

地质勘查和深部地质钻探找矿技术

王 震

山东黄金矿业(莱州)有限公司焦家金矿 山东 烟台 241400

摘要:地质勘查技术通过地质测量、物化探及遥感手段构建区域地质框架,为深部钻探提供靶区定位;深部钻探技术则以高功率设备、复合破岩工艺及智能控制系统,突破千米级深孔施工难题。二者协同以“勘查-钻探-再勘查”动态优化机制为核心,通过数据共享、动态反馈与技术适配性评估,实现从区域评价到局部验证的全链条覆盖。发展方向聚焦设备智能化升级、工艺创新及勘查-钻探深度融合,推动资源勘查向数据智能驱动转型,为深部矿产开发提供高效、安全的技术保障。

关键词:地质勘查;深部钻探;技术协同;智能决策

引言:地质勘查与深部地质钻探找矿技术是资源开发领域的核心支撑,前者通过地表调查、物化探异常圈定及三维建模,为资源定位提供宏观指导;后者依托高精度设备与工艺突破,直接获取地下实物资料,验证勘查推断并修正地质模型。随着浅部资源逐渐枯竭,深部找矿成为保障资源安全的关键路径,但深部地层的高温高压、复杂构造及破碎岩性对技术协同提出更高要求。如何通过地质勘查与深部钻探的深度融合,构建“数据驱动-智能决策”的技术体系,成为突破深部资源勘查瓶颈的核心命题。

1 地质勘查技术

1.1 地质勘查基础技术

地质测量技术是地质勘查的基石,通过高精度仪器对地表形态、地质构造及地层接触关系进行系统测量,获取基础空间数据。全站仪与GNSS接收机的联合应用,可实现厘米级精度定位,为后续填图与构造解析提供可靠坐标框架^[1]。地质填图技术以地质测量数据为基础,通过野外实地观察与室内综合分析,将地质体分布特征投影至平面或剖面图件,形成区域地质图。填图过程中需重点标注地层界线、岩体边界及断裂构造,确保图件能够真实反映地下地质结构。地层、岩石及构造识别技术依赖多学科交叉验证,地层识别通过岩性组合、沉积序列及古生物特征综合判断,岩石类型划分则结合矿物成分、结构构造与地球化学特征。构造识别需分析褶皱形态、断裂产状及节理发育规律,利用偏光显微镜与电子探针等设备,揭示微观变形机制,为区域构造演化研究提供依据。

1.2 地质勘查核心技术方法

物探技术通过观测地球物理场异常,间接推断地下地质体分布。重力勘探利用岩矿石密度差异,探测隐伏

岩体或盆地结构;磁法勘探通过分析磁场变化,圈定磁性矿体或构造带;电法勘探则基于电阻率差异,识别含水层或矿化带。地震勘探作为高精度物探手段,通过人工激发地震波并分析其传播路径,构建地下速度结构模型,对深部构造解析具有独特优势。化探技术聚焦地表或近地表介质中的元素异常,通过系统采样与实验室分析,追踪矿源层或迁移通道。土壤地球化学测量可覆盖大面积区域,快速圈定异常范围;水系沉积物测量则利用水流搬运作用,扩大异常发现概率;岩石地球化学测量直接针对目标岩体,定量评估矿化强度。遥感勘查技术依托卫星或航空平台,获取多光谱、高光谱及雷达数据,实现大范围地质信息快速提取。多光谱影像可识别岩性单元与构造形迹,高光谱数据能解析矿物种类与含量,雷达影像则穿透植被覆盖,揭示隐伏构造线索。

1.3 地质勘查技术流程

前期勘查部署需综合区域地质背景、成矿条件与已有资料,确定勘查目标与工作范围。通过地质图件解读与成矿规律研究,划分勘查区带,明确重点调查区域。部署阶段需制定详细技术方案,包括勘查手段组合、采样密度与质量控制标准,确保工作系统性与针对性。现场勘查实施阶段,地质人员需按设计要求开展测量、填图、物化探采样及遥感解译工作。野外记录需详细标注地质现象位置、特征及解释推断,为后续数据处理提供完整信息链。勘查数据整理阶段,需对野外采集的原始数据进行分类编码,建立标准化数据库。物化探数据需经过滤波、网格化及异常提取等处理,消除干扰因素,突出目标异常;地质测量与填图数据则通过数字化成图,生成电子版地质图件。数据整合阶段需将多源信息叠加分析,通过地质建模技术构建三维地质框架,为资源评价与工程部署提供科学依据。

2 深部地质钻探找矿技术

2.1 深部地质钻探基础技术

深部地质钻探设备选型需综合考虑地层岩性、钻进深度及施工环境等因素。针对硬岩地层，需选用高扭矩、大功率钻机，配备高强度钻塔与自动化控制系统，以适应深部钻探的高负荷需求。钻探钻具选择需匹配地层特性，金刚石复合片钻头适用于中硬至硬岩地层，牙轮钻头则更适用于软硬交错地层^[2]。钻杆材料需具备高强度与抗疲劳性能，确保深部钻进过程中传递扭矩的稳定性。钻探工艺基础流程涵盖钻孔设计、设备安装、钻进施工及终孔验收等环节。钻孔设计需结合地质勘查成果，确定钻孔位置、倾角及深度参数。设备安装阶段需严格校准钻机水平度与垂直度，确保钻孔轨迹符合设计要求。钻进施工过程中，需根据地层变化及时调整钻进参数，控制钻压、转速及冲洗液流量，保障钻进效率与岩心质量。

2.2 深部地质钻探核心技术

深部钻进技术需突破高温高压环境下的钻进难题。通过优化钻头结构与切削齿布局，提高钻头破岩效率与使用寿命。采用涡轮钻具或螺杆钻具等动力钻具，可实现高速钻进，缩短施工周期。钻井护壁技术通过调整冲洗液性能，形成稳定的井壁支撑结构。针对易塌孔地层，需添加高分子聚合物或无机盐类护壁剂，提高泥浆的黏度与切力，增强井壁稳定性。岩心采取技术需确保岩心完整性与代表性。采用双管单动取心工具，可减少岩心磨损与污染，提高采取率。针对破碎地层，需使用半合管取心工具，配合低转速钻进，保障岩心完整性。深部钻探定向技术通过随钻测量系统实时监测钻孔轨迹，结合导向工具调整钻进方向。磁性测斜仪与陀螺测斜仪可实现高精度轨迹测量，电动导向钻具则通过调整钻头倾角实现钻孔轨迹修正，确保钻孔按设计延伸。各项技术要点梳理见表1。

表1

核心技术类型	核心措施	关键设备	核心目标
深部钻进技术	优化钻头结构与切削齿布局，采用动力钻具	涡轮钻具、螺杆钻具、优化型钻头	突破高温高压难题，提高钻进效率，缩短周期
钻井护壁技术	调整冲洗液性能，添加护壁剂	泥浆制备设备、护壁剂添加装置	增强井壁稳定性，防止塌孔
岩心采取技术	选用适配取心工具，控制钻进转速	双管单动取心工具、半合管取心工具	保障岩心完整性与代表性，提高采取率
深部钻探定向技术	实时监测轨迹，调整钻头倾角	磁性测斜仪、陀螺测斜仪、电动导向钻具	确保钻孔按设计轨迹延伸

2.3 深部地质钻探技术要点

深部复杂地层钻探需应对地层破碎、孔隙压力异常及高温等挑战。针对破碎地层，需采用低固相冲洗液，减少对井壁的冲刷，同时配合套管护壁工艺，确保钻孔稳定性。孔隙压力异常地层需通过地层压力预测，调整泥浆密度，防止井涌或井漏事故。高温环境下，需选用耐高温钻井液体系，添加抗高温处理剂，维持泥浆性能稳定。钻探过程中的技术控制需贯穿钻进全周期。通过实时监测钻进参数与泥浆性能，动态调整施工策略。钻压控制需避免过大导致钻头过早磨损，转速调整需匹配地层岩性，防止钻具振动影响钻孔质量。冲洗液流量需根据孔深与地层渗透率调整，确保岩屑及时排出，防止重复破碎。钻探技术优化路径包括装备升级与工艺创新。研发智能化钻机，集成自动送钻、扭矩监测等功能，可提升施工效率与安全性。推广激光钻进、等离子钻进等新型破岩技术，可突破传统钻进效率瓶颈，为深部资源勘查提供技术支撑。

3.1 技术协同的核心逻辑

地质勘查与深部地质钻探的协同应用以资源定位与高效开发为目标，通过信息融合与工艺互补构建技术闭环。地质勘查通过地表调查、物化探异常圈定及三维地质建模，为钻探提供靶区定位与地层结构预测，降低深部钻探的盲目性^[3]。深部钻探则通过获取地下实物资料，验证勘查推断的准确性，修正地质模型参数，形成“勘查-钻探-再勘查”的动态优化机制。两者协同的核心在于打破单一技术手段的局限性，利用勘查的宏观指导性 with 钻探的微观验证性，实现从区域评价到局部验证的全链条覆盖，提升资源勘查效率与成功率。

3.2 勘查与钻探技术的衔接流程

勘查阶段需系统整合地质、地球物理及遥感数据，构建区域地质数据库。通过数据挖掘与异常提取，圈定潜在资源区，明确钻探靶位坐标与深度范围。钻探设计阶段，需结合勘查成果确定钻孔参数，包括孔径、倾角及终孔深度，同时制定应急预案以应对地层突变。钻探实施阶段，现场采集的岩心、测井曲线等数据需实时反

3 地质勘查与深部地质钻探找矿技术的协同应用

馈至勘查团队,通过快速分析调整后续钻进方案。钻探结束后,综合勘查与钻探数据编制成果报告,为资源评价与开发方案制定提供依据。

3.3 技术协同中的关键环节

数据共享与标准化是协同应用的基础。需建立统一的数据格式与传输协议,确保地质勘查的异常图件、物化探数据与钻探的岩心描述、测井曲线能够无缝对接。通过开发中间件或数据转换工具,消除不同软件平台间的数据壁垒,实现多源数据的一体化存储与可视化展示。动态反馈机制是优化协同效率的关键。钻探过程中发现的勘查偏差需通过快速会议或在线平台及时沟通,避免信息滞后导致施工延误。例如,若钻探揭示勘查阶段推断的矿体厚度与实际不符,需立即调整后续钻孔布置,聚焦高品位区域。技术适配性评估则贯穿协同全过程。需根据地层岩性、构造复杂程度及资源类型,动态调整勘查与钻探的技术组合。在破碎地层中,可增加地质雷达勘查频次以指导钻探避让断层;在高温高压环境,需升级钻探设备耐温等级并优化泥浆配方,确保施工安全。

4 深部地质钻探找矿技术的发展方向

4.1 钻探设备技术升级方向

深部地质钻探设备需向高功率、高精度与智能化方向演进。针对千米级深孔钻探需求,钻机主传动系统需采用大功率液压驱动技术,提升钻进扭矩与转速调节范围,以适应复杂地层破岩需求。钻塔结构需优化为模块化设计,通过轻量化高强度材料应用,降低设备整体重量,便于快速拆装与运输^[4]。动力系统升级方面,混合动力钻机可结合柴油发动机与电动驱动优势,在偏远地区实现低能耗持续作业,同时减少碳排放。智能化控制系统的集成是设备升级的核心,通过嵌入多参数传感器与AI算法,可实时监测钻压、转速、扭矩及泥浆流量等关键参数,自动调整钻进策略以优化效率。远程运维技术的引入,使专家团队能够通过5G网络实时诊断设备故障,指导现场操作人员快速排除隐患,缩短停机时间。

4.2 钻探工艺创新方向

深部钻探工艺需突破传统旋转钻进模式,探索复合破岩与高效排渣技术。激光钻进技术通过高能激光束熔化岩石,配合高压气体或液体冷却排渣,可显著提升硬岩地层钻进效率,同时减少钻具磨损。等离子钻进技术则利用等离子体弧的高温特性,在钻头前端形成局部熔融区,实现非接触式破岩,适用于超硬岩层与高温环境。针对深部高压地层,脉冲射流钻进技术通过周期性高压水射流冲击岩石,形成微裂纹扩展,降低破岩能耗。排

渣工艺创新方面,气动举升排渣系统可替代传统泥浆循环,通过压缩空气将岩屑快速带出孔外,减少泥浆处理成本与环境污染。在深部高温环境中,耐高温钻井液体系需开发新型抗温添加剂,维持泥浆黏度与滤失控制性能,防止井壁失稳。

4.3 勘查与钻探技术融合发展方向

勘查与钻探技术的深度融合需构建“数据驱动-智能决策”协同模式。地质勘查阶段,通过大数据分析整合物化探异常、遥感解译与历史钻探数据,建立三维地质模型,为钻探靶区定位提供高精度指导。钻探过程中,随钻测量系统需集成多类型传感器,实时采集地层岩性、孔隙压力及温度梯度数据,通过边缘计算技术快速处理,动态修正地质模型参数。勘查与钻探数据的实时交互需建立标准化接口,确保岩心描述、测井曲线与勘查推断能够无缝对接。在深部资源评价环节,机器学习算法可对多源数据进行融合分析,预测矿体延伸方向与品位分布,指导后续钻探工程优化布设^[5]。虚拟现实技术的应用,使勘查人员与钻探工程师能够在三维场景中共同规划钻孔轨迹,提前识别潜在风险点,提升协同作业效率。这种融合模式将推动深部资源勘查从“经验驱动”向“数据智能驱动”转型,为深部矿产开发提供技术保障。

结束语

地质勘查与深部地质钻探技术的协同发展,是提升资源勘查效率与成功率的关键路径。通过数据共享、动态反馈与技术适配,两者形成优势互补的技术闭环,为深部资源开发提供科学支撑。设备智能化升级、工艺创新及勘查与钻探技术深度融合,将推动资源勘查向精准化、高效化方向演进。这一技术体系的完善,不仅有助于突破深部资源开发瓶颈,更为全球矿产资源安全保障提供了中国方案与技术实践。

参考文献

- [1]蒋勇飞.地质勘查和深部地质钻探找矿技术研究[J].西部探矿工程,2025,37(11):54-56.
- [2]郭冬冬.地质勘查和深部地质钻探找矿技术[J].中国住宅设施,2021(8):109-110.
- [3]任建民.地质勘查和深部地质钻探找矿技术分析[J].中国金属通报,2023(11):56-58.
- [4]程年进.浅谈地质勘查和深部地质钻探找矿技术[J].中国金属通报,2022(24):173-175.
- [5]田俊.地质勘查和深部地质钻探找矿技术分析[J].内蒙古煤炭经济,2022(1):190-192.