DOI:10.3969/j.issn.1004-4701.2021.03-11

扎诺玛五一大坝碾压式沥青混凝土心墙施工技术

胡鸿煌[1]，龚佳健[2]

（1. 南昌大学，江西 南昌，330031；2. 江西省水利水电建设有限公司，江西 南昌，330200）

摘 要：本文以沥青混凝土心墙高度最大的扎诺玛五一大坝为例，从沥青混凝土的配料、拌制、运输、摊铺碾压等方面阐述了大坝碾压式沥青混凝土心墙的施工技术和方法，结合试验成果及技术要求，提出了沥青混凝土心墙的施工质量控制措施，解决了沥青混凝土心墙施工过程中的重难点问题，可供国内外类似工程参考.

关键词：土石坝；碾压式沥青混凝土心墙；施工工艺

中图分类号：TV543.+82 **文献标识码：**B **文章编号：**1004-4701(2021)03-0219-05

0 引 言

土石坝沥青混凝土心墙由于防渗性能好、适应变形能力强、结构简单、工程量小、施工速度快、安全可靠、不破坏环境资源、抗震性能高，并有独特的裂缝自愈能力，而具有较高推广价值[1-3]。随着沥青混凝土施工摊铺技术的逐步完善，采用沥青混凝土心墙防渗的高土石坝越来越多，国内已建的最高沥青混凝土心墙堆石坝是去学水电站，最大坝高 173.2m，心墙最大墙高为 132m；国外已建成的最高沥青混凝土心墙坝是奥地利的 Finsterntal 坝，最大坝高 149m，心墙最大墙高为 96m；挪威的 Storglomvatn 坝，最大坝高 125m，心墙最大墙高 123m[4,5]。扎诺玛五一大坝最大坝高 150m，心墙最大墙高 134.75m。扎诺玛五一大坝碾压式沥青混凝土心墙施工技术的实施，可为类似工程提供借鉴。

1 工程概况

扎诺玛五一大坝位于埃塞俄比亚的西北部地区，坝址位于埃塞俄比亚特克泽河的一条支流——萨利玛河上，大坝为碾压式沥青混凝土心墙坝，最大坝高 150m，坝顶长度 710m，设计断面为梯型断面。沥青混凝土心墙最大墙高 134.75m，墙底宽度 2.0m，且不同高程其沥青混凝土心墙宽度不同，高程 804.25m~850.00m 的心墙宽度为 1.2m；高程 850.00m~900.00m 的心墙宽度为 1.0m；高程 900.00m~顶部高程 939.00m 的心墙宽度为 0.8m。坝址区域内海拔较高，地处热带，年平均气温 26.2℃，极端最高气温 34.4℃，极端最低气温 16.8℃；每年 6~9 月为大雨季，且年平均降水总量为 952mm。

2 施工条件

由于沥青混凝土施工过程中对温度控制要求较高，施工条件主要是受气候条件影响。根据水工碾压式沥青混凝土正常施工的气象条件[6]可知，在无特殊保护措施情况下，当施工时气温低于 0℃、浓雾、风速大于四级或降水时段时，沥青混凝土不得施工，因此，本工程的施工难点主要受当地高温条件以及雨季降水量制约。

3 施工方案设计

3.1 施工平面布置

收稿日期：2021-04-23
作者简介：胡鸿煌(1965-)，男，大学本科，教授级高级工程师.

根据现场实际施工情况，施工道路为一条 6m 宽双向车道，直通大坝，雨季时对施工道路加强维修保养；沥青混凝土拌合站和过渡料距离坝址约 5km。工地实验室选取在 SUR 公司办公营地内，与 SUR 公司混凝土工程实验室相邻，且实验环境较好，以确保沥青混凝土混合料的质量；利用现场 SUR 公司向大坝区域内提供施工电源、供风系统以及供水系统以保证工程的正常运行。

3.2 沥青混凝土心墙施工工艺

沥青混凝土心墙施工工艺的主要流程见图 1。

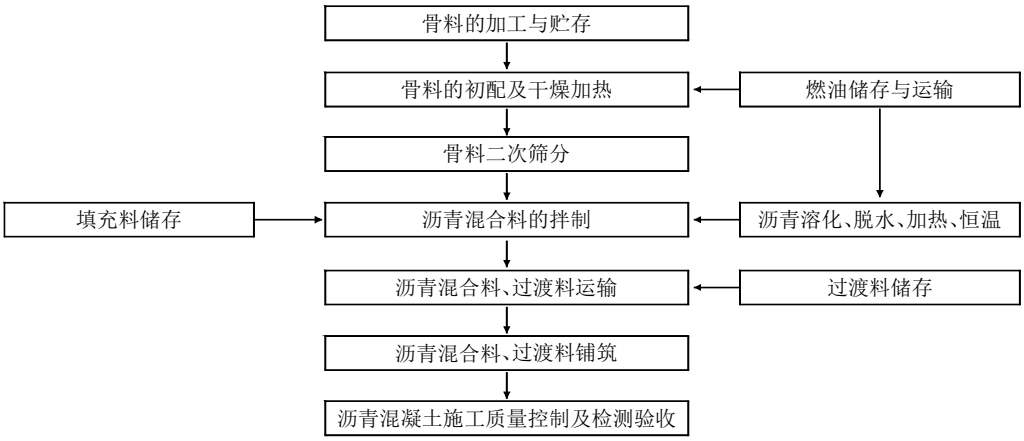

图 1 施工工艺流程图

3.2.1 原材料及技术要求

沥青混凝土由沥青、砂石骨料、填料等组成，参照沥青混凝土施工规范[7]中原材料及技术要求进行相关试验，从而得出各项技术指标要求。

(1)沥青。沥青混凝土使用的沥青是 B60–70，其主要性能技术要求见表 1。

(2)砂石骨料。沥青混凝土使用的砂石骨料选用附近 SUR 石料场生产的人工骨料，包含 0~3mm 的细骨料和 3~6mm、6~12mm、12~19mm 级配的粗骨料，且质地坚硬、新鲜、饱和抗压强，不因加热导致性质变化，具体各项技术指标要求见表 2。

表 1 沥青主要性能指标要求

项目	针入度 /(25℃，1/10mm)	软化点 /(环球法，℃)	延度 /(25℃，cm)	密度 /(25℃，g/cm³)	含水量 /%	含蜡量 /%	溶解度 /%	闪点 /℃
指标要求	60~70	46~55	≥100	≈1	<0.2	≤2.2	≥99.0	>260

表 2 砂石骨料各项技术指标

项目	比重	吸水率/%	耐久性/%	级配
细骨料(0~3mm)	>2.7	≤3	<15	级配连续
粗骨料(3~19mm)	>2.7	≤2.5	<12	连续级配

(3)填料。沥青混凝土使用的填料为水泥及矿粉，粒径小于 0.074mm，不含有机质、泥土等杂质，无结块团粒，具体各项技术指标要求见表 3。

表 3 填料各项技术指标

项目	密度/(kg/m³)	含水率/%	亲水系数
指标	>2600	<0.5	≤1

3.2.2　配合比的确定

沥青混凝土铺筑试验主要通过沥青混凝土的配料、拌和、运输、铺筑及碾压等工艺流程，最终确定各种沥青混凝土的配合比参数。

根据配合比试验结果，从沥青混凝土的变形、强度、施工等性能考虑，并结合本工程实际情况，参考沥青混凝土配合比见表 4。

表 4　沥青混凝土参考配合比

骨料粒径/%				填料/%		沥青/%
12~19mm	6~12mm	3~6mm	0~3mm	非活性掺合料	水泥	
17	23	21	26	6.5	6.5	6.8

3.2.3　沥青混合料的的制备与运输

根据沥青混凝土室内配合比试验成果，选用两种沥青混凝土配合比，每种配合比的拌合量为搅拌罐的额定容量；配合比的拌和时间总共为 60s，其中干拌 15s，湿拌 45s；投料顺序依次为粗骨料、细骨料、填料、沥青以及沥青混合料。

骨料采用加热桶进行加热，温度控制在 175℃~190℃；沥青采用导热油进行加热，温度控制在 150℃~165℃，且及时进行脱水。拌合出的沥青混凝土符合设计要求并无异常现象。

沥青混凝土采用 25t 保温自卸车运输至现场，考虑到拌合站搅拌、运输、转料、卸料等因素，合理安排自卸车的运输强度，同时满足摊铺机的摊铺强度。沥青混凝土采用专业设备（由装载机改造铲斗而成）通过自卸车转运至摊铺机中。现场修筑转料平台，平台高度满足装载机料斗卸料，且平台的布置尽量不影响过渡料的运输，在运输过程中，避免出现急刹车等有损沥青混凝土质量的操作。

3.2.4　玛蹄脂的铺筑

玛蹄脂是由 20%的沥青加热到 160℃~180℃、65%的滑石粉加热到 110℃~130℃、以及 15%的填充物组成，同时人工加入 3%的硬脂酸。玛蹄脂运输采用铲斗容量为 3m³ 的装载机运输，按装载机铲斗容量的 1/3 装载玛蹄脂。用长铁瓢或铁镐将玛蹄脂铺筑，用自制的扒子沿坝轴线坡面方向刮平。在玛蹄脂铺筑结构线可采用直径 10mm 的钢筋做样架，以便玛蹄脂铺平。

3.2.5　沥青混凝土的人工摊铺

人工摊铺的施工工艺流程：施工准备→测量放样→支立钢模板→过滤料摊铺→过滤料初碾→层面处理→沥青混凝土入仓→人工摊铺均匀→抽出钢模板→过渡料和沥青混合料同步碾压→终碾→质量检测。

人工摊铺时，采用尺寸 200cm×25cm（长×宽）的钢模板（采用 8mm 厚钢板加工而成），便于拆装，测量放样后进行钢模板定位。通过转运料斗进行过滤料的人工摊铺，待沥青混合料进仓后，人工采用铁锹均匀摊铺，抽出钢模板后，按要求碾压过渡料和沥青混合料。

人工摊铺施工工艺中需注意：沥青混凝土表面的残渣需清理干净；立模中心线的允许偏差控制在 5mm 内；立模后的心墙部位采用防水帆布覆盖，防止泥渣掉入；心墙部位表面采用红外线加热器进行加热；控制沥青混合料的碾压方式及碾压速率；沥青混合料碾压时，初次碾压温度不低于 130℃，最终碾压温度不低于 110℃。

3.2.6　沥青混凝土的机械摊铺

机械摊铺的施工工艺流程：施工准备→基础面清理→测量放线→钢模板定位→沥青混合料和过渡料摊铺→过渡料静碾→沥青混合料与过渡料同步碾压密实。

沥青混凝土心墙采用专用摊铺机进行机械摊铺。专用摊铺机主要由沥青混合料料斗、红外线加热器装置、过渡料料斗、过渡料Ⅰ区、振动碾及机械驱动系统等组成，专用摊铺机可同时摊铺沥青混凝土心墙和心墙两侧过渡料Ⅰ区，沥青混合料通过 3m³ 改制装载机装入沥青混合料料斗，过渡料Ⅰ区采用 1.2m³ 反铲装入过渡料Ⅰ区料斗。沥青混凝土心墙碾压时，心墙部位采用 1 台 1.5t 振动碾进行碾压；心墙两侧过渡料Ⅰ区采用 2 台 2.5t 振动碾进行碾压[8]。沥青混凝土机械摊铺示意如图 2 所示。

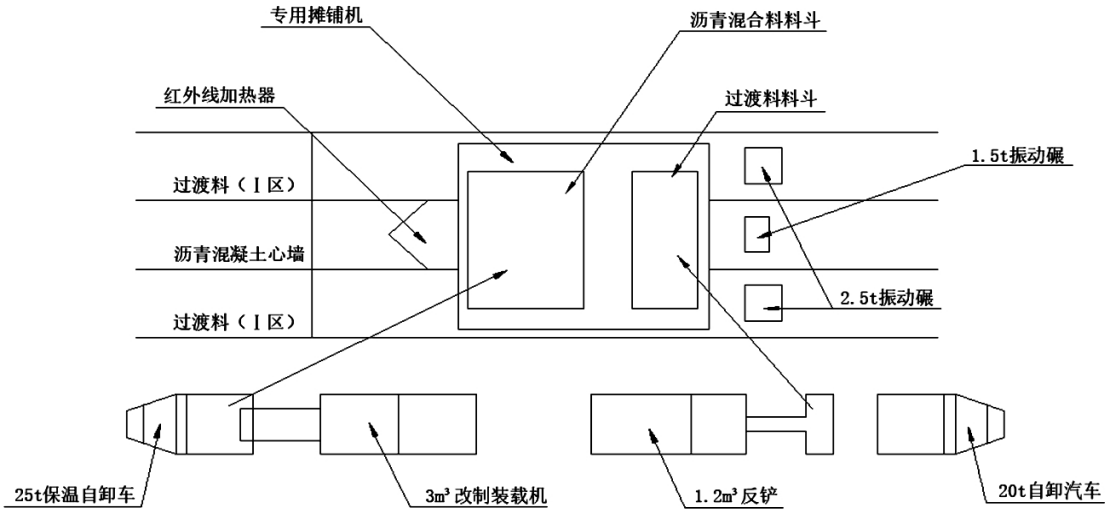

图 2 沥青混凝土机械摊铺示意图

机械摊铺施工工艺中需注意：沥青混凝土表面的残渣清理干净；采用红外线加热器装置对沥青混合料进行加热，采用振动装置对过滤料和沥青混合料进行振平；专用摊铺机的摊铺厚度控制在 25cm 左右、摊铺宽度控制在 0.8m~1.2m，同时控制其摊铺速度及入仓温度；当碾压宽度小于混凝土心墙宽时，采用贴缝碾压的方式进行碾压。

4 施工质量控制措施

4.1 沥青混凝土拌制

(1)严格按照试验控制好沥青混凝土的拌合量，允许误差为±0.3%。

(2)沥青、骨料及填料的质量控制，严格按照相关技术要求，并控制温度在 160℃~170℃。

(3)拌制出的沥青混合料随时观察，确保外观合格并无其它异常情况。

(4)专用摊铺机出机口处的沥青混凝土温度控制在 155℃~170℃。

(5)沥青混凝土加热拌制过程中，应严格控制好拌制的温度及加热时间，避免沥青混凝土老化。

(6)当有大雨、短时雷阵雨预报或有征兆时，做好停工准备，并停止沥青混合料的制备。

4.2 沥青混凝土摊铺

沥青混凝土在摊铺过程中要对厚度、温度、外表及宽度进行控制。

(1)厚度控制。沥青混合料匀速摊铺，确保摊铺厚度平整和均匀。

(2)温度控制。严格控制摊铺过程中的温度，续铺前，确保下层沥青混凝土面温度大于 70℃。当下层沥青混凝土面温度低于该温度时，使用红外线加热器加热使之达到铺筑要求，并控制加热时间，不使沥青混凝土老化。

(3)外表检查。每层沥青混凝土心墙摊铺完后，对外表进行检查，发现蜂窝、麻面等混凝土缺陷时，及时进行沥青混凝土缺陷处理。

(4)宽度控制。准确控制每层的底宽，合理控制摊铺宽度，摊铺前，定出心墙轴线并标识；运行时，精确控制摊铺机前进，保证心墙宽度满足设计要求[9,10]。

4.3 沥青混凝土碾压

(1)振动碾在碾压前清洗干净，碾压时按照初定的成果控制好碾压的速度、间距和温度，重复碾压时保持碾压过程中的稳定，以免产生沥青混凝土缺陷等现象。

(2)碾压时面层加水不宜过多，避免沥青混凝土表面温度迅速降低，甚至部分水在碾压过程中被包裹在混合料中，从而导致沥青混凝土层面出现麻面情况。

(3)沥青混凝土碾压温度选择在 130℃~150℃，终碾压温度不低于 110℃。

(4)碾压过程中及时清理振动碾上的附着物，且振动碾表面禁止涂刷柴油。

(5)过渡层胶结面与碾压后的沥青混凝土接合情况，应在过渡层上进行挖坑检查，对沥青混凝土心墙不

能有任何损害[11,12]。

5　结　论

本文通过对扎诺玛五一大坝碾压式沥青混凝土心墙施工技术的阐述，结合沥青的原材料试验和室内配合比试验，得出以下结论：

(1)沥青混凝土的原材料要求和配合比需结合现场试验成果进行确定；

(2)各环节沥青混凝土的温度控制是心墙施工质量控制的关键；

(3)扎诺玛五一大坝的建成使用，将使碾压式沥青混凝土心墙技术得到进一步发展。

参考文献：

[1] 芦琴，刘逸军. 沥青混凝土心墙土石坝的施工工艺探讨[J]. 河南城建学院学报，2013，22(03)：15-17.

[2] 刘锋. 沥青混凝土心墙技术在尼尔基防渗工程中的应用[D]. 吉林大学，2004.

[3] 李盼. 金平水电站碾压式沥青混凝土心墙堆石坝施工方案研究[D]. 西安理工大学，2014.

[4] 李湘权，克里木. 沥青混凝土心墙土石坝在新疆坝工建设中的应用现状及施工技术 [J]. 水利水电技术，2011，42(12)：53-58.

[4] 刘士佳，孔彩粉，杨健，等. 去学水电站 170m 级高沥青混凝土心墙堆石坝设计 [J]. 水电与抽水蓄能，2019，5 (05)：31-35.

[6] DL/T 5363-2016，水工碾压式沥青混凝土施工规范[S].

[7] SL514-2013，水工沥青混凝土施工规范[S].

[8] 段雪霞. 碾压式沥青混凝土心墙施工技术 [J]. 内蒙古水利，2011(05)：23-24.

[9] 张小明，毕海英. 沥青混凝土心墙质量控制[J]. 内蒙古水利，2007(03)：146-147.

[10] 陈永兴. 沥青混凝土心墙堆石坝施工仿真理论与应用研究 [D]. 天津大学，2012.

[11] 刘佳英. 关于大坝沥青混凝土心墙施工技术的研究 [J]. 工程技术：文摘版，2016(04)：93.

[12] 祁成恩. 浅谈水电站沥青混凝土心墙堆石坝施工工艺[J]. 农业科技与信息，2016(22)：117-119.

编辑：张绍付

Construction technology of high earth-rock dam with asphalt concrete core wall

HU Honghuang[1]，GONG Jiajian[2]

(1. Nanchang University，Nanchang 330031，China；

2. Jiangxi Water and Hydropower Construction Co.Ltd，Nanchang 330200，China)

Abstract：Taking the ZAREMA 51 dam with the highest to asphalt concrete core wall an example，This paper expounds the construction technology and method of asphalt concrete core wall in dam from the aspects of batching，mixing，transportation，spreading and rolling of asphalt concrete，combined with the related test result and technical requirements，puts forward the measures for the control of the quality of asphalt concrete core wall，The key and difficult problems in the construction of asphalt concrete core wall are solved，which can be used as reference for similar projects at home and abroad.

Key words：Earth-rock dam；Roller type asphalt concrete core wall；Construction technology

翻译：胡鸿煌