

# 城市更新行动中老旧市政管道 BIM 数字化改造关键技术

张明敏<sup>1</sup>, 黄方<sup>2</sup>, 王爽<sup>3</sup>

1. 新疆交通职业技术学院, 新疆 乌鲁木齐 830000

2. 海军工程大学, 湖北 武汉 430033

3. 北京跨世纪软件技术有限公司, 北京 100080

DOI:10.61369/ERA.2025070014

**摘要：** 本文聚焦老旧市政管道，系统阐述 BIM 数字化改造技术在老旧市政管道更新中的应用与实施路径。通过关键技术的协同应用，实现从“物理管网现状还原—设计施工智能优化—全生命周期动态管理”的全流程赋能。结合典型工程案例，验证 BIM 技术在提升改造效率、降低成本、强化安全管理等方面的显著成效，为城市更新中地下管网的可持续治理提供技术参考与实践范式。

**关键词：** 城市更新；老旧市政管道；BIM 技术；数字化改造

## Key Technologies of BIM Digital Transformation for Old Municipal Pipelines in Urban Renewal Actions

Zhang Mingmin<sup>1</sup>, Huang Fang<sup>2</sup>, Wang Shuang<sup>3</sup>

1.Xinjiang Vocational & Technical College of Communications, Urumqi, Xinjiang 830000

2.Naval University of Engineering, Wuhan, Hubei 430033

3.Beijing Kuashiji Software Technology Co., Ltd. Beijing 100080

**Abstract：** This article focuses on old municipal pipelines and systematically explains the application and implementation path of BIM digital transformation technology in the renewal of old municipal pipelines. Through the collaborative application of key technologies, the entire process from "restoration of the current state of physical pipe networks – intelligent optimization of design and construction – dynamic management of the entire lifecycle" is empowered. Combined with typical engineering cases, the significant effects of BIM technology in improving renovation efficiency, reducing costs, and strengthening safety management are verified, providing technical references and practical paradigms for the sustainable management of underground pipe networks in urban renewal.

**Keywords：** urban renewal; old municipal pipelines; BIM technology; digital transformation

## 引言

地下市政管道承载着供水、排水、燃气、通信等关键功能，但其老化问题已成为城市安全运行的重大隐患。传统“人工勘测+二维设计+开挖修复”的改造模式难以满足城市更新对“精准化、智能化、可持续化”的要求，亟需技术革新突破治理瓶颈。建筑信息模型（BIM）技术以其三维可视化、全流程协同、数据全生命周期管理的特性，为老旧市政管道改造提供了全新解决方案。

## 一、相关概述

### （一）城市更新背景与意义

在城镇化率突破 65% 的当下，我国超 600 个城市正经历从“增量扩张”到“存量优化”的转型，城市更新已经成为破解老城区基础设施老化、空间利用低效等问题的核心手段。住建部数据显示，全国需改造的 2000 年底前建成老旧小区超 16 万个，涉及管网长度超 80 万公里，《“十四五”城乡社区服务体系建设规划》更将“实施老化管网改造”列为重点任务。城市更新行动

不仅是应对年均超 3 万起管道泄漏事故、百亿元直接经济损失的安全保卫战，更是通过地下管网智能化升级撬动海绵城市建设、智慧水务发展的战略支点。雨污分流改造可使污水处理效率提升 30% 以上，而 BIM 数字化管理则能将应急响应时间缩短 50%。

### （二）老旧市政管道现状与问题

我国在 20 世纪 80 年代城市化初期，建造了大量市政排水管道。经过近 40 年的运行，管道在渗漏、承压方面，已不能满足当前的城市需求。随着地上建筑规模日益扩大，旧有的管道位置被覆盖，管道图纸也因年久而缺失，导致管道埋设位置通常不可探

查，管线错综复杂也给开挖修复带来了巨大困难<sup>[1]</sup>。建于上世纪八九十年代的铸铁管道腐蚀率普遍超 30%，某省会城市检测显示直径 300 毫米以上管道泄漏点密度达每公里 1.2 处；雨污合流管网占比超 60% 的老片区每逢暴雨便因排水能力不足引发内涝，如 2022 年某城市内涝导致 150 处道路塌陷，直接经济损失超 2 亿元。更严峻的是管理层面的“数据断层”，超半数管道无电子档案，维修人员常因图纸缺失或坐标偏差（误差普遍超 5 米）被迫“盲目开挖”<sup>[2]</sup>。传统“发现问题 - 开挖修复”的被动模式，不仅导致单公里改造成本高达 500-800 万元、施工周期长达 7-10 天，更因反复破路引发市民投诉率年均增长 18%，成为城市治理的痛点。

### （三）BIM 数字化改造的必要性与优势

当传统改造模式陷入“高成本、低效率、重扰民”的困境，BIM 技术以其三维可视化、全流程协同、数据可追溯的特性成为破局关键。在深圳某老旧小区改造中，通过激光雷达扫描与 BIM 建模精准识别出 237 处管线交叉冲突，提前优化设计减少 1.2 万立方米开挖量，工期缩短 45 天；上海某综合管廊项目则通过 BIM+GIS 融合平台，将供水、燃气、通信等多权属单位数据集成于同一模型，施工阶段碰撞检测率提升至 92%，现场变更率降低 40%<sup>[3]</sup>。更深层的价值体现在运维环节，北京试点项目将 BIM 模型与压力传感器、CCTV 检测数据联动，实现管道健康状态实时预警，故障定位精度从“百米级”提升至“米级”，维护成本降低 35%。这种从“经验驱动”到“数据驱动”的变革，不仅让地下管网从“看不见的隐患”变为“可感知、可管理的资产”，更通过全生命周期数据沉淀，为未来 5G 智能监测、AI 泄漏预测等技术应用奠定基础，真正实现“改造一次、管用百年”的可持续目标<sup>[4]</sup>。

## 二、BIM 技术概述

### （一）定义与特点

建筑信息模型（BIM）作为智能建造的核心技术，本质是通过参数化建模与全生命周期数据集成构建物理实体的数字化镜像，突破了传统二维图纸的信息碎片化局限。在市政管道改造场景中，BIM 可将激光雷达扫描获取的管道坐标（精度达  $\pm 5$  厘米）、探地雷达识别的材质分布（区分混凝土、铸铁等 7 类管材）、历史维修记录等多元数据，整合为包含 100+ 属性字段的三维动态模型，使隐蔽管网从“不可见”变为“可计算、可模拟”的数字资产。其可视化交互让设计团队可通过 VR 设备“沉浸式”巡查地下管线，提前发现 90% 以上的空间冲突；协同管理平台支持供水、燃气等 8 个权属单位同时在线标注需求，文件传递效率提升 60%；仿真模拟功能可预演管道改造对周边土体应力的影响，将施工风险降低 55%<sup>[5]</sup>。这种“数据驱动决策”的模式，正在重塑市政工程从勘测到运维的全链条逻辑。

### （二）在市政工程中的应用现状

在市政工程领域，BIM 技术已从试验性应用迈向规模化推广阶段。自住建部《市政公用工程信息技术应用标准》实施以来，

全国超 50 个城市在地下综合管廊、老旧管网改造中设立 BIM 示范项目。广州利用倾斜摄影与 BIM 融合技术，仅用 2 周时间完成某老城区 15 公里雨污管网的现状建模，效率较传统人工勘测提升 10 倍；杭州某亚运配套项目通过 BIM 碰撞检测发现 198 处管线交叉隐患，避免了因设计错漏导致的 260 万元返工损失；成都天府新区将 BIM 模型与燃气管网监测系统对接，实现压力异常的 15 分钟级预警响应，较人工巡检效率提升 8 倍<sup>[6]</sup>。但整体来看，我国市政工程 BIM 应用率仍不足 40%，老旧管道改造场景因存在数据缺失（超 60% 无电子档案）、权属复杂（平均涉及 5 个以上管理单位）、改造工艺多样等特殊特性，技术渗透率滞后于房建领域，亟需针对性解决方案。

### （三）与城市更新的结合点

城市更新对老旧管网改造提出“精准、协同、长效”需求，与 BIM 技术形成深度供需匹配。针对老城区管道“无图可依”的痛点，BIM 通过多源勘测技术构建精度达毫米级的现状模型，南京某建于 1930 年代的街区，通过 BIM 建模还原出埋藏深度达 8 米的砖砌下水道网络，为定制非开挖修复方案提供关键依据；在改造实施阶段，BIM 平台成为多元主体协同的“数字沙盘”，西安某改造片区涉及 4 家管线单位，基于同一模型协商路由调整方案，将传统需 3 个月的冲突解决周期压缩至 10 天；在运维环节，BIM 模型沉淀的检测数据形成动态健康档案，郑州试点项目据此将管道维护计划制定效率提升 50%，全生命周期管理成本降低 28%<sup>[7]</sup>。这种从“应急式修补”到“预防性养护”的转变，本质是通过 BIM 技术将城市更新的短期改造行为转化为可传承的数字化资产积累过程，为未来接入 AI 泄漏预测、5G 智能监测等前沿技术预留数据接口，推动地下管网管理向“智慧化、主动化”跃迁。

## 三、BIM 数字化改造关键技术

### （一）数据采集与处理

数据采集与处理技术是改造的基础环节，需突破老旧管道“隐蔽性强、数据残缺”的瓶颈。激光雷达（LiDAR）与探地雷达（GPR）的组合应用成为主流方案，车载 LiDAR 可在 2 小时内完成 10 公里道路下管道的三维坐标扫描（精度达  $\pm 5$  厘米），而 GPR 通过电磁脉冲识别管道材质（区分混凝土、铸铁等 7 类管材）与缺陷类型<sup>[8]</sup>。某试点项目利用该技术在 3 天内完成传统需 2 周的 2000 米管道勘测，效率提升 70%。采集数据经点云降噪、格式转换与拓扑校验后，通过 ETL 工具集成至 BIM 平台，形成包含管径、埋深、服役年限等 80+ 属性的原始数据集，为后续建模提供“数字底图”。

### （二）BIM 模型构建

BIM 模型构建技术需解决老旧管道“几何形态不规则、空间关系复杂”的建模难题，采用“正向设计 + 逆向建模”协同模式，对于有档案记录的管道，基于 CAD 图纸进行参数化建模（误差控制在 2% 以内）；对于无资料的“黑箱”管道，通过摄影测量与 BIM 软件逆向生成实体模型<sup>[9]</sup>。某建于 1950 年代的街区管

网通过该技术还原出管径从 DN150 到 DN1200 的变径管道群，模型与实测数据吻合度达 95%。针对多权属管线交叉问题，引入“分层建模—动态剖切”技术，在同一模型中清晰展现排水管道（深 8 米）、燃气管（深 3 米）、通信管（深 1.5 米）的空间关系，为冲突分析提供直观载体。

（三）模型信息管理与共享

模型信息管理与共享技术是破解“信息孤岛”的关键，基于区块链技术搭建去中心化协同平台，可实现政府、管线单位、施工企业等 7 类参与方的数据分权管理。权属单位可加密上传管道压力监测数据，施工方获取经脱敏的空间坐标用于路由规划，而监管部门实时追踪改造进度。杭州某改造项目通过该平台整合 12 家单位的历史数据，碰撞检测效率提升至每日处理 5000+ 管线节点，较传统邮件沟通模式缩短协同周期 60%<sup>[10]</sup>。轻量化技术则保障了移动端的实时访问，现场工程师可通过 AR 眼镜调取管道模型，指导非开挖修复的精准定位，误差控制在 10 厘米以内。

（四）模拟分析与优化

模拟分析与优化技术贯穿改造全周期，是提升工程效能的核心要点。在设计阶段利用 BIM 内嵌的 FlowMaster 软件模拟暴雨径流，通过调整管道坡度与增设调蓄池，可使易涝片区内涝风险降低 65%；施工前的 4D 进度模拟（3D 模型+时间维度）可预演机械作业冲突，深圳某项目通过模拟发现顶管施工与地铁隧道水平净距不足 5 米的风险，提前调整路由避免损失超 800 万元；运维阶段的健康评估模型基于管道腐蚀速率、水流速等数据，通过 BP 神经网络算法预测泄漏概率，北京试点项目据此将预防性维护

计划准确率提升至 82%，较传统经验判断减少 30% 的无效巡检。

（五）施工过程管理与监控

施工过程管理与监控技术实现了从“粗放施工”到“数字管控”的升级，基于 BIM 模型生成预制化构件加工图，某项目通过工厂预制减少现场焊接量 40%，工期缩短 25 天；施工现场部署的北斗定位设备（精度达厘米级）实时追踪机械位置，与 BIM 模型对比形成“偏差预警—方案调整”闭环，广州某顶管工程利用该技术将轴线偏差控制在 3 厘米以内，优于规范要求的 5 厘米标准；无人机巡检（每日 2 次航测）生成的施工进度模型与计划模型自动比对，某改造工程据此发现支管连接滞后问题，及时调配资源避免窝工损失约 150 万元。

四、结束语

老旧市政管道的 BIM 数字化改造不仅是一项技术工程，更是推动城市治理体系和治理能力现代化的重要实践。通过 BIM 技术对地下管网全生命周期数据的深度整合与智能应用，传统改造模式中“数据断层、协同低效、运维被动”的顽疾得到系统性破解。随着《智能建造与建筑工业化协同发展指导意见》等政策的深入实施，BIM 技术与物联网、云计算、人工智能的深度融合将成为常态。老旧市政管道的数字化改造也将从单一项目应用迈向全域数据治理，最终实现地下管网“一张图管理、一平台决策、全周期养护”的智慧化目标。

参考文献

[1] 薛峰, 吕峰, 李婷, 等. 市政排水管道数字探测开挖机器臂修复技术 [J]. 施工技术 (中英文), 2023, 52(01): 44-47+118.

[2] 黄启武. 老旧市政燃气管道改造方案探讨 [C]//《煤气与热力》杂志社有限公司. 中国燃气运营与安全研讨会 (第十三届) 论文集 (上册). 南宁中燃城市燃气发展有限公司, 2024: 877-879.DOI: 10.26914/c.cnkihy.2024.064653.

[3] 金军, 张超. 旧城区市政排水管道设计存在的问题及优化措施研究 [J]. 工程技术研究, 2022, 7(15): 188-190.DOI: 10.19537/j.cnki.2096-2789.2022.15.061.

[4] 鲁雪利. 浅谈市政给排水管道的设计现状及相关优化措施 [J]. 内蒙古科技与经济, 2021, (15): 108-109.

[5] 李保怀. 关于对城市老旧街区市政排水管道施工的探讨 [J]. 科技与企业, 2015, (04): 179.DOI: 10.13751/j.cnki.kjyqy.2015.04.170.

[6] 战明松, 刘冲, 孙华跃. 供需适配视角下的城市更新策划运行系统构建 [J]. 南方建筑, 2024, (12): 24-32.

[7] 李磊祚, 鲍元飞, 韩海, 等. 老旧燃气管道不停输改造设计 [J]. 煤气与热力, 2024, 44(10): 1-4.DOI: 10.13608/j.cnki.1000-4416.2024.10.015.

[8] 邱汛, 赵晓乐. 关于推动老旧中压燃气管道更新改造工作的相关措施及建议——基于深圳市改造案例 [C]//《煤气与热力》杂志社有限公司. 中国燃气运营与安全研讨会 (第十三届) 论文集 (下册). 深圳市燃气集团股份有限公司, 2024: 168-172.DOI: 10.26914/c.cnkihy.2024.069761.

[9] 朱先均, 罗利. 老旧城区排水管道地箭式微顶管技术应用研究——以武汉市老城区改造为例 [J]. 科技和产业, 2024, 24(08): 263-269.

[10] 本刊通讯员. 海南 2024 年计划更新改造燃气老旧管道 700km [J]. 城市燃气, 2024, (04): 49.