

Adaptability Analysis and Improvement of High Efficiency Mining Equipment for Thin Coal Seam Comprehensive Mining Face

Yuxiao Wang Zhiwen Xuen

Shaanxi Zhongneng Coalfield Co. Ltd., Yulin, Shaanxi, 719000, China

Abstract

Thin coal seams constitute 20% of China's recoverable coal reserves, representing a vital strategic resource for national energy security. Efficient mining of these seams enhances resource recovery rates and facilitates the green transition of the coal industry. However, constrained by limited mining space and complex geological conditions, the "thick seam mining and thin seam abandonment" phenomenon persists, resulting in low extraction efficiency and underdeveloped intelligent systems. As the cornerstone of efficient thin coal seam mining, fully mechanized mining equipment directly impacts both operational safety and economic viability. This study examines the inadequacies of coal cutters, hydraulic supports, and scraper conveyors in thin coal seam mining, identifies root causes of these limitations, and proposes targeted improvement measures and innovative solutions. Through practical engineering validation, the research provides theoretical and operational references for equipment modernization and large-scale mining operations.

Keywords

thin coal seam; fully mechanized mining face; mining equipment; adaptability

薄煤层综采工作面高效开采装备适应性分析与改进

王宇宵 薛志文

陕西中能煤田有限公司, 中国·陕西榆林 719000

摘要

薄煤层占我国煤炭可采储量的20%，是我国能源安全的重要战略资源，高效开采薄煤层有利于提高资源采出率，促进煤炭行业绿色转型。由于受采掘空间狭小、地质情况复杂等种种原因，造成“采厚弃薄”的现象严重，开采效率低、智能化水平低。综采装备是薄煤层高效开采的关键支撑，它的好坏直接影响到开采的安全性和经济效益。本文根据薄煤层地质特点和开采要求，分析采煤机、液压支架、刮板输送机的适应性不足之处，剖析短板原因，提出改进措施和创新方向，结合工程实践检验效果，为装备更新升级和规模化开采提供理论和工程上的参考。

关键词

薄煤层；综采工作面；开采装备；适应性

1 引言

我国煤炭的储采比远低于世界主要煤炭国家，后备资源不足，提高资源采出率是保证能源安全的重要途径。薄煤层可采储量占全国的20%，但是产量只占全国总产量的10%，采厚弃薄造成了严重的资源浪费，主要原因是综采装备不适应狭小作业空间和复杂的地质条件。当前煤炭行业正处在智能化、绿色化的转型期，薄煤层综采装备的优化升级成了解决开采难题的主要途径。本文主要针对高效开采的需求进行分析，对核心装备的不足之处进行分析，并且根据智

能化的趋势提出改进的方法，兼顾理论和实际，给装备技术的突破提供新的思路，促进煤炭资源的高效利用。

2 薄煤层综采工作面地质特征

薄煤层一般指厚度小于等于1.3m的煤层，地质赋存条件千差万别，与中厚煤层相比存在较大差别，给综采装备的适应性提出了很高的要求，也是造成薄煤层开采效率低下的主要地质原因。其主要的地质特征有四个，一是作业空间极为狭小，受煤层厚度的影响，薄煤层综采工作面的有效作业高度一般在1.2m以下，人员活动空间受到限制，设备运转空间更加狭小，因此综采装备需要实现矮型化设计，同时要保证大功率输出，以满足高效截割、支护和运输的要求，这是薄煤层综采装备与中厚煤层装备最根本的不同。二是煤

【作者简介】王宇宵（1994-），男，中国陕西靖边人，助理工程师，从事煤矿综采研究。

层赋存不稳定,大部分薄煤层厚度波动范围大,波动幅度达0.3~0.5m,常伴有断层、褶曲等构造,部分区域还有坚硬夹矸,夹矸普氏系数达到3左右,硬度高,对装备的调节能力、破岩性能和稳定性要求更高,传统的装备不能适应复杂的煤层条件。三是顶底板岩性差别大,薄煤层顶底板多为软岩、破碎顶板,岩层强度小、稳定性差,易造成端面漏顶、顶板垮落等事故,危及作业安全,因此支护设备要具有高强度、高稳定性和快速响应能力,能及时有效地支护顶板,防止隐患。

3 薄煤层综采核心装备适应性现状及短板分析

3.1 薄煤层采煤机适应性短板

采煤机是薄煤层综采工作面的主要破煤设备,担负着煤层截割、装煤的任务,其适应性影响到开采效率、连续性和安全性,是薄煤层综采装备适应性改进的重点环节。目前我国主流薄煤层采煤机经过几十年的发展虽然取得了一定的进步,但是结合现场开采实践来看,仍然存在着三个突出的短板,严重影响了薄煤层的高效开采。一是矮型化和大功率的矛盾没有得到彻底解决,这是薄煤层采煤机最突出的不足。传统采煤机为了降低机身高度,往往要牺牲装机功率,造成截割能力不足,面对普氏系数3左右的坚硬夹矸时,容易出现截齿磨损过快、滚筒卡滞、截割效率大幅下降等问题,甚至不能正常截割;部分大功率采煤机采用紧凑型结构设计,虽然可以保证截割功率,但是机身灵活性差,转弯半径大,很难适应煤层厚度的频繁变化,在1.1~1.3m的坚硬薄煤层中,既不能保证截割效率又不能保证设备稳定,容易出现设备故障。二是智能控制精度不高,不能适应复杂的地质情况。大多数薄煤层采煤机的记忆截割功能依靠预先设定的参数,缺少对煤层地质变化的实时感知和自适应调节能力,当煤层出现厚度波动、夹矸分布不均等状况的时候,不能及时改变截割参数,容易产生割顶、割底的现象,不但会降低煤炭的采出率,造成煤炭的浪费,还会损坏设备,引发顶板事故,影响开采的安全性和连续性。三是维护不方便,运维成本高。由于薄煤层作业空间狭小,采煤机的关键部件(截割部、牵引部、液压系统)的安装、拆卸和检修难度大,一旦发生故障,停机检修时间长,影响工作面推进效率;同时,井下潮湿、粉尘、高压的恶劣环境加剧了部件的磨损、腐蚀,缩短了设备的使用寿命,增加了设备的维护成本和运维工作量,从而制约了薄煤层开采的经济性。

3.2 薄煤层液压支架适应性短板

液压支架是薄煤层综采工作面安全保证的核心设备,它担负着支护顶板、隔离采空区、保证作业空间安全的任务,它的适应性直接影响到开采作业的安全性,也是薄煤层综采装备适应性改进的重点内容。目前薄煤层液压支架适应性缺陷主要体现在支护性能、结构设计和协同性这三个方面,严重地影响着薄煤层开采的安全性和连续性。一是支护强度和结构轻量化不能同时实现,这是薄煤层液压支架的主要矛

盾。薄煤层作业空间小,支架结构必须紧凑、轻便,便于安装、移架和运转,但是部分支架为了轻量化而采用低强度材料和简化结构设计,造成工作阻力不够,不能适应破碎顶板、冲击地压等复杂的工况,容易发生支架变形、顶梁损坏、漏顶等事故,威胁作业安全;高强度支架结构笨重、体积大,最低高度不能控制在700mm以下,不能适配极薄煤层开采,且移架速度慢,影响开采连续性。部分薄煤层液压支架工作阻力小于4000kN,不能满足坚硬顶板的支护要求,在顶板压力大时容易造成支架失稳,工作阻力大于9000kN的高强度支架,其最小高度一般大于750mm,不能用于1.1m以下的极薄煤层开采。二是伸缩比不够,不能适应煤层厚度的波动变化。薄煤层厚度波动范围大,液压支架需要具有较大的伸缩比来适应煤层厚度的变化,以保证支架支护高度的调节范围满足煤层厚度的变化,但是目前大多数薄煤层液压支架的伸缩比只有2.0~2.5,不能覆盖薄煤层厚度波动范围,当煤层厚度出现较大偏差时,支架不能进行有效的支护,需要人工调整支架高度或者更换支架,增加了劳动强度,也存在安全隐患,影响开采效率。三是和采煤机、刮板输送机的配合不好,造成工作面整体运行效率低。支架移架速度和采煤机截割速度不匹配,容易造成移架滞后或者超前,移架滞后会造成工作面空顶时间过长,增加顶板垮落的风险;移架超前会干扰采煤机正常截割,影响截割效率。支架和刮板输送机的连接方式不合理,容易造成运动干涉,造成设备故障,从而降低整个设备的运行效率。

4 薄煤层综采装备适应性改进策略与创新路径

4.1 薄煤层采煤机适应性改进

根据薄煤层采煤机矮型化和大功率之间的矛盾、智能控制精度不够、维护不方便等主要问题,结合薄煤层地质特点和智能化开采的发展趋势,从结构设计、智能控制、维护优化三个方面提出相应的改进措施,使采煤机的适应性和性能得到全面提高,解决薄煤层破煤效率低、故障多的问题。一是改进紧凑型结构设计,冲破传统传动布局的束缚,破解“矮型化和大功率”之间的主要矛盾。采用半悬机身、全悬截割矮机身结构设计,对机身进行优化布局,减少内部结构,使机身高度保持在750mm以下,保证在狭小作业空间内灵活运转;同时改进传动链布置,用高扭矩减速器和高强度合金材料来减小设备体积,提高装机功率到1000kW以上,满足坚硬薄煤层和夹矸的切割要求。为了解决坚硬夹矸切割问题,设计出专用高强度耐磨截齿和优化型滚筒,采用硬质合金涂层技术提高截齿的耐磨性,改进滚筒齿形及排列方式,减小截割阻力,提高截割效率和刀具寿命,降低截齿更换次数。二是升级智能控制系统,提高自适应和精准控制的能力。采用融合惯性导航、毫米波雷达和视觉传感器技术来创建工作面全息数字化地质模型,可以实时感知煤层厚度变化、夹矸分布、顶底板变动等地质信息,进而动态修正记忆截割模

板,使采煤机自适应割煤、自主防碰撞,避免割顶、割底,提高煤炭采出率和开采安全性;集成远程故障诊断系统,对截割部、牵引部、液压系统等关键部件进行实时监测,利用数据分析提前预警故障隐患,指导运维人员及时处理,减少故障停机时间。三是优化维护设计,提高运维便利性,降低运维成本。采用模块化、可拆卸的设计理念,把采煤机的主要部件(截割部、牵引部等)做成独立模块,在狭小的空间里可以迅速地拆卸和维修,从而缩短了检修的时间;采用密封防尘、防腐、抗冲击的结构来提高部件在井下恶劣环境下的适应性,减缓部件的磨损和腐蚀,从而延长设备的使用寿命;在重要的部件上设置检修窗口以及方便的操作装置,减小运维人员的工作量,提高运维效率。

4.2 薄煤层液压支架适应性改进

针对薄煤层液压支架支护强度和轻量化不能兼顾、伸缩比小、协同性差等主要问题,根据薄煤层地质特点和安全开采要求,从材料应用、结构优化、协同控制三个方面进行改进创新,提高液压支架的适应性、支护可靠性和协同性,为薄煤层开采提供安全保障。一是改善材料和结构设计,解决支护强度和轻量化之间的矛盾。使用 Q690 及以上强度等级的高强度钢板做支架主体结构材料,利用有限元拓扑优化技术,在保证支架结构强度和稳定性的基础上,减少冗余结构,实现支架轻量化设计,使支架工作阻力不小于 9000kN,支架最低高度不大于 700mm,满足 1.1m 左右极薄煤层开采的要求。优化支架立柱设计,采用双级或者三级机械加长杆立柱,使支架伸缩比达到 3.0 以上,可以适应薄煤层 0.3 ~ 0.5m 厚度的波动范围,不用人工调节就能实现有效的支护,降低劳动强度和安全隐患;优化顶梁、掩护梁结构,采用弧形顶梁设计,增大顶梁与顶板的接触面积,提高支护稳定性,减少漏顶风险。二是完善支护作用,提高适应复杂环境的能力。针对破碎顶板、软岩顶板等复杂的工况,设计出带护帮板、伸缩梁的一体化支架结构,缩短支架顶梁前端与煤壁的距离,及时支护煤壁和顶板,防止端面漏顶、煤壁片帮等事故;

集成防冲击结构,采用防冲击大伸缩比立柱和缓冲装置,提高支架的抗冲击能力,适应冲击地压工况,保证支架在冲击载荷的作用下正常工作;优化支架液压系统,采用高压大流量液压阀组,提高支架移架速度和支护响应速度,缩短移架时间,减少工作面空顶时间。三是提高协同联动水平,使“三机”一起工作。优化支架和刮板输送机的连接方式,采用柔性连接结构,消除设备运动干涉,保证支架移架和输送机运输同步进行;集成高精度电液控制系统,实现支架跟机移架、擦顶支护、自动补液等功能的自动化控制,使移架速度与采煤机截割速度精确匹配,提高工作面开采连续性;搭建支架与采煤机、刮板输送机的协同控制接口,实现数据实时交互,根据采煤机截割位置、速度自动调节移架节奏,形成“截割-支护”协同联动机制。

5 结语

薄煤层高效开采是释放资源潜力、保证能源安全的重要途径,综采装备适应性不足是其规模化开采的主要障碍。本文根据薄煤层地质特点和开采要求,主要针对三个核心装备展开分析,从单机优化和系统协同两个方面提出了改进思路,工程实践证明该方案有效,形成了完整的理论体系。目前薄煤层综采装备向矮型化、智能化、协同化发展,需要加强产学研合作,攻克核心技术难题,完善评价体系。本文成果可以为装备优化、工程应用提供支持,破解薄煤层开采难题,促进煤炭行业高质量发展。

参考文献

- [1] 赵娜. 薄煤层煤矿综采工作面地质特征及开采技术 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2025, (14): 47-49.
- [2] 袁红平,陈钰豆,李德福,等. 薄煤层综采工作面回撤通道支护关键技术研究 [J]. 陕西煤炭, 2025, 44 (08): 167-171.
- [3] 孟强. 薄煤层综采工作面液压支架电液控制系统设计 [J]. 凿岩机械气动工具, 2025, 51 (07): 45-47.
- [4] 田超超,余建东. 薄煤层综采工作面过老巷期间冒顶原因及综合处置实践研究 [J]. 陕西煤炭, 2025, 44 (03): 140-144.