

矿山地质环境与现代矿山地质找矿技术研究

徐思成

山西省地质勘查局二一四地质队有限公司 山西 运城 044000

摘要：矿产资源是支撑国民经济发展与工业化进程的核心物质基础，矿山地质环境的健康稳定与现代找矿技术的创新应用，是实现矿业可持续发展的关键所在。本文从矿山地质环境的构成要素与演化特征出发，系统剖析当前矿山地质环境面临的主要问题及成因，全面梳理现代矿山地质找矿技术的核心类型、应用原理与实践成效，深入探讨找矿技术创新与地质环境保护的协同发展机制，提出基于绿色勘查理念的技术优化路径与政策保障措施。研究表明，融合航空物探、深穿透地球化学勘查、人工智能等技术的现代化找矿体系，能够显著提升深部隐伏矿产的勘探精度与效率，同时有效降低勘查活动对地质环境的扰动；构建“勘查-开发-治理”一体化模式，是实现矿产资源开发与生态环境保护双赢的必然选择。

关键词：矿山地质环境；现代找矿技术；绿色勘查；深部勘探；生态保护

1 引言

在全球资源需求持续攀升与我国生态文明建设深入推进的双重背景下，矿产资源勘探开发领域面临着“高效找矿”与“生态保护”的双重命题。矿山地质环境是一个由地层岩性、地质构造、水文地质、地形地貌及生态植被等要素构成的复杂动态系统，其稳定性不仅决定着矿产资源的赋存规律与开采安全，更直接关系到区域生态系统的平衡与可持续发展。传统矿山地质找矿模式多依赖地表露头观察、经验判断及粗放式钻探，存在勘探深度有限、找矿效率低下、环境扰动较大等弊端，难以适应新时代矿业高质量发展的需求。

随着地球物理、地球化学、遥感技术及人工智能算法的快速迭代，现代矿山地质找矿技术实现了从“经验驱动”向“数据驱动”、从“地表浅部勘探”向“深部隐伏勘探”、从“单一技术应用”向“多技术融合协同”的转型升级。这些新技术的应用，不仅为我国战略性矿产资源安全提供了坚实的技术支撑，更通过精准定位矿体、优化勘查方案，最大限度减少了对地质环境的干扰，为绿色矿山建设奠定了核心基础。本文旨在通过系统分析矿山地质环境的现状与问题，梳理现代找矿技术的应用体系，探讨二者协同发展的策略，为我国矿业高质量发展提供理论参考与实践指导。

2 矿山地质环境的构成要素与主要问题

2.1 矿山地质环境的核心构成要素

矿山地质环境是矿产资源形成、赋存与开发的载体，其核心构成要素包括地层岩性、地质构造、水文地质条件、地形地貌及生态植被，各要素相互作用、相互制约，共同决定了矿山地质环境的稳定性与演化趋势。

地层岩性是矿产资源形成与赋存的物质基础，不同岩性的组合特征直接影响矿体的类型、规模与分布规律。例如，沉积岩地层中易形成煤炭、油气、盐类等能源与非金属矿产，岩浆岩与变质岩地层则多与铁、铜、金、稀土等金属矿产相关；同时，地层岩性的物理力学性质，如岩石的抗压强度、抗剪强度、完整性等，决定了岩体的稳定性，是引发顶板垮塌、滑坡等地质灾害的重要内因。

地质构造是控制矿体空间展布的关键因素，断层、褶皱、节理、裂隙等构造不仅为成矿流体的运移提供了通道，更为矿产资源的富集提供了储存空间。规模较大的断层往往是矿体的天然边界，而褶皱的核部因岩层挤压破碎，易形成矿产资源的富集带；此外，地质构造的活动性直接影响矿山开采过程中的地质灾害风险，活动性断层可能在开采扰动下引发地震、地裂缝等灾害。

水文地质条件是矿山地质环境的重要组成部分，地下水的补径排系统、含水层特征与隔水层分布，既关系到矿产资源的开采安全，也影响着区域生态系统的稳定性。在岩溶发育区，地下水与地表水的水力联系密切，若开采过程中对地下水系统破坏不当，极易引发突水事故与地面塌陷；而地下水疏干则可能导致区域地下水位下降，引发河流断流、湖泊干涸、植被枯萎等一系列生态问题。

地形地貌与生态植被是矿山地质环境的外在表现，山地、丘陵、平原、盆地等不同地貌类型决定了勘查施工的难度与地质灾害的发生概率。例如，山区地形陡峭，岩体破碎，易发生滑坡、崩塌等灾害；而平原地区地形平坦，含水层埋藏较浅，地下水疏干对生态环境的

影响更为显著。生态植被则是区域生态环境脆弱程度的直观反映,植被覆盖度高的区域,水土保持能力强,环境扰动后的恢复速度较快;而生态脆弱区的植被一旦遭到破坏,极易引发水土流失、土地荒漠化等问题,且修复难度极大。

2.2 矿山地质环境面临的突出问题及成因

2.2.1 地质灾害频发,威胁生产安全与生态稳定

矿产资源开采活动打破了岩体原有的应力平衡,是引发矿山地质灾害的主要人为诱因。地面塌陷与地裂缝是最常见的矿山地质灾害,在地下采空区面积较大、顶板岩体稳定性较差的矿区,采空区顶板在重力作用下发生垮塌,导致地表下沉,形成塌陷坑与地裂缝,破坏耕地、道路、建筑物等地面设施。例如,我国华北地区部分老煤矿区因长期大规模开采,形成了大面积采空区,引发的地面塌陷面积达数平方公里,严重影响了周边居民的生产生活,部分区域甚至出现了村庄整体搬迁的情况。

滑坡、崩塌等地质灾害也频繁发生于矿山开采区域。矿山建设与开采过程中,人工开挖形成的高陡边坡,改变了岩体的原始应力状态,在雨水冲刷、重力作用下,极易发生失稳滑动。尤其是在岩体破碎、节理裂隙发育的区域,滑坡灾害的发生概率更高,且具有突发性强、破坏力大的特点。此外,尾矿库溃坝、泥石流等灾害也时有发生,尾矿库中堆积的大量尾矿砂,若遭遇强降雨,极易引发泥石流,给下游居民的生命财产安全带来严重威胁。

2.2.2 水文地质环境破坏,引发生态连锁反应

矿山开采过程中的地下水疏干、矿坑废水排放等行为,对区域水文地质环境造成了不可逆的破坏。一方面,为保障井下开采安全,矿山往往需要大规模疏干地下水,导致区域地下水位下降,含水层疏干,破坏了地下水与地表水的天然水力联系。这种行为不仅会引发河流断流、湖泊干涸等问题,还会导致土壤含水量下降,植被因缺水而枯萎死亡,进而引发土地沙化、荒漠化等生态问题。例如,我国西北地区部分金属矿区因过度疏干地下水,导致周边绿洲面积萎缩,生态环境急剧恶化。

另一方面,矿坑废水中含有大量重金属离子、悬浮物、酸性物质等污染物,若未经处理直接排放,会严重污染地表水与地下水,破坏水体生态系统。受污染的水体不仅无法用于农业灌溉与居民饮用,还会导致水生生物死亡,生物多样性减少。例如,我国西南地区部分铅锌矿区因废水排放不当,导致周边土壤与水体重金属超标,农作物减产,甚至出现了居民健康受损的情况。

3 现代找矿技术发展趋势及原理

3.1 现代找矿技术的发展趋势

现代矿山地质找矿技术已迈入“空天地网”一体化、智能化、绿色化的发展新阶段,呈现出以下三大核心趋势:一是勘探范围从地表浅部向深部隐伏延伸,随着浅部矿产资源的日益枯竭,深部找矿成为保障我国矿产资源安全的重要方向,目前我国深部找矿的目标深度已延伸至1000-2000米,部分矿区甚至达到了3000米;二是技术应用从单一化向多技术融合协同转变,航空物探、遥感监测、地球化学勘查、人工智能建模等技术的组合应用,实现了对矿产资源赋存规律的精准刻画;三是勘探理念从“重开发、轻保护”向绿色勘查转变,通过采用低扰动勘查设备、优化勘查路线、减少植被破坏等措施,实现找矿与生态保护的同步推进。

3.2 核心找矿技术的原理与应用实践

3.2.1 航空物探技术

航空物探技术是指在飞行器上装载重力仪、磁力仪、电磁仪、放射性测量仪等专用设备,通过探测地球物理场的异常变化,实现对地下地质构造与矿产资源的快速探测。该技术具有效率高、覆盖广、分辨率高、对环境扰动小等优势,适用于地形复杂、交通不便的偏远矿区,如高原、山区、沙漠等区域。

航磁技术是航空物探的核心技术之一,可有效识别磁性矿产资源,我国约90%的隐伏磁性铁矿是通过航磁异常发现的。例如,在我国新疆哈密地区,科研人员利用高精度航磁技术,穿透近千米厚的覆盖层,成功圈定了多处深部铁矿找矿靶区,为该地区的矿产资源开发提供了关键依据。航空放射性测量技术则可用于铀矿、钾盐等矿产的勘探,在我国内蒙古、新疆等地区的铀矿勘探中发挥了重要作用。

3.2.2 高光谱遥感技术

高光谱遥感技术是基于电磁波谱的精细划分,通过探测地物的光谱特征,识别不同矿物的光谱信息,从而实现了对矿产资源的快速普查。该技术具有宏观性、实时性、非接触性等特点,可快速获取大面积的矿区地质信息,且不会对地表植被造成破坏。

高光谱遥感技术的核心优势在于能够精准识别矿物的种类与分布,不同矿物具有独特的光谱特征,如赤铁矿的特征光谱在0.5微米和0.8微米处,褐铁矿的特征光谱在0.9微米处。在金属矿区的勘探中,科研人员通过分析高光谱遥感数据,可精准圈定矿体的分布范围与边界;在生态脆弱区,该技术还可同步监测矿区的植被覆盖度、土壤侵蚀等环境指标,为绿色勘查提供数据支撑。例如,在我国云南红河稀土矿区,科研人员利用高光谱

遥感技术,结合地面验证,成功圈定了稀土矿的富集区域,将勘查周期缩短了50%以上。

3.2.3 深穿透地球化学勘查技术

深穿透地球化学勘查技术是指通过分析土壤、水系沉积物、气体、植物等介质中的微量元素异常,捕捉深部矿体向上迁移的地球化学信息,从而实现深部隐伏矿产的探测。该技术突破了传统地球化学勘查的深度限制,探测深度可达数百米甚至上千米,为深部找矿提供了关键技术支撑。

深穿透地球化学勘查技术的核心原理在于,深部矿体中的微量元素会通过气液包裹体、离子扩散等方式向上迁移,在地表形成微弱的地球化学异常。科研人员通过高精度分析这些异常,可推断深部矿体的位置、规模与类型。例如,在我国胶东金矿集区,科研人员利用深穿透地球化学勘查技术,通过分析土壤中的金、银、砷等元素异常,成功发现了多处深部隐伏金矿,延长了矿区的服务年限,部分金矿的开采深度已达到1500米。

4 矿山地质环境与找矿技术的协同发展机制

4.1 精准找矿技术降低地质环境扰动

现代找矿技术的精准性显著降低了勘查活动对地质环境的破坏。传统找矿模式下,盲目布孔、大面积开挖等行为易引发植被破坏、水土流失等问题;而航空物探、高光谱遥感等非接触式勘查技术的应用,无需大规模扰动地表,即可获取地下地质信息,最大限度减少了对生态环境的干扰。

同时,人工智能找矿技术可通过精准圈定找矿靶区,减少钻探孔数,优化勘查路线,避开生态敏感区。例如,中煤地质总局研发的精细物探勘查技术,能够精确定位矿体位置与范围,使钻探孔数减少30%以上,大幅降低了勘查过程中的生态破坏风险。在黄河流域等生态敏感区域,精准找矿技术的应用实现了资源勘探与生态保护的初步协同,为绿色矿山建设提供了技术支撑。

4.2 找矿技术支撑矿山地质环境治理

现代找矿技术不仅服务于资源勘探,更在矿山地质环境治理中发挥着关键作用。无人机遥感技术可精准刻画地面塌陷、地裂缝的分布范围与发育特征,为治理方案的制定提供高精度数据;地球化学勘查技术能够识别土壤与地下水的污染范围及程度,指导污染土壤的修复与治理;人工智能技术则可构建地质灾害预警模型,实现对滑坡、塌陷等灾害的实时监测与预警。

例如,在我国山西掌石沟煤矿,科研人员基于高精度钻探与物探数据,制定了“表土剥离+裂缝填充+表土返还+耕地复垦”的地面塌陷修复模式,结合锚杆支护技

术治理不稳定斜坡,有效改善了矿区的地质环境质量,使损毁的耕地重新恢复了生产能力。在我国江西德兴铜矿,科研人员利用地球化学勘查技术,识别了土壤重金属污染的范围与程度,采用客土置换与植物修复相结合的技术,治理了污染土壤,恢复了矿区的植被覆盖。

5 协同发展的优化路径与政策保障

5.1 加强技术融合创新,构建一体化技术体系

加强航空物探、高光谱遥感、深穿透地球化学勘查、人工智能等技术的融合创新,构建“勘查-开发-治理”一体化的技术体系。重点研发深部矿产资源精准勘查技术,突破千米以深矿体探测的技术瓶颈;开发矿山地质环境动态监测系统,实现资源勘探与环境监测的同步推进。

推进地质大数据平台建设,整合多源勘查数据、环境监测数据,构建面向不同矿区的智能决策模型,为精准找矿与环境治理提供数据支撑。加强产学研用协同创新,共建科技创新联盟,加速深部找矿、生态修复等关键技术的成果转化,推动技术创新与产业应用的深度融合。

5.2 健全政策法规体系,强化监管力度

完善矿山地质环境保护与绿色勘查的政策法规体系,制定绿色找矿技术标准,明确不同生态功能区的勘查技术要求,将地质环境影响评价纳入找矿项目审批的核心环节。落实矿山地质环境治理责任终身制,建立“谁勘查、谁保护,谁开采、谁治理”的长效机制,加大对违法勘查、破坏环境行为的处罚力度。

加强矿山地质环境监测体系建设,构建国家、省、市、县四级监测网络,实现对矿区地质灾害、地下水、植被等指标的实时监测与动态管理,提升地质环境风险的预警能力。建立矿山地质环境治理基金制度,鼓励企业加大生态修复投入,实现治理资金的多元化筹措。

6 结论

矿山地质环境与现代找矿技术之间存在着相互制约、相互促进的紧密联系,现代找矿技术的创新应用为矿山地质环境保护提供了坚实的技术支撑,而矿山地质环境的保护需求则推动了找矿技术的绿色化、智能化发展。通过构建“勘查-开发-治理”一体化模式,可有效解决矿产资源开发与生态环境保护之间的矛盾,实现矿业的高质量发展。

参考文献

- [1] 熊盛青,周道卿,李丽.航空物探技术进展与深部找矿应用[J].地质通报,2023,42(05):789-798.
- [2] 王学求,申萍,张勤.深穿透地球化学勘查技术与深部找矿突破[J].矿物学报,2022,42(03):345-353.

- [3] 琚宜太. 中国煤炭地质总局绿色勘查技术与实践[M]. 北京:地质出版社,2025.
- [4] 刘婧婧. 老矿区地质环境治理技术与应用[J]. 西部探矿工程, 2025,37(07):149-152.
- [5] 康旭. 人工智能在矿产资源勘探中的应用研究[J]. 矿产与地质, 2025,39(01):189-194.
- [6] 中华人民共和国自然资源部. 绿色矿山建设标准[Z].2024.
- [7] 王瑞廷, 成欢, 冀月飞. 秦岭陕西段绿色勘查技术体系与实践[J]. 矿产勘查, 2020,11(12):2672-2684.
- [8] 李廉. 高精度钻探技术在深部找矿中的应用[J]. 世界有色金属, 2021,46(12):66-67.
- [9] 安徽省自然资源厅. 历史遗留矿山生态修复与光伏发电融合发展实施方案[Z].2025.
- [10] 中国地质调查局. 中国矿产资源勘查技术发展报告(2024)[R].北京:中国地质调查局,2024.
- [11] 张寿庭, 赵鹏大, 夏庆霖. 矿产资源勘查理论与方法[M]. 北京:地质出版社,2020.
- [12] 国土资源部地质勘查司. 矿产资源绿色勘查指南[Z].2017.
- [13] 谢学锦. 深穿透地球化学勘查方法技术的发展与应用[J]. 地质与勘探, 2019,55(01):1-8.