

水利水电施工混凝土面板堆石坝技术关键点分析

王亮亮

新疆兵团水利水电工程集团有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

【摘要】：混凝土面板堆石坝在水利水电工程领域应用广泛，具有造价低、工艺简单、结构清晰、适应性好等特点，其施工质量关乎到坝体防渗性、结构安全性。本文以水利水电施工混凝土面板堆石坝作为研究对象，从坝基及岸坡处理、坝体分区填筑、混凝土面板施工、接缝止水施工等方面探究混凝土面板堆石坝施工技术关键点，提出各工序的管控要点，旨在保障混凝土面板堆石坝工程顺利完工。

【关键词】：水利水电工程；混凝土面板堆石坝；防渗体系；接缝止水

DOI:10.12417/2811-0536.26.08.062

引言

水利水电工程建设中，混凝土面板堆石坝以堆石体作为坝体支撑结构、以钢混面板用作上游防渗体系，兼顾了混凝土面板防渗特性以及堆石坝受力性强的优势，对不同地形地质条件适应性强，材料利用率高、施工周期短。此类坝型施工涉及到土石方填筑、混凝土浇筑、止水防渗等多道工序，各道工序紧密衔接，任何工序出现质量问题均可能引发面板开裂、坝体沉降、结构渗漏等问题，对大坝使用寿命影响显著^[1]。对此，精准把控各施工环节的关键点，加强施工流程质控工作，对保障混凝土面板堆石坝整体质量、项目顺利完工有着重要意义。

1 坝基与岸坡处理关键技术

在整个大坝体系中，坝基与岸坡作为受力基础，其处理质量关乎到坝体整体稳定性，为混凝土面板堆石坝作业的首要工作，需严格贯彻“彻底清理、平整夯实、防渗达标”原则作业。

1.1 基础清理与开挖

正式施工前，将坝基、岸坡区表层覆土、石块、树根杂草、软弱夹层清理干净，清理范围需延伸到设计边线外 1-2m，以防松散土体残留对基础承载性能造成负面影响。针对岸坡陡坎、凹凸不平处，按照设计坡比削坡处理，分级开挖高陡岸坡，保持岸坡坡度均匀度、坡面平整度，以防局部应力集中造成坝体沉降不均。同时对基础范围内溶洞、裂隙、断层等地质缺陷，针对性采取回填混凝土、注浆加固等处理方案，避免施工或运营阶段出现基础渗漏、失稳等情况。

1.2 基础压实与防渗处理

完成基础清理工作后，对坝基土体展开分层碾压压实，压实度必须满足后续施工要求，通常要 $\geq 96\%$ ，具体需根据现场试验确定最终碾压参数，保持基础土体的均匀度、密实度。针对岩质基础，发现松动岩块

后及时清除，封闭处理岩石裂隙，以免后期产生渗流冲刷。针对土质基础，加强排水工作，以防施工期间雨水浸泡影响基础承载性能。岸坡与坝体结合处增设过渡段，避免软硬土层交接部位出现不均匀沉降病害，做好基础表面的平整工作，为后期趾板、垫层作业奠定基础^[2]。

1.3 趾板施工

趾板是面板和坝基部位的连接件，具有防渗、传力的功能，为基础处理的核心点。趾板施工需严格控制基础开挖高程、平整度，绑扎钢筋时需严控间距、锚固长度，确保满足设计需求，混凝土浇筑保持连续性、密实性，以防出现裂缝、蜂窝麻面等问题。趾板混凝土强度等级、抗渗等级需满足设计标准，完成浇筑工作后及时养护，做好趾板和基础、岸坡衔接处理，保证防渗体系的封闭性。

2 坝体分区填筑施工技术关键点

坝体对视填筑为主体工程，其中分区填筑、分层碾压作为核心施工环节，关乎到坝体密实度、稳定性，需严格按照功能分区严控填料工艺。

2.1 坝体分区与填料选择

结合受力、防渗施工标准，自上到下可将坝体划分为垫层区、过渡区、主堆石区、次堆石区，各区域填料性能存在一定差异性。垫层区处在面板底部，需采用级配良好、粒径均匀的细粒碎石，颗粒粒径应 $\leq 80\text{mm}$ ，含泥量 $\leq 5\%$ ，保持其密实度、变形协调性，为面板提供均匀支撑。过渡区处在垫层区、主堆石区之间，填料粒径、密实度也处在二者之间，进而实现两个区域应力变形平稳过渡。主堆石区为坝体体系的核心受力区，需选用坚硬、耐风化岩石填料，合理控制粒径，具有较高的压实度、强度。次堆石区对填料要求相对低一些，可选用开挖废料，但要保障压实度达标。不同区域填料专区专用、不得混用，以防对坝

体整体受力、沉降均匀度造成负面影响^[3]。

2.2 填筑施工工艺

坝体填筑需严格遵循“分层摊铺、分层碾压、先细后粗、均衡上升”施工原则，每层填筑厚度都要精准管控。垫层区摊铺厚度为0-30cm、过渡区为30-40cm，主堆石区、次堆石区摊铺厚度为40-80cm，具体厚度根据碾压设备性能确定。摊铺时确保均匀度，不得出现局部薄厚不均现象。碾压以振动碾为主，通过事前现场碾压试验确定碾压遍数、振动频率、行驶速度，通常碾压6-8遍即可，确保填料压实度、相对密度达到设计标准，主堆石区相对密度 ≥ 0.8 、垫层区相对密度 ≥ 0.9 ，可预防后期运营阶段坝体结构产生明显沉降。

在填筑阶段需重点管控填料的含水率，以最佳含水率 $\pm 2\%$ 范围为标准，含水率过低及时洒水湿润，过湿则进行晾晒处理，以防含水率超标影响最终压实效果。对各分区交界部位是施工难点，采取渐进式填筑法，避免不同区填料混杂、压实不到位。坝体填筑高度均统筹各个施工段，使整体均衡上升，上下游临时断面高差不宜过大，高坝填筑需严控填筑速度，为坝体沉降预留充足时间，浇筑面板前确保坝体预沉降期达3-6个月，面板顶部坝体沉降速率应 $\leq 3-5\text{mm}/\text{月}$ ，以防后期沉降量超标导致面板拉裂^[4]。另外，设置GPS定位器、智能压感器，对碾压参数实时监测，确保填筑质量全程可控性。

2.3 上下游坡面修整

坝体填筑至设计高程后及时修整上下游坡面，采用“机械+人工”组合法削坡处理，保证坡面坡度、平整度达到设计要求。在上游坡面上增设挤压边墙，严控边墙平整度 $\leq \pm 50\text{mm}$ ，采用雷达超声波检测有无拖空现象，为混凝土面板施工提供稳固基础。

3 混凝土面板施工技术关键点

在大坝上游防渗体系中，混凝土面板作为核心，施工中需严控各工序作业指标，以防出现裂纹、脱空、渗漏等情况，提高防渗性能以及结构稳定性。

3.1 钢筋工程精细化作业

严控钢筋保护层厚度达标，底部区域、跨中区域厚度设定为40-50mm，靠近止水处应 $\geq 50\text{mm}$ ，采用高强度塑料垫块，梅花型布设，设置间距 $\leq 1.0\text{m}$ ，以防浇筑振捣期间钢筋位移下沉。面板双向配筋率严控在0.35-0.40之间，使用直径16-20mm的钢筋，网格设置间距为150-200mm，错开布置机械连接接头，相同截面接头数量应 $\leq 25\%$ 总钢筋量，确保面板受力的均匀

度，以防局部应力过于集中。另外，提前做好钢筋除锈工作再进行钢筋绑扎，搭建长度 $\geq 35d$ （ d 为钢筋直径），保障钢筋骨架整体刚度符合标准。

3.2 滑膜摊铺工艺

使用液压自动滑膜系统，滑升速度严控在1.0-1.5m/h，滑升偏差量 $\leq \pm 0.2\text{m}/\text{h}$ ，滑膜组装垂直度偏差 $\leq 3\text{mm}/\text{m}$ ，表面平整度公差 $\leq 2\text{mm}$ 。滑升阶段由专人负责实时观察面板线形、模板水平度情况，高程需每隔30cm校核一次，发现偏差及时调节，以防偏差累积过大，滑膜停机时间 $\leq 30\text{min}$ ，以免产生施工冷缝。滑膜脱模后立即进行二次压光，2m靠尺检测表面间隙 $\leq 3\text{mm}$ ，单点麻面面积 $\leq 0.01\text{m}^2$ ，麻点量 ≤ 3 处/ m^2 ，确保面板表面平整度、密实度^[5]。

3.3 混凝土配合比与浇筑

面板混凝土强度等级要求 $\geq \text{C}30$ ，抗渗等级 $\geq \text{W}8$ ，坍落度严控在50-70mm，扩展度 $\geq 450\text{mm}$ ，掺入粉煤灰、高效减水剂，控制收缩率、水化热。混凝土采用溜槽均速入仓，采用分层摊铺法，每层厚度25-30cm，插入式振捣器振捣点间距 $\leq 50\text{cm}$ ，振捣持续20-30s，止水周边采用 $\Phi 30$ 小型振捣器，以防出现过振、漏振情况。浇筑方向由上到下逐步推进，单块面板连续作业，施工缝预留需凿毛处理，直至露出新鲜混凝土表面，在表面上先涂刷界面剂、再进行混凝土浇筑，保持接缝足够密实、无空隙。

3.4 养护与成品防护

完成浇筑后，待到混凝土初凝立即覆盖土工布保温保湿，且不间断洒水避免表面湿度不足，养护周期 $\geq 90\text{d}$ 或直至大坝蓄水，洒水频率应 ≥ 4 次/d，保持表面持续湿润。夏季作业需严控温度，混凝土入仓温度应 $\leq 30^\circ\text{C}$ ，搭设遮阳棚、使用冰水拌合。冬季作业保持温度，混凝土入模温度应 $\geq 5^\circ\text{C}$ ，并在表面上覆盖一层保温被，将内外温差严控在 $\leq 25^\circ\text{C}$ ，避免生成温度应力裂缝。施工期间，机械设备、物料等不得磕碰面板，提前增设防护围栏，面板成型后及时检测平整度、密实度，若发现裂缝、蜂窝等病害情况立即采取修复措施。

4 接缝止水施工技术关键点

接缝止水作为大坝防渗体系中易发生渗漏病害的部位，主要包含周边缝、趾板缝、垂直缝等，需严控材料、安装、浇筑各个流程施工质量，对整个防渗体系全封闭。

4.1 止水材料选型与质量检测

在止水材料选择中，优选厚度 $\geq 1.5\text{mm}$ ，抗拉强度

≥205MPa 的 T2 纯铜止水片, 以及邵氏硬度 60±5 度、拉伸强度≥15MPa 的遇水膨胀橡胶止水带, 搭配 PVC 垫板、密封胶等辅料。所有入场设备由专人负责进行 100% 外观检查、抽样送检, 重点检查材料的抗渗性、抗老化性、延展性等指标, 不合格材料严禁使用。提前准备干燥、阴凉的库房用于存储材料, 材料不得受到雨淋、阳光直射, 铜止水片入场后打磨去除氧化层, 要求表面粗糙度≤Ra3.2, 以防对焊接、防渗效果造成影响^[6]。

4.2 止水结构安装精准管控

周边缝止水同步采用铜止水和橡胶止水组合方法, 要求止水中心线和接线中心线偏差量≤±5mm, 双面焊接铜止水接头, 搭接长度≥20mm, 完成焊接后进行 100% 煤油渗漏试验, 静置 30min 未发现渗漏点为合格。垂直缝选用 W 型铜止水, 底部铺设水泥砂浆垫层(厚度 20mm) 用于找平, 止水内部填充橡胶棒、高密度泡沫板, 外侧粘贴密封胶带, 阻隔混凝土浆液渗入。安装阶段使用专用夹具固定止水片, 设置间距≤50cm, 以防钢筋、机械设备触碰造成破损和变形, 完成安装后及时复核位置、平整度。

4.3 接缝混凝土施工与缺陷处理

接缝处优选高流动、小粒径混凝土浇筑, 振捣器不得靠近止水片, 二者间距≥15cm, 不得直接与止水结构接触, 保持混凝土与止水片的贴合度且无脱空。完成浇筑工作后, 对接缝顶部凿毛处理, 深度为 5-10mm, 冲洗干净后涂刷一层密封胶。完成施工后使用超声波全覆盖检测, 对缝隙、脱空等缺陷使用聚氨酯灌浆封堵, 灌浆压力严控在 0.3-0.5MPa 之间, 保持止水密度度。并对接缝展开周期性巡查, 及时处理渗漏点, 筑牢大坝防渗的最后一道防线。

5 施工监测与质量控制

在施工阶段, 建立完善的施工检测体系, 特别是

在坝体、面板、接缝等部位, 设置沉降仪、测斜仪、渗压计、应变计、温度计等监测装置, 对坝体沉降、水平位移、渗流压力、混凝土温度、应力应变等指标实时监测。将采集到数据实时上传、分析, 一旦监测到异常数据或超阈值数据, 则要及时停工排查原因, 采油整改措施, 以防质量隐患被进一步扩大。对所有入场材料, 如水泥、砂石、钢筋、外加剂、止水材料等, 严格执行进场验收、抽样检测制度, 要求强度、级配、含泥量、耐久性、抗渗性等各项指标均满足要求, 同时建立原材料质量档案, 一旦发现质量问题可实现全流程溯源, 在源头上加强质量控制。

制定包含自检、互检、专检的“三检制度”, 施工小组、管理小组均要严格执行, 待到完成每道工序后, 按照流程展开“三检”, 检验负责人确认无误后签字, 并进入到下一道工序。对坝基处理、填筑碾压、面板浇筑、止水施工等核心工序, 实施监理旁站制度, 对施工工艺、施工质量全程监督, 及时发现质量隐患、违规操作并给予纠正。面板混凝土施工中需避开高温、低温、大风、多雨天气, 高温天气需采取降温、遮阳措施, 低温环境需采取保温措施, 雨季作业搭设防雨棚、加强场地排水, 最大限度上控制周边环境因素对整体施工质量的影响。

6 结语

综上所述, 混凝土面板堆石坝施工中, 其技术关键点包括坝基与岸坡处理、坝体分区填筑、混凝土面板施工、接缝止水施工等, 各工序施工必须严格遵循规范标准, 严控施工工艺、质量标准。并结合施工现场地质地形条件, 优化施工方案, 以现场试验方式确定最优施工参数, 开展精细化施工管理。并积极引入智能监测系统, 对施工流程展开数字化管控, 减少裂缝、渗漏、沉降、失稳等病害发生率, 保障项目施工的综合效益。

参考文献:

- [1] 赵金镇.严寒地区混凝土面板堆石坝面板温控防裂措施及耐久性评价——以直苴水库为例[J].价值工程,2026,45(09):19-22.
- [2] 曾斌杰,冯海波.抽水蓄能电站面板堆石坝混凝土温控与防裂[J].西北水电,2025,(06):139-142.
- [3] 胡盛琪.水电站混凝土面板堆石坝填筑施工技术措施研究[J].科技资讯,2025,23(24):141-143.
- [4] 蒋开言.地质雷达在混凝土面板堆石坝面板脱空检测的应用分析[J].建筑技术开发,2024,51(06):132-134.
- [5] 陈小亮.混凝土面板堆石坝的面板裂缝防治技术要点[J].石材,2024,(05):144-146.