

建筑基坑微差爆破开挖施工技术

卢 军

中铁七局集团第四工程有限公司, 湖北 武汉
Email: 918917661@qq.com

收稿日期: 2021年3月28日; 录用日期: 2021年4月18日; 发布日期: 2021年4月25日

摘 要

以铜仁市芭蕉川硐片区棚户区改造区建筑基坑为工程背景, 为减小基坑爆破开挖震动和飞石对周边既有建筑物和道路的影响, 依据基坑地质条件和开挖方式, 采用经验类比和理论计算方法确定了基坑微差爆破重要参数, 工程实践证明: 分区、分层基坑开挖采用深浅孔爆破和预裂微差爆破相结合的方式, 减小了对周边环境的影响, 爆破振动、空气冲击波、噪音和飞石的危害效应控制在允许范围之内, 爆破形成的振动波到达保护物处最大垂直速度均小于2 cm/s, 覆盖方式能够控制飞石距离, 确保了对周边民房、碧江区环北街道一环东路及基础设施未造成破坏。可为类似工程提供参考。

关键词

基坑工程, 微差爆破, 深孔爆破, 浅孔爆破, 施工技术

Construction Technology of Millisecond Blasting Excavation for Building Foundation Pit

Jun Lu

The Fourth Engineering Co., Ltd. of China Railway Seventh Group, Wuhan Hubei
Email: 918917661@qq.com

Received: Mar. 28th, 2021; accepted: Apr. 18th, 2021; published: Apr. 25th, 2021

Abstract

Based on the background of the construction foundation pit in shanty area of Bajiaochuangdong District, Tongren City, in order to reduce the impact of blasting excavation vibration and flying stone on the existing buildings and roads around the pit, the important parameters of millisecond

blasting in foundation pit are determined by empirical analogy and theoretical calculation depend on the geological conditions and excavation methods of foundation pit. Engineering practice has shown that the combination of deep and shallow hole blasting and pre crack micro difference blasting is adopted for the excavation of sub zone and layered foundation pit, which reduces the surrounding excavation. The impact of environment, the damage effect of blasting vibration, air shock wave, noise and flying stone is within the allowable range. The maximum vertical velocity of the vibration wave formed by blasting to the protection is less than 2 cm/s, and the covering method can control the distance of flying stone, which ensures that there is no damage to surrounding houses, North Ring Street first ring eastern road and infrastructure in Bijiang district. It can provide reference for similar projects.

Keywords

Foundation Pit Engineering, Millisecond Blasting, Deep Hole Blasting, Shallow Hole Blasting, Construction Technology

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

建筑基坑处于岩石地层时, 开挖需要进行爆破。而建筑基坑周边会遇到复杂环境, 如紧邻市政道路、房屋、桥梁等, 爆破开挖要尽量避免对这些建构物的影响, 保证其结构和使用的安全性, 此时采用微差爆破技术[1], 减少爆破震动强度, 是一种较好的选择。

微差爆破技术主要用于露天采矿[2]和隧道工程开挖[3]中, 在减弱爆破产生的地震效应影响、保证爆堆的平均块度和保护既有建筑物安全方面发挥了重要作用。目前微差爆破技术在基坑工程中多应用于混凝土支撑拆除[4] [5] [6] [7] [8], 能够控制爆破振动速度、飞石距离、扬尘量, 减小对周边环境的不利影响。

铜仁市芭蕉川硐片区棚户区改造区建筑基坑面积大, 深度深, 周边环境复杂。本文以此为工程背景, 依据基坑地质条件和开挖方式, 采用经验类比和理论计算方法对基坑微差爆破重要参数进行分析, 给出了优化施工方案, 实施效果良好, 也可为类似工程提供参考。

2. 爆破参数确定方法

微差爆破的参数包括: 台阶高度、超钻深度、孔深、和孔径、底盘抵抗线、孔距、堵塞长度和单位耗药量等。

超钻深度 h 可按式(1)或(2)确定。

$$h = (0.15 \sim 0.35)W \quad (1)$$

$$h = (0.05 \sim 0.25)H \quad (2)$$

式中: h 为超钻深度, m; W 为底盘抵抗线, m, 根据台阶高度按式(3)确定; H 为台阶高度, m; D 为钻孔直径, m。

$$W = (0.6 \sim 0.9)H \quad (3)$$

孔深 L 按式(4)确定。

$$L = H + h \tag{4}$$

孔距 a 按日本、瑞典推荐的公式(5)计算。

$$a = mW \tag{5}$$

式中: m 为钻孔密集系数, 取值范围为 1.2~1.3。

排距 b 按公式(6)确定。

$$b = \sqrt{S/m} \tag{6}$$

式中: S 为钻孔负担面积。

台阶上眉线至前排孔口中心线的距离 B , 按公式(7)估算:

$$B = W - H/\tan \alpha \tag{7}$$

式中 α 为台阶爆破中坡面角, 系前一次爆破时形成的自然坡脚。它通常与岩石性质、钻孔排数和爆破方法有关。一般要求坡面角最好在 $60^\circ \sim 75^\circ$ 之间。

堵塞长度 L_2 由式(8)或(9)计算得到。

$$L_2 \geq 0.75W \tag{8}$$

$$\text{或 } L_2 = (20 \sim 40)D \tag{9}$$

单位炸药消耗量 q 值见表 1。

Table 1. Deep hole explosive per unit charge

表 1. 深孔爆破单位耗药量

岩性 f 值	0.8~2	3~4	5	6	8	10	12	14	16	20
Q (kg/m ³)	0.4	0.43	0.46	0.5	0.53	0.56	0.6	0.64	0.67	0.67

注: f 为岩石坚固系数。

单排孔爆破或多排孔爆破的第一排孔的每孔装药量按式(10)计算。

$$Q = qaWH \tag{10}$$

多排孔爆破时从第二排孔起, 以后各排孔的每孔装药量按式(11)计算。

$$Q = KqabH \tag{11}$$

式中: K 为考虑受前面各排孔的岩石阻力作用的增加系数, 一般取 1.1~1.2。

当采用毫秒微差起爆时, 因前排孔给后排延时起爆的孔创造了新的自由面, 其每孔装药量按式(12)计算。

$$Q = qabH \tag{12}$$

根据研究测试表明, 药包爆炸后 10 ms, 岩石地表开始有明显的移动, 接着在加速过程中形成鼓包, 到 20 ms 时, 鼓包运动接近最大速度, 到 100 ms 时鼓包严重破裂。因此, 目前在微差爆破中, 经常采用间隔为 50~100 ms。

3. 工程应用

3.1. 工程概况

贵州铜仁碧江区 2018 年芭蕉川铜片区棚户区改造工程基坑开挖区位于位于铜兴大道与环东路交汇

点西侧，东临碧江区家禽批发市场、南临环东路、西临桂花塘社区、北临架梁山。南北方向长约 300 m，东西方向宽约 265 m，平均开挖深度 14.7 m，爆破方量约为 30 万 m³。爆破地块南侧 5 m 为环东路，西侧 30 m 为拆迁房工地，北侧 20 m 为民房，北侧架梁山山顶有一条 10 KVA 高压线，高架塔距开挖边线最小距离 110 m，东侧 20 m 为民房，如图 1 和图 2 所示。

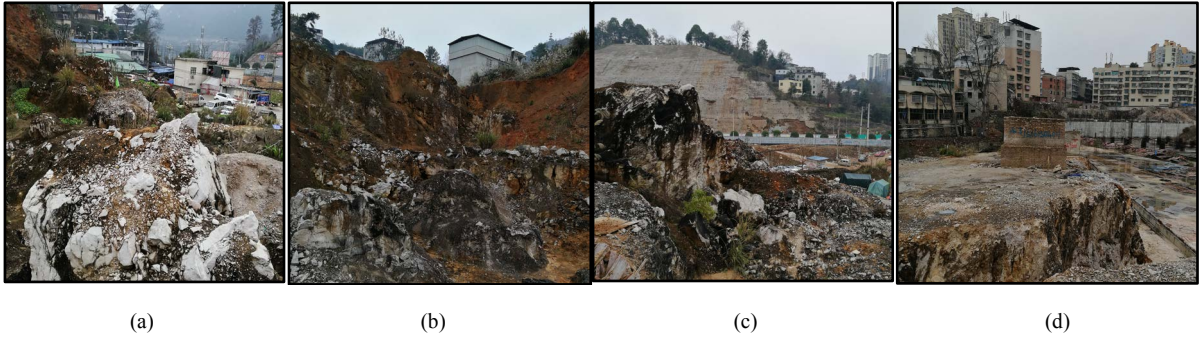


Figure 1. Photos of surrounding environment of foundation pit; (a) East side; (b) Northeast side; (c) South side; (d) West side
图 1. 基坑周边环境照片; (a) 现场东侧; (b) 现场东北侧; (c) 现场南侧; (d) 现场西侧

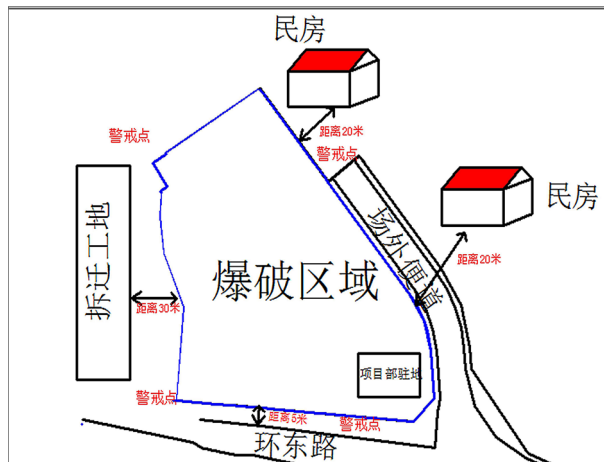


Figure 2. Relationship between foundation pit and surrounding environment
图 2. 基坑与周边环境关系

场地位于山间谷地内，地势起伏不大，最大高程为 276.25 m，最小高程为 252.762 m，高差为 23.5 m。经现场钻探和地面地质调查，基岩面起伏大于 5 m，岩溶为表生岩溶强发育，基岩岩性为寒武系中统娄山关群(∈_{1s})中厚层至块状砂屑白云岩和硅化白云岩第四系残积层。

3.2. 基坑开挖方案

基坑采用分区、分层开挖。工程划分为三个施工区域，开挖分区如图 3 所示。三个施工区域根据地下室底板开挖标高高差形成台阶状，开挖标高分别为 264.1 m、249.0 m、246.5 m。先开挖施工一区边坡，再开挖施工二区基坑，最后开挖施工三区。在二区与三区之间设置施工便道通至施工一区，施工二区基坑开挖时留设坑内便道。

施工 I 区边坡采取放坡开挖，施工 II、III 区采取中心岛式分层开挖，同时高边坡位置注意分层喷锚进行边坡防护。基坑石方采用浅孔、深孔、预裂微差控制爆破开挖，减少对既有建筑及道路的影响。

3.3. 爆破参数

3.3.1. 浅孔控制爆破

距离碧江区环北街道—环东路及周边民房 50 m 范围内的爆破参数,采用机械破碎开挖与浅孔微差控

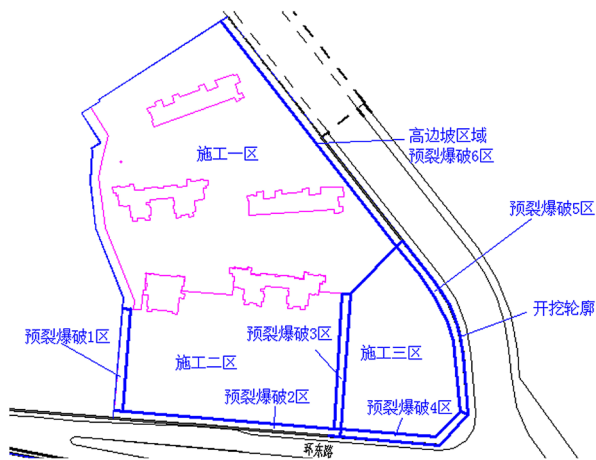


Figure 3. Zoning map of foundation pit excavation
图 3. 基坑开挖分区图

制爆破方式相结合,由公式(1)~(12)微差爆破设计参数为:

- 1) 选用 40 mm 直径钻头,孔径 $D = 40$ mm,药卷直径为 32 mm;
- 2) 台阶高度 $H = 1.5$ m; (每台阶高度 1.5 m);
- 3) 炮孔深度 $L = 1.5$ m;
- 4) 炮孔间距 $a = 0.5 L$, 取 $a = 0.75$ m;
- 5) 排距 $b = 0.6$ m;
- 6) 底盘抵抗线 $W = 0.4 H$, 取 $W_1 = 0.6$ m;
- 7) 单位体积耗药量 q 取 0.2 kg/m³;
- 8) 单孔装药量 $Q = q \times a \times W \times H = 0.2 \times 0.75 \times 0.6 \times 1.5 = 0.135$ kg。

3.3.2. 深孔控制爆破

其他范围采用深孔爆破,由公式(1)~(12)微差爆破设计参数为:

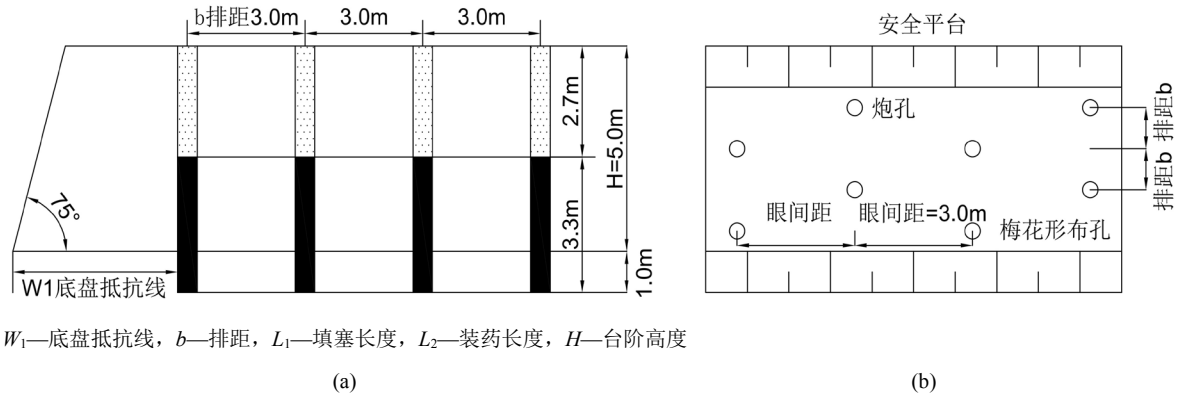
- 1) 选用 90 mm 直径钻头,孔径 $D = 90$ mm,药卷直径为 80 mm;
- 2) 钻孔方向:垂直钻孔,方向垂直于工作面 $\alpha = 90^\circ$;
- 3) 设计台阶高度为 5 m,即 $H = 5$ m,台阶上坡度角控制在 75° ;
- 4) 钻孔深度 L 和超深 h , $h = 0.2H = 1$ m, $L = h + H = 6$ m;
- 5) 堵塞长度 $L_1 = 30D = 2.7$ m,装药长度为 $L_2 = 3.3$ m,根据现场岩石的情况为白云岩,炸药单耗 $q = 0.35$ (kg/m³);
- 6) 底盘抵抗线 $W = 31D \approx 3.0$ m;
- 7) 孔距 a 和排距 b : $a = m \times W$, $m = 1.2$, 即 $a = 1.2 \times 3.0 = 3.6$ m, 取 $a = 3.5$ m; $b = W = 3.0$ m;
- 8) 单孔装药量计算:
前排单孔装药量: $Q = q \times a \times b \times H = 0.35 \times 3 \times 3.0 \times 5 = 15.75$ kg;
后排单孔装药量: $Q = K \times q \times a \times b \times H = 1.2 \times 15.75 = 15.75$ kg。

由于在施工过程中，爆破台阶高度在不断的变化，因此，不同台阶高度单孔装药量由表 2 中取值。

Table 2. Deep hole charge scale
表 2. 深孔装药量表

台阶高度 $H(m)$	排距 $b(m)$	炮眼间距 $a(m)$	线装药度 (kg/m)	炸药单耗 $q(kg/m^3)$	装药长度 $L_2(m)$	单孔装药量 $Q(kg)$
6	3	3	5	0.35	3.0	18.90
5	3	3.0	5	0.35	2.5	15.75
4	3	3.0	5	0.35	2.0	11.50

深孔爆破炮眼剖面与平面布置如图 4 所示，采用连续耦合装药结构。



W_1 —底盘抵抗线， b —排距， L_1 —填塞长度， L_2 —装药长度， H —台阶高度

Figure 4. Blast hole design; (a) Blast hole profile; (b) Blast hole plan
图 4. 炮眼设计图；(a) 炮眼剖面图；(b) 炮眼平面图

3.3.3. 预裂微差爆破

在开挖轮廓线上布置预裂爆破孔，钻孔深度超过台阶高度 1 m。预裂爆破参数如下：

- 1) 预裂炮孔直径： $D = 90 \text{ mm}$ ；
- 2) 预裂爆破炮孔间距： a 取 200 cm；
- 3) 预裂孔平均线装药量：按经验公式(13)计算，

$$q_{\text{线}} = 0.034(\sigma_{\text{压}})^{0.63} a^{0.67} \quad (13)$$

式中： $q_{\text{线}}$ ——为预裂炮孔线装药密度， kg/m ；

$\sigma_{\text{压}}$ ——为岩石极限抗压强度， MPa ；

a ——为预裂孔间距， $a = 200 \text{ cm}$ 。

计算得： $q_{\text{线}} = (0.448 \sim 0.612) \text{ kg/m}$ 。

依据现场岩体坚硬状况和装药便利性，一般地段取 $q_{\text{线}} = 0.5 \text{ kg/m}$ ；强风化岩体地段取 $q_{\text{线}} = 0.4 \text{ kg/m}$ 。

- 4) 孔底线装药密度($q_{d\text{线}}$)、孔口线装密度($q_{c\text{线}}$)

由于预裂炮孔深，在预裂炮孔底部底 1~1.5 m 范围内加大装药密度。取平均线装药密度的 2 倍，即 $q_{d\text{线}} = 1.0 \text{ kg/m}$ ；孔口填塞段以下 2 m 范围的线装药密度取 0.5 倍平均线装药密度，即 $q_{c\text{线}} = 250 \text{ g/m}$ ，避免预裂爆破形成爆破漏斗和飞石。

- 5) 不偶合系数(ζ)

采用岩石乳化炸药，药卷直径 $\phi 32 \text{ mm}$ ， $D = 90 \text{ mm}$ ，其不偶合系数为 $\zeta = 3.125$ 。

6) 预裂孔与缓冲孔距离

为达到预裂目的，但避免主爆孔与预裂孔间的岩石不能充分破坏，根据应力波理论，缓冲孔与预裂孔距离为 1.3~1.5 m。缓冲孔药量取为主炮孔药量的 2/3。

7) 装药结构

预裂孔采用双导爆索、全长敷设、将药卷按设计计算值分配串绑于导爆索的装药结构，如图 5 所示。

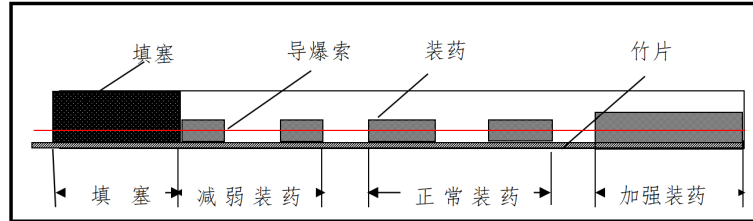


Figure 5. Charge structure of presplitting hole
图 5. 预裂孔装药结构图

孔底 2 m 长范围， $q_{d线} = 1.0 \text{ kg/m}$ ， $Q_d = 2 \text{ kg}$ ，炸药 10 卷；孔中间范围， $q_{线} = 0.5 \text{ g/m}$ ，每 1 m 孔需炸药 0.5 kg，每卷炸药间隔 20 cm；孔口填塞段下 2 m 长范围， $q_{c线} = 0.25 \text{ kg/m}$ ， $Q_c = 0.5 \text{ kg}$ ，炸药 2.5 卷，将其分为 5 个半卷，在此段导爆索上每隔 30 cm 捆绑上半卷药。导爆索一侧垫铺一条竹片，装药时，将竹片侧靠于岩侧，而使炸药卷朝向开挖侧。

3.3.4. 起爆网路

为了保障控制爆破效果，浅孔和深孔采用的起爆器材为普通毫秒导爆管雷管或数码电子雷管逐孔分段延时微差控制爆破技术。

主爆区深孔炮主要采用数码电子雷管逐孔或斜浅起爆网路。孔内雷管时差设计在 50 毫秒进行逐孔起爆。

爆破起爆网路均采用数码电子雷管逐个炮孔起爆，每排复始；浅孔爆破采取孔内延期，每排分段爆破，前排先响，后排次之爆破的原则进行逐段起爆。浅孔和深孔微差控制爆破起爆网路如图 6 所示。

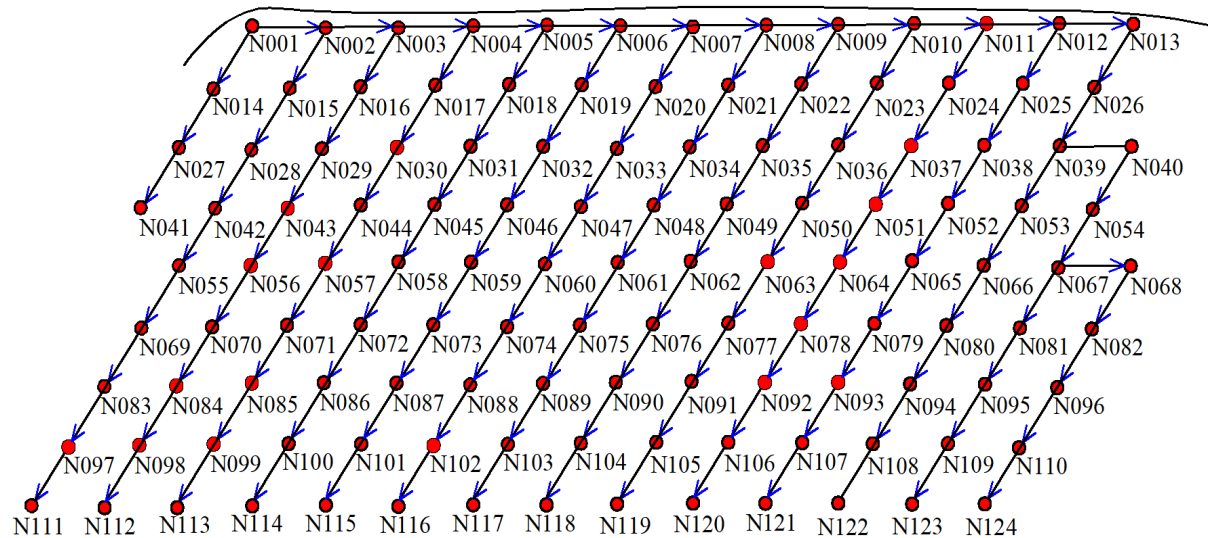


Figure 6. Initiation network diagram
图 6. 起爆网路图

3.3.5. 微差爆破施工

由于爆破区域周围建筑物较多，且距离较近，为确保在有效控制爆破振动和其它爆破有害效应下安全施工，爆破采用深浅孔爆破和预裂微差爆破相结合的方式进行施工，具体方案如下：

1) 高边坡区域、深基坑周边轮廓及开挖轮廓线 10 m 以内区域，为了保证开挖岩体的稳定，采用预裂微差爆破方式进行施工，钻孔方向与开挖区坡比一致。

2) 距离碧江区环北街道—环东路及周边民房 20 m 范围内，采用机械破碎开挖。

3) 距离碧江区环北街道—环东路及周边民房 50 m 范围外的中间区域，采用深孔爆破方式；自上而下分层钻爆，视地形和岩体情况决定爆破抵抗线方向。

4) 临近碧江区环北街道—环东路及周边民房 $20\text{ m} > R > 50\text{ m}$ 范围内爆破时，采用浅孔控制爆破施工，用 1.4 m^3 的空压机供气，需用 38~42 mm 的钻头打眼，每个炮眼打 1.5 m 深；该爆破区域有单独的孤石，爆破不集中，需单独起爆或几个起爆，每起起爆要覆盖数张胶皮以防止飞石，做好相应的安全措施。

5) 对各分层台阶上的岩石爆破破碎程度的要求：“碎而不抛”或“碎而不散”甚至“宁裂勿飞”，爆、挖、装运过程预防和控制滚石和边坡坍塌。

6) 采用普通毫秒导爆管雷管或数码电子雷管起爆网路起爆，装药结构连续装药结构；

7) 对飞石的控制采取了以下措施：

爆区周边 200 m 范围存在房屋，对每个炮孔进行直接防护，加强炮孔孔口和自由面的覆盖，防护方法如图 7 所示。

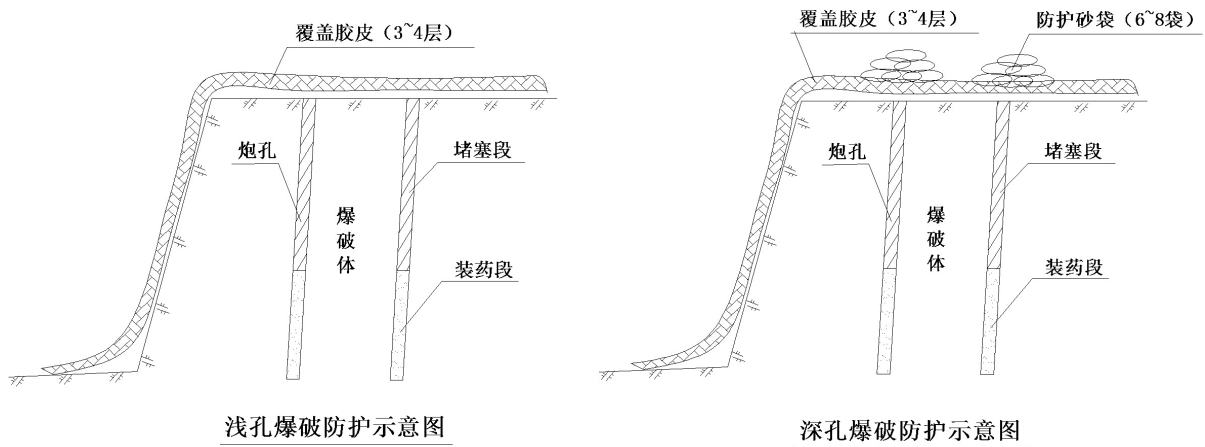


Figure 7. Protection drawing of flying stone in step blasting

图 7. 台阶爆破飞石防护图

靠近运营的公路的一侧，对每个炮孔孔口和自由面进行更加严密防护覆盖，覆盖材料采用旧轮胎编制的胶网，长 2 m，宽 2 m，每个炮孔上盖 3~5 层胶网，如图 8 所示。防护层经多次爆破冲击损坏后，换新的或修补完整后再用。

采用该基坑微差爆破施工方案，施工过程中控制了爆破振动、空气冲击波、噪音和飞石的危害效应在允许范围之内，爆破形成的振动波到达保护物处最大垂直速度均小于 2 cm/s ，限制了爆破抛掷方向，确保了对周边民房、碧江区环北街道—环东路及基础设施未造成破坏。特别是采用小台阶微差松动爆破方法，严格控制了爆破震动对边坡稳定性和周边民房、影响以及飞石对周围环境的危害，爆破效果很好。

4. 结论

以减小基坑爆破开挖震动和飞石对周边既有建筑物和道路的影响为目的，研究了基坑微差爆破开挖

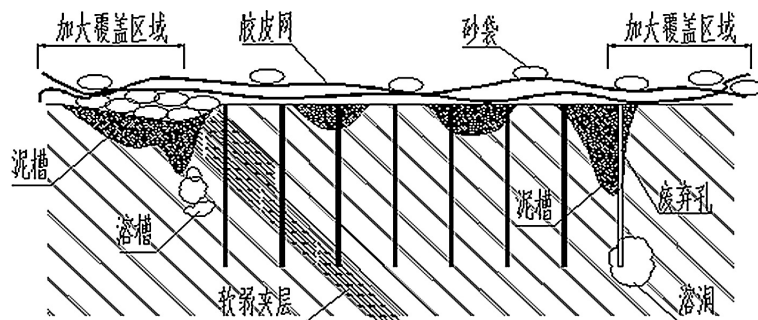


Figure 8. Schematic diagram of blasting flying stone protection in complex environment and special geological conditions

图 8. 复杂环境和特殊地质条件下爆破飞石防护示意图

施工方案，主要得出了以下结论：

- 1) 基坑采用了分区、分层开挖的方式，减小了对周边环境的影响，采用了覆盖方式控制飞石。
- 2) 基坑开挖选择采用了深浅孔爆破和预裂微差爆破相结合的方式进行，通过详细计算给出了各种爆破的主要设计参数，可为类似工程提供重要的参考。
- 3) 这种方案施工过程中控制了爆破振动、空气冲击波、噪音和飞石的危害效应在允许范围之内，爆破形成的振动波到达保护物处最大垂直速度均小于 2 cm/s，限制了爆破抛掷方向，确保了对周边民房、碧江区环北街道—环东路及基础设施未造成破坏。

基金项目

中铁七局集团委托项目(中铁七四芭蕉川硐(技术)字(2020) 001 号)资助。

参考文献

- [1] 王树民, 龙源. 微差爆破技术应用研究[C]//中国民用爆破器材学会. 中国民用爆破器材学会第六届年会论文集, 中国民用爆破器材学会: 爆破器材杂志编辑部, 2004: 241-246.
- [2] 曾庆伟. 微差爆破技术在露天矿试验研究[J]. 爆破, 2015, 32(4): 60-63+98.
- [3] 任永华. 隧道穿越既有建筑物爆破施工影响及方案优化[J]. 铁道建筑, 2018, 58(4): 61-65.
- [4] 李福清, 蒋耀港, 曾定波, 等. 不同基坑支撑拆除方式对比研究[J]. 爆破, 2011, 28(3): 17-20+55.
- [5] 蒋成荣, 唐春海, 蒙少明, 等. 复杂环境下基坑支撑梁爆破拆除[J]. 爆破, 2014, 31(2): 111-114.
- [6] 刘翼, 魏挺峰. 广州新电视塔基坑支撑梁爆破拆除[J]. 爆破, 2009, 26(4): 62-65.
- [7] 周予启, 任耀辉, 刘卫未, 等. 深圳平安金融中心超深基坑混凝土支撑拆除关键技术[J]. 施工技术, 2015, 44(1): 32-36.
- [8] 朱典, 唐红, 孔政, 等. 临江地区深大基坑工程环形撑拆除施工技术[J]. 施工技术, 2018, 47(3): 57-60.