煤炭采矿工程中的采矿技术与施工安全

胡喜平 胡双喜

内蒙古仲泰能源集团有限公司宏景塔分公司 内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘要: 煤炭采矿工程中通过采矿技术种类特点、采矿技术、施工安全管理分析,对煤炭采矿工程施工安全管理系统实施,可有效控制地质灾害、设备故障及人为操作风险,实现煤炭采矿工程安全高效运行。

关键词: 煤炭采矿工程; 采矿技术; 施工安全

煤炭采矿技术是围绕煤炭资源开采所涉及的一系列科学方法、工艺流程及工程实践的总称,其核心在于通过系统性手段将煤炭从地质结构中安全、高效地分离并提取至地表,包括地下矿井开采(如长壁式开采、房柱式开采)和露天开采方式,需综合应用掘进、钻孔、爆破、机械切割等技术手段实现煤炭分离。工艺流程涵盖采煤工作面各工序的协同运作,例如回采工艺需协调破煤、装煤、运煤等环节,并匹配相应设备与空间布局^[1]。

1 煤炭采矿工程采矿技术种类特点。

1.1 井工开采技术。壁式体系采煤法,走向长壁开采,特点:工作面沿煤层走向推进,适用于倾角15°以上的中厚煤层,采用液压支架支撑顶板,回采率可达80%以上。倾斜长壁开采,特点:工作面沿煤层倾斜方向推进,适用于倾角小于12°的煤层,巷道布置简单,通风系统优化^[2]。分层开采与放顶煤开采,分层开采,特点:将厚煤层划分为2-3m分层开采,需铺设人工假顶(金属网、高分子材料),适用于地质条件复杂区域。综放开采,特点:综合机械化放顶煤技术,利用液压支架后部放煤口回收顶煤,单工作面年产可达千万吨级。柱式体系采煤法,房柱式开采,特点:留设规则煤柱支撑顶板,适用于薄煤层或地质构造复杂区域,但回采率较低(约50-60%)。短壁工作面开采,特点:工作面长度较短(<80m),灵活性高,适合边角煤或小规模开采。

1.2 露天开采技术。板式开采(剥离法),特点:通过大型设备(电铲、卡车)剥离覆盖层,直接开采煤层,适用于浅埋藏、厚煤层区域,生产效率高但生态扰动大。地铁式开采,特点:结合井工与露天优势,从地下掘进隧道向上分层开采,减少地表破坏,适用于城市周边或生态敏感区^[3]。

1.3 特殊工艺技术。综合机械化采煤(综采),特点:采煤机+液压支架+刮板输送机联动,实现截割、支护、运输全自动化,安全系数高,百万吨死亡率低于0.05。智能化开采,特点:基于5G+AI的无人工作面技

术,实现远程监控、自适应截割和灾害预警,全国已建成超500个智能化采掘面。前进式开采,特点:沿充填体外曲线放顶,配合巷旁充填(硬石膏、矸石等),减轻顶板压力,适用于高瓦斯或易自燃煤层。

2 炭采矿工程采矿技术分析

2.1 高效采矿技术。(1)智能化与自动化驱动效率提升,无人化作业体系,通过远程操控系统实现掘进、凿岩、运输等环节无人化,减少井下人员作业风险,单台设备作业效率提升超30%。智能台车结合5G网络传输,实时监控设备参数(如凿岩压力、推进压力),确保施工精准性,巷道掘进效率提高25%以上。协同化智能采剥,无人驾驶矿卡与远程操控电铲协同作业,解决传统矿山劳动力短缺问题,开采效率提升40%以上。(2)资源利用效率与经济效益优化,精准参数控制,煤田孔开采技术通过优化钻孔深度、直径等参数,结合泥浆循环系统,实现煤层精准开采,资源回收率提升至85%以上。横向铰挖机通过液压系统调整切削深度,避免过度开采,薄煤层开采效率提高50%。高效落矿与分选技术,凿岩爆破法优化崩矿量(如某铜矿每米崩矿量提升20%),降低炸药消耗成本,矿山盈利能力显著增强。矿石色选机采用高分辨率CCD传感器,分选效率达每小时200吨,金属矿石提取精度达98%以上,减少资源浪费。(3)安全性与环保优势,风险控制技术,横向铰挖机替代传统爆破作业,消除飞石、震动风险,事故率降低90%。电驱开采技术(如稀土矿电场分离)避免化学药剂使用,减少环境污染,生态扰动面积减少70%。生态友好型开采,煤田孔开采技术减少地表破坏,复垦成本降低50%。智能采剥技术通过集约化作业减少设备空转,能耗下降30%。复杂地质条件适应性,硬岩与薄煤层开采,中深孔落矿技术(炮孔直径50-70mm)解决坚硬矿石开采难题,单次爆破效率提升35%。横向铰挖机适应薄煤层(<1.5m)和复杂地质,开采速度达传统机械的3倍。动态调整能力,智能设备结合AI算法,实时响应地质变化(如矿体厚度波

动), 开采方案调整时间缩短至10分钟内。

2.2 智能化采矿技术。(1) 政策驱动与技术标准完善, 国家级政策支持工业和信息化部等十二部门联合推进5G规模化应用, 重点支持远程掘进、无人矿卡等场景, 矿山智能化标准化体系加速建设, 推动中小型矿山机械化升级与大型矿山自动化改造, 形成可复制的标杆案例。行业规范与生态协同, 提出“集约高效”发展目标, 通过智能化技术降低采矿百万吨死亡率至0.05以下, 并减少30%以上生态扰动面积。(2) 核心技术突破方向, 5G+AI深度融合, 5G网络支撑远程操控、设备互联与实时数据传输, 结合AI算法优化开采路径规划与灾害预警, 单台设备作业效率提升超25%。自适应截割技术(如改进灰狼算法)应用于复杂煤层开采, 解决传统工艺对地质条件适应性不足的问题。无人化与协同化作业, 无人矿卡、远程综采系统规模化推广, 实现井下“少人化”甚至“无人化”, 人力成本降低40%以上。多设备协同控制平台整合电铲、输送机等设备, 形成全流程自动化闭环, 生产效率提升30%-50%。(3) 绿色化与全产业链融合, 低碳节能技术应用, 智能化系统优化能耗管理(如设备空转率下降30%), 推广电驱设备替代传统柴油动力, 碳排放强度降低20%以上。煤矸石井下充填、保水采煤技术普及率提升至30%, 减少地表塌陷与水资源破坏。数据驱动的资源循环, 矿山数据中台整合地质勘探、生产调度与尾矿处理信息, 实现资源回收率提升至85%以上。

2.3 绿色开采技术。(1) 水资源保护与循环利用, 保水开采技术, 通过优化采煤工艺(如限高开采、分区隔离), 减少煤层顶板破坏, 保护地下水系, 矿井水利用率提升至80%以上, 支撑矿区生态修复与工业生产。地下水库技术, 构建矿井水存储-净化-再利用系统, 利用采空区自然过滤净化水质, 每年可保护利用20亿吨矿井水。(2) 固废处理与资源化, 煤矸石充填技术, 井下直接充填煤矸石, 替代传统矸石堆存, 减少地表塌陷50%以上, 复垦成本降低40%, 资源化利用率达75%。矸石减排技术结合胶结材料, 提升充填体强度至5MPa以上, 实现采空区稳定支撑与生态修复同步。瓦斯协同抽采, 采用煤与瓦斯共采技术, 通过定向钻孔预抽瓦斯, 降低井下瓦斯浓度至0.5%以下, 同时年发电量提升30%, 减少温室气体排放^[4]。(3) 生态扰动最小化技术, 覆岩隔离注浆技术, 在煤层开采后向覆岩层注浆形成隔离层, 抑制地表沉降幅度至0.3m以内, 保护地表建筑与农田。边坡复垦技术, 露天矿采用“剥离-开采-复垦”一体化工艺, 植被恢复周期缩短至1年, 矿区绿化覆盖率提升至60%以

上。(4) 智能化与绿色协同, 数字化开采系统, 基于矿山大模型与人工智能平台, 动态优化开采参数(如采高、推进速度), 减少无效开采量15%-20%, 资源回收率提升至85%。

3 煤炭采矿工程施工安全管理

3.1 煤炭采矿工程施工安全管理体系。(1) 责任体系与制度建设, 全链条责任划分, 建立以煤矿主要负责人为第一责任人的安全管理体系, 总工程师负责技术方案设计, 生产副矿长监督支护质量, 安全副矿长落实风险防控。推行采掘红线管理制度, 通过GIS图纸划定采掘范围边界, 明确红线内隐蔽致灾因素管控要求(如瓦斯、顶板、水害)。标准化与流程管控, 开工前需完成地质力学评估、支护设计及安全技术措施制定, 施工方案需经总工程师团队审核并全员交底。实行“无视频不作业”制度, 关键环节(如敲帮问顶、支护施工)全程录像备查, 视频监控设备覆盖率提升至95%以上。

3.2 技术防控与装备升级。支护与顶板管理, 动态监测顶板压力, 采用液压支架与锚杆锚索联合支护技术, 确保顶板下沉量控制在0.3m以内。推行智能化矿压监测系统, 实时采集数据并预警异常压力波动, 每月至少开展1次矿压规律分析^[5]。机械化替代高风险作业, 推广横向铣挖机、电驱凿岩台车替代传统爆破工艺, 降低飞石、震动风险, 事故率减少90%。运输环节执行“行人不行车”原则, 绞车、皮带机等设备加装红外感应急停装置, 杜绝平行交叉作业事故。

3.3 现场作业风险防控。班前安全确认机制, 每班开工前排查人员状态(情绪、技能资质), 组织学习当班安全技术要点, 不合格者禁止入井。执行“一炮三检”制度, 雷管炸药分库存放, 警戒范围设置“人-绳-牌”三重标识。特殊场景应急处置, 遇构造带、渗水区等异常情况, 立即停工并上报, 首次作业需经总工程师团队现场确认安全措施。暴雨期间启动停产撤人预案, 授予调度员、班组长紧急撤人权, 撤离响应时间压缩至15分钟内。

3.4 隐患排查与资源保障。隐蔽致灾因素治理, 采用三维地震勘探技术查明采空区、老窑水分布, 探放水工程执行“有掘必探”原则, 钻孔深度超前工作面30m以上。封闭巷道、盲巷实施挂牌管理, 瓦检员每班巡检气体浓度, 严禁未经检测进入未知区8。

4 煤炭采矿工程技术与管理体系融合路径

4.1 技术与管理体系融合。技术决策嵌入管理架构, 煤矿总工程师团队主导技术方案设计, 同步参与安全管理决策, 将地质力学评估、支护参数优化等技术指标纳入生产计划编制流程^[6]。建立“技术-管理”双轨考核机

制，如硬顶板开采技术的应用效果与区队长绩效挂钩，确保技术落地与执行效率。智能化标准驱动管理升级，基于图像识别技术与“煤矿大脑”平台，构建采掘工艺数字化标准库，自动匹配最优作业参数（如截割速度、支护间距），减少人为经验偏差。全国超80%大型矿井实现“AI+视频”联动控制，违规操作识别准确率达95%，触发自动停机指令响应时间 ≤ 3 秒。

4.2 安全风险与技术防控协同。高风险场景技术替代管理，采用深层井应力场监测技术替代传统人工巡检，实时预警冲击地压风险，缓倾斜薄煤层推广电驱刨煤机组，通过预设轨迹算法规避地质构造带，降低顶板冒落风险。隐蔽致灾因素联控机制，三维地质建模技术与瓦斯抽采管理系统联动，实现钻孔轨迹动态纠偏，预抽效率提升40%。探放水工程实施“技术设计-施工验收-数据归档”全流程闭环管理，钻孔深度偏差率控制在 $\pm 2\%$ 以内。

4.3 绿色开采与长效管理结合。生态扰动量化管控，保水开采技术方案与矿区生态修复计划同步制定，通过注浆隔离层厚度、地表沉降阈值等技术参数设定，保障复垦周期 ≤ 3 年。煤矸石井下充填率纳入企业ESG考核体系，示范矿井资源化利用率突破85%。低碳技术与管理增效，电驱设备替换柴油动力后，结合能耗监测平台优化设备启停策略，单工作面年节电超200万千瓦时。建立碳排放配额交易机制，通过瓦斯发电、光伏储能等技术应用实现碳汇收益反哺技术改造。

4.4 人才培养与技术迭代互促。复合型人才培育，推行“技术骨干轮岗管理岗”制度，培养同时掌握智能采

掘装备操作与生产调度能力的复合型人才。校企共建虚拟仿真实验室，模拟复杂地质条件下技术方案与管理决策联动场景，缩短新技术适应周期^[7]。技术迭代反哺管理创新，基于5G+数字孪生技术构建“透明矿山”模型，实现采掘进度、设备状态、安全风险“一屏可视”，管理决策响应速度提升50%。区块链技术应用与技术方案存证与责任追溯，实现技术执行过程全生命周期可审计。

综上所述，煤炭采矿工程通过技术标准嵌入管理流程、智能平台驱动风险联控、绿色指标挂钩长效考核，形成技术与管理的深度耦合，进一步促进煤炭采矿业发展。

参考文献

- [1]李刚.试论煤炭采矿工程中的采矿技术与施工安全[J].百科论坛电子杂志,2019(22):78.
- [2]王果.煤炭采矿工程中的采矿技术与施工安全初探[J].中国化工贸易,2022,10(23):176.
- [3]欧肖成.探讨煤炭采矿工程中的采矿技术与施工安全[J].大陆桥视野,2022(14):75-75,76.
- [4]李金.浅谈煤炭采矿工程中的采矿技术与施工安全[J].建筑工程技术与设计,2023(24):195.
- [5]柳彬.浅谈煤炭采矿工程中的采矿技术与施工安全[J].化工管理,2023(12):179-180.
- [6]赵那.煤炭采矿工程中的采矿技术与施工安全分析[J].资源信息与工程,2022,33(04):66-67.
- [7]赵周.浅谈采矿工程中的采矿技术与施工安全[J].石化技术,2020,27(02):291-292.