

# 复杂地质结构深基坑爆破开挖实践

李志宇

中铁二十局集团第二工程有限公司 陕西 西安 710016

**【摘要】**通过对复杂环境条件下框架桥基坑开挖爆破施工,介绍了复杂地质结构实施爆破的技术措施,详细介绍了爆破参数的选取,爆破安全的防护措施等。针对现场环境并结合爆破施工中最难控制的飞石控制,爆破震动控制,进行了科学的分析和的针对性强的设计。详细的探讨了类似地质条件下,科学精细施工的快速开挖技术。

**【关键词】**土夹石;岩石爆破;深基坑;爆破飞石;爆破震动;安全防护

中图分类号:TD235

## 1 基本情况

渝怀铁路武陵山段增建二线Ⅶ标是符合国家中长期的铁路网建设规划和国家铁路十二五发展规划的重要建设项目,已经被纳入《国家中长期铁路网规划(2008年调整)》、《国家铁路十二五发展规划》和《武陵山片区区域发展与扶贫攻坚规划(2011~2020年)》的总体建设规划建设项目,是联系我国华中、华南地区最重要的铁路运输通道。该标段项目的内容包括基坑土石方爆破开挖、大型框架桥等,项目建成后将极大促进沿线地区,提升铁路网建设和运输能力,带动武陵山和湘西地区的经济发展。爆破开挖涉及的项目为龙泉湖路框架中桥的基坑,基坑开

挖深度为 10.3m,上口宽约 78.04m,下口宽约 62.69m,边坡按照 1:0.5 放坡,土石方开挖总量为 30 万  $m^3$ ,是该标段的里程碑工程,制约着项目的整体工期。

### 1.1 周围环境

本项目位于中国湖南省怀化市西南侧、经济开发区边缘,包茂高速公路和怀化西环路之间新建的怀化西编组站。西南侧距离包茂高速 310m,东距怀化经开区公租房 180m,北距怀化职业技术学院 260m,南侧距离开发区新建箱涵 8m。爆破现场环境情况十分复杂。

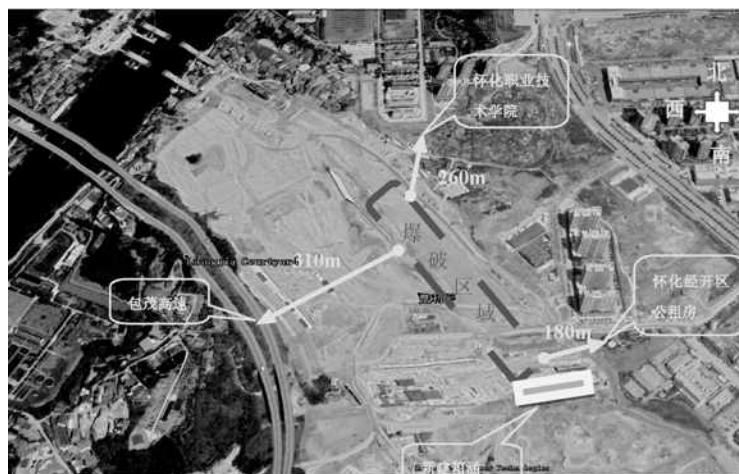


图 1 爆破环境示意图

## 1.2 地质结构特点

项目所处地区属于剥蚀、溶蚀丘陵及舞水侵蚀堆积谷地,南山寨丘陵地带,自然坡度 10~40°,地面高程 220~400m,植被发育,多为乔木。大部分谷地多分布有软土,碳酸岩分布广泛,区内基岩节理发育,岩性破碎,可溶岩岩溶发育。主要的工程地质问题有滑坡、错落、崩塌、危岩落石、岩堆、泥石流、岩溶和岩溶水、砂土液化、顺层、风化剥落、构造破碎带等诸多不良地质现象,地形、地质条件复杂,对工程实施将造成诸多不利影响。龙泉湖框架中桥地质均为粉质粘土、岩层,地质结构复杂,土夹石结构多,溶洞多,岩性以黏性土、粉土、砂类土、砾(碎)石土、块石等组成。

## 2 施工方案

根据本工程基坑布置、开挖深度、地质情况及爆破振动要求高等特点,为保证爆破过程中相邻设施安全,特别是南侧新建箱涵及东侧公租房区域结构安全,总体施工方案如下[2]:

(1)爆破类型为深孔控制爆破和预裂爆破相结合的形式[8];

(2)爆破开挖起始段为最南侧临近箱涵处,临近新建箱涵的爆破区域采用预裂爆破方式,严格控制爆破振动危害;

(3)南侧合理创造临空面后,后续深孔控制爆破的爆破振动波被有效阻断,有利于保护新建箱涵设施;

(4)基坑开挖深度 10.3m,经过实践,单层开挖深度为 5~6m,分两层开挖,既能控制单孔装药量,

又能满足有效填塞长度,保证安全;

(5)根据《爆破安全规程》的规定,深孔爆破区域内的飞石最小安全允许飞散距离控制为 200m。由于怀化市经开区的公租房为怀化市的人口高度密集区,为了保证安全,临近的公租房 200m 深孔爆破区域内全部采用炮被覆盖,爆破区域内的飞石飞散的距离得到有效的控制,实践证明深孔爆破区域内的飞石不可能超过 30m;

(6)采用逐孔起爆技术,单次爆破总装药量为 1200kg 较为合适,在满足爆破安全情况下,最大限度保证施工进度。

### 2.1 施工难点

该项目地质结构复杂,土夹石情况严重,孤石较多(如图 2)。采用小孔径炮孔虽然能有效改善爆破效果,但是单次爆破的孔数较多,单层开挖深度较浅,效率较低,无法满足施工进度。大孔径炮孔能减小钻孔数量,单层开挖深度也较大,一次爆破规模大,但因单孔装药量较多,爆破振动危害较大,且孔间排距较大,爆破效果差,后期机械二次破碎工作量巨大。合理选择爆破孔径是保证施工进度和安全的难点[7]。

难点二,地质结构复杂,炮孔周边介质软硬不均情况严重,导致炮孔内炸药无法对周边介质均匀做功。爆炸能量集中从软岩部分释放,导致局部飞石飞散距离过大。爆破区域周边公租房及职业技术学院人员密集,爆破施工风险较高,合理增加有效填塞长度及炮被覆盖措施不可或缺。



图 2 爆破现场地质情况

难点三,工期紧任务重,爆破区域周边不断新建箱涵及设施,保护既有及在建设设施要求较高。

## 2.2 方案参数选择

### 2.2.1 预裂爆破参数

新建箱涵主爆区紧邻南侧的爆破保护区域,为了确保主爆区、新建箱涵副爆区、设施的结构安全,

沿南侧主爆区基坑的开挖边界、主爆区和新建箱涵之间缝隙处布置密集的炮孔,采取不耦合装药,在主爆区之前进行爆破,从而在爆区和南侧新建箱涵之间缝隙处形成一定的预裂缝,以有效减弱主爆区爆破时产生的爆破振动对保护区域和设施的影响[4]。

表 1 预裂爆破参数表

钻孔深度 (m)	孔径 (mm)	钻孔角度 (°)	超深 (m)	孔距 (m)	加强段装药		正常段装药		减弱段装药		填塞段 (m)	单孔装药量 (kg)
					长度 (m)	药量 (kg)	长度 (m)	药量 (kg)	长度 (m)	药量 (kg)		
5.0	70	75	0.50	0.80	1.0	0.6	1.8	0.594	1.0	0.15	1.2	1.344
5.5	70	75	0.50	0.80	1.0	0.6	2.3	0.759	1.0	0.15	1.2	1.509
6.0	70	75	0.50	0.80	1.0	0.6	2.8	0.924	1.0	0.15	1.2	1.674
6.5	70	75	0.50	0.80	1.0	0.6	3.3	1.089	1.0	0.15	1.2	1.839

备注:加强段、正常段、减弱段线装药密度分别取 600g/m(0.6kg/m)、330g/m(0.33kg/m)、150g/m(0.15kg/m)。

用主导爆索联结每个预裂孔,孔内使用导爆管起爆网路示意图见图 3[3]。  
雷管逐孔延期起爆,炮孔间设置延期时间为 ms-2,

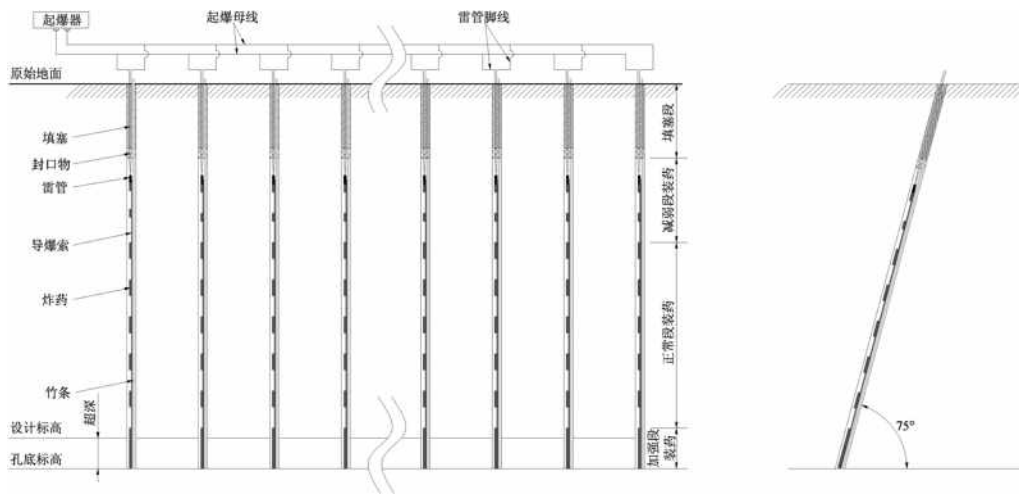


图 3 预裂爆破装药结构及起爆网路示意图

2.2.2 深孔控制爆破参数

预裂爆破区域完成后,可形成“减震沟”,有效阻断爆破振动对新建箱涵的影响。为避免爆破飞石不良影响,爆破开挖顺序从北向南依次进行。

深孔孔内采取连续装药,确保填塞长度不小于 3.0m,炸药单耗按  $q=0.33\sim 0.37\text{kg/m}^3$  取值,深孔控制爆破孔网参数见下表。

表 2 深孔控制爆破参数表

参数名称	单位	深孔爆破参数
孔径	mm	90
最小抵抗线	m	2.5
孔距	m	2.5~2.8
排距	m	2.0~2.2
孔深	m	5.0~6.5
超深	m	0.5
填塞长度	m	3.5~3.8
单耗	$\text{kg/m}^3$	0.33~0.37
单孔装药	Kg	8~15

对于不同炮孔深度装药参数,下表给出了具体的数值:

表 3 爆破参数表

钻孔深度(m)	孔径(mm)	钻孔角度(°)	最小抵抗线(m)	孔距(m)	排距(m)	填塞长度(m)	单孔药量(kg)	单耗值(kg/m <sup>3</sup> )
5.0	90	90	2.50	2.50	2.00	3.50	8	0.33
5.5	90	90	2.50	2.60	2.10	3.60	10	0.35
6.0	90	90	2.50	2.70	2.10	3.70	13	0.37
6.5	90	90	2.50	2.80	2.20	3.80	15	0.37

备注:单耗值计算中,每 m 装药取 5.5kg/m。

本爆炸工程主要采用一孔一响,为了有效确保爆破网络的准确性,孔内采用高段别雷管,并对传爆雷管及传爆导爆管采取特别的防护措施,具体如下:

孔内采用 ms-11 高段别非电导爆管雷管,排间采用 ms-5 段非电导爆管雷管,孔间传爆雷管采用 ms-3 段非电导爆管雷管;

由于地表未起爆雷管与已起爆药包之间的水平传爆距离通常不足 20m,为了有效确保传爆炮孔的安全和准爆率,在每个传爆雷管上部均覆盖小沙袋,并用纸箱对传爆导爆管进行全面的覆盖,防止飞石将整个传爆网络直接砸坏。

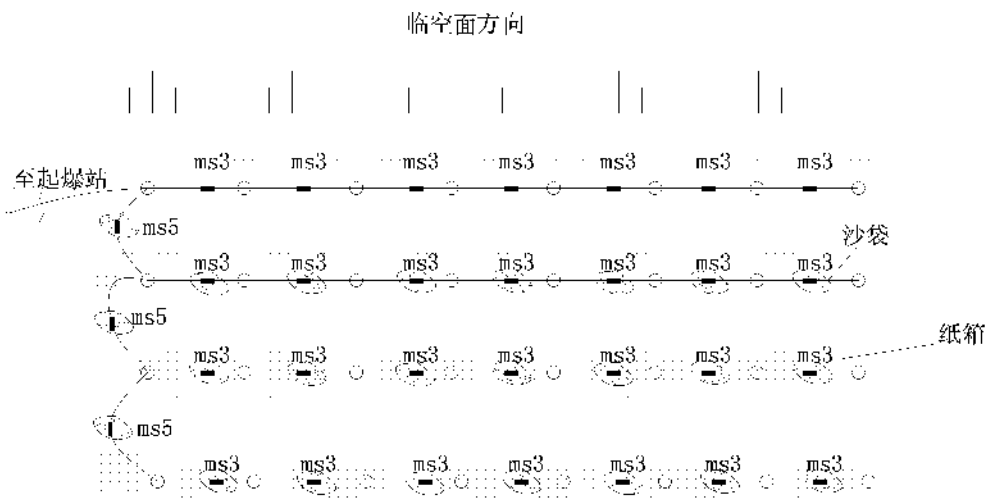


图 4 逐孔起爆网络示意图

### 3 安全防护技术

#### 3.1 爆破飞石防护

爆破产生个别飞石距离可由下式确定:  $R_{max} = K_f \times q \times D$

式中:  $R_{max}$ —爆破个别飞石的最大距离, m;  
 $K_f$ —与爆破方式、填塞状况、地质地形有关的系数;  
 $K_f = 1.0 \sim 1.5$ 。  $K_f$  取 1.5。  $q$ —炸药单耗, kg/m<sup>3</sup>;  
 $D$ —炮孔直径, mm;

本工程中深孔爆破时,取  $D = 89\text{mm}$ ,  $q_{max} = 0.37 \text{ kg/m}^3$ ,得:  $R_{max} = 49.4\text{m}$ ;

为确保爆破施工安全,针对爆破飞石采取如下措施:



(1)在相对安全的爆破作业点进行爆破试爆,确定合理的爆破单位消耗值。

(2)孔口必须堵塞,堵塞材料用半干黏土或粘性沙土,不得混有碎石。堵塞段长度须大于最小抵抗线,并堵塞紧密。保证堵塞质量。

(3)为了保证现场工作人员、设备的安全,划定



爆破前的警戒处置范围,爆破前工作人员必须撤至规定警戒范围以外。

(4)在靠近保护目标较近区域通过减少炮孔的孔排距、加大填塞长度等措施保证施工安全。

(5)根据现场实际的情况,对爆破区域距离较近的公租房及附近新建箱涵设置 200m 距离范围内的防爆区采取分层覆盖的防护措施来有效控制进入爆破区域的飞石。具体防护控制措施采取方法如下:在爆破区域内装填药后,先在炮孔上方覆盖一层具有柔性的炮被作为防护层,然后在飞石的炮被上方覆盖一层沙袋,控制爆破区域的飞石对其周边的影响。

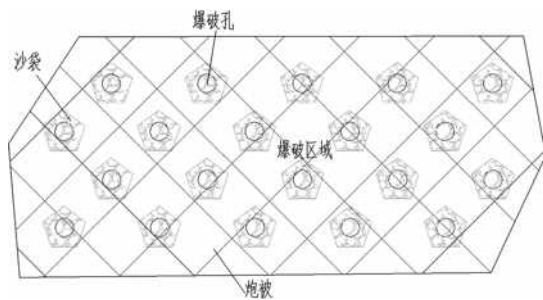


图 5 爆区覆盖示意图

### 3.2 爆破振动防护控制

根据萨道夫斯基控制爆破振动速度公式计算爆破振动速度。

$$V = K \left( \frac{Q^{1/3}}{R} \right)^\alpha \quad (1)$$

式中:V — 最大振动速度, cm/s;K — 与地质地形有关的系数;Q — 一次齐爆的最大药量,kg;R — 最大一段齐爆药量的几何分布中心到邻近被保护物的距离,m; $\alpha$ —地震波衰减指数;

根据我国《爆破安全规程》[GB6722-2014]的规定,深孔爆破频率在 10Hz~60Hz 之间,一般民用建筑物的安全振动速度为:V<sub>安</sub> = 2.0~2.5cm/s(频率 10Hz~50Hz),新浇大体积混凝土(C20)龄期 7d~28d 的 V<sub>安</sub> = 8.0~10.0cm/s(频率 10Hz~50Hz)。根据最大一段允许齐爆药量萨道夫斯基计算公式,先求得最大一段齐爆药量 Q。式中参数按照有关标准取值(K=160, $\alpha$ =1.7)。

表 4 爆破振动校核表

最大一段齐爆药量校核表					
保护目标	K	$\alpha$	距离保护目标 R/m	最大爆破允许震动速度 V/(cm/s)	最大一段齐爆药量 Q/kg
新建箱涵	160	1.7	8	8.00	2.6
公租房	160	1.7	180	2.00	2555.2
怀化职业学院房屋	160	1.7	260	2.00	7700.6
包茂高速	160	1.7	310	2.00	13052.4

根据爆破振动校核,预裂爆破单孔最大装药量为 1.839kg,深孔控制爆破单孔最大装药量 15kg,采用逐孔起爆技术,实际爆破振动速度均小于安全振动速度,实践证明爆破振动未对周边保护目标产生不良影响。

## 4 爆破效果

土夹石,孤石等复杂地质情况下,通过选择合适的孔径、增加布孔密度等技术控制方法,有效改善了爆破效果,减少了大块率,总体爆破效果达到了施工进度要求。然而仍有局部爆后大块不规则,最大孤石可达 5m<sup>3</sup>,重量达 30 吨,难以挖装,现场不具备二次解炮的条件。针对有部分孤石情况,经过多次爆破实践,配置徐工 490 型重型镐头机,配备 195 破碎

锤,进行破碎,既能满足爆后破碎进度,又能达到很好的经济效果。

复杂地质环境下,飞石不可控风险增大,经过多次试炮及爆破施工,在填塞长度不小于 3.5m 情况下,既能有效控制大块率,又能严格控制爆破飞石飞散距离,实际飞石距离控制在 30m 以内。在重要保护目标周边实施爆破时,再辅助炮被覆盖措施,飞石危害得到很好控制。

通过预裂爆破方式,在深孔主爆区和新建箱涵及配套设施之间形成减震沟,有效阻断了爆破振动波的传播,在保证新建设施的混凝土达到 28d 养护强度情况下,爆破振动未对临近新建箱涵等设施造成不良影响[6]。



图6 爆破后效果

## 5 小结

复杂地质的情况下,合理的控制基坑爆破的技术开挖施工是一种能够有效的实现基坑爆破开挖施工的高质量、高效率、低危害的爆破施工方式[9]。龙泉湖框架中桥的基坑在复杂地质的条件下,通过对爆破开挖施工技术参数的优化、预裂爆破与基坑深孔施工控制相结合、重点区域爆破覆盖炮被、二次破碎机械设备的配置优化等技术措施,在高质高效与低危害之间摸索一套合理的爆破开挖施工技术。先进的控制爆破开挖技术需要不断的进化、消化吸收,合理的控制爆破施工的技术除了进化、消化吸收先进控制爆破开挖施工技术外,更多的需要配合、摸索,方能因地制宜的在工期紧任务重的情况下科学精细地快速完成施工任务。

## 【参考文献】

- [1] 爆破安全规程[S]. GB6722-2014.
- [2] 段征宇,李勇,渝冬科. 用控制爆破技术快速开挖水电站岩石地基[J]. 工程爆破,2004. 10(04): 61-65.
- [3] 张文龙,陈少辉,郑文富. 复杂环境下某深基坑爆破开挖技术应用[J]. 采矿技术,2017. 17(06): 93-108.
- [4] 孙冬. 大型基坑毫秒微差预裂爆破成型技术[J]. 水利建设,2019. (11):288-289.
- [5] 王德宝,马宏昊,沈兆武,范志强. 城市复杂环境下基坑爆破降振及振动监测[J]. 工程爆破,2015. 21(01):47-51.
- [6] 王璞,陈志刚,张道振,等. 市区复杂环境下深基坑开挖控制爆破[J]. 工程爆破,2010. 16(01): 35-39.
- [7] 赵朝阳. 复杂环境下桥梁基坑浅孔控制爆破技术[J]. 桥涵工程,2014. (04):82-85.
- [8] 方腾飞,李永涛. 深基坑爆破开挖技术的现状与发展建议[J]. 江西建材,2018. (02):58-60.
- [9] 葛强. 繁华城区超大型基坑精细控制爆破技术研究[J]. 隧道/地下工程,2019(04):113-118.