

Numerical Simulation Research of Damping Effect Caused by Blasting Vibration in Pre-Splitting Engineering Based on ANSYS

Jun Wang¹, Shuxin Liu²

¹Yaolian Explosive Materials Co., Ltd. in the Wulanchabu City, Jining Inner Mongolia

²Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou Inner Mongolia

Email: 13904742738@139.com

Received: Oct. 15th, 2015; accepted: Jan. 18th, 2016; published: Jan. 21st, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Because of the instantaneity, ambiguity and diversity of related factors in the process of pre-split blasting, it is impossible to solve this problem by using experimental means. Based on a typical project, calculation and analysis of vibration effect are made by means of numerical simulation of pre-split blasting in this paper. The reduction process of the stress wave and the rule of pre-crack propagation are researched, and the damage range of surrounding rock is determined. The results show that vibration reduction rate is about 90% for 10 cm wide pre-crack.

Keywords

Pre-Splitting Blasting, Damping Effect, Stress Wave, Damage, Blasting Parameters

基于ANSYS的预裂爆破减振效应数值模拟研究

王 军¹, 刘树新²

¹乌兰察布市耀联民爆器材有限责任公司, 内蒙古 集宁

²内蒙古科技大学, 内蒙古 包头

Email: 13904742738@139.com

收稿日期: 2015年10月15日; 录用日期: 2016年1月18日; 发布日期: 2016年1月21日

摘要

由于预裂爆破过程具有瞬时性, 模糊性以及相关因素的多样性, 不可能采用实验手段解决这个问题。本文结合典型工程, 通过数值模拟手段对预裂爆破减振效应进行了计算与分析, 再现了应力波与预裂缝的作用过程及应力波通过预裂缝时的传播规律, 得出应力波对围岩造成的损伤范围, 结果表明, 10 cm宽的预裂缝降振率可达90%以上。

关键词

预裂爆破, 减振效应, 应力波, 损伤, 爆破参数

1. 引言

预裂爆破技术的目的是在主爆区起爆前先爆破形成一条预裂缝, 以减弱主爆区地震波对被保留岩体的危害, 是工程爆破中常用的控制爆破方法[1]-[3]。爆破过程的瞬时性, 模糊性以及相关因素的多样性决定了不可能采用实验手段解决这个问题。要想真实的反映应力波与预裂缝的作用过程, 了解应力波通过预裂缝的传播规律, 必须通过数值模拟的手段来实现, 计算出应力波与预裂缝的相互作用过程, 在此基础上以清楚了解应力波在岩石中的传播过程以及衰减规律, 分析应力波对围岩造成的损伤。

随着计算机技术的飞速发展和数值计算的长足进步, 数值模拟研究方法已经成为爆炸力学问题研究中的主要手段之一, 并在岩石爆破理论和技术研究领域取得了显著的成果, 对深入认识岩石爆破现象及其机理有着重要的意义。通过采用接近实际的数学物理模型, 对炸药的破坏过程进行数值模拟, 可以较为真实的反应爆炸冲击波、应力波的传播规律, 有助于深入理解岩石爆破破坏损伤机制。

2. 数值模拟的基本原理

本文通过爆破模拟的典型程序即 ANSYS 中 LS-DYNA 模块完成爆炸应力波与预裂缝的相互作用计算, LS-DYNA 程序由 J. O. Hallquist 博士于 1976 年在美国 Lawrence Livermore National Laboratory (美国三大国防实验室之一)主持开发完成的, 现今已经发展成为世界上最著名的通用显式动力分析程序[4]-[6]。它使用单点高斯积分, 引入沙漏粘性控制零能模态, 并应用中心差分法进行时间积分, 可以求解各种二维、三维非线性结构的高速碰撞、爆炸和金属成形等非线性动力冲击问题, 同时可以求解传热、流体及流固耦合问题。该程序能够提供多种材料模型和状态方程, 非常适于岩石爆破数值模拟计算。

LS-DYNA 求解步骤为前处理, 求解与后处理, 程序采用 8 节点六面体实体单元, 主要算法采用 Lagrangian 增量法。

2.1. 数值计算模型

根据露天台阶深孔爆破中常用的爆破参数设计模拟的计算模型, 设预裂缝与炮孔的距离为 3 m, 缝宽 10 cm, 缝深比炮孔深度大 0.2 m。预裂爆破后, 形成的预裂缝缝中没有充填物如图 1 所示。

2.2. 预裂缝降振效应模拟过程

采用炸药材料模型(MAT_HIGH_EXPLOSIVE_BURN)模拟乳化炸药, 爆破模拟参数见表 1, 炸药的状态方程采用 JWL 状态方程, 空气材料使用空白材料模型(Null Material Model), 岩石采用弹塑性动力材料模型(Elastic-Plastic Hydrodynamic Model)描述[6]-[9], 其屈服条件为:

$$\phi = \frac{1}{2} S_{ij} S_{ij} - \frac{1}{3} \sigma_y^2 \leq 0 \quad (1)$$

岩石介质采用 Gruneisen 状态方程。材料在受压缩时方程为:

$$P = \frac{\rho_0 c^2 \mu \left[1 + \left(1 - \frac{\gamma_0}{2} \right) - \frac{a}{2} \mu^2 \right]}{\left[1 - (S_1 - 1) \mu - S_2 \frac{\mu^2}{1 + \mu} - S_3 \frac{\mu^3}{(1 + \mu)^2} \right]^2} + (\gamma_0 + a \mu) E \quad (2)$$

材料在膨胀时状态方程为:

$$P = \rho_0 c^2 \mu + (\gamma_0 + a \mu) E \quad (3)$$

式中: S_{ij} —— 偏应力; σ_y —— 屈服应力; $\mu = \frac{\rho}{\rho_0} - 1$; ρ_0 —— 材料密度; c —— 截距; S_1 、 S_2 、 S_3 —— 斜率; γ_0 —— Gruneisen 系数; E —— 弹性模量; a —— γ_0 修正系数。

岩石的数值模拟参数见表 2。

本文采用有限元程序 ANSYS10.0 建立计算模型。设定模型的正前面为固定界面, 上表面为自由面, 其余表面均为无反射界面。网格采用三维实体单元 SOLID164 进行单元划分。炸药和充填介质网格定义

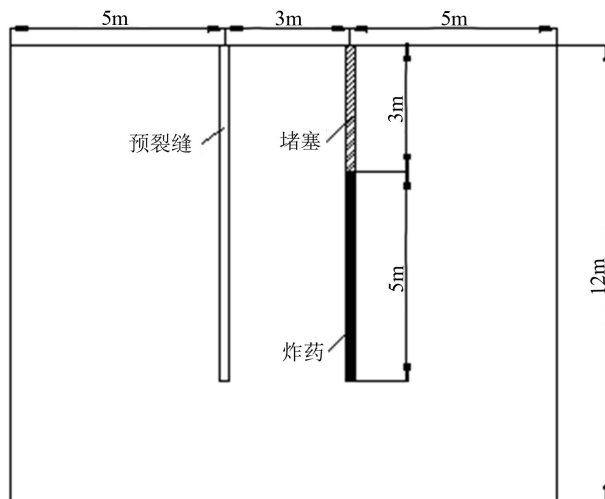


Figure 1. Calculation model

图 1. 计算模型示意图

Table 1. Blasting simulation parameters of deep hole

表 1. 深孔爆破模拟参数

孔径 mm	孔深 m	缝深 m	装药长度 m	堵塞长度 m	装药量 kg
110	10	10.2	6	4	42

Table 2. Mechanical parameters of rock

表 2. 岩石力学参数

$\rho(\text{kg/m}^3)$	$C(\text{m/s})$	$E(\text{GPa})$	ν	S_1	S_2	S_3	γ_0	a
2700	3400	28	0.3	1.6	0	0	2.2	0.5

为 Euler 型, 岩石网格定义为 Lagrange 型, 计算采用 ALE 算法。

2.3. 模拟计算结果及分析

药包爆破后, 岩石中各时刻的应力状况如图 2 所示。

由图 2 可以看出, 炸药起爆后, 经历不同时间后, 应力波从起爆点开始以锥形沿炮孔轴线向两端传播, 在 1018 s 时, 应力波传播至预裂缝后开始受预裂缝的影响发生反射, 此时的应力为 55 MPa。在约 1257s 时应力波继续向外扩展传播至预裂缝的缝底, 缝底的应力为 26 MPa。之后应力波在缝底发生绕射传入缝后的围岩, 但此时的应力波已得到大幅度的衰减, 应力值基本在 5 MPa 以下, 降振率可达 91%, 说明预裂缝的降振效果良好。

3. 结论

1) 通过 ANSYS 中 LS-DYNA 动力有限元程序对预裂缝降振效应进行数值模拟, 可再现应力波与预裂缝的作用过程及应力波通过预裂缝时的传播规律。

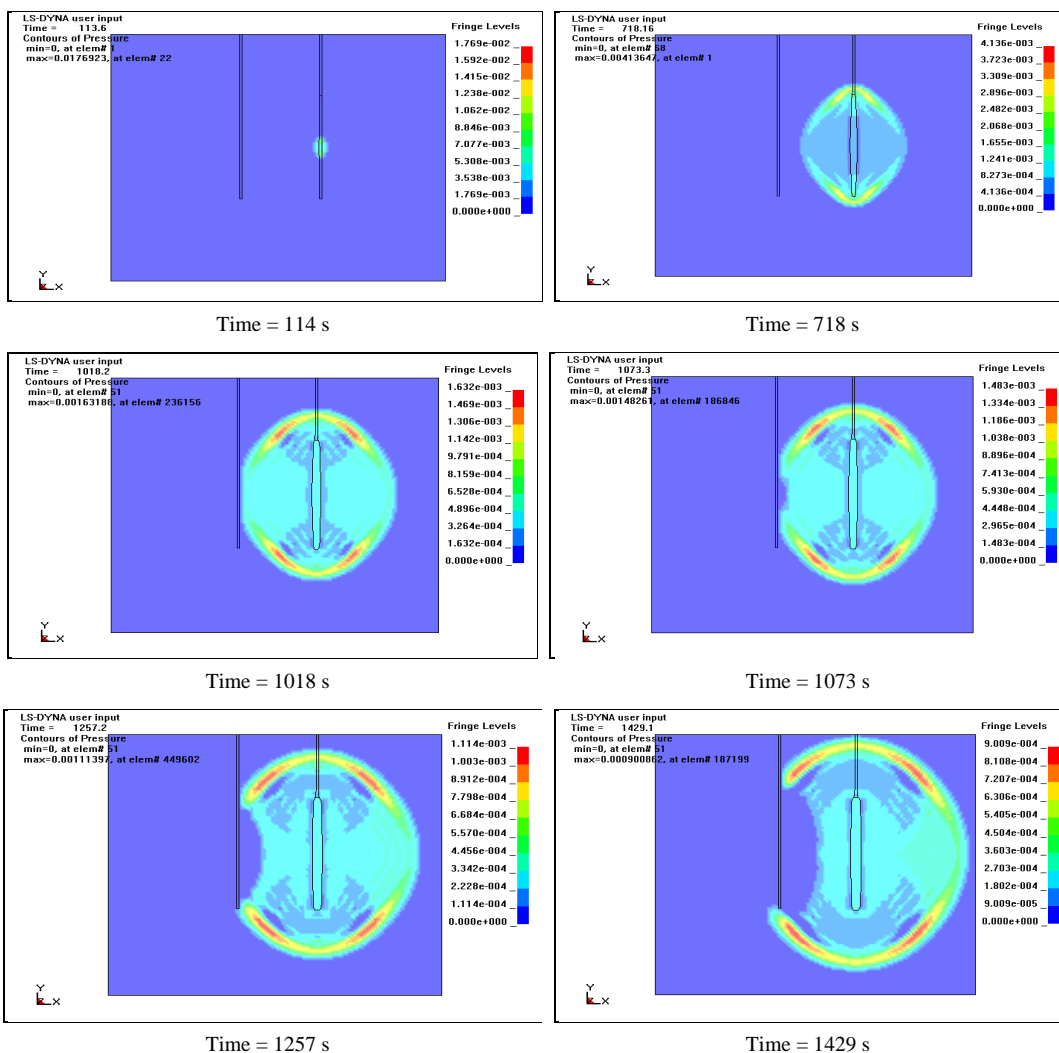


Figure 2. The simulation results under different time steps
图 2. 不同时间步下的模拟结果

2) 爆炸应力波传播到预裂缝时会发生反射, 但随着波的不断扩展, 缝底以下的应力波将绕射而通过预裂缝。围岩的振动与损伤主要是由通过缝底绕射的应力波引起的。

3) 绕射预裂缝底的应力波得到充分的衰减, 数值上变得很小, 已经不能引起围岩的破坏。计算结果表明, 10 cm 宽的预裂缝降振率可达 90% 以上。

参考文献 (References)

- [1] 于亚伦. 工程爆破理论与技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2004: 176-185.
- [2] 顾毅成. 爆破工程施工与安全[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2004: 214-217.
- [3] 汪旭光, 于亚伦, 刘殿中, 编著. 爆破安全规程实施手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004: 132-141.
- [4] 张正宇, 刘美山, 吴从清. 高陡边坡开挖中的爆破及其控制技术. 中国爆破新技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2004: 98-101.
- [5] 张立国, 龚敏. 爆破振动频率预测研究及其回归分析[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2005, 24(2): 187-189.
- [6] 张云鹏, 李存国. 爆破地震效应安全判据的发展[J]. 河北理工学院学报, 2003, 25(3): 119-126.
- [7] 阳生权. 爆破地震累积效应理论和应用初步研究[D]: [博士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2002: 15-17.
- [8] 霍永基. 建筑结构爆破振动效应及安全分析研究[J]. 爆破, 2003, 20(1): 1-6.
- [9] 龙源, 唐勇, 等. 计算机技术在工程爆破中的应用与发展[J]. 爆破, 1996, 13(1): 74-80.