

水利工程大坝施工中碾压混凝土施工技术分析

刘 勇

中建新疆建工（集团）有限公司 新疆 830002

【摘要】 水利工程项目作为推动社会经济现代化的重要基础，对增强国家综合实力与经济繁荣具有关键作用，同时可显著改善民众生活质量。其中，碾压混凝土大坝施工技术作为水利行业的代表，已广泛应用，并展现出显著成效。顺应水利工程建设的发展趋势，该技术不仅大幅缩短了建设周期，还极大提升了结构稳固性，为水利工程质量构筑了坚实基础。本文结合工程实例，探讨了水利工程大坝建设中碾压混凝土施工技术的核心应用策略，旨在为实际操作提供明确指导。

【关键词】 水利工程；大坝建设；碾压混凝土；施工技术

引言

碾压混凝土（RCC）是一种独特的干硬性低水泥含量混凝土材料，通过精心配比硅酸盐水泥、火山灰质掺合料、骨料、水及特定外加剂，结合振动碾压技术成型，具备高密度与高强度特性。其亮点在于初期强度显著，长期强度持续增长，兼具出色的防渗、耐蚀性能及低热化特性。此外，施工流程简洁高效，适应大型机械化作业需求，成为道路、机场及水利项目中的经济高效之选^[1]。

1 工程概况

某多功能水库项目集防洪、农业灌溉、城市供水及水力发电功能于一体，总蓄水量庞大，达1.96亿立方米，其中专为防洪预留的库容为0.44亿立方米。该项目的核心构筑物为碾压混凝土重力式拦河大坝，坝顶规划高程设定为119米，垂直高度峰值达74米，沿轴线延展全长295.5米，结构上细分为17个独立坝段，工程规模归类为II等大（2）型水库标准。大坝混凝土结构设计复杂，融合了左、右岸非溢流与溢流坝段，特定区域如进水结构、门槽布置、坝顶结构及特定高程的廊道、钢管槽边缘，因功能需求特定，采用常态混凝土施工。碾压混凝土施工方案灵活应对现场条件，施工面明确划分为上下游作业区，上游区域优选二

级配混凝土以增强防渗效能，坝体内部则普遍采用三级配混凝土以实现成本效益最大化。防渗区域宽度依据坝高差异进行适应性调整。针对直接碾压受限区域，特别铺设50厘米厚度的变态混凝土层，以保障整体混凝土质量。本项目混凝土施工面临多重挑战：工程量巨大，时间紧迫，施工强度波动显著，高峰期压力尤为显著；温控管理严格，高温高湿条件下需暂停碾压作业以防混凝土热害；坝体内部结构复杂，廊道网络密布，建基面阶梯状分布，严重制约浇筑与碾压作业空间，降低施工效率；坝体断面形态多变，尤其是狭窄区域，对混凝土运输与设备布局构成严峻考验；高空作业环境限制，进一步增加施工复杂性与难度。为确保大坝混凝土施工质量与进度达标，必须精准掌握碾压混凝土施工技术的关键要素，并灵活应对施工中的各种复杂情况与挑战。

2 水利工程大坝施工中碾压混凝土施工技术应用准备

2.1 技术交底

项目启动前夕，资深技术专家面向全体施工人员举行现场技术交底，确保每位参与者明确施工流程图（见图1），深入理解工程特性、安全操作规程、技术质量标准、实施细节及潜在问题与解决方案，提升施工组织的合理



图1 工程流程

性，有效规避技术质量风险与安全事故，确保施工进度稳步进行。

2.2 技术准备

测量团队需预先深入解析设计图纸，建立施工坐标系，对关键控制点实施加密布控，并熟练掌握精确测量与标定技术，确保测量结果的准确无误。技术部门应及时发布分区施工方案图，便于现场技术人员准确理解图纸信息，明确施工范围内结构物、预留空间及预埋件的详细布局。同时，实验室需预先完成各类混凝土施工配合比的优化调配，确保即时供应^[2]。

2.3 施工准备

此阶段重点包括模板安装、固定、仓面预处理、进料策略规划及养护设施准备。模板安装需严格遵循设计图纸，安装前进行表面清洁，随后精确测量校正并加固，浇筑前均匀涂抹脱模剂，并通过最终检查确认无误。仓面预处理涉及表面粗糙处理、杂质清除及冲洗，创造清洁、湿润且无积水的作业环境。冲洗方式可根据现场条件灵活选择，如冲毛机或水管配合清扫工具。进料方式多样，如自卸车直接进料需设置洗车台防污染，自卸车配合溜槽或皮带机则需控制下料高度，优化振捣操作，减少骨料分离，并调整混凝土特性以适应输送需求。进料路线设计需考虑坡度与宽度，必要时采取拓宽加固措施。养护雾炮布局需依据仓号合理规划，下游布置时精心规划水管路径，减少对周边结构的干扰，并在干燥大风条件下及时启用。

3 水利工程大坝施工中碾压混凝土施工技术应用要点

3.1 混凝土拌制与灌注

混凝土拌制作为大坝碾压施工的核心环节，其重要性不言而喻。施工现场严格筛选并验证水泥、骨料及掺合料的品质与适用性。硅酸盐水泥因性能优越而被优先采用，其含水率需精确调控，以奠定混凝土强度的坚实基础。骨料选取注重坚硬且形状规整的碎石，粒径分布需优化设计，以增强混凝土的力学性能和流动特性。掺合料如粉煤灰、矿渣粉等，其掺量需基于混凝土性能需求进行精确计算。拌制过程中，水灰比的精确调控是保障混凝土质量的核心。水灰比过高将削弱混凝土强度，过低则影响流动性。同时，拌制时间亦需严格控制，过长可能损害初期强度，过短则不利于坍落度维持。此环节应运用高效搅拌设备，确保混凝土拌制的均匀性、一致性和稳定性。灌注作业时，对速度与层厚的精准掌握是预防温度梯度与内部应力集中的关键。灌注策略需周密规划，防止混凝土积聚与空洞形成，确保灌注体结构致密均匀。针对可能出现的裂缝与空鼓现象，应及时采取有效修复措施，以维护整体施工

质量的稳固性^[3]。

3.2 拌合物运送与入仓管理

拌合物的顺畅运送与精细入仓管理，是大坝碾压混凝土施工中不可或缺的一环。项目许挑选合适的运输装备，如矿车、皮带机等，以保障拌合物运输的高效与安全。运输期间，拌合物湿度需得到严格监控，维持适宜水平，防止湿度不当影响混凝土质量。入仓策略则需紧密贴合施工需求，合理规划入仓点布局与数量，确保拌合物供应既及时又连续。入仓设计还需兼顾存储容量与防护设计，以抵御外界不利条件的侵扰。此外，精确调控出料速率与模式，是保障拌合物供应稳定的关键，既要避免过速导致施工节奏被打乱，也要防止过慢拖慢工程进度。

3.3 仓面施工技术要点解析

仓面施工技术的精确掌握，对于大坝碾压混凝土工程的质量至关重要。施工前，仓面必须经过严格的整平与清理处理，确保表面平整且无杂质，以增强混凝土与仓面的结合强度。整平作业中，应选用适宜的整平与振动设备，如刮平机械、振动平板等，以实现仓面的均匀平整化。清理过程则需彻底清除所有附着物与尘土。进入浇筑阶段后，需利用振动设备对混凝土进行充分振捣，以提高其密实度。同时，借助坡道、钢板等辅助工具，确保混凝土在仓面内均匀分布。施工完成后，应立即启动养护程序，采取科学合理的养护措施，有效预防混凝土表面开裂或龟裂现象的发生^[4]。

3.4 摊铺、碾压

浇筑准备阶段，测量团队需精确界定模板各层高度与浇筑带分界线，以此为基准逐层铺设混凝土材料。在铺设碾压混凝土之前，在施工缝位置预先铺设一层1.5至2cm厚的水泥砂浆底层，特别是针对变态混凝土及防渗结构层，每层混凝土铺设前均须均匀喷洒水泥净浆，尤其是迎水面上游8m区域内，确保全面覆盖以增强粘结性。碾压层间的等待时间需根据现场气象条件（如气温、湿度）灵活调整，实验室持续监测混凝土成熟度变化，为施工提供实时指导。热接缝无需特殊处理，温接缝则需补充喷洒水泥净浆，而冷接缝则需预先进行表面凿毛并喷洒水泥浆处理。卸料作业时，运输车辆应保持匀速慢行，同时进行物料倾倒，采用双点卸料方式以控制堆高，减少骨料离析现象。卸料点需精确对准已整平但尚未压实的混凝土表面，避免平仓作业对下层材料造成干扰，同时优化骨料分布的均匀性。卸料后应立即启动平仓作业，理想状态为卸料与平仓同步进行，保持混凝土表面持续平整。一旦发现骨料分离，需立即采取人工措施，将分离的骨料均匀分布于砂浆

丰富区域或新浇混凝土的顶层。平仓作业推荐使用装备激光控制系统的湿地压路机进行,摊铺带布置应尽量垂直于水流方向^[5]。测量团队需在模板上明确标注每层混凝土的目标压实厚度(30cm)及其相应的虚铺厚度(32cm)。碾压作业时采用搭接法,相邻条带间搭接宽度保持在10至20cm之间,端头部位搭接则需扩展至约100cm。在变态混凝土与碾压混凝土的交界处,需特别注意确保与变态区至少有20cm的搭接宽度。压实作业完成后,现场试验人员随即进行密实度检测,确保达到98.5%以上的密实度标准,并满足混凝土设计容重要求。若检测结果未达标,则需根据具体情况调整并增加碾压遍数;一旦满足要求,应避免过度碾压以防止结构受损。振动碾的作业速度应控制在每小时1至1.5公里的范围内,具体碾压遍数需依据试验结果科学确定^[6]。

3.5 加浆、振捣

在水利工程大坝的上下游坝面区域,特别是RCC混凝土覆盖的结构物及预制盖板顶部90cm范围内,紧邻山体一侧设立GERCC加固区,实施浆液灌注与振捣作业。浆液配制严格遵循实验室精确配比,确保灌浆液流动性维持在 40 ± 3 秒的标准范围内。针对GERCC区域在坝面的具体特征,通过对比分析底部注浆与表层注浆技术,优先选择底部注浆法,通过监测表层是否出现气泡来判断振捣的密实程度。注浆量精准限定在RCC体积的5%至7%之间,利用围堰划分网格进行精确计量,上游网格尺寸为 $1\text{m} \times 1.5\text{m}$,下游则调整为 $1\text{m} \times 0.5\text{m}$ 。底部注浆围堰高度设定为约10cm,注浆过程采用定量容器严格控制注入量。底部注浆作业完成后,立即在浆液上方覆盖新拌制的RCC,确保注浆进度与RCC铺设作业同步进行,避免超前注浆现象。GERCC混凝土的振捣采用直径100mm的振捣器实施。无论底部还是表层注浆,振捣作业均须即时、均匀且全面,直至混凝土表面呈现明显的泌浆现象。振捣过程中,振捣器需深入下层混凝土至少5cm,以增强层间结合力。注浆与振捣作业结束后,GERCC表面需达到平整要求。若存在不平整情况,应立即采用平板振捣器配合小型辊压机进行静态整平处理,以确保表面质量满足工程技术标准。

3.6 其他

3.6.1模板对接问题。在转角两侧预留约50cm空间,利用竹胶板配合背带及拉模杆在特定位置加固模板支撑,确保中心模板精确对位。

3.6.2干燥风况下混凝土表面缺陷,表面干燥、色泽发白、麻点问题。在浇筑区域周围部署雾炮系统,并准备冲

毛机作为应急。一旦发现干燥迹象,立即启动雾炮或冲毛机进行局部加湿,冲毛机操作时枪口朝上,严格防范高压水雾伤人风险。

3.6.3骨料分离问题管理。调整混凝土VB值至适宜范围,激活机械快速再搅拌机制;同时,人工介入清理仓内离析骨料。

3.6.4满管溜槽堵管处理。确保溜槽内配备足够振捣器,遇堵先启动下游振捣器尝试疏通;若无效,则转为人工轻敲,自下而上逐步处理堵塞区域;若堵塞严重且备有液压锤,由专业人员操作,液压臂全展开,轻柔敲击溜槽出料口,确保作业区域无人。

3.6.5模板拆卸。首块模板翻升拆卸困难,可通过预先涂抹模板油减少摩擦力来解决。拆卸时,先松动周边木模及连接部件,再逐步拆解主体模板。

3.6.6雨后施工恢复。采用分区、分段、分条带清理方法,即时清理即时浇筑,同时推进后续条带清理,集中资源,保持施工流程连续高效。

结语

综上所述,在水利工程建设领域,碾压混凝土大坝施工技术的有效实施,要求施工人员精确把握关键施工要素,紧跟行业发展趋势,持续优化技术应用策略,以强化水利工程混凝土的施工质量和结构稳固性。施工单位在组织施工时,应构建适应现场特点的管理体系,依据实际情况选择科学合理的施工技术方案,并明确施工人员的技术操作规范。施工过程中,需持续调整施工工艺,严格把控水利工程质量,注重技术手段的灵活应用与适时改进,确保施工活动顺利进行,保持高效作业状态。

参考文献:

- [1] 李献斌. 水利工程水库大坝碾压混凝土加固施工技术研究[J]. 水利科技与经济, 2022, 28(12): 148-152.
- [2] 任小朝. 大坝碾压混凝土施工技术在下游山水库中的应用[J]. 低碳世界, 2021, 11(08): 82-83.
- [3] 李成, 王奋, 江涛. BIM技术在大河水库工程施工阶段中的应用[J]. 水电站机电技术, 2021, 44(03): 78-81.
- [4] 马栋梁. 浅谈新疆SETH水利枢纽碾压混凝土大坝施工技术[J]. 农业科技与信息, 2020, (08): 126-128.
- [5] 梁利杰. 水利工程中碾压混凝土浇筑技术研究[J]. 智能城市, 2020, 6(08): 241-242.
- [6] 范文静, 王亮宏. 水利工程水库大坝碾压混凝土施工技术[J]. 工程技术研究, 2020, 5(07): 115-116.