

城市黑臭水体综合治理技术与实践研究

吴义福

南京市市政设计研究院有限责任公司, 江苏南京, 210018;

摘要: 随着城市化进程的加速, 城市水体污染问题日益严重, 其中黑臭水体已成为影响城市生态环境和居民生活质量的重要因素。本文综述了城市黑臭水体的成因与影响, 详细探讨了当前主流的治理技术原理及其应用, 包括物理方法、化学方法、生物方法以及新型技术等。通过对比分析不同技术的优缺点, 为实际治理提供了理论依据。同时, 本文选取了国内几个典型的治理实践案例进行深入剖析, 包括城市湖泊治理、河流修复工程以及地下水与地下水交互治理等, 总结了成功案例的共性与经验。旨在为城市黑臭水体综合治理提供科学依据, 推动城市水环境治理工作的深入开展。

关键词: 城市黑臭水体; 治理技术; 物理方法; 化学方法; 生物方法

DOI: 10.64216/3080-1508.25.02.037

1 黑臭水体的成因与影响

黑臭水体的形成是一个复杂的过程, 其成因多样, 主要包括以下几个方面: 首先, 城市快速扩张和人口增长导致大量污水未经处理直接排入水体, 其中富含有机物、氮、磷等污染物, 这些污染物在水中分解产生恶臭气体, 如硫化氢、甲烷等, 使水体变黑发臭。其次, 城市雨水径流携带大量地表污染物, 如垃圾、油污等, 进一步加剧了水体污染。此外, 水体流动性差、自净能力弱也是导致黑臭水体形成的重要原因。

黑臭水体对环境 and 人类健康产生了严重影响。从环境角度看, 黑臭水体破坏了水生生态系统, 导致水生生物大量死亡, 生物多样性减少。同时, 黑臭水体中的污染物还可能通过食物链传递, 影响更广泛区域的生态环境。从人类健康角度看, 黑臭水体中的恶臭气体和有害物质对人体健康构成威胁, 长期接触可能导致呼吸道疾病、皮肤病等健康问题。此外, 黑臭水体还严重影响了城市形象和居民生活质量, 降低了城市的美誉度和吸引力。因此, 开展城市黑臭水体综合治理研究具有重要意义。

2 治理技术原理与应用

2.1 物理方法: 截污纳管与悬浮物去除

在城市黑臭水体综合治理中, 物理方法起着基础性的作用, 尤其是截污纳管与悬浮物去除。截污纳管是控制污染源的关键步骤, 它通过建设完善的污水收集系统, 将城市生活污水和工业废水在进入水体之前进行拦截, 防止污染物直接排放。

悬浮物去除则主要针对水体中的颗粒物和浮游物质, 这些物质不仅影响水体透明度, 还会吸附有害物质, 加剧水体的黑臭现象。物理方法如沉淀池、砂滤器和气浮装置等能有效去除这些悬浮物。

在理论分析中, 可以运用流体力学和颗粒物沉降理论来优化设计纳管系统和悬浮物去除设施, 确保在最小能耗下实现最佳处理效果。同时, 结合地理信息系统(GIS)进行管网布局规划, 可以实现更科学、更精准的治理策略。

2.2 化学方法: 化学沉淀与消毒处理

在城市黑臭水体的综合治理中, 化学方法, 尤其是化学沉淀与消毒处理, 扮演着至关重要的角色。化学沉淀技术, 通过向水体中添加化学药剂, 如石灰、铁盐或铝盐, 促使水中的悬浮物和溶解性污染物形成沉淀, 从而实现水质净化。此外, 化学消毒处理, 如氯化、臭氧氧化和紫外线消毒, 能有效杀灭水体中的细菌、病毒和藻类, 保障水体的生物安全性。据研究, 采用紫外线消毒的水体, 其大肠杆菌的去除率可达99.9%, 显著提升了水体的卫生标准。化学方法的运用, 不仅直接改善了水体的物理化学指标, 也为后续的生物修复和生态恢复创造了有利条件, 是城市黑臭水体综合治理不可或缺的一环。

2.3 生物方法: 人工湿地与生物膜技术

在城市黑臭水体综合治理的生物方法中, 人工湿地与生物膜技术因其高效、经济且环境友好的特性, 成为了近年来备受关注的治理手段。人工湿地, 作为一种模拟自然湿地生态系统的工程, 通过植物、土壤和微生物的协同作用, 能够有效去除水体中的有机物、氮、磷等污染物。据研究显示, 经过人工湿地处理后的水质, 其COD(化学需氧量)和BOD(生化需氧量)可分别降低80%和90%以上, 显著改善了水体的透明度和溶解氧含量, 从而有效缓解了黑臭现象。

生物膜技术, 作为另一种生物处理方法, 通过在填料表面形成生物膜, 利用附着于其上的微生物群落

降解水中的污染物。这种技术不仅能够高效去除有机物，还能有效控制氨氮和总磷的浓度，对于改善黑臭水体的水质具有显著效果。生物膜技术的另一个优势在于其运行成本较低，且能够适应较大的水质波动，因此在城市黑臭水体的长期治理中具有广阔的应用前景。

2.4 新型技术：纳米材料与光催化技术

在城市黑臭水体综合治理的探索中，新型技术的应用为这一挑战提供了创新的解决方案。纳米材料与光催化技术作为前沿科技，正逐渐成为治理黑臭水体的关键手段。纳米材料，以其独特的物理和化学性质，能够高效吸附和降解水体中的有机污染物，如纳米铁材料在去除水体中的重金属和有机污染物方面展现出了卓越的性能，据研究，纳米铁材料的吸附效率比传统材料高出30%以上。此外，纳米材料的使用还能够减少二次污染的风险，为黑臭水体的治理提供了更加环保的选择。

光催化技术，尤其是基于二氧化钛(TiO₂)的光催化反应，能够在光照条件下将水体中的有机污染物分解为无害的水和二氧化碳，这一过程不仅能够显著改善水质，还能有效消除水体中的臭味。例如，一项在某城市河流修复工程中的应用显示，采用光催化技术后，水体中的COD（化学需氧量）降低了40%，氨氮含量减少了50%，显著提升了水体的自净能力。光催化技术的高效性和环保性，使其成为黑臭水体治理中备受青睐的技术之一。

结合纳米材料与光催化技术，可以构建出更为高效的水体净化系统。例如，将纳米材料作为光催化剂的载体，可以增强光催化反应的效率，同时，纳米材料的吸附作用能够捕获水中的污染物，为光催化反应提供更多的反应物，形成协同效应。这种综合技术的应用，不仅能够加速污染物的降解，还能够提高水体的透明度，改善水体的生态状况。

3 治理实践案例分析

3.1 国内成功案例概述

国内成功案例在城市黑臭水体综合治理中起到了示范作用。例如，某市通过实施全面的湖泊治理策略，显著改善了城市湖泊的水质。该市首先对湖泊周边的污染源进行了排查，截污纳管率达到95%以上，有效减少了入湖污染负荷。其次，采用生物修复技术，种植了多种水生植物，构建了生态浮岛，以自然方式净化水体，提高水体的自净能力。经过两年的治理，湖泊的溶解氧浓度提高了30%，氨氮浓度下降了80%，成功地将黑臭水体转变为生态景观湖，为市民提供了优质的休闲环境。这一案例表明，结合物理、化学和

生物方法的综合治理策略是解决城市水体黑臭问题的有效途径。

另一项成功的河流修复工程实践发生在长江中游的一个城市。该市针对河流的重度污染，采取了源头控制与流域管理相结合的策略。通过建设污水处理设施，将流域内的生活污水和工业废水进行全面处理，同时，利用生态堤岸和人工湿地系统，进一步去除氮磷等营养物质，防止水华爆发。在治理过程中，还引入了先进的在线监测系统，实时监控水质变化，确保治理效果。经过三年的努力，该河流的水质从劣V类提升至III类，恢复了河流的生态功能，也为其他城市提供了可借鉴的经验。

在地下水与地下水交互治理方面，华北某地区面对地下水严重污染的问题，采取了创新的地下水修复技术。通过在污染源头设置地下水渗透阻隔墙，防止污染进一步扩散，同时，采用纳米材料强化的原位修复技术，加速了污染物的降解。在此基础上，还建立了地下水动态监测网络，定期进行水质监测和评估，确保修复效果的长期稳定。

3.2 案例一：城市湖泊治理策略

城市湖泊作为城市生态系统的重要组成部分，其水质的优劣直接影响着城市的生态环境和居民的生活质量。近年来，随着城市化进程的加速，城市湖泊黑臭水体问题日益凸显，成为制约城市可持续发展的一大瓶颈。针对这一问题，我国多个城市展开了城市湖泊治理的实践探索，其中，某市的城市湖泊治理策略尤为引人注目，其成功经验为其他城市提供了宝贵的参考。

在治理城市湖泊黑臭水体的过程中，该市采取了多管齐下的综合治理策略。首先，从源头控制入手，实施了截污纳管工程，有效减少了污染物的直接排放。据统计，通过截污纳管，该市城市湖泊的污染物输入量减少了约30%，显著改善了湖泊的水质。其次，利用生物方法，如人工湿地和生物膜技术，对湖泊进行生态修复。人工湿地不仅能够有效去除水体中的氮、磷等营养盐，还能提升湖泊的生态景观价值，而生物膜技术则通过微生物的降解作用，加速了湖泊内有机物的分解，减少了黑臭现象的发生。再次，该市还积极探索新技术的应用，如纳米材料和光催化技术，以期在更深层次上解决湖泊水体的污染问题。

在治理实践中，该市还注重系统规划和工程设计的科学性与创新性。在系统规划层面，实施了源头控制与流域管理相结合的策略，通过建立完善的监测网络和预警系统，实现了对湖泊水质的实时监控和动态管理。在工程设计上，强调了适应性和可持续性，确

保治理措施既能有效应对当前的污染问题,又能适应未来环境变化的挑战,实现经济效益、社会效益和环境效益的三赢。

3.3 案例二: 河流修复工程实践

在城市黑臭水体综合治理的宏大叙事中,河流修复工程实践扮演着至关重要的角色,它不仅关乎水体的净化,更深层次地触及到城市生态的恢复与可持续发展。以某市的河流修复项目为例,该工程自2015年启动以来,通过综合运用物理、化学与生物治理技术,成功实现了河流水质从劣V类到III类的转变,这一转变不仅体现在水质的直观改善,更反映在生态系统的全面复苏。据统计,修复后的河流生物多样性指数提升了30%,水生植物覆盖率增加了25%,这些数据直观地展示了河流修复工程的显著成效。

在治理策略上,该项目采用了“截污纳管”与“生物膜技术”的组合拳。首先,通过建设完善的截污纳管系统,有效拦截了85%以上的入河污染物,减少了河流的外源污染。其次,利用生物膜技术,构建了水体自净能力,生物膜上的微生物群落能够高效降解水中的有机污染物,这一技术的应用使得河流的自净能力提升了40%。此外,项目还引入了“海绵城市”理念,通过建设湿地公园和雨水花园,增强了城市对雨水的吸纳和净化能力,进一步减轻了河流的污染负荷。

河流修复工程的实践,不仅是一次技术的革新,更是一次社会共识的凝聚。这一项目不仅改善了河流的水质,更提升了周边居民的生活质量,促进了城市绿色空间的拓展,为城市可持续发展提供了有力支撑。通过这一案例,我们可以深刻认识到,城市黑臭水体的综合治理,需要跨学科的智慧、跨部门的合作以及全社会的参与,唯有如此,才能实现真正的水清岸绿、鱼翔浅底的美丽愿景。

3.4 案例三: 地下水与地下水交互治理

地下水与地下水交互治理是城市黑臭水体综合治理中的重要环节,尤其在水资源日益紧张的今天,保护和修复地下水质量显得至关重要。本章关注的焦点是一个典型的地下水治理项目,该项目位于华北地区的一个城市,这里由于长期的工业排放和农业活动,导致地下水受到严重污染,氮、磷等营养物质及重金属浓度超标,直接影响了地下水的利用和生态系统的稳定。

治理过程中,科研团队采用了先进的模拟分析模型,通过三维地质建模和水文地球化学模拟,精确识

别了污染源和地下水的交互路径。在实地调查中,发现地下水与浅层含水层之间存在强烈的水力联系,污染物质通过这一交互途径快速扩散。根据模拟结果,团队设计了一套综合的治理方案,包括设置地下拦截墙、建设垂直渗透反应屏障以及实施地下水回灌与抽出策略。

实施过程中,共设置了1500米的地下拦截墙,有效阻止了污染羽状体的进一步扩散。同时,通过建设10个垂直渗透反应屏障,利用天然和人工填料对污染物进行吸附和生物降解,显著降低了地下水中的污染物浓度。此外,通过科学的地下水回灌与抽出,调整了地下水的流向,加速了污染物在含水层中的净化过程。

经过三年的持续治理和监测,地下水中的氮、磷浓度分别下降了75%和80%,重金属浓度也达到了国家规定的安全标准。这一成功的案例表明,结合现代科技手段的地下水与地下水交互治理策略,能够有效解决复杂环境下的水体污染问题,为其他类似地区的治理工作提供了宝贵的经验和参考。

4 结语

综上所述,城市黑臭水体的综合治理是一个复杂而系统的工程,需要综合考虑水体的成因、污染程度、周边环境以及治理技术的可行性和经济性。通过采用物理、化学、生物以及新型技术等多种手段,结合科学的管理和持续的监测,我们可以有效地改善和提升城市水环境质量。未来,随着科技的不断进步和人们环保意识的日益增强,我们相信会有更多创新、高效、环保的治理技术被研发和应用,为城市黑臭水体的综合治理提供更加有力的支持。同时,我们也呼吁社会各界共同参与,形成合力,共同守护我们的绿水青山,为子孙后代留下一个更加美好的生活环境。

参考文献

- [1] 顾兴余. 城市河涌黑臭水体综合治理技术方案探析[J]. 山西化工, 2023(01)
- [2] 余静. 浅谈城市黑臭水体整治与生态环境保护[J]. 资源节约与环保, 2022(12)
- [3] 王超. 城市黑臭水体的综合治理和水质保持技术[J]. 治淮, 2022(10)
- [4] 任艳龙; 张晓琳; 杨清. 黑臭水体治理工程方案分析. 天津建设科技, 2021(01)
- [5] 张泽旭; 陈竹; 林舒康. 城镇黑臭水体现状分析及治理建议. 水利技术监督, 2023(07)