

沥青心墙坝施工技术要点与优化策略研究

曾智斌

新疆华瑞工程管理咨询有限公司 新疆 北屯 836099

摘要: 沥青心墙坝凭借优异的防渗性能和变形适应性,在水利水电工程中广泛应用。然而,传统施工工艺在温度控制、层间结合、平起施工协调等方面仍存在效率瓶颈和质量隐患。本文系统梳理了沥青心墙坝施工技术要点,深入分析当前施工中存在的材料性能、施工工艺、设备配置及管理层面的问题,从材料优化、工艺改进、设备升级、信息化管控和组织管理五个维度提出针对性优化策略。通过多维度技术优化可有效提升心墙施工质量与效率,为同类工程提供技术参考。

关键词: 沥青心墙坝; 施工技术; 优化策略; 温度控制

引言: 沥青心墙坝作为重要的土石坝坝型,其心墙防渗性能直接关系大坝安全。心墙施工具有工艺复杂、温度控制严格、与坝壳料填筑需同步上升等特点,对施工技术提出更高要求。当前,随着高坝建设日益增多,传统施工技术在应对复杂工况时暴露出诸多不足,如温度损失导致压实度不均、层间结合不良引发渗漏隐患、平起施工协调困难造成工期延误等。因此,系统梳理施工技术要点,深入分析存在问题,提出科学有效的优化策略,对于提升沥青心墙坝施工质量、保障工程安全具有重要的理论价值和现实意义。

1 沥青心墙坝施工技术要点

1.1 沥青心墙的结构与功能要求

沥青心墙位于坝体中部,是土石坝的核心防渗结构。其基本结构形式为竖直或微倾斜的薄壁墙体,两侧设置过渡层与坝壳料相连。心墙厚度根据坝高和防渗要求确定,通常为0.5~1.2米,底部适当加宽以降低渗透坡降。功能要求方面,沥青心墙必须具备足够的防渗性能,渗透系数一般要求小于 $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$;同时需要良好的变形适应性,能够协调坝体在填筑和蓄水过程中产生的沉降与位移,避免发生开裂;此外还应具备一定的力学强度,承受水压力和土压力作用。心墙与过渡层之间需满足变形协调条件,避免因刚度突变产生应力集中。这些功能要求决定了心墙施工必须严格控制材料性能、压实质量和层间结合效果。

1.2 核心施工工艺流程

沥青心墙施工工艺流程复杂,主要包括基础处理、混合料制备、运输、摊铺、碾压及施工缝处理等环节。基础处理阶段需对基座混凝土面进行清理、打毛,并涂刷稀沥青或沥青砂浆以提高结合效果。混合料制备采用专用沥青拌合站,将加热后的沥青、骨料和矿粉按配合比

均匀拌合,出料温度严格控制在 $160 \sim 170^\circ\text{C}$ 范围内。运输过程采用保温车厢,确保到达现场时混合料温度不低于规定值。摊铺作业采用专用摊铺机,铺层厚度按虚铺系数控制,通常每层压实厚度 $20 \sim 30 \text{cm}$,摊铺速度与混合料供应能力相匹配。碾压是保证心墙密实度的关键工序,采用振动碾按初碾、复碾、终碾三个阶段进行,碾压温度分别控制在 $150 \sim 160^\circ\text{C}$ 、 $130 \sim 150^\circ\text{C}$ 和 110°C 以上。施工缝处理采用加热切割或斜面结合方式,涂刷热沥青后继续摊铺。心墙与两侧过渡层需平起施工,心墙略高于过渡层以保证压实效果^[1]。

1.3 现行技术标准与规范要求

我国沥青心墙坝施工遵循一系列技术标准和规范要求。原材料方面,《水工沥青混凝土施工规范》(DL/T 5363)对沥青的针入度、软化点、延度等指标作出明确规定,骨料需满足级配、压碎值、含泥量等要求,矿粉细度及亲水系数需符合标准。配合比设计依据马歇尔试验方法,确定最佳沥青用量、孔隙率、稳定性和流值,孔隙率通常控制在 $2\% \sim 4\%$ 之间。施工过程控制方面,规范对拌合温度、摊铺温度、初碾温度、终碾温度均有明确规定,温度偏差不得超过允许范围。压实质量采用孔隙率和渗透系数作为主要控制指标,现场检测可通过核子密度仪无损检测结合钻芯取样验证。层间结合要求通过芯样观察和渗透试验评定,渗透系数不得大于心墙本体的1.2倍。现行规范为施工质量控制提供了基本依据,但随着工程规模扩大和技术进步,部分指标和方法的适用性有待进一步优化。

2 当前施工中存在的主要技术问题分析

2.1 材料性能方面的不足

当前沥青心墙施工在材料性能方面存在若干不足。传统道路石油沥青的低温抗裂性能有限,在严寒地区或

气温骤降条件下,心墙容易产生温度裂缝,影响防渗效果。骨料级配波动问题普遍存在,不同批次骨料的级配差异导致混合料孔隙率不稳定,影响压实质量的均匀性。填料细度不足或含泥量超标,会降低沥青与骨料的黏附性,削弱心墙的水稳定性。沥青老化问题不容忽视,拌合过程中的高温和长期存放会导致沥青性能劣化,针入度降低、软化点升高,使心墙脆性增加。此外,部分工程为降低成本使用不合格原材料,给心墙长期安全埋下隐患。材料性能的不足直接影响心墙的施工质量和服役性能,亟需通过材料优化加以改善。

2.2 施工工艺方面的缺陷

施工工艺缺陷是影响心墙质量的主要因素。温度控制不稳定问题最为突出,从拌合、运输到摊铺碾压的各个环节均存在温度损失,尤其冬季施工或运输距离较远时,温度损失可达20℃以上,导致碾压时混合料温度低于规定值,压实度难以保证。层间间隔时间控制不当引发结合不良,当下层表面温度降至70℃以下时,层间结合强度显著下降,形成渗漏薄弱面。心墙与过渡层平起施工协调困难,二者上升速度不匹配导致心墙长时间暴露或过渡层滞后,影响整体施工进度和质量。边角部位压实不足是常见通病,靠近基座和岸坡的心墙部位大型碾压设备无法靠近,人工夯实难以达到设计压实度^[2]。施工缝处理不规范,冷缝未进行充分加热或涂刷,形成贯穿性薄弱带。这些工艺缺陷需通过精细化管理和技术改进加以解决。

2.3 设备配置方面的局限

现有施工设备的局限性制约了心墙施工质量提升。摊铺设备方面,传统摊铺机宽度有限,心墙宽度较大时需要多次摊铺形成纵缝,增加了接缝处理难度;部分设备缺乏精确的摊铺厚度控制装置,虚铺厚度误差较大。碾压设备方面,振动碾的振幅、频率调节范围有限,难以适应不同配合比和温度条件下的最优压实需求;设备缺乏实时碾压参数记录功能,碾压遍数和轨迹控制依赖人工记忆,容易出现漏压或过压。拌合系统产能与现场需求不协调,供料不足时导致摊铺中断形成冷缝,供料过剩时混合料在车内长时间停留造成沥青老化。保温运输设备保温效果参差不齐,运输过程温度损失难以有效控制。更为关键的是,现有设备普遍缺乏智能化感知和控制功能,无法实时监测和反馈施工参数,制约了精细化施工的实现。

2.4 管理层面的制约因素

管理层面的问题同样是影响施工质量的重要因素。工序衔接不畅导致施工中断频繁,心墙填筑本应连续进行,

但因设备故障、供料不足、天气变化等原因,实际施工中常出现长时间停顿,形成大量冷缝。质量检测滞后于施工进度,传统检测方法需要钻芯取样送检,检测周期长达数天,检测结果反馈时该层心墙已被覆盖,发现问题难以补救。技术交底不深入,一线作业人员对温度控制、碾压工艺等关键技术要求理解不到位,操作随意性大。赶工期压力下,部分项目为追求进度而牺牲质量,降低碾压遍数或放宽温度控制标准。现场管理人员配置不足,质量监督难以全覆盖。劳务队伍流动性大,熟练技术工人短缺,操作水平参差不齐。这些管理层面的制约因素,需要通过优化组织管理和加强人员培训加以改善。

3 沥青心墙坝施工技术优化策略

3.1 材料优化:提升混合料综合性能

针对材料性能不足问题,应从多维度优化沥青混合料性能。采用改性沥青是提升心墙性能的有效途径,SBS改性沥青可显著改善低温抗裂性能,使心墙在严寒地区适应温度变化;橡胶沥青利用废轮胎胶粉改性,兼具环保和性能优势,提高心墙的疲劳寿命。温拌沥青技术通过添加降粘剂或发泡工艺,可在降低施工温度20~30℃的条件下获得同等压实效果,减少沥青老化,降低能耗和碳排放。骨料级配优化应采用间断级配或骨架密实型级配,提高混合料的嵌挤能力和高温稳定性,减小孔隙率波动。添加抗剥落剂可增强沥青与酸性骨料的黏附性,提高水稳定性。配合比设计阶段应开展正交试验,综合考虑孔隙率、渗透系数、力学强度等指标,确定最优沥青用量和级配组合。材料进场检验应加强,建立骨料级配在线监测系统,确保原材料质量稳定性^[3]。通过材料优化,可使心墙综合性能提升一个台阶。

3.2 工艺优化:改进核心工序操作

针对施工工艺缺陷,应从精细化角度改进核心工序操作。温度分区精细化控制策略应贯穿施工全过程:拌合楼采用自动控温系统,出料温度波动控制在±3℃以内;运输车辆配备实时温度监测和记录装置,温度低于规定值时自动报警;摊铺现场设置红外热成像仪,实时监测摊铺面温度场,温度不均匀时及时调整;碾压作业按初碾、复碾、终碾分区控制,每遍碾压前后均进行温度检测。层间结合处理工艺应改进,当下层表面温度低于70℃时,采用移动式加热器加热至70℃以上,再涂刷热沥青,确保层间热熔结合。心墙与过渡层平起施工协调方法可采用交替上升工艺,心墙领先过渡层不超过两层,过渡层紧跟压实,避免心墙长时间暴露。边角部位专用压实工艺包括小型振动夯板配合人工夯实,必要时采用预埋式振捣器。连续摊铺与快速覆盖技术通过优化资源

配置,尽可能实现全天候连续作业,减少冷缝产生。工艺优化应在试验段先行验证,确定最优参数组合后再全面推广。

3.3 设备升级:提高机械化与智能化水平

设备升级是提升施工质量的重要支撑。摊铺设备方面,宜采用大宽度、高精度摊铺机,一次摊铺完成心墙全宽,消除纵向接缝;配备自动找平系统和厚度控制装置,确保铺层厚度均匀。碾压设备应升级为智能碾压机,具备GPS定位、碾压遍数记录、振动参数自动调节功能,实现碾压轨迹的实时监控和自动引导,避免漏压和过压;碾压机操作界面可实时显示当前位置的碾压遍数和压实度预测值,指导操作手精准作业。沥青拌合站配置智能控制系统,根据出料温度反馈自动调节加热时间和沥青用量,实现配料精度动态控制。保温运输车辆采用双层保温结构并配备加热装置,长途运输途中可补充加热。无人机航测技术可用于坝面形貌快速测绘,辅助检查摊铺平整度和虚铺厚度。设备升级的核心是实现“人机协同”向“机器智能”转变,通过设备自身的感知、判断和控制能力,降低人为因素对施工质量的干扰。

3.4 信息化管控:构建智慧施工平台

信息化管控是实现施工全过程透明化的有效手段。施工全过程温度在线监测系统应在拌合楼出料口、运输车辆、摊铺机受料斗、摊铺面、碾压面等关键部位布设温度传感器,数据实时上传云端,形成温度时空分布图,温度超限自动推送报警。碾压轨迹与遍数实时监控系基于GPS和传感器技术,记录每台碾压设备的行走轨迹、振动状态和碾压遍数,生成碾压作业数字地图,管理者可随时查看任意区域的压实情况。BIM技术在工序模拟与进度控制中的应用,通过4D施工模拟优化资源配置和工序衔接,提前发现潜在冲突。施工质量数字化档案系统为每层心墙建立电子档案,记录施工时间、温度、碾压参数、检测结果等信息,形成可追溯的全过程质量记录。智慧施工平台应集成所有监测数据,建立质量预警模型,当实时数据偏离设定阈值时,自动向管理人员和作业人员推送预警信息,实现质量问题的事前预防和事中控制^[4]。

3.5 组织管理优化:保障技术落地

组织管理优化是各项技术措施落地见效的根本保障。流水作业组织优化应根据心墙施工特点,科学划分作业面,合理安排摊铺、碾压、检测工序的衔接时间,最大限度减少等待和停顿。多班制连续施工的衔接管理应建立标准化交接班制度,明确交接内容、标准和责任,确保夜间施工质量不降低。技术交底应采用可视化方式,制作施工工艺动画视频,让一线作业人员直观理解关键控制点和操作要求。人员培训应强化岗位技能考核,操作手需经理论和实操考试合格方可上岗。质量责任制应落实到每个工序、每个作业人员,建立质量绩效与收入挂钩的激励机制,对发现质量隐患或提出改进建议的人员给予奖励。现场质量管理应配备足够的专职质检员,实行旁站监督。定期召开质量分析会,通报监测数据和存在问题,持续改进施工工艺。通过组织管理优化,使先进的技术装备和工艺真正转化为稳定可靠的施工质量。

结束语

沥青心墙坝施工技术优化是一项系统工程,涉及材料、工艺、设备、信息化和管理等多个层面。本文在系统梳理施工技术要点和分析存在问题的基础上,从五个维度提出优化策略:材料优化提升混合料综合性能,工艺改进实现精细化操作,设备升级提高机械化智能化水平,信息化管控构建透明化施工平台,组织管理保障各项技术落地。这些策略相互支撑、协同作用,可有效提升心墙施工质量与效率。未来研究应进一步探索无人驾驶碾压群协同作业、基于数字孪生的心墙性能预测、低碳环保型沥青材料研发等前沿方向,推动沥青心墙坝施工技术向智能化、绿色化方向发展。

参考文献

- [1] 欧阳浩.土石坝沥青混凝土防渗心墙的施工技术及质量控制[J].标准生活,2025(7):117-119.
- [2] 王鑫.狭窄基坑沥青混凝土心墙施工技术[J].工程建设与设计,2023(15):159-161.
- [3] 王永周,刘斌,王亚萍.高寒地区沥青混凝土心墙施工技术及其质量控制措施[J].工程技术研究,2023,8(22):95-97.
- [4] 李朝华.沥青心墙无层间加热连续快速施工问题探讨[J].河南水利与南水北调,2022,51(6):56-57.