

环境工程污水处理技术分析

宁冲 陈美瑞 张华怡乐 林崇业
深圳市环境科学研究院 广东 深圳 518000

摘要: 环境工程中, 污水处理技术是解决水资源污染、实现水资源可持续利用的关键。物理处理技术通过沉淀、过滤等方式去除悬浮物; 化学处理技术借助化学反应分解污染物; 生物处理技术利用微生物降解有机物质; 膜处理技术以其高效分离性能净化污水。这些技术各有优势, 智能化、资源化、集成化与绿色低碳化成为未来污水处理技术的重要发展趋势, 对保障生态环境与人类健康意义重大。

关键词: 环境工程; 污水处理; 技术

引言

随着工业化和城市化进程加速, 水污染问题日益严峻, 环境工程污水处理技术的研究与应用成为保障水资源安全、维护生态平衡的重要课题。不同类型的污水处理技术在污染物去除和水质净化中发挥着独特作用, 其发展趋势也关乎着污水处理的未来走向。本文通过对物理、化学、生物及膜处理等技术的深入分析, 探讨其应用现状与发展前景, 为推动污水处理技术进步提供参考。

1 环境工程污水处理概述

环境工程污水处理是综合运用工程技术、物理化学及生物学原理, 对受污染水体进行净化处理, 使其达到特定水质标准或回用要求的系统工程。其核心目标在于去除污水中含有的悬浮物、有机物、重金属、氮磷营养盐等污染物, 降低对生态环境的危害, 保障水资源的可持续利用。污水处理流程涵盖多个环节与技术手段。预处理阶段, 通过格栅、沉砂池等设施拦截污水中的大块漂浮物、砂砾, 避免其对后续处理设备造成堵塞或磨损; 沉淀技术利用重力作用, 使污水中可沉降的悬浮颗粒与水体分离, 实现固液初步分离。生物处理是污水处理的关键环节, 借助微生物的代谢活动分解污水中的有机污染物, 活性污泥法通过曝气池中微生物群体形成的活性污泥吸附、降解有机物, 生物膜法则在填料表面生长微生物膜, 利用膜内微生物对污染物进行分解转化, 这两种主流生物处理工艺均能有效降低污水中有机物浓度与部分氮磷含量。物理化学处理手段包括混凝、沉淀、过滤、吸附等, 混凝过程向污水中投加混凝剂, 使细小悬浮颗粒和胶体聚合成较大絮体, 经沉淀、过滤去除; 活性炭吸附则利用其巨大的比表面积和丰富的孔隙结构, 吸附污水中残留的有机物、重金属离子及部分色素异味。经处理后的污水, 达标排放至自然水体可减少对环境的污染负荷, 而满足特定水质要求的再生水可回

用于工业冷却、城市绿化、道路冲洗等领域, 实现水资源的循环利用。随着水资源短缺与水环境恶化问题日益严峻, 环境工程污水处理技术的持续创新与优化, 对于提升污水处理效率、降低处理成本、实现水资源高效利用和生态环境保护意义重大。

2 环境工程污水处理技术分析

2.1 物理处理技术

物理处理技术基于物质的物理特性差异, 通过分离、过滤、沉淀、气浮等方式去除污水中的悬浮物、颗粒物及部分胶体物质。沉淀法是物理处理技术中最基础且应用广泛的工艺之一, 利用重力作用使污水中比重大于水的悬浮颗粒下沉至池底, 形成污泥层得以分离, 平流式沉淀池、竖流式沉淀池和辐流式沉淀池是常见的沉淀构筑物, 其结构设计和水力条件优化可显著提升沉淀效率。过滤技术则借助石英砂、无烟煤等多孔介质截留污水中的细小颗粒, 根据滤速和滤料特性可分为慢滤、快滤和高速过滤, 深层过滤能有效去除粒径较小的杂质, 使出水浊度大幅降低。气浮技术适用于去除污水中密度接近水或小于水的悬浮物, 通过向水中溶入空气并释放微小气泡, 使气泡附着在悬浮颗粒表面, 形成气-固结合体上浮至水面, 实现污染物与水体的分离, 溶气气浮、电解气浮等不同气浮方式针对不同性质污染物展现出良好处理效果。物理处理技术操作简单、成本较低, 但对溶解性污染物的去除能力有限, 常作为污水处理的预处理或深度处理环节, 为后续处理工艺创造有利条件^[1]。

2.2 化学处理技术

化学处理技术依靠化学反应改变污水中污染物的化学性质和存在形态, 实现污染物的去除、转化或无害化处理。中和法常用于调节污水的酸碱度, 通过添加酸性或碱性药剂, 使污水的pH值达到中性或目标范围, 对于酸性工业废水, 可采用石灰、氢氧化钠等碱性物质进

行中和；对于碱性废水，则可选用硫酸、盐酸等酸性药剂调节，有效避免高酸或高碱废水对后续处理设备和微生物的毒害作用。化学混凝技术通过向污水中投加混凝剂，如聚合氯化铝、聚丙烯酰胺等，使污水中的胶体粒子和微小悬浮物脱稳、凝聚形成较大絮体，进而通过沉淀或气浮分离去除，混凝过程涉及压缩双电层、吸附电中和、架桥作用和网捕卷扫等多种机理协同作用。氧化还原法利用强氧化剂或还原剂与污染物发生氧化还原反应，将有毒有害物质转化为无毒或低毒物质，臭氧氧化技术可有效降解污水中难生物降解的有机物、去除色度和异味，芬顿氧化技术通过亚铁离子和过氧化氢的协同作用产生强氧化性的羟基自由基，实现对有机污染物的深度氧化分解。化学处理技术反应速度快、处理效果显著，但药剂投加量控制要求严格，过量的药剂可能造成二次污染，同时运行成本相对较高，需综合考虑处理效果与经济成本合理应用。

2.3 生物处理技术

生物处理技术借助微生物的代谢活动，将污水中的有机污染物分解转化为二氧化碳、水和微生物细胞物质，是目前污水处理领域应用最广泛的技术之一。活性污泥法是生物处理技术的典型代表，通过向曝气池中持续通入空气，为好氧微生物提供充足的溶解氧，使其在活性污泥絮体中形成复杂的微生物群落，对污水中的有机物进行吸附、分解和代谢，传统活性污泥法、阶段曝气法、完全混合法等不同运行方式可适应不同水质水量需求。生物膜法利用微生物附着生长在固体填料表面形成生物膜，污水流经生物膜时，其中的污染物被微生物吸附、降解，生物滤池、生物接触氧化池、生物流化床等生物膜处理设备具有耐冲击负荷、污泥产量低等优点。厌氧生物处理技术在无氧条件下，依靠厌氧微生物的代谢作用分解污水中的有机物，产生沼气（主要成分是甲烷和二氧化碳），可实现污染物去除与能源回收的双重目标，适用于处理高浓度有机废水和污泥处理，升流式厌氧污泥床（UASB）、厌氧颗粒污泥膨胀床（EGSB）等厌氧反应器具有处理效率高、能耗低的特点。生物处理技术具有处理成本低、环境友好等优势，但微生物对水质、水温、溶解氧等运行条件要求较为敏感，处理效果易受外界因素影响^[2]。

2.4 膜处理技术

膜处理技术以具有选择透过性的半透膜为介质，在压力、浓度差等驱动力作用下，实现污水中不同组分的分离和浓缩。反渗透（RO）膜技术可截留污水中几乎所有的无机盐、有机物和微生物，其膜孔径小于0.0001微

米，通过施加高压使水分子透过膜，而污染物被截留，常用于制备高品质的回用水和海水淡化，出水水质稳定且可满足严格的水质标准。纳滤（NF）膜的截留分子量范围在100-1000道尔顿之间，对二价离子和部分有机物具有较高的截留率，能够有效去除水中的硬度离子、重金属离子和有机污染物，在饮用水净化和工业废水处理中展现出良好的应用前景。超滤（UF）膜和微滤（MF）膜的孔径相对较大，分别在0.001-0.1微米和0.1-10微米之间，主要用于去除污水中的大分子有机物、胶体、细菌和悬浮物，作为预处理或深度处理工艺与其他技术组合应用。膜处理技术分离效率高、占地面积小、操作简便，但膜组件价格昂贵，运行过程中容易出现膜污染问题，导致膜通量下降和处理效果降低，需要定期进行化学清洗和膜更换，增加了运行成本和维护难度。

3 环境工程污水处理技术的发展趋势

3.1 智能化与自动化

（1）智能化与自动化技术在污水处理领域的应用日益广泛，通过传感器、物联网、大数据分析等先进手段，能全面实现对污水处理过程的实时监测与精准调控。例如，在线水质监测传感器能够连续采集污水的pH值、化学需氧量（COD）、氨氮等关键指标数据，将其实时传输至中央控制系统，系统借助预设算法进行深度分析，精准判断污水处理的实时状态与运行趋势。（2）自动化控制系统可依据数据分析结果，自动调节污水处理设备的运行参数，如水泵流量、曝气强度、药剂投加量等。以活性污泥法处理工艺为例，系统能根据微生物活性和污水负荷的变化，动态调整曝气设备的开启数量和运行功率，在保证处理效果的同时，降低能源消耗。（3）人工智能算法的引入，进一步提升了污水处理系统的智能化水平。机器学习模型可以对大量历史运行数据进行学习，预测污水水质变化规律，提前优化处理工艺参数，实现故障预警与智能诊断。随着5G技术的普及和边缘计算能力的增强，未来污水处理系统的智能化与自动化将向更高层次发展，实现远程运维、无人值守，大幅提高处理效率和管理水平。

3.2 资源化利用

（1）污水处理的资源化利用旨在将污水中的有用物质转化为可利用资源，改变传统“污染治理”的单一模式。以污水中富含的有机物为例，通过厌氧发酵技术，将其转化为甲烷等生物燃气，作为清洁能源用于发电、供热，实现能量的回收。目前，一些大型污水处理厂已成功建立厌氧发酵产沼气系统，显著降低了运营成本。（2）污水中含有的氮、磷等营养物质，经过适当处理

后可制成缓释肥料。采用化学沉淀、生物吸附等方法,将氮、磷从污水中分离并富集,再通过后续加工形成符合农业生产标准的肥料产品,既能解决污水中营养物质超标排放导致的水体富营养化问题,又能为农业生产提供可持续的肥料来源。(3)中水回用是污水处理资源化利用的重要方向。经过深度处理的再生水,可用于工业冷却、城市绿化、道路冲洗等对水质要求相对较低的领域。膜分离技术、高级氧化技术的不断进步,使得中水水质得到有效提升,拓展了中水回用的应用范围。未来,随着资源化技术的创新突破,污水有望从“污染物”转变为“城市第二水源”和“资源宝库”^[3]。

3.3 多种技术集成与创新

(1)单一污水处理技术往往存在局限性,难以满足复杂多样的污水处理需求,多种技术集成与创新成为必然趋势。例如,将生物处理技术与物理化学处理技术相结合,先利用活性污泥法降解污水中的大部分有机物,再通过混凝沉淀、过滤等物理化学方法去除剩余悬浮物和难降解物质,有效提高处理效果和出水水质。(2)膜技术与其他工艺的集成应用日益广泛。膜生物反应器(MBR)将膜分离技术与生物处理技术相结合,利用膜的高效截留作用,实现污泥龄与水力停留时间的分离,提高生物反应器内的污泥浓度,增强系统的抗冲击负荷能力,同时保证出水水质稳定达标。纳滤、反渗透等膜技术与高级氧化技术集成,能够有效去除污水中的微量有机污染物和重金属离子。(3)随着新材料、新工艺的不断涌现,污水处理技术的集成创新持续加速。例如,纳米材料在污水处理中的应用,为污染物的吸附、催化降解提供了新途径;光催化、电催化等新型氧化技术与传统处理工艺的融合,有望攻克更多难降解污染物的处理难题。未来,通过技术集成与创新,将开发出更加高效、经济、适应性强的污水处理技术体系。

3.4 绿色环保与低碳化

(1)绿色环保与低碳化理念贯穿于污水处理技术的全生命周期。在工艺选择上,优先采用能耗低、污泥产量少、环境友好的处理技术。例如,自然生态处理技

术,如人工湿地、稳定塘等,借助植物、微生物和土壤的协同作用净化污水,具有运行能耗低、生态效益显著的特点,在中小城镇和农村地区得到广泛应用。(2)在污水处理过程中,通过优化工艺参数和设备运行方式,降低能源消耗和碳排放。采用高效节能的曝气设备、水泵等,减少电力消耗;利用余热回收技术,将污水处理过程中产生的热量进行回收利用,用于污泥干化、厂区供暖等,降低对外部能源的依赖。通过改进污泥处理处置工艺,减少污泥处理过程中的温室气体排放。(3)开发新型绿色药剂和材料,替代传统高污染、高能耗的化学药剂。例如,研发高效、无毒的生物絮凝剂,用于污水的混凝沉淀处理;使用可再生、可降解的过滤材料,降低对环境的二次污染。未来,随着全球对气候变化和环境保护的重视程度不断提高,绿色环保与低碳化将成为污水处理技术发展的核心方向,推动行业向可持续发展转型^[4]。

结语

综上所述,环境工程污水处理技术在解决水污染问题、保护生态环境方面发挥着不可替代的作用。物理、化学、生物和膜处理等技术各有所长,共同构成了污水处理的技术体系。智能化、资源化等发展趋势为污水处理领域带来新的机遇与挑战。未来,需进一步加强技术创新与集成,推动污水处理技术朝着更加高效、绿色、可持续发展的方向发展,为实现水资源的循环利用和生态环境的可持续发展提供有力支撑。

参考文献

- [1]贺强.环境工程污水处理技术分析[J].城镇建设,2024(20):337-339.
- [2]党纪平.环境工程污水处理技术分析[J].智能城市,2021,7(14):115-116.
- [3]国彤.环境工程污水处理技术分析[J].化工设计通讯,2021,47(2):166-167.
- [4]姚悦茜.环境工程污水处理技术分析[J].魅力中国,2021(39):395-396.