

# 公路路堑深孔爆破方案的优化与实践

张鲁南,王海亮

(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:**结合安徽铜南宣高速公路路堑爆破开挖工程实践,探讨了高速公路路堑深孔爆破方案及各技术参数的选取原则。针对爆破过程中出现的岩石块度大、炸药单耗大等问题,通过调整炮孔间排距,采用间隔填塞方式对原有爆破方案进行优化。方案优化后使得能够直接使用机械设备开挖运输的岩石由 40% 提高到 80%,炸药单耗由原来的 0.6 kg/m<sup>3</sup> 降到 0.4 kg/m<sup>3</sup>,经济和社会效益显著。

**关键词:**公路路堑;深孔爆破;块度;优化

中图分类号:TB41

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2014)03-0065-04

## Optimization and Practice of Blasting Program for Highway Cutting Hole

Zhang Lunan, Wang Hailiang

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

**Abstract:** Combined with engineering practice in blasting excavation of freeway cutting, the principle of the scheme selection of horizontal-hole blasting for highway cutting excavation and its design method of blasting parameters were emphatically introduced. To solve the problems of large fragmentation and large explosives consumption in construction process, the interval stemming way was proposed to optimize the original blasting. This optimization can increase the efficiency of direct transport of rock excavation in machinery and equipment from 40% to 80%, while dropping explosives consumption ped from 0.6 kg/m<sup>3</sup> to 0.4 kg/m<sup>3</sup>.

**Key words:** highway cut; deep-hole blasting; fragmentation; optimization

深孔爆破技术在改善破碎质量,维护边坡稳定、提高装运效率和经济效益方面有极大的优越性<sup>[1]</sup>。但在公路路堑施工过程中,由于爆破环境、施工工艺等因素的影响,深孔爆破常出现开挖部岩石破碎不完整、大块比例过高、炸药单耗过大等情况。有必要针对现场环境及施工情况,及时优化改进爆破方案。

## 1 工程概况

爆破工程位于安徽省铜陵县钟鸣镇省道 320 铜南公路沿线,为铜南宣高速公路路堑石方爆破工程。其典型横断面如图 1 所示,路基标高 35.40 m,路基宽 26 m,高边坡 1:0.75,低边坡 1:1.00,最大挖深 8.84 m。该处为平原微丘,地表组成岩性为高、低液限粘土,灰黄—深黄色,密实—致密,半坚硬,含有铁锰质和较多粘粒和灰白高岭土,其下卵砾石层,部分为灰岩,岩石坚固性系数  $f$  为 8~10,部分表层风化和微风化。

## 2 方案设计

考虑爆破后岩石破碎程度要达到机械清运和填筑路基的要求,爆破后岩块的最大边长要控制在 40 cm

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:张鲁南(1990—),男,山东济宁人,硕士研究生,主要从事爆破技术研发工作。E-mail:zln900315@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

以下。此外还应确保边坡稳定以及人员和村庄、公路、施工设备的安全,所以对该爆破地段采用深孔延时松动爆破进行开挖。爆破地点距离民房在 80 m 左右,与铜南公路相距 100~150 m。爆破时对周边民房可能产生一些影响,因此起爆时应控制最大单段起爆药量,以减小爆破地震波和空气冲击波、爆破飞石。此外,还要加强安全防护措施,严防个别飞石造成危害。

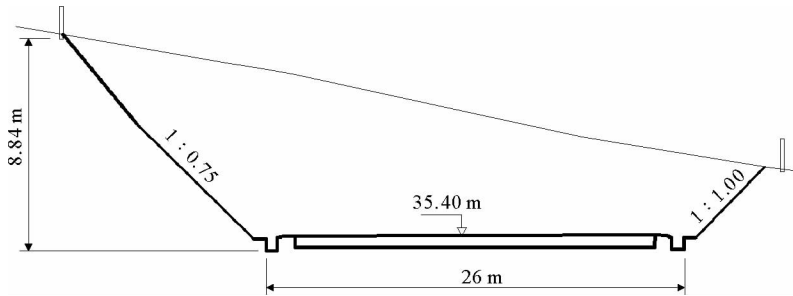


图 1 路堑横断面图

Fig. 1 Cross-section diagram of cutting

### 2.1 孔网参数

该爆破工程采用台阶深孔爆破,垂直钻孔。深孔爆破的台阶要素如图 2 所示。其中:孔径  $\Phi=90$  mm;孔深  $H=7\sim 9.5$  m;最小抵抗线  $W_1=3.0$  m;抵抗线  $W_2=2.0$  m;顶部抵抗线  $c=1.0\sim 1.5$  m;孔间距  $a=2.5$  m;排距  $b=2.0$  m;炮眼填塞长度  $l_1=4.5\sim 5$  m;装药长度  $l_2=5\sim 6$  m;超深  $h=0.5\sim 1$  m。

使用开山牌 KW100 型履带式潜孔钻机钻孔。钻孔完成后,及时清理孔口及孔内的渣土。清孔完成,检查炮孔有无堵孔、卡孔现象,以及炮孔的间距、眼深、倾斜度是否与设计相符。若和设计相差较多,应对参数适当调整,如果可能影响爆破效果或危及安全生产,应重新钻孔。先行钻好的炮孔,用编织袋将孔口塞紧,防止杂物堵塞炮孔。

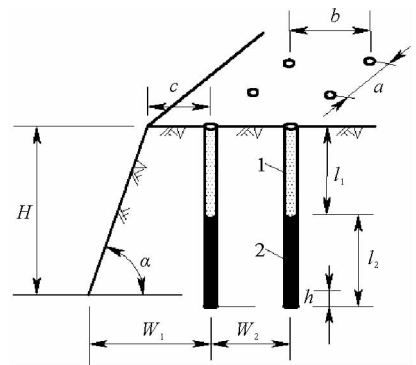
炸药单耗在  $0.6\text{ kg/m}^3$  左右。单孔装药量 22 kg 左右,现场装药时根据实际孔深情况进行调整。为使能量均匀分布,本爆破工程采用梅花形布孔方式<sup>[2]</sup>。为增大一次爆破方量以及有效控制振动,采用多排延时爆破技术<sup>[3]</sup>,如图 3 所示。考虑到爆后岩石破碎程度要达到机械清运和填筑路基以及控制爆破飞石的要求,故在台阶坡面上预留上次的爆堆,实施挤压爆破<sup>[4]</sup>,如图 4 所示。

### 2.2 装药结构和起爆网路

现场采用连续装药结构,装药前首先清洗炮孔,测量孔深。为确保炸药可靠起爆,起爆药包放入 2 发导爆管雷管。装药结构如图 5 所示。

现场使用安徽盾安民爆器材有限公司生产的 M 型岩石乳化炸药,起爆药包位置安排在离药包顶面 1/3 处,起爆药包中雷管聚能穴指向主药包方向。在现场用砂土、岩屑进行填塞,填塞长度 4.5~5 m。

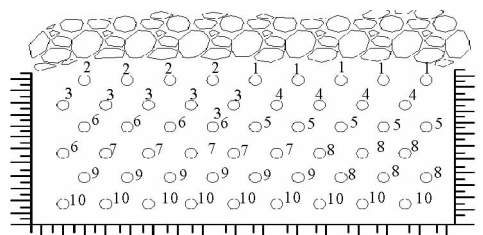
为提高传爆的可靠性,炮孔内布置 2 发雷管,从每个炮孔



1-填塞长度 2-装药长度

图 2 台阶要素示意图

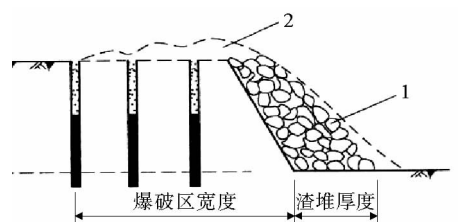
Fig. 2 Schematic diagram of bench elements



图中数字代表雷管段别

图 3 现场布孔方式

Fig. 3 Siting arrangement of Holes



1-爆破前渣堆; 2-爆破后渣

图 4 挤压爆破示意图

Fig. 4 Schematic diagram of extrusion Blasting

内各取 1 发雷管分别组成两套爆破网路。为了确保安全可靠起爆,用塑料导爆管将两套爆破网路组合在一起构成复式起爆网路<sup>[5]</sup>,如图 6 所示。导爆管之间用四通连接件相连,整个网络的末端用电雷管进行引爆。现场使用 1~10 段毫秒延期导爆管雷管,进行延期爆破。具体的延时顺序如图 6 所示。

### 2.3 爆破效果

爆破实施后,爆破边坡破碎不完整,仅在表面形成裂缝,且大块较多。仅 40% 的岩石能够直接使用机械设备开挖运输。大块岩石需要使用凿岩机二次破碎,增加了施工成本,严重影响了施工进度。没有达到预期松动爆破的目标,无法满足机械清理,以及爆后岩石填筑路基的要求。由于爆破能量没能很好地泄放,周围爆破振动也较为严重,部分民房建筑遭到不同程度的破坏。

## 3 爆破方案优化

### 3.1 优化方案

从现场爆破效果来看,爆破底部装药集中的部位,岩石破碎严重。填塞部位未得到较好破碎,大块严重,只出现少量裂隙。由于间排距过小,导致爆破岩体底部能量过剩,顶部能量不足,炸药单耗过大。多余能量没有被用来破碎岩石,而是直接转化为爆破振动<sup>[6]</sup>。不仅造成能量浪费,而且还引起振动危害,因此对原方案爆破参数进行优化。为避免爆破岩体顶部能量不足,底部能量过剩,采取适当增大间排距,减少填塞的措施。取孔间距 3 m,排距 2.5 m,填塞 3.9~4.5 m。

虽然采用间隔装药能够使药量均匀分布<sup>[7-8]</sup>,但是间隔装药复杂,费时费力,考虑施工进度安排,不宜采用间隔装药。保证填塞长度和填塞质量是防止飞石的重要措施<sup>[9]</sup>。结合工程实际,提出使用孔间交错改变填塞长度,如图 7 所示。孔间交错改变填塞长度使相邻炮孔之间填塞不同的长度,填塞长度要与炮孔间排距结合起来,并根据现场施工环境调整。填塞少的炮孔是为了使底部炸药能量上移,有助于顶部岩石破碎。填塞多的炮孔则是为了防止爆破飞石的产生。孔间交错改变填塞长度就使得整体炸药能量上移,更有助于顶部岩石的破碎,降低大块率,同时也提高了炸药能量利用率。

### 3.2 优化后的爆破效果

对原有方案优化后,对公路路堑实施爆破。爆破后,爆破位置岩石突起且岩石破碎较好,只产生少量大块。表面个别大块 1.5 m 左右,底板平整。基本没有爆破飞石,极个别的飞石都控制在 20 m 以内,爆破振动也在控制范围内。80% 的爆破碎石能够直接使用机械设备开挖运输,用于路基填铺。炸药单耗降到 0.4 kg/m<sup>3</sup> 左右,节省大量费用,爆破效果达到预期目标。

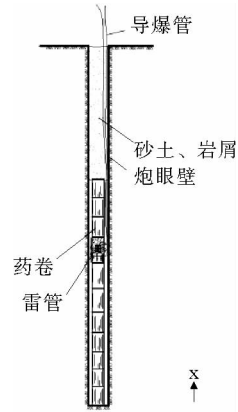


图 5 装药结构

Fig. 5 Charging structure

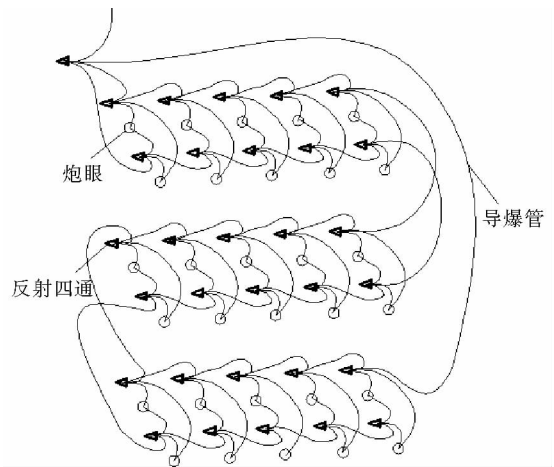


图 6 复式爆破网路

Fig. 6 Double firing circuit

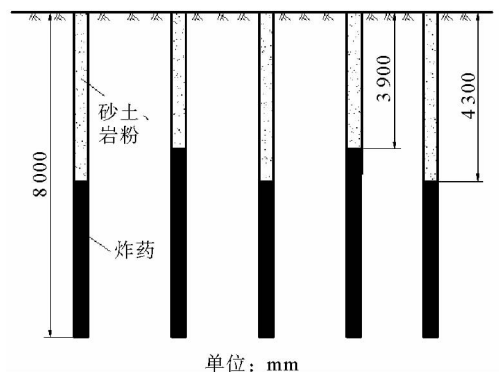


图 7 孔间交错填塞

Fig. 7 Staggered tamping between the holes

## 4 结束语

1)通过调整爆破参数,采用孔间间隔填塞对原有爆破方案进行了优化改进,使得能够直接使用机械设备开挖运输的岩石由40%提高到80%,炸药单耗由原来的 $0.6 \text{ kg/m}^3$ 降到 $0.4 \text{ kg/m}^3$ 。提高了施工效率,降低了成本,经济和社会效益显著。

2)合理的孔网参数、装药结构和起爆网路设计,能够有效地降低岩石大块率,取得好的爆破效果。随着施工过程的推进,原有爆破方案有可能不再适应新的爆破环境,应及时根据爆破效果优化、改进爆破方案。

3)由于施工条件限制,仅提出适应该爆破工程的炮孔填塞长度与炮孔间排距之间的关系。其相关性尚需进一步的量化,才能更好地指导工程实践。

### 参考文献:

- [1]王海亮. 工程爆破[M]. 北京:中国铁道出版社,2008:111-113.
- [2]戴雨,张洪洲,祁洪. 复杂环境下公路路堑爆破开挖技术[J]. 山西建筑,2009,35(24):278-280.  
Dai yu, Zhang Hongzhou, Qi Hong. Blasting excavation technique of highway cutting in complex environmen [J]. Shanxi Architecture, 2009, 35(24): 278-280.
- [3]吴腾芳. 爆破材料与起爆技术[M]. 北京:国防工业出版社,2008:309-311.
- [4]邵鹏,东兆星. 控制爆破技术[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2004:116-118.
- [5]陈亚军. 矿山爆破与安全技术[M]. 北京:气象出版社,2011:147-149.
- [6]李启月. 深孔爆破破岩能量分析及其应用[D]. 长沙:中南大学,2008:88-98.
- [7]吴亮,朱红兵,卢文波. 空气间隔装药爆破研究现状与探讨[J]. 工程爆破,2009,15(1):16-19.  
Wu Liang, Zhu Hongbing, Lu Wenbo. An overview and discussion of the study on air-decking blasting[J] Engineering Blasting, 2009, 15(1): 16-19.
- [8]刘向科,王海亮,孙志果,等. 三种孔外延期导爆管起爆网路的工程试验研究[J]. 山东科技大学学报:自然科学版,2014,33(2):63-66.  
Liu Xiangke, Wang Hailiang, Sun Zhiguo, et al. The engineering experimental research of three outer-hole delay firing circuit [J]. Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science, 2014, 33(2): 63-66.
- [9]张金飞,张剑华. 高边坡路堑爆破施工工艺控制研究[J]. 交通标准化,2010(3):51-55.

(责任编辑:吕海亮)