

Optimization Strategy of Metal Mineral Resources Exploration Technology under Complex Geological Conditions

Guoyin Li

Yunnan Chihong Zinc & Germanium Co., Ltd., Qujing, Yunnan, 655000, China

Abstract

China possesses abundant and widely distributed metal mineral resources, which hold a strategic core position in national economic development and industrial progress. However, most high-quality shallow mineral resources have entered the mid-to-late stages of development, with mineral exploration increasingly focusing on complex geological areas characterized by tectonic fracture zones, deep-seated ore bodies, irregular ore-formations, and frequent multi-stage magmatic activities. These complex geological environments, influenced by tectonic movements, deep-seated temperature-pressure variations, and geochemical field disturbances, not only result in blurred ore body boundaries and elusive spatial distribution patterns but also generate strong interference with exploration signals, posing significant challenges to precise resource localization and reserve assessment. Current traditional metal mineral exploration technologies exhibit notable limitations under complex geological conditions. Conventional geophysical techniques suffer from insufficient resolution for deep ore bodies and are prone to anomaly identification errors caused by groundwater and surrounding rock interference. Traditional geochemical methods rely on surface sampling, making it difficult to capture deep-seated geochemical information in thick overburden zones. Conventional remote sensing technologies have limited penetration capabilities, hindering indirect identification of concealed ore bodies. Traditional drilling techniques frequently encounter issues such as borehole wall collapse and suboptimal core quality in complex strata. These shortcomings directly lead to inadequate detection accuracy, ambiguous target localization, and biased resource evaluations, thereby constraining exploration efficiency and quality. This paper systematically analyzes the application bottlenecks of current exploration technologies by integrating the core characteristics and challenges of complex geological conditions. From five key dimensions—geophysical technology optimization, geochemical method innovation, remote sensing technology upgrades, drilling process improvements, and multi-technology integration—this study explores targeted technical optimization pathways. By refining technical adaptation schemes for various complex geological scenarios and demonstrating the practical application effects of technical combinations through typical exploration cases, this approach aims to establish a scientific and efficient exploration technology system. It significantly enhances the accuracy and efficiency of metal mineral exploration in complex geological environments, providing solid technical support and practical references for the rational development and utilization of mineral resources as well as the sustainable development of the mining industry.

Keywords

Complex geology; Metal mineral; Exploration technology; Optimization strategy; Resource exploration

复杂地质条件下金属矿产资源勘查技术优化策略

李国银

云南驰宏锌锗股份有限公司, 中国·云南 曲靖 655000

摘要

我国金属矿产资源总量丰富、分布广泛,在国民经济建设与工业发展中占据战略核心地位。然而,多数优质浅部矿产资源已进入开发中后期,矿产勘查工作逐渐转向构造破碎带发育、矿体埋藏深、赋存形态不规则、多期次岩浆活动频繁的复杂地质区域。此类复杂地质环境受构造运动、深部温压变化及地球化学场紊乱等因素影响,不仅导致矿体边界模糊、空间分布规律难寻,还会对勘查信号产生强烈干扰,给矿产资源的精准定位与储量评价带来诸多挑战。当前传统金属矿产勘查技术在复杂地质条件下暴露出明显局限,常规物探技术对深部矿体的探测分辨率不足,易受地下水、围岩干扰导致异常识别偏差;传统化探方法依赖地表采样,在厚覆盖层区域难以捕捉深部矿体的地球化学信息;常规遥感技术穿透能力有限,难以识别隐伏矿体间接标志;传统钻探工艺在复杂地层中易出现孔壁坍塌、取芯质量不佳等问题,这些不足直接造成探测精度不足、目标定位模糊、资源评价偏差等问题,制约了勘查工作的效率与质量。本文结合复杂地质条件的核心特征与勘查难点,系统分析当前各类勘查技术的应用瓶颈,从物探技术优化、化探方法创新、遥感技术升级、钻探工艺改良及多技术融合五个关键维度,探索针对性的技术优化路径。通过细化不同复杂地质场景下的技术适配方案,结合典型勘查案例阐述技术组合的实践应用效果,旨在构建科学高效的勘查技术体系,显著提升复杂地质环境下金属矿产勘查的精准度与效率,为矿产资源的合理开发利用、矿业可持续发展提供坚实的技术支撑与实践参考。

关键词

复杂地质; 金属矿产; 勘查技术; 优化策略; 资源勘查

【作者简介】李国银(1984—),男,白族,中国云南大

1 引言

理人,本科,工程师,从事地质勘查技术研究。

金属矿产资源是工业发展的核心原材料,对国民经济

建设与国家安全具有重要战略意义。我国金属矿产资源储量丰富,但多数优质矿产已进入深部开采阶段,浅部易勘查、易开采的矿产资源日益枯竭,勘查工作逐渐转向构造复杂、矿体埋藏深、赋存形态不规则的复杂地质区域。复杂地质条件通常表现为地层岩性多变、断裂构造发育、岩浆活动频繁、地球化学背景复杂等特征,这些因素导致矿体定位难度大、资源储量估算精度低,传统勘查技术如常规物探、地表化探等难以适应复杂勘查需求。在矿产资源需求持续增长的背景下,优化复杂地质条件下的金属矿产勘查技术体系,提升勘查的精准性与高效性,对保障矿产资源稳定供应、推动矿业可持续发展具有重要现实意义。

2 复杂地质条件的核心特征与勘查技术应用局限

2.1 复杂地质条件的核心特征

复杂地质条件的类型多样,核心特征主要体现在三个方面。一是构造复杂性,断裂破碎带发育、地层褶皱强烈,矿体在构造运动作用下发生位移、变形,赋存形态呈现不规则状,边界模糊难以界定;二是埋藏深度大,随着浅部矿产资源枯竭,勘查目标转向地下深部,深部地质环境压力大、温度高,地层岩性变化规律难以预判;三是干扰因素多,多期次岩浆活动导致岩石地球化学场紊乱,地表风化侵蚀、土壤覆盖层厚度不均,给地球物理、地球化学勘查带来强烈干扰,影响异常信息的识别。

2.2 当前勘查技术的应用局限

传统金属矿产勘查技术在复杂地质环境中存在明显局限。物探技术方面,常规电磁法、重力勘探对深部矿体的探测分辨率不足,易受构造破碎带中地下水的干扰,难以区分矿与非矿异常;化探技术依赖地表土壤、水系沉积物采样,在覆盖层较厚或地形复杂区域,异常信息易被掩盖,难以反映深部矿体的地球化学特征;遥感技术虽能实现大范围勘查,但对植被覆盖密集区域的穿透能力有限,难以识别隐伏矿体的间接标志;钻探技术在复杂地层中易出现孔壁坍塌、钻进效率低等问题,取芯质量难以保证,影响后续资源评价的准确性^[1]。此外,各勘查技术多单独应用,缺乏有效的协同配合,未能形成全方位、多层次的勘查技术体系,导致勘查数据碎片化,难以全面反映复杂地质条件下矿体的赋存规律。

3 复杂地质条件下金属矿产勘查技术优化策略

3.1 物探技术优化:提升深部探测与异常识别能力

针对复杂地质条件下深部矿体探测与异常干扰问题,对物探技术进行针对性优化。在电磁法方面,推广高精度可控源音频大地电磁测深技术,通过优化发射频率与观测系统,提升对深部地层的穿透能力,精准识别断裂构造与矿体空间分布;采用时间域电磁法,利用其对低阻体敏感的特性,有效区分含矿破碎带与普通断裂带,减少地下水干扰带来的

误判。重力与磁法勘探方面,引入高精度重力仪与超导磁力仪,提升数据采集精度,结合三维反演技术,构建地层密度与磁性三维模型,清晰呈现矿体与围岩的密度差异、磁性差异,实现隐伏矿体的定位。针对多期次岩浆活动区域,采用高精度磁测与电磁测深联合勘查方案,通过磁异常圈定岩浆岩分布范围,结合电磁异常识别岩浆岩内部的含矿构造,提升勘查目标的精准度^[2]。同时,建立物探异常数据库,结合区域地质背景进行综合分析,排除非矿异常干扰,提高异常解释的准确性。

3.2 化探方法创新:强化深部信息提取与异常追踪

突破传统地表化探的局限,创新化探采样与分析方法,实现深部矿体地球化学信息的有效提取。推广深穿透地球化学勘查技术,通过采集地表土壤深层样品、岩石裂隙气、地下水等介质,分析其中的微量元素与同位素组成,捕捉深部矿体向上迁移的地球化学信息,解决覆盖层较厚区域的勘查难题。优化化探分析技术,采用电感耦合等离子体质谱法等高精度分析手段,提高微量元素的检出限,精准识别低强度、弱异常信息,为隐伏矿体勘查提供可靠依据^[3]。针对构造复杂区域,采用构造地球化学勘查方法,沿断裂构造带进行系统采样,分析构造带内元素的迁移富集规律,追踪矿体的延伸方向与赋存位置。同时,结合地质遥感解译结果,圈定地球化学异常区与地质构造的重叠区域,缩小勘查靶区范围,提升勘查效率。

3.3 遥感技术升级:增强穿透性与信息提取精度

升级遥感勘查技术,提升对复杂地质环境的适应性与信息提取能力。采用高分辨率多光谱遥感与高光谱遥感相结合的技术方案,高分辨率遥感实现对地表地形、地貌、构造线的精准识别,高光谱遥感则通过分析岩石矿物的光谱特征,识别与金属矿产相关的指示矿物,如黄铁矿、赤铁矿等,为隐伏矿体勘查提供间接标志。针对植被覆盖密集区域,引入微波遥感技术,利用其穿透植被与浅表层土壤的特性,探测地下浅部的断裂构造与矿体露头,弥补光学遥感的不足;采用干涉合成孔径雷达技术,监测地表微小形变,间接识别含矿构造的活动特征。建立遥感地质信息提取模型,通过机器学习算法,自动识别与金属矿产相关的遥感异常,如线性构造密集区、环形构造、矿物异常区等,结合区域地质资料进行综合研判,圈定潜在勘查靶区,为后续勘查工作提供指导。

3.4 钻探工艺改良:提高复杂地层钻进与取芯质量

针对复杂地层钻探过程中存在的孔壁坍塌、钻进效率低、取芯质量差等问题,改良钻探工艺与设备。选用新型复合钻井液,根据不同地层岩性调整钻井液配方,如在松散破碎地层采用高粘度、防塌型钻井液,在硬岩地层采用润滑性能好、冷却效果佳的钻井液,有效保护孔壁稳定,减少钻进事故。优化钻探设备与工艺,采用定向钻探技术,通过调整钻孔轨迹,避开复杂构造破碎带,精准抵达勘查目标区域;

推广绳索取芯钻探技术,缩短取芯时间,减少孔内事故,提高取芯效率与取芯质量,确保岩芯的完整性与代表性。针对深部高温、高压地层,选用耐高温、高压的钻探设备与管材,提升钻探深度与稳定性。同时,在钻探过程中实时监测钻孔内的地质参数,如岩石强度、孔隙度、渗透率等,结合物探、化探数据进行综合分析,及时调整勘查方案,提高勘查的针对性^[4]。

3.5 多技术融合:构建协同勘查技术体系

打破单一技术应用的局限,构建“物探+化探+遥感+钻探”多技术协同勘查体系,实现各技术优势互补。在勘查初期,利用遥感技术进行大范围普查,圈定构造发育区与异常潜力区;在此基础上,通过高精度物探技术对异常区进行详细勘查,确定矿体的大致位置与埋深;采用化探技术对物探异常区进行采样分析,验证异常的含矿性;最后通过钻探技术进行工程验证,获取岩芯样品,开展资源储量估算^[5]。建立多技术数据融合平台,将物探、化探、遥感、钻探等勘查数据进行标准化处理,采用地理信息系统技术构建综合勘查数据库,实现数据的可视化展示与综合分析。通过三维地质建模技术,整合各类勘查数据,构建矿体、地层、构造三维可视化模型,全面呈现复杂地质条件下矿体的赋存规律与空间形态,为勘查方案优化与资源评价提供科学依据。同时,引入人工智能与大数据分析技术,对多源勘查数据进行深度挖掘,自动识别矿体赋存的关键指标与规律,提升勘查决策的科学性与智能化水平。

4 典型应用场景与实践效果

以某复杂构造区域铜矿产勘查为例,该区域断裂构造发育、岩浆活动频繁,矿体埋藏深达八百至一千二百米且赋存形态不规则,传统勘查技术难以精准定位。采用优化后的协同勘查技术体系:首先通过高分辨率遥感与微波遥感联合勘查,圈定三条主要断裂构造带与两个环形构造异常区;随后采用高精度可控源音频大地电磁测深与超导磁力仪联合物探,确定矿体位于断裂构造交汇处,埋深集中在地下九百至一千一百米范围;通过深穿透地球化学勘查,采集土壤深层样品与地下水样品,分析发现铜元素异常含量达三百至五百 ppm,与物探异常区域高度重合;最后采用定向钻探

与绳索取芯技术进行工程验证,成功钻遇厚达二十至三十米的厚大矿体,取芯率达百分之九十八以上,取芯质量良好,经资源评价确定为储量超五百万吨的大型铜矿床。实践证明,优化后的勘查技术体系有效解决了复杂构造区域深部隐伏矿体的定位难题,勘查靶区命中率较传统技术提升百分之六十以上,钻探工程量减少百分之四十,勘查周期缩短三分之一,资源储量估算精度提高至百分之九十五以上,显著降低了勘查成本与风险,为同类复杂地质条件下金属矿产勘查提供了可行的技术参考。

5 结语

复杂地质条件下金属矿产勘查技术的优化,是突破勘查瓶颈、保障矿产资源供应的关键。通过物探技术提升深部探测能力、化探方法强化深部信息提取、遥感技术增强穿透性与信息精度、钻探工艺提高钻进与取芯质量,以及构建多技术协同勘查体系,能够有效提升复杂地质环境下金属矿产勘查的精准度与效率,破解传统勘查技术的应用局限。在未来勘查工作中,应进一步加强勘查技术的智能化、数字化发展,推动人工智能、大数据、物联网等新技术与勘查技术的深度融合,构建“智能勘查”技术体系;加大对深部勘查技术、隐伏矿体勘查技术的研发投入,突破关键核心技术瓶颈;加强区域地质研究,建立不同复杂地质条件下的勘查技术规范与标准,为勘查工作提供科学指导。同时,注重勘查技术与环境保护的协同发展,实现矿产资源勘查与生态环境保护的双赢,推动矿业行业的可持续发展。

参考文献

- [1] 王永康.金属矿产资源勘查中地质找矿技术要点及优化[J].世界有色金属,2024,(24):67-69.
- [2] 甘原.复杂地质条件下金属矿产勘查的技术挑战与解决方案[J].冶金与材料,2024,44(08):187-189.
- [3] 沈文斌.金属矿产资源勘查中地质找矿技术要点及优化[J].冶金与材料,2024,44(02):76-78.
- [4] 来召.金属矿产资源勘查中地质找矿技术要点及其优化分析[J].冶金管理,2023,(17):62-64.
- [5] 周全.浅谈金属矿产资源勘查中地质找矿技术要点及其优化策略[J].冶金管理,2019,(15):99.