

文章编号: 1001 - 487X(2006)01 - 0092 - 03

## 爆破震动研究现状及存在问题的探讨

郑 峰,段卫东,钟冬望,孙波勇  
(武汉科技大学理学院,湖北 武汉 430081)

**摘 要:** 爆破地震是“三大爆破公害”之首,而有效控制爆破震动主要是通过合理选择微差时间、适当的爆破参数来实现。从微差爆破、药包埋深和装药形式 3 个方面阐述了目前爆破震动的研究现状并对存在问题提出看法。

**关键词:** 爆破震动; 质点振动速度; 微差爆破; 装药形式; 振动频率

**中图分类号:** TD 235 **文献标识码:** A

### Research Progress and Existing Problems of Blasting Vibration

ZHENG Feng, DUAN Wei-dong, ZHONG Dong-wang, SUN Bo-yong

(College of Science, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081 China)

**Abstract:** Blasting vibration is the worst of the "three public blasting nuisance". How to control the blasting vibration effectively is to chose millisecond delay interval properly and blasting parameters. Considering millisecond blasting, the depth of the cartridge and charge structure, this paper describes the research progress and existing problems of blasting vibration.

**Key words:** blasting vibration; vibrating speed of particles; millisecond blasting; charge structure; vibration frequency

## 1 引 言

研究爆破地震的主要目的是探索爆炸作用下地震波的传播规律及建构物的响应情况,为确定适合的爆破方案、装药方式和装药量提供理论依据,在爆破震动危害的允许条件下,使爆破效果达到最佳。影响爆破震动的因素根据其可控制性分为 2 类:一类是人为不可控制因素,如地形地质条件、地质结构、传播途径等因素;另一类是人为可控因素,即爆破参数。要控制爆破震动有害效应,主要是通过合理选择爆破参数来实现。

## 2 影响齐发爆破地震效应的因素

影响爆破地震效应的因素,根据国内外学者的

研究<sup>[1]</sup>,有以下几种。

### 1) 药量、药包位置对爆破震动效应的影响

萨道夫斯基提出了计算即发爆破时岩土振速的经验公式,振动速度与炸药量成正比,与质点距离成反比。公式如下

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

式中, $V$ 为质点的最大振速 (cm/s); $Q$ 为药量 (kg) (齐发爆破时为总装药量,延迟爆破时为最大一段的装药量); $R$ 为测点至爆源中心的距离 (m); $K$ 为与爆破场地条件有关的系数; $\alpha$ 为与地质条件有关的系数。

### 2) 药包埋置深度对爆破震动效应的影响

Xap A 等人指出<sup>[1]</sup>:体波与面波的速度和位移的增大是不一样的,随着药包埋置深度的增加,体波速度和位移始终是增大的,而面波则是增至一定极限后就下降。

收稿日期: 2005 - 12 - 10.

作者简介:郑 峰 (1982 - ),男,武汉:武汉科技大学理学院硕士生。

3) 被爆岩体中分散装药的爆破地震效应

根据在煤矿进行的试验爆破<sup>[1]</sup>, 认为爆破地震效应随药量的分散程度增大而减小。Py 等人证实分散药包的爆破地震效应取决于炮孔(硐室)与测点的相对位置。在垂直于炮孔连线方向,分散药包的爆破效应比集中药包明显增大,而在沿炮孔连线方向则减小。

4) 炸药类型对爆破地震效应的影响

等人发现,威力较高的炸药比威力较低的炸药产生的地震效应大。

5) 爆轰方向对爆破地震效应的影响

yoA 等人发现:在药包爆轰传播方向爆破地震效应增大。A C 等人指出,药包起爆顺序影响着携带有爆破地震基本能量的波前平面段的形成。

6) 装药结构对爆破效应的影响

等人认为空气间隔装药时爆破地震效应降低。等人指出药包很长时(高台阶爆破),药包的长度(药量)的增加,对爆破地震效应影响不明显。无论是堵不堵塞,都不影响爆破地震效应。

### 3 影响微差爆破地震效应的因素

微差爆破时产生地震效应是一个比较复杂的问题,影响振速和振动频率(或周期)的因素很多,诸如介质特性、炸药性能、总炸药量、最大一段药量及测点到爆心的距离、爆区与测点的相对位置、微差间隔时间、微差段数、起爆方式及测试系统性能等,所以到目前为止,国内外尚无一个统一的十分精确的公式来计算微差爆破的地震效应。甚至还出现过微差爆破比齐发爆破振动强度增大的现象。

#### 3.1 微差爆破的振动强度

对于微差爆破产生振动的理论<sup>[1]</sup>,可归纳为 3 种意见:

- 1) 微差爆破强度降低的原因是地震波的干涉,这样,微差间隔时间应是振动周期的一半;
- 2) 地震波的干涉对振动影响不大,建议采用尽可能大的微差间隔,使各段地震波互不干涉,减小强度,使之降震;
- 3) 爆破质量最好的微差间隔时间和地震效应最小的微差间隔时间是一致的。

理论分析和实验表明,当间隔时间为振动周期的一半时,振动强度有一定减小,但还是相当大。而采用较大的间隔时间,这就等于用迟发爆破代替微差爆破,失去了微差爆破的优点。第 3 种意见是在比较相同的技术条件下得到的结论,也只有在这种

情况下,这种意见才是正确的<sup>[2]</sup>。

#### 3.2 微差爆破的合理间隔时间

确定和控制准确的微差间隔时间,关系到爆破的效果。对于如何确定合理的微差间隔时间,国内外许多人曾进行研究,并已提出许多确定原则和计算方法。

长沙矿冶研究院在研究南芬铁矿采区多排微差爆破的震动速度时,对萨氏公式作了如下修正

$$V = N^{a_1} \cdot k \left( \frac{Q^{1/3}}{R} \right)$$

式中,  $N$  为一个延时段孔数;  $a_1$  为经验系数,  $N = 5 \sim 20$ ,  $a_1 = 0.15 \sim 0.25$ ;  $N = 1 \sim 3$  时,  $a_1 = 0.4 \sim 0.57$ ;  $K, R, Q$  意义同前。

原苏联塞尔捷依伍克在研究克里沃罗格露天矿的地震效应时指出<sup>[1]</sup>:决定微差爆破震动强度的主要参数是分段装药量及延迟间隔时间  $t$ ,只有当  $t$  为某一定值时,震动强度才最小,  $t$  偏离这一最佳值,震动强度便增大。

在微差爆破中,相邻两段爆破地震波的相位时差等于  $t$ (当  $t < T$  时,  $T$  为震动周期)或  $t = nT$ (当  $t > T$  时,  $n$  为自然数)。理论分析表明,如果 2 个波形互相叠加,其相位时差为  $0.5T$  时,叠加后的幅值最小。当  $t$  与震动波形的平均周期  $T$  的比值接近 0.5 和 1.5 时,震动强度较小,  $t/T = 1$  时震动强度最大。

爆破震动实测发现,采用毫秒微差间隔方式控制爆破震动时,除需要控制同段最大装药量外,还需要根据保护对象与爆区的距离合理选择延期时间及各分段药量分布。以上的研究虽然都涉及到各种情况,随着孔网参数、孔直径、药量及起爆破方法等因素的变化,合理的间隔时间也会发生变化,所以,微差爆破的合理间隔时间一般都建立在实验基础上<sup>[3]</sup>。

### 4 药包埋深对爆破震动的影响

#### 4.1 深孔爆破震动

目前,各国对深孔爆破震动的判断标准主要是:以质点振动速度和以速度-频率作为地震动强度的判据。国际上制定爆破安全标准时,普遍考虑了质点振动速度和频率的共同作用:美国矿业局(ussu)和露天复垦管理局(OSMRE)分别制定了各自的标准,将此 2 个标准合成以后,成为目前国际上比较流行的爆破震动安全判据。

美国矿务局 Devine J R (迪万)等人对 20 个采石场和建设工地的爆破震动观测数据进行了统计分析,于 1966 年提出了爆破地震的最大速度经验公式

$$V = K \left( \frac{R}{Q^{1/2}} \right)$$

式中,  $V$  为地震运动质点最大速度 (in/s);  $K$  为与爆破场地有关参数, 常取:  $K=0.676 \sim 4.04$ , 平均值  $K=1.85$ ;  $\omega$  为角频率, 常取:  $\omega=1.083 \sim 2.346$ , 平均值  $\omega=1.536$ ;  $Q$  为每次延发爆破的药量 (lb);  $R$  为爆心到拾震器的距离 (m)。

#### 4.2 浅孔爆破震动

国内魏小林、陈颖尧等结合工程实例对浅眼爆破地震波传播规律进行了研究<sup>[4]</sup>, 得出以下结论:

1) 近距离浅眼爆破地震波, 由于高频子波衰减比低频子波快得多, 因此振幅衰减的过程中, 基岩层内浅眼爆破地震波随传播距离  $r$  增长, 振幅快速衰减, 主频逐渐或急速减小, 波形伸长, 而后由复杂趋于简单, 与爆震波在岩土层中传播的一般规律是一致的;

2) 爆破地震波实测表明, 在爆破地震的黏弹性区, 当地层勘探清晰的情况下, 可以根据地震勘探黏弹性介质频率域的衰减分析和土动力学的土层响应理论, 用来计算和测量浅眼爆破地震波在岩土内和地表的振幅、频率和波形;

3) 实际算例表明, 利用土层响应结合传递函数的波谱方法, 可以根据实测的地表波形推算土层内直至基岩面的地震动, 给点爆源地震引发边坡惯性力分析提供了条件。

### 5 布药结构与爆破震动的关系

布药结构与爆破震动的关系可以从爆炸冲击波特征、振动速度、压缩圈半径等理论方面<sup>[5]</sup>进行分析:

1) 爆炸冲击波波阵面的不同特征使爆破震动强度出现差异。集中药包爆炸时, 介质中产生的冲击波是球面波, 球面波以药包为中心向周围均匀发散传播。条形药包在无限介质中爆炸, 其波阵面主要特征为: 药包中部冲击波阵面为圆柱形, 两端波阵面形状为近似椭圆形; 中部柱面冲击波传播速度最快, 端部冲击波速度明显小于中部柱面波速。对于冲击波而言, 波的强度越高, 波速越快, 集中药包近区冲击波传播速度明显快于条形药包。也就是说, 在爆破近区, 集中药包的冲击波强度高于条形药包相应区域的强度;

2) 测点处条形药包振动频率小于集中药包频率。其原因可以认为: 条形药包的爆炸反应时间是集中药包的 5~10 倍 (条形药包采用两端起爆, 集中药包是中心起爆), 而且条形药包可以等效为多个集中药包, 而这些小等效药包爆破的振动波传递到达测点时, 由于多个地震波的叠加效果, 使得合成波的振速、频率发生改变。测点处条形药包振动速度小于集中药包; 振动频率也小于集中药包。

我国高荫桐等对布药结构与爆破震动之间的关系进行了实验研究<sup>[6]</sup>, 得出的结论如下:

1) 单个条形药包的纵向、横向、垂向以及合成峰值振速, 均小于单个集中药包; 条形药包的纵向、横向和垂直振动频率也均小于集中药包;

2) 2 个条形药包的纵向、垂向以及合成峰值振速小于 2 个集中药包; 横向、垂向振动频率也小于 2 个集中药包; 而 2 个条形药包的纵向振动频率、横向振动速度大于 2 个集中药包;

3) 质点峰值振动速度 (纵、横、垂及合振速) 随着单响药量的增加而增大, 而振动频率则随单响药量的增加而减小。

通过上述理论分析和试验研究可以看出, 大爆破工程设计时, 尽可能布置条形药包, 以此降低爆破震动。当由于受到地形、地质条件制约或有特殊要求时, 再考虑布置集中药包或分集药包。

### 6 结 论

a 爆破参数对爆破震动有较大影响, 相对于改变地形条件 (如采取预裂孔爆破、开挖减震沟等措施) 来达到降低爆破震动目的来说, 改变爆破参数来控制爆破震动技术含量更高, 成本也更低。

b 目前大多数的研究, 都只是根据现有的经验公式或通过现场的试验研究, 测得多组数据 (质点振动速度、炸药量、测点到爆心的距离), 再经过回归分析得出  $K$  和  $\omega$  的取值。通过得到的  $K$  和  $\omega$  值再进行爆破方案设计。

c 现阶段对于爆破震动的研究多停留在实验阶段, 更深入的理论研究工作还做的不够。如微差爆破中, 缺少对在不同的起爆顺序条件下, 爆破震动变化规律的研究。对不同的装药形式, 也没有进行爆破震动变化规律的研究, 这些问题都有待学者做进一步研究。

#### 参考文献

- [1] 张志呈. 定向段裂控制爆破 [M]. 重庆: 重庆出版社, 2000.
- [2] 邓正道. 露天矿大区多排孔微差爆破地震效应的研究 [J]. 露天采矿, 1987, (2): 15~18.
- [3] 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, 12(4): 11~13.
- [4] 魏小林, 陈颖尧, 郑炳旭. 浅眼爆破地震波传播规律 [J]. 工程爆破, 2002, 12(4): 57~59.
- [5] 高荫桐, 谭 权. 布药结构与爆破震动之关系的实验研究 [J]. 工程爆破, 2004, 9(3): 19~21.
- [6] 杨年华. 条形药包爆破作用机理 [D]. 北京: 铁道科学研究院, 1994.