

郭卫彬, 刘长友, 吴锋锋, 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. doi: 10.13225/j.cnki.jccs.2013.1143

Guo Weibin, Liu Changyou, Wu Fengfeng, et al. Analyses of support crushing accidents and support working resistance in large mining height workface with hard roof[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(7): 1212–1219. doi: 10.13225/j.cnki.jccs.2013.1143

坚硬顶板大采高工作面压架事故及支架阻力分析

郭卫彬^{1 2 3}, 刘长友^{1 2 3}, 吴锋锋^{1 2 3}, 杨培举^{1 2 3}, 吴升富⁴

(1. 中国矿业大学 矿业工程学院, 江苏 徐州 221008; 2. 中国矿业大学 深部煤炭资源开采教育部重点实验室, 江苏 徐州 221008; 3. 中国矿业大学 煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 江苏 徐州 221008; 4. 大同煤矿集团, 山西 大同 037000)

摘 要: 针对大同晋华宫煤矿坚硬顶板大采高综采工作面生产过程中发生压架事故的情况, 深入分析压架事故的类型和原因, 并基于大采高综采工作面覆岩结构特征, 采用理论分析方法, 分析得到了坚硬直接顶关键层的悬顶长度的计算方法及其影响因素; 对大采高坚硬顶板综采工作面支架工作阻力的确定进行了载荷估算法的修正算法; 并根据修正结果及地质条件, 计算得到了402盘区工作面支架的合理工作阻力为12 184 kN, 支护强度为1.22 MPa, 同时确定了合理的支架架型; 通过工业性试验, 实测分析了所选支架的适应性, 结果表明了理论分析计算结果和所选架型的合理性, 保障了402盘区大采高综采工作面的安全高效开采。

关键词: 坚硬顶板; 压架事故; 工作阻力; 大采高综采; 载荷估算法

中图分类号: TD322

文献标志码: A

文章编号: 0253-9993(2014)07-1212-08

Analyses of support crushing accidents and support working resistance in large mining height workface with hard roof

GUO Wei-bin^{1 2 3}, LIU Chang-you^{1 2 3}, WU Feng-feng^{1 2 3}, YANG Pei-ju^{1 2 3}, WU Sheng-fu⁴

(1. School of Mines, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, China; 2. Key Laboratory of Deep Coal Resource Mining, Ministry of Education, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, China; 3. State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, China; 4. Datong Coal Mine Group, Datong 037000, China)

Abstract: According to the support crushing accident in the large mining height fully-mechanized face with hard roof condition in Jinhuagong Mine, the type and cause of the accident was given by thorough analyses. Based on the structure of overlying strata, the calculating method for hanging length of the key strata in immediate roof and its influencing factors were put forward with theoretical analyses. The load-estimate-method was modified to obtain the reasonable support working resistance in the large mining height fully-mechanized face with hard roof condition. In accordance with the method and the geological condition of 402 panel, the reasonable working resistance of support is 12 184 kN, the supporting strength is 1.22 MPa and the support type was determined. With these results, the large mining height fully-mechanized face in 402 panel achieved safety and high efficiency mining, which shows that the theoretical analyses and the selected support type are reasonable.

Key words: hard roof; support crushing accidents; working resistance; fully-mechanized workface with large mining height; load-estimate-method

收稿日期: 2013-08-06 责任编辑: 常琛

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51174192); 江苏省研究生创新工程资助项目(CXZZ11-0310); 江苏省“333工程”培养基金资助项目(BRA2010024)

作者简介: 郭卫彬(1988—), 男, 山东鄄城人, 博士研究生。E-mail: cumtgwb@163.com

有关统计资料显示^[1-6] 我国属于坚硬顶板的煤层占1/3左右,且分布在50%以上的矿区,如大同矿区、山西阳方口矿区、北京城子煤矿、四川天池煤矿、晋城矿区等,其中大同矿区是我国最为典型的坚硬顶板矿区,其2号、3号、11号、12号煤层均赋存有坚硬顶板。在坚硬顶板条件下,工作面矿压显现更为剧烈,基本顶的突然断裂和动载作用易对工作面支架产生较大的冲击载荷,易发生压架事故。

大同晋华宫煤矿12号煤层属于坚硬顶板厚煤层,煤层结构简单,是低硫、低灰、高热量的动力用煤。在402盘区8218及8212工作面回采期间,发生了多起恶性压架事故,严重影响了工作面的安全高效生产。因此,深入分析压架事故的特点和原因,合理确定坚硬顶板条件下大采高综采工作面支架的工作阻力和架型,对于保障坚硬顶板条件下大采高工作面的安全开采,提高生产效率和煤炭资源采出率具有较高的理论意义和实践价值。

1 压架事故分析

1.1 工作面地质及生产条件

晋华宫煤矿8218工作面为402盘区首采工作面,8212工作面为第2个工作面。两工作面煤层地质条件与生产技术条件均一致,现介绍8218工作面的地质生产条件。

8218工作面地质结构简单,煤层赋存稳定,煤层厚度2.1~7.9 m,平均5.0 m;煤层倾角为2°~10°,平均8°;8218工作面存在1层厚度为0.5 m的夹矸。

工作面局部存在0.5 m厚的粉细砂岩伪顶,其上有厚度为1.7 m的粉细砂岩以及厚度为17.45 m的粉砂岩。工作面直接底为中粗砂岩,厚度为2.8 m。工作面柱状图如图1所示。

地层时代	柱状	层厚/ m	累厚/ m	岩性描述
侏罗系中统J ₂	大同组J _{2d}	1.33~1.48 1.40	258.50	9号煤层
		13.00	271.50	灰白色细砂岩,含石英岩芯脆而硬,层理发育
		1.09	272.59	10号煤层
		5.10	277.69	灰白色细砂岩,岩芯脆而硬
		1.14	278.83	11号煤层
		17.45	296.28	灰黑色粉细砂岩,水平层理
		3.05	299.33	灰黑色中细砂岩,含石英、长石、煤屑,水平层理
		1.70	301.03	灰黑色粉细砂岩,含石英、长石,水平层理
		2.1~7.9 5.0	306.03	12号煤层
		2.80	308.83	灰白色中粗砂岩

图1 8218工作面柱状图

Fig. 1 Comprehensive column of 8218 working face

8218工作面采用大采高综合机械化长壁采煤方法,液压支架主要技术特征见表1。工作面推进长度为1 200 m,工作面长度为200 m,平均采高为5.0 m。

表1 支架详细参数

Table 1 Detail parameters of support

型号	支架架型	顶梁长度/m	中心距/m	初撑力/kN	工作阻力/kN	支护强度/MPa
ZZ9900/29.5/50	单伸缩支掩式	5.45	1.75	7 734	9 900	0.85~0.94

1.2 压架事故状况及造成的损失

8218及8212工作面在回采期间,顶板不能及时垮落,现场观测支架后方最小悬顶距约为6 m,最大悬顶距约为13 m,平均悬顶距约为9.5 m。当工作面来压时,工作面顶板对支架产生不同程度的冲击,发生了多次压架事故。其中,对工作面生产影响较大的压架事故共发生8次,影响工作面生产共计81 d。其特点为:顶板下沉量大,经常“压死”支架;端面顶板冒顶、煤壁片帮严重,最大片帮深度达3.2 m;支架前后立柱受力不均,支架“低头”现象严重;支架呈急增阻状态,最大压力达48 MPa,大部分安全阀开启,如图2所示。

压架事故共影响两工作面生产81 d,按工作面日产量5 000 t计算,吨煤利润取200元,则压架事故造成的利润损失为8 100万元。同时,压架事故对支架和采煤机等工作面关键设备均有不同程度的损坏,需要在开采过程中做出相应的维修。表2为两工作面支架部件的更换表及维修投入费用。对于采煤机的维修包括:1件滚筒、6件导向滑靴、58件齿轨、2件调高缸、3件齿轨轮、3件变频器、1 890节电缆夹板,采煤机头尾摇臂各1件、3台截割电机及一台牵引电机,采煤机维修累计投入584万元。

1.3 压架事故原因

根据工作面压架事故的显现情况,8218及8212

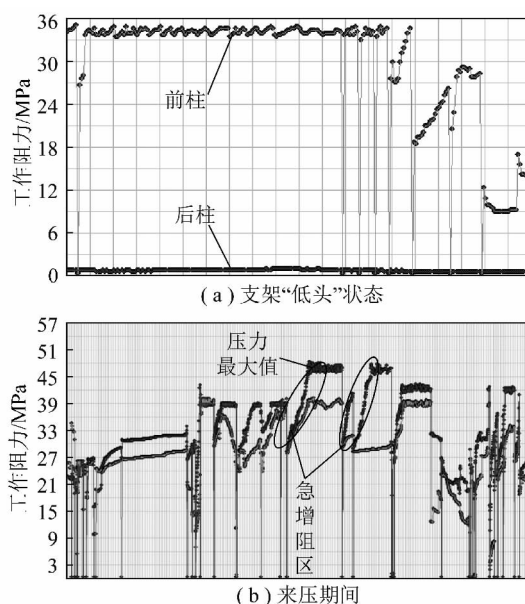


图2 支架工作阻力曲线

Fig. 2 Working resistance curves of support

工作面的压架事故属于压垮型冒顶事故。文献[6]将压垮型冒顶的机理分为3类:①采场支架工作阻力不足,支架被压坏导致冒顶;②采场支架初撑力不足,使得直接顶与基本顶发生离层,基本顶易产生冲击载荷而导致冒顶;③采场支架的可缩量不足,当断裂带基本顶断裂、下沉、旋转、触矸时,就可能压坏支架而诱发冒顶事故。在8218及8212工作面压架过程中,大部分安全阀开启表明支架工作阻力不足,支架呈急增阻状态表明支架初撑力较小,支架被“压死”表明支架可缩量过小,所以8218及8212工作面压架事故是上述3种情况的综合。

表2 支架部件维修

Table 2 Repair of support part

类别	8218 工作面	8212 工作面	合计	
立柱/根	新立柱	20	45	65
	修复立柱	49	62	111
推移千斤顶/件		50	272	322
推移板/件		15	10	25
安全阀/个		1 025	1 700	2 725
维修投入费用/万元		415	425	840

2 支架合理工作阻力的确定

合理的支架工作阻力,是保证工作面安全、经济、高效生产的理想工作阻力,也是支架控制顶板在下沉允许范围内的最低限度的工作阻力。根据上述分析,为避免压架事故的再次发生,对于402盘区其他工作面,需要对支架重新选型。以402盘区8218工作面

为工程背景,采用理论分析的方法,确定坚硬顶板条件下大采高工作面支架合理工作阻力。

2.1 支架载荷的确定

目前,国内外学者广泛探讨了大采高工作面覆岩结构^[7-16],普遍认为工作面采高加大后,垮落带岩层高度随之增加,文献[7-8,12]根据实测结果得出大采高直接顶的垮落高度为煤层采出厚度的2.0~2.5倍,文献[16]认为大采高直接顶厚度一般为采高的2.0~4.0倍。

为分析晋华宫大采高综采工作面顶板结构,采用RFPA数值分析软件模拟对比分析不同采高条件下岩层的破断失稳规律。实验以8218工作面岩层性质建立数值计算模型,如图3所示,根据矿井所提供资料获得各岩层的物理力学参数。

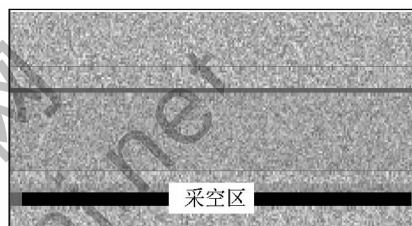


图3 数值模型

Fig. 3 Numerical analysis model

图4为不同采高条件下工作面上覆岩层的破断失稳特征。随着工作面的回采,在3 m采高条件下,17.45 m粉细砂岩将形成“砌体梁”结构,由于岩层的运动,其上覆岩层呈明显的弯曲下沉趋势(图4(a))。在5 m采高条件下,17.45 m粉细砂岩断裂失稳时没有形成稳定的砌体梁结构,而是以“悬臂梁”的结构破断垮落,而上覆5.1 m细砂岩则形成了较为稳定的砌体梁结构(图4(b)及(c))。

这表明随工作面采高的增大,在普通采高条件下(采高小于3.5 m)可形成“砌体梁”结构的基本顶,在大采高条件下,将进入垮落带而最终以“悬臂梁”结构破断运动的形式存在。

文献[16]根据岩层的组合结构,将大采高的直接顶分为I型、II型和III型3种类型,并将直接顶中的厚硬岩层定义为“直接顶关键层”,如图5所示。此类关键层无法铰接形成平衡结构,但由于其具有较大的强度和厚度,破断时仍以一定的步距破断,图4(c)所示。文献[15]将直接顶关键层的运动形式分为3类,即“悬臂梁”直接垮落式、“悬臂梁”双向回转垮落式、“悬臂梁-砌体梁”交替式,同时分析了关键层的运动形式及其对矿压的影响^[14]。

在直接顶关键层的3种运动形式中,“悬臂梁”双向回转垮落式和“悬臂梁-砌体梁”交替式,直接

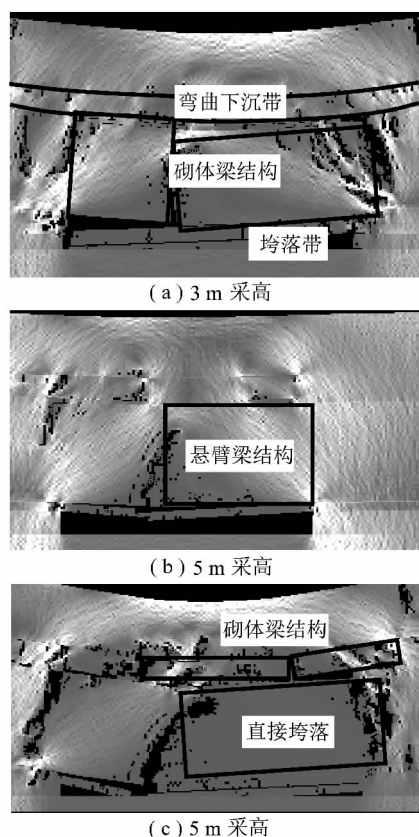


图4 工作面上覆岩层的破断失稳特征
Fig.4 Collapse state of overlying strata

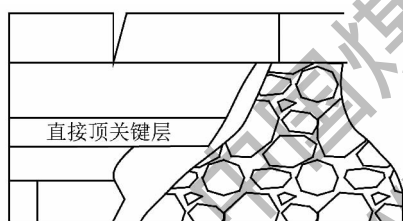


图5 大采高工作面Ⅲ型直接顶示意^[15]

Fig.5 Immediate roof type III with large mining height^[15]

顶关键层均可形成稳定的铰接结构,此时直接顶关键层及上覆直接顶的重力没有完全作用于支架上。当直接顶关键层不能形成稳定的铰接结构时,即直接顶关键层以“悬臂梁”直接垮落式运动,此时直接顶关键层及上覆直接顶的重力完全作用于支架上,支架工作阻力最大。

支架阻力应在断裂线刚进入煤壁上方时阻止其大幅度旋转造成的破坏,同时要防止直接顶关键层在断裂线处的滑落而造成工作面的台阶下沉^[16],所以最危险的情况为直接顶关键层不能形成铰接结构,而且直接顶关键层的断裂线位于煤壁的上方,此时支架不仅要承受关键层下方的直接顶的重力,还要承受关键层及关键层上方直接顶的重力,所以可通过载荷估算法计算支架的合理工作阻力。

支架的合理的工作阻力 P 应能承受控顶区内全部直接顶的岩重 Q_1 ,还要承受基本顶来压时形成的附加载荷 Q_2 ^[17]。

$$P = Q_1 + Q_2 = \sum h_i l_i \gamma_i + Q_2 \quad (1)$$

其中 h_i l_i γ_i 分别为第 i 层直接顶的厚度、悬顶距及体积力。在常规工作面条件下,直接顶的悬顶距近似等于支架控顶距。在大采高工作面条件下,尤其是直接顶为坚硬岩层时,由于直接顶关键层的存在,当悬顶距近似为支架控顶距时,将会产生较大的计算误差,所以应通过合理的分析,确定直接顶关键层的悬顶长度,进而对式(1)进行修正。

设直接顶关键层悬顶长度为 l_i ,则式(1)可变成

$$P = Q_1 + Q_2 = \sum h_i l_i \gamma_i + \sum h_j l_j \gamma_j + Q_2 \quad (2)$$

其中 h_i l_i γ_i 分别为直接顶关键层下方第 i 层直接顶的厚度、悬顶距及体积力; h_j l_j γ_j 分别为直接顶关键层上方(包括直接顶关键层)第 j 层直接顶的厚度、悬顶距及体积力。由已知条件可知,直接顶关键层下方直接顶的悬顶距可近似等于控顶距($l_i = l_k$),直接顶关键层上方直接顶的悬顶距可近似等于直接顶关键层的悬顶长度($l_j = l_i$)。

在一般工作面条件下,周期来压形成的载荷不超过平时载荷的2倍^[17],而在坚硬顶板大采高综采工作面中,由于顶板有较强的自稳能力,周期来压时矿山压力显现比较明显^[10],动压系数最大可达到3.5^[5]。

在晋华宫煤矿8218及8212工作面回采期间,采用尤洛卡综采数据分析系统现场实测了支架工作阻力,如图2所示。对监测结果进行分析,取20组相对应的来压期间和非来压期间工作阻力的平均值,并计算动压系数,见表3。

由表3可知,晋华宫煤矿坚硬顶板的大采高综采工作面动压系数最大值为2.88,可认为坚硬顶板大采高工作面动压系数一般为3。由于坚硬顶板工作面易发生大面积悬顶^[5],而且工作面内地地质构造有时不易探明,为使计算结果包含一定的富余量,所以从安全和经济层面考虑,取安全系数为1.5,故可认为坚硬顶板大采高综采工作面基本顶周期来压时形成的载荷不超过直接顶关键层来压时载荷的4.5倍,则坚硬顶板条件下大采高综采工作面支架合理支护阻力为

$$P = 4.5 \times (\sum h_i l_i \gamma_i + \sum h_j l_j \gamma_j) \quad (3)$$

2.2 直接顶关键层受力分析

对直接顶关键层悬顶部分进行受力分析,从而确定最大悬顶长度,直接顶关键层的悬顶状态如图6

(a) 所示,其力学模型如图 6(b) 所示。

表 3 8218 及 8212 工作面动压系数

Table 3 The main roof moving pressure coefficient of 8218 and 8212 working face

工作面编号	末阻力平均值/MPa		动压系数
	来压期间	非来压期间	
8218	40.5	20	2.03
	42	20	2.10
	41	22	1.86
	41	20	2.05
	39	19	2.05
	44	19	2.32
	42	21	2.00
	41	22	1.86
	39	20	1.95
	46	20	2.30
8212	44	19	2.32
	42	17	2.47
	46	17	2.71
	40	18	2.22
	43	18	2.39
	46	16	2.88
	45	19	2.37
	43	18	2.39
	44	18	2.44
	46	20	2.30

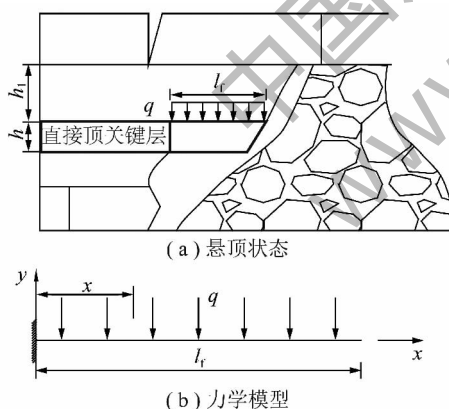


图 6 直接顶关键层悬顶部分受力分析

Fig. 6 Stress analysis of the hanging key strata in immediate roof

由图 6(a) 可知,直接顶关键层的悬顶部分的受力可简化成悬臂梁,如图 6(b) 所示。选取坐标系如图所示,任意横截面上的弯矩为

$$M = \frac{1}{2}q(l_1 - x)^2 \quad (4)$$

$$q = \gamma(h + h_1)b \quad (5)$$

其中 q 为关键层的重力及上覆直接顶对关键层的作

用力 N/m ; h, h_1 分别为直接顶关键层及上覆直接顶的厚度 m 。由此可知,当 $x = 0$ 时,该截面上的弯矩最大,即悬顶部分靠近支架端的弯矩最大,其值为

$$M_{\max} = \frac{1}{2}ql_1^2 \quad (6)$$

该截面上的最大正应力为

$$\sigma_{\max} = M_{\max}/W \quad (7)$$

其中, W 为抗弯界面系数,与截面的几何形状有关, m^3 ; 对于高为 h 、宽为 b 的矩形截面,则

$$W = \frac{bh^2}{6} \quad (8)$$

根据弯曲的强度条件^[18],对抗拉和抗压强度不等的材料(如岩石),则拉和压的最大应力都不超过各自的许用应力。

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} \leq [\sigma] \quad (9)$$

其中, $[\sigma]$ 为材料的最大许用应力, MPa。对于岩石,其抗压强度大于抗拉强度,只需保证最大应力不超过其抗拉强度 $[\sigma_t]$ 即可。

联立式(4)~(9)可得,直接顶关键层悬顶长度范围为

$$l_1 \leq \sqrt{\frac{[\sigma_t]h}{3\gamma(1+k)}} \quad (10)$$

$$k = \frac{h_1}{h} \quad (11)$$

其中 k 为关键层上方直接顶与关键层厚度的比值。对于岩体的抗拉强度,很难通过现场实测得到,可采用经验公式得通过岩块抗压强度得到岩层的抗拉强度。Hoek 和 Brown 根据岩体性质的理论与实践经验,用试验法导出了岩块的抗拉强度^[19]为

$$\sigma_t = \frac{1}{2}\sigma_c(m - \sqrt{m^2 + 4s}) \quad (12)$$

其中 m, s 为与岩性及结构面情况有关的常数,可查资料求得; σ_c 为岩块的单轴抗压强度, MPa。则式(10)可变成

$$l_1 \leq \sqrt{\frac{\sigma_c(m - \sqrt{m^2 + 4s})h}{6\gamma(1+k)}} \quad (13)$$

根据式(13)可得,直接顶关键层悬顶的极限长度与直接顶关键层厚度 h 、岩块的单轴抗压强度 σ_c (岩性)以及 k 值的关系曲线如图 7 所示。

由图 7 可知,直接顶关键层的悬顶长度随岩层厚度、岩块单轴抗压强度的增加而增加,随上覆直接顶厚度的增加而减小。

综上所述,坚硬顶板条件下大采高综采工作面支架合理工作阻力为

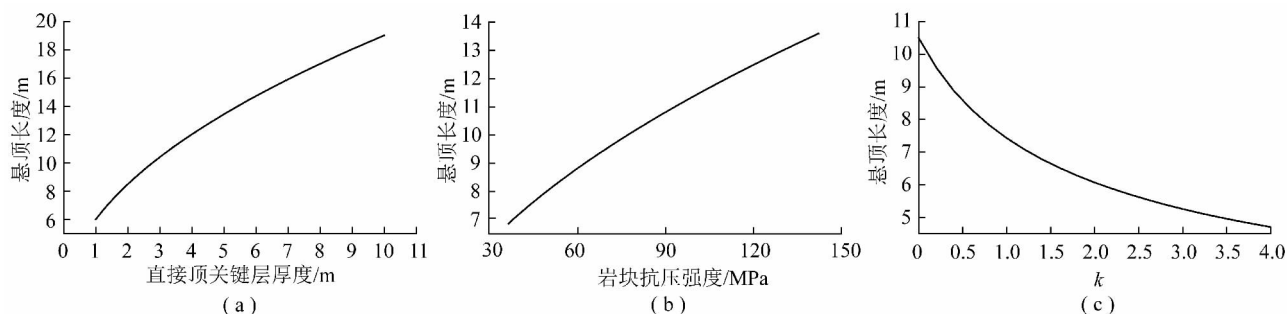


图7 地质条件对直接顶关键层悬顶长度的影响

Fig. 7 Influence of geological conditions on key strata hanging length in immediate roof

$$P = 4.5 \times \left(l_k \sum h_i \gamma_i + \right. \quad h \gg \Delta \quad (18)$$

$$\Delta = H - h_z (k_z - 1) \quad (19)$$

$$\left. \sqrt{\frac{\sigma_c (m - \sqrt{m^2 + 4s})}{6\gamma (1 + k)}} \sum h_j \gamma_j \right) \quad (14)$$

2.3 实例分析

根据上述分析,首先应判断8218工作面的顶板结构。8218工作面直接顶的最小理论厚度10 m,最大理论厚度为20 m^[16],所以煤层上方3.05 m的中细砂岩将进入垮落带。本文采用文献[13]提出的判别准则,确定煤层上方17.45 m的粉细砂岩是否进入断裂带。

$$h'_i > 1.5 \left\{ H - \left[\sum_{i=0}^{i-1} h'_i (k_i - 1) \right] - \left[\sum h (k_z - 1) \right] \right\} \quad (15)$$

式中 h'_i 为自下而上第 i 层基本顶的分层厚度, m; H 为煤层采高, m; k_i 为基本顶及其上附加岩层的碎胀系数, 取 1.15 ~ 1.33, 文中取 1.15; $\sum h$ 为直接顶的厚度, m; k_z 为直接顶岩层的碎胀系数, 一般为 1.33 ~ 1.50^[13]。8218 工作面直接顶为中细砂岩, 取 1.5^[18]。

代入相应数据可得

$$h_i > 1.5 \times [5.0 - (3.05 \times 0.15) - (1.7 \times 0.5)] = 5.54 \quad (16)$$

煤层上方 17.45 m 的粉砂岩为坚硬岩层, 而且整层厚度较大, 并根据式(16)可知, 该岩层将进入断裂带, 成为工作面的基本顶, 而煤层上方 3.05 m 的中细砂岩将作为直接顶关键层。

在直接顶关键层的 3 种运动形式中, “悬臂梁”双向回转垮落式和“悬臂梁-砌体梁”交替式, 直接顶关键层均需形成稳定的铰接结构^[15], 所以可根据钱鸣高院士提出的岩层形成稳定结构的条件^[17], 判断 8218 工作面上覆直接顶关键层的运动形式。

① 岩块的长度应大于层厚的 2 倍, 即

$$l > 2h \quad (17)$$

② 岩块的厚度应远大于岩块下沉量, 即

其中 l 为关键层的断裂步距, m; Δ 为关键层的下沉量, m; 其他参数与上文相同。根据 8218 工作面综合柱状图, 可计算得到直接顶关键层的下沉量约为 4.15 m, 不满足条件②, 所以直接顶关键层不能形成稳定的结构, 其运动方式为“悬臂梁”直接垮落式。

根据 8218 工作面的生产地质条件, 确定直接顶关键层厚度 $h = 3.05$ m, 中细砂岩岩块的单轴抗压强度 $\sigma_c = 65$ MPa, 支架控顶距 $l_k = 5.45$ m, $\gamma_i \approx \gamma_j \approx 27$ kN/m³^[17], $k = 0$, $m = 12.5$, $s = 0.1$ 。根据式(13), 确定直接顶关键层的悬顶长度约为 10.3 m, 此结果与现场观测数据相符合。根据式(14)可计算得到支架合理的工作阻力 $P = 12\ 184$ kN, 则支护强度 $p = 1.22$ MPa, 这说明 8218 工作面现用支架工作阻力不足。

3 支架合理选型

根据压架事故的特点, 支架的选型还应具备以下几个要求: ① 需要有较强的承载能力和切顶能力; ② 能够抵抗基本顶较强的冲击; ③ 能在工作面来压期间保持稳定。根据上述要求, 确定选择四柱支撑掩护式液压支架。支撑掩护式液压支架不仅具有支撑式液压支架的工作阻力大、切顶性能好、工作面空间大的优点, 而且具备掩护支架的挡矸性能好、支架结构稳定、能较好地抵抗基本顶产生的层面方向的推力的优点。

根据上文的分析与讨论, 确定选用 ZZ13000/28/60 型支撑掩护式液压支架, 该支架为四柱支撑掩护式支架, 支架的工作阻力 $P = 13\ 000$ kN, 初撑力 $P_0 = 10\ 128$ kN, $P_0/P = 77.9\%$, 支架支护强度大, 切顶能力强, 具备合理的工作阻力及初撑力。图 8 为 ZZ13000/28/60 型液压支架的结构形式, 表 4 为液压支架的主要技术参数。

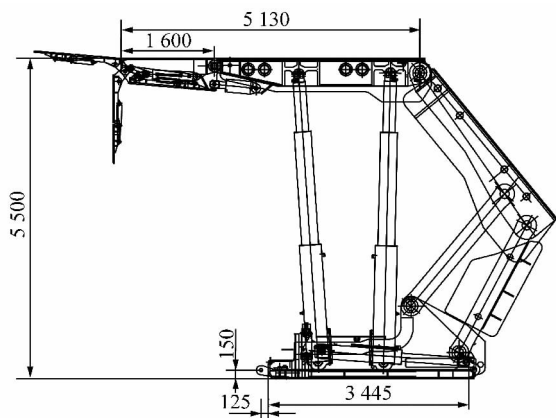


图 8 ZZ13000/28/60 型液压支架的结构

Fig. 8 Structure of ZZ13000/28/60 hydraulic support

表 4 支架主要技术参数

Table 4 Main technical parameters of support

项 目	参 数
支架架型	支撑掩护式液压支架
高度(最低/最高)/mm	2 800/6 000
宽度(最小/最大)/mm	1 660/1 860
中心距/mm	1 750
初撑力/kN	10 128
工作阻力/kN	13 000
底板前端比压/MPa	1.0~3.5
支护强度/MPa	1.24~1.28

4 工业性试验

为了验证所选架型的合理性,在 402 盘区 8210 工作面进行了工业性试验。在工作面共布置 7 条测线,采用尤洛卡综采压力自动记录仪连续记录支架的压力情况。

在回采过程中,初撑力实测平均值占额定初撑力的 61.7%,表明支架初撑力仍可进一步提高,以达到充分利用初撑力的目的。支架末阻力实测最大值为 12 611 kN,末阻力实测平均值及时间加权工作阻力平均值分别占额定工作阻力的 67.2% 和 65.7%,表明在工作面正常回采期间,支架能提供较充足的支护阻力。

ZZ13000/28/60 型液压支架采用双伸缩形式的立柱,在来压期间,只有中部少数安全阀开启,提高了支架的抗冲击能力。在整个回采期间,8210 工作面没有发生压架事故,表明所选架型合理,能够较好的满足 402 盘区大采高综采工作面顶板的支护要求。

5 结 论

(1) 根据工作面压架事故的显现情况,工作面压

架事故属于压垮型冒顶事故,其冒顶机理是由工作面支架初撑力、工作阻力以及可缩量的不足共同引起的。

(2) 基于大采高工作面的覆岩结构特征,采用理论分析的方法,分析得到了坚硬直接顶关键层的悬顶长度的计算方法,计算结果与现场观测数据相符合;同时分析了岩性、层厚以及上覆直接顶厚度对直接顶关键层悬顶长度的影响规律,分析结果表明,直接顶关键的悬顶长度随岩层厚度、岩块单轴抗压强度的增加而增加,随上覆直接顶厚度的增加而减小。

(3) 根据上述分析及坚硬顶板条件下工作面来压特点,对大采高坚硬顶板综采工作面支架工作阻力的确定进行了载荷估算法的修正。根据 402 盘区的地质条件,确定了工作面支架的合理工作阻力为 12 184 kN,支护强度为 1.22 MPa,同时确定选用 ZZ13000/28/60 型支撑掩护式液压支架。

(4) 通过工业性试验得到,支架工作阻力最大值为 12 611 kN,末阻力平均值及时间加权工作阻力平均值分别占额定工作阻力的 67.2% 和 65.7%,没有发生压架事故,8210 工作面实现了安全高效开采,表明了理论分析计算结果和所选架型的合理性。

参考文献:

- [1] 靳钟铭,徐林生. 煤矿坚硬顶板控制[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1994.
Jin Zhongming, Xu Linsheng. Control of hard roof in mining[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1994.
- [2] 王高利. 厚硬顶板破断规律及控制研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2008.
- [3] 朱德仁,钱鸣高,徐林生. 坚硬顶板来压控制的探讨[J]. 煤炭学报, 1991, 16(2): 11-18.
Zhu Deren, Qian Minggao, Xu Linsheng. Discussion on control hard roof[J]. Journal of China Coal Society, 1991, 16(2): 11-18.
- [4] 宋永津. 大同煤矿采场坚硬顶板控制方法与工程效果[J]. 煤炭科学技术, 1991, 19(12): 18-22.
Song Yongjin. Controlling methods and engineering effects of strong roof in Datong mining area[J]. Coal Science and Technology, 1991, 19(12): 18-22.
- [5] 王开,康天合,李海涛,等. 坚硬顶板控制放顶方式及合理悬顶长度的研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(11): 2320-2327.
Wang Kai, Kang Tianhe, Li Haitao, et al. Study of control caving methods and reasonable hanging roof length on hard roof[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(11): 2320-2327.
- [6] 龚林名,邵喜正,曹胜根,等. 煤矿围岩控制与监测[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2007.
- [7] 郝海金,张勇,袁宗本. 大采高采场整体力学模型及采场矿压显现的影响[J]. 矿山压力与顶板管理, 2003, 20(S1): 21-27.

- [8] 郝海金, 吴健, 张勇, 等. 大采高开采上位岩层平衡结构及其对采场矿压显现的影响[J]. 煤炭学报, 2004, 29(2): 137-141.
Hao Haijin, Wu Jian, Zhang Yong, et al. The balance structure of main roof and its action to immediate roof in large cutting height workplace[J]. Journal of China Coal Society, 2004, 29(2): 137-141.
- [9] 弓培林, 靳钟铭. 大采高采场覆岩结构特征及运动规律研究[J]. 煤炭学报, 2004, 29(1): 7-11.
Gong Peilin, Jin Zhongming. Study on the structure characteristics and movement laws of overlying strata with large mining height[J]. Journal of China Coal Society, 2004, 29(1): 7-11.
- [10] 文志杰, 赵晓东, 尹立明, 等. 大采高顶板控制模型及支架合理承载研究[J]. 采矿与安全工程学报, 2010, 27(2): 255-258.
Wen Zhijie, Zhao Xiaodong, Yin Liming, et al. Study on mechanical model and reasonable working-condition parameters in mining stope with large mining height[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2010, 27(2): 255-258.
- [11] 伍永平, 郭振兴, 马彩莲, 等. 坚硬顶板大采高采场支架阻力的确定[J]. 西安科技大学学报, 2010, 30(2): 127-131.
Wu Yongping, Guo Zhenxing, Ma Cailian, et al. Study on support's resistance of high mining height face based on simulation experiment[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2010, 30(2): 127-131.
- [12] 陆明心, 郝海金, 吴健. 综放开采上位岩层的平衡结构及其对采场矿压显现的影响[J]. 煤炭学报, 2002, 27(6): 591-595.
Lu Mingxin, Hao Haijin, Wu Jian. The balance structure of main roof and its action to top coal in longwall top coal caving workplace[J]. Journal of China Coal Society, 2002, 27(6): 591-595.
- [13] 侯志杰. 断裂带基本顶的判别准则及在浅埋煤层中的应用[J]. 煤炭学报, 2003, 28(1): 8-12.
Hou Zhongjie. The criterion on determining main roof in breaking zone and its application to the shallow seam[J]. Journal of China Coal Society, 2003, 28(1): 8-12.
- [14] 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.
- [15] 鞠金峰, 许家林, 王庆雄. 大采高采场关键层“悬臂梁”结构运动型式及对矿压的影响[J]. 煤炭学报, 2011, 36(12): 2115-2120.
Ju Jinfeng, Xu Jialin, Wang Qingxiong. Cantilever structure moving type of key strata and its influence on ground pressure in large mining height workplace[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(12): 2115-2120.
- [16] 弓培林, 靳钟铭. 大采高综采顶板控制力学模型研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(1): 193-198.
Gong Peilin, Jin Zhongming. Mechanical model study on roof control for fully-mechanized coal face with large mining height[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2008, 27(1): 193-198.
- [17] 钱鸣高, 石平五. 矿山压力与岩层控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.
- [18] 刘鸿文. 材料力学 I [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [19] 蔡美峰. 岩石力学与工程[M]. 北京: 科学出版社, 2002.