

地质矿产勘查和深部地质钻探找矿技术研究

袁志强

江西省地质局第二地质大队 江西 九江 322000

摘要: 地质矿产勘查与深部地质钻探找矿技术是提升资源保障能力的关键。本文构建了涵盖地质填图、地球物理、遥感与信息技术融合的勘查技术体系,突破深部钻探高温高压、效率成本等难题,创新高效破岩钻头、智能钻进参数控制等关键技术。通过“地质-地球物理-钻探”一体化流程与深部资源预测模型,在案例中显著提升找矿成功率,为深部资源勘查提供技术支撑与方向指引。

关键词: 地质矿产勘查;深部地质钻探;找矿技术

引言: 随着全球资源需求持续增长,浅部矿产资源日益减少,深部找矿成为保障资源安全的关键。地质矿产勘查技术作为探寻矿产的“先锋军”,其精准性与全面性直接影响找矿成效。而深部地质钻探找矿技术则是打开深部资源宝库的“金钥匙”,却面临高温高压、设备性能受限等诸多挑战。深入研究二者技术,构建科学勘查体系、突破钻探技术瓶颈,对提高找矿效率、实现资源可持续开发具有重大战略意义与现实紧迫性。

1 地质矿产勘查技术体系构建

1.1 基础地质勘查方法

(1) 地质填图与构造解析:以实测地质剖面为基础,系统开展不同比例尺地质填图,精准划分地层岩性单元,厘清地层接触关系与空间展布规律;结合构造几何学、运动学分析,识别褶皱、断裂等控矿构造,明确构造与矿产的时空耦合关系,为后续勘查奠定基础地质框架。(2) 地球化学异常识别与靶区圈定:通过系统采集土壤、岩石、水系沉积物等样品,开展多元素地球化学测试,运用数据处理与异常下限确定方法,识别单元元素与组合异常;结合地质背景分析异常成因,剔除干扰异常,圈定具有找矿潜力的靶区,缩小勘查范围。

1.2 地球物理勘查技术

(1) 重力、磁法、电法、地震勘探的适用性分析:重力勘探适用于识别密度差异显著的矿产与深部构造;磁法对磁性矿产及磁性基底构造探测优势明显;电法可有效区分岩矿石导电性差异,适用于寻找硫化物矿产等;地震勘探擅长揭示地层连续性与深部地质界面,适配沉积型矿产勘查。(2) 多参数综合解释与三维建模技术:整合重力、磁法等多源地球物理数据,建立综合解释模型,弥补单一方法局限性;利用三维建模技术重构地下地质体空间形态,直观呈现矿产赋存规律,提升勘查成果的精准度与可靠性^[1]。

1.3 遥感与信息技术融合

(1) 高光谱遥感矿化信息提取:借助高光谱遥感数据的精细光谱分辨率,识别与矿化相关的蚀变矿物光谱特征,实现蚀变带快速定位与矿化信息提取,提升大面积找矿效率。(2) 大数据与AI在矿产预测中的应用:构建矿产勘查大数据平台,整合地质、物探、化探等多源数据;运用AI算法挖掘数据间隐藏关联,建立矿产预测模型,实现找矿靶区智能化预测与优选。

1.4 勘查技术优化组合策略

(1) 岩浆岩型矿产勘查技术组合:采用“地质填图+磁法勘探+岩石地球化学测量+高光谱遥感蚀变识别”的组合模式,精准锁定岩浆活动相关的矿产靶区。(2) 沉积型矿产勘查技术组合:运用“地震勘探+电法勘探+水系沉积物地球化学测量+遥感地层识别”技术,重点揭示沉积地层分布与矿产赋存层位。(3) 变质型矿产勘查技术组合:采用“地质填图+重力勘探+岩石地球化学测量+三维建模”组合,厘清变质作用与矿产的关系,识别深部变质矿化体。(4) 深部矿产勘查技术组合:整合深穿透地球化学测量、深部地震勘探、无人机高光谱遥感等技术,突破深部勘查瓶颈,探索深部找矿潜力。(5) 复杂地形区勘查技术组合:采用“无人机遥感+便携式物探设备+浅钻验证”的轻量化技术组合,适配山地、丛林等复杂地形,提升勘查可行性与效率^[2]。

2 深部地质钻探关键技术突破

2.1 深部钻探技术挑战

(1) 高温高压环境对设备的影响:深部地层温度随埋深递增,通常每百米升高2-3℃,超深层钻探环境温度可达200℃以上,伴随30MPa以上高压。极端环境易导致钻探设备密封系统老化失效、液压元件渗漏,钻杆因热胀冷缩产生形变甚至断裂;同时高温会造成传感器、测井仪器等精密设备精度漂移,无法精准采集地质数据,

不仅严重影响钻探作业连续性，还易引发卡钻、井塌、井喷等重大安全隐患。(2) 钻探效率与成本控制难题：深部地层以坚硬结晶岩、致密砂岩为主，岩性研磨性强、抗压强度高，传统钻进方式单回次进尺不足1米，钻进效率极低。为适配深部作业，需定制耐高温高压的专用钻探装备，配套高耐磨耗材，设备采购与维护成本较浅部钻探提升5-8倍；且深部钻探周期长，作业风险高，应急处置、人员保障等隐性成本显著增加，如何平衡钻探效率提升与综合成本管控，成为制约深部资源勘查规模化推进的核心瓶颈。

2.2 核心技术创新

(1) 高效破岩钻头设计与材料优化：基于深部不同岩性的物理力学参数，采用数值模拟与仿生设计结合的方法，优化钻头齿形布局与切削角度，提升破岩能量传导效率；选用聚晶金刚石复合片(PDC)、立方氮化硼(CBN)等超硬材料，搭配等离子喷涂耐磨涂层，研发出适配不同深部地层的专用钻头，其耐磨性较传统钻头提升3-5倍，单回次进尺可提升至2-3米，大幅提升坚硬地层钻进效率。(2) 智能钻进参数控制系统开发：集成随钻测量(MWD)、随钻测井(LWD)技术与5G实时传输模块，构建“感知-分析-决策-执行”闭环智能控制系统。通过井下传感器实时采集钻进压力、转速、扭矩、孔底温度压力等12项关键参数，经云端平台快速分析地层岩性变化，自动动态调整钻进参数；同时搭载故障预警算法，可提前5-10分钟预判卡钻、偏斜等风险，降低人为操作误差，提升钻进稳定性与安全性^[3]。(3) 深部取心与原位测试技术：研发高温高压自适应取心工具，采用双筒密闭结构，搭配低温保温与压力保持装置，减少岩心在提升过程中的温度骤变与组分流失，取心成功率提升至95%以上；开发模块化深部原位测试系统，可在钻探过程中直接开展地应力测量、地层渗透率测试、流体组分分析等原位试验，无需将岩样提升至地面，大幅缩短测试周期，为深部成矿理论研究提供精准的原始数据支撑。

2.3 绿色钻探技术

(1) 环保型钻井液体系研发：摒弃传统钻井液中重铬酸盐、磺化沥青等有毒有害成分，以生物降解聚合物、植物胶为核心原料，研发出低荧光、易降解的环保型钻井液。该体系不仅具备优异的润滑、冷却、护壁性能，可有效抑制孔壁坍塌，其生物降解率达90%以上，对地下水、土壤的污染浓度远低于国家限值，契合生态敏感区深部勘查的环保要求^[4]。(2) 废弃物循环利用与生态修复：建立“分类收集-分级处理-循环利用”的钻探废

弃物处置体系，通过固液分离设备将钻屑与废弃钻井液分离，处理后的清水可循环用于配制钻井液，回收率达85%以上；钻屑经固化处理后，可作为道路垫层、制砖原料实现资源化利用。钻探作业完成后，对钻孔进行水泥封堵，防止地下水串层污染，同步开展场地平整、植被补种等生态修复工作，实现勘查作业与生态保护协同推进。

3 深部地质钻探找矿技术集成与应用实践

3.1 技术集成模式

(1) “地质-地球物理-钻探”一体化流程设计：构建“前置地质研判-中间物探精准定位-后端钻探验证”的闭环一体化流程。前置阶段通过基础地质填图、构造解析明确成矿地质背景，筛选有利成矿区域；中间阶段整合重力、磁法、电法等多源地球物理数据，开展综合解释与三维建模，精准锁定深部靶区空间坐标；后端阶段依据靶区特征优化钻探工艺参数，同步开展随钻测井与取心分析，实现钻探成果对前期预测的快速验证与修正，大幅提升找矿流程的系统性与高效性。(2) 深部资源预测模型构建：基于大数据与AI技术，整合区域地质、物探、化探、遥感及已有钻探数据，构建多参数耦合的深部资源预测模型。模型通过学习已知矿床的成矿规律与地球物理、地球化学异常特征，建立成矿要素与矿产赋存的关联关系；利用该模型对未知区域进行深部资源潜力评估，输出靶区找矿概率与资源量预估区间，为钻探工程部署提供科学依据。

3.2 案例分析

(1) 区域地质背景与成矿规律研究：以某深部铜多金属矿勘查区为例，区域位于板块碰撞带边缘，发育大规模断裂构造与岩浆岩带，属典型的岩浆热液型成矿系统。通过区域地质填图与地层、构造演化分析，明确成矿与燕山期花岗岩侵入活动密切相关，矿体主要赋存于断裂破碎带与花岗岩接触带，确立“岩浆侵入-构造控矿-热液充填”的成矿规律。(2) 靶区定位与钻探工程部署：基于成矿规律，开展区域地球物理勘查，通过磁法异常圈定花岗岩体分布范围，利用电法异常识别断裂破碎带与硫化物富集区；结合高光谱遥感蚀变信息提取结果，综合圈定3处深部高潜力靶区。依据靶区深度、地质条件差异，部署3组定向钻探孔，采用“智能钻进+随钻取心”工艺，确保钻探工程精准穿透靶区。(3) 深部矿体发现与资源量估算：钻探实施过程中，通过随钻取心分析发现3处厚度稳定、品位较高的铜多金属矿体，矿体埋深介于800-1500m，与预测模型输出的靶区位置高度吻合。基于钻探取心数据、随钻测井结果，采用地质块段法开展资源量估算，初步探明铜金属量超50万吨，伴生

金、银资源量具备工业开采价值。

3.3 应用效果评价

(1) 找矿成功率与经济效益对比：与传统勘查模式相比，一体化技术集成模式的找矿成功率从35%提升至68%，钻探工程无效孔率下降42%；该案例通过精准钻探验证实现深部大型矿床发现，投产后预计年销售收入超20亿元，投资回收期较传统模式缩短3-5年，显著提升了找矿工作的经济效益与投资回报率。(2) 技术推广的可行性分析：从技术层面，一体化流程与预测模型可适配岩浆热液型、沉积型等多种矿床类型，核心技术（智能钻进、多源数据综合解释）已形成标准化操作规范，具备技术复制性；从成本层面，虽前期数据整合与模型构建需一定投入，但后期可大幅降低无效钻探成本，长期综合效益显著；从政策层面，契合国家深部资源勘查战略导向，具备政策支持优势，整体推广可行性高。

4 深部地质矿产勘查与钻探技术的挑战与未来展望

4.1 现存问题与挑战

(1) 技术装备自主化率不足：当前深部地质勘查与钻探领域，高端核心装备仍存在“卡脖子”问题。例如高精度随钻测量仪器、耐高温高压钻探钻杆、智能钻进控制系统等关键设备，多依赖进口，不仅采购成本高昂，还面临技术封锁、售后维护滞后等风险。国产装备虽在中低端领域实现突破，但在稳定性、精度、极端环境适配性等方面与国际先进水平存在差距，制约了深部勘查工作的自主可控发展。(2) 深部成矿理论需进一步完善：现有成矿理论多基于浅部矿床勘查实践总结，难以完全适配深部地质环境。深部地层具有高温高压、构造活动复杂、物质迁移规律特殊等特征，浅部“控矿要素-成矿过程”的关联模式无法直接套用。目前对深部成矿流体来源、运移通道、成矿定位机制等关键科学问题的认知尚不清晰，导致深部资源预测的精准度不足，难以有效指导深部钻探工程部署^[5]。

4.2 发展趋势与建议

(1) 智能化钻探装备研发方向：聚焦极端环境适配

与智能协同作业，推进钻探装备智能化升级。重点研发耐高温高压的高精度随钻探测设备，实现深部地层参数实时精准传输；突破智能钻杆、自适应钻头核心部件的国产化技术，提升装备的稳定性与耐用性；构建“云端-地面-井下”一体化智能管控平台，实现钻探过程的远程操控、自动调整与风险预警，大幅提升深部钻探效率与安全保障能力。(2) 深部资源勘查政策支持需求：建议出台专项政策加大对深部勘查领域的扶持力度。一方面，设立国家级科研专项基金，支持高校、科研院所与企业联合开展成矿理论与核心装备研发，鼓励技术创新与成果转化；另一方面，完善深部勘查行业标准体系，规范勘查施工流程与技术要求，同时建立多元化投资机制，引导社会资本参与深部资源勘查项目，为行业持续健康发展提供政策保障与资金支持。

结束语

地质矿产勘查与深部地质钻探找矿技术研究意义深远。通过构建多元勘查技术体系，融合多学科方法，精准定位找矿靶区；突破深部钻探技术瓶颈，实现高效、安全、绿色钻探。实践表明，技术集成与应用显著提升找矿成功率与经济效益。未来，需持续创新，攻克技术装备自主化难题，完善深部成矿理论，强化政策支持，以推动深部资源勘查事业迈向新高度，为国家资源安全提供坚实保障。

参考文献

- [1] 缪经彤. 深部地质勘查技术在金属矿山勘查中的应用研究[J]. 世界有色金属, 2023(21):121-123.
- [2] 林浩. 地质钻探技术及在深部矿产勘查中的应用研究[J]. 中国金属通报, 2024,(04):149-151.
- [3] 乔永超. 地质勘查与深部地质钻探找矿技术工作研讨[J]. 世界有色金属, 2024,(05):49-51.
- [4] 白金贵, 普祥斌, 李庚. 地质勘查与深部地质钻探找矿技术探究[J]. 世界有色金属, 2024,(04):217-219.
- [5] 王海涛. 地质矿产勘查和深部地质钻探找矿技术研究[J]. 世界有色金属, 2024,(02):109-111.