

非金属管线探测技术对比与改进

张伟 马小乐

中冶武勘工程技术有限公司，湖北省武汉市，430080；

摘要：本文围绕非金属管线探测技术展开研究，对地质雷达法、超声波探测法、红外热成像法等常用探测技术进行系统对比分析。文中详细阐述了各技术的原理、适用场景及性能特点，深入剖析其优势与局限。同时，结合实际应用中暴露的探测精度、环境适应性等问题，针对性地提出改进路径与优化建议，旨在为提升非金属管线探测的准确性、作业效率及结果可靠性提供参考，推动该领域探测技术的迭代发展与体系完善，助力相关工程实践中管线探测工作的科学开展。

关键词：非金属管线；探测技术；对比；改进

DOI：10.69979/3041-0673.25.11.043

在现代城市建设和发展基础设施管理中，非金属管线如塑料、陶瓷等材质的给排水管、通信管等应用日益广泛。准确探测这些非金属管线的位置、走向和埋深等信息，对于工程施工、管线维护和管理至关重要。然而，相较于金属管线，非金属管线的探测难度更大，传统的金属管线探测方法往往难以适用。目前，多种非金属管线探测技术应运而生，但不同技术在实际应用中表现各异。因此，对这些技术进行对比分析并提出改进措施，具有重要的现实意义。

1 非金属管线探测技术概述

1.1 地质雷达法

地质雷达法是一种利用高频电磁波在地下介质中传播时遇到不同电性界面会产生反射波的原理来探测地下目标体的方法^[1]。其工作过程是通过发射天线向地下发射高频电磁波，接收天线接收反射回来的电磁波信号，然后对这些信号进行处理和分析，从而确定地下目标体的位置和形态。地质雷达法具有探测速度快、分辨率高、可实时成像等优点，能够清晰地显示地下管线的分布情况。它适用于多种地质条件，尤其在探测浅埋的非金属管线方面表现出色。然而，地质雷达法也存在一些局限性，例如探测深度有限，一般在数米以内；对地下介质的电性差异要求较高，如果地下介质的电性均匀，反射信号会较弱，影响探测效果；此外，地质雷达法的探测结果受操作人员的经验和技术水平影响较大。

1.2 超声波探测法

超声波探测法是基于超声波在不同介质中传播时会发生反射、折射和衰减等现象来探测非金属管线的。当超声波遇到管线与周围介质的界面时，部分超声波会反射回来，通过接收和分析反射波的特征，如时间、幅

度等，可以确定管线的位置和尺寸。超声波探测法的优点是对近距离的非金属管线探测精度较高，能够准确检测出管线的缺陷和损伤情况。它在检测塑料等非金属材质的管道内部结构时具有独特的优势。但超声波探测法的传播距离有限，一般适用于探测较浅且管径较小的管线。而且，超声波在传播过程中容易受到周围环境的干扰，如噪声、振动等，从而影响探测结果的准确性。

1.3 红外热成像法

红外热成像法是利用物体自身发出的红外辐射来检测物体表面的温度分布，进而推断地下管线的位置^[2]。非金属管线与周围土壤之间往往存在温度差异，这种温度差异会导致物体表面红外辐射的不同，通过红外热成像仪可以捕捉到这些差异并形成热图像。红外热成像法的优势在于可以进行大面积的快速探测，无需与被测物体直接接触。它能够在夜间或恶劣天气条件下工作，具有较好的适应性。然而，红外热成像法的探测精度相对较低，容易受到环境温度变化、太阳辐射等因素的影响。而且，该方法只能检测到与周围环境存在明显温度差异的管线，对于一些温度差异不明显的管线，探测效果不佳。

1.4 电磁感应法（用于有金属示踪线的非金属管线）

对于一些在铺设时预埋了金属示踪线的非金属管线，可以采用电磁感应法进行探测。电磁感应法的原理是通过向金属示踪线施加交变电流，使其周围产生交变磁场，然后利用接收设备检测该磁场的分布情况，从而确定管线的位置。电磁感应法具有操作简单、探测深度较大等优点，在探测有金属示踪线的非金属管线时具有较高的准确性和可靠性。但该方法的应用范围受到限制，只适用于预埋了金属示踪线的非金属管线。如果示踪线

损坏或断裂，将严重影响探测效果。

2 非金属管线探测技术对比分析

2.1 探测精度对比

在探测精度层面，地质雷达法与超声波探测法表现相对突出。地质雷达法可呈现较为清晰的地下管线分布图像，尤其对浅埋非金属管线，其定位精度可达厘米级，能为管线定位提供细致依据。超声波探测法在近距离探测场景中，对管线尺寸与位置的检测精度较高，适用于需要精细判断的局部探测工作。相比之下，红外热成像法的探测精度较低，仅能大致确定管线所在区域，难以精准提供管线尺寸及埋深等详细信息，多用于初步筛查或大范围轮廓判断。电磁感应法的探测精度与金属示踪线状态密切相关，当示踪线完好时可实现较高精度探测，但若示踪线出现破损、缺失等问题，其探测精度会显著下降，应用时需注意示踪线的整体性。

2.2 探测深度对比

地质雷达法的探测深度通常在数米范围以内，具体探测深度受地质条件及雷达设备性能影响较大。在岩土介质均匀、设备性能良好的情况下，可实现较理想的探测深度，反之则可能受限。超声波探测法受传播距离限制，探测深度普遍较浅，一般适用于埋深1米以内的管线探测，在较深区域其信号衰减明显，探测效果会大幅下降。红外热成像法主要依靠物体表面温度分布差异进行检测，对地下管线的探测深度较浅，通常只能识别接近地表的管线，难以获取深层管线信息。电磁感应法的探测深度相对更大，在金属示踪线完整且地质环境适宜的条件下，可对数米深的非金属管线进行探测，但其应用效果高度依赖示踪线状态及周边电磁环境。

2.3 适用范围对比

地质雷达法对多种地质条件具有较强适应性，尤其擅长浅埋非金属管线探测，在城市道路、建筑基础等区域的管线检测中应用普遍。其通过发射高频电磁信号，可有效识别混凝土、沥青等介质下的管线分布，为市政施工、地下空间开发提供关键数据。超声波探测法更适合近距离、小管径的非金属管道检测，如塑料给水管、燃气支管等。该方法利用声波反射原理，能较精准判断短距离内管线的材质、走向及细微缺陷，但受传播距离限制，应用场景相对局限。红外热成像法侧重于大面积快速筛查，可通过地表温度异常初步圈定地下管线的大致位置，在城市规划前期调研、管线普查初期阶段具有实用价值，能为后续精细探测缩小范围。电磁感应法的适用范围较窄，仅能用于预埋金属示踪线的非金属管

线，需依赖示踪线传导电磁信号实现探测，在有明确示踪线设置的特定工程场景中发挥作用。

2.4 成本对比

地质雷达法的设备成本较高，包括雷达主机、天线等设备，同时还需要专业的操作人员进行数据处理和分析，因此总体成本相对较高。超声波探测法的设备成本相对较低，但其探测范围有限，对于大面积的探测工作，需要多次移动设备，增加了人力成本。红外热成像法的设备价格适中，但由于其探测精度有限，可能需要结合其他探测方法进行进一步的确认，从而增加了总体成本。电磁感应法的设备成本较低，操作相对简单，但前提是管线必须预埋金属示踪线，这在一定程度上增加了前期的建设成本。

3 非金属管线探测技术存在的问题

3.1 地质雷达法存在的问题

地质雷达法的探测深度有限，对于深埋的非金属管线难以有效探测^[3]。而且，地质雷达图像的解译需要专业的知识和丰富的经验，不同的操作人员对同一图像的解译结果可能存在差异，导致探测结果的准确性受到影响。此外，地质雷达法在复杂地质条件下，如地下存在大量的金属物体、高导电性土壤等，会产生较强的干扰信号，影响探测效果。

3.2 超声波探测法存在的问题

超声波探测法的传播距离有限，难以探测深埋的管线。同时，超声波在传播过程中容易受到周围环境的干扰，如噪声、振动等，这些干扰会导致反射波信号失真，影响探测结果的准确性。而且，超声波探测法需要与被测物体表面紧密接触，对于一些埋在地下的管线，需要进行开挖或钻孔等操作，增加了探测的难度和成本。

3.3 红外热成像法存在的问题

红外热成像法的探测精度较低，容易受到环境温度变化、太阳辐射等因素的影响。在夏季高温天气或阳光直射的情况下，地下管线与周围土壤的温度差异不明显，难以通过红外热成像法准确检测到管线的位置。此外，红外热成像法只能检测到与周围环境存在明显温度差异的管线，对于一些温度差异较小的管线，探测效果不佳。

3.4 电磁感应法存在的问题

电磁感应法的应用范围受到限制，只适用于预埋了金属示踪线的非金属管线。而且，金属示踪线在长期使用过程中可能会出现损坏、断裂等情况，导致探测信号

减弱或消失，影响探测效果。此外，电磁感应法在存在强电磁干扰的环境中，如变电站附近，探测结果的准确性会受到严重影响。

4 非金属管线探测技术的改进措施

4.1 地质雷达法的改进

若想提升地质雷达法的探测深度，可选用更高频率的天线并优化信号处理方式^[4]。通过升级硬件性能与算法，增强信号穿透能力，进而扩大有效探测范围。同时，需推进地质雷达图像解译的标准化建设，制定统一的解译规则与流程，并开发智能解译软件，借助数字化手段减少人工判读的主观性偏差，提升结果的可靠性。面对复杂地质条件时，可采用多天线组合、多角度探测的方法，通过不同方位的信号采集与叠加，增强抗干扰能力，降低介质不均对探测结果的影响。此外，可将地质雷达法与电磁感应法等其他探测手段结合，利用多种技术的互补性，对地下管线进行多维度扫描，综合分析数据以提高探测结果的准确性，为工程应用提供更全面的决策依据。

4.2 超声波探测法的改进

若要增加超声波探测法的传播距离，可从优化换能器设计入手，通过提升其发射功率与接收灵敏度，增强声波信号的传输能力与反馈效率。同时，采用高效滤波技术与精准信号处理算法，有效剔除环境噪声对超声波信号的干扰，确保探测信号的纯净度与可靠性。针对地下管线探测场景，可研发非接触式超声波探测技术，无需开挖或钻孔即可实现对管线的检测，既降低施工成本，又避免对地表环境的破坏。此外，将超声波探测法与地质雷达法等其他技术相结合，从不同角度、不同深度对管线进行交叉探测，利用多技术的特性互补，全面覆盖探测盲区，提升对管线位置、尺寸及周边状况的综合判读能力，为工程检测提供更精准、更全面的技术支持。

4.3 红外热成像法的改进

为了提高红外热成像法的探测精度，可以采用更高分辨率的红外热成像仪，并结合先进的图像处理技术，对热图像进行增强和分析^[5]。同时，建立环境温度补偿模型，减少环境温度变化对探测结果的影响。在探测前，可以对地下管线进行加热或冷却处理，增加管线与周围土壤的温度差异，提高探测的灵敏度。此外，结合其他探测技术，如地质雷达法等，进行综合判断，提高探测结果的可靠性。

4.4 电磁感应法的改进

为了扩大电磁感应法的应用范围，可以研发新型的非金属管线示踪材料，如导电塑料等，使其能够在不预埋金属示踪线的情况下也能采用电磁感应法进行探测。同时，加强对金属示踪线的保护和监测，及时发现和修复示踪线的损坏情况。在强电磁干扰环境中，可以采用屏蔽技术和抗干扰算法，提高探测结果的准确性。此外，结合其他探测技术，如地质雷达法等，进行综合探测，以弥补电磁感应法的不足。

5 结论

综上所述，不同的非金属管线探测技术各有优缺点，在实际应用中应根据具体情况选择合适的探测方法。地质雷达法具有探测速度快、分辨率高的优点，但探测深度有限；超声波探测法对近距离的管线探测精度较高，但传播距离有限；红外热成像法可进行大面积快速探测，但探测精度较低；电磁感应法适用于有金属示踪线的管线，但应用范围受限。针对目前非金属管线探测技术存在的问题，通过采用先进的技术手段和改进方法，可以有效提高探测的准确性、效率和可靠性。在未来的研究和应用中，还需要进一步加强多种探测技术的融合和综合应用，开发智能化、自动化的探测设备和软件，提高探测工作的效率和质量。同时，应加强对非金属管线探测技术的标准化和规范化建设，促进该领域的健康发展，为城市建设 and 基础设施管理提供更加可靠的技术支持。

参考文献

- [1] 尹燕京, 马向阳, 王笏勇. 城市地下管线探测技术的应用 [J]. 大坝与安全, 2019, (04): 35-41.
- [2] 张嵩, 刘得军, 李辉, 等. 各向异性磁阻传感器在地磁探测中的应用 [J]. 自动化仪表, 2011, 32(11): 53-55.
- [3] 杨健. 浅谈地下管线探查技术 [J]. 科学技术创新, 2018, (13): 165-166.
- [4] 鞠洪建. 埋地金属管线防腐层状态检测方法研究 [J]. 硅谷, 2014, 7(02): 84+87.
- [5] 肖小汀, 李怡, 葛亮, 等. 埋地非金属管道雷达探测成像定位方法研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2023, 37(08): 223-233.

作者简介：张伟，出生年月：1984年8月，性别：男，民族：汉，籍贯：湖北随州，学历：硕士研究生，职称：（目前的职称）中级工程师，研究方向：物探，管线探测，地质雷达。