

文章编号: 1673-3363-(2013)06-0848-08

巷道底板冲击控制原理与解危技术研究

曹安业¹, 朱亮亮¹, 杜中雨², 刘建刚¹, 王浩¹, 王毅¹

(1. 中国矿业大学矿业工程学院, 深部煤炭资源开采教育部重点实验室, 煤炭资源与安全开采国家重点实验室, 江苏 徐州 221116; 2. 山东省富安煤炭有限公司, 山东 滕州 277521)

摘要 巷道底板冲击是煤矿冲击矿压多种表现形式的一种, 其显现强度与破坏程度愈发严重。论文理论分析了巷道底板的冲击诱发机理, 并提出底板卸压防冲原理, 即通过改变巷道底板的抗弯强度以降低巷道底板冲击诱发条件。同时采用FLAC^{3D}数值模拟, 分别对底煤巷道和硬底巷道采取的卸压槽、大直径钻孔等不同措施的解危效果进行比较分析, 得出底煤巷道采取卸压槽和大直径卸压钻孔相结合的复合式卸压措施防冲效果较为理想, 研究成查对于硬底巷道在巷道底板实施大直径钻孔和卸压爆破的组合式解危措施效果较理想。可为巷道底板冲击防治提供一定理论依据。

关键词 底板冲击; 卸压槽; 大直径钻孔; 底煤巷道; 硬底巷道

中图分类号 TD 324

文献标志码 A

Control principle and pressure-relief technique of rock burst occurred in roadway floor

CAO An-ye¹, ZHU Liang-liang¹, DU Zhong-yu², LIU Jian-gang¹,
WANG Hao¹, WANG Yi¹

(1. School of Mines, Key Laboratory of Deep Coal Resource Mining, Ministry of Education of China, State Key Laboratory of Coal Resources and Safe Mining, China University of Mining & Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China;
2. Fu'an Coal Company Limited of Shandong, Tengzhou, Shandong 277521, China)

Abstract The occurrence intensity and damage degree of rock burst occurred in roadway floor of underground coal mines becomes more serious as the mining depth increases in China. In this paper, the inducement mechanism of floor burst was analyzed, and the corresponding control principle was put forward, that is, the burst-inducing condition was decreased by changing the bending strength of roadway floor. Additionally, FLAC^{3D} was adopted to simulate and compare the pressure-relief effects of different control measures implemented in coal-floor roadway and rock-floor roadway, respectively. The results show that the pressure-relief effect of the control method by combination of large-diameter borehole and pressure-releasing groove on coal-floor roadway is more effective, while the combination of large-diameter borehole and relieving shot on rock-floor roadway can achieve better pressure-relief effect. The research results in this paper can provide theoretical reference for floor burst control in underground mining.

收稿日期: 2012-02-13

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(51204165); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(SZBF2011-6-B35); 国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAK04B06); 中央高校基本科研业务专项资金项目(2010QNA30); 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2010CB226805)

作者简介: 曹安业(1982-), 男, 江苏省盐城市人, 副教授, 博士生导师, 从事矿山压力、冲击矿压、采矿地球物理等方面的研究。

E-mail: caoanye@163.com

Tel: 13775985995

Key words floor burst; pressure-releasing groove; large-diameter borehole; coal-floor roadway; rock-floor roadway

底板冲击矿压是煤矿冲击矿压多种表现形式中的一种。目前,我国许多矿井在掘进和回采过程中,底板发生冲击矿压的现象十分严重,给矿井生产带来了巨大威胁,且随着开采深度的增加,底板冲击现象将更为严重,其治理工作更加严峻、繁重^[1-4]。

底板冲击矿压是在矿山采动、掘进面扰动下诱发底板煤岩体弹性变形能的瞬时释放,表现为以底板煤岩层冲击为主,伴随两帮煤体的部分破坏,顶板一般不破坏,进而引起采掘空间内设备损坏和人员伤亡^[5]。其研究表明,底板冲击主要是受到2方面因素的影响:一是巷道所受到的外界因素的影响;二是巷道自身的性质。其中,外界因素主要包括巷道埋深及异常构造带对巷道底板的水平应力作用^[6];巷道自身作用主要包括巷道底板的岩层性质、巷道底板宽度及厚度等^[7]。巷道底板的破坏变形现象如图1所示。

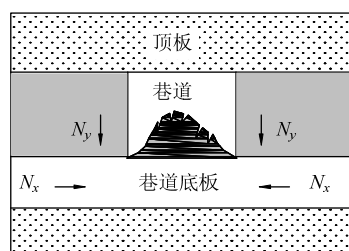


图1 巷道底板破坏变形

Fig.1 Destruction and deformation of roadway floor

目前国内外学者对底板冲击显现特征、发生原因及治理进行了初步研究^[6,8-12]。例如,潘立友^[9]论述在支承压力作用下,巷道底板岩层承受轴向力的作用,当底板承受的轴向力超过极限强度后,会因底板岩层失稳引起严重底鼓、底板岩层破裂等严重后果;王本强^[10]对构造应力下坚硬底板冲击矿压机理进行了探讨,认为构造应力为冲击矿压的发生提供了必要的力源条件,而坚硬底板的存在则保证了大量弹性变形能的储存,二者的结合促使巷道底板型冲击矿压显现;陈学华^[6]研究了构造应力影响下底板冲击矿压问题,认为侧压系数对底板冲击矿压起重要作用,并提出了冲击矿压发生的临界水平应力理论;徐方军等^[11]指出破坏煤层底板岩层或减小作用于底板岩层的高应力是防治底板冲击矿压的有效途径,采用煤层爆破卸压、煤层注水弱化及底板爆破卸压等方式可以有效地防止底板冲击矿压

的发生;牛宝林等^[3]认为巷道底板富有弹性,厚度大,强度高且完整,这是底板储存弹性能的基本条件,并且指出破坏底板完整性是治理底板冲击矿压的有效手段;任连伟等^[12]分别对多种形式卸压槽措施的卸压效果进行了模拟,得出布设2道卸压槽卸压效果明显,经济上合理。

同时,现有文献虽对巷道底板冲击发生机理与防治技术进行了初步研究,但尚缺乏底板冲击防治技术解危效果的系统对比分析,即不同类型巷道底板的冲击防治缺乏针对性。因此,本文拟通过对不同巷道底板采用不同解危措施进行卸压效果分析,建立底板冲击的针对性局部解危与防范技术。即,通过建立巷道底板的物理模型,理论分析底板冲击的诱发条件与巷道底板防冲机理;同时,分别对底煤巷道、硬底巷道采用大直径钻孔、卸压槽等措施进行数值模拟分析,通过对不同解危措施卸压效果比较,优化巷道底板冲击防治方法。

1 底板卸压槽防冲原理研究

巷道底板在强水平应力影响下,可能诱发巷道底板冲击,因此,根据巷道围岩控制的“强弱强”结构理论(见图2),可采取在巷道底板开挖卸压槽及大直径钻孔等卸压措施,使之形成缓冲带,不仅可使对矿震动载的能量传递大幅衰减,并对静态应力场达到应力转移与降低的卸压效果,从而降低巷道底板冲击危险性^[13-14]。

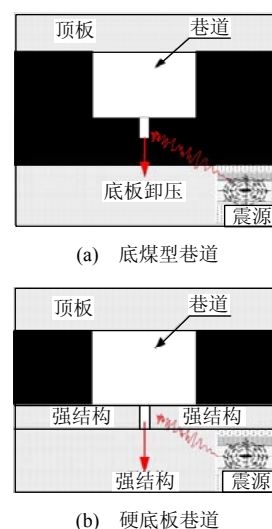


图2 “强弱强”示意图

Fig.2 The chart of “strong-soft-strong” structure

1.1 底板诱冲机理计算模型

巷道开挖后受到上部岩层垂直压力作用,而顶底板主要受水平应力作用引起变形破坏,因此底板冲击危险主要受水平应力影响^[4]。在巷道底板取厚度为 h 的底板单元体进行分析,其剖面图见图 3,该图表示巷道底板倾向剖面受力情况,分析其受力失稳情况。

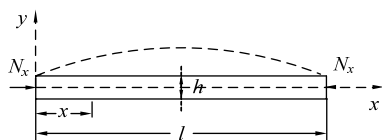


图 3 巷道底板简化模型

Fig.3 Simplified model of roadway floor

图 3 中: N_x 为水平应力, h 为单元体中直接底的厚度, l 为单元体巷道底板宽度。

基于弹性力学理论,弯矩计算公式 $M=-N_x\omega$,结合弯矩的表达式,得出挠度的微分方程为^[15]:

$$\frac{d^2\omega}{dx^2} = \frac{M}{EI} = -\frac{N_x\omega}{EI}$$

引用 $k^2=N_x/EI$,得出该微分方程的通解表达式:

$$\omega = A\sin kx + B\cos kx$$

其中 A, B 为积分常数。根据边界条件 $x=0$ 和 $x=l$ 时 $\omega=0$, 得出, $B=0$, $A\sin kl=0$, 由此得出 $kl=n\pi(n=0, 1, 2, \dots)$, 得出 $k=n\pi/l$ 。

根据以上计算,将 k 代入 $k^2=N_x/EI$ 即可得出底板承受水平作用力 N_x 的表达式^[17]:

$$N_x = n^2\pi^2 EI / l^2 \quad (1)$$

式中: N_x 为底板两端所受到的水平压力, N ; n 为常数; E 为弹性模量, GPa; I 为惯性矩, m^4 , 表达式为 $I=lh^3/12$ 。 $n \geq 0$ 且取整数, 当 $n=1$ 时得到底板变形的临界值计算公式:

$$N_{cr} = \pi^2 EI / l^2 = \pi^2 E h^3 / 12 l^2 \quad (2)$$

由式(2)可见,影响应力临界值的主要因素为巷道底板的倾向长度 l 。

根据简支梁计算公式得出弯矩 M 和转角 φ 结果如下^[17]:

$$M = \frac{1}{8} q l^2, \quad \varphi = \frac{q l^3}{24 EI} \quad (3)$$

式中: q 为简支梁承受的单位载荷; I 是简支梁顶板的断面惯性矩; l 为后方顶板的悬顶长度。

由此,进一步得出:

$$U_{r0} = \frac{1}{2} M \varphi = \frac{q^2 l^5}{384 EI} \quad (4)$$

由式(4)得出影响地板破断释放能量的主要因素为底板的轴向宽度。

巷道底板失稳主要由水平作用力决定^[16],最大水平主应力等于自重应力水平分量和构造应力之和 $N_x = \frac{\mu}{1-\mu} \gamma H + N_G$, 其中 N_G 指构造应力。最大水平主应力与 γH 的比值在 $k=1.6 \sim 2.7$ 倍之间会引起巷道失稳^[17], 此处 k 值取 2 进行分析。

上述分析表明,底板岩层单位长度 ($b=1$) 所受到的轴向压力为:

$$N = h K_1 K_2 H \gamma_r \quad (5)$$

则巷道底板的变形破坏条件为:

$$N = h K_1 K_2 H \gamma_r \geq 2 N_{cr} = \frac{1}{6} \frac{\pi^2 E h^3}{l} \quad (6)$$

引入底板破坏系数 K_{dp} , 两边消去 h 得出:

$$K_{dp} = \frac{6 K_1 K_2 H \gamma_r}{\pi^2 E h^2} \quad (7)$$

式中: B 为巷道底板的宽度; H 为埋深; h 为直接底的厚度。

结合式(5), (6), 当 $K_{dp} \geq 1$ 时, 底板存在冲击危险。

由式(2), (4)可见,减小 l 可以有效地增大 N_{cr} , 减小 U_{r0} 。由式(7)可见, K_{dp} 与巷道的宽度 l 、煤层埋深 H 、覆岩支承压力影响系数 K_1 和水平构造应力影响系数 K_2 成正比,与底板厚度 h 的平方及底板岩层的弹性模量 E 成反比,减小 l 可以有效地降低 K_{dp} 的值,进而降低巷道底板的冲击危险性。

1.2 底板卸压槽防冲原理

从 $N_{cr} = \pi^2 EI / l^2$ 中可以看出在巷道底板的宽度为 l 时临界值为 N_{cr} , 在巷道底板中间位置破坏巷道底板的完整性,使得一定厚度的巷道底板被人为地“分割”为 2 部分(如图 4 所示), 2 部分的宽度均小于原巷道宽度的 $1/2$, 以式 $N_{cr} = \pi^2 EI / l^2$ 计算, 得出 $N_{cr1} > 4 N_{cr}$, 即 2 部分的抗弯强度均得到很大提高; 根据式 $N_{cr} = \pi^2 EI / l^2$ 可以计算不同情况下的临界值, 根据图 5 可以计算出 $N_{crx} = \pi^2 EI / x^2$, N_{crx} 表示巷道底板所承受的极限载荷。研究表明, 巷道底板开挖卸压槽使得底板的抗弯强度得到提高, 消除水平应力的弯曲变形, 降低弹性能积聚总量, 从而降低冲击危险性。

对于巷道底板采用大直径卸压钻孔和卸压爆破措施, 其防冲原理同样是增大巷道底板的抗弯强度, 从而达到降低巷道底板冲击危险性, 因此, 这里不再进行详细描述。

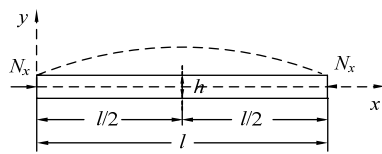


图 4 巷道底板中间开挖卸压槽

Fig.4 Excavation the pressure releasing slot in the middle of roadway

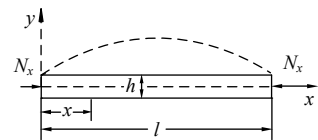


图 5 巷道底板任意位置开挖卸压槽

Fig.5 Excavation the pressure releasing slot on the any position of roadway

2 不同类型巷道底板数值模拟研究

为比较卸压槽和大直径钻孔等解危措施对巷道底板的卸压效果，分别以底煤巷道和坚硬岩石底板巷道为例，采用 FLAC^{3D} 模拟比较分析不同尺寸、不同位置解危措施卸压效果。

本次模拟是以埋深 1 000 m 计算，自重应力值约为 25 MPa，水平主应力值取 40 MPa，为主应力的 1.6 倍，巷道宽度设计为宽 5 m、高 4 m，底煤巷道岩石参数见表 1，岩石底板巷道岩石参数见表 2。

表 1 底煤巷道岩石力学参数

Table 1 Mechanical parameters of the rocks of coal-floor gateway

| 岩层厚度/m | 岩性 | fric | coh/MPa |
|--------|------|------|---------|
| 5 | 细砂岩 | 37 | 5.1 |
| 4 | 中砂岩 | 38 | 3 |
| 2 | 细砂岩 | 37 | 5.1 |
| 6 | 煤层 1 | 28 | 1.68 |
| 4 | 煤层 2 | 28 | 1.68 |
| 2 | 泥岩 | 35 | 2.1 |
| 5 | 中砂岩 | 38 | 3 |

表 2 硬底巷道岩石力学参数

Table 2 Mechanical parameters of the rocks of rock-floor gateway

| 岩层厚度/m | 岩性 | fric | coh/MPa |
|--------|-------|------|---------|
| 5 | 细砂岩 | 37 | 5.1 |
| 4 | 中砂岩 | 38 | 3 |
| 6 | 细砂岩 1 | 37 | 5.1 |
| 2 | 细砂岩 2 | 37 | 5.1 |
| 4 | 煤层 | 28 | 1.68 |
| 2 | 泥岩 | 35 | 2.1 |
| 5 | 中砂岩 | 38 | 3 |

2.1 巷道底板无卸压措施数值模拟分析

图 6，7 为无卸压措施时底煤巷道和坚硬岩石底板巷道垂直应力及垂直位移云图，图为沿巷道走向剖面。

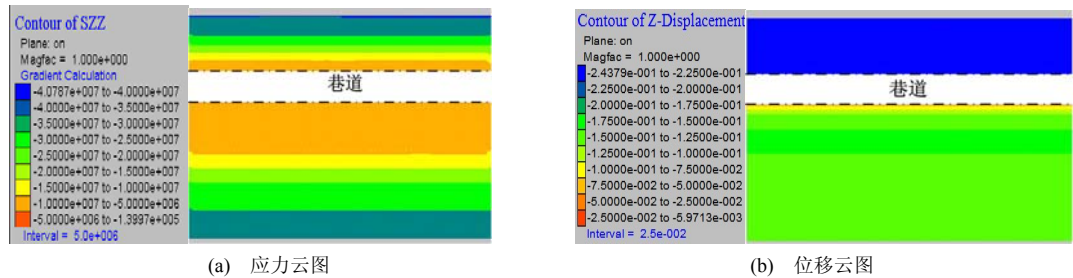


图 6 底煤巷道垂直应力及位移云图

Fig.6 Stress and displacement nephogram of bottom coal roadway

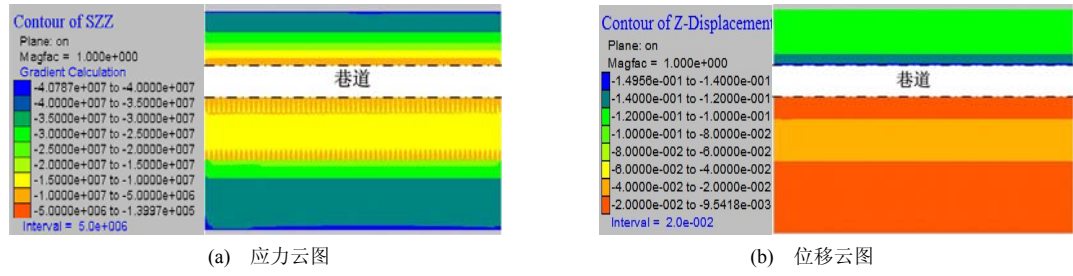


图 7 硬底巷道垂直应力及位移云图

Fig.7 Stress and displacement nephogram of hard ground roadway

由图 6，7 可见，巷道底板应力水平较高，应力峰值均达 41 MPa 左右，存在一定冲击危险性，巷道位移变化最大分别达 0.24，0.15 m，底板变形

量也较大。
2.2 底煤巷道卸压的数值模拟分析
对于底煤巷道，对巷道底板采取卸压槽、大直

径钻孔卸压及其组合卸压措施进行比较分析, 数值模拟方案如下:

- (a) 卸压槽尺寸 $5\text{ m} \times 0.4\text{ m} \times 0.4\text{ m}$, 间距 5 m ;
- (b) 卸压槽尺寸 $3\text{ m} \times 0.4\text{ m} \times 0.4\text{ m}$, 间距 5 m ;
- (c) 卸压槽尺寸 $3\text{ m} \times 0.4\text{ m} \times 0.6\text{ m}$, 间距 5 m ;
- (d) 钻孔尺寸为 $0.1\text{ m} \times 8\text{ m}$, 双排布置, 间距

5 m ;

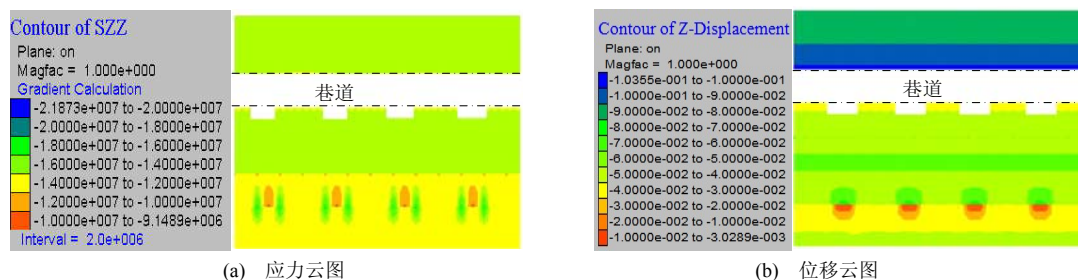


图 8 复合卸压措施垂直应力及位移云图

Fig.8 Stress and displacement of measures nephogram in composite pressure relief measures

图 9 为不同卸压方案底板应力变化曲线图, 应力峰值变化可见表 3。可见, 采用不同解危措施对巷道底板进行卸压时, 在钻孔及卸压槽周边均产生了应力集中, 不同解危措施都使底板应力水平得到相应程度的降低, 尤以卸压槽与大直径钻孔相结合的卸压效果较理想, 底板应力峰值降低可达 46.3%。

图 10 为不同卸压方案巷道底板位移变化曲线

(e) 卸压槽 $3\text{ m} \times 0.4\text{ m} \times 0.6\text{ m}$ +钻孔 $0.1\text{ m} \times 8\text{ m}$ (单排), 间距 5 m 。

图 8 为底煤巷道复合式卸压措施下巷道底板的垂直应力和位移云图。相比于图 6, 在巷道底板采取复合卸压措施后, 底板应力水平、位移变化量明显降低。

图, 底板位移变量变化可见表 4。可见, 采用不同卸压措施对巷道底板进行卸压时, 在钻孔及卸压槽周边位移变化均较明显, 不同卸压措施都使底板位移变量得到相应程度的降低, 其中以 $3\text{ m} \times 0.4\text{ m} \times 0.6\text{ m}$ 及卸压槽 $3\text{ m} \times 0.4\text{ m} \times 0.6\text{ m}$ +钻孔 $0.1\text{ m} \times 8\text{ m}$ (单排), 间距 5 m 的卸压槽效果较理想, 位移变量降低可达 58%, 54.2%。

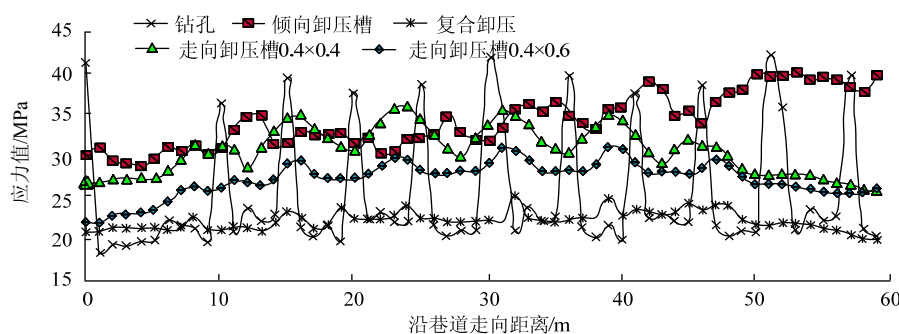


图 9 沿巷道走向方向不同方案底板应力变化曲线图

Fig.9 Stress curves of roadway floor along the strike direction of roadway

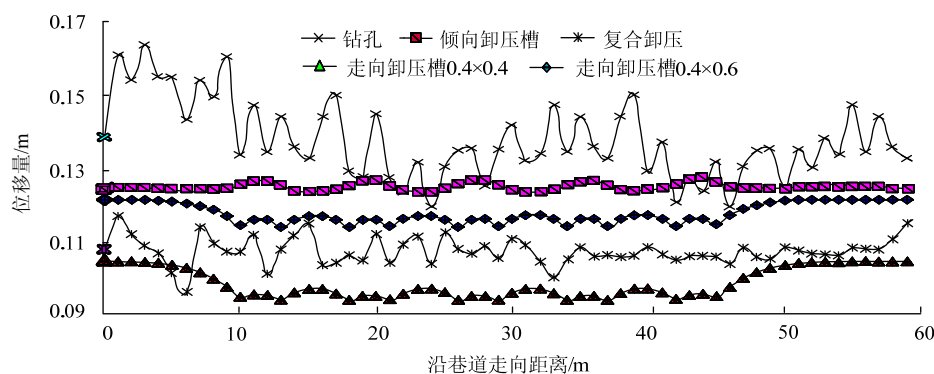


图 10 沿巷道走向方向底板位移变化曲线图

Fig.10 Displacement curves of roadway floor along the strike direction of roadway

表 3 不同方案应力变量
Table 3 The stress variable of different scheme

| 方案 | 应力值/MPa | 应力下降百分比/% |
|----|---------|-----------|
| a | 41 | 基本不变 |
| b | 35 | 14.6 |
| c | 32 | 22 |
| d | 41 | 基本不变 |
| e | 22 | 46.3 |

表 4 不同方案位移变量
Table 4 The displacement variable of different scheme

| 方案 | 垂直位移变量/m | 位移下降百分比/% |
|----|----------|-----------|
| a | 0.12 | 50 |
| b | 0.125 | 48 |
| c | 0.1 | 58 |
| d | 0.14 | 41.6 |
| e | 0.11 | 54.2 |

综上，可认为卸压槽与大直径钻孔相结合的组
合式解危措施效果较理想。同时，在实际生产中，
应在工作面回采之前或始终超前工作面 200 m 范

围，对底煤巷道实施卸压槽与大直径钻孔相结合的
组合式卸压措施，通过对巷道底板的预解危处理，
提前降低巷道底板的冲击危险性。

2.3 硬底巷道数值模拟分析

现场实践中对于坚硬底板采取卸压槽时施工
较为麻烦，因此主要采用底板大直径钻孔卸压和卸
压爆破，这里暂设巷道底板卸压爆破倾角为 90°。

(f) 巷道底板大直径钻孔 0.1 m×8 m，双排布
置，间距 5 m；

(g) 底板卸压爆破 0.05 m×8 m，单排布置，间
距 5 m；

(h) 复合卸压措施 0.1 m×8 m(双排)+0.05 m×
8 m(单排)，间距 5 m。

图 11 为硬底巷道复合式卸压措施下巷道底板
的垂直应力和位移云图。相比于图 7，在巷道底板
采取复合卸压措施后，底板应力水平明显降低，位
移变化量得到一定改善，达到降低巷道底板冲击危
险性的目的。

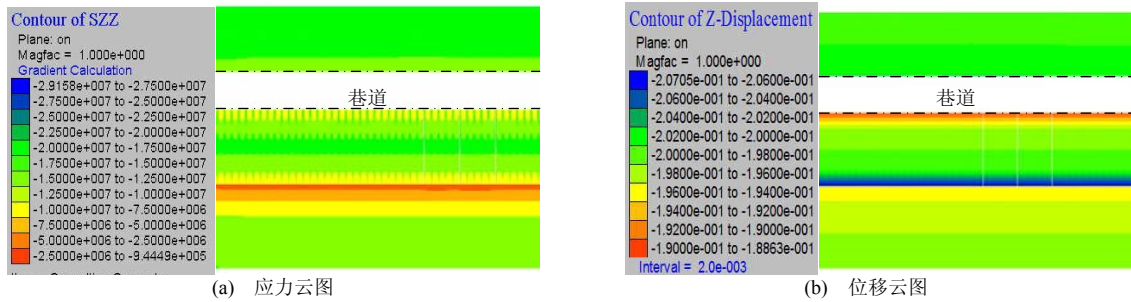


图 11 复合卸压措施垂直应力及位移云图

Fig.11 Stress and displacement of measures nephogram in composite pressure relief measures

图 12 为不同卸压方案底板应力变化曲线图，
通过数据及曲线分析，应力峰值变化可见表 5。可
见，采用不同解危措施对巷道底板进行卸压时，在
钻孔及卸压槽周边均产生了应力集中，不同解危措
施均使底板应力水平得到相应程度的降低，底板卸

压爆破的解危效果要明显强于大直径钻孔卸压，若
实施底板大直径钻孔与卸压爆破相结合的解危技
术，其卸压效果则更加明显，应力峰值可降低
29.2%。

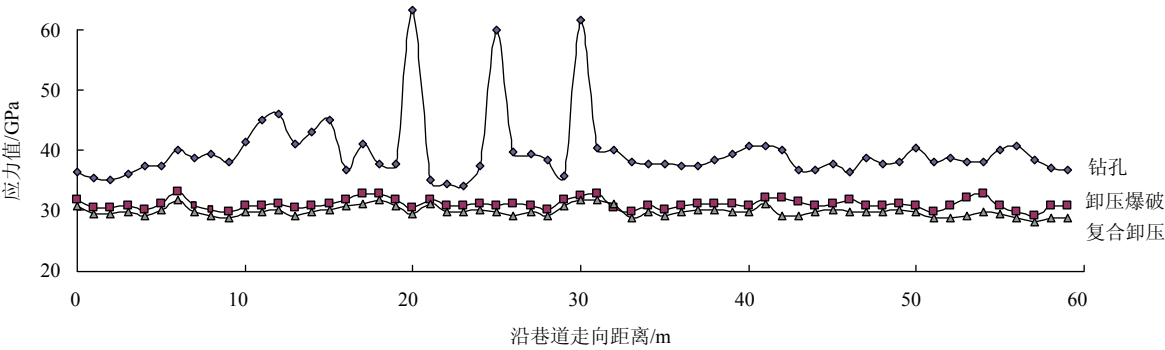


图 12 沿巷道走向方向不同方案底板应力变化曲线图

Fig.12 Stress curves of roadway floor along the strike direction of roadway

表 5 不同方案垂直应力变量
Table 5 The stress variable of different scheme

| 方案 | 应力值/MPa | 应力下降百分比/% |
|----|---------|-----------|
| f | 36 | 10 |
| g | 30 | 25 |
| h | 29 | 29.2 |

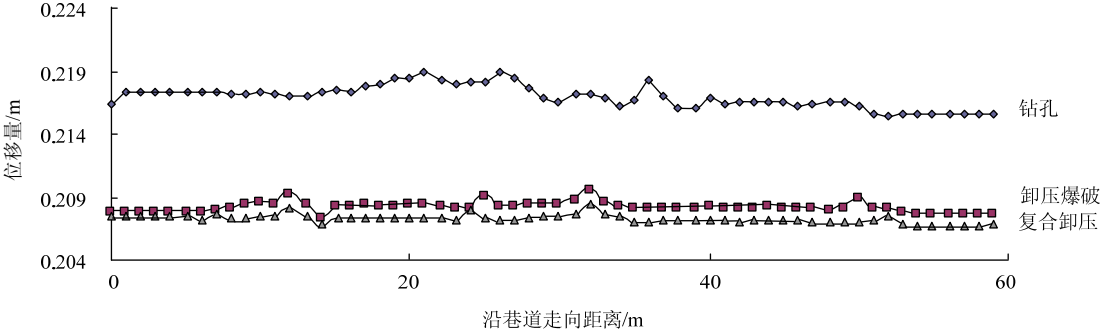


图 13 沿巷道走向方向底板位移变化曲线图
Fig.13 Displacement curves of roadway floor along the strike direction of roadway

表 6 不同方案位移变量
Table 6 The displacement variable of different scheme

| 方案 | 垂直位移变量/m | 位移下降百分比/% |
|----|----------|-----------|
| f | 0.21 | 12.5 |
| g | 0.20 | 16.7 |
| h | 0.205 | 14.6 |

综上,可认为大直径钻孔与卸压爆破相结合的组式卸压措施较理想。同时,在实际生产中,应在工作面回采之前或始终超前工作面 200 m 范围,对硬底巷道实施大直径钻孔和卸压爆破相结合的解危措施,从而达到应力释放,降低巷道底板的冲击危险性。

通过上述模拟分析可知,对于底煤巷道,采用卸压槽和大直径钻孔的组合卸压措施防冲效果较理想;对于硬底巷道,采用大直径钻孔和卸压爆破的组合卸压措施防冲效果较理想。巷道底板冲击动态防治体系如图 14 所示。

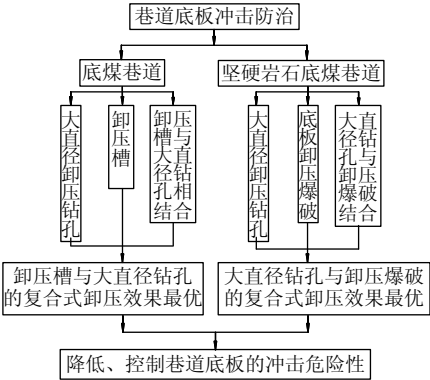


图 14 底板冲击局部解危体系
Fig.14 The relieving danger system of floor burst

图 13 为底板位移变化曲线图,巷道底板位移变量变化可见表 6。可见,采用不同卸压措施对巷道底板进行卸压时,在钻孔及卸压槽周边位移变化较明显,3 种解危措施效果无明显差异,位移量减小约 15%。

3 底板卸压解危措施的组织管理方法

1) 卸压钻孔现场实施时,其操作过程较为简单,但在钻进过程中需掌握钻进压力,均匀给劲,并根据钻孔内煤岩软硬程度加压。

2) 对于底板卸压爆破,其操作与管理的工作较为复杂,尤其需注意如下 2 点:

① 每次卸压爆破前,躲炮时间不得少于 30 min,躲炮距离不小于 300 m;

② 卸压爆破实施后,需对爆破情况详细检查,发现有残爆、拒爆等情况,必须遵守下列规定:a、由于连线不良造成的拒爆,可重新连线起爆;b、在距拒爆眼 0.3 m 以外另打与拒爆眼平行的新炮眼,重新装药起爆;c、严禁从炮眼中取出原放置的起爆药卷或从起爆药卷中拉出电雷管,有无残余炸药严禁将炮眼残底继续加深,严禁用打眼方法往外掏药,严禁用压风机吹拒爆眼。

3) 对于卸压槽开挖,由于尺寸相对较大,会给矿井生产带来一定影响,因此需要对其制定相应的组织管理方案。

在巷道底板开挖适当尺寸的卸压槽,需要及时对卸压槽进行适当的处理,具体如下:

① 在卸压槽的顶部铺设一定宽度和厚度的钢板(钢板的质量较大,并且成本较高);

② 在卸压槽的顶部铺设木板(木板的质量轻容易转移,木板的成本较低);

③ 在卸压槽内部填充缓冲材料(成本较高、施工麻烦)。

可见,采用木板支护卸压槽上部空间最为经

济。上述控制方法可确保工作人员人身安全及防止小部件掉落到卸压槽内部。

4 结 论

1) 理论分析表明, 底板的破坏系数 K_{dp} 、底板破断时释放的能量值 U_0 与 l 成正比关系, 减小 l 能够有效降低两者取值; 底板水平应力的临界值 N_{cr} 与 l 成反比, 减小 l 可以有效提高临界值, 降低巷道底板冲击危险性。 l 值的减小可通过在巷道底板开挖卸压槽、大直径钻孔等实现。

2) 底煤巷道底板解危措施数值模拟结果表明, 沿巷道走向方向每隔一定距离, 开挖卸压槽并在卸压槽底部实施大直径钻卸压孔的卸压解危效果较理想, 垂直应力峰值下降可达 46.3%, 垂直位移下降约 54.2%。

3) 硬底巷道解危措施数值模拟研究表明, 在底板采取大直径卸压钻孔和卸压爆破相结合的解危措施效果较理想, 垂直应力峰值下降 29.2%, 垂直位移下降 14.6%。

4) 在巷道底板实施不同解危措施时, 需制定相应的组织管理制度。底板卸压爆破需确保躲炮时间与距离, 并做好残爆、拒爆的处理工作; 开挖底板卸压槽时, 需对其制定相应的组织管理方案, 其中在其顶部铺设木板可明显降低支护成本、减少工作量, 达到支护效果。

5) 通过对巷道底板解危措施的系统对比分析, 提出了底煤巷道和硬底巷道底板冲击的针对性防治措施, 初步建立了巷道底板冲击危险的局部解危体系, 在煤矿巷道底板冲击矿压防治方面进行了积极的探索。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 窦林名, 何学秋. 采矿地球物理学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2002.
- [3] 牛宝林, 邸建友, 唐绍琴. 底板冲击矿压发生机理与防治[J]. 煤矿开采, 1999, 14(1): 20-23.
NIU Bao-lin, DI Jian-you, TANG Shao-qin. Mechanism and prevention of the floor burst[J]. Coal Mining Technology, 1999, 14(1): 20-23.
- [4] 徐学锋, 窦林名, 刘军, 等. 煤矿巷道底板冲击矿压发生的原因及控制研究[J]. 岩土力学, 2010, 31(6): 1977-1982.
XU Xue-feng, DOU Lin-ming, LIU Jun, et al. Research of reasons and controlling for floor burst in coal mine roadway[J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(6): 1977-1982.
- [5] 窦林名, 赵从国, 杨思光, 等. 煤矿开采冲击矿压灾害防治[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2006.
- [6] 陈学华. 构造应力型冲击地压发生条件研究[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学矿业学院, 2004.
- [7] 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.
- [8] DRIAD L L, LAHAIE F, HEIBAL M, et al. Seismic and geotechnical investigations following a rock burst in a complex french mining district[J]. International Journal of Coal Geology, 2005, 64: 66-78.
- [9] 潘立友. 深井冲击地压及其防治[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1997: 20-22.
- [10] 王本强. 构造应力下坚硬底板冲击地压机理分析[J]. 煤炭科技, 2009(1): 79-83.
WANG Ben-qiang. Analysis on mechanics of rock burst in hard floor under tectonic stress[J]. Coal Science and Technology Magazine, 2009(1): 79-83.
- [11] 徐方军, 毛德兵. 华丰煤矿底板冲击地压发生机理[J]. 煤炭科学技术, 2001, 29(4): 41-45.
XU Fang-jun, MAO De-bing. The Hua Feng coal mine mechanism floor burst[J]. Coal Science and Technology 2001, 29(4): 41-45.
- [12] 任连伟, 张征锋, 刘希亮. 卸压槽布设位置对井壁受力影响的试验研究[J]. 煤炭科学技术, 2006, 34(6): 61-63.
REN Lian-wei, ZHANG Zheng-feng, LIU Xi-liang. Test and research on layout location of pressure releasing slot influenced to stress of mine shaft lining[J]. Coal Science and Technology, 2006, 34(6): 61-63.
- [13] 杨青松, 高明仕, 刘波涛, 等. 高应力巷道底板卸压槽防治底鼓的机理研究及实践[J]. 煤炭工程, 2011(8): 69-71.
YANG Qing-song, GAO Ming-shi, LIU Bo-tao. Study and practices on floor heave prevention and control mechanism with pressure releasing slot in floor of mine high stressed roadway[J]. Coal Engineering, 2011(8): 69-71.
- [14] 高明仕, 窦林名, 张农, 等. 冲击矿压巷道围岩控制的强弱力学模型及其应用分析[J]. 岩土力学, 2008, 29(3): 359-364.
GAO Ming-shi, DOU Lin-ming, ZHANG Nong. Strong-soft-strong mechanical model for controlling roadway surrounding rock subjected to rock burst and its application[J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, 29(3): 359-364.
- [15] 刘鸿文. 材料力学[M]. 4版. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [16] 陈国祥. 最大水平应力对冲击矿压的作用机制及其应用研究[D]. 徐州: 中国矿业大学矿业工程学院, 2009.
- [17] 单晓云, 梅海斌. 在构造应力场中采动对底板运输巷道稳定性的影响[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(12): 2101-2106.
SHAN Xiao-yun, MEI Hai-bin. Mining-induced influences on stability of floor haulage roadway in tectonic stress field[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(12): 2101-2106.