

Charge Weight Prediction of Millisecond Blasting and Its Application in Building Protection

Biao Wei, Zunwei Cheng, Feng Yang, Jingfei Wu, Peng Feng

Key Laboratory of Optoelectronic Technology and Systems, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing
Email: weibiao@cqu.edu.cn

Received: Jun. 10th, 2015; accepted: Jun. 24th, 2015; published: Jun. 30th, 2015

Copyright © 2015 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

Based on the empirical formula of millisecond blasting charge weight prediction and main factors leading to building damage, considering the shortage of charge weight prediction, a new method involving either vibration intensity or main vibration frequency is obtained. The results show that after linearizing the GB6722—2003 *Blasting Safety Regulations*, we can get the relationship between vibration intensity and main vibration frequency, and thus formula of calculating the maximum charge weight is given. Finally, combining with practical engineering to verify the applicability of the formula, this paper has some reference value for reducing the damage of engineering blasting.

Keywords

Millisecond Blasting, Charge Weight Prediction, Main Vibration Frequency, Vibration Intensity

一种微差爆破装药量振动预测及其在保护建筑物中的应用

魏 彪, 程尊伟, 杨 峰, 吴敬飞, 冯 鹏

重庆大学光电技术与系统教育部重点实验室, 重庆

Email: weibiao@cqu.edu.cn

收稿日期: 2015年6月10日; 录用日期: 2015年6月24日; 发布日期: 2015年6月30日

摘要

本文在阐述了微差爆破中常用的预测爆破装药量经验公式及其分析损坏建筑物的主要因素基础上, 针对目前预测爆破装药量方法的不足, 提出了一种综合振动强度和主振频率预测爆破装药量的新方法。研究表明, 通过对GB6722—2003《爆破安全规程》做线性化处理, 得到主振频率与装药量之间的关系, 由此得出了最大爆破装药量的计算公式。最后, 结合实际工程事例, 对所得到的新方法进行了实验验证。本文对降低工程爆破危害具有一定的参考价值。

关键词

微差爆破, 装药量预测, 主振频率, 振动强度

1. 引言

我国尚处于发展中国家, 各种基础设施建设方兴未艾。特别是, 为了减少成本, 加快工程进度, 在市政工程、采矿工程和隧道工程中, 通常采用爆破开挖硬岩。然而, 由于一些不合理的爆破措施, 会产生的一系列的工程爆破危害, 如爆破振动对周围建筑物造成的损害, 结构损伤、变形与失稳等等, 此将严重威胁建筑物和居民的安全。因此, 在工程爆破时, 人们总是设法避免爆破振动对施工环境和附近建筑物带来不利影响。可见, 开展对工程爆破振动规律的研究与结构响应分析, 最终预测爆破填药量, 将是十分必要的。

诚然, GB6722—2003《爆破安全规程》(以下简称《规程》)规定了不同类型建筑物在不同主振频率下爆破时的安全允许振速标准, 以及对爆区周围建筑物的安全进行评价, 为工程爆破的安全实施提供了依据。但是, 目前预测爆破填药量只是单一根据保护建筑物的最大允许速度, 而没有综合考虑主振频率的影响。为此, 本文结合重庆中铁二十三局兰渝铁路兴隆场编组站爆破工程现场爆破振动测试数据, 对该工程的爆破振动规律进行分析研究, 提出了一种综合振动强度和主振频率预测爆破装药量的新方法, 探索振速、主振频率与爆破填药量之间的关系, 对降低工程爆破危害具有一定的参考价值。

2. 爆破振动传播规律的理论基础

根据国家爆破安全规程和国内、外研究成果, 爆破振动传播与衰减规律一般采用萨道夫斯基的经验公式[1]:

$$V = \left(\frac{K}{R} \right)^{-1/a} \cdot Q^{1/3} \quad (1)$$

式中, V 为保护对象在地质点振动安全允许速度, 单位米每秒(m/s); K 、 a 为与爆破点至保护对象间的地形、地质条件有关的系数和衰减指数, 此可按表 1 选取或通过现场试验确定; Q 为炸药量, 延时爆破为最大一段药量, 单位千克(kg); R 为爆破振动安全允许距离, 单位米(m)。

由式(1)移项, 可得:

$$Q = \left(\frac{K}{R} \right)^{-3/a} \cdot v^3 \quad (2)$$

Table 1. The K, a value of different lithologies of blasting area
表 1. 爆区不同岩性的 K, a 值

| 岩性 | K | a |
|------|---------|---------|
| 坚硬岩石 | 50~150 | 1.3~1.5 |
| 中硬岩石 | 150~250 | 1.5~1.8 |
| 软岩石 | 250~350 | 1.8~2.0 |

然而, 根据《规程》(GB6722—2003)的规定, 地面建筑物的爆破振动判据, 采用保护对象所在地质点峰值振动速度和主振频率, 而(2)式中, 并未考虑到振动频率的因素, 未能揭示爆破药量与建筑物固有频率之间的关系[2] [3]。此外, 《规程》中, 还将保护对象类别分为 9 类(参见表 2), 主振频率范围划分 3 个阶段: <10 Hz, 10 Hz~50 Hz 和 50 Hz~100 Hz。值得注意的是, 表 2 所列频率为主振频率, 它是指最大振幅所对应波的频率。

3. 主振频率预测爆破装(填)药量的原理及方法

由如图 1 所示, 相邻频率段的安全允许振速有重叠现象, 这使得相同的振速可能对应于不同的主振频率, 导致了判断时的误差。为了解决这一问题, 使主振频率与最大振速之间有一一对应的关系, 通过分析《标准》中前 4 类保护对象安全允许振速与频率之间的关系, 可以发现, 它们在对数坐标系中有很好的线性关系。采用在对数坐标中的直线逼近这一方法处理后, 可以减小频率重叠点的误差。

为了便于计算, 以 1 Hz 作为起始频率。若起始振速为 v_1 , 终止振速为 v_2 , 直线的斜率为:

$$a = \frac{v_2 - v_1}{\lg 100 - \lg 1} = \frac{v_2 - v_1}{2} \quad (3)$$

则, 可以得到振速与频率的关系式如下:

$$v = \frac{v_2 - v_1}{2} \cdot \lg f + v_1 \quad (4)$$

其中, f 为试爆破现场所测主振频率。将式(4)代入式(2), 得到爆破填药量、振速、频率之间的表达式。

$$Q = \left(\frac{K}{R} \right)^{-1/a} \cdot \left(\frac{v_2 - v_1}{2} \cdot \lg f + v_1 \right)^3 \quad (5)$$

为使误差更小, 对主振频率小于 10 Hz 情况下的振速进行修正。鉴于《标准》中后 5 类保护对象在全部频率范围内都采用同一振速标准来判定, 因此, 在此只对前 4 种保护对象进行修正, 结果如表 3 所示。判断时, 只需针对保护对象类别的不同选择不同的 v_1 和 v_2 代入公式(5), 即可根据试爆破所测主振频率计算出最大填药量。

因此, 式(5)也就是本文综合振动强度和主振频率预测爆破装(填)药量的预测公式。

4. 装(填)药量预测公式在工程爆破中的应用

工程爆破将会产生各种频率的冲击波, 爆破点与被保护建筑物之间的岩石或土壤, 构成一个低通滤波器, 此对各种频率进行不同程度上的衰减。其中, 有一个频率的冲击波衰减程度会最小, 这一频率即为主振频率。对于同一工程爆破, 在一定工程进度内爆破环境大致相同, 其中包括: 地质、地形条件, 被保护建筑物等, 因此低通滤波器的频率特性在一段时间内大致相同。

在重庆中铁二十三局兰渝铁路兴隆场编组站工程爆破试验中, 采用的是四川拓普测控科技有限公司

Table 2. The safe and permit standard of blasting vibration
表 2. 爆破振动安全允许标准

| 序号 | 保护对象类别 | 安全允许振速(m/s) | | |
|--------|------------------|------------------------|-------------|--------------|
| | | <10 Hz | 10 Hz~50 Hz | 50 Hz~100 Hz |
| 1 | 土窑洞、土坯房、毛石房屋 | 0.5~1.0 | 0.7~1.2 | 1.1~1.5 |
| 2 | 一般砖房、非抗震的大型砖块建筑物 | 2.0~2.5 | 2.3~2.8 | 2.7~3.0 |
| 3 | 钢筋混凝土结构房屋 | 3.0~4.0 | 3.5~4.5 | 4.2~5.0 |
| 4 | 一般古建筑与古迹 | 0.1~0.3 | 0.2~0.4 | 0.3~0.5 |
| 其余 5 种 | | 详见 GB6722—2003《爆破安全规程》 | | |

Table 3. The corrected safe and permit standard of blasting vibration
表 3. 修正后的爆破振动安全允许标准

| 序号 | 保护对象类别 | v_1 (m/s) | v_2 (m/s) |
|----|------------------|-------------|-------------|
| 1 | 土窑洞、土坯房、毛石房屋 | 0.2 | 1.5 |
| 2 | 一般砖房、非抗震的大型砖块建筑物 | 1.8 | 3.0 |
| 3 | 钢筋混凝土结构房屋 | 2.5 | 5.0 |
| 4 | 一般古建筑与古迹 | 0 | 0.5 |

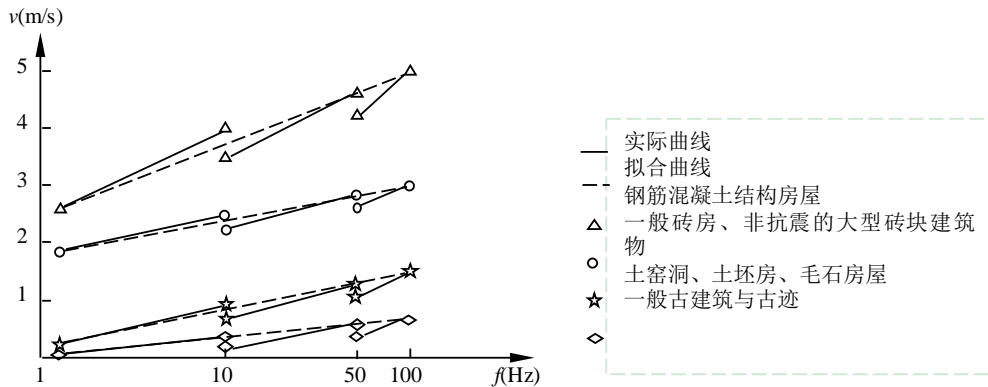


Figure 1. The fitted curve of velocity and frequency (logarithmic scale)
图 1. 振速与频率的拟合曲线(对数坐标)

生产的 UBOX-5016 爆破振动智能监测仪，三通道并行采集(径向、切向、垂直方向)，其配套软件有 FFT 频谱分析、最大值、最小值检测等功能。爆区及附近建筑物距离平面图，如图 2 所示。

1、2、3 号测点分别位于砖房、陡边坡和新浇混凝土前方，预爆破装药情况为：孔数 20 个，单孔药量 0.6 Kg，监测结果如表 4 所示。

从表 4 中可以看出，爆破振动的强度随着距离的增大而减小，但主振频率却比较接近。而在这 3 个保护建筑物中，由于砖房的距离最短、危及人身安全、抗震强度最低，为了简化分析，在此单独对砖房的 1#检测点进行分析计算。估算时，取三个方向中的主振频率最小值 17.09。由于岩石岩性为软岩石，所以 K 取 300， a 取 1.9，砖房情况下 v_1 取 1.8， v_2 取 3.0。将上述数值代入公式(5)中，可得 $Q = 3.938$ Kg，即，单孔装药量最大不能超过 3.938 Kg。

为了验证公式(5)的正确性，在预爆破的附近区域再选取一个爆区，保持爆点与测点的距离不变，

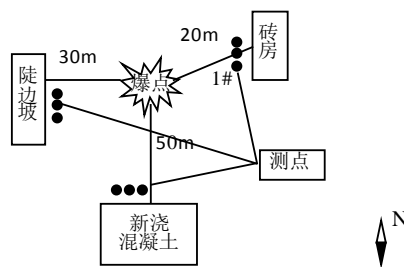


Figure 2. The plan of blasting area and nearby buildings

图 2. 爆区及附近建筑物距离平面图

Table 4. The test data of pre blasting vibration

表 4. 预爆破振动测试数据

| 测点编号 | 方向 | 最大振速(m/s) | 主振频率(Hz) | 振动持续时间(s) |
|------|----|-----------|----------|-----------|
| 1# | 径向 | 0.28 | 24.414 | 0.759 |
| | 切向 | 0.405 | 17.09 | 0.167 |
| | 垂直 | 0.282 | 24.414 | 0.186 |
| 2# | 径向 | 0.152 | 21.973 | 0.427 |
| | 切向 | 0.26 | 21.973 | 0.765 |
| | 垂直 | 0.144 | 21.973 | 0.462 |
| 3# | 径向 | 0.131 | 21.973 | 0.761 |
| | 切向 | 0.282 | 24.414 | 0.342 |
| | 垂直 | 0.101 | 17.09 | 0.764 |

Table 5. The test data of the second blast vibration

表 5. 第二次爆破振动测试数据

| 测点编号 | 方向 | 最大振速(m/s) | 主振频率(Hz) | 振动持续时间(s) |
|------|----|-----------|----------|-----------|
| 1# | 径向 | 0.762 | 19.531 | 0.764 |
| | 切向 | 2.675 | 24.414 | 0.282 |
| | 垂直 | 2.03 | 34.18 | 0.602 |

增大单孔装药量进行试验。但是，为了保证建筑物的安全，不能将装药量增大到上限值。第二次爆破单孔装药量定为 3.0 Kg，孔数仍然为 20 个，监测结果如表 5 所示。

由此可见，通过参照《标准》，当切向方向振动冲击波的主振频率为 24.414 Hz 时，振速要求在 2.3~2.8 m/s 之间，因此，得到的监测结果与装药量的预测结果是相吻合的。

5. 结论

本文在阐述微差爆破中常用的预测爆破装药量经验公式及其分析损坏建筑物的主要因素基础上，针对目前预测爆破装药量方法的不足，提出了一种综合振动强度和主振频率预测爆破装药量的新方法。研究表明，通过对《标准》的线性化处理，得到了主振频率与单孔装药量的线性关系，由此推导出爆破最大单孔装药量的计算公式。结合实际工程，对公式进行工程实践验证，得到的监测结果与装药量的预测结果是相吻合的，证明本文提出的新方法是切实可行的，对降低工程爆破危害具有一定的参考价值。

参考文献 (References)

- [1] 中国国家标准化管理委员会 (2004) GB6722-2003 爆破安全规程. 中国标准出版社, 北京.
- [2] 孙秀民, 汪进玉 (2008) 爆破振动对建筑物的影响评价研究. *爆破*, **2**, 73-76.
- [3] 张世雄, 杨明亮 (2000) 预测爆破波振动强度的经验公式及其在采矿中的应用. *爆破*, **3**, 13-17.