

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2013.01.011

微差爆破中起爆顺序对爆破振动的影响分析^{*}

张 南 方 向 范 磊 丁 凯 华 中 民
解放军理工大学工程兵工程学院(江苏南京,210007)

[摘 要] 为了研究不同起爆顺序对爆破振动的影响,通过设置不同测点对大量的微差爆破进行了振动监测。监测数据回归及小波包分析发现:不同的起爆顺序下,爆破抛掷方向不同,爆破抛掷反方向的振动强度最大。不同方向上的爆破地震波主频大小以及振动信号的频带能量分布均具有规律性;爆破抛掷反方向 15Hz 以内频带所占比例明显高于其他方向,反方向上产生的爆破地震波对周围结构危害相对较大。

[关键词] 微差爆破 起爆顺序 振动效应 回归 小波包分析

[分类号] TV221 TD235.1+2

引言

微差爆破技术作为一种常用的爆破技术已在工程中获得了广泛应用,实践证明它不仅可以改善爆破效果,降低成本,而且能够有效降低爆破振动,使得大规模深孔爆破成为可能。

安徽理工大学刘宜平研究了微差爆破技术在提高块煤率方面的应用^[1],发现采用微差爆破技术提高了工作面的块煤率,有效减少了炸药消耗,同时降低了振动强度;解放军理工大学李德林等研究了微差爆破技术在建筑物附近大量石方爆破中的应用^[2],说明该技术有效降低了爆破振动危害;再如王广明等对露天矿台阶微差爆破改善爆破质量的问题进行了探讨^[3],指出微差爆破能够减少大块,提高爆破质量。很多学者在优化微差爆破设计,如何降低其爆破振动效应方面也作了大量的研究,如卢志飞研究了起爆方式对微差爆破效果的影响^[4],文章对不同起爆方式的微差爆破挤压落矿效果进行了分析和评价,在一些工程实例中,在与爆源距离基本相等的情况下,周围结构物受到的振动危害程度却不尽相同。有学者认为,这与爆破周围地质条件、起爆顺序、最大段药量及总药量等因素都有关系,笔者经过对大量爆破振动监测数据分析发现,在微差爆破中,起爆顺序的不同,对各个方向上的振动危害影响也不同,且具有一定的规律性。

1 工程概况

田湾核电扩建项目位于江苏省连云港港口高公岛附近,该项目是在原有 1[#]、2[#]发电机组的西侧扩建

3[#]、4[#]、5[#]、6[#]机组,目前正在进行的是 3[#]核岛负挖爆破、3[#]常规岛负挖爆破以及 4[#]核岛负挖爆破工程,其中 3[#]岛负挖工程到正在运行的 2[#]发电机组最近距离只有 200m 左右。为了保证施工进度,同时保证 2[#]发电机组的运行安全,在 2[#]与 3[#]核岛之间开挖了减震沟以降低爆破施工对运行机组的振动危害。为保护爆源周边 30m 处基岩性质不受破坏,在距爆源 30m 处设置一个移动测点,控制阈值为质点振动速度峰值 $\geq 5\text{cm/s}$ 。

本文为了研究不同起爆顺序对爆破振动效应的影响,同时在距爆源 150m 处另设了 4 个移动测点。空间位置如图 1 所示。

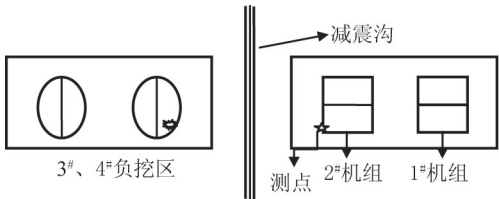


图 1 空间位置示意图

Fig. 1 Sketch of location relationship

2 爆破参数设计

爆破施工中,采用微差爆破技术以降低爆破振动,选用了乳化炸药,起爆网络采用的是塑料导爆管并联起爆网络,雷管段别根据具体爆破的实际情况进行设定。爆破参数设计如表 1 所示。

3 爆破监测简介

如图 2 所示,在爆源周围 150m 处设 4 个测点(依次为 1、2、3、4 号测点),同时测量。结合每炮次

^{*} 收稿日期: 2012-06-29
作者简介: 张南(1989~),男,硕士,研究方向:爆破振动监测与分析。E-mail: zhangnan0426zn@163.com
通信作者: 方向(1965~),男,教授,博导,研究方向:地雷与爆破器材爆炸作用研究。E-mail: racer911@163.com

表 1 爆破参数

Tab. 1 Blasting parameters

单孔药量/ kg	段药量/ kg	孔距/ m	孔深/ m	孔径/ mm	排距/ m
4.6 ~ 11.5	8.5 ~ 16.0	0.8 ~ 2.2	3.8 ~ 6.0	76	1.0 ~ 1.8

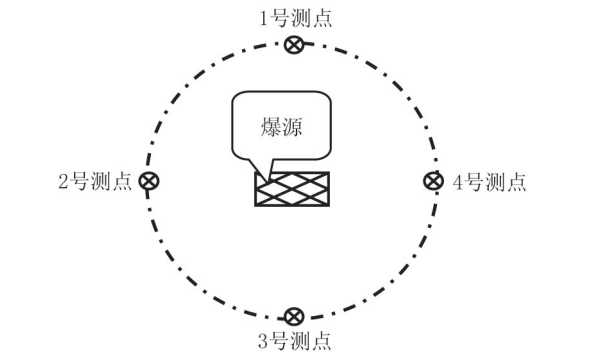


图 2 测点位置示意图

Fig. 2 Sketch of test point

的爆破设计网络,1 号测点始终设在爆破抛掷方向的反方向,3 号测点位于正前方,2、4 号测点分别位于正右方和正左方。

经过对负挖区岩石属性的初步分析得知:岩性主要为微风化二长浅粒岩。另外,由于选取测点距爆区较远,远大于爆区范围,因此可以把爆破近似看作点爆破,这样忽略地形地貌及地质因素的影响,可以认为 4 个测点的监测值可以反映同一微差爆破中不同起爆顺序的爆破振动影响值。

4 爆破监测数据分析

根据实验设计要求,已对爆破工程进行了 30 多炮次的振动监测,每炮次前均作了准确的距离测量,以确保数据的有效性。

下面从质点振动速度峰值和信号频谱特性两个方面对监测数据进行相关分析。

4.1 振速峰值对比分析

由于部分炮次的抛掷方向为两个甚至多个方向,为了便于对比分析,决定把部分炮次的数据剔除,这样经过对监测数据精心选取,最终选取其中 20 炮次的监测数据作为本文的研究对象。对各测点监测数据分别进行回归。

一般情况下用萨道夫斯基经验公式计算爆破振动速度^[5],即:

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

(1)

式中: v 为单个集团装药爆破质点振动速度,cm/s; K 为与爆破方法、爆破参数、地形等因素有关的场地系数,一般 $K = 30 \sim 500$; R 为爆心至测点的距离,m; Q

为装药量(齐爆时为总药量,微差延时爆破时为最大一段装药量),kg; α 为与土石地质有关的振动衰减系数,一般 $\alpha = 1.5 \sim 2.0$ 。

对数据进行萨道夫斯基回归,得到各测点的振动衰减规律如下:

1 号测点: $v = 465.3 \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{1.608}$

(2)

2 号测点: $v = 421.6 \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{1.605}$

(3)

3 号测点: $v = 461.5 \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{1.635}$

(4)

4 号测点: $v = 385.6 \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^{1.583}$

(5)

将实际爆破设计参数依次代入上述回归公式后对比发现,1 号测点处的振动影响值显著大于其他测点,3 号测点处爆破振动影响相对最小,2 号和 4 号测点处爆破振动影响相当,即爆破抛掷反方向的振动影响明显大于其他方向。

利用以上各测点回归得到的衰减规律对以后的爆破振动进行预测,发现与各测点监测值存在一定的误差,总的来说呈偏大趋势。利用以上各衰减规律的预测值与后来 20 炮次实际监测数据对比产生的平均误差:1 号测点 7.36%、2 号测点 8.02%、3 号测点 7.89%、4 号测点 8.11%。

预测误差主要是由于以上衰减规律都由萨道夫斯基公式回归得来,而萨道夫斯基经验公式对单个集团装药爆破比较适合,对多个装药分段延期爆破计算得到的值与实际情况偏差较大。为了克服此缺点,有很多学者根据多次工程实测数据及经验,在萨道夫斯基公式的基础上提出了较为符合工程实际的修正经验公式^[6]:

$$v = KK' \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^\alpha$$

(6)

式中: K' 为与爆破方法、爆破参数等因数有关的爆破场地修正系数, K' 取 0.25 ~ 1.00,距爆源近且爆破体临空面较少时取大值,反之取小值。

其他参数的含义与式(1)相同。这样本文中各测点对应经验公式(6)的 K' 分别为: $K'_1 = 0.9264$ (K'_1 表示 1 号测点的 K' 值,后面依此类推), $K'_2 = 0.9198$, $K'_3 = 0.9211$, $K'_4 = 0.9189$ 。

从修正后的衰减规律来看,不同起爆顺序的爆破振动影响规律依然与修正前相同。需要指出的是,若想将预测误差降到最小,则需建立爆破振动数据处理的动态优化模型,进而对衰减规律进行实时的修正。

4.2 信号频谱分析

对上述研究的 20 炮次对应的各测点主频进行统计,得到各测点的主频统计曲线如图 3 所示。

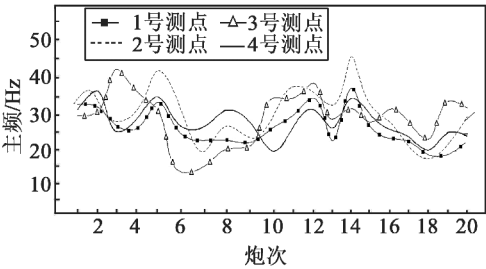


图 3 各测点主频统计曲线
Fig. 3 The frequency curve

由统计图中可以看出,各测点处爆破地震波主频集中在 50Hz 以下,其中 1 号测点处主频总体来说相对较小,3 号测点相对较大;各测点处振动主频虽然各不相同,但变化趋势略有相似。

为了进一步了解各测点处振动信号频谱特性的不同,从监测信号中任意抽取 5 组信号,用 MATLAB 分析软件中的 Wavelet Toolbox 工具箱对各信号进行 db8 函数的 8 层小波包分解^[7-9],得到各频带能量的分布规律,现将其中一组信号频带能量的分布百分比列于表 2。

表 2 不同频带的能量所占百分比
Tab. 2 Percentage of different frequency band energy

频带范围/Hz	各测点频带能量分布比例/ %			
	1 号	2 号	3 号	4 号
0 ~ 4. 883	4. 456	1. 977	1. 239	1. 385
4. 883 ~ 9. 766	1. 845	1. 225	1. 080	1. 920
9. 766 ~ 14. 648	46. 565	23. 520	22. 161	15. 015
14. 648 ~ 19. 530	2. 236	28. 057	1. 815	22. 057
19. 530 ~ 24. 414	3. 853	0. 656	0. 873	0. 469
24. 414 ~ 29. 297	2. 713	1. 811	2. 666	0. 645
29. 297 ~ 34. 180	15. 243	35. 224	61. 689	56. 969
34. 180 ~ 39. 063	21. 117	5. 495	6. 281	0. 486
39. 063 ~ 43. 945	0. 127	0. 230	0. 180	0. 015
43. 945 ~ 48. 828	0. 222	0. 035	0. 036	0. 016

由表 2 中的数据可知,各测点频带范围在 0 ~ 48.828Hz 内的能量分别占总能量的百分比为: 98.377%、98.230%、98.020%、98.491%,所以,各测点振动频带能量主要集中在 50Hz 内,即低频部分。另外,表中 1 号测点处 15Hz 以内占频带总能量的比例大于其他测点,这也与 1 号测点处振动强度强于其他测点相对应,据相关研究表明^[10],5 ~ 20Hz 的信号频率范围对周围结构物的影响最为强烈。因

此,微差爆破时尤其要注意爆破振动对抛掷相反方向的振动危害。

需要说明的是,其他 4 组振动信号经小波包分解后得出的各测点频带能量的分布规律与列出数据基本相同,表 2 只是随机选择的一组信号频带能量分布规律。

5 结论

微差爆破中,通过对同一炮次布置 4 个距爆源等距离的测点进行振动监测,然后对监测数据分别进行统计回归以及信号的小波包分析得出:

1)微差爆破中,与爆源等距离情况下,爆破抛掷反方向上的振动影响强于其他方向,由于起爆顺序的不同,决定着抛掷方向的不同,这就说明不同起爆顺序对周围爆破振动影响也不同。

2)各方向上地震波主频主要集中在 50Hz 以下,且不同方向上的爆破地震波主频大小具有相同的变化趋势,爆破抛掷反方向上的主频较其它方向更小些。

3)爆破地震波能量显著集中在低频频带,其中爆破抛掷反方向上 15Hz 以内频带所占比例明显高于其他方向,所以抛掷反方向上产生的地震波对周围结构更具危害性;其它方向上频带能量分布规律基本相同。

4)微差爆破中不同起爆顺序对爆破振动的影响非常复杂,涉及的因素也很多。由于实验条件的限制,不能对微差爆破任意起爆顺序进行分析,又因为各测点与爆源间的地形也可能不同,所以只能得出大致规律。

参 考 文 献

[1] 刘宜平. 应用微差爆破技术提高块煤率[J]. 矿业安全与环保,2004,31(3):55-57.
Liu Yiping. Increasing lump coal rate with millisecond blasting[J]. Mining Safety and Environmental Protection, 2004,31(3):55-57.

[2] 李德林,刘强,高振儒. 建筑物附近大量石方爆破振动监测及控制[J]. 爆破器材,2009,38(4):30-33,35.
Li Delin ,Liu Qiang ,Gao Zhenru. Ground vibration monitoring and control of the mass rock blasting excavation near building[J]. Explosive Materials ,2009,38(4):30-33,35.

[3] 王广明,吴晓平,田小宝. 露天矿台阶微差爆破改善爆破质量的探讨[J]. 露天采矿技术,2007(增刊):19-22.
Wang Guangming ,Wu Xiaoping ,Tian Xiaobao. Explore opencast mine stairs millisecond blasting to improve blasting quality [J]. Opencast Mining Technology, 2007

(Supp.): 19-22.

[4] 卢志飞. 起爆方式对微差爆破效果的影响[J]. 采矿技术,2004,4(2):92-94.
Lu Zhifei. Effect of detonation manner to millisecond blasting[J]. Mining Technology, 2004,4(2):92-94.

[5] 李洪涛,舒大强. 爆破震动衰减规律的影响因素[J]. 武汉大学学报(工学版),2005,38(1):79-82.
Li Hongtao, Shu Daqiang. Influential factors analysis of blasting vibration attenuation law[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2005,38(1):79-82.

[6] 齐世福. 军事爆破工程设计与应用[D]. 南京:中国人民解放军理工大学,2002.
Qi Shifu. The military blasting engineering design and application[D]. Nan Jing: PLA University of Science and Technology, 2002.

[7] 凌同华,李夕兵. 爆破振动信号不同频带的能量分布规律[J]. 中南大学学报(自然科学版),2004,35(2):310-315.
Ling Tonghua, Li Xibing. Laws of energy distribution in different frequency bands for blast vibration signals[J]. Journal Central South University (Natural Science), 2004,35(2):310-315.

[8] 凌同华,李夕兵. 多段微差爆破振动信号频带能量分布特征的小波包分析[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(7):1116-1121.
Ling Tonghua, Li Xibing. Analysis of energy distributions of millisecond blast vibration signals using the wavelet packet method[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005,24(7):1116-1121.

[9] 龙源,娄建武,徐全军. 小波分析在结构物对爆破振动响应的能量分析法中的应用[J]. 爆破器材,2001,30(3):1-5.
Long Yuan, Lou Jianwu, Xu Qianjun. Application of wavelet analysis to the energy method of the structure response caused by explosion vibration[J]. Explosive Materials, 2001,30(3):1-5.

[10] 叶海旺,房泽法,彭志刚,等. 爆破地震对结构的影响[J]. 爆破,2000,17(1):86-91.
Ye Haiwang, Fang Zefa, Peng Zhigang. Effects of blasting vibration on structures[J]. Blasting, 2000,17(1):86-91.

The Influence of Initiation Sequences on Blasting Vibration in Millisecond Blasting

ZHANG Nan ,FANG Xiang ,FAN Lei,DING Kai,HUA Zhong Min

Engineering Institute of Engineering Corps, PLA University of Science and Technology (Jiangsu Nanjing, 210007)

[ABSTRACT] The vibration monitoring was conducted by setting different measurement points for a series of millisecond blasting to study the blasting vibration under different initiation sequence. The corresponding data regression and wavelet packet analysis show that the maximum vibration intensity is along the reverse direction of blasting throwing, which changes with the blasting sequence. The blasting seismic wave frequency in the different directions and frequency band energy distribution of vibration signal have some regularity; The proportion of blasting vibration within 15Hz band in blasting throwing reverse direction is obviously higher than in the other directions, and the blasting seismic wave in throwing reverse direction has the larger harm on the surrounding structures.

[KEY WORDS] millisecond blasting, initiation sequence, vibration effect, regression, wavelet package analysis

声 明

- 1、本刊对发表的文章拥有出版电子版、网络版版权,并拥有与其他网站交换信息的权利。本刊支付的稿酬已包含以上费用。
- 2、本刊文章版权所有,未经书面许可,不得以任何形式转载。

《爆破器材》编辑部