

强矿压冲击工作面巷道冲击倾向性 测试与超前支护系统研究

王国法¹, 李 前^{1,2}, 赵志礼¹, 庞义辉¹

(1. 天地科技股份有限公司 开采设计事业部, 北京 100013; 2. 中国华能集团有限公司, 北京 100031)

摘 要: 为了改善强矿压冲击工作面及巷道支护状况, 以华亭煤矿特厚煤层综放开采实践为基础, 采用理论分析、实验与现场实测相结合的方法对冲击矿压的灾害特征及冲击倾向性进行分析, 研制了新型工作面及巷道支护系统。研究表明: 冲击矿压灾害具有突发性、剧烈性及巨大的破坏性, 华亭煤矿 5 号煤层具有强冲击倾向性, 顶板为弱冲击倾向性, 具有较强的冲击危险, 采用新型工作面端头支架、巷道超前支架及“O”形防冲击支架能够很好地解决矿井支护问题。

关键词: 冲击矿压; 冲击倾向性; 端头支架; 巷道超前支架; “O”形支架

中图分类号: TD324

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2011)04-0001-09

The Impact Tendentiousness Testing of Working Faces and Roadways with Strong Rock burst and Fore Support System

WANG Guofa¹, LI Qian^{1,2}, ZHAO Zhili¹, PANG Yihui¹

(1. Department of Coal Mining and Design, Tiandi Science & Technology Co. Ltd., Beijing 100013, China;
2. China Huaneng Group Co. Ltd, Beijing 100031, China)

Abstract: In order to improve the supporting conditions in roadways and working faces with strong rock burst, the theoretical analysis method, laboratory tests and field measurement were adopted to analyze the impact tendentiousness and the disaster features of rock burst, taking the fully-mechanized sublevel caving mining in the very thick seam of Huating mine as an example. The new types of support systems for working faces and roadways were developed. The results of the study showed that the rock burst disasters were of such characteristics as sudden occurrence, intensity and great destruction. The 5th coal seam has strong probability of rockburst and its roof has weak probability of rock bursts in Huating mine, then, the mine has strong rock burst risk. The new end hydraulic supports, the fore supports of roadways and O-shaped hydraulic supports adopted could solve the problem of rock burst risks in mine.

Key words: rock burst; impact tendentiousness; end support; fore support of roadway; O-shaped support

煤炭在我国能源生产与消费结构中占有主导地位,对国民经济的发展起着支撑的作用。煤炭资源的大规模开采,一方面满足了我国经济建设的需要,另一方面造成浅部赋存条件好的煤炭资源匮乏,不得不向深部开采,由此将面临强冲击地压等岩层控制难题。一些矿井在建井初期为了工作面生产接续的需要采用“跳采”,现在不得不面临“孤岛”工作面开采的情况。工作面矿压大,巷道维护困难(巷道超前支护 >100 m),工作面及巷道围岩控制面临技术及装备难题。

收稿日期: 2011-05-31

基金项目: 国家“十一五”科技支撑项目(2007BAB13B01)。

作者简介: 王国法(1960—),男,山东文登人,中国煤科集团首席科学家,研究员,博士生导师,主要从事煤矿综合机械化开采技术与装备的研究。E-mail: wangguofa@tdkcsj.com.

1 强矿压冲击工作面及巷道超前顶板灾害特征

随着开采强度和深度的加大,现有冲击地压矿井的冲击频率和强度在不断增加,冲击地压矿井数量也在不断增加,冲击地压矿井分布范围正日趋扩大,而且灾害日趋严重,仅2001—2006年,大同、抚顺、北京、华亭、阜新等地的矿区因冲击地压而导致的重大伤亡事故就多达10余起,死伤数百人^[1]。

煤矿冲击地压是指在高地应力作用的条件下,井巷或回采工作面周围的煤岩体由于弹性能的突然释放而产生破坏的矿井动力现象,常伴有巨大的声响、煤岩体抛出和气浪等现象,造成采掘空间支护设备的破坏及采掘空间的变形,严重时造成人员伤亡和井巷毁坏,甚至引起地表塌陷而造成局部地震^[2]。

目前,我国矿井冲击矿压主要发生在煤巷中,其灾害特征主要表现在以下几个方面。

- 1) 突发性。冲击地压的发生往往没有明显征兆,只需几秒或几十秒就能造成工作面、巷道大面积的破坏。
- 2) 来压的剧烈性。往往是几十米的巷道瞬间被毁坏,大量的煤岩体顷刻间被抛出。记录到的最大矿山震级已超过5级。
- 3) 巨大的破坏性。如图1所示,冲击矿压发生时伴随着大量冲击能量的释放,造成工作面设备损毁、巷道破坏、人员伤亡等。



(a) 冲击矿压发生前巷道状况



(b) 冲击矿压发生后巷道状况

图1 巷道发生冲击矿压前后对比图

Fig. 1 The contrast pictures of the roadway before and after rock burst

矿井发生冲击矿压的原因是多方面的,主要原因有两个:

1) 矿井地质条件

矿井地质条件主要包括矿井地应力条件、构造情况、煤层顶底板岩层的厚度、冲击倾向性等物理力学参数、煤层的厚度、抗压强度等。以往的开采实践表明,冲击矿压一般容易出现在煤系地层中岩层强度较高的构造应力集中区域,特别是煤层顶板以厚层硬砂岩为主。

2) 生产技术条件

矿井冲击矿压一般容易发生在工作面及巷道应力集中的区域。开采过程中引起工作面局部应力集中,为矿井冲击矿压的发生提供应力源条件;工作面、巷道的开挖、掘进导致应力的瞬间释放,诱发冲击地压。

目前,国内外对冲击地压发生机理研究比较多,取得了阶段性成果,主要有强度理论、刚度理论、能量理论、冲击倾向性理论、三准则理论、失稳理论、突变理论、分形理论和“三因素”理论等,但由于对煤岩体在受力作用下的细观断裂和破坏机理的认识还不深入,特别是煤岩体内部微观裂纹的扩展与冲击过程之间的关系尚不清楚,所以还没有确切地掌握冲击地压发生的机理。

本研究以冲击倾向性理论为基础,对华亭煤矿工作面及巷道冲击矿压特征进行分析,研究适用于强矿压冲击工作面及巷道的支护系统与装备。

2 煤层及顶板冲击倾向性测试与评价

华亭煤矿 5 号煤层平均厚度 37.5 m, 采用走向长壁分层综放开采, 平均分层厚度 18.5 m, 煤层倾角 $5^{\circ} \sim 8^{\circ}$, 煤层普氏系数 $f=1 \sim 3$ 。煤层伪顶为泥岩, 厚度一般为 0.3~1.4 m, 赋存不稳定, 容易垮落; 直接顶为灰、深灰色、层理明显的砂质泥岩, 厚度 2.5 m; 老顶为胶结致密、层理发育的细砂岩, 厚度 5~10 m。煤层直接底为灰黑色、松软、富含炭质的泥岩, 厚度 0.5~2.1 m; 老底为灰、灰白色粗砂岩, 厚度 6.5~19 m。

据不完全统计, 在工作面两巷掘进过程中曾发生过 34 次动压现象, 导致巷道底鼓、变形严重。由于矿井开采深度和强度大, 构造应力场复杂, 最大主应力为水平主应力, 开采过程中动压显现明显, 靠近采空区的巷道变形特别严重, 多次造成转载机段巷道大幅度变形, 严重影响工作面正常生产。

2.1 煤层及顶板冲击倾向性测试

冲击倾向性理论是波兰和前苏联学者提出的, 我国学者在这方面做了大量的工作, 提出用煤样的动态破坏时间(D_t)、弹性能指数(W_{ET})及冲击能量指数(K_E)三项指标综合判别煤的冲击倾向性的实验方法^[3-6]。

本研究采用高速计算机数据采集处理系统、MDG 型动态电阻应变仪、KC 型静态电阻应变仪及配套的载荷和位移传感器对煤层及顶板岩层进行测试, 测试结果如图 2 所示。

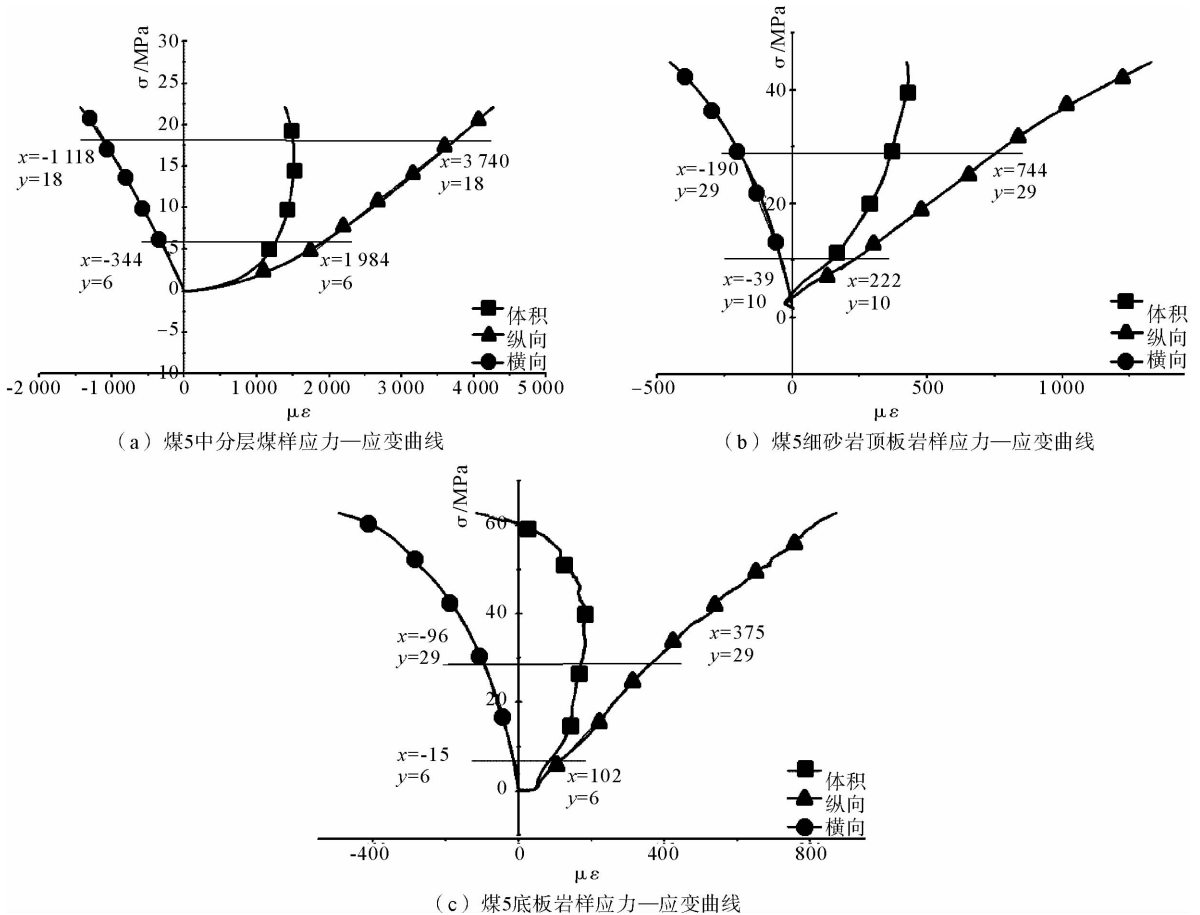


图 2 煤样、岩样测试应力—应变曲线图

Fig. 2 The testing stress-strain curves of coal and rock samples

华亭煤矿煤 5 中层煤试样动态破坏时间、冲击能量指数和弹性能量指数测定结果如表 1 所示。对煤 5 中层煤冲击倾向性的评判是根据中华人民共和国行业标准《煤层冲击倾向性分类及指数的测定方法》(MT865-2000)中提供的评判标准(表 2)进行的。

华亭煤矿煤5中层煤的煤质较硬,平均单轴抗压度为22.59 MPa。试验过程中煤5中分层的煤样基本呈脆性破坏,动态破坏时间短,平均值小于50 ms,按标准属于强冲击倾向范围。煤5中分层的煤样加载破坏后,残余试件呈小圆锥状,说明该煤在破坏时能以较高的比例将存储的变形能释放出来,而煤5中分层测出的弹性能量指数较高,平均值大于5,按标准属于强冲击倾向范围。煤5中分层测得的冲击能量指数平均值远大于5,按标准属于强冲击倾向性范围。由此判定华亭煤矿煤5中分层煤均属于3类,为具有强冲击倾向性的煤层。

岩层的冲击倾向性鉴定遵照中华人民共和国煤炭行业标准《岩石冲击倾向分类及指数的测定方法》(MT/T866-20000),根据送检岩样测试及计算数据进行评判。岩层冲击倾向性类别判定依据如表3所示。

测定并计算煤层以上30 m内复合岩层弯曲能量,作为判定岩层冲击倾向性的依据。单一岩层弯曲能量指数计算公式为

$$U_{wq} = 0.02 \frac{(R_t)^{5/2} \cdot h^2}{E_t \rho_1^{1/2}} \quad (1)$$

其中: U_{wq} —弯曲能量指数,kJ; R_t —抗弯强度,根据标准此参数可用抗拉强度代替,MPa; h —单一岩层厚度,m; E_t —弹性模量,MPa。

复合顶板弯曲能量指数按式(2)计算:

$$U_{wqs} = \sum_{i=1}^n U_{wqi} \quad (2)$$

其中: U_{wqs} —复合顶板弯曲能量指数,kJ; U_{wqi} —第*i*分层弯曲能量指数,kJ。

华亭煤矿煤5复合顶板30 m内岩层弯曲能量计算结果如表4所示。其弯曲能量指数为39.94 kJ,判定该煤层的顶板岩层应属2类,为具有弱冲击倾向性的顶板岩层。

2.2 冲击地压危险性评价

综合考虑不同类型的冲击地压机理、特征和破坏的宏观表现等,对破坏性冲击地压灾害的记录进行对比分析,选用相应的物理量把冲击地压现象分为6级,如表5所示。冲击地压危险性评价项目统计情况如表6所示。根据最小距离原则,确定冲击地压危险性等级为4级(具有较强冲击危险)。

表1 华亭煤矿煤5中层煤试样冲击倾向性指数测定结果表

Tab. 1 The testing results of various indices of rock burst tendentiousness in middle layer sample of 5th seam in Huating mine

项 目 样 别	动态破坏时间 D_t /	冲击能量指数 K_E	弹性能量指数	
	ms	/kJ	W_{ET} /kJ	
煤5中层煤	1	31	4.97	13.14
	2	31	30.28	16.46
	3	48	24.78	11.12
	4	43	9.01	12.31
	5	36	18.27	19.82
平均值	38	17.46	14.57	

备注:当 D_t 、 W_{ET} 、 K_E 的测定值发生矛盾时,应增加试件数量,其分类可采用模糊综合评判的方法或概率统计的方法。

表2 煤5中层煤冲击倾向性评判标准表

Tab. 2 The evaluation criterion of rock burst tendentiousness in 5th seam

类 别 名 称	1类	2类	3类
	无冲击倾向	弱冲击倾向	强冲击倾向
动态破坏时间/ms	$D_t > 500$	$50 < D_t \leq 500$	$D_t \leq 50$
弹性能量指数/kJ	$W_{ET} < 2$	$2 \leq W_{ET} < 5$	$W_{ET} \geq 5$
冲击能量指数/kJ	$K_E < 1.5$	$1.5 \leq K_E < 5$	$K_E \geq 5$

表3 岩层冲击倾向性评判标准表

Tab. 3 The evaluation criterion of rock burst tendentiousness

类 别	1类	2类	3类
名 称	无冲击倾向	弱冲击倾向	强冲击倾向
U_{wq} /kJ	$U_{wq} \leq 10$	$10 < U_{wq} \leq 100$	$U_{wq} > 100$

表 4 华亭煤矿煤 5 顶板各分岩层的弯曲能量表

Tab. 4 The bending energy of all rock layers in 5th seam roof of Huating mine

项 目 样 别	深度应力/ ($\times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$)	弹性模量/ ($\times 10^3 \text{ MPa}$)	抗拉强度/ MPa	弯曲能量指数/ kJ	单轴抗压强度/ MPa
直接顶(岩块)	1 598	40.50	2.65	0.68	42.43
直接顶(岩芯)	1 775	40.10	4.35	2.25	52.79
	平均值			1.46	/
基本顶(岩芯)	1 517	38.73	2.83	38.48	27.53
	合计			39.94	/

表 5 冲击地压现象强度分级表

Tab. 5 The intensity classification of rock burst phenomena

等级	现象、性质	抛出煤量/t	破坏半径/m	震级/(ML)	震动持续时间/s
1 微弱或无	煤体重力型	0~5	0~6	1.0~1.6	≤ 2.5
2 弱	煤体重力型	5~10	0~20	1.7~2.0	2.0~4.0
3 中等	煤体重力型	10~15	20~40	2.0~2.4	4.0~6.0
4 较强	顶板弹性型煤体构造型	15~20	30~60	2.4~2.8	5.0~10.0
5 强烈	顶板断裂型	20~25	50~80	2.6~3.2	10.0~30.0
6 极强烈	顶板断裂型断层位错型	≥ 25	≥ 80	≥ 3.0	≥ 30

表 6 评价项目情况统计表

Tab. 6 The statistical results of evaluation items

项目	内容	项目	内容
煤的冲击倾向性	强冲击倾向	煤层厚度变化情况	稳定
顶板岩石冲击倾向性	弱冲击倾向	断层情况	没有或落差极小
开采深度	大于 700 m	褶曲情况	没有或起伏极小
底板岩石	泥质胶结的中-细砂岩	水平构造应力	较高
煤层厚度	36.9 m	开采布置、推采方向、开采程序等造成的应力集中	较高
煤层倾角	$5^\circ \sim 8^\circ$	打眼、放炮、割煤、等诱发作用	中等

3 华亭煤矿强矿压冲击工作面巷道超前支护系统

3.1 华亭煤矿工作面端头及超前液压支架

华亭煤矿 250102 综采工作面矿山压力较大,且来压持续时间较长,回风顺槽超前支护距离长,使用单体支柱和铰接梁数量多,存在重大安全隐患,且在实际操作中存在诸多困难。为解决华亭煤矿强矿压工作面巷道超前支护难题,研究确定了超前液压支架支护系统技术方案,如图 3 所示。

该工作面端头及超前支护系统分别应用于运输顺槽和轨道顺槽,用于运输顺槽时,转载机布置在左右架中间,可根据设备配套要求设置移步横梁与转载机连接,支架的推拉千斤顶与移步横梁连接,通过推移千斤顶实现端头支架与转载机的自移,推拉千斤顶液压系统中设有液压双向锁,能防止转载机下滑。超前支架推移系统的循环推拉步距设计为 1 000 mm,随工作面机头(尾)处过渡支架推拉后及时推拉。

3.2 超前支架支护参数的确定

由于工作面超前支护段矿压显现强度大,设计制造的支架应具有初撑力大、支护强度高、安全阀卸载流

量大等特点,并且支架宽度应与巷道尺寸相适应,保证具有足够大支护面积的同时,留有一定的人行通道。华亭矿巷道宽度为 4.8 m,高度 3.6 m,转载机及推移装置宽度 2.2 m,两顺槽超前支护支架参数及架型确定如下。

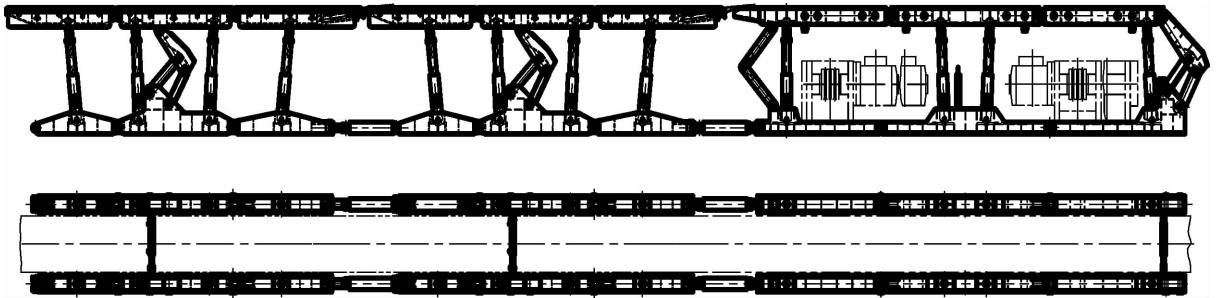


图 3 工作面端头超前支护系统布置示意图

Fig. 3 The layout sketch of end and fore support systems in working face

1) 工作阻力和初撑力的确定

针对强矿压工作面巷道超前压力特点,超前支架按高工作阻力、低初撑力原则确定工作阻力和初撑力,以适应强冲击超前压力而又不破坏锚杆。确定初撑力为工作阻力的 60% 左右。

2) 回风顺槽超前支护支架

回风顺槽设计研制了 3 组支架,总长度 27 m,立柱直径 320 mm,由 1 组锚固支架 ZH12000/24/36C(前架),2 组超前支架 ZH24000/24/36A(中架)及 ZH24000/24/36B(后架)组成。其中:ZH 代表超前支架;12000(24000)代表工作阻力,kN;24/36 代表支架的高度范围为 2.4~3.6 m;C 代表前 1 组锚固支架;A、B 代表前后 2 组超前支架。

3) 运输顺槽超前支护支架

运输顺槽设计研制了 3 组支架,总长度 26.5 m,立柱直径 280 mm,也是由 1 组锚固支架 ZH/9188/24/38 C,2 组超前支架 ZH/18376/24/38A 及 ZH/18376/24/38B 组成。

3.3 支护效果

目前,这种新型工作面端头与超前支护液压支架已在大同塔山、鲁能河曲、兖州、陕西亭南等矿区成功推广应用,显著提高了端头及超前段支护效率,减少了劳动强度,为安全生产创造了条件,这项成果为解决综采、综放工作面端头与顺槽超前支护难题提供了一条新的技术途径。

在华亭煤矿 250102 工作面回风顺槽安装超前支护支架一套,总长度 27 m。由 1 组锚固支架 ZH12000/24/36C,2 组超前支架 ZH24000/24/36A 及 ZH24000/24/36B 组成。支架自安装使用以后,运行状态良好,解决了 250102 工作面回风顺槽超前支护的难题。

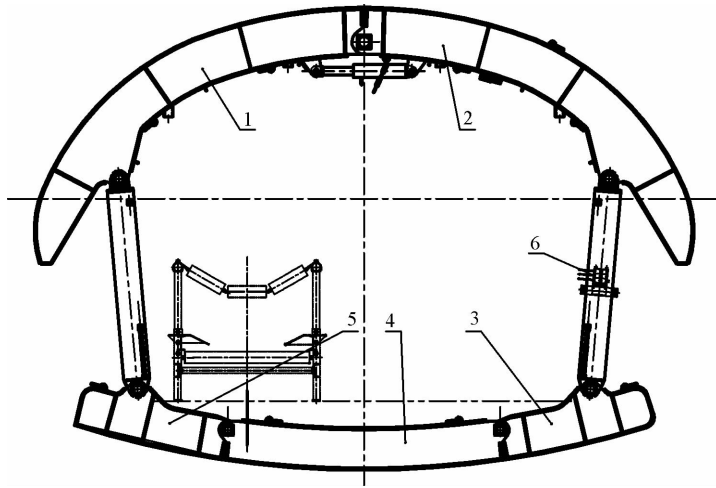
4 工作面端头巷道“O”形支架的研制与应用

在一些深部开采矿井,由于冲击地压显现强烈,导致矿震频发,巷道支护的抗冲击性是突出的问题。在强冲击矿压过程中,采区巷道往往受到严重的破坏,容易引发严重的安全事故。目前深井矿震的治理还是难题,没有妥善的措施,常规方法是加强巷道的锚杆支护,但在一些强冲击矿压发生的矿井,仅靠锚网支护还不能充分保证安全。为此,研发了一种“O”形超前支护液压支架,在采区巷道用于加强巷道支护,保护巷道能经受一定程度的冲击压力。“O”形超前支护液压支架可根据冲击情况调节支架布置密度,在义马跃进矿进行了工业性试验,在试验中经受了强冲击考验,支架起到了良好的安全效果。证明该支架是解决矿震频发地区巷道安全支护的一种有效途径。

4.1 液压支架的结构和特点

“O”形超前支护液压支架目前还没有固定的类型,主要根据巷道的形状和冲击强弱等具体情况设计。

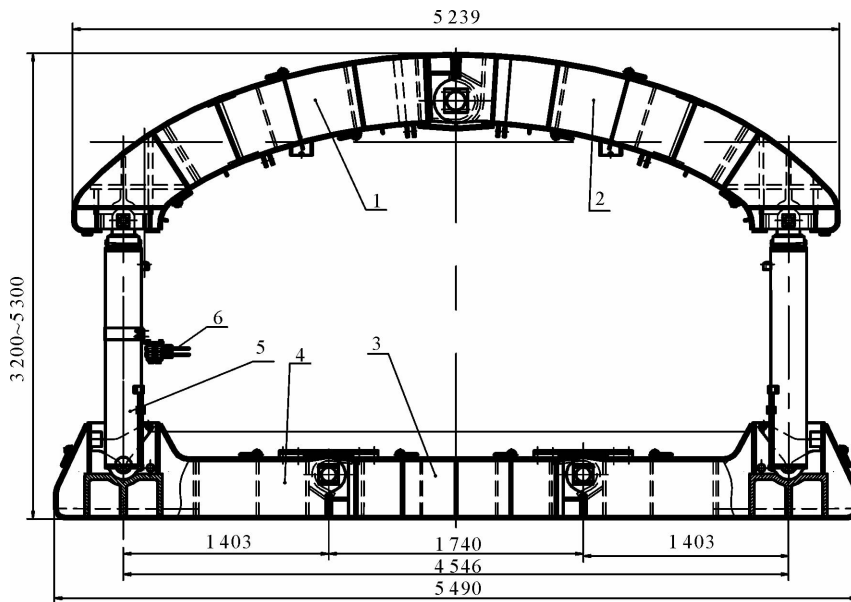
本次试验的“O”形超前支护液压支架,针对“O”形棚支护巷道进行加强支护,防治强冲击地质灾害。基于原有的巷道布置情况,采用可拆分的底座和顶梁的结构。具体有两种形式:图4所示是一种适应具有拱形顶部和拱形底的巷道的结构,图5所示是一种适应具有拱形顶部和平底巷道的典型结构。



1. 左顶梁;2. 右顶梁;3. 中间底座;4. 侧底座;5. 单伸缩立柱;6. 液压系统。

图4 拱形顶部和拱形底的支架结构图

Fig. 4 The support structures of arch top and arch floor



1. 左顶梁;2. 右顶梁;3. 中间底座;4. 侧底座;5. 机械加长立柱;6. 液压系统。

图5 拱形顶部和平底的支架结构图

Fig. 5 The support structures of arch top and flat base

ZH2400 支架如图5所示,用2根缸径200 mm的立柱实现2400 kN的工作阻力,支架沿巷道方向宽度350 mm,可以实现较高的支护强度。这种类型的支架具有以下特点。

① 支架安装在原有的“O”形棚之间,靠弧形顶和巷道顶的接触实现左右稳定,并在底座和立柱之间设有弹性物体作为辅助的稳定措施,主要是方便安装。其实质是在保持原有的巷道支护系统下,额外增加的巷道支护设备,以大幅度提高顶板的稳定性。

- ② 支护强度较高,大大加强了支护效果,可根据需要,通过调节安装密度来调节支护强度。
- ③ 支架轻便可拆移,在整个支撑段内只有尾首倒换,最大限度地减少了重复支顶次数,有利于顶板稳定。
- ④ 顶梁采用左右两拱半铰接结构并在铰接处设有缓冲件,有利于提高接顶性能和抗冲击性能,底座由三段铰接组成,有利于运输和拆装。
- ⑤ 与巷道形状相适应,能对巷道顶形成均匀支撑。
- ⑥ 安装有大流量、抗冲击能力强的安全阀。
- ⑦ 通过优化设计,改善了支架的受力状况,支架的使用寿命得到提高。

4.2 支架的结构分析和试验情况

图6是应用户要求在图5基础上修改的试验支架。由图6可以看出,支架存在一定缺陷:采用机械加长立柱,重量重,抗冲击性能差,不适宜在这类支架上使用;立柱垂直安装,支架左右稳定性不足。具体使用条件与支架设计有较大出入:原设计是整个弧形顶与巷道拱形顶全长接触,以保证其稳定性和顶梁的强度;实际使用中在顶梁上设置平台,在平台上架钢梁,通过钢梁与“O”形棚的“U”形钢接触,顶梁的受力由分布载荷变为集中力,严重降低了顶梁的强度和支架的整体稳定性。

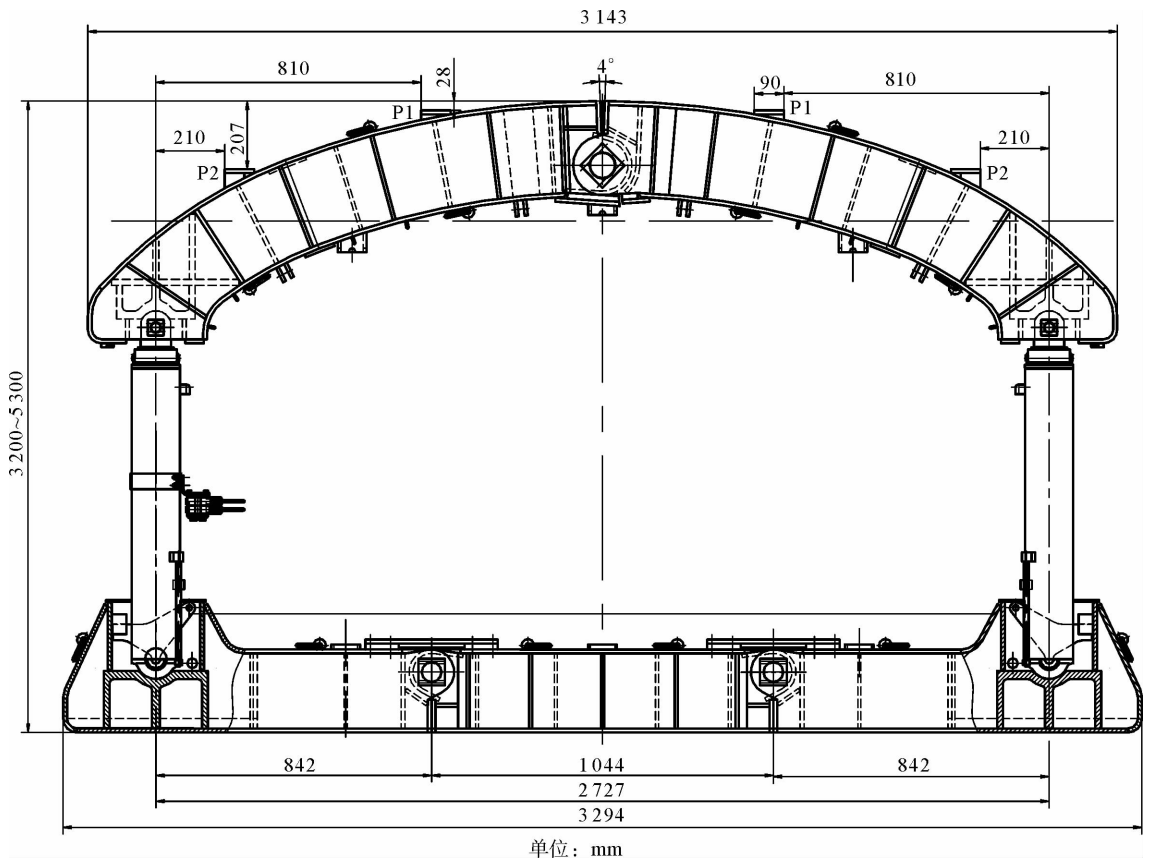


图6 顶梁加平台的支架结构图

Fig. 6 The support structures of roof beam and platform

2010年8月一次强烈来压袭击,该支架受到了强烈的冲击之后,虽然立柱和顶梁的连接还对巷道发挥着支撑作用,保证了巷道具有一定的安全空间,避免了发生顶梁落下的安全问题,有效地保护了巷道的安全,避免了安全事故,但是支架与巷道相对位置严重错位,造成部分顶梁损坏,同时立柱和底座也有损坏。

依据巷道现场的破坏情况可以得出,当冲击强度极大时,单纯提高支护强度很难保证支护安全,因为顶梁、底座和立柱中总会有一件出现问题。支架的破坏情况也证明了以上对支架缺陷的分析。

4.3 支架的改进

拆装式结构具有一定的灵活性,一般对重量有所限制,支护强度受到制约,且拆装工作量大,在冲击强度较大时可靠性不足,不能满足高效矿井的要求。因此,需要进一步研究和改进。

1) 支架顶梁与巷道廓形要有较好的一致性

当支架采用无导向可拆装结构时,支架的设计要针对巷道的特定条件,顶梁与使用场地相吻合,以保证其稳定性,发挥最大优势。

2) 研究设置过载保护元件

抗冲击支架的突出性能就是抗冲击。支架需要具有一定的缓冲能力,可以通过设置缓冲元件,采用抗冲击立柱,安装大流量抗冲击安全阀等措施来减轻冲击载荷。实际工作中对冲击的强度很难估量,单纯提高支撑能力显然是不经济的。在支架上设置过载保护元件,可以做到既减轻支架重量又提高可靠性,是此类支架具有生命力的关键。

3) 自动移架

对于高效矿井,使用拆装式结构很难满足其要求,支架整体移动是下一步研究的目标,也是一项挑战。

5 结论

华亭煤矿在开采过程中工作面及巷道动压现象明显,对工作面安全生产构成极大的影响。通过对华亭煤矿5中分层及顶板进行冲击倾向性测试,确定煤层具有强冲击倾向性,煤层顶板具有弱冲击倾向性,冲击地压危险性等级为4级(具有较强冲击危险)。在强矿压冲击工作面及巷道采用工作面端头与超前支护液压支架系统,巷道采用“O”形防冲击液压支架,是解决工作面端头及巷道支护难题,保证矿井安全高效开采的有效途径。

参考文献:

- [1]兰航,齐庆新,潘俊峰,等.我国煤矿冲击地压特点及防治技术分析[J].煤炭科学技术,2011,39(1):11-16.
LAN Hang, QI Qingxin, PAN Junfeng, et al. Analysis on features as well as prevention and control technology of mine strata pressure bumping in China[J]. Coal Science and Technology, 2011, 39(1): 11-16.
- [2]齐庆新.层状煤岩体结构破坏的冲击矿压理论与实践研究[D].北京:煤炭科学研究总院北京开采研究所,1996:23-38.
- [3]何满潮,谢和平,彭苏萍,等.深部开采岩体力学研究[J].岩石力学与工程学报,2005,24(16):2803-2811.
HE Manchao, XIE Heping, PENG Suping, et al. Study on rock mechanics in deep mining engineering[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(16): 2803-2811.
- [4]张晓春,缪协兴,杨挺青.冲击矿压的层裂板模型及实验研究[J].岩石力学与工程学报,1999,18(5):497-502.
ZHANG Xiaochun, MIAO Xiexing, YANG Tingqing. The layer crack plate model and testing study of the rockburst in mines[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1999, 18(5): 497-502.
- [5]齐庆新,窦林名.冲击地压理论与技术[M].徐州:中国矿业大学出版社,2008.
- [6]王国法,刘俊峰,李政,等.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.