

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2014.04.009

小水池中延时爆破对地表振动的测试与分析*

闫大洋^{①②} 胡坤伦^② 叶图强^① 孙平^② 韩体飞^②

①广东宏大爆破股份有限公司(广东广州,510623)

②安徽理工大学化工学院(安徽淮南,232001)

[摘要] 为了研究水下延时爆破对地表振动的影响,在某一小水池中,采用不同延时药包组合引起地表振动,对其进行测试。试验中各组合总药量相同,药包个数不同,对地面产生的振动速度和主振频率采用 UBOX-5016 型振动自记仪进行测试和分析。研究并发现毫秒延时爆破能有效降低爆破振动,通过选出的较优延时组合,初步估计合理的延时间隔为 25 ~ 50 ms。

[关键词] 微差爆破;地面振动速度;主振频率

[分类号] TD235

引言

随着经济发展,港口码头建设、航道疏浚工程量极大增加,促进了水下爆破技术和工艺的发展^[1]。这是由于水介质具有各向同性、自身消耗变形能少、以及可压缩性小等特点,是较为理想的压力传递介质^[2]。但是水中装药爆炸后产生的一部分能量用来破坏被爆破介质的同时,多余的能量将会以波动的形式通过水介质向外传播引起周围相邻介质的振动,当振动强度达到一定数值时,产生地震效应,对周围邻近的建筑物造成破坏^[3]。

毫秒延时爆破也称为毫秒差爆破,即相邻炮孔或药室的时间间隔为毫秒到数百毫秒,按时间先后顺序爆炸^[4]。毫秒延时爆破时影响振速和振动频率(或周期)的因素很多,除最大分段药量、总药量以及微差时间是主要因素外,还与介质特性、炮孔直径、炸药性能、测点到爆心的距离、起爆方式等许多因素有关^[5]。因此,到目前为止,国内外尚无一个比较统一且十分精确的公式来具体计算延时爆破的地震效应^[6]。研究发现,延时爆破的间隔时间对地震效应的强度有着重大的影响^[7]。通过对小水池中延时爆破引起的地表介质振动速度和频率进行测试和分析,研究由毫秒延期电雷管组合形成的不同延时组合对最大振速的影响。通过试验选出较优延时组合,初步估计一下合理的延时间隔。

1 试验研究

1.1 测试原理

合理的延时间隔是影响工程爆破效果的重要因素,原苏联专家塞尔捷依伍克在研究克里沃罗格露天矿的地震效应时曾指出^[8]:分段装药量和延时间隔 Δt 是影响微差爆破振动强度的两个主要因素,振动强度随延时间隔 Δt 数值进行变化,只有当 Δt 为某一固定值时,振动强度才最小,偏离这一最佳值,振动强度便增大。因此,存在某一固定值 Δt ,即为最优延时间隔。通过试验选出较优延时组合,得出合理的延时间隔。

1.2 测试环境

测试是在两实验楼空地上的圆柱形爆炸水池(图 1)中进行的,该水池直径 5.50 m,高 3.62 m,水池内外壁坚固牢靠,无明显损伤。



图 1 测试环境图

Fig. 1 Sketch of test environment

1.3 测试条件及过程

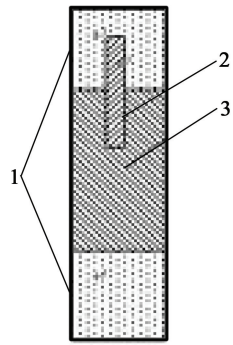
1.3.1 爆炸药包

如图 2 所示,爆炸药包总装药量为 10 g RDX

* 收稿日期:2014-01-16

作者简介:闫大洋(1991~),男,硕士,主要从事爆破器材与爆炸技术研究。E-mail:137703926@qq.com

通信作者:胡坤伦(1962~),男,博士,教授,主要从事爆破效应研究。



1 - 封闭填充物;
2 - 雷管; 3 - RDX 装药
图 2 药包示意图
Fig. 2 Schematic plot
of the charge

(含 8 号工业雷管的装药), 分别用毫秒延期雷管不同段别进行不同的组合。每种组合中总装药量固定, 单个药包均分总药量, 每种组合测试 3 次。2 种段别组合单个药包装药量 5 g, 3 种段别组合单个药包装药量 3.3 g, 4 种段别组合单个药包装药量 2.5 g, 5 种段别组合单个药包装药量 2.0 g。将药包固定在铁架中

心, 多个药包则对称放置, 间距 30 cm。

1.3.2 爆破振动测试

使用的仪器是 Top 公司生产的 U-BOX5016(三通道)爆破振动记录仪, 主要参数设置为: 采样频率 5 kHz, 通道上沿触发, 通道耦合设置成直通方式。D227 型水平振动传感器灵敏度为 284 mV, E212 型垂直振动传感器灵敏度为 287 mV。

试验测试系统主要由爆源、振动传感器、记录分析仪组成。试验时先将爆炸水池中注满水, 注水高度 3.62 m, 用行车将铁架放入爆炸水池中, 使药包置于水池中心距水面 2.4 m 处。用石膏浆液将传感

器牢牢地固定在地面上, 垂直速度传感器应该尽量保持与水平面垂直; 水平速度传感器的安装应该与水平面平行, 水平径向传感器水平指向爆心, 水平切向传感器与水平径向传感器垂直。沿水池径向且距药包中心水平距离 3.5、5.5、7.5 m 3 处布点, 将测震仪与自记仪连接, 使其处于采集状态。将起爆线一端与药包连接, 另一端与起爆器连接, 警戒并确认安全后开始起爆。

2 测试结果与分析

在现场试验中, 由于测试次数较多, 且在实测的数据中, 同一测点处的水平径向速度、水平切向速度远小于垂直振动速度, 径向、切向振动速度又无一定衰减规律, 为了探究不同延时组合对最大振速的影响, 以垂直振动速度为例进行分析。

利用爆破振动自记仪记录数据, 经 BM View 分析软件得到不同延时组合下各测点介质垂直振动速度和主振频率, 列于表 1, 表中的振动速度值为垂直方向上 3 次测试数据的最大振动速度。表 2 为药包中所用毫秒延期雷管的延期时间及误差^[9]。图 3 是根据表 1 数据绘制的, 可以比较方便地反映延时爆破与齐发爆破振动峰值和主振频率的关系。

1) 同一组合下的延时爆破, 出现远处测点的振动效应大于近处测点的现象。如图 4(a)、图 4(b), 1-3 组合在 5.5 m 测得振动峰值为 0.393 cm/s, 而在 7.5 m 测得振动峰值为 0.411 cm/s; 图 4(c)

表 1 不同延期组合下各测点的振动速度和主振频率

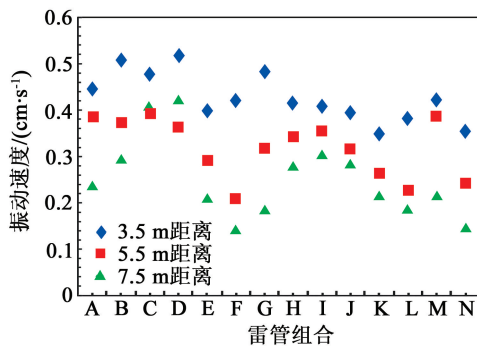
Tab. 1 Vibration velocity and main frequency of each measure point at different charge delay intervals

延期组合(数字代表雷管段别)	药包数量/个	单个药包装药量/g	3.5 m		5.5 m		7.5 m	
			速度/(cm·s ⁻¹)	频率/Hz	速度/(cm·s ⁻¹)	频率/Hz	速度/(cm·s ⁻¹)	频率/Hz
A: 齐发	1	10.0	0.447	6.104	0.387	10.414	0.238	12.986
B: 1-2	2	5.0	0.512	10.376	0.375	10.376	0.296	10.986
C: 1-3	2	5.0	0.478	10.256	0.393	10.376	0.411	16.436
D: 1-4	2	5.0	0.522	28.076	0.366	28.076	0.424	22.804
E: 1-2-3	3	3.3	0.398	12.256	0.293	10.376	0.211	10.986
F: 1-2-4	3	3.3	0.422	28.076	0.211	28.076	0.143	31.738
G: 1-2-5	3	3.3	0.485	10.894	0.321	10.376	0.186	10.542
H: 1-3-4	3	3.3	0.416	13.428	0.345	17.414	0.282	20.072
I: 1-3-5	3	3.3	0.411	14.907	0.356	12.078	0.304	10.104
J: 1-4-5	3	3.3	0.396	13.822	0.317	14.316	0.286	10.768
K: 1-2-3-4	4	2.5	0.349	10.873	0.263	10.494	0.216	10.755
L: 1-2-3-5	4	2.5	0.384	14.894	0.228	20.415	0.188	13.062
M: 1-3-4-5	4	2.5	0.428	10.356	0.391	13.693	0.219	10.872
N: 1-2-3-4-5	5	2.0	0.356	18.615	0.242	16.303	0.146	10.695

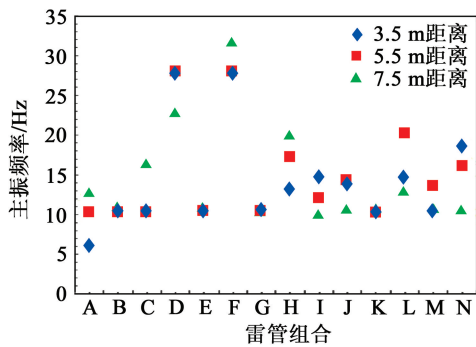
表 2 不同毫秒延期电雷管延期时间及误差

Tabl.2 Delay time and its error of electric detonators at various millisecond delays

段别	MS1	MS2	MS3	MS4	MS5
名义延期时间/ms	0	25	50	75	110
误差值/ms	12.5	±12.5	±12.5	-12.5 , +17.5	-17.5 , +20



(a) 振动速度



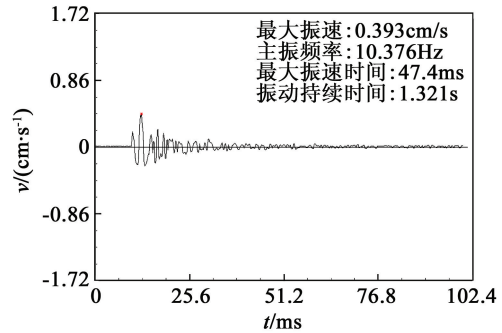
(b) 主振频率

图 3 不同水平距离下不同延时组合的振动速度和主振频率

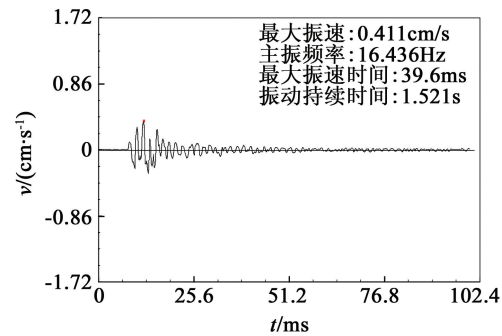
Fig. 3 Vibration velocity and main frequency of various charge delay intervals at different horizontal distances

图 4(d) 中, 1-4 组合在 5.5 m 测得振动峰值为 0.366 cm/s, 7.5 m 测得振动峰值为 0.424 cm/s。由于爆源处的纵波、横波和面波同时生成, 在爆破近区的同一质点上, 3 种波几乎同时到达, 相互重叠, 各类波的初至时刻难以区分。因为各类波的传播速度不同, 随着距离的增加, 各类波的初至时刻在时间轴上逐渐分离。由于纵波速度最快, 横波次之, 面波最慢, 而面波能量大、衰减慢^[10]。因此, 上述情况可能是在爆破远区地震波沿地面传播时, 面波引起远处测点处的振动效应大于近处测点。

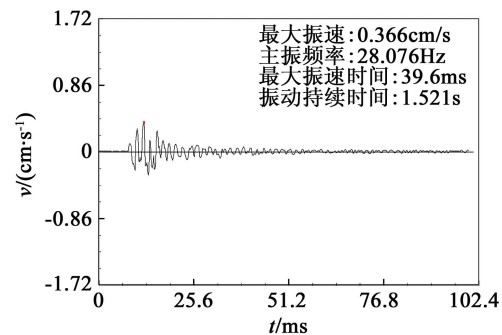
2) 从试验的结果看, 振动峰值较小的较优延时组合为 1-2-3、1-2-3-4、1-2-3-5、1-2-3-4-5。如图 5 中 1-2-3 延时组合: 3.5 m 处测点上振动峰值为 0.398



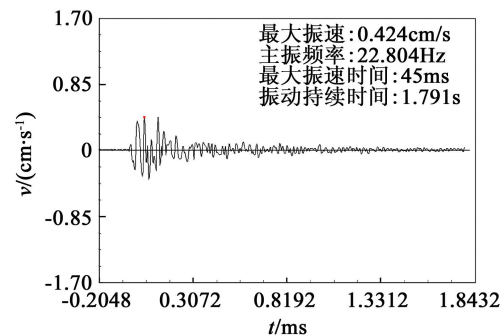
(a) 1-3 组合在 5.5 m 测点处



(b) 1-3 组合在 7.5 m 测点处



(c) 1-4 组合在 5.5 m 测点处



(d) 1-4 组合在 7.5 m 测点处

图 4 典型测点垂直振动波形图

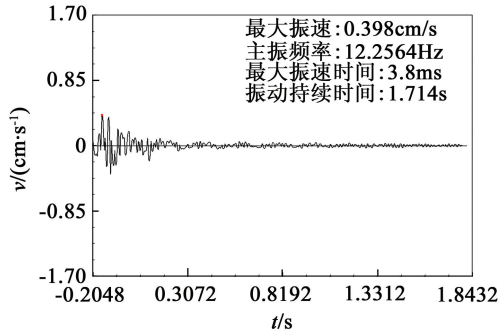
Fig. 4 Vertical vibration waveform diagram for typical measuring points

cm/s, 齐发爆破振动峰值为 0.447 cm/s; 5.5 m 处测点上振动峰值为 0.293 cm/s, 齐发爆破振动峰值为 0.387 cm/s。其他延时组合也类似, 各处测点的振动峰值均小于齐发爆破的振动峰值。通过较优延时

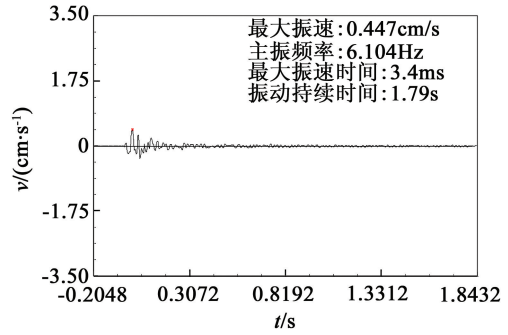
组合的时间间隔,可以初步估计合理的延时间隔为 25 ~ 50 ms。

3) 在不同延时组合下的微差爆破中,部分测点

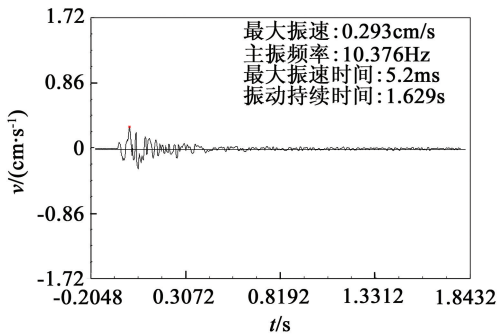
出现振动效应比齐发爆破增大的现象。如图 6 中, 3.5 m 测点处 1-2、1-4 双药包组合以及 1-2-5 三药包组合,其振动效应均高于齐发爆破;5.5 m 测点处



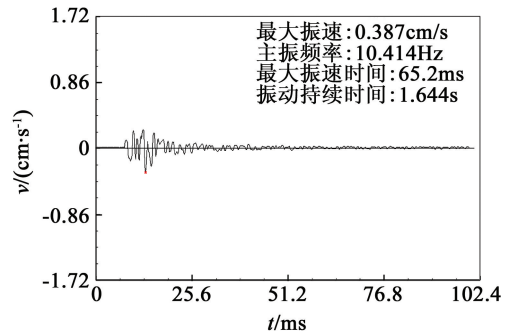
(a) 1-2-3 组合在 3.5 m 测点处



(b) 齐发爆破在 3.5 m 测点处



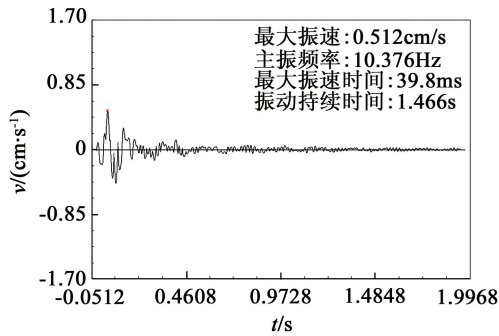
(c) 1-2-3 组合在 5.5 m 测点处



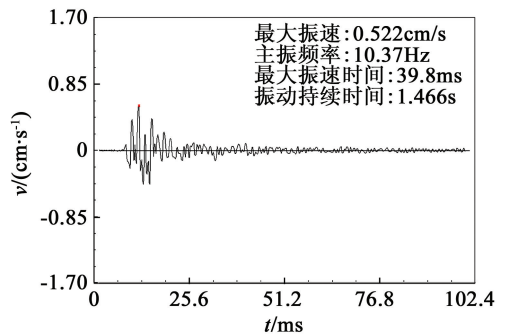
(d) 齐发爆破在 5.5 m 测点处

图 5 典型测点垂直振动波形图

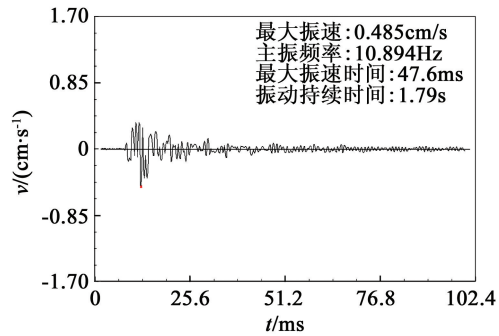
Fig. 5 Vertical vibration waveform diagram for typical measuring points



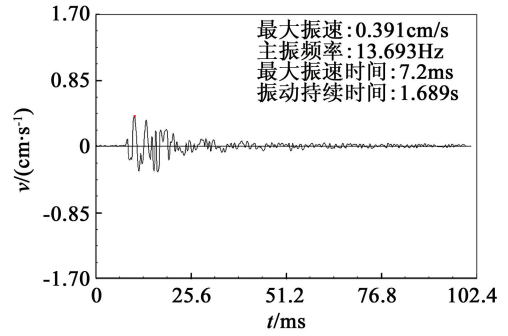
(a) 1-2 组合在 3.5 m 测点处



(b) 1-4 组合在 3.5 m 测点处



(c) 1-2-5 组合在 3.5 m 测点处



(d) 1-3-4-5 组合在 5.5 m 测点处

图 6 典型测点垂直振动波形图

Fig. 6 Vertical vibration waveform diagram for typical measuring points

1-3-4-5 组合也比齐发爆破振动效应大。7.5 m 测点处不同延时组合振动效应大于齐发爆破的现象比较多。由于爆炸水池与地面不是刚性连接,爆炸水池经采用碎石、汽车轮胎等减振措施后,由于垂直方向冲击力的分散,起到了减振作用。爆炸水池在爆炸时实际是因撞击等作用造成地面振动,上述部分测点出现振动效应比齐发爆破增大的现象可能主要是由机械撞击引起的。

3 结论

通过测试与分析小水池中延时爆破对地表振动的影响,发现毫秒延时爆破能有效降低爆破振动,振动峰值较小的较优延时组合为 1-2-3、1-2-3-4、1-2-3-5、1-2-3-4-5,可以初步估计一下合理的延时间隔为 25 ~ 50 ms。部分测点出现振动效应比齐发爆破增大的现象,可能是由于爆炸水池在爆炸时因撞击等作用引起地面振动。

本文研究仅分析了垂直方向的振动,若同时分析水平、垂直和切向三维质点的振动,将更具有实用性和代表性。

参 考 文 献

- [1] 颜事龙,胡坤伦,徐颖. 现代工程爆破理论与技术 [M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2007.
- [2] 张立. 有限水域的爆炸振动效应与减振措施[J]. 噪声与振动控制,2003,2(2):31-35.
Zhang Li. The blasting vibration effect induced by underwater explosion in limited water area and decreasing vibration measures [J]. Noise and Vibration Control, 2003,2(2):31-35.
- [3] 曹祖贵,郭子如,姚笛. 小水池水下爆炸震动传播的测试[J]. 煤矿爆破,2010(4):12-14.
Cao Zugui, Guo Ziru, Yao Di. Ground vibration tests of underwater explosion in small pool [J]. Coal Mine Blasting, 2010(4):12-14.
- [4] 张光雄,杨军,卢红卫. 毫秒延时爆破干扰降振作用研究[J]. 工程爆破,2009,15(3):17-21.
Zhang Guangxiong, Yang Jun, Lu Hongwei. Research on seismic wave interference effect of millisecond Blasting [J]. Engineering Blasting, 2009,15(3):17-21.
- [5] 甄育才,朱传云. 中远区微差爆破振动叠加效应影响因素分析[J]. 爆破,2005,22(2):11-15.
Zhen Yucai, Zhu Chuanyun. Analysis on influential factors of vibration superposition in middle and far field of millisecond blasting [J]. Blasting, 2005,22(2):11-15.
- [6] 郑峰,段卫东,钟冬望,等. 爆破震动研究现状及存在问题的探讨[J]. 爆破,2006,23(1):92-94.
Zheng Feng, Duan Weidong, Zhong Dongwang, et al. Research progress and existing problems of blasting vibration [J]. Blasting, 2006,23(1):92-94.
- [7] 史太禄,李保珍. 微差间隔时间、药量分布及测距对爆破震动的影响[J]. 工程爆破,2003,9(4):11-13.
Shi Tailu, Li Baozhen. The effects of millisecond delay interval, charge distribution and measuring distance on blasting vibration [J]. Engineering Blasting, 2003,9(4):11-13.
- [8] 张志呈. 定向段裂控制爆破 [M]. 重庆:重庆出版社,2000.
- [9] 国家质检总局 (SBTS). GB8031—2005 工业电雷管 [S]. 北京:中国标准出版社,2006.
- [10] 郭学彬,张继春,刘泉,等. 微差爆破的波形叠加作用分析[J]. 爆破,2006,23(2):4-8.
Guo Xuebin, Zhang Jichun, Liu Quan, et al. Analysis of waveform superimposed action of millisecond blasting [J]. Blasting, 2006,23(2):4-8.

Test and Analysis of Ground Surface Vibration during the Delay Blasting in Small Pool

YAN Dayang^{①②}, HU Kunlun^②, YE Tuqiang^①, SUN Ping^②, HAN Tifei^②

①Guangdong Hongda Blasting Co., Ltd. (Guangdong Guangzhou, 510623)

②Anhui University of Science & Technology (Anhui Huainan, 232001)

[ABSTRACT] Ground vibration tests at different charge delay intervals were conducted in a small pool to study the impact of underwater delay blasting on the vibration of ground surface. During the experiment, the charge number was various for each group at a constant charge quantity in total. The ground vibration velocities and main frequencies were tested and analyzed by UBOX-5016 blasting vibration recorder. The study shows that millisecond delay blasting can effectively reduce the blasting vibration. The reasonable delay interval was preliminarily estimated to be 25-50ms at optimized charge delay interval.

[KEY WORDS] millisecond blasting; ground vibration velocity; main vibration frequency