

水利工程中的水质监测与治理技术

刘俊巧

衡水市水利技术与水土保持服务中心 河北 衡水 053000

摘要：水质安全是水利工程可持续发展的关键。传统理化监测技术、生物监测技术与在线自动监测技术共同构建起多维监测体系，物理、化学、生物治理技术则为水质改善提供多元路径。然而，水利工程水质监测与治理面临复杂性高、技术设备受限、管理协调困难等挑战。通过技术创新、体制完善与资源保障，有效提升了监测治理效能，为保障水资源质量、推动水利工程高质量发展提供了重要支撑。

关键词：水利工程；水质；监测治理；技术

引言

在水资源保护与利用的时代背景下，水利工程中的水质监测与治理至关重要。传统理化监测技术以精确的数据分析为基础，生物监测技术从生态角度反映水质状况，在线自动监测技术则实现实时动态监控；物理、化学、生物治理技术各展所长，协同推进水质改善。在实际应用中，诸多挑战制约着技术效能。本文系统梳理各类监测与治理技术，深入分析面临的问题，并提出针对性策略，旨在为水利工程水质保障提供理论与实践参考。

1 水利工程中的水质监测技术

1.1 传统理化监测技术

传统理化监测技术通过化学分析与物理检测手段，对水体中各类物质的成分、含量及物理性质进行测定。以分光光度法为例，利用物质对特定波长光的吸收特性，依据朗伯-比尔定律，精确计算水中重金属离子、有机物等物质浓度；原子吸收光谱法则凭借原子蒸气对特征辐射的吸收程度，实现对微量元素的定量分析。滴定分析法通过标准溶液与水样中待测物质的化学反应，根据消耗溶液体积确定物质含量。这类技术能精准测定水质指标，检测结果准确性高，在实验室分析中广泛应用，常用于对水利工程取水口、排水口等关键位置的水质深度剖析。其操作流程复杂，对专业人员技术要求高，且分析周期较长，难以满足实时监测需求，无法及时捕捉水质动态变化。

1.2 生物监测技术

生物监测技术基于水生生物对水环境变化的响应，利用生物群落结构、生理生化指标等变化来反映水质状况。例如，通过监测水中浮游生物的种类、数量及群落组成变化，可直观评估水体污染程度与生态健康状况。指示生物法选取对特定污染物敏感的生物，如颤蚓类对有机污染敏感，当这类生物数量与分布发生异常，即表

明水体受污染。生物毒性测试则利用水生生物在受污染水体中的急性或慢性毒性反应，评估污染物对生态系统的潜在危害。该技术能够综合反映水体污染的长期累积效应和生态影响，监测结果更贴近实际生态环境状况，弥补了理化监测对复杂生态效应评估的不足。生物监测受生物自身生长周期、环境因素等影响较大，监测结果的时效性较差，且对监测生物的培养与鉴定需要专业知识与设备。

1.3 在线自动监测技术

在线自动监测技术借助先进的传感器、自动控制与通信技术，实现对水质参数的连续、实时监测。多参数水质监测仪集成pH、溶解氧、电导率、浊度等传感器，可同步获取多项水质指标数据，并通过无线通信模块将数据实时传输至监控中心。以荧光法溶解氧传感器为例，利用荧光猝灭原理，快速准确测量水体中溶解氧含量；离子选择性电极则可实时监测水中特定离子浓度。该技术具有监测频率高、响应速度快、数据实时性强等优势，能及时发现水质异常波动，为水利工程水质预警提供有力支持。通过自动化的采样、分析与数据处理流程，大幅减少人工操作，降低劳动强度，提高监测效率。在线自动监测设备成本较高，传感器易受水体中杂质、生物附着等影响，需要定期维护与校准，以确保监测数据的准确性与可靠性。

2 水利工程中的水质治理技术

2.1 物理治理技术

(1) 沉淀与过滤技术是物理治理的基础手段，通过重力作用使悬浮颗粒沉降，或利用石英砂、无烟煤等多孔介质截留杂质。在水利工程中，平流式沉淀池通过延长水流路径，增加颗粒与水的分离时间；斜板（管）沉淀池则利用浅层沉淀原理，大幅提高沉淀效率。过滤工艺常采用多层滤料结构，上层细粒滤料拦截微小颗粒，

下层粗粒滤料保障水流顺畅,可有效去除水中浊度、藻类及部分细菌。(2)曝气技术通过向水体中充入空气,加速水体复氧过程,促进水中还原性物质氧化。在河道治理中,机械曝气装置通过叶轮旋转、气泡扩散等方式提升水体溶解氧含量,降低硫化氢、亚铁离子等污染物浓度;跌水曝气则利用水流落差,使水与空气充分接触,增强自然复氧能力,改善水体黑臭现象。(3)吸附技术利用吸附剂的比表面积和表面活性,吸附水中有机污染物、重金属离子等。活性炭因丰富的孔隙结构和高吸附容量被广泛应用,可有效去除水中的酚类、农药残留及部分重金属;天然黏土矿物如膨润土经改性后,对染料、重金属的吸附性能显著提升,在处理工业废水污染的利水水体中发挥重要作用^[1]。

2.2 化学治理技术

(1)混凝沉淀技术通过向水体中投加混凝剂,使水中胶体颗粒和微小悬浮物脱稳、凝聚,形成大粒径絮体沉淀分离。聚合氯化铝(PAC)因其水解产物能有效压缩双电层、吸附架桥,广泛应用于饮用水和工业废水处理;三价铁盐混凝剂在碱性条件下形成的氢氧化铁絮体,对浊度、磷元素及部分有机物有良好去除效果,在湖泊富营养化治理中成效显著。(2)氧化还原技术利用强氧化剂或还原剂改变污染物的化学价态,使其转化为无害或低毒物质。臭氧氧化凭借其强氧化性,能快速分解水中难降解有机物,同时灭活细菌、病毒;芬顿氧化技术通过亚铁离子与过氧化氢反应产生羟基自由基,对含酚、含苯环类有机废水具有高效降解能力;硫化钠等还原剂则可将六价铬还原为三价铬,降低重金属毒性。(3)化学中和技术针对酸碱污染水体,通过投加碱性或酸性药剂调节pH值。在酸性矿山废水处理中,石灰乳作为中和剂,可与硫酸等强酸发生中和反应,同时生成氢氧化物沉淀去除重金属离子;对于碱性废水,常用硫酸、盐酸等进行中和处理,精准调控以降低其碱性,将pH值调节至中性范围,保障后续处理工艺正常运行及生态安全。

2.3 生物治理技术

(1)微生物处理技术利用微生物的代谢活动降解有机污染物。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、分解污水中的有机物,在污水处理厂广泛应用;生物膜法如生物滤池、生物接触氧化池,通过微生物附着在载体表面形成生物膜,对污水进行深度处理,尤其适用于低浓度有机废水处理。厌氧生物处理技术在无氧条件下,利用产甲烷菌等微生物分解高浓度有机废水,产生沼气的同时降低污染物浓度。(2)水生

植物修复技术借助水生植物的吸收、富集和降解作用净化水质。挺水植物芦苇根系发达,能有效吸收水中氮、磷等营养物质,同时其根系分泌物可抑制藻类生长;沉水植物苦草通过光合作用增加水体溶解氧,改善水下生态环境;浮水植物凤眼莲对重金属和有机污染物有较强富集能力,常用于富营养化水体和轻度污染水体修复。

(3)水生动物调控技术利用水生动物的摄食、滤食等行为改善水质。滤食性鱼类如鲢鳙鱼通过滤食水中藻类,控制水华发生;底栖动物如河蚬、螺蛳可摄食底泥中的有机碎屑和微生物,促进水体物质循环;浮游动物如枝角类、桡足类通过捕食浮游藻类和细菌,维持水体生态平衡,在小型湖泊、池塘水质治理中发挥重要作用^[2]。

3 水利工程中的水质监测与治理技术面临的挑战与应对策略

3.1 面临的挑战

3.1.1 监测与治理的复杂性

水利工程流域范围广,水体环境受自然因素与人类活动交互影响,使水质监测与治理呈现高度复杂性。自然状态下,季节性降水、温度变化、径流波动,以及流域内土壤侵蚀、植被覆盖变化等,均会导致水质参数动态波动。人为因素中,工业废水、农业面源污染、生活污水的多元排放,污染物成分复杂且浓度不稳定,增加了监测与治理难度。水利工程自身的蓄水、调水、灌溉等功能运行,改变了水体流速、水温分层、溶解氧分布等水动力条件,诱发富营养化、重金属迁移转化等次生水质问题。不同区域水体功能定位各异,饮用水源地、渔业水域、景观水体对水质标准要求差异显著,难以采用单一技术方案实现有效监测与治理。

3.1.2 技术与设备的局限性

现有水质监测与治理技术设备存在诸多局限。在监测方面,传统的实验室分析方法虽准确性高,但采样频次低、时效性差,无法实时反映水质变化趋势。部分在线监测设备对复杂水体适应性不足,易受浊度、色度、水中杂质干扰,导致数据误差。传感器技术在长期稳定性、检测灵敏度、多参数协同监测等方面存在短板,难以满足微量污染物、新型污染物的精准检测需求。治理技术层面,物理处理方法能耗高、二次污染风险大,化学处理易引入新污染物,生物处理技术受环境条件制约明显,低温、高污染负荷等条件下处理效率骤降。技术集成度低,缺乏系统性解决方案,难以应对复合型水质污染问题^[3]。

3.1.3 管理与协调的困难

水利工程水质监测与治理涉及多主体、多环节,管

理协调难度大。从空间维度看,跨区域流域水质问题需上下游、左右岸协同治理,但各区域对水体功能需求、治理目标、技术手段存在差异,难以达成统一行动。从流程维度,监测数据采集、分析、共享与治理工程设计、施工、运维间缺乏高效衔接,数据滞后或信息不畅影响治理决策时效性。多部门参与治理时,职责边界模糊,监测数据标准不统一,数据资源难以整合利用,导致重复建设与资源浪费并存。项目实施过程中,监测站点布局、治理工艺选择、工程进度安排等环节,难以兼顾各方利益诉求,阻碍整体治理效能提升。

3.2 应对策略

3.2.1 加强技术研发与创新

突破水质监测与治理技术瓶颈需聚焦创新研发。在监测技术领域,研发高灵敏度、高稳定性、抗干扰能力强的传感器,实现对痕量污染物、新兴污染物的快速精准检测;利用物联网、大数据、人工智能技术,构建智能化监测网络,实时采集、分析海量水质数据,预测水质变化趋势。治理技术创新方面,开发绿色低碳、高效协同的处理工艺,如高级氧化技术与生物处理技术耦合,提升难降解污染物去除效率;探索纳米材料、膜技术等新型材料在水质净化中的应用,优化处理流程。加强多技术集成研究,针对不同水体污染特征,形成定制化、系统化的监测-预警-治理技术体系,增强应对复杂水质问题的能力。

3.2.2 完善管理体制与协调机制

优化水利工程水质监测与治理管理需构建科学协调机制。从空间协同角度,建立流域尺度下跨区域信息共享平台,整合各区域水质监测数据、治理方案与资源,促进上下游、左右岸在监测布点、污染溯源、应急处置等方面协同联动。强化监测与治理环节衔接,制定统一的数据采集、传输、分析标准,实现监测数据与治理工程决策的无缝对接。明确多主体责任,通过建立联合工作小组、项目合作机制等方式,统筹规划监测站点布

局、治理技术选择与工程实施进度。采用数字化管理手段,构建全流程管理系统,实时跟踪监测治理动态,及时协调解决各方矛盾,保障治理工作高效推进。

3.2.3 强化资金保障与人才培养

充足的资金与专业人才是水质监测与治理的关键支撑。加大资金投入力度,拓宽资金来源渠道,引入社会资本参与监测设备更新、治理技术研发与工程建设,确保先进技术与设备及时应用。合理分配资金,优先保障关键监测节点建设、新型技术试点推广、复杂污染区域治理。重视专业人才培养,通过行业培训、学术交流、产学研合作等方式,提升从业人员在水质监测技术操作、数据分析、治理工艺设计等方面的专业能力。建立人才激励机制,吸引高端技术人才投身水利工程水质监测与治理领域,为行业发展注入创新活力,推动监测治理工作高质量开展^[4]。

结语

综上所述,水利工程水质监测与治理技术的发展对保障水资源质量意义重大。通过传统与现代技术结合、多学科方法融合,已形成较为完备的技术体系。面对复杂的水环境问题,仍需持续推进技术创新,优化管理体制,强化资金与人才支持。未来,随着技术的不断进步与管理的持续完善,水利工程水质监测与治理将迈向更高水平,为水资源可持续利用筑牢坚实基础。

参考文献

- [1]翟长风,孙志强.饮用水水利工程中水质监测技术的应用[J].餐饮世界,2025(8):118-120.
- [2]徐蓓蕾,虞奎,侯伟建,等.水利工程生态环境监测与水质保护评价分析[J].建筑工程技术与设计,2024,12(21):152-154.
- [3]王建威.水利工程中的水环境生态治理防护技术分析[J].皮革制作与环保科技,2024,5(22):108-110.
- [4]季洪杰.水利工程建设中河道治理技术的研究[J].建筑工程技术与设计,2025,13(3):160-162.