

# 煤矿薄煤层开采技术的优化与应用探讨

马 兴

内蒙古伊东煤炭集团有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 010400

**摘 要：**针对国内薄煤层开采存在设备适配性差、工艺参数不合理、安全防控薄弱、智能化水平不足等问题，本文从设备配套、开采工艺、安全防控、智能技术四个维度制定优化方案。依托山西某矿工程实践开展应用验证，结果表明，优化技术可有效提升开采效率与资源回采率，消除顶板、瓦斯等安全隐患，降低生产成本，兼具良好经济效益与行业示范价值，可为同类薄煤层高效安全开采提供参考。

**关键词：**煤矿薄煤层；开采技术；优化；应用

引言：薄煤层是我国煤炭资源的重要组成部分，赋存范围广、储量占比大，高效开发薄煤层是盘活煤炭资源、缓解矿区资源接续压力的关键举措。受煤层厚度不均、夹矸繁多、顶板破碎、作业空间狭小等复杂地质条件制约，传统开采技术存在效率低、回采率差、安全风险高等诸多弊端。为破解薄煤层“夹缝开采”难题，提升开采智能化、绿色化、安全化水平，本文系统探究薄煤层开采技术短板，提出全套优化方案并结合工程应用验证成效。

## 1 煤矿薄煤层开采基础理论与现存技术问题

### 1.1 薄煤层界定与开采地质特征

（1）薄煤层行业界定标准与国内典型赋存特点。依据《煤炭工业矿井设计规范》（GB50215—2015），薄煤层泛指厚度小于1.3m的可采煤层，其中厚度0.8m以下常划归极薄煤层。国内典型薄煤层以南方复杂构造区、华北石炭—二叠系及西北侏罗系煤田为主，普遍呈现“层薄、构造多、硬度变化大”的赋存特征，常见块状—粉末状结构，夹矸多为泥岩、炭质泥岩或砂岩。（2）薄煤层开采地质难点集中体现为：①煤层厚度沿走向和倾向变化剧烈，局部不可采区段增多，严重制约连续化生产；②夹矸层数多、单层厚度大，显著加剧截齿磨损与设备振动；③顶板多为砂质泥岩或细砂岩，裂隙发育，随采随冒，支护难度大；④工作面净高常不足1.0m，人员通行与设备检修空间极为受限，安全操作冗余大幅降低。

### 1.2 主流薄煤层开采核心技术概述

（1）薄煤层炮采：采用煤电钻打眼、爆破落煤、人工或机械装煤、刮板输送机运煤的循环作业，工艺简单、设备投资低，适应性强，适用于厚度<0.8m、大倾角、断层密集、无法机械化的边角煤块或小型矿井。（2）薄煤层普通综采：以双滚筒采煤机落煤、液压支架支护、刮板输送机运煤，形成“割—支—运”一体化连

续作业。单产为炮采3~5倍，生产集中，支护强度高，在大倾角、中厚变薄区等条件下安全经济性显著优于炮采<sup>[1]</sup>。（3）薄煤层智能化综采：依托“感知—决策—执行”闭环架构，集成煤岩识别、采煤机记忆截割、液压支架电液控跟机自动化、三机协同控制及远程可视化监控等模块，目标实现“地面远程干预、井下无人值守”的常态运行，是薄煤层安全高效开采的变革方向。

### 1.3 现阶段薄煤层开采技术存在的核心问题

（1）设备适配性差。采煤机机身厚度普遍超0.6m，过煤空间不足，截割电机功率受限，滚筒直径受装机高度制约，截割线速度低，遇夹矸时截齿损耗严重，开机率难以保障。（2）工艺参数不合理。采高未随煤层厚度动态调整，顶底煤损失大，回采率不足80%；破岩量增加，原煤灰分升高，煤岩混杂，加重洗选负担。（3）安全防控薄弱。顶板来压规律不明，支护强度选取盲目，漏冒事故频发；通风断面小，瓦斯局部积聚风险高，现有监测手段难以精准预警。（4）智能化程度偏低。多数矿井处于“单机自动化”阶段，通信协议不统一，数据孤岛严重，缺乏全流程协同控制，尚未形成地质建模—截割规划—过程控制—灾害预判的闭环体系。

## 2 煤矿薄煤层开采关键技术优化方案

### 2.1 开采设备选型与配套优化

（1）薄煤层专用采煤机优化。研发基于“轻量化材料+高强度结构”的紧凑型机身，整机厚度控制在0.4~0.55m，增大过煤高度；采用大功率密度截割电机（ $\geq 2 \times 200\text{kW}$ ）配合新型耐磨截齿，优化截齿排布角度与螺旋滚筒升角，提升夹矸截割能力；增设自动调速功能，根据截割负载实时调节牵引速度，减少冲击故障。（2）液压支架优化。设计最小支撑高度0.6m、最大支撑高度1.6m的可调式两柱掩护支架，采用高强度Q690钢板，降低支架重量15%~20%；优化四连杆机构布局，缩

短移架循环时间至8s以内;增设自动跟机移架与防倾倒装置,提升薄煤层采场支护响应速度与支撑稳定性<sup>[2]</sup>。

(3) 运输设备配套优化。开发槽帮高度 $\leq 180\text{mm}$ 的低矮型刮板输送机,增大溜槽中板耐磨层厚度,采用变频调速电机,适应采煤机不同牵引速度下的输煤需求;皮带运输机配置低托辊、小型驱动滚筒,缩小机身宽度,确保顺槽运输不制约工作面推进速度。

## 2.2 开采工艺参数优化

(1) 采高、截深、切割速度参数精细化调整。根据煤层厚度变化曲线划分开采区段,采用“一区一策”调高方案,采高控制在煤层厚度 $\pm 0.05\text{m}$ 范围内;截深常规取 $0.4\sim 0.6\text{m}$ ,遇夹矸层时缩小至 $0.3\sim 0.4\text{m}$ ;切割速度根据煤岩硬度实时匹配,软煤段 $4\sim 6\text{m/min}$ ,硬煤段 $2\sim 3\text{m/min}$ ,避免超载运行。(2) 采用分层截割工艺优化开采顺序。对厚度 $\geq 0.8\text{m}$ 且夹矸分层明显的煤层,实行“顶—底—矸”分层顺序开采,先采顶煤再截夹矸后采底煤,减少矸石混入量;对极薄煤层推行“限深多刀”循环策略,降低单刀截割阻力,延长截齿使用寿命。

(3) 工作面巷道布置优化。将运巷与回风巷间距优化为与采煤机有效工作长度匹配,合理增设中间联络巷,缩短设备空载往返行程 $15\%\sim 25\%$ ;推广“Y型”通风布置配合沿空留巷或无煤柱开采方式,减少搬家倒面次数,提升连续开采效率<sup>[3]</sup>。

## 2.3 安全开采技术优化

(1) 顶板动态监测与支护加固技术优化。沿工作面走向与倾向布设多点位移计、压力枕及锚杆测力计,构建顶板离层与支架受力实时监测网络;引入顶板来压预测模型,提前 $2\sim 3$ 个循环预警来压步距;采用注浆锚索超前加固破碎顶板,提升顶板自承能力。(2) 高瓦斯薄煤层卸压开采与通风技术优化。采用超前钻孔卸压+水力割缝技术,增大煤层透气性,降低瓦斯初始释放强度;优化“偏Y型”高抽巷通风系统,合理匹配配风量与抽采负压,保证上隅角瓦斯浓度 $\leq 0.8\%$ ;推广顶板走向长钻孔高负压抽采,抽采率提升至 $60\%$ 以上。(3) 粉尘、噪音治理技术优化。采煤机滚筒处布置高压外喷雾降尘系统(压力 $\geq 8\text{MPa}$ ),液压支架移架过程配合自动喷雾联动,全尘降尘效率达到 $85\%$ 以上;在转载点、破碎机等强噪音源安装隔音罩,操作岗位推行主动降噪耳麦,将作业面噪音控制在 $85\text{dB(A)}$ 以下。

## 2.4 智能化开采技术优化升级

(1) 煤岩智能识别系统优化。融合红外热成像、振动频谱分析及雷达探测技术,建立“多源信号融合判别”模型,实时判识截割介质为煤或矸石;结合历史截

割数据库自学习优化阈值设定,识别准确率 $\geq 90\%$ ,实现截割滚筒自动升降调整,精准分界开采。(2) 无人化值守开采控制系统优化。建设采煤机—支架—运输机“三机协同”集中控制平台,实现记忆截割与跟机自动化联动控制;在地面调度中心配置VR虚拟操作台,井下仅保留巡检机器人,形成“地面远程操控+井下智能执行”的无人化开采控制闭环<sup>[4]</sup>。(3) 开采数据实时监测与远程运维系统搭建。建设覆盖采煤机、支架、运输、通风、供电全系统的 $5\text{G}+$ 工业以太网融合通信网络,统一数据采集协议;配置设备健康状态在线诊断模块,对截割电机温度、齿轮箱振动、液压油污染度等关键指标进行预警;搭建云端远程运维平台,实现设备故障预判、远程参数下发与维修方案推送,降低停机时间 $30\%$ 以上。

## 3 煤矿薄煤层开采优化技术工程应用与效果分析

### 3.1 工程应用概况

(1) 目标矿井薄煤层地质条件与开采现状。以山西某矿9号薄煤层为工程应用对象,煤层厚度 $0.70\sim 1.30\text{m}$ ,平均厚度 $0.98\text{m}$ ,含 $1\sim 3$ 层炭质泥岩夹矸,单层夹矸厚度 $0.05\sim 0.30\text{m}$ ,煤层倾角 $6^\circ\sim 18^\circ$ ,直接顶为砂质泥岩与细砂岩互层,普氏系数 $f=4\sim 7$ 。矿方此前采用炮采工艺,平均月推进度仅 $46\text{m}$ ,工作面单产约 $3.2\text{万t/月}$ ,采面作业人员密集,回采率仅 $78.5\%$ ,且近三年累计发生顶板事故 $3$ 起、瓦斯超限预警 $12$ 次,薄煤层资源采出效率与安全保障水平亟待提升。(2) 优化技术应用实施方案与配套保障措施。选用MG200/475-WD型薄煤层采煤机(机身高度 $0.50\text{m}$ ),配套ZY4000/07/15D型两柱掩护式液压支架及SGZ730/160型低矮刮板输送机;根据煤层厚度分区设定采高调控区间,实行“先顶后底”分层截割与夹矸段“限深多刀”推进策略;部署KJ360顶板动态监测系统、瓦斯抽采智能调控平台与 $5\text{G}+$ 工业环网通信系统。保障措施方面:成立矿长挂帅的优化实施小组,组织操作人员脱产培训 $12$ 天,编制关键工序标准化作业票,建立设备易损件安全库存预警机制,确保优化方案平稳有序落地。

### 3.2 技术应用效果分析

(1) 开采效率提升效果。优化后工作面月推进度达 $73\text{m}$ ,较原炮采工艺提升 $58.7\%$ ;月均单产达 $6.1\text{万t}$ ,增幅 $90.6\%$ ;采煤机平均开机率从改造前的 $65\%$ 提升至 $87\%$ ;设备月均故障停机时间由原 $28\text{h}$ 降至 $10\text{h}$ ,万吨煤截齿消耗由原 $195$ 把降至 $88$ 把,采掘接续紧张局面显著缓解。

(2) 资源利用效果。基于采高动态精准调控和分层截割工艺优化,工作面煤炭回采率由 $78.5\%$ 攀升至 $91.2\%$ ,年多回收煤炭资源约 $2.6\text{万t}$ ;原煤灰分由炮采时期的 $37.8\%$ 降至 $29.6\%$ ,含矸率由 $13.2\%$ 降至 $5.9\%$ ,原煤发热量由

21.3MJ/kg提升至25.8MJ/kg,原煤入洗效率显著提高,商品煤质量稳定性明显增强。(3)安全作业效果。顶板动态监测模型提前预警来压步距,优化后顶板事故实现“零发生”;上隅角瓦斯浓度峰值由1.08%降至0.48%,瓦斯超限预警次数由年均4次降为0次;采面全尘浓度由优化前92mg/m<sup>3</sup>降至35mg/m<sup>3</sup>,作业环境大幅改善;隐患平均整改周期由9天压缩至2.5天,隐患整改验收合格率达100%,本质安全水平实现跨越式提升<sup>[5]</sup>。

### 3.3 经济效益与社会效益分析

(1)经济效益。优化后吨煤综合生产成本由286元/t降至218元/t,年直接节约生产成本约408万元;单班作业人数由14人减至5人,年节约人工成本约216万元;年新增产能收益约2290万元,综合投资回收期约为1.5年,矿井整体盈利水平显著增强。(2)社会效益。回采率提高累计节约稀缺薄煤层资源约2.6万t/年,矸石外排量减少约1.8万t/年,符合国家绿色矿山建设要求;瓦斯精准抽采与智能通风方案有效降低安全风险,为周边高瓦斯薄煤层矿井提供了可复制的技术范本;项目成果已推广至邻近3座矿井,获地方能源主管部门充分肯定,具有显著的行业示范引领价值。

### 3.4 技术应用存在的不足与改进方向

(1)现场应用中存在的短板问题。①采煤机过煤高度不足(实测约280mm),遇大块煤岩或垮落顶板碎矸时易发生溜槽卡堵,影响出煤连续性;②煤岩识别系统在夹矸层位突变时识别准确率仅约79%,远低于设计指标;③部分采区5G信号覆盖盲区存在数据丢包现象,远程操作偶发卡顿,影响控制可靠性;④液压支架跟机移架速度在倾角大于15°区段难以满足采煤机高速牵引要求。(2)后续技术迭代与工艺完善方向。①加快研制过

煤高度≥350mm的新一代薄煤层采煤机,增设集破碎与运输一体的过载分流装置,根治卡堵顽疾;②扩充不同夹矸类型的截割振动频谱样本库,引入CNN-LSTM混合神经网络模型,将识别准确率提升至92%以上;③加密补盲基站并升级至5G-A(5.5G)网络,建立双链路冗余通信机制,确保远程操控端到端时延小于20ms;④开展液压支架快速跟机算法优化,通过预测性移架控制将大倾角段跟机响应速度提升至与采煤机作业同步。

### 结束语

本文优化的薄煤层开采设备、工艺、安全及智能化技术,有效解决了传统开采的各类痛点问题,大幅提升了矿井生产效能、资源利用率与本质安全水平,取得显著的经济与社会效益。同时,研究发现智能识别精度、大倾角支护、通信覆盖等仍存在短板。后续需持续迭代智能算法、升级通信网络、优化设备性能,进一步完善薄煤层智能化开采体系,推动行业绿色高效、安全智能高质量发展。

### 参考文献

- [1]宋国利,赵云飞,曹宁宁.薄煤层综采工作面智能化关键技术与应用[J].煤炭工程,2024,56(05):68-73.
- [2]李涛,王浩,张磊.薄煤层大截深开采工艺优化及工程应用[J].中国矿业,2024,33(S2):204-207.
- [3]杨双双.薄煤层综采工艺优化与经济效益分析[J].工程技术与管理,2025,9(09):156-160.
- [4]黄廷选.机械化采煤技术在薄煤层中的应用研究[J].工程技术,2025,11(02):33-36.
- [5]袁永,屠世浩,陈忠顺.薄煤层智能开采技术研究现状与进展[J].煤炭科学技术,2023,51(08):245-252.