

超强矿压综放工作面支架工作阻力优化研究

郎 军^{1,2}

(1.中国矿业大学,江苏 徐州 221116;

2.伊泰京粤酸刺沟矿业有限责任公司,内蒙古 鄂尔多斯 010300)



扫码移动阅读

摘要:针对酸刺沟煤矿工作面回采初期矿压显现强烈、工作面顶板下沉量大、压架事故频发的问题,采用现场实测与理论分析相结合的办法,对酸刺沟煤矿6上105-2综放工作面压架机理及液压支架工作阻力优化进行分析研究。研究结果表明:工作面冒采比小、直接顶韧性高悬顶距大、顶煤超前冒落导致顶板回转量大、支架工作阻力发挥不充分,工作面顶板下沉量大于800 mm;基于位态方程,从控顶效果出发,计算支架临界工作阻力,通过更换安全阀,提高泵站压力,将旧支架工作阻力提升至17 946 kN,工作面顶板下沉量小于600 mm;通过比较支架均值阻力、支架均值偏阻力、支架均值上阻力及额定工作阻力对应的顶板下沉量及其超限比例,确定待采工作面新支架额定工作阻力为21 000 kN,实测顶板下沉量小于300 mm。

关键词:综放工作面;工作阻力;控顶效果;位态方程

中图分类号:TD323 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-2336(2018)12-0119-07

Study on working resistance optimization of hydraulic support in fully-mechanized top coal caving mining face with ultra strong ground pressure

LANG Jun^{1,2}

(1. China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China; 2. Yitai Jingyue Suancigou Mining Company Limited, Ordos 010300, China)

Abstract: According to the strong mine strata behavior at the initial mining period, high roof subsidence of the coal mining face, frequent powered support jammed problems in Suancigou Mine, a site measurement and theoretical analysis combined method were applied to the analysis study on the powered support jammed mechanism in No. 105-2 fully-mechanized top coal caving mining face in No. 6 seam (upper) of Suancigou Mine. The study results showed that the mining and caving ratio of the coal mining face was low, the toughness of the direction roof was high and the suspended roof distance was long. The advanced caving of the top coal could cause a high swinging motion of the roof, the working resistance of the powered support could not be fully played and the roof subsidence of the coal mining face was over 800 mm. Based on the displacement state equation, from the roof control effect, the critical working resistance of the powered support was calculated. With the replacement of the safety valve, the pressure of the high pumping station was increased. The working resistance of the old powered support could be increased to 17 946 kN and the roof subsidence of the coal mining face was less than 600 mm. In comparison with the average resistance of the powered supports, the mean bias resistance of the powered support, the average resistance and rated working resistance of the powered support related to the roof subsidence and the overlimit proportion of the roof, the rated working resistance of the new powered support applied to the new coal miming face was determined to be 21 000 kN and the measured roof subsidence was less than 300 mm.

Key words: fully-mechanized coal caving mining face; working resistance optimization; roof control effect; displacement state equation

收稿日期:2018-07-15;责任编辑:曾康生 DOI:10.13199/j.cnki.cst.2018.12.019

作者简介:郎 军(1970—),男,内蒙古巴彦淖尔人,高级工程师,硕士。E-mail:langjun6306@163.com

引用格式:郎 军. 超强矿压综放工作面支架工作阻力优化研究[J]. 煤炭科学技术,2018,46(12):119-125.

LANG Jun. Study on working resistance optimization of hydraulic support in fully-mechanized top coal caving mining face with ultra strong ground pressure [J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(12): 119-125.

0 引言

支架合理工作阻力的确定是工作面顶板控制及液压支架选型的重要研究内容。随着综放及大采高综放开采技术的推广^[1-3],厚煤层工作面采动影响范围增大,上覆顶板结构及运动规律呈现新的特点^[4-7],部分综放工作面支架工作阻力不合理,出现支架适应性不足的问题。鄂尔多斯地区酸刺沟煤矿6_上105-2首采工作面回采初期,由于对上覆顶板结构及其运动规律认识不充分,额定工作阻力15 000 kN的综放支架适应性不足,支架选型不合理引起工作面发生多次压架事故,对工作面设备、人员造成了极大的破坏和危害。为保证工作面安全生产,需要对6_上105-2工作面压架机理及合理支架工作阻力确定进行研究。

近年来,关于综放采场顶板结构、运动形式及工作面支架合理工作阻力的确定,我国在这领域研究取得了丰富的成果:刘长友等^[8]基于“关键层”理论,分析了大采高综放开采上覆多岩层厚硬顶板的垮落组合形式及其运动特点,给出了此类采场条件下支架工作阻力确定的原则及理论计算方法;孔令海等^[9]通过微震监测、相似模拟实验及现场支架工作阻力实测等方法,研究了塔山煤矿顶板运动特点并确定了顶板不同运动阶段支架压力的来源;闫少宏等^[10-11]分析了大采高采场顶板“悬臂梁-铰接岩梁”结构成因及其运动特点,并给出了此类采场支架工作阻力的计算公式;于雷等^[12]采用理论分析方法,得出了综放采场“悬臂梁-铰接岩梁”结构下支架工作阻力的解析计算式,并进行了试验验证;范韶刚等^[13]在理论计算的基础上,通过大量实测数据,回归出了综放支架工作阻力的计算公式。

以上研究结果多通过顶板结构计算顶板来压时的顶板压力,从而确定支架合理工作阻力,但其计算过程复杂,需要参数众多,具体实践过程中,很多参数难以精确取得。笔者以酸刺沟煤矿6_上105-2综放工作面压架事故为背景,通过现场实测和理论分析,对压架机理进行研究,同时对工作面实测矿压数据进行分析处理,基于位态方程,从顶板控制效果出发,研究确定支架的合理工作阻力。

1 工程地质条件

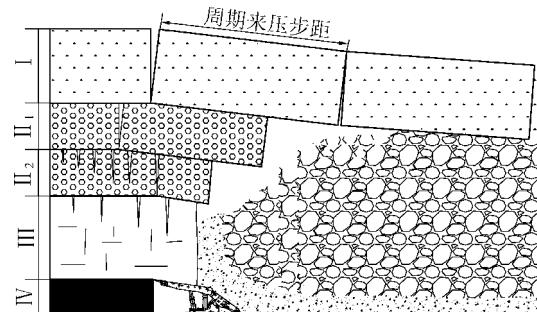
酸刺沟煤矿位于准格尔煤田中部,主采的6_上

煤层位于石炭系上统太原组,煤层平均埋深约200 m,工作面走向长度1 356 m,倾向长度245 m,煤层平均厚度10 m,倾角0°~5°。采用ZF15000/26/42型四柱支撑掩护式放顶煤支架,额定工作阻力15 000 kN,支护强度1.45 MPa,初撑力12 778 kN。煤层顶板多为粗粒砂岩、泥岩和细粒砂岩;底板多为泥岩、砂质黏土岩,局部为粗粒砂岩。6_上煤层直接顶的含砾粗砂岩抗拉强度4.76~7.20 MPa,平均5.61 MPa;泥岩抗拉强度2.21~10.67 MPa,平均6.18 MPa,工作面设计年产800万t,工作面推进至86 m时,111—118号支架严重损坏;推进至182 m时,工作面顶板大面积来压,支架安全阀大面积喷射状开启,30—130号支架压力大,单采煤循环0.5 h内活柱下缩量约800 mm,50—70号支架压死,82—92号、106—123号支架大部分被压死。工作面开采初期压架事故频发,严重影响工作面安全生产。

2 压架机理分析

2.1 顶板结构及运动特点

通过在6_上105-2工作面进行顶煤结构钻孔探测、覆岩导水裂隙带观测、地表钻孔深基点岩移及综放支架实测工作阻力分析,得出了工作面初采阶段综放采场顶板结构模型,如图1所示。



I—基本顶;II₁—上位直接顶;II₂—下位直接顶;III—顶煤;IV—割煤

图 1 工作面初采阶段综放采场板结构模型

Fig.1 Structure model of fully-mechanized top coal caving face in initial stage

综放采场顶板结构模型主要特征分述如下:

1) 顶煤。顶煤厚约9 m,超前支架切顶线约1 650 mm冒落(冒落线位于支架前后柱之间)。

2) 直接顶组成及运动特点。直接顶厚约10 m,主体岩层为直接覆盖在6_上煤层之上的含砾粗砂岩和泥岩,单层厚度约5 m。含砾粗砂岩和泥岩,其最大抗拉强度分别为7.20 MPa和10.67 MPa,由于岩石抗拉强度较大,导致岩层断裂步距增大,顶板表现

为“长悬顶”特征。

3)基本顶组成及运动特点。由于工作面存在明显的顶板周期来压显现,因此基本顶的周期性断裂是其主要运动特征。工作面基本顶主体岩层为粗砂岩,厚度8m,周期断裂步距约20m。

4)采空区充填率低,基本顶回转量大。采空区基本顶回转量为

$$\Delta h = h + h_d \gamma - M_z(k-1) - h_d(1-\gamma)(k-1) \quad (1)$$

其中: Δh 为基本顶回转量; h 为采高,取3.9m; h_d 为顶煤厚度,取9m; γ 为顶煤采出率,取0.85; M_z 为直接顶厚度,取10m; k 为直接顶碎胀系数1.25~1.50,取1.30。代入数值计算得: $\Delta h = 7.15$ m。

基本顶形成稳定结构后,令基本顶回转角与顶煤回转角相同,工作面顶板最大下沉量为

$$\Delta h_A = \Delta h L_K / c \quad (2)$$

其中: Δh_A 为基本顶自由沉降至最低位态时工作面顶板最大下沉量; L_K 为控顶距,取5750mm; c 为基本顶来压步距,取20m。代入数值计算得: $\Delta h_A = 2.05$ m,此处未考虑直接顶及顶煤的压缩变形。

2.2 压架分析

顶板结构特点及其运动规律决定了综放支架工作阻力显现方式,通过分析工作面顶板结构,确定导致压架事故的原因有3条^[15~16]。

1)冒采比小。工作面开采初期,采高3.9m,放煤高度为7.6m,而直接顶厚度约10m,冒采比约为0.87。当冒落直接顶完全充满采空区、基本顶下沉量为0时,最优冒采比约为2.46。工作面实际冒采比远小于最优冒采比。冒采比小决定放煤后采空区充填率低,基本顶回转量和工作面顶板下沉量大,来压时工作面综采支架动载系数高(约为2.3)、活柱缩量大(单循环内最大活柱缩量达800mm)。如果支架剩余缩量小于实际活柱缩量则将发生压架事故。

2)顶板韧性强。直接顶不随采随落,以悬臂梁的形式周期性垮落,悬顶距11~13m,为支架控顶距的2倍。直接顶长悬顶,一方面导致来压加剧,另一方面降低了采空区充填率,导致基本顶运动空间加大。

3)顶煤超前冒落。支架后方悬空,支架受载不均,前柱液压均值为24.44~26.50MPa,后柱液压为9.77~12.10MPa,后柱的利用率低,工作阻力

发挥不足。来压时前柱增阻快,压力大于后柱,出现栽头及拔后柱现象,整架工作阻力发挥程度大幅下降,来压时支架工作阻力平均12016~12834kN,远小于支架额定工作阻力,支架整架阻力利用率低。

3 支架工作阻力优化

为防止压架事故再次发生,对工作面支架合理工作阻力进行优化。

3.1 支架升级更新

在了解顶板结构特点及顶板运动规律、保证安全生产的基础上,对现有支架进行升级。目前支架存在的主要问题是其工作阻力无法充分发挥,对顶板控制效果差,来压时支架动载系数及活柱缩量大。提高现有支架对顶板控制效果,主要从提高支架额定工作阻力和支架工作阻力发挥效率2个方面着手。

3.1.1 提高支架额定工作阻力

实用矿山压力理论基于梁式结构的力学模型,提出了确定支架工作阻力的位态方程的概念和表达式^[17]为

$$P_T = A + K \frac{\Delta h_A}{\Delta h_i} \quad (3)$$

$$K = \frac{M_E \gamma_E c}{K_T L_K} \quad (4)$$

式中: P_T 为支护强度,MPa; A 为直接顶作用力,MPa; K 为位态常数,MPa; Δh_i 为某控制状态*i*下工作面顶板下沉量,mm; M_z 为基本顶厚度,m; γ_E 为基本顶密度,kN/m³; K_T 为基本顶岩重系数,取2。

基于上述有关参数的回采工作面顶板控制位态及参数如图2所示。

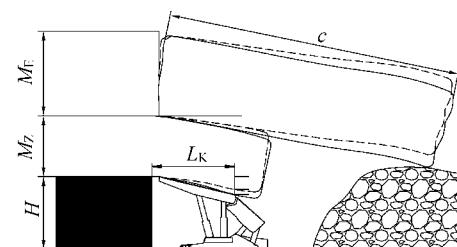


图2 回采工作面顶板控制位态示意

Fag.2 Control of roof states in mining face

由于 $p = P_T S$ (S 为支架的支护面积),因此,在实际应用中,上式可变换为

$$r = p_0 + K \frac{\Delta h_A}{\Delta h_i} \quad (5)$$

式中: r 顶板来压时实测支架工作阻力, kN; p_0 顶板来压前实测支架工作阻力, kN。

根据 6_上105-2 工作面支架工作阻力实测, $r = 12\ 834$ kN, $p_0 = 5\ 563$ kN, $\Delta h_i = 600$ mm, $\Delta h_A = 1\ 394$ mm, 计算得 $K = 3\ 130$ kN。

式(5)为该工作面用支架工作阻力表示的顶板位态方程, 据此, 也可以通过实现“支架限定变形”工作状态而抑制工作面顶板的下沉。

已知工作面顶板下沉量 $\Delta h_i = 400 \sim 800$ mm 时, 工作面采高大于 3 000 mm, 能基本满足采放工艺要求, 但 $\Delta h_i = 800$ mm 时支架工况很差。根据式(5)计算, 上述顶板下沉量对应的支架工作阻力区间 $[r_1, r_2] = 11\ 017 \sim 16\ 471$ kN, 称区间 $[r_1, r_2]$ 的支架实际工作阻力为该工作面控顶要求的支架临界工作阻力。实测表明, 现有支架充分发挥额定工作阻力时, 顶板下沉量仍大于 400 mm, 控顶效果差, 作为临时补救措施, 对现有支架进行升级, 即提高前后柱安全阀额定开启压力, 由 36.86 MPa 分别提高至 46.2 MPa 和 42 MPa, 由此支架额定工作阻力由 15 000 kN 提升至 17 946 kN。此时工作面顶板下沉量由式(5)计算得 365 mm, 支架处于限定变形状态, 在支架临界工作阻力条件下, 顶板下沉量较大, 也能满足正常生产。

3.1.2 提高支架工作阻力发挥效率

1) 提高泵站压力。将泵站压力由 31.4 MPa 提高至 37.0 MPa, 保证支架具有足够初撑力, 可以抑制顶板早期下沉。

2) 保证支架合理工作状态。采取及时移架和限量放煤等方法, 减少顶煤冒落, 将支架顶梁仰俯角变化范围控制在 $\pm 10^\circ$, 防止后柱受力过小甚至出现拉力。

3.2 新支架选型

通过支架升级, 一定程度上提高了支架对顶板的控制能力, 但实测表明仍不满足顶板下沉量较小的控顶要求。新支架选型主要包括 2 个方面: 支架合理工作阻力、支架结构。

3.2.1 支架合理工作阻力的确定

6_上105-2 工作面顶板结构复杂多变, 理论计算参数多且难以获得。从实测矿压数据出发, 确定支架合理工作阻力是有效的方法。

据工作面顶板下沉量 Δh_i 的大小, 可来判定工作面顶板控制效果。该工作面矿压显现强烈, 分别取 100、300 和 500 mm 作为工作面控顶效果的划分标

准, 将工作面控顶效果划分 4 个区间, 即 ≤ 100 mm、100—300 mm、301—500 mm、 ≥ 500 mm, 相应为极好、好、中等和差 4 个等级。顶板控制效果标准见表 1。

表 1 工作面顶板控制标准

Table 1 Standard of roof control in working face

序号	1	2	3	4
顶板下沉量 $\Delta h_i/\text{mm}$	≤ 100	100—300	301—500	≥ 500
顶板控制效果级别	极好	好	中	差

对工作面 6 个重点支架工作阻力进行统计, 来压时 6 个支架平均工作阻力 $\bar{p} = 13\ 595$ kN, 均方差 $\sigma = 2\ 145$ kN, 工作面来压前支架工作阻力 $p_0 = 6\ 792$ kN, 工作面实测来压时顶板下沉量 $\Delta h_i = 600$ mm (实测正常来压期间顶板下沉量约为 600 mm), 根据压架时基本顶自由沉降至最低位时工作面最大下沉量 $\Delta h_A = 1\ 394$ mm。

定义来压时支架平均偏阻力 $\bar{p}_1 = \bar{p} + \kappa_1 \sigma$, κ_1 为均方差系数, 此处取值为 1, 代入数值计算得: $\bar{p}_1 = 15\ 740$ kN; 定义来压时支架平均上阻力 $\bar{p}_2 = \bar{p} + \kappa_2 \sigma$, κ_2 为均方差系数, 此处取值 3.3 (通过位态方程式(5), 按顶板控制效果为“好”时, 反算得到 κ_2), 代入数值计算得: $\bar{p}_2 = 20\ 673$ kN。

按式(5)分别计算出支架均值阻力 \bar{p} 、来压时支架均值偏阻力 \bar{p}_1 、来压时支架均值上阻力 \bar{p}_2 及现支架额定工作阻力 p 相应的顶板下沉量, 见表 2。

表 2 不同支架工作阻力及顶板控制效果

Table 2 Effect of strata control to different support resistances

项目	支架工作阻力/kN			
	$p = 17\ 946$	$\bar{p} = 13\ 595$	$\bar{p}_1 = 15\ 740$	$\bar{p}_2 = 20\ 673$
顶板下沉量/mm	365	600(实测)	456	294
控顶效果级别	中	差	中	好

由表 2 可知, 当支架工作阻力为 \bar{p} 时, 工作面顶板下沉量 $\Delta h_2 = 600$ mm, 控顶效果为“差”; 当支架工作阻力为 p 、 \bar{p}_1 时, 工作面顶板下沉量分别为 $\Delta h_1 = 365$ mm 和 $\Delta h_3 = 456$ mm, 控顶效果为“中”, 当支架工作阻力为 \bar{p}_2 时, 工作面顶板下沉量为 $\Delta h_4 = 294$ mm, 控顶效果为“好”。比较控顶效果, 支架工作阻力为额定工作阻力 p 、来压支架均值上阻力 \bar{p}_2 时, 顶板下沉量分别为 365、294 mm, 区别不大。

进一步考虑工作面来压时6个重点支架循环末阻力超过 p 、 \bar{p} 、 \bar{p}_1 和 \bar{p}_2 的超限比例,最终确定支架合理工作阻力。

工作面来压时6个重点支架循环末阻力超过

p 、 \bar{p} 、 \bar{p}_1 和 \bar{p}_2 的超限比例见表3。按2种统计口径,一种是超限值占来压持续过程统计循环数n比例称作 A_1 ,另一种是超限值占循环总循环数N比例,称作 A_2 。

表3 工作面6个重点支架循环末阻力超过4个工作阻力的比例

Table 3 Ratio of end resistance in a mining cycle of 6 key support exceed 4 resistances

序号	工作阻力/ kN	支护强 度/MPa	比例 类型	6个支架超限比例/%						
				50号	60号	80号	90号	110号	120号	平均
1	$p=17\ 946$	1.67	A_1	13.3	2.5	11.8	1.3	41.7	0	11.8
			A_2	2.6	0.6	2.8	0.3	12.6	0	3.2
2	$\bar{p}=13\ 595$	1.27	A_1	40.0	35.8	46.1	43.0	76.0	44.1	47.5
			A_2	7.8	9.1	11.0	10.6	23.0	8.2	11.6
3	$\bar{p}_1=15\ 740$	1.47	A_1	23.3	23.5	22.4	31.6	58.3	29.4	31.4
			A_2	4.5	6.0	5.4	7.8	17.6	5.5	7.8
4	$\bar{p}_2=20\ 673.5$	1.87	A_1	0	0	0	0	10.4	0	1.7
			A_2	0	0	0	0	3.1	0	0.5

由表3可知,支架工作阻力为 p 时,支架超限比例较支架工作阻力为 \bar{p}_2 时大很多,且支架工作阻力为 \bar{p}_2 时, A_1 、 A_2 类均小于15%,确定 $\bar{p}_2=20\ 673.5\text{ kN}$ 为支架合理工作阻力,取整后为21 000 kN。

3.2.2 支架结构优化

1)针对顶煤超前支架切顶线冒落,支架受载不均,支架顶梁适应合力作用点变化范围应尽量大,支架顶梁前柱窝的位置尽量前移,调整支架的合力作用点位置和增加支架顶梁前端的控顶能力^[18]。

2)针对支架初撑力发挥不足,应提高综放液压支架的初撑力,保证支架初撑力符合控顶要求。针对顶板难冒性特点,要提高支架的切顶能力^[19]。

3)针对来压时动载系数大,顶煤冒落严重,对顶梁结构进行优化设计,解决大采高综放工作面煤壁片帮的防护及片帮问题^[20]。

4)由于工作面动载系数大,顶板冲击载荷大,来压非常强烈,为保证立柱压力快速释放,研发大流

量安全阀。由于超大工作阻力支架立柱缸径大,一般回液措施下不能满足快速降柱要求,研发快速回液技术,保证快速移架。

5)为实现工作面安全高效生产,针对工作面地质条件,通过支架电液控制技术研究,提高工作面自动化水平,满足生产要求。

通过支架合理工作阻力及支架结构优化,最终确定6上109待采工作面换用当时国内外首套最大工作阻力的ZF21000/25/45D四柱放顶煤支架。

4 工程应用实例

上述对综放支架优化的研究与应用反映了对酸刺沟顶板结构特点、顶板运动规律及支架选型技术认识的深化和实践深入过程。各项支架优化方案依次在酸刺沟煤矿3个综放工作面应用,支架优化选型技术实施生产效果见表4。

表4 综放工作面支架优化技术实施生产效果

Table 4 Production effect after implement of roof control in fully-mechanized top coal caving face

支架优化技术实施	工作面 回采阶段	平均	最高	平均	回采	采出	顶板
		煤厚/m	月产量/万t	月产量/万t	工效/(t·工 ⁻¹)	率/%	下沉量/mm
未实施	6上105-2工作面开采初期	13.7	50.1	39.7	208	72	>800
实施旧支架升级	6上105-2工作面开采后期	9.7	90.1	80.4	420	84	600
新型支架	6上109工作面全面回采	10.1	145	100.6	526	89	<300

由表4可知,6上105-2工作面开采初期顶板最

大下沉量大于800 mm,压架事故频发,严重影响安

全生产;实施旧支架升级后,顶板最大下沉量控制在600 mm左右,保证了煤矿安全生产;实施新支架优化选型后,6上109工作面顶板下沉量在300 mm以内,保证了工作面高产高效。

5 结 论

1)通过顶煤结构钻孔探测、覆岩导水裂隙带观测、工作面地表钻孔深基点岩移及综放支架工作阻力实测,得到酸刺沟煤矿6上105-2工作面顶板结构特点及运动规律,冒采比0.87,直接顶悬顶距为11~13 m,顶煤超前冒落是矿压显现强烈、压架事故频发的主要地质原因。

2)通过建立位态方程,计算综放支架临界工作阻力,通过提高旧支架安全阀开启压力,将支架额定工作阻力提高至17 946 kN,辅以提高泵站压力,控制支架姿态等措施,提高支架工作阻力发挥效率,加强支架对顶板的控制效果,工作面顶板下沉量小于600 mm。

3)根据顶板下沉量确定顶板控顶效果,提出来压时支架均值偏阻力 \bar{p}_1 、来压时支架均值上阻力 \bar{p}_2 ;利用位态方程,分别计算支架均值阻力 \bar{p} 、来压时支架均值偏阻力 \bar{p}_1 、来压时支架均值上阻力 \bar{p}_2 及额定工作阻力 p 相对应的顶板下沉量,分析比较支架不同阻力时顶板控顶效果及支架循环末阻力超限比例,最终确定新支架额定工作阻力为21 000 kN,并对支架结构进行优化,工作面换用新支架后,实测表明顶板下沉量小于300 mm。

参考文献(References):

- [1] 王金华.我国大采高综采技术与装备的现状及发展趋势[J].煤炭科学技术,2006,34(1):4-7.
WANG Jinhua. Present status and development tendency of fully mechanized coal mining technology and equipment with high cutting height in China[J]. Coal Science and Technology, 2006, 34 (1):4-7.
- [2] 王金华.特厚煤层大采高综放开采关键技术[J].煤炭学报,2013,38(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, 2013, 38 (12):2089-2098.
- [3] 李明忠,张德生,刘壮,等.8.2 m大采高综采工作面超前支护技术研究及应用[J].煤炭科学技术,2017,45(11):32-36.
LI Mingzhong, ZHANG Desheng, LIU Zhuang, et al. Research and application of advance supporting technology for 8.2 m large mining height fully-mechanized top coal caving face[J]. Coal Sci-ence and Technology, 2017, 45 (11):32-36.
- [4] 毛德兵,姚建国.大采高综放开采适应性研究[J].煤炭学报,2010,35(11):1837-1841.
MAO Debing, YAO Jianguo. Adaptability of long wall top coal caving with high cutting height [J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35 (11):1837-1841.
- [5] 吴士良,刘思利.综放工作面顶板运动规律及支架-围岩关系研究[J].煤炭科学技术,2016,44(2):104-108.
WU Shiliang, LIU Sili. Study on roof movement law and powered support-surrounding rock relationship of fully-mechanized top coal caving mining face [J]. Coal Science and Technology, 2016, 44 (2):104-108.
- [6] 闫少宏,尹希文.大采高综放开采几个理论问题的研究[J].煤炭学报,2008,33(5):481-484.
YAN Shaohong, YIN Xiwen. Discussing about the main theoretical problems of long wall with top coal caving [J]. Journal of China Coal Society, 2008, 33 (5):481-484.
- [7] 匡铁军.特厚煤层大采高综放工作面端部覆岩活动规律研究[J].煤炭科学技术,2016,44(6):188-193.
KUANG Tiejun. Study on overburden strata movement law at face end of high cutting fully-mechanized top coal caving face in ultra-thick seam[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44 (6):188-193.
- [8] 刘长友,杨敬轩,于斌,等.覆岩多层坚硬顶板条件下特厚煤层综放工作面支架阻力确定[J].采矿与安全工程学报,2015,32(1):7-13.
LIU Changyou, YANG Jingxuan, YU Bin, et al. Support resistance determination of fully mechanized top - coal caving face in extra-thick seam under multi-layered hard strata[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2015, 32 (1):7-13.
- [9] 孔令海,姜福兴,王存文.特厚煤层综放采场支架合理工作阻力研究[J].岩石力学与工程学报,2010,29(11):2312-2318.
KONG Linghai, JIANG Fuxing, WANG Cunwen. Study of reasonable working resistance of support in fully-mechanized sub-level caving face in extra-thick coal seam[J]. Coal Science and Technology, 2010, 29 (11):2312-2318.
- [10] 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.
- [11] 闫少宏,尹希文,许红杰,等.大采高综采顶板短悬臂梁-铰接岩梁结构与支架工作阻力的确定[J].煤炭学报,2011,36(11):1816-1820.
YAN Shaohong, YIN Xiwen, XU Hongjie, et al. Roof structure of short cantilever-articulated rock beam and calculation of support resistance in full-mechanized face with large mining height [J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36 (11):1816-1820.
- [12] 于雷,闫少宏,刘全明.特厚煤层综放开采支架工作阻力的确定[J].煤炭学报,2012,37(5):737-742.
YU Lei, YAN Shaohong, LIU Tianming. Determination of support resistance of long wall top coal caving mining face [J]. Coal Science and Technology, 2012, 37 (5):737-742.

- working resistance of top coal caving in extra thick coal seam [J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(5): 737-742.
- [13] 范韶刚,闫少宏,毛德兵,等.确定综放支架工作阻力的统计类比法[J].矿山压力与顶板管理,2000,17(4):24-26.
FAN Shaogang, YAN Shaohong, MAO Debing, et al. The analogy statistic method to determine the support resistance of the fully mechanized mining with sublevel caving [J]. Ground Pressure and Strata Control, 2000, 17(4): 24-26.
- [14] 郭卫彬,刘长友,吴锋峰,等.坚硬顶板大采高工作面压架事故及支架阻力分析[J].煤炭学报,2014,39(7):1212-1219.
GUO Weibin, LIU Changyou, WU Fengfeng, et al. Analyses of support crushing accidents and support working resistance in large mining height working face with hard roof. [J] Journal of China Coal Society, 2014, 39(7): 1212-1219.
- [15] 徐 刚.顶板富含水特厚煤层综放开采压架成因与防治[J].煤炭科学技术,2016,44(4): 1-5.
XU Gang. Causes and prevention of powered support jammed in fully-mechanized top coal caving mining face in ultra thick seam with watery roof[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(4): 1-5.
- [16] 穆玉兵,马资敏,吴士良.综放工作面直接顶冒采比及顶板韧
性与矿压显现的关系分析[J].矿业安全与环保,2015,42(3):101-103,107.
MU Yubing, MA Zimin, WU Shilang. Analysis on relation of immediate roof caving-mining ratio and roof toughness with ground behaviors in fully mechanized caving face [J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2015, 42(3): 101-103, 107.
- [17] 谭云亮.矿山压力与岩层控制[M].北京:煤炭工业出版社,2008.
- [18] 王国法.放顶煤液压支架与综采放顶煤技术[M].北京:煤炭工业出版社,2010.
- [19] 卢喜山,赵学雷,徐向东,等.准大采高综放设备配套技术研究[J].煤,2006,15(6):6-7.
LU Xishan, ZHAO Xuelei, XU Xiangdong, et al. Kit technique research about fully-mechanized coal winning equipment [J]. Coal, 2006, 15(6): 6-7.
- [20] 王金华.特厚煤层大采高综放工作面成套装备关键技术[J].煤炭科学技术,2013,41(9):1-5.
WAND Jinhua. Key technology of complete equipment for fully-mechanized top coal caving face with large mining height in extra-thick seam [J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(9): 1-5.