

# 管线无损检测中地质雷达与地震勘探技术研究

阮斌

上海市岩土工程检测中心有限公司 上海 200436

**摘要:** 在现代化的城市基础设施建设中, 地下管线的质量和安全状况, 对城市的正常运营及居民的居住环境起着至关重要的作用。随着我国城镇化进程的加速, 城市地下管线的类型和数目日益增多, 如何对其进行有效的无损检测已成为工程领域迫切需要解决的问题。地质雷达和地震勘探技术是两种先进的无损探测方法, 由于其高效率、高精度和无损检测等优点, 已逐步成为地下管线探测研究的热点。地质雷达利用电磁波的反射成像技术, 可以在较短的时间内探测到地下构造; 而地震勘探技术是根据不同介质中地震波的传播特征, 对地下构造进行三维成像。本文主要对管线无损检测中地质雷达与地震勘探技术进行探究, 以供参考。

**关键词:** 管线无损检测; 地质雷达; 地震勘探; 应用

随着现代城市的快速发展, 地下管线的建设与维修是一个非常重要的问题。但是, 地下管线的结构复杂、隐蔽, 使得常规的探测手段很难应对。地质雷达与地震勘探是近几年来管线检测中最常用的两种无损探测方法。地质雷达利用高频电磁波对地下目标进行探测, 具有速度快、精度高、非破坏等优点; 而地震勘探方法是根据不同介质中地震波的传播特征, 对反射、折射波进行分析, 从而判断出地下构造的位置。两种方法各有所长, 前者适合于浅层检测, 后者可以检测深层地质情况。将两者结合起来, 不但可以提高管线探测的准确性, 而且可以大幅缩短挖掘工作量, 减少建设费用, 减少对环境的影响。

## 1 管线无损检测中地质雷达的应用

### 1.1 提高地下管线定位的准确性

地质雷达技术在地下管线无损检测中的应用, 极大地提高了管线的定位精度。地质雷达利用高频率的电磁波和接收来自地下构造的回波, 从而获得高分辨的地质剖面图。该方法可以透视各种地质物质, 如土壤, 沙土, 岩石, 水泥等, 因此可以得到更详尽的地下环境数据。常规的探勘如挖掘探查或使用金属探测器等检测手段, 仅适用于浅层或某一种管线, 存在较大的误差。而地质雷达则可以对不同深度、不同材料的管线进行准确探测, 同时也不会对地面造成任何损害。通过与现有的管线分布图进行对比, 可以迅速地判断出管线的具体位置及方向, 从而避免由于定位错误而造成的工程延迟或事故损失<sup>[1]</sup>。与此同时, 地质雷达技术还可以在多层、多管线交织条件下, 精确识别各类管线的位置与埋深, 为城市基础设施的运营与维修提供科学依据。

### 1.2 评估管线的完整性和损坏情况

地质雷达不但具有很好的定位能力, 而且可以用来评估地下管线的完整性和损伤程度。利用高分辨雷达成像, 在管线附近发现一些不正常的信号, 如裂缝、腐蚀、变形或其他损伤等。与常规探测手段(如内窥式探测、物理挖掘等)不同, 地质雷达能够在不接触管线的情况下, 提供详细的损坏评估。该方法既可避免对管线造成二次损伤, 又可大幅缩短检测周期及费用。比如, 在石油、天然气、供水管线的定期检查中, 地质雷达能够迅速地探测到较大范围内的管线缺陷, 在此基础上及时地对管线进行维护。在管线维修过程中, 维修人员可以在管线出现重大故障前及时发现并采取相应的预防措施, 从而提高管线的使用寿命, 降低管线意外事件的发生率。地质雷达也能被应用在灾害后的管线评估中, 例如在地震或者水灾后进行管线检测, 从而使其能够迅速地恢复到正常状态。

### 1.3 实现管线的数字化与信息化管理

地质雷达技术的运用, 促进我国城市地下管线管理的数字化、信息化。通过对地质雷达所获得的数据进行数字处理、储存, 技术人员能够绘制出一幅精细的地下管线三维模型。该模型不但包括管线的位置、埋深、走向, 而且还包括管线的材料、管径、使用状况等。在GIS及其他信息化管理平台的支持下, 可将上述数据纳入城市基础设施的管理系统中, 从而对市政管网进行全方位的监测与管理。同时, 通过与其他城市规划、建筑等相关数据的融合, 可以有效降低由于不完整或不精确带来的工程风险<sup>[2]</sup>。利用地质雷达获取的地下管线数据, 对管线进行实时监测与分析, 对管线的维修需求与隐患进行预测, 并提出科学的维修方案。结合物联网技术, 管线的运行状态、维护记录及检测数据可以实时上传至云

端,形成一个综合性的信息化管理平台,这一平台能够大幅提升管线管理的精度,降低维护成本,并提供科学的决策支持。而利用大数据分析、人工智能技术等,还可以准确预测管线的潜在风险,提前进行预防性维护,进一步保障城市基础设施的安全稳定运行。

## 2 管线无损检测中地震勘探技术的应用

### 2.1 高分辨率成像技术在管线无损检测中的应用

在管线无损检测中,高分辨率成像技术主要是利用先进的成像设备和算法,以获得管道内部及周围的详细信息。其核心原理是利用电磁波、声波或其他能量形式穿透材料,并通过接收反射或透射信号形成图像。这些图像可以揭示管道的结构完整性,表面缺陷以及潜在的腐蚀问题<sup>[3]</sup>。例如,超声波检测技术是一种常用的高分辨率成像方法,通过发射高频声波并接收其在材料中的反射信号,生成一个二维或三维的结构图像。下表展示了不同成像技术的对比,包括成像分辨率、穿透深度及适用材料等关键参数。

表1 不同成像技术对比

技术类型	成像分辨率	穿透深度	适用材料
超声波成像	高	中等	金属、复合材料
X线成像	极高	低	金属、塑料
磁共振成像	中等	高	大多数非金属材料
电磁感应成像	中等	中高	磁性和导电材料

### 2.2 多分量地震勘探技术在管线无损检测中的应用

多分量地震勘探技术主要是通过同时记录地震波的多个分量信息,提供更为全面的地下结构数据。常规的单分量地震探测方法仅能获得垂向震动,而多分量方法能够获得垂直、水平和纵向三个方向的振动信息。该方法能够更加精确地反映地震波在管线内的传播特征,进而对地下构造进行全方位探测。因此,在管线无损检测方面有着明显的优势。通过对各分量地震波形数据的分析,能够更准确地确定管线周边复杂的地质情况及可能发生的危险点。如在城市地下管网探测中,利用多分量地震探测技术能够对管线周边的混凝土、岩石、土层等进行准确识别,进而获得准确的管线定位与状态信息。利用多分量地震探测技术,还能对地下水位、土体沉降等动态环境因子进行辨识,有助于管线管理人员对其进行有效防护,保证管线的长期安全运行。

### 2.3 地震波反射与透射技术在管线无损检测中的应用

地震波反射与透射技术主要是基于地震波在不同介质界面上的反射与透射特征。当地震波入射到介质界面时,由于介质性质(如密度或弹性模量)的不同,波会发生部分反射和透射。地震波反射法是一种基于地震

波在不同介质分界面上的反射特征,并对其进行处理,从而构造出地下构造的反射图像。该方法能对管线的位置、埋深进行准确定位,并能确定管线附近是否存在异常。比如,在天然气管线探测中,利用地震波反射探测技术,可以有效地确定管线附近的地下空洞及异常沉降区域,避免发生泄漏、爆炸等事故。而地震波透射法是根据不同介质中地震波的传播特征,对透射波数据进行解析,得到地下构造的透射图像。该方法对管线中存在的腐蚀、裂缝等缺陷进行检测。通过对管线中地震波的传播与衰减特征进行测试,可以对管线的运行状态进行评估,为管线的维护和保养提供依据<sup>[4]</sup>。地震波反射-透射技术是管线无损检测的一种重要手段,它能为管线探测提供完整的地下构造信息,从而提高管线探测的全面性与精度,保证管线的安全性。

## 3 地质雷达与地震勘探技术在管线无损检测中的集成应用

### 3.1 集成应用的必要性

随着现代化进程的加快,城市地下管线的布局日趋复杂,涉及供水、供电、供气、通信等各个方面。地下管线既是保障城市正常运转的重要基础设施,又对城市的安全起着至关重要的作用。但是,由于地下管线的高度隐蔽性,以及长期使用后易发生腐蚀老化等问题,这就要求对其进行定期检测与维修。传统的开挖检测方法成本高,对交通的扰动大,对周围的环境也有很大影响。所以,利用无损检测方法是非常有必要的。在众多无损检测方法中,地质雷达(GPR)与地震勘探技术(Seismicexploration)由于其特有的优点,已逐渐成为地下管线探测的重要方法。利用地质雷达的高分辨率和快速的探测能力,可以有效地确定地下管线的具体位置和形状;而地震勘探技术则具有穿透性强、适用面广等特点,可对地下管线的物理性质及破坏状况进行深入研究。两种方法的综合运用,旨在充分发挥其各自的优点,弥补任何一种方法的不足,从而达到更加全面、准确的地下管线检测目的。这样既可以提高探测的效率与精度,又可以降低探测费用,减少探测对城市正常运转的影响<sup>[5]</sup>。将地质雷达与地震勘探相结合进行管线无损检测,是今后城市地下管线维修与管理发展的必然趋势。

### 3.2 集成应用的技术方案

在集成应用过程中,需要综合考虑多种因素,包括技术设备的选择、数据采集方法以及数据处理和分析流程等。在设备的选用方面,必须采用高频、宽带宽和高分辨率的探测手段,才能准确地获取地下管线的详细情况。为了提高数据的精度与可靠性,还需配置高灵敏的

地震波接收器及有效的震源系统。在数据收集方式上,可利用整合的数据收集平台,通过同步采集地质雷达与地震勘探数据,达到数据的即时融合与互补。比如,采用地质雷达对管线进行初扫,可以迅速定位管线的大概方位和方向,然后采用地震勘探方法对管线的埋深、材质特征及可能破坏进行精细探测。在数据处理与分析方面,需要构建多源数据融合模型,将地质雷达与地震勘探数据进行联合反演,以提高数据的解析度。具体可以采用多种算法,常见包括有限元分析、波场成像等,对数据进行深度挖掘与分析,生成综合性的地下管线三维模型<sup>[6]</sup>。例如,在城市地下管网的检测中,地质雷达可用于快速扫描地表下的浅层管线,识别管线的位置及走向。但是,当遇到地下水、黏土层等高导电率的地质环境时,雷达信号衰减严重,导致成像模糊。这种情况下就需要结合地震勘探技术,通过布设小型震源和检波器阵列,可以获取更深的地层信息和管线周围环境的详细数据。通过对地震波的时间、距离曲线进行分析,能够识别深层管道的埋深、材质变化以及可能存在的漏水或破损点。

### 3.3 未来发展趋势

随着社会经济的快速发展和城镇化的快速发展,地质雷达与地震探测一体化的管线无损探测技术也面临着新的机遇与挑战。在今后的发展中,智能化、自动化、信息化是一个重要的方向。智能检测技术具有广阔的应用前景。将人工智能与机器学习等方法相结合,对地震数据进行自动识别、分类与分析,从而提高探测的自动化水平与精度。比如,通过深度学习算法对神经网络进行训练,实现管线形状与位置的自动识别,并对管线的损坏程度及危险程度进行判定。自动化检测装置将会有更大的发展和推广。研制具有自主导航与探测能力的地下管线探测机器人及无人机,实现复杂环境中管线探测,提升探测效率与覆盖面。同时,该系统还将为管线检查提供有力的支持。通过建立综合的管线信息管理系统,能够对管线测试数据进行集中存储、管理与共享,并对其进行实时监测与预警。比如,通过物联网技术,将各种传感、检测装置连接起来,可以对城市中的管线进行实时监测与信息传递,并对管线故障进行及时检测

与处理。多学科和多技术的交叉是今后的一个重要趋势。将地质雷达技术、地震勘探技术与电磁感应、超声等多种无损检测技术相结合,构建多模式、多维度的探测系统,提升探测的全面性与可靠性。不仅如此,还可以与大数据、云计算、区块链等新兴技术相结合,提升数据处理与管理效率。

### 结束语

综上,本文介绍了利用地质雷达和地震探测技术进行管道无损探测的方法。其中,地质雷达技术具有分辨能力强、检测速度快等优点,适合对浅层管道进行快速探测和评估;而地震勘探技术因其穿透性强、对复杂地质环境适应能力强等特点,可实现深部管道结构及状态的准确辨识。这两种技术的运用各有特点,而且是相辅相成的。在实际工程应用中,要结合不同的地质条件、埋深和检测要求,选用合适的探测方法,才能达到最佳的探测效果。未来,随着技术的不断进步,以及综合应用的深化,地质雷达与地震勘探技术将在管线无损检测领域发挥越来越重要的作用,为地下管线的安全运行提供更加可靠的技术保障。

### 参考文献

- [1]李晨.地质雷达技术应用于水利工程检测中的作用分析[J].石材,2024,(10):101-103.
- [2]王永才,陈旭超,余刘杰,冯江欣.某油气处理厂重点管线腐蚀评估及结果分析[J].涂层与防护,2024,45(02):1-4+33.
- [3]胡开龙.石油化工压力管道射线无损检测质量控制[J].山西化工,2023,43(01):170-171.
- [4]杜裕平,冯雪,盛宏威,王平.基于多电磁无损检测的管线钢硬度检测模型[J].理化检验-物理分册,2022,58(12):27-30+72.
- [5]李瑞莲,付维民,牟惟义.凝析气田开发项目管线基于无损检测工艺的检验方法[J].现代工业经济和信息化,2022,12(07):243-244+247.
- [6]王海,孙宗腾,李文言,刘国良.某油田海上平台工艺管线综合无损检测方案的应用[J].全面腐蚀控制,2022,36(06):47-50.