

文章编号: 1005-2712(2006)04-0010-04

边坡爆破振动高程效应的实验分析与研究

张 涛, 郭学彬, 蒲传金, 白红杰, 肖正学

(西南科技大学环境与资源学院, 四川 绵阳 621010)

摘要: 经过对边坡爆破振动实验测试数据的分析和比较, 发现在距爆源一定范围内, 水平爆心距相等或很接近条件下, 爆源上方的质点振动速度大于爆源下方质点振动速度。在高程和水平爆心距对质点振动速度的影响因素中, 高程影响因素的权重相对较大。同时, 通过对测试数据回归分析发现, 地震波能量不仅随着高程的降低而减小, 而且还受到边坡地形的影响, 在变坡点处地震波发生绕射形成新的震源, 影响爆破地震强度。

关键词: 边坡; 爆破振动; 高程效应; 变坡点

中图分类号: TD235.4*6; TU452 文献标识码: A

0 引言

目前, 随着爆破振动在岩土边坡开挖爆破中的进一步深入研究, 人们逐步认识到爆破地震存在高程效应, 并提出了反映边坡上质点振速的高程效应公式^[1-3]。但是根据实测数据发现, 爆破地震的高程效应并不是一个简单的问题: 一方面, 随着高程的变化, 爆心距相应增大; 另一方面, 边坡岩体完整性、坡度、坡面形状和自由面条件等因素影响爆破地震波的传播^[4], 爆破地震受到坡面效应的影响^[5]。

虽然人们对产生高程效应的坡度有过规定, 但还不十分确定, 产生高程效应的边坡高度、范围以及变坡点对爆破地震波的影响, 还没有统一的认识, 对高程效应的研究还不够深入全面。鉴于此, 笔者通过对土体介质中边坡爆破振动的测试分析及岩质边坡的爆破实例来对高程效应加以研究。

1 土介质中的爆破地震实验

1.1 实验方案

为了分析边坡高程条件对爆破地震效应的影响作用, 避免边坡岩体节理、裂隙等地质构造对爆破地震效应造成影响, 3 次实验均在均匀土介质中进行。土质台阶边坡高度 7.6m, 坡度为 40°; 每次实验均采用单孔装药, 孔径 40mm, 孔深及装药量见表 1 所示。

1.2 测试方法

由于在距爆源一定范围的近区域, 垂直向的振速往往较水平径向的大, 因此, 试验中测试质点的振动速度均为垂直方向。在爆破场地布置一条经过上平台、坡面和下平台且与坡顶线和坡底线垂直的测线, 炮孔位于坡面中上部的测线上, 上平台布置 9 个测点, 坡面 3 个测点, 下平台 5 个测点, 见图 1 所示。

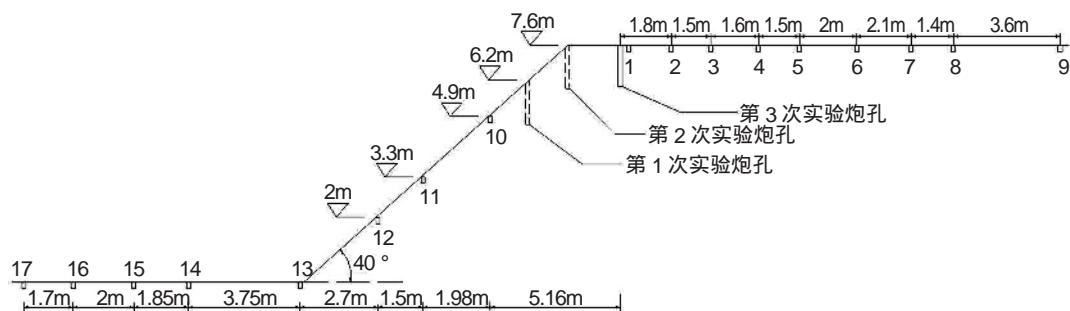


图 1 第 3 次实验测点及炮孔布置剖面图

收稿日期: 2006-10-19

© 1994-2012 China Academic Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

测试系统选用 IDTS2850 记录仪和磁电式速度传感器 部分测试数据见表 1。

表 1 爆破振动测试数据

| 实验次数 | 测点 | 爆源距 m | 振速 cm/s | 相对高程 m | 药量 g | 孔深 m |
|------|----|-------|---------|--------|------|------|
| 1 | 1 | 3.9 | 1.7036 | 7.6 | 120 | 0.76 |
| | 2 | 5.4 | 1.3008 | 7.6 | | |
| | 3 | 6.9 | 0.8256 | 7.6 | | |
| | 5 | 10.0 | 0.6729 | 7.6 | | |
| | 6 | 12.0 | 0.5088 | 7.6 | | |
| | 7 | 14.1 | 0.6405 | 7.6 | | |
| | 9 | 19.1 | 0.1960 | 7.6 | | |
| | 10 | 1.56 | 1.8563 | 6.2 | | |
| | 11 | 3.5 | 1.5430 | 3.8 | | |
| | 12 | 5.0 | 1.4274 | 2.6 | | |
| 2 | 13 | 7.7 | 0.6010 | 0 | 120 | 0.75 |
| | 16 | 15.3 | 0.1794 | 0 | | |
| | 3 | 5.2 | 0.9721 | 7.6 | | |
| | 5 | 8.3 | 0.6248 | 7.6 | | |
| | 6 | 10.3 | 0.4849 | 7.6 | | |
| | 7 | 12.4 | 0.5874 | 7.6 | | |
| | 9 | 17.4 | 0.1931 | 7.6 | | |
| | 10 | 3.26 | 1.8563 | 6.5 | | |
| | 12 | 6.7 | 0.9302 | 2.6 | | |
| | 13 | 9.4 | 0.3005 | 0 | | |
| 3 | 2 | 1.8 | 6.8690 | 7.6 | 120 | 0.75 |
| | 3 | 3.3 | 1.8377 | 7.6 | | |
| | 5 | 6.4 | 0.9155 | 7.6 | | |
| | 6 | 8.4 | 0.6312 | 7.6 | | |
| | 7 | 10.5 | 0.4735 | 7.6 | | |
| | 8 | 11.9 | 0.3162 | 7.6 | | |
| | 9 | 15.5 | 0.1828 | 7.6 | | |
| | 10 | 5.16 | 0.9000 | 6.5 | | |
| | 11 | 7.1 | 0.6235 | 3.8 | | |
| | 12 | 8.6 | 0.4037 | 2.6 | | |
| | 13 | 11.3 | 0.1743 | 0 | | |

2 爆破地震效应分析

2.1 测试结果分析

(1) 在第 1 次实验中 , 爆源位于土质边坡中上部 , 相对高程 6.2m , 在所测数据中 , 爆源上方 1、7、9 号测点分别距爆源 3.9、14.1、19.1m , 质点振速分别为 1.7036、0.6405、0.196cm/s ; 而在爆源下方的边坡及下平台处 , 11、13、16 号测点分别距爆源 3.5、7.7、15.3m , 它们所对应的质点振速分别为 1.543、0.601、0.1794cm/s 。将这些数据进行比较发现 , 在爆源上方一定范围之内 , 虽然测点水平爆心距较大 , 但其振速接近或大于爆源下方较小水平爆心距的测点振速。说明在爆源附近一定范围内 , 爆源上方质点振动速度随水平爆心距增大而衰减的程度小于爆源下方 , 也就是说 , 在由高程和水平爆心距引起的质点振动速度变化影响因素中 , 高程影响因素的相对权重相对较大。将第 1、3 次实验中测点振速与相应水平爆

心距关系绘制成图(见图 2 所示), 可以看出爆源上方各测点振动速度曲线位于爆源下方测点振动速度曲线上方 即在相等水平爆心距条件下 , 爆源上方的质点振动速度要大于爆源下方质点振动速度。同时还看出 , 随着水平爆心距的增加 , 震源下方测点高程差增大 , 震源上方测点振动强度大于下方振动强度的程度更为显著。

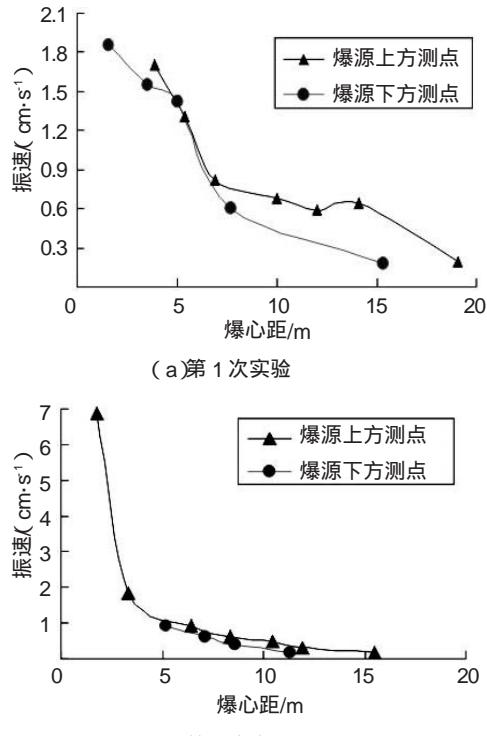


图 2 第 1、3 次实验各测点振动速度
与相应爆心距关系

(2) 在实验 2 和 3 中 , 爆源与土坡上平台各测点基本上位于同一水平高度。在 3 次实验中均发现从下平台坡脚 13 号测点开始 , 振动速度都明显小于相应每次实验中边坡上 10、11、12 号测点振速 经过分析笔者认为地震波经过坡底发生绕射 , 形成了新的震源 影响爆破振动强度。实验 2 中 , 爆源上方 6、7 号测点水平爆心距分别为 10.3、12.4m , 其质点振动速度(分别为 0.4849、0.5874cm/s)大于坡脚处水平爆心距为 9.4m 的 13 号测点振速(0.3005cm/s)。实验 3 中 , 跟爆源在同一水平位置的 8 号测点其水平爆心距(11.9m)与爆源下方 13 号测点的水平爆心距(11.3m)基本上相等 , 而 8 号测点的振速(0.3162cm/s)将近是 13 号测点振速(0.1743cm/s)的两倍。通过对这些数据的分析可见 在爆源下方 随着高程差的增大 , 介质质点振动强度明显降低 , 在一定范围内 , 高程差对爆源近区质点振动强度的影响

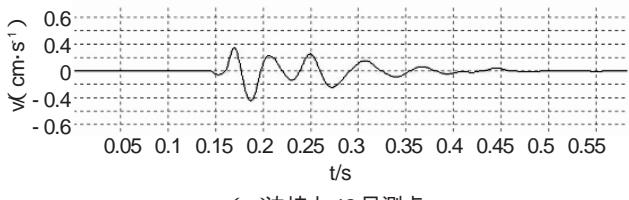
程度大于水平爆心距对质点振动强度的影响。

2.2 地震波传播规律

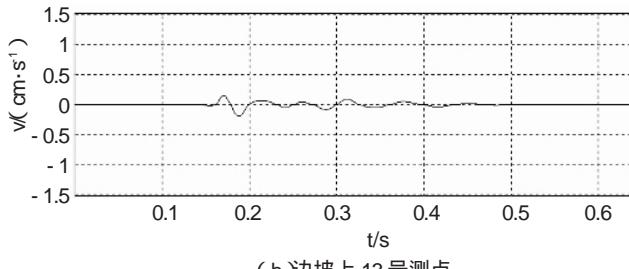
炸药爆炸时，释放的部分能量以应力波的形式向周围传播，引起介质质点的振动，一般情况下该振动强度与观测点的距离成反比。但在一些特殊地形，如存在高程差的边坡地形中，实测数据可能会存在异常情况。为进一步分析边坡地形高程效应，将表 1 中第 3 次实验数据用最小二乘法进行回归，得到爆源上方 $K = 95.97969$, $a = 2.04016$; 爆源下方 $K = 46.68048$, $a = 1.67684$ 。从回归数据中可以看出，位于爆源上方测点的 K 值要大于爆源下方测点，表明爆源上方各测点振动强度大于爆源下方测点振动强度。从表 1 中数据能够看出在 3 次实验中，位于坡脚处 13 号测点的振速明显小于边坡上 12 号测点振速，将第 3 次实验回归所得 K 、 a 值代入萨道夫斯基公式

$$v = K \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^a$$

计算坡脚处 13 号测点振速，得到 13 号测点振速为 0.2342 cm/s ，而实测数据为 0.1743 cm/s ，实际振速比计算值降低了约 25%，表明坡脚处质点是边坡与下平台的转折点，振动强度下降显著。坡脚处 13 号测点与边坡上 12 号测点振动波形如图 3 所示。在第 1 次实验中，坡脚处 13 号测点振速 0.6010 cm/s ，比边坡上 12 号测点振速 (1.4274 cm/s) 减少了 58%，在下平台的 7 号测点振速只有 0.17 cm/s ，与边坡上 12 号测点相比减少了约 88%。笔者认为地震波能量不仅随着高程的降低而减小，而且还受到边坡地形的影响，边坡与下平台的变坡点处是地震波能量变化显著的转折点。



(a) 边坡上 12 号测点



(b) 边坡上 13 号测点

3 爆破地震高程效应的应用实例

3.1 工程概况

四川省北川县青片河流域的武安水电站，左坝肩有一高达 $30\sim35\text{m}$ 、水平厚约 $6\sim8\text{m}$ 、底部宽 34m 、约 6000m^3 的层状千枚岩危岩体边坡需要爆破处理。

水电站修建期间的导流洞从危岩体侧后方通过，其延伸方向与危岩体坡面走向近似平行，洞壁未进行二次衬砌，仅局部短锚杆喷浆支护，衬砌强度较低，稳定性差。导流洞顶部低于危岩体底部坡脚 4m ，二者的水平距离约 29m ，最近处 24.8m 。导流洞以上地面坡度约 50° ，测点及炮孔布置见图 4 所示。

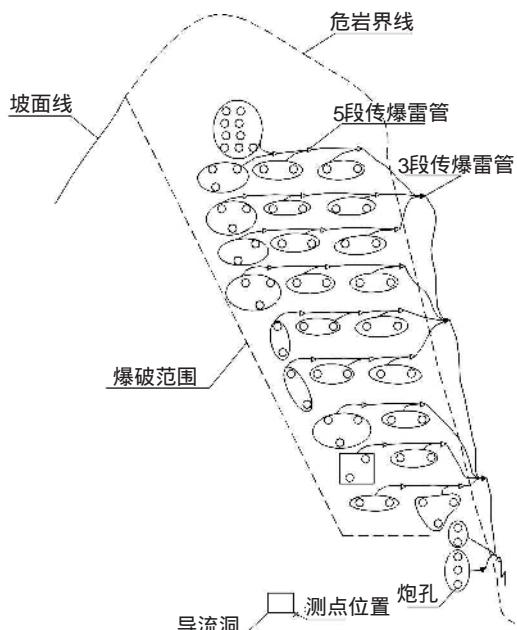


图 4 导流洞与测点及爆区位置示意图

3.2 爆破方法与爆破地震安全计算

为了确保导流洞不受影响，一方面在爆破技术上采用水平孔微差起爆进行崩塌爆破，控制爆破振动效应。在此共布置 9 层 67 个孔，孔深 $6\sim16\text{m}$ ，孔径 75mm ，炸药单耗 $0.3\sim0.4\text{kg/m}^3$ ，距导流洞最近的底部，最大一段装药量 85kg ，总装药量 958kg 。另一方面，根据萨道夫斯基公式对导流洞处爆破振动强度进行预测，该危岩体底部爆破相当于掏槽爆破，振动强度较大，顶部属于松动爆破，振动强度较小，因此最大一段装药量 Q 取底部最大一段药量 (85kg)。该岩体属软岩，取 $K=250$ 、 $a=1.7$ ，实测导流洞至爆源距离 $R=24.8\text{m}$ 。按萨道夫斯基公式计算 $v=13.2\text{cm/s}$ ，根据《爆破安全规程》(GB6722-2003)，对于水工隧洞，爆破地震安全振速为 7cm/s ，而预测振速 13.2cm/s 。

不符合安全要求。

但是, 考虑高程效应, 导流洞位于爆源的斜下方, 震动强度有所减小; 再考虑该危岩体边坡爆破, 自由面条件较好, 且采用分段微差崩塌爆破, 进一步降低爆破地震强度。综合上述各因素, 预计爆破地震强度降低约 60%, 所以取修正系数 $K' = 0.4$, 按修正后的公式计算 $v=5.28\text{cm/s}$, 符合安全要求。

3.3 爆破效果

爆破后主爆区内的危岩体全部消除, 爆破震动得到有效控制, 在危岩体后下侧导流洞入口处衬砌表面测得的最大振动速度为 2.095cm/s , 波形如图 5 示, 导流洞完好无损。

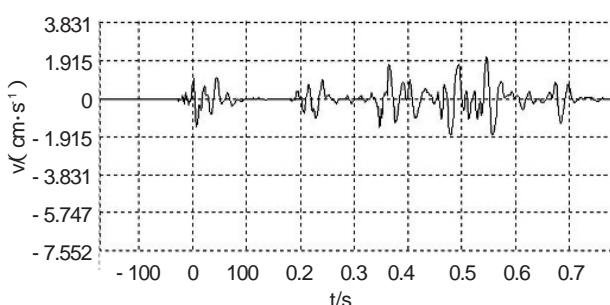


图 5 导流洞测点振动波形

4 结语

高程效应虽然已经普遍被人们认识, 但是对产生高程效应的边坡坡度、岩性、介质体完整性、边坡高度、范围以及变坡点对地震波的影响还需要深入研究, 以明确何种条件下、多大范围内爆破时将产生明显的高程效应。对边坡爆破振动高程效应的分析研究, 能够较好地控制爆破振动强度, 从而合理地制定爆破施工设计方案, 对保护爆区周围建筑设施及边坡稳定有一定的影响, 并且能对今后爆破地震效应的研究 给以较全面的补充。

参考文献:

- [1] 吴其苏.露天矿台阶深孔爆破振动效应[J].爆破,1986,(2):40-45.
- [2] 王在全,陆兴文.高边坡爆破开挖振动传播规律及质量控制[J].爆破,1994,(3):1-3.
- [3] 周同岭,杨秀甫,翁家杰.爆破地震高程效应的实验研究[J].建井技术,1997,18(增刊):31-35.
- [4] 舒大强,赖世骥,朱传云,等.岩石高边坡爆破振动效应观测及分析[J].爆破,2000,17(增刊):245-248.
- [5] 郭学彬,肖正学,张志呈.爆破振动作用的坡面效应[J].岩石力学与工程学报,2001,20(1):83-86.

Experimental Analysis and Studies of Elevate Effect of Slope Blasting Vibration

ZHANG Tao, GUO Xue-bin, PU Chuan-jin, BAI Hong-jie, XIAO Zheng-xue

(Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, Sichuan, China)

Abstract: The paper studied elevation effect through measuring and analyzing slope blasting vibration in soil medium and engineering project. After analyzing and comparing the experimental test data of slope blasting vibration, we find that the vibrating speed of particles on the top of blasting source is bigger than the speed of subjacent particles, when horizontal blast center distance is equal or very near. What is more, the weight of elevation factor is correspondingly larger between the two factors of elevation and horizontal blast center distance. At the same time, we find that earthquake energy decrease following the elevation reducing and it is affected by slope terrain through regression analysis, earthquake wave will round and form new seismic source at slope changing points, and affect intensity of blasting vibrations.

Key words: side slope, blasting vibration, elevate effect, slope changing points

(编辑: 刘忠洪)