有广阔的应用前景。本文将围绕基于生物膜技术的市政污水深度处理工艺的开发与应用展开深入研究。

2 市政污水深度处理的必要性和挑战

2.1 必要性

2.1.1 环境保护需求: 未经深度处理的市政污水直接排放到自然水体中,会导致水体富营养化、水质恶化等一系列环境问题。水体富营养化会引发藻类大量繁殖,消耗水中的溶解氧,导致鱼类等水生生物死亡,破坏生态平衡。此外,污水中含有的重金属、有毒有害有机物等污染物会对水生生物和人体健康造成严重危害。通过深度处理可以有效去除这些污染物,减少对环境的污染,保护水资源和生态环境。

2.1.2 水资源回用需求: 随着水资源的日益短缺,污水回用成为解决水资源问题的重要途径。市政污水经过深度处理后可以达到工业用水、城市杂用水等回用标准,用于工业冷却、城市绿化、道路清扫、冲厕等领域,实现水资源的循环利用,缓解水资源紧张的局面,提高水资源的利用效率。

2.2 挑战

市政污水深度处理面临诸多挑战: 一是污染物种类复杂,其中含有机物、氮磷营养盐、重金属、微生物及难降解有机物等,其化学性质与生物降解性差异大,加大了深度处理难度; 二是处理标准提高,环保意识增强和法规趋严,部分地区要求出水水质达《地表水环境质量标准》Ⅲ类或Ⅳ类,对处理工艺的效果和稳定性要求更高; 三是运行成本限制,深度处理需增设额外单元和设备,建设与运行成本上升,如何在保证效果前提下降低成本是重要问题。

3 生物膜技术概述

3.1 基本原理

生物膜技术是利用附着在载体表面生长的微生物群体(生物膜)来处理污水的一种技术。当污水流经载体表面时,污水中的有机物、氮磷等营养物质被生物膜吸附和吸收,并在生物膜内部进行一系列复杂的生物化学反应^[1]。生物膜由微生物细胞、细胞外聚合物(EPS)和吸附在膜上的无机颗粒等组成,具有多孔结构和较大的比表面积。在生物膜内部,存在着好氧、缺氧和厌氧等不同的微环境,有利于不同类型微生物的生长和代谢,从而实现对污水中多种污染物的高效去除。

3.2 常见类型

3.2.1 生物滤池: 生物滤池是一种以碎石、塑料等为填料的生物处理设备。污水通过布水系统均匀地分布在填料表面,在填料表面形成生物膜。生物滤池可分为普通生物滤池、高负荷生物滤池和塔式生物滤池等类型。普通生物滤池处理效果较好,但占地面积较大; 高负荷生物滤池通过提高水力负荷和有机负荷,减小了滤池的占地面积; 塔式生物滤池具有高度大、通风良好等特点,处理效率较高。

3.2.2 生物转盘：生物转盘由一系列平行排列的圆盘组成，圆盘的一部分浸没在污水中，另一部分暴露在空气中。在电机驱动下，圆盘缓慢旋转，使生物膜交替与污水和空气接触，进行物质交换和代谢活动。生物转盘具有处理效率高、能耗低、操作管理方便等优点，适用于中小规模的污水处理。

3.2.3 生物接触氧化法：生物接触氧化法是在生物滤池的基础上发展起来的一种生物处理技术，它在池内设置填料，根据填料在池内的状态可分为流动床和固定床。

流动床：填料在池内处于流动状态，通常是借助水流或气流的作用使填料相互碰撞、摩擦。其优点在于填料上的生物膜能够不断更新，始终保持较高的活性，处理效率较高；同时，由于填料流动，不易堵塞，对水质和水量的变化适应能力较强。缺点是填料的流动需要额外的动力设备，增加了能耗和运行成本；而且填料在流动过程中可能会有磨损，需要定期补充或更换填料。

固定床：填料固定安装在池内，污水在填料间流动，与填料上的生物膜充分接触进行生物化学反应。固定床的优点是结构简单，运行管理方便，不需要额外的动力来维持填料状态，能耗较低；填料的使用寿命相对较长，运行成本较低。缺点是填料容易堵塞，尤其是在进水悬浮物浓度较高时，需要定期进行反冲洗等维护操作；对水质和水量的变化适应能力相对较弱，抗冲击负荷能力不如流动床。

4 基于生物膜技术的市政污水深度处理工艺开发

4.1 工艺流程设计

基于生物膜技术的市政污水深度处理工艺通常包括预处理、生物膜处理和后处理三个阶段。

4.1.1 预处理：预处理的目的是去除污水中的悬浮物、大颗粒杂质和部分有机物，减轻后续生物膜处理的负荷。常见的预处理方法包括格栅、沉砂池、调节池等^[2]。格栅用于去除污水中的较大悬浮物和漂浮物；沉砂池用于去除污水中的砂粒等无机颗粒；调节池用于调节污水的水质和水量，使后续处理单元能够稳定运行。

4.1.2 生物膜处理：生物膜处理是整个工艺的核心环节，通过生物膜的作用去除污水中的有机物、氮磷等营养物质。根据不同的处理要求和水质特点，可以选择生物滤池、生物转盘或生物接触氧化法等生物膜处理技术。在生物膜处理单元中，需要合理控制水力停留时间、溶解氧浓度、污泥负荷等工艺参数，以保证生物膜的正常生长和处理效果。

4.1.3 后处理：后处理的目的是进一步去除污水中的残留污染物，提高出水水质，满足回用标准或排放标准。

常见的后处理方法包括过滤、消毒等。过滤可以去除污水中的细小悬浮物和胶体物质；消毒可以杀灭污水中的细菌和病毒等微生物，保证出水的卫生安全。

4.2 反应器选型与优化

4.2.1 反应器选型：反应器是生物膜技术的核心设备，其选型直接影响处理效果和运行成本。在选择反应器时，需要考虑污水水质、处理规模、占地面积等因素。例如，对于水质波动较大、处理规模较小的市政污水，可以选择生物转盘，其具有抗冲击负荷能力强、操作管理方便等优点；对于处理规模较大、对处理效果要求较高的市政污水，可以选择生物接触氧化法，其具有处理效率高、占地面积小等优点。

4.2.2 反应器优化：为了提高反应器的处理效率，可以对反应器进行优化设计。例如，增加填料的比表面积可以提高生物膜的附着量，增强处理效果；改善布水系统可以使污水均匀地分布在填料表面，避免出现短流现象；优化曝气方式可以提高溶解氧的传递效率，促进微生物的生长和代谢。

4.3 生物膜载体选择

4.3.1 载体性能要求：生物膜载体是生物膜生长的依托，其性能直接影响生物膜的形成和生长。理想的生物膜载体应具有以下特点：比表面积大，能够提供更多的附着面积供微生物生长；孔隙率高，有利于污水和空气的流通，保证生物膜获得充足的营养物质和溶解氧；化学稳定性好，不与污水中的污染物发生化学反应；机械强度高，能够承受一定的水力冲击和生物膜的重量；价格低廉，易于获取和加工。

4.3.2 常见载体类型：常见的生物膜载体包括碎石、塑料、陶瓷等。碎石载体具有价格低廉、来源广泛等优点，但比表面积较小；塑料载体具有比表面积大、价格低廉等优点，广泛应用于生物接触氧化法和生物滤池中；陶瓷载体具有化学稳定性好、机械强度高等优点，但价格相对较高。

4.4 工艺参数确定

4.4.1 水力停留时间：水力停留时间是指污水在反应器内的平均停留时间，它直接影响污水与生物膜的接触时间和处理效果。水力停留时间过短，污水与生物膜接触不充分，处理效果不佳；水力停留时间过长，会增加反应器的体积和建设成本^[3]。因此，需要通过实验研究和实际运行经验，确定最佳的水力停留时间。

4.4.2 溶解氧浓度：溶解氧是微生物生长和代谢所必需的物质，不同的微生物对溶解氧的需求不同。在生物膜处理过程中，需要控制合适的溶解氧浓度，以满足好

氧微生物和兼性微生物的生长需求。一般来说,生物接触氧化法中的溶解氧浓度应控制在2-4mg/L之间。

4.4.3 污泥负荷:污泥负荷是指单位质量的活性污泥(或生物膜)在单位时间内所承受的有机物量。污泥负荷过高,会导致生物膜生长过快,容易出现脱落现象,影响处理效果;污泥负荷过低,会使微生物生长缓慢,处理效率低下。因此,需要根据污水水质和处理要求,确定合适的污泥负荷。

5 基于生物膜技术的市政污水深度处理工艺应用案例分析

5.1 案例背景

某市政污水处理厂设计处理规模为10万m³/d,原处理工艺采用A²/O工艺,出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级B标准。为了满足更高的环保要求和水资源回用标准,该污水处理厂对原有工艺进行了升级改造,增加了基于生物膜技术的深度处理单元。

5.2 工艺流程

升级改造后的工艺流程为:原污水→格栅→沉砂池→A²/O生物处理池→二沉池→生物滤池→过滤→消毒→出水。其中,生物滤池采用陶粒作为填料,填料高度为2.5m,水力停留时间为1.5h。

5.3 应用效果

污染物去除效率:经过深度处理后,污水中的COD、BOD₅、SS、氨氮和总磷等污染物的去除效率显著提高。具体数据如下:COD去除率从原来的85%提高到92%,BOD₅去除率从原来的90%提高到95%,SS去除率从原来的88%提高到96%,氨氮去除率从原来的75%提高到90%,总磷去除率从原来的70%提高到85%。

运行稳定性:在长达一年的运行监测中,基于生物膜技术的深度处理工艺运行稳定,出水水质各项指标均稳定达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级A标准,部分指标达到地表水Ⅳ类标准。

环境影响:该工艺的应用有效减少了污水对环境的污染,改善了周边水体的水质。同时,处理后的出水可用于城市绿化、道路清扫等杂用水,实现了水资源的循环利用,具有良好的环境效益和社会效益。

6 基于生物膜技术的市政污水深度处理工艺发展前景展望

6.1 技术创新与改进

研发具有更高比表面积、更好化学稳定性和机械强度的新型生物膜载体,如纳米材料载体、复合材料载体

等,提高生物膜的生长质量和处理效率。将生物膜技术与微生物燃料电池、膜生物反应器等新兴技术进行耦合,实现污水的处理和能源的回收利用,提高资源利用效率。

6.2 与其他技术的集成应用

生物膜技术与高级氧化技术(如臭氧氧化、芬顿氧化等)集成应用,可以有效去除污水中的难降解有机物,提高深度处理效果^[4]。生物膜技术与膜分离技术(如超滤、反渗透等)集成应用,可以实现污水的高效净化和回用,满足更高标准的用水需求。

6.3 智能化与自动化控制

引入智能化和自动化控制技术,实现对生物膜处理工艺的实时监测和优化控制。通过安装传感器和在线监测设备,实时获取污水水质、工艺参数等信息,并利用计算机控制系统自动调整工艺参数,提高运行管理效率,降低运行成本。

6.4 推广应用前景

基于生物膜技术的市政污水深度处理工艺具有处理效果好、运行稳定、占地面积小等优点,随着环保要求的不断提高和水资源短缺问题的日益突出,该工艺将在市政污水处理领域得到更广泛的应用和推广。同时,随着技术的不断创新和成本的降低,该工艺在农村污水处理、工业废水处理等领域也将具有广阔的应用前景。

结语

本文深入研究了基于生物膜技术的市政污水深度处理工艺的开发与应用。先分析市政污水深度处理的必要性与挑战,阐述生物膜技术原理、类型及优势。接着介绍该工艺开发过程,涵盖流程设计、反应器选型等关键环节。结合案例表明,此工艺能有效去除污染物、运行稳定,有良好效益。最后展望其发展前景,认为潜力巨大,未来应技术创新、集成应用,推动市政污水深度处理技术发展,助力水环境改善与可持续发展。

参考文献

- [1]崔小东,石秀花,付大业,等.市政污水处理与回用中生物膜技术的应用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(18):187-189.
- [2]庄志刚,闫明磊.基于生物膜的市政污水处理与回用技术研究[J].环境科学与管理,2023,48(04):87-91.
- [3]钱康.基于生物膜技术的污水处理创新研究[J].黑龙江环境通报,2025,38(07):95-97.
- [4]艾热古力·拍孜拉.污水处理过程中生物膜形成机制及其优化策略[J].中国轮胎资源综合利用,2024,(11):130-132.