

# 重庆市涪陵区双江水库混凝土面板堆石坝下游坝面护坡变更及施工

侯小勇

中国水电建设集团十五工程局有限公司 陕西 西安 710016

**摘要:**随着工程建设高质量发展理念深入人心,目前面板堆石坝下游坝坡护坡形式也从传统的干砌石护坡形式向预制块护坡、框格梁生态护坡等多样化发展。传统的面板堆石坝下游坝坡干砌石护坡一般与坝体填筑同步施工,坝体填筑至坝顶后再进行下游坝坡干砌石护坡施工安全风险非常大。本文以重庆市涪陵区双江水库混凝土面板堆石坝填筑完成后下游坝面护坡变更及施工为例,介绍了面板堆石坝下游坝坡预制混凝土空心六棱块护坡的施工方案,该方案不仅提高了下游坝面整体感观效果,控制了施工成本,也确保了施工安全,对类似施工有一定借鉴意义。

**关键字:**面板堆石坝;下游坝面;预制混凝土;空心六棱块;护坡;施工

## 1 工程概况

### 1.1 下游坝坡原设计概况

重庆市涪陵区双江水库大坝为混凝土面板堆石坝,坝高78.4m,下游坝坡坡比为1:1.4,分别在721m、741m、761m高程设有马道,将下游坝坡划分为四级坝坡,单级坝坡最大坡长34.4m。大坝下游坝面原设计护坡形式为40cm厚干砌石护坡。

### 1.2 下游坝坡变更背景

坝体填筑时恰逢新冠疫情不可抗力因素影响,为确保2020年的4月底大坝填筑至拦洪度汛高程和2020年10月底大坝填筑封顶的节点目标,下游坝面721m以上砌石护坡未能随坝体填筑施工同步进行施工。大坝于2020年10月15日封顶,此时大坝下游坡面最大斜长达120m,下游坝面观测房也已完成,若大坝下游护坡继续维持原干砌石护坡,大量的干砌石施工作业存在极大的安全风险。

传统面板堆石坝后坝坡护坡形式为利用当地石料进行干砌块石护坡形式<sup>[1][2]</sup>。干砌石护坡一般需要与坝体填筑同步施工,高差不宜过大,且干砌石护坡外观质量受砌筑石块外露平整程度及色泽的制约。在目前火工材料及人工费用大幅提高的情况下,干砌石护坡的缺点越发突出。根据工程实际情况,为确保下游坝面护坡施工安全及提升下游坝面整体外观效果,项目部建议将下游坝面护坡形式进行变更。结合类似工程施工经验,混凝土面板堆石坝下游坝面常见的主要护坡形式有干砌石护坡、浆砌石护坡、混凝土预制块护坡及框格梁生态护坡,随着面板堆石坝发展,下游坝坡护坡形式也愈发呈现出多样化。近年来,越来越多的面板堆石坝后坝坡护坡设计为混凝土预制六棱块护坡形式及框格梁生态护坡形式<sup>[3][4]</sup>。在对比了(1)尺寸400×400mm,跨度4×4m的C20钢筋混凝土框格梁+土工布+填土植草;(2)0.4×0.4m@4×4m(梁宽×梁高×跨距×跨距)框格梁+植生袋;(3)碎石垫层+12cm厚实心六棱块;(4)0.3×0.4m@8×8m框格梁+土工布+填土+8cm厚植草砖植草;

(5)0.3×0.4m@8m×8m框格梁+碎石垫层+12cm厚空心抗滑六棱块;(6)框格填石;(7)新型联锁型混凝土预制块护坡等几种方案,综合考虑施工难度、总价合同施工成本、建成后日常养护维护难度、抗滑性、耐久性等因素后,根据工程实际情况,经与参建各方沟通,最终下游坝坡护坡形式变更为:在确保坝体尺寸不变的情况下,采用预制混凝土空心六棱块代替原干砌块石施工。

## 2 变更后下游坝坡施工技术参数

变更后的下游坝坡施工技术参数如下:

(1)为保证坝体尺寸不变,六棱块厚度采用12cm厚,下铺28cm厚砂+碎石混合料找平层。下游坝面护坡形式剖面详见图1

(2)考虑坡面人工搬运方便,每块边长为25cm,预留直径20cm的中心圆孔,兼做排水孔、抗滑构造。单块质量约38kg。

(3)为增加浆砌石马道的整体抗滑移能力,在每级马道内侧设置一道抗滑梁,抗滑梁采用混凝土浇筑,宽度为0.4m,厚度为0.4m。

(4)原设计马道、踏步、岸坡排水沟的位置和结构形式不变,721m马道高程以下坝坡维持原干砌石护坡不变(考虑坝体浸润线逸出点高程),仍采用浆砌石人工砌筑施工。

### 下游护坡形式剖面图

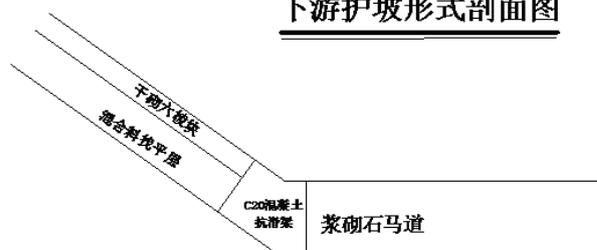


图1 下游坝面护坡形式剖面

## 3 预制六棱块护坡施工

### 3.1 六棱块预制模具

空心六棱块预制模具采用工厂定制的塑料模具。为使

于脱模,模板表面设有脱模角度,圆孔内表面的脱模斜度为 $5^{\circ}$ ,六棱块外表面的脱模斜度为 $3^{\circ}$ 。塑料模具尺寸详见图2、图3

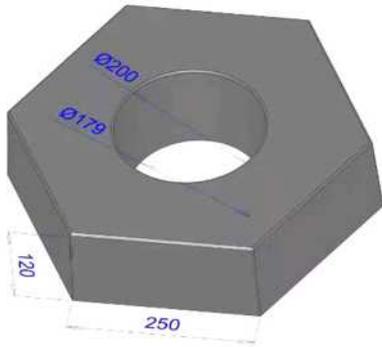


图2 塑料模具设计成型六棱块尺寸立体图

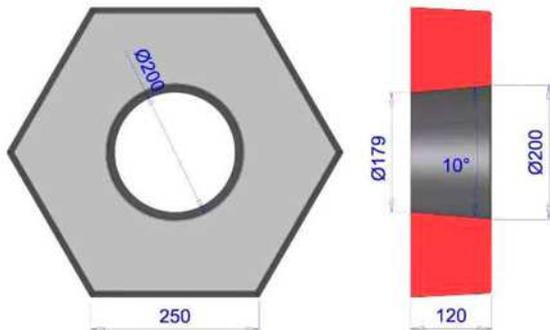


图3 塑料模具设计成型六棱块尺寸剖面图

### 3.2 预制块制作

六棱块预制方案一般有两种方式,一种是利用振动台工厂化流水线预制,振捣、待凝、脱模和养护作业在不同区域完成,这就需要多次搬运,对这种方法对布料、运输、转运的自动化、机械化要求比较高,若靠采用人工搬运工作效率极低;另一种方法是将模具在预制场地拼成一片,集中布料、平料、振捣、待凝,脱模后运至存放区域集中养护,这种方法减少了搬运工作量,同时提高了布料、平料、振捣作业效率、现有设备装载机可以发挥作用,作业人员劳动强度大大降低。限于本工程预制工作量不大,配套的劳力及机械有限,因此后期主要采用了这种预制方法。

预制块混凝土振捣采用30型插入式振捣器振捣,为提高振捣效率,采用在振捣器头部附着比模具略小的不锈钢扁钢六边形插片振捣,不锈钢扁钢利用表止水扁钢压条(8cm宽、7mm厚)制作。

### 3.3 下游坝坡坡面修整

坝体填筑完后下游坝坡堆石体坡面平整度较差,局部存在不稳定块石,为确保施工安全,先测放出下游坝面设计线和踏步位置,人工自上而下进行坡面修整和安全处理,将坡

面清理块石下放至马道附近坡面。坡面修筑施工前设防护栏挡对下部观测房等结构物进行保护。

### 3.4 马道、踏步及岸坡排水沟砌筑

下游坝坡坡面修整结束后开始马道、踏步砌筑,浆砌石砌筑从坝顶第一级坝坡开始逐级向下施工,先施工马道及排水沟,消耗马道及岸坡附近多余块石。马道砌筑完成后可以满足小型运输设备及人员交通条件。马道施工完成后开始坝坡踏步施工,踏步从马道开始由下向上砌筑,砌筑完成后统一进行砂浆抹面。坝坡砌筑砂浆采用溜槽运输。

### 3.5 垫层施工

踏步施工完成后开始垫层铺设。垫层料采用在筛分厂加工的砂+小石+中石混合垫层料,自卸车运输至坝顶卸料,挖掘机甩料至坡面,人工配合60小型挖掘机摊铺至每级马道附近。每级坝坡按踏步分块从上至下铺垫层料。铺设料前根据每级坝坡测量数据计算出相邻踏步及岸坡之间坝面垫层料理论铺设量,铺料时一次不要铺设到位,防止六棱块下放过程造成底部垫层超需求量。六棱块铺筑作业面前垫层随铺随补料,在六棱块施工前人工进行整平人工夯实。

### 3.6 六棱块砌筑

六棱块采用装载机运至坝顶或小型助力手推车运至马道,人工平放至砌筑坡面,人工顺坡拖拽至砌筑部位。边砌筑边从砌筑部位顶部坡面取垫层料。搬运、砌筑混凝土预制块时注意加强成品保护,防止碰损掉角;有明显色差且存在贯穿裂缝的砌块不得使用,以保证外观整体质量。

为避免上下交叉作业造成的安全风险,六棱块砌筑根据马道分级采用“先上后下、由远及近”的分层分片施工方法。先施工远离交通洞的坝左岸第一级坝坡,每一片砌筑分区砌筑时尽量平起上升。

六棱块安放时用钢钎、瓦刀等工具将六棱块底部垫层夯实,六棱块试放好后用橡皮锤(用铁锤时垫木板)敲打表面,铺贴紧密,避免安置完成后局部出现不均匀沉降,六棱块铺设前在坡面水平方向和顺坡方向挂多道通线,铺设过程中控制好六棱块平面的平整,保证坡面坡度统一。

六棱块自下而上逐层砌筑,为确保砌块受力合理,安放时六棱块底部为正六边形水平边,相邻六棱块圆孔竖向在一条直线上,水平错缝无通缝。铺设时排列应整齐、平顺、紧密、美观、并且与坡面及相邻的抗滑梁、观测房挡墙、踏步等衔接密贴、稳固、整体协调一致,六棱砖中心圆孔空腔内填料不超出六棱块表面,坝坡表面应保持平整、美观。底部、顶部及两侧与踏步排水沟相接的不足砌筑一块预制块的空缺采用现浇混凝土封边补空。

施工过程中配套做好现场文明施工及环境保护,砌筑完成后对现场废料、工具及时清理,对六棱块表面的废料进行人工清理,使其表面美观平整。

### 3.7 主要安全防护措施

施工过程中严禁垂直交叉作业,作业人员必须佩戴安

全帽、安全带,穿轻便衣着、软底鞋,禁止穿硬底易滑的鞋。砌筑时在坡面顶部设置20cm高方木拦渣板,坡面设置安全绳,砌筑人员佩戴安全带。第一级坝坡砌筑完成后在坝顶设置一道安全护栏,挂安全网。砌筑工作面下部设一道安全防护,随砌筑同步上升,确保最大高差不大于2m(坡长约3.4m)。

#### 4 预制混凝土空心六棱块护坡的优点

采用预制混凝土空心六棱块护坡代替干砌石护坡的主要优点有:(1)采用人工石代替了爆破块石,砌筑材料容重相差不大,变更后需要考虑新产生的坝坡稳定、透水、后期维护问题少。(2)受当地材料限制小,砌筑块平整度、厚度及形状都很规格,色泽统一,便于外观质量控制。(3)可以在坝体填筑完成后进行砌筑,有利于坝面面积较小的面板堆石坝坝体快速填筑,同时可以确保后期下游坝面护坡施工安全。(4)混凝土预制块施工可以作为独立一道工序进行施工,坝体碾压完成后集中施工,不用进行爆破石料规格选择,从而加快了工程施工进度。(5)预制块护坡施工可以减少坝体填筑施工高峰期作业人员数量,总体上可以减少人工工作量,顺应了新时期工程建设高质量发展的趋势。(6)空心六棱块不但节约了预制块混凝土用量,减轻了单

块重量,中心圆孔也便于工人操作,便于工作面下方安全护栏安装,同时增加了下游坝面透水性和抗滑力。(7)与其他框格梁护坡、生态护坡相比较,施工难度较低,施工速度快,施工不受季节限制,施工成本也较低。

#### 结束语:

本工程共预制六棱块约7万块,预制场面积约1000m<sup>2</sup>,预制场人员配置8~11人,平均每天预制1200块左右,高峰时每天可以预制1800块左右。预制块制作共历时3个月完成,预制块铺设共历时2.5个月完成。目前,重庆市涪陵区双江水库面板堆石坝下游坝面护坡已安全施工完成,下游坝面景观效果良好,同时也达到了控制施工成本,加快施工进度预期效果,对其他类似工程的建设起到一定的指导和借鉴意义。

#### 参考文献:

- [1]SL228-2013. 混凝土面板堆石坝设计规范[S]
- [2]SL49-2015. 混凝土面板堆石坝施工规范[S]
- [3]吴刚. 面板堆石坝后坝坡护坡形式的探索[J]. 水能经济, 2017(4):368-368.
- [4]文军. 浅谈预制六棱块在黔中水利枢纽大坝坝后护坡的技术应用[J]. 工程技术(引文版), 2015:00207-00207.