

高原山区多金属矿详查勘查技术探析

邓永明

西藏地质二队地矿有限公司, 中国·西藏 拉萨 850000

摘要: 高原山区地形地貌特殊、地质条件复杂, 长期以来一直是多金属矿详查工作推进的难点。本文梳理了这类区域勘查里常碰到的核心技术难题, 逐一分析了物探、化探、遥感和智能勘查等手段在当地的适配情况与应用进展。高原山区多金属矿勘查早已不再靠单一方法“单打独斗”, 转而走向多手段配合的综合找矿模式。其中高精度重磁测量、激电中梯搭配大地电磁测深的物探组合, 再加上水系沉积物与原生晕测量结合的化探体系, 在隐伏矿体定位预测中效果突出。同时高光谱遥感、智能联合反演这类新技术的引入, 也给高原山区勘查提效带来了新的可行方向。基于此, 文中提出了“天—空—地—井”多维立体勘查技术框架, 希望能给同类地区的多金属矿详查工作提供实用的方法参考。

关键词: 高原山区; 多金属矿; 详查勘查; 物化探综合方法; 立体勘查

Analysis of detailed investigation and exploration technology of polymetallic deposits in plateau mountainous areas

Deng Yongming

Tibet Geological Second Team Geology and Mineral Co., Ltd., China Tibet Lhasa 850000

Abstract: Due to the special topography and complex geological conditions in the plateau mountainous area, it has been a difficult point in the detailed investigation of polymetallic deposits for a long time. This paper sorts out the core technical problems often encountered in such regional exploration, and analyzes the local adaptation and application progress of geophysical exploration, geochemical exploration, remote sensing and intelligent exploration. The exploration of polymetallic deposits in the plateau mountainous area has no longer relied on a single method to "fight alone", but has turned to a comprehensive prospecting model with multiple means. Among them, the geophysical combination of high-precision gravity and magnetic measurement, IP intermediate gradient and magnetotelluric sounding, coupled with the geochemical exploration system combining stream sediment and primary halo measurement, has outstanding effects in the positioning and prediction of concealed ore bodies. At the same time, the introduction of new technologies such as hyperspectral remote sensing and intelligent joint inversion has also brought new feasible directions for improving the efficiency of plateau mountain exploration. Based on this, this paper proposes a multi-dimensional three-dimensional exploration technical framework of "sky-air-ground-well", hoping to provide a practical method reference for the detailed investigation of polymetallic deposits in similar areas.

Keywords: Plateau mountainous area; Polymetallic ore; Detailed investigation and exploration; Integrated geophysical and geochemical exploration method; Stereoscopic exploration

0 引言

高原山区是国内关键的成矿集中区, 青藏高原及其周边区域, 铜、铅、锌、金、银等多种金属矿产储量十分可观。但这一带普遍海拔偏高、地形切割厉害、基岩出露不多, 生态环境也很脆弱, 给矿产勘查落地添了不少现实阻碍。如何在这种复杂景观条件下, 把隐伏矿体找得又准又快, 已经成了当前地质勘查行业必须啃下的核心技术难题。伴随新一轮找矿突破战略行动的落地推进, 高原山区多金属矿勘查技术已经有了明显提升, 物化探组合找矿、遥感

地质解译、智能协同勘查等一批新手段陆续投入实际生产, 在虎头崖、里伍、尕林格等多个矿区都拿到了不错的应用成果。但从整体来看, 高原山区配套的勘查技术体系还没完全成型, 方法选型也缺少成体系的技术经济评估。本文就从技术实际适配性出发, 摸索出真正贴合这类地区特点的综合勘查技术方案。

1 高原山区多金属矿勘查的技术难点

1.1 地形地貌条件对勘查工作的制约

高原山区地形切割程度深, 地形起伏大, 悬崖峭壁和

冰川河谷相互交错。拿四川里伍矿田来说, 这片区域坐落在横断山脉中段, 相对高差往往能达到上千米。物探仪器的转运和点位布设难度大幅提升, 化探样品的系统性采集过程要面对不小的安全隐患, 钻探施工的场地挑选空间十分有限, 整体投入成本也明显上涨。西昆仑苏贝希地区的实际作业经验显示, 在平均海拔突破 5000 米的区域, 勘查人员要背负几十公斤的装备每天徒步十几公里, 能开展作业的有效时段短, 整体推进效率偏低。

1.2 高寒环境对技术方法有效性的影响

高海拔区域的低温、冻土、强辐射等环境条件, 会从多个维度对勘查技术的实际效果产生干扰。物探作业中, 地表冻融层会让电极接地电阻明显升高, 直接拉低激电和电阻率法的原始数据品质; 化探工作里, 高寒山区物理风化作用表现极强, 元素的迁移规律和中低海拔区域有明显区别, 异常判读时必须把冰碛物覆盖、坡积物干扰等因素纳入考量。西藏斯弄多矿区海拔处于 4800—5500 米区间, 基岩出露范围广, 虽然给岩石测量创造了便利条件, 但样品采集和后续加工环节, 必须对干燥温度等参数做严格管控, 才能保障最终分析数据的准确可靠。

2 主要勘查技术方法及其适用性

2.1 地球物理勘查技术

高原山区用物探找矿的核心好处, 就是能弄清地下深部地质体的物性特征, 补上地表肉眼观测不到的空白。现在用得比较成熟的方法组合里, 高精度重磁测量很适合做区域初扫, 在高原荒漠区能快速圈出和岩浆岩、构造带挂钩的异常带。岩浆型矿床常对应“高重、高磁、高极化、低阻”的组合特点, 矽卡岩型矿床则是“高重、高磁、低阻”的特征, 这套物性模型给靶区筛选提供了量化参考。激电中梯在锁定硫化物矿化体时效果突出, 里伍矿田的实操显示, 对着地表零星矿露头和蚀变带做大功率激电, 局部异常和已知矿体匹配度很高; 拉九地区的应用也证明, 它能精准识别视极化率异常, 给槽探工程布设指明方向。音频、高频大地电磁测深在深部结构探测上优势明显, 虎头崖矿区靠它拿到深部电性结构, 顺利把矿化和非矿化异常区分开。

这套思路在夏隆岗矿区也得到了验证, 中低阻—中极高化的物探异常, 搭配控矿断裂、强化探异常, 组成了完整的综合找矿指标, 给高原热液脉型多金属矿的异常筛选提供了实际参考, 也再次印证了多方法协同找隐伏矿的实用价值。

2.2 地球化学勘查技术

高原山区化探手段的核心作用, 就是精准捕捉成矿

元素扩散形成的分散晕信号, 为靶区划定和矿体定位提供地球化学层面的直接依据。水系沉积物测量是区域化探扫面阶段最基础的常规手段, 在西藏文部地区落地的 1:5 万水系沉积物调查工作, 系统梳理了区内元素分布的地球化学特征, 最终圈定出综合化探异常 10 处、B 类找矿靶区 3 处。这套方法采样介质获取门槛低、覆盖范围广, 完全适配高原山区快速收窄找矿靶区的作业需求。原生晕与次生晕测量则是详查推进阶段不可或缺的核心手段。虎头崖矿区综合运用原生晕法和次生晕法, 通过多元素地球化学异常分析预测矿化空间分布。那更康切尔银矿的研究进一步揭示了原生晕轴向分带序列, 确定 Ag、Pb、Zn、Au 等为近矿晕元素, Hg、As 为前缘晕元素, 建立了深部矿体预测的地球化学标志。岩石/岩屑地球化学测量在基岩出露较好的高海拔地区应用效果良好。斯弄多矿区以 1:1 万比例尺、100m×40m 网度采集基岩和蚀变矿化岩石样品 21797 件, 通过系统分析建立了不同地层单元的元素背景值体系, 为异常筛选奠定了数据基础。

在高原山区化探异常的筛选和判读环节, 西藏隆子县夏隆岗铅锌矿床的相关研究给出了很有实际价值的参考样本。该矿床坐落在特提斯—喜马拉雅成矿带东段的扎西康矿集区内, 矿体产出严格受北东向断裂构造约束, 赋围岩是下中侏罗统陆热组的含碳钙质板岩与灰岩-2。对全流程找矿信息的系统梳理后发现, 强度突出的 Pb—Zn—Sb—Ag 组合化探异常, 是这片区域最核心的化探找矿标识, 它和中低电阻—中极高化率的物探异常搭配, 共同搭建起完整的综合找矿指标体系-3-5。

2.3 遥感与新兴勘查技术

遥感技术在高寒山区作业时, 有着不受地形束缚、能大范围同步采集观测数据的天然优势。高分辨率卫星影像的遥感解译工作, 能在地面实地作业开展前, 先初步搭建起区域构造格架, 给后续野外工作的布设方向提供明确指引。高光谱遥感技术如今已经步入蚀变矿物精细填图的成熟应用阶段: 西藏罗布矿化点的相关研究, 借助高分五号卫星的高光谱数据识别出连片分布的大规模高级泥质蚀变, 再搭配地面短波红外测量和 X 射线荧光光谱分析, 最终锁定了热液活动中心的潜在位置。智能协同勘查是当前该领域的主流技术发展方向。青海省地质调查局开发的高原荒漠区智能协同勘查系统, 依托多源数据融合、交叉梯度约束的智能联合反演与三维建模技术, 完成了重、磁、电、化等多类勘查数据的一体化综合处理, 大幅提升了深部矿体的定位精准度。

3 综合勘查技术体系构建

3.1 “天—空—地—井” 立体勘查模式

基于近年来多矿区的探索实践,可概括出“天—空—地—井”多维立体勘查的基本框架:

第一层次(区域扫面):以遥感地质解译和1:5万水系沉积物测量为主,结合高精度重磁测量,快速圈定成矿远景区和异常区带。这一层次的目标是“找得到”,在较大范围内筛选有利地段。第二层次(靶区优选):在异常区内开展1:1万或更大比例尺的地质填图、土壤/岩石地球化学剖面测量和激电中梯测量,详细圈定矿化异常的位置和范围。这一层次的目标是“圈得准”,缩小工程验证范围。第三层次(深部验证):对优选靶区实施音频大地电磁测深或可控源音频大地电磁法剖面测量,结合钻孔原生晕测量,推断隐伏矿体的埋深和产状,为钻探工程布置提供依据。这一层次的目标是“探得深”,解决深部定位问题。

3.2 多方法协同的技术组合策略

综合勘查绝不是各类技术方法的随意堆叠,而是要对应不同勘查阶段和实际地质条件,开展有明确指向性的组合筛选优化。结合已有的研究积累和现场实践经验,这里给出对应的技术组合优化方案:针对矽卡岩型矿床(以虎头崖矿区为典型代表):优先选用高精度重力搭配磁法快速圈定岩体接触带范围,配套激电中梯测量锁定硫化物集中富集区段,再通过AMT测深明确矿体的三维空间展布形态,最后配合原生晕测量完成深部矿体的延伸预测。针对热液型矿床(如拉九、斯弄多):以1:5万水系沉积物测量扫面,1:1万土壤测量和岩石测量详查,激电中梯测量圈定极化异常,槽探或浅钻验证,综合构建地质—地球化学—地球物理找矿模型。针对覆盖厚、露头少地区:发挥遥感先行优势,高光谱蚀变填图指导地面工作部署,深穿透地球化学测量获取深部信息,智能联合反演提高异常解释精度。

夏隆岗矿区的勘查实操,进一步验证了这套综合技术组合的实际效果。矿区2024年启动详查,累计完成钻探35465.76米,圈出2个铅锌矿段、1个金矿段。绢云母Ar-Ar定年拿到14.91Ma左右的成矿年龄,锁定中新世成矿背景,这套多手段协同体系完全适配高原复杂找矿场景。

4 结语

高原山区多金属矿详查的技术路径,已经从单一方法的零散尝试,逐步过渡到多手段配合的综合勘查模式。高精度重磁、激电中梯搭配大地电磁测深的物探组合,水系沉积物、原生晕与岩石测量搭建起的化探技术体系,再加

上遥感和智能协同技术的引入,初步搭出了适配高原特殊景观环境的技术方法框架。西藏夏隆岗矿区的实际勘查成果,验证了“地质+化探+物探+钻探+年代学”这套综合方法组合在隐伏矿体定位上的实用效果,也给整个技术体系的补全完善提供了典型实证样本。眼下,“天—空—地—井”多维立体勘查体系正逐步成型,物探、化探、遥感和智能技术的深度结合,为打破高原山区勘查的现有瓶颈打开了全新方向。但这套技术体系还需要在不同矿床类型、不同景观条件下积累更多实际验证案例,进一步优化方法搭配和参数设置。面向新一轮找矿突破战略行动,推进高原山区勘查技术的集成创新,能为战略性矿产资源的安全保障提供坚实的技术支撑。

参考文献:

- [1] 宁霞,柳建新,郭振威. 青海虎头崖铅锌多金属矿床物化探综合找矿方法研究[J]. 矿产勘查, 2024, 15(9): 1700-1710.
- [2] 李杰,童海奎,李华等. 高原荒漠区尕斯库勒铁钴多金属矿智能协同勘查系统: CN202510441105.9[P]. 2025-07-25.
- [3] 梁轶轩,黄维平,李宝龙等. 西藏尼玛县文部地区1:5万水系沉积物地球化学特征及找矿方向[J]. 矿产勘查, 2026, 17(5): 873-889.
- [4] 德庆卓嘎. 荣嘎铜钼多金属矿详查水工环调查工作有序推进[N/OL]. 西藏地勘局, 2026-07-24.
- [5] 陈道前,唐高林,胡如权等. 高原深切地区寻找铜多金属矿的物探方法的选择与实践——以四川里伍矿田找矿为例[J]. 物探化探计算技术, 2015, 37(5): 578-583.
- [6] 姜元林,钱建利,朱志平等. 物化遥综合找矿方法在西藏隆子县拉九地区的应用[J]. 黄金科学技术, 2024, 32(2): 241-257.
- [7] 杨宗耀,唐菊兴,任东兴等. 西藏斯弄多银多金属矿床地球物理和地球化学勘查进展[J]. 地球科学, 2024, 49(3): 1081-1103.
- [8] 高原荒漠区高效绿色勘查技术体系促进深部找矿预测提质增效[N/OL]. 青海省地质调查局, 2024-12-24.

作者简介: 邓永明(1990.06-),男,藏族,青海西宁人,大学本科学历,地质矿产工程师,主要从事特提斯喜马拉雅东段、北喜马拉雅金-银-铅锌多金属成矿带成矿地质条件、元素富集规律、矿床分带特征研究,专攻高原固体矿产普查-详查-勘探成套勘查技术方法、工程控制部署、质量管控与矿产资源评价方向的工作和研究。