

爆破地震模拟初探

吴从师 吴其苏
(长沙矿冶研究院)

摘要 在某矿实测了单孔台阶爆破和单排孔(每排2~3孔)台阶爆破的震动,并用单孔爆破震动信号作为源函数,编制了模拟爆破震动的计算机程序。用安德逊的灰度图对该矿爆破的合理微差时间作了初步探讨。现场实测的单排2孔和单排3孔爆破震动记录表明本模拟方法是基本可行的。

关键词 爆破震动 模拟地表震动的计算机程序 台阶爆破

1. 前言

如何充分利用爆破震动的信息分析、模拟和预测爆破震动以改善破碎质量,保护有关构筑物和建筑物,是一些学者正在致力于研究的课题。人们已经认识到,比例距离公式或比例药量公式有许多不足之处,它只能预测质点震动物理量的峰值,没有反映爆破震动的频率,也没有对整个震动持续过程作分析。自80年代初开始,一些研究人员先后提出了一些微差爆破震动的模拟预测模型^[1,2,3,4],这些模型有的是理论型的,也有的是半理论半经验型的,但都有一个共同点,就是将单孔爆破震动的波形作为源函数,然后通过一系列变换计算,模拟整个微差爆破的震动波形,以预测爆破震动。

本文以某铁矿台阶爆破实测的震动记录作为源函数,编制了模拟微差爆破震动的计算机程序,试图在选择合理微差间隔时间方面作初步的尝试。

2. 基本原理

微差爆破震动是一复杂的非周期运动过程,它是爆破参数和地震波传播路径中的地质条件等变量的函数,我们从实用角度出发,将它表示如下

$$S(t) = \sum_{i=0}^{n-1} a_i S_i(t - d_i) \quad (1)$$

式中, $S(t)$ 为总的质点运动, a_i 为第*i*个炮孔(即第*i*个爆源)的药量震动系数,它与炸药品种和药量有关, $S_i(t - d_i)$ 为第*i*个爆源的时域源函数, d_i 为第*i*段雷管的起爆时间, n 为爆源数量(或炮孔个数)。

从(1)式可见,微差爆破的震动是由各爆源(各炮孔)产生的震动叠加而成,本模型考虑是线性叠加。当测点离爆源较远时,爆源到测点之间的地质条件可看作基本相近。如果各炮孔的炸药品种和药量都相差不大,可近似认为 a_i 是1。这样我们可假设台阶爆破中,每个炮孔的爆破相对于测点的地震波是一样的,即先后爆破的炮孔产生的波形具有重现性,那么与总的震动密切相关的就是各炮孔的起爆时间 d_i 。因此(1)式可简化为

$$S(t) = \sum_{i=0}^{n-1} S(t - d_i) \quad (2)$$

各炮孔爆破的源函数 $S(t-d_i)$ 是模拟中的关键, 它包括了拾震器的安装反应, 爆源与测点之间的地质条件对波的衰减和波与测点的干扰等信息, 我们通过实测现场单孔爆破震动来确定 $S(t-d_i)$ 。由于扩散和衰减, 测点所测到的单孔爆破震动持续时间一般都比爆破中微差间隔时间长, 从而各单孔产生的地震波就会互相叠加, 使得本模型的线性叠加成为可能。

3. 实测验证

我们在岩石和矿石台阶爆破中, 实测了单孔爆破, 双孔瞬发、两孔微差、三孔微差爆破的地震波, 以获得源函数和验证模拟的真实性。测点与爆区同台阶, 设在爆区的前方、后方和侧后方, 爆心距100~300 m, 炮孔直径、药量和抵抗线都与普通生产爆破一样。

同一台阶两个单孔先后分别爆破的震动波形极为相似, 值得注意的是, 这两个单孔的矿岩性质并不一样, 一个孔钻在岩石中, 另一孔钻在相距10 m的矿石中, 它们各自产生的地震波时幅曲线和频幅曲线都很接近, 见图1。

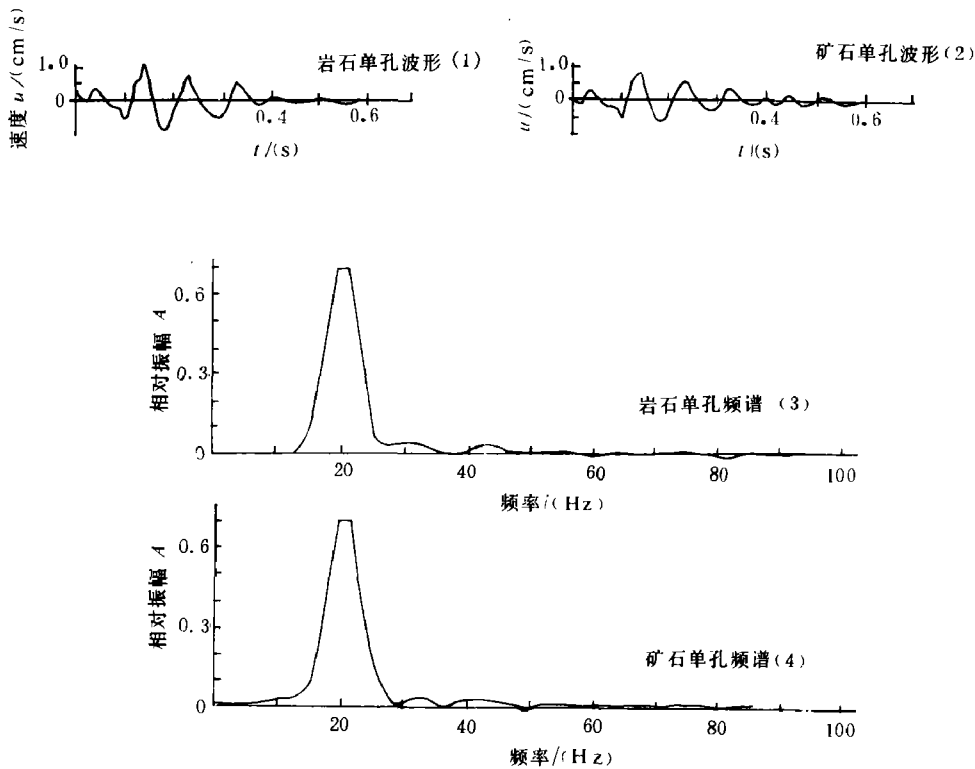


图1 岩石单孔水平向震动与矿石单孔水平向震动的对比

Fig.1 Comparison between the transverse-component vibrations produced by single-hole shot in rock and that in ore

(1)——waveform generated by single-hole shot in rock, (2)——waveform generated by single-hole shot in ore, (3)——Fourier spectrum of (1), (4)——Fourier spectrum of (2)

我们在一个炮孔内采用了一种隔板装置, 使孔底超深部位1 m左右不装药, 成为底部空

气间隔装药的炮孔,而附近的另一炮孔则照常连续装药,两孔先后分别爆破,在同一测点测到的结果除连续装药孔产生的震速稍高以外,其他结果都较接近。图2是它们的时幅曲线和频幅曲线的对比。

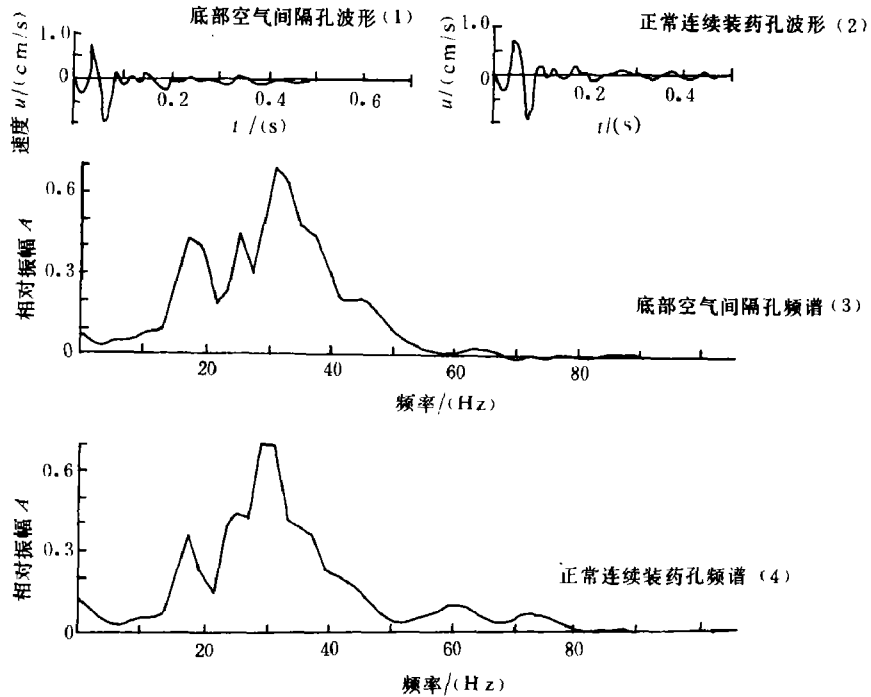


图2 底部空气间隔炮孔垂直向震动与正常连续装药炮孔垂直向震动的对比

Fig.2 Comparison between the vertical-component vibrations generated by single-hole shot with continuous explosive column and that with an air gap in the subdrilling

(1)——Waveform generated by the single-hole shot with an air gap in the subdrilling, (2)——Waveform generated by the single-hole shot with continuous explosive column, (3)——Fourier spectrum of (1), (4)——Fourier spectrum of (2), (5)——Relative amplitude

实测双孔瞬发、两孔微差和三孔微差爆破的地震波形与用源函数合成的地震波对比的结果表明,波形线性叠加的假设是成立的。图3是名义时间25 ms和名义时间0 ms(即瞬发)微差爆破的实测波形与合成波形的对比,但是,图中的合成波形并不是按25 ms和0 ms延时合成的,而是分别按18 ms和8 ms延时合成的。按名义时间合成的波形与实测波形差别较大,这种现象可通过微差雷管起爆时间的误差分析得到解释。我们对塑料导爆管雷管延期时间实测的数据表明,各段雷管延期时间测试值服从正态分布,1,2段雷管的延时标准差都达8 ms,随着段别增高,数据离散增大,由正态分布可知,1、2段雷管均有0.68的概率在各自均值时间的 ± 8 ms内起爆,所以名义微差时间与实际起爆时间相差7~8 ms是完全可能的。我国目前雷管生产厂家一般还没有给出各段雷管起爆时间的均值和标准差等参数,雷管延时误差对模拟效果的影响还有待进一步研究。

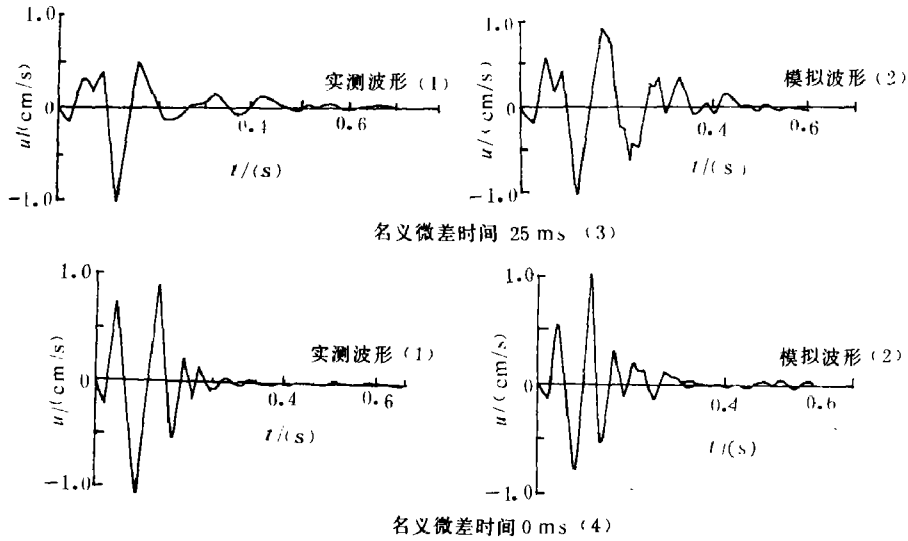


图3 微差爆破震动实测波形与模拟波形的对比

Fig.3 Comparison between the measured waveform and the simulated waveform in delay blast condition
 (1)——Measured waveform, (2)——Simulated waveform, (3)——Nominal delay time 25 ms, (4)——Nominal delay time 0 ms

4. 微差时间的选择

微差爆破降震的原理是：将总药量分段起爆，并利用分段起爆的时间差产生相消干扰。爆破地震效应不仅与震幅有关，也与频率有关，露天矿边坡和其它矿区构筑物有各自的自振频率，我们选择微差时间的着眼点是，避开自振频率，尽量产生相消干扰。

本程序根据实测源函数在时域上对孔间微差作了模拟，图4是某一台阶孔间微差时间与模拟质点震动速度的关系图，爆源在岩石中，孔径为250m，测点距爆源170m，抵抗线8m，其他参数与生产爆破一样。从图中可见，微差时间为16ms时，质点震速最低，约为瞬发爆破（0ms）震速的42%；微差时间14~24ms范围内，其震动速度都不会超过瞬发爆破震速的50%，孔间微差时间在此范围内选择较为合适。

在频域方面，我们采用 Anderson 的灰度图^[1]作为选择微差时间的一种工具，见图5，图底横坐标为频率，左列纵坐标表示微差时间。一行行不同密度的点阵表示在相应微差时间和频率下的相对振幅值，最密点处表示振幅最大，空白处表示振幅最小。

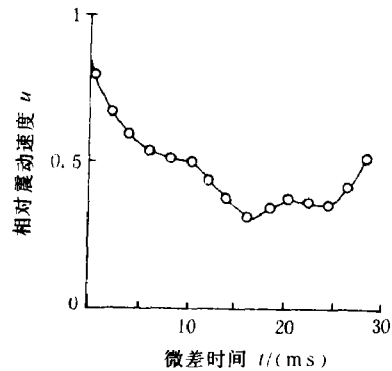


图4 微差时间与模拟震速的关系
 Fig.4 Simulated particle velocity vs delay time

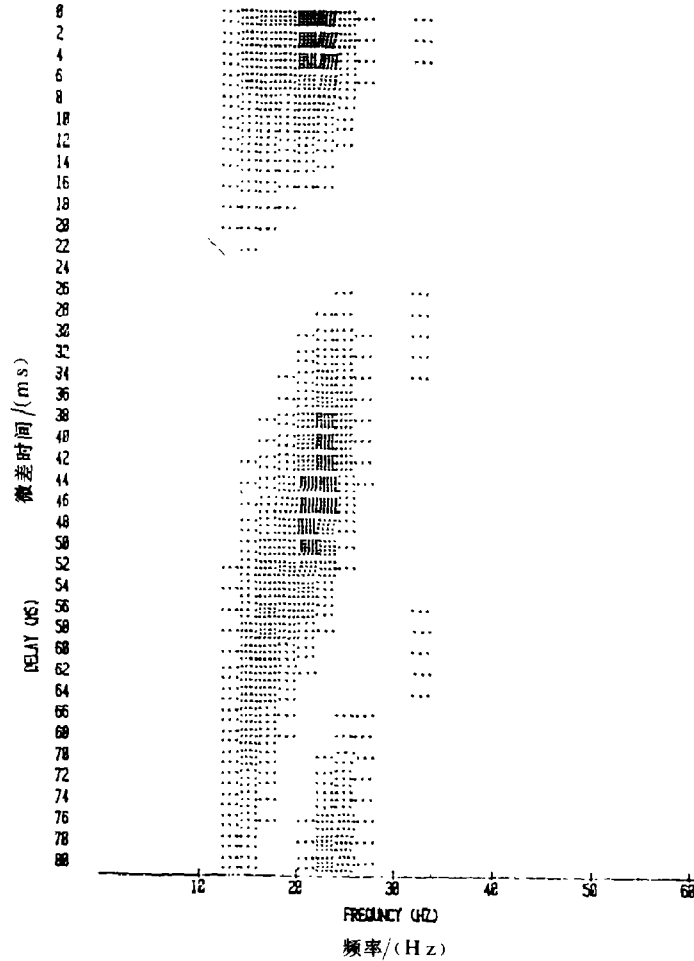


图5 灰度图

Fig.5 Gray-scale map

这种图解方法由 Anderson 于1983年引入矿山爆破中,曾在孔径150 mm的块状大理岩台阶爆破和孔径200 mm的薄层状石灰岩台阶爆破中应用,效果良好。它为我们提供了一个把频率与时空联系起来的桥梁,使我们可以避开矿区构筑物自振频率的情况下,选择合理微差时间。

图5是利用前面时域分析中的实测源函数所作的,从图可见,不管什么微差时间,10 Hz以下和35 Hz以上的震幅都很小,但矿区待保护的构筑物建筑物的自振频率一般都在4~21 Hz^[5],从图5看来,4~21 Hz范围内,微差时间的选择最好是18~28 ms,与前面时域分析的结果是相近的。以上仅是孔间微差选择的一个例子,排间微差时间选择也可按类似方法进行。

5. 结语

爆破震动的实测分析证明, 该模拟方法中的假设条件是真实的。台阶爆破中, 各单孔先后爆破的地震波有一定的重现性, 线性叠加方法基本可行。灰度图的建立沟通了震幅-频率-微差时间之间的关系, 为选择合理微差时间提供了一种方法。本文选择的微差时间仅仅是从降低爆破震动的角度出发的, 还没有考虑爆破破碎质量, 同时, 我国目前一般雷管的延时精度不高, 并且提供的产品指标中没有误差分布参数, 使得我们很难把握住模拟的精度, 这些问题都将在今后的工作中完善。

微差爆破地震波的模拟在我国还只是初步尝试, 我们做的工作只是一小部分, 测试数据需要积累, 观测手段有待完善, 模拟理论研究更需加强。相信该项技术将在提高爆破效果, 降低有害效应方面发挥重大作用。

参 考 文 献

- [1] Anderson, D. A., Winzer, S. R., Ritter, A. P., *Proc. 3rd Inter. Symp. on Computer-aided Seismic Analysis and Discrimination*, Washington, DC, (1983), 70.
- [2] Blair, D. P., *2nd Inter. Symp. on Rock Fragmentation by Blasting*, Keystone, CO (1987), 88.
- [3] Koslyuchenko, V. N., etc, *Soviet Mining Science*, 18 (1) (1982), 28.
- [4] Crenwelge, O. E., *2nd Inter. Symp. on Rock Fragmentation by blasting*, Keystone, CO, (1987), 144.
- [5] Anderson, D. A., etc, *Proc. 8th Conf. Explosives and Blasting Techniques*, New Orleans, LA, (1982), 69.

A PRELIMINARY APPROACH TO SIMULATING BLAST VIBRATION

Wu Congshi, Wu Qisu

(Changsha Research Institute of Mining and Metallurgy)

ABSTRACT The ground vibration produced by the bench blast of a single hole or a row of two or three holes is recorded in an iron mine. Using the seismic signal generated by a single-hole shot as the source function, we have developed a computer program for simulating ground vibration by bench blast. The reasonable delay time of blast in the iron mine has been discussed tentatively with the gray-scale map invented by Anderson D. A.. The seismograms measured from the single-row shots of two or three holes have shown this method of simulating vibration is feasible in the mine.

KEY WORDS blast vibration, computer program of simulating ground vibration, bench blast