

# 三岔河水电站面板堆石坝坝体填筑施工综述

张黎

(中国水利水电第五工程局有限公司,四川成都 610066)

**摘要:**混凝土面板堆石坝是上世纪六十年代发展起来的一种坝型,具有工程量小、工期短、投资省、施工简便、运行安全等优点。随着筑坝技术突飞猛进的发展,数字化筑坝技术越来越成熟,已建成或在建的堆石坝逐渐增多,其现场自然条件和筑坝材料亦不同。三岔河面板堆石坝工程蓄水发电已有一年有余,大坝沉降和量水堰观测数据远低于同类大坝设计要求和规范,工程质量受到业主、设计单位的好评。介绍了河床清基、填筑材料分区、试验、铺料碾压等方面采取的施工技术。

**关键词:**三岔河水电站;面板堆石坝;坝体填筑;施工

中图分类号:TV641;TV7;TV52

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2018)04-0115-04

## 1 工程概况

三岔河水电站位于云南省保山地区腾冲市猴桥镇,为槟榔江梯级的龙头水库,坝址控制流域面积382.4 km<sup>2</sup>,多年平均流量为31.3 m<sup>3</sup>/s,工程开发任务单一,仅为发电,采用混合式开发。水库正常蓄水位高程为1 895 m,总装机容量72 MW,正常蓄水位高程以下库容2.59亿 m<sup>3</sup>,为二等大(2)型工程。

该工程大坝为混凝土面板堆石坝,坝顶高程1 900 m,坝顶长度331 m,坝顶宽度8 m,筑坝石料主要取自清水河石料场和溢洪道开挖料。堆石

坝坝体填筑区自上游向下游依次为盖重区(1B)、上游铺盖区(1A)、特殊垫层区(2B)、垫层区(2A)、过渡料(3A)、上游主堆石区(3B)、下游堆石区3C、下游排水堆石区3D、下游护坡等。大坝下游面1 870 m高程以下坡比1:1.4为干砌石,1 870 m高程以上坡比1:1.6为浆砌石。其中2A区水平填筑宽度为3 m、3A区水平填筑宽度为4 m。大坝采用钢筋混凝土面板防渗,上游1 840 m高程以下采用1:1.4的铺盖区(1A)和1:2.5的盖重区(1B)防护。大坝标准断面见图1,坝体填筑主要工程量见表1。

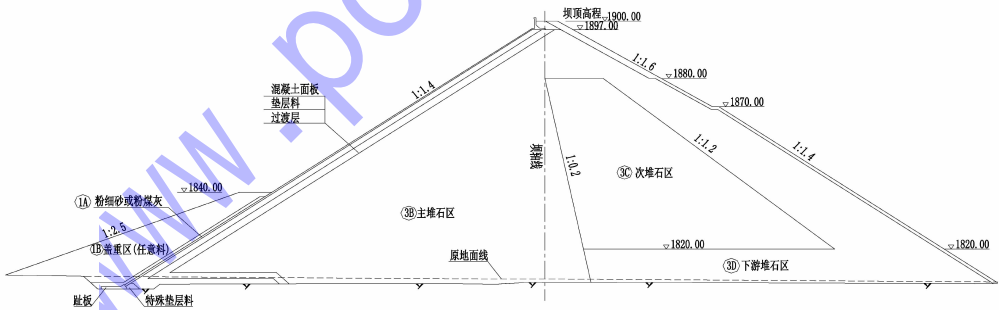


图1 大坝标准断面图

该工程区域地处横断山脉南段,地势北高南低,属中高山剥蚀地貌,为冈底斯-念青唐古拉褶皱系中的伯舒拉岭-高黎贡山褶皱带二级构造单元。区域构造基本构架以南北向构造带为主,次为东北向及北西向,断裂较发育,褶皱多展布在工程区外围,轴向近南北向。区域地层出露不全,主要出露的地层为元古界高黎贡山群变质岩系,区

内岩浆活动强烈,主要表现为燕山、喜山期大规模中深成相酸性岩浆的侵入,工程区主要为燕山期侵入花岗岩。区内地震地质环境复杂,新构造运动迹象明显,在地貌、火山活动、地热、地震等方面均有反映。电站位于较完整的花岗岩体上,强震活动相对微弱,地震基本烈度的大小主要受外围强震的影响。

该地段河谷断面呈不对称的“V”型,两岸地

收稿日期:2018-05-25

表1 大坝填筑主要工程量表

编号	项目	单位	工程量
1	粉细沙或粉煤灰	m <sup>3</sup>	7 628
2	盖重料	m <sup>3</sup>	59 073
3	垫层料	m <sup>3</sup>	131 085
4	特殊垫层料	m <sup>3</sup>	2 609
5	过渡层料	m <sup>3</sup>	141 244
6	上游堆石料	m <sup>3</sup>	703 541
7	下游堆石料	m <sup>3</sup>	330 435
8	下游排水堆石料	m <sup>3</sup>	271 125

形较完整,平均地形坡度一般为 $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$ ,枯期河水面宽度一般小于20 m,水深1~3 m。坝轴线部位正常蓄水位处河谷宽约265 m,地表多为第四系坡积层及冲、洪积层覆盖,坝基范围河床冲积层厚度为1.5~3 m,基岩以似斑状花岗岩为主,局部见中、粗粒花岗岩。两岸坝址趾板基础开挖形成的边坡主要由全、强风化花岗岩体组成,属散体均质边坡,其破坏形式主要为圆弧型的滑移失稳,稳定性差。

## 2 总体施工规划

根据大坝现场实际情况并结合道路情况制定的大坝坝体填筑总体规划方案为:坝体填筑分期按照招标文件的节点工期要求和度汛目标划分,以满足施工导流要求及总工期要求、确保施工期安全度汛、兼顾施工道路布置及施工强度均衡、能组织机械化流水施工为原则划分,该工程总体分为五期进行填筑。具体分期情况如下:

I期:利用上下游低线路、坝体全断面填筑到1 845 m高程,坝体具备临时挡水条件,填筑方量为639 372 m<sup>3</sup>。

II期:利用左岸中线上坝路、坝体全断面填筑至1 860 m高程,填筑方量为390 839 m<sup>3</sup>。

III期:利用左岸高线路,坝体全断面填筑到1 897 m,填筑方量为543 259 m<sup>3</sup>。

IV期:利用右岸上坝公路完成坝顶过渡料的填筑。

V期:利用右岸上游道路填筑大坝上游盖重区,为大坝蓄水创造条件,填筑方量为59 077 m<sup>3</sup>。

## 3 施工布置

### 3.1 场内施工道路布置

发包人已委托其它承包人修建场内交通项

目,至本标各施工部位和施工场地均可利用发包人提供的场内交通到达。为满足大坝填筑的施工需要,项目部在上、下游分别新修了一条低线路,在左岸新修了一条中线和高线路。

### 3.2 施工供水

土石方填筑施工用水主要为填筑料洒水。在右岸1 900 m高程平台修建了一座400 m<sup>3</sup>储水池,通过4 in(1 in=2.54 cm)钢管引至作业面,使用2 in塑料管进行坝面洒水。

### 3.3 坝料来源

大坝的主堆石I区料(3B)、主堆石II区料(3C、3C2)、过渡层区料(3A)、排水层区料(3D)、下游护坡均采用清水河石料场和溢洪道开采料。特殊垫层区料(2B)、垫层区料(2A)、反滤料均由该标砂石加工系统提供,盖重区的任意料区均采用堆在右岸堆渣场的弃渣石料。铺盖区(粉煤灰或粉细沙)采用外购的方式予以解决。

## 4 坝体填筑施工

### 4.1 坝面填筑作业工艺流程

坝面填筑作业的一般工艺流程为:坝基基础开挖、平整→填筑前坝基验收及碾压试验→填筑料开采、运输→卸料、铺料、洒水→碾压→质量检测、验收→上一层填筑料填筑。

### 4.2 坝面各区的填筑顺序

大坝各区的填筑顺序:断层处理→排水层(3D)填筑→下游堆石区(3C)填筑→上游主堆石区(3B)填筑→过渡层填筑→垫层填筑→上一层填筑料填筑。根据填筑工艺要求,下游主堆石区先于上游主堆石区填筑。为施工方便和保证质量,主堆石I区紧跟主堆石II区填筑,最多滞后2~3层。

### 4.3 坝基基础处理

坝基基础处理主要是将坝基基础坡度开挖到合格的坡比,并按照设计要求对断层进行挖除、回填混凝土、回填反滤料或铺土工布和反滤料。

### 4.4 填筑前坝基地形、填筑边线测量及坝基验收

在坝基基础开挖、平整施工验收合格后,必须对填筑前的坝基进行地形测量、填筑边线测量并进行坝基验收。坝基验收后,方可进行填筑施工。

填筑边线测量主要包括:坝体上下游边线、坝基排水层、上游主堆石区与下游堆石区、下游主堆

石区与上游过渡层、过渡层与垫层料相衔接的边线。测量完成后洒石灰标示出各种料的边线。

#### 4.5 碾压试验

准确把握筑坝材料碾压特性和工程力学特性,论证设计提出的填筑标准(孔隙率)的合理性,确定最佳施工参数。坝料现场碾压试验共完成过渡料、主堆石料、次堆石料碾压试验各两场,垫层料碾压试验一场,对不同填筑区的坝料进行了洒水量0%~20%、碾压6遍、8遍、10遍,压实层厚40 cm、80 cm、120 cm,18 t和26 t的自行碾等多种试验参数组合的碾压试验。最终确定的最佳参数如下:

垫层料采用18 t振动碾,混合法铺料,碾压6~8遍,40 cm层厚,洒水量为5%~10%。

主堆石料采用26 t振动碾,进占法铺料,碾压8遍,80 cm层厚,洒水量为15%。

次堆石料采用26 t振动碾,混合法铺料,碾压6~8遍,80 cm层厚,洒水量为10~15%。

#### 4.6 填筑料的开采及运输

##### 4.6.1 填筑料的开采与加工

大坝填筑料的主堆石料、基础过渡区、排水层料、过渡层料直接采用清水河石料场和溢洪道基础开挖的可利用料。石料场采用微差挤压爆破方法开采;任意料直接采用右岸上游渣场堆存料;特殊垫层区、垫层区、反滤料采用其他标砂石系统提供的人工骨料。

##### 4.6.2 填筑料运输

所有进入坝区的填筑料均须满足不同填筑区填筑料的级配要求。从填筑料挖装开始直到运输至工作面的全过程需对填筑料质量进行严格控制。对于主堆石料、基础过渡区、排水层料、过渡层料挖装过程中发现的断层夹泥、风化料、树根等及时清除。

反滤料、上游垫层料、过渡层料由于条带宽度较窄(垫层料水平宽度为3 m、过渡层料水平宽度为4 m)采用15 t自卸车运输外,其它部位的填筑料均采用20 t、25 t自卸车运输上坝。运输过程中,不同填筑料的运输汽车设明显的标志并由专人管理,防止填筑料混杂。保证运输车辆基本固定且保持车厢、轮胎的清洁,防止将残留在车厢和轮胎上的泥土带入清洁的料源及填筑区。坝面上

设专门的调度人员指挥卸车,防止填筑料出现偏粗偏细集中现象。对坝面上出现的个别超径石将其挖运至坝体填筑区之外进行解小。

#### 4.7 卸料、铺料及洒水

##### 4.7.1 作业分区

对于堆石料的铺筑,根据坝面作业面积划分作业区域,分2~3个作业区域进行流水铺筑作业。对于上游垫层料(2A)、过渡层料(3A)的填筑,采用与主堆石料工作面跟进的方式施工,最多比主堆石料滞后两层,并保证任何时候填筑过程中上游垫层料(2AB)、过渡层料(3A)与上游堆石区(3B)的高差不超过1 m。

##### 4.7.2 卸料及铺料方式

由于上下游堆石料径粒较大,为保证碾压作业平整,20、25 t自卸车卸料时采用进占法施工,即自卸车在未碾压的层面上行驶,卸料后采用SD32推土机及时平整,防止出现大块径石渣集中等级配分离现象而影响碾压效果及填筑质量。对于坝上游的过渡层料,采用20 t自卸车后退法沿轴线方向间隔卸料,即自卸车在已碾压的坝面上行驶,并使每一料堆相隔一定的距离,然后采用SD32推土机沿坝轴线方向进行平整并采用反铲对其边线进行修整。垫层料的设计宽度仅为3 m,采用后退法卸料,人工配合反铲铺料、平整。

垫层、过渡层与相邻层次之间的材料界线应分明,分段铺筑时,必须做好接缝处各层之间的连接,防止产生层间错动或折断现象,在斜面上的横向接缝应收成缓于1:2的斜坡。

##### 4.7.3 层厚控制

各种填筑料的铺筑厚度必须按照碾压试验得到并通过监理工程师批准的铺筑厚度严格控制。

钢筋混凝土面板下的垫层与过渡层、过渡层与主堆石连接时,先填下游的主堆石、上游主堆石,然后填过渡层,最后填垫层。一层主堆石、两层过渡层和两层垫层平起作业。对于上游垫层料(2A)、过渡层料(3A)的填筑,采用与主堆石料工作面跟进的方式施工,最多比主堆石料滞后两层,并保证任何时候填筑过程中的上游垫层料(2A)、过渡层料(3A)与上游堆石区(3B)的高差不超过1 m。铺筑厚度遵照碾压试验成果,主堆石I的铺筑厚度与主堆石II的铺筑厚度相同,以达到坝面



平顺、便于流水施工的目的。

为准确控制填筑层厚,在已填筑的坝面上的不同部位设置层厚控制标杆,推土机操作手根据标杆上标识的厚度进行平料,并在平料过程中质检员根据检查频率要求随时检查其铺筑厚度,及时进行纠偏,铺筑厚度的误差不超过 $\pm 5$  cm。

#### 4.7.4 填筑料洒水

坝料洒水是指对排水层料、堆石区料、过渡区料、垫层料等坝体填筑料进行洒水。根据以往的经验,该工程采用在石料运输途中坝外加水和坝面补水相结合的方案。加水站、坝面加水量通过现场试验确定。冬季负温下填筑施工时,填筑料不进行洒水施工。

#### 4.8 碾压施工

过渡区料、上下游主堆石 I、II 区填筑料、坝基排水料、反滤料及大坝上游过渡层料、垫层料的水平碾压均采用 26 t 自行式振动碾碾压。碾压顺坝轴线方向按进退错距法碾压。将振动碾行进速度控制在 2 km/h 左右碾压效果较好。

在垫层、过渡层、堆石各分区的交接带其碾压搭接宽度不小于 10~20 cm;在各区之内不小于 50 cm。碾压遍数按照经监理工程师批准的碾压试验成果进行控制。靠近岸坡时,自行式振动碾可顺岸坡来回碾压,对于 25 t 振动碾无法碾压到位的部位,采用手扶式振动碾碾压夯实。碾压过程中,现场管理人员及时标识、记录碾压区域和遍数,防止少碾和漏碾并协助试验人员在碾压完成区域取样。同时,经常检查振动碾的各项特性,使其保持规定的施工参数。

#### 4.9 特殊部位的填筑

需作特殊填筑处理的部位有:上游垫层料、过渡层料与主堆石料衔接部位的填筑,坝内层间接缝部位的填筑,坝体与岸坡接坡部位的填筑以及坝内埋设观测仪器设备的周边回填等。在上游垫层料、过渡层料与主堆石料衔接部位的填筑中,各种填筑料应保持均衡上升,垫层料、过渡层料的铺料厚度均为主堆石料的 1/2,其与主堆石料接缝处必须骑缝碾压。当分块填筑时,先填筑块必须按照缓于 1:2 的坡度收坡,并对块间接坡处的虚坡带采取专门的处理措施——台阶式接坡方式。

#### 4.10 上游铺盖和任意料的施工

上游坡面 1 840 m 高程以下钢筋混凝土面板施工结束并达到设计龄期后,即可进行上游盖重区(任意料)和上游铺盖区(细沙或粉煤灰料)的施工,填筑方法同主堆石施工方法。铺盖与混凝土结合处施工时,应清除混凝土表面乳皮、粉尘及其上附着的杂物,各项指标须满足相关要求。

#### 5 施工质量控制

面板堆石坝坝体填筑施工是大坝质量控制的关键。主要控制点为:(1)爆破料的级配、粒径、泥团含量、石料物理力学指标;(2)垫层料与小区料的级配;(3)填筑施工参数:铺料厚度、碾压遍数、碾压轨迹、洒水量;(4)碾压设备工况控制,振动碾的碾重与施工过程中的激振力、振动频率等指标。通过精心组织、精细管理,最终的试验结果均满足设计要求。

#### 6 建议与结语

坝前铺盖施工前笔者建议在坝面 1 860 m 高程以下铺设一层 400 g 的土工膜(0.5PE 膜),四周采用 10 cm 宽,1 cm 厚扁钢辅助高强螺栓固定,高强螺栓采用聚脲人工封边,聚脲上铺一层玻璃丝布,然后在坝面设置纵向钢管,底部接软胶管进行火山灰的铺设,胶管上栓麻绳,左右移动下灰,该方法环保经济、简单,给大坝增加了一道防护屏障。

三岔河水电站面板堆石坝坝体施工前进行了大量的试验和准备工作,施工过程中,从原材料、施工工艺、施工工序、施工机械全过程进行控制,对不同的坝料采取不同的填筑碾压标准,采用 GPS 监控系统对碾压机械的运行轨迹、运行速度及碾压遍数等进行实时监控,坝体填筑于 2013 年 12 月开始,2015 年 11 月底完成,工程实体质量好,工程比预定计划提前半年多发电,工程蓄水发电两年多时间,大坝累计沉降 43 cm,远远低于同类设计和规范要求。

#### 作者简介:

张黎(1983-),男,贵州三穗人,工程师,一级建造师,从事水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)