

“8 m 以上大采高开采技术与装备”专题

【编者按】我国厚煤层(≥ 3.5 m)储量丰富,可采储量约占全国煤炭总可采储量的 43%,厚煤层条件下实现安全高效开采对我国煤炭工业的发展具有重要影响。“十三五”期间,国家重点建设的 14 个大型煤炭基地生产能力将达到全国的 95% 以上,这 14 个亿吨级大型煤炭基地当中,神东、陕北、黄陇等矿区煤炭赋存主要以厚煤层为主,许多大型煤矿的主采煤层厚度达 6~8 m。因此,8 m 以上采高的综采工艺与装备研发及应用对于提高开采效率和资源回采率,实现厚煤层安全高效开采具有重要意义。近年来,厚煤层超大采高综采逐渐成为我国晋、陕、蒙、新等西部地区大型矿井快速应用的高效开采方法,大幅提升了矿井的生产效率及安全水平。为集中报道我国超大采高综采技术及装备研发现状,促进煤炭安全高效绿色智能化开采技术发展,《煤炭科学技术》编辑部组织策划了“8 m 以上大采高开采技术与装备”专题。报道了 8.8 m 液压支架研发现状,兖矿集团金鸡滩煤矿 8.2 m 大采高工作面、神华神东煤炭集团补连塔煤矿 8 m 大采高工作面的关键开采技术和成套装备研发应用的最新成果,这为我国乃至世界类似赋存条件厚煤层的安全高效开采提供了技术支撑和借鉴经验,具有重要的推广意义。衷心感谢王国法院士、杨俊哲教授级高级工程师、高有进教授级高级工程师等专家学者在百忙之中为专题撰稿。

8 m 大采高综采工作面成套装备研发及应用

王国法¹,李希勇²,张传昌³,任怀伟¹

(1. 天地科技股份有限公司 开采设计事业部,北京 100013;2. 兖矿集团有限公司,山东 济宁 273500;
3. 陕西未来能源化工有限公司,陕西 榆林 719099)

摘要:针对 8 m 大采高工作面围岩控制、液压支架可靠性保证、超大煤量自适应连续运行、工作面配套存在的问题进行研究,建立液压支架与围岩的耦合力学模型,采用“双因素控制法”确定超大采高液压支架合理工作阻力,设计伸缩梁与护帮板分离的三级协动护帮装置、大缸径抗冲击双伸缩立柱,有效控制片帮及顶板压力;采用高强度结构钢及智能焊接新工艺提高 8.2 m 大采高液压支架可靠性;基于无极软启动、超大规格链条及传动系统和电直驱齿辊式连续破碎装置,研制超大煤量自适应刮板输送机;综合对采煤机行走传动、带式输送机可折叠机身、超前液压支护等多个方面进行研究,研发了首套 8 m 大采高综采成套装备,并在兖矿集团金鸡滩煤矿 108 工作面进行工业性试验。试验表明:成套装备能有效地控制顶板和煤壁,具备良好的稳定性及可靠性,煤流运输顺畅,无大块煤堵塞,试验期间工作面最高日产 5.7 万 t,月产达到 150 万 t 以上。

关键词:8 m 大采高综采;成套装备;超大采高液压支架;重型刮板输送机

中图分类号:TD82 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-2336(2017)11-0001-08

Research and development and application of set equipment of 8 m large mining height fully-mechanized face

WANG Guofa¹, LI Xiyong², ZHANG Chuanchang³, REN Huaiwei¹

(1. Coal Mining & Designing Department, Tiandi Science & Technology Co., Ltd., Beijing 100013, China;

2. Yankuang Group Co., Ltd., Jining 273500, China; 3. Shaanxi Future Energy and Chemical Co., Ltd., Yulin 719099, China)

Abstract: For the problems of surrounding rock control for 8 m large mining height, stability and reliability of hydraulic support and large

收稿日期:2017-09-30;责任编辑:杨正凯 DOI:10.13199/j.cnki.est.2017.11.001

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2014CB046302);国家自然科学基金重点资助项目(U1610251)

作者简介:王国法(1960—),男,山东文登人,中国工程院院士,研究员,博士生导师。Tel:010-84262016, E-mail: wangguofa@tdkcsj.com

引用格式:王国法,李希勇,张传昌,等. 8 m 大采高综采工作面成套装备研发及应用[J]. 煤炭科学技术,2017,45(11):1-8.

WANG Guofa, LI Xiyong, ZHANG Chuanchang, et al. Research and development and application of set equipment of 8 m large mining height fully-mechanized face[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(11): 1-8.

coal quantity adaptive continuous operation, relevant research was carried out. First coupling mechanical model of hydraulic support and surrounding rock was established, the reasonable working resistance of ultra large height hydraulic support was determined by two-factor control method and three-level coactions face guard mechanism and the double-telescopic prop was designed which could control rib spalling and roof pressure efficiently; improving the reliability of the 8.2 m mining height hydraulic support by using high-tensile structural steel and new process of intelligent welding; based on the non-pole soft start, supersize chain and transmission system and the continuous crushing device of electric direct drive tooth roller, the paper developed ultra large coal quantity self-adaptive scraper conveyor; Finally, by comprehensive using the multiple study, such as coal mining machine walk transmission technology, folding belt conveyor, advanced hydraulic support and so on, the first set of 8 m mining height complete sets of equipment was developed and the industrial test was carried out in No.108 working face in Jinjitan Coal Mine of Yankuang Group. The tests indicated that the complete set of equipment could control roof and coal wall effectively, which had good stability and reliability; the coal flow was smooth and no big lumps of coal were blocked. During the test, the working face was up to 57 000 tons, and the monthly output reached 1.5 million tons.

Key words: fully-mechanized of 8 m large mining height; equipment set for general exploitation; hydraulic support of ultra large mining height; heavy scraper conveyor

0 引 言

近年来,超大采高综采成为我国晋、陕、蒙、新等西部地区大型矿井快速应用的一种高效开采方法,大幅提升了矿井的生产效率及安全水平。国外工作面采高一般都在6 m以下,对6 m以上煤层开采的研究和实践很少。我国从2005年开始研制6 m大采高综采成套装备,实现了工作面年产千万吨^[1-3]。2009年,王国法等^[4]开展了7 m大采高综采的可行性研究。2011年7 m大采高综采成套装备在神东大柳塔矿首次成功应用^[5],随后在陕煤红柳林、神东上湾等煤矿快速推广^[6]。2014年,兖矿集团金鸡滩煤矿根据煤层赋存条件又提出了8 m大采高综采的技术方案。超大采高综采开采高度高、强度大、煤壁易片帮、顶板易冒落,装备承受的载荷高、且动载冲击严重,运输系统难以连续平稳运行^[7-9],因此如何有效控制超大采高工作面围岩稳定性、保证液压支架稳定性及可靠性、解决超大煤量及大块煤阻碍运输系统连续平稳运行的难题是8 m大采高综采成功的关键。

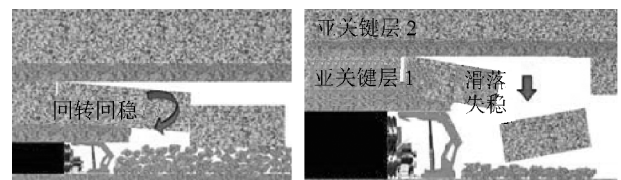
为此,笔者建立液压支架与围岩的耦合力学模型,采用“双因素控制法”确定超大采高液压支架合理工作阻力,设计了伸缩梁与护帮板分离的三级协动护帮装置、大缸径抗冲击双伸缩立柱;采用液压支架用高强度易焊接结构钢及智能焊接新工艺,提高8.2 m大采高液压支架可靠性;超大煤量自适应刮板输送机采用无极软启动、超大规格链条及传动系统和电直驱齿辊式连续破碎装置,实现连续平稳运行;通过对采煤机行走传动、带式输送机可折叠机身、超前液压支护等多个方面进行研究,研发首套8.2 m

大采高综采成套装备,以推动大采高综采技术与装备发展,大幅提高开采效率和资源采出率,从而解决我国西部矿区普遍存在的8 m厚煤层一次采全厚开采的难题。

1 8 m 大采高工作面开采面临的难题

8 m大采高工作面开采高度高、扰动强烈,装备负荷大,导致工作面围岩运移规律、设备特性、影响生产的因素发生很大变化,从而带来一系列问题:

1)随着采高增加,围岩由“回转失稳”向“滑落失稳”发展(图1),开采扰动范围大,动载矿压明显,顶板支护难度大;煤壁承载压力大幅增加,自稳定性差,片帮冒顶难以控制^[10]。



(a) 回转失稳

(b) 滑落失稳

图1 顶板回转失稳与滑落失稳

Fig. 1 Rotary instability and slide instability of roof

2)液压支架为高动压敏感结构,随着高度的增加,其整体刚度下降,敏感性上升;受到冲击、偏载后焊缝及销轴发生破坏的概率大幅增加^[11],可靠性难以保证。

3)超大采高工作面瞬时运煤量大幅增加,机械冲击严重,保证平稳运输、减少过载及断链事故的难度大;且工作面割煤或片帮产生的大块煤容易造成转载点堵塞,影响刮板输送机连续平稳运行^[12],如图2所示。



图2 工作面输送机压煤及大块煤堵塞

Fig.2 Pressure coal and large block coal blockage of working face conveyor

此外,原有普通配套设备在能力、尺度、运行方式等方面无法满足超大采高工作面系统运行的需求,难以实现统一协调运行及高效、高采出率开采。

2 8 m 大采高工作面围岩控制及液压支架研制

8 m 大采高工作面开采的首要任务是实现液压支架对煤壁及顶板的有效支撑和控制,防止片帮、冒顶^[13]。基于超大采高工作面围岩运移规律分析,建立液压支架与围岩的耦合力学模型;确定超大采高液压支架关键参数,优化结构形式,采用新的高强度材料及焊接工艺,研制能够实现 8 m 厚煤层工作面围岩有效控制的超大采高液压支架。

2.1 超大采高工作面围岩控制技术

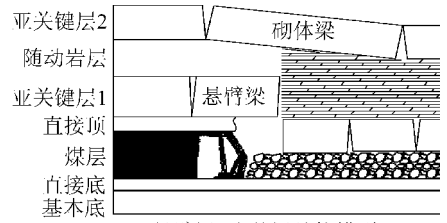
1) 建立液压支架与围岩的耦合力学模型。基于对超大采高工作面上覆围岩破坏规律的研究,建立描述上覆围岩状态的“悬臂梁+砌体梁”结构模型以及描述液压支架与围岩耦合特征的动力学模型,如图 3 所示。

结合上述 2 个模型,可在考虑顶板冲击动载荷的条件下得到液压支架控制顶板岩层失稳的合理支护力,并为支架的抗冲击结构设计提供依据。

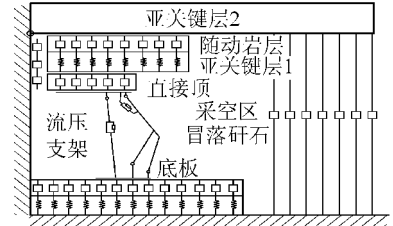
2) 建立超高煤壁“拉裂-滑移”力学模型。基于超大采高工作面煤壁的稳定分析,将煤壁片帮细分为拉裂破坏与滑移失稳 2 个阶段,建立了煤壁片帮的“拉裂-滑移”力学模型^[14](图 4),得到了煤壁的拉裂破坏深度、宽度与煤体强度、开采高度的关系式为

$$cb^2 < \frac{6 \left[F_1 \frac{\delta}{2} \left(1 - \frac{3a}{M} \right) + \frac{F_3 a^2 (3M - a)}{2M^2} \left(\frac{a}{M} - 1 \right) \right]}{\sigma_1} \quad (1)$$

式中: c 为护帮合力作用点与工作面顶板的距离; b 为分析的实体煤厚度; F_1 为顶板岩层对煤壁的合力; δ 为合力作用点偏离长柱体中心线的距离; F_3 为工作面前方煤体的水平应力合力; a 为合力作用点与工作面底板的距离; σ_1 为煤体抗剪强度; M 为煤层厚度。



(a) 悬臂梁+砌体梁结构模型



(b) 液压支架-围岩耦合模型

图3 悬臂梁+砌体梁模型和液压支架-围岩耦合动力学模型

Fig.3 Cantilever beam + masonry beam model and hydraulic support-surrounding rock coupling dynamics model

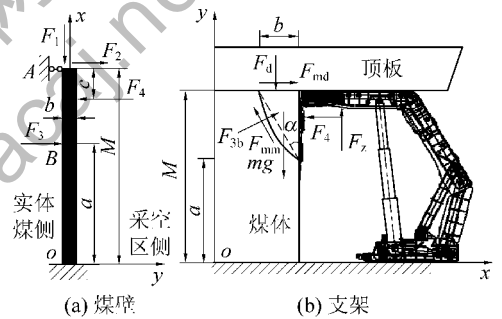


图4 煤壁片帮的拉裂-滑移力学分析

Fig.4 Rib spalling of tensile cracking-sliding mechanical model mechanics analysis

F_2 —顶板岩层对煤壁形成的摩擦力; F_4 —液压支架护帮板的护帮合力; F_d —顶板对煤壁的压力; F_{md} —顶板对煤壁的水平力; F_{3b} —煤壁对片帮煤的法向支撑力; F_{mn} —煤壁对片帮煤的切向力; mg —片帮煤自重

研究得出了液压支架控制煤壁不片帮应具有临界护帮力:在一定开采高度、工作面长度、推进速度及液压支架支护强度条件下,液压支架护帮板防止煤壁拉裂破坏体发生滑移失稳所需要的最小支护作用力为

$$F_4 = \frac{F_{3b} + (F_d - F_z)(f_1 \cos \alpha - \sin \alpha) - mg \sin \alpha}{\cos \alpha} \quad (2)$$

式中: f_1 为顶板岩层与煤体的摩擦系数; α 为煤壁拉裂破坏体的破裂面与煤壁的夹角。

2.2 超大采高液压支架关键参数确定

基于2.1节的2个计算模型,综合考虑液压支架对顶板及煤壁控制的耦合关系,采用“双因素控制法”给出了采高与支护强度、煤壁位移变化之间的规律,确定超大采高液压支架合理工作阻力。增大工作阻力不但可以有效控制顶板,而且也有利于控制煤壁片帮。不同采高条件下,煤壁位移及支护强度曲线如图5所示。

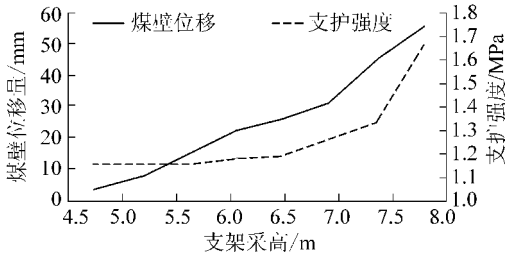


图5 不同采高条件下煤壁位移及支护强度曲线
Fig. 5 Displacement and support strength curves of coal wall on different mining height

由图5可知,当工作面采高大于7 m以后,所需液压支架支护强度开始快速上升,在采高大于7.5 m以后,煤壁的最大水平位移也开始快速增加。这说明在开采7 m以上煤层时,工作面支护强度不能只满足顶板的稳定支护,还要考虑继续增加以分担部分作用在煤壁上的顶板压力,从而减轻煤壁片帮。根据分析计算,确定超大采高液压支架的支护强度为1.65~1.74 MPa,工作阻力21 000 kN。

在增加支护强度的同时,8 m大采高工作面煤壁还需要一定的外力来保持稳定。因此,根据煤壁片帮的“拉裂-滑移”力学模型,给出液压支架应具有临界护帮力和护帮高度。通过计算,确定8.2 m大采高液压支架的临界护帮力为201 kN,临界护帮高度 ≥ 4 m。

在设计8.2 m大采高液压支架过程中,通过比较不同技术方案,基于技术经济最优化准则确定其他主要关键技术参数见表1。

最终选定方案一,确定金鸡滩煤矿8.2 m大采高液压支架的型号为ZY21000/38/82D。

2.3 8.2 m大采高液压支架关键结构

1)8.2 m大采高液压支架三级协同护帮根据前面确定的参数,设计了超大采高液压支架三级协同护帮装置,采用伸缩梁与护帮板分体结构型式(图6),护帮高度可以达到4.0 m以上,既提高了护帮板对煤壁的护帮效果,同时提高了护帮装置自身的

可靠性。

表1 超大采高综采方案参数对比

Table 1 Comparison of the parameters for ultra large mining height schemes

参数	方案一	方案二	方案三
最大高度/m	8.2	8.2	8.5
中心距/m	2.05	2.25	2.40
立柱缸径/mm	530	560	600
工作阻力/kN	21 000	23 000	26 000
支护强度/MPa	1.75	1.70	1.65
质量/t	78	88	99
其他	适应性优	运输安装困难	不适应现有矿井运输安装

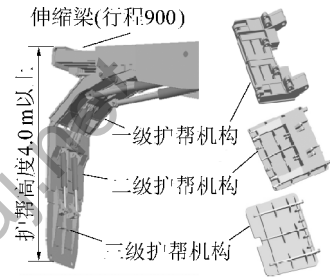


图6 超大采高液压支架三级协同护帮机构

Fig.6 Three-level coactions face guard mechanism of ultra large height hydraulic support

2)大缸径抗冲击双伸缩立柱。为抵御超大采高工作面冲击动载荷,基于能量耗散原理^[15]研制了增容缓冲抗冲击双伸缩立柱。设置弹性薄壁圆筒或气体腔室吸能装置,如图7所示,采用4 000 L/min 先导式大流量安全阀,立柱抗冲击性能提高20%以上。

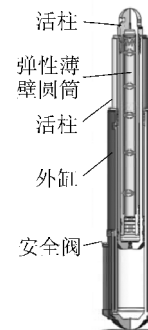


图7 大缸径能量耗散抗冲击立柱

Fig. 7 Impact column with large cylinder diameter and energy dissipate

2.4 液压支架用高强度结构钢及智能焊接新工艺

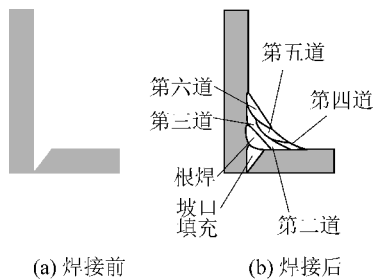
8.2 m大采高液压支架采用Q890、Q1150 高强

度易焊接结构钢作为主体材料^[16],整体减重 15%以上。采用机器人自动焊接,如图 8 和图 9 所示,通过多层多道焊接工艺、激光跟踪等关键技术,大幅提高结构件的焊接精度和质量,保证液压支架的整体可靠性。



图 8 机器人自动化焊接

Fig. 8 Robot automatic welding



(a) 焊接前 (b) 焊接后
图 9 多层多道焊接工艺

Fig. 9 Multi-layer multi-channel welding process

3 超大采高工作面刮板输送机研制

为保证 8 m 大采高工作面刮板输送机连续平稳运行,采用无级软启动、自动伸缩机尾等技术降低对机械结构的冲击,增大链传动系统的规格型号,减少过载造成的断链事故;设计新型连续破碎装置解决大块煤破碎难题。研制的 SGZ1400/3×1600 重型刮板输送机功率达到 4 800 kW,最大输送能力 6 000 t/h,实现了超大采高工作面刮板运输系统的智能自适应、可靠、连续运行。

3.1 超大采高工作面刮板输送机智能控制

基于智能变频控制,实现了 SGZ1400/3×1600 重型刮板输送机主从控制、主控速度、多电机功率协同运行,实现了真正意义上的无级软启动^[17]。在面对超大采高工作面超大煤量运输问题时,可降低对机械系统的冲击。同时,研发的伸缩机尾自动控制系统(图 10),采用启动前伸出机尾、运行中调整机尾伸缩、停机后缩回机尾的控制策略,减少链条应力腐蚀,提升链条和链轮的使用寿命。

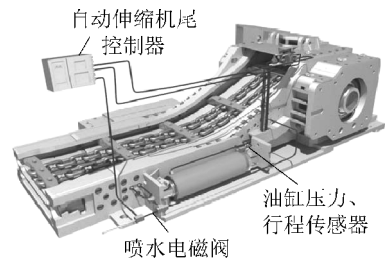


图 10 自动伸缩机尾

Fig. 10 Automatic retractable conveyer tail

3.2 超大规格链传动系统

链轮组件密封采用浮封腔设计,将两链轮体中间端面密封改为径向密封,提高链轮密封的可靠性。研发的 $\phi 56 \text{ mm} \times 187 \text{ mm}$ 、 $\phi 60 \text{ mm} \times 181/197 \text{ mm}$ 紧凑型高强度圆环链,如图 11 所示,链条破断强度、疲劳试验循环次数均大幅提升;研制了超长双向对称模锻刮板,提高刮板的强度及寿命。

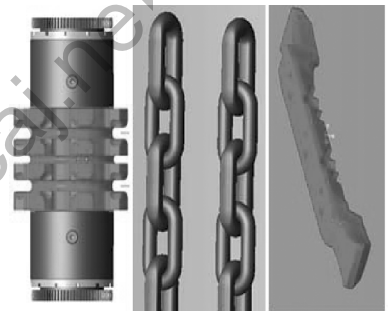


图 11 超大规格链传动系统

Fig. 11 Oversize chain drive system

3.3 齿辊式大块煤连续破碎装置

创新设计了电直驱齿辊式连续破碎装置(图 12),功率达到 200 kW,破碎滚筒线速度 8.6 m/s,破碎摇臂可通过遥控操作和手动控制实现升降,有效解决了工作面输送机卸载点和转载机入口点大块煤堵塞难题,降低了人工破碎大块煤的劳动强度和不安全因素,保证了工作面连续快速推进。



图 12 大块煤连续破碎装置

Fig. 12 Large block coal continuous crushing device

4 8 m 大采高工作面配套装备研制

除研制上述整机装备外,在采煤机行走部、带式输送机机身、超前液压支护等方面进行了局部改进和创新。

4.1 采煤机结构优化

基于8 m大采高工作面液压支架、采煤机与刮板输送机之间的空间几何关系,提出了超大采高采煤机优化设计方案。为增加机身高度,将行走传动系统由3轴改为4轴(图13),改进型的7LS8采煤机(图14)最大截割高度达到8.0 m,总装机功率达到2 925 kW。

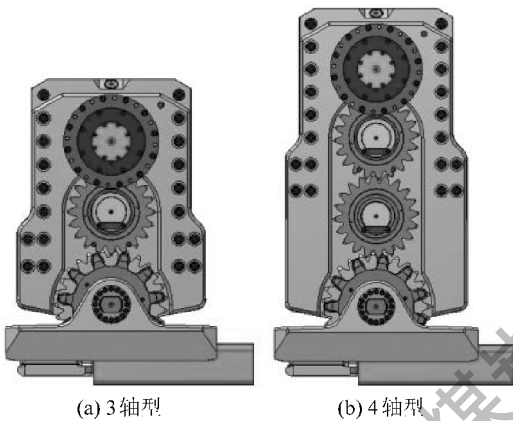


图13 3轴型与4轴型(7LS7/8安装)传动系统
Fig. 13 Transmission system of 3 axial type and 4 axial type(7LS7/8 installation)

4.2 可伸缩带式输送机落地式折叠机身

巷道可伸缩带式输送机采用折叠机身(图15),无需停机即可实现工作面连续推进,解决了现有可伸缩带式输送机固定式机身停机移动、推进效率低的问题,有效弥补了运输系统的自动化短板。

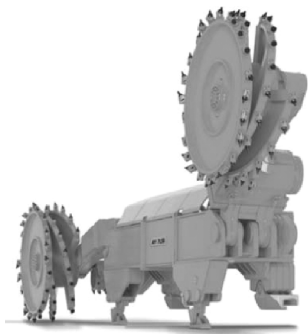


图14 7LS8超大采高采煤机
Fig. 14 7LS8 ultra large height mining cutter machine

4.3 大断面巷道超前支护系统

8 m大采高工作面巷道高度一般都在4 m以

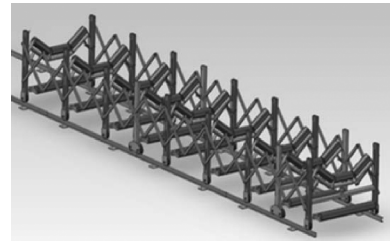


图15 可伸缩带式输送机落地式折叠机

Fig. 15 Floor type folding fuselage of retractable belt conveyor 上,如何保证超前支护支架与围岩的适应性、系统稳定性,以及实现自动化操作、与工作面系统同步推进是需要解决的2个主要难题^[18-20]。

基于沿巷道方向的超前支护非等强支护原理和控制技术^[12-14],研制大断面巷道超前支护系统(图16),使超前支架的支护力自动适应不同位置的需求,更加合理的支护围岩;同时,超前支架控制由手动改为电液控制,具备邻架控制和远程自动控制功能,实现与工作面成套装备同步自动推移。此外,配置视频监控系統,实时监控超前支架状态。

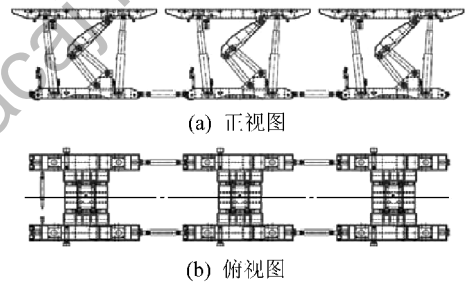


图16 大断面巷道超前支护系统

Fig. 16 Advance support system of large-section gate roadway

5 工业性试验

5.1 8 m大采高综采装备配套

通过上述研究,研制了国内外首套8 m大采高综采成套装备,并在兖矿金鸡滩煤矿12⁻²-108工作面进行工业性试验。工作面设备具体型号见表2。

该工作面煤层厚度6.0~8.4 m,走向长度5 538 m,工作面长度300 m。2016年7月1日开始生产,2016年10月1日开始为期3个月的工业性试验,全面验证技术的可行性、设备的适应性及可靠性。

5.2 工业性试验情况

工业性试验期间,工作面最高日产5.7万t,月产达到150万t以上(见表3)。截止到2017年8月,累计推进4 449 m,最高日产达到6.16万t。

工作面采用的ZY21000/38/82D大采高液压支架,初撑力为13 892 kN,工作阻力21 000 kN。该支

架在工作面初次来压及周期来压过程中,工作面矿山压力显现不明显,未出现液压支架安全阀大面积开启。顶板下沉量较小,顶板完整,未大面积出现片帮超过 0.8 m 的情况。这说明,8.2 m 大采高液压支架设计合理,能有效地控制顶板和煤壁。刮板输送机上的大块煤破碎装置有效解决了工作面大块煤堵塞造成工作面停机问题,破碎效果明显,停机时间较之前的工作面每班节省生产影响时间 0.5 h,每天节省生产影响时间 1.5 h,多完成 1.5 个正规循环作业,日产量增加 5 400 t。

表 2 108 超大采高工作面配套设备

Table 2 Corollary equipment of No. 108 ultra large height mining face

设备	型号	数量
采煤机	7LS8	1
中间支架	ZY21000/38/82D	142
过渡支架	ZYG21000/38/82D(A/B)	2
端头支架	ZYT21000/28/53D	6
运输巷道超前支架	ZQL2×6400/28/53	1
回风巷道超前支架	ZCZ26120/25/45	3
刮板输送机	SGZ1400/4800	1
转载机	SZZ1600/700	1
破碎机	PCM700	1
带式输送机	SDJ180/450/7×630	1

表 3 108 工作面 2016 年 10—12 月生产情况统计

Table 3 Production statistics from October to December 2016 of No. 108 working face

月份	10	11	12	平均值	合计
产量/万 t	141.65	153.76	168.84	154.75	464.25
进尺/m	496.00	523.00	536.00	518.33	1 555.00

6 结 论

针对 8 m 大采高工作面的开采技术及装备进行了研究和实践,将一次采全高综采的最大高度由 7 m 提升到了 8 m,主要结论如下:

1) 建立液压支架与围岩耦合力学模型,采用“双因素控制法”确定超大采高液压支架合理工作阻力;设计伸缩梁与护帮板分离的三级协同护帮装置、大缸径抗冲击双伸缩立柱,实现了 8 m 大采高工作面围岩的稳定性控制。

2) 基于无极软启动、超大规格链条及传动系统和电直驱齿辊式连续破碎装置,研制了超大煤量自

适应刮板输送机,解决了超大采高工作面超大煤量运输、大块煤卡堵影响工作面连续运行的难题。

3) 基于采煤机行走系统、带式输送机可折叠机身、超前液压支护等创新,研发了首套 8 m 大采高综采成套装备,并在兖矿集团金鸡滩煤矿 108 工作面进行成功应用。

4) 8 m 大采高成套装备成功实现了金鸡滩煤矿 6~8 m 厚煤层一次采全厚开采,大幅提高了工作面开采效率和资源采出率。为我国相同地质条件的安全、高效开采提供了技术支撑与装备保障。

参考文献 (References):

[1] 宁宇.我国煤矿综合机械化开采技术现状与思考[J].煤矿开采,2013,18(1):1-4.
NING Yu.Current status and thinking of full-mechanized mining technology in Chinese coal mines[J].Coal Mining Technology, 2013,18(1):1-4.

[2] 王国法.大采高技术与大采高压液支架的开发研究[J].煤矿开采,2009,14(1):1-4.
WANG Guofa.Research on mining technology with high mining height and development of powered support for high mining height[J].Coal Mining Technology,2009,14(1):1-4.

[3] 王国法,吴兴利,庞义辉.千万吨矿井群安全高效可持续开发关键技术[J].煤炭工程,2015,47(10):1-4,8.
WANG Guofa,WU Xingli,PANG Yihui.Key technology of safe, efficient and sustainable development in coal mine group with 10 Mt capacity[J].Coal Engineering,2015,47(10):1-4,8.

[4] 王国法.“十二五”煤矿开采装备技术的发展展望[J].煤矿开采,2011,16(3):19-24.
WANG Guofa.Prospect of coal mining equipment development in 12th five-year plan of China[J].Coal Mining Technology,2011,16(3):19-24.

[5] 张子飞,杨俊哲,代贵生,等.7m 大采高综采工作面开采关键技术研究[J].煤炭工程,2015,47(3):1-4.
ZHANG Zifei,YANG Junzhe,DAI Guisheng,et al.Research on key technology of 7m high cutting fully mechanized working face[J].Coal Engineering,2015,47(3):1-4.

[6] 任怀伟,王国法,李首滨,等.7 m 大采高综采智能化工作面成套装备研制[J].煤炭科学技术,2015,43(11):116-121.
REN Huaiwei,WANG Guofa,LI Shoubin,et al.Development of intelligent sets equipment for fully-mechanized 7 m height mining face[J].Coal Science and Technology,2015,43(11):116-121.

[7] 任怀伟.大采高压液支架合理工作高度及掩护梁结构研究[J].煤炭科学技术,2011,39(4):89-93.
REN Huaiwei.Study on rational working height and shield beam structure of high cutting hydraulic powered support[J].Coal Science and Technology,2011,39(4):89-93.

[8] 尹希文,闫少宏,安宇.大采高综采面煤壁片帮特征分析与应用[J].采矿与安全工程学报,2008,25(2):222-225.

- YIN Xiwen, YAN Shaohong, AN Yu. Characters of the rib spalling in fully mechanized caving face with great mining height[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2008, 25(2): 222-225.
- [9] 王学军, 钱学森, 马立强, 等. 厚煤层大采高全厚开采工艺研究与应用[J]. 采矿与安全工程学报, 2009, 26(2): 212-216.
- WANG Xuejun, QIAN Xuesen, MA Liqiang, *et al.* Research on large mining height technique for thick coal seams[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2009, 26(2): 212-216.
- [10] 袁永, 屠世浩, 王瑛, 等. 大采高综采技术的关键问题与对策探讨[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(1): 4-8.
- YUAN Yong, TU Shihao, WANG Ying, *et al.* Discussion on key problems and countermeasures of fully mechanized mining technology with high mining height[J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(1): 4-8.
- [11] 魏景生, 任怀伟. 销轴连接对液压支架稳定性及可靠性的影响[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(1): 72-75.
- WEI Jingsheng, REN Huaiwei. Pin shaft connection affected to stability and reliability of hydraulic powered support[J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(1): 72-75.
- [12] 刘海军. 大采高工作面刮板输送机的研究与应用[J]. 煤矿机械, 2016, 37(12): 53-54.
- LIU Haijun. Research and application of workface scraper conveyors with big cutting height[J]. Coal Mine Machinery, 2016, 37(12): 53-54.
- [13] 王国法, 庞义辉, 张传昌. 超大采高智能化综采成套技术与装备研发及适应性研究[J]. 煤炭工程, 2016, 48(9): 6-10.
- WANG Guofa, PANG Yihui, ZHANG Chuanchang. Intelligent longwall mining technology and equipment and adaptability in super large mining height working face[J]. Coal Engineering, 2016, 48(9): 6-10.
- [14] 庞义辉, 王国法. 基于煤壁“拉裂-滑移”力学模型的支架护帮结构分析[J]. 煤炭学报, 2017, 42(8): 1941-1950.
- PANG Yihui, WANG Guofa. Hydraulic support protecting board analysis based on rib spalling “tensile cracking-sliding” mechanical model[J]. Journal of China Coal Society, 2017, 42(8): 1941-1950.
- [15] 王国法, 赵志礼. 液压支架双伸缩抗冲击立柱动态分析[J]. 煤矿开采, 2010, 15(2): 62-65.
- WANG Guofa, ZHAO Zhili. Dynamic analysis of double-telescopic prop against shocking in powered support[J]. Coal Mining Technology, 2010, 15(2): 62-65.
- [16] 任怀伟. 液压支架关键零部件材料性能分析及工艺研究[J]. 煤矿开采, 2015(4): 1-4.
- REN Huaiwei. Analysis of key components material property of powered support and technique[J]. Coal Mining Technology, 2015(4): 1-4.
- [17] 孟国营, 李国平, 沃磊, 等. 重型刮板输送机成套装备智能化关键技术[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(9): 57-60.
- MENG Guoying, LI Guoping, WO Lei, *et al.* Intelligent key technologies of complete heavy scraper conveyor equipment[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(9): 57-60.
- [18] 任艳芳, 宁宇. 浅埋煤层长壁开采超前支承压力变化特征[J]. 煤炭学报, 2014, 39(S1): 38-42.
- REN Yanfang, NING Yu. Changing feature of advancing abutment pressure in shallow long wall working face[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(S1): 38-42.
- [19] 翟桂武. 大采高综采面巷道超前支护支架及其应用[J]. 煤炭工程, 2008(7): 29-30.
- ZHAI Guiwu. Advanced support for large mining height and its application[J]. Coal Engineering, 2008(7): 29-30.
- [20] 王朗朗, 刘混举. 大采高综采工作面巷道超前支护技术分析[J]. 煤矿机械, 2014, 35(5): 10-12.
- WANG Langlang, LIU Hunju. Technical analysis of tailgate forepoling support for application of longwall coal face[J]. Coal Mine Machinery, 2014, 35(5): 10-12.