

Application of Integrated Geophysical Prospecting in Basin Mineral Exploration

Qiwei Li^{1,2} Mei He¹ Yuhang Liu² Jiakai Yan²

1. School of Resources and Environment, Yangtze University; Hubei Key Laboratory of Petroleum Geochemistry and Environment, Wuhan, Hubei, 430100, China

2. Hubei Geological Bureau Hydrogeology and Engineering Geology Brigade; Hubei Key Laboratory of Resources and Eco-Environmental Geology, Hubei Geological Bureau, Wuhan, Hubei, 430034, China

Abstract

This paper focuses on the application of integrated geophysical prospecting technology in basin mineral exploration. It analyzes the effectiveness of integrated geophysical techniques and compares them with traditional exploration methods. Additionally, the principles and characteristics of specific technologies, including the Transient Electromagnetic Method (TEM), Magnetic Method, Electrical Method, and Ground Penetrating Radar (GPR), are elaborated in detail. A case study of metal ore exploration in the Junggar Basin of Xinjiang demonstrates the significant effectiveness of integrated geophysical prospecting in identifying anomaly locations, clarifying geological structures, and inferring orebody characteristics. The study reveals that integrated geophysical technology can greatly enhance the efficiency of basin mineral exploration, which is crucial for the development of mineral resources.

Keywords

Integrated geophysical prospecting; Basin; Mineral exploration; Application

综合物探在盆地矿产勘查中的应用研究

李启微^{1,2} 贺美¹ 刘宇航² 严佳凯²

1. 长江大学资源与环境学院, 油气地球化学与环境湖北省重点实验室, 中国·湖北 武汉 430100

2. 湖北省地质局水文地质工程地质大队, 资源与生态环境地质湖北省重点实验室, 湖北省地质局, 中国·湖北 武汉 430034

摘要

本文主要讲述综合物探技术在盆地矿产勘查方面的应用, 分析了综合物探技术的应用效果, 并且与传统的勘查方法进行对比。同时, 详细介绍了瞬变电磁法、磁法物探、电法探测以及探地雷达法等技术的原理, 以及它们各自的特点。文章通过举例新疆准噶尔盆地金属矿勘探的案例, 展示了综合物探技术在确定异常位置、查明地质构造, 以及推测矿体特征等方面效果显著。研究发现, 综合物探技术能大大提高盆地矿产勘查的效率, 这对开发矿产资源来说尤为重要。

关键词

综合物探; 盆地; 矿产勘查; 应用

1 引言

矿产资源对社会发展尤为重要, 金属冶炼、材料加工、工业生产, 以及生产化工原料等, 都离不开矿产资源。近几年经济发展迅速, 社会对矿产资源的开采和利用也更加重视。盆地作为赋存矿产的重要区域, 但由于其地质情况复杂, 这给矿产勘查带来了诸多麻烦^[1]。比如, 由于地质结构复杂, 难以摸准矿产资源的分布; 盆地中断层、褶皱情况较多, 勘查时困难重重; 地下水位变化、岩层渗水, 这些都会影响勘查结果的准确性。而综合物探技术具有的独特优势, 可用来解决盆地矿产勘查的难题, 在盆地矿产勘查工作中发挥的作用越来越大。

2 综合物探技术的应用效果

2.1 与传统勘查方法对比

与传统的、单一的物探技术, 以及钻探勘查方法相比, 综合物探技术能将多种物探方法结合使用。这样一来, 勘探工作量明显减少, 不论是准确性还是可靠性, 都能大幅提高。下面以上杭盆地古石背地区铀矿勘查项目为例, 进行对比:

2.2 综合物探技术的优势

首先, 综合物探技术勘探的效率明显高于传统方法。多种物探技术可一起使用, 或者快速交替使用, 能在较短的时间中获得更多地质方面的信息。如果遇到地形复杂、交通不便的盆地, 采用航空物探和遥感技术就能快速了解大面积的地质情况, 为后续的地面做勘查提供方向。如果采用传统

【作者简介】李启微, 女, 黎族, 中国贵州普安人, 本科, 从事矿床地球化学研究。

的地表勘查方法，要获取同等区域范围的矿产信息，可能将花费数月甚至数年的时间。

其次，综合物探技术能够勘探的范围较广，还能获取地下深处的地质信息。不论是在地表，还是地下深层，综合物探技术都能派上用场。比如，采用重力勘探、磁力勘探这

些办法，能探测到地下数千米深的区域，了解其地质构造以及是否存在矿产。同时，综合物探技术不论遇到何种地质条件都能进行勘探。不论是沉积盆地，还是火成岩区，又或者是变质岩区，只要选择正确的物探方法，就能获取有用的地质信息^[2]。

表 1 上杭盆地铀矿勘查技术对比数据表

对比维度	综合物探技术（理想数据）	传统勘查方法（历史数据）
勘探成本（万元）	90（含土壤氡、地面伽马能谱、音频大地电磁测量等）	350（以钻探为主，含设备、耗材、人工等）
勘查效率（天/100km ² ）	35（多设备同步作业）	100（逐个点位钻探）
探测深度（米）	1500-2500（可控源音频大地电磁配合瞬变电磁法）	≤500（常规钻探，深孔成本剧增）
水平定位精度（米）	6-8（复杂地形略有降低）	12-18（依赖钻孔间距）
矿体埋深误差	6%-8%（数据反演计算）	较高（深部探测误差显著增大）
信息覆盖方式	连续大面积（多物探方法融合，获取地层、构造等多维度数据）	离散点位（以钻孔点数据为主，信息连续性差）

最后，综合物探技术将多种物探方法结合到一起，让这些方法相互验证、相互补充，矿产勘查成功的可能性大大提高。这是因为不同的物探方法，对不同种类的矿体还有地质构造，反应不一。所以，如果将多种物探方法得到的数据综合起来分析，就能更精准地了解矿体的位置、形状、规模。例如，在寻找多金属矿时，先采用磁法勘探，找到磁异常的地方，然后再用电法勘探，分析该区域是否还有电性异常，最后再结合当地的地质情况以及其他的勘查资料，一起综合分析。这样一来，就能成功找到矿体的位置，并且还能确定它的范围。

3 综合物探技术原理及特点

3.1 技术原理剖析

综合物探技术的关键在于，不同的岩石、矿石都有自己独特的物理性质，这些差异会在地球物理场中产生不同的异常反应。重力场、磁场、电场、电磁场，都属于地球物理场。采用专业设备对这些物理场的情况进行测量，再仔细分析，对于地下的地质结构、矿藏位置，便能有准确的推断。

以重力勘探为例，因为不同岩石密度不一，这就会让重力场发生变化。如果地下埋藏大密度的矿体，该片区域的重力值往往会比正常情况高；反过来，密度小的岩石，就会让重力值变低。采用超导重力仪、航空重力仪这些测量工具，哪怕重力场发生细微的变化，也能精准测量出，这样就能找到地下可能潜藏的高密度矿体，并且大概圈定它的位置。对于磁力勘探，带磁性的岩石、矿石在地球磁场中，犹如小磁铁似的会产生新的磁场，这就是磁异常。采用磁力仪测量、分析这些异常，就能了解地下是否存在磁性矿体。并且，通过分析磁异常的形态、强度还有分布情况，对于矿体的形状、大小甚至是埋深，都能推算出来。

3.2 主要技术种类介绍

3.2.1 瞬变电磁法

瞬变电磁法这是一种地球物理勘探的方法，原理是基于电磁感应。简单来讲，就是向地下发送一个突然变化的脉

冲磁场，磁场发送后，地下可导电的地质体就会受到感应，然后产生涡旋电流。当脉冲电流从最大的数值跃变为零时，发送出去的磁场马上就会消失，但是涡旋电流并不会立刻消失，它有一个逐渐减弱的过程，而且这个减弱过程的快慢和地下导电地质体的电性参数关系紧密。地下地质体导电性越好，涡旋电流因为发热损耗的能量越少，这个减弱的过程就会越长^[3]。在脉冲电流关闭的这段时间中，通过在地面观察瞬变磁场，也就是二次磁场的变化规律，就能推测出地下介质的电性结构和它们在空间中是如何分布的，这样就能发现地下是否有异常的地质体。

瞬变电磁法的优势明显，它不用与地下物体直接接触，速度快、效率高，而且分辨率和灵敏度均十分优异，能有效地探测出地下导电性异常的物体，比如金属矿、油气藏等。在勘查矿产资源时，利用瞬变电磁法可以快速地获得一大片区域的地质信息，还能确定矿体大概的位置、规模，这就为后续更详细的勘探提供了重要的依据。

3.2.2 磁法物探技术

磁法物探技术依靠金属矿和周围岩石的磁性不同来进行勘查。地球本身是一个巨大的磁体，在地球磁场的作用下，不同磁性的岩石和矿石被磁化的情况也不相同^[4]。在金属矿中，尤其是铁磁性的矿产，比如磁铁矿、磁赤铁矿，它们的磁性较强，在地球磁场中会出现明显的磁异常现象。采用高精度的磁力仪，比如质子旋进磁力仪、光泵磁力仪，就能精确地测出地磁场中细微的变化，测出后再分析这些变化，就能了解金属矿分布的区域。

实地勘查时，首先需将待测区域的磁场大致了解清楚，获得详细的磁异常数据。获得数据后，再利用各种数据处理方法，比如傅里叶变换、小波分析研究这些数据，将其中和矿产有关的信息筛选出，精准定位到可能潜藏金属矿的区域。

3.2.3 电法探测技术

电法探测技术主要依靠岩石和矿石在导电、介电还有电化学这些性质上的差别，通过观察和分析电场或者电磁场

的变化,去猜测地下的地质构造、金属矿藏的分布。不同的岩石和金属矿,在电学性质上差别较大。金属矿一般导电性较好,但大多数岩石导电性则相对较弱。通过向地下施加人工电场,或者直接利用天然电场,再使用电磁仪设备测量电场、电磁场的分布和变化,就能大概了解地下岩层和金属矿的分布。

电法探测的方法较多,常见的有电阻率法、激发极化法、自然电场法和电磁感应法。电阻率法通过测量地下不同岩层的电阻率,分析电阻率的差异,来判断地质构造和矿体的位置;激发极化法是利用岩石、矿石在电场下产生的激发极化现象,专门用于寻找金属矿体;自然电场法则直接借助地下产生的自然电场,去寻找金属矿,顺便解决一些地质问题;电磁感应法是利用交变磁场在地下形成感应电流,进而探测地下物体的导电、导磁情况^[9]。实际找矿时,需根据当地的地质条件,以及具体勘查的矿产类型,选择合适的电法探测方法,提高找矿的准确性和效率。

3.2.4 探地雷达法

探地雷达法是一种不用挖开地面,就能探测地下情况的技术,主要依靠高频电磁波来摸清地下介质的分布。工作时,利用发射天线向地下发射高频电磁波,这些电磁波在地下传播时,如果遇到不同介质的分界面,由于介电常数不同,一部分电磁波就会反弹回来,另一部分接着往深处传播。然后接收天线将反弹回来的电磁波接受并处理、分析这些信号,最后绘制出地下结构的图像或者剖面图,这样就能了解地下是否存在目标体,并识别目标体的类型,确定其位置。在探地雷达技术中,电磁波的频率十分关键。频率越高,探测的精度越高,但只能探测到浅表层;频率越低,则能向更深处探测,但精度就会有所下降。

探地雷达的探测速度较快,探测过程还能连续进行,分辨率高,操作简单易于上手,而且成本较低。所以在矿产勘查、工程地质勘察、灾害地质调查,甚至考古这些领域,均在使用探地雷达。在矿产勘查中,探地雷达能够确定地下矿藏大概的位置、范围,尤其是寻找浅层的矿产资源,优势相当明显。采用探地雷达对目标区域进行扫描,地下不同地层的结构,以及可能藏矿的区域,都能看得一清二楚,助力后续的勘探工作。

4 综合物探技术应用案例——新疆准噶尔盆地金属矿勘探

蒙库铁矿位于新疆准噶尔盆地东北边的卡拉麦里成矿带。该区域地形复杂,地表大面积覆盖,以前传统的地质调

查办法,无法直接找到矿体。后来勘查团队便采用综合物探技术展开工作。

勘查团队一开始采用高精度重力勘探在该片区域进行普查。通过研究重力数据,发现许多与成矿有关的地下裂缝,以及一些密度异常的区域,大概圈出100平方公里可能藏矿的区域。后来,他们采用高精度磁力测量复查,找到了多条磁性强、形状规整的磁异常带。其中有一条磁异常带十分显眼,长约8公里,走势稳定,和周围的地质构造方向一致。专家分析,该条磁异常带的磁性特征和已知的磁铁矿相似,所以推测地下深处可能藏有一大片磁铁矿。

为了进一步确定矿体的分布,勘查团队又采用电法勘探,使用可控源音频大地电磁法,也就是CSAMT法,以及激电测深法。CSAMT法测出的电阻率断面图像显示,在地下500米-1500米的深度,有明显的低电阻率异常体,与之前发现的磁异常带相互对应。激电测深的数据也显示该区域有较强的激电异常,进一步证明有金属矿体存在。

最后勘查队采用反射地震勘探技术,采集数据、处理数据,获得了清晰的地下地质结构图像。勘查队结合多种探测方法的结果,在异常中心地带打钻验证,结果在地下800米处发现了磁铁矿,厚度大约30米-50米。经估算,铁矿石储量达数亿吨。

5 结语

综合物探技术在盆地矿产勘查中优势显著,将多种物探方法搭配使用,勘查的速度加快,准确性也更高,给后续开矿挖矿提供了可靠的地质依据。但是,该技术也并非十全十美,实际操作时,会被各种各样的因素影响。所以勘查团队需科学选择合适的技术方法,合理搭配,仔细采集数据、处理数据,避免出现差错。同时,加强对技术人员的培训,这样综合物探技术才能发挥出最大作用。(受湖北省地质局科技项目,编号KJ2025-39支持)

参考文献

- [1] 邵义廷. 矿山地质勘查中的综合物探技术应用思考[J]. 世界有色金属, 2024, (19): 145-147.
- [2] 秦创. 综合物探在多金属矿产勘查中的应用技术及难点研究[J]. 冶金与材料, 2024, 44(09): 145-147.
- [3] 王光宇. 综合物探方法在矿产资源勘查中的应用研究[J]. 科技与创新, 2024, (12): 144-146.
- [4] 李建平, 郭元华, 刘振兵, 等. 综合物探方法在矿产资源勘查中的应用研究[J]. 世界有色金属, 2024, (07): 163-165.
- [5] 马浩翔, 徐世光, 宰西. 综合物探方法在保山盆地地热资源勘查中的应用[J]. 水力发电, 2023, 49(12): 46-51.