

DOI:10.19431/j.cnki.1673-0062.2018.05.006

复杂环境条件下的逐孔松动爆破技术试验研究

相志斌^{1,2}, 杨仕教^{1,2*}, 朱忠华^{1,2}, 蒲成志^{1,2}, 彭贯军^{1,2},
郑建礼¹, 姜宝金¹, 张紫晗¹, 胡光球¹

(1.广东锡源爆破科技股份有限公司,广东 惠州 516000;2.南华大学 资源环境与安全工程学院,湖南 衡阳 421001)

摘要:采用逐孔松动爆破方法解决复杂环境条件下土石方爆破对振动、飞石等危害有严格要求的难题,并在小径湾华润大学土石方爆破开展现场试验研究.依据爆破方案、岩体工程条件与周围环境,合理选择爆破参数和装药结构,计算确定了孔间微差时间和排间微差时间,采用电子雷管 V 形爆破网络起爆.试验结果表明,采用电子雷管逐孔松动爆破方法,显著降低了爆破振动,现场无飞石,爆堆规整,能适用周边环境复杂的土石方爆破.

关键词:逐孔松动爆破;爆破振动;飞石

中图分类号:TD235 **文献标志码:**B **文章编号:**1673-0062(2018)05-0034-05

Experimental Study on Hole-by-hole Loosening Blasting Technique Under Complex Environmental Conditions

XIANG Zhibin^{1,2}, YANG Shijiao^{1,2*}, ZHU Zhonghua^{1,2}, PU Chengzhi^{1,2},
PENG Guanjin^{1,2}, ZHENG Jianli¹, JIANG Baojin¹,
ZHANG Zhihang¹, HU Guangqiu¹

(1.Guangdong Xiyuan Blasting Technology Co. Ltd., Huizhou, Guangdong 516000, China;
2.School of Resource & Environment and Safety Engineering, University of South China,
Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: This paper adopts the method of hole-by-hole loosening blasting method to solve the difficult problem of strict requirements earthwork blasting for dangerous factors like vibration and slungshot under complex circumstances, and carried out field experimental research in earthwork blasting of China Resources University in Xiao Jing Bay. According to the blasting scheme, rock mass engineering conditions and surrounding environment,

收稿日期:2018-09-17

基金项目:国家自然科学基金项目(50974076)

作者简介:相志斌(1992-),男,硕士研究生,主要从事爆破方面的研究.E-mail:931409699@qq.com. * 通信作者:杨仕教(1964-),男,教授,主要从事采矿工程方面研究.E-mail:649292197@qq.com

blasting parameters and charging structure were reasonably selected to calculate and determine inter-hole differential time and inter-row differential time and the electronic detonator V-shaped blasting network was used to initiate the blasting. The test results show that electronic detonator hole-by-hole loosening blasting method can significantly reduce blasting vibration, no slungshot in the field and muckpile is structured, so that can be applied to earthwork blasting with complex surroundings.

key words: hole-by-hole loosening blasting method; blasting vibration; slungshot

0 引言

随着高精度雷管和电子的推广应用,近年来,逐孔爆破理论和技术得到了迅速发展,专家学者对此做了大量的研究.付天光等^[1]分析了逐孔爆破合理微差时间选择方法及爆破网路安全性问题,并进行了现场试验验证.邓秀艳等^[2]采用逐孔起爆技术减少爆破振动,显著降低了对周边建筑物的影响.郭维扬等^[3]通过石灰岩矿石台阶逐孔起爆,降低了爆破振动 30%~40%.胡世士等^[4]在葛洲坝水泥厂矿山近三年来对逐孔爆破技术的应用,极大地改善了爆破效果,为后续生产组织提供了便利条件;铲装效率和破碎机的台时产量效率分别提高 20% 和 30%,使得矿石综合成本有所降低;特别是其可靠的安全性能,取得了极大的社会效益.段海峰等^[5]对爆破后冲的观察和进行后排孔不装药以及后排雷管跳段使用等的试验,提出了爆破机理的推墙假说和回弹假说,并依此解释微差爆破的机理.张志呈^[6]叙述了逐孔起爆技术机理和优越性,对选取微差间隔时间影响因素进行了分析,推荐了间隔时间的理论计算和经验选取的方法.曹仁权^[7]针对中深孔排间微差爆破次生震动拉裂矿区周围民房墙体的危害进行分析对比,重点探讨目前推广应用孔间微差网络雷管逐孔起爆技术,解决了昆钢龙山石灰石矿的爆破降震问题,减弱了爆破次生震动对矿区相邻的石甸口村民房的危害.

一些复杂环境条件下的土石方爆破工程,对爆破的振动、飞石、爆堆等有严格的要求,为此,提出了逐孔松动爆破方案,结合逐孔爆破和松动爆破各自的优点,显著降低爆破振动,控制爆破飞石,改善爆破效果,而相关方面的理论与技术研究需进一步完善.本次依托小径湾华润大学土石方爆破开展现场试验研究,为复杂环境条件下的逐孔松动爆破设计提供参考.

1 工程概况

爆破现场位于华润小径湾,周边环境复杂.爆区西北方向 45 m 有一个变压器,高差 13 m;正北方向 40 m 有一个在建华润档案馆;东方向 12 m 有一个工棚,50 m 有一个正在施工的基坑;南边 40 m 有民工宿舍;西边 70 m 处有 2 栋投入使用的大楼(图 1).

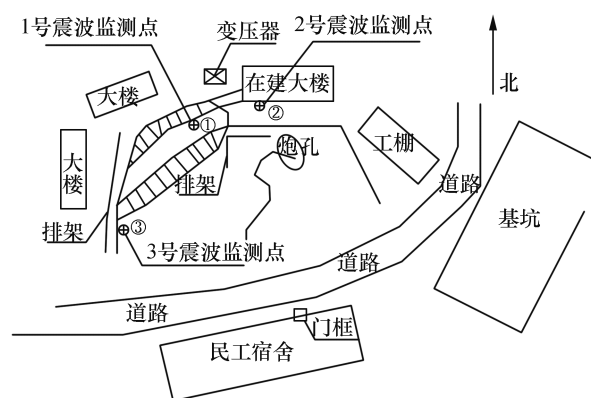


图 1 爆破工程周围环境

Fig.1 Blasting environment

待爆岩体为花岗岩,节理裂隙不发育,为完整性岩体.

2 试验方案设计

2.1 爆破方案

1) 爆破方案的选择

由于爆破现场复杂的周边环境,使得此次爆破主要需要控制振动、飞石、爆堆等问题.为了在复杂环境中控制爆破振动,减少爆破振动对周边建筑物的影响,选用逐孔爆破方式控制爆破振动.逐孔爆破较传统意义上的微差爆破,由于采用了单孔延时的逐孔爆破,单段装药量就是单孔药量,逐孔起爆单段药量仅相当于普通微差爆破的 1/7~1/5,因此其他参数不变的情况下具有极

其明显的降震效应^[8].为减少爆破飞石对周边环境的影响,选用弱松动爆破方式控制飞石.该技术可以充分利用爆破能量,使爆破对象成为裂隙发育体,不产生抛掷现象.

2) 布孔参数与装药结构

根据现场环境条件和选择的爆破方案,进行了布孔参数设计(表 1)和装药结构设计(图 2).

表 1 布孔参数

Table 1 Pore parameters

布孔参数		布孔参数	
台阶高度/m	6	底盘抵抗线/m	2.0
孔径/mm	76	充填高度/m	4.5
超深/m	3	装药结构	连续装药
孔深/m	12	炸药单耗	0.44
孔距/m	2.6	装药密度/(kg·m ⁻³)	0.9
排距/m	2.2	每米装药/kg	13.8

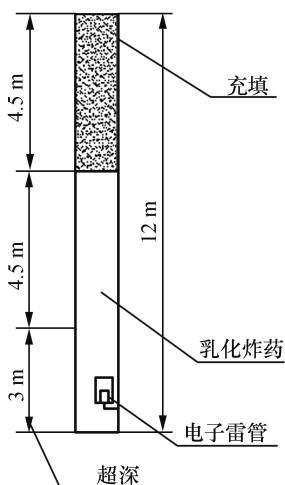


图 2 装药结构示意图

Fig.2 Charge structure diagram

2.2 微差时间确定

2.2.1 孔间微差时间的确定^[9]

1) 半经验公式

根据长沙矿冶研究院提出的半经验公式,孔间微差时间间隔为:

$$\Delta t = kQ^{\frac{1}{3}} + \left(\frac{10.2\gamma_e C_d}{\gamma_r C_r} - 1.78 \right) Q^{\frac{1}{3}} + \frac{S}{v} \quad (1)$$

式中: Δt 为孔间微差时间间隔,ms; k 为与地质地形有关的系数,取 1~2; Q 为同排炮孔平均装药量,166 kg; γ_e 、 γ_r 为炸药和岩石的容重,g/cm³,

分别取 0.9、2.7; C_d 、 C_r 为孔内炸药爆速和岩石纵波波速,m/s,分别取 2 500~3 000 m/s、3 200~5 500 m/s; S 为岩石移动距离,取 $S=10$ mm; v 为岩块平均移动速度,取 $v=2\sim5$ mm/ms.计算得 $\Delta t=45\sim196$ ms.药量大时取大值,反之取小值.

2) 经验公式

根据澳瑞凯公司得出的爆破块度与孔间延迟时间经验曲线^[9],得出为使两个炮孔之间的爆破作用达到最大,取得良好的爆破效果,同一排炮孔相邻孔间最佳迟时间为 3~8 ms/m.当岩性较脆且硬度较大时,孔间延迟时间取小值,反之取大.计算得 $\Delta t=16.5\sim44$ ms.最终选用 25 ms、42 ms 进行组合.

2.2.2 排间微差时间

1) 半经验公式

段海峰^[5]研究得出下列半经验公式:

$$\begin{cases} \Delta t_{\min} = \frac{1000b(\rho-1)\sqrt{2h_1/g}}{s} \\ \Delta t_{\max} = (1+\eta)\Delta t_{\min} \end{cases} \quad (2)$$

式中: Δt 为排间微差间隔时间; b 为排间距,m; ρ 为爆堆松散系数,本设计取 1.15~1.4; h_1 为底板上装药高度,m,本设计 12 m; h_2 为岩石抛起高度,m; g 为重力加速度,m/s²; s 为前冲距离,m,本设计取 10~20 m; η 为后冲体积系数,1/3~2/3.

2) 经验公式

根据奥瑞凯公司得出的排间延迟时间与爆破松散度经验曲线^[10](图 3),可知为获得良好的爆堆的松散度和形状,最佳延期时间为 8~15 ms/m.计算得 $\Delta t=36\sim67.5$ ms.

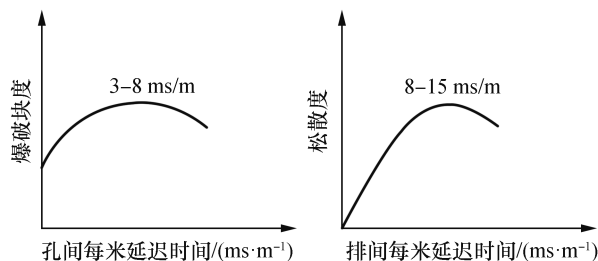


图 3 孔间、排间经验曲线

Fig.3 Inter-well and row experience curves

最终结合现场经验选用 42 ms、65 ms 作为排间微差时间.

2.3 爆破网络设计

在爆破网路中,主控制排方向的孔间岩石主要影响爆区的破碎块度,传爆列方向的排间延时

主要影响爆区的岩石位移.因此,当即要求破碎效果好又要求爆破震动小时,可以在保证主控制排方向最佳空间延时不变的情况下调整传爆列方向的延时.

在实际爆破中,方形布孔易产生大块、易留根底,列与列之间挤压不充分,爆破效果不如三角形布孔,斜线起爆较方形布孔好,V形布孔爆堆挤压充分、大块较少、松散均匀、便于挖掘和运输.本次起爆在大量的统计数据基础上,决定以后采用V型起爆.

本次爆破受场地周边环境条件影响,共布孔 26 个,孔间微差时间 25 ms、42 ms,排间微差时间 42 ms、65 ms,在起爆网路中,单箭头表示孔间起爆时间,双箭头表示排间起爆时间,在计算爆破总延期时间时,为了避免出现爆破总延期时间相同情况,在个别排间或者孔间微差时间会增加或者减少 1 ms 时间,以此来避免出现爆破总延期时间相等的情况.

本次爆破以减震、控制飞石、控制爆堆等为主要目的,采用逐孔松动爆破起爆,起爆网路(图 4),起爆等时线示意图(图 5)

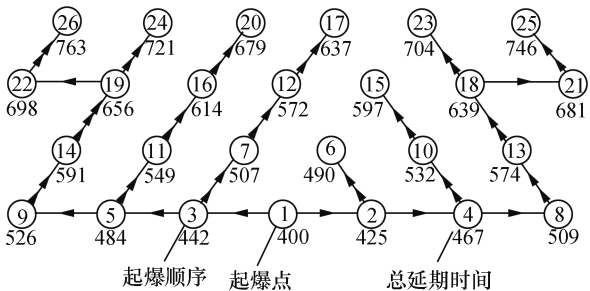


图 4 起爆网路

Fig.4 Detonation network

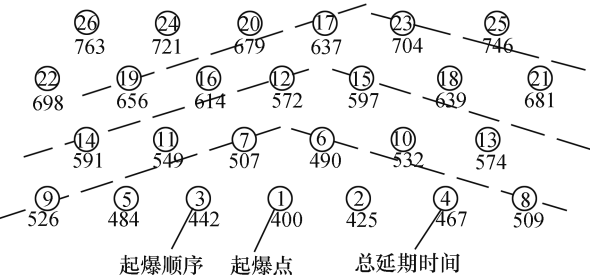


图 5 起爆等时线示意图

Fig.5 Detonation isochron diagram

2.4 爆破振动测试方案

本次采用 3 台 TC-4850 爆破测振仪测振,共设计三个震波监测点,一号监测点在炮孔西北方向 38 m 处,高差 1 m.二号监测点在炮孔东北方向 25 m 处,高差 0 m.三号监测点在炮孔西南方向 66 m 处,高差-1 m.具体位置见图 1.

3 爆破效果

一号监测点数据如图 6 所示.

通道号	通道名称	最大值	最大值时刻	半波主频	单位	量程	灵敏度
1	CH1	4.68 cm/s	0.3350 s	1.86 Hz	m/s	37.15 cm/s	26.92 V/m/s
2	CH2	4.20 cm/s	0.2476 s	94.12 Hz	m/s	39.09 cm/s	25.58 V/m/s
3	CH3	4.19 cm/s	0.2576 s	55.56 HZ	m/s	36.47 cm/s	27.42 V/m/s

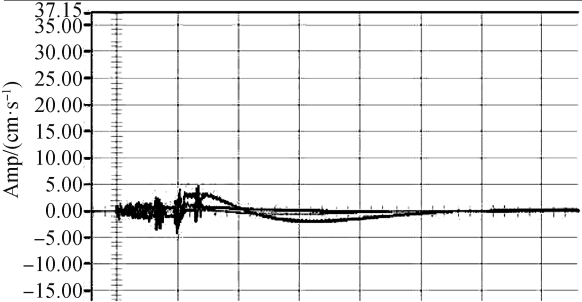


图 6 一号监测点数据

Fig.6 One monitoring point data

三个监测点的现场监测数据最大振动速度如表 2 所示.

表 2 最大振动速度表

Table 2 Maximum vibration speed table

监测点	一号	二号	三号
最大振动速度/(m·s ⁻¹)	4.68	6.51	3.25

爆破现场爆堆见图 7,可见爆破现场爆堆达到预期效果,且现场无飞石.



图 7 爆堆

Fig.7 Muck pile

- [3] 徐国庆.对我国高放废物处置研发工作的几点建议[J].世界核地质科学,2012,29(4):227-231.
- [4] IAE Agency.Geological disposal facilities for radioactive waste,IAEA safety standards series No.SSG-14[R].Vienna:IAEA,2011.
- [5] IAE Agency.Geological disposal of radioactive waste,safety requirements NO.WS-R-4[R].Vienna:IAEA,2006.
- [6] IAE Agency.Disposal of radioactive waste:specific safety requirements,IAEA safety standards series No.SSR-5[R].Vienna:IAEA,2011.
- [7] 王驹.高水平放射性废物地质处置:关键科学问题和相关进展[J].科技导报,2016,34(15):51-55.
- [8] Methods for safety assessment of geological disposal facilities for radioactive waste:outcomes of the NEA MeSA initiative,NEA No.6923[R].Paris:OECD/NEA,2012.
- [9] 陈伟明,王驹.高放废物地质处置场址安全要求[J].世界核地质科学,2006,23(2):100-106.
- [10] SKB.Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark.Main report of the SR-Site project,SKB Report TR-11-01[R].Stockholm:Svensk Kärnbränslehantering AB,2011.
- [11] Posiva Oy.Safety case for the disposal of spent nuclear fuel at Olkiluoto-synthesis 2012.POSIVA 2012-12[R].Eurajoki,Finland:Posiva Oy,2012.
- [12] 杨天笑,郭永海,王驹.美国高放废物处置库总系统性能评价[J].铀矿地质,1999,15(1):39-46.
- [13] 李金轩,钱七虎,罗嗣海.高放废物地质处置系统安全评价及其指标体系[J].岩石力学与工程学报,2004,23(7):1193-1197.
- [14] 陈伟明.高放废物地质处置库系统分析方法研究-以甘肃北山预选区花岗岩场址为例[D].北京:核工业北京地质研究院,2008.
- [15] 刘帅.甘肃北山高放废物处置库性能评价 FEPs 研究[D].北京:核工业北京地质研究院,2012.
- [16] 徐国庆.国际高放废物处置研发工作在花岗岩地区的进展[J].世界核地质科学,2016,33(3):178-186.
- [17] 李洪辉,赵帅维,贾梅兰.高放废物地质处置 FEPs 清单筛选与景象开发初步研究[J].世界核地质科学,2013,33(2):111-124.

(责任编辑:周泉)

(上接第37页)

现场爆破降振效果明显,且根据爆破振动安全允许标准,最大振动速度满足要求.由于采用逐孔松动爆破技术,利用经验公式和半经验公式得出合理的孔间微差时间和排间微差时间,对此次爆破的振动有明显的降低,降低了爆破振动对周边环境的影响.

4 结 论

1) 本文提出逐孔松动爆破技术,并应用于小径湾华润大学复杂环境条件下土石方爆破.根据现场爆破效果,爆破振动明显降低,现场无飞石,爆堆规整,对周边环境的影响较小.

2) 通过本次爆破试验方案设计验证,表明逐孔松动爆破技术可以为以后对爆破振动、飞石有严格要求的复杂环境爆破设计方案提供指导,具有重要的意义.

参考文献:

- [1] 付天光,张家权,葛勇.逐孔起爆微差爆破技术的研究

和实践[J].工程爆破,2006,12(2):28-31.

- [2] 邓秀艳,千海洪.逐孔爆破技术在三道庄钼矿空区处理中的应用[J].工程爆破,2011,17(4):19-52.
- [3] 郭维扬,张喜梅,董国林,等.逐孔爆破技术在广信青州水泥厂的应用与分析[J].中国矿业,2016,25(3):171-174.
- [4] 胡世士,刘勇.逐孔爆破技术在葛洲坝水泥厂矿山的应用[J].中国矿业,2010,19(2):111-116.
- [5] 段海峰,侯运炳.露天矿微差爆破的机理及微差时间的选取[J].有色金属,2003,55(6):24-26.
- [6] 张志呈,熊文,吝曼卿.浅谈逐孔起爆技术时间间隔的选取[J].爆破,2011,28(2):45-48;71.
- [7] 曹仁权.网络雷管逐孔起爆技术在的矿山爆破中的降震作用探讨[J].金属矿山,2009(增刊1):444-446;449.
- [8] 李示波,宋继勋,张海波,等.采矿技术基础[M].北京:化学工业出版社,2015.
- [9] 余圣华.逐孔起爆技术在铜山口矿露天台阶爆破中的应用[J].采矿技术,2015,15(4):91-93.
- [10] 徐颖,孟益平,吴德义.爆破工程[M].武汉:武汉大学出版社,2014.

(责任编辑:周泉)