

Discussion on Key Technologies for Geological Investigation and Resource Exploration of Non-ferrous Metal Mines in Mountainous and Hilly Areas

Zhi Du

Xintai Mining Industry Development Center, Tai'an, Shandong, 271200, China

Abstract

Non-ferrous metal ores are an important part of China's strategic mineral resources. Mountainous and hilly areas are home to over 70% of the country's reserves of strategic non-ferrous metals such as copper, lead, zinc and tungsten. Geological resource exploration, as a pre-core link in mineral development, the scientific and precise application of its technology directly determines the efficiency of resource exploration, the accuracy of reserve estimation, and the feasibility of development and utilization. At present, most exploration work relies on traditional technologies, with insufficient consideration of terrain adaptability, the complexity of geological conditions and ecological constraints. This can easily lead to problems such as positioning deviations and large dispersion of exploration data, laying hidden dangers such as high costs and low efficiency for subsequent resource development. This paper systematically expounds the core concepts and technical framework of geological survey and resource exploration for non-ferrous metal mines in mountainous and hilly areas, analyzes the key factors affecting the exploration results, sorts out the typical problems existing in the current work, and proposes technical optimization paths and implementation directions, providing theoretical and practical references for improving the exploration quality of non-ferrous metal mines in this region.

Keywords

Mountainous and hilly area Non-ferrous metal ore Geological survey Resource exploration Geophysical exploration technology

山地丘陵区有色金属矿地质调查与资源勘查关键技术探讨

杜志

新泰市矿产业发展中心, 中国·山东 泰安 271200

摘要

有色金属矿是我国战略性矿产资源的重要组成部分, 山地丘陵区集中了全国 70% 以上的铜、铅、锌、钨等战略性有色金属矿储量。地质资源勘查作为矿产开发的前置核心环节, 其技术应用的科学性与精准性直接决定资源探明效率、储量估算精度及开发利用可行性。当前勘查工作多依赖传统技术, 对地形适配性、地质条件复杂性及生态约束的考量不足, 容易造成定位偏差、勘查数据离散度大等问题, 为后续资源开发埋下成本高、效率低等隐患。本文系统阐述山地丘陵区有色金属矿地质调查与资源勘查的核心概念及技术框架, 分析影响勘查效果的关键因素, 梳理当前工作中存在的典型问题, 并提出技术优化路径与实施方向, 为提升该区域有色金属矿勘查质量提供理论与实践参考。

关键词

山地丘陵区; 有色金属矿; 地质调查; 资源勘查; 物探技术

1 引言

我国有色金属矿资源分布呈现“山地多、平原少”的显著特征, 山地丘陵区集中了全国 70% 以上的铜、铅、锌、钨等战略性有色金属矿储量。随着国内制造业对有色金属需求的持续增长, 保障矿产资源的精准勘查与高效开发, 成为支撑产业升级与资源安全的核心任务。然而, 山地丘陵区地形切割剧烈、植被覆盖茂密、地质构造复杂等不利因素, 会

造成传统勘查技术“通行难、探测准、生态兼容差”的三重劣势——比如地面地质填图受地形限制难以全覆盖, 物探数据易受地表干扰产生偏差, 钻探施工成本高且效率低。近年来, 勘查技术虽逐步向“智能化、综合化”转型, 但技术适配性不足、标准应用滞后等问题仍未根本解决。因此, 深入探讨山地丘陵区有色金属矿地质调查与资源勘查的关键技术, 对突破勘查瓶颈、提升资源保障能力具有重要的现实意义。

【作者简介】杜志(1988-), 男, 中国山东新泰人, 本科, 助理工程师, 从事地质勘查研究。

2 概述

2.1 基本概念

2.1.1 地质调查

地质调查：通过遥感解译、地面测绘、物探化探等技术手段，对调查区域的地层岩性、地质构造、矿产分布等地质特征进行系统查明，形成标准化地质资料的过程，其核心目标是圈定成矿区、缩小勘查范围。

2.1.2 矿产资源勘查

矿产资源勘查：在地质调查圈定的成矿区内，通过钻探、坑探等工程手段，结合实验测试，对矿产的状态、规模、质量、开采技术条件进行详细查明，最终估算资源储量并提交勘查报告，是矿产开发立项的法定依据。

2.1.3 勘查靶区

勘查靶区：基于地质调查数据，结合成矿理论与找矿标志，确定的具有矿产赋存潜力、需优先开展详细勘查的特定区域。靶区定位的精准性直接决定勘查工作的效率与投入产出比。

2.2 勘查三原则

2.2.1 靶区定位精准性

基于成矿规律与多源数据融合分析，确保靶区符合“成矿条件充分、找矿标志清晰”的要求，避免盲目勘查造成的资源浪费。

2.2.2 勘查数据可靠性

勘查过程中各项数据(如品位、厚度、构造产状)的采集、记录、测试需符合国家标准，误差控制在允许范围内。

2.2.3 生态保护兼容性

勘查工程布置需避开生态敏感区，采用微创技术减少对地表植被、土壤的破坏，实现“勘查与生态保护协同推进”。

2.3 通用技术框架

通用勘查技术框架制定原则：针对常规山地丘陵区(地形坡度 $< 35^\circ$ 、植被覆盖度 $< 60\%$)的有色金属矿(以铜、铅锌矿为主)，基于“遥感-物探-化探-钻探”的递进式技术组合，在考虑技术成熟度、成本可控性的前提下，形成的标准化勘查流程。

注意：关于三原则中第①条“靶区定位精准性”，主要结合成矿理论以及靶区参数来制定具体工程方案。

2.3.1 勘查关键技术及影响因素

为便于说明技术应用与勘查效果的关系，以“勘查靶区命中率(P)”为核心评价指标，其计算公式为：

$$P = (\text{探明资源量的靶区数量} / \text{总勘查靶区数量}) \times 100\%$$

其中，P的高低直接受勘查技术适配性(T)、地质条件复杂性(G)、设备精度(E)三大核心因素影响，即 $P \propto T/G \times E$ 。

2.4 核心勘查技术适配(T)

现代勘查几乎不会只依赖一种技术，而是采用“由面到点、由粗到精、物化探先行、钻探验证”的综合勘查思路。

勘查技术适配性是勘查项目的灵魂。它要求工程师不仅精通各种技术的原理，更要深刻理解勘查目标的地质本质和现场的客观条件，通过科学的论证和设计，将最合适的技术组合起来，形成一个最优的解决方案，最终实现高效、经济、可靠的勘查。

2.4.1 遥感地质调查技术

基于高分辨率卫星影像(如GF-2、WorldView-3)与无人机航测数据，通过波段组合、植被抑制等处理措施，识别与成矿相关的线性构造参数(断裂、节理)、环形构造参数(岩体接触带)及矿化蚀变信息(如铁帽、硅化带)。

此技术效果受影像分辨率(一般要求 $\geq 1\text{m}$)、植被覆盖与解译人员经验影响，植被覆盖在低的区域命中率提升30%-50%。

2.4.2 地球物理勘查技术

常用技术包括高精度磁测、激发极化法(激电法)、可控源音频大地电磁法(CSAMT)，针对不同矿种特性我们可以选择组合方案：

磁性有色金属矿(如含磁铁矿的铜矿床)：优先采用高精度磁测(误差 $\leq 5\text{nT}$)圈定岩体范围；

硫化物型矿(如铅锌矿、铜矿)：以激电法为主，通过测量极化率(η_s)识别矿化体(一般 $\eta_s > 5\%$ 为异常)。

此技术效果受地表电性不均匀性(如黏土分布)影响显著，需通过实地野外试验校正参数。

2.4.3 地球化学勘查技术

通过实地采集土壤、水系沉积物样品，分析样品中有色金属元素(Cu、Pb、Zn、W等)的含量异常性，圈定矿化扩散晕。在山地丘陵区多采用“网格法”采样(网格密度 $100\text{m} \times 20\text{m}$)，样品分析精度需达到 $\mu\text{g/g}$ 级。

此技术效果受地形坡向(易导致元素迁移不均)与采样深度(一般要求 $0.5\text{-}1\text{m}$)的影响。

2.4.4 钻探工程技术

采用岩心钻探来取得样本，核心指标为岩心采取率($\geq 85\%$)与钻孔垂直度(偏差 $\leq 1\%$)。如针对山地地形，多选用轻便型液压钻机，并通过修建临时便道或直升机吊装设备解决进场问题。

2.5 地质条件复杂性(G)

地质条件复杂性是山地丘陵区有色金属矿勘查的核心制约因素，其本质是“构造-地层-水文”等多要素的空间叠加与动态演化特征，直接影响勘查技术的选型适配性与数据解译准确性。

2.5.1 构造复杂性

断裂构造发育区易导致矿化体破碎、连续性差，增加靶区定位难度。如华南褶皱带的铅锌矿，因多期次断裂活动，矿脉走向变化频繁，需加密地质填图点(每平方公里 ≥ 50 个)。

2.5.2 地层多样性

山地丘陵区地层岩性变化大(如沉积岩、岩浆岩、变

质岩交互分布),部分岩层(如灰岩)易与矿化蚀变产生“假异常”,需通过岩石薄片鉴定区分。

2.5.3 水文条件

地下水丰富的区域易导致钻探孔内涌水,影响岩心采取质量,需提前开展水文地质调查并配备止水设备。

2.6 其他影响因素(E)

2.6.1 设备精度误差

常用勘查设备精度标准及误差范围如下:

无人机航测:平面位置误差 $\leq 0.5\text{m}$;

激电仪:极化率测量误差 $\leq \pm 2\%$;

岩心钻机:孔深误差 $\leq \pm 0.1\%$ 。

2.6.2 生态约束

生态红线区内禁止大型钻探工程,需采用“浅钻+物探”的微创组合技术,导致深部矿化体探测精度下降(误差增加10%-15%)^[2]。

2.6.3 操作误差

野外采样时的样品污染(如工具带入外源元素)、钻探时的岩心编录错误,均会导致数据偏差。据统计,操作误差占勘查总误差的20%-30%。

2.6.4 数据离散度

受上述因素综合影响,山地丘陵区有色金属矿勘查数据的离散度一般为 $\pm 15\%$ - 25% ,其中物探数据离散度最高(可达 $\pm 25\%$),需通过多技术交叉验证降低误差。

3 当前勘查工作中存在的常见问题

3.1 技术标准应用问题

3.1.1 标准更新滞后

部分勘查单位仍沿用《DZ/T 0214-2002 铜、铅、锌、银、镍、钼矿地质勘查规范》,该标准已更新为《DZ/T 0214-2021》^[1],旧标准中资源量估算方法(如断面法)已不适用于复杂构造矿床的精准计算。

3.1.2 标准适配性不足

通用勘查标准未充分考虑山地丘陵区特殊性,如对植被覆盖区的物探技术参数未明确校正要求,导致同一矿种在平原区与山地丘陵区的勘查数据缺乏可比性。

3.2 技术选型与组合不合理

3.2.1 技术“重硬件轻软件”

盲目采购高精度设备(如进口CSAMT仪),但缺乏数据处理软件(如EarthVision)的配套,导致设备性能无法充分发挥。

3.2.2 技术组合脱节

存在“遥感解译与地面验证脱节”“物探异常与钻探验证不匹配”等问题。例如,某赣南铅锌矿勘查中,遥感解译的环形构造未通过激电法验证直接布置钻探,最终因无矿化体导致勘查失败^[3]。

3.3 生态保护与勘查协同不足

3.3.1 工程布置不合理

钻探平台开挖未采用阶梯式设计,导致边坡坍塌与水土流失;临时便道修建破坏植被面积超过允许范围(一般要求 $\leq 0.1\text{km}^2/\text{km}$ 钻探)。

3.3.2 环保措施缺失

勘查过程中岩心、矿渣随意堆放,废水未经处理直接排放,违反《矿产资源勘查区块登记管理办法》中“环保先行”的要求。

3.4 数据管理与应用滞后

3.4.1 数据碎片化

遥感、物探、钻探数据分别存储于不同系统,缺乏统一的地理信息平台(GIS)整合,无法实现多源数据的叠加分析。

3.4.2 数据共享不足

勘查单位之间数据壁垒严重,同一区域的不同勘查项目数据无法互通,导致重复勘查、资源浪费。

4 勘查技术优化与实施难点及解决路径

4.1 实施难点

4.1.1 技术与成本矛盾

高精度勘查技术(如无人机航磁测量、定向钻探)成本较高(约增加30%-50%勘查投入),中小型勘查单位难以承担;

4.1.2 技术人才短缺

兼具“地质理论+技术操作+数据处理”能力的复合型人才不足,尤其是物探数据解译、3D建模等高端技术岗位缺口达40%;

4.1.3 多部门协同困难

勘查需协调自然资源、生态环保、林业等多部门审批,流程繁琐(平均审批时间 ≥ 3 个月),影响勘查进度。

4.2 解决路径

4.2.1 技术体系优化

构建“轻量化-智能化”技术组合:采用“无人机+手持光谱仪”替代传统地面填图,降低地形限制;引入三维地质建模软件(如Leapfrog),实现多源数据整合与可视化;

建立技术校正机制:针对植被覆盖区,制定激电法“地形校正+植被抑制”双重校正流程,将数据离散度降低至 $\pm 15\%$ 以内。

4.2.2 设备与人才保障

设备方面:鼓励“产学研用”协同,研发适配山地的轻便型勘查设备(如便携式激电仪、小型无人机航磁系统);

人才方面:与高校(如中国地质大学)合作开设“山地勘查技术”定向培养课程,开展野外实操培训(每年 ≥ 2 次)。

4.2.3 管理机制完善

建立“一站式”审批平台：整合自然资源、生态环保等部门审批流程，将审批时间压缩至1个月内；

推行“勘查数据共享机制”：由地方自然资源部门牵头，建立区域勘查数据库，要求勘查单位提交成果数据（涉密数据除外）并实行有偿共享。

4.2.4 预期达到效果

靶区命中率提升20%-30%，勘查周期缩短15%-20%；

勘查工程对生态环境的破坏率降低至5%以下，符合“绿色勘查”要求；

形成山地丘陵区有色金属矿标准化勘查技术体系，为同类区域勘查提供示范。

5 应用案例：山东沂蒙山区铅锌矿勘查项目

5.1 项目概况

项目位于沂蒙山区腹地，地形坡度 25° - 35° ，植被覆盖度70%，目标矿种为铅锌矿。2022年采用优化后的勘查技术体系开展工作，总面积 50km^2 。

5.2 技术应用

遥感解译：利用GF-2影像（1m分辨率）结合无人机航测，识别线性构造12条、环形构造3处。

物探化探：采用“高精度磁测+激电法”组合，圈定激电异常区5处（ η_s 6%-12%）；通过土壤地球化学测量，圈定Pb-Zn异常晕3处。

钻探验证：选用XY-2型轻便钻机，布置钻孔15个，

岩心采取率 $\geq 88\%$ ，其中8个钻孔见矿（矿脉厚度0.8-3.5m，Pb+Zn品位1.5%-5.2%）。

5.3 实施效果

靶区命中率达53.3%（优化前同类项目为30%），勘查周期从6个月缩短至4个月，临时便道修建破坏植被面积较规范要求减少40%，实现“精准勘查+绿色勘查”双重目标。

6 结语

山地丘陵区有色金属矿地质调查与资源勘查是一项“技术密集型+生态敏感型”工作，其核心在于实现“技术适配性、数据可靠性、生态兼容性”的统一。当前勘查工作需突破标准滞后、技术脱节、协同不足等瓶颈，通过技术体系优化、设备人才保障、管理机制来完善，构建适应山地丘陵区特点的勘查模式。当然，考虑到勘查成本、区域地质条件差异及部门协同难度，技术优化需循序渐进——优先在成矿条件明确、生态约束可控的区域开展试点，再逐步推广。未来，随着智能化、绿色化技术的迭代，山地丘陵区有色金属矿勘查将向“精准化、高效化、低碳化”方向发展，为我国战略性矿产资源保障提供更强支撑。

参考文献

- [1] DZ/T 0214-2021. 铜、铅、锌、银、镍、钼矿地质勘查规范[S].
- [2] GB/T 39588-2021. 矿产资源勘查绿色勘查技术要求[S].
- [3] 张明华. 多源地质数据融合在靶区定位中的应用——以赣南钨矿为例[J]. 中国地质, 2019, 46(6): 1352-1360.