

## 对毫秒延时爆破地震公式的讨论

发布时间: 2008-02-29

顾毅成

(铁道科学研究院, 北京 100081)

**摘要:** 毫秒延时爆破以其降低爆破振动效应, 改善爆破质量得到了日益广泛的应用, 但对毫秒延时爆破地震动强度的计算方法, 存在着不同的观点。通过归纳分析毫秒延时爆破地震波的时域特性, 对目前几个公式和观点进行了讨论与分析, 并提出了用于毫秒延时爆破振动安全设计和评估计算模式的建议。

**关键词:** 毫秒延时爆破 爆破地震效应 爆破振动公式

中图分类号:

文献标识码:

文章编号:

## Discussion about Seism equation of Delay MS Blasting

Gu Yicheng

(?>China Academy of Railway Sciences)

KEY WORDS: Delay MS blating; Blasting seismic effect; Blasting seism equation

### 1 引言

采用毫秒延时爆破, 可以改善爆破质量、降低爆破地震效应, 扩大一次爆破的规模; 而采用导爆管起爆网路, 通过高精度导爆管毫秒雷管及孔内、孔外毫秒延时雷管的合理设计, 更有可能实现毫秒差为10ms、乃至更小的毫秒段间隔延时起爆, 因而毫秒延时爆破得到日益广泛的应用。但对毫秒延时爆破地震动强度的预报计算公式, 目前还没有比较统一的意见, 并影响到毫秒延时爆破的设计与爆破振动安全。加强对毫秒延时爆破地震效应机理及地震动强度计算公式的研究, 有重要的实际意义。

### 2 毫秒延时爆破地震动强度预报的几个公式与观点

关于毫秒延时爆破地震动幅值预报或安全允许距离计算公式, 当前可见以下几个。

#### 2.1 爆破安全规程 (GB6722-2003) [1]

爆破安全规程 (GB6722-2003) 第6.2.3款规定:

爆破振动安全允许距离, 可按式 (1) 计算。



(1)

### ☑ 相关信息 [\[更多\]](#)

[关于爆破和爆炸的世纪思索](#)  
[复杂环境下高层框架楼定向爆](#)  
[铁路路堑边坡弱扰动爆破开挖](#)  
[路堑爆破边坡质量控制技术的](#)  
[试析我国加入WTO对工程爆](#)  
[薄层岩体中的预裂爆破](#)  
[强化爆破工程安全管理及质量](#)

### 热点排行



[爆破安全规程\(GB672](#)  
[某公司招聘爆破工程师](#)  
[爆破工程技术人员](#)  
[工业炸药专用术语](#)  
[某公司急聘3名爆破专业工](#)  
[爆破工程技术人员安全技术](#)  
[爆破工程技术人员](#)  
[工业炸药的主要成分有哪些](#)  
[某公司急聘爆破专业工程技](#)  
[中爆网简介](#)  
[起爆器材专用术语](#)  
[中国典型爆破工程与技术目](#)  
[工业炸药](#)  
[工业雷管的作用原理是什么](#)

### 站内搜索

输入关键字

搜索

关键字

搜索

[超值商品热卖](#) [蓝天365](#)

式中： $R$ —爆破振动安全允许距离，m；

$Q$ —炸药量，kg，齐发爆破为总药量，延时爆破为最大一段药量，单位为千克(kg)；

$V$ —保护对象所在地质点振动安全允许速度，单位为厘米每秒 (cm/s)；

$K$ 、 $\alpha$ —与爆破点预计算保护对象间的地形、地质条件有关的系数和衰减指数。

式(1)换算为式(2)即可以在已知药量和距离的条件下预报保护对象所在地质点振动速度。



(2)

该式明确延时爆破取最大一段药量。众所周知，延时爆破分为秒延时爆破和毫秒延时爆破。在一般工程爆破设计中，毫秒延时爆破的段时间间隔，一般在25ms至数百毫秒，因间隔时间短，相邻段爆破产生的地震动波形将叠加，其合成振动的最大幅值，有可能比独立一段爆破时的最大幅值小，也有可能更大。

## 2.2 前苏联《爆破工程师手册》的有关资料

在刘殿中主编《工程爆破实用手册》<sup>[2]</sup> 所列举的前苏联《爆破工程师手册》的有关资料，所提出的振速计算公式同公式(1)，并认为，在延迟时间大于 $t_+$ （应力波正相位作用时间），就可以不考虑爆破地震波叠加，当延迟时间小于 $t_+$ 时，建议药量取同段最大药量的2/3，该手册还提出应力波正相位作用时间 $t_+$ 的计算公式：

$$t_+ = k_t \ln R \quad (3)$$

式中： $t_+$ —应力波正相位作用时间，s；

$R$ —距离，m；

$k_t$ —系数，决定于爆破条件，对岩石 $k_t = 0.01 \sim 0.03$ ，对中硬土 $k_t = 0.03 \sim 0.06$ 。

显然，这里所提出的取总药量2/3的建议，缺少理论和实践的依据。

## 2.3 吴绵拔<sup>[3]</sup> 公式

吴绵拔认为：针对一般微差爆破延时时间间隔，在式(2)中， $Q$ 取总药量时，预报的振动效应值明显偏大； $Q$ 取最大段药量时，预报值偏小。据此，提出毫秒延时爆破地震动速度预报公式。



(4)

式中： $Q_t$ —总药量，kg；

$Q_o$ —最大一段药量，kg；

$N$ —一次爆破分段数；

$\xi$ —系数， $\xi = Q_t / Q_o$ 。

式(4)可简化为：



(5)

为段延时间隔时间

## 2.4 薛孔宽等<sup>[4]</sup> 的观点

薛孔宽等认为，爆破地震波主震相持续时间一般约占所观测到的地震波传播全过程的 $1/4 \sim 1/8$ ，即 $0.1 \sim 0.3$ s左右。由于爆破振动是一种随机振动现象，毫秒差延时爆破地震波将会产生叠加， $n$ 段毫秒延时爆破地震效应正向叠加合成的概率为 $P_n = 0.5^{(n-1)}$ ，段数 $n$ 越多，峰值全面正向叠加的概率越小，当段数增至5段及以上时，其参与叠加的概率将在6%以下。因此，他们提出：对毫秒延时爆破，应在最大地震速度峰值叠加处，取五段较大地震效应进行叠加合成，并将其合成结果作为判断和估算可能产生的最大振动速度值。

## 3 毫秒延时爆破地震波的时域特性

爆破地震波实测波形的分析表明：爆破地震波为一随机波，爆破振动能量分布于非常宽的频带范围内，且具有较确定的多阶固有振动频率。根据波动理论，爆破地震波均可以分解成若干不同频率，不同幅值的简谐波迭加而成，对地面质点速度有

$$\boxed{\times} \quad (6)$$

式中： $A_{0i}(t)$ —与药量、地质条件、距离有关的强度幅值函数；

$\omega_i$ —第*i*个余弦波的振动角频率；

$t$ —振动持续时间；

$\Phi_i$ —第*i*个余弦波的初相位。

对毫秒延时爆破地震效应的一些研究表明，毫秒延时爆破地震波的时域特性有以下一些特点：

(1) 毫秒延时爆破的有二种典型的地震波形，当分段时间间隔较大时，各段爆破产生的振动为独立事件，其爆破振动时域表现为短间隔型特征；当分段时间间隔较小时，相邻段爆破的地震波会产生叠加，并使主振相持续时间增加<sup>[5]</sup>。毫秒延时爆破地震波的持续时间一般均略大于爆破延时的总和。

(2) 毫秒延时爆破的分段间隔时间，对频谱成份，特别是主振频带有较大影响<sup>[6]</sup>。不同单段波形的叠加，增加了主振频带个数（优势频率个数），并使各频带内的优势频率值有微弱增大的趋势。有的试验研究表明<sup>[7]</sup>，随着毫秒延时间隔时间的增加，地面垂直振动速度的最大幅值将减小，当间隔时间进一步增加时，该值将增大，其后又将减小。在理想条件下合理选择段毫秒延时间隔时间，可以实现质点振速的有效降低，但雷管段位选择的唯一性（或者是单段毫秒延时间隔时间的单一频率特性）不能适应单段波形的多主振频带特性，加之复杂的地质条件及建（构）筑物结构特性情况下，往往得不到预期的降振效果。

(3) 毫秒延时爆破振动实测波形小波分析表明<sup>[8]</sup>：段药量大小主要影响振动波形小波包主振频带内细节信号的峰值质点振动速度。但是只简单地采取增加分段，减少同段最大药量的措施，也可能达不到降低爆破振动强度的目的，甚至有可能加大爆破振动强度，采用毫秒延时爆破控制爆破振动，除需要控制同段最大装药量外，还需要根据保护对象与爆源的距离，合理选择延期时间及分段的药量分布。

(4) 一些实测资料表明：对于毫秒延时爆破的地震效应，即使在多数条件相同的情况，由于某些差异，可能使爆破地震波的幅值、主频率范围及振动波叠加状况产生不容忽视的差异。例如：在相同药量的情况下，不同间隔时间，在同一地点，同一方向上测到的两次爆破振动速度时程曲线的最大峰值可相差35%<sup>[9]</sup>；对于较大规模的高台阶钻孔毫秒延时爆破，其主频率范围为0~20Hz，而对小规模台阶钻孔毫秒延时爆破，其主频范围为20~35Hz<sup>[10]</sup>；采用多排孔毫秒延时爆破时，只有当排间延时间隔时差 $\Delta t$ 大于100ms时，才能避免地震波峰值叠加情况<sup>[11]</sup>等等。

#### 4 讨论与建议

多数研究者的研究结论与工程实践结果表明，对毫秒延时爆破，采用常规的公式（2）作为预报保护对象所在地质点振动速度是可行的，在公式中， $Q$ 取总药量时，预报的振动效应值明显偏大， $Q$ 取最大一段药量时，预报值可能偏小。

爆破安全规程（GB6722-2003）规定：爆破振动安全允许距离，可按式（1）计算，并明确式中炸药量 $Q$ ，对延时爆破为最大一段药量。其安全允许距离的计算结果，有可能偏大；换言之，也可以认为，以此计算预报保护对象所在地质点振动速度有可能较实际值偏小。如果我们进一步考虑到爆破工程中多种因素条件的复杂性以及爆破振动实际数据的离散性，因此，作为爆破安全规程，仅考虑最大一段药量，而忽视相邻段药包爆破时对振动的“增幅”可能，显然是存在欠缺的，并存在其安全风险。

根据上述一些研究者的研究成果及实测资料，可以肯定地说，当毫秒延时爆破的分段间隔时间较小时，各段爆破的地震波会产生叠加，在振动信号叠加的情况下，对幅值而言，最不利的情况为叠加段的幅值同相叠

加，保守的估算，此即相当所有叠加段的药量同时作用的结果，这就涉及到叠加情况下等效药量的计算问题。

由于导爆管雷管及电子雷管的起爆时间精细控制技术已有可能实现，不论按文献[3]，以段间隔时间 $\Delta t$ 大于或小于30ms分别对毫秒延时爆破产生的地面质点振动速度给以修正；或是按文献[11]，以段间隔大小100ms，作为避免爆破地震波产生叠加的指标；还是按文献[4]，以取5个药量最大分段产生爆破地震波的最大幅值进行叠加，笔者认为，在工程中应用，有的存在一些不确定因素；有的难以实施。考虑到毫秒延时爆破地震效应的复杂性以及数据的离散性，在对毫秒延时爆破地震效应进行安全设计或评估时，笔者建议，按时差

200ms内各段爆破药量总和的最大值，即，作为公式（1），（2）中的计算药量值，来计算爆破振动安全允许距离与预报保护对象所在地质点振动速度，更为方便与实际一些。

鉴于毫秒延时爆破技术是控制爆破地震效应的重要手段，笔者还建议，要进一步加强对于毫秒延时爆破地震效应的试验研究，以其为降振设计提供更为可靠的理论与依据。

#### 参考文献：

- (1) 中华人民共和国国家标准《爆破安全规程》（GB6722-2003），[S]，北京：中国标准出版社，2004
- (2) 刘殿中主编，工程爆破实用手册，[M]，北京：冶金工业出版社，1999
- (3) 吴绵拔，多段微差爆破的振动效应研究，（R），中国工程爆破协会爆破振动研讨会交流论文，北京，2000.3
- (4) 薛孔宽等，分段微差爆破地震效应的叠加分析，爆破，[J]，1991，8（3），67-70
- (5) 张雪亮、黄树棠，爆破地震效应，[M]，北京：地震出版社，1981
- (6) 宋光明等，爆破条件对爆破震动信号分析中小波包时频特性的影响，[J]，工程爆破，2002，8（3）：5-12
- (7) 林大超等，浅地表双源微差爆破地面振动的试验研究，[J]，工程爆破，2000，6（4）：1~5
- (8) 史太禄等，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）：10~13
- (9) 李宏男等，爆破地震效应若干问题的探讨，[J]，爆炸与冲击，1996，16（1）：62~67
- (10) 李彤华等，爆破振动的频谱特征及其工程应用，[J]，工程爆破，2000，6（2）：1~5
- (11) 龙源等，爆破地震波在岩石介质中传播特性与数值计算研究，[J]，工程爆破，2000，6（3）：1~7



责任编辑：段雅兰



评论本文：

姓名：

邮箱：

主页：

内容:



本站文章内容未经授权严禁转载、摘编、复制或建立镜像。如有违反，追究法律责任  
版权所有 中国爆破网 CBSW.cn