

文章编号:1001-4888(2006)03-0393-06

炮孔水耦合装药爆破应力分布特性试验研究^{*}

宗 琦, 罗 强

(安徽理工大学, 安徽淮南 232001)

摘要:以水泥砂浆试块为试验模型,采用超动态应变测试和数据采集处理系统进行空气不耦合装药和水耦合装药爆破试验,测定几种不耦合系数下炮孔周围介质中爆炸应力的分布特性。通过对试验结果分析研究表明,水耦合装药与空气不耦合装药相比爆炸峰值压力高、作用时间长,即表明水耦合装药的爆破作用强度大、能量利用率高。试验结果还进一步证明了不耦合装药能够明显降低炮孔周围介质中的压应力,且不耦合系数越大,压力降低越显著。在实际工程爆破中应根据工程要求和岩石性质及作业条件,合理选择装药结构。

关键词:空气不耦合装药;水耦合装药;不耦合系数;爆炸压力;试验研究

中图分类号:TD235 **文献标识码:**A

0 引言

近年来,随着水胶炸药、乳化炸药等高威力抗水炸药的推广使用,炮孔水耦合装药爆破技术逐渐发展起来。日本将水耦合装药爆破应用在隧道开挖掘进爆破中,前苏联哈萨克工业学院曾在露天矿做过应用试验,南非的杜威哈露天煤矿覆盖岩层剥离爆破中采用过水耦合装药爆破^[1-2]。国内在此方面也进行了一些研究和应用,山东科技大学、中南工业大学等对水耦合装药爆破效能和爆破机理进行过研究^[1,3],露天深孔爆破、沟槽开挖爆破、井巷掘进爆破、光面爆破和预裂爆破、城市拆除控制爆破中也都有采用水耦合装药爆破的实例^[4-8]。笔者也曾就炮孔水耦合装药爆破耦合介质水中冲击波的形成和传播、孔壁初始冲击压力以及水耦合炸药结构对爆破能量传递的影响等进行了探讨^[9,10]。而对于水耦合炸药条件下岩石中爆炸应力分布特性的研究还很少。只有重视试验研究,才能对岩石爆破破坏的力学机理作出较准确的判断。为此进行了实验室爆破模型试验,测定分析几种不耦合系数下炮孔空气不耦合和水耦合炸药爆破时炮孔周围爆炸应力的分布特性。

1 水耦合炸药爆破模型试验

为更有效地分析炮孔水耦合装药爆破炮孔周围介质中爆炸应力的分布特性,我们通过改变炮孔直径来改变装药不耦合系数(装药直径不变),分别进行炮孔空气不耦合和水耦合装药爆破模型试验,测定炮孔周围模型试件中的爆炸应力分布,分析应力波的传爆和衰减特性,比较空气和水两种耦合介质下的试验结果,以研究不耦合系数和耦合介质对爆炸应力场的影响。

1.1 模型和应变砖制作

模型采用 425 号硅酸盐水泥和筛选后的中砂浇注而成,配合比为 水:水泥:砂子=0.5:1:2。为减小边界效应的影响,选用较大尺寸的模型 350mm×450mm×700mm,养护 28 天以上。用 70mm×

^{*} 收稿日期:2005-06-18;修订日期:2005-12-15

基金项目:安徽省教育厅自然科学基金重点课题

通讯作者:宗琦(1962-),男,硕士,安徽理工大学土木工程系教授。

70mm×70mm 的标准试块实测的模型物理力学性能参数见表 1。

表 1 模型的物理力学参数

Tab.1 Physical mechanical parameters of model

密度 (g/cm ³)	纵波波速 (m/s)	横波波速 (m/s)	弹性模量 (GPa)	泊松比	抗压强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)
2.0	3788	2086	24.7	0.23	28.86	1.6

应变砖采用与试块相同的材料和配比,尺寸为 30mm×30mm×300mm,砂纸打磨光滑后用 502 胶粘贴应变片,应变片型号为 BX120-5AA,灵敏系数为 2.08%,阻值 120Ω。每块应变砖上贴 8 片,每隔 60mm 布置一个测点,一共 4 个测点。待应变片贴好后,焊上信号电缆,并用 AB 胶进行防水绝缘处理,如图 1 所示。应变砖随模型浇注埋入试块中,埋设的具体位置如图 2。



图 1 应变砖

Fig.1 Strain brick

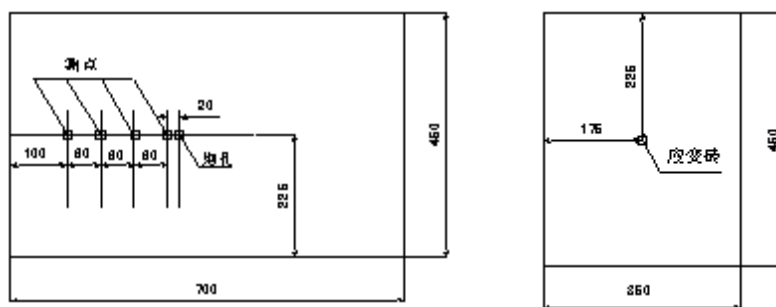


图 2 应变片布置及应变砖埋设位置

Fig.2 Layout of strain and inbuilt position of train brick

1.2 测试系统

利用预埋设的应变砖作为传感器接收爆炸瞬时信号,采用超动态应变仪和示波器采集和数据分析处理,系统测试流程如图 3 所示。

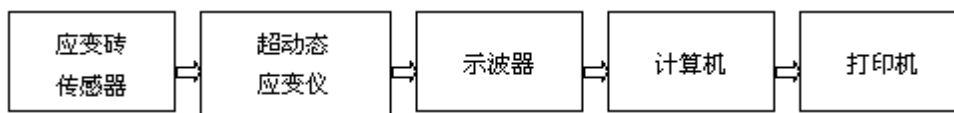


图 3 测试系统流程图

Fig.3 Flow sheet of test macro

试验中采用的超动态应变仪为中国科学院力学研究所生产,工作电流 20~50mA,应变标定范围为 $2 \times 10^2 \sim 2 \times 10^4 \mu\epsilon$ 。示波器为美国 Agilent Technologies 生产,型号 54815A,带宽 500MHz,4 个通道,采样率 1GSa/s。

1.3 试验方法和步骤

试验时,在模型中央按图 2 设计位置进行钻孔,深度固定为 180mm。采用特制的小型电雷管(雷管径直径 6mm,长度 40mm,其内装 0.3g 二硝基重氮酚,装药密度 1.0g/cm³,爆速 4200m/s,爆热 4000kJ/kg。小雷管装至孔底,孔中预留空气或预灌水,孔口用细砂加 502 胶封堵,长度 40mm。试验步骤流程如图 4 所示。

1.4 试验结果及分析

总共进行了 32 次试验,因超动态应变仪部分通道损坏,试验时只测定了四个测点。将仪器所采集的电压信号应用下式转换为应变和应力,结果列于表 2。1、2、3、4 为测点编号,括号中的数值为水耦合装药爆破时的压力。

$$\epsilon = \frac{V}{V_b} \epsilon_b \quad P = E \epsilon$$

式中, ϵ 、 P 为换算后的应变值和应力值; V 为实测的电压信号值; V_b 、 ϵ_b 分别为标定电压值和标定应变值; E 为模型的弹性模量。

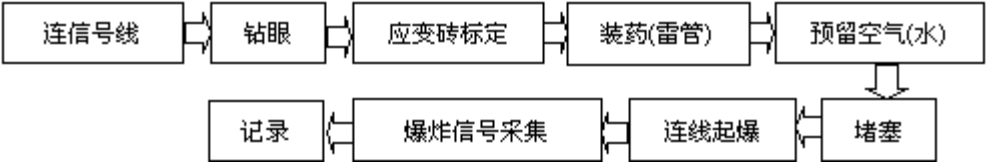


图 4 试验步骤流程图
Fig. 4 Flow sheet of test steps

表 2 径向压力测试结果
Tab. 2 Test results of radial pressure

炮孔直径 (mm)	不耦合系数 K_d	压力 (MPa)			
		1	2	3	4
10	1.67	112.1 (142.3)	94.1 (120.1)	66.3 (74.1)	23.0 (28.4)
12	2.00	99.1 (111.3)	75.7 (94.4)	41.6 (51.4)	16.9 (16.6)
14	2.33	89.1 (94.8)	50.2 (76.9)	35.2 (44.8)	10.6 (14.0)
16	2.67	61.4 (74.2)	47.5 (57.1)	13.4 (34.9)	7.1 (12.2)

根据表 2 中的测试结果,绘制出不同装药不耦合系数下峰值压力随传播距离的衰变关系曲线(图 5~图 8),以及不同测点处峰值压力随不耦合系数的变化关系曲线(如图 9~图 12)。并对其进行回归分析,回归结果标注在图中对应的曲线上。

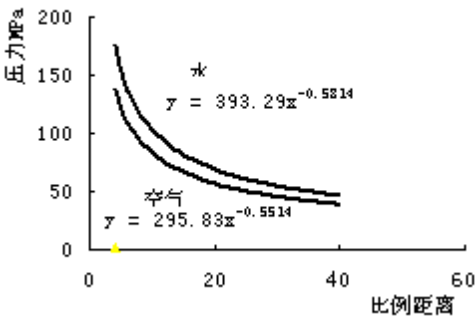


图 5 $K_d=1.67$ 时峰值压力随距离衰减关系曲线
Fig. 5 The curve of peak pressure along the distance when $K_d=1.67$

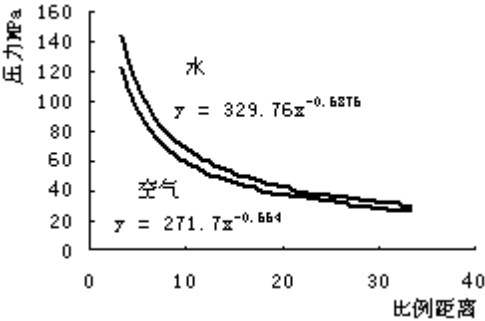


图 6 $K_d=2.0$ 时峰值压力随距离衰减关系曲线
Fig. 6 The curve of peak pressure along the distance when $K_d=2.0$

对以上的关系曲线进行分析讨论可以得出:

- (1) 进行动态应变测试是极为复杂的,测试系统的频率响应和试件的绝缘程度对试验结果影响较大。经过多次调试、论证,试验最后所采用的测试系统具有较好的静、动态性能。用来进行爆炸应力场的测试是可行的。
- (2) 空气不耦合装药和水耦合装药爆所采用试验条件一样,因此,试验结果具有可比性。
- (3) 两种装药结构条件下都呈现出初始压力上升很快,峰值压力高,越靠近炮孔爆炸压力越高,随着距离的增大,峰值压力显著降低,且初始下降速率很快,后阶段下降缓慢。
- (4) 空气不耦合时峰值压力下降较快,作用时间较短,水耦合时峰值压力下降较慢,且有峰值压力平台。

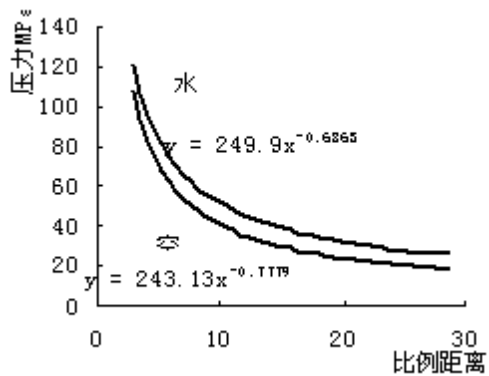
图 7 $K_d=2.33$ 时峰值压力随距离衰减关系曲线

Fig. 7 The curve of peak pressure along the distance when $K_d=2.33$

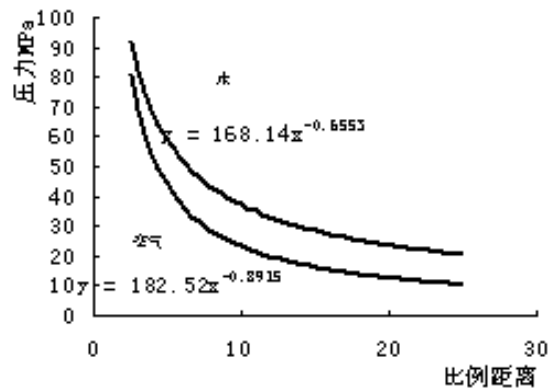
图 8 $K_d=2.67$ 时峰值压力随距离衰减关系曲线

Fig. 8 The curve of peak pressure along the distance when $K_d=2.67$

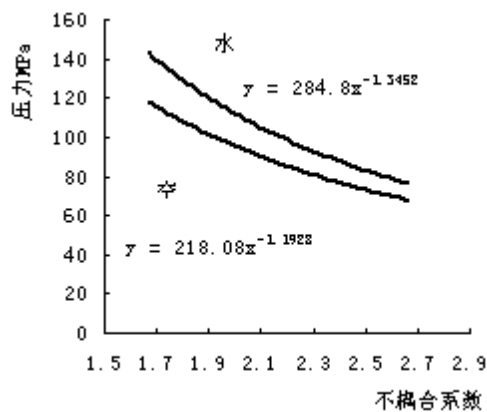


图 9 1 号测点峰值压力与不耦合系数关系曲线

Fig. 9 The curve of peak pressure between decouple coefficient at no. 1 station

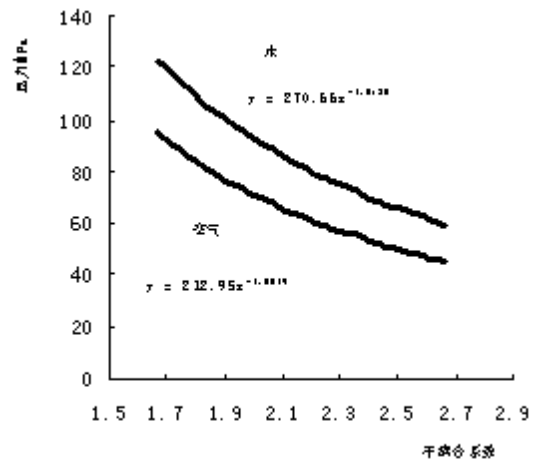


图 10 2 号测点峰值压力与不耦合系数关系曲线

Fig. 10 The curve of peak pressure between decouple coefficient at no. 2 station

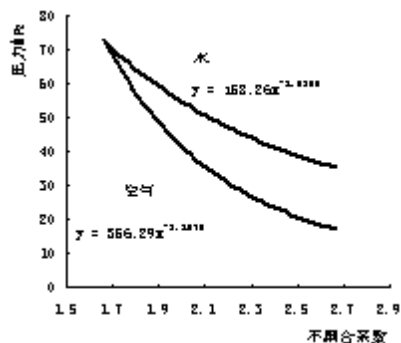


图 11 3 号测点峰值压力与不耦合系数的关系曲线

Fig. 11 The curve of peak pressure between decouple coefficient at no. 1 station

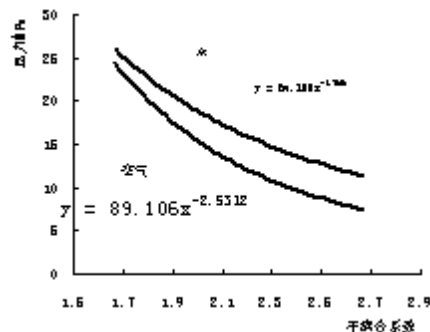


图 12 4 号测点峰值压力与不耦合系数的关系曲线

Fig. 12 The curve of peak pressure between decouple coefficient at no. 2 station

(5) 同一不耦合系数时,水耦合装药爆破产生的爆炸峰值压力均大于空气不耦合装药,平均值约为1.2倍,说明水耦合装药的爆破作用强度大,能量利用率高,有利于改善破碎效果。

(6) 随着不耦合系数增大,同一测点的峰值压力明显下降,说明不耦合间隙中的空气和水,起到了良好的缓冲降压作用,这对于光面爆破和预裂爆破是非常有利的。

3 结语

试验证明了水耦合装药与空气不耦合装药相比,爆炸峰值压力高,作用时间长,表明水耦合装药的爆破作用强度大,能量利用率高,有利于改善破碎效果。试验结果还证明了不耦合装药能够明显降低炮孔周围介质中的压应力,且不耦合系数越大,压力降低越显著。在实际工程爆破中应根据工程要求和岩石条件及作业条件,合理选择装药结构。对于破碎性爆破,耦合装药和较小不耦合系数的水耦合装药可有较高的爆破能量利用率,获得较好的破碎效果;对于预裂、光面等成型控制爆破,则宜选用较大不耦合系数的空气、水不耦合装药结构为好;对于较坚硬的岩石,应选用水耦合装药,较松软的岩石宜采用空气不耦合装药;而对于拆除控制爆破,水耦合装药还可以大大降低爆破飞石,特别对于薄体结构物,效果更为明显。

参考文献:

- [1] 陈士海. 深孔水压爆破装药结构与应用研究[J]. 煤炭学报, 2000, 25(增刊): 112~116 (Chen Shihai. Study on Charging Structure and its Use of Deep Hole Water Pressure Blasting. Journal of China Coal Society, 2002, 25(Sup.): 112~116(in Chinese))
- [2] Brown A G, Davids T, Jordaan O J, et al. Luck Explosives Test Work at Duvha Opencast[C]. Proceeding of the Thirteenth Conference on Explosives and Blasting Technique. Sponsored By Society of Explosives Engineers Annual Meeting, Miami, Florida, 1987, 6~20.
- [3] 张强. 水耦合爆破机理及参数计算[J]. 新疆有色金属, 1997, (4): 21~23 (Zhang Qiang. Mechanism Analyzing and Parameters Calculating on Borehole Blasting with Water-couple Charge. Xinjiang Nonferrous Metal, 1997, (4): 21~23(in Chinese))
- [4] 宋增春, 刘钦, 姜文成. 炮孔底部垫层水介质爆破研究与应用[J]. 金属矿山, 2000, (7): 11~12 (Song Zengchun, Liu Qin, Jiang Wencheng. Research or the Bottom Water Cushion Blasting of Hole and Its Application. Metal Mine, 2000, (7): 11~12(in Chinese))
- [5] 朱礼臣, 孙咏. 深孔水耦合爆破开挖沟槽[J]. 工程爆破, 2000, 6(2): 67~69 (Zu Lichen, Sun Yong. Digging of a Trench by Water-coupled Long-hole Blasting. Engineering Blasting, 2000, 6(2): 67~69(in Chinese))
- [6] 吴文根, 李金祥. 水介质控制爆破在巷道掘进中的试验应用[J]. 有色金属(矿山部分), 2003, (5): 20~21 (Wu Wengen, Li Jinxiang. Experimental Study and Application on Control Blasting with Water-Coupled Charge in Tunneling. Nonferrous Metal (mine volume), 2003, (5): 20~21(in Chinese))
- [7] 苗勤书, 李义, 王成. 炮孔水压预裂爆破的实验研究[J]. 工程爆破, 1998, 4(4): 19~23 (Miao Shuqin, Li Yi, Wang Cheng. Experimental Study on Hole Pre-splitting Blasting with Water Pressure. Engineering Blasting, 1998, 4(4): 19~23(in Chinese))
- [8] 钟冬望, 廖乃正. 导爆索水孔爆破切割技术探讨[J]. 爆破, 2001, 18(4): 11~14 (Zhong Dongwang, Liao Naizheng. The Cutting Technology of Water Coupling Blasting Hole with Fuse. Blasting, 2001, 18(4): 11~14(in Chinese))
- [9] 宗琦, 李永池, 徐颖. 炮孔水耦合装药爆破孔壁冲击压力初探[J]. 水动力学研究与进展, 2004, A辑 19(5): 610~615 (Zong Qi, Li Yongchi, Xi Ying. Preliminary Discussion on Shock Pressure on Hole Wall when Water Couple Charge Blasting in the Hole. Journal of Hydrodynamics, Sept. A, 2004, 19(5): 610~615(in Chinese))
- [10] 宗琦, 孟德君. 炮孔不同炸药结构对爆破能量影响的理论探讨[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(4): 641~645 (Zong Qi, Meng Dejun. Influence of Different Kinds of Hole Charging Structure on Explosion Energy Transmission. Chinses Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(4): 641~645(in Chinese))

Experimental Study on Distribution Character of Blasting Stress When Boreholes with Water-Couple Charge

ZONG Qi, LUO Qiang

(Anhui University of Science and Technology Huainan Anhui 232001, China)

Abstract: Using the cement mortar coupons as test models and adopting the system of high dynamic strain indicator measurement and data acquisition treating, the distribution character of blasting stress within boreholes' medium under some variable decouple coefficients were measured. Through analysis of the model test results, the following conclusions can be drawn. Water-couple charge has a higher blasting peak stress and longer effect time by comparing with air-decouple charge. That means blasting of water-couple charge has a bigger blasting effect strength and higher energy usage ratio, which can improve the breaking effects. The test results also demonstrate that decouple charge can decrease the pressure within boreholes' medium obviously. The larger decouple coefficient is, the more notable pressure decrease is. In practical blasting engineering, reasonable charge structure should be selected in accordance with engineering commands and the conditions of rock and construction.

Key words: air-decouple charge; water-couple charge; decouple coefficient; blasting stress; experiment