

文章编号: 1006-7051(2004)01-0022-04

# 洪家渡水电站2号导流洞进水口岩埂爆破拆除

刘美山<sup>1,2</sup>, 李永池<sup>1</sup>, 张正宇<sup>2</sup>, 吴新霞<sup>2</sup>, 张文焯<sup>2</sup>

(1. 中国科技大学, 合肥 230027; 2. 长江科学院, 武汉 430010)

**摘要:** 洪家渡水电站2号导流洞进水口岩埂距需保护的闸门仅9m, 堰外水位高于堰顶, 岩埂表面及前部存在大量松渣, 此外拆除岩埂的工期短。在上述困难条件下, 利用垂直和倾斜的深孔以及微差爆破技术, 将岩埂一次爆破拆除。本文论述了爆破方案确定、爆破参数选择、起爆网路设计以及爆破安全措施。同时介绍了有关此项工程的经验和体会。

**关键词:** 导流洞; 围堰; 岩埂; 拆除爆破

中图分类号: TV542; TV551.3

文献标识码: A

## BLASTING DEMOLITION OF ROCK-DYKE AT INLET OF NO 2 WATER-DIVERSION TUNNEL IN HONGJIADU HYDROPOWER STATION

LIU Mei-shan<sup>1,2</sup>, LI Yong-chi<sup>1</sup>, ZHANG Zheng-yu<sup>2</sup>, WU Xin-xia<sup>2</sup>, ZHANG Wen-xuan<sup>2</sup>

(1. University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China;

2. Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China)

**ABSTRACT:** In Hongjiadu Hydropower Station, the rock-dyke at the inlet of No. 2 water-diversion tunnel is only 9m away from a lock gate necessary to be protected. The water level outside the cofferdam is higher than the top of the cofferdam. There are a lot of rock residues on surface and front of the rock-dyke. In addition, there is a short time limit for demolition of the rock-dyke. Under above-mentioned difficult conditions, the rock-dyke is demolished by once-through millisecond blasting with vertical and inclined deep-holes. In this paper, the determination of blasting plan, the selection of blasting parameters, the design of firing circuit and safety precautions are expounded. At the same time, the experience and knowledge about this project are introduced.

**KEY WORDS:** Water-diversion tunnel; Cofferdam; Rock-dyke; Demolition blasting

## 1 工程背景

洪家渡水电站位于贵州省黔西县与织金县交界的乌江北源六冲河上, 是乌江梯级的龙头电站, 枢纽坝型为钢筋混凝土面板堆石坝, 坝高 179.5m, 装机容量 54 万 kW。

2<sup>#</sup>导流洞必须于 2001 年 10 月 10 日前分流水。为了确保导流洞如期分流, 进口部位围堰岩埂

的爆破拆除是关键。由于混凝土挡墙、混凝土基座等结构物已经与围堰岩埂连为一体, 必须一并将它们拆除, 拆除总方量 2.1 万 m<sup>3</sup>。其中待拆除岩埂的顶高程为 ∇986.7m, 底高程 ∇980m。堰外水位高程 ∇989.5m, 比岩埂顶部高出 2.8m。这三部分拆除物位置见图 1。爆破拆除要求不能危害到导流洞进口闸门的安全, 爆破块度要求小于 40cm, ∇980m 以上必须一次爆透。拆除体情况复杂, 存在如下困难:

(1) 围堰岩埂与需要保护的进水口闸门水平距离仅 9m, 闸门是成功截流的关键, 其安全至关重要;

收稿日期: 2003-10-10

作者简介: 刘美山, 博士研究生, 长江科学院工程师。

(2) 岩埂顶部、前部均被松碴覆盖,前部松碴大部分位于水下,厚度不能准确估计;

(3) 岩埂外侧水位高于岩埂高程,由围堰岩埂以及岩埂前面和顶上的松碴一起,起到挡水作用,因松碴挡水效果差,整个岩埂顶部渗水严重,导致钻孔困难。

## 2 拆除方案分析

通过对围堰岩埂、混凝土基座、混凝土挡墙的分析,认为围堰岩埂是拆除的难点和重点。由于岩埂顶部和外侧存在大量松碴,其厚度又难以准确估计,从工期上来说,清碴已经来不及,若以外侧作为岩埂拆除的临空面已经不可能。内侧距离闸门仅9m,中间还有混凝土挡墙、混凝土基座也需要拆除,若混凝土结构和岩埂一起拆除,则存在爆破宽度过宽,岩埂底部临空条件差,不易爆透,而且闸门前缺少足够的堆碴空间,爆碴距离闸门太近,其安全难以保证。综合分析以上因素,决定采用如下爆破拆除方案:

(1) 采用浅孔分次爆破预先将岩埂与闸门之间的混凝土挡墙、混凝土基座拆除;

(2) 采用从岩埂顶部向下钻凿垂直深孔和小角度倾斜深孔,将围堰岩埂整体一次性爆除;

(3) 缺口中心线选在围堰中轴线靠下游侧(见图1),该位置临空面条件较好,而且爆破方向不正向闸门;

(4) 采用微差爆破技术,切岩埂的断面上的炮孔小时差起爆,拉出缺口,再利用缺口作临空面,起爆

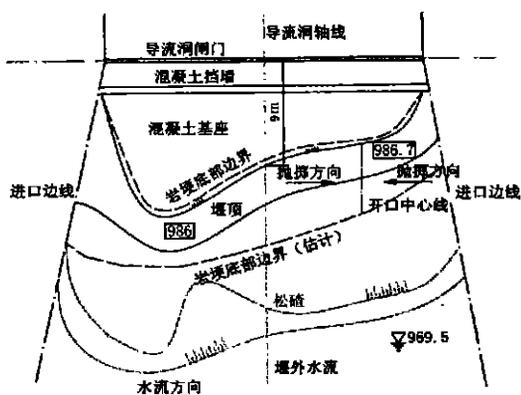


图1 围堰平面图

Fig. 1 Plan view of cofferdam

缺口两边的炮孔,使爆碴向起爆线堆积,减小对闸门的正面冲击。

示意图及典型断面图见图2和3。

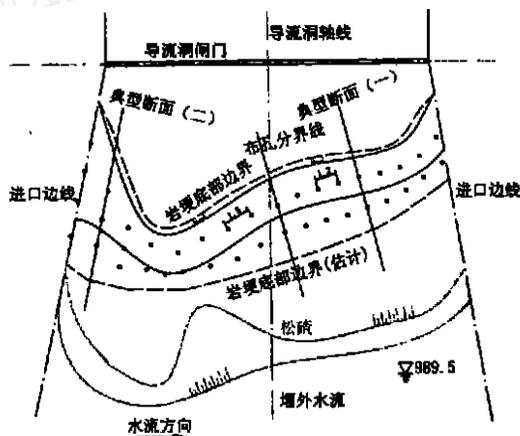


图2 炮孔底部位置示意图

Fig. 2 Scheme of hole bottom places

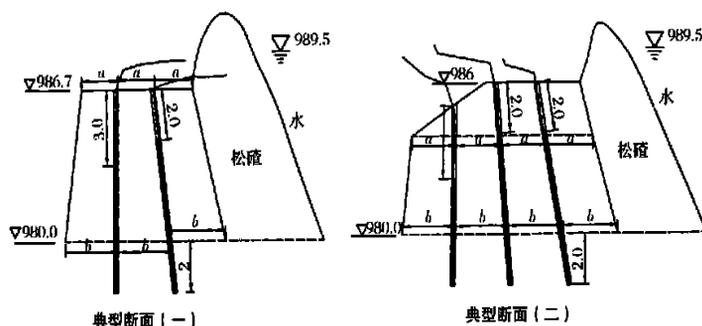


图3 典型断面和装药结构

Fig. 3 Typical section and charge structure

该工程要求将岩埂爆破拆除至 $\nabla 980.0\text{m}$ 高程。为了确保底部爆破效果,炮孔超深按2.0m设计,孔深则根据孔口、孔底的位置及倾角具体确定。

## 3 爆破设计

### 3.1 炮孔直径及布孔形式

采用YQ-100型简易潜孔钻,钻头直径

φ90mm;局部边角部位布置浅孔,孔径 φ50mm。采用垂直深孔与小角度倾斜深孔相结合的炮孔布置形式。

沿导流洞轴线方向共布置 2 排深孔,根据岩埂顶部和底部宽度,将两排炮孔均匀布置在岩埂上。当任何一排炮孔的底部抵抗线  $b$  大于 2.4m 时,在该位置补充一排炮孔,保证每排炮孔的底部抵抗线小于 2.4m。以布孔分界线为基准,下游侧炮孔间距 1.2m,而上游侧为 1.5m,原因是下游侧岩埂高程到 ∇986.7m,压重较大,岩埂底部爆破时夹制作用较大,而且计划在岩埂靠下游侧首先起爆,开口的形成至关重要,减小孔排距,增大单耗有利于开口线的形成。浅孔的位置和数量根据 φ90mm 主爆孔的分布具体确定,以保证岩埂各个部位都能充分破碎。炮孔孔底位置示意图及典型断面图分别见图 2 和 3。

### 3.2 炸药单耗

由于岩埂内侧爆破时不充水,不再是水下爆破。洪家渡水电站位于石灰岩地区,岩石硬度中等偏上,在一般露天台阶梯段爆破中,炸药单耗在  $0.5\text{kg}/\text{m}^3$  左右,考虑到岩埂的形状上小、下大,岩埂前面有大量松碴的约束,而且要求将岩埂尽可能炸碎,经综合考虑,确定岩埂的炸药单耗为  $1.0\text{kg}/\text{m}^3$ 。

### 3.3 孔网参数

为确保岩埂底部的爆破效果,炮孔底部装 φ70mm 的乳化炸药卷,并以此验证孔网参数,炮孔的延米装药量按  $Q_1 = 4.0\text{kg}/\text{m}$  计算,炮孔负担的面积  $S = Q_1 / q = 4.0 / 1.0 = 4\text{m}^2$ 。

孔底孔网参数(也是最大孔网参数):排距 2.4m,孔距 1.5m。炮孔在孔底负担的面积为  $3.6\text{m}^2$ ,小于  $4\text{m}^2$ ,可以充分满足炸药单耗要求。孔口孔网参数根据岩埂地面可钻孔的位置来确定,务必保证孔底钻孔到位。炮孔孔口过于集中而影响岩埂上部爆破时,需在炮孔稀疏部位加浅孔,整个岩埂爆破共布置 φ90mm 钻孔 39 个。

### 3.4 超深与孔深

要求岩埂爆破拆除至 ∇980.0m 高程,为了确保底部爆破效果,炮孔超深按 2.0m 设计。孔深根据孔口位置、倾角及孔底位置具体确定。

### 3.5 装药量及装药结构

单孔药量按下式计算:

$$Q = qabH$$

式中, $a$ 、 $b$ 、 $H$  分别为炮孔间、排距和围堰岩埂顶部至设计底板的垂直距离,m。由于围堰岩埂形状是上小、下大,间、排距在各个高程并不相同,在计算中取每一个炮孔的平均间、排距进行计算。

靠闸门一排主爆孔的堵塞长度取 3.0m,目的是减小飞石对闸门的危害;靠松碴一排主爆孔的堵塞长度取 2.0m,浅孔的堵塞长度取 1.0m。堵塞使用袋装砂。深孔内装 φ70mm 的乳化炸药卷,连续装药结构(见图 3),线装药量  $4.0\text{kg}/\text{m}$ ,装药长度根据实际孔深确定。靠河道一侧的深孔其底部尽量多装炸药,力求靠炸药的推力将外侧松碴推向河道中央。每个炮孔的装药在其底部和上部各装两发 MS15 段非电雷管,孔内用一根防水导爆索加强传爆。

### 3.6 起爆网路

在围堰拆除爆破中,为了使爆碴块度小,必须提高炸药单耗,由此带来了比常规爆破大得多的爆破总装药量,而为了围堰周围保护物的安全,又必须控制单响药量,故采用了塑料导爆管雷管接力式微差起爆网路,通过孔外分段,孔内延时,尽量避免重段,降低最大单响药量,从而达到岩埂爆破高单耗、低单响药量的设计要求。为确保非电接力起爆网路的安全、可靠,孔内起爆选用高段别雷管,孔外传爆选用低段别雷管。

开口线位置选在岩埂中线偏下游侧部位,在该位置首先拉出缺口,两边的岩埂再向缺口方向抛掷。缺口形成部位补充部分加强孔,缺口线上的孔以小时差(25ms)起爆,在孔内装 MS15 段(990ms)雷管的情况下,缺口线上的孔是近似同时起爆的。第一起爆点的位置选择在岩埂内侧。

实际起爆网路选用的非电雷管段别为:排间选用 MS3(50ms),孔间选用 MS2(25ms),孔内选用 MS15(990ms)。缺口线两侧炮孔的时差为 MS5(100ms)。排间、孔间接力雷管 3 发并联,孔内起爆雷管数不少于 4 发,分上、下两个起爆点,并用一根防水导爆索加强传爆。起爆网路见图 4,图中的炮孔位置系孔底位置。

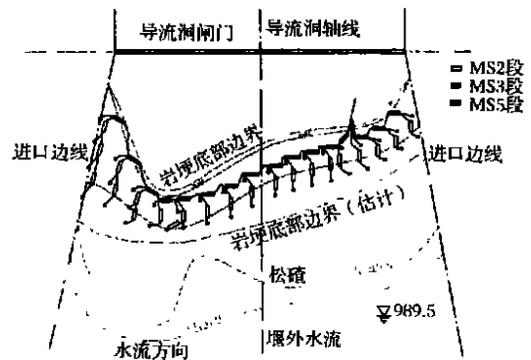


图 4 起爆网路

Fig. 4 Firing circuit

## 4 爆破安全设计

### 4.1 爆破振动

因为爆破时围堰岩埂内侧无水,不存在水击波危害,爆破震动成为影响闸门安全的主要因素。根据长江科学院十多个围堰拆除爆破工程经验和实际震动效应监测结果,认为水工闸门还是具有较强抗震性能的。例如大朝山水电站尾水围堰的爆破拆除、东风水电站导流洞进出口围堰的爆破拆除、山西禹门口提水工程进口岩坎爆破等工程中,围堰距离闸门的距离都很近,有的甚至直接相连。在实际监测中测到的最大质点振动速度超过 20cm/s,但闸门并没有破坏。洪家渡 2<sup>#</sup> 导流洞进口闸门属于钢结构闸门,其抗震能力比一般的混凝土结构闸门要高,结合设计院提供的资料,综合分析,闸门基础质点振动速度按 15cm/s 控制,20cm/s 校核。

爆破单响药量按下式计算:

$$Q = (v/K)^{3/2} R^3$$

式中, $v$  为质点振动安全标准,cm/s; $K$ 、 $R$  值参考类似工程经验,并考虑到爆破体临空条件等因素,取  $K=70$ ,  $\alpha=1.7$ 。计算出闸门基础按安全振速标准(15cm/s)控制的最大允许单响药量为 48kg。

本次爆破单响药量按 30kg 设计,如果单孔装药量超过 30kg,则进行孔内分段,保证单响药量控制在 30kg 以内。

### 4.2 爆破飞石

除了爆破震动危害,还有两种需要关注的危害效应:其一是爆破飞石;其二是爆破后瞬间水流夹着松碴形成高速泥石流对闸门产生冲击破坏。为了防止这两种破坏作用,在闸门前面设置两层竹跳板,竹跳板倾斜挂靠在闸门前面,高出水面及岩埂顶面高程 3m 以上。两层竹跳板之间用草包隔开,使竹跳板之间有不小于 20cm 的距离。在岩埂顶部可能会产生飞石的地方用沙袋覆盖,至少一层。本次爆破飞石安全距离不小于 500m,爆破时将人员和设备撤至安全地带。

## 5 爆破方案实施

在围堰岩埂内侧的混凝土挡墙、混凝土基座被拆除后,此时仅靠围堰岩埂前面的松碴挡水,由于松碴渗水严重,需要在极短的时间内完成围堰岩埂的钻孔、装药和爆破工作。整个施工组织是在快速有序中完成的。

施工中严格按照要求进行布孔、造孔,控制好孔

位、孔向和孔深。造孔结束后立刻进行了验收,并做好了相应的验收记录。装药前,按设计对孔位进行编号,重新测量孔深,对达不到要求的孔及时进行处理。所有的孔内雷管、导爆索均进行了防水处理。装药人员严格按设计要求的装药结构、雷管段别和数量进行装药、堵塞。由于孔内有水,装药时,全部采用捆绑在竹片上送药的方法,没有发生卡孔、装药不到位的现象。

联网前进行了联网人员技术交底,充分认识到复杂条件下岩埂爆破与普通梯段爆破的差别。严格按照要求逐排从两侧向缺口部位联接,并用沙袋将接力雷管压住。

## 6 爆破效果

(1) 爆破达到了设计目的,爆破块度均在 40cm 以下,爆堆向下游侧堆积,只有少量爆碴堆积在闸门前;

(2) 爆破震动得到了有效控制,闸门及附近其他保护物完好无损;

(3) 从爆破后的挖碴情况看,岩埂  $\nabla 980.0$ m 高程以上完全爆透,爆碴可以一次性清除。

## 7 经验和体会

(1) 针对围堰岩埂这类上小下大的拆除物,在进行爆破参数设计的时候以拆除体底部最宽部位进行考虑,可以比较容易地保证拆除体每个部位均达到设计单耗。

(2) 在本次拆除中,围堰内没有充水,有效避免了水击波的危害。但是否适用于其他水工围堰的拆除,还要根据实际情况而定。

(3) 孔内雷管段位还可以适当减小,只要保证孔外网路全部清完即可,这样整个网路的安全性会更高。

### 参考文献:

- [1] 张文煊,张正宇,凡昌宇,谢军兵. 大朝山水电站导流洞围堰及岩坎爆破拆除[J]. 爆破,2000,17(增刊):207-210.
- [2] 刘殿中. 工程爆破实用手册[M]. 北京:冶金工业出版社,1999.
- [3] 张正宇,张文煊. 塑料导爆管接力起爆网络及实用研究[R]. 长江科学院,1990.
- [4] 赵根. 万吨级船坞坞口岩坎水下控制爆破[J]. 工程爆破,1996,2(4):70-74.