

智能化综放开采放煤工艺优化与资源回收率提升研究

李彦杰

山西襄矿集团有限公司

DOI:10.32629/jpm.v7i6.8938

[摘要] 综放开采是厚及特厚煤层高效开采的核心工艺，传统人工操控放煤存在时序混乱、煤矸识别不准、顶煤残留量大等问题，导致煤炭资源回收率偏低、混矸率超标。为破解行业开采痛点，本文依托煤矿智能化开采技术体系，分析传统综放放煤工艺的缺陷，针对性优化放煤时序、放煤方式及智能管控模式，构建煤矸智能识别、自适应放煤调控一体化工艺体系。结合矿井实测数据开展对比试验，验证工艺优化效果，为同类矿井工艺升级提供技术参考。

[关键词] 智能化开采；综放开采；放煤工艺；参数优化；资源回收率

[中图分类号] TD823

[文献标识码] A

Research on Optimization of Intelligent Comprehensive Release Mining Technology and Improvement of Resource Recovery Rate

Li Yanjie

Shanxi Xiangkuang Group Co., Ltd.

[Abstract] Comprehensive release mining is the core technology for efficient extraction of thick and extra-thick coal seams. Traditional manual release operations suffer from issues such as chaotic sequence timing, inaccurate gangue identification, and high residual roof coal content, resulting in low coal recovery rates and excessive gangue mixing ratios. To address these industry challenges, this study leverages the intelligent mining technology framework to analyze limitations of conventional release methods, optimize release sequencing, techniques, and intelligent control systems, and develop an integrated process system featuring intelligent gangue recognition and adaptive release regulation. Comparative experiments using field data validated the optimization effects, providing technical references for process upgrades in similar mines.

[Key words] intelligent mining; comprehensive open-cut mining; coal release process; parameter optimization; resource recovery rate

[Chinese Library Classification] TD823

[Document Code] A

引言

随着煤炭行业智能化转型推进，传统人工辅助放煤模式的局限性日益凸显，人工操作随机性大、参数匹配不合理，极易造成顶煤浪费、矸石混入等问题，制约资源利用率提升。当前智能放煤技术虽逐步应用，但存在工艺适配性不足、调控精度低、数据联动性差等短板，未能充分发挥智能化设备优势。基于此，本文结合现场开采工况，开展智能化综放放煤工艺优化研究，通过调整放煤核心参数、完善智能控制逻辑，精准提升煤炭资源回收率，助力矿井智能化、集约化开采发展。

1 传统综放放煤工艺资源损耗问题分析

1.1 传统工艺资源损耗成因深度分析

第一，放煤步距匹配失衡。放煤步距是决定顶煤垮落形态

与回收效果的核心参数，步距过大会导致采空区侧顶煤超前垮落，大量煤炭遗失；步距过小会造成放煤口上方顶煤压实、破碎不充分，形成永久性残留。传统工艺采用固定放煤步距，未根据煤层厚度、顶煤硬度、顶板岩性动态调整，是造成大面积顶煤损耗的主要原因。第二，人工判别精度局限性大。传统作业依靠操作人员目视观察放煤口物料状态，煤矸临界状态判别无量化标准。为规避原煤含矸超标、影响煤质指标，现场操作人员普遍存在“早关窗、少放煤”的保守操作习惯，大量未混杂矸石的优质顶煤随顶板垮落进入采空区，造成不可逆的资源浪费。同时不同操作人员技术水平、操作习惯存在差异，同一工作面放煤效果参差不齐，开采稳定性极差。第三，支架协同性不足。传统工作面各液压支架独立完成放煤作业，无协同

控制逻辑，相邻支架同步放煤易形成负压气流，加剧矸石涌入；错峰无序放煤则会造成架间煤体应力集中，形成三角残留煤体，长期无法回收。

1.2 传统工艺开采实测数据统计分析

为精准量化传统工艺的开采短板，排除地质波动、设备故

障、人为操作失误等干扰因素，选取晋北某矿 8103 智能化改造前综放工作面为研究对象。工作面采用传统双轮顺序放煤工艺，连续采集平稳生产 3 个月的运行数据，剔除检修、停产、故障天数，选取有效生产数据进行统计分析，核心开采指标如下表 1 所示。

表 1 传统综放开采工艺核心指标统计表

统计周期	顶煤回收率 (%)	混矸率 (%)	单架放煤时长 (s)	顶煤残留厚度 (m)
第 1 月	85.2	20.8	48	0.62
第 2 月	84.7	21.5	46	0.65
第 3 月	85.0	21.1	47	0.63
平均值	84.97	21.13	47	0.63

由实测统计数据可明确看出，传统综放开采工艺存在回收率偏低、含矸率偏高、残留量大三大突出问题。工作面顶煤平均回收率仅 84.97%，对于地质条件优良的特厚煤层工作面，资源浪费问题极为突出，远低于智能化综放开采 90%以上的行业优质指标。工作面原煤混矸率均值达到 21.13%，过高的含矸率不仅降低原煤热值、降低产品品质，还大幅增加地面洗选车间的筛分、破碎、洗选工作量，提升矿井生产能耗与加工成本。同时工作面平均顶煤残留厚度达 0.63m，大面积残留顶煤无法二次回收，造成煤炭资源永久性损耗，严重违背煤炭资源集约高效开采的行业要求。

2 智能化综放放煤工艺优化关键技术与方案

2.1 煤矸智能双重识别感知技术优化

为彻底摒弃人工主观判别模式，解决传统放煤煤矸识别精度低、标准不统一的问题，本次优化引入机器视觉+声波传感双重融合识别系统，搭建基于机器学习的智能判别模型，实现放煤口物料状态 24h 实时精准监测。视觉识别模块通过高清防爆摄像头实时采集放煤口下落物料图像，依托图像灰度处理、边缘检测、特征提取算法，区分煤炭与矸石的纹理、色泽、形态差异；声波传感模块利用高精度振动传感器捕捉物料下落冲击产生的声波频率与振幅特征，基于煤、矸物理硬度差异形成的独有声波图谱，实现双重校验识别。双系统数据实时同步至工作面智能控制平台，通过训练完成的深度学习模型自动判别纯煤、煤矸混合、纯矸三种工况，整体识别精度可达 98%以上，远超人工判别水平。同时建立量化放煤调控阈值体系，替代人工经验判断：物料实时混矸率低于 15%时系统持续全速放煤；混矸率处于 15%~20%临界区间时，自动降低支架放煤窗口开合度、放缓放煤速度，实现匀速稳放；混矸率超过 20%时立即自动关闭放煤窗口，终止单架放煤作业。该阈值体系兼顾资源最大化回收与原煤品质管控，有效平衡回收率与含矸率的对立关系，杜绝人工保守操作造成的资源浪费和粗放操作导致的煤质超标问题。

2.2 放煤核心工艺参数动态自适应优化

传统固定参数放煤模式无法适配动态地质工况，是资源损

耗的核心诱因。本次研究基于工作面顶煤垮落力学规律、围岩应力演化特征，对放煤步距、放煤轮次、放煤时长三大核心参数进行系统化、差异化优化，建立地质工况匹配型动态参数调控机制。优化摒弃单一固定放煤模式，创新采用分区多轮间隔放煤工艺。根据工作面煤层厚度实测数据进行分区分管：煤层厚度大于 9m 的厚煤区域，采用四轮间隔递进放煤工艺，通过多次小幅放煤实现顶煤逐层均匀垮落，避免一次性大规模垮落造成的架间残留与矸石涌入；煤层厚度 6~9m 的常规区域，采用三轮间隔放煤工艺，平衡开采效率与回收效果；工作面两端头支护复杂区域，采用单轮精准补放工艺，解决端头顶煤难以回收的行业难题。放煤步距优化为 0.8m，与工作面采煤机割煤步距精准匹配，实现工序无缝衔接，保证顶煤随工作面推进有序垮落，彻底解决步距不匹配导致的超前丢煤、滞留在煤问题。同时取消传统固定 47s 单架放煤时长模式，建立动态时长调控模型：系统根据实时顶煤破碎程度、垮落速度、物料纯度，自动增减放煤时长，顶煤破碎充分、煤质纯净区域缩短作业时长，顶煤整体性强、垮落缓慢区域适当延长放煤时间，保证每一架支架顶煤充分回收、无残留、少混矸。

2.3 多支架协同智能放煤控制系统构建

针对传统单架独立放煤、时序混乱、协同性差的问题，依托工作面 5G 高速通信、电液智能控制、数据云端传输技术，搭建多支架单元协同放煤控制系统，实现工作面放煤作业标准化、有序化、智能化管控。系统将工作面液压支架划分为若干作业单元，以 6 架支架为一个基础协同单元，采用“单元错峰、递进有序、整体联动”的放煤策略。同一单元内支架间隔错峰放煤，避免相邻支架同时放煤产生的气流扰动与应力叠加，杜绝矸石集中涌入和三角残留煤体形成；各单元沿工作面走向递进作业，保持整体开采节奏统一，实现全工作面顶煤同步、均匀、充分垮落。同时启用智能记忆迭代放煤功能，控制系统自动存储不同煤层厚度、不同顶板条件、不同开采阶段的最优放煤参数，形成矿井专属工艺参数数据库。在后续开采过程中，系统可根据实时地质工况自主调取匹配最优工艺方案，实现无人干预自适应放煤。同时具备参数迭代优化能力，通过持续采

集开采数据、对比作业效果，不断修正调控参数，实现工艺体系持续优化升级，大幅提升智能化放煤的工况适配性与开采稳定性。

3 工艺优化效果对比与数据分析

3.1 工业试验方案设计

为保证工艺优化效果数据真实有效、对比严谨，本次工业试验选取 8103 综放工作面作为试验场地，严格遵循单一变量试验原则。试验期间保持工作面采煤机割煤速度、支护强度、设备运行参数、通风系统、生产管理制度等所有外部条件不变，

表 2 工艺优化前后开采指标对比表

工艺类型	顶煤回收率 (%)	混矸率 (%)	单架平均放煤时长 (s)	平均顶煤残留厚度 (m)
传统工艺	84.97	21.13	47	0.63
智能优化工艺	92.85	14.62	42	0.21
优化差值	+7.88	-6.51	-5	-0.42

通过数据对比分析可得出明确优化结论：

第一，资源回收效率大幅提升。工艺优化后工作面顶煤回收率由 84.97%提升至 92.85%，整体提升 7.88 个百分点，提升幅度极为显著。原本大量滞留于架间、采空区的顶煤得到充分回收，彻底改善了传统工艺资源浪费严重的问题，极大提升了煤炭资源利用率，实现了资源集约化开采。第二，原煤品质显著改善。工作面混矸率由 21.13%下降至 14.62%，下降幅度 6.51 个百分点。智能煤矸识别系统的精准管控，有效规避了过量放煤导致的矸石混入问题，原煤纯度大幅提升，不仅提高了原煤热值与产品等级，还显著降低了后续洗选加工的人力、物力、能耗成本。第三，开采作业效率稳步提升。单架平均放煤时长由 47s 缩短至 42s，单架作业效率提升 10.6%。智能化动态调控模式简化了作业流程、减少无效作业时间，在保证放煤质量的前提下提升了工作面整体推进速度，为工作面高产高效生产提供保障。第四，顶煤残留问题彻底改善。工作面平均顶煤残留厚度由 0.63m 降至 0.21m，残留厚度减少 0.42m，绝大多数区域顶煤垮落回收彻底，仅局部微小区域存在少量残留，从根本上解决了传统综放顶煤残留量大、资源损耗高的行业痛点。

3.3 工艺优化综合效益深度分析

一是资源效益。煤炭属于不可再生战略资源，回收率提升具备极高的资源价值与战略意义。根据工作面产能核算，工艺优化后该工作面每年可新增回收优质煤炭资源约 1.2 万 t，按照矿井年均生产能力测算，资源利用率得到质的提升，有效延长了矿井可采服务年限，最大限度盘活了煤炭资源储量，完全契合国家煤炭绿色开采、资源节约集约利用的发展政策。二是经济效益。一是提质增收效益，原煤混矸率大幅下降，商品煤合格率显著提升，煤炭产品市场竞争力增强，直接提升矿井销售收益；二是降本增效效益，洗选车间矸石处理量大幅减少，设备磨损、水电能耗、人工成本显著降低；三是减人提效效益，智能放煤工艺实现少人化、无人化作业，工作面放煤岗位可减

仅替换为优化后的智能化放煤工艺。试验周期同样设置为 3 个月，筛选平稳生产时段的有效数据，排除设备检修、地质构造影响、人为干预、停产整改等特殊数据，与优化前传统工艺的实测数据进行横向对比，重点对比顶煤回收率、混矸率、放煤效率、顶煤残留厚度四大核心指标，量化工艺优化的提质、增效、降耗效果，验证智能化工艺的可行性与优越性。

3.2 优化前后核心指标数据对比分析

经过三个月工业试验，智能化优化工艺下工作面开采指标得到全方位提升，优化前后核心生产数据对比结果如下表 2 所示。

少 2 名操作人员，降低井下人工成本与薪酬支出。同时平稳可控的智能化放煤模式，减少了矸石冲击对刮板输送机、液压支架的损伤，设备故障率下降 12%，设备运维成本大幅降低，综合经济效益十分可观。三是安全与社会效益。传统人工放煤需要人员长期在工作面观察作业，存在落煤、片帮、粉尘超标等安全风险。智能化无人放煤模式实现了井下岗位减人、危险岗位无人，从源头降低了井下作业安全隐患，提升工作面本质安全水平。同时高效集约的开采模式，减少了煤炭资源浪费与废弃矸石排放，降低矿山生态开采损耗，助力绿色矿山、智能矿山建设，具备良好的行业示范效应与社会价值。

4 结束语

本文依托智能化煤矿技术体系，从煤矸识别、参数优化、协同控制三个维度完成工艺体系全面优化，构建了自适应智能化放煤作业模式。现场工业试验数据证实，优化工艺可显著提升顶煤回收率、降低混矸率、减少顶煤残留，有效解决了传统放煤工艺的核心短板。本次研究形成的分区动态放煤工艺与智能管控方案，适配厚煤层复杂开采工况，为同类矿井智能化综放工艺升级、资源回收率提升提供了可靠的技术借鉴，对推动煤炭行业智能转型、资源高效绿色开采具有重要实践价值。

[参考文献]

- [1]张昭景,丁军,张帅. 智能化综放工作面自动放煤技术的研究与应用[J].信息与电脑,2025,37 (8):84-86.
- [2]李正杰,陈万辉,周鹏,等. 特厚煤层综放开采合理放煤工艺参数研究[J].煤炭工程,2024,56 (7):22-27.
- [3]那建勇. 综放工作面智能化放煤工艺研究[J].矿业装备,2023, (3):34-36.
- [4]马昆,翟文. 智能综放工作面自动化放煤工艺分析与研究[J].中国煤炭,2021,47 (8):34-40.
- [5]吴桐,尉瑞,刘清,等. 综放工作面智能放煤工艺研究及应用[J].工矿自动化,2021,47 (3):105-111.