

文章编号:1671-251X(2024)S2-0064-04

7 m 大采高综采工作面矿压显现及支架适应性分析

祁昊

(国能神东煤炭集团有限责任公司 教育培训中心, 内蒙古 鄂尔多斯 719315)

摘要:为研究大采高综采工作面矿压规律,以补连塔煤矿 22310 综采工作面为工程背景,设计了矿山压力观测方案并实施现场观测。结合矿压与岩层理论,结合现场实际数据,研究探讨了煤层开采时的矿压显现规律。为验证液压支架的合理性,通过公式计算、数据实测相结合的方式,对上下位邻近关键层之间破断有相互影响时支架阻力、关键层“悬臂梁”结构状态时支架阻力、关键层“砌体梁”结构状态时支架阻力进行了分析,求得 22310 工作面支架所需合理工作阻力。

关键词:综采工作面; 矿压显现; 液压支架; 适应性分析

中图分类号:TD325 文献标志码:A

Analysis of ground pressure manifestation and support adaptability in
a 7 m large mining height fully mechanized mining face

QI Hao

(Education and Training Center, CHN Energy Shendong Coal Group Co., Ltd., Ordos 017209, China)

0 引言

补连塔煤矿 22310 工作面位于三盘区,目前已回采完毕。22310 综采工作面采用倾斜长壁采煤法,后退式开采,一次采全高,全部垮落法处理采空区^[1]。工作面沿走向布置,沿倾向推进,走向长 315.4 m,倾向长 5 342.2 m。上覆基岩厚度为 30~226 m,总体趋势为从切眼向回撤通道方向逐渐变薄;松散层厚度为 0~32 m,总体趋势为从切眼向回撤通道方向逐渐变薄再变厚。煤层倾角为 1~3°,煤层平均厚度 6.92 m,密度 $1.29 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,设计采高 6.7 m^[2]。

22310 工作面直接顶为泥岩,厚度 0.86~21.97 m,暗灰色及灰黑色,以泥质为主,含少量粉砂质和植物化石碎片,平坦端口,致密块状,上部具有滑动面,裂隙发育 3~5 条/m^[3]。基本顶以粉砂岩、泥岩为主,厚度 104.91~155.48 m,深灰色及灰色,致密,厚层状,平坦断口,局部地段为粗砂岩和泥岩。直接底以粉砂岩、泥岩为主,厚度 1.98 m,灰黑色,致密,富含科达木等植物化石^[4]。

根据该工作面顶板特征,顶板采用液压支架支护,2 个工作面巷道掘进时采用锚杆、钢带、锚索联合支护,回采时采用超前支架和液压单体进行超前

支护,采空区采用全部跨落法管理顶板。

1 矿压规律分析

分析正常回采周期来压期间的压力。7 个月内,22310 综采工作面共推进约 2 700 m,合计 3 339 刀。通过表格软件把数据做成曲面图的形式,测算时观测的数据为 31 次大周期来压并 199 次小周期来压。小压回采的频率为 1 次/d,回采的平均步距为 13 m,持续给刀平均 5 刀,支架活柱平均下沉 250 mm,工作阻力平均为 440 bar,小周期来压表现为工作面上部分安全阀打开,所占比例约为 30%。顶板的局部位置有漏矸现象,机尾、机头部位所受到的压力不大。小周期来压时,工作面大部分的全阀是打开的,数量占全部数量的不到 60%,顶板位置有漏矸现象,且表现明显,炸帮严重,来压时覆盖范围广,持续强度大,支架所处的工作阻力平均值为 490 bar,下沉的支架活柱活动范围平均为 650 mm,持续来压步距约 51 m,此时机尾、机头受较大压力。中部支架和工作面两侧受到不同的来压步距,整体表现为“两头大,中间小”的特征,而工作阻力正好与之相反。

22310 综采工作面的特点在于基岩厚度达、埋藏深度浅且大小周期来压均存在,同时其顶板轻微

收稿日期:2024-12-04;责任编辑:李明。

作者简介:祁昊(1984—),男,内蒙古呼和浩特人,硕士,现主要从事煤矿开采技术应用与教育培训工作,E-mail:439954348@qq.com。

下沉,交替出现大小周期来压。就 7 m 采高工作面这一研究对象而言,上覆基岩厚度和来压步距大小呈反向相关关系,随着基岩厚度减小,来压步距增大。上覆基岩厚度几乎不影响来压持续推进距离,反而与正常段的推进行程呈正向相关关系。22310 工作面正常回采期间支架来压特征见表 1。观测数据显示,工作面的推进速度和采高情况及上覆基岩厚度影响矿压显现规律和周期来压步距,之间有着一定关系。周期来压的特性表现为不同步性和不均衡性。工作面中部周期来压表现反映最为强烈,两端头则表现不明显。不同步性则体现在不同区域在不同时间段来压,有先后顺序,最终趋于平稳时,来压的距离表现为大体相等。正常回采时,中部支架的来压步距与工作面两端不同步。

表 1 22310 工作面正常回采期间支架来压特征

支架号	周期来压步距/m	支架循环末阻力/kN		动载系数	来压持续长度/m
		来压期间	非来压期间		
30	13.7	17 371	14 374	1.33	2.9
50	12.6	17 387	13 997	1.36	4.1
70	12.1	17 309	13 957	1.37	4.5
90	12.3	17 301	13 837	1.37	3.2
110	14.3	17 467	14 176	1.36	4.6
130	13.5	17 433	13 827	1.36	3.5
150	14.5	17 523	13 893	1.36	2.9

2 支架适应性评价

煤矿综采指的是煤矿综合机械化,这种采煤工艺的优势较多,如效能高、巷道掘进效率高等,在煤矿采掘过程中得到广泛应用。近年来,煤矿综合机械化运用过程中,发现了诸多潜在的问题,如煤矿工作面内部矿压与采高呈正比例关系,即采高越发展,矿压就越剧烈,一旦阻力突增,会给支架造成严重的损坏,导致支架的稳定性能下降。若不及时采取措施,会给煤矿综采工作面的安全性带来不良影响。因此,必须及时掌握和了解回采工作面的矿压规律,通过矿压观测技术来推动顶板管理,充分利用合理的矿压观测技术获取精准的观测数据,从而为工作面顶板来压布局决策提供可靠的数据支撑,推动综采工作面各阶段有序回采。同时,对每个回采阶段实时进行矿压观测,准确掌握顶板来压规律是控制顶板事故的主要途径。

工作面具备优良的围岩关系表明其外部环境适应性良好,这样才能有效控制顶板,便于后期工作人员维护,即支架在工作阻力、支撑力上具有合理性。补连塔煤矿 22310 综采工作面为三盘区开采的第

10 个综采工作面,其中 22303 工作面是国内第 1 个 7.0 m 大采高综采工作面,对综采工作面支架合理工作阻力和支架适应性进行分析。

综采支架载荷大小不仅与煤层采高有关,还与覆岩岩性、结构组合及其活动规律有关。尽管煤层采高相等,但如果覆岩岩性与结构组合不同,综采支架载荷大小也将不同,对于特大采高工作面亦是如此。因此,针对特大采高工作面不同覆岩岩性与结构组合条件,进行支架合理工作阻力的确定。

特大采高情况下覆岩关键层所形成的结构受其所处位置的不同存在差异。当煤层远离关键层时,关键层可近似等同于“砌体梁”结构。此时,求解工作面支架载荷数值时,可以类比一般采高时的求解,通过结构平衡关系进行分析。

按照理论分析,控顶区所承受的重力可以直接由支架阻力进行平衡,也要求解上覆岩层中砌体梁结构所受的作用力,主要用此力去平衡部分载荷,因为裂隙带结构岩层所受的摩擦力不足以全部将载荷平衡,这样破断块体便不会产生一定的台阶下沉现象和沿煤壁切落情况。所以支架阻力求解为

$$P_1 = Bl_k \sum h_1 \gamma_z + \left[2 - \frac{L \tan(\varphi - \alpha)}{2(h_1 - S_1)} \right] QB \quad (1)$$

式中: P_1 为支架工作阻力,kN; B 为液压支架中心距,m; l_k 为控顶距,m; h_1 为直接顶厚度,m; γ_z 为直接顶容重,kN/m³; L 为关键层周期来压步距,m; φ 为岩块间的摩擦角,(°); α 为岩块破断角,(°); S_1 为关键层破断岩块的下沉量,m; Q 为工作面顶板上裂隙带下位岩层中暴露岩块的全部重力,kN。

当煤层贴近关键层且位于覆岩垮落带时,可以按照“悬臂梁”结构进行计算求解,如图 1 所示。受限于悬顶距的作用,可以通过 2 块内容分析计算垮落带岩层重力:关键层上部位置重力计算按照悬顶长度求解,下部位置则根据控顶距长度求解顶载荷。依据“砌体梁”理论计算求解裂隙带岩层载荷。处于关键层“悬臂梁”状态时,支架阻力 P_2 为

$$P_2 = Q_z + Q_0 + Q_{r1} + P_{H1} \quad (2)$$

$$Q_z = Bl_k \sum h_1 \gamma_z \quad (3)$$

$$Q_0 + Q_{r1} = BL_1(h_{垮} - \sum h_1) \quad (4)$$

$$P_{H1} = \left[2 - \frac{L_1 \tan(\varphi - \alpha)}{2(h - S)} \right] QB \quad (5)$$

式中: h 为裂隙带下位岩层的厚度,m; $h_{垮}$ 为垮落带顶界面岩层距煤层的距离,m; S 为裂隙带下位岩层的下沉量,m。

当特大采高覆岩中存在 2 层邻近的关键层,且二者位置及距煤层位置满足一定条件时,上位关键层的破断运动将对下位关键层的破断及采场矿压产

生影响,因此,对这种情况下支架阻力的估算方法进行研 究。分析时考虑下位关键层呈现“悬臂梁”结构状态这种危险时的情况进行计算,如图 2 所示。

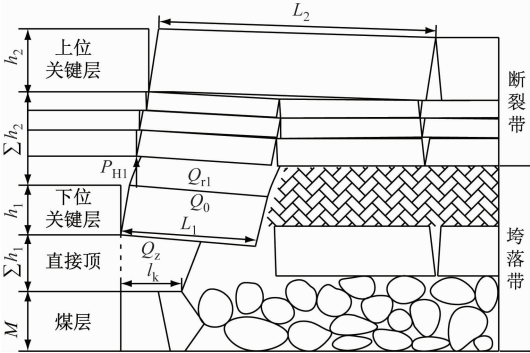


图 1 关键层“悬臂梁”支架阻力模型

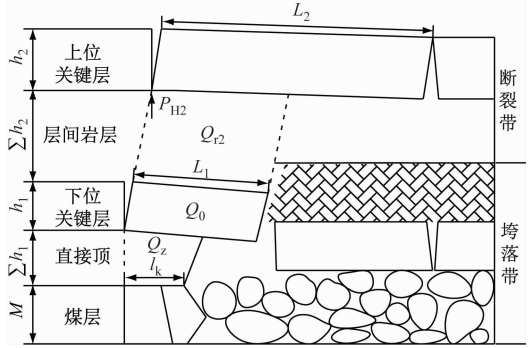


图 2 上下位邻近关键层破断相互影响状态支架阻力模型

支架载荷包括关键层悬顶岩块自重、直接顶的自重、用于平衡关键层连接结构的平衡力及关键层上下部位连接处的岩层重力。支架阻力 P_3 估算公式为

$$P_3 = Q_z + Q_0 + Q_{r2} + P_{H2} \tag{6}$$

$$Q_z = B l_k \sum h_1 \gamma_z \tag{7}$$

$$Q_0 + Q_{r2} = B L_1 (h_1 + \sum h_2) \tag{8}$$

$$P_{H2} = \left[2 - \frac{L_2 \tan(\varphi - \alpha)}{2(h_2 - S_2)} \right] Q_1 B \tag{9}$$

式中: S_2 为上位关键层破断岩块的下沉量,m; Q_1 为上位关键层破断岩块重力及其载荷,kN。

对照 22310 工作面整个推进过程中的覆岩变化情况及其关键层所形成的结构形态,工作面在不同区域覆岩关键层形成了上述 3 种状态。针对这 3 个特定区域,结合上述关键层 3 种结构状态时支架阻力计算方法,利用各区域的钻孔柱状(图 3)分别进行计算。

22310 工作面支架阻力估算结果见表 2。可看出不管采用哪种估算方法,b115 钻孔区域所需的支架阻力均为最大,因此,应以该区域的支架阻力估算结果作为 22310 工作面 7.0 m 支架的合理工作阻力。综合估算结果,22310 工作面支架所需合理工作阻力应为 16 939~18 627 kN。

层号	厚度/m	埋深/m	岩性	关键层位置	备注
28	22.33	22.33	风积砂		
27	15.60	37.93	砂质泥岩		
26	4.26	42.19	粉砂岩		
25	28.06	70.25	砂质泥岩	主关键层	
24	4.87	75.12	细粒砂岩		
23	5.41	80.53	砂质泥岩		
22	6.37	86.90	细粒砂岩		
21	9.97	96.87	砂质泥岩		
20	1.60	98.47	粉砂岩		
19	11.77	110.24	砂质泥岩		
18	4.32	114.56	粉砂岩		
17	30.59	145.15	砂质泥岩	亚关键层	
16	8.32	153.47	细粒砂岩		
15	15.28	168.75	细粒砂岩	亚关键层	
14	2.95	171.70	砂质泥岩		
13	0.66	172.36	无号1		
12	3.43	175.79	砂质泥岩		
11	6.84	182.63	1-2煤		
10	5.92	188.55	细粒砂岩		
9	11.46	200.01	粗粒砂岩	亚关键层	
8	6.15	206.16	砂质泥岩		
7	2.76	208.92	粉砂岩		
6	2.43	211.35	砂质泥岩		
5	1.00	212.35	无号2		
4	0.87	213.22	砂质泥岩		
3	2.06	215.28	粉砂岩		
2	2.00	217.28	砂质泥岩		
1	7.31	224.59	2-2煤		

(a) b280 钻孔柱状图

层号	厚度/m	埋深/m	岩性	关键层位置	备注
16	2.68	2.68	风积砂		
15	14.78	17.46	砂质泥岩		
14	15.81	33.27	粉砂岩		
13	3.07	36.34	细粒砂岩		
12	31.97	68.36	粉砂岩	主类关键层	
11	12.49	80.80	中粒砂岩		
10	8.70	89.50	砂质泥岩		
9	12.01	101.51	粉砂岩		
8	2.63	104.14	砂质泥岩		
7	10.10	114.24	粗粒砂岩	亚关键层	
6	5.50	119.74	1-2煤		
5	4.45	124.19	粉砂岩		
4	8.82	133.01	细粒砂岩		
3	10.75	143.76	粉砂岩	亚关键层	
2	4.02	147.78	砂质泥岩		
1	7.91	155.69	2-2煤		

(b) SK16 钻孔柱状图

层号	厚度/m	埋深/m	岩性	关键层位置	备注
32	8.43	8.43	风积砂		
31	19.43	27.86	粉砂岩	主关键层	
30	6.51	34.37	粗粒砂岩		
29	11.68	46.05	粉砂岩		
28	1.10	47.15	泥岩		
27	1.00	48.15	细粒砂岩		
26	7.80	55.95	粉砂岩		
25	6.92	62.87	细粒砂岩		
24	20.39	83.26	粉砂岩		
23	25.48	108.74	粗粒砂岩	亚关键层	
22	3.00	111.74	细粒砂岩		
21	4.49	116.23	粉砂岩		
20	0.60	116.83	黏土岩		
19	2.40	119.23	粉砂岩		
18	2.03	121.26	中粒砂岩		
17	0.35	121.61	无号		
16	0.70	122.31	粉砂岩		
15	0.60	122.91	细粒砂岩		
14	2.29	125.20	砂质泥岩		
13	0.77	125.97	1-2上煤		
12	1.95	127.92	细粒砂岩		
11	5.69	133.61	1-2煤		
10	0.84	134.45	细粒砂岩		
9	3.59	138.04	粉砂岩		
8	11.83	149.87	粗粒砂岩	亚关键层	
7	6.20	156.07	粉砂岩	亚关键层	
6	2.20	158.27	中粒砂岩		
5	3.19	161.46	粉砂岩		
4	0.70	162.16	粗粒砂岩		
3	1.75	163.91	粉砂岩		
2	0.98	164.77	泥岩		
1	8.81	173.58	2-2煤		

(c) b115 钻孔柱状图

图 3 22310 工作面钻孔柱状图

表 2 22310 工作面支架阻力估算汇总表

支架阻力估算方法		支架阻力估算值/kN		
		b280 对应区域 “砌体梁结构”	SK16 对应区域 “悬臂梁”结构	b115 对应区域 上位关键层影响
按关键层结构形态估算		16 453	17 433	18 627
按实测载荷统计法估算	按来压期间统计	15 969	16 907	16 939
	按整个期间统计	16 926	18 214	18 276

3 矿压观测结果

工作面顶板以整体下沉为主,局部会出现冒落和片帮现象。支架阻力变化在整个采煤过程中呈先增后减趋势。支架在不同区域的阻力分布表现出不同的规律:工作面中部区域的支架阻力较大,且随着采高增大而增大;工作面前端区域支架阻力较小,且随着采高增大而减小;工作面中上部区域支架阻力变化趋势与中部区域基本相同,中部区域支架阻力大于下部区域支架阻力;在同一水平位置,支架最大阻力出现在上部区域;在同一工作面中下部区域,支架最大阻力出现在上部区域。在相同工况下,工作面不同位置的支架压力存在明显差别:中部区域与下部区域的压力比大于上部区域与下部区域的压力比;顶板位置越高,压力比越小;顶板下沉速度、来压强度和周期来压步距与煤壁位置有很大关系。超前支承压力分布规律:工作面前方煤体破坏程度增大,超前支承压力由煤壁前方逐渐向采空区侧转移。超前支承压力影响时间:在采煤机割煤期间,超前支承压力对工作面前方煤体的破坏程度较小;从采煤机割煤结束到移架期间,随着支架初撑力降低和初撑力下降幅度增大,超前支承压力峰值逐渐向煤壁方向移动。超前支承压力影响范围内煤层顶板发生垮落:超前支承压力对煤体破坏程度较小。从采煤机割煤结束到移架期间,超前支承压力对煤体的破坏

程度较大。随着移架过程中超前支承压力增加,煤体破坏程度逐渐加大。支架初撑力影响:随着支架初撑力的降低和初撑力下降幅度的增大,工作面前方煤体破坏程度增大。由于煤壁前方的破坏程度较大,所以从移架开始至移架结束期间工作面前方煤体的破坏程度逐渐增大。

4 结语

矿压观测包括工作面顶板动态和支护质量监测、进回风巷围岩变形观测和顶板离层监测三部分内容。在工作面开采过程中,通过对支架工作阻力、液压系统压力、支架前后梁及立柱工作阻力、采高变化等进行观测,及时掌握工作面的矿压显现规律,从而确定合理的支护参数,保障工作面安全高效开采。

参考文献:

[1] 王王伟. 庄子河煤矿首采工作面矿压显现特征与支架适应性分析[D]. 淮南:安徽理工大学,2024.

[2] 李杨,韩风军,马富武,等. 复杂坚硬岩层特厚煤层综放开采工作面液压支架适应性研究[J]. 煤炭技术,2023, 42(1):11-16.

[3] 胡相捧. 深井软岩大采高俯采面四柱支架的稳定性及适应性研究[D]. 北京:中国矿业大学(北京),2022.

[4] 张春雷,郭良,张明鹏. 中等埋深大采高综采工作面支架工作阻力实测及适应性分析[J]. 煤矿机械,2020, 41(6):68-71.