

浅析数码电子雷管在露天矿山中的应用

韩 振

宏大爆破工程集团有限责任公司 广东 广州 510623

【摘 要】：随着城镇的扩张，矿山作业环境距居民区的距离受到挤压，爆破振动的影响已然成为一个社会性问题，从爆破技术的角度需要寻求矿山开采综合成本与社会安全稳定相平衡方法。数码电子雷管的灵活延期时间给爆破技术的提升带来了改善空间。

【关键词】：数码电子雷管；爆破；振动；块度

Application of Digital Electronic Detonator in Open Pit Mine

Zhen Han

Hongda Blasting Engineering Group Co., Ltd.. Guangdong Guangzhou 510623

Abstract: With the expansion of cities and towns, the distance between mining operation environment and residential areas has been squeezed. The influence of blasting vibration has become a social problem. From the point of view of blasting technology, it is necessary to find a method to balance the comprehensive cost of mining and social safety and stability. The flexible delay time of digital electronic detonator brings room for improvement to the improvement of blasting technology.

Keywords: digital electronic detonator; blasting; vibration; fragmentation

1 引言

数码电子雷管是将电子数码技术与传统的雷管技术相结合的新型产品。近几年在我国数码电子雷管推广应用取得了积极的效果。具有以下优点：

- (1) 高精度的编程设计，杜绝了普通雷管顺序起爆跳段的可能性，提高了精细控制爆破效果；
- (2) 精准的延期，实现爆轰波精准控制对高边坡稳定性有更好的控制；
- (3) 可以实现多个起爆器联级同步应用，可实现大规模爆破；
- (4) 可以精准地实现，按照需要形成爆堆；
- (5) 快速编制模块，将爆破准备时间大幅减少；
- (6) 数码电子雷管管理系统实现了闭环管理，具备可追溯性和社会安全性。

露天矿山的台阶爆破效果对矿山整体运行起到关键作用，如：爆破破碎程度、爆堆状态及松散度、台阶的坡面角以及平整度都影响到后期的铲装挖运。数码电子雷管的应用改进了爆破技术，从而也提高了矿山综合生产效率。本文主要从数码电子雷管的应用对改善破碎块度及爆破振动方面进行阐述，进而指导露天矿山爆破生产作业以及爆破危害控制。

2 矿山概况

某大型露天采石场，采石为花岗岩，年采剥总量 500 万 m³，炸药用量 2000t。近几年随着城镇的开发，距离最近的村庄仅 500m，爆破环境比较复杂，为了和谐邻里关系，爆破危害效应和矿山生产安全及经济生产需要对爆破技术进行升级，采用电子雷管微差爆破技术需要解决两大难点：

(1) 矿山对爆破效果的需求，要求 60% 的爆破块度控制在 100mm 以内，85% 的块度控制在 120mm 以内，同时爆堆集中，平台平整，便于铲装挖运；

(2) 控制爆破振动在 300m 处质点振动速度 v 小于 2.5cm/s。

3 爆破方案的设计

3.1 总体设计

需要解决以上两点，既要考虑到经济性也要考虑到爆破振动的危害效应，采用清渣爆破技术，尽量不采用压渣爆破技术。本次采用统一的孔网参数，利用数码电子雷管灵活设置孔、排间延期，测试振动和观测爆破效果情况。

3.1.1 炮孔布置

露天矿爆破布孔形式多采用多排布孔，布孔形状有矩形、方形和梅花形。根据施工经验，采用梅花形布孔爆后块度较为均匀，爆破效果较好。本工程采用梅花形布孔方式。炮孔布置为 3 排，炮孔直径 140mm。炮孔布置示意图如下。

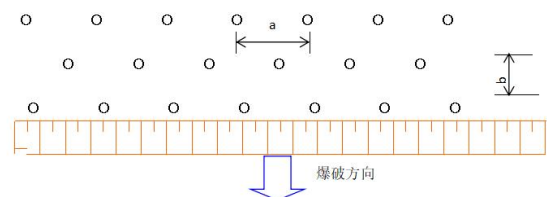


图 1 炮孔布置示意图

3.1.2 孔网参数

- (1) 台阶高度：H=12m。
- (2) 孔径：d=140mm。

(3) 底盘抵抗线 W : 底盘抵抗线是影响露天爆破效果的一个重要参数, 过大会造成根底多, 大块率高, 后冲作用大, 过小则不仅浪费炸药, 增大钻孔工作量, 且岩块易抛散和产生飞石危害, 根据施工经验, 其采用经验计算公式为:

$$W = (25 \sim 45) d$$

式中: d —炮孔直径 m ;

式中: W —底盘最小抵抗线, m ; k —值范围 22.5~37.5, 取 32;

计算得

$$W = kd = 32 \times 0.14 = 4.48m, \text{取 } 4.5m。$$

(4) 孔位误差: 现场严格控制, 一般在 0.5m 以内。

(5) 炮孔超深 h : 超深是为了克服底盘阻力, 使爆破后不留根坎, 根据本工程施工条件, 确定为 1.5m, 如果存在特殊情况, 超深尽可能控制在 2m 之内。另外需要仔细观察台阶底板标高, 确保其能够符合设计标准。

(6) 单位炸药消耗量: 单位炸药消耗量 q 根据岩石的坚固性、炸药种类、爆破块度要求等因素决定, 根据地质条件和施工经验, 选取 $q = 0.4 \sim 0.5 kg/m^3$, 在施工过程中逐步调整合理。 q 取 $0.4 kg/m^3$, 采用乳化炸药。

(7) 堵塞长度 h_0 : $h_0 = (20 \sim 40) d = 32 \times 0.14 = 4.48m$, 取 4.5m。

(8) 装药长度 h_2 : $h_2 = 9m$, 采用 $\Phi 110$ 乳化炸药, 连续装药。

(9) 延米装药量 q_m : 采用成品炸药爆破参数设计, 结合施工经验, 取 110mm 孔径延米装药量 q_m 为 12kg。

(10) 单孔装药量 Q : $Q = q_m h_2 = 12 \times 9 = 108kg$ 。

(11) 孔排距确定: 近年来, 矿山深孔爆破中, 采用大孔距小排距的爆破方法, 明显地改善了爆破质量^[1]。孔距 a 和排距 b 有如下关系: $a = mb$, 其中 m 是炮孔密集系数, 一般情况下 $m = 1.3 \sim 1.8$ 。单孔装药量 Q 、台阶高度 H 、孔距 a 、排距 b 及炸药单耗 q 的关系为: $Q = qabH$, 将 $a = mb$ 代入上式, 得:

$$a = \sqrt{\frac{mQ}{qH}}$$

$$b = \sqrt{\frac{Q}{mqH}}$$

式中: m —分别为炮孔邻近系数, $m = 0.95 \sim 1.60$ 。 m 取 1.15, 则:

孔距 $a = 5.0m$; 排距 $b = 4.4m$ 。

需要说明的是, 爆破试验均在符合以上总体爆破原则的前提下进行, 由于每次试验现场情况略有差异, 孔网参数做了微调, 此处不再一一列举。

3.1.3 堵塞质量

良好的堵塞主要起到两方面作用, 一是避免产生冲天炮的现象, 防范了飞石危害。二是降低了孔口冲击波的强度: 延长孔内爆生气体的作用时间, 提升了爆破效果。特别说明, 过大的堵塞长度, 会导致孔口大块率明显提高, 对爆破块度分布影响较大。

3.1.4 起爆方式

矿山台阶爆破有斜线起爆、排间起爆、“V”形起爆等多种方式, 一般认为, 若爆破对象有 2~3 个自由面选择斜线起爆方式, 只有 1 个自由面选择“V”形起爆方式爆破效果较好。因“V”形起爆方式前排中间部位首先起爆, 增加了后续炮孔爆破自由面, 可显著降低爆破危害, 提高爆破质量。

3.1.5 爆破试验方案

利用不同的微差时间的现场爆破试验, 通过不同的方案对比爆破振动速度以及爆破效果, 寻求爆破振动控制得当, 爆破大块率低的最优化方案。布孔采用梅花形布孔, 排数 3 排, 其他参数如上所述。

方案 1: 采用逐孔起爆方式, 孔间延期 16ms; 最大段起爆药量为 108kg。

方案 2: 采用“V”形起爆方式, 每条线上延期时间为 25ms; 最大段起爆孔数为 6 个, 最大段起爆药量为 648kg。

方案 3: 采用“V”形起爆方式, 每条线上延期时间为 42ms; 最大段起爆孔数为 6 个, 最大段起爆药量为 648kg。

“V”形起爆方式的示意图 2 如下:

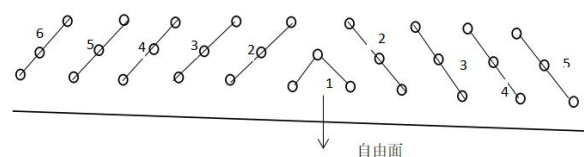


图 2 “V”形起爆方式的示意图

4 试验结果与分析

4.1 爆破振动分析

采用爆破振动监测仪对 300m 处进行测振。按照《爆破安全规程》(GB6722-2014) 的要求。对于爆破作业产生的地表震动标准如下表 1。

表 1 爆破振动安全允许标准

序号	保护对象类别	安全允许质点振动速度 $v/(cm/s)$		
		$f \leq 10Hz$	$10Hz \leq f \leq 50Hz$	$f > 50Hz$
1	土窑洞、土坯房、毛石房屋	0.15~0.45	0.45~0.9	0.9~1.5
2	一般民用建筑物	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0

频率范围根据现场实测波形确定或按如下数据选取: 露天

深孔爆破 f 在 10 Hz~60 Hz 之间。农村自建房多数为土窑洞、土坯房、毛石房屋一类，按照既往经验，在 300m 范围附近的民用建筑，地表质点震速应低于 1.2 cm/s 较为合适，比较保守地表质点震动速度控制在 0.8 cm/s 以内。现场测定地表质点震动速度见下表 2。

表 2 实测地表质点震动速度

序号	方案编号	最大段起爆药量/kg	距离 /m	实测震动速度/ cm/s
1	方案 1	108	300	0.21
2	方案 2	648	300	0.68
3	方案 3	648	300	0.57

在方案 1 和 2 中，同样的最大段起爆药量，地表质点震动速度差别值为 19.3%。认为是由于排间起爆延时差异，应力波传播过程中的错相减震导致。说明合理的微差时间可以降低爆破震动速度。刘文胜等^[2]对数码雷管高精度延时对爆破振动影响试验研究中认为微差时间对近区爆破振动的影响大于对远区的影响。故而在近距离有需要保护的对象的对象的时候需要谨慎的选择合理的微差时间。

从爆破炸药能量角度出发，爆破振动波的能量占据炸药爆破释放能量的 3~20%，但爆破振动波具有频带较窄、频率丰富、低频波传输距离远等特征^[3]。爆破振动波传播过程中收到传播介质的阻尼作用，随着测点与爆区距离增大，呈现整体衰减趋势，根据施工经验，在深孔爆破时，一般爆破振动波在在距离爆破 50m 爆破振动波出现急剧衰减。

从上述试验可以看出，最大一段起爆药量是决定爆破震动效应的主导因素，直接影响了爆破震动效应的。另外需要特别说明的一点是爆破规模越大，一般爆破振动会相应增大，主要原因是先后相继起爆炮孔产生的应力地震波会产生叠加，从而导致震动强度增大。故而在深孔爆破作业时，需要控制爆破规模，在本项目中，一般控制在 20~30 孔左右，总体药量控制在 3.5t 以下。

利用采用萨道夫斯基公式对以上爆破振动数据进行了分析，当公式中 k 值取 150， α 值取 1.5，经过计算结果见表 3，从表 2 与表 3 情况相比可以看出实测数据与计算数据差别不大。

$$\text{萨道夫斯基公式: } v = k(Q^{1/3} / R)^{\alpha}$$

R ——爆破振动安全允许距离，单位为米，m；

Q ——炸药量，齐发爆破为总药量，延时爆破为最大单段药量，单位为千克，kg；

v ——保护对象所在地安全允许质点振速，单位为厘米每秒，cm/s；

K ， α ——与爆破点至保护对象间的地形、地质条件有关的系数和衰减指数，应通过现场试验确定； K 取值为 150~250；

a 取值为 1.5~1.8。

表 3 萨道夫斯基公式分析数据

序号	方案编号	最大段起爆药量/kg	距离 /m	计算震动速度/ cm/s
1	方案 1	108	300	0.3
2	方案 2	648	300	0.73
3	方案 3	648	300	0.73

4.2 块度分析

对于矿山开采，爆破块度是一个重要指标，不仅反应出爆破效果，同时也是影响矿山开采成本关键的一环^[4]。在矿山开采中，想要获得较优的开采成本，爆破块度与铲装挖运、破碎设备要匹配。一般在矿山开采中，会根据岩石种类、风化程度、节理、裂隙、岩石普氏系数等指标将爆区进行块度分区管理，采用针对性的爆破技术，解决爆破块度问题。上述方案中经过统计具体描述如下表 4：

方案 1：逐孔起爆方式，超过 120mm 的大块占 15%，占比较大；120mm 以下块度 70%；100mm 以下块度 45%；效果不理想。

方案 2：爆破块度超过 120mm 大块占 10%；120mm 以下块度 55%；100mm 以下块度 65%；爆破效果理想。

方案 3：爆破块度超过 120mm 大块占 15%；120mm 以下块度 60%；100mm 以下块度 75%；爆破效果较理想。

表 4 各方案统计结果表

方案编号	120mm 以上块度占比/%	120mm 以下块度占比/%	100mm 以下块度占比/%	爆破效果
方案 1	15	70	45	不理想
方案 2	10	55	65	理想
方案 3	15	60	75	较理想

爆破块度分布基本呈正态分布形态。逐孔起爆，因为爆破过程中，爆岩石受到的挤压碰撞较少，大块较多^[5]。采用“V”形起爆方式，爆岩受到强烈的挤压和碰撞作用，大块率明显下降，大块主要产生部位为孔口大块。方案 2 中排间延期时间 25ms，增加了爆岩之间挤压和碰撞量。同时在工程实践中发现“小排距、大孔距”可以改善爆破块度的均匀性。其原因是爆破过程爆岩受到爆生气体和爆炸应力波双重作用，减小排距，后排的爆岩抵抗线也相对的减小，这就导致了后排在抵抗线方向上可以产生充分的破碎，有利于增加块度的均匀性。在实践中，为了减少孔口大块率。采用炮孔底部采用高密度装药，这点是为了解决底部根底的问题，中上部采用低密度装药，提升装药高度，是为了改善孔口大块。目前多采用底部为乳化炸药、中上部采用粉状炸药或铵油炸药，也有采用间隔装药方式。

5 结语

(1) 爆破产生的地表质点震速与单段最大起爆药量、爆破规模、延期时间等因素影响较大，其中单段最大起爆药量影

响特别显著。

(2) 采用“小排距、大孔距”的梅花形布孔方式及“V”形起爆方式可有效的改善爆破效果，提升爆破块度分布的均匀性。

(3) 数码电子雷管可以灵活设置延期时间，对于爆破效果的提升带来巨大的机动性，合理的延期可以做到爆破减震与爆破效果的良好统一。

参考文献:

- [1] 魏连春.大孔距小排距的孔网参数在中深孔爆破中的应用[J].天津冶金,2003,(4);21~22.
- [2] 刘文胜,陈能革,朱末琳,等.对数码雷管高精度延时对爆破振动影响试验研究[J].金属矿山 2021(9).
- [3] 叶海旺,王亮,张迎吉等.金堆城南露天数码雷管减震爆破试验研究[J].中国矿业,2014,23(12);136-139,146.
- [4] 李萍丰,廖新旭,罗国庆,等.大型采石场深孔爆破参效试验分析[J].爆破,2004,21(2).
- [5] 吕淑然,姚浩辉,王立强.电子数码雷管在铁矿采场爆破中的应用研究[J].工程爆破,2013,19(3);53-56.

作者简介: 韩振 (1990-), 男, 本科, 工程师, 从事矿山爆破相关工作。