

沥青心墙堆石坝施工质量控制关键技术与标准体系

刘波

新疆兵团水利水电工程集团有限公司，新疆乌鲁木齐，636400；

摘要：沥青心墙堆石坝凭借其防渗性能优异、结构稳定性强、适应复杂地质条件等突出优势，在水利水电工程中得到广泛应用。施工质量控制直接决定坝体的安全运行与使用寿命，而完善的标准体系是质量控制的核心依据。本文基于沥青心墙堆石坝的结构特性与施工规律，系统分析原材料质量控制、沥青混合料制备、心墙摊铺碾压、接缝处理等关键施工环节的质量控制技术要点，深入探讨现有标准体系的构成与应用现状，指出当前标准体系存在的不足，并提出优化完善建议，为提升沥青心墙堆石坝施工质量水平、保障工程安全提供理论支撑与实践参考。

关键词：沥青心墙堆石坝；施工质量控制；关键技术；标准体系

DOI：10.69979/3060-8767.26.01.046

引言

在水利水电工程建设中，坝体结构选型要综合考量地质、水文、工程规模和安全需求等因素。沥青心墙堆石坝由沥青心墙防渗体和堆石体支撑结构组成，兼具防渗性与承载稳定性，能抵御水流渗透、适应坝体沉降与温度变化，在高坝及复杂地形工程中优势显著。近年来，我国水利工程向西部偏远及复杂地质区域延伸，沥青心墙堆石坝应用规模扩大，其施工质量控制受行业关注。施工质量是该坝安全运行的核心保障，心墙裂缝、渗漏及堆石体压实度不足等质量问题会威胁坝体安全。有效应用质量控制关键技术和规范标准体系是避免问题的关键。目前，我国沥青心墙堆石坝施工技术日趋成熟，但在复杂环境下仍面临原材料性能波动、施工工艺协同性不足、标准体系针对性不强等问题。因此，系统研究施工质量控制关键技术，构建科学完善的标准体系，对水利工程高质量发展意义重大。

1 沥青心墙堆石坝施工质量控制关键技术

沥青心墙堆石坝施工是多环节、多工序协同作业的过程，质量控制需贯穿施工全流程，重点聚焦原材料、混合料制备、心墙施工、堆石体施工及接缝处理等关键环节，通过精准控制技术参数与工艺标准，确保各环节质量符合要求。

1.1 原材料质量控制技术

原材料是决定沥青心墙堆石坝质量的基础，核心原材料包括沥青、骨料、填料及外添加剂，其性能直接影响沥青混合料的防渗性、稳定性与耐久性，需建立严格的质量管控机制。

沥青作为心墙防渗体的核心材料，需具备良好的黏

结性、延性与抗老化性能。施工前需依据工程气候条件与设计要求，选择合适标号的沥青，重点检测针入度、延度、软化点等关键指标。例如，在高寒地区工程中，应选用延度较大的沥青，以提升低温抗裂性能；而在高温地区，需重点控制软化点，避免高温下出现流淌变形。同时，沥青进场后需按批次抽样检测，存储过程中采取防晒、防水措施，防止性能衰减。

骨料的级配、洁净度与力学性能对沥青混合料的骨架结构至关重要。粗骨料应选用质地坚硬、棱角分明的玄武岩或花岗岩，粒径控制在5-20mm范围内，针片状含量不超过10%；细骨料宜采用天然砂或机制砂，细度模数保持在2.3-3.0之间，含泥量严格控制在3%以下。进场时需对骨料的颗粒级配、压碎值、表观密度等指标进行全面检测，不合格骨料严禁投入使用。

填料与外添加剂主要用于改善沥青混合料的性能，填料通常采用磨细的石灰石粉，细度需通过0.075mm筛孔，含量控制在8%-12%，以增强沥青与骨料的黏结力；外添加剂则根据需求选用抗老化剂、抗剥落剂等，添加量需通过试验确定，确保其与沥青的相容性，避免对混合料性能产生负面影响。

1.2 沥青混合料制备质量控制技术

沥青混合料的制备是连接原材料与心墙施工的关键环节，其配合比设计与搅拌工艺直接决定混合料的性能，需进行精细化控制。

配合比设计需遵循“性能优先、经济合理”的原则，通过马歇尔试验确定最佳沥青用量。试验过程中，需重点检测混合料的稳定度、流值、空隙率、饱和度等指标，确保混合料既具备足够的承载强度，又拥有良好的防渗性能与变形能力。例如，心墙混合料的空隙率应控制在

3%-6%之间，过高易导致渗水，过低则会降低低温抗裂性能。同时，需根据施工季节与环境温度调整配合比，夏季适当增加硬质沥青比例，冬季则提高沥青的延性指标。

搅拌工艺的控制核心在于温度与时间。沥青加热温度需控制在150-160℃，骨料加热温度为160-170℃，填料无需加热，确保沥青与骨料充分融合；搅拌时间应根据搅拌机类型确定，间歇式搅拌机的干拌时间为5-10s，湿拌时间为30-40s，连续式搅拌机需保证混合料在机内的搅拌时间不低于45s。搅拌过程中需实时监测混合料的温度与均匀性，严禁出现花白料、离析等现象，出场前对每一批次混合料进行取样检测，合格后方可运输至施工现场。

1.3 沥青心墙摊铺与碾压质量控制技术

摊铺与碾压是沥青心墙施工的核心工序，直接决定心墙的防渗性、平整度与密实度，需严格控制施工参数与工艺衔接。

摊铺前需对基层进行处理，确保堆石体表面平整、压实度符合要求，同时清理表面杂物与浮尘，必要时涂刷乳化沥青黏结层，增强心墙与堆石体的结合力。摊铺采用专用沥青心墙摊铺机，摊铺宽度根据设计心墙厚度确定，通常控制在2-4m，摊铺厚度为碾压厚度的1.2-1.3倍，摊铺速度保持在1-2m/min，确保摊铺过程连续稳定，避免出现停机待料导致的接缝缺陷。摊铺温度是关键控制指标，混合料到场温度不低于140℃，摊铺温度不低于130℃，低温环境下需采取保温措施，确保摊铺温度满足要求。

碾压工艺需遵循“先轻后重、先慢后快、先两边后中间”的原则，选用小型钢轮压路机进行碾压作业。初压采用1-2t轻型压路机，碾压速度2-3km/h，碾压2遍，主要目的是稳定混合料；复压采用3-5t中型压路机，碾压速度3-4km/h，碾压4-6遍，确保心墙密实度达到设计要求（压实度不低于98%）；终压采用轻型压路机，碾压2遍，消除碾压痕迹，提升表面平整度。碾压过程中需实时监测碾压温度，初压温度不低于120℃，复压温度不低于100℃，终压温度不低于80℃，温度过低时需停止碾压，避免出现裂纹。同时，采用核子密度仪或灌砂法对压实度进行现场检测，每100m²检测不少于3个点，不合格区域需及时补压处理。

1.4 堆石体施工质量控制技术

堆石体作为沥青心墙的支撑结构，其压实度与稳定性直接影响心墙的受力状态，需与心墙施工协同控制。

堆石体材料应选用抗压强度高、抗风化能力强的块石，粒径级配符合设计要求，最大粒径不超过压实层厚度的2/3。施工采用分层填筑、分层碾压的方式，每层厚度控制在0.8-1.2m，碾压选用15t以上的振动压路机，碾压遍数为6-8遍，碾压速度3-5km/h。碾压过程中需控制含水率，通常保持在最优含水率的±2%范围内，以提升压实效果。

堆石体压实度检测采用灌砂法或灌水法，每500m³检测不少于1个点，压实度需达到95%以上。同时，需监测堆石体的沉降量，通过设置沉降观测点，定期观测沉降数据，确保沉降均匀，避免因局部沉降过大导致沥青心墙受拉开裂。心墙与堆石体施工需保持同步，堆石体填筑高度应略高于心墙摊铺高度，形成侧向支撑，减少心墙施工过程中的变形。

1.5 接缝施工质量控制技术

接缝是沥青心墙的薄弱环节，包括横向接缝与纵向接缝，若处理不当易出现渗漏通道，需采用专项技术控制。横向接缝主要因摊铺中断产生，中断时间超过30min时需设置横向接缝。施工时，需将已摊铺完成的混合料端部切割成垂直面，清除松散部分，涂刷沥青黏结层，新铺混合料摊铺温度需比正常温度提高5-10℃，碾压时重点压实接缝区域，确保接缝密实。纵向接缝因摊铺宽度限制产生，采用热接缝方式处理，相邻摊铺带的搭接宽度控制在10-15cm，后铺混合料需在前铺混合料未冷却前完成摊铺与碾压，使接缝区域充分融合。

接缝质量检测采用渗水试验与超声波检测相结合的方式，渗水系数需控制在 1×10^{-7} cm/s以下，超声波检测确保接缝区域无空隙、无脱空现象，不合格接缝需及时返工处理。

2 沥青心墙堆石坝施工质量标准体系构建与应用

施工质量控制关键技术的有效实施，需以完善的标准体系为支撑。沥青心墙堆石坝施工质量标准体系是涵盖技术标准、管理标准、检测标准的综合性体系，为施工全流程提供规范指导。

2.1 标准体系的构成

技术标准是标准体系核心，明确施工各环节技术要求与参数，涵盖原材料标准（如《水利工程沥青混凝土施工规范》对沥青、骨料性能指标规定）、混合料制备标准（配合比设计方法、搅拌工艺参数）、施工工艺标准（摊铺速度、碾压温度、压实度要求等）。《水工沥青混凝土试验规程》规定沥青混合料性能指标检测方法，

为技术标准实施提供依据。管理标准侧重施工过程组织与管控，包括质量责任制度、施工方案审批制度、现场巡检制度等。明确各单位质量职责，施工前编制专项质量控制方案并经监理审批，施工中建立“三检制”确保工序质量可控。还包括原材料进场验收管理、施工设备管理等，确保施工资源满足质量要求。检测标准规范质量检测方法、频率与评定标准，包括原材料、混合料性能、施工过程、实体质量检测等。明确不同检测项目试验方法、取样频率与合格判定标准，如沥青心墙压实度检测频率为每摊铺层每 $100m^2$ 不少于 3 点，合格标准为压实度 $\geq 98\%$ ；堆石体压实度检测频率为每 $500m^3$ 不少于 1 点，合格标准为 $\geq 95\%$ 。同时规定检测数据记录与反馈机制，确保及时发现和处理质量问题。

2.2 现有标准体系应用现状与不足

我国已建立一系列沥青心墙堆石坝施工相关标准，如《水利工程沥青混凝土施工规范》等，这些标准在指导工程实践、提升施工质量方面发挥重要作用。例如，某大型工程依据标准规范严格检测原材料、优化配合比、采用标准化工艺，使心墙防渗性能达标，坝体多年无渗漏。但随着施工技术发展和复杂工程增多，现有标准体系存在不足：一是针对性有待提升，部分通用标准对特殊环境施工质量要求不具体，施工缺乏明确指导；二是更新滞后，新型材料、工艺相关标准不完善，无法适应技术发展；三是检测标准不统一，不同地区和工程检测方法与评定标准有差异，影响质量评价客观性与准确性。

2.3 标准体系的优化完善建议

针对现有标准体系不足，结合工程实践与发展趋势，从以下方面优化完善：一是强化标准针对性与地域性，结合不同区域气候、地质条件制定专项技术标准，如针对青藏高原工程制定高寒环境沥青心墙施工质量标准，明确相关要求；二是加快标准更新，跟踪新型材料、新工艺发展，组织专家研究，及时修订标准，纳入智能化与绿色施工要求；三是统一检测标准，规范检测方法、取样频率与合格判定指标，建立检测数据共享平台，提升质量评价统一性与科学性；四是加强标准宣贯与执行监督，通过技术培训、现场指导等让施工人员熟悉标准，同时建立第三方质量监督机制保障执行。

3 工程案例分析

以某水利枢纽工程中的沥青心墙堆石坝为例，该坝坝高 $85m$ ，心墙厚度 $0.8m$ ，坝体堆石方量 120 万 m^3 ，沥青心墙方量 1.8 万 m^3 。工程地处高寒地区，冬季最低

气温达 $-25^\circ C$ ，地质条件复杂，施工难度较大。

施工过程中，严格采用本文所述质量控制关键技术，构建“技术标准+管理标准+检测标准”的三位一体管控体系。原材料控制方面，选用针入度 $50-70$ 的道路石油沥青，骨料采用当地玄武岩，经检测各项指标均符合《水利工程沥青混凝土施工规范》要求；混合料配合比通过多次马歇尔试验优化，确定最佳沥青用量为 5.2% ，空隙率控制在 4.5% ；心墙摊铺采用专用摊铺机，摊铺温度控制在 $135-140^\circ C$ ，碾压采用 $3t$ 轻型压路机与 $5t$ 中型压路机组合，压实度达到 98.5% ；接缝处理采用热接缝技术，横向接缝切割后涂刷黏结层，确保接缝密实。同时，建立完善的检测体系，采用核子密度仪实时检测压实度，渗水试验检测防渗性能，超声波检测接缝质量，共检测各类指标 2300 余次，合格率达 100% 。

该工程建成后，经蓄水运行 5 年监测，坝体沉降均匀，最大沉降量为 $28cm$ ，符合设计要求；沥青心墙无渗漏现象，渗水系数稳定在 $5 \times 10^{-8} cm/s$ 以下，充分验证了施工质量控制关键技术与标准体系的有效性。

4 结论与展望

沥青心墙堆石坝施工质量控制是保障工程安全核心，要聚焦原材料、混合料制备、心墙摊铺碾压、堆石体施工及接缝处理等关键环节，采用精细化控制技术确保工序质量达标。完善标准体系是质量控制重要支撑，我国相关标准体系已初步形成，但在针对性、时效性与统一性上需优化。强化标准针对性、加快更新、统一检测标准并加强执行监督，可构建科学完善标准体系，保障施工质量。随着水利工程大型化、复杂化，沥青心墙堆石坝施工质量控制技术与标准体系迎来新机遇。一方面，智能化技术将广泛用于质量控制，如无人机巡检、传感器实时监测实现动态管控；另一方面，绿色施工理念将融入标准体系，推动沥青材料回收利用与低碳施工技术发展。通过技术创新与标准完善，可提升施工质量，保障水利工程安全稳定运行。

参考文献

- [1] 鄢双红, 吴超. 强地震区高沥青混凝土心墙堆石坝全断面软岩筑坝关键技术与实践 [J]. 水利水电快报, 2025, 46(10): 81.
- [2] 张逸超, 胡洪林, 雷显阳, 等. 考虑湿化和流变的沥青混凝土心墙堆石坝安全性评价 [J]. 水电能源科学, 2025(4).
- [3] 唐仪兵. 某沥青混凝土心墙堆石坝推荐优化方案 [J]. 水利水电施工, 2023(1): 54-58.