

爆破地震效应数据处理影响因素初步研究

吴子泉^{1,2}, 姜早峰², 王成虎¹, 韩海华², 战宁²

(1. 中国地质大学, 北京 100083 2. 山东省地震局, 山东 济南 250014)

摘要 利用爆破及打桩振动地震效应实测数据, 讨论了实测数据拟合 K 值与国家标准规定 K 值差别较大问题。结果表明, 药量对反演安全距离无影响, 爆破 K 值差异较大的主要因素是测点之间传播介质不均匀, 近爆源测点介质致密, 远离爆源测点介质疏松所致。

关键词 爆破地震效应; K 值; 反演; 传播介质

中图分类号: P315.9 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2004)01-0062-04

0 引言

近几年来, 随着国民经济的高速发展, 城市建设中大型工程日益增加。在爆破和夯扩沉管桩的施工现场周围有很多民用建筑或重要工程设施需要保护。虽然国家《爆破安全规程》(GB6722-86)中对爆破地震安全距离计算的重要参数 K 、 α 取值范围有了明确的规定, 但由于取值范围较大, 爆破施工过程中造成周围民房破坏的事件时有发生。为使施工发挥最大效益的同时保证周围建筑物的安全, 有时采用小药量爆破试验, 求出 K 、 α 值后进行针对性爆破施工, 同时监测爆破地震效应。分析几年来的工作主要存在以下几个问题: (1) K 值实测数据拟合值与规程规定值差异较大; (2) 打桩振动的数据处理中如何选取等效药量; (3) 爆破过程中药量不准是否对拟合结果及反演结论产生影响。本文在总结检测资料的基础上, 通过对不同参数的变换, 认识了影响参数差异性的主要原因, 解决了日常工作中 K 值偏大的迷惑, 为爆破设计参数的选取、实际数据处理和解释提供了依据。

1 数据处理的依据及方法

中华人民共和国国家标准《爆破安全规程》(GB6722-86)规定, 爆破地震安全距离

$$R = \left(\frac{K}{V} \right)^{1/\alpha} 3 \sqrt{Q} \quad (1)$$

由式(1)得

$$v = K \left(\frac{3 \sqrt{Q}}{R} \right)^\alpha \quad (2)$$

在实际检测过程中, 上式中的 V 、 R 值我们可以通过实际测量获得。为简便计算式(2)两边取对数。则有

$$\log v = \log k + \log \alpha \left(\frac{3 \sqrt{Q}}{R} \right) \quad (3)$$

令 $A = \left(\frac{3 \sqrt{Q}}{R} \right)$, $K = \log K$, 则

$$\log v = k + \alpha \log A \quad (4)$$

在双对数坐标中 $\log v$ 与 $\log A$ 线性关系, K 是 $\log A$ 的截距, α 是斜率。根据振动检测数据和测点距离, 可求得 K 和 α 值。

为便于讨论, 引入新的变量 $y = \log v$, $x = \log A$, 则

$$y = k + \alpha x$$

(5)

k, α 为回归方程的回归系数。全部观测值与回归值差的平方和为

$$f(x, \alpha) = \sum_{i=1}^n (y_{0i} - k - \alpha x_i)^2$$

(6)

所谓的最小二乘法就是使得 $f(x, \alpha)$ = 最小。根据极值理论

$$\frac{\partial f(x, \alpha)}{\partial k} = -2 \sum_{i=1}^N (y_{0i} - k - \alpha x_i) = 0,$$

$$\frac{\partial f(x, \alpha)}{\partial \alpha} = -2 \sum_{i=1}^N (y_{0i} - k - \alpha x_i) x_i = 0$$

解方程组得

$$k = \bar{y} - \alpha \bar{x},$$

(7)

$$\alpha = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}$$

(8)

式中 $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_i x_i, \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_i y_i, \gamma$ 值为实际观测数据 x_i 和 y_i 之间的相关系数：

$$\gamma = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{[\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \sum_i (y_i - \bar{y})^2]^{\frac{1}{2}}}$$

(9)

2 实测数据处理中几个常见问题的讨论

2.1 假定药量对打桩数据处理及反演结果的影响

打桩振动测试是一个比较复杂的过程。一根桩的完成通常需要 30 多分钟的时间,在数据处理时我们选取过程中的最大振动速度值。由于打桩振动和炸药无关,所以在数据拟合时只能假定药量。为选取药量对拟合及反演结果影响最小,我们选取滨州畜牧局实测的振动数据,并以桩端点为爆源点(实际监测桩端点振动最大),三分量的合成值作为各测点振动速度(表 1)。

表 1 滨州畜牧局打桩振动实测数据

桩与测点水 平距离/m	桩长 /m	桩端与测点的 直线距离/m	径向速度 /[cm·s ⁻¹]	切向速度 /[cm·s ⁻¹]	垂直向速度 /[cm·s ⁻¹]	合成值 /[cm·s ⁻¹]
6	11	12.52	0.85	0.5	0.81	1.27
11	11	15.55	0.46	0.28	0.55	0.76
19	11	21.95	0.28	0.19	0.29	0.44
27	11	29.15	0.28	0.15	0.23	0.39
37	11	38.60	0.17	0.13	0.19	0.28

假定 1~6 kg 的炸药爆炸所产生的振动速度均为表 1 中的实测数据,以规范规定的公式作最小二乘法拟合处理,求取 K, α 值及相关系数。将拟合的 K, α 值代入公式(2)中,求取 $V = 2$ cm/s 时的安全距离,其结果见表 2。

由表 2 可以看出(1)对相同的一组数据,若假定炸药药量不同, K 值随药量的增大而减小, α 值和相关系数不变。从相关系数的相关性看实测数据是非常可靠的。(2)不论药量取值多少,安全距离相同。进一步研究发现,多组拟合结果反演计算出的 V, R 值在图上表现为一条曲线。进一步说明反演结论不会因假定药量的不同而发生变化。

表 2 药量对拟合参数影响结果

假定药量/kg	K 值	α 值	相关性	安全距离/m
1	45.028	1.2165	0.9841	12.93
2	33.995	1.2165	0.9841	12.93
3	28.841	1.2165	0.9841	12.93
4	25.665	1.2165	0.9841	12.93
5	23.445	1.2165	0.9841	12.93
6	21.774	1.2165	0.9841	12.93

2.2 对实际观测资料的处理

为进一步研究数据的衰减规律与 K 、 α 值的关系,分别利用拟合数据反演其 V 、 R 值,并根据国标 GB6722-86 规定的 K 、 α 值取值范围取 $K=250$, $\alpha=1.5$ 作为标准对比其变化,结果见图1、图2。

图1中系列1为标准参考曲线,其中 $Q=220\text{ kg}$, $K=250$, $\alpha=1.5$ 。由图1、图2可以看出,曲线近于平行,说明曲线的衰减形态不因 K 、 α 值的变化而有明显的变化。因药量或锤击能量的不同而使得的曲线分离开来,药量越大,锤击能量越强,相同振动速度的距离越远。在黄河沉积地层打桩,若安全振动速度 $V=2\text{ cm/s}$,则振动的安全距离一般在 $6\sim 13\text{ m}$ 。

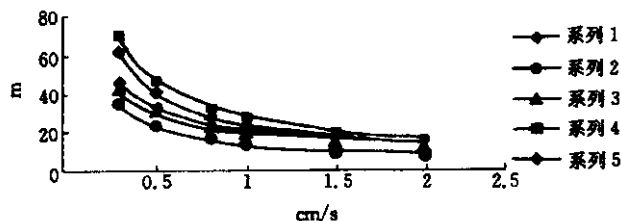


图2 打桩振动 V 、 R 衰减曲线

Fig. 2 Attenuation curve of V , R in piling vibration.

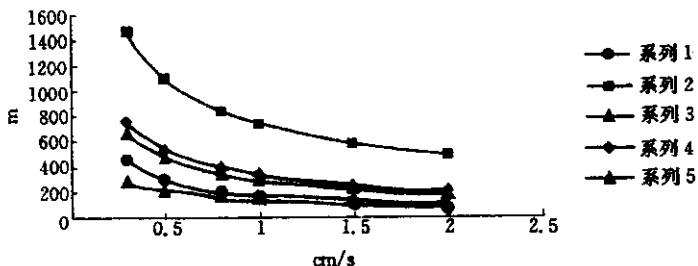


图1 爆破振动 V 、 R 衰减曲线

Fig. 1 Attenuation curve of V , R in blasting vibration.

之间,爆破的安全距离则因炸药量差异太大,难以给出准确的数据,但可根据国标(GB6722-86)规定,取 $K=250$, $\alpha=1.5$ 进行估算。

2.3 K 值发生畸变的可能性研究

实际检测数据拟合的 K 值与国标(GB6722-86)规定 K 值差异较大,分析实验各个环节造成观测数据误差的可能性主要有以下几种:(1)实测数据与真实数据之间存在系统误差;(2)提供的炸药药量不准确或炸药的效能没有完全发

挥及堵塞效果不好等;(3)各测点地震波的传播介质存在严重的不均匀性,造成地震波在不同距离范围内的衰减存在很大差异。对这三种假定分别进行了试验。

2.3.1 假定检测数据偏小

仍以滨州畜牧局振动测试数据为例,将实测数据扩大相同的倍数,进行拟合,结果见图3。

由图3可以看出 K 值随着实测数据的增大而线性增大,当速度增大1倍时 K 值也增大1倍。但实测速度增大1倍是不可能产生的,正常情况下应小于真实振动速度。因此实测数据偏小,不可能造成 K 值增大。

2.3.2 药量对 K 值的影响

通常情况下因为复杂的爆破条件,影响药量的实际发挥,使得爆破效果要比设计小一些。以蒙阴水泥厂为例,药量 Q 从 $6\ 265\text{ kg}$ 每次减少 500 kg 减至 $3\ 025\text{ kg}$,拟合出不同的 K 值(图4)。

由图4可以看出,当药量从 $6\ 525\text{ kg}$ 减至 $3\ 025\text{ kg}$ 时, K 值从 582 增加到 906 ,增加 1.5 倍左右。但这只是一种假设,实际工作中不会出现如此大幅度偏差。所以若爆破效果较为理想,则其对 K 值的影响将略大于规范值。

2.3.3 传播介质不均匀性对 K 值的影响

传播介质存在严重的不均匀性,反映在实测数据上主要是靠近爆源的测点多因高频成分的存在,介质致密,地震波衰减慢、峰值大。随着距离的增加,介质变的疏松甚至为较厚的第四系覆盖,高频成分完全衰减,只有低频成分,造成前后数据差异较大。为模拟该种地质条件下地震波的变化规律,我们采取放大前2点数据,其他数据不变来拟合 K 值的变化,结果见表3。

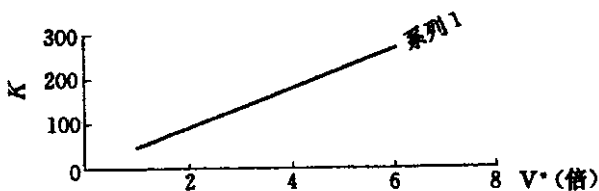


图3 K 值实测数据扩大倍数的变化曲线

Fig. 3 Amplified observed K value curve.

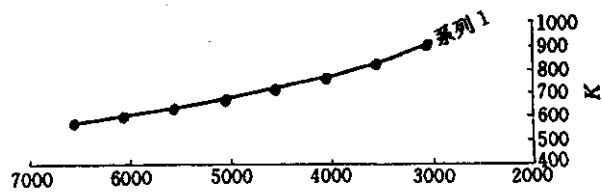


图 4 K 值随药量的变化规律曲线
Fig. 4 Curve of K value vs. explosive quantity.

表 3 介质不均匀性对 K 、 α 值的影响结果

实测速度变化	K 值	α 值	相关性
不变	45	1.22	0.984
1 点 $\times 1.5$ 2 点 $\times 1.2$	119	1.50	0.974
1 点 $\times 2$ 2 点 $\times 1.5$	266	1.73	0.972
1 点 $\times 3$ 2 点 $\times 2$	796	2.02	0.967
1 点 $\times 3$ 2 点 $\times 3$	1250	2.14	0.970

显著变大。因此传播介质不均匀可能是造成 K 值远大与规范的主要原因。这也符合实际情况。

3 结论

通过以上对爆破地震效应测试及打桩振动测试数据的研究 ,对日常工作遇到的 K 、 α 值变化规律有了初步的认识 ,研究结果表明 :

- (1)根据打桩振动地震效应测试数据拟合的结果 , K 值与假定药量大小有关 , α 值及相关系数与药量无关 ,药量对反演结果无任何影响。
- (2)爆破地震效应测试数据拟合的 K 值与规范规定差异较大的原因较多 ,但主要是因为地震波传播介质有显著差异。靠近爆源位置介质越致密 ,远离爆源位置介质越疏松 , K 值越大 ,反之则越小。振动数据实测误差及药量不准确也能使 K 值发生变化 ,但不明显。
- (3)在设计爆破方案计算安全距离时 ,为保证建筑物的安全 ,规范规定中的 K 值应取最大 , α 值取最小。

[参考文献]

[1] 《爆破安全规程》(GB6722 - 86). 北京 :中国标准出版社 ,1986. 20 - 21.
[2] 张雪亮 ,黄树棠. 爆破地震效应 [M]. 北京 :地震出版社 ,1981. 166 - 168.

PRIMARY RESEARCH ON EFFECT FACTORS FOR THE PROCESSING BLASTING VIBRATION DATA

WU Zi-quan^{1, 2} , JIANG Zao-feng² , WANG Cheng-hu¹ , HAN Hai-hua² , ZHAN Ning²
(1. China University of Geosciences , Beijing 100083 , China ;
2. Seismological Bureau of Shandong Province. Jinan 250014 , China)

Abstract : According to the measure data of blasting and piling vibration , the difference between fitted K value form the measure data and the specified K value in national standards are discussed in several different aspects. The results show that the explosive quantity has no effect on the inversion of safe distance form measure data in blasting and piling vibration experiments. The main factor that leads to the obvious difference between the two K values , except little influence from the explosive quantity and the error in measure data , is the in-homogeneous medium that is denser near the blasting site and looser far from the blasting site.

Key words : Blasting seismic effect ; K value ; Inversion ; Spreading medium