

# 垛式超前支架在大采高巷道支护中的应用研究

王根盛<sup>1</sup>, 宋淑光<sup>1</sup>, 曹连民<sup>2</sup>, 郭震<sup>2</sup>, 燕明伟<sup>2</sup>

(1. 内蒙古黄陶勒盖煤炭有限责任公司, 内蒙古 鄂尔多斯 017300; 2. 山东科技大学 机械电子工程学院, 山东 青岛 266590)

**摘要:**根据巴彦高勒煤矿311103大采高综采工作面巷道顶板支护现状和支护局限性,提出设计一种垛式支架用于巷道超前支护。结合巴彦高勒煤矿311103综采工作面及巷道概况,运用理论计算和实测分析确定支架的主要技术参数和结构特点,利用ANSYS Workbench软件进行整架力学分析,同时检测在大采高综采工作面巷道支护的现场应用情况。结果表明,采用垛式超前支架进行巷道支护可以有效保证工作效率,降低事故发生率,减少人工劳动,可为我国煤矿大采高综采工作面巷道超前支护提供技术参考。

**关键词:**垛式超前支架;大采高;巷道支护;综采工作面

**中图分类号:**TD355 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-2336(2017)08-0159-05

## Study on stack type advanced powered support applied to roof support of high cutting gateway

Wang Gensheng<sup>1</sup>, Song Shuguang<sup>1</sup>, Cao Lianmin<sup>2</sup>, Guo Zhen<sup>2</sup>, Yan Mingwei<sup>2</sup>

(1. Inner Mongolia Huangtao Legai Coal Company Limited, Ordos 017300, China; 2. School of Mechanical and Electronic Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

**Abstract:** According to the roof support status and the support limitation for the mine gateway of No. 311103 high cutting fully-mechanized coal mining face in Bayangol Coal Mine, the paper provided a design of a stack type advanced powered support applied to the advance support of the mine gateway. In combination with the conditions of No. 311103 fully-mechanized coal mining face and the gateway in Bayangol Coal Mine, the theoretical calculation and site measurement analysis were applied to set up the major technical parameters and the structure features of the stack powered support. The ANSYS Workbench software was applied to the mechanics analysis on the whole set powered support. The site application condition to the gateway support of the high cutting fully-mechanized coal mining face was detected. The results showed that the application of the stack type advanced powered support to the gateway support could effectively ensure the working efficiency, could reduce the accident rate occurred, could reduce the labor and could provide the technical references to the advanced support of the gateway in the high cutting fully-mechanized coal mining face in China.

**Key words:** stack type advanced powered support; high cutting; gateway support; fully-mechanized mining face

## 0 引言

内蒙古乌审旗地区巴彦高勒煤矿埋深较大,相邻工作面回采过程中受重复采动影响的巷道易发生强矿压显现,受到超前支承压力及采空区侧向顶板压力共同作用,两帮煤体受力显著增大,产生较大变

形<sup>[1]</sup>。经矿压监测,巴彦高勒煤矿311103工作面初次来压步距及周期来压步距均较大,给综采工作面、工作人员及设备带来了很大的安全隐患,严重影响工作面推进以及煤矿安全高效生产。前人也针对此情况展开了研究,郑旭鹤<sup>[2]</sup>分析了ZTC超前液压支架在工作面中的应用;闫殿华等<sup>[3]</sup>研究了迈步分体

收稿日期:2017-03-22;责任编辑:赵瑞 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2017.08.027

基金项目:青岛市应用基础研究计划资助项目(15-9-1-32,jch)

作者简介:王根盛(1968—),男,山东东营人,高级工程师,现任内蒙古黄陶勒盖煤炭有限责任公司总工程师。E-mail:wgs326@163.com

引用格式:王根盛,宋淑光,曹连民,等.垛式超前支架在大采高巷道支护中的应用研究[J].煤炭科学技术,2017,45(8):159-163,169.

Wang Gensheng, Song Shuguang, Cao Lianmin, et al. Study on stack type advanced powered support applied to roof support of high cutting gateway[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(8): 159-163, 169.

式超前支架用于巷道支护;唐治等<sup>[4]</sup>研究设计自移式吸能防冲巷道超前支架对大采高巷道顶板进行超前支护。虽然起到了一定的支护效果,但支护强度及速度还有待提高。目前巴彦高勒矿井主要以单体液压支柱配以金属铰接顶梁作为主要支护手段,利用木垛进行临时超前支护,但当遇到邻近工作面开采和矿压显现剧烈时,其支护局限性主要表现为支护强度低、支护速度慢、甚至出现超前支护断架现象,而且人工劳动强度大、成本高、安全性差。因此改善大采高综采工作面两巷道的支护状况,加快工作面推进速度,实现大采高综采工作面作业的机械化、自动化,提高综采工作面安全程度已经成为巴彦高勒煤矿亟待解决的问题。

针对上述问题,根据煤层赋存状况、岩石性质及顶底板条件,通过现场钻孔取样对巷道煤层及顶板围岩进行力学参数测试,获得巷道围岩弹性模量、抗拉强度等力学参数以及理论计算分析依据,从而设计了一种新型垛式超前液压支架用于大采高综采工作面回风巷道的超前支护,保证大采高综采工作面的快速推进、人员安全及单产高效要求。

1 垛式超前支架设计

巴彦高勒煤矿 311103 工作面长度为 260 m,平均煤厚 5.56 m,3 条巷道长度均为 3 688 m,断面均为矩形。辅助运输巷道宽×高为 5.5 m×3.9 m,主要用于工作面进风、运料及人员运输;主运输巷道宽×高为 5.3 m×4.0 m,主要用于工作面进风和煤炭运输,该巷道设置设备列车;回风巷道宽×高为 5.4 m×3.9 m,用于工作面回风。在详细总结大采高综采技术,研究分析目前多种超前支护支架的基础上<sup>[5-8]</sup>,结合 311103 工作面巷道顶板压力条件、矿压显现规律以及回风和辅助运输巷道的几何尺寸和运输参数,并借鉴其他矿井的超前支护情况<sup>[9-12]</sup>,设计制造了一种适合巴彦高勒煤矿大采高综采工作面使用条件的四柱支撑式大工作阻力垛式超前支架。

1.1 垛式超前支架主要支护参数设计计算

根据现场实际调研可知,巴彦高勒煤矿工作面巷道断面实际高度约为 4 m,在最大采高支架保留 300~400 mm 行程,确定支架最大高度为 4.4 m。根据支架支护高度可选择液压缸,并确定立柱缸径为 400 mm。在巷道超前支护中,支架与顶板接触直至达到乳化液泵站压力的这一阶段为初撑阶段,此时超前支架对顶板的支撑力为初撑力,其初撑力表达

式为

$$P_c = 10^3 D^2 N P_b \frac{\pi}{4}$$

其中: $D$  为支架的立柱缸径,取 400 mm; $N$  为支架立柱数量,取 4 个; $P_b$  为乳化液泵站的工作压力,取 37.5 MPa。代入上述数据,得超前支架的初撑力  $P_c = 18\,840\text{ kN}$ 。

在超前支架承载的恒阻阶段时,超前支架对顶板的支撑力称为工作阻力,它是由超前支架安全阀的调定压力决定<sup>[13]</sup>。超前支架的工作阻力为

$$P = 10^3 D^2 N P_a \frac{\pi}{4}$$

其中: $P_a$  为支架的安全阀调定压力,取 39.8 MPa。代入上述数据,得支架的工作阻力  $P = 19\,995.5\text{ kN}$ 。

超前支架的支护强度可反映支架在实际巷道支护的性能,与支架的工作阻力如下关系。

$$Q = 10^{-3} \frac{P}{F}$$

其中: $Q$  为支架支护强度; $F$  为超前支架的支护面积,取 16.5 m<sup>2</sup>;代入数据,得支护强度  $Q = 1.21\text{ MPa}$ 。

1.2 垛式超前支架主要技术参数

根据上述的理论计算和分析,可确定大工作阻力垛式超前支架的主要技术参数如下:

型号	ZZ20000/22/44D 型液压支架
高度/mm	2 200~4 400
宽度/mm	1 900~2 645
初撑力/kN	18 840 ( $P_b = 37.5\text{ MPa}$ )
工作阻力/kN	20 000 ( $P_a = 39.8\text{ MPa}$ )
支护强度/MPa	1.21~1.24
底板比压(平均)/MPa	4.32~4.47
泵站压力/MPa	37.5
操作方式	电液控制
支架质量/t	约 46.8

1.3 垛式超前支架主要结构特点

垛式超前支架是一种新型特殊架组,为大采高综采工作面超前支护提供了一种全新的支护方式。其支架结构如图 1 所示。支架主要结构特点如下:

1) 支架选用四柱支撑式液压支架,能够增加工作阻力和支护强度,从而提高支护性能。

2) 顶梁采用整体顶梁结构,一侧带顶梁侧挡板,顶梁侧挡板可实现下垂。既可以增加顶板支护

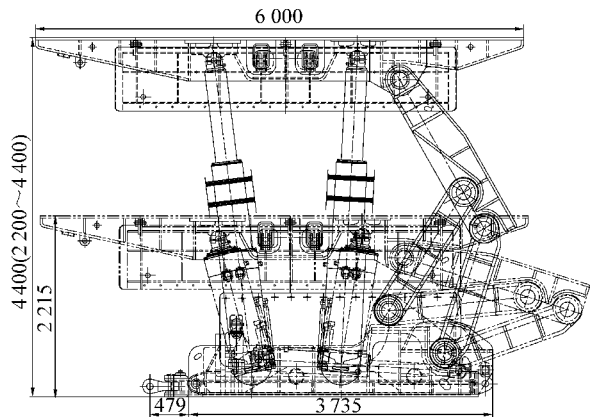


图1 垛式超前支架示意

Fig.1 Schematic diagram of stack type advanced support

面积,又对巷道两侧帮起到一定的支护作用。

3) 拉移机构采用长推杆倒装千斤顶结构。使用时推杆通过圆环链与前架底座连接,可以实现自动移架。

2 垛式超前支架整架有限元分析

针对第1节对垛式超前支架的支护参数及主要结构件的设计研究,为了优化整架结构和强度分析,利用 ANSYS Workbench 软件针对顶梁偏载、顶梁集中载荷2种工况进行强度分析<sup>[14-16]</sup>。

2.1 三维模型的建立与力学模型简化

利用 SolidWorks 2012 建立的 ZZ20000/22/44D 型垛式超前支架的三维模型如图2所示。

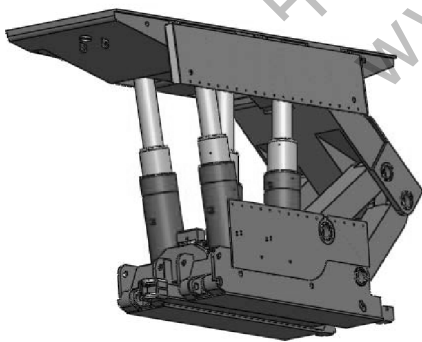


图2 垛式超前支架三维模型

Fig.2 Three-dimensional model of stack type advanced support

垛式超前支架主要由顶梁、侧挡板、掩护梁、前(后)连杆、底座、立柱、推移杆等组成。但在分析整架时,需根据工况及对支架的受力影响程度不同进行简化模型,保留底座、顶梁、掩护梁和前、后连杆,并将每个部件当一个零件处理,忽略不重要的小孔及小尺寸结构。垛式超前支架简化模型如图3所示。

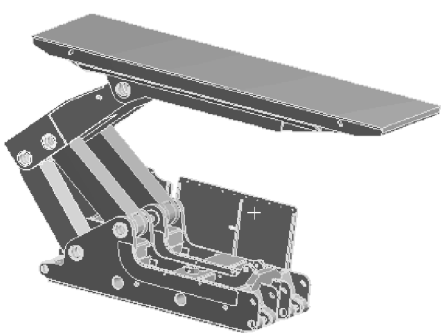


图3 垛式超前支架简化模型

Fig.3 Simplified model of stack type advanced support

2.2 垛式超前支架模拟工况下有限元分析结果

通过 ANSYS Workbench 分析软件进行模拟工况加载试验,得出垛式超前支架在顶梁偏载以及顶梁集中载荷2种工况下整架的应力云图、总位移云图,如图4、图5所示。

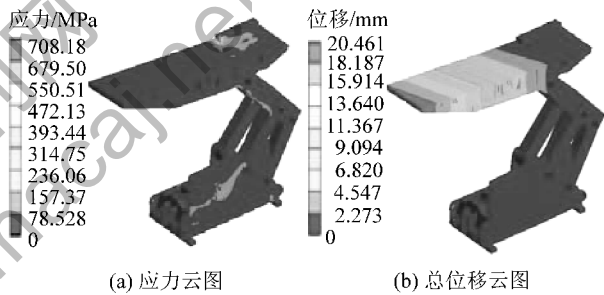


图4 垛式超前支架顶梁偏载分析结果

Fig.4 Partial load analysis results of stack type advanced support beam

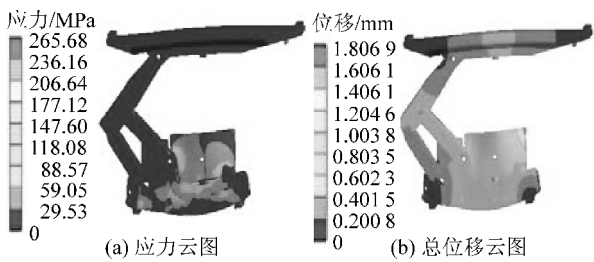


图5 垛式超前支架顶梁集中载荷分析结果

Fig.5 Concentrated load analysis results of stack type advanced support beam

由图4a可知,支架顶梁偏载最大应力集中分布在顶梁后部,最大应力达到708.18 MPa,掩护梁和底座少许部位受较大应力;由图4b可知,支架的最大位移出现在顶梁前端部,最大位移达到20.461 mm,位移偏大,支架其余各部分位移偏小,最小位移趋向于0。说明支架在顶梁偏载工况下,整体受力均匀,没有出现应力集中现象。在载荷过大的情况下,支架顶梁前部容易产生较大变形。



由图5a可知,在顶梁集中载荷工况下,最大应力出现在支架底座上,最大达到265.68 MPa,其余各部位无明显应力集中现象;由图5b可知,在底座固定挡板上出现最大位移为1.806 9 mm,其余部位变形较小。说明支架在顶梁集中载荷工况下,支架受力均匀,无明显应力集中现象。在载荷过大的情况下,底座固定挡板容易产生较大变形,出现底座固定挡板损坏的情况。综合上述2种模拟工况下整架的有限元分析可知,超前垛式支架可以满足正常情况下超前支护,对于载荷过大的情况,可以采用高强度钢板进行局部加强。

### 3 垛式超前支架现场应用

#### 3.1 现场应用情况

2015年12月8日首次在井下311103综采工作面的回风巷进行20组垛式超前支架的安装与调试。支架按2排对称布置安装,前后支架间距不得大于长推杆倒装千斤顶的行程900 mm,并列2排支架的顶梁距巷道同侧距离不得大于800 mm。2排支架顶梁的侧挡板都应放置在靠近巷道两帮一侧。支架顶梁要接顶严密,顶底板受力均匀,保证正确安装支架位置,逐架反复升降3~5次并适量前移,其他千斤顶试动几次,通过反复操作确定各项技术参数。垛式超前支架现场布置如图6所示。

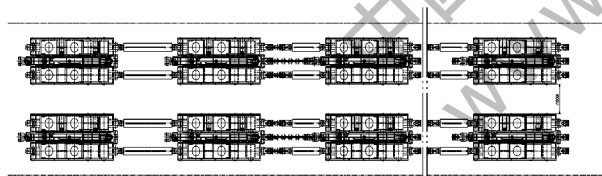


图6 垛式超前支架布置

Fig. 6 Stack type foresupport layout

现场观测与其他设备的配套情况,发现并改进支架结构参数、尺寸大小和支护性能的不足之处。2016年2月18号,3011103综采工作面正常开采,垛式超前支架正式投入使用,其实际巷道支护现场如图7所示。

#### 3.2 现场矿压观测分析

为了检验垛式超前支架的实际支护效果,对311103工作面进行了巷道矿压观测。通过矿压显现观测,研究顶板运动范围及运动参数,观测采场顶板来压时刻,垛式超前支架的受力情况及支护效果。

2016年5月8日早班13:50,311103工作面基本顶开始垮落,现场工人感觉到采空区有风吹出,



图7 巷道支护现场

Fig. 7 Support slot in the spot diagram

40—90号支架出现卸压阀喷液现象,50—80号支架顶板下沉200 mm,工作面开始初次来压。由于102工作面推进速度较慢,5月8日—10日,工作面处于持续来压状态,30—100号支架均出现了卸压阀开启现象,5月10日早班工作面初次来压结束。经分析311103工作面初次来压步距为53 m。

第1次周期来压:随着工作面初次来压结束,采空区顶板将周期性垮落,5月13日中班16:00左右,311103工作面出现首次周期来压,来压步距为24 m,周期来压期间,80—120号支架压力较高,部分支架卸压阀开启,工作面周期来压步距为25 m。

在采煤工作面顶板的初次来压和周期来压期间,垛式超前支架均未出现压死现象,表明该垛式超前支架可以承受顶板来压时高度集中的压力影响,控制顶板围岩的变形破坏,未发生破碎、冒落情况,保证巷道及支护位置人员和设备的安全。观测表明,该垛式超前支架的设计是合理的,可以适应巴彦高勒煤矿311103工作面的采场条件。

### 4 垛式超前支架实际应用效果

#### 4.1 主要应用优势

利用垛式超前支架进行超前支护具有明显的优势,并取得了良好的支护效果。

1)整体支护强度得到提高。垛式支架具有较大的工作阻力,支护强度高,对巷道顶板的支护整体性明显提升,能够支撑采场顶板的周期来压。

2)支护速度加快。垛式超前支护支架具有长推杆倒装千斤顶装置可实现自动移架,操作简单方便、动作快速用时短,从而使得支架组整体超前支护速度加快<sup>[17-19]</sup>。

3)人工劳动强度大幅降低,从而节省成本。采用垛式超前支架支护时,采场由原来的6人,减至目前的2人进行作业,每个生产小班将节省4人,每个原班将节省人工12人,每年可节约人工总费用75万元。

4)减少支护成本,经济效益显著提高。垛式超前支架的应用,大幅降低支护材料的消耗,并且提高了设备的生产效率,单班生产能力将达到7刀以上,月生产能力将轻松突破50万t,可达到年产600万t的生产能力,与国内同类型工作面相比,每年可多生产原煤200万t,增加产值近4亿元<sup>[20]</sup>。

## 4.2 存在的问题与建议

1)由于受到的顶板离层、破碎,压力较大并且支架自身整体的质量大,造成巷道两帮鼓帮,底板鼓起量稍大,影响巷道支护强度。建议使用高强度板,减小支架整体质量。

2)垛式支架采用整体顶梁结构且能够自移,致使对顶板反复强力支撑,容易造成顶板破碎、冒落等事故。建议增加自移步距,减少反复支撑次数。

3)垛式支架在巷道超前支护中双排布置,造成巷道断面面积减小,正常通风效果不好,影响安全生产。建议适当调整优化整架的外形尺寸,保证顶板支护强度,同时尽量增加巷道断面通风面积。

## 5 结 语

通过理论计算对垛式超前支架的结构和支护参数进行设计研究,并对垛式超前支架整架进行有限元分析保证其支护强度。垛式超前支架在巴彦高勒煤矿311103大采高综采工作面巷道超前支护中应用效果良好,解决了巷道超前支护的一系列安全防护问题,保证了煤矿的安全高效生产,为今后巴彦高勒煤矿其他工作面机械化、自动化生产提供了一种新的支护设备及手段。但在实际应用中也出现了底板鼓起、通风效果差、顶板破碎等不足之处,需要进一步对支架进行结构优化设计,降低支架质量。

## 参考文献(References):

- [1] 张海峰.浅埋深不规则综放工作面矿压显现规律研究[J].煤炭科学技术,2015,43(7):45-49.  
Zhang Haifeng.Study on mine strata pressure behavior law of irregular fully-mechanized top coal caving mining face in seam with shallow depth[J].Coal Science and Technology,2015,43(7):45-49.
- [2] 郑旭鹤.ZTC超前液压支架在大采高综采工作面中的应用[J].煤炭与化工,2013,36(8):68-69.  
Zheng Xuhe.ZTC Advanced hydraulic support in largemining height fully-mechanized working face application[J].Coal and Chemical Industry,2013,36(8):68-69.
- [3] 闫殿华,周凯,王本林.迈步分体式超前支护支架的研制与应

用[J].煤炭科学技术,2014,42(5):81-83.

Yan Dianhua,Zhou Kai,Wang Benlin.Development and application of step-Separation advanced support[J].Coal Science and Technology,2014,42(5):81-83.

- [4] 唐治,潘一山,朱小景,等.自移式吸能防冲巷道超前支架设计与研究[J].煤炭学报,2016,41(4):1032-1037.  
Tang Zhi,Pan Yishan,Zhu Xiaojing,et al.Design and study of self-moving energy absorption and anti-impact roadway advanced support[J].Coal Science and Technology,2016,41(4):1032-1037.
- [5] 郭继圣.综采工作面巷道超前液压支架选型设计及展望[J].煤炭科学技术,2016,44(11):30-35.  
Guo Jisheng.Selection design and outlook on advanced hydraulic powered support of gateway in fully-mechanized coal mining face[J].Coal Science and Technology,2016,44(11):30-35.
- [6] 吴多华.爆破-锚喷联合支护技术研究[J].山东科技大学学报:自然科学版,2016,35(2):50-56.  
Wu Duohua.Research on blasting and bolt-shotcrete combined support technology[J].Journal of Shandong University of Science and Technology:Natural Science Edition,2016,35(2):50-56.
- [7] 杨东辉,宁掌玄,吕兆恒,等.新型迈步自移式超前临时支架的研制与应用[J].煤炭科学技术,2015,43(6):112-115.  
Yang Donghui,Ning Zhangxuan,Lyu Zhaozheng,et al.Application and development on new type walking self moving advance temporary powered support[J].Coal Science and Technology,2015,43(6):112-115.
- [8] 唐永志,徐刚,李万峰,等.深部大采高综采面巷道超前支护技术研究[J].中国煤炭,2015,41(12):64-67.  
Tang Yongzhi,Xu Gang,Li Wanfeng,et al.Research on forepoling protection technology in roadways of deep fully-mechanized mining face with large mining height[J].China Coal,2015,41(12):64-67.
- [9] 吴士良,刘思利,王建行,等.综采采场顶板结构模型及“支架-围岩”关系研究[J].山东科技大学学报:自然科学版,2016,35(4):44-51.  
Wu Shiliang,Liu Sili,Wang Jianhang,et al.Study on roof structure model and support-surrounding rock relationship at fully-mechanized coal mining face[J].Journal of Shandong University of Science and Technology:Natural Science Edition,2016,35(4):44-51.
- [10] 朱军.红柳林煤矿回风巷超前支架研制[J].煤矿开采,2016,17(2):44-45.  
Zhu Jun.Development of advanced powered support for ventilation roadway in Hongliulin Colliery[J].Coal Mining Technology,2016,17(2):44-45.
- [11] 刘晓明,赵同彬,王明强,等.固体充填工作面支架工作特性及顶板控制分析[J].山东科技大学学报:自然科学版,2017,36(2):42-47.  
Liu Xiaoming,Zhao Tongbin,Wang Mingqiang,et al.Analysis of

(下转第169页)

- [7] 乔宪队,黄仁东.邻近隧洞爆破的 FLAC<sup>3D</sup>模拟[J].采矿技术,2007,7(2):94-96.  
Qiao Xiandui, Huang Rendong. The FLAC<sup>3D</sup> simulation of adjacent tunnel blasting[J]. Mining Technology, 2007, 7(2): 94-96.
- [8] 庄新炉.爆炸载荷作用下裂隙岩体的损伤特性研究[D].淮南:安徽理工大学,2005.
- [9] 郑刚,王洪,郭玉新,等.松动爆破技术在综掘机掘进硬岩巷道时的应用与研究[J].内蒙古煤炭经济,2013(3):70-73.  
Zheng Gang, Wang Hong, Guo Yuxin, et al. Application and research of loose blasting technology in hard rock roadway excavation[J]. Inner Mongolia Coal Economy, 2013(3): 70-73.
- [10] 卢旭,张丰,周少华,等.数值模拟在松动爆破泄压技术中的应用[J].煤炭科学技术,2005,33(8):21-23.  
Lu Xu, Zhang Feng, Zhou Shaohua, et al. Application of digital simulation to vibration blasting and pressure releasing technology[J]. Coal Science and Technology, 2005, 33(8): 21-23.
- [11] 周长巨.松动爆破在煤矿生产中的应用[J].煤炭技术,2008,27(5):65-66.  
Zhou Changju. Application of loose blasting in mine production[J]. Coal Technology, 2008, 27(5): 65-66.
- [12] 吴进和.采煤工作面松动爆破研究[J].西北煤炭,2004,2(2):16-18.  
Wu Jinhe. Research in coalface by standing shot[J]. Northwest
- Coal, 2004, 2(2): 16-18.
- [13] 王玉锦.煤体松动爆破的研究与实践[J].煤炭工程,2003(9):37-38.  
Wang Yujin. Research and practice of loose blasting in Coal[J]. Coal Engineering, 2003(9): 37-38.
- [14] 张立.煤层综采面底板岩石深孔松动爆破技术研究[D].淮南:安徽理工大学,2008.
- [15] 张立.不耦合装药结构下底板岩石松动爆破技术研究[J].煤矿爆破,2011(1):71-72.  
Zhang Li. Research on rock blasting technology of floor rock under coupling charge structure[J]. Coal Mine Blasting, 2011(1): 71-72.
- [16] 温耀军.坚硬顶板工作面强制放顶技术试验[J].山西焦煤科技,2015(S1):46-47.  
Wen Yaojun. The test of forced caving on hard roof face[J]. Shanxi Coal Science & Technology, 2015(S1): 46-47.
- [17] 陈育民,徐鼎平.FLAC/FLAC<sup>3D</sup>基础与工程实例[M].北京:中国水利水电出版社,2009.
- [18] 蒋楠,郑晓硕,张磊,等.采矿爆破振动对巷道围岩影响的数值模拟研究[J].工程爆破,2010(3):21-24.  
Jiang Nan, Zheng Xiaoshuo, Zhang Lei, et al. Numerical simulation study about the effect of mining blasting vibration on tunnel surrounding rock[J]. Engineering Blasting, 2010(3): 21-24.

## (上接第163页)

- working characteristics and roof control of back filling hydraulic support[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2017, 36(2): 42-47.
- [12] 刘贺,秦健,夏明生,等.四连杆机构对超前支架受力影响规律分析[J].煤炭科技,2015(2):35-38.  
Liu He, Qin Ming, Xia Mingsheng, et al. Analysis of the influence of the four bar linkage mechanism on the force of lead bracket[J]. Coal Science and Technology, 2015(2): 35-38.
- [13] 黄庆享,周金龙.浅埋煤层大采高工作面矿压规律及顶板结构研究[J].煤炭学报,2016,41(S2):279-286.  
Huang Qingxiang, Zhou Jinlong. Roof weighting behavior and roof structure of large height longwall face in shallow coal seam[J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(S2): 279-286.
- [14] 卢进南,毛君,谢苗,等.巷道超前支架全支撑态动力学模型[J].煤炭学报,2015,40(1):50-57.  
Lu Jinnan, Mao Jun, Xie Miao, et al. Dynamics model of advanced powered support in heading under full support situation[J]. Journal of China Coal Society, 2015, 40(1): 50-57.
- [15] 曹连民,魏翠翠,王鹏怀,等.大采高液压支架主体结构件的有限元分析[J].山东科技大学学报:自然科学版,2017,36(1):94-98.  
Cao Lianmin, Wei Cuicui, Wang Penghuai, et al. Finite element analysis of the main components of large mining height hydraulic support[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2017, 36(1): 94-98.
- [16] 刘新华,王国法,刘成峰,等.两柱大采高液压支架的整架有限元分析[J].煤炭科学技术,2010,38(8):93-96.  
Liu Xinhua, Wang Guofa, Liu Chengfeng, et al. Full set finite element analysis on two-leg high cutting hydraulic powered support[J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(8): 93-96.
- [17] 张宏明,曹伟.石炭系千万吨级矿井综采巷道超前支护支架设计及应用[J].煤矿安全,2012,43(9):98-100.  
Zhang Hongming, Cao Wei. Design and application of advance support frame of fully-mechanized mining crossheading in carboniferous ten million tons coal mine[J]. Safety in Coal Mines, 2012, 43(9): 98-100.
- [18] 索永录,商铁林,陈小绳.大采高综采面运输巷超前支架应用分析[J].煤炭技术,2015,34(6):58-60.  
Suo Yonglu, Shang Tielin, Chen Xiaosheng. Analysis on the application of advanced support for transport roadway in fully-mechanized mining face with large mining height[J]. Coal Technology, 2015, 34(6): 58-60.
- [19] 吴士良,刘思利.顶板结构模型法计算确定综采面支架合理支护强度[J].山东科技大学学报:自然科学版,2015,36(6):40-44.  
Wu Shiliang, Liu Sili. Roof structure model method to calculate and determine the reasonable supporting strength of fully-mechanized coal mining face[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2015, 36(6): 40-44.
- [20] 罗文.工作面巷道超前液压支架的研制及应用[J].煤炭工程,2009(11):98-99.  
Luo Wen. Development and application of the advanced hydraulic support for working face along the groove[J]. Coal Engineering, 2009(11): 98-99.