

巴勒水电站导流洞岩埂爆破拆除施工技术

阮国府

中国葛洲坝集团易普力股份有限公司

摘要:巴勒水电站1#、2#导流洞岩埂爆破施工环境复杂、工期紧、任务重,通过详细分析工程施工难点、控制要点、安全风险等,综合利用微差爆破、深孔辅以浅孔爆破、分层分区爆破、孔底柔性填塞爆破、RTK定位等爆破控制技术,将岩埂顺利爆破拆除。经现场施工验证,爆破飞石、爆破震动、爆破冲击波等爆破危害效应得到有效控制,爆破后块度满足设计要求,顺利实现水流冲渣目的,围堰底板高程达到预期高程,满足导流需求。

关键词:围堰拆除;预裂爆破;微差爆破;振动监测;爆破块度

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.10.053

引言

挡水围堰是水利水电工程中常见的构筑物,多为临时性围护结构,在完成其功能性需求后,一般采取爆破方式对其进行拆除。鉴于挡水围堰周边环境的复杂性和自身的结构特点,如何保证在顺利拆除围堰岩埂的同时,又能确保被保护对象所受影响在工程许可范围内,是诸多同类工程面临的共性问题^[1]。

一、工程概况

巴勒水电站位于马来西亚人口稀薄的砂捞越西南区域热带雨林中,在巴勒河上游,距离普泰河与巴勒河上游交汇点大约3km,距离拉让河上游交汇点大约95km。巴勒水电站为混凝土面板堆石坝,大坝坝高188.0m,填筑体积为2525万m³,装机容量为1285MW。

巴勒水电站1#、2#导流洞并行布置于巴勒河左岸,上游围堰顶部高程平均为EL56,导流洞入口路面高程为EL40,导流洞底板高程为EL36,坡比按1:1计算,顶部宽约15m,底部宽约47m,长约100m,EL40以上方量约5万m³,高程EL40-EL36方量约2.2万m³,共计开挖工程量约7.2万m³。下游围堰顶部高程平均为EL53,导流洞出口路面高程为EL41,导流洞底板高程EL34.5,坡比按1:1计算,顶部宽约12m,底部宽38m,长约90m,高程EL40以上方量约3.2万m³,高程EL40-EL34.5方量约2.3万m³,共计开挖工程量约5.5万m³,总计开挖方量约12.7万m³。导流洞出入口混凝土构筑物已完成施工,围堰顶部及两侧有大量后期填筑土渣,因部分填渣为雨季抢险填筑,具体填筑量无法准确计量。上游围堰根据前期调查基本为泥岩、页岩、板岩及少量河道孤石,下游围堰基本为砂岩、页岩及少量花岗岩,岩石硬度系数为6~12。

二、拆除方案

(一) 工程难点分析

导流洞出入口混凝土永久构筑物已施工完成,边坡支护及混凝土挡墙与围堰基岩相互连接,爆破拆除不能损伤已完工构筑物及施工道路。爆破后爆渣块度可以满足水流冲渣要求,导流洞出、入口爆破底板高程不低于导流洞底板高程,且不得危害导流洞已浇筑底板,主要存在以下难点:

(1) 爆破岩埂与被保护混凝土构筑物水平距离不到10m,爆破拆除围堰与施工道路基础相邻,爆破拆除后形成高边坡,爆破拆除不得影响混凝土构筑物安全及

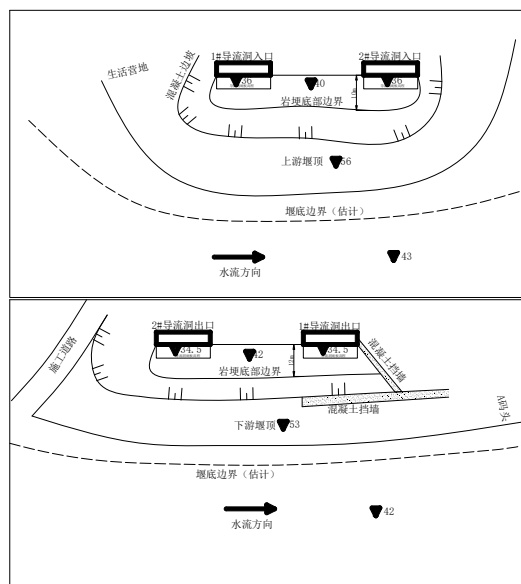


图1 导流洞围堰爆破拆除平面示意图

道路基础安全;

(2) 爆破围堰外侧水位高于待拆除岩埂,爆破后需一次成型,爆破后全部处于水下,难以进行二次爆破处理;

(3) 工期紧,清运工程量大,施工作业面狭小,同时施工设备数量受限;

(4) 作业时段处于雨季,暴雨频繁,水位暴涨无法可靠预测,施工过程中安全风险较高。

(二) 爆破拆除方案

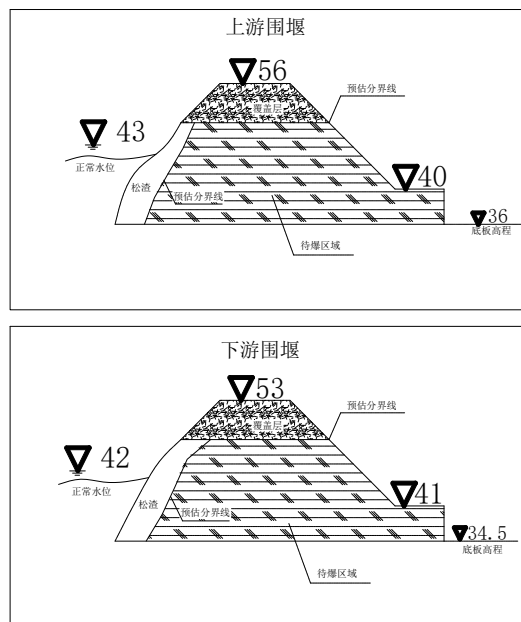


图2 导流洞围堰开挖断面

导流洞围堰拆除遵循“竖向分层、横向分区、预留岩埂、上下联动监测”的施工原则。围堰顶部填筑松渣、覆盖层和强风化层采用机械开挖，下部坚硬岩石采用分区、分层、分块爆破拆除，爆破后爆渣部分机械开挖运走，部分利用水流冲渣清走。施工期间，与上游水位监测站建立即时通讯，上游围堰设置24h专人监测水位。

根据导流洞围堰周边爆破环境、施工工期与施工要求，严格控制爆破震动、爆破块度以及爆破裂隙延伸范围，保证构筑物安全及开挖后导流洞出入口边坡稳定。综合利用预裂爆破、微差爆破、深孔辅以浅孔爆破、分区分区爆破、孔底柔性填塞爆破、RTK定位等爆破施工控制技术，确保施工过程安全可控、质量达标、工期顺利。经过对现场环境、施工工期等因素进行综合分析，决定采用如下爆破拆除方案：

(1) 第一步将围堰基岩与道路基础连接区域及需保留混凝土挡墙与待拆区域，采用预裂爆破方式形成预裂缝，最大限度地减少爆破拆除对保留岩体破坏。采用浅孔松动爆破预先将围堰与导流洞出、入口之间的混凝土挡墙、岩埂爆破拆除并清理干净，为后续拆除爆破提供充足的临空面及爆破空间；

(2) 第二步预留足够挡水岩坎后，首先将岩埂靠近导流洞洞口侧进行爆破拆除并清理干净，并在导流洞洞口附近混凝土底板上预留厚约0.5m爆渣，长度约10m，防止后续爆破岩块滚落，损伤已浇筑混凝土底板；

(3) 第三步采用深孔辅以浅孔，RTK孔位定位技术及微差爆破技术将预留挡水岩坎一次性爆破拆除。导流洞出、入口预留挡水岩坎爆破拆除应同时进行，爆破完成后，用挖运设备辅助进行爆渣清运，剩余部分爆渣由水流进行冲渣。

(4) 爆破缺口中心选在导流洞洞口部位，防止爆破飞石滚落砸坏已完工构筑物。临近导流洞出入口底板部位采用孔底柔性爆破技术，防止爆破震动影响导流洞已浇筑混凝土安全。施工过程中确保抽水设备处于24h运转状态，防止施工部位被水淹没。

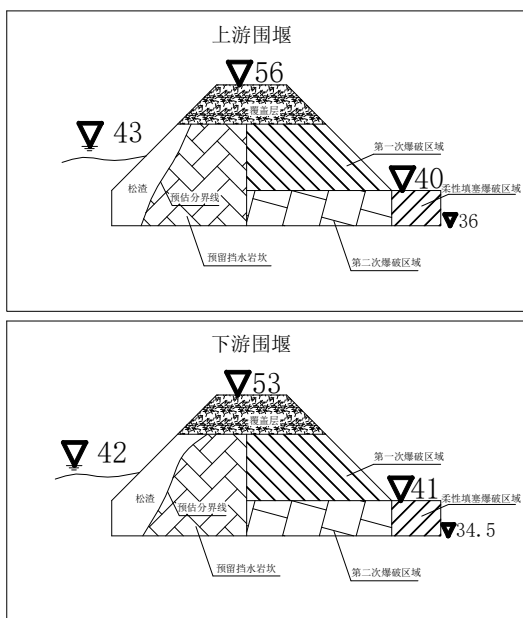


图3 导流洞围堰分区分层爆破

(5) 因施工现场照明、动力线路较多，杂散电流较强且炮孔内基本有水，爆破器材选用高精度导爆管雷管，以确保围堰爆破拆除施工过程安全。

(6) 围堰拆除爆破遵循分层、分区、分块的施工原则，爆破网络设计充分利用爆破地震应力波的叠加相干作用，破碎岩石同时降低爆破震动对保留岩体和构筑物影响，爆破拆除到位后及时对边坡进行喷砼支护，防止后续水流冲刷导致边坡垮塌。

三、围堰拆除爆破设计及施工

根据围堰爆破拆除方案，沿待爆破拆除岩体与待保留岩体边界线布设预裂孔，优先爆破形成预裂缝，将主爆区与围岩隔离开，降低爆破震动对保留岩体边坡的影响。根据施工方案、施工条件、进度计划和爆破参数，爆破工作面面向导流洞方向布置，从内侧向外侧推进。

(一) 预裂孔爆破参数

预裂孔选用CM351潜孔钻机，钻孔直径D=90mm。预裂孔超深应大于主爆孔底部的垂直方向破碎半径，根据经验公式确定，即 $h_0 > (10 \sim 20) D^{[2]}$ ，考虑水压影响，实际取 $h_0 = 1.0m$ 。预裂倾角为 70° ，孔深为13~15.5m。预裂孔采用不耦合装药结构，其不耦合系数为2.9，孔内药卷采用直径32mm#岩石乳化炸药。孔内药卷用导爆索串联绑缚在竹片上，孔外用毫秒延期导爆管雷管激发并实现分段延期。预裂孔线装药量按以下经验公式进行计算^[3]，并结合实际进行修订：

$$q_x = 7.55 \times [R_{压}]^{0.4452} r^{0.4462} \quad (1)$$

式中： q_x —为预裂孔线装药密度，g/m； $R_{压}$ —为岩石极限抗压强度，MPa； r —为预裂炮孔半径，mm。

经计算 $q_x = 321g/m$ ，考虑孔内有水等因素，预裂线装药量为400g/m。

加强段长度取孔深0.1倍，线装药量为2000g/m，考虑孔口部分节理裂隙较为发育，减弱段为孔深0.15倍，线装药量为200g/m，堵塞长度为1.5m。

预裂孔孔距按生产经验公式确定^[4]：

$$a = (8 \sim 12) D \quad (2)$$

式中：炮孔直径D=90mm，根据现场情况取值a=100cm。

预裂孔严格控制最大单段起爆药量，每段5~6个预裂孔一段，总药量控制在27kg以下，确保爆破地震震

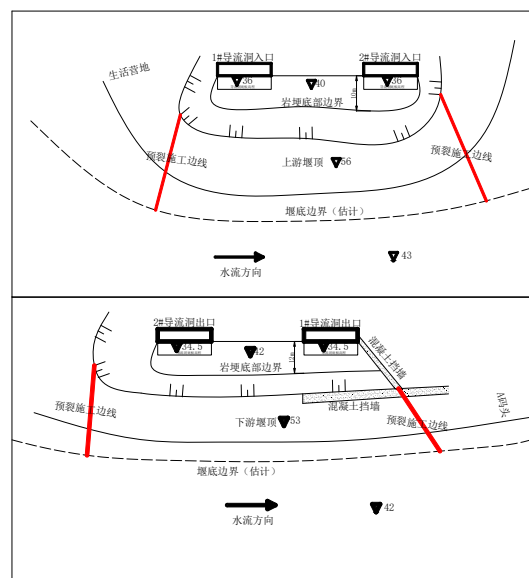


图4 预裂施工边线示意图

度可控。

(二) 柔性填塞爆破参数

柔性填塞爆破区域导流洞已完工混凝土底板相连且难以进行隔段,为防止爆破施工过程中导致爆破裂隙延伸至导流洞底板,破坏已浇筑混凝土,采用柔性填塞爆破施工工艺,确保充分破碎岩石,但不损坏混凝土底板。

(1) 钻孔直径。选用潜孔钻机, $D=115\text{mm}$ 。

(2) 炮孔深度。孔深根据实际高程确定,超深为 0.5m ,孔深为 $4.5\sim 6.5\text{m}$ 。

(3) 底盘抵抗线。考虑岩性和水压影响,取 $W_d=2\text{m}$ 。

(4) 孔距和排距。孔距 $a=(1.0\sim 2.0)W_d$,取 $a=3.0\text{m}$;炮孔密集系数取 1.3 ,则排距 $b=2.3\text{m}$ 。采用梅花型布孔。

(5) 炸药单耗 q 。考虑岩石性质、有水影响及爆破块度要求,取 $q=0.4\text{kg/m}^3$ 。

(6) 单孔装药量。单孔装药量按孔网参数和单耗进行计算确定,可根据现场孔深及自由面情况进行调整,单孔药量为 $12\sim 20\text{kg}$ 。

(7) 装药结构。采用连续装药结构,装药过程应防止药包上浮,双发雷管下孔,逐孔微差起爆网路。

(8) 炮孔堵塞。距离孔底 0.5m 进行间隔,然后进行装药,堵塞长度为 $L_{堵}=(0.8\sim 1.0)W_d$,取 2.5m 。因孔内有水,采用碎石进行填塞。

(三) 挡水岩坎爆破参数

预留挡水岩坎为围堰内侧爆破施工提供保护,并阻挡外侧水流进入围堰内侧,故预留岩坎需一次爆破拆除,爆破后导流洞即过水,上部爆渣采用机械清运,水下部分依靠水流冲渣清理。

预留岩坎采用 115mm 垂直深孔及倾斜深孔辅以 90mm 垂直浅孔,采用梅花型布孔。深孔采用直径 80mm 乳化药卷进行装药,综合单耗按 0.6kg/m^3 ,其中深孔单耗 0.5kg/m^3 ,辅助浅孔为 0.1kg/m^3 。

因实际施工作业区呈现上小下大的倒梯形,孔网参数均为孔底孔网参数,孔网参数进行模拟计算之后,孔口坐标输入RTK定位软件中进行预定位,然后根据现场实际测得高程进行孔口点位标定。部分部位为防止产生大块,布设辅助浅孔,辅助浅孔根据现场实际情况进行布设。

围堰内侧和预留岩坎均采用连续装药结构,为防止药卷上浮,药卷用绳子进行吊装。采用双发孔内导爆管雷管下孔,采用孔底和中间起爆,确保起爆可靠性。装药完成后,首先用柔性材料堵塞至药包上部,然后再用砂子或符合要求碎石进行填孔,防止直接堵塞造成药包隔段导致传爆中断。

四、爆破安全防护与监测

(一) 爆破振动控制

围堰爆破拆除施工时,围堰内侧渗水由抽水设备排除,不存在爆破激发水击波危害,确保爆破震动小于构筑物安全允许范围是控制重点。参考类似工程案例,经综合分析,构筑物基础质点振动速度按 10cm/s 控制。依据萨道夫斯基爆破振动公式^[5]爆破单响药量按下式计算:

$$v=K\left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R}\right)^\alpha \quad (3)$$

式中: v 为质点振动安全标准, cm/s ; K 、 α 值参考类似工程经验,取 $K=70$, $\alpha=117$; R 为爆源中心到被保护对象的距离, m ; Q 为单段最大起爆药量, kg 。

根据现场爆破振动监测数据回归分析,对于水平振

动方向, $K=82.3$, $\alpha=1.75$,则允许的最大单段最大起爆药量为 27kg 。

(二) 水位监测

巴勒水电站处于热带雨林地区,施工时段处于雨季,暴雨较为频繁,为上游暴雨引发施工安全事故,在施工点上游 30km 处设置预警点,并与上游水位监测单位建立联系,定时通报水位及天气情况。施工地点设置专人监测水位,若遇暴雨,每半小时通报一次水位情况,以确保人员设备有充足时间撤离。

(三) 爆破拆除方案实施

(1) 方案实施前,对参与施工人员及管理人员进行安全技术交底和培训,并按方案中责任小组,将相关措施落实到人,实行定人定岗、专岗专责措施,确保安全措施到位。

(2) 清理岩埂上覆盖层及岩埂内侧松散岩渣,部分转移至岩埂外侧进行挡水,部分用渣车运走。松散岩渣清理完毕后对预留岩坎进行测量,综合分析后确定预留岩坎厚度。

(3) 将围堰内侧的混凝土挡墙以及与混凝土构筑物相连的混凝土采用预裂爆破切割开,防止爆破裂隙延伸或拉裂。然后进行岩埂内侧岩埂爆破清理工作,分两次进行,水位以上为一层,水位以下为一层,临近导流洞出入口处第一排孔,孔底填塞柔性材料(泡沫或岩屑)至导流洞底板以上 1.0m 处,防止爆破裂隙拉裂导流洞混凝土底板;爆破完成后,清渣过程中预留约 0.5m 厚爆渣不清理,待预留挡水岩坎爆破完成后一起进行清理。

(4) 预留挡水岩坎爆破,挡水岩坎采用深孔辅以浅孔布孔形式,按预留厚度,进行垂直深孔和倾斜深孔布设,在孔位稀疏部位,深孔与深孔间辅以浅孔,防止产生大块,不利于后期清理或水流冲渣。

五、结语

巴勒水电站导流洞围堰在雨季来临之前顺利拆除,通过现场实践,结论如下:

(1) 导流洞围堰爆破拆除后,经测量底板高程满足通流要求,围堰拆除所采用的控制爆破技术、分层分区等施工技术与工艺,确保保留岩体边坡和构筑物安全。柔性填塞爆破有效降低了孔底爆破裂隙延伸范围,而达到破碎底部岩石目的。

(2) 预留岩坎爆渣通过机械清运和水流冲渣结合模式,减少了水下爆渣清理工程量,可以大幅提升施工效率。但是这种模式需考虑现场水流流速和爆破块度的有效匹配,确保水流顺利清渣。

参考文献

- [1] 王惠民, 吴立. 控制爆破技术在工程枢纽围堰拆除中的应用[J]. 海河水利, 2005.
 - [2] 葛克水. 预裂爆破参数的研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2009.
 - [3] 罗伟, 朱传云. 预裂爆破线装药密度经验公式修正及推求[D]. 武汉: 武汉大学水利水电学院, 2006.
 - [4] 王旭光. 爆破设计与施工[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2011.
 - [5] 王玉洁. 爆破工程[M]. 武汉: 武汉理工大学出版, 2010.
 - [6] 国家安全生产监督管理总局. 爆破安全规程: GB6722-2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- 作者简介: 阮国府(1989-03), 男, 汉族, 湖北谷城, 本科, 工程师, 研究方向: 矿山和水利水电工程爆破施工。