

# 两柱大采高强度放顶煤支架的特点与创新发

马端志,王恩鹏,王彪谋

(天地科技股份有限公司 开采设计事业部,北京 100013)

**摘 要:**介绍了放顶煤液压支架的现状和发展趋势,通过与四柱放顶煤液压支架进行对比分析,认为两柱式放顶煤液压支架前端支顶力大,控制煤壁片帮和架前冒顶能力强;顶梁位态调整幅度大,适应外载变化和自身调节能力强;易于实现自动化控制;同等宽度支架可达到工作阻力低。阐述了两柱放顶煤支架近几年创新发展新成果:提高两柱式放顶煤液压支架的极限工作阻力;开发自动化放煤系统;提升钢板性能,降低液压支架质量;认为两柱式大采高强度放顶煤支架将成为大采高自动化综放工作面的首选架型。

**关键词:**两柱式放顶煤液压支架;创新发展;自动化;轻量化

中图分类号:TD82 文献标志码:A 文章编号:0253-2336(2015)10-0111-05

## Characteristics and innovation of two-legs shield powerful caving coal hydraulic support for large cutting height face

Ma Duanzhi, Wang Enpeng, Wang Biaomou

(Coal Mining and Design Department, Tiandi Science & Technology Co., Ltd., Beijing 100013, China)

**Abstract:** The paper introduces the current status and developing trend of the two-legs shield powerful caving coal hydraulic support for large mining height face. With the comparison and analysis of the four-legs shield, the two-legs shield has the following advantages: firstly, having stronger supporting forces at the front end of shield and better ability for controlling the coal wall slide and roof falling; secondly, the top beam can adjust its position in a larger range and has the stronger ability to adapt to the external load changes and then adjust itself correspondingly; third, easily achieving the automatic control, forth, lower yield load compared with same width of four-leg shield. Furthermore, this paper also stated the new achievements of two-legs shield in recent years as follows: first, the ultimate yield load of two-legs shield was increased, second, automatic system was developed, third, the shield's steel performance was upgraded and then the shield weight was reduced. Finally, it gets the conclusion that the two-legs shield powerful caving coal hydraulic support for large mining height face will become the first choice for the high-seam automatic longwall top coal caving face.

**Key words:** two-legs shield caving coal hydraulic support; innovation and development; automation; light weight

## 0 引 言

放顶煤液压支架的创新与发展是提高厚煤层及特厚煤层工作面安全、高效、高采出率生产的根本途径。放顶煤技术起源于欧洲,但国外放顶煤技术没有得到有效发展。我国自 20 世纪 80 年代引入综放开采技术至今经过 30 多年的发展,工作面年产已达 1 100 多万 t,综放开采技术已达世界领先水平<sup>[1]</sup>,

特别是“十一五”期间提出了大采高综放概念<sup>[2]</sup>,为大采高综放技术发展奠定了基础,为放顶煤液压支架的创新和发展开辟了方向。目前放顶煤支架的主导架型是四柱支撑掩护式放顶煤液压支架<sup>[3]</sup>,已推广近千套,常用支架工作阻力为 3 800 ~ 15 000 kN,机采高度为 2.5 ~ 4.0 m。近年来四柱放顶煤支架创新性地在工作阻力提高到 21 000 kN,弥补了四柱放顶煤液压支架出现“拔后柱”的不足,而支架最大

收稿日期:2015-01-18;责任编辑:曾康生 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2015.10.022

基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2012AA06A407)

作者简介:马端志(1980—),男,山东乐陵人,助理研究员,硕士。Tel:010-84262985, E-mail:maduanzhi@tdkcsj.com.cn

引用格式:马端志,王恩鹏,王彪谋.两柱大采高强度放顶煤支架的特点与创新发[J].煤炭科学技术,2015,43(10):111-115.

Ma Duanzhi, Wang Enpeng, Wang Biaomou. Characteristics and innovation of two-legs shield powerful caving coal hydraulic support for large cutting height face [J]. Coal Science and Technology, 2015, 43(10): 111-115.

高度达到 5.2 m, 实现了综放一次采 20 m 厚度煤层的世界记录<sup>[4-6]</sup>。两柱掩护式放顶煤液压支架从 2003 年研制至今, 共推广 30 多套, 常工作阻力为 5 800 ~ 12 000 kN, 机采高度为 2.5 ~ 4.0 m。2011 年天地科技股份有限公司开采设计事业部为榆林地区神树畔和双山 2 个煤矿设计了工作阻力 17 000 kN、高度 5.0 m 的两柱掩护式大采高强度放顶煤液压支架, 使用效果良好。大采高综放开采机采高度大, 允许放出顶煤厚度大, 开采适应煤层厚度范围大, 但对放顶煤液压支架支护强度、支架与围岩的适应性、煤壁片帮、架前冒顶控制和顶煤采出率等提出了更高要求<sup>[7-10]</sup>。两柱掩护式放顶煤液压支架与四柱支撑掩护式放顶煤液压支架相比, 具有适应围岩能力强、支护效率高、单排立柱易于实现电液自动控制等特点, 2011 年“两柱式超强力放顶煤液压支架研制”项目被列入国家“863 计划”科研攻关计划。分析两柱放顶煤支架的特点, 发挥该架型优点, 改进其不足之处, 开发新型适用于自动化控制的两柱放顶煤支架, 降低工人劳动强度, 提高生产安全性, 逐渐实现综放工作面放顶煤支架自动化控制、智能化放煤, 并在安全高效综放工作面大力推广, 符合国家“十二

五”研发适应我国煤矿地质和生产特点的高效自动化开采、智能化装备的要求<sup>[11]</sup>, 是煤矿综放开采技术发展的趋势。

## 1 两柱掩护式强力放顶煤支架特点

### 1.1 支架顶梁前端支撑顶板能力强

据井下实际使用经验, 机采高度增大后, 煤壁片帮、架前冒顶事故增多, 这也是大部分综放工作面机采高度小于 3.5 m 的主要原因。机采高度是影响综放工作面架前煤壁片帮和冒顶最重要因素<sup>[12]</sup>, 提高大采高综放工作面液压支架前端支顶力是减少煤壁片帮、解决架前冒顶问题最直接有效的方法。

图 1 为不同类型支架前后端接顶时支顶力示意, 工作阻力均为 16 000 kN, 图 1a 是整体顶梁两柱放顶煤支架, 顶梁前端支顶力约为 4 970 kN; 图 1b 是铰接前梁结构四柱放顶煤支架, 前梁前端支顶力值主要取决于连接前梁的 2 个千斤顶的推力, 该支架 2 个千斤顶最大支撑力为 2 450 kN, 前梁前端支顶力约为 480 kN; 图 1c 是整体顶梁四柱放顶煤支架, 顶梁前端支顶力约为 4 870 kN。

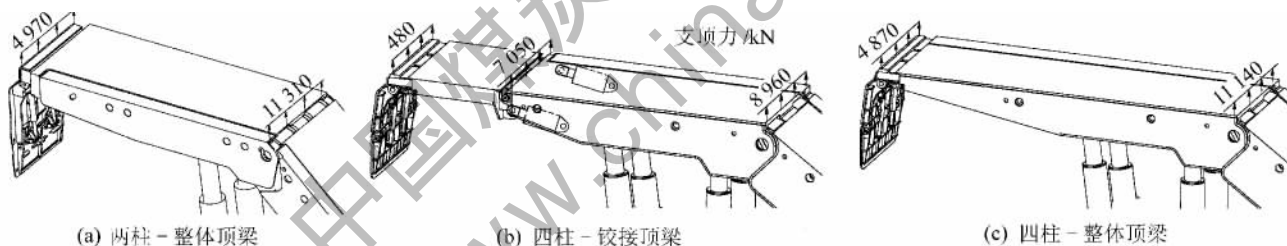


图 1 两柱、四柱液压支架支顶力示意

Fig. 1 Jacking force schematic of tow-legs and four-legs hydraulic supports

通过对比可以看出: 铰接前梁四柱支架前端支顶力与整体顶梁支架相比相差很大, 综放工作面机采高度提高后, 煤壁片帮和架前冒顶问题成为制约工作面生产的关键因素, 大采高综放工作面应优选整体顶梁结构的放顶煤液压支架。

### 1.2 支架适应顶板能力强

综放工作面放煤前、放煤后液压支架外载作用位置变化比较大, 液压支架不仅具有支撑顶板的能力, 还具有适度让压使支护状态达到新支护平衡的能力。当支架的支撑能力满足不了外载支护的需求时, 支架顶梁位态将会出现变化, 出现“低头”或“仰头”, 通过让压实现液压支架与围岩相互作用关系的一种新平衡状态。在生产过程中, 液压支架位态适度调整, 不会出现恶劣工况而影响生产, 通过调整顶梁水平方向

角度的支护状态也是允许的。液压支架顶梁位态变化是其自身支护性能调整的需求, 不同架型的液压支架位态调整机理不同, 调整能力也有差异。

顶梁前端载荷超出支架支撑能力范围时支架顶梁做“低头”位态调整<sup>[13-15]</sup>。图 2a 为一种四柱支架顶梁“低头”位态图, 顶梁以前排立柱为铰接点, 出现逆时针旋转, 后排立柱伸长, 因立柱一般主动拉力很小, 顶梁位态的改善只能通过减少顶煤冒放量来实现, 比较难以调整。综放工作面机采高度一般比支架最大支撑高度低 200 ~ 300 mm, 图 2a 支架顶梁下俯 6°时, 顶梁与掩护梁铰接点上移 291 mm, 若通过降低前排立柱增加顶梁下摆量, 很容易因支架出现“拔后柱”而造成结构件损坏; 图 2b 为一种两柱支架顶梁“低头”位态图, 顶梁以立柱为铰接点逆

时针旋转,在机采高度时,顶梁下俯  $10^\circ$  时,顶梁与掩护梁铰接点上移 267 mm,通过降低立柱高度可以继续适度增加顶梁下摆量,通过减少顶煤冒放量、降低采高、使用平衡千斤顶能够调整顶梁位态到水平状态。

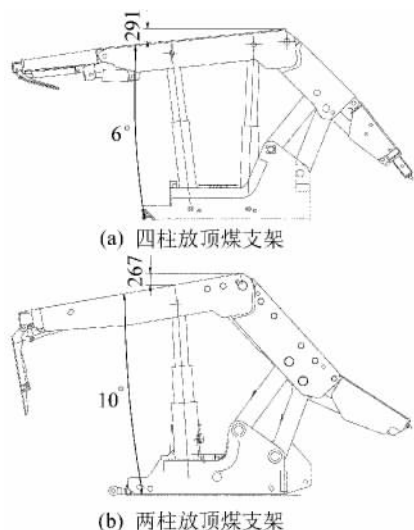


图 2 放顶煤支架顶梁“低头”位态  
Fig. 2 Four-legs caving coal hydraulic support of hinged front beam

顶梁后端载荷超出支架支撑能力范围时支架顶梁做“仰头”位态调整<sup>[13-15]</sup>。图 3a 为上述四柱放顶煤支架顶梁以前排立柱为铰接点顺时针旋转后排立柱下降形成“仰头”状态图,顶梁上仰  $10^\circ$  时顶梁掩护梁铰接点下移量已达 487 mm,可见综放工作面机采高度与支架最低高度之间应有足够大的差值,否则易出现支架压死,结构件损坏事故,出现该位态后可通过降低机采高度和增大顶煤冒放量来逐步调整顶梁姿态;图 3b 为上述两柱放顶煤支架顶梁以立柱为铰接点出现顺时针旋转的“仰头”位态图,在机采时顶梁上仰  $12^\circ$  时,顶梁掩护梁铰接点下移量为 322 mm,出现该类位态可通过降低机采高度、增大顶煤冒放量和使用平衡千斤顶等方法来逐步调整顶梁位态。

由此可以看出,两柱掩护式放顶煤液压支架与四柱支撑掩护式放顶煤液压支架相比,在“仰头”和“低头”2 种工况下顶梁可摆动角度大,适应外载变化能力强;适当提高综放工作面机采高度,增加液压支架伸缩比,能够增大综放液压支架让压范围,提高综放液压支架的适应性能。

### 1.3 两柱掩护式放顶煤液压支架易于实现自动化

目前已实现自动化采煤的一次采全高工作

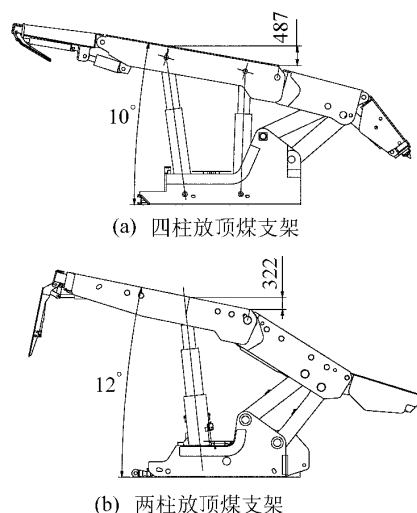


图 3 放顶煤支架顶梁“仰头”位态  
Fig. 3 Four-legs caving coal hydraulic support of whole top beam

面,基本上都采用了两柱掩护式液压支架。该类支架与四柱支架相比,采用单排立柱,易于实现单机自动化控制;实现降架、带压擦顶移架和升架自动控制;实现成组自动化控制:成组自动移架、成组自动推移刮板输送机、成组自动伸缩梁、护帮板成组连锁动作、成组喷雾自动控制;实现支架与采煤机配合进行双向、单向、部分截深割煤全自动化控制。

两柱掩护式放顶煤液压支架与一次采全高液压支架相比,主要区别是具有放煤和拉移后部刮板输送机功能。在综放工作面中选取两柱掩护式放顶煤液压支架易于借鉴一次采全高工作面所实现的自动控制功能,将其应用于综放工作面中。

### 1.4 同等宽度两柱掩护式放顶煤液压支架工作阻力低

两柱掩护式放顶煤液压支架至今仅推广 30 多套,一个重要原因是支架同等宽度的条件下,两柱放顶煤液压支架可设计的工作阻力低于四柱顶煤液压支架,两柱放顶煤液压支架支护强度低,适应条件的矿井少,推广难。目前已普遍使用的 1.75 m 中心距四柱大采高放顶煤液压支架工作阻力为 15 000 kN,在特殊矿区采用了工作阻力 21 000 kN 的放顶煤液压支架,而已应用的两柱掩护式放顶煤液压支架工作阻力为 12 000 kN。可见,大力推广两柱掩护式放顶煤液压支架,需通过结构改进,设计出两柱掩护式强力放顶煤液压支架。

## 2 两柱掩护式放顶煤液压支架的创新发展

### 2.1 研发两柱掩护式强力放顶煤液压支架

突破两柱掩护式放顶煤液压支架现有结构,研发了立柱新型的连接方式,提高该类支架支护能力,研发了1.5 m中心距工作阻力8 000 kN、1.75 m中心距工作阻力14 000 kN和2.05 m中心距工作阻力18 000 kN的新型两柱强力放顶煤支架,实现在同等宽度的情况下与四柱放顶煤支架支护能力接近,在适宜的新型矿井进行推广,在老矿区替代原有四柱放顶煤支架,影响显著,效果良好。

### 2.2 两柱掩护式放顶煤液压支架智能控制系统

一次采全高工作面已能够实现单机设备自动化、智能化控制,综放工作面实现自动化生产的关键是实现自动化放煤。目前智能区分顶煤与矸石手段还不是很成熟,且可靠性有待提高,利用煤岩识别技术研发智能化放顶煤比较难,且费用较高。通过记忆放煤和人工干预的手段实现半自动化放煤<sup>[16]</sup>,即初始放煤时利用放煤记忆模块记录多个循环支架人工放煤时插板收伸时间、尾梁上下摆动时间和动作频率等信息,对该信息进行统计形成液压支架放煤工艺,后续放煤时将放煤工艺信息相应发送到支架控制器中进行自动放煤为主,人工干预为辅,自动放煤信息能够根据人工干预情况进行修正的放煤新方法。该方法可以大幅度降低工人的劳动强度,费用低,易于实现和推广。

### 2.3 重型装备轻量化发展

液压支架主体结构件是由钢板焊接而成的箱型结构,目前所使用比较成熟的高强度钢板为Q690,该钢板屈服强度为690 MPa,抗拉强度为800 MPa。近年来液压支架工作阻力和可靠性要求不断提高,支架质量大幅增加,大采高综放液压支架质量近70 t,给设备的运输提出了更高要求。在提升支架性能的同时,减小支架质量是一个迫切需要解决的问题,选用更高性能的钢板,推动支架用钢板性能升级,已成为不可逆转的发展趋势。

## 3 结 语

大采高综放开采是特厚煤层最经济有效的开采方法,综放液压支架的选型至关重要。通过提高两柱掩护式放顶煤液压支架极限工作阻力,研制新型两柱强力放顶煤支架,弥补该类支架的不足,发挥该类支架控制架前片帮、冒顶能力强和适应顶板能力

强的优点,可在大采高综放工作面中优选两柱掩护式放顶煤液压支架。同时笔者认为以下2个方面的关键技术还有待进一步研究。①自动化放煤技术目前还处在起步摸索阶段,“记忆放煤+人工干预”只能是一个过渡模式,真正实现智能化放煤离不开煤矸识别技术,智能化放煤技术还需要进一步开发研究;②重型设备轻量化发展不仅需要分析高强度板材的性能,还需要对高强度板材的焊接工艺、焊接材料的匹配和高强板焊后性能做大量分析研究工作。

### 参考文献:

- [1] 王金华. 中国煤矿现代化开采技术装备现状及其展望[J]. 煤炭科学技术, 2011, 35(1): 1-5.  
Wang Jinhua. Present status and prospects of modernized mining technology and equipment in China coal mines [J]. Coal Science and Technology, 2011, 35(1): 1-5.
- [2] 王国法. 煤矿高效开采工作面成套装备技术创新与发展[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(1): 63-68, 106.  
Wang Guofa. Innovation and development of completed set equipment and technology for high efficient coal mining face in underground mine [J]. Coal Science and Technology, 2010, 38(1): 63-68, 106.
- [3] 马端志, 王恩鹏. 两柱掩护式大采高强力放顶煤液压支架的研制[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(8): 84-86.  
Ma Duanzhi, Wang Enpeng. Development of two-legs shield powerful caving mining support for large mining height face [J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(8): 84-86.
- [4] 王国法. 煤矿综采自动化成套技术与装备创新和发展[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(11): 1-9.  
Wang Guofa. Innovation and development on automatic completed set technology and equipment of fully-mechanized coal mining face [J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(11): 1-9.
- [5] 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 China coal mines [J]. Coal Mining Technology, 2013, 18(1): 1-4.
- [6] 苏林军. 放顶煤液压支架的创新与发展[J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(4): 54-84.  
Su Linjun. Innovation and development of hydraulic powered caving support [J]. Coal Science and Technology, 2011, 39(4): 54-84.
- [7] 刘涛. 综放工作面割煤高度对瓦斯涌出的影响[J]. 煤炭学报, 2011, 36(7): 1161-1164.  
Liu Tao. Rules of mining height's influence on methane gushing and its application [J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(7): 1161-1164.
- [8] 夏永学, 康立军, 齐庆新. 割煤高度对大采高综放工作面煤壁稳定性影响[J]. 煤炭科学技术, 2008, 36(12): 1-3.  
Xia Yongxue, Kang Lijun, Qi Qingxin. Coal cutting height affected to stability of coalwall in fully mechanized top coal caving mining

- face with high coal cutting height [J]. *Coal Science and Technology*, 2008, 36 ( 12 ) : 1 - 3.
- [9] 闫少宏. 特厚煤层大采高综放开采支架外载的理论研究 [J]. *煤炭学报*, 2009, 34( 5 ) : 590 - 593.
- Yan Shaohong. Theory study on the load on support of long wall with top coal caving with great mining height in extra thick coal seam [J]. *Journal of China Coal Society*, 2009, 34( 5 ) : 590 - 593.
- [10] 王国法, 庞义辉, 刘俊峰. 特厚煤层大采高综放开采采高高度的确定与影响 [J]. *煤炭学报*, 2012, 37( 11 ) : 1777 - 1782.
- Wang Guofa, Pang Yihui, Liu Junfeng. Determination and influence of cutting height of coal by top coal caving method with great mining height in extra thick coal seam [J]. *Journal of China Coal Society*, 2012, 37( 11 ) : 1777 - 1782.
- [11] 王国法. 煤矿开采装备技术的发展展望 [J]. *煤矿开采*, 2011, 16( 3 ) : 19 - 50.
- Wang Guofa. Prospect of coal mining equipment development [J]. *Coal Mining Technology*, 2011, 16( 3 ) : 19 - 50.
- [12] 王金华. 特厚煤层大采高综放开采关键技术 [J]. *煤炭学报*, 2009, 38( 12 ) : 2089 - 2098.
- Wang Jinhua. Key technology for fully - mechanized top coal caving with large mining height in extra - thick coal seam [J]. *Journal of China Coal Society*, 2009, 38( 12 ) : 2089 - 2098.
- [13] 杨培举, 刘长友, 韩纪志, 等. 平衡千斤顶对放顶煤两柱掩护支架适应性的作用 [J]. *采矿与安全工程学报*, 2007, 24( 3 ) : 278 - 281.
- Yang Peiju, Liu Changyou, Han Jizhi, *et al.* Role of equilibrium jack in adaptability of two - legs shield support of top coal caving [J]. *Journal of Mining & Safety Engineering*, 2007, 24 ( 3 ) : 278 - 281.
- [14] 王彪谋. 四柱放顶煤液压支架主要技术问题研究 [J]. *煤矿开采*, 2009, 15( 5 ) : 56 - 57.
- Wang Biaomou. Research on main technical problems in 4 - prop top - coal caving powered support [J]. *Coal Mining Technology*, 2009, 15( 5 ) : 56 - 57.
- [15] 马端志. 四柱支撑掩护式放顶煤液压支架支护性能分析 [J]. *煤矿开采*, 2010, 16( 5 ) : 66 - 68.
- Ma Duanzhi. Supporting properties analysis of 4 - prop standing and shielding coal caving powered support [J]. *Coal Mining Technology*, 2010, 16( 5 ) : 66 - 68.
- [16] 马英. 综放工作面自动化放顶煤系统研究 [J]. *煤炭科学技术*, 2013, 41( 11 ) : 22 - 84.
- Ma Ying. Study on automatic top coal caving system in fully - mechanized coal caving face [J]. *Coal Science and Technology*, 2013, 41( 11 ) : 22 - 84.
- ( 上接第 151 页 )
- surface subsidence due to underground mining [J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2009, 30( 11 ) : 3406 - 3410.
- [6] 刘玉成. 煤层开采地表移动过程 FLAC<sup>3D</sup> 模拟研究 [J]. *煤炭科学技术*, 2012, 40( 5 ) : 93 - 96.
- Liu Yucheng. Study on FLAC<sup>3D</sup> Simulation of surface ground movement process for underground seam mining [J]. *Coal Science and Technology*, 2012, 40( 5 ) : 93 - 96.
- [7] 樊占文, 郭永红, 杨可明. 煤矿开采地表移动与变形规律常规化研究模式 [J]. *煤炭科学技术*, 2014, 42( S1 ) : 252 - 255.
- Fan Zhanwen, Guo Yonghong, Yang Keming. Routinized studying mode on land surface movement and deformation law of mining subsidence in coal mine [J]. *Coal Science and Technology*, 2014, 42( S1 ) : 252 - 255.
- [8] 曹化平, 杨可明, 肖金榜, 等. 非规范观测站的岩移参数求取方法研究 [J]. *矿山测量*, 2009( 5 ) : 5 - 9.
- Cao Huaping, Yang Keming, Xiao Jinbang, *et al.* Research of non - canonical observatory rock movement parameters calculating methods [J]. *Mine Surveying*, 2009( 5 ) : 5 - 9.
- [9] 李春意, 陈洁. 岩移观测数据处理及曲面拟合参数求取研究 [J]. *煤炭科学技术*, 2012, 40( 11 ) : 98 - 102.
- Li Chunyi, Chen Jie. Study on data processing of rock strata displacement observation and parameters calculation of curved surface fitting [J]. *Coal Science and Technology*, 2012, 40( 11 ) : 98 - 102.
- [10] 赵俊峰. 冯家塔煤矿地表观测站设置技术研究 [J]. *陕西煤炭*, 2013, 32( 3 ) : 33 - 35.
- Zhao Junfeng. Research of surface observation station's setting technology for Fengjiata Coal Mining [J]. *Shaanxi Meitan*, 2013, 32( 3 ) : 33 - 35.
- [11] 王刚. 地表移动观测站数据处理模式 [J]. *煤矿安全*, 2011, 42( 11 ) : 129 - 133.
- Wang Gang. Surface movement observation data processing mode [J]. *Safety in Coal Mines*, 2011, 42( 11 ) : 129 - 133.
- [12] 张连贵. 兖州矿区综放开采地表沉降规律 [J]. *煤炭科学技术*, 2010, 38( 2 ) : 89 - 92.
- Zhang Liangui. Surface ground subsidence law of fully mechanized top coal caving mining in Yanzhou Mining Area [J]. *Coal Science and Technology*, 2010, 38( 2 ) : 89 - 92.
- [13] 谭志祥, 袁力, 李培现. 徐州矿区地表移动角值参数综合分析 [J]. *煤炭科学技术*, 2014, 42( 5 ) : 88 - 94.
- Tan Zhixiang, Yuan Li, Li Peixian. Comprehensive analysis on surface movement angle parameters in Xuzhou Mining Area [J]. *Coal Science and Technology*, 2014, 42( 5 ) : 88 - 94.
- [14] 陈银翠, 陈玉平, 胡奎. 非主断面观测站求解边界角和移动角的新方法 [J]. *安徽理工大学学报*, 2011, 31( 2 ) : 30 - 34.
- Chen Yincui, Chen Yuping, Hu Kui. A new method of solving boundary angle and displacement angle of non - principle section observation station [J]. *Journal of Anhui University of Science and Technology: Natural Science*, 2011, 31( 2 ) : 30 - 34.
- [15] 马世龙, 张键, 冯婷婷. 非规范观测站岩层移动角计算方法分析 [J]. *河南城建学院学报*, 2013( 5 ) : 25 - 28.
- Ma Shilong, Zhang Jian, Feng Tingting. Analysis on calculation of strata movement angle in non - canonical observation station [J]. *Journal of Henan University of Urban Construction*, 2013( 5 ) : 25 - 28.