

## 8.8 m 液压支架设计与制造关键技术研究

高 有 进

(郑州煤矿机械集团股份有限公司,河南 郑州 450000)

**摘 要:**针对 8.8 m 大采高液压支架大缸径立柱材料空白,现有加工制造装备等难以满足用户要求的现状,在架型设计、支架中心距确定、立柱缸径选定与制造、高强度材料开发与焊接工艺研究等方面进行研究,最终确定了 ZY26000/40/88D 架型,支架中心距达到 2.4 m,立柱缸径  $\phi 600$  mm,并形成了优选的加工制造工艺,有效保证了产品品质,与钢厂合作开发了 ZMJ06 高强度材料,屈服强度达到 890 MPa,有效减小了支架质量,整架质量控制在 100 t 以内。目前 8.8 m 液压支架已经顺利通过了国家实验室型式试验检测,效果良好,为下一步批量生产做好了技术储备。

**关键词:**8.8 m 液压支架;制造工艺;大缸径立柱;高强度材料

中图分类号:TD42 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2017)11-0015-06

### Study on design and manufacturing key technology of 8.8 m hydraulic powered support

GAO Youjin

(Zhengzhou Coal Mining Machinery Group Company Limited, Zhengzhou 450000, China)

**Abstract:**According to the status of a cutting height 8.8 m hydraulic powered support existed no material of the large diameter cylinder leg, available processing and manufacturing equipment and others would hard to meet the requirements. A study was conducted on the powered support type set up, the powered support central distance determination, the leg cylinder diameter selection and manufacturing, the high strength steel material development and welding technique study and other aspects. Finally, the ZY26000/40/88D mode powered support was determined, the central distance of the powered support was 2.4 m and the cylinder diameter of the lag was  $\phi 600$  mm. An optimized processing and manufacturing technique was formed to effectively ensure the product quality. The ZMJ06 high strength steel material was jointly development with steel company. The yield strength was 890 MPa, would effectively reduce the weight of the powered support and the total weight of the powered support could be controlled within 100 t. At present, the 8.8 m high cutting hydraulic powered support was successfully passed the test of the national certification organization and the excellent effect had made a good technical reservation for the late batch production.

**Key words:**8.8 m hydraulic powered support; manufacturing technique; large diameter cylinder leg; high strength steel material

## 0 引 言

煤炭作为我国的主要能源,在现有能源结构中占据主导地位,但是煤炭生产普遍存在自动化程度低、回收率低、安全事故频发等问题,严重制约着我国煤炭工业的可持续发展。为此,国家在《中长期

科学和技术发展规划纲要(2006—2020)》中指出:“要重点研究开发煤炭高效开采技术及配套装备”、“加强对能源装备引进技术的消化、吸收和再创新”。2009年,郑州煤矿机械集团股份有限公司(以下简称郑煤机集团)和神华集团共同开发了世界上第 1 台 7 m 高液压支架,支撑高度为 3.2~7.0 m,支

收稿日期:2017-03-11;责任编辑:赵 瑞 DOI:10.13199/j.cnki.est.2017.11.003

基金项目:郑州市重大科技专项资助项目(152PZDZX001)

作者简介:高有进(1963—),男,河南郑州人,教授级高级工程师,博士,现任郑州煤矿机械集团股份有限公司副总经理、总工程师。E-mail:zmjgaoyoujin@163.com

引用格式:高有进.8.8 m 液压支架设计与制造关键技术研究[J].煤炭科学技术,2017,45(11):15-20.

GAO Youjin.Study on design and manufacturing key technology of 8.8 m hydraulic powered support[J].Coal Science and Technology,2017,45(11):15-20.

架的工作阻力达到 16 800 kN,中心距达到 2.05 m。7 m 大采高综采技术经过在神东等矿区 9 个工作面的应用,已经日臻成熟,为超大采高综采技术积累了丰富的经验<sup>[1]</sup>。许多学者、支架研发设计人员对超大采高开采技术与装备进行了研究与探讨;文献[2-5]介绍了大采高技术发展及适应性;文献[6-7]分别提出了顶板结构模型法计算确定支架工作阻力和基于煤壁控制的大采高工作面支架工作阻力确定方法;文献[8-10]对大采高工作面煤壁片帮及控制技术进行了探讨;文献[11-12]对典型超大采高 7、8 m 液压支架进行了静力学和疲劳分析,为结构可靠性设计提出了一种方法;文献[13-14]对超大采高支架稳定性进行了研究分析;文献[15]阐述了 6.2 m 大采高设备的选型与研发过程。

虽然一次采全高可以减少巷道掘进和工作面铺网等工作量,降低开采成本,提高了资源采出率,但采高进一步增大,工作面矿压显现将明显,片帮和冒顶倾向加剧。神东矿区现有 8 m 以上的厚煤层储量 19.8 亿 t,其中上湾煤矿就有 2.1 亿 t,若将工作面采高提高至 8 m,资源采出率将提高 20% 以上。针对神东矿区部分 8 m 以上的特厚煤层采用 7 m 支架开采资源采出率不足的现状,进行了 8.8 m 超大采高液压支架的研制。8.8 m 液压支架无论是最大支护高度、立柱工作阻力、立柱缸径、立柱寿命、结构件可靠性、支架总质量、支架中心距等都属世界首创,对设计结构、材料要求、制造工艺、加工装备等都提出了更高的要求。

## 1 8.8 m 液压支架设计难点及研究方向

### 1.1 设计难点

8.8 m 液压支架研制具有以下显著特点。

1)“高”:支护高度再度突破,8.8 m 采高将再次刷新综采高度的世界记录。

2)“大”:设备在既有大型设备上向超大型设备发展,设备中心距由现有 2.05 m 突破到 2.40 m,立柱缸径由  $\phi 530$  mm 增至  $\phi 600$  mm。

3)“新”:项目成套技术为新技术,采煤机、刮板输送机、液压支架、支架搬运车都需要重新研发。

4)“难”:高度的突破不仅是尺寸的放大,从超大采高顶板控制、设备稳定性到抗冲击超大缸径立柱研制,项目难点多,需要在理论、技术、手段、测试、集成方面进行系统性攻关。

### 1.2 技术研究方向

针对研发 8.8 m 超大采高液压支架的难点,根据预研及与用户研讨论证,最终确定以下攻关方向<sup>[16]</sup>。

1)超大采高支架可靠性研究,包括超大采高液压支架结构件可靠性设计,高强度、抗冲击和耐疲劳设计研究。

2)液压支架高强度新材料开发及应用研究,高强度新材料焊接工艺性研究。

3)超大型液压支架结构件焊接变形及焊接应力控制研究,主要包括不同高强板的合理匹配性研究,大型结构件焊接、变形控制的工艺性研究。

4)超长、超大缸径立柱研制,主要包括超长、超大缸径立柱设计和稳定性分析研究,大缸径立柱密封结构形式及密封材料研究,高强度耐锈蚀缸筒新材料研究,高耐腐蚀镀层关键技术研究。

5)大流量液压系统匹配性研究。

## 2 8.8 m 液压支架选型及设计关键技术

### 2.1 液压支架选型

设计选型原则是“本质安全、提高资源采出率、高产高效”。设计关键点是采高、支护强度和中心距。采高主要考虑煤层地质情况,配套采煤机高度,资源采出率等。支护强度主要根据顶板结构模型法计算,结合神东矿区近年来支架实际使用情况采用经验类比法测算,通过 FLAC<sup>3D</sup> 数值模拟软件计算工作面在不同采高条件下的煤壁片帮和顶板下沉量这 3 个方面确定。

1)顶板结构模型法计算。12401 工作面顶板结构模型如图 1 所示。

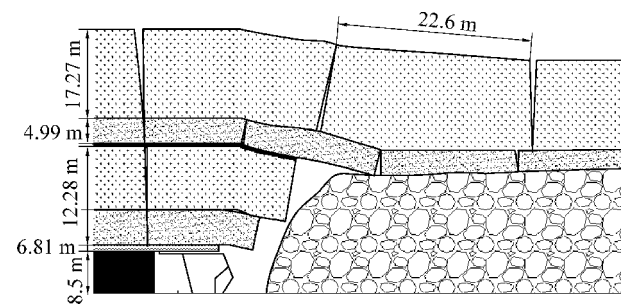


图 1 12401 工作面顶板结构模型

Fig. 1 Roof structure model of No.12401 working face

按文献[17]中提到的综采工作面合理支护强度计算方法,计算 12401 工作面与支架支护强度,结

果见表 1。由表 1 可知,顶板结构模型法计算支护强度不低于 1.73 MPa。

表 1 12401 工作面顶板压力和支架支护强度计算结果

Table 1 Roof pressure and supporting intensity calculation results of No. 12401 working face

开采阶段	顶板压力/ MPa	支架支护强度/ MPa
直接顶初垮(预裂)	0.67	0.70
初采阶段	直接顶初垮(未预裂)	1.64
	基本顶初垮(预裂)	1.52
	基本顶初垮(未预裂)	1.77
直接顶周期来压	1.34	1.41
正常开采基本顶周期来压	1.69	1.73

支架高度/mm	4 000~8 800
支架中心距/mm	2 400
支架宽度/mm	2 240~2 600
额定工作阻力/kN	26 000 (46 MPa)
初撑力/kN	19 782(35 MPa)
护帮高度/mm	4 380
泵站压力/MPa	35
质量/t	99

2) 经验类别法。根据该矿区不同时期,特定开采高度条件下所用支架理论计算支护强度和实际测得的支护强度,如图 2 所示,预测 8.8 m 支护强度在 1.65 MPa 以上。

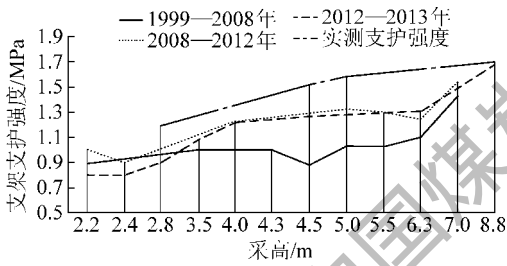


图 2 不同采高支架理论计算支护强度和实测支护强度

Fig.2 Theoretical calculation support strength and measured support strength with different cutting height

3) 数值模拟法。针对 12401 工作面煤层赋存条件,根据文献[2]所构建的 FLAC<sup>3D</sup> 数值模拟模型,确定顶板下沉位移与工作面支架支护强度之间存在的规律:当支架支护强度小于 1.6 MPa,支架支护强度的增大对控制顶板下沉作用较为明显;而当支架支护强度大于 1.6 MPa 时,支架支护强度的增大对控制顶板下沉作用逐渐减弱,并逐渐趋于稳定。数值模拟表明,该煤层超大采高综采工作面合理支护强度不应小于 1.6 MPa。

4) 支架主要参数的确定。根据以上 3 种方法,综合分析并论证,确定支架支护强度不小于 1.7 MPa;根据设备配套性、稳定性、系统可行性、结构适应性 4 个方面分析支架中心距。最终确定液压支架型号为 ZY26000/40/88D,支架主要技术参数如下:

## 2.2 液压支架设计关键技术

1) 超大采高支架顶板控制。针对超大采高顶板控制关键技术,围绕超大采高支架与围岩关系及来压特点,在支架合理选型、“主动支撑”进行顶板控制、提高支架的抗冲击性以及快速移架等方面,进行相关课题的攻关。神东矿区特厚煤层 5.0、5.5、6.3、7.0 m 的矿压实测情况揭示出随采高加大、工作面长度增加,矿压强度呈正比增加规律。顶板控制采取的具体措施如下:①立柱的初撑力由 35 MPa 提升至 42 MPa;②优化顶梁柱窝前后长度比值;③平衡缸径增大至 320 mm。

2) 超大采高综采煤壁稳定性与控制。综采工作面的片帮与端面冒顶通常同时发生,任何一种现象的发生与加剧必将导致另一种情况的发生。对于 8 m 以上超大采高综采来说,煤壁的稳定及控制与顶板控制一样重要。研究的关键技术难点包括:超大采高工作面煤壁失稳机理研究;超大采高工作面煤壁片帮和架前顶板的控制研究;护帮机构的可靠性及支护高度研究。煤壁控制采取的具体措施如下:①护帮设计为 3 级机构,高度增至 4 000 mm 以上;②设计辅助调刮板输送机机构,配套采用采煤机偏转 3° 设计,确保随着采高增加梁端距不增大;③护帮的铰接耳采用符合箱体式连接。

3) 超大采高支架稳定性设计。文献[14]研究表明支架的稳定性包括横向稳定性与纵向稳定性 2 个方面,针对超大采高支架稳定性的具体设计保证措施如下:总体设计需要保证支架在受载情况下的重心及合力位置合理;底座加宽加长增大面积;立柱中心距加大;四连杆机构铰接孔轴间隙减小;侧推千斤顶加大;提高护帮护顶及对破碎顶板的密封性能。

4) 超大缸径、超长高稳定性立柱高寿命设计。8.8 m 支架立柱缸径达到  $\phi 600$  mm,该立柱缸径是目前液压支架中使用的最大缸径,如图 3 所示。该 SLJ600a 双伸缩立柱主要针对郑煤机集团创新设计

的ZY26000/40/88D支架使用,在满足支架需要的同时,总结多套SLJ500立柱的实际使用经验,有针对性地缸体强度、螺纹强度、密封间隙配合、导向环性能、缸体弹性变形、防水防尘和异形防尘圈应用等多方面进行优化设计,保证了立柱设计的可靠性。

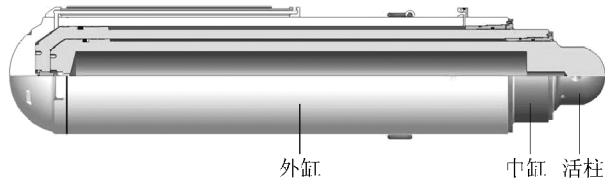


图3 8.8 m 液压支架立柱

Fig. 3 Column of hydraulic support of 8.8 meters height

5) 超大采高支架防挤死防倒架设计。支架高度与顶梁偏移距离的关系如下:当支架高度为6 300、7 000、8 500、8 800 mm,且倾斜 $1^\circ$ 时,顶梁偏移距离分别为110、122、148、154 mm。由此可知,随着采高的增大,所需的架间间隙也呈正比增大,相同的架间间隙支架越高越容易发生支架间挤死,甚至引起倒架。因此结构设计上要增大间隙,同时保证侧护系统的可靠性。

6) 高可靠长寿命支架高强板匹配性研究。Q890 高强板是郑煤机集团与钢厂联合开发的高强钢材料,该钢板在郑煤机集团其他液压支架上已经成功应用,并进行了4万次的压架试验,主体结构件主筋、盖板大面积使用了Q890 高强板,以顶梁为例,使用Q890 高强板以后安全系数提高了,但是顶梁在寿命测试34 500个循环时,主筋焊缝开裂。经过重新制造顶梁,主筋更换为Q690后,再次压架顺利通过40 000次试验,没有开裂情况。

按照传统安全系数为唯一指标的设计方法不能满足高寿命设计,超高强度钢(Q890及以上)不适用于有高寿命要求的主体结构件设计,因此在8.8 m 液压支架高强钢材料设计时,主体结构件做到强度和刚度的合理匹配,保证了8.8 m 样机顺利通过了国家检测中心寿命试验。

7) 大流量快速供回液智能液压系统。采用大流量专供阀进行供液+立柱液控单向阀双阀芯供液+专供阀旁路快速回液设计,降柱速度提高20%;所有阀和锁直接安装在立柱和千斤顶上(伸缩梁除外);立柱初撑力不足智能补压,立柱失效自动判断;文献[18]提出了解决立柱涨缸的措施之一是增加上腔安全阀,本次立柱上腔安装有特殊的剪断式安全阀,有效提高立柱抗冲击性能和防止立柱涨缸。

### 3 8.8 m 液压支架制造关键技术

8.8 m 液压支架结构件主要采用高强度钢板焊接,其中底座单件质量超过20 t,顶梁体、掩护梁体质量都超过15 t,工件的生产制造难度大幅提升;立柱缸径600 mm,不仅尺寸大,而且要求可靠性高,采用全新的制造工艺;结构件主要铰接孔直径设计为 $\phi 200$  mm,孔与轴的配合间隙0.8~1.0 mm,为目前世界上配合精度最高的液压支架。8.8 m 液压支架主要件、关键件所用材料、热处理工艺、工艺方案、防腐处理、加工设备、辅助工装等方面都提出新的要求。为此,郑煤机集团在提高结构件、立柱/千斤顶的可靠性等方面开展了研究。

#### 3.1 制造技术

8.8 m 液压支架制造技术主要研究内容包括:支架结构性工艺审核;关键零件材料选用及订货技术协议;样机工艺方案拟定及工艺攻关点;主要工装研发;样机质量控制点建立;立柱组装跟踪;超高端液压支架工艺方案制定。

#### 3.2 工艺难点

1) 立柱缸体焊接:外缸体直径太大,现有卡盘卡不住;窄间隙自动焊机的固定中心高位置不够;缸体和活柱长度尺寸都超出目前设备长度范围。

2) 中缸筒柱塞部分堆焊,因样机没有镦粗模具,采用堆焊工艺,目前转速较快,易出现焊接缺陷。

3) 顶梁/掩护梁顶板的矫平:材质为Q690、 $\delta 30$ ,宽度2 180 mm,平面度要求为0.1%,尺寸超宽,矫平难度大,郑煤机集团内部设备不能满足需要。

4) 顶梁柱窝下弯垫板压型难度大,展开长度为2 911 mm,需要压4个弯,且一端有与顶梁主筋加强板相配合的缺口,压型精度难以保证。

5) 顶梁/掩护梁定位套筒的筋板拼装的对称性(需要兼顾前后左右4个方向)对后期套筒的钻孔及导杆的装配影响很大。

6) 柱窝下垫板(顶梁及底座)焊接后的平面度难以保证。

#### 3.3 工艺关键点

1) 重要结构件的局部修磨。结构中存在形状突变,产生较大的应力集中,影响整体结构的疲劳寿命,另外焊缝余高的大小对焊缝的疲劳强度也有很大影响,尤其是主要受力部位的焊缝。

2) 大型结构件、关键部位焊接变形的控制。文

献[19]结论指出大型结构件应采取合适构型设计和恰当的焊接工艺来减小应力与变形,8.8 m 液压支架结构件部分的显著特点是尺寸大,一旦产生变形就不易矫正,甚至无法矫正,给后续工作带来很大麻烦。

3) 优化窄间隙焊接规范。由于高强钢材料对热输入的敏感性较强,热输入过大时会降低材料的力学性能,增加材料的淬硬性,带来潜在的风险。

4) 高精度大型缸筒内孔加工工艺研究。为保证 8.8 m 支架立柱缸筒的精度要求,深入分析研究影响缸筒加工质量的因素,经过多次加工试验,采取了以下工艺措施:外缸筒焊附件后、珩磨前采取时效处理,消除或减小前工序产生的应力;优化刮滚切削过程中的主要参数,减小切削力;文献[20]指出合理的工艺参数对于焊接接头性能至关重要,8.8 m 支架主体结构件焊接接头时按工艺要求的参数操作,严格控制热输入;立柱缸筒全部用井式炉加热,淬水冷却时工件必须垂直入水,以避免热处理过程中出现弯曲、圆度变形等缺陷等。

5)  $\phi 600$  mm 立柱导向套工艺保证措施。 $\phi 600$  mm 立柱大小导向套均属薄壁套类件,而且长度远大于  $\phi 530$  mm 立柱导向套,加工时刀杆伸出长易发颤,薄壁件加工后易变形。根据导向套结构和设计要求选用锻件毛坯,粗加工后调质,重点控制以下 2 点:投制直径尽量大的加长刀杆,增加刀杆强度和刚性;文献[21]指出导向套数控车削中变形的影响因素与夹持力有很大关系,因此减小夹紧力引起的变形,保证导向套的圆度要求;内、外密封槽、导向环槽、静密封面和外螺纹在一次装夹下加工完成;对导向套精加工前采用时效处理,消除加工时产生的内应力。

6)  $\phi 600$  mm 立柱装配工艺措施。针对 8.8 m 支架立柱缸径大、长度大、配合面间隙小等特点,立柱组装时采取了以下保证措施:采用对中性好的立式装缸工艺,投制简易立式拆装缸、上帽机;新设计、投制专用的装配引向套,保护密封件安全、顺利通过螺纹和孔口部位;工艺上要求密封件经过的过渡倒角要尽量长、尽量平滑,并且所有棱边去净毛刺、圆滑过渡;充分润滑,密封件表面和零件上密封件经过的表面都要涂润滑脂,以便帮助密封件容易滑进缸筒,缸筒内孔表面喷涂燃点较低的机油润滑;立柱组装完毕试验前,进行全行程空载动作,以便排除缸内气体并使密封件完全复位。

7) 提高结构件整体镗质量。8.8 m 液压支架三大主体结构件宽度在 2.2 m 左右,整体镗孔属于大悬伸镗削,镗孔时极易出现镗杆发颤现象,影响整体镗孔和尺寸精度、粗糙度。通过对提高双面镗床镗孔表面质量专项工艺研究,减少镗杆分段,提高分段结合处的连接稳固性,保证镗孔表面质量。

通过对上述工艺难点的梳理,制定攻克难点的方案,细化工艺方案,对设备进行改造,满足样机生产需要,保证样机质量;通过对工艺关键点的研究,制定结构件变形控制方案,对提高整体镗孔质量进行研究,对结构件重要部位进行修磨,提高了结构件制造质量和疲劳寿命;对缸筒内孔加工、导向套加工方案进行优化,对立柱装配工装进行设计,保证了缸筒装配质量。

#### 4 8.8 m 液压支架主要技术特点

1) 成功开发了世界最大支护高度达到 8.8 m 的液压支架,工作阻力 26 000 kN,立柱缸径  $\phi 600$  mm,均为世界首创。

2) 研究开发了新型的高强度、耐腐蚀性缸筒材料 S890, S890 是一种细晶粒调质钢(晶粒度  $\geq 7$  级),屈服强度不小于 890 MPa。点蚀电位明显高于常规缸筒材料,具有优良的防腐蚀性能。

3) 顶梁柱窝采用嵌入式结构,底座柱窝采用箱型结构,提高了柱窝部分的抗冲击能力和抗扭韧性。

4) 推杆上设计了调刮板输送机千斤顶,可以在特殊条件下调节刮板输送机的倾斜状态,控制梁端距,改善割煤效果。

5) 首次采用 2.4 m 支架中心距,保证了支架稳定性。

6) 支架立柱下腔采用双安全阀,上腔采用过载保护阀,提高了立柱及支架的抗冲击性能,立柱液控阀采用 DN32 大通径快速回液系统,有利于提高移架速度。

#### 5 结 论

1) 成功设计制造了 8.8 m 液压支架,样机于 2015 年通过了专家组验收,并于 2016 年底顺利通过了国家实验室进行的型式试验。

2) 通过对 8.8 m 液压支架型式试验,验证了支架总体结构的稳定性、可靠性、满足设计要求,验证了立柱结构及立柱新材料的适应性,形成了完善成套可用于批量生产的设计图纸和制造工艺。

## 参考文献 (References) :

- [1] 惠本利.深部矿井厚煤层超大采高综采技术研究展望[J].煤炭科学技术,2014,42(4):1-4,8.  
HUI Benli. Reaserch prospect of fully-mechanized coal mining technology with ultra high cutting height of thick seam in deep mine[J].Coal Science and Technology,2014,42(4):1-4,8.
- [2] 王海军.神东矿区8 m以上超大采高综采工作面技术探讨[J].煤炭技术,2014,42(10):169-171.  
WANG Haijun. Technology study of fully mechanized working face over 8 m of Shendong Coal Mine[J].Coal Technology,2014,42(10):169-171.
- [3] 南清安,顾大钊.7.0 m超大采高工作面配套设备关键技术[J].神华科技,2011(5):22-25.  
NAN Qing'an, GU Dazhao. Key equipment technologies of 7.0 m extra high mining face[J].Shenhua Science and Technology,2011(5):22-25.
- [4] 王国法,庞义辉,张传昌,等.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(9):6-10.  
WANG Guofa, PANG Yihui, ZHANG Chuanchang, et al. Intelligent longwall mining technology and equipment and adaptability in super large mining height working face [J].Coal Engineering,2016(9):6-10.
- [5] 高有进.6.3 m大采高液压支架关键技术研究与应用[J].中州煤炭,2007(3):6-7,21.  
GAO Youjin. The key technology research and application of 6.3m high coal mining machine hydraulic support [J].Zhongzhou Coal,2007(3):6-7,21.
- [6] 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,2015,34(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,2015,34(6):40-44.
- [7] 孔德中,杨胜利,高林,等.基于煤壁稳定性控制的大采高工作面支架工作阻力确定[J].煤炭学报,2017,42(3):590-596.  
KONG Dezhong, YANG Shengli, GAO Lin, et al. Determination of support capacity based on coal face stability control [J].Journal of China Coal Society,2017,42(3):590-596.
- [8] 王传兵,李家卓,李群,等.深部大采高超长工作面煤壁片帮机理及控制技术[J].煤矿开采,2017,22(2):56-60.  
WANG Chuanbing, LI Jiazhao, LI Qun, et al. Principle and control technology of coal wall spalling of super length working face with large mining height in deep [J].Coal Mining Technology,2017,22(2):56-60.
- [9] 吴浩,宋选民.8.5 m大采高综采工作面煤壁稳定性的理论分析[J].煤炭科学技术,2015,43(3):22-25.  
WU Hao, Song Xuanmin. Theoretical analysis on coal wall stability of fully mechanized 8.5 m high cutting longwall mining face [J].Coal Science and Technology,2015,43(3):22-25.
- [10] 刘富营,张林良,杨文明,等.大采高工作面煤壁片帮深度机理研究[J].现代矿业,2012(5):67-69.  
LIU Fuying, ZHANG Linliang, YANG Wenming, et al. Theoretical research on depth of coal wall spalling of large mining height working face [J].Modern Mining,2012(5):67-69.
- [11] 赵峰.ZY21000型8 m超大采高液压支架静力及疲劳分析[J].煤矿机械,2016,37(7):80-81.  
ZHAO Feng. ZY21000 type eight meters large mining height hydraulic support static and fatigue analysis [J].Coal Mine Machinery,2016,37(7):80-81.
- [12] 张恩威.ZY16800/32/70 液压支架的有限元分析[J].煤矿机械,2012,33(9):115-117.  
ZHANG Enwei. Finite element analysis of ZY16800/32/70 hydraulic powered support [J].Coal Mine Machinery,2012,33(9):115-117.
- [13] 韩会军.超大采高液压支架稳定性分析[J].煤矿机械,2017,38(4):61-63.  
HAN Huijun. Stability analysis of powered support with large mining height [J].Coal Mine Machinery,2017,38(4):61-63.
- [14] 蔡全福.双立柱液压支架稳定性分析[D].武汉:华中科技大学,2012.
- [15] 高有进.6.2 m高可靠性大采高液压支架的选型与设计[J].中国煤炭,2007,33(2):34-37,4.  
GAO Youjin. Selection and design on 6.2m high coal mining machine hydraulic support with high reliability [J].China Coal,2007,33(2):34-37,4.
- [16] 中国神华能源股份有限公司神东煤炭分公司.智能大采高综采成套技术与装备集成研发 [2017-01-24].http://www.bid-chance.com/calggnew/2017/01/24/18297905.html.
- [17] 吴士良,史晨昊,王建行.综采工作面合理支护强度的计算方法[J].煤炭技术,2016,35(1):38-40.  
WU Shiliang, SHI Chenhao, Wang Jianhang. Calculation method of reasonable support strength in fully mechanized face [J].Coal Technology,2016,35(1):38-40.
- [18] 王建国,蔺涛,郑海燕.液压支架立柱涨缸问题的深度剖析[J].液气气动与密封,2015(8):59-62.  
WANG Jianguo, LIN Tao, ZHENG Haiyan. Depth analysis of hydraulic support legs cylinder expansion fault [J].Hydraulics Pneumatics & Seals,2015(8):59-62.
- [19] 肖跃进.冲压机箱型主体焊接生产工艺探讨[J].湖南农机,2007(7):13-14.  
XIAO Yuejin. The discussion of manufacture for welding construction of main structure straight side press [J].Hunan Agricultural Machinery,2007(7):13-14.
- [20] 王莲芳.DILLIMAX965 钢在汽车起重机主臂中的焊接应用[J].焊接技术,2005(3):24-25.  
WANG Lianfang. Welding applications of DILLIMAX965 steel in the main arm of the crane [J].Welding Technology,2005(3):24-25.
- [21] 王文胜.导向套数控车削精加工的关键技术问题[J].科技信息,2012(31):178.  
WANG Wensheng. Key technical problems of guide sleeve CNC machining [J].Science & Technology Information,2012(31):178.