

库什塔依水电站碾压式沥青混凝土心墙冬季施工现场试验

刘儒博^{1,2}, 李宗利¹, 刘逸军³

(1. 西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 杨凌职业技术学院水利工程学院, 陕西 杨凌 712100;
3. 中国水电建设集团十五工程局有限公司, 陕西 咸阳 712000)

摘要:为解决库什塔依水电站上游围堰碾压式沥青混凝土心墙在环境气温 $-16\sim-5^{\circ}\text{C}$ 、风力3级条件下施工的技术难题,采用现场试验的方法研究了施工工艺及参数、层面结合、设备配套、温控技术、质量检测等关键施工技术。试验结果表明:所选设备可行,保温措施可以满足施工要求;心墙与过渡料最佳碾压遍数分别为静碾2遍动碾8遍、静碾2遍动碾10遍;出机口温度控制在 $175\sim180^{\circ}\text{C}$,初碾温度控制在 $135\sim145^{\circ}\text{C}$,上层热料可使结合面层温度达 70°C ;层面结合及心墙性能指标检测结果均满足工程要求,施工工艺及参数合理,室内试验所推荐的配合比适应性较好,可作为施工配合比。

关键词: 沥青混凝土;心墙;过渡料;碾压;冬季施工;现场试验;库什塔依水电站

中图分类号: TV431⁺.5; TV41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7647(2012)05-0060-04

Field tests on winter construction of roller compaction asphalt concrete core in Kushitayi Hydropower Station// LIU Rubo^{1,2}, LI Zongli¹, LIU Yijun³ (1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China; 2. School of Water Resources and Engineering, Yangling Vocational and Technical College, Yangling 712100, China; 3. Sinohydro Corporation Engineering Bureau 15 Co., Ltd., Xianyang 712000, China)

Abstract: In order to solve the technical problem of constructing roller compaction asphalt concrete core of upstream cofferdam of Kushitayi Hydropower Station under $-16\sim-5^{\circ}\text{C}$ and Beaufort scale of grade 3, field tests are carried out to study the key construction technologies such as techniques and parameters, interlayer combination, equipment coordination, temperature control techniques and quality. The test results show that the selection of equipments is reasonable, and the temperature control measures can meet the construction requirements. The optimal compaction times for the central core and transition zone materials are static compaction of 2 times and dynamic one of 8 times or static compaction of 2 times and dynamic one of 10 times. The temperature at the exit is $175\sim180^{\circ}\text{C}$, that of the initial compaction is $135\sim145^{\circ}\text{C}$, and the upper-layer hot materials can make the temperature of joint surface reach 70°C . The interlayer combination and the central core meet the construction requirements, and the construction techniques and parameters are reasonable. The mix proportion recommended by the laboratory tests has satisfactory adaptability and can be used as the construction mix proportion.

Key words: asphalt concrete; core; transitional material; rolling; winter construction; field test; Kushitayi Hydropower Station

冶勒水电站工程在冬季环境气温 -5°C 以上的条件下,成功地探索了碾压式沥青混凝土心墙的施工技术,填补了我国碾压式沥青混凝土负温条件下施工的空白。极端寒冷地区冬季气温绝大多数时间在 -5°C 以下,平均气温也在 -15°C 左右,现行施工规范^[1]对此条件下碾压式沥青混凝土心墙施工并未提出特殊要求,且无类似工程经验和研究成果可借鉴。本文结合新疆库什塔依水电站上游围堰碾压式沥青混凝土心墙在极端寒冷气候条件下(环境气温 $-16\sim-5^{\circ}\text{C}$ 、风力3级冬季施工期)施工实际,以碾

压式沥青混凝土室内 -25°C 条件下配合比试验研究成果为基础,通过进行冬季施工现场试验研究,探索在环境气温 $-16\sim-5^{\circ}\text{C}$ 、风力3级条件下碾压式沥青混凝土心墙施工的关键技术。

1 工程概况

库什塔依水电站工程位于新疆特克斯县境内的特克斯河一级支流库克苏河上,是伊犁河流域库克苏水力发电规划报告中“三库六级”中的第5个梯级电站。库什塔依水电站沥青混凝土心墙坝工程所

在地距库克苏河与特克斯河汇合口 18.36 km,距特克斯县 20 km。工程为Ⅱ等大(2)型工程,大坝为2级建筑物,采用碾压式沥青混凝土心墙坝,坝顶长439 m,最大坝高 91.1 m,碾压沥青混凝土约为 19677.4 m³。大坝混凝土基座最低高程为1224 m,沥青混凝土心墙从基座 2 m 宽台阶式渐变为顶部 0.4 m。该工程上游围堰沥青混凝土防渗心墙高 29.5 m,底部宽 0.8 m,顶宽 0.4 m。

该工程所处位置为山区,冬季寒冷,夏季凉爽。工程所在地年平均气温 7.3℃,极端最高气温 37.5℃,极端最低气温-29.0℃,冬季气温极低,平均气温为-15℃左右。为了保证工程满足第2年4月底度汛要求,上游围堰沥青混凝土心墙必须冬季施工。

2 试验用原材料及配合比

a. 试验用原材料。试验所用沥青为克拉玛依石油公司生产的昆仑牌 90 号道路石油沥青,矿粉采用南岗水泥厂产碱性矿粉,粗、细骨料采用库什塔依水电站 P2 料场人工破碎料,经检测各项指标均满足要求^[2]。

b. 配合比。对西安理工大学推荐的配合比进行了室内复核试验,确定冬季现场铺筑试验采用的配合比为:油石比为 8.0%,矿料级配见表 1。

表 1 矿料级配			
筛孔尺寸/mm	总通过率/%	筛孔尺寸/mm	总通过率/%
19.000	100	1.180	36.4
16.000	93.8	0.600	28.7
13.200	87.4	0.300	22.7
9.500	77.4	0.150	18.0
4.750	60.1	0.074	14.4
2.360	46.6		

3 试验内容及试验设计

3.1 试验内容

a. 沥青混凝土。包括:①原材料检测试验;②沥青混凝土拌和楼各级热料仓筛分试验与混合料试拌试验;③现场运输、机械摊铺碾压试验(含现场所取混合料的各项试验和芯样的各项试验)。

b. 过渡料。包括颗粒分析试验和摊铺碾压试验。

3.2 试验设计

3.2.1 现场施工条件模拟试验

碾压式沥青混凝土负温施工试验共分两层进行^[3],试验现场布置在右岸围堰心墙位置。试验段长 60 m,每层 4 段,均为机械摊铺碾压施工,油石比采用 8.0%。第 1 层进行过渡料不同碾压遍数及沥青混凝土相同温度下不同碾压遍数的试验,优选过

渡料及沥青混合料最佳碾压遍数;第 2 层过渡料采用第 1 层试验选定的最佳碾压遍数进行碾压,沥青混合料采用第 1 层试验选定的最佳碾压遍数进行不同温度的碾压试验,以确定沥青混合料适宜的碾压温度^[4-5]。施工时段内气温范围为-16~-5℃,风力 3 级,满足风力小于 4 级的要求。

3.2.2 碾压试验参数选取

借鉴以往碾压式沥青混凝土防渗心墙低温模拟试验成果^[6-7],选取沥青混凝土心墙及过渡料的碾压参数,试验参数为:过渡料静碾 2 遍、动碾 2 遍再心墙静碾 2 遍后,第 1 层在 135℃碾压温度下,第 1,2,3,4 段过渡料分别动碾 4,6,8,10 遍,心墙分别动碾 6,8,10,12 遍;第 2 层的第 1,2,3,4 段分别在碾压温度 115℃,125℃,135℃,145℃下过渡料和心墙分别动碾 8 遍。

3.2.3 沥青混合料拌和工艺

选用 YQLB1000 型(60~75t/h)沥青混凝土搅拌设备。当外界气温低于-2℃时,对沥青混凝土拌和系统易结冰部件采用两层矿棉中间加 DHR-J 电热丝的保温措施。

根据规范^[8]要求,沥青加热温度控制在 150~170℃,骨料加热温度 170~190℃。实际试验过程中沥青加热温度控制在 160~168℃之间,骨料加热温度稍高,在 190~205℃之间。

拌制混合料投料顺序为先投骨料和矿粉干拌 15 s,再喷洒沥青湿拌 45 s,拌出的沥青混合料色泽均匀,稀稠一致,无花白料、黄烟及其他异常现象,卸料时均未产生离析。

3.2.4 现场运输、摊铺、碾压工艺

选用 5t 自卸车(厢底部和四周添加保温层和保温盖)运输沥青混凝土,摊铺机械采用西安理工大学生产的沥青混合料 XT120 型摊铺机,摊铺时沥青混合料与相邻 1.50 m 宽的过渡料同时摊铺,沥青混合料用装载机卸入摊铺机料仓内,过渡料由挖掘机上料,每层摊铺厚度 30 cm,边摊铺边用帆布覆盖心墙。

机械摊铺工艺流程:混凝土表面清理→测量放线、中线控制→过渡料、沥青混合料分别装入摊铺机→摊铺机摊铺→沥青混合料碾压→过渡料碾压。

沥青心墙采用 1 台 1.5t BW80 型自行式振动碾碾压,行走速度为 20~25 m/min,行走过程中不得突然刹车,或横跨心墙碾压,碾压完后用棉被保温;过渡料碾压采用 2 台 2.5t BW120 型自行式振动碾两侧同时碾压。

表面处理包括心墙基座混凝土凿毛、清理。采用沥青与汽油 3:7 的比例调制的稀释沥青喷洒均匀成深棕色,干涸后均匀铺设 1 cm 厚按沥青、矿粉、砂

1:2:2的比例拌制的沥青砂浆;在已压实的心墙上继续铺筑时,结合面必须清理干净,对灰尘等污染面采用空气压缩机清除,对于潮湿部位先将表水清除,再采用红外线加热器烘干。

4 试验结果及分析

4.1 沥青混合料特性试验结果

摊铺试验期间,对两层均取样进行沥青混合料抽提试验、最大密度试验,并成型马歇尔试件进行密度、稳定度、流值检测。由第1、第2两层抽提试验得知油石比分别为7.92%和8.17%,填料含量(质量分数)分别为14.31%和14.50%,其他指标检测结果见表2和表3,沥青混合料各项指标均满足设计要求。

表2 沥青混合料试验结果

取样日期	取样部位	最大密度/ (g·cm ⁻³)	平均密度/ (g·cm ⁻³)	孔隙率/ %	稳定度/ kN	流值/ mm
2010-12-13	第1层	2.433	2.404	1.19	5.63	9.0
2010-12-16	第2层	2.427	2.400	1.11	5.41	10.1

表3 沥青混合料抽提试验矿料级配结果

筛孔尺寸/ mm	实测通过率/%		筛孔尺寸/ mm	实测通过率/%	
	第1层	第2层		第1层	第2层
19.000	100	100	1.180	36.71	36.20
16.000	98.40	98.30	0.600	28.01	28.11
13.200	89.94	91.45	0.300	22.33	22.01
9.500	76.74	77.64	0.150	18.56	18.48
4.750	59.44	61.00	0.074	14.31	14.50
2.360	46.57	46.87			

4.2 沥青混合料温度控制措施及效果

针对沥青混合料的拌和、运输、摊铺等关键环节,采取有效措施控制沥青混合料的温度^[6-7,9]。拌和过程采取的主要措施:对拌和楼的易结冰部件采取保温或加温措施;在沥青混合料保温筒出料口加设帆布筒,使热沥青混合料直接溜入运输车;将拌和站系统的油、水,更换为抗冻-30℃的油和水,防止冻结。运输和摊铺过程采取的主要措施^[10-13]:通过对装载机、运输设备、摊铺机加装保温设施,杜绝混合料表面结块现象,减少温度损失;对沥青混合料运输车底板、侧板加装保温隔热层,加装车厢保温隔热盖板,并在运输过程中混合料上覆盖保温被;将装载机料斗改装为下开口放料,并加装侧板及保温隔热层;在摊铺机储料斗上架设保温棚,装载机上料时把棉被揭起,上料完及时覆盖。实际测得拌和楼出机口温度为175~180℃,现场摊铺完成后为159~168℃,温度损失检测结果见表4。

现场测试得知在车顶覆盖情况下运输距离500m以内,运输时间15min,运输过程中平均温

表4 温度损失检测结果

试验日期	环境温度	出机口温度	现场温度	温度损失	平均温度损失
2010-12-13	-9	177	160	17	14.0
	-9	179	165	14	
	-9	179	168	11	
2010-12-16	-14	176	159	17	14.6
	-14	175	163	12	
	-14	180	165	15	

度损失约15℃,现场摊铺后立即采用帆布进行覆盖,可满足规范^[1]要求的碾压温度。

4.3 第2层无层间加热施工温度检测结果

试验中第2层沥青混凝土铺设前在底层沥青混凝土表面埋入传感式温度计,埋设深度为表层50mm以下,在第2层热料摊铺好30min后进行温度检测,检测结果见表5。从现场检测结果可知:上层新铺热沥青混合料可将下层沥青混凝土融化50mm深,结合面温度达到70℃,可以满足无层间加热施工温度要求。

表5 2010年12月16日沥青混凝土层间温度

检测结果			℃
摊铺前底层表面温度	摊铺30min后层间温度	摊铺热料温度	
1.4	72.4	169	
0.1	70.2	168	
5.3	75.4	168	

注:环境温度为-14℃。

4.4 过渡料及沥青混合料最佳碾压遍数的确定

过渡料最佳碾压遍数为满足设计要求相对密度大于或等于0.85时的最少碾压遍数。根据第1层摊铺碾压完后过渡料的坑检试验结果确定过渡料最佳碾压遍数为静碾2遍、动碾2遍再动碾8遍,共计静碾2遍、动碾10遍。

沥青混合料冬季最佳碾压遍数并非按常规的孔隙率最小来确定,而是按满足设计密度、孔隙率要求前提下的最少碾压遍数来确定。根据第1层摊铺碾压试验资料确定沥青混合料冬季最佳碾压遍数为静碾2遍、动碾8遍。

4.5 沥青混合料适宜的初碾温度确定

根据第2层4段相同碾压参数不同初碾温度摊铺碾压试验可知:在115℃、125℃、135℃、145℃碾压温度情况下,芯样的密度、孔隙率、马歇尔稳定度及流值均满足设计要求,但低于130℃时不易压实,故初碾温度选为(140±5)℃。

4.6 现场无损检测和芯样检测结果

对碾压完成后的沥青混凝土,现场无损检测密度及渗透系数,密度均大于2.3g/cm³,渗透系数小于5.0×10⁻⁹cm/s,均满足设计要求。

随后在各段均取芯样1组检测层间结合情况,

进行芯样的密度、孔隙率、马歇尔指标及渗透试验^[8],芯样各项检测指标均满足设计要求,芯样的各项试验结果见表6。

表6 摊铺碾压芯样试验结果

取样日期	取样部位	密度/ (g·cm ⁻³)	孔隙 率/%	稳定 度/kN	流值/ mm	渗透试验 (2m水头)
2010-12-15	第1层第1段	2.390	1.77	5.95	10.4	未渗漏
2010-12-15	第1层第2段	2.407	1.07	6.49	13.1	未渗漏
2010-12-15	第1层第3段	2.399	1.40	5.43	9.6	未渗漏
2010-12-15	第1层第4段	2.397	1.48	5.92	11.5	未渗漏
2010-12-18	第2层第1段	2.396	1.28	5.85	12.1	未渗漏
2010-12-18	第2层第2段	2.398	1.19	6.60	11.9	未渗漏
2010-12-18	第2层第3段	2.402	1.03	7.85	13.7	未渗漏
2010-12-18	第2层第4段	2.396	1.28	7.17	11.0	未渗漏

通过肉眼观察所取芯样可见,芯样根部大部分为沥青混凝土扯、拔断后的毛面。第1层若干芯样根部黏带有破坏的水泥混凝土,第2层与第1层的结合面在芯样上肉眼观察均无法识别出来(第2层12根芯样最长38cm,最短28cm,均无法识别出两层间的结合面),说明沥青混凝土与混凝土基座及沥青混凝土上下层间结合良好。

4.7 心墙及过渡料摊铺碾压尺寸检测结果

对碾压后沥青混凝土心墙及过渡料的厚度采用全站仪进行测量。在沥青混凝土虚铺厚度为30.0cm情况下,压实厚度最大29.0cm,最小25.5cm,平均27.0cm;过渡料压实厚度最大30.0cm,最小27.0cm,平均28.0cm。对沥青混凝土心墙宽度采用挖开两侧过渡料量取内部宽度的方法,检测结果最大83.0cm,最小79.0cm,平均81.0cm,基本满足设计宽度80.0cm的要求。需要说明的是,根据现场摊铺的实际情况,在均为虚铺30.0cm的情况下,碾压后沥青混凝土高出过渡料2~3cm,因此在第2层的摊铺过程中,加厚过渡料的摊铺厚度约5.0cm,第2层施工后过渡料与沥青混凝土能基本保持在同一平面。

5 试验成果应用及效果

试验成果在上游围堰沥青混凝土心墙冬季施工中得到了应用,为库什塔依水电站工程上游围堰沥青混凝土心墙和大坝沥青混凝土心墙冬季施工提供了有力的技术支撑,进一步证实了无层间加热施工工艺、冬季施工配合比、施工设备、保温措施及温控技术等试验成果的正确性;同时结合实际对联合摊铺机进行了性能改进,为大坝沥青混凝土心墙冬季施工奠定了基础。在环境气温为-16~-5℃、风力3级情况下,在无层间加热条件下每天可连续铺筑2~3层,加快了施工进度,节约了人力和材料,保证

了施工质量和工程节点目标的实现。

6 结 论

- a. 室内试验所推荐配合比适应性较好,推荐其为施工配合比。
- b. 在库什塔依水电站冬季环境气温为-16~-5℃、风力3级情况下上游围堰碾压式沥青混凝土心墙实现了无层间加热施工,突出了高效快速施工特色,在国内尚属首次。
- c. 摊铺、碾压施工工艺、施工设备可行,压实后沥青混凝土及过渡料能够满足设计要求,沥青混凝土与水泥混凝土基座之间、沥青混凝土上下层之间的结合情况良好。
- d. 温度控制是碾压式沥青混凝土心墙冬季施工成败的关键,必须采取更为严格的温控措施。

参考文献:

[1] DL/T5363—2006 水工碾压式沥青混凝土施工规范[S].

[2] DL/T5411—2009 土石坝沥青混凝土面板和心墙设计规范[S].

[3] 岳跃真,郝巨涛,孙志恒,等. 水工沥青混凝土防渗技术[M]. 北京:化学工业出版社,2007.

[4] 赵向波,王建. 碾压式沥青混凝土防渗心墙施工模拟试验[J]. 水利水电技术,2011,42(6):37-40.

[5] 付亚东 魏艳. 龙头石水电站沥青混凝土心墙碾压试验研究[J]. 四川水力发电,2008,27(4):35-39.

[6] 马敬,蒋兵. 高寒地区碾压式沥青混凝土心墙施工配合比的确定及温度控制[J]. 中国农村水利水电,2008(7):84-85.

[7] 高金花,王显彦,李文盛,等. 尼尔基主坝碾压式沥青混凝土心墙施工技术[J]. 水利水电科技进展,2004,24(6):44-46.

[8] DL/T5362—2006 水工沥青混凝土试验规程[S].

[9] 江新. 茅坪溪土石坝沥青混凝土心墙施工温度控制[J]. 人民长江,2004,35(11):17-18.

[10] 梁晓东. 碾压式沥青混凝土心墙低温施工技术[J]. 西北水力发电,2006,22(1):63-66.

[11] 林道通 朱晟. 黄金坪深覆盖层上沥青混凝土心墙堆石坝数值分析[J]. 水利水电科技进展,2011,31(4):82-86.

[12] 谢晓龙. 冬季低温期碾压式沥青混凝土心墙施工技术[J]. 四川水力发电,2010,29(1):105-108.

[13] 刘儒博,李宗利,刘逸军,等. 碾压式沥青混凝土心墙冬季施工温度控制研究[J]. 中国农村水利水电,2012(6):172-175.

(收稿日期:2011-12-29 编辑:熊水斌)