

地下管线探测中电磁法技术的应用与优化研究

李永强

江苏华东地质环境工程有限公司 江苏 南京 210000

摘要：本文旨在探讨地下管线探测中电磁法技术的应用与优化策略。电磁法作为地下管线探测的主要技术之一，凭借其非侵入性、高效性和经济性等特点，在城市建设和维护中发挥着重要作用。文章首先概述了电磁法的基本原理和工作机制，随后详细分析了电磁法在地下管线探测中的应用现状，并提出了针对性的优化建议，以期为相关领域的研究和实践提供参考。

关键词：地下管线探测；电磁法；应用；优化

引言

地下管线作为城市基础设施的重要组成部分，承担着输送能源、传输信息等重要功能。随着城市化进程的加快，地下管线的数量和种类不断增加，对管线探测技术的要求也日益提高。电磁法作为一种常用的地球物理探测方法，在地下管线探测中展现出独特优势。本文将对电磁法技术在地下管线探测中的应用与优化进行深入研究。

1 电磁法基本原理

电磁法基于电磁感应原理，通过观测和研究地下管线与周围介质在电磁场作用下的响应特征，确定管线的位置、深度等参数。该方法利用交变电流在空间中产生的电磁场，当电流通过地下管线时，会在管线周围形成一个电磁场。通过对这个电磁场进行测量和分析，可以实现对地下管线的探测与定位。

1.1 电磁感应原理

电磁感应是电磁法探测地下管线得以实现的物理基础。这一现象源于法拉第电磁感应定律，即当闭合回路中的磁通量发生改变时，会在该回路中激发感应电动势。在地下管线探测的实际应用中，这一原理被赋予了新的生命。具体来说，通过特定的发射设备向地下发送交变电磁场，这一电磁场在遇到地下金属管线时会诱发管线内部产生感应电流。感应电流的存在进而会激发出一个新的、与原电磁场不同的二次电磁场。这个二次电磁场携带着地下管线的位置、走向、材质乃至深度等关键信息，成为探测地下管线的重要依据。值得注意的是，电磁感应的强弱与磁通量的变化率紧密相关，因此在实际操作中，通过调整发射电磁场的频率、强度等参数，可以优化对地下管线的探测效果。同时，地下管线的材质、直径以及埋设深度等因素也会影响感应电流的产生和二次电磁场的分布，这些都需要在探测过程中予以充分考虑。

以充分考虑。

1.2 工作机制

电磁法探测地下管线的工作机制是一个涉及发射、接收和数据处理三个环节的复杂过程。发射环节是探测工作的起点，其核心任务是通过发射机向地下发送交变电磁场。发射机通常能够根据实际需要调整电磁场的频率、强度等参数，以确保最佳的探测效果。在发射过程中，电磁场会穿透地表，向地下空间传播，为后续的管线探测奠定基础。接收环节紧随发射环节之后，其任务是利用接收机观测地下管线产生的二次电磁场。接收机通常具备高灵敏度和高精度的特点，能够准确捕捉并记录下二次电磁场的微弱信号^[1]。这些信号中蕴含着地下管线的宝贵信息，是后续数据分析的关键。数据处理环节是探测工作的最后一步，也是最为关键的一步。在这一环节中，专业人员会对接收到的信号进行仔细的分析和处理。通过比对不同位置、不同时间的信号特征，结合地下管线的已知信息，可以推断出管线的具体位置、深度、走向等参数。这些数据对于城市规划、地下空间开发等领域具有重要的指导意义。

1.2.1 发射机与发射方式

发射机，在电磁法探测地下管线的过程中，扮演着至关重要的角色。作为探测系统的核心部件，发射机的性能优劣直接关系到探测结果的准确性和可靠性。它通过内部的发射线圈，精确地产生一系列交变电磁场。这些电磁场如同无形的探测波，穿透地表，深入地下，与地下管线发生相互作用，激发出管线内部的感应电流。在发射方式上，主要采用的是水平发射和垂直发射两种模式。水平发射，即将发射线圈水平放置，产生的电磁场主要沿水平方向传播。这种方式适用于探测水平或近似水平埋设的地下管线，能够更准确地反映管线的走向和位置。而垂直发射，则是将发射线圈垂直放置，电磁

场主要沿垂直方向传播。这种方式对于探测垂直或倾斜埋设的管线具有更好的效果,能够更深入地穿透地层,获取更深层次的管线信息。在实际探测过程中,需要根据具体的探测需求和地下管线的分布情况,灵活选择发射方式。通过合理调整发射机的参数和发射线圈的放置方式,可以优化电磁场的传播路径和强度,从而提高探测的精度和效率。

1.2.2 接收机与接收方式

接收机,作为电磁法探测地下管线的另一关键部件,负责接收并处理地下管线产生的二次电磁场信号。不同类型的接收机具有不同的接收方式和性能特点,它们各自擅长于捕捉不同方向的磁场分量。例如,单垂直线圈接收机,主要接收管线产生的磁场水平分量。它对于水平埋设的管线具有较好的探测效果,能够清晰地反映出管线的位置和走向。而单水平线圈接收机,则主要接收磁场垂直分量,适用于探测垂直或倾斜埋设的管线^[2]。此外,还有双线圈结构接收机,它通过上下两个线圈的感应电动势差异,来计算管线的深度信息。这种接收机具有更高的探测精度和深度分辨能力,能够满足更为复杂的探测需求。在选择接收机类型和接收方式时,需要充分考虑探测目标的特点和探测环境的实际情况。通过合理搭配接收机与发射机,可以实现更高效、更准确的地下管线探测。

2 电磁法在地下管线探测中的应用

电磁法作为地下管线探测领域的一项关键技术,凭借其高效、非破坏性的特点,在城市规划、地下空间开发、管线维护等多个领域发挥着不可替代的作用。其中,频率域电磁法和时间域电磁法作为电磁法的两大分支,各自具有独特的应用优势和适用范围。

2.1 频率域电磁法

频率域电磁法,顾名思义,是通过在频率域内分析地下管线对电磁波的响应特性来实现管线探测的。这一方法的核心在于利用多种频率的谐变电磁场对地下进行扫描。在实际操作中,发射机会向地下发送一系列不同频率的电磁波,这些电磁波在穿透地表后,会与地下管线发生相互作用,激发出二次电磁场。由于不同频率的电磁波在地下传播时具有不同的衰减特性和穿透能力,因此地下管线在不同频率下的响应特征也会有所差异。频率域电磁法的优势在于其能够同时利用多个频率的电磁波进行探测,从而获取更为丰富的地下管线信息。通过对不同频率下接收到的信号进行综合分析,可以更加准确地确定管线的位置、深度以及材质等参数。此外,由于金属管线等导电性较好的地下设施对电磁波的响应

更为显著,因此频率域电磁法在探测这类设施时具有更高的灵敏度和准确性^[3]。在实际应用中,频率域电磁法通常被用于城市地下管网的普查、管线位置的精确测定以及管线破损点的定位等任务。通过与其他探测技术如地质雷达、声波探测等的结合使用,可以进一步提高探测的准确性和效率。

2.2 时间域电磁法

与频率域电磁法不同,时间域电磁法是通过在时间域内分析地下管线对脉冲电磁场的瞬态响应特性来实现管线探测的。这一方法的特点在于利用周期性脉冲电磁场对地下进行激励。发射机会向地下发送一系列周期性脉冲电磁波,这些电磁波在遇到地下管线时会诱发管线产生瞬态电流,进而激发出瞬态二次电磁场。通过接收机观测这一瞬态二次电磁场的分布和变化规律,可以推断出地下管线的位置和状态。时间域电磁法的优势在于其能够捕捉地下管线对脉冲电磁场的瞬态响应,从而获取更为动态的地下管线信息。由于非金属管线、地下水等导电性较差的地下设施对脉冲电磁场的响应较为独特,因此时间域电磁法在探测这类设施时具有更高的辨识度和准确性。此外,时间域电磁法还具有探测深度大、抗干扰能力强等优点,适用于复杂地质条件下的管线探测任务^[4]。在实际应用中,时间域电磁法通常被用于非金属管线的探测、地下水位的测定以及地质构造的调查等任务。通过与地质勘探、水文地质调查等领域的结合使用,可以为地下空间的合理开发和利用提供更为全面和准确的数据支持。

3 电磁法探测地下管线的优化策略

电磁法作为地下管线探测的主流技术,其高效、非破坏性的特点为城市规划、地下空间开发等领域提供了极大的便利。然而,在实际应用中,电磁法也面临着诸多挑战和局限性,如探测深度受限、信号干扰、管线材质差异导致的探测难度增加等。为了进一步提升电磁法的探测精度和效率,需要从多个维度出发,采取一系列针对性的优化策略。

3.1 提高发射功率和频率选择

发射机作为电磁法探测系统的“心脏”,其发射功率和频率选择直接决定了电磁场的穿透能力和探测精度。为了提高探测深度,可以适当增加发射机的发射功率。发射功率的增大意味着电磁场的强度增强,从而能够穿透更深的地层,达到更远的探测距离。然而,发射功率的增加也会带来一定的挑战,如能耗的增加、设备散热问题的加剧等。因此,在实际应用中,需要根据探测需求和设备性能,合理权衡发射功率与能耗、散热之

间的关系,找到最佳的平衡点。除了发射功率外,探测频率的选择也是提高探测精度的关键。不同材质的地下管线对电磁场的响应特性各不相同,因此需要根据管线的材质、直径、埋设深度等参数,合理选择探测频率。一般来说,对于金属管线等导电性较好的目标,可以选择较高频率的电磁波进行探测。因为高频电磁波在金属中传播时衰减较小,能够产生更强的感应电流,从而提高探测精度。而对于非金属管线或导电性较差的目标,则需要选择较低频率的电磁波以提高穿透能力。低频电磁波具有更强的穿透力,能够穿透较厚的地层或非金属材质,达到更深的探测深度。

3.2 优化接收机和数据处理技术

接收机作为电磁法探测系统的“眼睛”,其灵敏度和分辨率直接决定了对微弱信号的检测能力。为了提高探测精度,需要不断优化接收机的设计,提高其灵敏度和分辨率。一方面,可以通过改进接收机的电路设计和信号处理算法,降低噪声干扰,提高信号质量。另一方面,还可以采用更先进的传感器技术,如超导传感器、量子传感器等,进一步提高接收机的检测能力。除了优化接收机本身外,采用先进的数据处理技术对接收到的信号进行处理和分析也是提高探测精度的有效途径。例如,小波变换技术是一种有效的信号去噪方法。通过利用小波变换的局部化特性,可以将信号中的噪声成分与有用信号分离开来,从而提高信号的纯净度^[5]。此外,神经网络算法在信号处理中也具有广泛的应用前景。通过训练神经网络模型,可以对信号进行特征提取和分类识别,进一步提高探测的准确性和稳定性。另外,三维成像技术作为一种直观的展示方式,也在地下管线探测中发挥着越来越重要的作用。通过利用三维成像技术,可以将接收到的信号转化为三维图像,实现对地下管线的立体展示和精确定位。这不仅有助于更直观地理解地下管线的分布和走向,还能够为后续的管线维护和管理提供更为准确的数据支持。

3.3 加强多源数据融合与综合分析

地下管线探测往往涉及多种数据源和信息类型,如地质雷达数据、GPS定位数据、GIS地理信息系统数据

等。为了充分利用这些信息资源,提高探测结果的准确性和可靠性,需要加强多源数据的融合与综合分析。首先,地质雷达作为一种辅助探测手段,能够提供地下管线的初步位置和走向信息。通过将地质雷达数据与电磁法探测数据相结合,可以对管线位置进行更为精确的校准和验证。其次,GPS定位技术能够为提供精确的地理位置信息,有助于确定管线的实际位置。通过将GPS定位数据与电磁法探测数据相融合,可以实现管线位置的精确定位和导航。此外,GIS地理信息系统作为一种强大的空间数据管理工具,能够将各种地下管线信息进行整合和展示。通过将电磁法探测数据导入GIS系统中,可以实现对地下管线的全面、可视化管理。除了数据融合外,综合分析也是提高探测结果准确性和可靠性的重要手段。可以通过对比历史数据和现场勘查结果,分析管线位置、走向、材质等参数的变化情况,进一步验证探测结果的准确性。同时,还可以结合地质条件、地下水位等环境因素,对探测结果进行综合分析,评估管线的安全性和稳定性。

结语

电磁法作为地下管线探测的重要技术手段之一,在城市化进程中发挥着不可替代的作用。通过不断优化电磁法的探测技术和方法策略,可以进一步提高其探测精度和效率,为城市基础设施建设和维护提供更加可靠的技术支持。未来,随着科技的不断进步和创新发展,电磁法在地下管线探测领域的应用前景将更加广阔。

参考文献

- [1]曹宏宇.基于电磁法的地下金属管线探测系统研究[D].河北科技大学,2022.
- [2]张奎.基于频率域电磁法的城市地下金属管线无损探测技术[J].北京测绘,2024,38(05):815-821.
- [3]张云霞,吴嵩,刘传逢,等.频率域电磁法正反演在地下管线探测中的应用[J].城市勘测,2019,(03):205-208.
- [4]梁盛军,李兆亮,何怡原,等.时间域航空电磁法在地下空间探测中应用[J].地质论评,2021,67(S1):215-216.
- [5]高斌,何杰,薛陶,等.基于电磁法的城市地下管线探测技术的应用研究[J].路基工程,2018,(05):24-29.