

# 城市更新背景下地下管线普查方法与实践

辛曙光

武汉科岛地理信息工程有限公司 湖北 武汉 430080

**摘要：**本文探讨城市更新背景下地下管线普查方法与实践。随着城市化进程加速，传统普查方法存在技术适用性有限、数据更新滞后、管理碎片化等问题。为此，文章提出多技术融合探测方法，如电磁感应法优化、地质雷达法突破等，并针对特殊场景提出非开挖和深埋管线探测技术。同时，强调普查数据全生命周期管理的重要性，包括规划、普查、存储、应用和维护更新等阶段。面对城市更新带来的数据动态性和多部门协同等挑战，需采取“施工即更新”模式、建立统一管理平台等对策。

**关键词：**城市更新；地下管线普查；多技术融合；动态管理；智慧平台

## 1 引言

随着城市化进程加速，城市地下管线密度已从2000年的每平方公里0.5公里增至2025年的3.2公里，形成“蛛网式”分布格局。然而，传统普查方法存在三大痛点：一是单一技术适用性有限，如电磁感应法在金属管线密集区易产生信号干扰；二是数据更新滞后，老旧城区管线年变更率达8%-12%，但普查周期普遍超过5年；三是管理碎片化，全国仅32%的城市建立了管线信息共享平台。本文以城市更新为背景，聚焦普查技术创新与管理模式变革，通过实证分析提出系统性解决方案。

## 2 地下管线普查技术体系重构

### 2.1 多技术融合探测方法

#### 2.1.1 电磁感应法优化

电磁感应法是探测金属管线的常用方法，其基本原理是通过发射机向地下发射交变电流，在金属管线中产生感应电流，进而产生二次磁场，接收机通过接收二次磁场信号来确定管线的位置和埋深。然而，在管线平行密集区，邻近管线的信号会相互干扰，影响探测精度。为解决这一问题，可采用“水平压线+垂直压线”组合技术。在管线平行密集区，将发射机平卧于目标管线上方，通过水平偶极子发射信号，由于水平偶极子的磁场方向垂直于管线走向，能够有效抑制邻近管线的信号干扰，突出目标管线的信号特征<sup>[1]</sup>。在交叉节点处，直立发射机利用垂直偶极子发射信号，垂直偶极子的磁场方向平行于管线走向，可增强目标信号的强度，提高探测的准确性。

#### 2.1.2 地质雷达法突破

地质雷达法是一种利用高频电磁波探测地下介质分布的非破坏性探测方法。它通过发射天线向地下发射高频电磁波，当电磁波遇到不同电性介质的分界面时，会

发生反射和折射，接收天线接收反射波信号，并根据反射波的旅行时间、振幅和波形等特征，推断地下介质的结构和埋深。然而，传统地质雷达法在数据处理和解释方面存在一定难度，对探测人员的专业素质要求较高。为提高地质雷达法的探测效率和准确性，可开发“多频段雷达阵列+深度学习解译”技术。采用100MHz-1GHz可变频率天线，根据不同埋深和材质的管线选择合适的频率进行探测。低频天线穿透能力强，适用于探测深埋管线；高频天线分辨率高，适用于探测浅埋和非金属管线。同时，构建包含50万组样本的雷达图像数据库，通过卷积神经网络（CNN）自动识别管线材质、直径及埋深。CNN具有强大的特征提取和分类能力，能够对雷达图像中的管线特征进行自动学习和识别，大大提高了数据处理的效率和准确性。

#### 2.1.3 示踪电磁法创新

示踪电磁法主要用于探测预埋空管，其原理是将具有磁性的示踪物注入空管中，然后通过磁力仪检测示踪物的磁场信号，从而确定空管的位置和走向。传统的示踪电磁法存在示踪物分布不均匀、检测距离有限等问题，影响了探测效果。为克服这些问题，可研发“磁性示踪球+无人机磁测”系统。将直径2cm的钕铁硼示踪球注入管线，钕铁硼示踪球具有强磁性，能够在管线中均匀分布，且磁场信号稳定。通过无人机搭载的高精度磁力仪定位示踪球轨迹，无人机具有飞行灵活、覆盖范围广等优点，能够快速、高效地完成大面积的探测任务。

### 2.2 特殊场景探测技术

#### 2.2.1 非开挖管线探测

非开挖管线施工技术在城市地下管线建设中得到了广泛应用，但非开挖管线的探测难度较大。传统的探测方法往往难以准确确定管线的三维轨迹，尤其是在渐变

段,管线的弯曲程度较大,探测误差更容易产生。为解决非开挖管线探测难题,可建立“设计资料反演+渐变模型修正”方法。首先收集水平定向钻进施工参数,如钻头的入土点、出土点、弯曲半径等,根据这些参数构建管线三维轨迹模型<sup>[2]</sup>。然后结合现场实测数据,采用卡尔曼滤波算法动态修正模型误差。卡尔曼滤波算法是一种递归的估计方法,能够根据新的测量数据不断更新模型参数,提高模型的准确性。

### 2.2.2 深埋管线探测

随着城市的发展,地下管线的埋深不断增加,一些重要的供水、排水、燃气等管线埋深可达数米甚至数十米。传统的探测方法在探测深埋管线时,往往受到信号衰减、地质条件复杂等因素的影响,探测效果不佳。为提高深埋管线的探测能力,可开发“长导线双端连接+大功率发射”技术。在管线出露点两端连接50米铜导线,形成闭合电流回路,减少信号在传输过程中的损耗。采用10kW发射机增强信号强度,使探测深度突破8米。大功率发射机能够产生更强的电磁场,提高信号的穿透能力,从而探测到更深埋的管线。

## 3 普查数据全生命周期管理

### 3.1 规划阶段:需求导向的数据设计

#### 3.1.1 明确数据精度要求

根据项目的具体性质和特点,确定与之匹配的数据精度。以武汉轨道交通建设为例,由于其施工环境复杂、对地下空间利用要求高,需要精确掌握管线的三维坐标以及材质信息,以确保施工过程中不会对管线造成破坏,保障施工安全和后续运营的稳定性。而旧城改造项目则可能更侧重于了解管线的权属归属和老化程度,以便在改造过程中合理规划、更换老化管线,避免产权纠纷。

#### 3.1.2 统一数据标准

统一的数据标准是跨部门协作的坚实基础。在规划阶段,需制定一套全面、细致的数据规范,涵盖数据格式(如常见的GIS、BIM格式)、坐标系的选择、分类编码(明确电力、通信、给排水等不同类型管线的编码规则)以及属性字段的设置等方面。只有统一标准,才能避免因各部门数据格式和规范不一致而导致的数据整合困难,提高数据共享和利用的效率。

#### 3.1.3 合理技术选型

技术选型要综合考虑效率与成本因素。在复杂地质区域,如岩石层较厚或地下水位较高的地区,单一的探测技术可能无法准确获取管线信息,此时可采用地质雷达与惯性定位仪联合探测的方式,充分发挥两种技术的

优势,提高探测的准确性和可靠性。而在开阔区域,如城市郊区或新建园区,移动测绘系统能够快速、高效地获取大面积的管线数据,降低探测成本和时间成本。

### 3.2 普查阶段:数据采集与整合

#### 3.2.1 解决数据矛盾

历史档案、权属单位提供的数据与现场探测数据之间常常存在矛盾。例如,垫江县燃气管线在普查过程中发现,档案记录的某路段铸铁管实际已被PVC管替换。对于此类偏差,需要通过开挖抽检或先进的物探技术进行修正。开挖抽检虽然能够直接获取准确的管线信息,但成本较高、对城市交通和居民生活影响较大;物探技术则具有非破坏性、高效性等优点,但需要专业的技术人员进行操作和数据分析。

#### 3.2.2 建立动态更新机制

城市更新过程中,管线改迁频繁,为了确保数据的实时性,需要建立完善的动态更新机制。要求施工单位在开挖前提交变更申请,详细说明管线的改迁方案和影响范围;在完工后48小时内上传更新后的数据,包括管线的位置、走向、材质等信息。通过这种方式,及时反映管线的变化情况,为城市管理和决策提供准确的数据支持<sup>[3]</sup>。

#### 3.2.3 加强质量控制

质量控制是保证普查数据准确性的关键环节。可以通过误差分析,设定坐标偏差阈值等指标,对采集到的数据进行筛选和修正;同时进行逻辑校验,检查管线之间的连接合理性、走向是否符合实际等情况,剔除异常值。某市通过引入第三方质检机构,对普查数据进行独立的质量检测和评估,将数据准确率从85%提升至98%,显著降低了后续应用风险,提高了数据的可靠性和可用性。

### 3.3 存储阶段:安全与高效管理

#### 3.3.1 分层存储策略

采用分层存储策略,根据数据的访问频率和重要性将数据分为热数据和冷数据。热数据,如高频查询区域的管线信息,对实时性要求较高,可存储于云端,利用云计算的强大计算能力和弹性扩展性,支持多用户并发访问,提高数据的获取效率。冷数据,如历史废弃管线记录,访问频率较低,可归档至本地服务器,降低存储成本。

#### 3.3.2 严格权限管理

权限管理是保障数据安全的重要手段。根据不同角色(如政府管理部门、权属单位、公众)的需求和职责,设置差异化的访问权限。例如,权属单位可以修改

自身管线的数据,但修改后的数据需经政府审核后生效,确保数据的准确性和合规性;公众仅能查询管线位置等基本信息,无法获取敏感信息,保护数据的安全性和隐私性。

### 3.3.3 完善元数据管理

元数据管理通过记录数据的来源、更新时间、质量评级等信息,为数据的追溯和审计提供支持。通过元数据,可以了解数据的产生背景、变更历史等情况,便于对数据进行管理和维护。某省建立“管线数据银行”,实现全省地下管线数据的统一存储与权限管控,通过严格的权限设置和元数据管理,有效避免了数据泄露与滥用,保障了数据的安全性和完整性。

## 3.4 应用阶段:价值挖掘与决策支持

### 3.4.1 三维可视化平台应用

三维可视化平台能够将地下管线转化为直观的数字孪生模型,为规划审批和施工模拟提供有力支持。例如,深圳在轨道交通建设中通过 BIM 技术模拟管线布局,提前发现 300 余处冲突点,避免了施工过程中的返工和延误,节约了建设成本和时间。通过三维可视化,决策者可以更加清晰地了解地下管线的分布情况,优化规划方案,提高施工的安全性和效率。

### 3.4.2 智能分析工具应用

智能分析工具可以进一步挖掘地下管线数据的价值。基于机器学习的管线健康评估模型,能够通过振动、温度等传感器数据实时监测管线的运行状态,预测爆管风险,为预防性维护提供科学依据。通过对管线健康状况的评估,可以提前安排维修和更换计划,避免因管线突发故障而导致的城市运行中断和经济损失。

## 3.5 维护与更新阶段:闭环管理

### 3.5.1 定期复测与动态监测

定期复测是保证数据准确性的基础工作。根据管线的类型和重要性,制定差异化的更新周期。例如,燃气管道由于涉及公共安全,风险较高,更新周期应相对较短;而通信光缆的更新周期可以适当延长。同时,结合物联网传感器实现动态监测,如在老旧小区加装压力传感器,实时监测给水管线的压力变化,及时发现泄漏等异常情况,为数据更新提供实时依据<sup>[4]</sup>。

### 3.5.2 建立反馈机制

建立施工方、权属单位、管理部门的联动反馈渠道,确保数据偏差能够及时修正。同时,权属单位和管理部门也应加强对数据的监督和管理,及时发现和纠正数据问题。

### 3.5.3 废弃管线管理

对于废弃管线,需要进行标记并移至历史库,避免干扰现行数据的使用。重庆市秀山县在核心区供水改造中,通过历史库管理废弃管线,减少误挖事故 20 余起,保障了城市施工的安全和顺利进行。

## 4 城市更新背景下的管理挑战与对策

### 4.1 数据动态性增强

随着城市更新的不断推进,管线改迁频率大幅提升,导致数据快速过时。为解决这一问题,可推行“施工即更新”模式,将数据更新纳入施工验收流程,确保数据与实体同步更新。在施工过程中,要求施工单位严格按照规定记录管线的变更情况,并在完工后及时上传更新数据,经相关部门审核通过后方可进行验收。

### 4.2 多部门协同困难

地下管线权属分散,不同管线分属不同企业和管理部门,导致数据共享阻力大。针对这一问题,需要政府发挥主导作用,建立统一的管理平台,通过立法或协议明确各部门的数据共享义务。同时,辅以区块链技术确保数据的不可篡改和安全性,增强各部门之间的信任,促进数据的共享和流通。例如,广州通过《地下管线管理条例》,强制要求权属单位每季度上传数据,违者将纳入信用记录,有效提高了数据共享的积极性和主动性。

## 结语

地下管线普查技术体系的重构与普查数据全生命周期管理的完善,是提升城市地下管线管理水平的必由之路。多技术融合与特殊场景探测技术的创新,为精准探测提供了有力支撑;全生命周期管理确保了数据从规划到维护更新的全流程质量。面对城市更新带来的数据动态性和多部门协同等挑战,需积极采取应对措施。未来,随着技术的不断进步和管理模式的持续优化,地下管线管理将更加科学、高效,为城市的可持续发展和居民的美好生活提供坚实保障。

## 参考文献

- [1]黄志伟.城市地下管线设施普查方法与实践[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(31):189-192.
- [2]刘伟.多源数据融合技术在城市地下管线普查中的应用探讨[J].江西测绘,2025,(02):61-64.
- [3]陈睿,易圣文.城市地下管线普查测量方法及质量控制要点浅析[J].江西测绘,2022,(04):5-7.
- [4]陈国强,安永强,陆可.城市地下管线普查方案设计与实施——以富山工业园为例[J].城市勘测,2022,(04):181-185.