

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2023.01.009

露天超深孔大抵抗线爆破技术研究

陈运成, 谢守冬, 颜世留, 李铁龙

(宏大爆破工程集团有限责任公司, 广州 510000)

摘要: 以清远市某矿山台阶爆破工程为研究背景, 工程施工中410平台有一超高台阶大抵抗线的特殊工作面需一次性爆破。该工作面台阶高30 m, 长80 m, 宽20 m, 台阶坡面角 $45^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。由于台阶高度大、坡面角小, 且坡面坡比上下不一, 造成了爆破施工技术难度大。爆破设计前首先使用RTK测量仪和全站仪对工作面和掌子面地形进行测量, 然后根据地形图对掌子面各位置的坡面角进行计算, 依据岩石性质、施工经验和钻机类型, 确定爆破单耗和钻孔直径, 综合上述结果再对前排炮孔的底盘抵抗线、钻孔倾角、孔深、孔距进行设计, 同理依次对后排炮孔的抵抗线、钻孔倾角、孔深、孔距、排距进行设计。孔网参数确定后, 根据各排炮孔抵抗线变化规律、各排孔单孔负担体积、爆破单耗和爆破作用均匀原则依次设计各排炮孔的装药结构, 最后根据岩石走向和被保护对象的抗震要求, 使用矿山软件3Dmine对起爆网路进行设计。施工过程中对布孔、孔深测量、钻孔、装药、网路连接等重点施工环节进行严格控制, 爆破后取得了良好效果。

关键词: 高台阶; 大抵抗线; 变坡比; 爆破设计

中图分类号: TD235 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2023)01-0062-07

Open-pit Blasting Technology Research on Super Deep Hole and Large Resistance Line

CHEN Yun-cheng, XIE Shou-dong, YAN Shi-liu, LI Tie-long

(Hongda Blasting Engineering Group Co., Ltd., Guangzhou 510000, China)

Abstract: There was a special working face with an ultra-high bench and a large resistance at the 410 platform of a mine in Qingyuan city, which required one-time blasting. This working face had a bench height of 30m, a length of 80 m, and a face angle of $45^{\circ} \sim 80^{\circ}$. Due to the large bench height, small face angle, and the different face angles of the upper and lower parts, it was difficult to conduct the blasting construction. Before blasting design, the RTK measuring instrument and total station were used to measure the topography of the detailed working face, and then calculate the slope angle of each position of the face according to the topographic map. According to the rock properties, the construction experience and the drilling rig type, the powder factor and blast hole diameter were determined. Based on the above results, the toe burden, drilling angle, depth and spacing of the first row of blast holes were then designed. Similarly, the burden, drilling angle, depth, spacing of the following rows of holes were also determined. After the hole parameters were determined, the charging structure was designed according to the burden of each row of holes, the rock volume of each hole, powder factor, and the principle of uniform blasting action. Finally, the initiation network was designed by the software of 3Dmine based on the direction of rock movement and the earthquake-proof requirements of the protected objects. During the construction process, the key links such as hole layout, hole depth measurement, drilling, charging, and network connection were strictly controlled, and positive results were obtained after blasting.

收稿日期: 2022-09-19

作者简介: 陈运成(1991-), 男, 中级爆破工程师、学士, 从事露天矿山爆破施工, (E-mail) 563618010@qq.com。

Key words: high bench; large resistance line; variable face angle; blasting design

随着砂石骨料行业的快速发展,对砂石矿山开采的要求也越来越高,矿山开采过程中受地形、地质以及周边环境等因素的影响,施工难度也逐步增大,这就要求有更为精细的控制爆破,确保爆破效果好及施工安全。

针对抵抗线大、台阶高度大,国内很多爆破工作者采用打倾斜孔、加密炮孔、使用高威力炸药的方法,取得了良好的爆破效果。但对于变坡比、大抵抗线的台阶爆破施工技术,目前暂无相关的参考文献。

本文以清远市清新区某石场一高台阶、边坡比、大抵抗线的待爆工作面为研究对象,依据露天台阶爆破的破碎机理^[1]、爆破漏斗理论和相关施工经验进行了详细设计^[2,3],通过爆破设计、施工,从各方面对高台阶大抵抗线爆破技术进行了详细的阐述^[4]。

1 工程概况

清远市清新区某石场为一大型露天采石场,本次爆破工作面位于矿区410平台,台阶高度30 m,台阶上部15 m坡面角为45°,下部15 m坡面角为80°,炮区长80 m、宽20 m,待爆岩石为硬度系数 $f=10\sim 12$ 的变质砂岩,岩层节理较为发育,爆区侧前方100 m有一钢筋混凝土结构的岩石破碎生产线,除此外,炮区周边300 m内无需保护的其他建筑设施。待爆作业面如图1所示,其侧面剖面图如图2所示。



图1 待爆作业面

Fig. 1 The working platform to be blasted

2 难点分析

(1)待爆台阶坡面角小、上下坡比不同,爆破设计复杂,炸药爆炸难以均匀作用于被爆岩体。

(2)待爆台阶高度大、钻孔精度较难控制。

(3)炮孔深度大、倾斜度大、施工难度大、工作

量大。

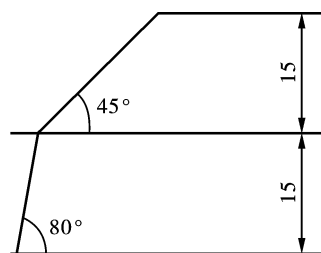


图2 待爆作业面侧面剖面图(单位:m)

Fig. 2 Sectional view of the platform to be blasted(unit:m)

3 施工方案

待爆台阶高度大、坡面角小、坡面上下坡比不同,且100 m内有重点保护对象,为使炸药爆炸尽可能均匀作用于被爆岩体同时避免爆破振动对保护对象带来损伤,决定采取深孔和浅孔结合、倾斜孔和垂直孔结合、耦合装药与不耦合装药结合、数码电子雷管逐孔起爆的工艺进行爆破设计施工。

第一排炮孔设计为倾斜浅孔^[5],主要作用于炮区前部上方18 m岩石,以解决台阶上层坡比小下层坡比大(抵抗线突变)的问题。第二排、第三排、第四排炮孔设计为孔距不同、钻孔倾角不同的深孔,后排为垂直孔,其中第二排孔底盘抵抗线较大,决定采取加密炮孔,加密孔底部装药上部堵塞,各排孔均使用反向起爆方式,以增大应力波和爆轰气体在孔底部的作用时间,保证克服底盘阻力。为解决各排倾斜孔由下往上抵抗线逐渐减小的问题,决定采取炮孔底部耦合装药上部不耦合装药的方法进行设计施工。同时为降低钻孔偏差对爆破效果的影响,决定保持单耗不变,采取缩小后排孔网参数、间隔装药的施工工艺。

4 爆破设计

4.1 设计原则

(1)单耗控制原则^[6]:为保证爆后达到预期效果,进行爆破设计时每排炮孔综合设计单耗控制在 0.45 kg/m^3 左右。

(2)克服底盘阻力原则:由于作业平台坡面角小、底盘抵抗线大,故在设计钻孔倾角、孔网参数和装药结构时应保证炸药爆炸足以克服底盘阻力。

(3)炸药爆炸作用均匀原则:在进行钻孔倾角、孔排距和装药结构设计时,应保证炸药爆炸作用均匀,爆后岩石破碎均匀。

(4) 爆破振动控制原则: 在进行最大单响药量和起爆网路设计时应保证爆破引起被保护对象的质点振动速度在安全允许范围内。

4.2 爆破参数设计

(1) 单响药量的确定

要保证爆破时爆区侧前方 100 m 处钢筋混凝土结构的岩石破碎生产线不受损伤, 关键是确定本次爆破的最大单响药量。根据《爆破安全规程》中建筑物地面质点振动速度允许标准的规定^[7], 确定该岩石破碎生产线安全振动速度为 8 cm/s。最大单响药量的计算公式

$$Q_{\max} = R^3 (v/K)^{3/\alpha}$$

式中: R 为爆源中心到建筑物的距离, m; Q_{\max} 为爆破最大单响药量, kg; v 为建筑物的质点振动安全允许速度, cm/s; K, α 为与爆破点至保护对象间的地质条件有关的系数和衰减系数, 查表取 $K = 150, \alpha = 1.5$ 。

将 $R_1 = 100$ m, $v_1 = 8$ cm/s 代入最大单响药量计算公式可得 $Q_{\max} = 2844$ kg。

(2) 主装药品种选择

由于炮区底盘抵抗线大, 同时炮区前部抵抗线变化大, 为保证爆破时可以较好地克服底盘阻力, 炸药爆炸作用均匀, 故主装药选择线装药密度为 18 kg/m 的混装乳化炸药和线装药密度为 12 kg/m 的 $\phi 110$ 乳化炸药以及线装药密度为 8 kg/m 的 $\phi 90$ 乳化炸药。

(3) 爆破单耗 q 、孔径 D 、台阶高度 H 及超深 h 的确定

根据本矿山施工经验和本次爆破作业特点, 决定本次爆破综合单耗取 $q = 0.45$ kg/m³。根据现有的钻孔设备, 确定孔径为 140 mm。根据现场实际情况和该矿山施工经验取 $H = 30$ m, 超深 $h = 2$ m。

(4) 抵抗线 W 的确定^[8]

抵抗线是影响本工程爆破效果的一个重要参数, 过大会造成根底多, 底部大块率高, 后冲拉裂作用大, 过小则不仅浪费炸药, 增大钻孔成本, 且岩块易抛散和产生飞石危害, 根据施工经验和现场实际情况确定前四排孔底部抵抗线大小分别为: $W_1 = 6.8$ m、 $W_2 = 9.7$ m、 $W_3 = 7.6$ m、 $W_4 = 5.7$ m, 各排抵抗线分布具体如图 3 所示。

(5) 钻孔倾角及孔深 L 的确定

由于作业面台阶高度大、坡面角小、上下坡面比不同, 为保证炸药尽可能均匀于待爆岩体, 决定前 4 排炮孔使用不同的钻孔倾角, 由前往后钻孔倾角逐步加大, 根据抵抗线计算得各排钻孔倾角, 其中第一排钻孔倾角 $\alpha_1 = 60^\circ$ 、第二排钻孔倾角 $\alpha_2 = 70^\circ$ 、第

三排钻孔倾角 $\alpha_3 = 80^\circ$ 、第四排钻孔倾角 $\alpha_4 = 85^\circ$, 最后三排为垂直孔, 即钻孔倾角 $\alpha = 90^\circ$ 各排炮孔剖面图如图 3 所示。

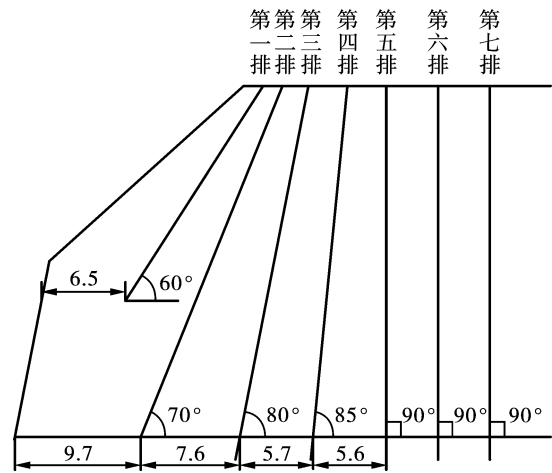


图 3 炮孔剖面图(单位:m)

Fig. 3 Sectional view of blast holes(unit:m)

由于待爆台阶上部 15 m 坡面角为 45° , 台阶下部 15 m 坡面角为 80° , 为解决台阶中部抵抗线突变问题, 故将第一排炮孔设计为钻孔倾角 60° 、平均孔深 21 m, 以克服台阶前方上部 18 m 的抵抗作用, 解决变坡比炸药爆炸作用不均匀的问题。

第二排以后的各排炮孔设计为深孔, 孔深 L 与台阶高度、超深和钻孔倾角有以下关系 $L = (H + h) \cdot \sin \alpha$, 根据该公式计算得出各排炮孔平均孔深, 具体如表 1 所示。

(6) 装药结构设计^[9] (堵塞长度(含间隔长度) L_2 及装药长度 L_1 的确定)

1) 第一排孔: 第一排炮孔主要克服台阶前方上部 18 m 的抵抗作用, 抵抗线由下往上逐渐减小, 故决定炮孔底部使用混装乳化炸药耦合装药, 中部使用 $\phi 110$ 乳化炸药不耦合装药, 上部使用 $\phi 90$ 乳化炸药不耦合装药, 顶部正常堵塞, 根据各段抵抗线大小、爆破漏斗原理及各品种炸药线装药密度确定各段装药长度 L_1 和堵塞长度 L_2 : $L_{1底} = 7$ m、 $L_{1中} = 3.0$ m、 $L_{1上} = 2.5$ m、 $L_2 = 8.5$ m, 具体装药结构示意图如图 4 所示。

2) 第二排孔: 第二排炮孔下部抵抗线较大, 且上下差异较大, 为保证克服底部阻力, 决定第二排孔每 2 个孔一组, 其中一个为加密孔, 根据第二排孔各装药段的作用范围确定加密孔底部 10 m 装药, 上部 24 m 正常堵塞, 以协助克服台阶前方底部 12 m 底盘阻力, 非加密孔下部使用混装乳化炸药耦合装药, 中部使用 $\phi 90$ 乳化炸药不耦合装药, 上部使用

$\phi 110$ 乳化炸药不耦合装药, 顶部正常堵塞, 根据各段抵抗线大小、爆破漏斗原理及各品种炸药线装药

密度决定各段装药长度 L_1 和堵塞长度 L_2 : $L_{1底} = 10 \text{ m}$ 、 $L_{1中} = 15.5 \text{ m}$ 、 $L_{1上} = 4.5 \text{ m}$ 、 $L_2 = 4.0 \text{ m}$ 。

表 1 各排孔爆破参数表

Table 1 Blasting parameters of each row of holes

爆破参数	第一排	第二排	第二排(加密)	第三排	第四排	第五排	第六排	第七排
台阶高度/m	18	30	30	30	30	30	30	30
钻孔倾角/ $^\circ$	60	70	70	80	85	90	90	90
炮孔直径 d/mm	140	140	140	140	140	140	140	140
底盘抵抗线 W_1/m	6.8	9.7	9.7	7.6	5.7	5.6		
炮孔超深 h/m	0	2	2	2	2	2	2	2
炮孔深度 L/m	21	34	34	32.5	32.1	32	32	32
堵塞长度 L_1/m	8.5	4	24	7.5	11.1	11	12.5	12.5
装药长度 L_2/m	12.5	30	10	25	21	21	19.5	19.5
单孔装药量 Q/kg	182	358	180	336	270	270	351	351
综合单耗 $q/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$				0.45				
炮孔间距 a/m	5	3	3	4	5	5	6.3	6.3
炮孔排距 b/m	1.5	1.5	1.5	2	3	3	4.2	4.2

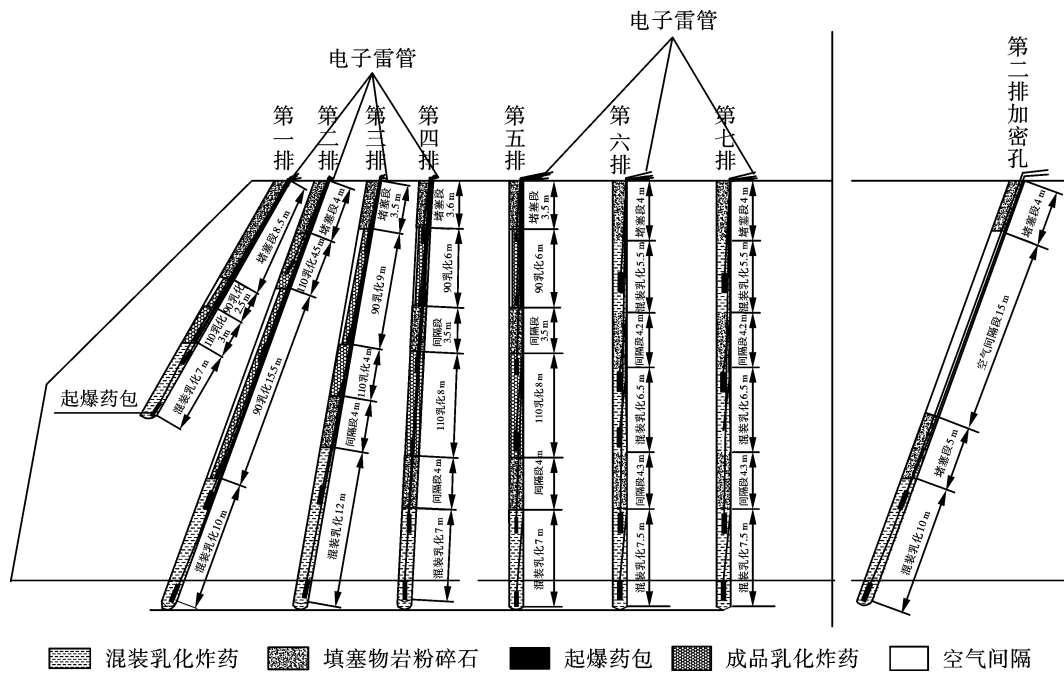


图 4 各排孔装药结构示意图

Fig. 4 Schematic diagram of charge structure of each row of holes

3) 第三排孔: 根据抵抗线分布、爆破漏斗原理及各品种炸药线装药密度, 决定第三排孔采取间隔装药, 底部 12 m 使用混装乳化炸药耦合装药, 间隔 4 m 后中部 4 m 使用 $\phi 110$ 乳化炸药不耦合装药, 上部 9 m 使用 $\phi 90$ 乳化炸药不耦合装药, 顶部 3.5 m 正常堵塞。

4) 第四、五排孔: 根据抵抗线分布、爆破漏斗原理及各品种炸药线装药密度, 决定采取间隔装药, 底

部 7 m 使用混装乳化炸药耦合装药, 间隔 4 m 后中部 8 m 使用 $\phi 110$ 乳化炸药不耦合装药, 然后再间隔 3.5 m 后上部 6 m 使用 $\phi 90$ 乳化炸药不耦合装药, 顶部 3.5 m 正常堵塞。

5) 第六、七排孔: 此两排孔为垂直孔上下抵抗线相同, 根据炸药爆炸作用均匀原则决定底部 7.5 m 使用混装乳化炸药耦合装药, 间隔 4.3 m 后中部 6.5 m 使用混装乳化炸药耦合装药, 然后再间

隔 4.2 m 后上部 5.5 m 使用混装乳化炸药耦合装药,顶部 4 m 正常堵塞。

各排炮孔间隔装药时均使用岩粉进行间隔。

(7) 孔距 a 、排距 b 的确定

孔距 a 和排距 b 有如下关系: $a = mb$, 其中 m 是炮孔密集系数

1) 第一排孔: 为保证钻机钻孔安全, 决定取第一排孔与眉线距离 $b = 1.5$ m; 根据炮孔底部抵抗线、单耗和单孔装药量等计算得第一排孔距 $a_1 = 5$ m。

2) 第二、三排孔: 第二、三排孔取炮孔密集系数 $m = 2$, 根据待爆岩石体积、单耗和单孔装药量等计算得第二排孔距 $a_2 = 3$ m、排距 $b_2 = 1.5$ m, 第三排孔距 $a_3 = 4$ m、排距 $b_3 = 2$ m。

3) 第四、五排孔: 第四、五排孔取炮孔密集系数 $m = 1.6$, 根据待爆岩石体积、单耗和单孔装药量等计算得第四排孔距 $a_4 = 5$ m、排距 $b_4 = 3$ m, 第五排孔距 $a_5 = 5$ m、排距 $b_5 = 3$ m。

4) 第六、七排孔: 第六、七排孔取炮孔密集系数 $m = 1.5$, 单孔装药量 Q 、台阶高度 H 、孔距 a 、排距 b 及炸药单耗 q 的关系为: $Q = qabH$, 将 $a = mb$ 代入上式, 得

$$a = \sqrt{\frac{mQ}{qH}}, b = \sqrt{\frac{Q}{mqH}}$$

炮孔平面布置图如图 5 所示, 各排孔爆破参数如表 1 所示。

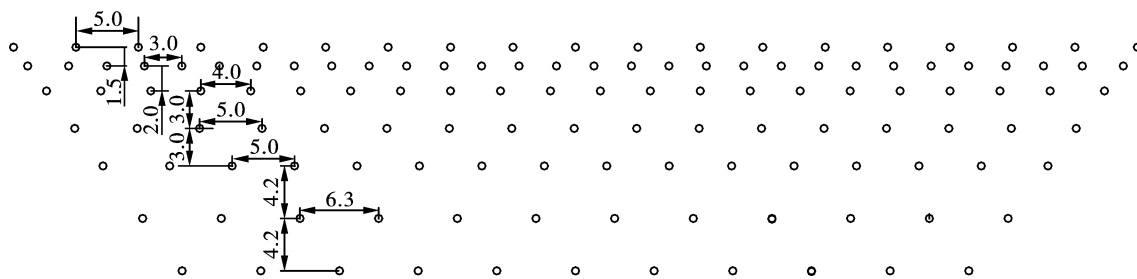


图 5 炮孔平面布置图(单位:m)

Fig. 5 Layout of blast holes(unit:m)

4.3 起爆网路设计与分析

(1) 起爆网路设计

由于本次爆破总药量较大, $Q_{\text{总}} = 35\ 900$ kg, 为控制爆破振动改善爆破效果, 决定本次起爆网路采用逐孔起爆^[10]。根据孔距大小将第一排至第七排

孔孔间延期时间分别设计为: 27 ms、17 ms、21 ms、31 ms、31 ms、34 ms、34 ms, 根据排距和抵抗线大小将第一排至第七排孔排间延期时间分别设计为 120 ms、130 ms、120 ms、110 ms、110 ms、110 ms, 具体起爆网路设计图如图 6 所示。

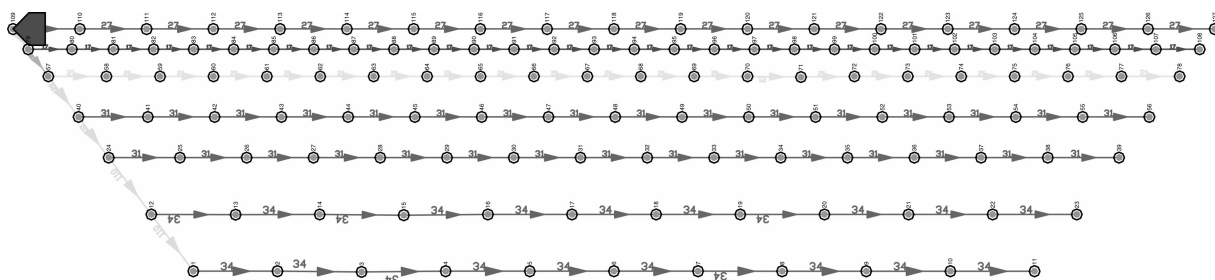


图 6 起爆网路图

Fig. 6 Initiation network diagram

(2) 起爆时间分析

将炮孔数据导入矿山设计软件 3Dmine, 根据起爆网路设计在 3Dmine 中进行起爆动画模拟和起爆时间分析, 根据起爆网路模拟动画判断本网路起爆顺序合理, 根据起爆时间分析图可看出起爆过程中全炮区持续时间 8 ms 内最多同响孔数为 4 个, 即 8 ms 内最大单响药量不超过 1400 kg, 远小于允许

的最大单响药量。起爆时间分析图如图 7 所示。

5 关键施工工序过程控制

(1) 布孔

根据现场实际情况和布孔设计图进行测量布孔, 布孔由第一排依次向后进行, 特殊位置根据实际情况做出调整, 孔位确定后, 使用 RTK 测量仪对每

个炮孔进行测量, 根据台阶高度、超深和钻孔倾角计算出每个孔的孔深, 如表 2 所示, 最后记录每个孔的

孔深、钻孔倾角并将该信息在每个孔位处进行标注, 以便于钻机钻孔。

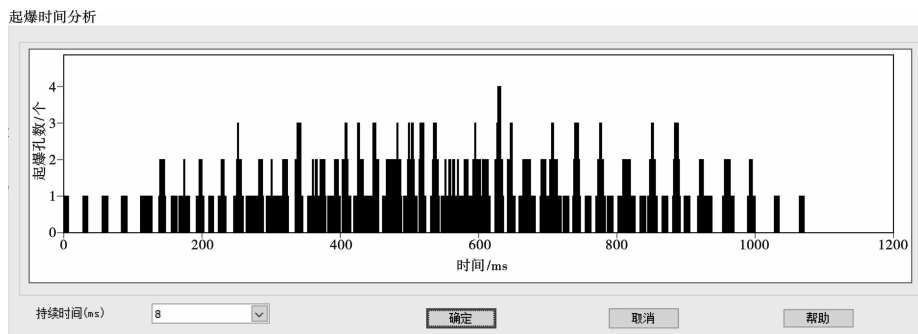


图 7 起爆时间分析图

Fig. 7 Analysis of initiation time

(2) 钻孔

钻孔施工前根据钻孔设计对钻机手进行详细技术交底, 钻孔过程中利用角度仪对钻孔倾角严格控制, 确保钻孔精度符合设计要求。

(3) 装药与堵塞

装药和堵塞施工过程中严格按照设计进行施工。首先, 每孔混装乳化炸药装药完成后, 必须待孔内混装乳化炸药发泡后再进行堵塞作业, 且堵塞前采取措施防止孔内上层混装乳化炸药与岩粉混合, 防止孔内上层混装乳化炸药失效; 其次, $\phi 110$ 乳化炸药和 $\phi 90$ 乳化炸药装药施工时必须采取吊装的方式进行施工, 以保证线装药密度符合设计要求; 最后, 堵塞作业时, 堵塞材料必须符合《爆破安全规程》要求, 以保证堵塞质量。

6 爆破效果分析

本次爆破作业各工序施工严格按照爆破设计进行, 施工中未出现异常情况, 爆破前在炮区侧面距离炮区边缘 100 m 处安装一组爆破测振仪; 爆破后, 测得爆破振动速度如表 2。

表 2 测点爆破振动速度

Table 2 Blasting vibration velocity of measuring points

编号	距爆源中心 水平距离/m	与爆破点 高差/m	质点矢量振动 速度/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)
1	100	8	5.572

爆破振动速度在安全范围之内, 爆破过程未出现爆破飞散物, 爆后爆堆形状规整, 表面块度均匀、无明显大块, 达到标准抛掷爆破效果, 爆堆松散度较好, 无后翻和侧冲, 适宜挖运, 爆后效果如图 8 所示, 挖装后效果图如图 9 所示。



图 8 爆后效果图

Fig. 8 Blasting effect



图 9 挖装后效果图

Fig. 9 Photos after excavation and loading

7 结论

针对台阶高度大、坡面角度小, 且坡面坡比上下相差大等技术难点, 围绕钻孔倾角、装药结构和孔网参数设计等关键工序进行系统研究计算, 得出以下结论:

(1) 采用倾斜浅孔和倾斜深孔相结合, 合理设计孔网参数和装药结构可有效解决台阶上层坡比小、下层坡比大的技术难题。

(2)根据单耗控制原则,加密炮孔,合理设计钻孔倾角、装药结构可有效解决底盘抵抗线过大问题。

(3)根据单耗控制和炸药爆炸作用均匀原则,采取缩小孔网参数、间隔装药的施工工艺可明显改善爆破效果,同时降低高台阶因钻孔偏差对爆破效果的影响。

通过本次爆破参数设计、施工及爆破后效果分析可得,本次爆破设计与施工比较成功,可为类似爆破工程提供参考。

参考文献 (References)

- [1] 沈大文,黄维进,叶元寿.孔网参数测量技术在矿山爆破中的应用[J].爆破,2016,33(4):78-83.
- [1] SHEN Da-wen, HUANG Wei-jin, YE Yuan-shou. Application of hole mesh parameter measurement technology in mine blasting[J]. Blasting, 2016, 33(4): 78-83. (in Chinese)
- [2] 汪旭光.爆破设计与施工[M].北京:冶金工业出版社,2011.
- [3] 郑炳旭.中国爆破新技术Ⅲ[M].北京:冶金工业出版社,2012.
- [4] 陈浩,鲁文岐,陈需.大抵抗线抛掷爆破技术研究[J].石油石化物资采购,2021(29):81-83.
- [4] CHEN Hao, LU Wen-qi, CHEN Xu. Research on throwing blasting technology of great resistance line[J]. Procurement of Petroleum and Petrochemical Materials, 2021(29):81-83. (in Chinese)
- [5] 卢广纪.露天矿山倾斜单排孔爆破试验技术应用[J].建筑工程技术与设计,2021(32):308-309.
- [5] LU Guang-ji. Application of inclined single-row hole blasting test technology in open-pit mines[J]. Construction Engineering Technology and Design, 2021(32):308-309. (in Chinese)
- [6] 李辰发,张中雷,何勇芳,等.大型露天深孔台阶爆破炸药单耗选取的影响因素[J].工程爆破,2019,25(3):17-21.
- [6] LI Chen-fa, ZHANG Zhong-lei, HE Yong-fang, et al. Factors influencing the selection of explosive unit consumption for large-scale open-air deep-hole step blasting[J]. Engineering Blasting, 2019, 25(3): 17-21. (in Chinese)
- [7] 中华人名共和国国家标准. GB6722—2014 爆破安全规程[S].北京:中国标准出版社,2014.
- [8] 贾永强,顾春雷,师文强.露天矿高台阶爆破克服大抵抗线的方法及应用[J].中国矿业,2020,29(8):138-142.
- [8] JIA Yong-qiang, GU Chun-lei, SHI Wen-qiang. Method and application of high-step blasting to overcome large resistance line in open pit mine[J]. China Mining Industry, 2020, 29(8): 138-142. (in Chinese)
- [9] 康永全,薛里,孙崔源,等.间隔不耦合装药结构形式及特点分析[J].工程爆破,2020,26(5):62-67.
- [9] KANG Yong-quan, XUE Li, SUN Cui-yuan, et al. Analysis of the structure and characteristics of spaced uncoupled charges[J]. Engineering Blasting, 2020, 26(5): 62-67. (in Chinese)
- [10] 李峰.台阶爆破逐孔起爆网路的设计与应用[J].爆破器材,2021,50(2):58-64.
- [10] LI Feng. Design and application of hole-by-hole initiation network for step blasting[J]. Blasting Equipment, 2021, 50(2):58-64. (in Chinese)

英文编辑:黄刚

(上接第56页)

- [13] 王永茂.镜铁山铁矿桦树沟矿区合理产量分析[J].金属矿山,2000(11):14-16.
- [13] WANG Yong-mao. Analysis of the rational production of Huashugou Mining Area in Jingtieshan Iron Mine[J]. Metal Mine, 2000(11): 14-16. (in Chinese)
- [14] 康永全,薛里,孙崔源.间隔不耦合装药结构形式及特点分析[J].工程爆破,2020,26(5):62-67.
- [14] KANG Yong-quan, XU Li, SHUN Chui-yuan. Structural form and and characteristic analysis of charge structure wite deck decoupling [J]. Engineering Blasting, 2020, 26(5): 62-67. (in Chinese)
- [15] 高腾飞.露天矿山空气间隔装药结构研究[D].昆明:昆明理工大学,2016.
- [15] GAO Teng-fei. Research on the structure of air gap charge in open-pit mine[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2016. (in Chinese)
- [16] 郭可伟,陈继府,史维升.空气间隔器在深孔台阶爆破中的应用[J].爆破器材,2013,42(2):44-47.
- [16] GUO Ke-wei, CHEN Ji-fu, SHI Wei-sheng. The application of air interval charge in deep hole blasting[J]. Explosive Materials, 2013, 42(2): 44-47. (in Chinese)
- [17] 王凯,张智宇,高腾飞.某露天采场深孔台阶爆破空气间隔装药的应用[J].爆破,2018,35(1):80-85.
- [17] WANG Kai, ZHANG Zhi-yu, GAO Teng-fei. Application of air interval charge in deep hole bench blasting in open mine [J]. Blasting, 2018, 35(1): 80-85. (in Chinese)

英文编辑:陈东方