

徐连满,潘一山,李忠华,等. 人工调控围岩防冲减振数值研究[J]. 煤炭学报, 2014, 39(5): 829-835. doi:10.13225/j.cnki.jccs.2013.0595

Xu Lianman, Pan Yishan, Li Zhonghua, et al. Numerical research on surrounding rock rockburst prevention and damping by artificial regulation[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(5): 829-835. doi:10.13225/j.cnki.jccs.2013.0595

人工调控围岩防冲减振数值研究

徐连满,潘一山,李忠华,李国臻,曾祥华

(辽宁工程技术大学 力学与工程学院, 辽宁 阜新 123000)

摘要:煤矿冲击地压产生的冲击应力波由围岩介质向巷道表面传播,强烈应力波作用致使支护结构严重破坏甚至失效。采用水力割缝、爆破、锚固以及注浆等人工调控技术,改变巷道附近围岩体物理力学性质,形成不同强度的层状结构,使其成为优良耗能体,增强衰减和散射冲击应力波能力,进而减少对支护结构的破坏。利用 ANSYS/LS-DYNA 非线性显式动力学有限元程序,模拟5种不同人工调控结构类型对耗散冲击应力波的影响。研究结果表明:当巷道附近围岩结构整体强度均匀时,其耗能性能较弱,冲击应力波作用使得巷道剧烈振动,支护结构受到强烈冲击力作用容易发生破坏;采用人工调控技术手段,围岩体形成不同强度的层状结构,具有较强的耗散冲击能作用,大幅度降低冲击应力波振动频率和幅值,支护结构受到冲击作用力明显降低,整体稳定性得到提高。人工调控围岩技术可有效降低冲击地压的振动作用和冲击应力波的强度。

关键词:人工调控;支护围岩;防冲减振;冲击应力波;耗能

中图分类号:TD325

文献标志码:A

文章编号:0253-9993(2014)05-0829-07

Numerical research on surrounding rock rockburst prevention and damping by artificial regulation

XU Lian-man, PAN Yi-shan, LI Zhong-hua, LI Guo-zhen, ZENG Xiang-hua

(School of Mechanics and Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: The shockwave generated by rock burst in coal mine spreads from the surrounding rock to the surface of roadway. Supporting structure suffered severe damage and even failure under the action of the strong stress waves. Adopting hydraulic slotting, blasting, anchoring, grouting and other artificial regulation measures, changing the physical and mechanical properties of roadway surrounding rock near the layered structure, forming the layered structure with different strength can enhance the ability that the surrounding rock attenuates and scatter to the shockwave, thereby reducing the bracing structure damage. In this paper, by applying the ANSYS/LS-DYNA nonlinear explicit dynamic finite element program, simulated 5 different structure types of artificial regulation of stress wave to reveal the effects on dissipative shock. The results show that: when the overall strength of roadway surrounding rock is uniformity, the energy dissipation is weak, impact stress wave makes the roadway vibrate violently, supporting structure will be destroyed for the strong impact force; by applying artificial regulation technology, layered rock is formed with different stratified structure, getting the strong energy dissipation capacity, greatly reducing the impact stress wave vibration frequency and amplitude, supporting structures subjected to impact force decrease obviously, improves the global stability. The artificial regulation of surrounding rock technology effectively reduce the impact pressure vibration and impact

stress wave intensity.

Key words: artificial regulation; support and surrounding rock; bumper damping; shock wave; energy dissipation

煤矿冲击型动力灾害是采矿工程主要灾害之一,随着煤炭资源开采深度的日趋增加,冲击型动力灾害发生频次和破坏程度也愈加强烈,释放更大的冲击能。冲击能以冲击波的形式向外释放,在冲击波作用下,煤岩介质发生强烈震动,造成巷道片帮、冒顶和垮塌,支护结构整体失稳^[1],机械设备倾翻、破坏,甚至人员伤亡等事故,严重影响煤炭资源安全生产和人民生命安全。

目前的支护理论主要从静力学角度考虑,通过提高围岩和支护体强度,约束围岩变形,改善围岩应力状态^[2-4]。随着采深增大,动力灾害形成的高强冲击荷载,沿着煤岩体传播到巷道支护,强烈的冲击载荷远高于支护结构的最大工作阻力^[5-7],致使支护结构破坏,并引起巷道高速振动,最终导致支架失稳破坏、巷道坍塌、人员伤亡。

巷道围岩中的破碎煤岩体,是一种复杂的非平衡态能量耗散体系^[8],具有散射、吸收以及延时冲击波的性能,可降低冲击波的振幅,及质点振动速度。因此破碎煤岩体可使冲击波作用在支架上的速度减缓,幅值减低,消耗冲击能,降低冲击波对支架的冲击强度,起到耗能防冲作用。本文从围岩自身耗能防冲特性角度考虑,采用水力割缝、锚固以及注浆等人工技术调控围岩物理力学性质,使围岩具有更强的吸能耗能能力,大幅增强围岩的防冲能力,降低冲击波对巷道支架的冲击破坏,减小甚至避免冲击地压对巷道的破坏。

1 巷道围岩耗能防冲机理

1.1 围岩对冲击波的衰减与耗散

(1) 围岩破碎煤岩体耗能。

塑性破碎区煤岩块体组成的耗能结构,在高速冲击载荷作用下,被压缩并发生塑性变形,吸收大量冲击能^[9],并可在空间上散射冲击波,降低局部冲击波的强度^[10]。塑性破碎区煤岩耗能结构的耗能大致可分为以下几个方面:空间散射耗能 E_1 ,冲击波在低强度塑性破碎区煤岩体中传播,将向周围空间散射,在空间上不断扩展,降低冲击强度^[11];块体松散作用耗能 E_2 ,冲击波通过塑性破碎区煤岩体介质传播过程中,时间效应导致波幅衰减,波速减低,介质质点振动速度降低,质点振动周期增大;塑性破碎区煤岩块体旋转耗能 E_3 ,在冲击波作用下,塑性破碎区煤岩块体会发生旋转,将部分冲击能转化为旋转动能 E_3 。

(2) 冲击波在围岩中反射耗能。

巷道附近围岩在支护阻力及地应力作用下,会形成不同强度的区域,这些区域中的煤岩介质力学性质及密度不同,由于介质波阻抗不匹配,冲击波便会在这些区域的交界面产生透反射现象^[12-14]。当冲击波从塑性破碎区传入弹性区时,将产生反射现象,透射过去的冲击波峰值将减小,其波形也将产生弥散,即削弱了向巷道中传递的冲击波的能量,冲击波反射耗能为 E_4 。

根据以上分析可知,围岩中破碎煤岩块体组成的耗能体系的耗能总量为

$$E_d = E_1 + E_2 + E_3 + E_4$$

1.2 围岩耗能防冲机理

冲击型动力灾害发生时,进入到塑性区的能量为 E ,这部分能量将转化为煤岩体动能 E_k 、储存于煤岩体中的弹性势能 E_p 和围岩耗散的能量 E_d ,其中动能和弹性势能将沿着围岩传递到巷道表面,并作用于支架上,根据能量守恒原理可知:

$$E = E_k + E_p + E_d$$

由上式可以看出,要降低冲击波作用在支架上的冲击载荷,必须增大围岩的耗能 E_d 。可采用水力割缝、锚固以及注浆等人工调控围岩技术,对围岩进行人工调控,使围岩部分区域破碎以降低其强度,形成高低强度交替的围岩区域,增加围岩的耗能 E_d ,从而降低冲击波作用在支护上的载荷,保证支护结构的稳定性,提高巷道的安全性能。

2 数值计算模型的建立

采用显式动力有限元分析程序 ANSYS / LS-DYNA 进行数值模拟研究。为研究围岩的防冲减振性能,建立 $40\text{ m} \times 40\text{ m} \times 6\text{ m}$ 模型,利用结构的对称性取 $1/2$ 模型计算。为简化计算,模型假设为连续、各向同性的均质煤岩体,模型边界设为无反射边界条件,在煤岩体模型中间位置建立半径 2 m 的巷道,冲击源采用炸药爆炸产生的高强冲击波,模拟一次强冲的灾害性冲击地压,冲击源释放的能量高达 56 MJ ,距离巷道 15 m 。在支护左右两侧及上方布置 3 个测点,在冲击源处布置 1 个测点,共计 4 个监测点,建立模型尺寸及测点如图 1 所示,有限元模型如图 2 所示。

炸药单元选用 MAT_HIGH_EXPLOSIVE_BURN 模型,用 JWL 状态方程描述爆炸过程压力、内能及相

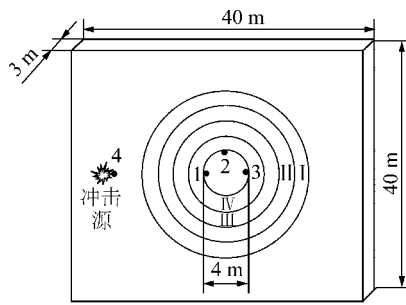


图1 模型尺寸及测点示意

Fig. 1 Size and measuring points schematic diagram of the model

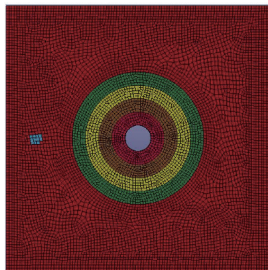


图2 有限元模型

Fig. 2 The finite element model

对体积的关系,对炸药采用 ALE 算法。煤岩体及支护结构选用塑性动力学模型 MAT_PLASTIC_KINEMATIC 模型^[15],各材料力学参数见表 1。

表 1 材料参数取值

Table 1 Material parameter values

材料	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模 量/MPa	泊松比	抗压强 度/MPa	切线模 量/MPa
原煤	1 350	4 800	0.30	20	200
碎煤	1 300	100	0.38	6	10

巷道内采用金属支架支护,巷道围岩分为 I, II, III, IV 共 4 个区域,通过改变各区域煤岩的物理力学参数,模拟人工调控后具有防冲耗能减振功能的围岩。本文模拟 5 种不同性质的围岩,进行对比分析,研究在不同性质的耗能减振围岩条件下,冲击波对巷道支护的冲击压力及对巷道支护结构振动情况,这 5 种条件分别为

(1) I, II, III, IV 区煤岩体均为岩性完整,无破碎的围岩。

(2) I, II, III, IV 区煤岩体均为使用人工技术完全破碎的围岩。

(3) II, III, IV 区煤岩完整无破碎, I 区采用人工技术破碎的围岩。

(4) III, IV 区煤岩完整无破碎, I, II 区采用人工技术破碎的围岩。

(5) II, IV 区煤岩完整无破碎, I, III 区采用人工技术破碎的围岩,形成软硬层交替的围岩。

为了实现以上数值模拟的 5 种条件下的围岩结构,可利用锚杆锚索锚固、注浆锚固、水力割缝以及毫秒爆破等人工调控技术进行调控,具体实施方式为:首先对巷道附近塑性区围岩采用全长注浆锚杆锚索锚固等围岩加固技术进行加固,使其峰值强度和残余强度接近甚至超过原岩应力区无破损煤岩体强度^[16-17],实现条件 1 的围岩状态;在条件 1 的围岩加固基础上,采用深孔毫秒爆破或水力割缝技术,对巷道围岩深处 I, II 区进行爆破或水力破碎,可实现巷道围岩内部深处煤岩体破碎,巷道附近围岩由于在注浆锚杆锚索等作用下,整体近似于无破碎煤岩体,实现条件 3, 4 的围岩状态;在条件 1 的围岩加固基础上,采用深孔毫秒爆破或水力割缝技术,对巷道围岩深处 I 区进行爆破或水力破碎,采用水力割缝技术,对巷道围岩深处 III 区进行水力破碎, II, IV 区在注浆锚杆锚索等作用下,视为完整区,实现条件 5 的围岩状态;采用深孔毫秒爆破技术,可实现条件 2 的围岩状态。

3 模拟结果分析

3.1 冲击压力的衰减

冲击源处 4 号测点的冲击压力如图 3 所示,爆炸产生的冲击波为一脉冲波,可将其等效为冲击型动力灾害的冲击源,其冲击压力峰值为 369.22 MPa。

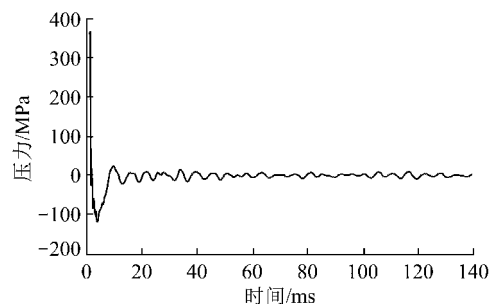


图3 4号测点压力-时程曲线

Fig. 3 The pressure-time curve of the No. 4 measuring point

不同围岩结构条件下,冲击波对巷道金属支护 1~3 号测点的冲击压力峰值以及冲击力经围岩煤岩介质衰减后的衰减率(冲击源处冲击压力峰值与作用在巷道围岩金属支护冲击压力最大值的比值)见表 2, 1 号测点的冲击压力时程曲线,如图 4 所示。

从模拟结果可以看出,在第 1 种实验条件下,冲击源处冲击压力经无破碎煤岩体传递到巷道支架上,对支架产生冲击较大,靠近冲击源的 1 号测点冲击压力最大值高达 156.34 MPa,该时刻巷道周围围岩与

表 2 巷道支护测点压力峰值及冲击压力衰减率

Table 2 Peak pressure and impact pressure attenuation rate of the measuring points

围岩 性质	压力峰值/MPa			冲击压力 衰减率/%
	1 号	2 号	3 号	
1	156.34	134.17	143.19	42
2	176.31	56.24	33.30	48
3	56.74	42.00	38.87	15
4	54.57	30.94	45.84	15
5	28.95	19.05	22.27	8

支架受到的冲击压力云图如图 5(a) 所示, 支架 3 个测点的最大冲击压力值基本接近, 远高于支架的额定工作阻力。从中可见, 煤岩体可耗散部分冲击能, 经无破损煤岩介质的耗散作用, 最大冲击压力降低了约 58%。从图 4(a) 中可以看出, 经过围岩体的耗散, 冲击源处脉冲冲击波到达支架时, 已经衰减成应力波, 但残余的冲击压力仍然较大, 且反复拉压, 破坏支架, 不能满足巷道防冲要求。

在第 2 种实验条件下, 1 号测点冲击压力最大值高达 176.31 MPa, 而 2、3 号测点冲击压力最大值仅

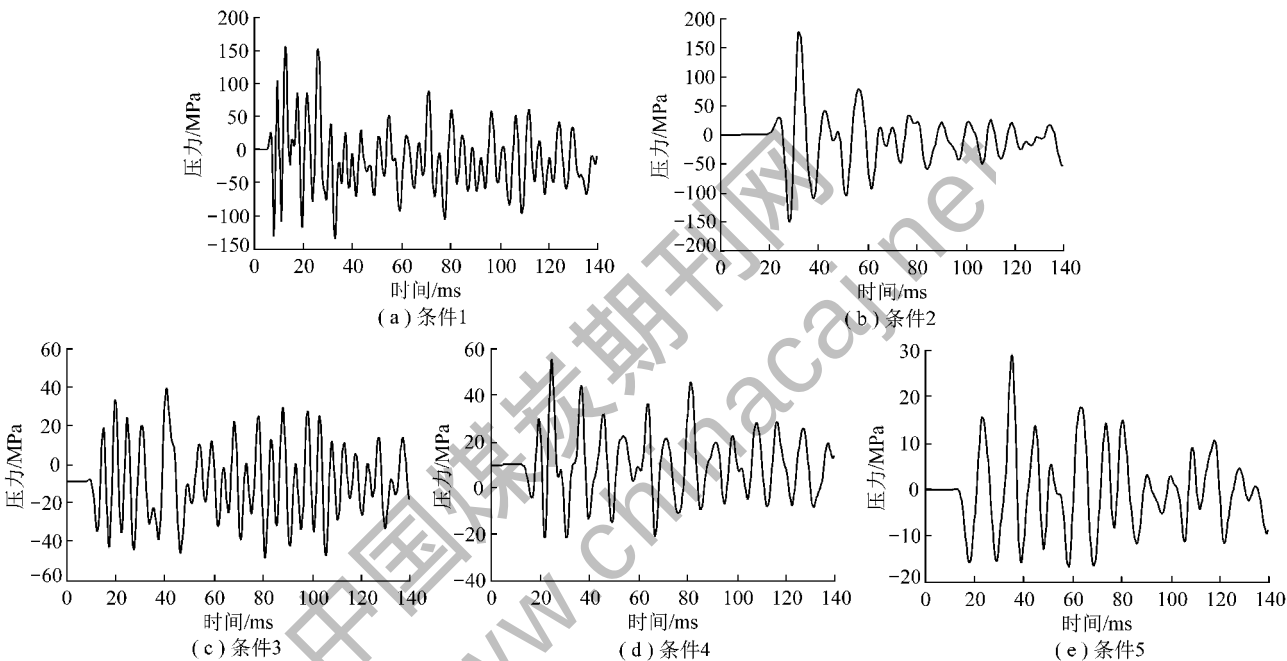


图 4 1 号测点压力-时程曲线
Fig. 4 The pressure-time curves of the No. 1 measuring point

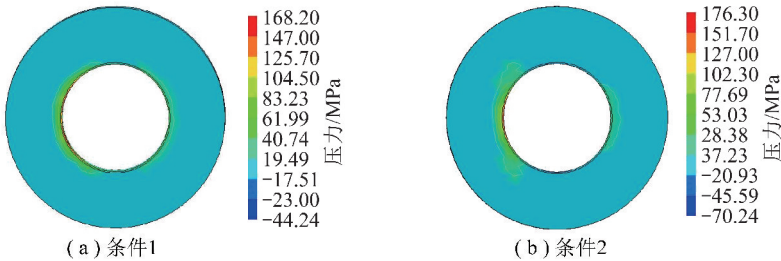


图 5 巷道附近围岩与支架压力云图
Fig. 5 Pressure cloud images of the stent and the surrounding rock near roadway

为 56.24 MPa 和 33.30 MPa, 3 个测点的冲击压力值相差很大, 该时刻巷道周围围岩与支架受到的冲击压力云图如图 5(b) 所示, 可以看出, 靠近冲击源处的支架压力很大。由此可见低强度破碎煤岩体虽然能够降低支架部分位置的冲击压力, 但是由于破碎煤岩体的承载能力较低, 且具有一定的流动性, 不能在支架外围有效的分散冲击压力, 导致距冲击源最近的 1 号

测点处压力过大, 所以使用锚杆对巷道表面围岩进行加固, 对防冲支护结构来说是十分必要的^[10]。从图 4(b) 可以看出, 冲击压力到达支架的时间较第 1 种条件要延后 15 ms 左右, 且只有一个大的压力峰值, 说明破碎煤岩体可降低冲击波的传播速度, 吸收部分冲击能, 降低冲击压力反复作用于支架的频率, 但 1 号测点冲击压力值过大, 将破坏支架, 损坏巷道。

从第3,4种条件下模拟结果对比可以看出,围岩内部存在破碎区域时,支架受到冲击压力大幅降低,冲击压力值最大的1号测点处,较1,2两种条件下支架受到的最大冲击压力降低约2/3,且支架各测点的冲击压力值相差不大。由表2及图4(c),(d)可以看出,低强度破碎区的厚度改变对支架受到冲击压力的衰减并不是太明显,但破碎区的厚度增加,可以降低冲击压力作用于支架上的频率,避免支架因冲击压力反复作用产生疲劳破坏。第5种条件下1号测点压力-时程曲线如图4(e)所示,对比以上几种条件分析可见,冲击压力的衰减,主要靠围岩介质对冲击波的反射,围岩中软硬层交替层数越多,即围岩中形成的反射面越多,冲击压力衰减的就越大。在第5种实验条件下,即围岩中产生两个反射面时,最大冲击压力

降低至28.95 MPa,较冲击源处冲击压力降低了80%多,可以满足防冲要求。

3.2 冲击动能的损耗

冲击型动力灾害产生的危害,除了冲击压力破坏巷道支架,造成巷道坍塌外,还有其产生的强烈冲击振动,会将巷道内的人员及设备弹起,造成人员伤亡和设备损坏。所以对冲击型动力灾害的防治,不但要降低支架受到的冲击压力,还要减小巷道支护结构的冲击动能。

图6为模拟的5种不同围岩结构条件下,巷道支架受到的最大冲击动能。支架受到的最大冲击动能占冲击地压释放总能量的比值,以及条件2~5下巷道支护受到的冲击动能与条件1下巷道支护受到的冲击动能的比率见表3。

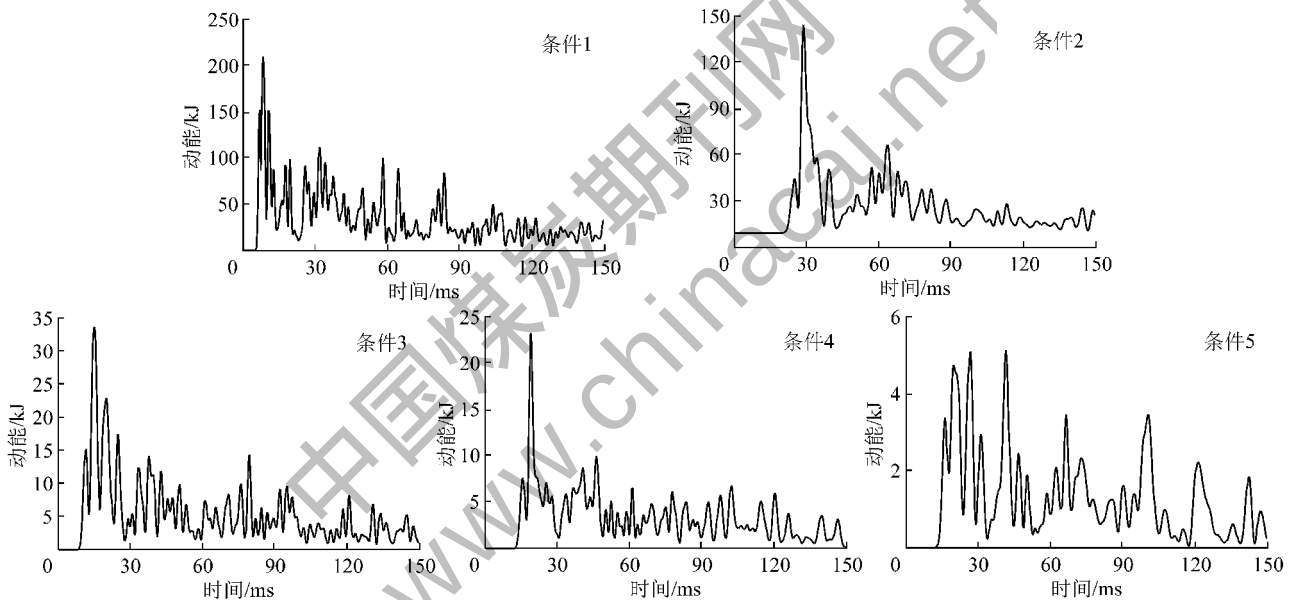


图6 不同围岩条件下支架的动能-时程曲线

Fig. 6 The kinetic energy-time curves of the stent in different surrounding rock conditions

表3 巷道支护受到的冲击动能

Table 3 The impact kinetic energy that roadway supporting receives

围岩性质	支架最大冲击动能/kJ	支架最大冲击动能与总能量比值	支架最大冲击动能与条件1冲击动能比率/%
1	210.0	37.5×10^{-4}	100
2	140.0	25.0×10^{-4}	66.7
3	33.0	58.9×10^{-5}	15.7
4	24.0	44.6×10^{-5}	11.4
5	5.1	91.1×10^{-6}	2.4

从图6中可以看出,围岩在第1种条件下,支架获得的冲击动能最大值高达210 kJ,在整个冲击过程

中,振动频率频繁、幅值较大;围岩在第2种条件下,支架获得的冲击动能最大值为140 kJ,与第1种条件相比,最大冲击动能减低33.3%,且振动频率明显减少,幅值降低。由此可以看出,破碎煤岩体具有很好的减振性能,但单纯依靠破碎煤岩体自身耗能,还达不到防冲减振要求。对比3,4两种围岩条件下支架获得的冲击动能,可以看出,破碎区厚度增加,支架获得的冲击动能所有降低,但降低幅度不大,但是可以降低最大冲击过后的支架后续振动频率和幅值。第5种条件下支架获得的最大冲击动能只有5.1 kJ,仅为第1种条件下支架获得的最大冲击动能的2.4%,综合5种不同围岩条件下支架获得的冲击动能,对比可以看出,冲击动能的损耗,主要依靠两不同物理力

学性质煤岩的交界面对冲击波的反射,围岩中形成的反射面越多,传递到支架上的能量就越小。

4 结 论

(1)围岩塑性破碎区是由大量破碎煤岩体构成的一个非平衡态的能量耗散体系,对通过其中的冲击波具有散射、吸收以及延时冲击波等耗能功能,可降低冲击地压对支架的冲击速度和幅值,提高巷道支护体系的防冲性能。

(2)围岩煤岩体中物理力学性质不同的围岩结构交界面可反射冲击波,大幅降低支架受到的冲击压力和冲击动能,破碎煤岩体具有较强的缓冲能力,降低冲击过程中支架的振动频率和幅值。

(3)利用 ANSYS/LS-DYNA 非线性显式动力学有限元程序,分析了5种不同围岩条件下,破坏性冲击地压对巷道支护的冲击压力及对巷道支护结构振动情况,研究结果表明破碎煤岩体具有很好的耗能减振性能,围岩中软硬层交替层数越多,即围岩中形成的反射面越多,冲击压力衰减的就越大。

(4)围岩自巷道表面形成具有“硬-软-硬-软”4层不同性质围岩的耗能防冲结构时,作用于支架的冲击压力峰值衰减为冲击源处压力峰值的8%,支架受到的冲击动能峰值与冲击地压释放总能量的比值仅为 91.1×10^{-6} ,可保护支架免受冲击破坏,达到防冲要求。

(5)在整个耗能分析过程中,未考虑破碎煤岩块体之间的非弹性碰撞和滑动摩擦,而破碎煤岩结构中的耗能主要是以块体之间的非弹性碰撞和滑动摩擦为主,因此经过调控后的围岩耗能防冲减振性能会比该数值模拟的防冲减振效果更好。

参考文献:

- [1] 李建功,康建宁,刘 红,等.地震波在巷道弹塑性围岩中传播规律的数值模拟研究[J].煤炭学报,2011,36(S2):282-286.
Li Jiangong, Kang Jianning, Liu Hong, et al. Numerical simulation on propagation laws of seismic wave in elastoplastic tunnel rock medium [J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(S2): 282-286.
- [2] 蓝 航,杜涛涛,彭永伟,等.浅埋深回采工作面冲击地压发生机理及防治[J].煤炭学报,2012,37(10):1618-1623.
Lan Hang, Du Taotao, Peng Yongwei, et al. Rock-burst mechanism and prevention in working face of shallow buried coal-seam [J]. Journal of China Coal Society, 2012, 37(10): 1618-1623.
- [3] 王金华.我国煤巷锚杆支护技术的新进展[J].煤炭学报,2007,32(2):113-118.
Wang Jinhua. New development of rock bolting technology for coal roadway in China [J]. Journal of China Coal Society, 2007, 32(2): 113-118.
- [4] 康红普,王金华,林 健.煤矿巷道支护技术的研究与应用[J].煤炭学报,2010,35(11):1809-1814.
Kang Hongpu, Wang Jinhua, Lin Jian. Study and applications of roadway support techniques for coalmines [J]. Journal of China Coal Society, 2010, 35(11): 1809-1814.
- [5] 吕祥锋,潘一山,李忠华,等.炸冲击载荷作用下吸能支护巷道变形规律研究[J].岩土工程学报,2011,31(8):1222-1226.
Lü Xiangfeng, Pan Yishan, Li Zhonghua, et al. Law of roadway deformation of energy absorbing support under explosive loading [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011, 31(8): 1222-1226.
- [6] 吕祥锋,潘一山.刚柔耦合吸能支护煤岩巷道冲击破坏相似试验与数值计算对比分析[J].岩土工程学报,2012,34(3):477-482.
Lü Xiangfeng, Pan Yishan. Simulation and numerical analysis of impact failure law of coal roadway under rigid-flexible energy absorbing support [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2012, 34(3): 477-482.
- [7] 吕祥锋,潘一山,唐巨鹏,等.煤巷与支护相互作用的冲击破坏试验与数值分析[J].岩土力学,2012,33(2):604-610.
Lü Xiangfeng, Pan Yishan, Tang Jupeng, et al. Similar material simulation test and numerical analysis of impact damage law of roadway under interaction between coal and support [J]. Rock and Soil Mechanics, 2012, 33(2): 604-610.
- [8] 李顺迎,李鹏飞,陈晓东.冲击载荷下颗粒物质缓冲性能的试验研究[J].物理学报,2012,61(18):1-7.
Li Shunying, Li Pengfei, Chen Xiaodong. Experiments on shock-absorbing capacity of granular matter under impact load [J]. Acta Physica Sinica, 2012, 61(18): 1-7.
- [9] 潘一山,吕祥锋,李忠华.吸能耦合支护模型在冲击地压巷道中应用研究[J].采矿与安全工程学报,2011,28(1):6-10.
Pan Yishan, Lü Xiangfeng, Li Zhonghua. The model of energy-absorbing coupling support and its application in rock burst roadway [J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2011, 28(1): 6-10.
- [10] 孙业志.振动场中散体的动力效应与分形特征研究[D].长沙:中南大学,2002.
Sun Yezhi. Study on granular dynamic effect and fractal characteristic under vibration [D]. Changsha: Central South University, 2002.
- [11] 蒋红英,鲁进步,慕青松.散粒体结构中振动能量衰减的模型建立[J].四川建筑科学研究,2013,39(1):130-132.
Jiang Hongying, Lu Jinbu, Mu Qingsong. Vibration energy attenuation model in granular structure [J]. Sichuan Building Science, 2013, 39(1): 130-132.
- [12] 赵 凯.分层防护层对爆炸波的衰减和弥散作用研究[D].合肥:中国科学技术大学,2007.
Zhao Kai. The attenuation and dispersion effects on explosive wave of layered protective engineering [D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2007.
- [13] 吕祥锋,潘一山.刚-柔-刚支护防治冲击地压理论解析及实验研究[J].岩石力学与工程学报,2012,31(1):52-59.
Lü Xiangfeng, Pan Yishan. Theoretical analysis and experimental research on rockburst prevention mechanism of rigid-flexible-rigid supporting structure [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and

- Engineering, 2012, 31(1): 52-59.
- [14] 高明仕, 窦林名, 张 农. 冲击矿压巷道围岩控制的强弱强力学模型及其应用分析[J]. 岩土力学, 2008, 29(2): 359-364.
Gao Mingshi, Dou Linming, 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(2): 359-364.
- [15] 孙惠香, 许金余. 爆炸荷载作用下地下结构与围岩动力相互作用研究[J]. 土木工程学报, 2011, 44(S): 148-151.
Sun Huixiang, Xu Jinyu. Dynamic action study between structure and rock of underground structure subjected to blast load[J]. China Civil Engineering Journal, 2011, 44(S): 148-151.
- [16] 穆朝民, 齐 娟. 锚固硐室在爆炸波作用下的损伤机理[J]. 煤炭学报, 2011, 36(S2): 391-395.
Mu Chaomin, Qi Juan. Study on the damage of the underground cavern caused by blasting waves[J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(S2): 391-395.
- [17] 勾攀峰, 侯朝炯. 锚固岩体强度强化的实验研究[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2000, 23(3): 35-39.
Gou Panfeng, Hou Chaojiong. The study on the testing of strengthening the bolted rock body strength[J]. Journal of Chongqing University(Natural Science), 2000, 23(3): 35-39.

煤炭科技规范名词与废弃名词比对(3)

专 业	规范名词	废弃名词	含 义
矿井建设	爆炸材料库	火药库	经主管部门批准,按专门规定设计建造的,用以存放炸药、雷管等爆炸材料的建筑物或构筑物,包括地面爆炸材料库、地下爆炸材料库和井下爆炸材料库。
	掘进断面	毛断面	井巷掘进时开挖的符合设计要求的横断面。
	冻结壁	冻土墙	用制冷技术在井筒周围地层中形成的,有一定厚度、深度和强度的封闭冻结圈。
	冻结壁形成期	积极冻结期	从开始冻结至达到冻结壁的设计要求的时间。
	冻结壁维持期	消极冻结期	冻结壁形成后,为维持其设计要求,继续向冻结器输送冷媒剂的时间。
	卸矸台	翻矸台	开凿立井时,专为吊桶卸矸、在井口上方设置的结构物。
	吊架	吊罐	在立井井筒已安好罐道梁时,专门用作罐道安装和人员升降的框架结构物。
	穿尖碛岔	象鼻子碛	拱高不变的碛岔。
	砌碛	发碛	构筑拱碛的作业。
	煤矿许用炸药	煤矿炸药 安全炸药	经主管部门批准,符合国家安全规程规定、允许在有瓦斯和(或)煤尘爆炸危险的煤矿井下工作面或工作地点使用的炸药。
	硝酸铵类炸药	硝安炸药 硝铵炸药	以硝酸铵为主,加油可燃剂或再加敏化剂(硝化甘油除外)、可用雷管起爆的混合炸药。
	胶质炸药	胶质代那买特	以硝酸盐和胶化的硝化甘油或胶化的爆炸油(硝化甘油和硝化乙二醇或硝化二乙二醇的混合物)为主要组分的胶状硝化甘油类炸药。
	铵梯炸药	硝铵炸药 硝安炸药	以梯恩梯为敏化剂的硝酸铵类炸药。
	猛炸药	高级炸药 烈性炸药	在较大外界能量作用下才能起爆,利用爆轰释放出来的能量对周围介质作功的炸药。
	黑火药	黑药	由硝酸钾、硫黄和木炭组成的混合物。