

水利水电施工混凝土面板堆石坝技术

申艳玲

云南省昭通市昭阳区水务局，云南昭通，657000；

摘要：混凝土面板堆石坝因其造价低、适用范围广、施工简单等特点，在水利工程上应用日益广泛。本文结合施工经验，从技术原理和结构特征入手，论述该坝型施工前准备、方案设计、主要施工技术，分析施工质量控制与安全管理措施，总结施工关键点把控方向，研究内容紧密结合工程实际，能对同类水利水电工程混凝土面板堆石坝的施工提供有益借鉴，促进工程施工质量与安全保障水平的进一步提高。

关键词：水利水电施工；混凝土面板堆石坝；施工技术；质量控制；安全管理

DOI：10.69979/3060-8767.26.01.055

引言

我国地域辽阔，水资源极不均衡，水利水电工程是调节水资源、保障能源供给的基本建设设施。混凝土面板堆石坝以当地石材为筑坝材料，用混凝土面板防渗，可节省筑坝材料运输费用，适应复杂地形地质。西南某水利枢纽工程依托山区的花岗岩资源修建的混凝土面板堆石坝可节省建材运输费用 30% 以上，工期缩短近 12 个月，随着水利水电工程的高海拔、复杂地质区域拓展，该坝型的技术优势凸显，探索其施工技术及管理要点，解决施工中容易出现的面板裂缝、坝体渗漏等问题具有现实意义。

1 混凝土面板堆石坝的技术原理与结构特性

1.1 混凝土面板堆石坝的结构组成

混凝土面板堆石坝的结构体系基于“防渗+承载”的功能组成，各部分相互合作构成整体。坝体为堆石体，采用块石、碎石等骨料分层碾压填筑，按受力分为主堆石区、次堆石区和过渡区，主堆石区为主要承载区，使用粒径 50-800mm 硬岩石填筑；过渡区用粒径 10-100mm 骨料作为缓冲面板与主堆石体变形的作用。混凝土面板设置于坝体上游面，采用 C25-C35 混凝土浇筑，从坝顶 30cm 逐渐增大至坝底 80cm，分缝浇筑，缝内设止水系统。坝顶结构包括防浪墙、路面、排水设施，防浪墙一般高度 1.2-1.5m，使用钢筋混凝土浇筑，与面板顶部紧密连接；下游坝坡设分级马道，每隔 10-15m 设置一道，马道宽度 2-3m，兼具施工通道与观测功能，坝坡铺干砌石或植草，雨水不冲刷。

1.2 核心技术原理

混凝土面板堆石坝基于“刚性防渗+柔性坝体”协同工作原理，由分层碾压形成密实结构，干密度 2.1-2.3t/m³，孔隙率小于 20%，依靠堆石体自身的重量和颗粒之间的摩擦力，适应地基的小变形和温度应力；上游混凝土面板为防渗屏障，以混凝土的密实性阻止水流流入面板和堆石体之间的缓冲层和垫层，缓冲层选用中粗砂厚度 10-15cm，垫层采用连续级配碎石粒径 5-40mm，压实渗透系数小于/s，既可以保护面板不受堆石体颗粒挤压破裂，又可以引导少量的渗水流入排水系统。止水系统通过铜片、橡胶止水带等材料发生弹性变形，适应面板随着温度变化和坝体沉降导致的伸缩，防止沿缝渗漏，坝体排水系统由面板底部排水孔、堆石体内排水廊道、下游排水棱体组成，可以快速排出进入坝体内的水，减少坝体浸润线，提高坝体稳定性。

2 混凝土面板堆石坝施工前期准备与方案设计

2.1 施工前期勘察与场地准备

施工前期勘察，了解区域地质、水文、气象，勘察钻孔网格布局，深度 20-50m，穿透坝基覆盖层至完整岩层，勘察地基承载力、透水率、岩土体物理力学参数，对软弱夹层、断层等地质缺陷提前换填、灌浆等处理。场地准备，清除坝址区地表植被、腐殖土等，清理深度不小于 0.5m，平整施工场地，划分堆石区、混凝土搅拌区、材料堆放区，分区临时道路，路面级配碎石铺设，宽度不小于 6m，满足施工机械通行要求；建立临时排水沟，场地周围开挖截水沟，防止雨水下渗，坝基开挖至设计高程后，采用振动碾压实，压实度为 95%。

2.2 施工材料的选择与质量控制

堆石材料选取工程区附近的新采岩石,抗压强度为30MPa,软化系数0.7,不能使用风化岩、页岩等容易软化或破碎的岩石。骨料开采前进行试验,确定爆破参数,爆破后按粒径分级堆放,不同粒径骨料分开存储。混凝土面板所用水泥采用普通硅酸盐水泥强度等级为42.5,粉煤灰采用Ⅱ级及以上,掺量控制在20%-30%,降低水泥用量并提高混凝土和易性。砂石骨料采用天然级配或人工级配,砂细度模数在2.3-3.0,石子粒径40mm以内含泥量均不超过1%。制定材料进场检验制度,堆石材料每5000m³抽检一次,检测颗粒级配和抗压强度;混凝土原材料每批次进场后检测强度、安定性等,混凝土拌制时实时观测坍落度,在50-70mm之间。

2.3 施工方案设计与优化

施工方案应根据工程大小、地质和施工设备的不同确定施工步骤和工序参数。堆石坝填筑采用“分层填筑、分层碾压”,每层填筑厚度80-100cm,采用20t以上振动碾碾压8-12遍,碾压速度2-3km/h;混凝土面板施工在堆石坝体填筑到一定高程后采用滑模施工,滑模提升速度1-2m/h,混凝土浇筑质量。优化施工方案时需要兼顾施工进度和质量,某工程初期计划采用立模浇筑面板,工期为180天,通过优化改为滑模施工,并调整堆石填筑与面板施工交叉工序,面板施工工期改为120天,混凝土表面平整度提升30%。针对雨季施工要求,增加堆石体表面覆盖防雨布、临时排水盲沟等措施,防止雨水进入堆石体压实质量。

3 混凝土面板堆石坝核心施工技术

3.1 堆石坝体填筑施工技术

堆石坝体填筑前需进行碾压试验,确定碾压参数,碾压试验区范围选择坝址附近空旷处,面积小于20m×20m,经过不同铺料厚度、不同碾压次数的组合试验,得到压实后干密度、孔隙率,最后确定最优施工参数。填筑时分区填筑,先填筑过渡区再填筑主堆石,铺料进占法,由自卸汽车卸料后用推土机平整铺料厚度,碾压采用进退错距法,碾迹重叠宽度小于20cm,碾压顺序自坝体两侧向中间碾压,靠近面板的过渡区采用小型振动碾辅助碾压,防止漏压。填筑过程中及时清除超径石、软弱颗粒,空洞、架空处采用小粒径骨料填补夯实。每层填筑完成后进行质量检测,合格后可进行下一层填筑。

3.2 混凝土面板施工技术

混凝土面板施工前,清理堆石坝体上游面,把松散的颗粒和杂物清理干净后铺设缓冲层和垫层,垫层人工平整,压实后表面平整误差不大于5mm。面板钢筋绑扎按设计图施工,钢筋间距误差在±10mm以内,钢筋保护层厚度不小于50mm,钢筋接头采用绑扎或焊接,焊接长度符合规范要求。模板采用钢模板,模板接缝处留密封胶条,避免漏浆,模板支撑牢固,浇筑不变形。混凝土浇筑分层浇筑,每层厚度30-50cm,采用插入式振捣器振捣密实,振捣至混凝土表面无冒泡和浮浆为止。滑模提升速度与混凝土初凝时间一致,避免拉裂和蜂窝麻面。混凝土浇筑后盖土工布洒水养护,养护时间28天,养护时保持混凝土表面干燥。

3.3 止水系统施工技术

止水系统分为面板伸缩缝止水和周边缝止水,面板伸缩缝采用中埋式橡胶止水带,橡胶止水带的型号按设计要求确定,止水带施工前检查止水带的外观是否无裂纹、破损。止水带安装时,中心线与伸缩缝中心线相符,偏差5mm,止水带接头采用热接方式,搭接长度不小于10cm,焊接后进行气密性试验。周边缝位于面板与坝基、岸坡的结合处,铜片止水结构、橡胶止水带止水结构,铜片止水厚度1.2mm,折边角度符合设计,铜片安装时与混凝土紧密结合,不产生空隙。周边缝底部设置排水盲管,盲管采用透水土工布包裹,防止堵塞,排水盲管接入坝体排水系统。止水系统完成后进行现场渗漏试验,采用注水法注水缝间设密封腔,注水后24小时观察不超过允许值即为合格。

3.4 施工过程中的变形与渗流监测技术

变形监测包括坝体沉降监测点、水平位移监测点和面板挠度监测点。沉降监测采用二等水准法,水平位移监测采用全站仪极坐标法,施工期监测7-10天,竣工后每月一次。堆石体内部分层沉降仪监测不同高程沉降;面板挠度采用光纤传感,光纤传感器埋入面板混凝土内,随时监测面板变形;渗流监测包括坝体浸润线、渗流量和渗水水质监测。坝体内部埋设测压管,用水位计测量浸润线高程,下游排水棱体处设渗流量观测堰,采用量水堰法测量渗流量,定期采集渗水样品进行水质分析判断是否存在管涌现象。及时分析监测值并绘制监测曲线,超过预警值立即停止相关施工,分析原因并采取加固措施。

表 1: 混凝土面板堆石坝施工监测项目及技术参数表

监测项目	监测仪器	监测精度	施工期频率	竣工后频率	预警值
坝体沉降	二等水准尺+水准仪	±1mm	7-10 天/次	1 月/次	月沉降量>50mm
水平位移	全站仪	±2mm	7-10 天/次	1 月/次	水平位移>30mm/月
面板挠度	光纤传感器	±0.01mm/m	实时监测	3 天/次	挠度>L/500 (L 为面板跨度)
坝体浸润线	测压管+水位计	±2mm	5 天/次	15 天/次	高于设计浸润线 1m
渗流量	量水堰+水位计	±0.1L/s	5 天/次	15 天/次	渗流量突变>50%

4 混凝土面板堆石坝施工质量控制与安全管理

4.1 施工质量控制体系构建

施工质量控制原则为“全员参与、全过程控制”，实行以建设单位为主体，设计、施工、监理三方共同负责的质量控制体系。明确各单位质量责任，建设单位负责质量协调监督、设计单位提供技术指导、施工单位落实质量管控措施、监理单位进行质量监督。完善质量管理制度，如施工技术交底制度、工序交接检验制度、追溯制度等，在施工前对施工人员进行技术交底，明确施工要点、质量标准；每道工序完成后，施工单位自检合格后报监理单位验收，验收合格后方可进入下一道工序；建立追溯制度，追溯主体，加强检测能力建设，配备检测人员和设备。

4.2 关键工序质量问题分析与防治

堆石体填筑常见的问题为压实度不足、颗粒级配不均。压实度不足主要因为铺料厚度大，碾压次数少，应严格按照碾压试验确定的参数施工，加强现场监督、实时测量铺料厚度，碾压完成后采用灌水法检测压实度。颗粒级配不均主要原因是骨料开采和堆放过程控制不到位，应在骨料开采时按设计级配选取，堆放时分类存储，运输过程防止混杂。混凝土面板出现裂缝和蜂窝麻面主要原因是温度应力和收缩变形引起的，应调整混凝土配合比，掺入粉煤灰和外加剂减少水化热，浇筑完成后加强养护，控制温度变化；蜂窝麻面主要是振捣不密实或模板漏浆，施工中必须振捣到位，模板安装牢固，接缝严密。止水系统渗漏主要是止水带安装偏差，接头质量不好，应加强止水带安装过程中定位，焊接后检测。

4.3 施工安全管理

施工安全管理要建立安全管理组织，安全管理领导小组，安全员，安全管理制度，安全应急预案等。加强施

工人员安全培训，新进场施工人员三级安全教育，特种作业人员持证上岗，定期安全技术交底、安全演练。施工现场安全防护措施：临时道路设交通标志、交通警示灯、高边坡安装防护栏杆、安全网，脚手架搭设符合规定要求。施工机械设备安全管理，建立机械设备安全档案，定期检查、维修，操作人员严格按照操作规程作业，不得违章操作；用电安全管理要规范临时用电布置，用三级配电、二级保护，架空或埋地敷设，不得破损漏电。汛期、暴雨等特殊天气，制定安全预案，提前做好防汛物资储备、人员疏散等准备。

5 结论

混凝土面板堆石坝技术主要用于水利水电工程，由于其结构适用于不同地质和气候条件，其主要是实现堆石坝体的承载能力及混凝土面板的防渗能力，施工工艺要重点做好前期勘察、材料选择、方案设计等工作，加强堆石填筑、面板浇筑、止水施工等工序技术管控，健全质量控制及安全管理体系。实践表明，通过施工措施和管理手段解决施工中的质量和安全问题，提高工程质量。

参考文献

- [1] 罗斌. 水利工程面板堆石坝挤压边墙的施工方法探究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (26): 98-100.
- [2] 陈迪. 水利工程中混凝土面板堆石坝坝体填筑施工技术研究[J]. 现代工程科技, 2025, 4(14): 37-40.
- [3] 沈凡莉, 梁皓. 混凝土面板堆石坝坝体填筑质量检验控制[J]. 云南水力发电, 2025, 41(07): 113-117.
- [4] 杨志勇, 杜鹃, 昌先健. 锅浪跷水电站混凝土面板堆石坝结构设计[J]. 四川水利, 2025, 46(02): 72-75.
- [5] 何鹏. 水利工程面板堆石坝坝体填筑施工探讨[J]. 东北水利水电, 2025, 43(03): 23-25+58+71.