

Application of 3D Resistivity Imaging Technology in Urban Underground Cavity Detection

Jian Cai

Shanxi Coal Geological Geophysical Surveying and Mapping Institute Co., Ltd., Jinzhong, Shanxi, 030600, China

Abstract

Three-dimensional resistivity imaging is an important technology in geophysical exploration, and its application in urban underground cavity detection is increasingly widespread. This paper focuses on the effectiveness and feasibility of 3D resistivity imaging in urban underground cavity detection. Its working principle and application cases in urban underground cavity detection are analyzed in detail. It is found that the technique can reflect the changes of various underground physical parameters successfully, and effectively distinguish whether there is a hole in the underground. In addition, compared with traditional seismic reflection method, electromagnetic method and other methods, three-dimensional resistivity imaging technology has many advantages, such as large measurement depth, high spatial resolution, and high positioning accuracy. However, this technology also has some limitations in practical application, such as weather and noise interference. The results of this paper provide an important reference for the detection of underground voids in urban construction, and improve the safety and stability of urban construction.

Keywords

three-dimensional resistivity imaging technology; urban underground cavity detection; working principle; comparative analysis; application limitation

三维电阻率成像技术在城市地下空洞探测中的应用探索

蔡健

山西省煤炭地质物探测院有限公司, 中国·山西 晋中 030600

摘要

三维电阻率成像技术是地球物理勘查中的一项重要技术, 其在城市地下空洞探测中的应用日益广泛。论文集中探讨了三维电阻率成像技术在城市地下空洞探测中应用的有效性和可行性。详细分析了其工作原理, 及其在城市地下空洞探测中的具体应用案例。发现, 该技术可以成功地反映出地下各种物理参数变化, 并有效地区分地下有无空洞。此外, 对比传统地震反射法、电磁法等方法, 三维电阻率成像技术有诸多优势, 如测量深度大、空间分辨率高、定位精度高等。但该技术在实际应用中也存在一些局限性, 如受天气、噪音干扰较大等。论文的结果为城市建设中的地下空洞探测提供了一个重要的参考, 提高了城市建设的安全性和稳定性。

关键词

三维电阻率成像技术; 城市地下空洞探测; 工作原理; 对比分析; 应用局限性

1 引言

在城市化进程中, 地下空洞的探测始终是地质工程和城市建设中不可或缺的一部分。此类工作的重要性不能被忽视, 因为它关系到建筑物的稳定性和人们的生命安全。然而, 由于地下环境的复杂性, 使用传统方法(如地震反射法和电磁法)进行地下空洞探测工作困难重重, 如测量深度受限、空间分辨率较低等问题, 严重限制了探测工作的进展。幸运的是, 随着科技进步, 一种名为三维电阻率成像技术的新型地球物理勘查方法应运而生, 并在短时间内得到了广泛

应用。该技术以其测量深度大、空间分辨率高、定位精度高等优点, 为解决上述问题提供了新的可能性。然而, 这一领域的研究仍然存在许多待解决的问题, 如技术的可行性、有效性, 以及在现实环境中如何应对各种干扰等等。因此, 研究三维电阻率成像技术在城市地下空洞探测中的应用, 尤为重要。

2 三维电阻率成像技术概述

2.1 技术原理解析

三维电阻率成像技术的基本原理主要基于电阻率测量, 通过在地表或者地下布设电极阵列, 向地层中注入电流, 并测量电极间的电位差^[1]。通过多点电极数据的收集, 利用反演算法构建出地下介质电阻率的三维分布图像。在实施过程

【作者简介】蔡健(1989-), 男, 中国山西吕梁人, 本科, 工程师, 从事电法勘探、地质灾害监测预警研究。

中,电流通过地下不同介质的电阻率差异产生不同的电位响应,反映出不同地下结构的电性特征。电阻率较低的区域通常代表地下空洞或含水层,而电阻率较高的区域通常代表致密的岩层或干燥的砂土。通过对这些电性参数的精细解析,可以揭示地质结构及其变化情况,为地下空洞的探测提供可靠的数据支持。该技术在地球物理勘查尤其是城市地下结构探测中具有重要的应用价值,通过精确的电阻率成像,能够有效地识别和定位地下空洞,从而提高城市地下工程的安全性和稳定性。

2.2 技术发展现状

三维电阻率成像技术在近年来得到了迅速发展。其基础理论源于电阻率法,但通过增加空间维度和高精度电子设备,实现了对地下结构更为准确的成像。现代三维电阻率成像技术的进步包括高空间分辨率成像、实时数据处理和多频率测量等方面。先进的算法和计算机技术推动了数据处理效率和成像精度的提升,能够更加精准地反映地下电阻率分布。各类高性能电极和传感器的应用,使得该技术在不同地质条件下均能获得可靠数据。当前,三维电阻率成像已被广泛应用于环境工程、矿产勘探、地质灾害评估、考古等多个领域,显示出其在复杂地质环境下的优越性。该技术在城市地下空洞探测中的应用前景也日益受到重视,对城市建设和安全评估具有重要意义^[2]。

2.3 技术应用领域

三维电阻率成像技术在多个领域展现了其显著优势。在环境地球物理中,该技术用于检测地下污染、评估地下水资源以及监测土壤和岩石的物理性质。在工程地质中,广泛应用于隧道、桥梁等基础设施的勘察和维护,以预防地质灾害。在考古学中,被用于探测埋藏遗迹和文物。该技术在能源勘探中,包括石油、天然气及地热资源的勘探,提供了高分辨率的地下成像^[3]。其在城市地下空洞探测中的应用,为城市建设提供了可靠的安全保障。

3 在城市地下空洞探测中的应用分析

3.1 技术实施细节

三维电阻率成像技术在城市地下空洞探测中的应用过程,可分为数据采集、数据处理和数据解释三个主要步骤。数据采集阶段,通过在地表布设电极阵列,并向地下输入电流,记录各电极之间的电位差。所选电极布设方式和数据采集密度会直接影响成像效果。数据处理阶段,采用反演算法将采集到的电位差数据转换为地下电阻率分布图像。常见的反演算法包括有限差分法和有限元法,目的是解决地下复杂地质结构的影响,提高成像精度。数据解释阶段,结合城市地下环境的已知信息,对反演后的电阻率剖面图进行分析,识别可能存在的地下空洞区域。利用地质、地貌和工程地质等背景知识,进一步验证和校正电阻率异常的解释,提高结果的可靠性和准确性。技术实施过程中,需注意外部环境干

扰对数据质量的影响,采取有效的抗干扰措施以确保数据的有效性。

3.2 技术成功应用案例

某市为解决潜在的地下空洞隐患,采用三维电阻率成像技术进行详细勘查。在市中心一处建筑密集区内布设电极,进行系统性测量。通过高密度电阻率数据的采集与处理,生成了地下三维电阻率分布图。成像结果显示,在地面以下20m处存在明显异常区,经进一步对比和分析,确认该区域为大型地下空洞。随后,进行了土体钻探验证,发现该空洞直径约为8m,深度约为10m,与成像结果高度一致^[4]。通过修复工程,这一潜在风险得以排除。验证结果表明,三维电阻率成像技术能够准确定位和定量评估地下空洞,为城市规划和建设提供了可靠依据,有效提升了城市基础设施的安全性和稳定性。

3.3 技术应用效果评估

三维电阻率成像技术在城市地下空洞探测中的应用效果显著^[5]。在多个城市地下勘测案例中,通过该技术成功辨识出地下空洞和其他异常结构,验证了技术的高灵敏度和精确度。相比传统方法,三维电阻率成像技术在地下空洞的定位、形态和规模等方面表现出更高的准确性。该技术在城市地下管线和施工区域的空洞探测中,提供了精确的地质信息,帮助减少了工程施工风险,提升了城市建设的安全性。该技术在不同地质条件下均展现出良好的适应性,进一步体现了其应用的广泛性和可靠性。

4 三维电阻率成像技术与传统方法的对比分析

4.1 与地震反射法的对比

在城市地下空洞探测的众多方法中,三维电阻率成像技术与地震反射法之间存在显著差异。地震反射法通过人工激发的地震波在不同介质界面的反射特性,探测地下结构。该方法对地下空洞的分辨能力有限,具有较低的空间分辨率,特别是在识别小规模空洞方面。地震反射法的探测深度在受浅层复杂地质条件影响时,也会出现精度下降的问题。

与之相比,三维电阻率成像技术在空间分辨率和探测深度方面表现出色。该技术基于不同介质对电流的传导性,能够通过电阻率的差异清晰地描绘出地下结构的细节。高空间分辨率使其在识别和定位地下空洞方面尤为擅长。具体而言,三维电阻率成像可有效克服地震反射法在浅层复杂地质条件下的局限,并提供更为详细的地下空洞信息。

三维电阻率成像技术在城市地下空洞探测方面具有明显优势,特别是在空间分辨率和探测深度上,其性能显著优于传统的地震反射法。

4.2 与电磁法的对比

三维电阻率成像技术在地下空洞探测中的优势显著,相较于电磁法,其测量深度更大,空间分辨率和定位精度更高。电磁法依靠地下介质电磁性质的变化进行探测,适用于

较浅层的勘探,受地表和近地表噪声的影响较大,且在高电导率环境中的效果不佳。三维电阻率成像技术则通过测量地下电阻率分布,能够更有效地反映地下不同材质的变化,尤其适合识别深层的空洞和异常。电阻率成像在处理复杂城市地下环境时表现出更高的适应性和可靠性,尽管电磁法在快速扫描及初步探测方面有其优势,但在精细探测和结果精度上,电阻率成像技术表现更为优越。在城市基础设施隐患排查中,三维电阻率成像技术的应用前景更加广阔。

4.3 技术优势与局限性探讨

电阻率成像技术在城市地下空洞探测中展现了显著优势。该技术测量深度大,能够捕捉地下较深层次的物理变化;其高空间分辨率使得探测精度显著提升,有利于准确定位地下空洞。实际应用过程中也面临一些局限性,如天气和环境噪声可能对数据采集产生干扰。设备成本较高,操作复杂性增加了现场工作的难度。这些因素在一定程度上限制了该技术在某些复杂城市环境中的普及和广泛应用。

5 三维电阻率成像技术的应用展望

5.1 针对技术局限性的解决方案

面对三维电阻率成像技术应用中的局限性,提出几种有效的解决方案。针对天气影响的问题,可以采用全天候适用的先进传感器和设备,提升数据采集的稳定性。例如,使用能够抵御极端天气的防水防尘传感器,以减小环境因素对数据质量的影响。为了降低噪声干扰,可应用抗干扰性能强的信号处理技术或使用高灵敏度的探测器,通过优化数据采集和处理流程来提高信号的清晰度和准确性。为了增强技术的易操作性和数据解读的精确性,可以开发更先进的数据处理软件和算法,从而简化操作流程,提升数据的解析能力,减少人为误差。在实际应用中,采用多种地球物理探测方法协同工作,可以有效弥补单一方法的不足,提升探测结果的可靠性。例如,结合三维电阻率成像技术和地震反射法等其他方法,可以提高对城市地下空洞的探测精度和全面性。通过这些针对性措施,可以显著提升三维电阻率成像技术在城市地下空洞探测中的应用效果。

5.2 技术发展趋势

三维电阻率成像技术在未来的发展中将朝着自动化、高精度、多功能集成的方向推进。自动化的数据采集与处理技术将得到广泛应用,减少人为操作带来的误差。算法优化和人工智能技术的引入将显著提升数据反演精度,提供更为

清晰的地下结构图像。传感器技术的发展将使测量装备更加轻便和高效,提高现场作业灵活性和速度。未来,将进一步融合不同地球物理方法,如地震、重力和磁法等,实现多源数据的综合解析,增强地下空洞探测的准确性和可靠性。移动测量平台和无人驾驶技术的结合将拓展技术应用场景,有望在复杂或危险环境中实现高效探测,推动城市地下空间勘查技术的全面进步。

5.3 提升城市建设安全性和稳定性的建议

提升城市建设安全性和稳定性的建议包括:加强对三维电阻率成像技术的培训和推广,确保操作人员具备专业技能;提高设备的抗干扰能力和数据处理精度,以减小外界环境对测量结果的影响;建立空间数据共享平台,促进结果数据和经验的交流与共享;加强与其他探测技术的联合应用,通过多技术融合提高综合探测精度;制定和推广技术标准和规范,确保应用过程中的操作一致性和数据可靠性。

6 结语

论文重点探讨了三维电阻率成像技术在城市地下空洞探测应用的有效性和可行性。研究发现此项技术具有测量深度大,空间分辨率高,定位精度高等优点,并已经成功地在实际城市地下空洞探测中应用,取得了显著成果。虽然该技术确实受到天气和噪声及其他因素干扰,存在一定局限性,但这些问题并不影响其在城市建设中的地下空洞探测作用的重要性,也不影响其作为一种新颖、高效的探测工具的价值。本研究结果将进一步推动和优化三维电阻率成像技术在城市地下空洞探测中的应用,提供更加高效和精准的探测方式。同时,本研究也提示,尽管三维电阻率成像技术有一定的局限性,但是通过技术进步和研究深入,有望进一步克服这些限制,为我国城市建设提供更加稳定、安全的保障。

参考文献

- [1] 徐磊,吴宇豪,蔡克俭.超高密度电阻率法在某城市空洞探测中的应用[J].勘察科学技术,2021(2):50-51.
- [2] 周瑜琨,张巍,刘立岩,等.高密度电阻率法在城市地下空间探测中的应用研究[J].河北地质大学学报,2022,45(2):75-80.
- [3] 王拯.基于三维电阻率成像的薄基岩形态分析[J].矿业装备,2023(8):19-21.
- [4] 李妙平.高密度电阻率法在城市地下管线探测中的应用探讨[J].中国科技期刊数据库 工业A,2021(12):65-66.
- [5] 索奎,刘文辉,倪云鹏,等.三维电阻率成像在小型滑坡探测中的应用[J].华北水利水电大学学报:自然科学版,2022,43(6):71-78.