

# 黄金坪水电站大坝心墙沥青混凝土配合比 试验及施工质量控制

叶晓培, 罗亮

(中国人民武装警察部队 水电第一总队, 广西 南宁 530028)

**摘要:** 黄金坪水电站大坝为沥青混凝土心墙堆石坝, 心墙顶高程1480.7 m, 底高程1405.5 m。沥青混凝土心墙是土石坝坝体防渗的关键部位, 施工中对温度控制要求高, 受气候条件制约大, 施工质量要求高, 施工质量控制是其重点。从防渗效果看, 所采用的配合比是合理的, 所采取的质量管理措施切实有效。

**关键词:** 沥青混凝土心墙; 配合比试验; 质量控制; 黄金坪水电站

中图分类号: TV7; TV523; TV544 + 92; TV41

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2016)02-0063-05

## 1 工程概况

黄金坪水电站大坝为沥青混凝土心墙堆石坝, 最大坝高85.5 m, 心墙底部置于两岸混凝土基座、左岸溢洪道右边墙和坝基廊道顶部。沥青混凝土心墙轴线位于坝轴线上游2.25 m, 其顶高程1480.7 m, 底高程1405.5 m, 顶部厚0.6 m, 至1407.5 m高程处逐渐加厚至1.1 m, 从1407.5 m高程以下至高程1405.5 m为心墙放大脚, 心墙底部逐渐变厚至2.3 m。施工历时一年, 较合同工期缩短了3.5个月。

黄金坪水电站大坝心墙工期紧、技术含量高, 且受地质、水文和气象等多方面因素影响, 大坝心墙沥青混凝土的施工必须采用合理的方法、高效的设备、严密的计划、科学的配合比、有效的质量管理措施, 才能确保工程质量, 提高大坝工程建设的经济效益和社会效益。

## 2 沥青混凝土配合比试验

根据黄金坪水电站沥青混凝土心墙设计技术要求, 沥青混凝土主要设计参数: 容重大于 $2.35 \text{ t/m}^3$ , 孔隙率(%) $\leq 3\%$ , 渗透系数不大于 $1 \times 10^{-8} \text{ cm/s}$ , 水稳定性不小于0.9, 骨料最大粒径为19 mm。沥青混凝土设计参数见表1。

### 2.1 沥青混凝土所用原材料

(1) 沥青。所用沥青为克拉玛依2#水工沥青。克拉玛依2#水工沥青质量稳定, 满足DL/T5411-2009《土石坝沥青混凝土面板和心墙设计规范》要求。

收稿日期: 2015-12-31

表1 碾压式沥青混凝土主要设计指标表

项 目	设计指标	备 注
密度 / $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$	$\geq 2.35$	
孔隙率 /%	$\leq 3$ (芯样) 马歇尔试样 $\leq 2\%$	
渗透系数 / $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$	$\leq 1 \times 10^{-8}$	
水稳定性系数	$\geq 0.9$	
间接拉伸强度 / $\text{kPa}$	$\geq 200$	
间接拉伸应变 /%	$\geq 2$	15.4 °C
弯曲强度 / $\text{kPa}$	$\geq 400$	
弯曲应变 /%	$\geq 1.5$	
模量数 $K(E - \mu)$ 模型 内摩擦角 /°		
粘结力 (MPa)	$\geq 300$	15.4 °C
	$\geq 25$	
	$\geq 0.3$	

(2) 粗骨料。沥青粗骨料为粒径19~2.36 mm的白云岩碱性骨料, 由康定水泥厂白云岩毛料经骨料加工系统破碎筛分工艺得到的人工碎石, 白云岩粗骨料质地坚硬, 在加热过程中未出现开裂、分解等现象, 与沥青粘附力强; 坚固性好, 压碎率合格, 满足沥青混凝土粗骨料的技术指标要求。

(3) 细骨料。沥青混凝土中细骨料为粒径2.36~0.075 mm的白云岩碱性骨料, 由康定水泥厂白云岩毛料经骨料加工系统破碎筛分工艺得到的人工砂, 人工砂质地较坚硬, 在加热过程中未出现开裂、分解等现象, 吸水率较小, 硫酸钠干湿5次循环重量损失小, 但人工砂中粒径小于0.075 mm的白云岩填料含量较大(35%左右), 远远超出规范要求。在工程施工中, 试验室通过调整各

级骨料及填料的配合比例,最终使所合成的矿料级配中粒径小于0.075 mm的填料含量满足理论配合比要求。

(4)填料。黄金坪水电站沥青混凝土中的填料为粒径小于0.075 mm的白云岩矿粉,由沥青拌合系统除尘抽吸设备回收粗骨料及细骨料中的粉料而得,白云岩填料为碱性且各项检测指标均能满足设计、规范要求。

## 2.2 沥青混凝土配合比的选定

配合比选定试验测定不同配比参数条件下试件的密度和孔隙率,采用劈裂试验测定间接拉伸荷载和垂直位移,从而计算出试件的间接拉伸强度和间接拉伸应变。根据配合比试验结果,从防渗、变形、强度、施工等性能和安全、经济考虑,推荐出最优配合比做为沥青混凝土心墙施工配合比。试验参数见表2。

表2 沥青混凝土配合比参数表

配合比 编号	级配参数				材料			
	矿料最大粒径 /mm	级配 指数	填料含量 /%	油石比 /%	粗骨料	细骨料	矿粉	沥青
1		0.31	13	6.7				
2		0.36	13	6.7				
3		0.41	13	6.7				
4		0.46	13	6.7				
5		0.51	13	6.7				
6		0.41	9	6.7				
7	19	0.41	11	6.7	白云岩	白云岩 人工砂	白云岩	克拉玛依 水工2号
8		0.41	15	6.7				
9		0.41	13	6.4				
10		0.41	13	7				
11		0.41	13	7.3				
12		0.41	13	7.6				
13		0.41	13	7.9				

根据配合比试验结果,选定3号和10号配合比为黄金坪水电站的沥青混凝土心墙施工配合比,并进行了各项性能试验验证。配合比材料和

级配参数见表3,矿料级配见表4,推荐配合比性能参数见表5。

试验结果表明,所选定的配合比是合适的。

表3 推荐心墙沥青混凝土配合比表

配合比 编号	级配参数				材料			
	矿料最大粒径 /mm	级配 指数	填料含量 /%	油石比 /%	粗骨料	细骨料	填料	沥青
3	19	0.41	13	6.7				
10	19	0.41	13	7	白云岩	白云岩 人工砂	白云岩 矿粉	克拉玛依 70号A级

表4 推荐配合比的矿料级配表

配合比 编号	筛孔尺寸 /mm	粗骨料(粒径为19~2.36 mm)					细骨料(粒径为2.36~0.075 mm)					小于0.075
		19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	
3和10	理论通过率	100	93.4	86.5	76	57.9	44.2	34	26.5	20.7	16.3	13

沥青混凝土孔隙率、防渗、小梁弯曲等性能满足规范要求。为确保沥青混凝土质量的保证率,最终选定10号配合比为实际施工配合比。

### 3 沥青混凝土骨料生产、加工质量控制

针对白云岩性脆、硬度小等特点,在加工过程中降低骨料的含粉量至关重要,主要控制部位为沥青混凝土骨料加工系统及沥青拌合站处。

沥青混凝土加工系统:细碎车间产粉料较多,

在细碎车间安装相关粉料收集装置回收部分粉料,并在粒径5 mm以下的颗粒料胶带运输机后增加一套扬料扬尘的滚筒,将吸粉管装在扬料滚筒设备上吸收粉料,以达到降低骨料含粉量的目的。设备运行原理为:将细碎车间出料口进行封闭,进入一级两管旋风重力除尘器,将带有颗粒的物料进行收集,然后用管道接至二级布袋除尘器,将细粉尘收集至布袋除尘集灰斗内,经集灰斗螺

旋输送机、刚性叶轮下料器及一台外排螺旋和一台粉料提升机送至60 t立式粉罐内储存。加工系统采用多个筛分车间多级振动筛,以保证沥青骨料有效的分离。

表5 推荐配合比防渗层沥青混凝土性能表

项 目	配 合 比		设计要求
	3	10	
密度 /g·cm <sup>-3</sup>	2.438	2.44	≥2.35
马歇尔试件孔隙率 /%	0.86	1.27	≤2
小梁 强度 /MPa	0.65	0.63	≥0.4
弯曲 应变 /%	5.48	3.02	≥1.5
劈裂 间接拉伸应变 /%	1.87	2.11	—
劈裂 间接拉伸强度 /MPa	0.39	0.31	≥0.2
拉伸 强度 /MPa	0.25	0.4	—
拉伸 应变 /%	3.02	1.76	—
压缩 强度 /MPa	2.04	1.91	—
压缩 应变 /%	6.35	5.55	—
水稳定	1.13	1.24	0.9
渗透 /cm·s <sup>-1</sup>	<10 <sup>-8</sup>	<10 <sup>-8</sup>	≤1×10 <sup>-8</sup>
马歇尔 稳定度 /kN	5.8	6.1	≥5
流值 /0.1 mm	128	161	≥50
模量数 $K(E-\mu)$ 模型	458.8	474.5	≥300
静三轴 内摩擦角 /°	27	29.3	≥25
粘结力 /MPa	0.16	0.11	—

沥青混凝土拌合站:为提升该系统设备的石粉处理能力,将一级除尘系统中螺旋输送机管道直径由原来的60 mm 改造成90~100 mm,并增加了一台提升机,在除尘器上开设除尘口以解决一级除尘锥体堵塞问题;增加布袋除尘系统钢给机的输送量,将其功率由0.75 kW 改为1.5 kW;螺旋输送机直径由60 mm 改为100 mm,布袋除尘系统的布袋设备备用2套;为了提高系统能力,将其中一个1000型布袋除尘器更换成2000型布袋除尘器,并增加12.5 c 90 kW 引风机一套;因系统回收粉尘量增加,矿粉罐需增加两个放料口以满足放料需求;一级除尘和二级除尘系统须与提升机连接,提升机须与矿粉罐连接。如此实施,确保了参与拌合的沥青混凝土骨料指标满足要求。

#### 4 施工质量的检测与控制

黄金坪水电站沥青混凝土心墙常规试验检测在现场试验室完成,芯样力学性能试验送外委检测。沥青混凝土心墙施工配合比校核通过严谨周密的室内试验与计算确定了施工中混凝土各级骨料配料比例参数,使所拌制的沥青混凝土矿料比例满足设计偏差要求。现场试验室根据设计技术要求对进场原材料按批次进行检测,对拌合楼每

日拌制的沥青混合料进行配合比偏差情况抽提检测,使用核子密度仪对摊铺完成的每层心墙进行无损检测孔隙率,按频次对心墙取芯检测密度、孔隙率及力学性能。

#### 4.1 原材料质量检测及控制

心墙施工的原材料主要由沥青、粗细骨料、矿粉组成,粗骨料粒径范围为19~9.5 mm、9.5~4.75 mm、4.75~2.36 mm三级,细骨料粒径范围为2.36~0.075 mm,矿粉粒径为小于0.075 mm的颗粒。

(1)沥青。为新疆克拉玛依石化总公司生产的水工2号石油沥青。生产厂家在沥青出厂时提供本批沥青全部试验指标报告和合格证;沥青运至现场,按每30~50 t为一个批次由工地试验室依据设计技术要求进行检测,主要指标检测合格后方可入罐。

(2)粗骨料。粗骨料按每生产1 500 m<sup>3</sup>为一个批次检验其表观密度、与沥青粘附性、超逊径、针片状和含泥量等指标,抽样点为各成品骨料仓,各级成品骨料分类堆放。

(3)细骨料。细骨料按每生产1 500 m<sup>3</sup>为一个批次检验其超逊径和含粉量指标,以控制其级配稳定性,抽样点为细骨料成品料仓。

(4)填料。填料按每使用10 t为一个批次检验其细度指标,以确保每日沥青混合料配料比例的准确性。

#### 4.2 沥青混凝土现场质量检测与控制

(1)沥青混凝土原材料及拌合质量的检测与控制。

①根据原材料和沥青混合料施工配合比,按相应部位的施工通知单签发混凝土施工配料单,在沥青混合料生产开始之前,通过检验称码以检查衡器的精度,以后在生产过程中每月检验衡器精度,配料称量允许偏差规定见表6。

表6 配料称量检验标准表

项目	材料名称			
	沥青	粗骨料	细骨料	填料
允许偏差	±0.3%	±5%	±3%	±1%

②沥青混凝土拌合系统设有二次筛分装置,在拌合系统料场测试的矿料级配、超逊径、含水量等不能作为计算施工配料单的依据,对经过二次筛分后的热料仓取料进行矿物级配、超逊径试验

后计算施工配合比显得不现实且不具有代表性,因此,在计算施工配料单时应以前一仓位的沥青混合料的抽提试验测试成果作为依据;抽提试验的取料部位在施工现场,沥青混合料在摊铺完成后、未碾压之前从不同部位取料混合,用四分法分取试样进行抽提试验并计算出各组分数值,结合设计配合比进行调整。

③沥青、粗细骨料、矿粉按照施工配料单投料称量。拌制沥青混合料时,应先投骨料与填料干拌15 s,再喷洒沥青湿拌45~60 s;对混合料出机温度根据环境温度变化严加控制,一般为165 ℃~180 ℃,所拌制的沥青混合料应均匀、无花白料、冒黄烟,卸料时不产生离析。

#### (2) 沥青混凝土现场质量的检测与控制。

沥青混凝土心墙现场质量检测主要以无损检测为主,取芯检测为辅,对于每层摊铺碾压完成的沥青混凝土心墙采用核子密度仪进行密度检测,在得到基础数据后,通过无损检测与取芯检测密度数据之间的线性关系进行计算并得出现场碾压完后的密度,进而计算得出相应的孔隙率指标,在心墙完全冷却下来后进一步通过真空渗气仪以负压渗气法检测心墙的渗透性能。心墙现场质量检测项目频次见表7。

表7 心墙混凝土筑现场检测项目和标准表

检测项目	检测频次	控制标准
孔隙率 无损 检测	每30 m 检测一个点	稳定1 min 气压下降
渗透性能	每100 m 检测一个点	≤0.003 MPa
密度 取芯 检测	心墙每上升3 m 取芯一次 心墙每上升3 m 取芯一次	
孔隙率 力学性能 静三轴	每4至6 m 取芯一次 每4至6 m 取芯一次	

#### 4.3 及时检测控制

心墙采用水平分层铺筑,摊铺机摊铺,2.4 t

表8 沥青混凝土施工温度控制标准表

沥青加热温度 /℃	骨料加热温度 /℃	出机口温度 /℃	入仓温度 /℃	初碾温度 /℃	终碾温度 /℃	上层表面温度 /℃
140~160	170~190	160~180	140~165	130~160	不低于110	70~90

#### 4.5 沥青混凝土层间结合控制

沥青混凝土心墙的层间结合质量是影响心墙防渗性能的重要环节。施工中采取了多项措施以保证层间的结合质量。

(1) 对与沥青混凝土相接的混凝土表面采用

振动碾碾压密实,铺筑过程中进行温度、厚度、宽度、碾压及外观等项检查。

在混合料铺筑过程中,严格对摊铺温度、初碾温度、终碾温度进行控制,铺筑现场派专人检测混合料温度,掌握适宜的碾压时机。沥青心墙工程每层摊铺厚度为25±1 cm,压实厚度为23±1 cm,原则上不得大于最大铺料、压实厚度。由于摊铺机行走履带位于沥青心墙两侧压实后的过渡料上,因此,施工过程中,为保证摊铺厚度的均匀性,过渡料摊铺后采用人工辅助耙平以确保其底层的平整。心墙断面为梯形渐变,而摊铺机为自带竖直模板,施工过程中要精确计算每层的设计上、下底宽,摊铺时按设计底宽控制摊铺宽度。沥青混合料摊铺前测量并定出心墙轴线,用石灰打线标识,调整摊铺机模板轴线与之重合,摊铺机行走过程中激光器对准仪对准中心线匀速行走,从而保证轴线上、下侧宽度一致并满足设计要求。沥青混合料起始碾压时,随着碾压遍数的增加,沥青混凝土容重亦随之增加,当碾压遍数达到一定程度时,容重处于一个较稳定阶段,即达到了最大压实容重。为便于混合料内部气泡的排出,混合料在入仓后需静置约0.5 h后再进行碾压。碾压完成后的心墙表面应平整光滑、无严重龟裂和骨料外露现象。

#### 4.4 温度监测及控制

沥青混凝土心墙的温度控制主要从骨料加热温度、沥青加热温度、出机口温度、入仓温度、初碾温度、终碾温度及上一层表面温度等几个方面入手,每个环节均安排专人进行温度检测记录,对出机口不满足施工要求的沥青混合料进行废弃处理。在每层施工时,对上一工序顶面采用明火加热的方式使表层温度达到施工要求。沥青混凝土温度控制标准见表8。

冲毛、刷毛等措施将其表面的浮浆、乳皮、废渣及黏附污物等全部清理干净并使其表面干燥。在经处理后的混凝土表面均匀喷涂1~2遍稀释沥青(约0.2 kg/m<sup>2</sup>,稀释沥青配比为沥青:汽油=3:7),待稀释沥青干涸后,再铺设一层1.5~2 cm厚

的沥青玛蹄脂,宽度至少比沥青混凝土心墙基底宽出30 cm。

(2)在已压实的心墙上继续铺筑前,应将结合面清理干净。污面宜采用压缩空气喷吹清除。如喷吹不能完全清除,应用红外线加热器烘烤粘污面,使其软化后铲除。当沥青混凝土心墙层面温度低于70 ℃时,采用明火加热至70 ℃以上。

(3)对于施工中出现的施工横缝,将其结合坡度做成不陡于1:3的斜坡并压实。未经压实的横缝斜坡在填筑新沥青混凝土时应予以铲除。上、下层横缝错开2 m以上。

(4)沥青混凝土表面不宜长时间停歇、暴露,因故停工、停歇时间较长时,应采取覆盖保护措施。

(5)沥青混凝土心墙钻孔取芯后,对其留下的孔洞应清理干净并抹干烘干,然后分5 cm一层回填击实。

#### 4.6 加强全面管理

严格按照项目法管理,科学、合理地组织心墙沥青混凝土施工:施工人员不得在未覆盖的心墙表面踩踏;禁止向仓内抛投杂物;碾压过程中及时清理仓面上的污物和冷料块,并用小铲将嵌入沥青混凝土心墙的砾石清除;碾压机具应保持20~30 m/min匀速行驶,行走过程中不得突然刹车或横跨心墙碾压。

#### 4.7 养护及保护

沥青混合料摊铺后,宜用防雨布将其覆盖,覆盖宽度应超出心墙两侧各30 cm,碾压时将防雨布揭开碾压,碾压完成后应及时覆盖。各种机械车辆不得直接跨越心墙;心墙铺筑后,在心墙两侧2 m范围内禁止使用大型机械(如10 t以上的振动碾)压实坝壳填筑料,以防心墙局部受震畸变或破坏。

(上接第13页)  
行走至下游侧;②大车继续向1#机组方向运行,当行至厂横0+54桩号后返回至厂横0+27处停车,小车从下游行走至厂纵中心线位置后停车,进行测点读数、外观检查等;③大车返回至起始位置;④进行岩壁吊车梁荷载试验时,小车从下游行至三纵中心线位置后停车的时间根据监测数据读取、计算、分析情况确定。

### 4 结语

黄金坪水电站350 t+350 t双梁双小车桥式起重机负荷试验最终选择了安全性和经济性更高的托架+压力钢板+大直径钢丝绳的组合方案。试验前,通过设计和计算托架结构强度,合理选择了钢丝绳直径、压力钢板直径并将材料运输至厂

布揭开碾压,碾压完成后应及时覆盖。各种机械车辆不得直接跨越心墙;心墙铺筑后,在心墙两侧2 m范围内禁止使用大型机械(如10 t以上的振动碾)压实坝壳填筑料,以防心墙局部受震畸变或破坏。

#### 4.8 加强施工质量管理,增强质量意识

为增强混凝土的控裂能力,采取了一系列措施:加强施工管理,提高施工工艺水平,改善混凝土性能,提高混凝土抗裂能力;加强对各项原材料的质量控制,按规定检验,不合格材料严禁使用;优化施工配合比,加强抽提检测;合理安排施工工序,控制碾压温度、速度及遍数,杜绝雨天及小于0 ℃天气情况下施工;建立健全各项管理制度,增强质量管控意识。

### 5 结语

对心墙总体施工质量进行分析得知:黄金坪水电站沥青混凝土心墙配合比设计合理,施工质量总体受控,心墙防渗、变形、强度及耐久性指标满足设计要求。在现场施工过程中,所采取的质量管理措施科学、合理,有效地保证了大坝碾压式沥青混凝土心墙的施工质量。

#### 作者简介:

叶晓培(1978-),男,广西南宁人,总工程师,高级工程师,学士,从事水利水电施工技术及管理工作;  
罗亮(1986-),男,广西南宁人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术及管理工作。  
(责任编辑:李燕辉)

房卸货,不仅提高了试验的安全性,缩短了试验周期,同时有效地利用了资源,提高了经济效益。

桥机负荷试验严格按照国家规范要求进行,系统地检查了桥机的制造和安装质量,为黄金坪水电站左岸地下厂房4台机组的安装提供了重要保障。黄金坪水电站桥机自2013年8月完成负荷试验至2015年12月厂房机电设备全部安装完成,桥机主体设备运行良好。

#### 参考文献:

- [1] 刘旻,谢守斌.大岗山水电站桥机负荷试验方案[J].四川水力发电,2013,32(6):68~70.
- [2] 谭玉平.三峡工程左岸厂房1 200 t/125 t桥机负荷试验[J].水电站机电技术,2003,26(2):17~21.

#### 作者简介:

李贵吉(1984-),男,四川资中人,工程师,硕士,从事水电站设备管理工作。  
(责任编辑:李燕辉)