

物探方法在隐伏矿床勘查中的效果对比与优选

丁志安

中路黄河（山西）交通科技集团有限公司

DOI:10.32629/gmsm.v8i6.2378

[摘要] 寻找隐伏矿床是矿产资源勘查的关键与挑战,传统方法成本高、效率低且探测深度受限。物探技术因其非接触、高效、低成本的特点,成为隐伏矿床勘查的主要手段。本文聚焦电阻率法、激发极化法、磁法、重力法四种物探技术,在某隐伏多金属矿区展开对比研究,分析其原理、适用场景及勘查成效。结果显示,单一物探方法难以全面应对隐伏矿床勘查需求,结合矿区地质条件的多技术联合勘查方案能显著提升勘查精度与效率。本文提出的物探方法优选方案,为同类勘查项目提供了实用指南,助力矿产资源高效勘查。

[关键词] 隐伏矿床; 物探技术; 对比研究; 地质条件

中图分类号: P2 文献标识码: A

Comparison and Optimization of Geophysical Prospecting Methods in the Exploration of Hidden Deposits

Zhian Ding

Zhonglu Yellow River (Shanxi) Transportation Technology Group Co., Ltd.

[Abstract] Identifying concealed mineral deposits remains a pivotal yet challenging aspect of mineral resource exploration, where conventional methods often prove costly, inefficient, and limited in detection depth. Geophysical techniques, characterized by their non-invasive, high efficiency, and cost-effectiveness, have emerged as the primary approach for such exploration. This study conducts a comparative analysis of four geophysical methods—resistivity, induced polarization, magnetism, and gravity—in a concealed polymetallic deposit, examining their principles, applicable scenarios, and exploration outcomes. The results demonstrate that single-method exploration cannot fully address the demands of concealed deposit identification, whereas integrated multi-technique exploration plans tailored to geological conditions significantly enhance precision and efficiency. The proposed geophysical optimization strategy serves as a practical guide for similar exploration projects, facilitating efficient mineral resource exploration.

[Key words] concealed deposits; geophysical techniques; comparative study; geological conditions

引言

矿产资源是国民经济发展的基石,随着浅层易采矿产的逐渐耗尽,隐伏矿床的勘查开发成为矿产领域的核心任务^[1]。隐伏矿床,即深埋地下、被覆盖层遮挡而无地表迹象的矿床,其勘查受地质复杂性和技术限制,难度远超浅层矿床。传统地质填图、槽探、钻探等方法不仅耗时长、成本高,且难以全面描绘隐伏矿床的空间分布。物探技术,基于岩石、矿石与围岩的物理性质差异,通过测量物理场变化来推断地下地质结构,具有深探测、广覆盖、高效率的特点,已广泛应用于金属、非金属及能源矿等隐伏矿床的勘查。当前,电阻率法、激发极化法、磁法、重力法等是常用的物探技术,但不同方法原理各异,适用条件不同,选择不当易导致勘查结果失真,浪费资源^[2]。因此,本文结合具体矿

区案例,对比分析不同物探技术的勘查效果,构建方法优选策略,旨在为隐伏矿床勘查提供科学指导。

1 常用物探方法的基本原理与适用条件

1.1 电阻率法

电阻率法通过人工构建稳定直流电场,测量地下电阻率分布,依据电阻率差异推断地质体位置。岩石与矿石的电阻率受矿物成分、孔隙度、含水率等因素影响,金属硫化物矿石电阻率低,而花岗岩、石英岩等围岩电阻率高,这是电阻率法探测金属隐伏矿床的基础。该方法适用于数百米深度的金属矿床勘查,特别是硫化物型多金属矿,但易受地形和表层电性不均影响,导致结果偏差。

1.2 激发极化法

激发极化法基于电阻率法,利用矿石的激发极化效应进行矿产勘查。通电时,金属矿石颗粒产生电极极化,断电后保留残余电位,通过测量残余电位衰减,可区分金属矿石与围岩。该方法弥补了电阻率法的不足,减少地形和表层电性干扰,适用于浸染状、细脉状金属矿床勘查,探测深度可达千米,对深部隐伏多金属矿勘查有独特优势。但数据处理复杂,对设备精度要求高。

1.3 磁法

磁法利用岩石与矿石的磁性差异进行勘查,通过磁力仪测量地磁场异常,推断地下磁性地质体位置与形态^[3]。磁铁矿、磁黄铁矿等金属矿石磁性强,而沉积岩、变质岩等围岩磁性弱,这是磁法勘查的前提。磁法测量速度快、成本低、操作简便,适用于大面积普查隐伏磁铁矿,探测深度可达数千米。但仅对磁性矿床有效,对非磁性金属矿如铜矿、铅锌矿等勘查效果不佳。

1.4 重力法

重力法基于万有引力定律,通过重力仪测量地下地质体引起的重力加速度变化,推断地质体密度差异与位置。金属矿石密度通常高于围岩,如铁矿密度约 $5.0\text{g}/\text{cm}^3$,围岩密度约 $2.6\sim 2.8\text{g}/\text{cm}^3$,这是重力法勘查的物理基础。该方法适用于大规模隐伏金属矿床勘查,特别是深埋的致密块状金属矿,但分辨率低,难以识别小型隐伏矿床,且易受地形和区域重力场变化影响。

2 隐伏矿床勘查中物探方法的效果对比

2.1 研究区域基本情况

本次研究聚焦于一个隐伏多金属矿区,该区域地处华北地台的南侧边缘地带,地质构造错综复杂,主要地层包括寒武纪的灰岩、奥陶纪的白云岩以及燕山时期的花岗岩。矿区内断裂构造发育良好,为成矿热液的流动提供了通道,据此推测其深部可能存在隐伏的多金属矿床。矿区表面覆盖着厚度在50至150米之间的第四纪松散沉积物,这导致传统钻探方法的勘查工作既困难又昂贵,因此决定采用物探手段进行勘查。

2.2 勘查方案制定

为了比较不同物探方法的勘查成效,我们在研究区内选定了一个面积为2平方公里的勘查区域,并分别运用电阻率法、激发极化法、磁法以及重力法进行系统的勘查。电阻率法采用温纳装置,电极间距设定为50米,测量深度可达约300米;激发极化法则使用中间梯度装置,测量参数涵盖视极化率与视电阻率;磁法采用高精度质子磁力仪,测点间隔为20米;重力法则使用石英弹簧重力仪,测点间隔为50米。此外,还布置了3个验证钻孔,以验证物探勘查的结果。

2.3 勘查效果对比与解析

2.3.1 电阻率法勘查成效

电阻率法在勘查区域内识别出3个低电阻率异常区域,这些区域呈条带状分布,与区域断裂构造的走向相吻合。其中,1号异常区的电阻率值在50至 $100\ \Omega\cdot\text{m}$ 之间,显著低于周围岩石的电阻率值($500\sim 1000\ \Omega\cdot\text{m}$),推测是由金属硫化物矿化体所致。验

证钻孔ZK1在该异常区深部180米处发现了厚度约15米的黄铜矿矿体,从而验证了电阻率法的勘查效果。然而,在表层土壤含水率较高的区域,电阻率法圈定的异常范围偏大,存在一定的解释多义性。

2.3.2 激发极化法勘查成效

激发极化法在勘查区域内识别出2个高极化率异常区域,这些区域与电阻率法识别的低电阻率异常区域有较高的重合度。其中,2号异常区的视极化率值超过8%,视电阻率值低于 $100\ \Omega\cdot\text{m}$,综合异常特征显著。验证钻孔ZK2在该异常区深部220米处发现了厚度约20米的铅锌矿矿体,且矿体品位较高。激发极化法有效地区分了矿异常与非矿异常,减少了电阻率法的解释多义性,提高了勘查的精确度。

2.3.3 磁法勘查成效

磁法在勘查区域内仅识别出1个弱磁异常区域,异常值在50至100nT之间,推测是由燕山期花岗岩引起的,验证钻孔并未发现磁性金属矿体。由于该矿区内的多金属矿体主要为黄铜矿和铅锌矿,磁性较弱,因此磁法的勘查效果并不理想,未能有效识别出矿异常区域。

2.3.4 重力法勘查成效

重力法在勘查区域内识别出1个高密度异常区域,该区域呈团块状分布,与断裂构造交汇处的位置相吻合。验证钻孔ZK3在该异常区深部300米处发现了厚度约10米的致密块状黄铁矿矿体,从而验证了重力法的勘查效果。然而,重力法识别的异常范围较大,难以精确确定矿体的边界位置,分辨率相对较低。

2.4 方法效果综合对比

综合对比四种物探方法的勘查效果^[4],可得出以下结论:激发极化法在该隐伏多金属矿区的勘查效果最佳,能够精准圈定矿异常区,且异常解译的多解性低;电阻率法勘查效果较好,但受表层电性干扰影响较大;重力法适用于探测深部大规模致密矿体,但分辨率较低;磁法因矿体磁性较弱,勘查效果最差。不同物探方法的适用条件与勘查效果对比情况见表1。

表1 隐伏多金属矿区不同物探方法勘查效果对比表

物探方法	适用矿体类型	探测深度	勘查精度	多解性	勘查成本
电阻率法	硫化物型多金属矿	中浅部	中等	较高	较低
激发极化法	浸染状、细脉状金属矿	中深部	较高	较低	中等
磁法	磁性金属矿	深部	中等	中等	低
重力法	致密块状金属矿	深部	较低	较高	中等

3 隐伏矿床勘查中物探方法的选择策略

3.1 依据矿体物理特性选择方法

矿体的物理特性是物探方法选择的关键参考。当勘查对象为磁铁矿、磁黄铁矿等磁性金属矿时,磁法因其大面积快速普查的能力成为首选;对于黄铜矿、铅锌矿等硫化物型金属矿,激发

极化法与电阻率法的组合使用,能利用其互补性提升勘查的精准度;而对于规模较大的致密块状金属矿,重力法则适用于深部探测,结合钻探验证可确定矿体位置。

3.2 依据矿区地质条件选择方法

矿区的地质条件对物探方法的选择影响显著。在地形平坦、表层电性均匀的区域,电阻率法与激发极化法的组合是有效选择;在地形起伏大、表层干扰多的区域,激发极化法因其强抗干扰能力而优先被选用;在覆盖层厚、深部地质复杂的区域,重力法与磁法的组合则能实现深部地质体的宏观探测。

3.3 依据勘查阶段选择方法

不同勘查阶段对物探方法的需求各异。区域普查阶段,磁法与重力法因其低成本、高效率而被优先选择,用于快速圈定成矿远景区;矿区详查阶段,电阻率法与激发极化法的组合则能精准圈定矿异常区;勘查验证阶段,则需结合钻探数据,利用多种物探方法的综合异常特征,来确定矿体的空间分布。

3.4 多方法组合勘查的应用要点

单一物探方法难以满足隐伏矿床勘查的全部需求,多方法组合勘查成为提升效果的关键。组合勘查应遵循“优势互补、精准高效”的原则,选择探测原理不同、适用条件互补的方法进行组合。例如,激发极化法与电阻率法的组合可减少异常多解性;重力法与磁法的组合则能实现深部地质体的宏观刻画;在复杂矿区,采用“电阻率法+激发极化法+重力法”的组合方案,可全面提升勘查的精度与效率。

4 工程实例分析

以某隐伏磁铁矿矿区为例,该矿区表层覆盖层厚约200m,矿体主要为强磁性、高密度的磁铁矿。普查阶段,采用磁法进行大面积勘查,快速圈定了5处强磁异常区(异常值 $>500\text{nT}$),确定了成矿远景区;详查阶段,结合重力法对异常区进行精细探测,圈定了高密度异常区,与磁法异常区重合度高达90%;勘查验证阶段,通过布设钻探工程,在异常区深部350m处揭露了厚约30m、品

位达35%以上的磁铁矿矿体,勘查效果显著。这一实例验证了“磁法+重力法”组合勘查方案在磁性隐伏矿床勘查中的有效性,也证明了基于本文策略选择物探方法的科学性。

5 结语

物探方法是隐伏矿床勘查的关键技术,不同方法的探测原理、适用条件及勘查效果各异。本文通过实例分析,对比了电阻率法、激发极化法、磁法、重力法四种常用物探方法的勘查效果,并构建了基于矿体物理性质、矿区地质条件、勘查阶段的物探方法选择策略。研究表明,基于地质条件的多方法组合勘查方案能充分发挥各方法的技术优势,显著提升隐伏矿床勘查的精度与效率。未来,随着物探技术的不断进步,高精度仪器设备与智能化数据处理技术的应用将推动隐伏矿床勘查工作向更精细化、精准化方向发展,为矿产资源的可持续开发利用提供有力支持。

[参考文献]

- [1]左更.周密制定我国矿产资源长期安全保障规划——确保长期“大国竞争”模式下的国民经济发展稳定基石[J].冶金经济与管理,2025(05):1.
- [2]朱紫祥.物探方法在矿产资源勘查中的应用分析及效果研究[J].中国金属通报,2025(05):190-192.
- [3]兰超歌.磁法勘探技术在复杂地质构造区矿产资源调查中的应用研究[J].世界有色金属,2025(01):37-39.
- [4]缪旭煌,张顺林,汪青松.综合物探方法在覆盖区金矿勘查中的应用——以五河县天井湖金矿为例[C]//浙江省地质学会.资源利用与生态环境——第十六届华东六省一市地学科技论坛论文集.浙江国土资源杂志社,2020:518-525.

作者简介:

丁志安(1987--),男,汉族,山西省太原市恶人,大学本科,副高,研究方向:矿产资源开采与道路安全互相影响。