

# 复杂城市环境下岩石边坡控制爆破设计

项斌

(浙江省隧道工程公司, 浙江 杭州 310030)

**摘要:**为了解决复杂城市环境下岩石边坡控制爆破的有害效应问题,依托某景区岩石边坡爆破工程,提出相应的爆破设计方案。方案采用以弱松动定向控制爆破为主,辅以浅孔城市爆破以及预裂爆破的爆破设计,提出了各爆破形式的爆破设计参数,设计了相应的起爆网络、起爆顺序及装药结构。通过严格执行该方案,大大降低了爆破损害,实际爆破施工效果达到预期目标。该设计可为其他复杂城市环境爆破工程提供参考。

**关键词:**城市复杂环境;振害控制;控制爆破;爆破设计;岩石边坡

**中图分类号:**P633.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)06-0088-04

**Controlled Blasting Design for Rock Slope in Complex Urban Environment/XIANG Bin** (Zhejiang Tunnel Engineering Company, Hangzhou Zhejiang 310030, China)

**Abstract:** Based on a rock slope blasting project in a scenic spot, a relevant blasting design scheme is proposed for solving the harmful effects caused by controlled blasting of rock slope in complex urban environment. Weak loose directional controlled blasting was combined with shallow-hole urban blasting and pre-splitting blasting in this scheme. The blasting design parameters of each design are presented with corresponding detonating circuit and sequence as well as charge structure. Through the strict implementation of this scheme, the vibration damage by blasting is greatly reduced and the actual blasting construction effects meet the desired objectives. This design can be reference for similar projects.

**Key words:** complex urban environment; vibration damage control; controlled blasting; blasting design

复杂城市环境下岩石边坡爆破问题越来越成为阻碍城市发展建设的障碍,其难点不仅在于难以确保控制爆破的施工效果,更主要的是在爆破施工过程中不使爆破震动、飞石、滚石等爆破有害效应威胁市民和施工人员的生命安全,保护附近民用建筑的结构安全不受损害。为找到解决复杂城市环境下的爆破有害效应的办法,国内外的研究学者从多个角度进行了研究。吴立等<sup>[1]</sup>通过理论计算及工程实践,揭示了爆破地震效应的实质,并提出了爆破地震的破坏标准以确定安全距离。高学文等<sup>[2]</sup>从主动和被动两方面,针对高边坡岩体爆破的飞石和滚石危害提出了控制爆破的技术措施。毛晖<sup>[3]</sup>提出了复杂城市环境下,基坑平整和挖孔桩入岩爆破计算参数和安全防护的设计方案。蔺新丽等<sup>[4]</sup>从爆破有害效应控制的角度,详细的介绍了各种测试方法和手段。

尽管国内外学者和工程人员提出了多种解决方案,但因研究过程中普遍将不良条件简化,没有综合考虑给出一个可供参考的设计方案。本文在工程实践和相关研究工作的基础上,根据本项目具体工程问题,针对岩质边坡的不同爆破开挖深度,提出了弱

松动定向控制爆破、浅孔城市爆破及预应力爆破相结合的设计方案。本方案的核心不仅在于确保爆破的施工质量和效率,更能最大程度地削弱爆破有害效应的影响,降低对周边复杂城市环境造成危害。

## 1 工程概况

本工程位于杭州市西湖5A级景区内,工程周边环境见图1。爆破区域南侧距道路一约203 m,距道路一南侧房屋最近约210 m,距西湖约330 m。道路一北侧为本项目区域,区域内房屋均为项目用房,爆区距离其中最近南侧房约30 m。爆区北、西侧50 m范围内为山体,东侧距玛瑙寺约95 m,100~300 m内房屋密集,距浙江档案馆约10 m。

根据本工程勘探报告显示,场地区域地质构造隶属华东平原沉积区中的长江三角洲徐缓沉降区,新构造运动不明显,地震活动微弱,无活动断裂穿越,区域稳定性较好。

## 2 工程特点及设计原则

### 2.1 工程特点

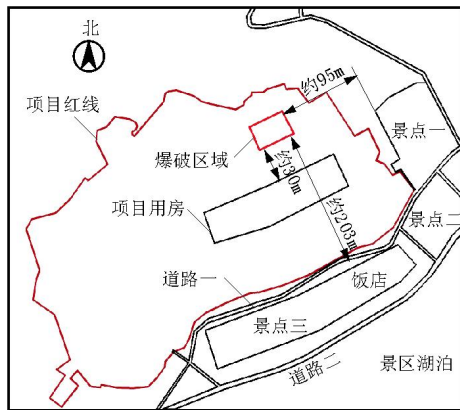


图 1 环境示意图

本工程位于西湖 5A 级景区内,爆破区附近分布大量名胜古迹,建筑物林立,工程周边环境复杂。施工期又正值风景区旅游高峰期,人员密集且人流量大。为了保证爆破不损伤景区环境、建(构)筑物以及不威胁游客的生命财产安全。本爆破工程难点在于爆破方量集中,基坑开挖深度不等,工程工期短、交叉作业多,投入的设备、人员较多,因此需采用精确的城市定向控制爆破<sup>[5]</sup>。

### 2.2 设计原则

(1)本工程位于国家 5A 级景区核心部位,安全要求高,业主单位要求现场施工技术管理按常规城市控制爆破提高一个等级进行管理,爆破方案按“最小飞石的目标、多打孔、少装药、弱松动”的原则设计。

(2)采用弱松动城市控制爆破结合机械二次破碎的总体方案,控制爆破振动,不对周边建(构)筑物结构造成损伤等影响。

(3)利用现有低洼处并辅以机械开挖,自由面及最小抵抗线方向指向西面,有利于爆破飞石的控制。

## 3 钻爆设计

### 3.1 爆破总体方案

根据边坡设计要求,本工程采用 +29.6 m, +23.0 m 两个平台,其中 +23.0 m 作为临时平台,平台设置见图 2。爆破分 3 个步骤,每步的开挖深度控制在 10 m 以内。根据药量控制,浅孔采用 3 孔齐爆,深孔逐孔起爆。

(1)对一次开挖深度在 4 m 以上的深孔爆破区域,采用弱松动城市控制爆破。若岩渣粒径较大,则应进行机械二次破碎,以满足石渣装车运输的要求;弱松动城市控制爆破单次总起爆药量  $\geq 500$  kg,

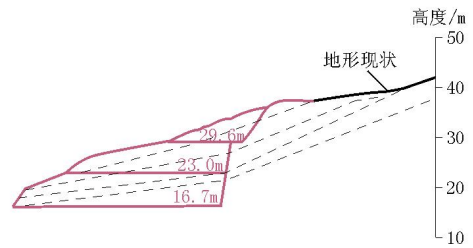


图 2 台阶设置示意图

单响药量  $\geq 30.78$  kg。

(2)对一次开挖深度在 1 ~ 4 m 的浅孔爆破区域,采用浅孔城市控制爆破,参考同类工程<sup>[6]</sup>单次总起爆药量  $\geq 200$  kg,单响药量  $\geq 10$  kg。

(3)为降低振动损害,保证围岩稳定,边坡采用预裂爆破。

考虑到一般砖房、非抗震的大砌块建筑物较多,爆破振动速率应控制在 2 cm/s 以内;炮孔利用率在 90% 以上,预裂爆破的半孔痕迹率在 85% 以上。

### 3.2 弱松动定向控制爆破设计

对于台阶高度  $d = 4 \sim 10$  m 的爆破区域,采用弱松动定向控制爆破。爆破参数的设计应严格遵循设计原则,针对工程特点,结合相应的理论计算、同类工程类比以及现场爆破试验,在满足爆破效果的前提下,提高控制爆破的施工效果和效率。

#### 3.2.1 爆破参数设计

##### 3.2.1.1 炮孔参数设计

根据现场实际情况,并经过在爆破现场进行多次试爆,弱松动定向控制爆破采用表 1 所示的设计参数。设置超钻深度来降低装药中心位置以避免留根底,超深值  $h = (0.15 \sim 0.35) W_d$ ,本工程暂取 0.8 m;对于垂直孔,孔深  $H = d + h$ ;弱松动爆破设计炮孔直径  $D = 90$  mm;根据规定及工程类比<sup>[7]</sup>,最小抵抗线  $W = (30 \sim 35) D$ ;炮孔间距  $a = (0.8 \sim 1.5) C$ ;炮孔排距  $b = (0.8 \sim 1.0) a$ ,孔深  $< 5$  m 时,根据多打眼,少装药的原则,炮孔排距取值为 2.5 m。

表 1 弱松动定向控制爆破参数设计值

台阶高度 $d$	孔深 $H$	孔距 $a$	排距 $b$	最小抵抗线 $W$	底盘抵抗线 $W_d$	超深 $h$	堵塞长度 $\Delta L$
4	4.8	2.5	2.0	2.5	2.0	0.8	3.0
5	5.8	2.5	2.0	2.5	2.0	0.8	3.0
6	6.8	3.0	2.5	3.0	2.5	0.8	3.0
7	7.8	3.0	2.5	3.0	2.5	0.8	3.0
8	8.8	3.0	2.5	3.0	2.5	0.8	3.0
9	9.8	3.0	2.5	3.0	2.5	0.8	3.0
10	10.8	3.0	2.5	3.0	2.5	0.8	3.0

### 3.2.1.2 炸药单耗

前排钻孔装药量按式(1)计算:

$$Q_1 = WHqa \quad (1)$$

式中:  $W$ ——最小抵抗线, m;  $H$ ——爆破作业台阶高度, m;  $q$ ——单位炸药消耗量,  $\text{kg}/\text{m}^3$  (参考同类工程,本工程取  $0.30 \sim 0.50 \text{ kg}/\text{m}^3$ , 施工时,可根据岩性及试爆情况进行调整);  $a$ ——孔距, m。

后排钻孔装药量按式(2)计算:

$$Q_2 = Hqab \quad (2)$$

式中:  $b$ ——排距, m;  $H$ 、 $a$ 、 $q$  意义同上。

经计算和优化,弱松动定向控制爆破单孔装药量见表2。

表2 弱松动爆破单孔装药量

台阶高度 $d$ / m	单耗 $q$ / ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	前排单孔药量 $Q_1/\text{kg}$	后排单孔药量 $Q_2/\text{kg}$
4	0.38	11.40	9.12
5	0.38	13.78	11.02
6	0.38	23.26	19.38
7	0.38	26.68	22.23
8	0.38	30.10	25.08
9	0.38	33.52	27.93
10	0.38	36.94	30.78

### 3.2.1.3 装药结构

根据爆破施工区的岩石性质、结构面及炸药与岩石波阻抗的匹配情况,以及宕碴及石料的粒径要求,弱松动控制爆破装药结构采用连续装药(见图3a)和非连续装药(见图3b)。本工程根据不同炮孔的孔深及设计装药量,分别采取不同的装药方式,当孔深  $< 8 \text{ m}$  时,炮孔采用连续装药;当孔深  $> 8 \text{ m}$  时,炮孔采用非连续装药,空气间隔与药包长度的比值  $l_{\text{空}}/l_{\text{药}}$  应控制在  $0.14 \sim 0.17$ 。每个炮孔内分别设置2个飞电导爆管雷管,分别置于炮孔底部和中上部的装药段内。堵塞长度  $\Delta L = (0.8 \sim 1.2)W$ , 根据本工程地形条件和孔深,90 mm 孔径炮孔堵塞长度  $< 3.0 \text{ m}$ 。

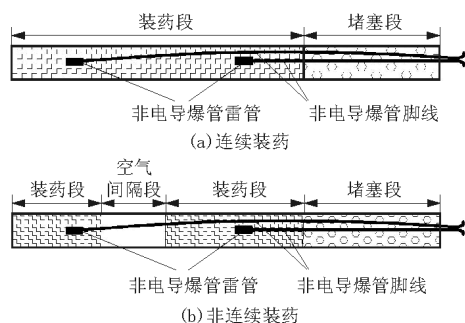


图3 弱松动爆破装药结构图

### 3.2.2 炮孔布置及起爆网络

为使炸药均匀地分布于岩体中,控制爆破后宕碴和石料的粒径要求,降低炸药单耗,弱松动控制爆破采用孔内外延期,孔内高段位( $\text{ms} - 11$  段雷管)、孔外低段位( $\text{ms} - 2$  段雷管)的组合方式。弱松动控制爆破炮孔布置见图4。

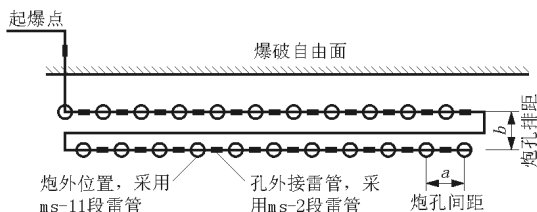


图4 弱松动爆破起爆网络示意图

## 3.3 浅孔城市控制爆破设计

### 3.3.1 爆破参数设计

#### 3.3.1.1 炮孔参数设计

对一次开挖台阶深度  $d = 1 \sim 4 \text{ m}$  的爆破区域,炮孔直径  $D$  选用  $42 \text{ mm}$ ; 最小抵抗线  $W = (25 \sim 30)D$ ; 炮孔间距  $a = (1.0 \sim 1.2)W$ ; 炮孔排距  $b = (0.8 \sim 1.2)a$ 。

#### 3.3.1.2 单孔装药量

炸药单耗  $q$  根据工程实际,结合同类工程<sup>[8]</sup>并根据现场试爆后作适当调整确定;单孔药量根据式(3)确定:

$$Q = qabl \quad (3)$$

式中:  $l$ ——孔深, m; 其他符号同前式。

#### 3.3.1.3 装药及堵塞

装药结构采用连续型装药,结构如图3(a)所示。堵塞长度  $\Delta L$  应超过  $1/3$  孔深,或大于最小抵抗线。浅孔城市爆破参数设计值见表3。

表3 浅孔城市爆破参数设计值

孔径 $D$ / mm	孔深 $L$ / m	最小 抵抗线 $W$ /m	炮孔 间距 $a$ /m	炮孔 排距 $b$ /m	堵塞 长度 $\Delta L$ /m	炸药单耗 $q$ /( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	单孔 药量 $Q$ /kg
42	1	1.05	1.10	1.00	0.7	0.25	0.28
42	2	1.12	1.15	1.10	1.2	0.25	0.63
42	3	1.19	1.20	1.15	1.2	0.20	0.83
42	4	1.26	1.26	1.20	1.4	0.20	1.21

### 3.3.2 炮孔布置及起爆网络

根据现场实际情况,起爆网络采用孔内延时分段起爆网络。在炮孔内放置不同段别( $\text{ms}1 \sim \text{ms}5$  段)非电导爆管雷管,通过逐孔起爆实现微差爆破,改善破碎质量。炮孔布置采用梅花形或矩形布孔,采用四

通连接件转接导爆管。起爆网络示意图见图5。

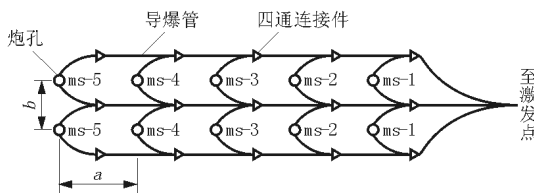


图5 浅孔城市爆破起爆网络布置示意图

### 3.4 预裂爆破设计

#### 3.4.1 爆破参数设计

根据工程特点,本工程边坡处采用预裂爆破,用以降低炮孔产生的爆破应力波和爆轰高压气体对围岩的破坏,保证边坡稳定性。

##### 3.4.1.1 炮孔参数设计

选择钻孔直径  $D = 90 \text{ mm}$ ; 孔距  $a = (8 \sim 12)d$ , 故孔距应为  $0.608 \sim 0.912 \text{ m}$ , 本工程取  $0.8 \text{ m}$ ;

##### 3.4.1.2 单孔装药量

结合多次实验爆破,针对几个最主要影响因素,炮孔的线装药密度可根据经验公式(4)<sup>[9]</sup>得出:

$$Q_{\text{线}} = 0.036[\sigma_{\text{压}}]^{0.63} a^{0.67} \quad (4)$$

式中: $\sigma_{\text{压}}$ ——岩体的极限抗压强度,MPa; $a$ ——炮孔间距。

根据本工程的岩石地质参数及设计原则,正常段装药线装药密度  $Q_{\text{线}}$  取  $300 \sim 350 \text{ g/m}$ 。

#### 3.4.2 装药结构

本工程预裂爆破设计采用药卷直径为  $32 \text{ mm}$  的2号岩石乳化炸药,装药结构采用沿药卷周边留环状间隙的不耦合装药,用竹片和导爆索间隔串联药卷。不耦合系数  $M$  根据式(5)<sup>[10]</sup>计算,

$$M = D/d_c \quad (5)$$

式中: $D$ ——炮孔直径,mm; $d_c$ ——装药直径,mm。

炮孔底部加强段的装药长度为  $1 \sim 1.5 \text{ m}$ ,装药量为正常段  $Q_{\text{线}}$  的  $1 \sim 2$  倍,本工程取  $600 \sim 700 \text{ g/m}$ ;减弱段为堵塞段下  $1 \sim 1.5 \text{ m}$ ,装药量是正常段  $Q_{\text{线}}$  的  $1/3$ ,本工程取  $200 \sim 230 \text{ g/m}$ ,装药结构示意图见图6。

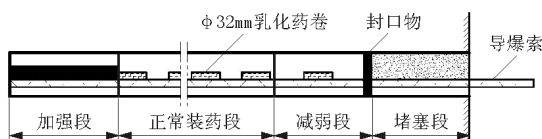


图6 预裂爆破装药结构示意图

### 3.5 本项目爆破设计特点

(1)设计中应用的各经验公式,均建立在大量的现场试验、同类工程实践以及数值分析拟合的基础上。

(2)针对不同的爆破深度将爆破参数精确化,结合孔内外延期、孔内延时分段等微差起爆手段,是本设计减小爆破振动效应的主要技术措施。

(3)为了有效控制和防护爆破飞石,采用了沙袋和炮被覆盖、加长堵塞长度及搭设排架等安全防护措施。

## 4 结论

(1)本工程施工区域地处5A级风景名胜区,周边人员密集,施工环境复杂,兼有面临施工工期短、爆破质量要求高等困难。本次设计采用以弱松动定向控制爆破为主,辅以浅孔城市爆破和预裂爆破的方案,依据不同的爆破工程条件,选择合适爆破参数、起爆网络和装药结构,成功克服了上述难题。

(2)为了保护周边建(构)筑物结构和游客人身安全不受损害,本设计将爆破有害效应中的爆破振动作为首要考虑因素。通过控制爆破最大单响药量在  $30.78 \text{ kg}$  以下,结合减震孔等有效措施,爆破过程未损伤附近民房结构安全,同时也没有产生飞石等有害效应,满足设计要求。

## 参考文献:

- [1] 吴立,陈建平,舒家华.爆破地震效应的实质及其安全距离和破坏标准[J].地质勘探安全,1999,(2):21-23.
- [2] 高学文,万元林,刘运通,等.高边坡危岩体爆破及其控制技术[J].爆破,2005,22(2):1-2.
- [3] 毛晖.城市复杂环境下岩石控制爆破及安全管理[J].采矿技术,2008,(2):72-74.
- [4] 蔺新丽,李媛媛.爆破有害效应的控制措施综述[C]//中国煤炭学会煤炭爆破专业委员会,2008:6.
- [5] 苏贺,汪海波,宗琦.临近建筑物基坑岩石松动爆破振动监测[J].爆破,2009,(1):99-101.
- [6] 怀平生,赵香萍.以色列卡迈尔(Carmel)隧道大跨度双侧壁导坑法施工技术[J].铁道建筑技术,2010,(1):103-107.
- [7] 李金铸,吴立,李波,等.城市复杂环境下场地平整控制爆破设计及实施[J].爆破,2014,31(4):58-62.
- [8] 王政.潜孔台阶弱松动爆破在实际施工中的应用[J].铁道建筑技术,2011,(11):119-124.
- [9] 葛克水.预裂爆破参数的研究[D].北京:中国地质大学(北京),2009.
- [10] 楼晓明,赖红源,唐小军.预裂爆破参数的理论计算及应用[J].矿业研究与开发,2011,(5):109-111.