

# 电磁法勘探在山区金属矿勘查中的应用与效果分析

邢宝隆

新疆维吾尔自治区地质局地球物理化学探矿中心

DOI:10.32629/gmsm.v9i3.2469

**[摘要]** 本文聚焦电磁法勘探在山区金属矿勘查中的应用,以新疆维吾尔自治区为典型区域展开研究。阐述电磁法勘探原理及常用方法,分析其在山区金属矿勘查中的优势与挑战。结合新疆多个金属矿勘查实例,探讨电磁法勘探的实际应用效果,并对其未来发展趋势进行展望,旨在为山区金属矿勘查提供理论支持与实践参考。

**[关键词]** 电磁法勘探; 山区金属矿勘查; 新疆维吾尔自治区; 应用效果

中图分类号: P539.4 文献标识码: A

## Application and Effect Analysis of Electromagnetic Method Exploration in Mountainous Area Metal Mine Exploration

Baolong Xing

Geophysical and Geochemical Prospecting Center, Geological Bureau of Uygur Autonomous Region

**[Abstract]** This paper focuses on the application of electromagnetic exploration in metal mineral exploration in mountainous regions, with the Xinjiang Uygur Autonomous Region as a typical case study. It elucidates the principles and common methods of electromagnetic exploration, analyzes its advantages and challenges in mountainous metal mineral exploration, examines the practical effectiveness of electromagnetic exploration through multiple metal mineral exploration cases in Xinjiang, and outlines its future development trends, aiming to provide theoretical support and practical references for metal mineral exploration in mountainous areas.

**[Key words]** Electromagnetic exploration; Metal ore exploration in mountainous areas; Xinjiang Uygur Autonomous Region; Application outcomes

### 1 引言

金属矿产资源是国家经济发展的重要物质基础,随着浅部矿产资源的日益枯竭,山区深部金属矿勘查成为保障资源供应的关键。山区地形复杂、地质条件多变,给传统勘查方法带来诸多挑战。电磁法勘探作为一种基于地下介质电性差异的地球物理勘查方法,具有对低阻体敏感、分辨率高、可大面积快速勘查等优点,在山区金属矿勘查中展现出巨大的应用潜力。新疆维吾尔自治区地域辽阔,地质构造复杂,蕴藏着丰富的金属矿产资源,是研究电磁法勘探在山区金属矿勘查中应用的理想区域。

### 2 电磁法勘探原理及常用方法

#### 2.1 电磁法勘探原理

电磁法勘探基于电磁感应定律,通过发射电磁场激发地下导体产生感应二次场,利用接收装置测量一次场与二次场的综合响应,通过计算二次场的相对强度、相位滞后或断电后的衰减特征等参数,反演地下良导体的位置、产状、规模。低频电磁波穿透深度与频率成反比,不同地质体导电性差异是方法应用的物性基础。当电磁波遇到良导体(如金属矿)时,会产生强烈的感

应电流,导致电磁场发生畸变,通过分析这些畸变特征,可以推断地下金属矿的存在及分布情况。

#### 2.2 常用电磁法勘探方法

##### 2.2.1 瞬变电磁法(TEM)

瞬变电磁法基于电磁感应原理,向地下发射一次脉冲磁场,观测二次涡流场变化获取信息。在山区金属矿勘查中,对于部分存在高阻火山岩围岩的区域,TEM适用于探测其中的低阻金属矿体。发射装置产生脉冲电流,一次脉冲磁场在高阻围岩中衰减慢,能在金属矿体等低阻体中激发感应电流。接收装置测量二次涡流场感应电动势随时间变化曲线,金属矿体与高阻围岩电性差异在曲线上表现为异常,结合地质资料可初步判断金属矿体位置,加密测点等能提高确定精度。该方法对低阻体敏感、分辨率高、施工方便,在复杂地形下也能较好开展工作。

##### 2.2.2 可控源音频大地电磁法(CSAMT)

CSAMT采用人工可控交变电流源,测量地面电场和磁场分量计算视电阻率和阻抗相位。在山区地形起伏大的区域,CSAMT能适应复杂地形。其信号源特性可调整发射频率和强度,在山体陡

峭区降低频率减少衰减,沟谷区增加发射功率提高信号强度。该方法在深部金属矿勘查中具有较好的应用效果。

2.2.3大地电磁法(MT)

MT基于天然场源的平面波假设,通过正交电磁场分量计算视电阻率,可探测数百公里深度。天然电磁场具有很大的能量且分布在较宽的频带上,只要选择合适的频率区间,MT法可以探测地下深部范围内的电性变化,具有受高阻屏蔽的影响小、对低阻层反应灵敏等特点。但由于天然场源的随机性,测量信号微弱且频率和大小不定,MT法需要花费巨大努力来记录和分析野外数据,勘探效率较低,成本较高。

3 电磁法勘探在山区金属矿勘查中的优势与挑战

3.1优势

3.1.1对低阻体敏感

山区的金属矿体常常和其周围的围岩有着比较显著的电性差别,特别是金属矿体常常具备较高的导电性能,呈现为低阻体的形态。电磁法勘探针对低阻体有着较高的灵敏程度,能够探测出地下金属矿体的存在情况。就好比在新疆普朗铜矿的勘查工作中,铜矿体的电导率较高,而围岩的电导率相对较低,电磁法勘探凭借测量二次电磁场的强度、相位等相关参数,能够清楚地推断出地下的电性分布状况,进而为探测铜矿体提供相应的依据。

3.1.2分辨率高

电磁法勘探可经由调整发射频率、观测参数等手段,提高对地下地质体的分辨能力。于山区金属矿勘查工作中,能够精准辨认金属矿体的形态、规模、空间位置,为后续钻探作业提供精准的靶区。举例来讲,高频电磁法,也就是HFEM,主要运用于浅部地质调查,其最小探测单元能达0.5米,适合进行精细地质结构分析,还能够探测微弱电磁响应,有助于低阻异常识别,在山区浅部金属矿勘查当中有着重要意义。

3.1.3可大面积快速勘查

电磁法勘探不需要进行钻孔操作,这样就减少了对地表环境的破坏行为。而且单次作业能够覆盖的面积达到1000平方公里,其效率是比较高的。在山区进行大面积金属矿勘查工作时,电磁法勘探能够迅速获取地下的电性信息,进而圈定出潜在的金属矿化区域,为后续进一步的勘查工作指引方向。比如说,航空电磁法(AEM)借助飞机搭载电磁系统来进行大面积快速探测工作,在两周的时间内就可以覆盖1000平方公里的面积,还发现了多处潜在矿化异常情况,为后续的钻探工作提供了依据。

3.2挑战

3.2.1地形影响

山区存在地形起伏较大的情况,其地表覆盖物比较复杂,像植被、风成沙等等,这些会对电磁法勘探时信号的传播、接收造成干扰,进而影响数据质量。比如说,在新疆巴什干克金矿勘查过程中,该矿区风成沙覆盖较厚,基岩出露状况极差,这给勘查工作带来了诸多困难。当进行电磁法勘探工作时,要运用有效的地形校正与数据处理办法,以此消除地形带来的影响,提高勘查结果的准确性。

3.2.2地质干扰

山区的地质构造比较复杂多样,存在着多种不同的地质体、地质现象,像是断裂、褶皱、岩浆岩等等。这些地质因素会引发复杂的电磁响应,进而对金属矿体的识别造成干扰。比方说,在新疆阔克吉勒嘎金矿进行勘查工作之时,该区域内断裂构造比较发育,主要是以北西—南东向的脆脆性剪切、逆冲推覆为主,这不仅严格控制着金矿体的空间分布情况,同时还为电磁法勘探数据的解释工作带来了挑战。因而需要将地质、地球化学等其他勘查方法结合起来,全面综合分析地质干扰因素,以此准确识别金属矿体。

3.2.3数据处理难度大

电磁法勘探所获取的数据量颇为庞大,且复杂度较高,唯有进行复杂的数据处理、反演解释工作,方可获取地下地质体的准确信息。于山区金属矿勘查工作中,鉴于地形、地质条件具备复杂性,数据处理的难度相应更大。因而要运用先进的数据处理算法、软件,将其与地质模型、已知地质资料相结合,实施多参数联合反演,以此提高数据处理、解释的精度。

4 电磁法勘探在新疆山区金属矿勘查中的应用实例

4.1新疆巴什干克金矿勘查

4.1.1矿区地质背景

巴什干克找矿靶区位于新疆维吾尔自治区巴音郭楞蒙古自治州且末县,昆仑山北麓,紧邻阿尔金断裂带。矿区风成沙覆盖较厚,基岩出露极差。通过1:20万化探异常资料显示,靶区内金、铜、钼、镍等元素均存在异常。项目组经过分析,确定目标矿种为金矿,并采用多元土壤化探定位+层间破碎带露头追索+激电中梯异常深探+钻探揭露矿化蚀变带并间接控制金矿体的方法进行勘查。

4.1.2电磁法勘探应用

对巴什干克金矿展开勘查工作之际,运用激电中梯法进行电磁法勘探。激电中梯法属于时间域电磁法,是通过测量地下介质激化率的差别来寻找金属矿体。在这个矿区布置了多条激电中梯测量剖面,利用测量二次场电位差,然后计算视极化率和视电阻率参数。根据参数异常情况,确定了多个激电异常区,给钻探工作提供了非常关键的靶区。

4.1.3勘查效果

通过激电中梯法勘探,结合其他勘查方法,项目组在矿区发现了4个金矿点,分布范围大。进一步勘查后,圈定了I号矿带,规模特大,长约3750米、宽320~410米,金品位0.20~10.0克/吨,圈定金矿体4条。最终探获金资源量70.77吨,矿床金平均品位3.89克/吨,潜在经济价值超500亿元,为新疆境内昆仑山首次发现的特大型金矿床。具体数据如下表所示:

| 矿带规模 | 长度(米) | 宽度(米)     | 金品位(克/吨)    | 金矿体数量 | 探获金资源量(吨) |
|------|-------|-----------|-------------|-------|-----------|
| I号矿带 | 3750  | 320 - 410 | 0.20 - 10.0 | 4     | 70.77     |

4.2新疆阔克吉勒嘎金矿勘查

4.2.1矿区地质背景

阔克吉勒嘎金矿位于新疆维吾尔自治区阿克陶县,处于特提斯与古亚洲洋两大全球构造域交汇部位,成矿地质条件优越。区域内断裂构造发育,以北西—南东向脆性剪切和逆冲推覆为主,严格控制金矿体的空间分布。矿区出露地层主要为下志留统温泉沟群浅变质低绿片岩,由一套绢云千枚岩组成,以及上白垩统铁龙滩群海陆交互碎屑岩—碳酸盐岩建造等。岩浆岩以中酸性侵入岩为主,分布于矿区东北部约8km处,多呈岩基或岩株产出。

4.2.2 电磁法勘探应用

在阔克吉勒嘎金矿勘查中,采用了可控源音频大地电磁法(CSAMT)进行勘探。根据矿区地形起伏大的特点,调整发射频率和强度,在山体陡峭区降低频率减少衰减,沟谷区增加发射功率提高信号强度。通过测量地面电场和磁场分量,计算视电阻率和阻抗相位,分析地下电性结构,圈定潜在的金属矿化区域。

4.2.3 勘查效果

通过CSAMT勘探,结合探槽与钻探工程验证,确认阔克吉勒嘎东、阔克吉勒嘎西及克热格塔什等金矿点均属于同一矿带。全区共圈定金矿体87条,长51-16200m。系统工程控制地段主矿体长度约2000m,控制深度大部分在300米以浅,推断金属资源量已达大型矿床规模。主要金矿体赋存于下志留统温泉沟群的含碳酸盐硬绿泥绢云千枚岩中,延伸上百公里的主干断裂控制着区域及矿区构造单元、地层分布、化探异常和金矿化带,构造带具有显著的脆—韧性剪切变形特征,是重要的容矿与控矿构造。具体数据如下表所示:

| 金矿体数量 | 长度范围(米)    | 主矿体长度(米) | 控制深度(米)      | 推断资源量规模 |
|-------|------------|----------|--------------|---------|
| 87    | 51 - 16200 | 约 2000   | 大部分在 300 米以浅 | 大型矿床规模  |

5 电磁法勘探在山区金属矿勘查中的未来发展趋势

5.1 技术融合

未来电磁法勘探会和重力、磁法、地震等别的地球物理勘探方法、地质、地球化学勘查方法进一步融合,达成多参数联合测量、综合解释。综合运用不同方法的优势,提高对地下地质体的识别能力、勘查精度,降低勘查风险与成本。比如,把电磁法勘探和重力勘探结合起来,借助重力勘探对密度差异敏感的特性,辅助电磁法勘探识别地下金属矿体跟围岩的边界,提高勘查结果的准确性。

5.2 设备小型化与智能化

伴随科技持续向前发展,电磁法勘探设备会朝着小型化、智能化的方向演进。小型化的设备利于在山区那种复杂地形当中进行携带与操作,进而提高勘查效率,智能化的设备能够对数据展开自动采集、处理、分析,减少人工干预,以此提高数据质量、勘查结果的可靠性。像是研发便携式的电磁法勘探仪器,将数据采集、处理、显示功能予以集成,达成现场实时勘查与解释。

5.3 多参数联合测量

在未来电磁法勘探工作里,会针对电场、磁场参数进行测量工作,介电常数、磁导率等其他相关参数也会一同进行测量,借此实现多参数联合测量的目标。对多个参数信息予以综合分析,能够更精准地了解地下地质体的电性特征与物理性质,从而提高对金属矿体的识别能力、勘查精度。比如,运用多频电磁法对不同频率下的电场和磁场参数进行同步测量,从而获得更为丰富的地下电性信息,为金属矿勘查提供更具有可靠性的依据。

6 结论

电磁法勘探在山区金属矿勘查方面展现出很独特的优势。此方法对低阻体敏感度较高,分辨率不错,可以进行大面积的快速勘查,大大提高勘查效率与精准程度。在新疆维吾尔自治区面积广大的山区进行金属矿勘查工作时,工作人员根据当地地质状况,合理选择电磁法勘探方式,还把它和地质、地球化学等其他勘查手段有效结合起来。这种综合勘查模式,能准确圈定潜在的金属矿化区域,给后续钻探工作提供精准靶区,切实降低了勘查成本与风险,取得了很显著的勘查成果。

不过,电磁法勘探在山区应用不是没有问题,地形起伏、地质结构复杂带来的干扰、数据处理的高难度,都是亟待解决的难题。但可以预料,随着技术融合不断推进、设备朝着小型化与智能化发展、多参数联合测量等趋势不断演进,电磁法勘探在山区金属矿勘查中的应用前景肯定会更广阔,为国家金属矿产资源安全提供有力保障。

【参考文献】

[1]曾晖,黄理善,杨人毅,等.马来西亚三合港铁矿“空地深”联合探测与验证[C]//中国地球物理学会金属矿勘查专业委员会.第三届全国矿产勘查大会论文集.中国有色桂林矿产地质研究院有限公司,2025:509-514.

[2]张明辉,张俊岭,陈华勇.斑岩型矿床地球物理勘查标识体系智能构建初步探讨[J/OL].大地构造与成矿学,1-18[2026-03-05].

[3]刘诚,李含,郑艳荣,等.综合物探方法在秦岭高植被覆盖深切割区矿产预测中的应用[J].西北地质,2025,58(03):108-119.

[4]刘诚,唐卫东,杨凯,等.荒漠浅覆盖区萤石矿定位预测技术研究[J].西北地质,2024,57(04):144-156.

[5]汤哲言.激发极化法压裂监测与响应特征提取[D].西安石油大学,2025.

[6]常宽,张钱江,蒋奇云,等.我国中深层地热能探测技术研究现状[J].地球物理学进展,2025,40(01):54-69.

作者简介:

邢宝隆(1984--),男,汉族,甘肃白银市会宁县人,本科,物探工程师,研究方向:物探不同方法在找矿中的应用,例如电法,磁法,重力。