

大地电磁 (MT) 在矿山地质构造探测中的应用

王彦琪 陈卫东 李又娟 潘 伟

中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 陕西 西安 710054

摘 要: 大地电磁测深法 (MT) 利用天然电磁场研究地球内部电性结构, 具有探测深度大、分辨能力强的特点。在矿山地质构造探测中, MT法能揭示断裂带、褶皱带等地质构造, 为矿产勘探提供重要依据。通过优化观测参数、采用先进采集技术和反演算法, 可提高数据质量和解释精度。MT法与其他地球物理方法结合, 形成综合勘探体系, 提升矿山地质构造探测效果。

关键词: 大地电磁 (MT); 矿山地质构造探测; 应用

引言: 矿山地质构造探测对于矿产资源的有效开发和利用至关重要。大地电磁测深法 (MT) 作为一种高效、非侵入性的地球物理勘探技术, 以其独特的优势在矿山地质构造探测中发挥着重要作用。本文综述了MT法在矿山地质构造探测中的研究进展与实际应用情况, 分析了其探测原理、数据处理及解释方法, 旨在为该领域的研究与应用提供有益的参考和借鉴。

1 大地电磁测深法的基本原理

1.1 方法概述

大地电磁测深法 (MT) 是一种利用天然电磁场作为场源来研究地球内部电性结构的重要地球物理手段。该方法的基本原理基于麦克斯韦方程组, 通过观测和分析地面上的天然交变电磁场, 推断地球内部岩石的电性结构随深度的分布。大地电磁测深法具有探测深度大、不受高阻层屏蔽、分辨能力较强等特点, 广泛应用于地壳和上地幔的研究, 是普查石油、天然气田以及研究沉积盆地等地质构造的重要工具。大地电磁测深法的特点主要体现在以下几个方面: 首先, 它能够探测到较深的地下结构, 适用于地壳和上地幔的研究; 其次, 该方法不受高阻层的屏蔽, 能够穿透高阻介质获取地下信息; 再者, 其分辨能力较强, 特别是对良导介质有较好的探测效果; 最后, 大地电磁测深法的工作成本相对较低, 野外装备轻便, 便于在复杂地形条件下进行勘探。

1.2 数据采集与处理

(1) 大地电磁数据采集的过程。大地电磁数据采集的过程包括仪器标定、野外试验和数据采集等步骤。首先, 仪器标定是确保测量准确性和稳定性的关键, 需要对所使用的电磁法仪器进行一致性对比和校准, 确保其不同条件下都能提供准确的数据。其次, 野外试验是在实际勘探前进行的一次模拟测试, 旨在检验仪器性能和测量方法的可行性。在数据采集阶段, 需要选择合适

的测量地点, 确保测量区域具有代表性。然后, 布置测量电极和磁场传感器, 按照一定的间距和方向进行排列。使用大地电磁法仪器进行测量, 记录电磁场的时间序列数据。在数据采集过程中, 要确保测量仪器的准确性和稳定性, 严格按照操作规程进行测量, 以减少误差和干扰。(2) 数据处理的方法和流程。数据处理是大地电磁测深法的重要环节, 包括数据预处理、反演计算和结果解释等步骤。数据预处理主要是对采集到的数据进行初步处理, 包括去除噪声、滤波等, 以提高数据质量。反演计算是将预处理后的数据转换为地下电阻率分布模型的过程, 需要选择合适的反演算法和参数, 如最小二乘法、共轭梯度法等。结果解释是根据反演得到的电阻率分布模型, 结合地质背景和其他地球物理资料, 对地下地质结构进行解释。解释可能包括地层划分、构造特征、含水层分布等。在结果解释过程中, 要充分考虑地质背景和其他地球物理资料, 避免单一方法的局限性。最后, 对处理结果进行不确定性分析, 评估结果的可靠性和可信度^[1]。

2 大地电磁 (MT) 在矿山地质构造探测中的应用

2.1 矿山地质概况及地球物理特征

矿山地质构造探测是一项复杂而精细的工作, 它要求我们不仅要深入了解目标矿区的地质背景, 还要掌握地球物理特征, 以便为后续的勘探工作提供科学依据。大地电磁测深法作为一种重要的地球物理勘探手段, 在揭示地下地质构造方面具有独特优势。(1) 地质背景, 如表1。地球物理特征: 地球物理特征是大地电磁测深法应用的基础。在矿山地质构造探测中, 我们主要关注岩石的电性特征, 特别是电阻率。不同岩石类型的电阻率往往存在显著差异, 这主要是由于岩石的矿物组成、孔隙度、含水量以及温度等因素的影响。例如, 含水的砂岩和页岩通常具有较低的电阻率, 而干燥的花岗岩和石

英岩则具有较高的电阻率。此外，地质构造也对地球物理场产生重要影响。断裂带、褶皱带等地质构造通常伴随着岩石的破碎和变形，导致电阻率的不连续分布。这些不连续分布是大地电磁测深法中识别地质构造的重要依据。

表1 地质背景

要素	描述
岩石类型	沉积岩、变质岩、火成岩
地质构造	断裂、褶皱等
岩浆活动	可能存在
地质历史	多次构造变形和变质作用
影响	控制矿产资源分布、影响地下流体运移和岩石物理特性

2.2 应用实例分析

2.2.1 应用过程及其效果

在某金属矿山的地质构造探测中，我们成功地运用了大地电磁测深法。以下是我们具体的应用过程及其取得的显著效果。首先，对该矿区进行了详尽的地质调查，掌握了其地质背景和地球物理特征。随后，根据矿区的独特情况，我们精心设计了勘探方案。在测点布置环节，依据地质构造的延伸方向和矿体的具体分布，精心选择了关键的测点。为了确保数据的连续性和精密度，我们根据预期的勘探深度和分辨率，合理设定了测点间距。例如，在矿区的一个关键区域，发现了一处潜在的矿体富集带。为此，我们加密了测点布置，以便更精确地获取该区域的地质信息。在数据采集过程中，采用了高精度的电磁测量仪器，并严格把控测量环境，确保数据的准确性。经过滤波、校正和反演计算等数据处理步骤，获得了清晰的地下电阻率分布图像。结合地质背景和已知地质资料，我们对这些图像进行了深入分析，成功揭示了断裂带、褶皱带以及岩浆岩体的具体位置和空间形态，为后续矿产勘探和开发提供了宝贵的地质依据。

2.2.2 关键步骤的详细说明

(1) 测点布置：合理的测点布置是确保勘探效果的关键。在测点布置时，我们需要充分考虑地质构造的走向、矿体的分布特点以及预期的勘探深度和分辨率等因素。通过合理的测点布置，我们可以获取更全面、更准确的地下电阻率分布信息。(2) 数据采集：高质量的数据采集是后续数据处理和解释的基础。在数据采集过程中，我们需要严格控制测量环境，避免电磁干扰对数据的影响。同时，我们还需要选择合适的观测频率和测量时间长度等参数，以确保数据的准确性和可靠性。(3)

数据处理：数据处理过程中，我们需要采用先进的滤波技术和反演算法来提高数据的信噪比和反演结果的准确性。通过滤波处理可以消除数据中的噪声和干扰；通过反演计算可以得到地下电阻率分布的三维图像；通过对比分析和解释可以得到地质构造的详细信息^[3]。

2.2.3 反演结果分析

通过对反演结果的分析，我们揭示了矿区内断裂带、褶皱带和岩浆岩体的分布位置及其空间形态。这些地质构造不仅控制着矿产资源的分布和富集规律，还为后续的矿产勘探和开发提供了重要的地质依据。同时，我们还发现了一些未知的地质异常体，这些异常体可能与潜在的矿产资源有关，为后续的地质调查提供了线索。

2.3 探测效果评价

(1) 优势与局限性。与其他勘探方法相比，大地电磁测深法在矿山地质构造探测中具有显著优势。首先，该方法具有较大的勘探深度，能够覆盖到地壳和上地幔的深度范围，满足矿山地质构造探测的需求。其次，大地电磁测深法不受高阻层屏蔽的影响，能够穿透高阻介质获取地下信息。再者，该方法具有较高的分辨率，能够准确揭示出地下地质构造的细微特征。然而，大地电磁测深法也存在一定局限性。首先，该方法受到电磁干扰的影响较大，特别是在矿区内存在各种干扰源的情况下，数据质量可能受到一定影响。其次，大地电磁测深法的解释过程相对复杂，需要综合地质背景和其他地球物理资料进行综合分析。此外，该方法对测点布置和数据采集的要求较高，需要严格控制测量条件以确保数据的准确性和可靠性^[4]。(2) 应用前景与推广价值。尽管存在一定局限性，但大地电磁测深法在矿山地质构造探测中仍具有广阔的应用前景和推广价值。随着技术的不断进步和方法的不断完善，该方法在解决矿山地质构造探测中的复杂问题方面将发挥更加重要的作用。同时，大地电磁测深法还可以与其他勘探方法相结合，形成多方法综合勘探体系，提高勘探的准确性和可靠性。此外，该方法在矿产资源勘探、环境监测等领域也具有广泛的应用前景和潜在价值。

3 大地电磁测深法在矿山地质构造探测中的挑战与解决方案

3.1 探测深度与分辨率的平衡

探测深度与分辨率是大地电磁测深法中的两个关键参数，它们之间存在着一定的权衡关系。一方面，为了获取更深层次的地下信息，我们需要增加探测深度；另一方面，为了提高对地质构造细节的识别能力，我们需要提高分辨率。如何在保证探测深度的同时，提高分辨

率,成为大地电磁测深法面临的一个主要挑战。

解决方案:(1)优化观测参数:通过合理选择观测频率和观测时间长度等参数,可以在一定程度上平衡探测深度与分辨率。较低的频率能够穿透更深的地下,而较高的频率则能提供更高的分辨率。因此,在实际应用中,我们可以根据勘探目标和地质背景,选择合适的观测参数组合。(2)多尺度观测:采用多尺度观测方法,即在不同尺度上进行观测和数据采集,可以实现对地下地质构造的多层次揭示。通过结合不同尺度的数据,我们可以更全面地了解地下地质构造的特征和分布规律^[5]。

(3)先进反演算法:随着计算技术的发展,先进的反演算法如三维反演、非线性反演等,能够实现对地下电阻率分布的更精确成像。这些算法可以在保证探测深度的同时,提高分辨率,从而实现对地质构造的精细探测。

3.2 数据质量保障

数据质量是大地电磁测深法应用中的另一个关键问题。由于大地电磁测深法依赖于天然电磁场进行测量,因此数据容易受到各种干扰因素的影响,如地表水系、植被覆盖、工业电磁干扰等。这些因素会降低数据的信噪比和准确性,从而影响后续的数据处理和解释。

解决方案:(1)优化测点布置:在测点布置时,应尽量避免电磁干扰较强的区域,如高压线附近、工业区等。同时,还应考虑地表水系和植被覆盖对测量的影响,选择合适的测点位置和观测方向。(2)采用先进的采集技术:使用高灵敏度、低噪声的采集仪器和先进的采集技术,如同步采集、多通道采集等,可以提高数据的质量。此外,还应加强数据采集过程中的质量控制和校准工作,确保数据的准确性和可靠性。(3)数据预处理与滤波:在数据采集完成后,应对数据进行预处理和滤波处理,以消除噪声和干扰。通过选择合适的滤波方法和参数,可以提高数据的信噪比和分辨率,为后续的数据处理和解释提供有力支持。

3.3 解释方法的改进与创新

大地电磁测深法的解释方法也面临着一些挑战,如反演算法的稳定性和准确性、多参数联合解释的有效性等。这些挑战限制了大地电磁测深法在矿山地质构造探测中的应用效果。

解决方案:(1)反演算法的优化:随着计算技术

和算法的发展,我们可以不断优化反演算法,提高算法的稳定性和准确性。例如,采用非线性反演算法、多尺度反演算法等,可以实现对地下电阻率分布的更精确成像。(2)多参数联合解释:大地电磁测深法虽然提供了丰富的电性信息,但往往需要结合其他地球物理勘探方法或地质信息进行综合分析。通过多参数联合解释,可以实现对地下地质构造的更全面、更准确的揭示。例如,将大地电磁测深法与地震勘探、重力勘探、磁法勘探等方法相结合,可以形成多方法综合勘探体系,提高勘探的准确性和可靠性^[6]。(3)智能解释技术:随着人工智能和大数据技术的发展,我们可以将智能解释技术引入大地电磁测深法的解释过程中。通过训练机器学习模型或深度学习网络,可以实现对大地电磁测深数据的快速、准确解释,提高解释效率和准确性。

结束语

综上所述,大地电磁测深法(MT)在矿山地质构造探测中展现出了显著的探测能力和应用潜力。通过优化探测技术和数据处理方法,MT法能够更准确地揭示矿山地质构造特征,为矿产资源的勘探和开发提供可靠依据。随着技术的不断进步和创新,MT法在矿山地质领域的应用前景将更加广阔。未来,我们应继续深入研究MT法的探测机理和技术细节,不断提升其在矿山地质构造探测中的应用水平。

参考文献

- [1]贾晓鹏,周雪.大地电磁测深法在矿山地质工程勘查中的应用[J].世界有色金属,2019,(06):54-55.
- [2]杨福平,余刚群,侯林峰,周昕.大地电磁测深在珊溪水库诱发地震研究中的应用[J].工程地球物理学报,2019,(02):23-24.
- [3]孔令达.关于地下水勘查中大地电磁测深法的应用分析[J].科技风,2019,(15):146-147.
- [4]于超,刘永芳.大地电磁法在煤矿地下水探测技术应用[J].同煤科技,2020,(02):29-30.
- [5]王海涛.大地电磁法在矿山地质灾害预警中的应用研究[J].地质科技情报,2021,(14):156-157.
- [6]张鹏.大地电磁法在矿山深部资源勘探中的应用进展[J].矿产与地质,2022,(02):34-35.