

基于环境工程视角的城市排水运维与水环境治理协同模式

余昀

广州市城市排水有限公司，广东 广州 510000

DOI:10.61369/EAE.2025060018

摘要：城市排水运维与水环境治理需协同。当前排水管网运维管理存短板致治理工程失效。应构建管网健康度评价与治理设施运行耦合模型，融合多源监测数据，构建数字孪生系统，升级智能化运维，建立动态运维决策系统，协同设计海绵设施，集成生态化治理技术，制定闭环管理规范，建立多部门协调机制，突破传感技术，推进数字化改造。

关键词：协同模式；排水运维；水环境治理

Collaborative Model of Urban Drainage Operation And Maintenance and Water Environment Governance Based on Environmental Engineering Perspective

Yu Yun

Guangzhou Urban Drainage Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : The operation and maintenance of urban drainage and water environment governance need to be coordinated. The current shortcomings in the operation and maintenance management of drainage pipelines have led to the failure of treatment projects. A coupling model for evaluating the health of pipeline networks and managing facility operation should be established, integrating multi-source monitoring data, building a digital twin system, upgrading intelligent operation and maintenance, establishing a dynamic operation and maintenance decision-making system, collaborating on sponge facility design, integrating ecological governance technology, developing closed-loop management standards, establishing a multi departmental coordination mechanism, breaking through sensing technology, and promoting digital transformation.

Keywords : collaborative mode; drainage operation and maintenance; water environment management

引言

2021年，国家颁布《关于推进污水资源化利用的指导意见》，强调了城市排水与水环境治理的重要性。城市排水系统承担着水量调控、污染阻隔及生态安全维护等关键环境工程职能，与水环境治理紧密关联。然而，当前排水管网运维管理存在检测技术滞后、应急响应不足和数据孤岛等问题，导致两者脱节，水环境治理效果不佳。在此背景下，构建协同模式势在必行。通过构建管网健康度评价等模型、融合多源监测数据、打造数字孪生系统等一系列关键突破点，能有效提升协同效率，契合政策导向，助力城市生态环境的可持续发展。

一、城市排水与水环境治理协同机理

(一) 城市排水系统功能解析

城市排水系统在水量调控、污染阻隔、生态安全等方面发挥着关键环境工程职能。在水量调控上，它能够收集和输送城市降雨形成的地表径流，避免局部地区出现内涝积水，通过合理规划排水管网管径、坡度及泵站提升能力等，有效调节水量^[1]。在污染阻隔方面，排水系统可拦截、输送污水，防止其随意排放污染地表水体，部分排水设施还具备一定的初步净化功能，如雨水口

设置的截污挂篮，可截留垃圾与部分污染物。从生态安全维度看，完善的排水系统有助于维持城市水系生态平衡，保障水生动植物的栖息环境，促进城市水生态系统的健康稳定，为城市生态安全提供有力支撑，从而与水环境治理形成紧密协同关系，共同助力城市生态环境的良性发展。

(二) 水环境治理的工程需求

水环境治理有着水质提升、生态修复、雨洪管控等多元目标，这些目标的实现对排水体系存在显著技术依赖。在水质提升方面，需排水系统具备高效的污水收集与处理能力，确保污水得

到有效收集并达标处理，防止污水直排造成水体污染^[2]。生态修复要求排水体系能改善水生态环境，例如通过合理设计排水设施，为水生动植物提供适宜的栖息环境。雨洪管控则依赖排水系统的科学规划与建设，使其能够在暴雨时及时排水，避免内涝发生，同时实现雨水的资源化利用，补充城市水资源。总之，水环境治理的工程需求促使城市排水体系不断优化升级，以满足日益严格的环境要求。

二、排水运维现状与治理脱节问题

(一) 管网运维管理短板分析

当前城市排水管网运维管理存在诸多短板。检测技术滞后是其中关键问题，传统检测手段难以精准且高效地定位管网内部的细微破损、堵塞等隐患，使得一些潜在问题无法及时被发现与解决，导致排水不畅甚至污水外溢等情况，影响水环境质量^[3]。应急响应不足同样突出，面对暴雨等极端天气或突发管网故障，缺乏完善且快速的应急响应机制，无法迅速采取有效的应对措施，致使大量雨水或污水积压，对周边水环境造成严重冲击。此外，数据孤岛现象严重，排水运维相关部门、企业间数据流通不畅，信息难以共享，各环节工作无法有效协同，既降低了运维效率，又使水环境治理难以形成合力，造成排水运维与水环境治理的脱节。

(二) 水环境治理工程失效诱因

在城市排水运维与水环境治理中，水环境治理工程失效的诱因凸显了排水运维现状与治理的脱节。截污纳管方面，因缺乏对排水系统实际运行参数，如流量、水质等的持续监测与精准把控，导致截污设施未能按需调整，污水溢出问题频现，使得截污纳管工程失效^[4]。初雨污染治理上，现有排水运维模式往往忽视初雨阶段污染物的快速积累，未能及时启动针对性处理机制。治理工程设计时，未充分结合排水管网的运维实际情况，两者缺乏有效协同，致使水环境治理工程在应对初雨污染时力不从心。这种排水运维与治理工程的脱节，使得水环境治理难以达到预期效果，城市水环境污染问题依然严峻，亟待建立协同模式来扭转这一局面。

三、环境工程协同机制构建

(一) 技术协同框架设计

1. 管网健康度评价模型

构建管网健康度评价模型，应基于多维评估体系展开。腐蚀指数反映管网材料因受化学、生物等作用而产生的损坏程度，它与管网的使用寿命紧密相关，严重的腐蚀会导致管网破裂、渗漏，影响排水功能^[5]。淤积率体现管网内部泥沙、杂物等堆积状况，过高的淤积率会减小管道过水断面，降低排水效率，增加内涝风险。结构缺陷值表征管网的物理结构完整性，如裂缝、变形等缺陷，这些缺陷不仅影响管网自身稳定性，还可能引发周边土壤流失等环境问题。将这三个参数纳入模型，通过科学的算法和权重分配，综合评估管网健康度，为城市排水运维与水环境治理提供准确依据，实现两者基于管网健康状况的有效协同。

2. 治理设施运行耦合模型

治理设施运行耦合模型将污水处理厂、调蓄池和人工湿地视为一个有机整体，构建能反映它们相互作用关系的数学模型。通

过对污水处理厂进出水水质、水量变化，调蓄池的存储与释放规律，以及人工湿地的净化能力等关键参数进行分析，整合出一套动态耦合机制^[6]。该模型可精准模拟不同工况下各设施的运行状态，为协同运行提供量化依据。例如，在暴雨期间，模型能依据实时降雨数据、污水厂处理能力和调蓄池容量，合理分配水流，确保污水厂稳定运行，同时使调蓄池和人工湿地充分发挥削峰、净化等作用，提升整体的排水运维与水环境治理协同效率，有效应对城市水环境复杂多变的状况。

(二) 数据融合平台架构

1. 多源监测数据融合

在基于环境工程视角的城市排水运维与水环境治理协同模式下，多源监测数据融合至关重要。要实现水质传感器、流量计、视频监控的时空数据对齐。水质传感器获取的是水体中各类物质成分及含量数据，能反映水质状况；流量计监测水流的流量数据，了解排水系统的运行负荷；视频监控则直观呈现排水区域的实际场景。由于这些数据来源不同，其时间戳、空间坐标体系存在差异，所以需进行时空数据对齐处理。通过运用特定的算法与技术，将不同数据源的数据在时间和空间维度上统一起来，以确保数据的一致性与准确性，从而为后续深入的数据分析与决策提供坚实基础^[7]。如此，才能更有效地挖掘数据背后的价值，助力城市排水运维与水环境治理的协同开展。

2. 数字孪生系统构建

在基于环境工程视角的城市排水运维与水环境治理协同模式中，数字孪生系统构建至关重要。通过建立包含管网BIM模型与水动力模型的虚拟仿真环境^[8]，可实现对城市排水系统及水环境的精确模拟。管网BIM模型能详细呈现排水管网的空间布局、结构特征等，为系统提供直观的物理架构信息。水动力模型则可模拟水流在管网中的运动规律，以及与周边水环境的相互作用。二者融合构建的数字孪生系统，能实时反映城市排水与水环境的动态变化，为运维人员提供全面、准确的信息，辅助其做出科学决策，实现城市排水运维与水环境治理的高效协同，助力环境工程目标的达成。

四、协同模式实施路径

(一) 智能化运维升级

1. 缺陷智能诊断技术

在基于环境工程视角的城市排水运维与水环境治理协同模式中，智能化运维升级的缺陷智能诊断技术极为关键。借助管道机器人的视觉识别，可清晰捕捉排水管道内部诸如裂缝、破损、堵塞等状况。同时，声呐探测能获取管道周边水体分布与流动等信息，为诊断提供更全面数据支撑。将这些采集到的数据运用先进的数据分析算法进行深度挖掘，准确判断缺陷类型、程度与发展趋势，进而依据诊断结果制定针对性的维护治理策略。通过这种方式，实现对排水系统缺陷的智能、精准诊断，提升运维效率与质量，避免因缺陷发现不及时而引发的水环境问题，有力推动城市排水运维与水环境治理的协同发展^[9]。

2. 动态运维决策系统

动态运维决策系统是实现城市排水运维与水环境治理协同模式的关键环节。该系统借助先进的传感器技术，实时收集城市排

水系统中的流量、水质等数据，以及水环境相关指标，如水体富营养化程度、溶解氧含量等^[10]。将这些海量数据输入基于机器学习的分级预警与资源调度模型中，模型通过深度分析数据，挖掘排水与水环境之间的潜在联系和变化规律。依据分析结果，系统能对可能出现的排水故障、水环境恶化等问题进行分级预警，提前发出警报。同时，结合资源调度模型，根据预警级别以及实际运维需求，合理调配人力、物力资源，确保在排水系统出现问题时能及时响应处理，高效保障城市排水顺畅，维护良好的水环境质量，实现排水运维与水环境治理的高效协同。

（二）生态化治理技术集成

1. 海绵设施协同设计

在海绵设施协同设计中，应充分考量城市排水运维与水环境治理的双重需求。从场地规划阶段，就要将雨水花园、绿色屋顶、下沉式绿地等海绵设施与城市排水管网进行统筹布局，确保其空间上的合理分布与有效衔接。对于雨水花园，优化其植物配置与土壤结构，提升对雨水的净化与渗透能力，同时设计合适的溢流口与排水管网相连，在雨量过大时及时排水。绿色屋顶则注重排水坡度与防水处理，让收集的雨水能有序汇入排水系统，减少对建筑屋面的压力。下沉式绿地合理控制下沉深度与规模，增强其蓄水能力，并与周边排水设施协同，实现雨水的高效收集、净化与排放，通过这些海绵设施的协同设计，切实提升城市排水运维效率与水环境治理水平。

2. 原位修复技术优选

在城市排水运维与水环境治理协同模式中，生态化治理技术集成的原位修复技术优选至关重要。需针对不同污染程度及类型的水体，选择合适的原位修复技术。对于轻度污染水体，可优先考虑生物强化修复技术，通过向水体中添加特定微生物，增强其对污染物的分解能力，促进水质净化。而对于污染较重的水体，原位化学氧化还原技术更为适宜，利用强氧化剂或还原剂，快速降解水体中的有机污染物及重金属。同时，要结合城市排水系统的特点，考虑技术实施的可行性和经济性，确保所选原位修复技术既能有效治理水环境，又能与排水运维相适配，以最小的成本实现最佳的协同治理效果，最终达成基于水质目标的微生物－植物－材料复合修复方案的构建。

（三）管理制度创新

1. 全生命周期管理标准

在基于环境工程视角的城市排水运维与水环境治理协同模式

中，制定从规划设计到报废更新的闭环管理规范至关重要。规划设计阶段，要充分考虑城市水文地质、人口分布、未来发展趋势等因素，确保排水系统既能满足当下需求，又具备前瞻性。建设施工时，严格把控材料质量与施工工艺，保障排水设施的坚固耐用。运维阶段，建立定期巡检机制，及时发现并处理管道堵塞、设备老化等问题，同时利用智能监测技术，实时掌握排水系统运行状态。到了报废更新环节，科学评估设施状况，合理规划新建设施，实现资源的高效利用与可持续发展，通过这一闭环管理规范，全面提升城市排水运维与水环境治理的协同效果。

2. 多部门协调机制设计

建立水务、环保、城建等多部门协调机制，旨在打破部门壁垒，提升城市排水运维与水环境治理协同效率。在联合决策方面，搭建常态化沟通平台，共享数据与信息，针对重大排水与水环境项目共同研讨方案，确保从规划到实施各环节充分考虑不同部门专业视角。例如在城市新区域排水系统规划时，水务部门提供排水流量等专业数据，环保部门基于水环境保护要求提出限制条件，城建部门结合城市建设规划给出布局建议，共同制定科学方案。在考核体系上，构建统一且兼顾各部门职责的指标，如综合考量污水处理达标率、河道水质改善情况、排水设施完好率等，将协同治理成效与各部门绩效挂钩，激励各部门积极合作，形成高效的城市排水运维与水环境治理协同模式。

五、总结

在环境工程视角下，城市排水运维与水环境治理协同模式至关重要。通过对相关关键突破点的凝练可知，传感技术的突破成为推动协同模式发展的重要一环。精准、高效的传感技术能实时且准确地监测排水与水环境各项指标，为后续治理决策提供有力依据。同时，治理全流程的数字化改造也刻不容缓。利用数字化手段可整合排水运维与水环境治理各个环节的数据，实现智能分析与科学调度。未来，应围绕这两个方向深入研究，进一步优化协同模式，提升城市排水运维水平，改善水环境质量，实现城市生态环境的可持续发展，为环境工程领域的实践提供更具前瞻性和可行性的指导。

参考文献

- [1] 徐丽婷. 基于社会—生态系统视角的太湖水环境治理研究 [D]. 中国科学院大学, 2021.
- [2] 左丽. 智慧治水背景下水环境治理“双效”协同模式研究——以浙江省为例 [D]. 杭州电子科技大学, 2021.
- [3] 李佳音. 水环境治理多元主体协同行为的形成机理研究 [D]. 华北水利水电大学, 2023.
- [4] 李刚. 生活者视角下省级跨界水环境协同治理研究——以毛乌素沙地红碱淖为例 [D]. 内蒙古大学, 2023.
- [5] 刘彦. 水环境治理视角下中南半岛古代城镇营建与发展特征研究 [D]. 东南大学, 2021.
- [6] 吴梦晗. 水环境协同治理思考 [J]. 合作经济与科技, 2021(19): 182–183.
- [7] 刘虹. 河长制水环境治理创新制度的成效与反思——从协同治理视角看 [J]. 皮革制作与环保科技, 2022, 3(9): 157–159.
- [8] 鲁先锋. 地方政府水环境治理的协同机制及实现条件——基于 SX 县水环境治理分析 [J]. 西北农林科技大学学报 (社会科学版), 2023, 23(02): 127–137.
- [9] 颜海娜, 张雪帆, 王露寒. 数据何以赋能水环境跨部门协同治理 [J]. 华南师范大学学报 (社会科学版), 2021(4): 115–126.
- [10] 王玮, 杨文瑜, 陈利华, 等. 基于水力建模的水环境治理方案评估与优化 [J]. 资源节约与环保, 2023(7): 33–38.