

市政基础设施建设中智慧运维管理体系构建

李正晖, 肖颖

天津市城市规划设计研究总院有限公司, 天津 300190

DOI:10.61369/ERA.2025090015

摘 要 : 随着城市化进程加速, 市政基础设施规模与复杂度激增, 传统运维模式因组织协同低效、技术应用碎片化等问题难以满足现代管理需求。本文基于组织管理理论与系统工程方法, 构建“组织 – 技术 – 流程 – 制度”四维智慧运维管理体系, 通过跨部门协同机制设计、物联网与大数据技术集成、精细化流程再造及政策标准完善, 实现基础设施全生命周期智能化管理。研究结合深圳前海等典型案例, 验证体系在提升运维效率、降低成本、增强应急能力等方面的有效性, 为新型城镇化背景下市政基础设施智慧化转型提供理论框架与实践路径。

关 键 词 : 市政基础设施; 智慧运维; 管理体系; 组织协同

Construction of Intelligent Operation and Maintenance Management System in Municipal Infrastructure Construction

Li Zhenghui, Xiao Ying

Tianjin Urban Planning and Design Institute Co., Ltd., Tianjin 300190

Abstract : with the acceleration of urbanization, the scale and complexity of municipal infrastructure have surged, and the traditional operation and maintenance mode is difficult to meet the needs of modern management due to problems such as inefficient organization and fragmented technology application. Based on the organization management theory and system engineering method, this paper constructs the "organization technology process system" four-dimensional intelligent operation and maintenance management system, and realizes the intelligent management of infrastructure in the whole life cycle through the design of cross departmental collaborative mechanism, the integration of Internet of things and big data technology, refined process reengineering and the improvement of policy standards. Combined with typical cases such as Shenzhen Qianhai, the study verifies the effectiveness of the system in improving operation and maintenance efficiency, reducing costs, and enhancing emergency response capacity, providing a theoretical framework and practical path for the smart transformation of municipal infrastructure under the background of new urbanization.

Keywords : municipal infrastructure; intelligent operation and maintenance; management system; organizational collaboration

引言

市政基础设施作为城市运行的“生命线”, 其运维管理水平直接影响城市安全、效率与可持续发展能力。据《2023中国城市建设统计年鉴》显示, 我国城市道路、地下管网等基础设施总量已居世界前列, 但传统运维模式仍面临显著挑战: 一方面, 交通、水务、城管等部门条块分割, 跨系统故障处理需协调4–6个部门, 平均响应时间超3小时; 另一方面, 技术应用缺乏顶层设计, 80%的城市存在“信息烟囱”, 传感器覆盖率不足50%, 老旧管网泄漏事故年均发生超2万起。与此同时, 国家“十四五”规划明确要求“推进市政基础设施智慧化改造”, 智慧城市建设对运维管理的精细化、协同化、智能化提出迫切需求。现有研究多聚焦BIM、GIS等单一技术应用, 缺乏对管理体系的系统性整合。本文基于组织管理理论与系统工程方法, 从“组织 – 技术 – 流程 – 制度”四维度切入, 旨在解决传统运维中组织壁垒、数据孤岛、流程低效等核心问题。

一、核心概念界定

（一）市政基础设施

市政基础设施是城市生存与发展的物质基础，指为社会生产和居民生活提供公共服务的各类工程设施的统称，涵盖交通（道路、桥梁、轨道交通）、给排水（供水管道、污水处理厂）、能源（供电网络、燃气系统）、通信（光缆线路、基站设施）及公共服务（照明、环卫、消防）等领域。其核心特征包括：①公益性，作为公共产品承载城市基本服务功能，投资主体以政府为主；②网络性，各子系统通过物理连接或功能协同形成有机整体，如道路管网与给排水管线的空间耦合；③生命周期长，设计使用年限通常达50年以上，需跨越规划、建设、运维、更新全周期管理。本文聚焦交通设施、市政管网（供水、排水、燃气）、公共服务设施三类核心领域，重点研究其在智慧化运维中的共性需求与技术适配路径。

（二）智慧运维管理体系

智慧运维管理体系是以物联网、大数据、人工智能、数字孪生等新一代信息技术为支撑，融合组织管理理论与系统工程方法，对市政基础设施全生命周期进行智能化管理的综合系统。其核心内涵包括：①技术集成，通过传感器网络实现设施状态实时感知，依托数据中台完成多源异构数据融合，运用AI算法实现故障预测与决策优化；②管理重构，打破传统科层制壁垒，建立跨部门协同机制，推动运维模式从“人工经验驱动”向“数据智能驱动”转型；③全周期覆盖，从规划阶段嵌入运维需求，到建设阶段同步部署智能设备，再到运维阶段实施动态监控与预防性维护；④三维度协同，构建“技术层、组织层、制度层”一体化框架，实现技术应用与管理流程的深度适配。该体系以提升运维效率、降低全生命周期成本、增强城市韧性为目标，是新型智慧城市建设的核心组成部分。

二、市政基础设施运维管理现状与问题分析

（一）组织协同不足

市政基础设施运维管理的组织架构，仍受制于传统科层制体系，纵向层级分化与横向部门分割并存，导致协同效能显著不足。交通、水务、能源等职能部门，基于专业分工，形成独立运维单元，缺乏跨领域统筹协调的常设机构，遇有复杂问题时，需通过临时会议或专项工作组协调，决策链条冗长且责任边界模糊。与此同时，政府部门与市场主体之间，存在管理界面割裂，建设阶段侧重工程进度与成本控制，运维阶段聚焦设施运营，二者在技术标准衔接、数据传递、责任追溯等方面，缺乏制度化对接机制，常因信息断层，导致运维需求在规划建设阶段被忽视。公众参与渠道不畅，设施使用反馈，难以有效纳入运维决策体系，组织协同的“政府—企业—公众”三元结构尚未成型，整体呈现出“纵向传导迟滞、横向联动缺失、多元协作缺位”的多重困境。

（二）技术应用碎片化

智慧化技术在市政运维中的应用缺乏系统性顶层设计，呈现

“单点突破有余、全局整合不足”的碎片化特征。各部门基于局部需求，独立部署信息系统，如智慧照明、智慧排水等，技术选型、数据格式与平台架构缺乏统一规范，导致跨系统数据互通率低下，形成物理分散、逻辑隔离的“信息孤岛”。传感器、摄像头等智能设备的部署往往服务于单一业务场景，未从城市级基础设施网络的整体视角进行布局，部分区域重复建设与监测盲区并存，老旧设施智能化改造滞后，技术覆盖呈现“新城区密集、老城区稀疏”的不均衡状态。更关键的是，现有技术应用，多停留在数据采集与可视化层面，缺乏对多源数据，深度挖掘与跨领域关联分析，人工智能、数字孪生等前沿技术，尚未融入运维决策核心流程，技术赋能仅作用于管理环节的“末端优化”。^[1]

（三）流程机制滞后

传统运维管理流程仍以人工干预为核心，智能化手段的嵌入未能根本改变“经验驱动”的决策模式，流程设计与技术发展的适配性显著不足。在监测环节，人工巡检仍是主要故障发现方式，智能设备的实时预警功能，未充分激活，导致问题察觉滞后，部分潜在风险，演变为显性故障；调度环节，依赖人工派单与资源调配，跨部门任务协同，缺乏标准化规则，工单流转效率低下，应急响应时易出现指挥体系混乱；维护环节以“故障后修复”为主导，缺乏基于设施运行数据的健康评估与寿命预测，预防性维护策略，难以精准制定，维修方案的科学性与经济性不足。全生命周期管理链条断裂，规划建设阶段的BIM模型、设备参数等数据，未能有效传递至运维阶段，运维记录的数字化归档与分析应用滞后，无法形成“设计—建设—运维—更新”的闭环管理。

（四）政策标准缺失

市政基础设施智慧运维的制度建设滞后于技术应用需求，政策法规、技术标准与考核体系的不完善构成体系化推进的核心瓶颈。政策层面，现行法律法规如《城市道路管理条例》《城镇排水与污水处理条例》，未充分涵盖智慧化运维的新要求，数据共享的权责边界、跨部门协同的法律依据、公众信息安全保护等关键领域存在制度空白，导致实践中部门间数据交换面临合规性风险。技术标准层面，智能设备接口协议、数据分类编码、平台互操作等，缺乏统一规范，不同厂商的系统与设备兼容性差，形成“技术壁垒”，增加集成成本与后期运维复杂度；国际标准对接不足，国内自主标准体系尚未成熟，制约技术应用的规模化与产业化。考核机制层面，缺乏针对智慧运维的差异化评价指标，传统绩效考核侧重设施完好率、维修及时率等量化指标，对数据应用深度、跨部门协同效率、公众满意度等智慧化维度的考核缺失，难以形成有效的激励约束，导致地方政府与实施主体对智慧运维的投入动力不足^[2]。

三、智慧运维管理体系构建框架

（一）体系目标与原则

以提升市政基础设施运维效率、优化资源配置、增强城市运行韧性为核心目标，旨在通过智慧化手段推动基础设施运维从“被动应急”向“主动预防”、从“经验驱动”向“数据智能驱

动”转型，实现监测、决策、调度、维护全流程的精准化与协同化。体系构建遵循四项原则：一是系统性整合，统筹技术应用、管理流程与制度设计，打破部门壁垒与技术孤岛，形成覆盖规划、建设、运维全生命周期的闭环管理体系；二是协同化运作，建立政府主导、企业参与、公众协同的多元治理模式，强化跨部门、跨层级的资源联动与责任衔接；三是数据化驱动，将数据作为核心生产要素，通过全流程数字化实现设施状态实时感知、风险智能预判与决策科学优化；四是动态化适应，紧跟技术发展趋势与城市需求变化，建立弹性可扩展的管理框架，确保体系长期适配性与持续进化能力。

（二）体系架构设计

1. 组织层：构建协同型管理架构

针对传统科层制下部门分割、协同低效的问题，组织层要以“打破壁垒、明确权责、多元共治”为核心，重构运维管理的组织体系。如设立直属市政府的“智慧运维管理中心”作为跨部门协同枢纽，统筹交通、水务、城管等职能部门的运维资源，制定统一规划、标准与考核体系，消除条块分割导致的管理真空，并下设专项工作组负责重大故障处置、数据共享等事务，实现“一站式”调度指挥；要优化政府部门、建设单位、运维企业的全周期责任链条，建立“运维需求前置审核”制度，要求规划建设阶段必须纳入运维部门意见，同时建立跨部门联席会议制度与《运维协同工作规则》，通过信息化平台实现任务自动流转与进度追踪；要通过政府购买服务、PPP模式引入专业运维企业，签订全生命周期服务合同，推动运维服务市场化，并搭建市民报障APP等公众参与平台，形成“政府主导、企业主力、公众参与”的协同治理格局；实施“智慧运维人才培育计划”，建立数字化运维人才认证体系，通过高校联合培养、在职技术培训等方式，提升人员跨部门协作能力与技术应用水平，打造复合型管理团队^[3]。

2. 技术层：打造智能化技术底座

技术层要以“全域感知、数据贯通、智能驱动”为导向，构建覆盖“感知-网络-平台”的立体化技术支撑体系。要制定《市政设施智能化改造导则》，分阶段对道路、管网、公共设施部署激光雷达、压力变送器、视频摄像头等智能传感器，实现设施运行状态（如流量、压力、温湿度）的实时采集与老旧设施智能化改造，同步构建城市级基础设施数据库作为统一数据中台，打通GIS、BIM、IoT等多源数据接口，通过数据清洗、治理与可视化形成“设施数字档案”，支撑跨部门数据共享与深度分析；要深化人工智能、数字孪生等技术应用，运用机器学习算法建立设施故障预测模型，实现潜在风险提前预警，构建城市级基础设施数字孪生体以实时仿真运行状态、辅助应急演练，开发“一键式”智能决策支持系统，基于AI算法自动匹配维修资源、优化调度路径，实现工单派发与处置流程自动化，推动技术应用从数据采集向智能决策的核心流程渗透。

3. 流程层：设计精细化管理流程

流程层要以“精准监测、高效处置、闭环管理”为目标，重构覆盖监测、调度、维护的全链条管理流程。建立“实时感知-智能研判-分级预警”机制，通过传感器高频次数据采集与平台

阈值自动比对，触发黄色/红色预警后分别在规定时间内推送至责任主体并生成初步处置方案；要开发跨部门协同调度平台，集成GIS地图与资源数据库，实现故障位置自动定位、维修队伍智能匹配、物资装备动态调配，构建高效响应的“应急调度圈”；要推行“标准化+智能化”维护执行模式，通过AR眼镜提供远程技术指导，运用区块链技术记录维护过程，维修完成后自动采集设施运行数据进行效果验证，不合格项自动触发二次派单，同时打通规划、建设、运维阶段数据链路，将设计参数、施工记录、运维档案纳入统一管理平台，形成“发现问题-处置-反馈-改进”的全生命周期闭环，实现从“故障后修复”向“预防性维护”的模式转变，提升运维流程的科学性与精细化水平。

4. 制度层：完善保障性政策体系

制度层要以“法治保障、标准引领、考核驱动”为核心，构建智慧运维的制度支撑网络。要推动出台《城市市政基础设施智慧运维管理条例》等顶层政策，明确部门协同职责、数据共享规则、安全责任边界，将智慧运维纳入政府绩效考核体系，为跨部门协同与数据流通提供法律依据；要健全技术标准体系，制定《智慧运维数据接口标准》《智能设备部署规范》《安全防护技术指南》等系列标准，统一设备协议、数据编码与平台架构，引导企业技术选型与系统开发，提升技术应用的兼容性与规模化水平；创新考核评价机制，建立“技术应用+协同效率+公众满意度”三维考核指标体系，将数据利用率、跨部门流程办结率、市民报障响应速度等纳入考核，考核结果与部门预算、企业服务费用挂钩，形成有效的激励约束；要强化安全与伦理治理，制定《运维数据安全管理办法》，采用区块链技术实现数据溯源与隐私保护，建立网络安全应急预案并定期开展攻防演练，防范技术滥用与数据泄露风险，确保智慧运维体系安全、合规、可持续运行^[4]。

四、案例分析

（一）案例背景

深圳前海作为粤港澳大湾区深度融合发展的核心引擎，承载着高密度城市建设与高效能治理的双重使命。区域内聚集了超200公里地下综合管廊、150公里智慧道路、500余座智能桥梁及复杂立体交通系统，基础设施规模与复杂度远超传统城区。然而，传统运维模式下，交通、水务、城管等部门各自为政，跨系统故障需协调4-6个部门，平均响应时间超3小时，且老旧管网监测覆盖率不足40%，2020年前海片区年均发生管网泄漏事故32起，暴露出组织协同低效、技术应用碎片化等突出问题。随着《前海深港现代服务业合作区总体规划》对智慧城市建设的明确要求，构建适应高密度城区的智慧运维管理体系成为破解治理难题的关键路径。

（二）实施措施

深圳前海以“组织-技术-流程-制度”四维体系为框架，开展系统性改革：组织层设立直属前海管理局的“智慧运维指挥中心”，统筹8个部门的运维资源，建立跨部门联席会议制度与《协同工作手册》，明确故障处置“责任清单”与“响应时限”，

形成“中枢调度+专项小组”的扁平化指挥架构；技术层投资12亿元实施“全域感知工程”，部署3.2万套智能传感器覆盖管廊、道路、桥梁，搭建融合GIS、BIM、IoT数据的城市级数据中台，开发基础设施数字孪生系统，实现设施状态1:1实时映射与故障模拟推演；流程层重构“监测预警-智能派单-协同处置-效果评估”全流程，建立三级预警机制，通过AI算法自动匹配维修队伍与物资，运用区块链技术记录维护过程，形成“问题发现-解决-归档”闭环；制度层出台《前海市政基础设施智慧运维管理办法》，明确数据共享权责、安全规范及考核指标，将跨部门协同效率、数据利用率纳入部门绩效考核，配套建立企业运维服务质量“红黑名单”制度。

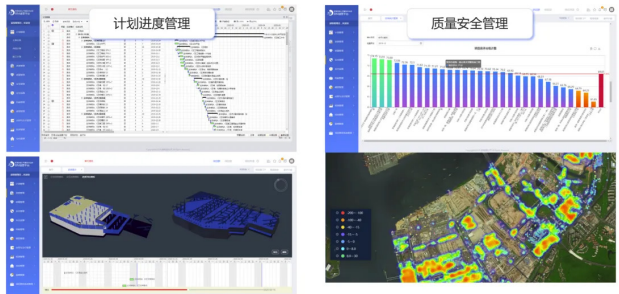


图1 城市级 BIM 应用实践

（三）管理效果

经过3年实践，前海智慧运维体系成效显著：跨部门故障响应时间从3.5小时压缩至45分钟，工单流转效率提升70%，2024年重大事故联合处置耗时较试点前缩短60%，实现“一图统览、一

键调度”的高效指挥；设施智能化监测覆盖率达98%，数字孪生系统提前72小时预警桥梁结构病害、管网泄漏等风险，预警准确率超85%，2024年管网泄漏事故率同比下降48%，预防性维护比例从15%提升至55%；全生命周期运维成本降低30%，人工巡检频次下降60%，应急物资库存周转率提升40%，同时通过公众报障APP实现“市民吹哨、部门报到”，市民满意度从72%提升至91%。深圳前海的实践验证了四维体系在破解高密度城区运维难题中的有效性，其“组织重构破壁垒、技术集成强感知、流程再造提效率、制度保障促长效”的经验，为新型城镇化背景下基础设施智慧化转型提供了可复制的标杆范式^[5]。

五、结论

本文构建的“组织-技术-流程-制度”四维智慧运维管理体系，通过跨部门协同架构设计、智能化技术集成、精细化流程再造及政策标准完善，系统性破解了传统市政基础设施运维的组织壁垒、技术碎片化与流程低效问题。深圳前海等案例表明，该体系可显著提升运维效率、降低全生命周期成本，为智慧城市建设提供了可复制的管理范式。未来研究可进一步拓展至欠发达地区适应性分析，深化数字孪生、区块链等技术与运维管理的融合应用，助力城市治理体系向更高效、更智能、更可持续的方向演进。

参考文献

[1] 王琪, 吴泽昆, 郭琦, 等. 组织管理视角下市政交通基础设施智慧化运维管理平台构建研究——以深圳湾超级总部基地片区基础设施项目为例 [J]. 建筑经济, 2025, 46(04): 42-51.
[2] 郑森, 胡锦荣. 探索城市化背景下排水管网智慧运维的实现新路径 [J]. 中国建设信息化, 2025, (03): 62-65.
[3] 周俊羽, 马智亮. 建筑与市政公用设施智慧运维综述 [C]. 中国图学会建筑信息模型 (BIM) 专业委员会. 第八届全国 BIM 学术会议论文集. 清华大学土木工程系, 2022: 413-420.
[4] Bentley. 服务基础设施智慧运维 [J]. 中国公路, 2019, (01): 85-86.
[5] 朱俊韬. 城市地下综合管廊智慧运维及应急指挥系统研发 [J]. 长江信息通信, 2024, 37(10): 137-140.