

# 三种孔外延期导爆管起爆网路的工程试验研究

刘向科<sup>1</sup>,王海亮<sup>2</sup>,孙志果<sup>2</sup>,孙松<sup>2</sup>

(1. 中国中铁隧道集团二处有限公司, 河北 三河 065201;

2. 山东科技大学 矿山灾害预防控制国家重点实验室培育基地, 山东 青岛 266590)

**摘要:**对某城区露天基坑爆破开挖过程中使用的三种导爆管起爆网路进行了对比分析。研究发现,采用孔内12段延期、孔外排间5段延期的复式串联的接力式毫秒延时起爆网路,爆破效果良好,降低了爆破作业时间,取得了良好的经济效益和社会效益,为后期基坑爆破及其他类似工程提供了借鉴;起爆后岩块的大小和排间延期时间有关,采用排间延期110 ms的起爆网路时,起爆后岩石大块率小于5%。

**关键词:**露天基坑;爆破;导爆管;起爆网路;大块率

中图分类号:TB41

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2014)02-0063-04

## The Engineering Experimental Research of Three Outer-hole Delay Firing Circuit

Liu Xiangke<sup>1</sup>, Wang Hailiang<sup>2</sup>, Sun Zhiguo<sup>2</sup>, Sun Song<sup>2</sup>

(1. Erchu Co. Ltd of China Railway Tunnel Group, Sanhe, Hebei 065201, China;

2. State Key Laboratory Breeding Base for Mining Disaster Prevention and Control, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

**Abstract:** Comparative analysis was made on three kinds of firing circuits used in foundation pit blasting. The research findings include the following: the desirable blasting effect is achieved when adopting millisecond delay firing circuit of No 12 delay inside and No 5 row between delay outside; the time for blasting is shortened, bringing about favorable economic and social benefits, providing a reference for the latter period foundation pit blasting and other similar projects; the size of stones after blasting is related to the time of row between delay, and the rate of large rock after blasting is less than 5% when adopting firing circuit of 110 ms row between delay.

**Key words:** outside foundation pit; blasting; nonel tube; detonating network; rate of large rock

对条件复杂的城区基坑施工来说,破碎岩石的生产任务主要是通过浅孔台阶延时爆破来完成的。为了达到良好的爆破效果,必须根据工程实际确定合理的台阶高度、装药结构、装填长度、布孔方式、起爆网路等参数<sup>[1]</sup>。在基坑岩石爆破开挖过程中,起爆网路设计对爆破振动强度及爆破效果有着直接的影响。陈昌勇<sup>[2]</sup>论述了露天矿山台阶深孔爆破起爆方式的选用及其与布孔方案的合理匹配问题,并给出了几类常用起爆方式的布孔方案。陈国祥<sup>[3]</sup>提出采用交错布孔,遵循前排先爆、后排后爆的原则。

本研究从基坑工程实际需要出发,设计三种不同的起爆网路,在其他条件相同的前提下,通过比较爆破后产生的飞石距离、作业时间和合振动速度的大小,选出合理的起爆网路,研究成果对类似工程具有重要参考价值。

## 1 工程概况

青岛崂山风景区客服中心大河东基坑位于崂山区沙子口镇崂山风景区大河东停车场,基坑所处场地平

收稿日期:2013-11-17

基金项目:国家自然科学基金项目(10672091)

作者简介:刘向科(1983—),男,河北三河市人,工程师,主要从事隧道施工技术管理工作. E-mail: lxx\_0201@163.com

王海亮(1963—),男,河北石家庄人,教授,博士生导师,主要从事工程爆破、地下工程、安全评价理论研究,本文通信作者. E-mail: tlgcbp@263.net

整,岩石主要以花岗岩为主,岩石坚固系数  $f=8\sim 10$ 。基坑西南方向为村庄,最小距离约为 102 m,基坑东侧为正在施工的立交桥,开挖边线距立交桥最近距离约为 15 m。

为保证周围村庄和立交桥不被爆破飞石毁坏,必须运用控制爆破技术,合理设计起爆网路,严格确定爆破参数。

## 2 爆破方案

总体爆破施工采用浅孔台阶延时爆破方法,基坑开挖采用“水平分块,竖向分层,机爆结合,先机后爆”的原则进行爆破施工。控制单段最大起爆药量和单次爆破规模,采用分段延时爆破。

### 2.1 爆破参数设计

爆破参数的设计主要包括台阶高度、底盘抵抗线、孔深、超深、间排距和单孔装药量等,爆破参数如表 1 所示。

表 1 浅孔台阶爆破参数  
Tab. 1 Short hole type blasting parameters

| 台阶高度/m | 孔深/m | 排距/m | 孔距/m | 单孔装药量/kg | 单段最大起爆药量/kg | 堵塞长度/m | 炸药单耗/( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) |
|--------|------|------|------|----------|-------------|--------|--|
| 2.0    | 2.3  | 1.5  | 1.5  | 1.3      | 2.6         | 1.0    | 0.50                                     |

### 2.2 布孔方式和装药结构

采用多排孔爆破时,孔间多呈三角形、方形和矩形。布孔排列虽然比较简单,但利用不同的起爆顺序对这些炮孔进行组合,就可以获得多种多样的起爆形式<sup>[4]</sup>。综合考虑现场地形和抛掷空间等条件选择合适的布孔方式和布孔参数。现场采用三角布孔排间毫秒延时爆破,炮孔成三角形布置,各排之间毫秒延时爆破,如图 1 所示。图中数字表示起爆顺序。

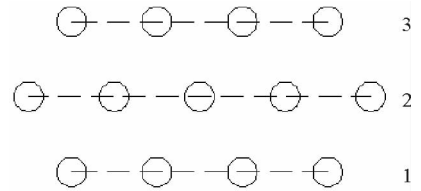


图 1 三角形布孔  
Fig. 1 Triangle holes

炸药及起爆装置在被爆介质内的安置方式称为装药结构,装药结构是影响爆破效果的主要因素之一<sup>[5]</sup>。浅孔台阶爆破常采用的装药结构主要有连续柱状装药和分层装药 2 种装药结构。堵塞用炮泥或用半干的黄土,不能掺杂碎石,要求堵实,并注意保护起爆网路。现场采用连续反向装药结构。

## 3 起爆网路设计

利用毫秒延期导爆管雷管,在孔外用同段别雷管接力,可联成延时间隔相等,分段数量庞大的起爆网路。接力式毫秒延时起爆一般要求孔内用高段别雷管,孔外接力用低段别雷管。鉴于大河东基坑的围岩性质稳定、地质条件变化不大,适合做不同起爆网路对比试验。本文设计了三种起爆网路(图 2):

- 方案 A 孔内 5 段延期、孔外间排 5 段延期(图 2(a));
- 方案 B 孔内 12 段延期、孔外 5 段延期(图 2(b));
- 方案 C 孔内 9~12 段延期、孔外 5 段延期(图 2(c))。

## 4 爆破效果与分析

为研究三种不同爆破网路产生的质点合振动速度  $V$  大小,将监测仪器布置在基坑东侧正在施工的立交桥基础附近,监测爆破振动的垂直方向振速  $V_c$ ,水平径向振速  $V_r$ ,水平切向振速  $V_t$ 。合振动速度  $V = \sqrt{V_c^2 + V_r^2 + V_t^2}$ 。爆破振动监测采用成都中科测控有限公司生产的 TC-4850 爆破测振仪及其配套的速度传感器。

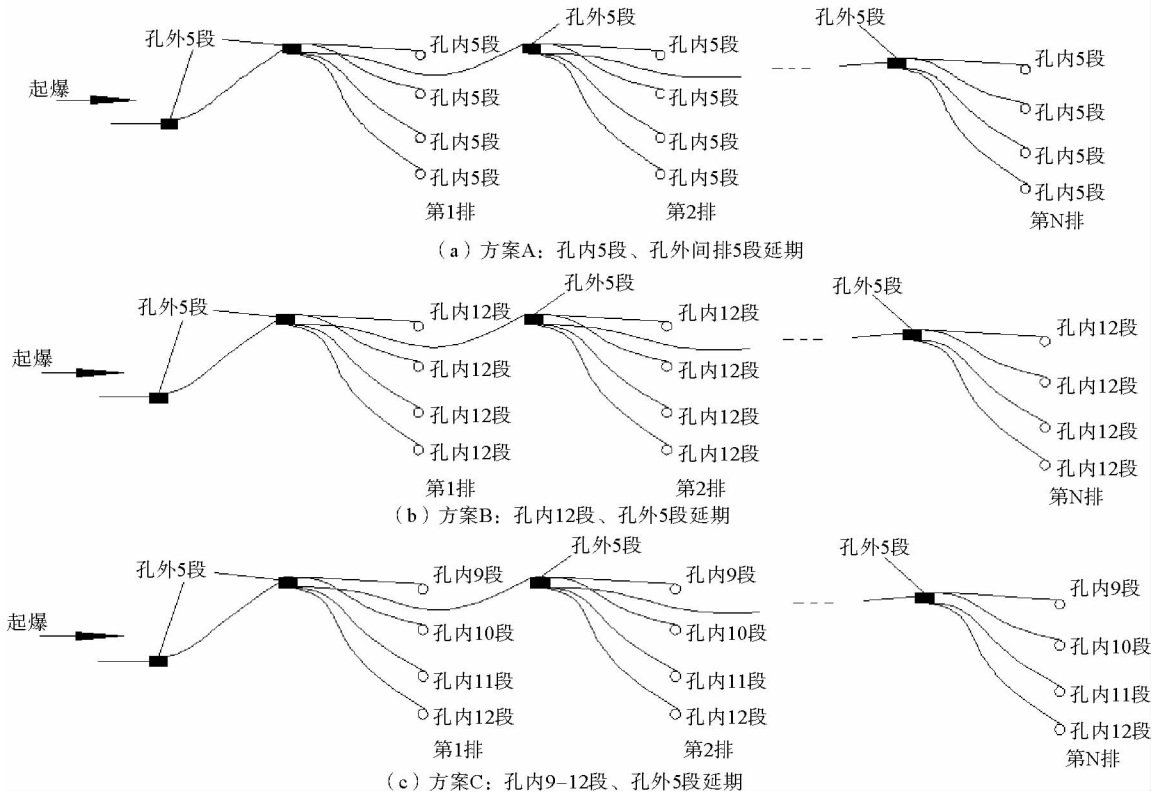


图2 三种孔外延期起爆网路

Fig.2 Three kinds of hole outside delay firing circuit

对三种起爆网路各进行了5次试验。为确保试验的可比性,孔深、间排距、单孔装药量、单段最大起爆药量等试验参数取为一致。每次起爆的炮孔数均为20个,测点距爆心的距离为16~17m。三种不同起爆网路的现场试验效果统计数据如表2所示。表中作业时间 $T$ 是指分拣雷管和装药连线起爆的总时间,飞石距离 $L$ 是指起爆后岩块的平均抛掷距离。

表2 三种起爆网路试验效果对比

Tab.2 Three kinds of firing circuit test result contrast

| 试验序号 | 方案A   |                  |                  | 方案B   |                  |                  | 方案C   |                  |                  |
|------|---|------------------|------------------|---|------------------|------------------|---|------------------|------------------|
|      | 合振速 $V_A$<br>/( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | 飞石距离 $L_A$<br>/m | 作业时间 $t_A$<br>/h | 合振速 $V_B$<br>/( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | 飞石距离 $L_B$<br>/m | 作业时间 $t_B$<br>/h | 合振速 $V_C$<br>/( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | 飞石距离 $L_C$<br>/m | 作业时间 $t_C$<br>/h |
| 1    | 0.67  | 1.44             | 0.75             | 0.53  | 0.98             | 0.76             | 0.42  | 1.25             | 1.11             |
| 2    | 0.58  | 2.32             | 0.78             | 0.47  | 0.45             | 0.81             | 0.38  | 0.94             | 1.18             |
| 3    | 0.54  | 1.95             | 0.81             | 0.40  | 0.34             | 0.78             | 0.23  | 1.18             | 1.25             |
| 4    | 0.63  | 1.56             | 0.73             | 0.48  | 0.78             | 0.83             | 0.29  | 1.04             | 1.15             |
| 5    | 0.51  | 1.31             | 0.75             | 0.37  | 0.42             | 0.73             | 0.31  | 0.87             | 1.20             |
| 均值   | 0.58  | 1.72             | 0.76             | 0.45  | 0.60             | 0.78             | 0.32  | 1.06             | 1.18             |

由表2可以看出,比较三种起爆网路监测数据,可以得到如下结论:

- 1)从振动峰值速度方面考虑,  $V_A = 1.3V_B = 1.82V_C$ ,即  $V_C < V_B < V_A$ 。方案C优于其他两种方案。
- 2)从爆破飞石距离方面考虑,  $L_A = 2.86L_B = 1.6L_C$ ,即  $L_B < L_C < L_A$ 。爆破飞石距离大小与孔内外雷

管延期时间差有关,孔内外雷管延期时间差越大,爆破飞石距离越小。

3)从作业时间方面考虑,  $T_A = 0.98T_B = 0.65T_C$ , 即  $T_A \approx T_B < T_C$ 。方案 C 考虑到装药时雷管使用段别较多、排列顺序要求严格,需一人负责雷管,一人负责装药。簇联网路时也需注意雷管段别,这样增加了作业时间,降低了劳动效率,提高了工程成本。

对起爆网路的传爆时间研究发现,对于方案 A,按照排距 1.5 m 计算,当第一排炮孔起爆时,孔外网路才传爆到第 2 排,距第一排起爆炮孔 1.5 m 以外,前排炮孔爆炸产生的飞石容易把后排未起爆的网路砸坏,造成传爆中断。方案 B 起爆网路起爆分为两个部分,第一部分孔外 5 段雷管传爆,5 段雷管的名义延期时间为 110 ms。第二部分为孔内延期,孔内第一排为 12 段雷管延期,12 段雷管名义延期时间为 550 ms。按照排距 1.5 m 计算,当第一排炮孔起爆时,孔外网路已经传爆到第五排,距第一排起爆炮孔 6 m 以外,可以有效避免后排未传爆的起爆网路被飞石砸坏。方案 C 起爆网路起爆也可避免起爆网路被炸断,但相比其他两种方案来讲,操作复杂,效率低下。

起爆后岩块的大小和排间延时时间有关。前一排炮孔的起爆,为后一排炮孔起爆创造了自由面,后排炮孔起爆时,岩块朝自由面方向运动,在一定时间内加强了相互间的碰撞和挤压作用,从而获得较好的破碎质量,避免大块岩石的出现<sup>[6]</sup>。孔内 12 段延期孔外 5 段延期的接力起爆网路排间延时为 110 ms,现场试验和后续施工中,采用此起爆网路,岩石大块率 < 5%。

综上所述,孔内 12 段延期孔外 5 段延期是基坑爆破最优的起爆网路。利用此起爆网路,基坑爆破比实际合同工期提前 10 天完成,在开挖爆破过程中,振动速度全部控制在 1.0 cm/s 以内,且未出现不容易运输的大块石头。

## 5 结论与建议

针对花岗岩地层的露天基坑浅眼台阶法爆破施工,岩石坚固系数  $f=8\sim 10$ ,对孔内 5 段延期孔外间排 5 段延期,孔内 12 段延期孔外 5 段延期,孔内 9~12 段延期孔外 5 段延期的三种起爆网路进行了现场试验研究,得到如下结论:

1)同等条件下,从爆破飞石距离和作业时间方面考虑,孔内 12 段延期孔外 5 段延期的起爆网路优于其他 2 种起爆网路。利用此起爆网路,基坑爆破比实际合同工期提前 10 天完成,在开挖爆破过程中,振动速度全部控制在 1.0 cm/s 以内,且未出现不容易运输的大块石头。

2)起爆后岩块的大小和排间延时时间有关。采用孔内 12 段延期,孔外排间 110 ms 延时的起爆网路,起爆后岩石大块率 < 5%。

本文对起爆网路的合振动速度、爆破飞石距离和作业时间三个方面的研究,仅依据现场试验结果得出的结论,具有一定的局限性。对于孔内外雷管段别不同组合还有待进一步的深入研究。对比分析发现,在其他条件相同的情况下,爆破岩石大块率与排间延时有关,对于排间延时时间与大块率的量化关系还需要更加深入的研究,才能更好地指导工程实践。

### 参考文献:

- [1]王海亮. 工程爆破[M]. 3 版. 北京:中国铁道出版社,2012:113-114.
- [2]陈昌勇. 论起爆方式与布孔方案的选用及匹配问题[J]. 有色金属:矿山部分,2002,54(1):23-36.  
Chen Changyong. Theory of blasting method and holes arrangement scheme selection and matching problem[J]. Journal of Nonferrous Metals: Mine, 2002, 54(1): 23-36.
- [3]陈国祥. 复杂环境下基坑负控控制爆破[J]. 西部探矿工程,2004(10):134-136.  
Chen Guoxiang. Controlled blasting of foundation pit under complicated environment Fuwa[J]. Journal of Western Exploration Engineering, 2004(10): 134-136.
- [4]张利洪. 岩石微差爆破网络技术及应用研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2008:31-32.
- [5]孔宪军. 基于 MATLAB 的爆破震动研究及震动强度的智能预测[D]. 青岛:山东科技大学,2006:21-22.
- [6]杨志红. 微差起爆技术及其对爆破效应影响研究[D]. 武汉:武汉大学,2005:8-9.