

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2017.04.011

不同炮孔堵塞材料对矿山露天爆破效果的影响^{*}

雷海鑫

新疆天池能源有限责任公司(新疆昌吉,831100)

[摘 要] 通过矿山目前采用的单一材料堵塞的冲孔分析,利用控制变量法和对比分析法,定性研究炮孔中应力和时间的变化规律,结合现场爆破试验,将炮孔堵塞分6种情况进行试验研究,最终得出:混合材料的炮孔堵塞相比单一材料的炮孔堵塞,具有抗剪强度高、炸药能量在炮孔中作用时间长和炸药做功能力增大等特点。现场混合材料堵塞能有效地降低冲孔现象的发生,提高炸药利用率和减少炮孔上部大块的产生。

[关键词] 炮孔堵塞;冲孔;混合材料;应力变化;作用时间

[分类号] O643.2⁺23;TD235.2;TJ510.4

Effect of Blocking Materials of Blast Hole on Open Blasting of Mine

LEI Haixin

Xinjiang Tianchi Energy Sources Co., Ltd. (Xinjiang Changji, 831100)

[ABSTRACT] Conventional single blocking material is used in blast hole in mine blasting, which could result in punching phenomenon. Variable control method and contrast analysis method were used to qualitatively analyze the correlation of stress and time in blast holes. In blasting test, blast holes were blocked by six scenarios, and it was obtained that mixed material using in blast hole has the highest anti-cut strength, the longest action time for energy of explosives in holes, and the strongest work capacity. Mixed material used as blocking materials could effectively reduce the occurrence of punching, increase utilization and reduce hole upper block.

[KEYWORDS] blast hole plugging; punched hole; mixed material; stress change; time of action

引言

矿山露天爆破的炮孔采取有效堵塞措施可提高爆破效率,改善爆破效果。炮孔堵塞的作用为:一方面,保证炮孔内炸药充分反应,将炸药化学能以最大程度转化为机械能;另一方面,降低爆生气体温度和压力的逸出,提高炸药的热效率,使更多的热能转化为机械功,提高炸药能量的利用率^[1]。延长爆生气体在炮孔中存在的时间以及增加爆炸应力波对岩石作用的时间,对于改善矿山爆破现状、减少大块率^[2-3]、降低企业成本以及事故的发生有很大的研究意义。

1 现场炮孔堵塞现状

芸红岭矿山属于露天石灰石矿,爆破采用2[#]岩

石乳化炸药,直径为120 mm,现场炮孔直径152 mm,孔深平均为13 m,孔网参数孔距平均为6 m、排距为4 m,炮孔上部堵塞长度为3.0~3.5 m。现场装药采用不耦合空气间隔结构,矿山炮孔堵塞材料为石灰石钻屑,爆破过程中长期存在冲孔现象,造成炮孔上部的大块率较高。

石灰石粉具有颗粒小、密度小、内聚力小的特点,堵塞材料与炮孔孔壁之间摩擦力小,炸药产生的能量作用于炮孔中的时间短,炸药能量损失大,造成严重的冲孔现象,冲孔高度达3~30 m,可导致严重的爆破危害。

不合理炮孔堵塞材料造成的冲孔现象见图1。

不合理炮孔堵塞材料造成冲孔的爆破孔网参数:排距为4 m、孔距为6 m,炮孔深度为15.5 m,属于露天深孔爆破,炮孔堵塞长度是3.5 m,冲孔高度达20 m,冲孔造成大量飞石,飞石距离达100 m,存在严重的安全隐患。

^{*} 收稿日期:2016-10-17
作者简介:雷海鑫(1994-),男,学士,技术员,研究方向是地质勘查。E-mail:lhxyanjiu@126.com



图1 冲孔现象

Fig. 1 Punching phenomenon

2 炮孔堵塞分析

2.1 冲孔能量

通过控制变量和批分析的方法,进行现场炮孔中应力和时间的定性变化分析。炸药产生的能量以冲击波和爆生气体形式释放,最终转化为岩体机械能(E_1)、裂隙损失能(E_2)和炮孔溢出能量(E_3)3大部分^[4],通过现场试验和采集数据,得出

$$E = E_1 + E_2 + E_3. \quad (1)$$

式中: E 为炸药产生的总能量。

炮孔溢出能量主要以冲孔的形式释放,假设炮孔堵塞材料为一整体,运动分3个阶段,分别是开始移动、刚冲出炮孔和运动到最高点^[4]。堵塞材料的受力情况见图2。图2中, p 为炸药能量作用于堵塞材料的压力; f 为堵塞材料与孔壁的摩擦力; G 为堵塞材料自身重力; $F_{内}$ 为堵塞材料的抵抗剪切破坏的内聚力; ds 为炸药能量产生的瞬间压缩距离。

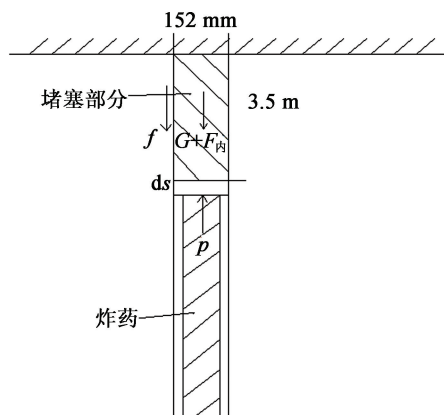


图2 堵塞材料受力分析

Fig. 2 Stress analysis of blocking materials

第1阶段:开始移动。炸药能量作用于堵塞材料的瞬间,堵塞材料整体保持静止,但作用力引起堵塞材料的压缩,压缩距离为 ds ,则第1阶段的炮孔溢出能量为:

$$dE'_3 = f \times ds + p \times ds \times 0.12. \quad (2)$$

式(2)为瞬间压缩距离内产生的能量 dE'_3 ,对式(2)积分,则得出第1阶段溢出能量 E'_3 :

$$E'_3 = \int (f + 0.12p) ds. \quad (3)$$

炸药能量作用于堵塞材料的瞬间产生的损失能量极小,忽略不计。

第2阶段:刚冲出炮孔。堵塞材料冲出炮孔的瞬间是一个整体性运动。堵塞材料冲出炮孔的瞬间,即堵塞材料最底边到达孔口,由于堵塞材料具有一定的孔隙,在堵塞材料运动过程中产生爆生气体的泄漏,则第2阶段的炮孔溢出能量 E''_3 为:

$$E''_3 = \frac{1}{2}mv^2 + \int mg(3.5 - ds) + E_{损1} + \int f(3.5 - ds). \quad (4)$$

式中: m 为堵塞材料的质量; g 为物体重力加速度; v 为冲出炮孔的瞬时速度; $E_{损1}$ 为炸药产生的能量作用于堵塞材料时沿堵塞材料孔隙的能量泄漏,此阶段经历时间极短,堵塞材料运动可看做匀速运动^[5]。

第3阶段:运动到最高点。堵塞材料冲出炮孔后失去整体性,按照各自的轨道运动到最高点,炸药能量大量损失在空气中,炮孔溢出能量 E'''_3 为:

$$E'''_3 = \sum m_i h_i g + E_{损2}. \quad (5)$$

式中: m_i 为冲出炮孔的堵塞材料质量; h_i 为对应堵塞材料冲出炮孔的高度; $E_{损2}$ 为堵塞材料运动至最高点时损失于大气中的能量。

3个阶段炮孔溢出能量的总和则为整个爆破过程中炮孔溢出能量。炸药产生的能量主要以爆生气体的形式作用于炮孔,在炮孔中作用时间越长,则作用于岩体的炸药能量越大,能量利用率越高。通过式(3)、式(4)、式(5)得出,增大堵塞材料的自身质量、堵塞材料与孔壁的摩擦以及堵塞材料内聚力,能有效地增大爆生气体作用于炮孔的时间,减少能量的损失。

2.2 冲孔时间

冲孔时间延迟得越长,则炸药在炮孔中的作用时间越长,能量利用率越高,在炸药量、堵塞长度和孔壁质量情况一致的条件下,影响冲孔时间的因素主要是堵塞材料的自身属性,包括质量、内聚力、抗剪强度等。

通过现场做试验,利用感应压力表和秒表记录在有堵塞和无堵塞两种情况下炮孔的压力和冲孔时间,得出炮孔压力随时间的变化规律,见图3^[6-7]。

炮孔压力由炸药爆炸产生的爆生气体引起,有堵塞炮孔的压力明显大于无堵塞炮孔;同时,作用时

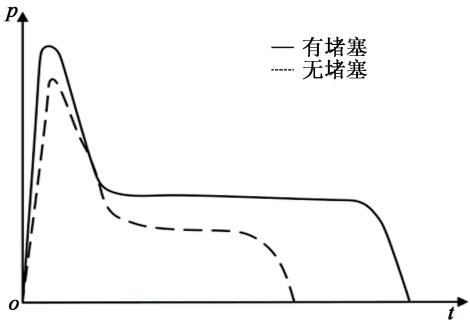


图3 堵塞对炮孔压力的影响

Fig.3 Influence of clogging on pressure of blast hole

间远大于无堵塞炮孔。因此,炮孔堵塞有效地延长了炸药能量在炮孔中的作用时间。

2.3 混合材料的堵塞

装药炮孔采用现场打钻所得的钻孔进行装药和堵塞。根据炸药型号和岩体物理性质,钻孔(炮孔)直径通常有70 mm和120 mm等。通常炮孔结构为圆形直孔,结构面光滑,若地质情况复杂和岩体结构不稳定,则根据实际情况采用斜孔装药和堵塞。堵塞部分直接覆盖于炸药表面,堵塞内部结构孔隙及其发育、外部结构根据孔壁状态呈现各向异性,堵塞部分整体呈圆柱形,一般情况下长度为3 m。

炮孔中堵塞材料在炸药爆炸产生的压力作用下,主要受到来自两个方向的应力^[8],炮孔堵塞材料的应力分布见图4。

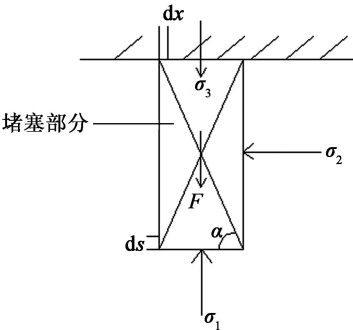


图4 应力分布

Fig.4 Stress distribution

炮孔堵塞材料的抗剪强度为:

$$\tau = \sigma \tan \alpha + F; \tag{6}$$
$$\sigma = \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_3)^2 + \sigma_2^2} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\sigma_1\sigma_3}. \tag{7}$$

式中: τ 为堵塞材料抗剪强度; σ 为炮孔应力; α 为堵塞材料内摩擦角; F 为堵塞材料内聚力; σ_1 为炸药产生的应力(主应力); σ_2 为孔壁施加给堵塞材料的应力; σ_3 为堵塞材料自身重力产生的应力。

堵塞材料的弹性模量 e 为:

$$e = \frac{\sigma}{\sqrt{dx^2 + ds^2}}; \tag{8}$$
$$dx \gg dx', ds \gg ds'. \tag{9}$$

式中: dx 为混合材料横向应变; ds 为混合材料竖向应变; dx' 为单一材料横向应变; ds' 为单一材料竖向应变。

现场混合材料一般采用黏土、砂、碎石和石灰石粉组合,相对于单一材料,混合材料具有较大的摩擦角 α 、内聚力 F 和自身重力,在其他外界条件一致情况下,由式(6)和式(7)可知,混合材料的抗剪强度大于单一材料。

3 现场试验与分析

在一定距离处做现场试验,测得无堵塞材料和不同堵塞材料的炮孔应力随时间的变化规律。此次试验共分6个炮孔,炮孔深度、间隔长度、孔壁质量和堵塞长度以及炮孔装药量完全相同,分6种堵塞情况进行炮孔压力和冲孔时间变化分析,最终得出炮孔中应力随时间的变化规律,见图5^[7-10]。

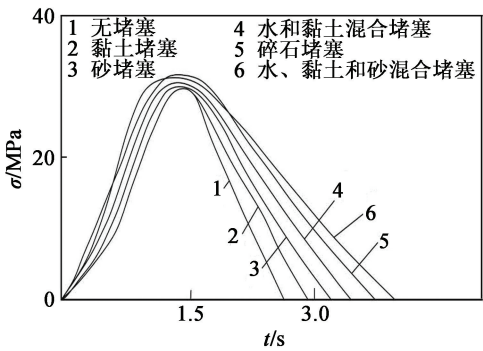


图5 应力随时间的变化

Fig.5 Stress changing with time

图5中显示,不同的堵塞材料产生不同的炮孔压力和冲孔时间,有堵塞的炮孔,炸药能量在炮孔中作用时间明显加长;混合材料堵塞的炮孔,压力和作用时间大于其他单一材料堵塞,能增大炸药能量的利用率^[11]。

相对于单一材料和无材料堵塞,混合材料炮孔堵塞具有炮孔应力大和炸药能量作用时间长的特点,炸药的做功能力和作用效率提高。

4 结论

芸红岭石灰石矿山爆破现场堵塞采用单一材

料,造成严重的冲孔现象。采用定性对比分析法和控制变量法,并通过现场试验和研究分析得出,混合材料的炮孔堵塞抗剪强度高,炮孔应力大,炸药能量在炮孔中作用时间长,有效地增大了炸药的做功能力和提高了炸药的利用率,减少了炮孔上部大块的产生。

参 考 文 献

- [1] 宗琦. 炮孔堵塞物运动规律的理论探讨[J]. 爆破, 1996,13(1):8-11.
ZONG Q. Investigation into move regulavity about stemmed material in hole charge blasting[J]. Blasting, 1996, 13(1):8-11.
- [2] 陆文,张志呈. 钻孔爆破中炮孔堵塞作用机理研究[J]. 爆破,2001,18(1):26-29.
LU W,ZHANG Z C. Study on stemming function of bore-hole explosion[J]. Blasting, 2001,18(1):26-29.
- [3] 朱泽云. 炮孔堵塞的研究[J]. 爆破,1993,10(1):42-46,59.
- [4] 于妍宁,徐振洋,郭连军,等. 岩石动态特性对爆破振动能量分布的影响[J]. 爆破器材,2015,44(6):15-19.
YU Y N,XU Z Y,GUO L J, et al. Influence of rock dynamic characteristics on distribution of blasting vibration[J]. Explosive Materials,2015,44(6):15-19.
- [5] 谢兴博,钟明寿,陈勇,等. 爆破振动速度与加速度的

等效换算研究[J]. 爆破器材,2015,44(5):51-55.

XIE X B,ZHONG M S,CHEN Y, et al. Research on the equivalent conversion of blasting vibration velocity and acceleration[J]. Explosive Materials, 2015,44(5):51-55.

- [6] 罗勇,沈兆武. 炮孔合理堵塞长度的研究[J]. 岩土工程技术,2006,20(1):25-28.
LUO Y,SHEN Z W. Study on stemming length in hole-charged blasting [J]. Geotechnical Engineering Technology, 2006,20(1):25-28.
- [7] 王玉杰. 爆破工程[M]. 武汉:武汉理工大学出版社, 2009:174-180.
- [8] 贾光辉,王志军,张国伟,等. 爆炸过程中的应力波[J]. 爆破器材,2001,30(1):1-4.
JIA G H,WANG Z J,ZHANG G W, et al. Stress wave in blasting [J]. Explosive Materials, 2001,30(1):1-4.
- [9] 陈建平,高文学. 爆破工程地质学[M]. 北京:科学出版社,2005:300-315.
- [10] 罗勇,沈兆武. 钻孔爆破中炮孔堵塞效果及堵塞长度的研究[J]. 力学与实践,2006,28(2):48-52.
LUO Y,SHEN Z W. Investigation on length of stemming material and its effect in hole-charged blasting [J]. Mechanics in Engineering, 2006,28(2):48-52.
- [11] 陈怀宇,刘锡禄. 炮孔堵塞质量对爆破效果的影响[J]. 工业安全与防尘,1987(2):17-20,16.

(上接第 41 页)

- [5] 朱仁. 无机化学[M]. 3 版. 北京:高等教育出版社, 1993.
ZHU R. Inorganic chemistry[M]. 3rd ed. Beijing:Higher Education Press,1993.
- [6] 姜龙飞. 化学电离质谱学[J]. 质谱学杂志,1983,4(1):41-56.
JIANG L F. On chemical ionization mass spectrometry [J]. Journal of Chinese Mass Spectrometry Society, 1983,4(1):41-56.
- [7] 王约瑟夫. 分析电化学[M]. 朱永春,张玲,译. 北京:化学工业出版社,2008.
WANG J. Analytical electrochemistry [M]. ZHU Y C,

ZHANG L, translated. Beijing:Chemical Industry Press, 2008.

- [8] 廖斯达,贾志军,马洪运,等. 电化学基础(Ⅱ):热力学平衡与能斯特方程及其应用[J]. 储能科学与技术, 2013,2(1):63-68.
LIAO S D,JIA Z J,MA H Y, et al. Fundamentals of electrochemistry (Ⅱ): thermodynamic equilibrium and Nernst Equation[J]. Energy Storage Science and Technology, 2013,2(1):63-68.
- [9] 吉林化学工业公司化肥厂,化学工业部上海化工研究院. 硝酸铵:GB2945—1989[S]. 北京:国家技术监督局,1990.