

矿山水工环地质勘查中的难点及解决途径分析

张雪芹¹ 戴泽刚²

1. 云南省地质矿产勘查院 云南 昆明 650051

2. 云南省地质矿产勘查开发局第一地质大队 云南 曲靖 655000

摘要: 矿山水工环地质勘查面临复杂地质条件、数据获取处理困难、生态环境保护压力大、技术装备与人才短缺及成本效率矛盾等难点。解决途径包括: 推广高精度探测技术集群, 赋能智能化技术融合, 构建“空-天-地”一体化监测网络; 加强多学科协同与数据融合; 践行绿色勘查理念; 完善政策标准; 强化人才培养与团队建设。通过综合施策, 提升勘查质量, 保障矿山安全开发与生态保护。

关键词: 矿山水工环; 地质勘查; 难点; 解决途径

引言: 随着矿产资源开发向深部、复杂环境推进, 矿山水工环地质勘查作为保障矿山安全、生态保护与资源高效利用的核心环节, 面临多重挑战。复杂地质条件导致探测精度不足, 多源异构数据融合困难制约决策科学性, 生态环境保护压力与勘查活动矛盾凸显, 技术装备国产化率低、复合型人才短缺等问题进一步加剧勘查难度。如何突破技术瓶颈、优化管理机制、实现绿色勘查, 成为行业可持续发展的关键。本文系统分析勘查难点, 提出针对性解决路径。

1 矿山水工环地质勘查的核心内容与特点

1.1 水工环地质勘查的定义与范畴

矿山水工环地质勘查是指以矿山开发为核心目标, 系统开展水文地质、工程地质、环境地质相关调查、监测与评价的地质工作, 其范畴覆盖矿山开发全生命周期, 贯穿前期选址、开采施工至闭坑修复各阶段, 为矿山安全开发、灾害防控及生态保护提供地质依据。其中, 水文地质、工程地质、环境地质呈现紧密的协同关系: (1) 水文地质是基础, 地下水的分布、补给径流排泄条件直接影响工程岩体稳定性, 其水质水量变化也会引发环境问题; (2) 工程地质是核心支撑, 岩体结构、土体性质等工程地质条件决定开采工艺选择, 同时也制约地下水赋存状态; (3) 环境地质是重要保障, 勘查需预判开采对周边水土环境、生态系统的影响, 实现资源开发与生态保护的平衡。

1.2 矿山勘查的特殊性

(1) 复杂地质条件叠加。矿区多发育断层、岩溶、软弱夹层等不良地质体, 断层易成为地下水运移通道与岩体失稳界面, 岩溶区存在突水突泥风险, 软弱夹层则大幅降低岩体承载力, 多种复杂地质条件叠加, 增加了勘查难度与不确定性。(2) 动态变化特征显著。矿山开采

会持续扰动地质环境, 导致地下水动态呈现阶段性变化, 如水位升降、径流路径改变; 同时, 采空区形成、边坡开挖会使边坡稳定性随开采进程动态演变, 需动态追踪勘查, 实时更新地质数据。(3) 多目标需求并存。勘查需同时满足资源开发、灾害防治、生态修复三大核心目标: 为资源合理开采提供地质依据, 预判并规避突水、边坡滑坡等地质灾害, 同步评估开采对周边环境的影响, 为生态修复方案制定提供支撑, 多目标统筹要求勘查工作具备全面性与综合性^[1]。

2 矿山水工环地质勘查的主要难点分析

2.1 地质条件复杂性

(1) 深部地质构造探测难度大。随着矿山开采深度不断增加, 隐伏断层、岩溶发育区等深部地质构造的探测精度难以保障。此类构造埋藏深、分布隐蔽, 传统勘查手段如钻探取样存在局限性, 难以全面覆盖勘查区域, 易出现探测盲区; 同时, 深部地层压力、温度等条件复杂, 进一步干扰探测信号, 导致对构造规模、连通性及导水性的判断存在偏差, 给矿山安全开采埋下隐患。(2) 特殊地质体的识别与评估难度高。部分矿区存在煤层瓦斯、盐岩溶腔等特殊地质体, 其识别与风险评估难度较大。煤层瓦斯赋存状态受地质构造、煤层厚度等多种因素影响, 分布极具不均匀性, 精准探测其富集区域与含量难度较高; 盐岩溶腔则因溶解作用形成不规则空间, 发育规律难以掌控, 且易发生坍塌, 对其规模、稳定性的评估缺乏成熟的统一标准, 增加了勘查工作的不确定性。

2.2 数据获取与处理挑战

(1) 多源异构数据融合困难。矿山水工环地质勘查需整合地质钻探、地球物理探测、遥感监测等多类型数据, 此类数据来源不同、格式各异、精度参差不齐, 属于典型的异构数据。现有技术难以实现数据的高效关联

与深度融合,易出现数据冗余、矛盾等问题,无法充分挖掘数据背后的地质规律,制约了勘查结论的综合性与准确性。(2)动态监测数据实时性不足。矿山地质环境处于动态变化中,需对地下水水位、岩体应力应变等关键指标进行实时监测。但当前部分监测设备响应速度慢、数据传输延迟,且受复杂地形、恶劣气候等环境因素影响,监测数据易出现中断、失真等情况,无法及时捕捉地质环境的瞬时变化,难以满足动态预警与应急处置的需求。

2.3 环境与生态保护压力

(1)勘查活动对地表生态的扰动风险。勘查过程中的钻探施工、场地平整等作业易破坏地表植被,扰动表层土壤结构,尤其在生态脆弱区域,极易引发水土流失、土地沙化等问题。如何在勘查作业中最小化地表扰动,平衡勘查效率与生态保护,成为当前勘查工作的重要难点。(2)地下水污染风险评估与防控技术滞后。矿山勘查与后续开采活动可能导致地下水受到重金属、有机物等污染,但当前地下水污染风险评估方法尚不完善,难以精准预判污染范围与扩散路径;同时,针对矿区复杂水文地质条件的污染防控与修复技术针对性不足、效果有限,无法有效保障地下水环境安全^[2]。

2.4 技术装备与人才限制

(1)高精度勘查设备依赖进口,国产化率低。深部探测、精准监测等所需的高精度勘查设备,如高分辨率地震仪、高精度地下水监测仪等,核心技术多被国外垄断,国内产品在精度、稳定性等方面存在差距,依赖进口不仅增加了勘查成本,还可能因设备维护、技术支持滞后影响勘查进度。(2)复合型人才培养多侧重单一领域,交叉学科人才储备不足,导致勘查工作中难以实现多专业协同研判,影响了勘查方案的科学性与实施效果。

2.5 成本与效率矛盾

(1)深部勘查成本高,周期长。随着开采深度增加,深部勘查需应对复杂的地层条件,钻探深度增加、设备损耗加大,导致勘查成本大幅攀升;同时,深部地质体探测需进行多轮次、多手段验证,勘查周期显著延长,增加了矿山开发的时间成本。(2)传统方法效率低下,难以满足快速开发需求。传统勘查方法如人工测绘、常规钻探等,作业效率低、覆盖范围有限,无法快速获取全面的地质数据。而矿山开发进程不断加快,对勘查结果的时效性要求越来越高,传统方法已难以匹配快速开发的需求,亟需高效勘查技术体系支撑。

3 矿山水工环地质勘查难点的解决途径

3.1 技术创新与应用

(1)探索高精度探测技术集群应用。针对深部隐伏断层、岩溶发育区等探测难题,整合三维地震勘探、瞬变电磁法、微动探测等技术形成综合探测体系。三维地震勘探凭借多波场成像技术,可精准刻画深部地质构造的空间形态与连通性;瞬变电磁法利用电磁感应原理,对地下水富集带、岩溶空洞等具备强识别能力,穿透深度与分辨率优势显著;微动探测无需人工震源,适合生态敏感区勘查,能有效反演深部地层结构。多技术协同可弥补单一手段局限,大幅提升复杂地质条件探测精度。(2)赋能智能化技术深度融合。依托人工智能与大数据技术,构建全流程智能化勘查体系。通过AI辅助地质建模,基于海量地质数据实现地质体边界自动识别、异常信息智能提取,提升建模效率与准确性;搭建大数据分析平台,整合勘查数据、开采动态数据及历史灾害案例,构建风险预测模型,实现突水、边坡失稳等风险的提前预判与分级预警,为勘查决策提供数据驱动支撑^[3]。(3)构建“空-天-地”一体化动态监测网络。整合物联网传感器、无人机巡查与卫星遥感监测技术,实现地质环境全要素动态追踪。在地面部署高精度传感器,实时采集水、土壤及岩体特征数据,通过无线传输实现数据实时上传;利用无人机搭载高清相机、激光雷达开展低空巡查,精准捕捉地表变形、植被退化等异常。结合卫星遥感实现大范围、长周期的生态环境与地质构造变化监测。

3.2 多学科协同与数据融合

(1)构建“地质-工程-环境”一体化勘查模型。建立跨学科协同工作机制,整合地质、工程、环境领域专业资源。在勘查方案设计阶段,同步考量地质条件适配性、工程实施可行性与生态环境影响;勘查实施过程中,组建联合技术团队开展现场踏勘、数据共享与协同分析,避免单一学科勘查的片面性,形成“勘查-评价-决策-优化”全流程闭环管理体系。(2)开发多源数据融合技术平台。依托GIS(地理信息系统)、BIM(建筑信息模型)与数值模拟技术,打造一体化数据融合平台。通过GIS实现空间数据的可视化管理与空间分析,利用BIM技术构建三维地质与工程实体模型,结合数值模拟技术对地下水运移、边坡稳定性等进行动态仿真预测;平台具备数据清洗、格式转换、关联分析等核心功能,可有效解决地质、地球物理、遥感等多源异构数据的融合难题,充分释放数据价值^[4]。

3.3 绿色勘查理念与实践

(1)推广轻型化、便携化、无损化勘查设备。针对

传统勘查设备对地表生态扰动大的问题,加大轻型化、便携化、无损化设备的应用推广研究,如小型无人机勘查系统、便携式地球物理探测仪等,减少勘查作业对植被、土壤的破坏;积极应用地质雷达、高精度遥感等无损探测技术,在保障勘查精度的前提下,最大限度降低对地质环境的扰动,尤其适用于生态脆弱矿区。(2)集成应用全周期生态修复技术。将生态修复理念贯穿勘查全流程,勘查前开展生态环境现状调查,制定专项生态保护方案,明确保护范围与防护措施;勘查中同步实施临时生态防护,规范勘查施工便道、钻探作业区的布置,避免随意开挖、破坏植被,钻探作业结束后,及时清理作业现场,对钻探泥浆进行无害化处理等;勘查后及时开展生态修复工程,集成土壤重构、乡土植被种植、水土保持等技术,针对不同破坏类型制定个性化修复方案。

3.4 政策与标准落实和完善

(1)落实完善环保规范与生态补偿机制。在勘查项目实施中,严格按照环保规范要求,明确勘查作业的生态保护要求、污染物排放标准与考核指标,将环保绩效纳入勘查项目内部验收、主管部门验收的核心内容;配合地方自然资源部门、生态环境部门,落实科学的生态补偿机制,根据勘查活动对生态环境的影响程度,协助核算差异化补偿标准,明确补偿主体、补偿范围与实施流程,通过经济杠杆倒逼自身落实生态保护责任^[5];结合自身勘查项目实践,及时向政府部门反馈生态补偿机制落地难点,提出优化建议,推动生态补偿机制更贴合云南矿区实际。(2)推动行业技术标准国际化对接。在勘查项目实施中,严格执行我国矿山水工环地质勘查技术标准体系,在勘查方法、数据精度、成果评价、环保要求等方面与国际先进标准接轨,优化探测流程与精度要求;积极配合云南省行业主管部门,修订完善云南省地方技术标准,结合云南地域特点,补充高原山区、岩溶发育区、生态敏感区勘查技术要求,优化勘查成果评价指标,推动地方标准与国际标准衔接;加强与国内其他省份地质勘查队伍、国际地质勘查机构的技术交流与合作,分享云南矿区勘查经验,提升云南省勘查行业的技

术水平和竞争力。

3.5 人才培养与团队建设

(1)推行高校-企业-科研院所联合培养模式。与优质高校及科研院所构建联动机制,以项目为依托,构建“产学研用”深度融合的人才培养体系,协助高校优化课程体系,促进AI地质应用、绿色勘查技术、数据融合分析、云南地域地质特色(如岩溶地质、高原地下水)、地质灾害防治等课程融合,联合培养符合云南省新一轮找矿突破战略行动地质勘查需求的复合型人才。(2)搭建区域性技术交流平台。定期组织云南省内地质勘查事业单位、高校、科研院所、行业主管部门等开展行业技术研讨会、高峰论坛、专项培训班,邀请国内知名专家、省内技术骨干分享先进技术(如智能化勘查、绿色勘查)、管理经验及矿区勘查难点解决方案。

结束语

矿山水工环地质勘查是衔接资源开发与生态保护的关键纽带,面对复杂地质条件、数据融合瓶颈、绿色转型压力及技术创新需求,需通过技术集群突破、多学科协同、智能化赋能和绿色勘查实践等路径系统推进。未来,随着国际标准接轨、复合型人才培养和生态补偿机制完善,勘查工作将向精细化、可持续化方向演进,为矿山行业高质量发展提供坚实地质保障,助力实现资源利用与环境保护的双赢目标。

参考文献

- [1]陈存银.浅谈矿山水工环地质勘查中的技术及应用分析[J].世界有色金属,2022,(01):182-184.
- [2]汪维毅.水工环地质勘探在矿山勘查中的应用价值分析[J].有色金属设计,2021,48(04):69-71.
- [3]罗明,曹员兵,余泉.矿产资源开发中水工环地质勘查问题及防治对策[J].中国金属通报,2021,(11):235-236.
- [4]蔡佳佳.矿山水工环地质调查工作难点及对策分析[J].中国金属通报,2023,(11):141-143.
- [5]李涛.矿山水工环地质勘查工作难点及对策分析[J].世界有色金属,2023,(11):103-105.