

# 大倾角煤层长壁综采支架典型应用实例及改进研究

贲东风<sup>1,2</sup>, 谷 斌<sup>1</sup>, 伍永平<sup>1,2</sup>, 雷 奇<sup>1</sup>, 刘 柱<sup>1</sup>, 张袁浩<sup>1</sup>

(1. 西安科技大学 能源学院 陕西 西安 710054; 2. 教育部西部矿井开采及灾害防治重点实验室 陕西 西安 710054)

**摘 要:** 通过分析我国大倾角煤层走向长壁综合机械化开采技术取得的发展, 结合大倾角中厚煤层综采、大倾角特厚煤层长壁综放和大倾角厚煤层4.5 m大采高综采工程实践的典型实例, 论述了大倾角煤层综采支架的使用效果与改进情况。归纳总结出了直接决定大倾角综采支架使用效果的亟待解决的重大问题, 如支架过重、侧护板伸缩不灵、底调千斤顶现场无法更换以及不能带压移架等。建议以“工作阻力适中化、抗倒滑可靠化、架重轻型化”的理念主导大倾角液压支架的持续改进, 最后对掣肘大倾角综采支架持续改进的相关深层次问题进行了梳理与思考, 以协同促进大倾角综采支架向标准化发展。

**关键词:** 大倾角煤层; 走向长壁; 综合机械化开采; 液压支架

**中图分类号:** TD353

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0253-2336(2017)01-0060-08

## Typical application examples and improvement research of hydraulic powered support applied to fully-mechanized longwall coal mining face in steep dipping seam

Yun Dongfeng<sup>1,2</sup>, Gu Bin<sup>1</sup>, Wu Yongping<sup>1,2</sup>, Lei Qi<sup>1</sup>, Liu Zhu<sup>1</sup>, Zhang Yuanhao<sup>1</sup>

(1. School of Energy, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China;

2. MOE Key Lab of Mining and Disaster Prevention in Western Mine, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** With the analysis on the development obtained from the fully-mechanized mining technology along the strike of the steep inclined seam in China, in combination with the typical cases of the fully-mechanized coal mining in the steep dipping medium thick seam, the fully-mechanized longwall top coal mining in the steep dipping ultra thick seam and the fully-mechanized 4.5 m high cutting mining engineering practices in the steep dipping thick seam, the paper expounded the application effect and the sustainable improvements of the hydraulic powered support applied to the fully-mechanized coal mining in the steep dipping seam. The paper concluded and summarized the several major problems to be solved directly affected to the application effect of the hydraulic powered support applied to the mechanized coal mining in the steep dipping seam. The major problems were including the hydraulic powered support too heavy, poor telescopic side guard plate, the floor adjusted jack hard to be replaced at the site, the hydraulic powered support hard to be pushed forward with the pressure on the roof and others. The paper proposed the sustained development of the steep dipping hydraulic powered support should be mainly based on the conception of "the temperate working resistance, reliable anti lodging and sliding and lightening powered support weight". Those major problems were innovationally solved with the traditional concept breaking in the improvements. The preparation and consideration were conducted on the related deep level problems of the sustained improvements for the hydraulic powered support applied to the mechanized coal mining in the steep dipping seam in order to have wide attention and to coordinatively promote the standardized development of the hydraulic powered support applied to the mechanized coal mining in the steep dipping seam.

**Key words:** steep dipping seam; longwall along strike; fully-mechanized mining; hydraulic powered support

收稿日期: 2016-11-01; 责任编辑: 赵 瑞 DOI: 10.13199/j.cnki.cst.2017.01.010

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划资助项目(90210012); 国家自然科学基金重点资助项目(51634007)

作者简介: 贲东风(1962—), 男, 陕西临潼人, 教授。Tel: 13002953881, E-mail: 752651395@qq.com

引用格式: 贲东风, 谷 斌, 伍永平, 等. 大倾角煤层长壁综采支架典型应用实例及改进研究[J]. 煤炭科学技术, 2017, 45(1): 60-67, 72.

Yun Dongfeng, Gu Bin, Wu Yongping, et al. Typical application examples and improvement research of hydraulic powered support applied to fully-mechanized longwall coal mining face in steep dipping seam[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(1): 60-67, 72.

## 0 引言

国内外长壁综采安全高效在开采条件优越的近水平及缓倾斜煤层均已相继实现,综放及大采高产量效率更是连创记录,有的煤矿还联合科研单位积极进行远程控制无人或少人综采工作面工业性试验,并取得了良好效果。大倾角煤层综采难度很大,20世纪70年代至90年代国外对大倾角煤层进行了一系列开采研究,文献[1-2]对大倾角工作面应力和支承压力分布特征进行了系统研究,奠定了大倾角煤层机械化开采基础,美国、德国、法国等对大倾角煤层综采方法、设备及岩层控制方面进行过试验。21世纪以来,受市场经济制约,西方主要产煤国家已不再开采大倾角煤层,国外对大倾角煤层综合机械化开采的核心技术及关键设备研制未有突破,研究进展缓慢<sup>[3]</sup>。近20年来,我国走向长壁综合机械化开采技术逐步向开采条件复杂的大倾角煤层拓展,并取得了长足发展。大倾角煤层一般指倾角为 $35^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 的煤层。大倾角煤层储量约占我国煤炭总储量的14.05%<sup>[4]</sup>。我国煤炭科研与工程技术人员积极探索,深刻认识到大倾角煤层安全高产高效开采的根本出路在于走向长壁综合机械化。“七五”期间,煤炭科学研究总院(北京)开采所主持的国家科技攻关项目“大倾角煤层开采成套设备的研制”在沈阳红菱矿进行试验<sup>[5]</sup>,对开创这一领域的科学研究与工程实践具有重大的奠基意义。

液压支架是综采工作面的主要配套设备之一,是决定工作面能否安全高效开采的关键,其数量、质量和费用均占整套综采设备的60%以上<sup>[6]</sup>,而且随着工作面长度增大而增加。由于缺乏系统的理论支持和相应的设计制造标准,大倾角煤层走向长壁综采支架基本上借鉴或参照近水平及缓倾斜煤层的支架设计制造与样架型式试验标准。现有的大倾角综采支架基本上都是在适用缓倾斜开采的支架基础上进行局部改造(如增加防倒防滑装置、设置行人台阶和扶手或拉环、采用邻架操作等),以适应大倾角煤层开采对支架侧向稳定性的要求。因此难免会在实际使用中出現诸多问题,如支架侧护板伸缩不灵、侧护千斤顶易损坏、支架过重稳定性差且倾倒后扶正难度大等。所有出现的问题有待生产工作面采完将支架升井后进行改造,或在后续新工作面支架选型时重新设计支架。近20年来,我国煤炭科研院所、高校与企业合作,面向开采大倾角煤层的生产矿

井,积极研发大倾角综采液压支架,走过了边探索、边设计、边试用、边改进的艰难创新历程。

1996年以来,处于大倾角煤层赋存最为丰富的我国西部的西安科技大学联合煤炭科学研究总院(北京)开采所、平顶山煤矿机械厂、郑州煤矿机械厂、重庆大江车辆公司和林州重机集团等单位,先后与开采大倾角煤层的四川华蓥山绿水洞、甘肃靖远王家山、甘肃华亭东峡、新疆焦煤艾维尔沟2130、甘肃窑街长山子等煤矿合作,协同攻关,解决大倾角中厚煤层长壁综采、大倾角特厚煤层长壁综放及大倾角厚煤层长壁4.5 m大采高综采技术难题,取得了良好效果。笔者主要以这5个煤矿大倾角煤层走向长壁综采(放)为典型实例,专题论述大倾角煤层综采支架使用效果与持续改进。

## 1 支架应用效果

### 1.1 大倾角中厚煤层综采支架

四川华蓥山广能集团公司绿水洞煤矿大倾角中厚煤层综采技术研究,是我国首个该领域由企业立项并投资的属生产性质的产学研用的校企联合攻关项目。6134工作面长74 m,煤层上陡下缓,平均倾角 $30.5^{\circ}$ ,煤层厚度变化大,存在断层及分岔现象。1998年,该工作面采用ZYJ2300/13/32型两柱掩护式支架。使用该型支架成功地开采了倾角 $25^{\circ}\sim 36^{\circ}$ 的大倾角单一中厚煤层。通过适当降低工作阻力减小支架质量、加装防倒防滑装置增强这种型式液压支架稳定性<sup>[4]</sup>;为解决支架失稳调架以及倾倒下滑问题,底座下侧设计了底调机构用上调支架,通过加大活动侧护板弹簧(弹簧钢丝直径加大到14 mm)使支架始终能够紧靠下邻架保持稳定。至1998年10月6134工作面采完,平均月产较原来刀柱法采煤提升了2.92倍,达到23 374 t,平均采出率由50%提升到了95%,开采期间无重伤及以上事故。

回采期间,工作面液压支架防倒防滑效果良好,支架存在的缺陷是底座底调机构千斤顶管座与推移杆易损坏,在井下难以修复,支架的梁端距偏小,浮动活塞环式的推移千斤顶推移刮板输送机和拉架力较固定活塞式千斤顶的推移刮板输送机与拉架力均小,且活塞杆易被折弯不能动作。后来改用倒装推移千斤顶方式增大拉架力。西安矿业学院(现西安科技大学)提交的华蓥山绿水洞煤矿大倾角中厚煤层综采技术可行性研究报告中将支架侧护千斤顶缸

径定为80 mm,但支架设计时仍按常规60 mm确定,后来在实际使用过程中发现由于侧护千斤顶力小导致调架困难。因此,该矿6134工作面的接替加长工作面补充的20副支架,就将侧护千斤顶缸径上调至当初确定的80 mm,增大了支架侧推力,调架效果良好。

## 1.2 大倾角厚煤层综放支架

1) ZFQ3600/16/28 支架。2003年,靖远煤业集团公司王家山煤矿44407工作面采用ZFQ3600/16/28型四柱支撑掩护式低位放顶煤液压支架,在倾角 $38^{\circ}\sim 49^{\circ}$ 的大倾角特厚易燃煤层进行了工业性试验并获成功,首次采用工作面下部圆弧段布置方式,解决了大倾角综采放顶煤工作面下端头设备配套与安全的技术难题<sup>[7]</sup>。44407工作面长115 m,平均倾角 $43.5^{\circ}$ ,存在4条断层,采高2.6 m,放顶煤高度12.9 m,采放比1:5。王家山煤矿就大倾角特厚煤层综放技术研究可行性,与某研究机构合作进行过论证,论证报告中将支架架型确定为四柱支撑掩护式放顶煤支架,工作阻力为4 800 kN,侧护千斤顶缸径为80 mm,设计支架质量达15 t。西安科技大学依据相似模拟试验和理论研究认为支架质量过大,不宜在大倾角工作面使用,将工作阻力确定为3 700 kN,并依据试验结果建议支架侧护千斤顶缸径增大到100 mm。最终根据工作面实际情况确定工作阻力为3 600 kN,支架质量降至12.3 t,比设计质量减少了2.7 t,窄顶梁结构和全长加宽(400 mm)双侧双活侧护结构加大了支架调架范围,同时可有效防止支架倒架、挤死、悬架,可适应工作面起伏变化;160 mm缸径的推移千斤顶倒向安装提供了较大的拉架力;100 mm缸径的侧推千斤顶及带防滑梁的双调底座千斤顶实现了支架主动防滑和调架功能。在3个月的工业性试验期内,工作面支架性能基本良好,工作面生产原煤19.29万t,平均月产64 304.3 t,采出率82.27%。

在后续使用中,由于来压时支架所受的侧向力较大,支架侧护板千斤顶轴向窜动量大造成螺纹管损坏,导致支架千斤顶无法动作,支架侧护失效;支架前立柱支撑点偏后,承载状态下支架后立柱常受向上拉力,导致后立柱柱头销被拉弯甚或拔脱<sup>[8]</sup>。

2) ZF4000/15.5/25 支架。2004年10月和2006年1月,华亭煤业集团公司东峡煤矿采用ZF4000/15.5/25型四柱支撑掩护式低位放顶煤液压支架先后在37215-1和37215-2工作面进行了

大倾角坚硬易燃煤层群综采放顶煤试采<sup>[9]</sup>。37215-2工作面倾斜长度95~110 m,平均长105 m,煤层倾角 $28^{\circ}\sim 47^{\circ}$ ,采高2.3 m,放顶煤高度7.0 m,采放比为1:3。多次经历并见证了大倾角综采支架由于侧护千斤顶在工作面损坏且无法更换而失去侧调护功能后,华亭东峡煤矿大倾角煤层群综放中坚持支架侧护千斤顶须在现场更换,将大倾角支架顶梁和掩护梁侧护千斤顶由内置改为外置,首次解决了支架侧护板千斤顶不能更换的难题,方便现场排除侧护板因千斤顶损坏导致侧护板伸缩失效的故障,恢复大倾角支架的侧调护功能。生产期间,较薄厚煤层37215-1综放工作面平均月产量5.97万t,年产量较该矿之前采用“双大(大倾角大放高)”炮采工艺平均提高52.92万t;厚煤层37215-2综放工作面平均月产量7.62万t,年产量较该矿之前的“双大”炮采工艺平均提高72.72万t,经济效益显著,安全性良好。

3) ZF4400/16/26 支架。2006年1月,新疆焦煤集团艾维尔沟2130煤矿25112工作面采用ZF4400/16/26型四柱支撑掩护式低位放顶煤液压支架,在倾角 $36^{\circ}\sim 42^{\circ}$ 的大倾角硬顶软底软煤(煤质为炼焦煤)进行了走向长壁综放试生产。25112工作面长95 m,倾角 $36^{\circ}\sim 42^{\circ}$ ,平均 $39^{\circ}$ ,采高为2.3 m,放顶煤高度2.8 m,采放比为1:1.21。ZF4400/16/26型支架采用带伸缩梁(700 mm行程)结构的整体顶梁防止架冒顶,顶梁采用大推力大行程侧护千斤顶控制侧调护板防倒调架,底座采用底调千斤顶控制的底调梁机构防滑。支架操作方式为邻架控制。ZF4400/16/26型支架支撑能力大,切顶效果好,整体刚度高,底板比压小,可抬底防陷,两级护帮,行人空间大,解决了工作面“飞矸”问题,支架加设了“纵—横”柔性防护系统,保障了工作面的安全推进。2006年6月至2008年5月正常生产期间,25112工作面共采出原煤108.6万t,平均月产量4.53万t,采出率达到83.07%<sup>[10]</sup>。

支架存在的缺陷主要是:液压支架后柱长期处于受拉状态,未能有效发挥其支撑力;销轴与轴孔间隙偏大,销轴耳座强度偏低;支架抬底装置和侧护装置受偏载损坏较多。

4) ZF5000/17/28与ZF6200/17/30 支架。2012年1月,华亭煤业集团公司东峡煤矿采用ZF5000/17/28型低位放顶煤支架在倾角 $55^{\circ}\sim 74^{\circ}$ 的急倾斜特厚易燃煤层倾斜分段37220-1综放工作面进行

了工业性试验;2014年2月,在37220-2工作面倾斜直线段布置ZF5000/17/28支架,圆弧过渡段布置两柱掩护式ZF6200/17/30型支架进行了试采。ZF5000/17/28型支架采用双侧双活的侧护板结构、大行程(2×200 mm)、大推力(4×247 kN)的侧推机构,实现了支架全长的架间封闭和支架主动防倒调架功能,创新设计的前后布置调架千斤顶和浮动导向横梁构成的底调机构,解决了支架防滑和调架问题。ZF6200/17/30型支架设计工作阻力6 200 kN,能应对复杂的受力状况,符合圆弧过渡段工作面需求;支架顶梁为整体式结构,对顶板载荷的平衡能力较强,支架前后连杆均为钢板焊接的箱形结构,具有很强的抗拉抗压和抗扭性能;支架在普通支架的结构基础上将单侧护板改为双侧护板,侧推千斤顶数量增加为8个,单侧底调梁改为双侧底调梁结构,底调千斤顶数量增加为4个,加大了支架的侧向推力,便于调架和拉架。至2013年10月回采结束,37220-1首采工作面采出原煤61万t,回采工效33.4 t/工,综合采出率为75.9%;截至2014年6月,37220-2次采工作面4个多月生产原煤31.2万t,平均月产7.4万t,综合采出率为89.7%<sup>[11]</sup>。

5) ZYF5000/18/32 支架。窑街煤电集团有限公司长山子煤矿大倾角软顶软底松散煤层综放技术研究项目可行性论证报告中,确定支架为两柱掩护式放顶煤液压支架,工作阻力5 000 kN,要求顶梁和掩护梁侧护千斤顶均可在现场更换。2013年7月,长山子煤矿1121首采工作面采用ZYF5000/18/32型两柱掩护式液压支架用于25°~35°的大倾角软顶软底松散不稳定煤层综放工作面支护。8月工作面中下段11—15号支架出现倒架和咬架现象,最终发展至9—36号支架倾倒。由于支架存在侧护板伸缩不灵、支架伸缩前探梁伸出后相邻前探梁间隙较大等缺陷致使漏煤严重,回采过程中支架多次下滑倾倒。2015年5月,长山子煤矿1125工作面沿用1121工作面ZYF5000/18/32型液压支架综放开采倾角25°~38°的大倾角三软煤层,矿方给支架补焊了扶架拉环和单体支柱柱窝。回采时遇到工作面突发顶板淋水、煤层中出现较厚砂岩夹矸等情况,导致支架倾倒严重,工作面推进艰难。工作面多次倒架的主要原因是支架过重、侧调护可靠性差和煤层松散易漏冒。目前该矿1121综放工作面已回采完毕,产量达到综放开采预期目标,1125接替工作面尚处于试采中。

### 1.3 大倾角硬顶软底软煤4.5 m大采高支架

2010年,新疆焦煤集团艾维尔沟2130煤矿为进一步提高大倾角硬顶软底厚软煤采出率,采用硬顶软底软煤4.5 m大采高综采。大倾角大采高主要技术风险在于支架稳定性控制难度非常大。

新疆焦煤集团决定在艾维尔沟2130煤矿的25221工作面进行大倾角厚软煤层4.5 m大采高综采。2011年10月,采用ZZ6500/22/48型四柱支撑掩护式支架成功开采了倾角36°~46°的世界上首个大倾角走向长壁4.5 m大采高综采工作面<sup>[12]</sup>。25221工作面长105 m,煤层倾角36°~46°,平均44°,采高3.5~4.5 m,煤层结构复杂,含3~5层夹矸。ZZ6500/22/48型支架具有较高的初撑力(5 200 kN)和工作阻力(6 500 kN),第二级伸缩立柱采用钢棒取代钢筒,可适应坚硬顶板条件下的载荷冲击;支架掩护梁为变断面整体箱型结构,加强了顶梁和前后连杆连接部位强度,能承受较大弯矩;采用整体底座加大了受力面积,减小了底板比压;支架还设置了抬底防陷的抬底座装置,能有效解决软底条件下支架陷底问题。25221工作面自2012年5月进入正常生产阶段后,至2014年2月近2年时间里,采出原煤108.48万t,平均月产7.53万t,采出率达到94.86%,经济效益显著。

由于2130煤矿硬顶软底软煤地质条件特殊,“支架—围岩”系统复杂,支架失稳倾向大<sup>[13]</sup>,且支架的支护强度和防倒防滑存在一定缺陷,工作面煤壁片帮严重,支架防倒防滑自动调节功能较差,支架底调、侧护等装置损坏较为严重,且在井下无法更换。

将上文所述大倾角煤层综采与综放支架的主要特征列于表1。上述大倾角煤层走向长壁综采(放)支架在试验中虽取得了较好效果,但均还存在不足或缺陷,需要在持续改进中完善。

## 2 支架应用改进

### 2.1 合理的架型

合理地选择一套能够实现防倒、防滑、抗偏载、抗扭性强的液压支架,直接关系到大倾角综采能否实现安全高效开采。两柱掩护式支架是大倾角液压支架架型发展的主导方向。美国、欧洲与澳大利亚2000年后均统一为掩护式支架且成为工业标准<sup>[2]</sup>。新疆艾维尔沟2130煤矿4.5 m大采高大倾角支架选型时,认为四柱比两柱支撑力大,更能适应坚硬顶板且行人空间较大,最终选用四柱支撑掩护式支架。

据矿压监测结果,支架后柱压力一般低于前柱压力,如图1所示,严重时后立柱受拔。

表1 液压支架主要特征

Table 1 Main characteristics of hydraulic powered support

支架型号	支架型式	初撑力 $P_0$ /kN	工作阻力 $P$ /kN	$P_0$ 与 $P$ 比 值/%	支架 质量/t	说 明
ZYJ2300/13/32	两柱掩护式	1 537	2 300	68	8.8	1998年,绿水洞煤矿中厚煤层6134综采工作面
ZFQ3600/16/28	四柱支撑掩护式	3 204	3 600	89	12.3	2003年王家山煤矿厚煤层44407综放工作面,下段首次用圆弧段布置
ZF4000/15.5/25	四柱支撑掩护式	3 196	4 000	80	14.5	2004年东峡煤矿“小放高”,2006年东峡煤矿“大放高”
ZF4400/16/26	四柱支撑掩护式	3 958	4 400	90	16.8	2006年,艾维尔沟2130煤矿硬顶软底软煤25112综放工作面
ZF5000/17/28	四柱支撑掩护式	3 958	5 000	79	15.0	2012年东峡煤矿37220-1综放工作面及2014年37220-2综放工作面倾斜段
ZF6200/17/30	两柱掩护式	5 066	6 200	82	21.0	2014年东峡煤矿37220-2综放工作面的圆弧过渡段
ZYF5000/18/32	两柱掩护式	3 878	5 000	78	18.2	2013年长山子煤矿1121综放工作面,2015年长山子煤矿1125综放工作面
ZZ6500/22/48	四柱支撑掩护式	5 200	6 500	80	32.3	2010年,艾维尔沟2130煤矿厚煤层4.5 m大采高25221综采工作面

现场实践证明,四柱支撑掩护式液压支架前后立柱受力不均衡,工作阻力利用率低,支架结构件易损坏等问题普遍存在。四柱支撑掩护式液压支架还存在结构和控制系统复杂、移架速度慢等问题,难以适应大倾角开采的支架围岩关系。两柱掩护式液压支架较四柱支撑掩护式支架取消了后柱,具有液压控制系统简单、移架速度快、质量小等优势,且在同等工作阻力下,两柱掩护式支架支护强度更高,同等支护强度下,两柱掩护式支架对大倾角工作面顶板的适应性更好。因此,在选择大倾角液压支架时应优先考虑两柱掩护式支架。

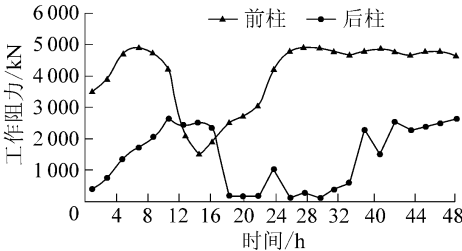


图1 ZF5000/17/28型支架前后立柱工作阻力监测结果

Fig. 1 Monitoring results of front and rear legs yield pressure of ZF5000/17/28

2.2 适中的支架工作阻力与较高的初撑力

工作阻力 $P$ 是液压支架最重要的技术参数,确定合理的工作阻力可在很大程度上提高工作面支护系统的稳定性,对保证煤矿安全生产具有重要意义。

义<sup>[14]</sup>。在除煤层倾角以外的其他条件完全相同时,支护系统所承受的工作载荷较缓倾斜和近水平煤层小,支护系统所要求的工作阻力小于近水平和缓倾斜煤层<sup>[4]</sup>。在设计大倾角液压支架时,工作阻力应适中,不应像浅埋近水平煤层大采高支架那样选过高的工作阻力。工作阻力越高支架越重。从支架稳定性控制考虑,高工作阻力的重型支架不宜用于大倾角综采工作面。

支架初撑力是保持直接顶板—液压支架—底板整体刚度的关键<sup>[15]</sup>。初撑力的大小以工作阻力值为参照标准。一般情况下,初撑力 $P_0 = (75\% \sim 80\%) P$ 。在设计大倾角综采液压支架时,为了保持支架的稳定性,宜提高支架初撑力为 $(80\% \sim 90\%) P$ ,且应配备初撑力保持阀,确保支架达到初撑力<sup>[16]</sup>。此外,在移架时采用抬底装置使支架底座前端上翘,这样既有利于擦顶移架,保持顶板对支架的约束力,还能抑制移架时支架底座前端铲底。

2.3 完善支架防倒防滑功能

在倾斜工作面布置液压支架时,随着工作面倾角的增大,支架重力的切向分力会随之增大而法向分力减小,最终导致支架沿工作面向下滑移;重力作用线逐渐偏出支架底座下边缘,就存在以 $O$ 为转心的逆时针方向的力矩促使支架发生倾倒。支架受自重作用处于斜面的3种状态如图2所示,图中 $G$ 为支架重力, $\alpha$ 为斜面倾角。

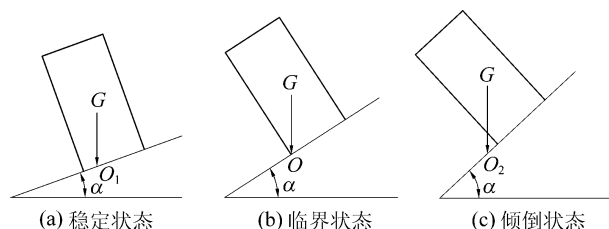


图 2 支架自重状态下在斜面的 3 种状态

Fig. 2 Three states of support on slope under-gravity state

大倾角液压支架持续改进的核心是不断完善大倾角液压支架防倒防滑功能。大倾角液压支架的防倒防滑功能主要是通过支架侧护板及底调装置实现。在保证支护性能可靠的前提下,应尽量减少支架质量,同时加大支架侧护板千斤顶和底调千斤顶缸径,使支架具有足够大的侧推力以保证支架的侧向稳定性。值得注意的是,大倾角液压支架侧护板及底调装置通常承受较大的侧向力和支架前移时因摩擦形成的横向阻力,难免会造成支架侧护板变形、侧护千斤顶及底调千斤顶损坏。因此,大倾角液压支架侧护板在采用高强板、增设加强筋板的同时宜采用箱型结构,以增强侧护板强度,还应加强导向杆强度;为消除侧护板变形在拉架时出现“拉锁”效应,将顶梁与掩护梁侧护板相邻端下沿内弯;侧护千斤顶螺纹管已被软胶管取代,侧护千斤顶最好可更换,损坏后能及时恢复支架的侧护功能;加高支架底调梁,将支架底调梁由单一平行伸缩改为平行与非平行伸缩相结合,可增强底调机构的适应性<sup>[17]</sup>。

与近水平及缓倾斜煤层支架比较,大倾角支架侧护板实为侧调护板,双侧双活结构使大倾角条件下调架更加可靠;底调机构则是大倾角支架区别近水平及缓倾斜煤层支架的显著标志<sup>[17]</sup>。迄今,大倾角支架侧护板伸缩不灵、底调千斤顶无法在工作面更换的问题仍悬而未决,亟待从支架设计理念上创新突破。

由于大倾角综采工作面开采环境复杂多变,常常遇到夹矸和煤层厚度变化,特别是大倾角综放工作面支架顶梁上的较薄顶煤被反复支撑而破碎,移架时破碎顶煤易滑落,通常导致支架失稳。大倾角综放工作面几乎均发生过因顶煤滑落所致的倒架事故。倒架后就必须扶架。遗憾的是现有支架均缺少扶架用的连接耳或拉环,扶架极其不便。因此建议设计时考虑在支架适当位置上焊接扶架拉环,并增设斜撑支架所用的戗柱柱窝,确保扶架安全可靠。

长山子煤矿利用支架升井检修之机,在支架的连杆和顶梁下加焊了扶架拉环,并在顶梁下和底座上增设了戗柱柱窝,满足了现场扶架需要,效果良好,值得支架改进设计借鉴。

## 2.4 强化支架主要构件

顶梁是液压支架的主要承载部件,是以钢板焊接而成的箱型多腔机构,其与立柱采用销轴铰接方式连接<sup>[18-19]</sup>。在支架顶梁的上下盖板之间焊接加强筋板构成封闭的棋盘型,可提升大倾角支架顶梁的刚度<sup>[20]</sup>。在顶梁与立柱连接处采用高强度钢材,并选用先进焊接工艺和高强度焊条进行焊接,在附近位置补焊加强钢板,提升连接部位的受拉强度。为解决大倾角液压支架在使用过程中经常出现的立柱柱头销被拉弯问题,在柱头销耳处加装限位块。

底座是液压支架的重要支撑部件,为复杂的多腔式薄壁箱型结构<sup>[21]</sup>。大倾角液压支架底座采用整体底座,受力面积大,对底板比压小。对大倾角支架底座前部采用圆弧形处理减小了移架阻力,同时可避免软底条件下支架钻底问题。在支架底座前端加装刮板输送机防滑或上调千斤顶,可以抑制刮板输送机向下滑移或滑移后上调。

针对大倾角综采液压支架推移杆受刮板输送机下滑影响易折损的问题,采用加筋板的高强推移杆以抵抗刮板输送机下滑力。并将推移杆与刮板输送机的 8 字连接件改为强度小于刮板输送机中部槽单耳的 Y 型连接件。当 Y 型连接件受刮板输送机较大下滑力作用时,让 Y 型连接件损坏,而刮板输送机中部槽单耳得以保护。否则,单耳损坏就导致该节中部槽报废。

## 2.5 改善支架安全防护系统

大倾角综采液压支架宜采用邻架操作方式以确保支架工的人身安全。须设飞矸防护装置(如防护板、挡矸帘),增设“纵—横”柔性防护系统,即在支架前立柱前(纵)安装钢板或金属防护网,在支架上侧(横)安装钢板,如图 3 所示,或链条帘防飞矸。支架须设置行人台阶及扶手,并在支架底座前端顶面焊接行人防滑条,以保障行人安全。

## 2.6 支架智能化控制

要彻底解决大倾角煤层综采工作面的安全防护问题,关键在于实现远程控制大倾角无人综采工作面。新疆焦煤集团艾维尔沟 2130 煤矿在大倾角 4.5 m 大采高综采工作面部分支架安装了电液控制系统取代手动操作阀组进行试验,取得了初步效果。



图3 支架设千斤顶控制的纵横防护板

Fig. 3 Support set vertical and horizontal protection board controlled by jack

但因支架防倒防滑及调架难度较大,距智能化控制仍有很大差距。

近几年,华蓥山广能集团在总结提高多年大倾角煤层综采技术与装备成功经验基础上,积极借鉴近水平煤层的远程控制无人综采工作面的成果,在绿水洞煤矿进行大倾角煤层远程控制无人综采工作面试验,希望彻底解决工作面飞矸伤人事故,实现安全高效自动化综采。目前还设计制造了平行四边形顶梁支架,并在李子垭南矿大倾角煤层伪俯斜长壁综采工作面试验,以消除伪倾斜长壁综采工作面煤壁频发片帮和飞矸伤人事故,已取得了初步成效。

大倾角煤层远程控制无人综采工作面的核心是液压支架防倒防滑的智能化控制,难度要比近水平煤层液压支架的自动控制大得多,是制约大倾角煤层无人综采工作面的瓶颈。大倾角支架智能化控制的持续改进任重道远,尚需研究者与设计者协同创新解决。

综上所述,近20年对大倾角煤层综采支架的改进主要集中在以下2个方面。

1) 技术创新方面的持续改进。增设了防倒防滑装置,使用中通过改进连接部位的形式及采用软硬连接结合的方式,减少了侧护千斤顶与侧护板的干涉;增设了底调装置或机构,使用过程中通过加高底调梁,将底调梁由单一平行伸缩改进为平行与非平行伸缩相结合,增加了底调机构的适应性;尾梁加装了防漏煤并起调架作用的可伸缩侧护板;底座前端设置抵抗下滑并上调刮板输送机的千斤顶;加焊了拉架环和铰柱柱窝,以便扶架;大倾角液压支架增设了安全防护系统;研发了适应伪俯斜工作面的平行四边形顶梁支架。

2) 普通结构的持续改进。选用高强材质轻型两柱掩护式支架,支架操作方式由本架操作改为邻架操作,且在相邻支架间增设了过架管连接座;侧护

千斤顶由双侧单活改进为大缸径双侧双活,且侧护千斤顶由内置改进为敞开式外置使其能在井下更换;侧护板强度不断提升,从普通侧护板改进为局部加强筋、加强块或双层钢板侧护板,再到整体箱型结构高强侧护板,且其活动方式由压茬联动改进为分开单独或联合动作;增强了支架主要构件及连接部位的强度,并提高加工精度。

### 3 支架持续改进深层次问题的思考

1) 目前,由于缺少适合大倾角支架的地面试验条件,大倾角支架的稳定性与防倒防滑以及倒滑后调架的性能难以在地面进行仿真试验。未经地面大倾角条件下试验的支架难免会出现下滑、倾倒等问题,作为以生产为主体的矿方承担了本应属研究单位承担的在地面上研究试验风险。目前大倾角样架压架试验与评议验收基本上还是按照近水平煤层标准进行的,这与大倾角支架的长足发展与持续改进极不适应,亟待解决<sup>[22]</sup>。建议尽快建设国家级大倾角综采装备检测试验中心。

2) 一套综采支架装备后,用户使用中发现问题一般需要反馈到设计单位和制造厂家。得到的答复往往是需待下一套支架订货时再改进。于是造成支架带故障工作,影响工作面正常生产。有的矿首个试采面结束后,所用支架的制造厂家已积累了丰富的经验,并对所发现的问题有了更好的改进方案。但由于诸如招投标中的价格大战和付款方式等种种原因使得原厂家出局。而中标的厂家由于缺乏首采面经验对支架改造难以游刃有余,极不利于支架的持续改进。

3) 我国一直沿用计划经济时期的支架按重计价。招投标时支架按重计价是一项重要的商务评标与定标指标。待中标后用户与厂家仅就支架按重计价达成协议,支架出厂时用户与厂家双方在支架称重现场签字确认称重结果,依此结算支架购置费。这样无形中刺激厂家造更重型支架,而不愿制造适宜大倾角的轻型支架。有的矿在引进国外支架时,按我国特有的支架按重计价习惯性思维与外商谈判遭质疑。目前煤炭产能过剩、市场低迷,导致支架材质强度还是加工质量均有所下降,故障率高,售后服务也不积极。

4) 迄今大倾角支架设计、制造与试验仍无标准可循,设计者唯有参照近水平或缓倾斜支架的标准,各自所为,随意而为,无疑给大倾角支架设计、制造、



试验、评议和验收带来不便或无标准依据的争议。西安科技大学就大倾角与急倾斜煤层开采技术暨标准制定进行了首次专题交流研讨,达成的共识之一就是大倾角煤层综采相关标准制定的必要性和紧迫性,并建议从大倾角支架标准着手,尽快立项编制标准,以规范大倾角煤层综采支架研究、试验与推广应用。这无疑给大倾角煤层综采支架的进一步持续改进提供了很好的契机。

## 4 结 论

1) 应立足大倾角这个基本点,以“工作阻力适中化、抗倒滑可靠化、架重轻型化”的理念主导大倾角液压支架持续改进。

2) 大倾角液压支架持续改进的核心在于改善支架侧护板及底调装置的可靠性,以提高大倾角支架侧向稳定性能。

3) 进一步从支架设计上创新解决支架过重、侧护板伸缩不灵、底调千斤顶现场无法更换、不能带压移架、防护设置不尽完善以及相邻支架前探梁间隙过大等主要问题。

4) 应采用高强度材料和先进的制造工艺从强度及精度上强化大倾角支架主要承载部件,以提升支架结构的可靠性。

5) 应继续进行适应大倾角支架的智能控制的研发与试验,以突破大倾角煤层长壁综采无人工作面的瓶颈。

6) 希望广泛关注并尽早解决掣肘大倾角支架持续改进的相关深层次问题,应尽快建设大倾角支架综合试验中心,以促进支架的进一步持续改进,使其日臻完善,向标准化发展。

## 参考文献(References):

- [1] Kulakov V N. Stress state in the face region of a steep coal bed [J]. Journal of Mining Science: English Translation, 1995(9): 161-168.
- [2] Peng Syd S. Longwall Mining [M]. 郭文兵,译.2版.北京:科学出版社,2006.
- [3] 伍永平,刘孔智,负东风,等.大倾角煤层安全高效开采技术研究进展[J].煤炭学报,2014,39(8):1611-1618.  
Wu Yongping, Liu Kongzhi, Yun Dongfeng et al. Research progress on the safe and efficient mining technology of steeply dipping seam [J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(8): 1611-1618.
- [4] 伍永平,负东风,张森丰.大倾角煤层综采基本问题研究[J].煤炭学报,2000,25(5):465-468.  
Wu Yongping, Yun Dongfeng, Zhang Miaofeng. Study on the ele-

mentary problems of fully-mechanized coal mining in greater pitching seam [J]. Journal of China Coal Society, 2000, 25(5): 465-468.

- [5] 邱开坤,聂春辉,周明昌,等.难采煤层的机械化开采[J].煤矿开采,2003,8(3):29-31.  
Qiu Kaikun, Nie Chunhui, Zhou Mingchang et al. Mechanized mining of complicated conditions coal seam [J]. Coal Mining Technology, 2003, 8(3): 29-31.
- [6] 王国法.液压支架技术体系研究与实践[J].煤炭学报,2010,35(11):1903-1908.  
Wang Guofa. Study and Practices on technical system of hydraulic powered supports [J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(11): 1903-1908.
- [7] 程文东,王军,负东风,等.大倾角特厚煤层综采放顶煤技术研究[R].兰州:靖远煤业集团公司王家山煤矿,2003.
- [8] 张进安.王家山矿大倾角特厚煤层长壁综放面“三机”配套研究[D].西安:西安科技大学,2006.
- [9] 刘斌,伍永平,负东风,等.大倾角特厚易燃煤层群综放开采技术研究[R].兰州:华亭煤业集团公司东峡煤矿,2006.
- [10] 解盘石,伍永平,高喜才,等.大倾角硬顶软底软煤走向长壁综放开采集成技术[J].煤炭工程,2009(5):63-65.  
Xie Panshi, Wu Yongping, Gao Xicai et al. Integrated technology for fully mechanized top coal caving mining face in steep inclined seam with hard roof, soft floor and soft coal [J]. Coal Engineering, 2009(5): 63-65.
- [11] 负东风,刘柱,程文东,等.大倾角特厚易燃煤层倾斜分层走向长壁综采技术[J].煤炭科学技术,2015,43(10):7-11.  
Yun Dongfeng, Liu Zhu, Cheng Wendong et al. Longwall fully-mechanized mining technology on the strike of inclined slicing in high inclined and ultra thick spontaneous tendency coal seam [J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(10): 7-11.
- [12] 李方立,伍永平,陈建杰,等.大倾角煤层走向长壁大采高综采技术研究[R].乌鲁木齐:新疆焦煤集团,2013.
- [13] 解盘石,伍永平,王红伟,等.大倾角煤层大采高综采围岩运移与支架相互作用规律[J].采矿与安全工程学报,2015,32(1):14-19.  
Xie Panshi, Wu Yongping, Wang Hongwei et al. Interaction characteristics between strata movement and support system around large mining height fully-mechanized face in steeply inclined seam [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2015, 32(1): 14-19.
- [14] 郝宪杰,许家林.综采支架工作阻力确定方法综述[J].神华科技,2009,7(4):12-16.  
Hao Xianjie, Xu Jialin. Summary on determination of the reasonable working resistance of hydraulic support in fully-mechanized face [J]. Shen Hua Science and Technology, 2009, 7(4): 12-16.
- [15] 王国法.工作面支护与液压支架技术理论体系[J].煤炭学报,2014,39(8):1593-1601.  
Wang Guofa. Theory system of working face support system and hydraulic roof support technology [J]. Journal of China Coal Society,

(下转第72页)



- nization in steeply inclined coal seam[J].Zhongzhou Coal ,2016 ( 4) : 51-53.
- [13] 孔凡德,程东甫.急倾斜煤层综采工作面设备稳定性研究[J].中州煤炭,2016(2):64-67.  
Kong Fande,Cheng Dongpu.Research on equipment stability of fully-mechanized working face in steeply inclined coal seam[J].Zhongzhou Coal,2016(2):64-67.
- [14] 杨阳,杨锦峰.急倾斜特厚煤层水平分段综放采动应力分布规律研究[J].煤炭工程,2016,48(9):91-94.  
Yang Yang,Yang Jinfeng.Study on mining stress distribution regularity with horizontal section top coal caving in steep inclined and thick coal seam[J].Coal Engineering,2016,48(9):91-94.
- [15] 陈继刚,熊祖强,李卉.等.倾斜特厚煤层综放带压开采底板破坏特征研究[J].岩石力学与工程学报,2016,35(S1):3018-3023.  
Chen Jigang,Xiong Zuqiang,Li Hui *et al.* Failure characteristics of floor under predssure inclined and extra thick coal Seam in full-mechanized top coal caving faces[J].Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering,2016,35(S1):3018-3023.
- [16] 张小兵,王忠强,张伟.等.急倾斜煤层可采工艺性评价及应用研究[J].中国矿业大学学报,2007,36(3):381-385.  
Zhang Xiaobing,Wang Zhongqiang,Zhang Wei *et al.* Study of geological and technologic evaluation for steeply inclined coal Seams[J].Journal of China University of Mining & Technology,2007,36(3):381-385.
- [17] 李建军.近距离倾斜煤层巷道布置方式[J].江西煤炭科技,2015(1):32-33.  
Li Junjun.Layout of roadway with contiguous and inclined seams[J].Jiangxi Coal Science & Technology,2015(1):32-33.
- (上接第67页)
- 2014,39(8):1593-1601.
- [16] 王国法.液压支架技术[M].北京:煤炭工业出版社,1999:278-279.
- [17] 贲东风,刘柱,程文东.等.大倾角支架底调机构应用效果分析[J].煤炭技术,2015,34(5):230-233.  
Yun Dongfeng,Liu Zhu,Cheng Wendong *et al.* Analysis of application effect of steeply dipping powered support base adjust mechanism[J].Coal Technology,2015,34(5):230-233.
- [18] 魏宏伟,王启广,洪建云.等.基于Matlab的液压支架顶梁断面参数优化设计[J].煤矿机械,2010,31(9):1-3.  
Wei Hongwei,Wang Qiguang,Hong Jianyun *et al.* Optimization design of section structural parameter of hydraulic support top beam based on Matlab[J].Coal Mine Machinery,2010,31(9):1-3.
- [19] 郭培红,张素梅,朱建安.基于SolidWorks和ANSYS的支架顶梁应力分析[J].煤矿机械,2013,41(3):28-31.  
Guo Peihong,Zhang Sumei,Zhu Jianan.Stress analysis on top beam of support based on SolidWorks and ANSYS[J].Coal Mine Machinery,2013,41(3):28-31.
- [20] 谢锡纯,李晓豁.矿山机械与设备[M].2版.徐州:中国矿业大学出版社,2007:172-173.
- [21] 李海宁,张怡馨.液压支架底座的有限元分析[J].煤矿机械,2011,32(1):89-91.  
Li Haining,Zhang Yixin.Finite elements analyzing for hydraulic support's pedestal[J].Coal Mine Machinery,2011,32(1):89-91.
- [22] 高洋,赵忠辉.大倾角液压支架试验设备设计与研究[J].矿山机械,2014,42(5):24-28.  
Gao Yang,Zhao Zhonghui.Design and research on test equipment for large-obliquity hydraulic support[J].Coal Mine Machinery,2014,42(5):24-28.