

Discussion on Wastewater Treatment and Quality Improvement and Efficiency Enhancement in Wastewater Treatment Plants Based on Advanced Treatment Processes

Honglei Miao Yanan Wang

Shandong Light Industry Design Institute Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250014, China

Abstract

In the context of the continuous intensification of water resource shortage and the gradual acceleration of urbanization, sewage treatment systems are playing an increasingly crucial role in promoting the recycling of water resources and ensuring water environmental security. In the field of nitrogen, phosphorus and trace pollutant removal, traditional secondary treatment processes have exposed certain limitations. It is quite difficult for them to meet the requirements of high-standard discharge and water quality reuse. Advanced wastewater treatment processes that integrate physical and chemical enhancement, biological enhancement, and green resource utilization can effectively reduce residual pollutants in tail water and promote the comprehensive recovery of nutrients and energy from sludge. It not only provides renewable raw materials for downstream industries and agriculture, forming a multi-dimensional cycle model of water, matter and energy, but also optimizes the effluent quality, reduces the load of nutrients and greenhouse gas emissions.

Keywords

Sewage treatment plant; Advanced processing technology; Sewage treatment; Improve quality and increase efficiency

基于深度处理工艺的污水厂污水处理与提质增效探讨

苗宏磊 王亚楠

山东省轻工业设计院有限公司, 中国·山东 济南 250014

摘 要

在水资源紧缺问题不断加剧以及城镇化进程逐步加快的情况下, 污水处理系统在促进水资源循环利用以及保障水环境安全方面发挥着愈发关键的作用。在氮磷及微量污染物去除领域, 传统二级处理工艺暴露出了一定的局限性, 想要满足高标准排放以及水质回用的要求对其而言颇具难度。通过集成应用物理化学强化、生物强化以及绿色资源化途径的深度污水处理工艺能够有效削减尾水中残余污染物, 推动污泥营养物以及能量的综合回收。其不但能够为下游工业和农业提供可再生原料, 形成水—物—能的多维循环模式, 还优化了出水水质降低营养物负荷以及温室气体排放。

关键词

污水厂; 深度处理工艺; 污水处理; 提质增效

1 引言

居民生活以及工业生产所产生的污水排放量, 伴随城市化进程的持续加快呈现出不断上升的趋势, 因为污水内含有许多氮、磷以及难降解有机物, 如果不能妥善处理, 不但会对水体生态平衡造成影响, 而且还会严重威胁区域水资源安全与人居环境。在深度脱氮除磷微污染物去除及出水水质稳定性等方面, 传统污水处理工艺仍存在不足, 探索并推广深度处理工艺, 因此成为提升污水厂运行效率与水质达标水平的重要路径^[1]。

2 深度处理工艺的必要性

2.1 应对更严格的排放标准

地方政府及国家近年来不断加大水环境治理力度, 对污水厂出水水质给出了更高标准要求。在氨氮总磷以及化学需氧量等关键指标方面, 城镇污水处理厂污染物排放标准相较以往标准更为严苛, 这就要求处理设施拥有更高的稳定性, 以及污染物削减能力。然而面对总氮总磷及新兴污染物的深度去除, 传统二级生物处理工艺主要以去除可生化有机物和悬浮物为主, 存在局限。在地表水Ⅳ类甚至Ⅲ类水体功能区分逐步推广下, 污水厂必须通过深度处理环节实现对氮磷的精准削减以及难降解有机物的高效分解, 以保证出水稳定达标并满足区域水环境功能要求。

【作者简介】苗宏磊（1986—），男，中国山东日照人，本科，工程师，从事给排水研究。

2.2 水资源循环利用的需求

在城市化迅猛推进以及水资源时空分布不均衡的大环境下,污水再生回用正逐步演变成提高供水保障水准的关键路径。在传统工艺之上深度处理工艺增添了对病原微生物、重金属离子以及溶解性有机物的去除能力,以保证回用水拥有更高的适用性与安全性。再生水经过深度处理后,可在市政绿化、道路清洗、景观补水以及部分工业生产环节中广泛应用,这不但缓解了对天然水源的依赖情况,而且降低了因取用地表水或地下水所带来的生态压力。

2.3 提升污水厂运行效益的驱动

随着污水处理行业的运行成本逐年攀升,单纯依靠传统工艺常出现能耗偏高以及水质波动等状况,这不仅加重了运营负担还对设施的服务能力产生了影响。在实施深度处理过程中能够深层次分解有机物以及高效除磷脱氮,能够避免因为水质不达标而引发的环境风险,实现环境治理处罚与二次处理成本的减少。虽然膜过滤和高级氧化技术等深度处理工艺需要再前期投入大量资金,不过在具体运营时能够借助自动化调控与高效物质转化能够达成单位能耗的降低^[2]。不仅如此,污水厂运行效率因工艺集成化与智能化程度提高而得到提升,在保障水质达标的资源回收利用途径也愈发多样,这能够有效推动污水处理系统的整体经济性与稳定性的提高。

3 污水深度处理的主要工艺路径

3.1 物理化学深度处理技术

在污水深度处理里物理化学工艺是应用颇为成熟的路径,主要包括混凝沉淀、砂滤膜分离以及活性炭吸附等方式,其主要原理是借助物理分离以及化学反应来削减常规生化工艺难以去除的污染物。其中,混凝沉淀技术主要是通过使用铝盐、铁盐或有机高分子药剂,让溶解性磷与胶体颗粒相结合形成絮体,进而在重力作用下沉降以效降低总磷浓度和浊度。砂滤技术主要是使用不同类型滤料来进行表层截留与孔隙过滤,将微小悬浮物及部分有机物去除,保证水质的稳定。活性炭凭借其发达的孔隙构造以及较大的比表面积来实施吸附,对水体里的色度分子、可溶性有机物以及部分金属离子具备高效的吸附能力,在深度脱色以及去除异味方面颇为适用。超滤、纳滤和反渗透等都属于膜分离工艺,悬浮颗粒与大分子有机物可被超滤截留,纳滤在保留有机物之际,对二价及多价离子有着良好的去除效果,而反渗透几乎能够把所有离子和微生物都去除掉,达成高纯度水的制备。不过该项技术存在能耗偏高以及膜污染等问题,为了增强处理的持续性与经济性,需采取周期性清洗、对运行参数加以优化以及运用新型膜材料等手段。

3.2 生物强化深度处理技术

在传统活性污泥系统的基础之上,生物强化深度处理技术借助引入特定生物反应单元以及改善反应条件的方式来

高效削减氮磷。反硝化深床滤池作为典型工艺,滤料表面有反硝化菌群附着,凭借外加碳源充当电子供体,让硝酸盐氮还原成氮气逸出,达成总氮浓度降低。而且滤料自身具备截留悬浮物功能,可让出水愈发澄清,生物滤池进行反硝化时把生物反应和物理过滤流程相结合,凭借循环运行模式来保持好氧环境与缺氧环境交替出现^[3]。这一方式增强了氮素的去除效率,还能兼顾对部分有机物的削减。近年来人工湿地成为污水深度处理重要补充,它凭借植物根系对氮磷的直接吸收,基质对污染物的吸附固定以及微生物群落的分解转化作用,构建起多途径协同机制,能持续降低尾水中的氮磷和残余有机物。人工湿地与传统单一生物工艺比起来有着运行能耗低,生态景观价值高等特性,在中小规模污水处理厂的尾水净化以及再生水利用环节有着极高的适用性。

3.3 高级氧化技术 (AOPs)

在污水深度处理里处理痕量污染物的重要手段之一是高级氧化技术,其凭借在水中生成具备强氧化性的羟基自由基,来对难降解有机物开展断链以及矿化操作。其中最为成熟的一项技术是臭氧氧化工艺,在水中臭氧分解会产生高活性物种,这些物种能够快速地破坏有机分子的双键以及芳香环结构,对在色度异味物质还有部分药物残留,臭氧氧化工艺具备良好的去除效果。活性炭联合臭氧运用过程中,活性炭能够对臭氧的分解产物展开进一步的吸附以及催化分解操作,如此一来能防止一部分中间产物在水中出现累积情况进而提高整体的处理效率。此外,在光催化氧化技术里半导体催化剂(像 TiO_2)被光源激发,产生了电子—空穴对,从而形成许多大量羟基自由基和超氧自由基,以达到有效降解新兴污染物抗生素、激素类物质以及农药残留等目的。在近些年里电化学氧化技术同样获得了关注,凭借阳极反应而生成的强氧化剂,能够在较短的时间当中对持久性有机物予以分解而且具备较高的反应速率。即便上述工艺能够有效削减污染物,不过依旧需要采取工艺集成、催化剂改进和能效优化等方式来解决其能耗高、副产物控制以及设备投资大等问题。

3.4 组合工艺的集成化应用

单一深度处理技术通常难以发挥出显著的污水处理效率、能耗降低等作用,组合多种工艺成为污水处理的发展趋势。而使用频率较高的组合是“生物滤池+臭氧氧化+膜过滤”,其中生物滤池负责进行氮磷及可生化有机物的削减,臭氧氧化主要是进行难降解污染物的分解,膜过滤负责保障出水的稳定性与安全性,部分对水质有着严苛要求的场景也能适用。此外,较为常见的模式还有“混凝沉淀+砂滤+人工湿地”,其具备处理功能与生态景观功能,主要是运用混凝沉淀来迅速除掉颗粒物以及磷负荷,借助砂滤截留细小的悬浮物,之后通过湿地系统对氮磷以及有机物展开深度削减。近几年,越来越多地应用到了膜生物反应器与高级氧化组合,前端膜分离提供高效固液分离,后端氧化单元降解痕

量污染物,可以同时提高整体运行的稳定以及出水质量。组合工艺的设计主要是以模块化理念为基础,借助自动化与智能化运行系统实现各环节的高效衔接,同时依据进水水质特征以及出水要求灵活调整单元配置,不但能有效确保水质,还能实现运行成本的控制。

4 污水厂提质增效的实现路径

4.1 优化工艺运行管理

各处理单元的精确控制以及协调调度是支撑污水厂深度处理工艺稳定运行的运行。第一,建设多参数在线监测系统来动态采集进出水的COD、氨氮、总氮、总磷等重要指标,以此实现对各处理单元运行状态展开连续监控。并且根据检测数据构建所得工艺模型,能够有效优化水质波动预测和运行参数,为曝气量污泥回流比及药剂投加量的精细调控予以可靠的技术支持,促进脱氮除磷和有机物去除效率地提升。第二,科学协同调度不同的工艺单元。在不同运行阶段,通过对反应器水力负荷停留时间以及循环方式予以优化,让生物反应器沉淀池和膜分离单元始终维持最佳状态,有效降低水质波动对出水稳定性所产生的影响,保证整体系统的稳定^[4]。并且还可将智能控制算法引入,对曝气搅拌以及回流系统进行自动调节,达成好氧缺氧以及厌氧环境的动态平衡状态,确保生物反应效率和水力条件相匹配。第三,全面优化设备维护与运行管理,结合远程监控和预警系统,建立分级巡检与周期性维护制度,针对膜污染曝气器故障以及泵阀异常等问题展开早期干预,以此减少非计划停机状况和能耗损失。同时对历史运行数据展开分析,识别潜在故障趋势,优化维护计划让工艺参数稳定性设备可靠性以及运行经济性同步得到提升。

4.2 强化能源回收与资源化利用

在污水处理流程里有机物以及污泥蕴含着充足的化学能与热能,借助系统化回收手段,能够达成能源利用的最大化。第一,借助污泥厌氧消化技术,达成能源回收。污泥中的有机质可通过厌氧消化分解产生甲烷气体,此气体经收集净化后能直接应用在厂区的供热或发电系统,为污水处理提供部分自供能源。这样一来污泥处置体积得以降低,后续处理负荷也随之减轻。并且还要对反应器温度、停留时间及进料浓度进行优化,且借助微生物群落管理来保持高效的甲烷生成活性,以实现消化效率的提高。第二,采用废热及气体余能的回收系统,提高能源利用率。在曝气机械混合以及污泥脱水等环节,污水厂会产生大量低品位热能。借助热交换器对热量予以回收,用来进行污泥预热或者进水温度调节,

降低外部能源消耗。并且对厌氧消化生成的生物气予以高效回收并压缩,将其与热电联产装置相结合,能够在厂区内部分达成电力和热能的综合运用提升整体的能效比。第三,资源化利用污水中的可回收物质,运用生物吸收或者化学沉淀技术对总磷予以回收,以此生成能够应用在农业的磷肥产品。并且还可提取污水副产物里的氮钾等元素,并达成循环利用,让资源综合利用水平得到增强。

4.3 推动绿色低碳发展

第一,对能耗结构予以优化,针对污水处理中如曝气、混合以及污泥脱水等环节引入智能泵阀调节、精确曝气和变频控制等手段除确保水质处理达标外,还可有效降低单位水量的能耗。同时对能源消耗展开动态调控以及分项监控,让辅助能源、蒸汽与电力的使用效率实现最大化,减少不必要运行峰值促使污水厂构建起系统能耗的精细化管理模式^[5]。第二,污水处理与可再生能源的耦合推动污水处理厂绿色低碳发展,一方面结合太阳能光伏及地源热泵等可再生能源接入,同时回收厌氧消化产生的沼气用在厂区发电或供热,建立起多能源互补模式以此达到污水处理过程的部分能源自给供应。第三,资源循环利用和绿色化工艺的有机结合,污水厂实施磷回收、氮资源化或是污泥制备有机肥(生物燃料)方式形成水一物一能的多维循环,同时在尾水处理环节则采用微藻培养以及生物膜技术这类绿色工艺,不仅可为下游工业或者农业提供可再生原料,同时也能进一步削减营养物负荷与温室气体排放,最终促使污水处理厂资源综合利用水平 and 环境适应性提升。

5 结语

污水深度处理工艺既是当前日趋严苛环保标准下现实选择,同时也是实现水资源循环利用以及绿色低碳发展的重要举措。今后污水厂提质增效进程里除了要着重在工艺技术的集成应用和创新外,还应加强资源化利用与运行管理,以此到环境保护、社会价值以及经济效益的统一。

参考文献

- [1] 梁仁礼,胡勇有,谢天.广东某污水处理厂氧化沟工艺提质增效改造工程设计[J].水处理技术, 2024, 50(2):153-156.
- [2] 方圆,刘晓钰.污水处理厂灰绿协同策略研究与实践[J].中国给水排水, 2025(10).
- [3] 郭阳,袁芬.污水处理厂扩建升级工程设计优化研究[J].中国建筑金属结构, 2025(10).
- [4] 马路遥,孙伟,张红要,等.广州某污水处理厂提质增效探索与实践[J].中国给水排水, 2024, 40(16):110-115.