

复杂赋存条件下薄煤层智能化综采设备选型 与采高控制技术优化

白亮

鄂尔多斯市蒙泰煤炭产业有限责任公司 内蒙古鄂尔多斯 017000

摘要: 在鄂尔多斯地区复杂地质条件下,薄煤层(厚度 $\leq 1.3\text{m}$)开采面临设备适应性差、采高控制精度低等难题。本文结合鄂尔多斯煤矿工程实践,针对薄煤层智能化综采设备选型关键参数及采高控制技术展开研究,提出基于“地质条件-设备性能-工艺需求”耦合的选型方法,构建多源数据融合的采高动态调控模型。通过工程验证,设备协同效率提升40%,采高控制精度达 $\pm 3\text{cm}$,为同类矿区薄煤层高效开采提供技术参考。

关键词: 薄煤层;智能化综采;设备选型;采高控制;鄂尔多斯

引言

薄煤层储量在鄂尔多斯煤田总储量中占比达25%,由于其煤层厚度普遍小于1.3m,且受地质构造运动、沉积环境变迁等因素影响,煤层厚度变化频繁,断层、褶皱等地质构造错综复杂,致使开采难度急剧攀升。大量煤炭资源因开采技术瓶颈而被遗弃,资源浪费现象极为严重,不仅造成了资源的极大损失,也对煤炭产业的可持续发展构成了严峻挑战。随着科技的飞速发展,智能化综采作为煤炭开采领域的发展趋势,为解决复杂赋存条件下薄煤层开采难题提供了新的契机与技术路径。本文紧密依托煤矿智能化改造的实际需求,深入聚焦薄煤层智能化综采设备选型与采高控制技术优化这两大关键问题,通过多学科交叉融合,综合运用理论分析、数值模拟、工程实践等研究方法,旨在突破复杂赋存条件下薄煤层开采的技术瓶颈,实现薄煤层安全、高效、智能开采,为鄂尔多斯地区乃至全国同类矿区薄煤层开采提供可借鉴的技术方案与实践经验。

一、复杂赋存条件对薄煤层开采的影响分析

(一) 地质赋存特征与开采难点

鄂尔多斯地区薄煤层地质条件复杂,对开采作业构成诸多挑战。该区域薄煤层平均厚度处于0.8-1.3m之间,然而,受复杂地质构造运动影响,局部地段煤层厚度波动显著。在一些断层附近煤层厚度会骤降至0.6m,这使

得采煤机在截割作业时,难以规划出稳定、高效的截割路径。采煤机需频繁调整截割参数,增加了设备操作的复杂性与故障率,严重影响开采效率。

该地区薄煤层直接顶多为泥岩或砂质泥岩,抗压强度一般 $\leq 5\text{MPa}$ 。在开采过程中顶板极易发生垮落,对作业人员和设备安全构成严重威胁。为有效控制顶板支架支撑效率需大幅提升,相比常规开采条件需提升20%以上。若支架支撑效率不足,在顶板压力作用下会出现下沉、开裂等现象,进而引发冒顶事故,导致开采作业中断造成人员伤亡^[1]。

薄煤层开采空间受限问题突出,作业高度通常 $\leq 1.5\text{m}$,这对采煤设备的尺寸匹配提出了严苛要求。传统采煤机机身高度一般在0.9-1.2m,液压支架最小支撑高度在1.0-1.3m,若两者高度不能精准匹配,在狭窄的开采空间内,设备极易出现卡滞现象。采煤机与液压支架之间的间隙过小,会导致采煤机运行受阻,无法正常进行截割作业;而间隙过大则会影响支架对顶板的有效支撑,增加顶板垮落风险。

(二) 现有装备与技术短板

现有采煤装备在复杂赋存条件下适应性不足,以常规MG2 \times 100型采煤机为例,其功率仅为200kW,面对坚硬煤岩时破岩能力明显不足。在过断层等地质构造时截割效率大幅下降,这不仅导致开采进度缓慢,还会使采煤机截齿磨损加剧增加设备维护成本。当前采高控制技术相对滞后,主要依赖人工跟机模式。在这种模式下支架移架操作滞后于采煤机3-5架,导致煤壁片帮率高达15%。煤壁片帮不仅会造成煤炭资源浪费,还会增加作业人员清理片帮煤炭的工作量,降低开采效率。人工

作者简介: 白亮(1984.10--),男,汉族,内蒙古自治区鄂尔多斯市准格尔旗人,本科,研究方向为采矿工程。

调整采高时响应时间较长,难以适应复杂多变的薄煤层地质条件。在煤层厚度快速变化时,由于采高调整不及时采煤机易出现割岩现象,加剧设备磨损缩短设备使用寿命^[2]。

二、智能化综采设备选型关键技术

(一) 核心设备选型原则与参数优化

1. 采煤机选型: 功率与尺寸双约束匹配

采煤机作为薄煤层智能化综采的核心设备之一,其选型直接关系到开采效率与质量。煤层硬度是影响采煤机选型的关键因素之一,通过现场采样与实验室测试鄂尔多斯地区薄煤层硬度 f 处于3-4之间,属于中硬煤层。基于此采用“功率=煤层厚度×截割阻力系数”的选型公式,经计算分析,优选MG2×200/930-WD型采煤机。该型号采煤机功率达400kW,机身高度仅为883mm,在满足破岩需求的同时,能有效适应薄煤层狭小空间作业。其截割高度范围为1.25-2.2m,与鄂尔多斯地区0.8-1.8m厚度的薄煤层高度适配性良好。在实际应用中该采煤机轻量化机身设计(整机质量38t)有效减少了设备运行过程中的振动,提高了设备运行的稳定性。其搭载的变频调速系统响应时间极短,在过地质构造时能够快速自动调节截割速度。在某煤矿过断层作业时采煤机通过自动调节截割速度,顺利通过了断层区域保障了开采作业连续性。

2. 液压支架选型: 高刚度与自适应协同设计

液压支架的选型对于控制顶板、保障开采安全至关重要。薄煤层顶板载荷一般在0.6-0.8MPa,为有效控制顶板选用ZY6000-0.8/1.6型两柱掩护式支架。该支架最小支撑高度为0.8m,工作阻力高达6000kN,能够为顶板提供强有力的支撑^[3]。通过优化设计顶梁厚度缩减至200mm,在保证强度的同时增加了横向人行空间,人行空间相比传统支架增加了600mm,方便了作业人员在工作面的通行与设备维护。该支架集成了先进的智能传感技术,配备倾角传感器(精度 $\pm 0.5^\circ$)与行程传感器(分辨率1mm),能够实时监测支架的姿态与工作状态。基于传感器数据支架可实现自动调整,确保了支架在移架过程中的精准性与稳定性,有效提高了支架对顶板的支护效率,降低了顶板垮落风险。

3. 刮板输送机选型: 低高度与高强度设计

刮板输送机是煤炭运输的关键设备,在薄煤层开采中其结构设计需充分考虑空间限制与运输能力需求。采用SGZ-800/800型刮板输送机,将中部槽高度降至650mm,有效降低了设备高度,适应了薄煤层开采空间

受限的条件。该输送机配备高强度扁平链,相比传统链条强度大幅提升,有效解决了传统设备在薄煤层开采中易出现的上飘问题,保障了煤炭运输的稳定性。其运输能力可达800t/h,能够满足1.5m/s高速截割时的煤炭运输需求。

(二) 设备协同配套技术

为确保“采煤机-支架-输送机”在狭小的薄煤层空间内安全、高效运行,建立三维空间约束模型。通过对设备尺寸、运行轨迹等参数的精确计算与模拟分析,确定设备之间的最小安全间距 $\geq 200\text{mm}$ 。利用数字孪生技术,对设备配套方案进行虚拟仿真验证。在虚拟环境中模拟设备在不同工况下的运行状态,提前发现并消除设备之间的干涉风险。基于多源传感器对煤层厚度的实时监测数据,建立采煤机截割功率与输送机运输速度的联动调节机制。当煤层厚度发生变化时系统自动根据煤层硬度、采煤机截割负载等参数,动态调整采煤机截割功率,同时相应地调节输送机运输速度,确保两者功率耦合误差控制在 $\pm 5\%$ 以内。

三、采高控制技术优化与系统集成

(一) 多源数据融合的采高预测模型

为实现薄煤层采高的精准预测,构建多源数据融合的采高预测模型,融合激光雷达、惯导系统及煤层厚度探测雷达数据。在某煤矿3101薄煤层工作面,通过高精度激光雷达(精度 $\pm 2\text{mm}$),以5Hz的扫描频率对采煤机前方煤层进行实时扫描,获取大量点云数据详细记录煤层表面的细微起伏。利用惯导系统持续监测采煤机的姿态变化,确保采煤机运行状态的精确感知。煤层厚度探测雷达(穿透深度0.5m)则以20Hz的频率对煤层内部结构进行探测,获取煤层厚度信息。通过这些多源数据的融合构建出 $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$ 网格精度的煤层三维模型,模型详细呈现了煤层的起伏变化、厚度分布等信息。在模型构建过程中采用先进的算法对不同传感器的数据进行处理和融合,确保数据的准确性和一致性。利用点云配准算法将激光雷达点云数据与惯导系统数据进行配准,使两者在同一坐标系下进行融合,从而准确反映煤层与采煤机的相对位置关系^[4]。

在采高预测算法方面,采用先验概率预测(BP神经网络)与似然概率修正(卡尔曼滤波)结合的混合算法。通过对大量历史数据的学习,BP神经网络能够根据当前的地质条件和设备运行参数,提前5m预测煤层厚度变化预测准确率可达90%。在遇到煤层厚度变化时卡尔曼滤波算法能够根据最新的传感器测量数据,对预测结果进行实时修正进一步提高预测精度,使采高规划有效率

≥90%。当煤层厚度出现异常变化时卡尔曼滤波算法能够迅速捕捉到这些变化,并对预测结果进行调整,确保采煤机能够提前做好采高调整准备,避免因采高不当而导致的割岩或欠采现象。

(二) 工艺驱动的采高动态调控方法

在薄煤层智能化综采过程中为实现采高的动态精准调控,采用工艺驱动的采高动态调控方法,以采煤机截割路径为主动量,液压支架随动移架为从动量,通过“工艺-工序-参量”驱动引擎,实现“割煤-移架-推溜”三工序同步。在某煤矿实际开采过程中,通过该驱动引擎,采煤机的截割速度与液压支架的移架速度实现了精准匹配,滞后时间缩短至1架(约1.5m),有效提高了综采作业的连续性与效率。当采煤机以3m/min的速度进行截割作业时,液压支架能够根据采煤机的位置和姿态,以0.5m/min的速度及时进行移架操作确保支架对顶板的有效支撑,减少顶板垮落风险。在移架过程中通过对支架的姿态和位置进行实时监测和调整,保证支架的稳定性和支护效果。利用倾角传感器和行程传感器实时监测支架的倾角和行程,当发现支架姿态异常时自动调整支架的支撑力和位置,确保支架与顶板紧密贴合有效控制顶板下沉。

(三) 数字孪生可视化监控系统

为实现对薄煤层智能化综采工作面的全面、实时监控,基于Unity3D构建1:1工作面数字孪生模型。在某煤矿4102薄煤层工作面通过高精度传感器,以10Hz的频率实时采集设备位置、姿态及运行参数等数据,并将这些数据同步至数字孪生模型中。模型能够实时、精准地展示设备的运行状态,设备位置精度可达±10mm,三维场景刷新频率≥30Hz,为操作人员提供了直观、准确的工作面信息^[5]。

在实际应用中操作人员可以通过数字孪生模型,实时查看采煤机的截割位置、液压支架的支撑状态、刮板输送机的运输情况等,及时发现设备运行中的异常情况并采取相应的措施进行处理。当采煤机出现故障时,数字孪生模型能够立即发出警报并显示故障位置和原因,帮助维修人员快速定位和解决问题,减少设备停机时间提高生产效率^[6]。通过AI算法自动识别煤岩分界,在某煤矿实际开采中识别准确率≥95%。基于识别结果系统能够动态生成最优截割轨迹,减少人工干预频次70%以

上。当采煤机遇到煤岩分界时AI算法能够快速、准确地识别出煤岩界面并根据煤岩的硬度和厚度等参数,自动调整采煤机的截割速度、截割深度和截割角度,生成最优的截割轨迹,实现高效、安全的煤炭开采。在过断层等地质构造时AI算法能够根据地质条件的变化,实时调整截割轨迹避免采煤机过度截割岩石,减少设备磨损提高煤炭开采的安全性和效率。

结语

随着5G、人工智能、大数据等新兴技术的不断发展,薄煤层智能化开采技术将迎来更广阔的发展空间。后续研究可进一步聚焦以下方向:一是深化5G+AI技术在薄煤层开采中的应用,通过构建设备故障预测与健康管理系统,实现设备故障的提前预警与智能诊断,进一步提升设备运行的可靠性和稳定性。二是探索无人化集群控制技术,实现采煤机、支架、输送机等设备的自主协同作业,打造真正意义上的无人化工作面,彻底消除人员在井下作业的安全风险,提高煤炭开采的安全性和效率。三是加强与绿色开采技术的融合,注重环境保护,实现煤炭资源的可持续开发利用,推动煤炭行业向绿色、智能、可持续方向迈进。

参考文献

- [1] 刘志鑫, 姜辉 & 彭涛. (2025). 薄煤层综采远程可视智能化成套技术的应用分析. 矿业装备, (06), 110-112.
- [2] 李金玲, 穆海宏 & 杜子龙. (2025-05-15). 薄煤层智能开采, 黄陵矿业如何领先国际?, 延安日报, 003.
- [3] 寇辉. (2025). 煤矿薄煤层智能化综采工艺技术及装备改进. 内蒙古煤炭经济, (08), 124-126. <https://doi.org/10.13487/j.cnki.imce.026657>.
- [4] 杨强, 单少翌 & 刘志鑫. (2024). 基于单片机的薄煤层综采远程可视智能化系统分析. 今日制造与升级, (12), 73-75.
- [5] 耿进军 & 刘照辉. (2024). 平煤二矿薄煤层综采工作面智能化开采实践. 智能矿山, 5 (12), 31-38.
- [6] 宋国利, 赵云飞 & 曹宁宁. (2024). 薄煤层综采工作面智能化关键技术与应用. 煤炭工程, 56 (05), 84-88.