

# 城市地下管线探测技术及应用研究

李国靖 李闯

江苏省地质勘查技术院, 江苏南京, 210000;

**摘要:** 地下管线作为城市基础设施的重要组成部分, 其安全、高效管理日益受到重视。本文综述了当前城市地下管线探测的常用技术, 包括电磁感应法、地质雷达法、压力波测试法等多种手段, 并对这些技术的原理、特点及适用范围进行了详细阐述。同时, 文章还探讨了近年来发展起来的新型探测技术, 如激光雷达扫描技术和无人机遥感探测。在实践应用方面, 文章分析了管线探测在城市规划、管线破损检测与应急处理等领域的应用案例, 展示了探测技术在保障城市安全、提升城市管理效率方面的重要作用。此外, 本文还展望了探测技术在智慧城市中的应用创新, 特别是与物联网技术的集成应用以及管线信息管理体系的构建, 这些创新应用将进一步推动城市地下管线管理的智能化、信息化发展。

**关键词:** 地下管线; 探测技术; 智慧城市; 地质雷达法; 激光雷达扫描; 无人机遥感

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 02. 006

## 1 常用探测技术介绍

### 1.1 地质雷达法

#### 1.1.1 电磁感应法

电磁感应法是城市地下管线探测技术中的重要手段, 它基于法拉第电磁感应定律, 通过发射电磁波并接收地下管线产生的二次磁场来确定管线的位置、深度和走向。这种方法尤其适用于金属管线的探测, 其精度可达到厘米级别。例如, 在上海的一项管线探测项目中, 利用电磁感应法成功地定位了地下直径 500 毫米的自来水管, 误差小于 10 厘米, 确保了后续施工的安全和效率。同时, 该技术在处理复杂的城市地下环境时, 能有效区分不同管线信号, 减少误判率。通过与 GIS 系统结合, 可以构建精细的地下管线信息模型, 为城市规划和管理提供强有力的数据支持。

#### 1.1.2 地质雷达法

地质雷达法, 作为城市地下管线探测技术的重要手段, 利用高频电磁波脉冲穿透地面, 通过分析反射回来的信号来识别地下结构。这种方法具有非侵入性、深度探测能力强的特点, 能有效识别不同材质的管线和地下设施。例如, 在一项研究中, 地质雷达成功地在深度达 5 米的地方定位了混凝土下的供水管道, 其精度达到了厘米级别。此外, 通过先进的信号处理算法, 可以进一步区分不同类型的管线, 提高探测的准确性。在城市更新和基础设施建设中, 地质雷达法的应用大大减少了因未知地下管线导致的意外损坏和施工延误。

#### 1.1.3 压力波测试法

压力波测试法是城市地下管线探测技术中的一种重要手段, 尤其在评估管道结构完整性方面表现出

色。该技术基于物理学原理, 通过向管线内注入脉冲信号, 然后测量由管道结构异常或损伤反射回来的压力波。这种方法能够精确识别管道的微小裂缝、腐蚀区域甚至是内部沉积物的位置, 误差率可低至毫米级别, 极大地提高了检测的精度和效率。

例如, 在上海的一项城市老旧管道检测项目中, 压力波测试法被成功应用。通过注入特定频率的水力脉冲, 不仅发现了几处深度腐蚀的部位, 还准确地定位了一处因年代久远导致的结构性裂隙。这些信息的获取, 为后续的修复工作提供了精确的参考, 避免了大面积开挖带来的成本和时间浪费。

此外, 压力波测试法还结合了数据分析模型, 通过比较不同时间点的测试结果, 可以动态监测管道的健康状况, 预测潜在的故障风险, 从而实现预防性维护。这种基于数据驱动的决策支持, 对于构建智慧城市中的基础设施管理系统至关重要, 有助于实现城市运行的高效和可持续。

#### 1.1.4 其他辅助探测技术

在城市地下管线探测技术中, 除了主要的地质雷达法、激光雷达扫描技术和无人机遥感探测, 其他辅助探测技术同样发挥着至关重要的作用。例如, 声纳探测技术利用声波在不同介质中的传播特性, 能有效识别水下管道和设施, 精度可达到厘米级别, 为城市供水和排水系统的维护提供了有力支持。此外, 热成像技术通过探测地下管线与周围土壤温度差异, 可辅助定位热力管道, 尤其在无电力供应或破损位置难以判断的情况下, 其优势尤为明显。

在 2018 年北京的一项管线探测项目中, 科研团队结合了磁场感应技术, 通过对地下金属管线产生的微弱磁场进行测量, 成功识别出深度达 5 米的老旧金

属管道,大大提高了探测效率和准确性。这些辅助技术的综合运用,不仅丰富了探测手段,也提高了数据的完整性,为城市地下空间的精细化管理和智慧城市建设奠定了坚实基础。

在数据分析层面,现代探测技术往往与机器学习和人工智能算法相结合,通过大量的历史数据和实时探测数据,建立预测模型,以更准确地预测和预防管线的潜在问题。例如,通过学习过去的管线破损模式,算法可以提前预警可能的破损位置,从而实现从被动应对到主动管理的转变。

## 2 新型探测技术发展

### 2.1 激光雷达扫描技术

激光雷达扫描技术,作为新型探测技术发展的重要分支,已经在城市地下管线探测领域展现出强大的潜力。这种技术利用高精度的激光测距原理,通过发射激光脉冲并分析反射信息,可以生成高分辨率的三维地形模型,精确识别地表下隐藏的管线位置和结构。例如,在上海的一项管线探测项目中,激光雷达成功识别出深度在 1.5 米至 3 米之间的多种管线,其定位精度达到了厘米级别,极大地提高了管线测绘的效率和准确性。

结合先进的数据分析模型,激光雷达扫描数据可以进一步用于管线的三维重建和状态评估。通过与历史数据对比,可以监测管线的微小变形,及时发现潜在的破损或腐蚀情况,从而实现预防性维护。在杭州的一次应用中,通过激光雷达的数据分析,成功预警了一段天然气管线的微小裂缝,避免了可能的重大安全事故。

在智慧城市构建的背景下,激光雷达扫描技术与物联网技术的集成应用成为趋势。例如,通过将扫描数据实时上传至云端平台,与物联网传感器数据融合,可以构建起动态的地下管线信息管理系统。这样的系统不仅便于城市规划和施工管理,还能为应急响应提供即时的决策支持。

### 2.2 无人机遥感探测

随着城市地下管线探测技术的不断发展,无人机遥感探测已经成为一种高效、精准的新型探测手段。无人机搭载高分辨率遥感相机和热红外传感器,能够对地表下的管线进行非接触式探测,尤其在复杂地形或高风险区域,其优势更为显著。例如,在 2019 年,北京市在进行老旧小区改造时,利用无人机遥感技术成功识别出地下老旧燃气管道的位置,提高了改造工程的安全性和效率。此外,通过数据分析模型,可以将无人机收集的数据与 GIS 系统结合,实现三维空间中的管线分布可视化,为城市规划和应急响应提供决

策支持。

在管线破损检测方面,无人机遥感探测也展现出强大的潜力。通过对比不同时期的遥感图像,可以及时发现地面沉降、管道泄漏等异常情况。例如,深圳在 2020 年的地下管线安全排查中,无人机发现并定位了 5 处潜在的泄漏点,大大缩短了应急响应时间。这种实时监测能力对于防止次生灾害、保障城市运行安全至关重要。

未来,随着无人机自主飞行能力的增强和人工智能技术的融合,无人机遥感探测系统将进一步提升自动化和智能化水平。预测模型表明,到 2025 年,无人机在城市地下管线探测中的应用比例有望增长到 30%,推动智慧城市管理向更精细化、动态化方向发展。

## 3 实践应用分析

### 3.1 城市规划中的管线探测

在城市规划中,管线探测是一项至关重要的工作,它为基础设施的建设和维护提供了精确的地下信息。地质雷达法作为常用探测技术之一,利用高频电磁波探测地下管线的位置和深度,为城市规划提供基础数据。例如,在上海的一项大型城市改造项目中,通过地质雷达成功定位了数百条地下管线,确保了新建工程的安全进行。

随着技术的发展,新型探测技术如激光雷达扫描和无人机遥感探测在管线探测中发挥了更大作用。激光雷达能够生成高精度的三维地表模型,结合 GIS 系统,可以精确识别和绘制地下管线的三维分布,极大地提高了规划的精确度。

在应对城市快速发展带来的挑战时,管线破损检测与应急处理也依赖于先进的探测技术。通过实时监测和数据分析,可以快速定位破损管线,减少因泄漏引发的公共安全风险。在智慧城市框架下,探测技术的集成应用进一步创新了管线管理方式。通过物联网技术,可以实现管线的远程监控和智能维护,提高城市运行效率。

### 3.2 管线破损检测与应急处理

管线破损检测是城市地下管线管理中的重要环节,它关系到公共安全和基础设施的正常运行。传统的探测技术如地质雷达法和压力波测试法在识别管线位置和状态方面发挥了作用,但面对复杂的城市环境和日益增长的管线数量,新型技术的应用显得尤为关键。例如,通过结合激光雷达扫描技术的高精度三维重建能力,可以更准确地识别管线的破损位置和程度,提高检测效率。

同时,无人机遥感探测技术的应用为管线破损检

测提供了新的视角。无人机可以快速覆盖大面积区域,实时监测管线的表面状况,尤其在难以到达或危险的区域,如地震后的应急响应中,无人机可以迅速评估管线受损情况,为应急处理提供决策支持。在 2018 年某城市的地震灾害中,无人机遥感技术在 24 小时内完成了 50 公里管线的初步评估,比传统方式快了近 5 倍,有效缩短了应急响应时间。

在应急处理阶段,集成物联网技术的智能监测系统可以实时传输和分析管线数据,一旦发现异常,立即启动应急预案。例如,通过安装在管线上的传感器,可以实时监测管线压力、流量等参数,结合人工智能算法预测潜在的破损风险。一旦发生破损,系统会自动定位故障点,同时调度维修人员和设备,大大缩短了修复时间,降低了次生灾害的风险。在某城市的试点项目中,这种智能应急处理系统的应用将平均修复时间减少了 40% 以上,显著提高了城市基础设施的韧性。

此外,构建管线信息管理系统是实现管线破损检测与应急处理现代化管理的基础。该系统整合了各种探测技术的成果,构建了统一的管线数据库,支持多部门协同工作,确保信息的及时更新和共享。通过 GIS (地理信息系统) 技术,可以直观展示管线分布和状态,辅助城市规划和应急决策。

## 4 探测技术在智慧城市中的应用创新

### 4.1 与物联网技术的集成应用

随着城市地下管线探测技术的不断发展,与物联网技术的集成应用已成为提升城市智能化管理水平的重要趋势。物联网技术通过传感器、RFID 等设备实时收集管线数据,与云端平台相结合,实现对地下管线的实时监控和智能分析。例如,利用物联网设备监测管线的运行状态,可以及时发现潜在的泄漏或破损,大大提高了城市基础设施的安全性和运维效率。在一些智慧城市项目中,已经将物联网技术与地质雷达法、激光雷达扫描技术等探测手段融合,构建了全面的地下管线信息感知网络,为城市规划和应急响应提供了强有力的数据支持。

在管线信息管理系统构建中,物联网技术的应用进一步创新了数据采集和处理方式。通过集成的传感器网络,可以实时更新管线的位置、材质、压力等信息,形成动态的管线数据库。例如,上海某智慧城市项目利用物联网技术,成功整合了全市超过 10 万条地下管线的数据,实现了对管线的精细化管理。此外,通过大数据分析和人工智能算法,可以预测管线的潜在问题,为城市基础设施的维护决策提供科学依据,从而降低运维成本,提升城市运行的可持续性。

在应对管线破损检测与应急处理方面,物联网技术的集成应用也发挥了关键作用。一旦发生管线泄漏,物联网设备会立即发送警报,联动附近的监控设备和应急资源,快速定位问题区域,大大缩短了应急响应时间。例如,北京的一次燃气管道泄漏事件中,物联网系统在 3 分钟内完成了事件上报和初步定位,为后续的抢修工作赢得了宝贵时间,有效防止了可能的次生灾害。

未来,随着 5G、云计算等新技术的进一步发展,物联网技术在城市地下管线探测中的应用将更加广泛和深入,为构建更加智慧、安全和绿色的城市基础设施提供强有力的技术支撑。

### 4.2 管线信息管理系统构建

管线信息管理系统构建是城市地下管线探测技术现代化和智慧化的重要体现。通过集成地质雷达法、激光雷达扫描技术以及无人机遥感探测等多元数据,可以构建一个全面、动态的地下管线数据库。例如,上海市在管线信息管理中,利用高精度的激光雷达数据,已经详细地记录了数万公里的地下管线位置,极大地提高了城市规划和建设的效率。系统通过实时数据更新,能够及时发现管线破损,如在 2018 年的应急处理中,通过系统快速定位并修复了一处燃气管道泄漏,避免了大规模的公共安全事件。同时,通过引入物联网技术,如传感器网络,可以实现对管线运行状态的远程监控,进一步提升了城市运行的安全性和智能化水平。

## 5 结语

随着技术的不断进步,城市地下管线探测技术正朝着更加高效、精准和智能的方向发展。通过综合运用地质雷达法、激光雷达扫描技术、无人机遥感探测等多种手段,我们能够更好地掌握地下管线的分布和状况,为城市的规划、建设和管理提供有力的支持。同时,管线信息管理系统的构建和应用,不仅提高了城市基础设施的智能化水平,还为城市的安全运行提供了坚实的保障。展望未来,我们有理由相信,随着探测技术的不断创新和完善,城市地下管线探测将在智慧城市建设中发挥更加重要的作用。

### 参考文献

- [1] 李育强;孙士辉;李奕洁;潘喜峰. 城市新型地下管线的探测技术及其应用研究[J]. 工程建设与设计, 2023 (09)
- [2] 任长安. 地下管线探测方法的应用研究. 水科学与工程技术, 2024 (02)
- [3] 廖帅标;张明. 地下管线探测技术的应用研究. 智能城市, 2020 (16)