

文章编号: 1001-1455(2012)06-0653-05

轴向间隔装药爆破沿炮孔的压力分布*

杨国梁¹, 杨仁树¹, 姜琳琳²

(1. 中国矿业大学(北京)深部岩土力学与地下工程国家重点实验室, 北京 100083;

2. 总装备部工程设计研究总院, 北京 100028)

摘要: 模拟了三种不同装药结构分别采用正向、反向和两端起爆时的应力波传播、叠加过程。增大炮孔顶部装药量, 采用正向和两端起爆均可以显著提高炮孔中部压力。三种模型反向起爆时, 炮孔堵塞段的压力均高于另两种起爆方式。将反向起爆下各模型沿炮孔的压力曲线进行比较, 发现增大顶部药量后, 压力分布更为均匀, 且平均压力最大。将模拟结果应用到现场实验, 基本消除了大块矸石, 提高了岩石充填的效率。

关键词: 爆炸力学; 压力分布; 间隔装药; 起爆方式

中图分类号: O382.2; TD235.3

国标学科代码: 1303520

文献标志码: A

采用轴向间隔装药爆破时, 爆破作用机理与耦合装药时不同。采用空气间隔装药爆破时, 虽然作用于炮孔侧壁的平均压力显著低于耦合装药爆破, 但在空气层间隔界面形成的系列加载波作用下, 可以显著降低爆破后矸石的大块率, 提高矸石的充填效率。N. V. Melnikov 等^[1-2]首先开展了炮孔底部空气间隔爆破技术研究, 对空气间隔爆破参数进行了优化。针对空气间隔装药的不同形式, W. L. Fournay 等^[3]、N. T. Moxon 等^[4]和 K. V. Kumar^[5]也先后进行了空气间隔爆破技术的研究及应用。在我国, 林大泽等^[6]、杜俊林等^[7-8]、刘云川等^[9]和吴亮等^[10]先后采用理论分析、模型实验等研究手段对空气间隔装药结构以及不耦合介质对爆破效果的影响进行了研究, 取得了一系列成果。但是对于轴向间隔装药爆破后应力波的传播叠加过程、炮孔内部的压力场分布情况, 通常无法采用理论和实验的方式获得。

本文中, 采用数值计算方法对不同间隔装药结构和起爆方式下应力波的传播、叠加过程以及炮孔内部的压力场分布规律进行系统研究。

1 计算模型

由于柱状炸药爆炸应力波传播呈现为轴对称, 这里主要研究平面内应力波的传播叠加过程, 建立了二维计算模型。模型长 3.1 m, 高 0.4 m, 炮孔深 3 m。考虑了三种模型(见图 1): 模型 1、2 中采用了两段装药, 装药长度分别为 0.8 和 0.4 m; 模型 3 中采用了三段装药, 装药长度均为 0.4 m。计算中空气间隔长度均为 0.4 m。测点 A~H 等间距排列, 距炮孔底部距离为 0~2.8 m, 如图 1(a)所示。

数值计算中, 岩石采用 JHC 模型, JHC 模型适合在大应变、高应变率和高压力条件下使用, 岩石的等效强度与压力、应变率和损伤有

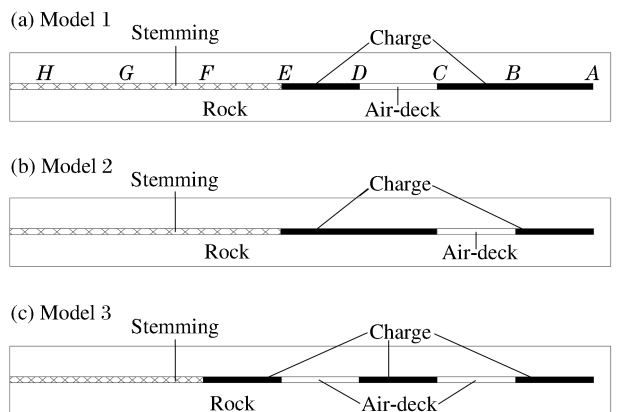


图 1 空气间隔装药模型

Fig. 1 Air-deck charge models

* 收稿日期: 2011-07-15; 修回日期: 2011-11-04

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(51134025); 中央高校基本科研业务专项项目(2011QL01)

作者简介: 杨国梁(1979—), 男, 博士, 讲师。

关。炸药为三级水胶炸药,采用 MAT_HIGH_EXPLOSIVE_BURN,结合 JWL 状态方程模拟炸药爆炸过程中压力与体积的关系。

岩石材料物理力学参数分别为: $\rho=2.9 \text{ t/m}^3$, $G=15 \text{ GPa}$, $\nu=0.23$, $A=0.79$, $B=1.6$, $C=0.007$, $N=0.61$;炸药材料物理力学参数分别为: $\rho=1.1 \text{ t/m}^3$, $D=3.8 \text{ km/s}$, $p_{\text{Cl}}=10.5 \text{ GPa}$, $A=220 \text{ GPa}$, $B=0.2 \text{ GPa}$, $R_1=4.5$, $R_2=1.1$, $\omega=0.35$ 。

2 计算结果分析

2.1 应力波传播过程

正向起爆(见图 2(a))时,应力波波阵面呈锥形向右传播,应力波波阵面逐渐变为弧形,说明炮孔内部的压力开始显著降低。随着应力波的进一步传播,左侧应力波的波头与右侧应力波的波尾在空气间隔段发生叠加,这种叠加作用增强了炮孔中部的应力峰值,有利于岩石的进一步破碎。在炮孔底部、顶部各自由面间发生了复杂的应力波反射叠加,对岩石形成了二次破碎。反向起爆(见图 2(b))时,应力波的传播叠加过程与正向起爆基本一致,但是由于起爆方式的不同导致波阵面形状发生了明显变化,采用三种计算模型时,形成的左传应力波波阵面均呈现弧形,比正向起爆的应力波强度明显增强,可见采用反向起爆,在炮孔堵塞处可以取得更大的应力,有利于堵塞面处岩体的破碎。两端同时起爆(见图 2(c))时,爆炸初期应力波的传播过程与上两种方式一致,但是随着两列应力波的相向传播,在炮孔中部两列弧形波发生正碰。

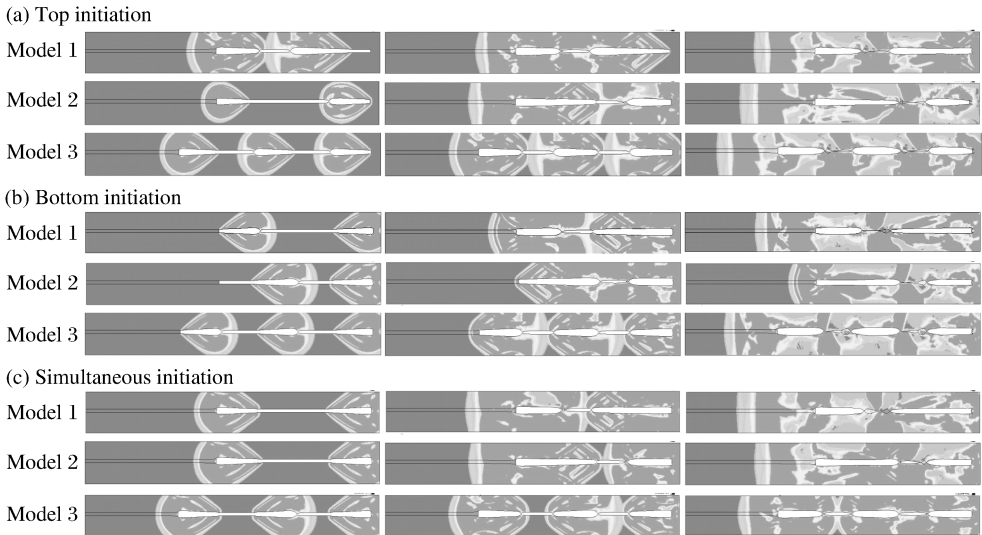


图 2 应力分布

Fig. 2 Stress distribution

2.2 炮孔装药段测点压力分布

正向起爆(见图 3(a))时,模型 1 中,点 A、B 和 D 具有相近的压力峰值,点 D 具有两个相近的波峰。发现两列应力波在点 D 发生叠加,点 D 在极短的时间内经历了两次冲击压缩。同时发现点 A 在 0.2 ms 附近具有多个波峰,说明点 A 处除依次经历两列压缩波的作用,还伴随着更复杂的应力波作用过程。压力峰值最小点发生在点 C。模型 2 中,点 C 的压力峰值较大,表明两段炸药爆炸产生的应力波在点 C 发生叠加。由于上段药量较大,因此点 B 的应力峰值大于炮孔顶端点 E。模型 3 中,点 A、C 和 E 的压力曲线在 0.1 ms 左右基本重合,且均形成了两个大小相等的峰值。

反向起爆(见图 3(b))时,模型 1 中,点 B、C 和 E 均出现两个波峰。点 C 的第一个压力峰值由左侧炸药爆炸产生,右侧药包爆炸产生的应力波几乎同时到达点 C。模型 2 中,点 D 和 E 的压力峰值较大,点 B 次之,点 C 最小。模型 3 中,点 B 和 D 的压力曲线在 0.1 ms 左右基本重合,形成了两个大小相同的波峰。点 B 和 D 均位于空气柱底部的上方,两列应力波在点 B 和 D 附近相交,由于三段药量一致,

应力波强度相同,导致在点 B 和 D 出现了两个相同的峰值。

两端起爆(见图 3(c))时,模型 1 和 2 中,具有相似的压力场分布规律:点 B、C 和 D 具有较高的压力,且均有两个相近的峰值;点 A 的压力较小,点 E 最小。两端起爆时,采用模型 1 和 2 的炮孔中部可以取得较高的压力,炮孔底部和顶部的压力较小,在这两种爆破方式下,炮孔中部的岩体可以得到充分破碎,而炮孔底部和顶部易产生大块。

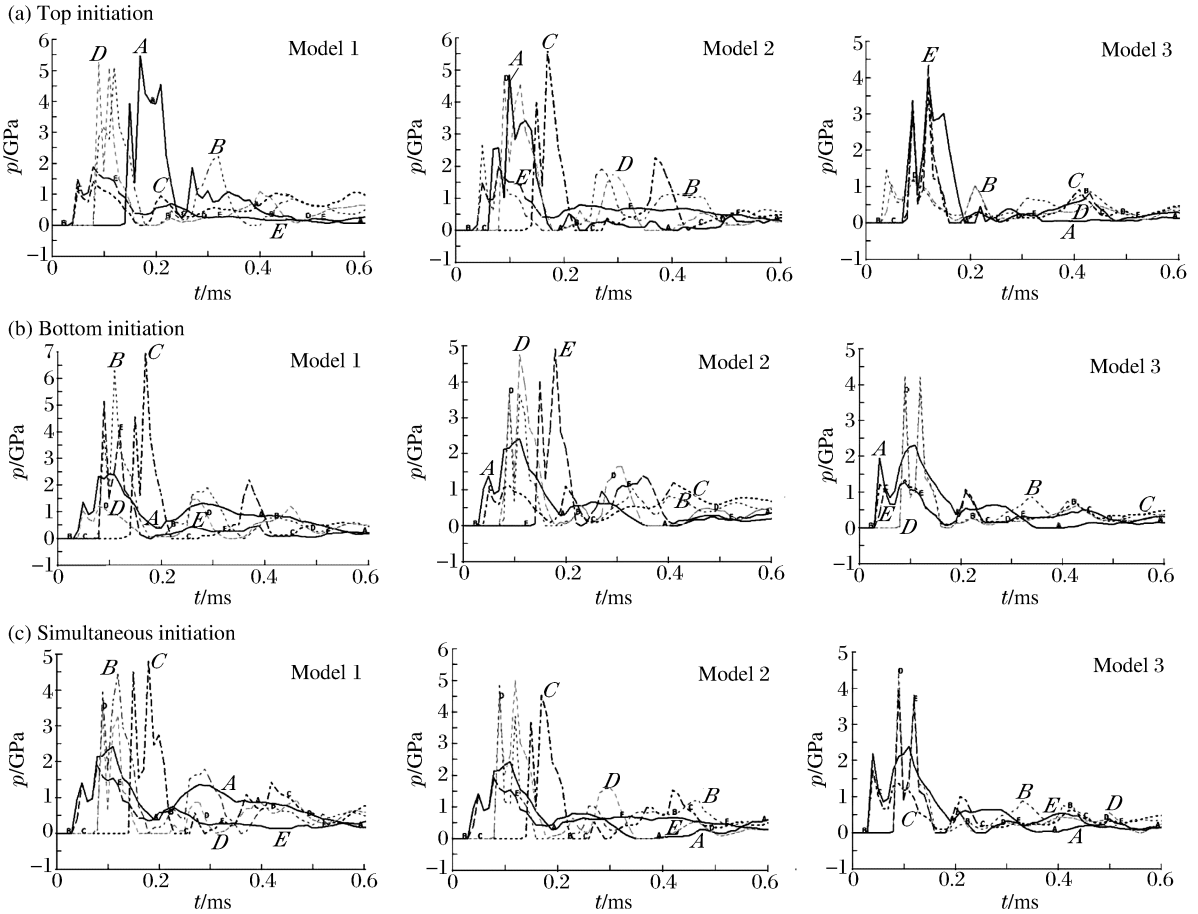


图 3 测点压力曲线

Fig. 3 Pressure curves at measuring points

2.3 沿炮孔测点压力分布

正向起爆(见图 4(a))时,模型 2 中,装药段炮孔侧壁压力峰值分布较均匀,且可以取得较高的平均压力峰值。模型 3 中,可以取得均匀的压力分布,但平均压力显著低于模型 2。并且发现采用模型 1 和 2 正向起爆时,在距离炮孔底部 1.6 m 以后曲线基本重合,说明采用这两种装药结构时,对炮孔堵塞区

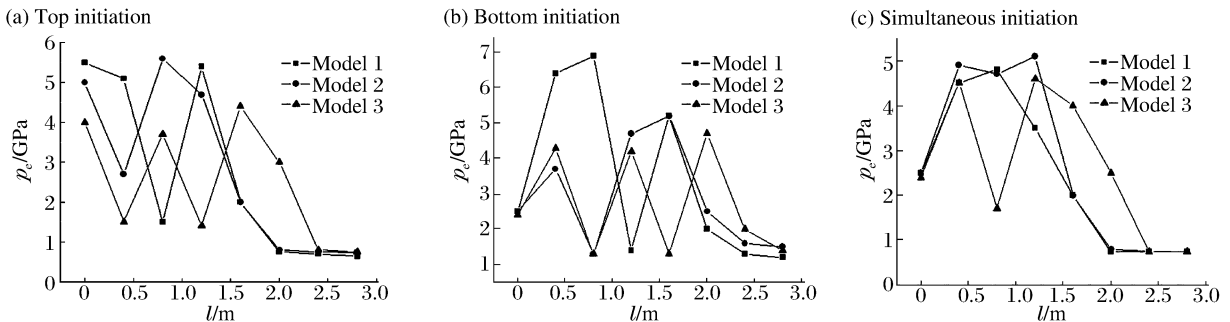


图 4 测点压力峰值曲线

Fig. 4 Effective pressure curves at measuring points

岩体的破碎作用相同。反向起爆(见图4(b))时,模型1中,炮孔底部的压力较大,但在堵塞段衰减很快。当增大左侧药量时,炮孔中部各点的压力较大,堵塞段的压力衰减较慢。同时起爆(见图4(c))时,模型1和2中,在装药段中部压力较大,而后压力迅速衰减,在堵塞处达到最小值0.75 GPa。模型3中,测点的压力分布与模型1和2显著不同,压力首先升高,在炮孔中部急剧降低,而后再次升高,在炮孔顶部降到最低,压力曲线出现等值震荡情形。

3 实验

根据现场爆破岩石块度分布,结合炮孔布置方案,发现在掏槽孔上方的崩落孔附近是大块出现的主要区域,即如图5中炮孔11~15附近为大块出现区域,为此在该5个炮孔内采用轴向间隔装药结构。

模型1正向起爆时,在炮孔顶部堵塞段出现大块,大块被抛掷的距离较远,最远大块距离迎头面可达5~8 m。模型1反向起爆时,炮孔顶部大面积岩体直接被剥离形成大块,形成的大块直接堆积在距离迎头面2 m的范围内。模型1两端同时起爆时,爆破后大块分布和抛掷距离与反向起爆差距不大。模型2正向起爆时,爆破后大块率比模型1有所改善,但岩石块体抛掷的距离更远,爆炸后形成的空气冲击波极强,巷道侧壁固定的高压开关被冲击至地面。模型2反向起爆时,爆破块度得到了显著改善,基本上消除了20 cm以上的大块。模型2两端起爆时,爆破效果与正向起爆时基本相同。模型3爆破时,由于同一个炮孔中引出6条雷管脚线,容易造成错接、漏接现象,导致炮孔拒爆。就爆破效果而言,采用三段装药反向爆破后,爆破效果与顶部增大药量反向起爆后的差距不大,采用正向和两端起爆后爆破效果较差。

以上表明,采用底部增大装药量,进行空气间隔爆破,无论采用何种起爆方式,对于降低爆破大块率均没有明显的改善,只是对抛掷距离产生了一定的影响。增大顶部装药量,采用不同的起爆方式时均形成了极强的空气冲击波,爆破块度得到了显著改善。特别是采用反向起爆后,沿炮孔压力场的分布得到了明显改善,爆破块度得到了控制。

4 结论

(1)采用空气间隔装药爆破后,装药段炮孔近区压力均出现多个峰值,压力持续作用时间显著增强,有利于爆生气体压力对岩体的充分破碎。

(2)增大靠近炮孔堵塞面一侧的装药量,在正向和两端起爆时,炮孔中部的压力均有明显提高。增大底部炸药量,采用反向起爆时,炮孔底部压力达到最大。

(3)采用反向起爆时,炮孔堵塞段压力均高于正向和两端起爆,采用模型2反向起爆时,沿炮孔的压力场分布更加均匀,且平均压力达到最大。

(4)将数值模拟结果应用到现场实验,取得了较好的爆破效果,提高了矸石的充填效率。

参考文献:

- [1] Melnikov N V. Charge construction influence on explosion operations efficiency[C]// Reports of the VI science symposium on drilling, explosives, explosion operations and study of physical and mechanical properties of rock. Rolla, USA, 1962.
- [2] Melnikov N V, Marchenko L N. Effective methods of application of explosion energy in mining and construction [C]// The 12th US Symposium on Rock Mechanics. American Rock Mechanics Association, 1971:359-378.
- [3] Fournery W L, Barker D B, Holloway D C. Model studies of explosive well stimulation techniques[J]. International

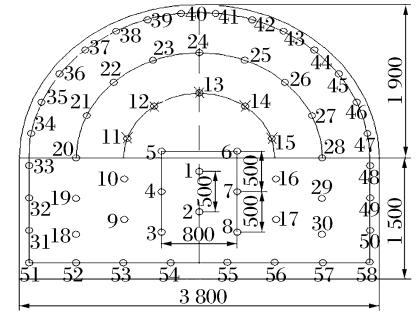


图5 炮孔布置图

Fig. 5 Layout of boreholes

Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geo-mechanics, 1981,18(2):113-127.

- [4] Moxon N T, Mead D, Richardson S B. Air-decked blasting techniques: Some collaborative experiments[J]. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, Section A: Mining Industry, 1993,102:25-30.
- [5] Kumar K V. Air-decking using gasbags[J]. Journal of Mines, Metals and Fuels, 1995,43(8):244-249.
- [6] 林大泽, 张建华, 黄风雷. 复杂地质条件下光面爆破间断不耦合装药结构的试验研究[J]. 中国安全科学学报, 1999, 9(4):41-43.
- LIN Da-ze, ZHANG Jian-hua, HUANG Feng-lei. Experimental study on nocontinuous uncoupled charge pattern of smooth blasting under complicated geological condition[J]. China Safety Science Journal, 1999,9(4):41-43.
- [7] 杜俊林, 周胜兵, 宗琦. 不耦合装药时孔壁压力的理论分析和求算[J]. 西安科技大学学报, 2007,27(3):347-351.
- DU Jun-lin, ZHOU Sheng-bing, ZONG Qi. Theoretical analysis on pressure on bore wall of uncouple charge[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2007,27(3):347-351.
- [8] 杜俊林, 罗强, 宗琦. 空气不耦合装药爆破孔壁冲击压力分析[J]. 西安科技大学学报, 2005,25(3):306-310.
- DU Jun-lin, LUO Qiang, ZONG Qi. Analysis on preliminary shock pressure on borehole of air-de-coupling charging[J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2005,25(3):306-310.
- [9] 刘云川, 汪旭光, 刘连生, 等. 不耦合装药条件下炮孔初始压力计算的能量方法[J]. 中国矿业, 2009,18(6):104-107.
- LIU Yun-chuan, WANG Xu-guang, LIU Lian-sheng, et al. An energy method for calculate borehole pressure under decoupled charging[J]. China Mining Magazine, 2009,18(6):104-107.
- [10] 吴亮, 钟冬望, 蔡路军. 空气间隔装药中光面爆破机理数值分析[J]. 武汉理工大学学报, 2009,31(16):77-81.
- WU Liang, ZHONG Dong-wang, CAI Lu-jun. Numerical simulation of the mechanism for air-decked smooth blasting[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2009,31(16):77-81.

Pressure distribution along borehole with axial air-deck charge blasting*

YANG Guo-liang¹, YANG Ren-shu¹, JIANG Lin-lin²

(1. *State Key Laboratory of GeoMechanics and Deep Underground Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China;*

2. *Center for Engineering Design and Research under the Headquarters of General Equipment, Beijing 100028, China)*

Abstract: Simulations were performed to analyze the propagation and superposition processes of stress waves aiming to three different charge structures under top, bottom and simultaneous initiations, respectively. The pressure in the middle of the borehole increases greatly when increasing the top charge under top and simultaneous initiations. Adopting bottom initiation, the pressure peaks of stemming part are higher than those adopting the other two initiations. For three charge structures under bottom initiation, comparisons of the pressure curves along the boreholes display that more even-distributed pressure can be obtained and the corresponding mean pressure is higher by increasing the top charge. The simulated results were applied to the field practice and the big fragments were deleted basically. So the gangue backfill efficiency can increase by adopting air-deck charge blasting.

Key words: mechanics of explosion; pressure distribution; air-deck charge; initiation type

* Received 15 July 2011; Revised 4 November 2011

Supported by the National Natural Science Foundation of China (51134025)

Corresponding author: YANG Guo-liang, yangg1531@126.com