

城镇水系统研究与应用

张良, 吴宝利, 王浩正, 等. 我国排水系统数字化全过程管控机制[J]. 净水技术, 2026, 45(6): 140-147.

Zhang L, Wu B L, Wang H Z, et al. Lifecycle digital management mechanism of urban drainage systems at home[J]. Water Purification Technology, 2026, 45(6): 140-147.

我国排水系统数字化全过程管控机制

张 良, 吴宝利, 王浩正, 王秋懿, 陆 露*

(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300074)

摘 要 【目的】在我国新建排水设施建设强度逐步放缓的背景下,面向排水系统全过程管控需求,本文旨在解决现有排水系统管理中规划、建设与运行维护分段割裂、协同不足的问题,研究数字化支撑下的全过程管控机制,为排水系统精细化治理与韧性提升提供支撑。【方法】本文系统梳理我国排水系统管理模式的演进特征及阶段性规律,归纳设施建设与规模扩张、排查诊断与提质增效、数字化全过程管控3个发展阶段的核心特征,并结合国外资产管理实践经验,分析排水系统数字化全过程管控面临的核心困境,并提出相应对策及实施路径。【结果】数据基础薄弱、业务协同不足、投资统筹不足和制度标准不完善,是制约排水系统数字化全过程管控落地的主要因素;围绕上述问题,本文提出了统一数据体系、协同治理机制、系统性顶层设计、综合服务主体培育、制度标准与评价体系完善以及数字化管控系统建设等对策,明确了各对策的实施要点与相互关联;并形成“摸清底数-诊断评估-方案制定-工程实施-运行优化-评估反馈”的实施路径,推动排水系统实现由被动运维向主动管控的转型。【结论】本文明确了排水系统数字化全过程管控的关键着力点和实施方向,可为排水系统提质增效、风险防控及韧性城市建设提供理论依据与实践参考。

关键词 排水系统; 全过程; 数字化管控; 提质增效; 韧性城市

中图分类号: TU992 文献标志码: A 文章编号: 1009-0177(2026)06-0140-08

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2026.06.016

Lifecycle Digital Management Mechanism of Urban Drainage Systems at home

Zhang Liang, Wu Baoli, Wang Haozheng, Wang Qiuyi, Lu Lu*

(North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co., Ltd., Tianjin 300074, China)

Abstract [Objective] In the context of the gradual slowdown in the construction of new drainage facilities at home, this paper focuses on the demand for lifecycle management of drainage systems. Aiming at the fragmentation and insufficient coordination among planning, construction, and operation and maintenance in existing management practices, it explores a digital-supported lifecycle management mechanism to provide theoretical support for refined governance and resilience enhancement of drainage systems. [Methods] This paper systematically reviewed the evolution of drainage system management models at home, summarizing the core characteristics of three developmental stages: facility construction and scale expansion, inspection-based diagnosis and quality improvement, and digital lifecycle management and control. Drawing on international asset management practices, the key challenges in implementing digital lifecycle management were identified, and corresponding countermeasures and implementation pathways were proposed. [Results] Weak data foundations, insufficient business coordination, inadequate investment integration, and deficiencies in institutional and technical standards were identified as the main factors constraining the implementation of digital lifecycle management of drainage systems. In response to these issues, this paper proposed countermeasures including the establishment of a

[收稿日期] 2026-02-09

[基金项目] 国家重点研发计划(2022YFC3203204);中国市政工程华北设计研究总院有限公司科研课题(2024-67-ZHSW)

[作者简介] 张良(1988—),男,主要从事水务监测技术与应用等工作,E-mail:378566066@qq.com。

[通信作者] 陆露(1989—),女,主要从事水务系统智慧化管控技术等工作,E-mail:289794018@qq.com。

unified data system, collaborative governance mechanisms, systematic top-level design, cultivation of implementation entities, improvement of institutional standards and evaluation systems, and the development of digital management and control systems, with the key implementation priorities and interrelationships among these countermeasures clarified. An implementation pathway of “baseline identification-diagnostic assessment-scheme formulation-project implementation-operation optimization-evaluation and feedback” was further formulated, driving the transition of drainage systems from passive operation and maintenance to proactive management and control. [**Conclusion**] This paper clarifies the key focus areas and implementation directions of digital lifecycle management for drainage systems, and provides theoretical support and practical references for improving the efficiency and effectiveness of drainage system, risk prevention, and resilient city development.

Keywords drainage system; lifecycle; digital management; quality and efficiency improvement; resilient city

随着我国城镇化进程由增量扩张转向存量优化与质量提升^[1],排水系统建设模式也在发生变化。以规划、设计、建设、运维等分段推进、相互割裂的传统管理模式,已难以适应系统安全运行、精细治理和可持续发展的要求。现实中,内涝频发、管网塌陷、合流制溢流、高水位运行、污水处理设施低负荷等问题交织叠加,反映出排水系统在全过程协同管理、信息共享等方面存在短板。

国家层面高度重视城市基础设施全过程管理。《关于推进城市基础设施生命线安全工程的指导意见》《关于推进新型城市基础设施建设打造韧性城市的意见》(以下简称《韧性城市》)等政策文件,均强化排水设施全过程管理与数字化支撑能力。地方层面也积极探索排水设施全过程质量管控路径,如南京市发布《关于加强新建建筑室外排水设施全生命周期质量管理工作的实施意见》,云南省征求《严格城镇排水管网工程建设全生命周期质量管理工作意见》意见。

在此背景下,如何打破排水系统规划、建设与运维之间的信息壁垒,推动各阶段协同衔接,成为提升系统治理能力与运行效率的关键问题。本文在梳理国内外排水系统管理发展趋势的基础上,分析我国排水系统数字化全过程管控面临的主要问题,并提出相应的对策建议与实施路径。

1 国内外排水系统全过程管理的发展趋势与经验借鉴

1.1 我国排水系统管理模式的变化

根据我国排水系统管理实践及相关政策文件演进,可将排水系统管理模式概括为设施建设与规模扩张、排查诊断与提质增效以及数字化全过程管控 3 个阶段。在城镇化快速推进背景下,早期阶段以满足城市基础设施建设需求为主要目

标,工作重点集中于排水管网、泵站及污水处理设施的规划与建设,通过扩大设施规模不断提升收集与处理能力,对系统运行绩效和长期运维管理关注相对有限。

2013 年国务院办公厅印发《关于做好城市排水防涝设施建设工作的通知》,提出全面开展城市排水设施普查和排水防涝规划编制工作,推动排水系统能力评估与问题排查。此后,《城镇排水与污水处理条例》《关于开展城市地下管线普查工作的通知》《城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021 年)》相继实施,各地逐步开展管网排查、检测评估及雨污混接整治等工作,排水系统中长期存在的雨污混接、外水入流入渗、合流制溢流以及管道缺陷等问题逐步被识别并受到重视^[2]。在这一阶段,行业开始由单纯工程建设向问题诊断与运行治理转变,但由于管理主体分散、信息数据割裂,排查诊断成果与后续规划建设和运行管理之间衔接不足,仍难以形成系统协同治理机制。

随着城市安全和韧性要求提升,上述分散管理机制的局限进一步显现。在排查与诊断阶段,成果多停留在报告或手工记录层面,缺乏结构化数据沉淀,难以支撑后续工程决策;规划设计阶段,现状基础数据不完整,设计成果多以图纸形式交付,限制了施工、运维和评估阶段的数据利用;施工阶段动态信息未全面记录,竣工资料不完整,难以真实反映实际工程情况;运维阶段数据采集不系统,预测性维护和智能决策能力不足。

近年来,随着《韧性城市》的出台以及城市生命线工程的推进,城市基础设施数字化转型不断深化。《韧性城市》提出建设地下管网“一张图”体系和基础数据平台,逐步实现市政基础设施运行状况的实时监测、模拟仿真、风险评估和数据分析,推动规划、

建设、运维和管理等环节的信息贯通与协同联动。在此背景下,行业开始探索以数字化技术为支撑的排水系统全过程管控模式,通过整合设施基础数据、

运行监测数据和模型分析工具,支撑排水系统规划决策、工程建设和运行管理的协同优化。不同阶段管理模式特征如表 1 所示。

表 1 我国排水系统管理模式的阶段演进与特征对比

Tab. 1 Comparison of Evolution and Characteristics of Drainage System Management Modes at Home

阶段	管理导向	核心特征	管理对象	关键交付成果	主要局限
设施建设与规模扩张阶段	设施建设	以排水设施建设为重点,主要通过扩大设施规模提升收集与处理能力	单体工程或项目	规划图纸、设计文件、工程量清单	对系统运行绩效关注不足,缺乏运行反馈机制
排查诊断与提质增效阶段	问题识别与整治	通过管网普查、检测评估和系统排查识别雨污混接、外水入渗及设施缺陷等问题,推进排水系统提质增效	局部系统或关键设施	普查成果、检测报告、排查报告、治理方案	各环节数据分散,衔接不足
数字化全过程管控阶段(目标阶段)	系统治理与协同管控	依托数字化平台实现规划、建设、运行与管理数据贯通,通过监测、模型与数据平台支撑系统运行分析与决策	排水系统整体	标准化数据资产、数字化管控平台、持续的优化服务	仍处于探索与推进过程中

1.2 国外实践经验

欧美等发达国家较早开展了以资产管理为核心的排水系统全过程管理实践。以美国为例,美国国家环境保护局(EPA)在水务行业推广资产管理理念,强调通过系统化运维管理,实现排水设施全生命周期成本最优。在此基础上,提出了能力、管理、运行与维护(CMOM)方法。该方法以信息为基础进行优先级决策,通过构建排水设施资产台账,开展风险与状况评估,并实施系统能力保障与持续改进,指导运维活动与投资决策,从而保障基础设施在全生命周期内的稳定运行与资源优化配置,并应用于减少污水管道溢流、削减污水处理厂峰值流量等场景中^[3]。

在资产管理实践中,逐步形成了以状况评估与风险评估为核心的决策方法体系^[4]。前者主要依赖闭路电视(CCTV)检测等技术手段,定量掌握管网结构性和功能性状况;后者则在此基础上,结合设施重要性及故障后果,通过量化风险水平指导维护与更新决策^[5]。随着监管要求提升、数字化水平提高以及传感器的广泛应用,与资产管理相关的数据量持续增长,并推动多源数据的结构化与标准化整合。例如瑞士水协会(VSA)数据模型及荷兰城市水务数据字典,通过构建标准化数据库结构,支撑管网空间属性数据与检测报告、客户投诉及运行维护等多类数据的关联与集成^[4]。在此基础上,管网劣化模型逐步得到广泛应用。相关模型通常基于已检测

管段数据进行建模,对未检测管道当前状态进行估计,并对未来劣化趋势进行预测,从而为短期修复决策及长期投资规划提供支撑^[6]。同时,国际上已形成较为成熟的排水资产管理软件体系。例如英国Innovyze公司开发的InfoAsset系列软件,可集成地理信息系统(GIS)数据、检测数据、水力模型结果及运维管理数据,实现基于数据驱动的维护、修复、改造及更新决策支持^[7]。

上述数据体系与技术工具已在排水资产管理实践中得到应用。例如,理查森市通过融合流量监测、水力模型分析及CCTV检测成果,构建多源数据支撑的风险评估体系,并据此制定资本改善计划(CIP),实现管网修复与更新的优先级排序与科学决策^[8]。

总体来看,国外排水系统管理呈现出由传统设施管理向资产管理、再向数据驱动与精细化管理转型的发展趋势。

1.3 发展方向与启示

综合国内外排水系统管理实践可以看出,排水系统管理正由分散、被动、工程导向的传统模式,逐步向协同、主动和数据驱动的现代管理模式转型。国外以资产管理为核心的CMOM框架,以及基于多源数据与模型分析的决策支持体系,为实现全生命周期优化提供了重要参考;我国则在设施建设、提质增效及数字化转型过程中,逐步强化系统治理与运行管理能力。

总体来看,排水系统管理呈现出以数据贯通为基础、业务协同为关键、决策优化为导向的发展趋势。在此背景下,推动规划、建设与运行等环节的有效衔接,提升数据支撑能力与协同管理水平,已成为实现排水系统精细化治理与韧性提升的重要方向。然而,在实际推进过程中,排水系统全过程管控仍面临多方面制约因素,亟需进一步系统分析其核心问题,并提出针对性的对策与实施路径。

2 排水系统数字化全过程管控的核心困境

2.1 数据基础薄弱

一是设施底数不清。长期以来,我国对排水管网基础信息的系统性收集和规范管理相对滞后。近年来,随着国家持续推进城市排水防涝和污水提质增效工作,各地陆续开展管网普查测绘、市政排水管网地理信息系统建设以及管网排查等工作。但在实践过程中,仍普遍存在管龄信息缺失,以及管材、标高、井深等关键属性信息不完整或存在偏差等问题^[9]。排查过程中发现的雨污管道混接、错接等问题,往往未能及时反馈并更新至管网数据库,管网修复和改造后的数据也缺乏动态更新机制。此外,泵站、污水处理厂等设施信息未与管网统一管理,排水户相关 GIS 数据尚未纳入统一管理,制约了外水溯源和整体系统分析能力。上述问题叠加,导致后续规划、设计、模型分析及运维决策缺乏可信的数据基础。

二是设施运行状况掌握不足。尽管部分城市已开展管网检测、在线监测与水力模型建设等工作,但相关动态运行数据往往分散于不同业务系统,未能有效汇聚并融合至管网地理信息系统,导致运行信息与设施空间属性信息相互割裂,难以支撑后续运维和改造决策。例如,管网检测成果未能及时更新至管网 GIS^[10],监测数据及模型模拟得到的负荷分布和风险判断结果也难以与空间设施信息有效关联。同时,管网光纤监测以及泵站设备振动、轴温等关键运行参数尚未形成系统化采集和长期积累,预测性维护和风险预警能力不足,设施长期处于潜在风险状态,隐患往往以突发事件的形式集中暴露。

2.2 业务协同不足

一是协同机制不健全。当前,排水系统相关工作通常由不同专业单位分工承担,其中前期排查和诊断多由第三方技术服务单位实施,规划设计由设

计院负责,施工由施工单位实施,运行维护则由排水企业或专业运维团队承担。各主体在合同关系、考核目标和工作周期上相互独立,缺乏以系统运行效果为导向的协同机制,导致各阶段成果更多服务于本环节任务完成,难以在规划、设计、建设和运维之间形成连续衔接和协同发力,制约了系统性解决方案的形成。此外,建设主体多元,例如市管、区管及小区管网分别由不同部门管理,信息难以统一汇集^[11]。

二是业务与信息化系统融合不足。在实际应用中,管网地理信息系统、监测平台、水力模型等信息化系统多作为辅助工具存在,尚未形成对规划设计、工程建设和运行管理等核心业务的系统性支撑机制。如模型分析和诊断成果往往停留在技术论证或专题报告层面,难以直接转化为可实施的设计方案、工程项目清单或运行调度策略。各类系统之间协同不足,其综合价值和整体效能未能充分发挥。

2.3 投资统筹不足

一是投资与运维统筹不足。在财政约束趋紧背景下,多数城市主要依靠专项债、中央财政资金等渠道推进排水设施更新改造,但缺乏基于系统诊断和全过程视角的工程策划机制,项目策划仍以管段改造、泵站新建等单体工程为基本单元,缺乏跨片区、跨系统的统筹安排。在部分地区仍然存在重复建设、反复开挖等问题,未能形成覆盖全系统的成体系项目库和滚动实施计划,项目之间关联性不足,难以围绕系统瓶颈集中发力,制约了投资效益的整体发挥。同时,受地方运维经费紧张和管理方式相对粗放影响,日常检测、评估及小规模修复等运维资金有限,部分内容被迫纳入城市更新或中央财政支持项目中申报。此类做法虽短期缓解资金压力,但难以形成长期、稳定的运维投入机制,反而加剧了项目实施的碎片化。

二是项目绩效评价缺失。当前项目论证和绩效评价主要关注投资规模、工程量完成情况和建设进度,对设施投运后的运行效果、系统风险改善程度和长期运维绩效关注相对不足,尚未建立涵盖关键指标的量化评价体系,如故障率、塌管率、合流制溢流量、内涝风险管控水平,以及基于排查、检测和监测的管网负荷率、管网健康指数等。评价结果难以反向约束项目选择和资金投向,无法形成“以评促建、以效定投”的良性机制,全过程管控缺乏有效的市

场和绩效引导。

2.4 制度标准缺失

一是制度机制不健全。在竣工测绘、成果移交、数据入库和动态更新等关键环节,尚未形成统一、强制的制度要求,对数字化成果要求、质量要求和责任主体界定不明确。许多地方竣工验收未强制要求竣工测绘,大部分仍依赖施工或竣工图纸,相关成果难以直接纳入数字化管理平台。即便完成测绘,测绘成果、设备信息和运行参数也未能有效纳入统一数据库。此外,管网检测、清淤等周期性工作缺乏明确频次要求,难以保障数据和设施状态的长期可靠性。

二是技术标准体系仍有不足。近年来,城市运行管理服务平台相关标准体系逐步建立,如《城市运行管理服务平台数据标准》(CJ/T 545—2021)和《城市运行管理服务平台技术标准》(CJJ/T 312—2021)等,对城市运行监管数据汇聚和平台建设提出了总体要求。但现行标准体系更多面向城市运行管理层面的数据整合,对排水系统诊断评估、工程建设与数字化成果同步交付、运行监测与模型应用以及全过程绩效评价等方面缺乏细化的技术要求和操作指引。不同地区和项目在实施路径、技术路线选择上差异较大,难以形成可复制、可推广的管理模式,制约全过程管控的落地和优化。

3 排水系统数字化全过程管控的对策建议

3.1 构建统一的全过程数据体系

围绕排水设施、管网空间信息、业务管理、运行监测及排水户信息等关键要素,制定统一的数据标准和编码规范,建立覆盖规划、设计、建设、运行和评估等全过程的基础数据库。推动普查、规划设计、施工建设和运维管理等各阶段成果,以标准化、结构化、矢量化形式持续汇入统一数据库,形成准确、动态更新的数据底座,为规划决策、工程实施和运行管理提供可靠依据。在数据管理过程中,应坚持“边排查、边建档、边修复、边更新”^[11]的工作原则,将排查、检测、修复和运维过程中的成果同步纳入数据库,实现数据与实际状态的一致性和可追溯性。

同时,应建立动态运行数据联动机制,将在线监测数据、检测排查成果以及水力模型分析结果等信息与排水设施对象进行关联,实现设施空间属性与运行状态信息的统一管理。当系统识别到水位或流量异常、管道满流运行或疑似雨污混接等运行风险

时,可及时进行预警,并将相关检测、清淤和修复成果同步更新至数据库,形成问题发现、处置和数据更新的闭环管理。此外,可综合应用管网应力光纤、激光三维扫描以及泵站设备振动、轴承温度和电气参数等监测手段,为运行风险识别、设施状态评估以及计划性维护提供数据支撑。

3.2 构建协同治理体系

一是健全统筹协调机制。建立由发展改革、住房城乡建设、水务、城管、财政等部门共同参与的协调机制,统一排水系统规划建设和运行管理要求,统筹市管、区管及小区管网,实现排水设施“一张网”管理,提升整体调控能力。

二是强化纵向贯通与横向协同。纵向贯通规划、建设、运行和维护等环节,强化全过程衔接;横向加强部门之间的信息共享和定期会商,协调解决系统运行中的重点难点问题,推动多专业协同参与系统治理。

三是引入绩效导向的决策机制。将系统运行效果、风险降低水平和运维绩效作为项目决策和资源配置的重要依据,在工程项目实施过程中强化全过程绩效管理。

3.3 强化系统性顶层设计

以流域和排水系统为基本单元,加强排水专项规划与国土空间规划、城市更新行动及重点风险治理工作的统筹衔接。围绕薄弱片区、关键瓶颈和突出风险,系统谋划排水设施建设和更新改造任务,科学确定项目清单和实施时序。通过强化系统性顶层设计,避免以单体工程为主的碎片化实施,推动管网、泵站和污水处理设施的协同布局和集约建设,提升排水系统整体运行效能。

3.4 培育全过程综合服务主体

通过完善市场准入与退出机制,培育能够统筹规划设计、工程实施、运行维护和数字化管理的综合型服务主体。推动市场资源整合,减少低水平重复建设和无序竞争,鼓励具备多专业能力的市场主体承担规划落地、工程实施和长期运维等综合任务。鼓励通过多种合作模式,促进系统诊断、方案设计、工程建设和运行维护等环节的协同联动,为全过程管控提供稳定、专业的实施支撑。

3.5 完善制度标准与评价体系

一是健全制度。将数据更新和设施状态维护纳入排水系统全过程管理的制度框架,明确普查、检

测、监测、施工和运维等各类数据在采集、更新、审核和维护环节的责任主体与工作要求。将数据更新责任嵌入工程建设和运维管理流程,作为项目验收、运维考核和绩效评价的重要依据,推动实现“建成即入库、变更即更新、运行即记录”。同时,建立管网清淤、检测和状态评估的周期性制度要求,明确不同管径、功能和风险等级设施的检测频次与养护标准,推动运维管理由被动抢修向计划性维护、预测性维护转变。通过制度约束与标准引导,保障排水系统基础数据和运行信息持续更新、真实完整和长期可用,为全过程管控提供稳定支撑。

二是制定标准体系。围绕全过程管控需求,系统完善排水系统排查诊断、工程建设和运行调控等环节的技术标准与作业规程,为各阶段工作提供统一、可操作的技术依据。

三是建立绩效评价体系。建立覆盖规划、建设和运行阶段的绩效评价指标体系,重点围绕管网健康水平、设施故障率、塌管率、合流制溢流控制效果、内涝风险管控水平等指标开展量化评价。通过评价结果的反馈应用,形成持续评估与改进的管理机制,为全过程持续优化提供制度保障。

3.6 建设全过程数字化管控系统

为支撑排水系统全过程管控,应建设集数据汇聚、分析评估、运行管控和决策支持于一体的数字化管控系统。现行行业标准《城市运行管理服务平台技术标准》(CJJ/T 312—2021)主要面向城市运行监管和综合管理,侧重多部门数据汇聚与城市运行评价。本研究提出的数字化管控系统则以排水系统治理为核心,重点强化排水设施“诊断-设计-建设-运行-反馈”全过程的数据贯通与业务协同,为排水系统全过程管控提供专业化技术支持。系统架构(图1)包括采集层、传输层、平台层、应用层和用户层。

(1)采集层负责获取排水系统各类原始数据,包括在线监测数据、人工检测与排查成果、测绘数据及运维作业信息等,为系统分析与决策提供基础数据。

(2)传输层通过有线或无线网络,实现监测数据、业务数据和多媒体资料的稳定接入与安全传输,保障数据实时或准实时汇集。

(3)平台层是系统的数据与能力中枢,主要包括数据平台、模型平台和知识平台。数据平台汇集

设施空间与属性、运行监测、业务数据及多媒体资料,形成全过程数据底座。模型平台集成排水水力模型及相关分析模型,为运行仿真、调度分析和方案比选提供技术支撑。知识平台沉淀规划设计、工程建设和运行运维中的经验规则、技术成果和典型案例,为系统诊断和辅助决策提供知识支撑。在此基础上,可构建面向排水业务的智能分析与决策智能体,通过调用各类平台资源,并结合人工智能技术,实现问题自动分析、结果解释和决策建议生成,为应用层提供统一能力支撑。

(4)应用层围绕排水系统全过程管理需求,构建以基础设施管理为基础的数据应用体系,形成覆盖诊断、设计、施工、运行和反馈等环节的业务应用。基础设施管理应用统一承载排水户、管网、泵站和污水厂等基础数据和拓扑关系,为运维管理、分析诊断和辅助决策提供空间与数据基础。诊断阶段对监测异常、运行风险和管网缺陷进行综合分析,辅助判别问题的位置、成因及影响范围,并对排水设施开展资产健康状态评估与分级,为工程治理和运行调整提供决策依据。设计阶段支持工程方案的比选与优化。施工阶段实现进度、质量和投资等信息的动态管理,并将施工成果数据同步更新至数据库,实现设施建成后的及时入库与动态更新。运维阶段以设施安全稳定运行为目标,结合诊断阶段形成的运维决策方案,开展针对性的运维作业,并依托在线监测与模型分析结果,实现运行异常报警、运行优化调度及养护计划调整,为日常运维管理和运行调度提供决策支持。反馈阶段对全过程治理成效进行综合评估,融合模型预测结果与历史运行数据,对排水系统整体健康水平和工程实施成效进行量化分析,识别系统瓶颈和薄弱环节,形成针对性的更新改造建议和运行策略优化方案,并为后续规划调整、工程建设和运行管理提供反馈支撑。

(5)用户层面向管网维护人员、数据分析人员、建模人员、数据处理人员和管理人员等不同角色,支撑多角色协同使用。

通过全过程数字化管控系统建设,可实现排水设施状态的动态感知、风险的提前预警和决策的科学支撑,推动排水系统由被动运维向主动管控转型,为排水系统全过程管控目标的实现提供坚实技术支持。



图 1 排水系统全过程数字化管控系统架构

Fig. 1 Architecture of the Digital Lifecycle Management and Control System for Urban Drainage

4 我国排水系统数字化全过程管控实施路径

当前,我国排水系统已整体进入以存量设施治理和提质增效为主的新阶段,亟需依托数字化手段推动诊断、设计、建设、运维和反馈优化等环节的全过程协同管控。受历史建设标准偏低及长期运行影响,排水管网普遍存在设施老化、功能退化、雨污混接和系统能力不足等问题,亟需通过清淤、检测、修复与系统改造等措施提升整体运行效能。结合全过程管控理念,排水系统数字化全过程管控宜按照“摸清底数-诊断评估-方案制定-工程实施-运行优化-评估反馈”的技术路径分步实施(图 2)。

(1)基础台账梳理与普查建库。系统开展排水管网、泵站、调蓄设施和污水处理厂等排水设施的台账梳理与普查测绘,建立完整、规范的排水系统基础数据库,为后续诊断与决策提供数据基础。

(2)综合排查与系统诊断评估。结合在线监测、管道检测、人工排查等多种手段,对雨污混接、错

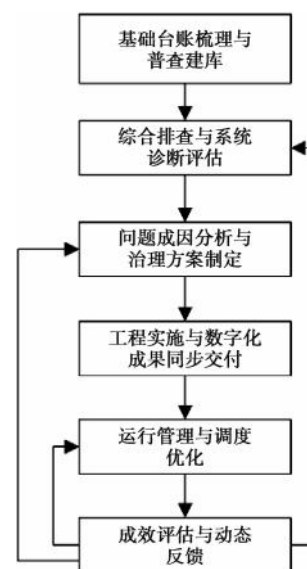


图 2 排水系统数字化全过程管控实施步骤

Fig. 2 Implementation Steps for Digital Lifecycle Management of Drainage Systems

接、外水入流渗透、高水位运行和管网缺陷等问题开展系统排查与诊断。通过模型分析和数据综合评

估,量化识别系统薄弱环节,形成设施健康水平和运行风险的量化评分结果。

(3)问题成因分析与治理方案制定。基于诊断评估结果,系统分析溢流、高水位运行等问题成因,明确治理重点和改造需求。依托健康评分、错接点识别及风险分级结果,分类生成治理优先序和对应的修复、改造及调度优化方案,实现精准施策。

(4)工程实施与数字化成果同步交付。组织实施清淤、修复、改造及相关工程建设,同步完成竣工测绘、检测成果和施工资料的数字化整理,确保工程成果与基础数据库同步更新,实现“建成即入库”。

(5)运行管理与调度优化。在设施投运后,依托监测数据和模型分析开展管网运行管理和调度优化,持续采集运行数据并回写数据库,为设施状态评估和运行决策提供支撑。

(6)成效评估与动态反馈。基于运行数据,对治理成效和系统运行状态开展量化评估,分析设施健康水平变化、风险管控效果和运行绩效,形成评估结论和问题清单。根据评估结果动态调整运维策略,持续优化运行管理;当评估发现系统性问题或新增风险时,重新进入排查诊断和方案优化环节,形成“诊断-治理-运行-评估-再优化”的闭环实施机制。

5 结论

随着我国城镇化发展由增量扩张转向存量优化与质量提升,排水系统建设与管理进入以提质增效和风险防控为核心的新阶段。传统以工程建设为主、分阶段推进的管理模式,已难以支撑排水系统安全运行、精细治理与可持续发展,推动排水系统向全过程管控转型已成为行业发展的必然趋势。

当前我国排水系统在推进全过程管控过程中,仍面临基础数据支撑不足、各阶段协同不畅、投入机制重建设轻运维以及制度与标准约束不足等问题,上述因素共同制约了排水系统系统性治理能力和运行绩效的提升。

针对上述问题,本文围绕全过程管控目标,系统构建了以数据贯通、协同治理和数字化支撑为核心的管控思路,并提出了覆盖规划、建设、运行与评价全过程的实施路径。全过程管控理念的系统落地,有助于提升排水系统运行安全性、治理精细化水平和投资综合效益,可为我国排水系统高质量发展和韧性城市建设提供重要支撑。

参考文献

- [1] 金磊. 迈入城市发展新境界[J]. 北京工业大学学报(社会科学版), 2025, 25(5): 21-28.
Jin B. Entering a new realm of urban development[J]. Journal of Beijing University of Technology(Social Sciences Edition), 2025, 25(5): 21-28.
- [2] 孙永利. 城镇污水处理提质增效的内涵与思路[J]. 中国给水排水, 2020, 36(2): 1-6.
Sun Y L. Connotation and way of quality and efficiency improvement of municipal wastewater treatment[J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(2): 1-6.
- [3] United States Environmental Protection Agency Office of Wastewater Management. Fact sheet—Asset management for sewer collection systems [EB/OL]. (2002-04) [2026-03-18]. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-10/documents/assetmanagement.pdf>.
- [4] Tschekner-Gratl F, Caradot N, Cherqui F, et al. Sewer asset management-state of the art and research needs[J]. Urban Water Journal, 2019, 16(9): 662-675.
- [5] Ghavami S M, Borzooei Z, Maleki J. An effective approach for assessing risk of failure in urban sewer pipelines using a combination of GIS and AHP-DEA [J]. Process Safety and Environmental Protection, 2020, 133: 275 - 285. DOI: 10.1016/j.psep.2019.10.036.
- [6] Kley G, Caradot N. D1. 2. review of sewer deterioration models [R]. Berlin: kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH, 2013.
- [7] Autodesk. Autodesk InfoAsset Manager; Management of water and wastewater infrastructure assets [EB/OL]. [2026-03-18]. <https://www.autodesk.com/products/infoasset-manager/overview>.
- [8] Kawasmi M, Johnson S, Hickey C. Proactive CMOM: Richardson's holistic approach to collection system assessment and asset management [C]//Proceedings of the Water Environment Federation. Alexandria: Water Environment Federation, 2023. DOI: 10.2175/193864718825158987.
- [9] Hajibabaei M, Hesarkazzazi S, Sitzenfrei R. Filling data gaps in urban drainage networks: An automated graph theory framework for data collection and reconstruction [J]. Water Research, 2025, 28: 124272. DOI: 10.1016/j.watres.2025.124272.
- [10] 陆露, 高峰, 郭娟, 等. 排水管网运维管理问题分析与对策研究[J]. 中国给水排水, 2022, 38(2): 8-13.
Lu L, Gao F, Guo J, et al. Problem analysis and countermeasure research for sewer operation and maintenance management [J]. China Water & Wastewater, 2022, 38(2): 8-13.
- [11] 住房和城乡建设部城市建设司. 推进城市生活污水管网全覆盖及厂网一体长效机制建设工作指南[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2025.
Department of Urban Construction, Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Guidelines on advancing full coverage of urban domestic sewage pipeline networks and the establishment of a long-term integrated plant-network management mechanism [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2025.