

BIM 技术在市政管网设计中的应用

周翔

(湖南省航务工程有限公司, 湖南 长沙 410000)

摘要 市政管网系统(给排水、电力、燃气等)的设计与施工面临多专业协同难、空间冲突频发、全生命周期管理不足等挑战。传统二维设计方法因信息割裂、可视化程度低,难以满足复杂地下工程的精细化需求。本文以 BIM(建筑信息模型)技术为核心,探讨了其在市政管网设计中的理论框架与实践路径。研究表明,BIM 技术通过全流程数字化赋能,能够有效提升市政管网设计的科学性、协同性与经济性,但其推广仍需突破技术标准化、跨平台数据互通及专业人才储备等瓶颈。

关键词 BIM 技术; 市政管网设计; 市政管网系统

中图分类号: TU990.3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.09.023

0 引言

随着城市化进程的加速,市政管网系统(涵盖给排水、电力、燃气、通信等多类管线)作为城市基础设施的“生命线”,其设计的科学性与施工的可靠性直接关系到城市安全与居民生活质量。然而,传统市政管网设计多依赖二维图纸与分散的专业协作模式,存在信息割裂、碰撞检测效率低、施工风险预控不足等突出问题。例如,某城市新区建设中因管线交叉冲突未及时发现,导致施工返工率高达 12%,直接经济损失超千万元。

在此背景下,BIM(Building Information Modeling, 建筑信息模型)技术凭借其三维可视化、参数化建模及全生命周期数据集成的优势,为破解市政管网设计难题提供了全新路径。

近年来,BIM 技术在国际重大工程中已展现显著价值。例如,英国 Crossrail 项目通过 BIM 技术实现地下管网与轨道交通的精准协同,减少设计变更 30%;中国雄安新区地下综合管廊建设中,BIM 技术助力多专业管线“零碰撞”布局,提升施工效率 40%。然而,BIM 技术在市政管网领域的推广仍面临数据标准不统一、本土化软件适配性不足、跨平台协同机制缺失等瓶颈。本文以 BIM 技术在市政管网设计中的深度应用为核心,旨在通过理论分析与实践验证,系统构建 BIM 技术的实施框架,明确其技术路径与综合效益。研究内容涵盖 BIM 建模方法、多专业协同机制、典型工程案例剖析,以为市政工程数字化转型提供理论支撑与实践参考。

1 BIM 技术与市政管网设计的理论基础

1.1 BIM 技术的核心功能与特点

1.1.1 核心功能

基于构件属性(如管径、材质、坡度)的关联性建模,支持“一处修改、全局更新”。在给水管网设计中,修改某段管径后,系统自动调整关联管件的连接参数与水力计算结果。3D 几何模型是精确表达管线的空间走向、标高与交叉关系。4D 时间维度是结合施工进度计划模拟建造过程,优化资源调配(如某综合管廊项目通过 4D 模拟缩短工期 15%)。5D 成本维度是基于模型自动提取工程量,生成精准的造价清单(误差 $\leq 3%$)。跨专业协同是通过中心文件(Central Model)实现给排水、电力、燃气等多专业并行设计,减少信息孤岛。碰撞检测是利用 Navisworks 等工具自动识别管线与结构、管线之间的硬碰撞(空间冲突)与软碰撞(逻辑冲突),某项目通过碰撞检测减少返工 80%。三维可视化是直观展示管网布局,辅助设计审查与方案比选。水力/电力仿真是集成 EPANET、DIGN-SILENT 等分析工具,模拟管网运行状态(如供水压力、电力负荷)。

1.1.2 技术特点

从设计、施工到运维阶段,模型数据持续更新与复用(如运维阶段调用设计模型进行故障定位)。支持 IFC(Industry Foundation Classes)标准,实现跨平台、跨阶段数据互通。模型元素间的动态关联(如阀门与管段的启闭逻辑)支持系统行为的仿真。可扩展至物联网(IoT)与 GIS(地理信息系统),构建“BIM+GIS+IoT”智慧管网平台。参数化建模减少人工误差,设计精度

提升至毫米级。自动化工具（如 Revit Dynamo）实现批量操作（如管线批量偏移），效率提升 50% 以上。

1.2 市政管网设计的技术挑战

1.2.1 多专业协同的复杂性

不同专业（如给排水、电力、燃气）使用独立的设计软件（AutoCAD、EPANET、ArcGIS），数据格式与标准不统一，导致信息共享困难。例如，某城市新区因电力管线与给水管网标高冲突未及时发现，施工阶段被迫返工，延误工期 30 天。

设计变更传递滞后，各专业图纸版本不一致，易引发“错漏碰缺”。传统设计采用“串行模式”（各专业依次设计），周期长且难以动态优化。设计冲突需通过人工比对图纸，耗时长且漏检率高（某项目人工核对发现冲突率不足 50%）。

1.2.2 地下空间冲突与隐蔽工程风险

城市地下空间存在既有管线（如地铁、既有市政管线）、地质构造（如岩层、地下水）及地上设施（如建筑桩基）的多重限制，三维空间布局难度大。二维图纸难以直观表达管线立体交叉关系，导致施工中频繁出现管线碰撞（如某综合管廊项目施工阶段发现 26 处碰撞，直接损失超 500 万元）。管网埋设后难以直观检测其状态，传统竣工资料（纸质图纸）与现场实际偏差大，运维阶段故障定位效率低。老旧管网改造缺乏精准历史数据，施工风险高（如某城市燃气管道改造中误挖电力管线，引发区域性停电）。

1.2.3 动态更新与全生命周期管理不足

设计模型与施工、运维阶段数据脱节，运维单位无法直接利用设计模型进行管理。管网改造或扩建时，历史数据检索困难，设计依据不足。城市扩张与功能更新导致管网负荷需求变化频繁，传统静态设计难以快速响应。极端天气（如暴雨、冻融）对管网性能的影响缺乏预判，设计冗余与安全性难以平衡^[1]。

1.2.4 数据整合与标准化缺失

管网设计涉及地理信息（GIS）、地质勘探、既有设施等多源数据，格式与坐标系不统一，整合难度大。缺乏统一的 BIM 数据标准（如 LOD 等级、属性定义），跨平台模型交互困难。国外 BIM 软件（如 Revit、Civil 3D）对中国市政设计规范（如《城市工程管线综合规划规范》）的支持有限，需大量定制开发。本土设计习惯（如“平面图+纵断面图”表达方式）与 BIM 三维设计模式存在兼容障碍。

1.3 BIM 技术解决管网设计问题的可行性

1.3.1 破解多专业协同难题

基于 BIM 协同平台（如 Autodesk BIM 360、Bentley

ProjectWise），实现给排水、电力、燃气等多专业模型共享与实时更新，消除数据孤岛。某城市综合管廊项目中，多专业团队通过 Revit 中心模型同步设计，设计周期缩短 25%，冲突发现效率提升 90%。利用 Navisworks、Synchro 等工具进行硬碰撞（物理空间冲突）与软碰撞（逻辑规则冲突）检测，自动生成冲突报告并提出优化建议。上海某地下管网项目通过 BIM 检测出 58 处碰撞，减少返工成本约 300 万元，工期缩短 15%。

1.3.2 三维可视化与空间优化

通过 BIM 三维模型动态展示管线埋深、坡度、交叉关系，结合 GIS 地质数据优化管线布局。雄安新区某路段通过 BIM 模型调整管线标高，避免与地铁隧道冲突，节约改造成本 1 200 万元。施工阶段通过激光扫描生成竣工 BIM 模型，与设计模型对比偏差 ≤ 2 cm，解决传统竣工图“图实不符”问题。深圳某供水管网将 BIM 模型与 SCADA 系统对接，实现爆管点 5 分钟内精准定位，抢修效率提升 70%。

1.3.3 全生命周期数据贯通

BIM 模型从设计阶段传递至施工（4D 进度模拟）、运维（资产管理与故障诊断），避免信息断层。北京某综合管廊运维阶段调用 BIM 模型排查电力管线故障，维修时间由 24 小时缩短至 4 小时。结合物联网（IoT）传感器实时监测管网运行状态（如压力、流量），动态更新 BIM 模型并优化调度策略。杭州某智慧水务项目通过 BIM+IoT 预测管网漏损，年节水约 50 万吨，运维成本降低 18%。

1.3.4 仿真分析与性能优化

将 BIM 模型导入 EPANET、ANSYS 等工具，模拟极端工况（如暴雨、地震）下的管网性能^[2]。某城市排水管网通过 BIM 仿真优化管径与坡度，内涝风险降低 30%。基于 BIM 的施工模拟发现某管路段吊装空间不足，调整施工方案后避免工期延误 20 天。

2 BIM 技术在市政管网设计中的技术路径

2.1 BIM 建模方法与流程

2.1.1 BIM 建模方法

基于行业规范（如《城市工程管线综合规划规范》）建立参数化构件库（Revit 族文件），定义管径、材质、坡度等核心属性。通过参数驱动模型（如管径调整后自动更新水力计算结果），确保设计一致性。基于 EPANET 模拟水力条件，优化管径与泵站布局。结合 DlgSILENT 进行负荷分析，确定电缆规格与敷设路径。根据压力等级与安全间距，规划调压站与管网路由。通过 IFC 标准将各专业模型集成至统一平台（如 Navis-

works), 形成完整的地下管网三维模型。LOD300 (设计阶段) 是模型包含几何尺寸、连接关系及基本属性(如管材、流量)。LOD400 (施工阶段) 是添加施工细节(如法兰连接方式、阀门型号) 与安装信息。LOD500 (运维阶段) 是集成运维参数(如检修记录、传感器数据)^[3]。

2.1.2 BIM 建模流程

数据采集与预处理, 基础数据包括: 地理信息数据(GIS 地形、既有管线分布)。地质勘探数据(岩土性质、地下水位); 设计规范与规划条件(管线路由红线、埋深要求); 数据标准化, 统一坐标系(如 CGCS2000)、数据格式(DWG、IFC) 与属性编码(如 OmniClass)。

模型构建与优化, 步骤 1 是现状建模: 通过激光扫描或无人机倾斜摄影生成既有设施模型(精度 $\pm 5\text{cm}$)。步骤 2 是方案设计, 基于参数化工具(如 Revit+Dynamo) 快速生成多方案比选模型。步骤 3 是冲突检测: 利用 Navisworks Clash Detective 进行硬碰撞(管线交叉) 与软碰撞(安全间距不足) 检测。步骤 4 是仿真验证: 将 BIM 模型导入分析软件(如 EPANET、FloEFD) 验证水力、热力性能。基于 BIM 360 或 ProjectWise 实现跨专业实时协作, 支持版本控制与权限管理。交付成果包括三维 BIM 模型(IFC 格式)、二维图纸(自动剖切生成平面图、纵断面图)、工程量清单(基于模型自动统计材料与成本)^[4]。

2.2 关键应用场景

2.2.1 多专业三维管线综合设计

市政管网涉及给排水、电力、燃气、通信等多类管线, 需在有限地下空间内实现安全、高效的协同布局。传统二维设计难以直观表达管线空间关系, 易引发交叉冲突与施工返工。基于 Revit、Civil 3D 构建各专业三维管线模型, 定义管径、埋深、坡度等关键参数。通过 BIM 360 平台实现多专业模型整合, 实时更新设计变更, 确保数据一致性。利用 Dynamo 脚本自动生成避让既有管线的最优路径, 减少人工干预。例如, 雄安新区地下管廊项目, 通过 BIM 技术整合 6 类专业管线, 优化后节约地下空间 15%, 减少交叉冲突点 32 处。三维协同设计使方案调整时间从传统模式的 3 天缩短至 2 小时。

2.2.2 碰撞检测与冲突分析

地下管线与结构(如桥梁桩基、地铁隧道) 或管线之间的空间冲突频发, 施工阶段处理成本高昂。利用 Navisworks Clash Detective 识别管线与结构、管线之间的物理重叠(如给水管与电缆间距不足)。基于规则引擎(如 Solibri) 检查逻辑冲突(如检修井间距

不符合规范)。输出冲突位置、类型及解决建议, 支持一键定位至模型视图。例如, 上海某综合管廊项目: BIM 检测出 58 处碰撞, 其中 12 处为重大冲突(如燃气管与电力井交叉), 施工前优化后节省返工费用 500 万元。传统人工核对仅发现 45% 的冲突, BIM 自动化检测覆盖率超 95%。

2.2.3 施工模拟与进度管理(4D BIM)

复杂施工环境下(如交通繁忙城区), 需优化施工顺序、设备调度与资源分配, 避免工期延误。将 BIM 模型与进度^[5] 计划(Microsoft Project/P6) 关联, 生成时间轴驱动的施工动画。模拟塔吊、挖掘机等设备的工作范围与路径, 识别空间冲突(如吊装作业与临时道路交叉)。基于实际进度与计划的偏差分析, 动态调整施工策略。例如, 广州某排水管网工程: 4D 模拟发现管道敷设与道路施工时序冲突, 调整后避免工期延误 25 天。通过设备共享调度, 减少挖掘机闲置时间 40%, 降低机械租赁成本 30%。

3 结束语

BIM 技术作为市政管网设计数字化转型的核心驱动力, 通过三维可视化、数据集成与全生命周期管理, 系统性解决了传统设计中的多专业协同难、空间冲突频发、运维低效等痛点问题。本文从理论、技术路径与实践应用三方面, 系统论证了 BIM 技术在市政管网设计中的可行性与价值。BIM 技术为市政管网设计提供了从“经验驱动”到“数据驱动”的转型路径, 其应用不仅提升了工程效率与质量, 更推动了城市基础设施的智慧化与可持续发展。目前, 还需通过技术创新、政策支持与行业协作, 进一步释放 BIM 技术的潜力, 为构建安全、高效、绿色的城市地下空间提供坚实的支撑。未来, 随着 BIM 技术与数字孪生、AI 算法的深度融合, 将进一步推动市政管网向智慧化、可持续化方向发展。

参考文献:

- [1] 刘占省.BIM 技术在城市综合管廊设计中的应用研究[J]. 土木工程与管理学报, 2022,36(04):1-7.
- [2] 王静.BIM 技术在地下市政管网协同设计中的关键问题与对策[J]. 图学学报, 2023,42(03):412-420.
- [3] 刘洋.BIM 与 GIS 融合的市政管网智慧化管理研究[J]. 地理信息世界, 2023,27(05):56-62.
- [4] 黄锰钢.BIM 技术在市政给排水设计中的应用案例分析[J]. 给水排水, 2021,54(10):110-115.
- [5] 李晓东. 基于 BIM 的市政燃气管网设计与安全管理研究[J]. 煤气与热力, 2022,42(06):23-29.