

# 硬质岩石隧洞开挖爆破设计方案优化

陈长贵, 杨玉银, 黄浩, 刘志辉, 张永强, 张建鹏, 廖志华

(中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 610066)

**摘要:**为了解决乌干达卡鲁玛尾水隧洞10#施工支洞钻孔利用率低、进度滞后、光爆效果差等问题,组织爆破工程技术人员深入施工现场,通过查找现有爆破方案存在的问题,对现有爆破方案进行了优化,提出了“分部楔形掏槽”的概念,并与水平V形掌子面相结合,成功地将硬质岩石开挖爆破钻孔利用率从79.4%提高到98.5%以上,将平均单循环进尺从2.62 m提高到3.25 m,有效地加快了开挖进度、降低了炸药、雷管单耗;通过调整光爆参数、装药结构,将光面爆破半孔率提高到90%以上。

**关键词:**硬质岩石;隧洞爆破;钻孔利用率;单循环进尺;炸药单耗;光面爆破;卡鲁玛尾水隧洞

中图分类号:TV7;TV554;TV554+.1

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2016)01-0083-06

## 1 概述

对于硬质岩石隧洞开挖,采用楔形掏槽,受开挖断面及岩石硬度限制,很难提高单循环进尺<sup>[1]</sup>。但楔形掏槽具有掏槽孔数少、掏槽体积大、炸药单耗低等优点,因此,楔形掏槽仍然在很多大中型断面隧洞钻爆法开挖中采用。如何在硬质岩石隧洞开挖中采用楔形掏槽的前提下进一步提高硬质岩石开挖单循环进尺、降低开挖成本,加快工程进度成为隧洞开挖爆破工程技术人员的主要课题。在乌干达卡鲁玛水电站尾水隧洞10#施工支洞开挖中,通过采用分部楔形掏槽与水平V形掌子面相结合的爆破方法,成功地解决了这一爆破技术难题,为同类隧洞爆破作业提供了有益的经验。

## 2 工程概况及爆破施工中存在的问题

### 2.1 工程概况

卡鲁玛水电站尾水隧洞工程位于乌干达境内的卡尔扬东哥地区卡鲁玛村,距离乌干达首都坎帕拉270 km,距离古芦75 km。尾水隧洞共两条:1#尾水洞长8 694.815 m,2#尾水洞长8 599.442 m,开挖断面呈平底马蹄形,开挖洞断面宽13.7~15.3 m,高13.55~15.15 m,隧洞总开挖方量为295.8万m<sup>3</sup>、土石方明挖147.9万m<sup>3</sup>、混凝土衬砌38.3万m<sup>3</sup>,总投资5.9亿美元,是目前世界上规模最大的尾水隧洞工程。

10#施工支洞与1#、2#尾水洞分别相交于TRT(1)8+530.313、TRT(2)8+434.94,全长

416.32 m,底坡坡比为11.58%。根据围岩出露情况及设计地质工程师现场勘察,施工支洞0+080~0+232.8洞段按照Ⅲ类围岩开挖,围岩以弱风化花岗片麻岩为主,坚固系数 $f=6\sim 8$ ,开挖断面呈城门洞形,宽8.24 m、高7.38 m;0+232.8~0+416.32洞段按照Ⅱ类围岩开挖,围岩以弱~微风化花岗片麻岩为主,坚固系数 $f=9\sim 10$ ,属坚硬岩石,开挖断面呈城门洞形,宽8.16 m、高7.38 m。

### 2.2 爆破施工中存在的问题

(1)钻孔利用率低,工期滞后。10#施工支洞变为Ⅲ类围岩后,随着围岩坚硬程度的提高,自支洞桩号0+120开始,周边孔、崩落孔等主爆孔平均钻孔深度为3.3 m,而单循环进尺仅有2.55~2.7 m。自2015年3月26日至4月16日,0+120~0+232.8洞段开挖进尺为112.8 m,共计进行了43个循环,平均单循环进尺为2.62 m,平均钻孔利用率仅为79.4%,平均日进尺仅为5.37 m。以该施工进度,按照工期2015年5月15日打到桩号0+416.32进入尾水洞1#主洞至少需要35 d,而剩余工期仅有29 d,如果仍按照计划工期完成,则每天的日进尺必须达到6.3 m以上。因此,提高钻孔利用率、从而提高单循环进尺成为当务之急。

(2)光面爆破半孔率偏低,平整度不好。从已开挖的Ⅲ类围岩洞段看,光面爆破半孔率仅为60%左右,并且两半孔之间平整度不好,凹进、突出比较明显。

收稿日期:2015-07-08

### 3 原因分析及优化改进思路

#### 3.1 原因分析

10#支洞是卡鲁玛尾水隧洞三条施工支洞之一,开工最晚、长度最短,是第一个进入主洞的施工支洞,其能否按时进入1#主洞完成节点目标关系到公司的履约能力和信誉以及项目管理团队的水平,因此,项目部管理团队高度重视,专门成立了课题小组,对现有爆破设计方案进行了分析、研究,探讨了所存在的问题和加快施工进度可行性。

##### (1) 钻孔利用率低原因分析。

2015年4月18日上午,项目部组织爆破工程技术人员深入10#支洞开挖掌子面,与爆破工、钻工一起对目前正在实际应用的爆破设计进行了分析,发现正在应用的爆破设计存在以下问题:①掌子面形状为中间向外突出,两侧凹进,不利于提高钻孔利用率;②掏槽效果不好,实际掏槽深度不到位,造成掌子面中间向外突出,两侧崩落孔产生大量残孔;③掏槽范围偏小,掏槽空腔小,不利于提高钻孔利用率<sup>[2-3]</sup>;④围岩比较坚硬,主掏槽孔的孔间距为35~40 cm,偏大,两孔间的炸药爆炸力不足以彻底剪断、抛出两孔间的岩体;⑤相邻两排掏槽孔的钻孔倾角控制不好,造成两排掏槽孔孔底间距偏大。从孔底残孔情况看,掏槽孔的孔底间距有的达到1.1~1.3 m。由以上几方面原因综合作用造成10#支洞钻孔利用率偏低。

##### (2) 光爆效果差原因分析。

经现场察看得知,10#支洞光爆效果差,主要存在以下问题:①周边光爆孔间距偏大,多为65~70 cm,造成两孔间出现欠挖、超挖现象,平整度不好;②线装药密度偏大,孔内装药量达到350~400 g/m,造成半孔率偏低;③工地无法买到竹片等制作光爆药串用的材料,装药结构不合理,局部药量过大,造成光爆保留半孔存在较大裂隙。

#### 3.2 优化改进思路

##### 3.2.1 钻孔利用率低的优化改进思路

(1) 调整掌子面形状。主体思路是采用水平V形掌子面<sup>[4]</sup>,尽可能使掌子面中部向内凹进,两侧向外突出,使掌子面在水平剖面上呈V字形;鉴于岩石完整性较好、硬度较高,掌子面上部可呈倒坡状。在岩石坚硬、较完整的条件下,使掌子面在水平剖面上呈V字形,顶部呈倒坡状,可以有效提高隧洞开挖的钻孔利用率。

(2) 改变掏槽布置方式。将常规的集中布置掏槽孔方式改变为分部掏槽方式:分为上部掏槽、下部掏槽两部分,在尽量减少掏槽孔的情况下,有效增大掏槽范围,扩大掏槽空腔,从而减少由于爆破空腔过小产生的夹制作用。

(3) 调整主掏槽孔的孔间距离。鉴于岩石较硬、完整性较好且存在一定的柔性,主掏槽孔的孔间距不宜过大,可初步将主掏槽孔间距调整为25 cm左右,以确保两孔间炸药爆炸能够彻底剪断两孔间的岩体;必要时主掏槽孔间距可选用20 cm。

(4) 控制相邻两排掏槽孔间的孔底间距。在采用多排楔形掏槽的情况下,应确保相邻两排掏槽孔的孔底抵抗线不大于85 cm,以70~85 cm为宜。

(5) 加强掏槽孔的填塞。充分认识掏槽孔孔口填塞的重要性,确保掏槽孔的孔口填塞长度和密实性。

##### 3.2.2 光面爆破的优化改进思路

(1) 调整周边光爆孔的孔距。根据围岩坚硬程度、完整性以及8#、9#施工支洞光爆效果情况调整周边光爆孔的孔距。

(2) 调整光爆孔内的线装药密度。根据8#、9#施工支洞同类围岩光爆效果及线装药密度情况,适当降低线装药密度。

(3) 调整光爆孔内的装药结构。由于没有绑扎光爆药串用的竹片,药卷与导爆索处于脱离状态,全部采用 $\varphi 25$ 药卷间隔装药且脱开的最大距离可能达到12 mm,不利于 $\varphi 25$ 药卷的稳定爆轰。为了提高光爆孔内炸药爆轰的稳定性,采用 $\varphi 32$ 药卷、 $\varphi 25$ 药卷间隔使用,以增加光爆孔内间隔药卷爆轰的稳定性。

### 4 爆破设计方案的优化

通过对10#支洞正在使用的爆破设计及爆破掌子面进行分析,最终确定了优化后的爆破设计方案:鉴于围岩坚硬、完整性较好,采用YT28手风钻全断面开挖,掌子面形状采用水平V形掌子面<sup>[4]</sup>;掏槽方式采用分部楔形掏槽,周边开挖轮廓控制采用光面爆破,钻孔直径为42 mm,设计周边孔、崩落孔的平均钻孔深度取 $L=3.3$  m。

#### 4.1 爆破器材

(1) 炸药:崩落孔、掏槽孔均选用 $\varphi 32$ 乳化炸药,重300 g,长30 cm;周边光爆孔选用 $\varphi 32$ 、 $\varphi 25$ 乳化炸药混合装药,其中 $\varphi 25$ 乳化炸药重150 g,

长26 cm。

(2)导爆索:选用塑料导爆索,炸药以太安为药芯,外观呈红色,导爆索直径为5.4 mm;导爆索装药量为10 g/m;爆速不小于 $6 \times 10^3$  m/s。

(3)雷管:孔内及联炮雷管选用1~11段非电毫秒雷管;起爆雷管选用8#普通工业电雷管。

#### 4.2 掌子面设计

对于硬质岩石提高钻孔利用率,在一定程度上讲,掌子面的形状是关键。常规的平齐掌子面或中部向外突出的掌子面均不利于提高钻孔利用率,而中部适当凹进的掌子面在一定程度上可以有效提高钻孔利用率。根据以往成功经验,掌子面可采用水平V形掌子面(图1),其基本作用原理为:在周边孔、崩落孔等钻孔深度相同的条件下,前排孔爆破为后排孔创造的临空面深度大大超过了后排孔的孔底,为后排孔爆破创造了较好的临空面<sup>[4]</sup>。根据文献[4],水平V形掌子面要素确定为:

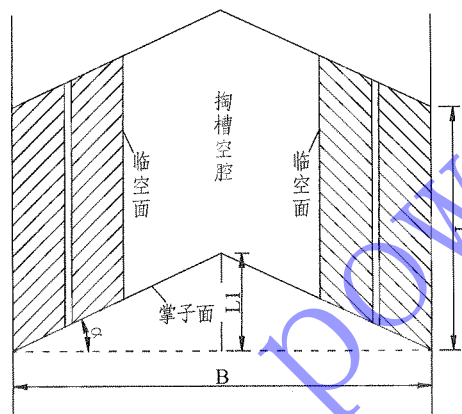


图1 水平V形掌子面要素及作用原理示意图

(1)隧洞开挖跨度  $B$ :  $B = 8.16$  m;

(2)掌子面内斜角  $\alpha_{斜}$ :  $\alpha_{斜}$  值的选取与掏槽方式、岩石硬度、钻孔深度有关;当采用楔形掏槽时,  $\alpha_{斜}$  可取  $25^\circ \sim 45^\circ$ <sup>[4]</sup>, 10#支洞初次可选取  $\alpha_{斜} = 25^\circ$ , 再根据爆破效果进行调整;

(3)掌子面内斜深度  $L_1$ <sup>[4]</sup>:  $L_1 = (B/2) \text{tg} \alpha_{斜} = (8.16/2) \text{tg} 25^\circ = 1.9$  (m)。

#### 4.3 掏槽设计

在隧洞开挖爆破中,掏槽方式、掏槽效果是决定单循环进尺及钻孔利用率的最主要因素之一。掏槽效果好、钻孔利用率高,单循环进尺自然会提高,因此,选定正确的掏槽方式至关重要。实践表

明:对于大中型断面,楔形掏槽比直孔掏槽炸药单耗率低,开挖成本也相对较低;但对于硬质岩石,楔形掏槽的掏槽效果不如直孔掏槽。项目部基于开挖成本考虑,决定仍然继续采用楔形掏槽方式。因此,如何提高楔形掏槽的钻孔利用率、改善掏槽爆破效果就成为必须解决的关键技术问题。通过对楔形掏槽的基本作用原理进行分析并结合文献[3-4], 10#支洞在接下来的开挖中主要采取了以下措施并取得了令人满意的掏槽效果。

##### 4.3.1 采用分部楔形掏槽

对于传统、常规的楔形掏槽,均采用集中布置形式,掏槽面积相对较小,掏槽空腔(临空面)亦较小,不利于崩落孔爆破时克服孔底及环向夹制作用,爆破困难,单位炸药消耗量偏高;而适当增大掏槽面积,形成较深且环向面积较大的掏槽空腔,可以有效减小周围崩落孔爆破时孔底和环向的夹制作用。但在增大掏槽面积的同时,应尽量减少掏槽孔的钻孔数量,因此,10#支洞在接下来的开挖中采用了图2(a)所示的分部楔形掏槽,从而改变了传统楔形掏槽集中布置的方式,将掏槽分为上部楔形掏槽和下部楔形掏槽两部分,中间间隔80 cm。这样实施,既扩大了掏槽面积,又尽可能地减少了掏槽孔钻孔的数量。

##### 4.3.2 外掏槽设计

外掏槽是整个楔形掏槽设计的核心部分,必须确保外掏槽起爆后能够将内掏槽爆破后的楔形体剩余部分沿外掏槽孔连线彻底剪断、抛出,因此,外掏槽孔间距、钻孔倾角均不宜过大。具体参数的确定如图3所示。

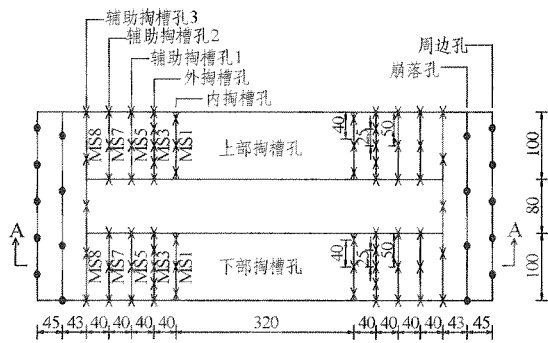
(1)掏槽孔钻孔超深  $\Delta L$ : 根据经验,取  $\Delta L = 30$  cm;

(2)外掏槽孔的孔底距离  $n_{外}$ : 对于硬岩,一般取两排外掏槽的设计孔底距离  $n_{外} = 20$  cm;

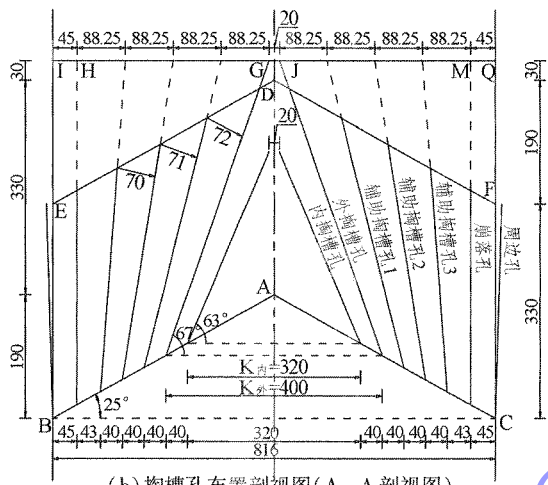
(3)外掏槽掌子面开口距离  $K_{外}$ : 为便于钻孔,施工中一般取钻爆台车主框架的宽度,10#支洞钻爆台车内侧的设计宽度为4 m,因此,取  $K_{外} = 400$  cm;

(4)外掏槽钻孔倾角  $\alpha_{外}$ : 如图2(b)所示,  $\alpha_{外} = \arctg[(L + \Delta L + (K_{外}/2) \text{tg} \alpha_{斜}) / (K_{外}/2 - n_{外}/2)] = 67.25^\circ$ ;

(5)掏槽孔间距  $\alpha_{外}$ : 对于硬岩,可根据掏槽的实际爆破效果,选取  $\alpha_{外} = 20 \sim 30$  cm。根据8#



(a) 分部掏槽孔布置图



(b) 掏槽孔布置剖视图(A-A剖视图)

图2 分部掏槽布置及结构设计图

支洞同类围岩及掏槽爆破效果, 在10#支洞取  $\alpha_{外} = 25^\circ$ ;

(6) 外掏槽孔长度  $L_{外}$ : 如图2(b)所示,  $L_{外} = [(K_{外}/2 - n_{外}/2)^2 + (L + \Delta L + (K_{外}/2) \text{tg}\alpha_{斜})^2]^{1/2} = 491.5(\text{cm})$ , 取  $L_{外} = 490 \text{ m}$ 。

#### 4.3.3 内掏槽设计

在围岩较软或中硬偏软条件下, 一般只需外掏槽, 其掏槽效果即能满足要求, 不必设置内掏槽; 但当围岩硬度较高、爆破效果不好时, 必须增加内掏槽, 其内掏槽深度应为外掏槽孔深的2/3左右。

(1) 内掏槽孔底距离  $n_{内}$ : 取  $n_{内} = n_{外} = 20 \text{ cm}$ ;

(2) 内掏槽掌子面开口距离  $K_{内}$ : 如图2(b)所示, 内掏槽一般在外掏槽内侧40~50 cm。设计时, 由于围岩较硬, 取小值, 取在外掏槽内侧40 cm,  $K_{内} = K_{外} - 40 \times 2 = 320(\text{cm})$ ;

(3) 内掏槽孔垂直深度  $L_{内深}$ : 取设计周边孔、崩落孔平均钻孔深度的2/3,

$$L_{内深} = 2L/3 + (K_{内}/2) \text{tg}\alpha_{斜} = 294.6(\text{cm});$$

(4) 内掏槽钻孔倾角  $\alpha_{内}$ :  $\alpha_{内} = \arctg [L_{内深} / (K_{内}/2 - n_{内}/2)] = 63.01^\circ$ , 取  $\alpha_{内} = 63^\circ$ ;

(5) 内掏槽孔长度  $L_{内}$ :  $L_{内} = L_{内深} / \sin\alpha_{内} = 330.6 \text{ cm}$ , 取  $L_{内} = 330 \text{ cm}$ ;

(6) 内掏槽孔间距  $a_{内}$ : 取  $a_{内} = 40 \text{ cm}$ 。

#### 4.3.4 辅助掏槽孔的设计

辅助掏槽孔是指内掏槽、外掏槽等主掏槽以外用来进一步扩大掏槽空腔的掏槽孔(图2)。对于楔形掏槽孔, 辅助掏槽孔的布置是否合理是提高掏槽钻孔利用率的又一项关键技术, 其关键点在于: 内掏槽孔由倾斜孔渐变到垂直的崩落孔, 其之间必须有充分的过渡, 必须确保辅助掏槽的孔底抵抗线不大于85 cm, 也就是说, 辅助掏槽孔的孔底抵抗线不宜大于常规崩落孔孔距, 一般以70~85 cm为宜。如果辅助掏槽孔的抵抗线偏大或过大, 比如辅助掏槽孔的孔底抵抗线达到120~150 cm, 对于坚硬的岩石来讲, 必将留下大量的残孔, 掏槽效果较差, 后边的崩落孔必将跟着留下大量残孔, 从而造成整个掌子面的钻孔利用率偏低。

(1) 布置排数: 根据10#支洞Ⅱ类围岩开挖断面情况及8#支洞取得的成功经验, 辅助掏槽孔每侧布置3排, 两侧共6排;

(2) 排距: 从外掏槽向两侧, 每隔40 cm 布置一排辅助掏槽孔, 共3排;

(3) 设计孔底抵抗线: 如图2(b)所示, DE、DF 分别为预设下茬炮掌子面, 分别将外掏槽孔孔底G、J 与紧邻辅助掏槽孔3的崩落孔间的距离GH、JM 等分成4份, 各等分点与掌子面对应的辅助掏槽孔位进行连线, 与预设下茬炮掌子面DE、DF 分别形成多个交点, 这些交点与掌子面对应孔位的连线就是各辅助掏槽孔的钻孔方向, 连线长度即为钻孔长度。经计算, 辅助掏槽孔1、辅助掏槽孔2、辅助掏槽孔3的设计抵抗线  $W_{辅}$  均为70 cm左右, 取  $W_{辅} = 70 \text{ cm}$ ;

(4) 钻孔长度  $L_{辅}$ : 经计算, 辅助掏槽孔1的钻孔长度  $L_{辅1} = 400 \text{ cm}$ , 辅助掏槽孔2的钻孔长度  $L_{辅2} = 370 \text{ cm}$ , 辅助掏槽孔3的钻孔长度  $L_{辅3} = 340 \text{ cm}$ ;

(5) 辅助掏槽孔间距  $a_{辅}$ : 根据经验, 取辅助掏槽孔1、辅助掏槽孔2的孔间距  $a_{辅1} = a_{辅2} = 50 \text{ cm}$ ; 辅助掏槽孔3的孔间距  $a_{辅3} = 70 \text{ cm}$ 。

4.4 周边光爆孔参数

(1) 孔径  $D$ : 采用 YT28 手风钻钻孔, 孔径  $D$  取 42 mm;

(2) 孔深  $L$ : 周边光爆孔孔深同崩落孔孔深  $L$ , 均为 330 cm;

(3) 孔距  $E$ : 根据围岩坚硬程度、完整性以及 8#、9# 支洞同类围岩光爆效果, 将原周边光爆孔孔距  $E = 65 \sim 70$  cm 调整为  $E = 55$  cm;

(4) 抵抗线  $W$ : 取  $W = 45$  cm;

(5) 线装药密度  $q$ : 原周边光爆孔内装药量达到 350 ~ 400 g/m, 根据 8#、9# 施工支洞同类围岩光爆效果, 调整为  $q = 200$  g/m 左右;

(6) 装药结构: 周边光爆孔内采用  $\phi 32$  药卷、 $\phi 25$  药卷间隔装药。将  $L = 300$  cm、 $\phi 32$  药卷切割成  $L = 150$  cm、 $L = 100$  cm 两种, 其中  $L = 150$  cm、 $\phi 32$  药卷用于孔底加强装药;  $L = 100$  cm、 $\phi 32$  药卷用于间隔装药, 具体装药结构见图 3。

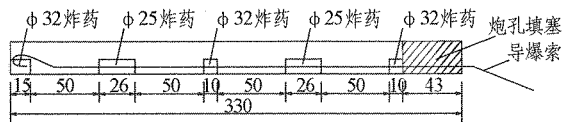


图 3 调整后的光爆孔装药结构图(单位:cm)

4.5 炮孔布置

优化后爆破设计中的炮孔布置如图 4 所示。

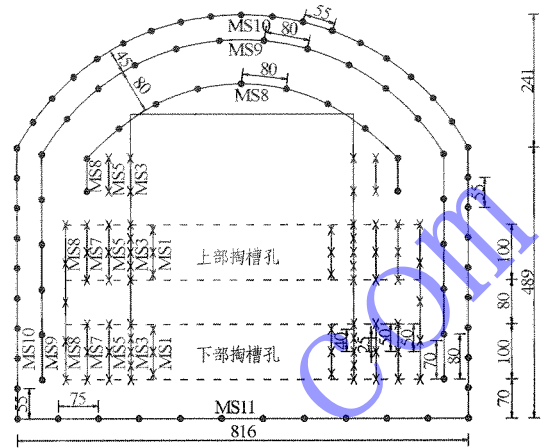


图 4 优化后爆破设计中的炮孔布置图(单位:cm)

4.6 主要爆破参数

优化后的爆破设计参数见表 1。

5 爆破效果

通过以上爆破设计方案的优化, 2015 年 5 月 12 日下午 17:00, 随着 10# 支洞掌子面的一声炮响, 支洞开挖桩号至 0 + 416.32, 宣告 10# 支洞顺利进入尾水洞 1# 主洞, 提前 3 d 实现进入尾水洞

表 1 优化后的爆破设计参数表

炮孔名称	雷管段位	孔径 /mm	孔长度 /m	孔数 /个	孔距 /cm	排距或抵抗线 /cm	药径 /mm	单孔药量 /kg	总药量 /kg
内掏槽孔	1	42	330	12	40	/	32	1.6	19.2
外掏槽孔	3	42	490	20	25	40	32	1.8	36
辅助掏槽孔 1	5	42	400	12	50	70	32	1.4	16.8
辅助掏槽孔 2	7	42	370	12	50	70	32	1.4	16.8
辅助掏槽孔 3	8	42	340	10	50	70	32	1.4	14
崩落孔(垂直孔)	8, 9	42	330	33	80	80	32	1.4	46.2
崩落孔(倾斜孔)	3, 5, 8	42	330 ~ 450	8	60 ~ 75	40	32	1.4 ~ 1.8	12.8
周边光爆孔	10	42	330	35	55		32/25	0.65	22.75
底孔	11	42	330	12	75	70	32	1.4	16.8
合计				160					201.35

1# 主洞的目标。自 2015 年 4 月 18 日开始至 5 月 12 日, 历经 24 d, 施工开挖自桩号 0 + 244 ~ 0 + 416.32, 长度为 172.32 m, 共计 53 茬炮, 平均每茬炮单循环进尺从优化前的 2.62 m 提高到 3.25 m, 钻孔利用率从 79.4% 提高到 98.5%, 平均日进尺从 5.37 m 提高到 7.18 m。经过光面爆破设计优化后, 该洞段光面爆破效果良好, 光爆半孔率

从 60% 左右提高到 90% 以上, 并且两半孔间开挖面平整度良好, 光爆效果见图 5。

6 经济效益对比分析

爆破设计优化前后的经济效益情况对比见表 2。从表 2 中不难看出: 通过爆破设计方案优化并加强施工组织管理, 平均单循环进尺提高了 0.63 m, 效率提高了 24%; 平均单循环时间缩短了 0.6

h;平均日进尺提高了1.81 m,效率提高了33.7%;  
炸药单耗降低了0.145 kg/m<sup>3</sup>,降低了11.9%;雷

管单耗降低了0.295 发/m<sup>3</sup>,降低了28.2%。

7 结 语

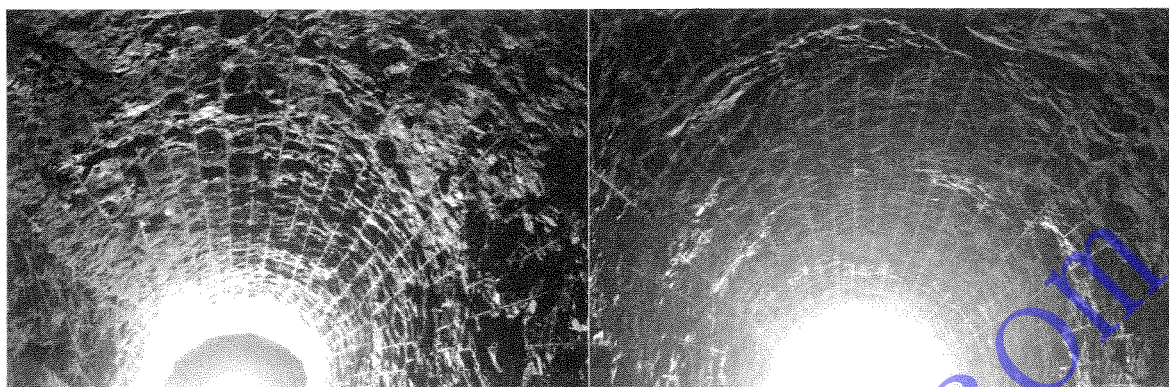


图5 优化后的光爆效果图

表2 优化前后经济效益分析对比表

序号	项目	单位	优化前	优化后	对比情况
1	围岩类别	类	Ⅲ	Ⅱ	
2	开挖桩号	m	0+120~0+232.80	0+244~0+416.3	
3	长度	m	112.8	172.3	
4	开挖断面	m <sup>2</sup>	55.31	54.34	
5	开挖方量	m <sup>3</sup>	6 238.97	9 362.78	
6	炸药用量	kg	7 592.8	10 041.5	
7	雷管用量	发	6 527	7 028	
8	开挖循环数	个	43	53	
9	单循环进尺	m/循环	2.62	3.25	提高0.63 m/循环
10	循环时间	h	11.73	11.13	缩短0.6 h
11	日进尺	m	5.37	7.18	提高1.81 m
12	炸药单耗	kg/m <sup>3</sup>	1.217	1.072	降低0.145 kg/m <sup>3</sup>
13	雷管单耗	发/m <sup>3</sup>	1.046	0.751	降低0.295 发/m <sup>3</sup>

针对乌干达卡鲁玛尾水隧洞10#施工支洞爆破施工中岩体坚硬、爆破钻孔利用率低、开挖进度滞后、光爆效果差等问题,爆破工程技术人员通过深入洞内掌子面,实地分析研究围岩状况,查找爆破设计在施工中实际存在的问题,成功地将分部楔形掏槽、水平V形掌子面应用于10#支洞的开挖爆破中,爆破单循环进尺、钻孔利用率均有大幅度提高;炸药单耗、雷管单耗均有显著降低。通过洞内现场分析光爆效果差的原因,根据围岩情况调整了光面爆破孔距、抵抗线、装药结构、降低了线装药密度,最终取得了较好的光面爆破效果。

参考文献:

[1] 马洪琪,周宇,和孙文. 中国水利水电地下工程施工(上册)[M]. 北京:中国水利水电出版社,2011.  
[2] 杨玉银. 掏槽面积对隧洞开挖钻孔利用率影响试验研究[J]. 爆破,2013,30(2):100-103.  
[3] 杨玉银. 提高隧洞开挖爆破钻孔利用率方法[J]. 爆破,2014,31(2):72-74,164.

[4] 杨玉银. 水平V形掌子面在赵山渡引水工程隧洞开挖中的应用[J]. 工程爆破,2000,6(1):60-63.

作者简介:

陈长贵(1975-),男,贵州遵义人,项目经理,高级工程师,学士,从事水电工程施工技术与管理工  
杨玉银(1968-),男,河北遵化人,教授级高级工程师,高级爆破工程师,四川省工程爆破协会专家委员会委员,公司地下工程专业带头人,从事地下工程及土石方明挖施工爆破技术、安全技术与管理工作;  
黄浩(1986-),男,湖南长沙人,项目工程部主任,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工  
刘志辉(1987-),男,吉林长春人,助理工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工  
张永强(1986-),男,河南信阳人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工  
张健鹏(1984-),男,吉林长春人,项目工程部主任,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工  
廖志华(1984-),男,湖南郴州人,项目工程部主任,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)