

城市水环境治理与污染控制的科技对策

游远庆

中国电建集团城市规划设计研究院有限公司 广东 广州 510000

摘要: 城市水环境治理与污染控制需依托科技创新构建全链条解决方案: 利用物联网与大数据技术搭建智能监测网络, 实现污染精准溯源与风险预警; 推广MBR膜处理、高级氧化等高效工艺及污泥资源化技术, 提升污染处理效能; 通过低影响开发设施与蓝绿空间协同模型控制面源污染; 结合数字孪生技术优化河湖生态调度。同时需完善供排水一体化管理平台、生态补偿机制, 并强化公众教育参与, 形成“技术-管理-社会”协同治理体系, 推动城市水环境可持续改善。

关键词: 城市水环境治理; 污染控制; 科技对策

引言: 随着城市化进程的加速, 城市水环境面临点源、面源与内源污染的多重压力, 水体黑臭、生态退化等问题频发, 严重威胁居民健康与城市可持续发展。传统治理技术存在效率不足、系统性缺失等局限, 难以应对复杂水环境挑战。因此, 依托物联网、大数据、生物技术等前沿科技, 构建“监测-处理-修复-调控”一体化技术体系, 成为突破治理瓶颈、实现水环境质量根本性改善的关键路径。

1 城市水环境污染特征与成因分析

1.1 主要污染类型与来源

(1) 点源污染: 工业废水是核心来源, 部分制造业如化工、印染企业排放废水含重金属、难降解有机物, 若处理不达标直接入河, 会造成局部水域严重污染; 生活污水排放量随城市人口增长持续上升, 城中村、老旧小区存在雨污混流现象, 大量污水未经充分处理进入水体, 导致COD、氨氮等指标超标。(2) 面源污染: 农业径流携带化肥、农药残留, 通过城郊沟渠进入城市水系, 引发水体富营养化; 城市地表径流在降雨时冲刷路面, 携带机动车尾气颗粒物、生活垃圾渗滤液等, 短时间内大量汇入河湖, 形成“初期雨水污染”。(3) 内源污染: 城市河湖底泥长期淤积, 吸附的氮、磷及有机污染物在水温升高、水体扰动时释放, 成为水体“内污染源”; 微生物代谢过程中, 部分厌氧菌分解有机物产生硫化氢、甲烷等, 恶化水质并散发异味。

1.2 水环境系统脆弱性分析

(1) 城市管网老化与漏损问题: 多数城市排水管网使用超20年, 存在管道破裂、接口渗漏等问题, 漏损率高达15%-20%, 不仅浪费水资源, 还导致地下水、土壤污染物渗入管网, 污染污水厂进水。(2) 河湖生态自净能力退化: 城市建设挤占河道、湖泊空间, 水域面积缩

减, 水流速度减缓, 水体交换能力下降; 水生植物、微生物群落因水质恶化受损, 生态系统失衡, 自净能力显著降低。(3) 极端气候对水安全的冲击: 强降雨易引发城市内涝, 雨水裹挟大量污染物集中入河, 加剧污染; 干旱天气导致河湖水位下降, 水体稀释能力减弱, 污染物浓度升高, 形成“干季黑臭”现象^[1]。

1.3 现有治理技术的局限性

(1) 单一技术效率不足: 传统活性污泥法对难降解有机物、低浓度污染物处理效果有限, 且能耗高、产生污泥量大, 后续处置难度大; 人工湿地、生态浮岛等技术受气候、占地面积限制, 难以在高密度城区大规模应用。(2) 系统性协同缺失: 水污染治理涉及环保、市政、水利等多部门, 存在职责交叉或空白, 缺乏统一规划; 各部门监测数据不互通, 形成“数据孤岛”, 无法为污染溯源、精准治理提供全面支撑。

2 城市水环境治理与污染控制的科技对策

2.1 智能监测与预警技术

(1) 物联网传感器网络与实时数据平台: 在城市河湖、排水管网、污水处理厂等关键节点布设物联网传感器, 涵盖水质、流量、水位等监测维度, 构建全域覆盖的感知网络。同时搭建统一的实时数据平台, 实现各类监测数据的自动采集、传输与整合, 打破部门间数据壁垒, 为管理人员提供直观的水环境动态视图, 支撑治理决策的精准化。(2) 水质参数(COD、氨氮等)在线监测: 采用专用在线监测设备, 对水体中COD、氨氮、总磷、溶解氧、pH值等核心水质参数进行连续监测, 无需人工频繁取样分析。设备具备自动校准与异常报警功能, 可及时捕捉水质波动情况, 确保对污染变化的快速响应, 为污染超标事件的早期处置提供依据。(3) 基于大数据的污染溯源与风险预警模型: 整合历史监测

数据、气象数据、城市管网拓扑信息、工业企业分布数据等多源数据，运用大数据分析机器学习算法构建模型。该模型既能通过水质污染物浓度变化轨迹，反向追溯污染来源，明确污染责任主体；又能针对极端天气、潜在排污行为等风险因素，提前预判污染发生概率，发出预警信号，指导防控措施提前部署^[2]。

2.2 高效污染处理与资源化技术

(1) 新型污水处理工艺：MBR膜生物反应器融合生物降解与膜分离技术，通过膜组件截留活性污泥与污染物，大幅提升污水处理效率，出水水质更优。人工湿地强化技术则通过优化填料配比、筛选高效净化植物，增强湿地对氮、磷及有机污染物的吸附与降解能力，兼顾污水处理与生态景观功能。(2) 工业废水深度处理与回用技术：膜分离技术利用特殊膜材料的选择性透过性，去除工业废水中的重金属、难降解有机物等有害物质，满足后续回用要求。高级氧化技术通过产生强氧化性自由基，将废水中 toxic 有害污染物分解为无害小分子物质，解决传统工艺难以处理的高难度工业废水问题，为工业废水资源化回用奠定基础。(3) 污泥资源化利用：通过高温热解工艺将污水处理产生的污泥转化为生物炭，可用于土壤改良以提升土壤肥力，或作为吸附材料处理水体污染物，实现“以废治废”。污泥建材化则是将脱水后的污泥与水泥、砂石等原料混合，经过特定工艺制成轻质建材，减少污泥填埋量，实现污泥的减量化与资源化。

2.3 面源污染控制与海绵城市建设

(1) 低影响开发(LID)技术：透水铺装采用多孔材料铺设路面，使降雨能够快速渗入地下，减少地表径流产生，同时过滤雨水中的悬浮物。绿色屋顶在建筑屋顶铺设种植层与过滤层，通过植物吸收与土壤渗透截留降雨，降低雨水冲刷带来的面源污染，还能调节建筑室内温度，提升城市生态环境质量。(2) 雨水调蓄与生态净化设施：植草沟通过植被覆盖与缓坡设计，引导雨水缓慢流动，利用植物根系与土壤的过滤作用去除雨水中的污染物，同时延缓雨水汇流速度。雨水花园则通过分层填料与水生植物的协同作用，对收集的雨水进行净化处理，净化后的雨水可用于灌溉、景观补水，兼具调蓄与净化功能^[3]。(3) 城市蓝绿空间协同优化模型：结合地理信息系统与水文模型，分析城市水系(蓝空间)与绿地系统(绿空间)的空间分布关系。通过模型模拟不同布局方案下的径流调控、污染削减效果，优化蓝绿空间的规模与连接方式，实现两者功能协同，提升城市对降雨的调蓄与净化能力，减少面源污染负荷。

2.4 河湖生态修复与系统调控技术

(1) 水动力改善技术：曝气增氧技术通过设备向水体中充入空气，提升水体溶解氧含量，抑制厌氧菌繁殖，改善黑臭水体水质，同时促进水体流动，打破水体滞留状态。生态浮床将水生植物种植于浮体上，既通过植物吸收去除水体中的氮、磷，又能遮挡阳光抑制藻类生长，同时改善水体景观，提升水动力条件。(2) 生物-生态协同修复：投放功能性微生物菌剂，补充水体中高效降解菌群，加速有机污染物分解，增强水体自净能力。同时根据河湖生态需求，科学配置沉水植物、浮叶植物、挺水植物，构建稳定的水生植物群落，为微生物、水生动物提供栖息环境，恢复河湖生态系统结构与功能。(3) 数字孪生驱动的河湖健康评估与调度：构建与实体河湖高度一致的数字孪生模型，实时映射水体流速、水质、水生生物群落等状态信息。基于模型对河湖健康状况进行多维度评估，识别生态短板；同时模拟不同调度方案(如闸门启闭、生态补水)对河湖生态的影响，优化调度策略，保障河湖生态流量与健康稳定。

2.5 再生水循环利用与水网络优化

(1) 再生水安全回用标准与技术体系：制定针对不同回用场景(如工业冷却、市政杂用、生态补水)的再生水水质标准，明确污染物控制指标。建立“预处理-深度处理-消毒”一体化技术体系，通过多工艺组合确保再生水水质达标，同时配套水质监测与风险防控措施，保障再生水回用安全。(2) 城市供排水一体化管理平台：整合城市供水、排水、再生水系统的运行数据，包括水量、水质、水压、设备运行状态等信息。通过平台实现各系统的协同管理，优化再生水分配方案，优先将再生水用于工业、市政等非饮用水领域，减少新鲜水消耗，构建“取水-用水-排水-再生-回用”的闭环水网络。(3) 管网漏损智能检测与修复技术：采用声呐检测、光纤传感、管道机器人等技术，对城市供排水管网进行全方位检测，精准定位管道漏损点与病害位置，避免传统检测方式的盲目性。研发非开挖修复技术，在不破坏路面的情况下对破损管网进行修复，降低修复成本与对城市交通的影响，减少管网漏损造成的水资源浪费^[4]。

3 城市水环境治理科技对策的实施路径与保障机制

3.1 技术集成与创新模式

(1) “源-网-厂-河”一体化技术链构建：以全流程污染控制为核心，打通从污染源头到水体修复的技术断点。在源头端，整合工业、生活污染源的精准监测与预处理技术，减少污染物初始排放；在管网端，联动智能检测与修复技术，保障污水收集效率；在处理厂端，优

化新型污水处理工艺与污泥资源化技术的协同运行；在河湖端，衔接生态修复与水动力调控技术，实现水质提升与生态恢复。通过建立跨环节技术协同机制，打破单一技术应用局限，形成“源头减量-过程管控-末端治理-生态修复”的闭环技术体系，提升整体治理效能。（2）模块化与标准化技术装备推广：针对不同城市规模、污染类型的治理需求，研发模块化技术装备，如可灵活组合的小型污水处理模块、便携式水质监测设备等，降低技术应用门槛，适应老旧小区、城郊区域等复杂场景。同时制定技术装备标准化规范，统一设备性能参数、安装流程与运维标准，减少因技术规格不统一导致的适配难题。通过政府引导、企业参与的模式，建立标准化装备生产与供应体系，推动成熟技术快速落地，缩短项目建设周期，降低治理成本。

3.2 政策与制度保障

（1）排污许可与总量控制制度优化：完善排污许可管理制度，将智能监测数据纳入许可执行评估，实现排污量动态监管，对超标排放行为实施精准处罚；结合区域水环境容量，科学制定污染物总量控制目标，将总量指标分解至企业与流域，明确减排责任。建立排污许可与环境影响评价、总量控制的衔接机制，确保新建项目排污符合区域总量要求，同时鼓励企业通过技术升级减少排污，对超额减排的企业给予政策奖励，形成“持证排污、按证监管、超标必究”的管理格局。（2）生态补偿机制与绿色金融支持：建立跨区域水环境生态补偿制度，根据流域上下游水质达标情况、污染贡献度，明确补偿标准与支付方式，上游地区为保护水质付出的成本由下游地区给予补偿，下游地区因上游污染造成的损失由上游地区赔偿，推动流域协同治理。同时拓宽绿色金融支持渠道，鼓励银行推出水环境治理专项贷款，对采用先进科技对策的项目给予利率优惠；支持企业发行绿色债券，引导社会资本参与污染治理与再生水利用项目，为科技对策落地提供资金保障。

3.3 公众参与与科技传播

（1）水环境教育平台建设：搭建线上线下融合的水

环境教育平台，线上开发科普网站、短视频账号，解读水环境治理科技知识、政策法规，展示治理成果；线下建设水环境教育基地，结合污水处理厂、海绵城市示范项目等，开展实地参观、互动体验活动。针对学生群体编写特色教材，将水环境保护纳入中小学课程体系，针对企业员工开展技术培训，提升环保意识与合规能力，形成全民关注、支持水环境治理的氛围。（2）公民科学项目与社区共治模式：发起公民科学项目，鼓励公众通过简易监测设备（如便携式水质检测包）参与周边水体监测，将数据上传至公共平台，为专业监测提供补充；组织志愿者参与河湖巡查、垃圾清理等活动，形成“专业监测+公众监督”的双重保障。推行社区水环境共治模式，在社区建立水环境治理议事会，邀请居民、企业、环保组织共同参与社区雨污分流改造、雨水花园建设等项目的规划与运维，让公众从“旁观者”转变为“参与者”，提升科技对策实施的基层支持度与可持续性。

结束语

城市水环境治理与污染控制是一项长期而复杂的系统工程，科技对策的创新与应用为其提供了核心驱动力。通过智能监测预警、高效处理资源化、面源污染管控及河湖生态修复等技术的集成突破，结合政策制度保障与公众参与机制，可实现从“末端治理”向“全链条防控”的转变。未来需持续深化跨学科技术融合，推动治理模式智能化、绿色化转型，为构建“人水和谐”的宜居城市提供坚实的科技支撑与实践路径。

参考文献

- [1]周杰.城市水环境治理和污染控制措施研究[J].清洗世界,2020,(04):40-41.
- [2]续元周.论城市水环境的修复和综合治理[J].中国房地产业,2020,(20):245-246.
- [3]梁悦明.城市水环境治理及污染防治措施分析[J].产城:上半月,2021,(09):92-93.
- [4]朱文辉.城市水环境治理及污染防治措施[J].工程技术研究,2020,(16):247-248.