

现代化工

煤矿采矿工程中高效开采技术的研究与应用

赵瑞杰 任晓芳

山西襄矿晋平煤业有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i11.8544

[摘要] 随着我国能源结构的不断调整与优化,煤炭仍在短期内占据主要能源地位,煤矿资源的高效、安全、绿色开采成为行业发展的重要方向。传统采矿方式存在采出率低、安全隐患大、环境影响严重等问题,已难以满足现代煤炭工业对效率与可持续性的双重要求。本文从高效采矿技术的分类出发,系统分析了现代煤矿开采中常见的技术手段,包括综采自动化、液压支护系统、智能化监测、无人化开采技术等,探讨其在实际应用中的优势与挑战。通过典型案例研究,本文进一步总结高效开采技术在提升采矿效率、保障生产安全和降低环境负担方面的积极作用,提出未来煤矿采矿工程中应注重技术集成、数据智能化和绿色矿山建设,实现煤炭工业的转型升级。

[关键词] 煤矿采矿工程; 高效开采技术; 应用

[中图分类号] TD82

[文献标识码] A

Research and Application of Efficient Mining Technology in Coal Mining Engineering

Zhao Ruijie Ren Xiaofang

Shanxi Xiangkuang Jinping Coal Industry Co., Ltd.

[Abstract] With the continuous adjustment and optimization of China's energy structure, coal still occupies the main energy position in the short term, and the efficient, safe, and green mining of coal resources has become an important direction for industry development. The traditional mining method has problems such as low extraction rate, high safety hazards, and serious environmental impact, which are difficult to meet the dual requirements of efficiency and sustainability in modern coal industry. Starting from the classification of efficient mining technology, this article systematically analyzes the common technical means in modern coal mining, including comprehensive mining automation, hydraulic support system, intelligent monitoring, unmanned mining technology, etc., and explores their advantages and challenges in practical applications. Through typical case studies, this article further summarizes the positive role of efficient mining technology in improving mining efficiency, ensuring production safety, and reducing environmental burden. It proposes that in future coal mining engineering, attention should be paid to technology integration, data intelligence, and green mining construction to achieve the transformation and upgrading of the coal industry.

[Key words] coal mining engineering; Efficient mining technology; application

引言

煤炭作为我国传统的基础能源,长期支撑着国民经济的快速发展。尽管近年来新能源不断兴起,煤炭的主体能源地位在可预见的未来仍无法完全替代。与此同时,煤矿资源逐渐向深部延伸,开采环境复杂程度不断提升,如何实现安全、高效、绿色的煤矿开采,成为煤炭工业亟需破解的重要课题。传统采矿工程多以人工操作为主,存在劳动强度大、人员安全风险高、

机械效率低等问题,且在资源回收率与生态保护方面亦存在明显短板。随着科技的发展,尤其是信息化、自动化、智能化技术的融合应用,煤矿开采正逐步迈向高效化、智能化与绿色化。本文聚焦煤矿采矿工程中的高效开采技术,深入研究其技术体系与实践应用价值,旨在为我国煤矿行业的技术创新与可持续发展提供理论支持与实践参考。

1 高效开采技术的内涵与意义

高效开采是煤矿采矿工程发展的核心方向，其不仅强调提高单位时间内的产出效率，更注重资源利用的最大化、安全生产的保障及生态环境的可持续发展。通过引入自动化设备、智能控制系统和信息化手段，高效开采实现了对采矿全过程的精准调控，极大提升了作业效率与管理水平。在资源回收方面，高效技术通过科学设计采掘工艺，有效减少煤柱损失与夹矸率，提升回采率；在安全生产方面，智能化监测系统实时掌握矿压变化、瓦斯浓度、设备运行状态，大幅降低了安全事故发生率；在环境保护方面，绿色采矿理念促使企业在水资源利用、固废排放及地表生态修复上持续优化，减轻开采活动对环境的破坏；高效开采顺应国家关于“智慧矿山”“绿色矿山”建设的政策导向，是推动煤炭行业高质量发展的重要支撑力量。

2 煤矿采矿中高效开采关键技术研究

2.1 综采自动化技术

综采自动化技术已成为煤矿高效、安全开采的核心手段之一，其技术体系集成了自动化采煤机、液压支架智能控制系统、可伸缩皮带输送系统以及分布式传感器网络。整个系统以 PLC（可编程逻辑控制器）为控制中枢，通过传感器采集采掘面煤层厚度、设备运行状态、顶板压力、瓦斯浓度等多维度数据，实现设备协同联动与智能响应。操作人员仅需在地面调度中心通过远程平台进行控制，即可实现对采煤作业全过程的可视化管理与自动执行，极大减轻了井下作业强度和安全风险，尤其在恶劣地质条件下体现出显著优势。在山西某特大型矿区，该技术实施后不仅提升了 20% 以上的年产煤量，还将事故发生率大幅下降，有效缓解了传统模式下的人力紧张与安全管理难题。更重要的是，综采自动化的推广为未来智能化矿山建设提供了清晰的技术路径，构建了人机协同、数据驱动的开采新模式，实现“少人则安、无人则优”的目标正在逐步变为现实，为我国煤矿行业向智能、高效、安全发展提供了强有力支撑。

2.2 液压支护与快速移架技术

液压支护设备作为综采作业中最关键的支撑设施之一，其技术升级直接影响采掘效率、顶板稳定性及作业人员安全。近年来，新一代液压支架在结构强度、控制逻辑和故障自检方面均有显著突破。例如，部分高端液压支架系统集成高压控制模块、位移感知装置和油压监测单元，使移架动作更加精准高效，并可实现“随采即支”的动态同步，有效提高作业连续性和支护可靠性。相比传统手动移架方式，快速移架技术大幅缩短了作业停顿时间，提升了连续作业能力，降低了由于人为因素造成的操作误差。此外，其自诊断系统能实时反馈各支架运行状态，对故障点自动报警并记录，便于快速检修与远程诊断，减少因支护系统失效造成的生产中断和安全隐患。在实际应用中，该技术显著优化了工作面的节奏与安全保障，特别适用于深部、高应力区等复杂地质条件下的连续、高效开采，为提升矿井整体生产效率和作业安全性提供了坚实保障。

2.3 智能监测与数据分析系统

煤矿作业环境的高危特性对安全监控与预警提出更高要求。传统依赖人工巡查与经验判断的方式已难以应对日益复杂和动态变化的地下环境风险，尤其在深部开采和复杂地质条件下更显不足。而智能监测系统则通过部署多类型传感器于采掘面、巷道、回风口、电气设备、主运输系统等关键节点，实现了对瓦斯浓度、顶板应力、煤尘浓度、温湿度、电机负载、电缆温升等多个核心指标的全天候、实时采集与记录。结合物联网与无线通信技术，系统可将大规模、多维度的感知数据高效上传至云平台，并借助边缘计算设备在本地实现快速处理、智能分析与实时预警响应，避免因延迟导致信息滞后。数据平台通过算法模型分析历史趋势、行为特征和实时变化，能够对潜在风险提前 48 小时发出预警提示，有效提升事故防控能力并赢得宝贵处理时间。此外，系统还具备故障诊断、隐患识别、自动报表生成、远程巡检及智能联动控制等多种功能，显著减轻了人工管理压力，提升了调度效率和科学决策水平。在一些智能化示范矿井中，该系统已成为运维管理的“神经中枢”，实现了从“经验管理”向“数据驱动”的根本转变，其广泛普及将推动煤矿安全生产水平实现系统性跃升，为构建本质安全型、智能型矿山提供坚实的技术支撑与可行的实践基础。

2.4 无人化开采与远程控制技术

无人化开采与远程控制技术作为煤矿智能化发展的关键标志，正在深刻改变传统采掘作业模式。随着智能制造、人工智能、5G 通信以及工业互联网的持续突破，煤矿作业正从“人到现场”逐步过渡到“远程操控、无人值守”的新阶段。在瓦斯含量高、地压强烈、地质条件复杂的矿井，布设具备自主导航与作业能力的掘进机器人、全自动转载设备、智能运输系统等，已成为提高安全性与作业效率的重要路径。这些设备通过中央智能调度系统统一管控，依托低延迟、高带宽的 5G 网络，实现远程高清视频监控与精准控制指令传输，保障操作的实时性与稳定性。作业人员在地面控制中心即可远程完成采煤、运输等作业环节，彻底摆脱对井下恶劣环境的依赖，从根本上降低了作业人员的职业风险。然而，该技术仍面临一些技术难题，例如井下复杂巷道对信号传输造成干扰，导致数据延迟或中断，此外高精度定位技术在井下环境中稳定性不足，也影响作业设备的精准调度。但随着边缘计算节点、中继信号基站及 AI 算法的不断优化，上述问题正在逐步解决。可以预见，无人化采掘不再是概念性探索，而是煤矿从“机械化换人”走向“智能化无人”的现实转型，是未来高效、安全、可持续开采的必由之路。

3 高效开采技术的实际应用效果分析

3.1 资源回收效率提升

在传统采矿作业中，由于采掘路径设计不合理、地质信息掌握不足，往往导致大量煤柱保留和资源浪费。而高效开采技

术依托精准勘探、三维地质建模及智能化采掘控制系统，可实现对煤层层位的精准定位与跟踪，优化采掘路径设计，降低误采、漏采率。同时，通过调控采煤机割煤参数与支架推进速度的协同配合，最大限度减少煤炭损耗，提高回采率。在多个国家级智能矿山试点中数据显示，应用高效开采技术后，煤炭资源的回收率平均提升了5%至15%，部分地质条件稳定的矿井甚至突破20%。这一提升不仅意味着资源的充分利用，更直接关系到企业的经济效益与矿区服务年限的延长，具有显著的战略意义。尤其在资源日益紧张的大背景下，提升资源回收效率是实现煤炭行业可持续发展的关键环节。

3.2 作业安全水平提升

安全是煤矿生产的生命线，而高效开采技术的推广正深刻改变着作业人员的劳动方式与风险暴露水平。在传统模式下，工人需深入采掘面进行机械操作与支护作业，常面临瓦斯爆炸、顶板垮塌等多重风险。而随着综采自动化、智能监测与远程操控技术的引入，大量高风险岗位实现了“人退机进”，作业人员逐步转向井上操作与数据分析工作。系统能够对设备运行状态、环境参数进行全天候监测，并在风险指标触发前预警，有效降低突发事件的发生概率。据部分示范矿井的统计数据显示，重大事故发生率较改造前下降60%以上，作业轻伤和重伤的比例均呈现明显下降趋势。安全作业不仅保护了矿工生命健康，也减轻了企业在事故赔偿、生产中中断等方面的压力，从根本上提升了企业的风险管控能力。

3.3 运营成本与效益提升

尽管高效开采技术在初期需要较大的资本投入，如高性能采掘设备、智能化系统、人员培训与维护体系建设，但从矿井全生命周期运营来看，其带来的效益是持续且显著的。高效设备具有更长的使用寿命与更低的故障率，自动化作业减少了停机等待时间和人工干预频次，进一步降低维护成本。此外，系统化管理提升了排产效率和产量稳定性，使得单位产出的边际成本下降。在某些智能矿井的经济效益评估中显示，经过前期两到三年的成本回收期后，企业年均综合运营成本下降幅度可达12%至18%。同时，高效开采还可减少安全事故与环保罚款等隐性支出，从而构建出更具竞争力和可持续性的盈利模式。对于正面临转型升级压力的煤炭企业而言，这是一项具备长期战略价值的投资。

3.4 绿色环保效应增强

随着环保法规的日趋严格与公众环保意识的不断提升，煤矿绿色开采已经成为企业发展的必由之路。高效开采技术在环保方面的优势日益凸显，尤其在粉尘、噪声与固废治理方面成效显著。通过引入煤矸石智能识别系统，能够在采掘过程中精准分离煤与矸石，减少选煤环节负担及废石处理成本。同时，智能喷雾降尘系统可根据实时粉尘浓度自动调节喷雾强度与范围，显著降低作业环境中的扬尘浓度，提升作业区空气质量。

此外，新型低噪设备与密闭运输系统也减少了噪声对井下及周边环境的扰动。在一些绿色矿山示范区，植被修复、水资源循环利用与地表生态重建工程已与高效技术深度融合，构建起“边开采、边治理”的生态闭环。这不仅有助于企业获得绿色认证与政策支持，更塑造了良好的社会形象与长期发展基础。

4 存在的问题与技术发展趋势

尽管高效开采技术在多个矿区已取得显著成效，但在推广应用过程中仍面临不少现实阻力。首先是技术适配问题，许多老旧矿井受限于基础设施陈旧，难以支撑新设备接入和系统联通，改造成本高、周期长。其次是投入门槛较高，尤其对于中小型煤企而言，智能化设备采购、系统构建及人员培训费用对财务造成较大压力。此外，智能矿山运维对人才要求高，而当前行业整体面临技术人才紧缺问题，专业工程师、数据分析师等岗位招聘困难，直接影响系统的运行效果和维护效率。再者，不同系统之间常因数据标准不统一、接口封闭等问题形成“信息孤岛”，阻碍了智能矿山的整体联动与数据共享。

面对这些挑战，煤矿高效开采技术正向融合化、标准化、绿色化方向持续演进。一方面，采矿设备与系统日益向AI、5G、边缘计算等新技术融合发展，提升现场感知与智能决策能力；另一方面，绿色矿山理念不断深化，强调在采掘全过程中加强生态修复、水资源管理与固废利用，实现开发与保护的平衡。同时，模块化与平台化逐渐成为行业主流方向，不同功能模块可灵活部署、快速替换，提升系统兼容性。未来，数据将成为矿山运营的核心资产，通过大数据分析实现精准调度、远程诊断和预测性维护，推动煤矿管理模式迈向智能闭环。

结束语

煤矿采矿工程正处于从传统作业模式向智能化、绿色化、高效化深度转型的关键阶段。本文通过对高效开采技术的系统梳理与典型案例分析，揭示了该类技术在提升资源利用率、保障生产安全和促进绿色矿山建设方面的重要价值。虽然在推广过程中仍面临技术适应性、资金压力和人才短缺等问题，但随着国家政策的支持与科技进步的持续推进，高效开采技术将在更广范围内实现应用落地。未来，煤矿采矿工程将朝着更加智能、高效、安全、生态的方向不断迈进，为我国煤炭行业的高质量发展提供坚实支撑。

[参考文献]

- [1]周函.煤矿开采技术条件与采掘工艺探讨[C]//中国智慧工程研究会.2024工程技术应用与施工管理交流论文集(上).陕西彬长大佛寺矿业有限公司.2024.058630.
- [2]王亮,张鹏,李林杰.煤矿工程采矿技术与安全管理策略分析[J].内蒙古煤炭经济,2024,(16):88-90.DOI:10.13487/j.cnki.imce.025743.
- [3]程玉茂.煤矿采矿工程中的采矿工艺与技术[J].能源与节能,2024.06.050.