

奥运会飞碟靶场石方开挖控制爆破效果及分析

申振宇¹, 张朋军¹, 汪旭光², 于亚伦³

(1. 中国人民解放军 63956 部队第三研究室, 北京 100093; 2. 北京矿冶研究总院, 北京 100044;

3. 北京科技大学土木与环境工程学院, 北京 100083)

[摘要] 介绍了中深孔爆破在奥运会飞碟靶场石方开挖中的应用, 在复杂环境下, 采用孔外多段毫秒延时、低单耗、加长填塞等技术措施, 较好地控制爆破振动及飞石的危害。在不良地质条件下采用预裂爆破技术, 优化预裂爆破参数, 保证了边坡的平整。对实施经验进行了总结, 可为同类条件下的爆破提供参考。

[关键词] 石方开挖; 深孔爆破; 预裂爆破; 破碎岩层

[中图分类号] TD235.1 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2009)11-0013-04

1 前言

为了迎接 2008 年第 29 届奥运会, 北京射击中心原飞碟靶场因场地条件限制, 靶场北部东西两侧山体需爆破开挖。东侧工程量约 $1.9 \times 10^4 \text{ m}^3$, 西侧约 $6\ 000 \text{ m}^3$ 。待爆岩石为凝灰质砂岩, 东侧山体上部岩石较风化, 节理裂隙发育, 岩体较破碎, 地表为黏性土坡积物, 厚度为 $0.3 \sim 1.10 \text{ m}$ 。西侧山体地表土很薄, 岩石完整, 上部岩石弱风化, 南侧临空面较陡。

东侧山体开挖后边坡中间部位开设一个平台, 平台宽约 2.5 m , 平台以下边坡高度 9.0 m , 平台以上边坡高度约为 5.0 m , 平台以上部分为地表土层及风化层, 已经采用机械开挖到平台处; 西侧边坡不设平台, 开挖深度 $6 \sim 10 \text{ m}$ 。设计开挖边坡坡度约 70° 。

待爆山体周围环境较复杂, 东侧爆区南距一水厂厂房约 30 m , 西南距新建的飞碟地下靶道约 38 m , 距射击馆约 50 m ; 西侧爆区北侧距山顶射击中心供水水塔约 50 m , 南距射击中心体育馆约 110 m , 西距射击中心宿舍约 100 m 。爆区周围环境详见图 1。

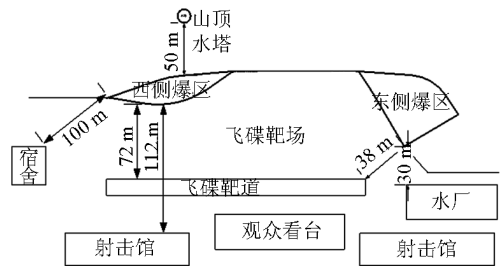


图 1 爆区周围环境示意图

Fig. 1 Scheme of surroundings

2 爆破方案的选择

2.1 工程要求

1) 该爆破项目为奥运射击场馆建设的关键工程, 为了保证国家射击队在 2008 年 4 月底进场训练, 要求爆破要在春节及全国两会期间完成, 爆破工期要求很紧, 而且要求爆破次数要少, 确保爆炸物品的使用安全。

2) 爆区周围环境较复杂, 奥运射击场馆及靶场看台外装修也已经完成, 要求严格控制爆破震动和飞石, 确保周围场馆及设施不受影响。

3) 开挖边坡坡面及平台设计要进行绿化, 爆后要求边坡坡面平整, 边坡稳定。

[收稿日期] 2008-12-30

[作者简介] 汪旭光(1939-), 男, 安徽枞阳县人, 中国工程院院士, 北京矿冶研究总院高级工程师, 长期从事工业炸药的研制及新产品开发应用研究; E-mail: szy16888@163.com

2.2 爆破方案的确定

根据工程技术及工期要求,排除了采用浅孔爆破和药壶爆破的可能性。从爆破振动对周围建筑物的影响和开挖边坡平整稳定的要求考虑,也不宜采用装药量较大的硇室爆破^[1]。因此确定采用中深孔微差松动爆破技术方案,采用低炸药单耗,适当加大临空面处的炮孔在临空面方向的抵抗线,不仅能很好地控制爆破振动及爆破飞石的危害,获得好的破碎效果^[2];而且可待东西两侧爆区全部钻孔完毕后,在春节假日后、全国两会前的几天进行一次或两次爆破完成该工程。

在边坡处采用预裂爆破技术,确保开挖边坡的稳定及平整。由于东侧山体节理裂隙发育,岩体较破碎,需要对预裂爆破参数进行优化,以达到好的预裂效果。

3 爆破方案设计

3.1 炮孔布置

从山坡边缘开始布设排孔,采用三角形布孔。西侧山体最大开挖纵深约 16 m,共布 5 排主爆孔。东侧山体最大开挖纵深约 49 m,共布 18 排主爆孔。两侧山体沿开挖边坡轮廓线布置预裂炮孔,预裂炮孔钻孔倾角必须与坡面坡度一致。

3.2 预裂爆破参数优化

预裂爆破的目的是在山体爆区与保留区之间形成预裂缝,以减弱主爆区爆破时对保留岩体的破坏并形成平整的轮廓面。预裂爆破设计控制参数为孔径、孔间距、线装药密度、堵塞长度。针对现场炮孔直径为 105 mm,优化调整爆破参数。

1)孔间距:一般而言,岩石越完整均匀,越有利于预裂爆破,非均质、破碎和裂隙发育的岩石,不易形成贯通完整的裂缝。由于东侧山体节理裂隙发育,岩体较破碎,西侧山体岩石较完整,故东侧爆区预裂爆破采用小孔距,西侧爆区预裂爆破孔距可略大一些。根据经验公式:孔距 $a = (8 \sim 12)d$,孔径 d 为 105 mm,东侧爆区 $a = 8d = 840$ mm,取 $a = 800$ mm,西侧爆区 $a = 10d = 1\ 050$ mm,取 $a = 1\ 100$ mm。

2)线装药密度:根据三峡公式 $q = 3(d \times a)1/2\sigma^{1/3}$ 计算^[3],式中 σ 为岩石抗压强度,取 $\sigma = 70$ MPa,东侧爆区预裂爆破线装药密度计算得 $q = 0.36$ kg/m,西侧爆区预裂爆破线装药密度计算得 $q = 0.42$ kg/m。

3)堵塞长度:根据东西爆区岩石的结构特点采取不同的堵塞长度,东侧爆区为了保证保留平台的完整,堵塞长度应大一些,取 1.5 m,西侧取 1.0 m。

4)优化装药结构:设计每个预裂炮孔内分为上中下三段,分别对应不同的线装药密度,即底部加强装药段、中部正常装药段、上部为减弱装药段^[4]。基本原则是在保证堵塞条件下,取底部长度 $L_3 = 0.2L$,中部长度 $L_2 = 0.5L$,顶部长度 $L_1 = (0.15 \sim 0.2)L$,所对应的线装药密度分别为:东侧爆区 $q_3 = 0.45$ kg/m, $q_2 = 0.36$ kg/m, $q_1 = 0.20$ kg/m;西侧爆区 $q_3 = 0.50$ kg/m, $q_2 = 0.45$ kg/m, $q_1 = 0.20$ kg/m。装药结构采用 $\phi 32$ 的乳化药卷间隔装药方式,把药卷用胶布捆扎在导爆索上,按线装药密度调整药卷间距,用竹片固定在孔的中央。预裂孔装药结构如图 2 所示。

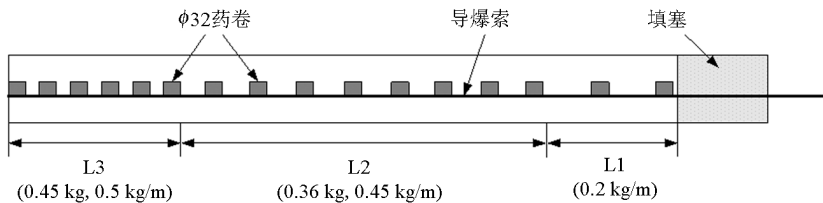


图 2 预裂孔装药结构图

Fig. 2 Charging structure of presplitting hole

3.3 中深孔爆破参数设计

设计一次爆破到开挖高程,适当缩小炮孔间排距,增大堵塞长度,确保控制飞石。爆破参数设计:炮孔深度 $L = 3 \sim 10$ m,炮孔超深 $h = 0.3 \sim 1.0$ m;炮孔直径 $d = 105$ mm;炮孔间距 $a = 2.3 \sim 3.5$ m;炮孔

排距 $b = 2.0 \sim 3.0$ m;最小抵抗线 $w = 2.0 \sim 3.0$ m,为了更有效地控制爆破飞石,第一排炮孔最小抵抗线及两侧临空面处的炮孔在临空面方向的抵抗线要适当加大,取 $w_1 = 1.2 \sim 1.3 w$;堵塞长度 $l = 2 \sim 4$ m;单位炸药消耗量取 $k = 0.3 \sim$

0.35 kg/m³, 西侧山体单位炸药消耗量取值略大于东侧山体; 单孔装药量采用体积公式 $Q = kabL$ (kg) 计算, 炸药采 $\phi 70$ 乳化炸药, 炸药密度 $\rho = 1.15$ g/cm³, 这样每延米装药量约 4.5 kg, 单孔装药量为 4.5 ~ 31.5 kg。

3.4 起爆顺序及爆破网路

西侧爆区起爆顺序采用斜线顺序起爆, 从东南端开始, 向西逐排起爆。东侧爆区起爆顺序采用排间分区顺序起爆, 从西侧自由面处开始, 向东逐排起爆。根据距周围建筑物的距离, 严格控制一段起爆药量。

由于周围环境较复杂, 限制了每段起爆的孔数,

这样一次起爆段数多, 因此设计采用孔外微差非电爆破网路, 主爆孔内全部采用高段别导爆管雷管 (MS12), 孔外排间用低段别导爆管雷管 (MS3) 微差接力起爆, 微差间隔时间为 50 ms, 如同排炮孔数较多, 则用导爆管雷管 (MS2) 微差间隔起爆。

边坡预裂爆破采用导爆索起爆, 用导爆管雷管引爆导爆索, 并与主爆区网路连为一体。预裂爆破先于主爆区起爆, 为了控制预裂爆破本身产生的震动, 预裂爆破采用毫秒微差爆破, 微差间隔时间为 25 ms, 确保预裂爆破最大一段齐发药量控制在震动允许范围内。起爆网路如图 3 所示。

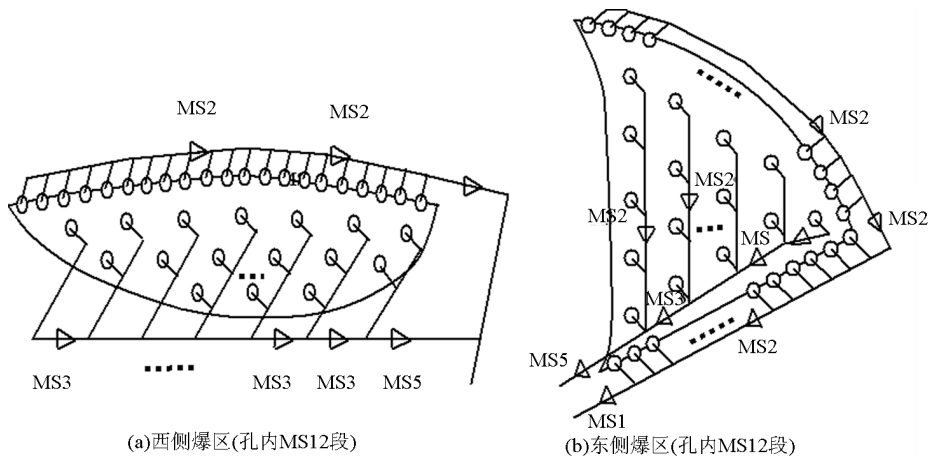


图 3 爆破网路示意图

Fig. 3 Scheme of detonating network

4 爆破振动监测及控制

根据周围环境, 离东侧爆区最近的建筑物是砖混结构的水厂厂房, 根据《爆破安全规程》, 其安全允许振速为 2.3 ~ 2.8 cm/s (10 ~ 50 Hz), 西侧爆区以山顶钢筋混凝土结构的水塔为主要考虑对象, 其安全允许振速为 3.5 ~ 4.5 cm/s (10 ~ 50 Hz)。根据水厂厂房和水塔结构及它们与东西侧爆区的相对位置: 水厂厂房在东侧爆区对面的山下, 爆区底部开挖高程高于厂房地表高程, 根据以前爆破经验, 其安全允许振速值还可以取大些, 而水塔位于西侧爆区后面的山顶上, 其振动效应大, 故其安全允许振速值应取小一些, 因此, 本次爆破其安全允许振速值取 3 cm/s, 根据公式: $Q = R^3 (V/K)^{3/\alpha}$, 计算在不同距离

处的最大一段起爆药量, K 取 100, α 取 1.5, 计算结果见表 1。

表 1 最大一段起爆药量值

Table 1 Maximum charge quantity per delay interval

距离 r/m	30	40	50	60	70	80	90
最大起爆药量/kg	24.3	57.6	112.5	194.4	308.7	460.8	656.1

爆破施工时严格控制每段起爆药量不超过上述计算结果。爆破时根据甲方要求进行了爆破振动监测, 采用北京矿冶研究总院 DSVM-4C 振动测试仪和 ZCC-201C 型速度传感器测试地表垂直振动速度。水厂厂房后、飞碟靶道东端及西间、靶场看台东端、运动员宿舍及山顶水塔处各布置一个测点, 测试结果见表 2。

表2 爆破振动测试结果

Table 2 Measured data on blasting vibration

测点	位置	到爆区	振速峰值	主振
		距离/m	$/(cm \cdot s^{-1})$	频率/Hz
1	水厂厂房	30	2.302	34
2	靶道东端	38	2.030	25
3	靶道西端	72	1.220	14
4	看台东端	80	0.931	14
5	运动员宿舍	100	0.774	14
6	山顶水塔	50	1.886	19

从表2可看出,爆破振动均控制在允许的范围
内,主振频率大于建筑物的固有频率,确保了各场馆
及设施的安全。

5 爆破效果及分析

该工程进行了两次爆破,爆后岩石全部松动,爆
破时无飞石产生,破碎块度满足机械铲装要求。预
裂爆破效果西侧爆区较理想,半孔率高,边坡坡面平
整,边坡稳定。东侧边坡坡面不理想,虽然坡面也
比较平整,但坡面岩石较破碎,只在岩石完整处留有半
孔痕迹,在岩石开挖后,北侧边坡西侧 10 m 范围
内的保留平台全部塌落,其他部分也有局部少量塌落。

分析原因主要是由于东侧岩体节理裂隙发育,岩石
较破碎,局部非常破碎造成的。因此东侧边坡需进
行坡面封闭处理。通过对爆破效果分析得出以下
体会:

1)采用中深孔微差爆破,不仅施工速度快,而
且通过合理选择爆破参数,能很好地控制爆破振动
及飞石的危害,适合在城镇较大方量的石方爆破
工程。

2)地质条件、岩石结构特点对预裂爆破效果有
直接影响,在不良的地质条件下,要采取缩小预裂孔
间距、减小线装药密度等措施,但在岩石非常破碎的
条件下,很难达到好的预裂效果。

参考文献

- [1] 于亚伦. 工程爆破理论与技术[M]. 北京:冶金工业出版社, 2004
- [2] 何广沂. 大量石方松动控制爆破新技术[M]. 北京:中国铁道出版社,1995
- [3] 刘殿忠. 工程爆破实用手册[M]. 北京:冶金工业出版社,1999
- [4] 段浩焰. 不良地质条件下改善边坡预裂爆破效果的实践[J]. 工程爆破,2007,13(1):44-46

The analysis & effect of excavation of rock by controlled blasting in the Olympic Games flying-saucer stadium

Shen Zhenyu¹, Zhang Pengjun¹, Wang Xuguang², Yu Yalun³

(1. The Third Lab of 63956 Army of PLA, Beijing 100093, China; 2. Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy, Beijing 100044, China; 3. School of Civil & Environmental Engineering, University of Science & Technology Beijing, Beijing 100083, China)

[Abstract] The application of the technique of the excavation by long-hole type blasting in the Olympic Games flying-saucer stadium was introduced in the article. In the complicated surroundings, some techniques were adopted such as out-hole millisecond delay blasting, underload, the longer length of stemming to control the danger of blasting vibration and fly rock, at the same time, in view of the complex geological condition, presplitting blasting was adopted so that blasting parameters were optimized to make the side slope integrated. The paper summarized and provided some experiences of construction.

[Key words] excavation of rock; long-hole type blasting; presplitting blasting; overbreak rock