

大地电磁测深技术在深部地质结构探测中的应用与挑战

温霞妹

广东省岩土工程勘察院有限公司 广东湛江

【摘要】大地电磁测深技术（EMDC）作为一种重要的深部地质探测方法，在勘探地球深部结构中展现了其独特优势。通过利用电磁波传播特性，该技术能够精确地探测地下不同深度的电性信息，广泛应用于矿产资源勘探、环境监测及地震预测等领域。尽管 EMDC 技术在探测精度和覆盖范围上具有显著优势，但在深部地质结构探测中的应用仍面临诸多挑战，包括信号衰减、数据处理复杂性及地质背景的复杂性等问题。本文通过对这些挑战进行分析，提出了优化信号处理技术、提高探测深度和精度等解决方案，为该技术在深部地质勘探中的进一步应用提供了理论支持。

【关键词】大地电磁测深；深部地质探测；信号处理；探测精度；地质结构

【收稿日期】2025 年 6 月 14 日

【出刊日期】2025 年 7 月 15 日

【DOI】10.12208/j.sdr.20250097

Application and challenges of Magnetotelluric sounding technology in deep geological structure detection

Xiamei Wen

Guangdong Geotechnical Engineering Survey Institute Co., Ltd. Zhanjiang, Guangdong

【Abstract】As an important method for deep geological exploration, the Magnetotelluric Sounding Technology (EMDC) has demonstrated unique advantages in exploring the deep structure of the Earth. By utilizing the propagation characteristics of electromagnetic waves, this technology can accurately detect electrical information at different underground depths, and is widely applied in fields such as mineral resource exploration, environmental monitoring, and earthquake prediction. Although EMDC technology has significant advantages in detection accuracy and coverage range, its application in deep geological structure detection still faces many challenges, including signal attenuation, complexity of data processing, and complexity of geological background. By analyzing these challenges, this paper proposes solutions such as optimizing signal processing technology and improving detection depth and accuracy, providing theoretical support for the further application of this technology in deep geological exploration.

【Keywords】Magnetotelluric sounding; Deep geological detection; Signal processing; Detection accuracy; Geological structure

引言

大地电磁测深技术已成为现代地质勘探中的一项重要手段，尤其在探测深部地质结构方面具有无可比拟的优势。相较于传统的地质勘探方法，EMDC 技术能够在不破坏地下结构的前提下，获取深层地下的电性信息。随着科技的发展，尤其是高分辨率电磁波的应用，该技术的应用范围日益扩展，已成为矿产资源、地下水、地震预测等领域的重要工具。尽管 EMDC 技术在深部地质探测中展现了巨大潜力，实际应用中仍面临着诸如信号衰减、噪声干扰及地质环境复杂性等挑战。这些问题不仅影响探测结果

的精确性和可靠性，还限制了其在更深层次地质探测中的进一步应用。如何解决这些技术瓶颈，提升 EMDC 在深部地质结构探测中的应用效果，成为当前亟待解决的问题。

1 大地电磁测深技术的原理与发展现状

大地电磁测深技术（EMDC）是一种利用电磁波在地下传播过程中的响应特征来探测地下地质结构的地球物理勘探技术。其基本原理是通过发射电磁波，并通过接收电磁波的变化来分析地下的电性信息。地下的不同物质具有不同的电导率，电磁波在传输过程中会受到不同地质结构的影响，这些影响

反映在接收到的电磁信号上。利用这些变化,能够推断地下的地质构造、矿产资源及其他地质信息。这种技术主要包括自然场测量和人工激发测量两种方式。自然场测量主要通过探测地下天然电磁场的变化,而人工激发测量则通过向地下发射电磁波信号,并分析其传播特征来进行探测。

随着科技的进步,EMDC 技术在近年来取得了显著的发展。早期的电磁探测主要依赖于低频电磁信号,尽管能够探测较为浅层的地下结构,但在深部探测中存在信号衰减严重的问题,探测深度有限。为了解决这一问题,研究人员逐步改进了电磁信号的频率和波形设计,提升了信号的穿透力和探测深度。信号处理技术的进步也是推动 EMDC 技术发展的一个关键因素^[1]。通过采用先进的数字化信号处理技术,能够有效地去除噪声干扰,提高测量精度。近些年,随着高分辨率电磁波技术的发展,EMDC 技术的应用范围不断拓展,已被广泛应用于矿产勘探、地下水资源调查、地震前兆监测等领域。

尽管 EMDC 技术取得了很大的进步,其在深部地质探测中的应用仍面临诸多挑战。深部电磁波传播过程中的信号衰减问题依然是制约其应用的重要因素。电磁波在地下的传播深度受到地下介质的电导率、地下水分布及其他因素的影响,导致信号在深部的有效性大打折扣。由于地下环境的复杂性,电磁波的传播过程中会受到多种因素的影响,如地下介质的异质性、矿体的分布情况等,这些因素使得信号的解释和反演变得极为复杂。尽管如此,随着技术不断进步,EMDC 技术的深部探测能力仍然具有广阔的应用前景,未来有望通过进一步的创新,克服这些挑战。

2 深部地质探测中的挑战与难点

深部地质探测是地质勘探中一项技术难度较大的任务。地下的复杂性使得探测工作充满了挑战,尤其是在进行深部地质探测时,信号的衰减和干扰问题显得尤为突出。大地电磁测深技术作为一种重要的勘探手段,虽然具有较强的穿透力,但在深部地质结构的探测中,仍面临诸多困难。深部探测中最常见的问题之一便是电磁波的衰减。当电磁波穿越地下介质时,由于介质的电导率不同,信号会发生衰减。在深层地区,尤其是在地壳较为致密或电导率较高的区域,电磁波的传播会变得极为困难,从而导致探测的深度受限。地下水分布、矿物种类的多样性及地下结构的非均匀性等因素,也会导致

信号的衰减更加显著。

除信号衰减问题外,深部探测的另一大难题便是数据的处理和解释。由于地下地质结构的复杂性,所获取的电磁信号在传播过程中会受到多种因素的影响,如地下的电性差异、矿体的空间分布等。这样的复杂背景使得获取的电磁数据常常包含大量的噪声,且不同地下结构对电磁波的响应形式各异^[2]。如何准确地从这些数据中提取有效信息,成为深部地质探测中的一个重要难点。目前,虽然已经有多种先进的信号处理方法被提出,但在面对深部复杂地质环境时,现有的方法仍无法完全消除噪声影响,也无法准确地揭示地下的具体结构。

深部地质探测中的另一大难题是探测范围的局限性。传统的电磁测深技术主要依赖于地表的传感器进行测量,但由于电磁波在地下的传播距离有限,导致深部结构的探测范围相对较小。虽然通过提高仪器的灵敏度和使用更高频率的电磁波,可以在一定程度上提高探测的深度,但仍然受到地下介质特性和设备能力的限制。为了拓展深部探测的范围,研究人员正在不断探索新的技术方案,如结合其他勘探方法进行多方法联合探测,或者通过改进测量设备,提高测量精度和探测深度,以期获得更为准确和广泛的深部地质信息。

3 优化大地电磁测深技术的方法与策略

为了提高大地电磁测深技术在深部地质探测中的应用效果,研究人员提出了多种优化方案。这些优化方案旨在克服信号衰减、噪声干扰和探测深度的限制,进而提高探测精度和有效性。改进电磁波的发射方式是提高探测效果的一个重要途径。通过调整电磁波的频率、波形及发射方式,可以使电磁波在地下的传播更加顺畅,并有效减少信号衰减带来的影响。低频电磁波具有较强的穿透力,适合用于深部探测,而高频电磁波则能够提供更高的分辨率,优化电磁波的频率和波形设计可以在一定程度上提高探测的深度和精度。

信号处理技术的创新是提高大地电磁测深技术应用效果的另一个关键。由于深部电磁信号往往受到噪声和干扰的影响,传统的信号处理方法难以从大量的噪声中提取出有效信息^[3-7]。研究人员提出了一系列新的信号处理算法,如基于时频分析的信号分离技术、基于深度学习的自动去噪方法等。这些技术能够有效地提取电磁信号中的有用信息,并去

除噪声和干扰,从而提高数据的准确性和可靠性。多频率、多分辨率的信号处理方法也在实践中取得了良好的效果,通过在不同频段同时进行探测,能够全面地揭示地下不同深度的地质信息。

在提升探测深度方面,采用多传感器阵列是近年来提出的一项有效方案。通过布置多个接收器传感器,并结合不同的测量方法,可以显著扩展测量的范围,提高探测的深度。利用多个接收器同时进行测量,可以增强信号的接收灵敏度,同时对比不同位置的信号响应,有助于更准确地判断地下结构的分布。结合其他地球物理勘探方法,如地震勘探、重力勘探等多方法联合探测,能够有效补充单一电磁测深方法的不足,从而提高整体勘探效果。

4 大地电磁测深技术在深部地质结构探测中的实际应用

大地电磁测深技术在深部地质结构探测中的应用越来越广泛,尤其在矿产勘探、地下水资源调查以及地震前兆监测等领域,展现出了其独特的优势。在矿产勘探中,EMDC 技术能够通过识别地下的电性差异,帮助勘探人员判断矿体的分布情况。尤其是在矿脉深部或隐伏矿体的探测中,EMDC 技术相比传统的勘探方法具有更高的效率和精度。在某些矿区的勘探过程中,通过大地电磁测深技术可以清晰地识别出地下矿体的形态和规模,为矿产资源的合理开发提供了重要依据。

在地下水资源调查中,大地电磁测深技术通过分析地下水层的电性特征,能够有效识别地下水的分布情况。地下水的存在与地质结构、岩层的渗透性以及水文地质条件密切相关,电磁波在地下水层中的传播特性与这些因素紧密相连。特别是在干旱和水资源匮乏的地区,EMDC 技术能够帮助识别潜在的水源区,精确估算地下水的储量、流动路径及其水质状况。这为水资源的合理开发、保护以及应急水源的寻找提供了科学依据,极大地推动了水资源的可持续管理。

大地电磁测深技术在地震前兆监测中的应用,主要是基于地震发生前,地下地质结构的电性特征发生变化的现象。研究发现,地震活动常常伴随着地下岩石的变形、裂隙的变化等,这些变化会影响地下的电导率,导致电磁波的传播特性发生显著变化。EMDC 技术能够通过实时监测这些电性变化,捕捉到潜在的地震前兆信号。尤其是在地震频发的地区,通过长时

间的监测,可以积累大量的地下电性变化数据,从而实现地震活动的早期预警^[8]。通过这些数据的分析,科学家能够识别出地震即将发生的可能性,为地震防灾减灾提供重要依据,帮助相关部门及时采取应急措施,减少地震灾害带来的损失。

5 结语

大地电磁测深技术在深部地质探测中的应用具有重要意义,尤其在矿产勘探、地下水资源调查以及地震前兆监测等领域,展现出了巨大的潜力。尽管在深部探测中面临着信号衰减、数据处理复杂性等挑战,但随着技术的不断发展,优化措施的不断提出,EMDC 技术的精度和应用深度已得到显著提升。未来,随着信号处理技术的进步和多方法联合探测的推广,EMDC 技术将在深部地质探测中发挥更加重要的作用,为资源勘探、灾害预测及环境保护等领域提供有力支持。

参考文献

- [1] 程怀蒙,陈松,李贤军,等.音频大地电磁测深(AMT)在甚低阻区矿产勘查中的应用[J].工程地球物理学报,2025,22(03):406-415.
- [2] 李建东,赵留峙.EH4 大地电磁测深系统在矿物勘查中的优化应用[J].非金属矿,2025,48(02):107-110.
- [3] 贾学斌.大地电磁测深、微动勘探和土壤氡浓度测量在某地热勘查中的应用[J].生态与资源,2025,(01):14-16.
- [4] 杨富强,廖海志,王正,等.海岸效应对大地电磁测深数据畸变影响研究[J].物探与化探,2024,48(05):1284-1293.
- [5] 周建飞.可控源音频大地电磁测深在地热勘查中的应用[J].西部探矿工程,2024,36(10):163-166+171.
- [6] 张昆,刘磊,马兴知,等.大地电磁测深数据处理方法技术进展[J].中国地质调查,2024,11(05):129-138.
- [7] 曾杰,李小东.可控源音频大地电磁测深法在贵州沿河县地热水资源勘探的应用成效[J].华北自然资源,2023,(04):78-81.
- [8] 何全华,颜长宁,黄雪林,等.音频大地电磁测深(AMT)与多极化大地电磁测深(MPMT)在云南某铅锌矿勘探中的应用研究[J].世界有色金属,2023,(15):109-111.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS