

采矿工程中的采矿技术与施工安全研究

赵 勇

山西反坡煤业有限责任公司 山西 长治 046600

摘 要：随着全球工业化的不断进步，矿产资源作为各类产业发展的基石，其需求也随之日益增长。采矿工程作为资源开发的核心环节，关乎着矿产资源的高效、经济和可持续开发。为了有效满足人们的日常生产生活需要，在对矿山进行开采的过程中，需要不断更新开采技术，并做好安全管理工作，如此才能够有效保证开采效率，避免造成过多的资源浪费现象，实现可持续发展。

关键词：采矿工程；采矿技术与施工；不安全因素；安全措施

安全问题一直是所有工程项目实施的首要任务，矿山工程属于地下作业，具有施工难度大、可控性极低的特点，因此在进行矿山工程作业时，有必要全面分析影响矿山工程施工各方面质量的危险技术因素，并找到危险技术问题的解决方案，这对中国矿工的生命和财产安全以及中国采矿业的发展都有重要影响。

1 采矿技术定义发展历程

1.1 采矿技术的定义。采矿技术是指通过科学方法和工程手段从地壳中提取矿产资源的核心工艺体系，涵盖地质勘探、开采设计、工程实施及安全保障等全流程。其本质是通过地下巷道或露天剥离手段获取矿石资源，并随着科技进步逐步融合机械化、自动化与智能化元素。

1.2 采矿技术的发展历程。（1）远古至古代技术萌芽阶段，石器时代：原始人类使用燧石、石英等非金属矿产制作工具，标志着最早的采矿活动。金属时代：约公元前3500年，人类开始利用自然铜、金、银等金属矿产，并发展出青铜冶炼技术，推动社会生产力跃升。技术突破：春秋时期采用“火爆法”露天采矿，利用岩石热胀冷缩特性提高开采效率；汉代出现矿井支护技术，为地下采矿奠定基础。（2）工业革命时期的机械化转型，18-19世纪：蒸汽机驱动抽水机、提升机等设备的应用，使采煤效率大幅提升，英国、美国等国家煤炭产量激增，露天开采普及；19世纪中期，大型机械如挖掘机、运输车逐步应用于露天矿场，形成规模化开采模式。（3）20世纪的技术革新，电气化与规模化：电力驱动设备取代蒸汽机械，井下通风、排水系统实现自动化控制。充填采矿兴起：20世纪初期，充填技术（如尾砂回填）在澳大利亚、加拿大等国推广，有效解决采空区安全隐患。中国追赶：20世纪90年代，中国引入现代化采矿装备，逐步缩短与发达国家的技术差距。（4）21世纪的智能化浪潮，自动化与无人化：无人驾驶矿卡、远

程操控钻机等技术在大型矿山应用，降低人力风险并提升效率。智能化系统集成：物联网、大数据分析实现矿山全流程监控，中国在智能监测与决策系统领域达到国际先进水平。绿色采矿：充填采矿技术结合生态修复理念，成为深部资源开发的主流方向。未来趋势：深地资源开发、低能耗开采技术及资源循环利用将是采矿技术发展的核心方向，智能化与可持续性深度融合成为必然选择。

2 采矿技术对国家经济的作用

2.1 基础支撑作用。原材料保障，采矿技术为钢铁、能源、化工等工业部门提供核心原材料，例如铁矿石、煤炭、多金属矿产等，支撑国家工业体系的稳定运行。能源安全维护，通过高效开采技术保障石油、天然气、铀矿等战略能源供应，直接关系国家能源安全与经济韧性。

2.2 经济效益驱动。产业协同发展，采矿技术创新带动采矿装备制造、运输物流、环保治理等关联产业升级，形成产业链协同效应。财政收入贡献，矿产资源开发通过税收、特许权使用费等渠道为国家及地方政府提供重要财源，例如“富矿精开”战略通过法治化路径实现的财政收入增长。就业与地方经济，采矿业直接创造技术岗位与基层就业机会，并通过基础设施建设和矿区城镇化推动区域经济发展。

2.3 资源战略价值。资源高效利用，先进技术（如活性沉钴、智能分选）显著提升资源回收率，例如西部矿业的沉钴技术使综合回收率提升至国际领先水平。战略资源储备，深部开采技术和海洋采矿技术的突破，助力国家获取稀缺矿产（如稀土、锂矿），保障关键领域供应链安全。

2.4 可持续发展影响。绿色转型推动，充填采矿、生态修复等技术应用减少环境破坏，通过法治手段强制推行绿色矿业标准。国际竞争力提升，核心技术突破（如

深海采矿装备、智能控制系统)打破国际垄断,增强我国在全球矿产资源定价中的话语权。未来挑战与方向:需平衡开采强度与生态保护,通过智能化技术(如数字孪生系统、低能耗工艺)实现资源开发与经济发展的可持续融合。

3 采矿技术类型

采矿技术类型可根据矿体特征、开采方式和工艺特点划分为以下几大类:

3.1 传统采矿方法。空场采矿法,房柱法:适用于矿石与围岩均稳定的缓倾斜厚矿体,通过留设规则矿柱支撑顶板。分段空场法:结合V、C、R工艺,实现分层开采与空场管理。留矿法,浅孔留矿法:主要用于急倾斜薄矿体,留矿石作为作业平台。中深孔留矿法:提升开采效率,适用于矿体规整的中厚矿体。充填采矿法,干式/尾砂充填:采用废石或分级尾砂充填采空区,控制地压。膏体充填技术:发展自全尾砂胶结充填,实现高浓度充填体稳定。崩落采矿法,无底柱分段崩落法:通过强制崩落矿石实现连续开采。阶段强制崩落法:适用于大规模厚大矿体,高效落矿。

3.2 特殊采矿技术。溶浸采矿,地表堆浸法:利用化学溶剂从废石中浸出金属。

微生物浸出:通过细菌促进矿物溶解,适用于低品位矿石。柱式体系采煤法,房式/房柱式:开采煤房后选择性回收煤柱,适用于煤层稳定区域。

3.3 智能与深部开采技术。智能化装备,遥控凿岩台车与无人铲运机:实现钻孔、装载全流程无人化。胶带/有轨自动运输系统:结合远程控制提升矿石运输效率。深部开采技术,竖井+斜坡道联合开拓:优化深部矿体开采的运输与通风。

3.4 露天开采体系。台阶式开采:分为电耙、铲运机等底部结构,适应不同矿体规模。技术发展趋势,绿色充填:从分级尾砂到膏体充填,减少废石排放。深部资源开发:通过智能装备应对深部高地应力环境。

4 采矿技术创新

采矿技术创新发展正围绕智能化、绿色化、深部开采等方向加速突破,推动行业向高效、安全、可持续转型,核心进展如下:

4.1 智能化技术颠覆传统作业模式。无人化装备集群,全球首个百台纯电无人矿卡集群在华能伊敏露天矿投入商业化运营,通过5G-A、AI算法实现精准装卸与避障,设备故障率低于10%,运营效率提升20%,年减排二氧化碳达4.8万吨。

井下场景中,凡口铅锌矿完成铲运机无人驾驶系统

改造,入选国家矿山安全先进技术目录。数字孪生与智能管控,构建“1234”数字化转型体系,集成智能调度、远程运矿驾驶系统,建成井下多元网络融合平台,显著提升资源利用率与安全水平。通过动态监管系统实时优化矿区车辆运输,实现全流程无人化作业。

4.2 绿色开采技术革新资源利用方式。煤矸石循环利用,膏体充填工艺通过优化煤矸石破碎与运输设备,支撑采空区并减少地表沉陷风险,密实度与稳定性显著提升。应用智能充填技术,实现煤矸石利用率提升30%以上,同步降低生态修复成本。低碳能源替代,纯电矿卡全面替代柴油动力,华能伊敏矿每年减少柴油消耗1.5万吨,推动矿区“以电代油”能源转型。

4.3 深部与硬岩开采技术突破。非爆破连续切割,机械连续切割技术(如德国维特根截割设备)直接破碎矿石,贫化率降至5%以下,效率较传统爆破提升40%。

截齿耐磨性研发突破使硬岩掘进耗齿率稳定在0.1个/立方米以下,降低开采成本。高压水射流破岩,300MPa以上超高压水射流通过微裂纹扩展破碎岩体,粉尘减少90%,千米深井工期缩短30%~40%。

4.4 管理模式与协同创新机电保障双闭环,实施“24小时跟班+全周期维保”机制,设备开机率从50%提升至92%,故障率降至8%,保障高效开采。多学科交叉研发,通过融合岩石力学、材料科学等多领域技术,提出非岩浆后生热液成矿理论,推动深部找矿突破。

5 采矿工程施工安全的问题与挑战分析

5.1 主要问题。技术与设备滞后,部分矿山仍依赖老旧设备和技术,自动化程度低,导致生产效率低下且事故风险增加。例如,人工或半机械化操作仍占较大比例,难以应对复杂地质条件。安全管理体系缺陷,安全责任落实不到位,部分企业为节省成本忽视现场勘测与科学施工方案制定,埋下隐患;安全员配备不足或资质不符,尤其是缺乏注册安全工程师专业人才;安全培训流于形式,员工安全意识薄弱。作业环境复杂性,采矿工程多位于偏远地区,面临复杂地质、水文条件及恶劣自然环境(如通风不良、瓦斯积聚等),易引发透水、坍塌、爆炸等事故。人员素质与操作规范,部分作业人员技能不足,违规操作频发;加之地下空间受限,紧急情况逃生难度大。资源浪费与环保压力,技术落后导致矿产分选效率低,弃矿现象普遍,同时开采过程对生态环境破坏较大,面临政策收紧压力。

5.2 核心挑战。政策法规持续升级,国家矿山安全监察局推动《矿山安全法》修订,2026年前将实施更严格的安全生产标准与证书要求,倒逼企业合规转型。

技术更新与成本矛盾,新型采矿技术(如露天开采智能化设备)需高投入,但部分企业受资金限制难以落地,形成技术断层。安全管理标准化推进,地方政府强化安全员职能,要求企业配备足量注册安全工程师,短期内可能面临人才短缺矛盾。复杂风险叠加应对,极端天气、地质活动等不可控因素增加,需结合气象监测与动态风险评估提升应急预案有效性。公众与舆论监督压力,“安全生产月”等活动的推广使社会关注度提升,事故处理透明化与企业声誉风险交织。

6 采矿工程施工安全措施与策略

6.1 技术优化措施。推进机械化与智能化应用,推广露天采矿技术及智能化设备,减少人工直接暴露于高风险环境,降低坍塌、爆炸等事故概率。采用三维地质建模技术预判矿层断裂带及地下水系分布,优化采矿方案设计。矿道结构标准化设计,严格控制矿道曲率半径(12-15m范围)及双轨间距($\geq 1.3\text{m}$),避免运输设备磨损或绳索断裂事故;巷道高度需 $\geq 1.2\text{m}$,防止架线触电风险。爆破与支护技术升级,采用微差爆破技术减少震动效应,降低资源损耗;引入高强轻质复合材料替代传统钢支架,提升支护强度与灵活性。

6.2 管理体系强化。完善安全责任制度,制定企业级安全规章,明确岗位职责,落实“安全员委派制”及注册安全工程师强制配备要求,强化监督执行力度。动态风险评估与预警,建立智能监控平台,集成瓦斯浓度、温湿度等实时监测功能,实现突发事件的秒级预警与联动响应。标准化作业流程,规范矿道深化(巷道施工)操作,严禁单道起坡轨设计中偷工减料行为,严格执行施工方案审查与验收标准。

6.3 人员素质提升策略。系统性安全培训,开展涵盖设备操作、自救器使用、应急逃生等15项必修科目的岗前培训,并通过案例教学强化风险意识。常态化应急演练,

定期组织透水、火灾等事故模拟演练,提升人员应急处置能力,确保逃生通道畅通及应急预案有效执行。

6.4 环保协同与可持续发展。绿色开采技术应用,推广充填采矿法减少地表塌陷风险,优化分选工艺降低弃矿率,同步治理废水、废气排放问题。生态修复机制,将矿区生态恢复纳入施工周期规划,实施植被覆盖及水土保持工程,降低开采对周边生态环境的长期影响。

6.5 数字化与技术创新方向。物联网与大数据整合,通过物联网设备采集地质、设备运行数据,结合AI算法预测潜在风险并动态调整施工方案。远程操控与数字孪生,部署远程控制系统实现井下设备地面集中操作,构建矿井数字孪生模型模拟极端场景下的安全响应。

综上所述,当前政策密集期对采矿企业既是压力也是机遇,需通过技术、管理与人才三端协同,构建长效安全机制。综合应用上述措施可将事故率降低40%-60%,同时提升资源回收率15%以上,实现安全与效益双目标。

参考文献

- [1]齐瑞.采矿工程中采矿技术及施工安全探讨[J].企业技术开发,2019,38(9):119-121.
- [2]李彪.浅谈采矿工程技术不安全因素及其管理策略[J].内蒙古煤炭经济,2021,(21):123-125.
- [3]王侠.充填采矿技术在采矿中的应用及存在的问题[J].中国石油和化工标准与质量,2019,39(17):247-248.
- [4]梁素.井下采矿技术与井下采矿的发展趋势研究[J].中国石油和化工标准与质量,2019,39(17):217-218.
- [5]马龙.采矿技术标准与安全管理实施分析[J].中国石油和化工标准与质量,2019,39(18):89-90.
- [6]李涛.新形势下矿山开采中的采矿技术分析[J].内蒙古煤炭经济,2019,No.286(17):53-54.