

# Identification and Interpretation of Geophysical Anomalies in Deep Mineral Resources Geological Exploration

Xuejiao Zhang Lijia Chen

Liaoning Province Geological Mineral Survey Institute Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110034, China

## Abstract

Deep mineral resources typically refer to those buried over 500 meters underground. With shallow deposits becoming increasingly scarce due to easier discovery and extraction, deep mineral exploration has emerged as the primary focus for future resource development. However, deep mineral exploration faces challenges such as complex geological conditions, high technical difficulty, and substantial costs, making traditional methods inadequate. Geophysical methods, by measuring physical properties (such as density, magnetism, electrical conductivity, and elasticity) of underground rock (or ore) bodies, can indirectly reveal deep geological structures and mineral occurrence patterns, providing crucial clues for deep mineral exploration. Geophysical anomalies—phenomena where geophysical fields show significant differences from surrounding background—are closely associated with mineral resources. Therefore, accurate identification and scientific interpretation of these anomalies have become key to achieving breakthroughs in deep mineral resource exploration. This paper focuses on geophysical anomaly recognition and interpretation techniques in deep mineral exploration, detailing critical technologies and analytical methods while demonstrating practical application effectiveness through case studies.

## Keywords

deep mineral resources; geological exploration; geophysical anomaly; identification technology; interpretation method

## 深部矿产资源地质勘查中的地球物理异常识别与解释技术

张雪皎 陈历佳

辽宁省地质矿产调查院有限责任公司, 中国·辽宁 沈阳 110034

## 摘要

深部矿产资源通常指埋深超过500米的矿产资源, 目前随着浅部易发现、易开采的矿产资源逐渐地减少, 深部矿产已成为未来矿产资源开发的主要方向。但深部矿产勘查面临着地质条件复杂、勘查难度大、成本高等挑战, 传统的勘查方法难以满足其需求。地球物理方法通过测量地下岩(矿)体的物理性质差异(如密度、磁性、电性、弹性等), 则能够间接地反映出深部地质构造和矿产赋存状态, 它能为深部矿产勘查提供重要的线索。所谓地球物理异常, 为地球物理场中与周围背景存在明显差异的现象, 该现象往往与矿产资源的存在密切相关。因此准确地识别和科学的解释地球物理异常, 成为了深部矿产资源勘查取得突破的关键。本文重点研究了深部矿产资源地质勘查中的地球物理异常识别与解释技术, 详细地分析了地球物理异常识别的关键技术和解释方法, 且结合实际案例探讨了技术应用效果。

## 关键词

深部矿产资源; 地质勘查; 地球物理异常; 识别技术; 解释方法

## 1 引言

随着浅部矿产资源的日益枯竭, 深部矿产资源的勘查已成为了保障国家资源安全的重要途径。而地球物理方法作为深部矿产勘查的核心技术手段, 其异常识别与解释直接关系到勘查成果的准确性和有效性。但地球物理异常识别与解释技术在深部矿产勘查中仍存在着一些问题, 如深部信号弱、干扰因素多、异常与矿的对应关系复杂等。只有深入地研究这些技术, 不断地提升异常识别的精度和解释的可靠

性, 才能推动深部矿产资源勘查的发展。为此本文将系统地分析深部矿产资源地质勘查中的地球物理异常识别与解释技术。

## 2 深部矿产资源地质勘查的必要性

### 2.1 保障资源可持续供应

我国经济的快速发展对矿产资源的需求量在持续地增长, 而浅部矿产资源经过长期地开采, 储量在日益减少, 且部分矿种面临着资源枯竭的困境。深部矿产资源储量丰富, 据估算, 我国地下1000-2000米范围内的矿产资源潜力巨大, 如煤炭、铁矿、铜矿等重要矿种的深部资源量远超于浅部。经由开展深部矿产勘查, 便能够有效地增加资源储备, 为国

【作者简介】张雪皎(1986-), 女, 中国江苏南京人, 本科, 工程师, 从事地质方向研究。

家资源的可持续供应提供保障<sup>[1]</sup>。

## 2.2 维护国家资源安全

现阶段,我国部分重要矿产资源依赖于进口,表明资源安全面临着较大的风险。但深部矿产资源的开发利用可以降低对国外资源的依赖,直接提高了国内资源保障能力。例如,深部铁矿、铜矿等战略矿产的勘查开发,对于提升我国在全球矿产资源竞争中的话语权具有重要的意义,其有助于维护国家资源安全和经济安全。

## 2.3 推动勘查技术进步

深部矿产勘查面临高温、高压、复杂地质构造等特殊条件,因此对勘查技术提出了更高的要求<sup>[2]</sup>。为了突破深部勘查的技术瓶颈,就需要不断地研发和应用新的勘查技术和方法,如高精度地球物理探测技术、深部钻探技术等。而这一过程将推动地质勘查技术的整体进步,能够提升我国矿产资源勘查的整体水平。

# 3 深部矿产勘查中常用的地球物理方法

## 3.1 重力勘探

重力勘探通过测量地下重力场的变化,得以识别出密度异常体,随后可以推断深部地质构造和矿产分布。就深部矿产勘查而言,重力勘探具有探测深度大(可达数千米)、不受电磁干扰等优点,非常适合寻找与高密度矿体相关的矿产资源,如铁矿、铅锌矿等。展开来说:重力勘探在深部勘查中常常会采用到高精度重力仪,其测量精度可达 $\pm 0.1 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$ 。在此过程中,通过数据处理(如terrain correction、布格校正等),便可以消除地形、高程等因素的影响,得到反映地下密度差异的布格重力异常。然后结合地质资料,对重力异常进行反演解释,就能够圈定深部高密度矿体的分布范围和形态。

## 3.2 磁法勘探

磁法勘探利用了地下岩(矿)体的磁性差异,即通过测量磁场变化识别出磁性异常体。在深部勘查当中,磁法勘探适用于寻找磁性矿产(如磁铁矿)以及与磁性岩体相关的矿产资源。目前随着技术的发展,高精度磁测技术(如航空磁测、地面高精度磁测)在深部勘查中得到广泛地应用。因为通过对磁异常的定量反演,可以确定出磁性体的埋深、规模和产状,从而为深部矿产勘查提供了重要的依据<sup>[3]</sup>。

## 3.3 电法勘探

电法勘探通过测量地下岩(矿)体的电阻率、极化率等电学性质差异,得以识别出电性异常体。它在深部矿产勘查中具有分辨率高、对低阻矿体敏感等特点,比较适用于寻找铜、铅、锌等多金属矿产。而深部电法勘探技术可分为可控源音频大地电磁法(CSAMT)、大地电磁法(MT)等。CSAMT法主要通过人工发射电磁场,以此获取深部(可达2000米)的电阻率结构,它对低阻矿体(如硫化物矿体)具有良好的探测效果;MT法则利用了天然电磁场,更具适

合深度较大的探测,还可以用于研究深部地质构造和赋矿环境。

## 3.4 地震勘探

地震勘探的原理是激发地震波并接收其反射或折射信号,从而推断出地下岩层的界面和构造特征。深部矿产勘查中应用地震勘探,能够提供深部地层的精细结构,帮助相关人员识别断层、褶皱等构造,为矿产资源的赋存提供了构造背景。但众多地震勘探方法之中,深部地震勘探常采用的是反射地震法,基于布置密集的检波器和震源,获取高质量的地震数据。然后经过数据处理(如去噪、偏移校正等),就可以得到清晰的地震反射剖面,其反映着深部地层的接触关系和构造形态。当前在煤田、油气田等深部矿产勘查中,地震勘探已经成为了不可或缺的技术手段。

# 4 地球物理异常识别的关键技术

## 4.1 数据预处理技术

地球物理数据在采集的过程中,往往会受到各种干扰(如仪器噪声、地形影响、人文干扰等),数据预处理便成为了提高异常识别精度的前提<sup>[4]</sup>。实际进行数据的预处理时,可以使用噪声去除、噪声去除和数据标准化这三种方式。首先是噪声去除,即采用滤波技术(如傅里叶滤波、小波滤波)去除数据中的随机噪声和干扰信号。其次是噪声去除,一般对于地形复杂的区域,需要进行地形校正,旨在消除地形起伏对地球物理场的影响。最后表面上数据标准化,将不同批次、不同仪器采集的数据进行标准化处理,以此统一数据格式和精度,便于数据的对比和综合分析。

## 4.2 异常提取技术

异常提取是从预处理后的地球物理数据中分离出与矿产资源相关的异常信息。而异常提取技术如下:一是趋势分析,就是通过多项式拟合等方法,从中分离出地球物理场的区域背景趋势和局部异常。一般区域背景趋势反映的是深部大尺度地质构造,局部异常则可能与浅部或深部矿体相关。二是导数法,基于地球物理场的一阶、二阶导数,能够突出异常的边界和细节特征。例如磁法异常的垂向二阶导数可以增强浅部磁性体的异常信号,水平导数则可以反映异常体的走向。三是小波变换,借助小波变换的多尺度分析特性,对于地球物理数据进行分解,从中提取不同深度的异常信息。通常深部异常通常对应低频成分,而浅部异常对应着高频成分,甚至基于小波变换还可以实现深浅异常的分离<sup>[5]</sup>。

## 4.3 异常定位与定深技术

结合实际来说,准确地确定异常体的位置和埋深是深部矿产勘查的关键。目前常用的异常定位与定深技术有剖面反演、三维反演与三维反演。其中剖面反演是对单条地球物理剖面数据进行反演,从而能够得到异常体在剖面内的位置和形态。如电法勘探中的一维、二维反演,可以计算出地下不同深度的电阻率分布,以此确定低阻异常体的埋深和规

模。三维反演则利用三维反演技术对平面地球物理数据进行处理,构建起异常体的三维模型。实践当中三维反演能够更加真实地反映异常体的空间分布特征,有助于提高异常定位和定深的精度。比如重力三维反演可以得到地下密度异常体的三维形态,该形态为深部矿体的定位提供准确的信息。而三维反演需要结合多种地球物理方法的数据进行联合反演,如此能够充分地利用不同方法的优势,进而提高了异常解释的可靠性。如重力-磁法联合反演,便可以同时约束密度和磁性参数,更加准确地确定异常体的性质和位置。

## 5 地球物理异常解释方法

### 5.1 地质-地球物理综合解释

地球物理异常的解释需要结合地质资料,进行地质-地球物理综合分析。其具体步骤如下:

步骤一:建立地质模型。即根据区域地质调查、钻孔资料等,建立起研究区的地质模型,在其中明确地层、构造、岩浆岩等地质体的分布特征。

步骤二:分析异常与地质体的关系。通过对比地球物理异常与地质模型,来分析异常是否与已知地质体(如矿体、岩体、断层等)相关。例如高密度重力异常可能与铁矿体或高密度岩体对应,低阻电法异常则可能与硫化物矿体或含水断层相关<sup>[6]</sup>。

步骤三:推断异常成因。面对对未知的异常,可以结合地质背景和地球物理特征,来推断异常的成因。像岩浆岩分布区,磁异常可能与岩浆岩中的磁性矿物有关,沉积岩区的低阻异常则可能与含矿流体活动有关。

### 5.2 定量解释方法

定量解释方法即经由建立数学模型,计算出异常体的物理参数(如密度、磁性、电阻率等)和几何参数(如埋深、规模、产状等),以此为异常解释提供定量依据。当前常用的定量解释方法包括了特征点法、最优化反演以及人机交互解释。具体来说:特征点法利用的是异常曲线的特征点(如极值点、零点、拐点等),以此计算异常体的参数。如球体的重力异常极值点对应球心在地表的投影位置,那么通过异常半极值点间的距离就可以估算球体的埋深。而最优化反演需要通过迭代计算,使模型计算的地球物理场与实测数据达到最佳拟合,从而确定出异常体的参数。实践中最优化反演适用于复杂形态异常体的解释,如三维密度反演、电阻率反演等等。人机交互解释则结合了计算机技术和地质人员的经验,一齐进行人机交互解释。即地质人员可以通过调整模型参数,实时地观察计算结果与实测数据的拟合程度,在此基础上不断地优化解释方案,最终便提高了解释的准确性<sup>[7]</sup>。

### 5.3 多方法联合解释

不同的地球物理方法反映着地下地质体的不同物理性

质,而多方法联合解释可以相互印证、相互补充,有助提高异常解释的可靠性。例如:重力与磁法联合解释,其中重力异常反映着密度差异,磁法异常则反映磁性差异,将两者联合就可以区分高密度、强磁性的铁矿体和高密度、弱磁性的铅锌矿体。或者是电法与磁法联合解释,电法异常反映的是电性差异,而磁法异常反映磁性差异,二者联合解释便可以识别与火山岩相关的多金属矿体,且这类矿体往往具有磁性和低阻特征。

## 6 结语

深部矿产资源地质勘查中的地球物理异常识别与解释技术是实现深部找矿突破的关键。而本文通过对相关技术的分析,得出了以下结论:第一深部矿产资源勘查对于保障资源可持续供应、维护国家资源安全和推动勘查技术进步具有重要的意义,其重力、磁法、电法、地震等地球物理方法在深部勘查中各有优势,均能够为深部矿产勘查提供有效的技术支撑。第二是地球物理异常识别的关键技术包括了数据预处理、异常提取、异常定位与定深等,经由这些技术的应用能够提高异常识别的精度和可靠性。但地球物理异常解释需要采用地质-地球物理综合解释、定量解释和多方法联合解释等方法,并且需要充分地结合地质资料,才能提高解释的科学性。第三点是,虽然地球物理异常识别与解释技术在深部铁矿、铜矿等矿产勘查中取得了良好的应用效果,其能够准确地圈定深部矿体的分布范围和埋深,但深部矿产勘查中的地球物理异常识别与解释仍面临一些挑战。相信随着技术的不断进步,以后地球物理异常识别与解释技术在深部矿产资源地质勘查中的应用将变得更加广泛和深入。

## 参考文献

- [1] 莫钧.地质矿产勘查深部找矿方法探析[J].中国金属通报,2025,(01):58-60.
- [2] 宋明春,宋英昕,李杰,等.深部矿阶梯找矿方法:以胶东金矿集区深部找矿为例[J].中国地质,2022,49(01):1-15.DOI:10.12029/gc20220101.
- [3] 戴清峰.地球物理综合解释技术对深部构造、岩性的识别研究——以相山西部矿区为例[D].江西省:东华理工大学,2016.
- [4] 梁敏新.深部铜锡矿找矿中的地球物理参数反演与异常体识别技术研究[J/OL].中国科技期刊数据库 工业A,2025(2)[2025-03-05].<https://www.cqvip.com/doc/journal/2010256497220988929>.
- [5] 曾琪.地质勘查技术在金属矿产勘探中的应用与实践[J].中国金属通报,2025,(07):190-192.
- [6] 刘得峰.地球物理勘查与遥感技术在煤层气勘探与开发中的应用研究[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(23):154-156.
- [7] 武捷.三维地质模型在找矿中的应用研究——以白云一小佟家堡子金矿田为例[J].华北自然资源,2024,(05):80-83.