

地质矿产勘查技术与采矿技术

马 堃

内蒙古有色地质矿业(集团)七队有限责任公司 内蒙古 兴安盟 137400

摘要: 随着科技的不断进步和全球对可持续发展理念的深入认识,地质矿产勘查与采矿技术正经历着前所未有的变革与升级。深入探讨地质矿产勘查技术与采矿技术的最新进展与未来趋势,不仅对于提升我国矿产资源开发利用水平、保障国家能源安全具有重要意义,更对于推动矿业领域的绿色转型与可持续发展具有深远影响。

关键词: 地质矿产; 勘查技术; 采矿技术

地质矿产勘查技术与采矿技术,作为人类探索与利用地球自然资源的两大核心领域,自古以来便承载着推动社会进步与经济发展的重要使命。

1 采矿技术概述

1.1 采矿方法分类与核心特点。露天开采:适用于地表矿体,使用大型机械(如挖掘机、矿车)剥离覆盖层后直接采装矿石,效率高但环境扰动较大;技术上聚焦爆破优化和机械化作业流程,以提升产量与安全性。地下开采:针对深部或隐蔽矿体,采用巷道系统(如阶段平巷、下山结构)进行回采;近年通过引入连续采掘机和自动化设备,显著降低了作业风险并提高了资源回收率。

1.2 现代技术创新与应用。采矿技术正经历革命性变革,主要体现在以下方向:智能化与自动化:计算机技术和AI深度集成,实现矿山实时监控、无人驾驶设备及远程操控;例如无轨采矿系统结合连续装载机与输送带,形成一体化作业链,大幅提升效率和安全性。高效破岩技术:取代传统爆破,引入低扰动替代方案:机械连续切割(如截割头)直接破碎矿石,贫化率降至5%以下,效率提升40%以上。高压水射流(300MPa+)通过“水楔效应”破岩,粉尘减少90%,适用于深井工程。等离子破岩技术模拟爆破冲击波,实现厘米级精度,无振动污染。绿色采矿实践:强调资源循环与环境友好,膏体充填技术将尾砂转化为人工矿柱,地表沉陷控制精度达毫米级,生态修复成本降低70%;同时推广无危害开采和废料回收策略,减少土地占用和污染。

1.3 前沿进展与未来趋势。深部与复杂矿体开采:针对千米深井或窄薄矿脉,开发中深孔爆破、应力监测及热害防控技术(如红外热成像系统),提升深地资源开发可行性。智能化融合:5G、大数据和三维建模优化采矿方案,例如自动充填设备精度达 $\pm 3\text{mm}$,智能监测模块提升效率18%,推动全球化竞争。可持续发展趋势:未

来聚焦绿色低碳路径(如零排放工艺)、无危害资源开发,以及跨界技术(如AI视觉识别岩层)的应用,确保采矿活动经济高效且环境可持续。

2 地质矿产勘查技术

2.1 主要技术方法。勘查技术手段多样,根据精度和应用场景可分为:地质填图法:通过野外点线面观测,圈定矿化带和地质体边界,是基础性调查方法,适用初期普查阶段。例如,结合地表岩层分析可初步识别成矿潜力区。地球物理勘探(物探):利用磁法、电法、重力及地震波等物理特性探测地下结构。磁法可识别含铁矿体,电法适用于隐伏矿定位,但需钻探验证以提高准确性。地球化学找矿(化探):分析岩石、土壤或水系沉积物中的元素异常,圈定矿化靶区。例如,微纳米地球化学技术可高效发现稀土等战略资源。工程勘探:钻探技术:包括冲击钻、回转钻等,获取深部岩心和矿样,直接验证资源储量,深度可达数千米。山地工程:槽探、坑探等揭露浅表矿体,获取直观地质资料,但劳动强度大且深度有限。

2.2 技术创新与应用成效。现代勘查技术融合智能化和绿色化理念,显著提升效率和精度:三维综合勘查:集成高密度电法、瞬变电磁等技术,实现矿体三维建模。例如,在鄂西南地区精准定位隐伏萤石矿,勘探深度和分辨率同步优化。绿色勘查实践:采用模块化钻机防渗漏设计,减少土地占用和污染;激光雷达技术穿透植被区,72小时内完成地形建模,效率提升50%以上。找矿突破案例:2025年上半年新发现矿产地38处(大中型占25处),如县探获49亿吨锂矿资源,新疆特克斯县新增金资源量81吨,依赖综合物化探和钻探协同。

2.3 未来发展趋势。技术发展聚焦智能化与可持续性:智能化升级:大数据和AI深度集成,优化靶区预测模型。例如,三维数据分析辅助钻探部署,资源评估误差率降至5%以下。绿色标准深化:推广低扰动勘查装

备,如航空物探替代地面工程,减少生态扰动。同时,跨界融合遥感与水文技术,提升资源开发全周期环保性。勘查技术正从单一手段向“空-地-深”多维协同演进,驱动资源勘探高效化、精准化和环境友好化发展。

3 地质矿产勘查的主要任务

地质矿产勘查通过系统化技术手段,为资源开发、工程建设及灾害防治提供科学支撑,

3.1 资源定位与储量评估。矿产勘探与潜力评价,通过地质填图、物化探(磁法、电法、元素异常分析)及钻探等技术,精准圈定矿体空间分布和资源储量,评估开采经济性。例如钻探取样结合实验室分析确定矿石品位,预测可采资源规模。阶段性勘查深化,分普查、详查、勘探三阶段递进:普查阶段初步识别矿化线索,详查阶段加密工程控制矿体边界,勘探阶段密集采样为矿山设计提供地质依据,确保资源量满足开发需求。

3.2 工程地质条件保障。工程建设基础调查,通过测绘、探槽揭露及岩心取样,查明地下岩层承载力、稳定性及水文条件,绘制地质剖面图,为桥梁、隧道等工程提供地基安全数据。地质灾害风险预判,监测滑坡、地面沉降等隐患,利用卫星遥感动态分析地表形变,结合地下水监测建立预警模型,指导防灾规划。

3.3 地质环境管理与生态保护。环境地质调查,开展土壤污染评估与修复,监测地下水水质变化,制定生态保护方案。绿色勘查实践,应用低扰动技术(如模块化钻机防渗漏设计),减少勘查过程对地表植被和土壤的破坏,支撑可持续资源开发。

3.4 基础研究与技术支撑。地质数据库建设,系统收集区域岩石、地层及构造数据,建立地质信息网络,服务于科研与国土规划。行业标准制定与技术创新,研发新型勘探方法(如三维建模、AI靶区预测),制定勘查技术规范,提升行业精度与效率。地质矿产勘查以资源发现为核心,延伸至工程安全、灾害防控及环保协同,构成资源开发全链条的科学基石。

4 新技术在地质矿产勘查中的应用

地质矿产勘查领域正经历技术革新,以人工智能、三维探测、绿色钻探为核心的创新技术显著提升找矿精度与效率,

4.1 智能探测技术。航空物探系统,无人机磁法勘查:搭载高精度磁力仪,72小时内完成2000平方公里航磁测量(传统方法需1个月),精准定位铁矿等磁性矿体位置。卫星高光谱遥感:通过数十个波段光谱扫描,24小时内圈定矿物异常区,矿化识别效率提升3倍,如新疆塔城地区勘探。三维综合探测,集成高密度电法、瞬变

电磁法、天然源面波法,穿透植被与厚覆盖层,精准识别隐伏矿体边界。空-地-井协同技术:通过航空弱异常识别+地面验证,实现山东齐河亿吨级富铁矿靶区圈定。

4.2 智能钻探与装备升级。高效钻探设备,双动力头钻机:跟管钻进一次性成孔,防止孔壁坍塌,支持地下“穿针引线”式精准探矿。深孔绳冲钻具:整合绳索取心、液动冲击技术,复杂地层取心率达98%,钻效提速超50%。智能化控制系统,永磁电动钻机实现高精度提下钻作业,配备传感器实时监测钻探参数(如钻压、转速),减少人为误差。

4.3 AI与大数据驱动决策。AI靶区预测,机器学习算法分析地质历史数据,生成三维找矿模型,将靶区预测周期从3个月缩短至分钟级(如四川金、稀土矿勘探)。萤石矿通过三维建模锁定深部矿体,定位误差从50米降至5米。实时数据闭环,移动终端+5G网络实时上传岩芯数据,AI系统动态优化钻探路径,哈密铜镍矿勘探周期缩短40%。

4.4 绿色勘查技术突破。低扰动装备,模块化钻机防渗漏设计减少土壤污染,环保冲洗液可生物降解,满足绿色勘查标准。无损探测替代,激光雷达穿透植被区快速建模,减少山地工程开挖;航空物探替代地面作业,降低生态扰动。未来趋势,空-地-深一体化网络:无人机群+卫星遥感+井下传感器构建全域勘查体系。智能钻探全流程化:从靶区预测到资源评估实现AI决策闭环,推动“未钻先知”勘探模式1419。新技术通过“精准定位+高效验证+生态协同”,推动地质勘查向低成本、低扰动、高精度方向跃迁,支撑新一轮找矿突破战略行动。

5 绿色采矿技术最新进展

5.1 智能装备与控污技术突破。模块化防漏钻机,创新钻探装备,采用防渗漏设计与环保冲洗液(可生物降解),实现废弃物零排放;配套“表土+深层土分级剥离回填”技术,土壤复原率达92%。塑料导电电极,中科院研发耐腐蚀电极,用于稀土电驱开采,导电性200 S/m,耐电流冲击70A(持续2个月无损耗),解决传统电极腐蚀导致的污染问题。高压防渗策略,通过电场封闭浸出液定向迁移,防止稀土开采中“跑冒滴漏”,氨氮排放降低95%,资源回收率>95%。

5.2 战略矿产绿色开采革新。稀土电驱开采技术,中科院突破电驱规模化瓶颈:采收率>95%,浸取剂用量减少80%,开采周期缩短70%,电能消耗降低60%,5000吨级示范工程成功运行。铝盐协同浸取工艺,大学研发铝盐替代铵盐浸取稀土,从矿山废渣提取试剂循环利用,

稀土铝杂质含量 $< 0.1\%$ ，实现无放射性废渣生产。膏体充填技术升级，金属矿膏体充填技术应用于深地开采，充填体强度提升40%，成本降低25%，推动“无废矿山”建设。

5.3 生态修复与资源循环。微生物-植物联合修复，锡矿采用微生物钝化重金属技术，钝化率91%，修复成本下降60%，同步重建植被系统。尾矿资源化利用，高峰矿业“磁选-浮选-重选”联合工艺，尾矿产生率从30%降至15.9%，锡锌金属回收率提升3-5个百分点。矿山光伏化改造，将30处废弃矿坑改建为540MW光伏电站，土地复垦率95%，实现“废地再生”模式。

5.4 政策与智能化协同趋势。绿色标准刚性化，中国《绿色矿山评价通则》（2025版）要求粉尘排放 $\leq 1\text{mg}/\text{m}^3$ 、废水回用率 $\geq 95\%$ ，未达标矿山强制退出；欧盟CBAM机制将铝、镍纳入碳关税范围。智能系统深度整合，“矿鸿”操作系统适配85%矿山设备，实现地质建模-生产调度-设备运维全流程数字化；无人机航磁测量效率较传统方法提升10倍。

6 新技术如何提高采矿效率与安全性

6.1 智能探测与精准开采。三维地质建模技术，中国工程院院士团队研发高分辨率地震成像技术，探测精度从0.5米提升至0.1米，实现煤矿巷道透明化建模，精准识别煤层厚度与断层位置。无人机航磁勘探，72小时内完成2000平方公里航磁测量（传统需1个月），快速定位铁矿等磁性矿体，效率提升10倍。AI靶区预测，机器学习分析历史数据生成三维找矿模型，靶区预测周期从3个月缩短至分钟级（四川金矿应用案例）。

6.2 装备升级与安全防控。永磁电动装备，永磁同步电机：华联锌铜选矿车间应用后，传动能耗降低20%，设

备故障率下降35%。智慧钻机：传感器实时监测钻压、转速参数，减少人为操作误差；双动力头钻机实现坍塌地层“一次性成孔”。灾害智能预警系统，地质科技园通过地源热泵管网布设31万米传感器，实时监测地下岩土稳定性，预防滑坡事故。矿铜硫选厂安装炸药库自动监测报警系统，大幅降低爆破作业风险。

6.3 绿色工艺协同增效。电驱开采技术，稀土电驱工艺采收率 $> 95\%$ ，浸取剂用量减80%，电能消耗降60%，同步解决氨氮污染问题。尾矿循环利用高峰矿业“磁选-浮选-重选”联合工艺，尾矿产生率从30%降至15.9%，金属回收率提升3-5个百分点。膏体充填技术，充填体强度提升40%，成本降25%，支撑深地“无废开采”（绿色智能充填工程案例）。

6.4 全流程智慧管理。矿山操作系统整合，“矿鸿”系统适配85%设备，实现地质建模、生产调度、设备运维全链条数字化。5G实时数据闭环，钻探岩芯数据通过移动终端+5G即时回传，AI动态优化开采路径（哈密铜镍矿周期缩短40%）。能源智能管控，钨业矿山构建全流程能耗核算体系，2023年柴油消耗减少271吨，碳排放降272吨。

总之，地质矿产勘查技术与采矿技术，作为矿业领域的两大核心支柱，其发展与进步直接关系到矿产资源的可持续开发与利用以及国家能源安全与经济长远利益。通过对地质矿产勘查技术的不断探索与创新，得以更精准、高效地定位矿产资源，为采矿活动的科学规划与合理布局提供了坚实的数据支撑。

参考文献

- [1]王盼.浅谈地质矿产勘查技术与采矿技术.2022.
- [2]彭海.地质矿产勘查技术与采矿技术探讨.2023.