

# 智慧市政背景下光缆传输管道的数字化建模与运维管理平台构建

王斌 何山

中国联合网络通信集团有限公司北京市分公司，北京，100038；

**摘要：**光缆传输管道是智慧市政的核心通信基础设施，其管理效率直接影响市政数据传输与智慧应用落地。在智慧市政背景下，传统人工管理模式已难以应对管道分布广、运维难度大、数据更新滞后等问题。本文围绕光缆传输管道的数字化升级展开，先明确智慧市政对管道建模与运维的核心需求；再针对性设计涵盖数据采集、模型构建、精度优化的数字化建模方案；最后从功能模块、技术架构、安全保障三方面，搭建适配智慧市政的运维管理平台，实现管道管理“可视化、智能化、高效化”，为智慧市政通信基础设施的稳定运行提供支撑。

**关键词：**智慧市政；光缆传输管道；数字化建模；运维管理平台；可视化管理

**DOI：**10.69979/3041-0673.26.03.004

## 引言

当前智慧市政建设持续深化，交通调度、环境监测、民生服务等各类智慧应用，均依赖光缆传输管道实现高速、稳定的数据传输。光缆传输管道的完好性与运维效率，直接决定智慧市政体系的运行稳定性。传统管理模式已难以适配需求，需构建新型管理体系：通过数字化建模将管道实体信息转化为数字资产，依托专属运维管理平台，实现管道从建设到维修的全生命周期管控。这一模式，是破解传统管理痛点、满足智慧市政发展需求的核心路径。

## 1 智慧市政对光缆传输管道建模与运维的核心需求

### 1.1 建模层面：精准化与关联化需求

数字化建模的核心目标，是“精准还原管道实体、整合关联信息”，为后续运维提供可靠数据支撑。一方面，需精准还原管道实体属性，不仅要明确管道的位置、埋深、管径、材质等基础参数，还需精准标注管道接头、阀门、检修井等关键构件的规格与位置，确保数字模型与实体管道完全匹配，无参数偏差。另一方面，需实现多维度信息关联，将管道数字模型与其他市政设施（地下水管、燃气管及地面道路、路灯底座等）的数字信息关联绑定；同时对接智慧市政核心数据平台，整合管道周边交通流量、近期施工计划等动态信息，规避后续管道维修与其他市政工程的冲突风险。

### 1.2 运维层面：实时化与智能化需求

管道运维需从“人为主导、事后维修”转向“实时监控、事前预警”，重点满足三项需求。一是实时状态监控，通过技术手段实时掌握管道运行情况，包括管道是否破损、周边施工是否造成影响、内部光缆数据传输是否正常，确保隐患及时发现，避免问题扩大化。二是智能决策支持，管道出现异常后，系统需自动分析异常成因、影响范围，并输出具体解决方案，如精准定位故障点、规划维修人员最优路线，无需人工逐一研判，缩短问题处置时间。三是跨部门联动配合，管道运维需与市政应急、交通管理等部门高效协同，例如管道突发破损需紧急维修时，系统可自动向交通部门推送维修时间、地点及工期，便于交通部门提前规划临时绕行路线并告知市民，降低对民生生活的影响。

### 1.3 数据层面：标准化与共享化需求

数据是建模与运维的核心载体，需满足两项关键需求以充分发挥价值。一方面，数据格式需统一，明确管道数据的采集规范、存储格式及标注标准，避免因格式混乱导致模型无法对接智慧市政其他平台，或运维数据难以整合分析，形成“数据孤岛”。另一方面，数据需实现共享，将管道的模型数据、运维记录、故障信息等开放至智慧市政核心数据平台，同时允许运维团队、施工单位、监管部门根据权限调取所需数据，无需跨部门反复协调索要，提升协同效率。

## 2 智慧市政背景下光缆传输管道的数字化建模方案

## 2.1 多源数据采集：全面获取管道信息

数据采集的核心是“采全、采准”，通过“现场勘测+历史数据整合+动态数据补充”三种方式，从管道实体参数、过往记录、实时状态三个维度，全面获取信息，弥补单一采集方式的局限。一是现场勘测采集，依托专业设备开展实地测量，弥补历史数据可能存在的偏差与遗漏，分为外部勘测与内部勘测两部分。外部勘测方面，采用地下管线探测仪精准测量管道的经纬度位置、埋深、管径，同步记录管道走向、材质及铺设方式；通过三维激光扫描仪扫描管道接头、阀门、检修井等关键构件，获取其位置、规格及外观状态数据。内部勘测方面，针对人员无法进入的地下管道，采用管道机器人（CCTV）开展检测，机器人搭载高清摄像头与传感器，可拍摄管道内壁影像，同时检测内壁破损、锈蚀情况及内部光缆运行状态，确保管道内部信息无遗漏。二是整合历史数据，将管道过往档案及周边市政设施信息转化为标准化数字数据，丰富建模数据源。首先，对管道历史档案进行数字化处理，将纸质建设图纸、验收报告、维修记录，及电子台账（Excel 参数表、Word 巡检报告）按统一标准转化为数字数据，明确管道建设时间、施工单位、过往故障次数及运维责任主体。其次，从智慧市政数据平台调取管道周边地下水管、燃气管、电力管的数字信息，及地面道路规划图、周边建筑位置数据，与现场勘测获取的管道数据整合，明确管道与其他市政设施的空间位置关系。三是补充动态数据，通过部署传感器实现管道实时运行数据的持续采集，弥补静态数据（如管道基础参数、历史档案）无法反映实时状态的局限，为模型动态更新与风险提前预警提供数据支撑。具体部署策略为：在管道周边施工高频区域（如道路改造、建筑施工区域），安装振动传感器，实时监测施工设备振动强度与频率，精准判断振动是否对管道结构造成影响；在地下管道的检修井、接头等关键构件处，部署压力传感器与温湿度传感器，实时采集管道内部压力、周边环境温湿度数据，通过数据变化研判管道是否存在破损、锈蚀风险。

## 2.2 三维数字模型构建：精准还原与关联整合

三维数字模型构建需围绕“还原实体管道、整合多维信息、适配智慧平台”三大目标，分三步推进，实现模型与实体、模型与其他系统的高效协同。首先，构建基础三维模型，依托现场勘测获取的精准参数，采用专业三维建模软件，按 1:1 比例搭建管道主体模型。建模

过程中需精准还原核心要素：管道的管径、走向、埋深需与实体完全一致；接头、阀门、检修井等关键构件需按实际规格与位置建模，并标注构件型号、材质等基础信息；管道内部光缆需按实际敷设路径与位置建模，确保模型完整还原管道“主体+构件+内部光缆”的全结构，实现与实体管道的无偏差匹配。其次，叠加整合多维信息，将管道的属性信息与关联信息转化为标准化“属性标签”，与模型对应位置绑定，实现“模型可视化+信息可查询”的联动效果。例如，点击模型中某段管道，可实时调取其建设时间、材质、过往维修记录等属性信息；点击某一检修井，可查看其深度、运维责任主体、最近巡检时间等详情；同时，将管道周边道路施工计划、实时交通流量等动态信息，也以标签形式关联至模型对应区域，实现查看模型时同步掌握周边环境情况，为后续运维决策提供全面参考。最后，完成模型与智慧平台的适配对接，依据智慧市政核心数据平台的标准，调整模型数据格式，搭建标准化数据接口，确保管道三维模型可直接导入智慧市政平台，与其他市政设施模型实现联动管理。

## 2.3 模型精度优化：保障数据可靠性

为确保数字模型始终与实体管道一致，需通过“多维度数据校验+动态更新机制”，持续优化模型精度，避免模型与实体脱节。一方面，开展多维度数据校验，采用“现场复核+交叉验证”双方式，核查采集数据与模型的准确性。现场复核：选取管道关键节点（如长距离管道中段、多构件交汇点），到实地重新勘测，将实测数据与模型数据逐一比对，对偏差数据及时修正，确保模型参数精准；交叉验证：将光缆传输管道模型与周边地下管线（水管、燃气管、电力管）模型叠加，核查是否存在空间位置冲突（如管道重叠、间距不达标），确保模型空间位置的准确性，规避后续施工风险。另一方面，建立模型动态更新机制，采用“定期更新+实时更新”相结合的模式，保障模型与管道实体状态同步。定期更新：每月依据管道运维记录（如维修部位、更换构件、巡检结果），更新模型中的属性信息，确保模型反映管道最新运维状态；实时更新：当管道周边开展市政施工、或管道发生故障并修复后，立即更新模型的实体状态（如管道修复部位参数）与关联信息（如周边施工区域标注），确保模型始终与实体管道、周边环境保持一致。

### 3 智慧市政背景下光缆传输管道运维管理平台构建

#### 3.1 核心功能模块设计：覆盖运维全流程

平台设计五大核心功能模块，形成“实时监控—智能预警—故障处置—协同联动—数据复盘”的运维闭环，确保运维各环节高效衔接。一是可视化监控模块，以三维数字模型为基础，实时展示管道的空间分布、运行状态及周边环境，支持模型放大、缩小、旋转查看；点击模型任意节点，可实时调取该节点的基础参数、实时监控数据（如压力、温湿度）及现场画面（如检修井内部影像），实现“足不出户掌握管道全貌”，减少现场巡检频次。二是智能预警模块，依托传感器实时采集的数据与模型关联信息，通过预设算法自动分析风险（如施工振动超标、管道压力异常、温湿度异常）。三是故障处置模块，接收故障预警或人工报修后，系统自动依据模型定位故障点，结合运维人员实时位置、周边维修设备分布，智能规划最优维修路线，生成包含故障详情、处置要求的任务单，自动派发给对应运维人员；全程跟踪任务进度，运维人员可通过移动端实时更新“前往现场”“处置中”“已修复”等状态，确保故障处置高效推进。四是协同联动模块，与市政应急、交通管理等部门的系统实现数据对接与功能联动；当管道维修需跨部门配合（如紧急维修需临时封路）时，系统自动向相关部门推送维修时间、地点、工期及配合需求，实时同步配合进展，无需人工跨部门反复沟通，降低协同成本。

#### 3.2 技术架构搭建：保障平台稳定运行

采用“分层架构+云边协同”的设计模式，确保平台具备高稳定性、可扩展性与低延迟性，适配智慧市政多场景运维需求。一是分层架构设计，将平台划分为四层，各层职责明确、协同运转，实现数据采集至应用落地的全流程支撑。感知层：由振动传感器、压力传感器、管道机器人、高清摄像头等设备组成，负责采集管道实时运行数据、周边环境数据及现场影像数据；传输层：采用光纤与5G混合传输方式，大流量、高实时性数据（如高清影像、传感器高频数据）通过光纤传输，布线难度大的区域（如偏远路段管道）通过5G传输，确保数据安全、高效上传；平台层：依托云计算技术处理海量数据，采用多类型数据库（如关系型数据库存储表格

数据、视频数据库存储影像数据）分类存储数据，同时集成智能算法，实现风险自动分析、维修路线智能规划、模型动态更新等核心功能。二是云边协同优化，在管道密集区域（如市政核心区、商业集中区）部署边缘计算节点，将实时监控数据处理、本地风险预警、现场故障初步研判等低延迟需求的工作交由边缘节点执行，减少数据传输至云端的延迟，提升应急响应速度；云端负责存储长期运维数据、开展全区域运维数据分析（如跨区域故障统计、整体运维成本核算）、协调跨区域运维任务，实现“本地响应高效、全局管理精准”的协同效果。

#### 3.3 安全保障体系：保护数据与平台安全

围绕“数据安全+平台安全”构建全方位保障体系，防止核心数据泄露、平台运行中断，为智慧市政稳定运行提供支撑。一是数据安全保障，实现数据全生命周期加密防护：数据采集阶段，传感器与传输链路采用加密协议，防止数据被截取；数据传输阶段，通过SSL/TLS加密技术保障数据传输安全；数据存储阶段，采用加密存储方式，同时按角色（运维人员、监管人员、管理人员）划分精细化访问权限，杜绝越权访问；定期开展数据备份（含本地备份与异地备份），防止数据丢失或损坏后无法恢复。二是平台安全保障，构建“防御+检测+应急”的安全闭环：部署防火墙、入侵检测系统，抵御外部网络攻击（如恶意入侵、病毒攻击）；定期开展平台安全漏洞扫描与系统版本升级，及时修复安全隐患；建立平台应急响应机制，若平台出现故障或遭遇攻击，可立即切换至备用系统，确保运维工作不中断，同时启动故障溯源流程，明确问题成因并制定整改措施，降低安全风险。

#### 参考文献

- [1] 宋坤桃, 王艳超. 绿色建筑智能化监控平台的研究——数字孪生技术的应用[J]. 智能建筑与智慧城市, 2024, (11): 86-88.
- [2] 张伟荣, 谢健丰. 基于数字孪生平台的建筑能源设备系统运维课程建设[J]. 高教学刊, 2024, 10(33): 9-12.
- [3] 蔡宇凌, 杨署, 沈新为. 大型既有建筑改造设计的数字化技术路径探索[J]. 土木建筑工程信息技术, 2024, 16(05): 131-135.