文章编号：1008-0562(2006)02-0204-03

爆破振动频率影响因素分析

李孝林[1]，王少雄[2]，高怀树[3]
（1.北京科技大学 资源与土木工程学院，北京 100083; 2.北京北方诺信科技有限公司，北京 100045，3.中国兵器工业集团公司，北京 100045）

摘　要：为了分析影响爆破振动频率的各个因素，为结构物爆破振动安全评价提供可靠依据。通过现场爆破振动测试，结合实际分析了频率在爆破振动中的作用，并分析了结构物爆破振动响应的频谱特性，发现爆炸能量、起爆段数、距离以及传播介质对爆破振动频率都有不同程度的影响。通过对爆破振动频率影响因素的分析，指出在爆破振动的测试分析中应充分注意到爆破条件和测试条件的变化。

关键词：爆破振动；振动频率；频谱特性
中图分类号：TD 235.1　　文献标识码：A

Analysis of factors affecting blasting vibration frequency

LI Xiao-lin[1]，WANG Shao-xiong[2]，GAO Huai-shu[3]
(1.College of Resources and Civil Engineering, Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083, China; 2. Beijing North Norcin Tech-Co., LTD, Beijing 100045, China; 3.China Weapon Industries Group Corporation, Beijing 100045, China)

Abstract：In order to analyze each element affecting blasting vibration frequency and provide reliable basis for the evaluation of structures blasting vibration safety, through blasting vibration testing on the spot, the thesis has studied the function of frequency in the blasting vibration in practice, and studied the frequency chart characteristic of the response of structure under blasting vibration. It has discovered the influence of blasting capacity, blasting delay interval, distance and spread substance on blasting vibration frequency. Through the analysis of the affecting factors of blasting vibration frequency, the paper points out that the transformation of blasting condition and test condition should be paid full attention to in the measurement analyses of explosion vibration.

Key words：blasting vibration；vibration frequency；frequency chart characteristic

0　引　言

中国《爆破安全规程》（GB6722-86）规定：一般建筑物和构筑物的爆破地震安全性应满足安全振动速度的要求，即现行规程是用质点振动速度表示地震动强度的。但是，随着爆破技术的深入研究，人们发现，以单一的质点振动速度作为衡量爆破振动强度的唯一指标也有许多不妥之处，希望用质点峰值振动速度和对应频率作为振动强度的指标[1]。目前，国外评判标准已发展到不只以单一参数作为判据。如瑞典的评判标准综合考虑了振动速度、频率、位移和加速度等多项指标，美国矿务局、德国和芬兰的判据引入振动速度和频率两个指标[2]。现在大多数人意识到振动速度和频率两项指标作为判据是必要的。事实上，在注重总结质点峰值振动速度的衰减规律的同时，对爆破地震波中频率的分布特征以及衰减规律进行更深入的研究，对爆破振动控制的理论研究和工程应用都具有重要的意义。

1　爆破振动频率的计算分析

爆破振动特性可用幅值、频谱和持时三大要素来描述。幅值是爆破振动强度的标志。频谱是幅值与频率的关系，爆破振动的频谱属连续谱，各种频率的振动成分都有，但不同频率振动成分的幅值不

收稿日期：2004-05-03
基金项目：“十五”国家科技攻关基金资助项目（2003BA4081308A）
作者简介：李孝林（1963-），男，山东 济南人，博士，高级工程师，主要从事爆破技术与安全方面研究，E-mail：lxl196327@163.com。本文编校：赵　娜

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

同，具有最大幅值振动成分的频率称为主频。持时是爆破振动作用持续的时间。幅值、频谱与持时的不同组合决定着爆破振动的安全性。爆破振动三要素(幅值、频率和持续时间)均受震源动力特性、传播距离、场地条件及建筑物动力响应特性的制约。

爆破振动频率的计算，目前国内有两种公式计算爆破振动频率。

文献[3]提出用下式计算爆破地震动引起的地面质点振动频率

$$f=(k_f c_s^{7/5}/Q^{1/3})\cdot(Q^{1/3}/R)^{2/5} \qquad (1)$$

式中，k_f 为频率系数，k_f =0.01～0.03；c_s 为岩石的横波波速，cm/s；Q 为相同距离同时起爆的总药量，kg；R 为测点至爆源距离，m。

文献[2]提出的振动频率计算公式如下

$$f=k(Q^{1/3}/\lg R)^{1/2} \qquad (2)$$

式中，k 为系数，对于硐室爆破，k =0.8～5.0；对于台阶爆破，k =5.0～50；对于拆除爆破，k =1.0～10；药量大时系数取小值，反之取大值。上述两个公式都是在一定试验条件获得的经验公式，为计算爆破振动频率做了有益的探索。

通过大量的试验数据，回归分析得出频率计算公式如下[3]：

$$f=K(R/W^{1/3})^{\alpha} \qquad (3)$$

式中，K =115.1，α =0.446。

2　爆破振动频率影响因素分析

振动测试结果表明，随着爆破方式的改变，振动幅值和主频率都有所改变[4]。通常，对于露天矿爆破，与爆破振动关系最为密切的爆破参数，分别是距离、最大段药量、超深、方位、总药量和高差等参数。

2.1 起爆方式（延时间隔时间）对振动频率的影响

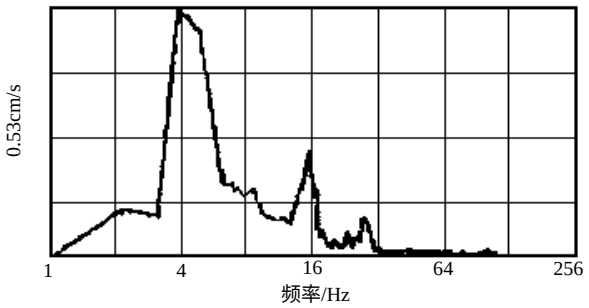
通过对爆破地震波形的研究不难发现，齐发爆破的振动频率较小，而微差爆破的振动频率较高。在现场爆破振动测试中，分别对地表延期分区起爆和 V 型起爆进行了研究。通过对实测数据的分析发现，在试验爆区改变起爆网络后，爆破振动频率特性有所改变。

通过改变起爆网络，变原来的 V 型起爆为分区微差起爆后，使爆破振动的频率发生了变化。图 1 是 V 型起爆(a)和地表延期分区起爆(b)的比较，两炮的几何位置比较接近，均在采矿实验室同一地点测试，地质条件基本相同。

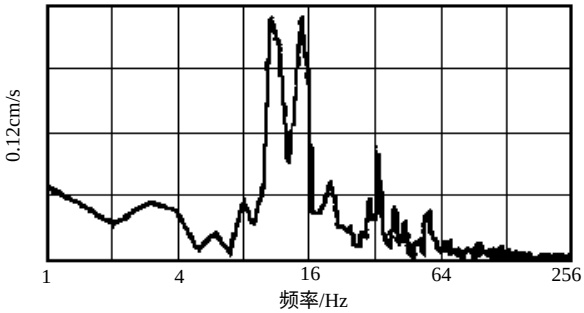
如图 1，从两炮的幅值谱看，地表延期分区起爆较“V”型起爆有以下特点：

（1）主频有明显提高；

（2）出现多峰，说明爆破振动能量较为分散。



（a）“V”型起爆



（b）分区微差起爆

图 1 不同起爆方式的频率特性

Fig.1 frequency property to different blasting methods

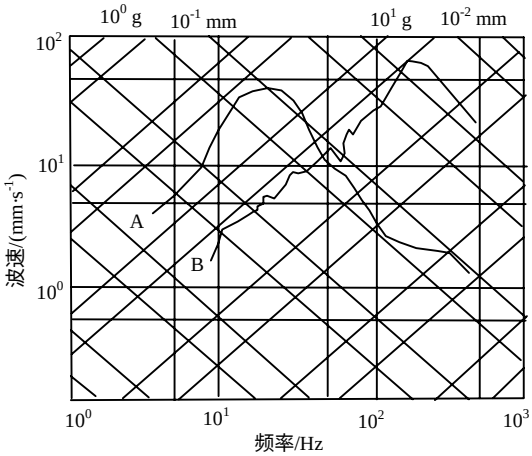
2.2　采矿方法对爆破振动频率的影响

现场爆破振动监测的结果显示，爆破地震波在岩体表面与内部、爆源的近区与中区、远区有不同的衰减规律和频谱特性，并且爆破地震波中面波和体波的成分也存在显著差异。为充分了解爆破振动激励特性的变化，不仅对露天矿爆破振动进行了测试，同时还对井下爆破对地面结构物的振动影响进行了监测。分析结果表明，由于露天矿爆破药量大、传播距离相对较远（水平距离大都在 1 500 m 以上，段药量 4 500 kg 左右），爆破振动的主频率较低（约 4.5 Hz）；而对于井下爆破，段药量较小，传感器布置在爆区在地表投影附近（垂直距离不到 200 m，水平距离为 100 m 左右，最大一段炸药量为 150 kg 左右），爆破振动的主频率较高（约 36 Hz）。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.3 离爆源的绝对距离影响主频率

随着传播距离的增加振动幅值减小、主频降低、持时增长。距离增加振动扰动空间加大、波阵面能量密度降低、介质阻尼损耗增多故幅值减小[5]。不同频率振动成分随距离衰减速率不同，频率越高衰减越快，因此响应谱的主频率随着到爆源的绝对距离的增加（比例距离保持不变）而降低。图 2 中的响应谱是根据比例距离相近而绝对距离不同处记录的运动计算的，通过比较，可以看到这个主频率降低的例子。



A：R=66m 单段 $R/W^{1/3}$=15 B：R=12m 7 段 $R/W^{1/3}$=19

图 2 响应谱随绝对距离和段别的变化

Fig.2 frequency chart change with distance and delay time

2.4 爆破段数影响主频率

若实际测量的地面运动是由起爆若干段等间隔爆炸产生，响应谱就在延期间隔对应的频率处变尖。在图 2 中可以看出这种改变，图 2 上的谱是根据段药量相同、到爆源的绝对距离相同处实测的运动计算的。唯一的差别：一个是单段爆破，而另一个是由七个段别组成的爆破。

2.5 场地条件（传播介质）影响主频

爆破场地介质越坚硬，振动幅值相对较低、主频较高、持时较短。不同的传播介质对地震波具有不同的滤波作用。在距离爆区大约 30 m 处，通过岩石传递的主要传播频率范围从 20~100 Hz，而对于土壤，大约发生在 6~50 Hz 范围内[6]。

可以通过比较图 3 的响应谱看出，土壤(c_1=1 200 m/s)与岩石(c=4 100 m/s)之间不同的传播频率。这些谱是根据比例距离相近处单段爆炸记录的运动计算的，比例距离的换算是以能量为基础的。

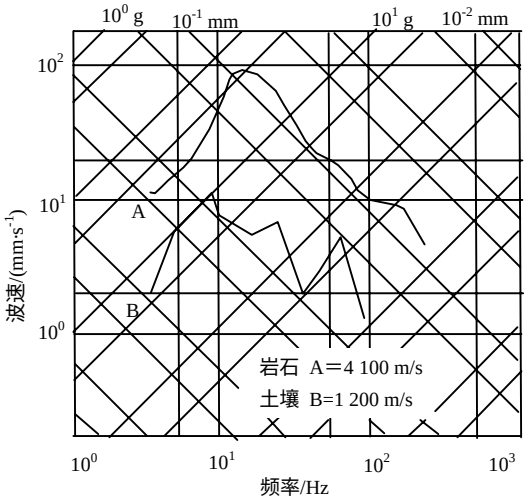


图 3 响应谱随地震波速度的变化

Fig.3 frequency chart change with wave velocity

3 结 论

通过对大量实测数据的分析表明：

（1）不同的结构物对爆破振动的响应有所不同，在爆破振动安全评价中，除了考虑振动幅值外，还应充分注意频率的影响。

（2）测点的位置（包括距爆破地点的距离、传播介质等）、药量以及起爆段数对爆破振动频率都有影响，距离爆破地点越远、传播介质越松软，测得的振动频率越低，与结构物的固有频率越接近，容易引起共振反应。因此，在爆破振动的测试分析中应予以重视。

（3）提高爆破振动主频、减小持时、克服振动迭加，对建筑物爆破振动安全非常重要。

参考文献：

[1] 焦永斌.爆破地震安全评定标准初探[J].爆破,1995,(3):45-47.

[2] 唐春海.爆破地震动安全判据的初步探讨[J].有色金属,2001,53(1):1- 3.

[3] 胡宗武. 工程振动分析基础[M].上海:上海交通大学出版社,1985.

[4] 王 凯,吴滕芳,季茂荣.微差爆破地震反应谱的研究[J].爆破，1997,14(4):1-6.

[5] C.H.Dowding. 爆破振动监测与控制[Z].李香灿,陆 来,李孝林,译.北京:冶金部冶金安全教育指导站,1988.

[6] 戴 俊.柱状装药爆破的岩石压碎圈与裂隙圈计算[J].辽宁工程技术大学学报,2001,20(2):144-147.

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net