

爆破振动速度衰减公式的优化选择

毕卫国, 石 崇

【山东科技大学 工程爆破研究所, 山东 泰安 271019】

摘 要: 当前岩体中地震波传播规律还无法从理论上给出的统一公式, 而主要依靠工程实测来获取第一手资料, 然后通过最小二乘法来拟和经验公式对地震波的强度进行预测, 从而达到防震减灾的目的, 本文通过编制程序, 对各种形式的拟和公式进行了比较, 对爆破振动速度衰减公式的优化选择进行了探讨, 根据不同形式拟和误差的不同, 提出应解除萨氏公式中一次起爆药量与爆心距指数比例, 选择最优化的指数来模拟, 从而使得预测结果更加符合实际。

关 键 词: 爆破振动; 质点速度; 模拟

中图分类号: P 315.3 文献标识码: A

Optimization selection of blasting vibration velocity attenuation formulas

BI Wei-guo, SHI Chong

(Institute of Engineering Blasting, Shandong University of Science and Technology, Tai'an 271019, China)

Abstract: Presently, rule of seismic transmission still can't be given accurately in theory. Usually primary information is attained from engineering measurement, then an empirical equation is simulated according to the least squares theory to prevent and reduce disasters. In this paper, different formula forms are compared through programs and optimization selection of blasting vibration velocity attenuation formula is investigated. According to the different error rates of different formulas, the index number of the charge and the distance should be released in empirical equations, and an optimized index number should be searched in simulation of the equation to make the prediction more accurate.

Key words: blasting vibration; particle velocity; simulation

1 引 言

当药包在岩石中爆炸时, 药包周围的岩石会产生压碎圈和破裂圈, 当应力波通过破裂圈后, 由于它的强度迅速衰减, 再也不能引起岩石的破裂, 而只能引起岩石质点产生弹性震动, 这种震动是以弹性波的形式向外传播, 造成地面的震动, 因此称为地震波, 由爆破所引起的这种现象及其后果, 叫做爆破地震效应, 爆破震动是造成建、构筑物出现破坏, 诱发滑坡等灾害不可忽视的基本工程因素, 震动激励下的地震波传播及衰减规律是岩土工程界关注的重要课题, 大量的理论与试验研究已经取得了重要的成果。

关于爆破地震效应的安全判据, 前苏联一直以地面峰值震动速度为判据, 以安全距离作为控制标准指导爆破工程, 而西方国家尤其美国曾经历过以

爆破峰值震动、震动加速度以及震动能量比等作为安全判据, 1971 年美国矿务局在总结前人的爆破试验震动观测数据与地面建筑物的宏观反应调查资料相对照的基础上, 统一以峰值震动速度作为安全控制标准指导爆破工程, 我国目前基本上还是沿用速度为主的安全标准【GB 6722-86】, 于 2004 年 5 月 1 日开始实施的新标准(GB 6722-2003)也只是分段考虑了频率的影响, 相对西方国家的评判标准来说还比较粗糙, 因此, 如何对地震波引起的震动速度进行预测是一个经久不衰的话题, 受到了各方面的关注, 但由于地震波传播的规律依赖于介质特性以及介质的复杂性, 目前, 还无法从理论上给出岩体中地震波传播规律的统一公式, 主要是依靠工程实测来获取第一手资料, 然后, 通过最小二乘法拟合公式对地震波的强度进行预测, 从而, 达到防震减灾的目的, 本文通过编制程序, 对各种形式的拟

合公式进行了比较,并对爆破振动速度衰减公式的优化选择进行了探讨。

2 爆破振动速度的规律研究

爆炸波从介质中的震源出发向外传播到介质中去,一个点震源将在各向同性介质中产生一个球面波,它的波阵面面积随 r^2 (r 为距震源距离) 而增加,流过单位面积的能量随 r^{-2} 而降低,而在非均匀介质中,地震射线是曲线,波阵面是不规则的几何曲面。若震源为一直线(柱状装药),将会产生柱面波,它的波阵面面积随 r 的增加而增加,流过波阵面单位面积的能量随 r^{-1} 而降低。若研究的点距离震源很远,则可把波阵面当作平面来考虑,因此,就不产生如球面波与柱面波那样的几何效应。因此,从能量的角度考虑,地震波强度应该随 r^2 (或 r) 的增大而衰减。通过相同条件下,不同药量爆炸试验发现,等爆心距处一次起爆药量越大,爆炸地震波产生的振动速度越大,反之则小,而爆破总药量对振动速度速所起作用相对较小,故在进行地震波预测时,一般采用单响起爆药量,而不采用总装药量来进行控制。

地震波在传播的过程中,局部地形的变化对爆破地震效应的影响是很明显的。当出现河沟、山谷、巷道、采空区、断层、裂隙时,地震效应明显减弱,当出现山坡、岩柱时,地震效应增强。但是,不论地形多么复杂,地形的变化可以用高程的变化(高程差)近似表示,并且发现,高程差值为 25~104 m 时,岩石中的水平方向的质点加速度增大 1.23~3.04 倍,垂直方向增大 3.26~3.80 倍。在表土中,水平方向增大 1.18~1.53 倍,垂直方向增大 1.32~1.79 倍。众多的研究发现:单响起爆药量,爆心水平距以及高程差是与爆破振动速度相关系数最大的几个物理量。由于高程复杂条件,测量不方便,容易产生误差,故经常采用前两者对振速来预测。

3 爆破震动速度的预测

3.1 预测方法

在工程爆破中,若工程附近有需要保护的高耸边坡或重要建、构筑物,则往往要进行爆破震动的跟踪监测,并将每次的监测结果反馈给爆破方案设计师和爆破安全的监护者,从而,可以根据监测结果,对下次的爆破参数作出调整并进行安全校核,以便将爆破震动破坏始终控制在允许的范围内。

研究发现,用速度的某临界值来作为建筑物爆破地震破坏的定量烈度工程标准和破坏判 是合理

的,因此,国内习惯上采用速度的 3 个分向量中最大的一个作为破坏判据,故准确的预测出各方向最大振动速度尤为重要。通常的做法是:根据爆破试验或生产爆破过程中测得的实际数据,以萨氏经验公式为基本形式,采用最小二乘法进行拟合求得相应的爆破振动参数的衰减方程。

3.2 预测误差的来源

采用萨道夫斯基公式对质点速度进行预测,在实际应用中取得了一定的效果,但预测值与现场实测值往往存在较大误差。一个重要的原因是在计算中,对计算公式中的系数 k 、 a 的取值存在主观随意性,而且其对爆心药量与爆心距之间的比例关系的限制是否真正符合工程实际,爆破振动速度与爆破药量和爆心距之间的关系除了指数关系以外,是否还有与工程实际更接近的形式等等还有待商榷。其中我国最常用的萨道夫斯基经验公式为:

$$v = k \left(\frac{Q}{R} \right)^a \tag{1}$$

式中 v 为质点峰值振速(cm/s), Q 为最大段药量(kg), R 为爆心距(m), k 和 a 为与场地、装药等情况有关的拟合参数。在实际应用中, Q 、 R 易于准确测定,而 k 和 a 值受较多因素的影响,其取值相对难以准确的符合实际情况,从而,导致计算中爆破振动速度的预测误差。误差主要来自以下几个方面:

(1) 试验中以点代面。在现场进行小型爆破试验,根据试验测定的爆破质点速度值来反推确定 k 、 a 值,在一定程度上能反映真实状况。然而,现场试验次数有限,范围有限,测试数据对爆破一定范围内有效,超出该范围时,用试验数据来计算预测爆破质点速度,就会因条件的变化而产生较大误差。

(2) 类比法取值不客观。工程中很多情况是采用工程类比法来对 k 、 a 取值。但是,类比取值存在很大的主观性,随意性和片面性,可能因目的的不同而带有倾向性,这必然会给爆破质点振动速度的预测计算带来较大误差。

(3) 地质条件的变化。在实际工程中,一旦 k 、 a 确定,若没有事故或大的异常发生,往往不再发生变化。而事实上地质条件是千变万化的,随着爆破和测试区域的改变, k 、 a 也是不断变化的。用不变的 k 、 a 预测变化的地质条件下的质点振动速度误差也就较大。同时,由于不同的爆破形式所引起的爆破震动也不一样,如果采用同样的公式进行预测也会给我们的预测结果带来误差。

(4) 萨氏公式限定了爆破药量和爆心距的比例关系,而文献[2]通过实践发现,爆破药量和爆

心距的最佳指数关系并非如式(1)中所规定的 1/3, 而是随地质环境及爆破方式的不同而不断变化, 这导致在计算中因拟合公式的不同而出现误差。

因此, 符合现场实际的 k_a 是随爆破的进行不断变化的, 在振动速度预测计算中应得到不断修正, 同时, 应该寻求更优化的预测公式。

3.3 爆破质点振动速度拟合公式的优化选择

尽管由于爆区的地质环境及爆破振动的传播途径千差万别, 目前还无法建立完善的理论模型来精确描述爆破振动速度衰减方程, 但我们可以通过优选模型, 用大量爆破参数实测数据进行优选拟合公式和检验, 从中找出最符合实际的爆破振动速度衰减公式的形式, 并动态的使之不断完善, 来降低预测误差。

事实上, 采用萨道夫斯基公式进行预测误差较大很早就被发现了, 各国也根据自己的情况提出了许多新的拟合公式。常用的有欧美公式、深孔修正公式、兰氏公式、U B 公式、印度公式、日本公式等。为了减小误差, 我们必须寻求最佳拟合公式来进行预测。

笔者采用 MATLAB 语言, 建立了爆破地震波数据处理的动态优化模型, 其工作原理是: 首先, 根据工程类比法进行预测, 根据预测结果安排施工, 同时跟踪监测每次施工的爆破参数和振动速度大小, 在获得到一定量的 Q, R, V 样本(5 个以上)后, 利用实测的地震波数据, 选用误差最小的经验公式对质点速度进行最小二乘法拟合, 用线性回归公式进行反推, 获取 k_a 的初值, 并用作下次爆破预测的取值参数。这样, 以后每得到一组 Q, R, V 值, 就及时的输入程序进行计算, 得到新的 k_a 值, 如此循环反复。每次预测计算中所采用的 k_a 值都体现了不同地点的现场地质条件, 以及因上一次爆破而发生的变化, 从而使预测更接近实际。

4 工程实例

某工程实测的爆破振动最大质点速度如表 1 所示, 采用最小二乘法对公式进行拟合。因常用的经验公式形式都是 $V = k \frac{Q^n}{R^a}$ 形式, 故首先固定爆破

药量与爆心距的比例关系, 仅为说明问题分别选取 n 为 1/3, 1/2, 2/3, 3/4, 4/5 对公式进行拟合, 求得拟合公式参 值及各公式的平均误差如表 2 所示。发现随着药量与爆心距的比例指 的不同, 误

差也不断发生变化, 其变化曲线如图 1 所示。

表 1 最大振动速度测数据表

Table 1 Measured data of maximum vibration velocities

最大段药量 Q / kg	爆心距 R / m	最大振速 V / cm·s ⁻¹
168	246.5	0.50
175	306.5	0.41
196	286	0.47
120	155	0.92
169	220	0.56
130	260	0.35

表 2 拟合公式及误差表

Table 2 Simulated equations and errors

拟和公式形式	经验公式名称	拟和后	平均误差 / %
$V = K(\frac{Q}{R})^a$	萨氏公式	$V = 188(\frac{Q}{R})^{1.56}$	8.06
$V = K(\frac{Q}{R})^a$	欧美公式	$V = 77(\frac{Q}{R})^{1.7}$	7.3
$V = K(\frac{Q^2}{R})^a$	U B 公式	$V = 22(\frac{Q^2}{R})^{1.78}$	7.57
$V = K(\frac{Q^3}{R})^a$		$V = 11(\frac{Q^3}{R})^{1.79}$	9.2
$V = K(\frac{Q^4}{R})^a$		$V = 257(\frac{Q^4}{R})^{1.48}$	8.5

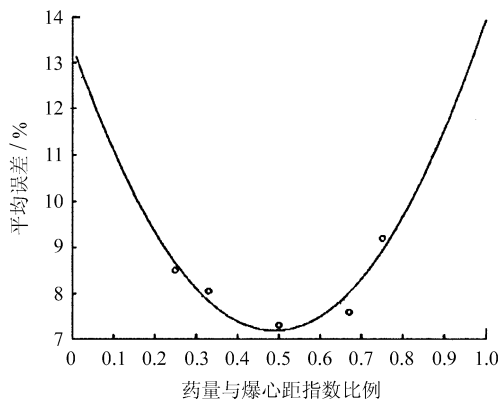


图 1 不同药量与爆心距指数误差变化图

Fig.1 Curve of errors under different charges and distances

从以上模拟结果可以看出, 不论是采用哪一个经验公式进行模拟, 都存在一定误差, 这是工程量测中不可避免的。但是, 采用同样的数据, 不同的拟合比例指数得到的模拟结果误差不同, 而是存在一个使误差最小的最佳指数。这充分证明, 萨氏公式中人为规定段最大装药量与爆心距的指数比例为 1/3 是不合理的。根据 误差最小的原则, 我们发现, 对本工程而言, 爆破药量与爆心距之间的最佳指

比例应该在 0.5 左右,故从几个经验公式中选择欧美公式得到的结果更加接近实际。如果是一个长期监测的工程,编程序可以实现动态预测,每获取一次数据,预测公式以及公式中的 k 、 a 值就可以获得一次更新,就实现了爆破震动的动态预测。

5 结 论

地震波传播及衰减规律是岩土工程界关注的重要课题。通常的做法是,根据爆破试验或生产爆破过程中测得的实际数据,以萨氏经验公式为基本形式,采用最小二乘法进行拟合求得相应的爆破振动参数的衰减方程。本文通过各种形式的拟合公式进行比较,发现随着一次起爆药量与爆心距的指数比例不同,拟合结果的误差也各不相同,而是存在一个最佳拟合指数。我们仅考虑一次起爆药量和爆心距拟和公式来预测振动速度,本身已经是一个非常简化的模型,如果再人为的规定了这一指数,只会增加误差。故提出动态优化的拟合模型,随爆破进

程不断变化 k 、 a 值不断更新,同时解除萨氏公式中指数 $1/3$,而选用一个与误差最小相接近的指数。这实际上与一些专家提出的用 $v=b_0Q^{b_1}R^{b_2}$ 公式预测模型相吻合。

参 考 文 献

- [1] 叶洲元, 马建军, 蔡路军, 楼晓明. 利用振动监测数据优化预测爆破质点振动速度[J]. 矿业研究与开发, 2003, 23(4): 48~ 51.
- [2] 王民寿, 郭庆海. 用双随机变量回归改进爆破振速回归分析[J]. 爆炸与冲击, 1998, 18(3): 283~ 288.
- [3] 臧秀, 汪宏. 爆破震动速度衰减方程形式初探[J]. 金属矿山, 2002, 310(4): 36~ 38.
- [4] 李安民. 土石方爆破的振动监测与分析[J]. 矿业研究与开发, 2003, 23(4): 52~ 54.
- [5] 刘石义, 赵小稚等. 矿山爆破地震波的测试分析[J]. 淄博学院学报(自然科学与工程版), 2002, 4(4): 79~ 81.