

# 水利水电工程混凝土面板堆石坝施工技术

文 / 尹 昌 中国水利水电第八工程局有限公司

**摘要:** 为了确保混凝土面板堆石坝工程质量和安全,文章从基础面处理、测量放线、坝体填筑、洒水养护、夯实和混凝土面板施工等施工技术为切入角度,深入分析了施工过程中的关键技术要点,并针对混凝土振捣收面、滑模提升、面板养护、特殊天气施工以及止水片施工等方面提出了具体的质量控制措施和建议,旨在提高混凝土面板堆石坝的施工质量和工程可靠性,延长工程使用寿命,为同类工程施工提供技术参考。

**关键词:** 水利水电工程; 混凝土面板堆石坝; 施工技术

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.12.069

## 引言

随着我国水利水电事业的快速发展,混凝土面板堆石坝因其良好的适应性、经济性和安全性,在水利水电工程建设中得到广泛应用。面板堆石坝施工技术复杂,施工环境恶劣,工程建设质量要求高,施工过程中面临诸多技术难题。混凝土面板作为堆石坝的防渗体系,其施工质量直接影响工程的安全运行。因此,深入研究混凝土面板堆石坝施工技术和质量控制措施,对提高工程施工质量、确保大坝运行安全具有重要的工程实践价值。

### 一、工程概况

某水库大坝坝型为钢筋混凝土面板堆石坝,坝顶高程 311.50m,坝顶宽 10.00m,上游设钢筋混凝土防浪墙,防浪墙顶高程 312.70m,最大坝高 95.50m,坝顶长 346.10m。坝体上游坝坡为 1:1.4,下游面坡比 1:1.4 ~ 1:1.5。坝体填筑材料分成垫层区、特殊垫层区、过渡区、上游堆石区和下游堆石区、交叠过渡区以及上游大坝辅助防渗区。正常蓄水位 306.00m,死水位 275.00m,有效库容 703 万  $m^3$ 。工程施工场地狭小,料场分布受地形限制,施工运输通道布置困难,大坝工程施工除需克服高陡边坡开挖、深基坑支护、超高混凝土面板施工等技术难题外,还需合理安排施工场地布置及运输组织,保证工程建设质量和施工安全。

### 二、水利水电混凝土面板堆石坝在施工方面的要求

混凝土面板堆石坝作为水利水电工程建设的重要技术形式,由堆石体和混凝土面板两大结构部分组成,施工过程中面临诸多技术难点与挑战。大坝堆石体主要选用大粒径砂石材料,这类材料在压实过程中虽然整体密实度得到提升,但随之而来的材料变形量大且变形持续时间较长的问题日益凸显<sup>[1]</sup>。更为关键的是,混凝土面板与堆石体两种材料在物理性质方面存在显著差异,这种差异性导致大坝结构中潜在病害隐患的风险不断增加。面板与堆石体之间的变形模量匹配问题尤为突出,变形模量的不协调性极易引发结构应力集中,进而造成结构损伤甚至损坏。

### 三、混凝土面板堆石坝技术的施工要点分析

#### (一) 基础面处理

堆石坝基础面处理需对原地基表层进行彻底清理,

清除松散岩石和软弱夹层,采用风镐进行机械破碎后人工清理。面板坝基础开挖完成后,基岩表面经冲洗除尘、高压水枪冲刷,确保基面达到设计承载力要求。对基础面凹凸不平处采用 C25 细石混凝土找平,找平层厚度控制在 15-30cm 范围内,找平面平整度偏差不大于 3cm。基础面处理过程中应重点关注软弱结构面、节理裂隙等地质构造,针对性采取灌浆加固等处理措施,灌浆压力控制在 0.8-1.2MPa,以提高基础整体性。基础处理完成后,采用现场检测手段对基础承载力、变形模量等指标进行验收,检测数据应满足设计要求,确保基础处理质量符合规范标准。基础面处理质量的优劣将直接决定后续面板混凝土施工的效果,因此施工单位应高度重视基础处理环节的质量控制工作<sup>[2]</sup>。

#### (二) 测量放线

工程测量人员需在坝址区域内布设全站仪控制网,控制点间距控制在 50m 以内,测量精度要求水平位移误差不超过 5mm。坝体填筑施工过程中,测量放线工作需对不同填筑区域的边界线进行准确定位,测量人员运用全站仪对每层填筑边界进行定位放样,放样点间距控制在 10m 左右,边界线采用石灰或油漆进行清晰标识,如图 1 所示。堆石料分层碾压施工时,测量人员应对填筑层厚度进行严格控制,采用水准仪测定每一层填筑高程,填筑层厚度控制在 80cm 范围内,碾压后实测压实度应达到 95% 以上。碾压边墙施工时,测量人员需对碾压边墙的几何尺寸进行严密监控,采用激光测距仪实时监测边墙垂直度和断面尺寸,确保边墙几何尺寸满足设计要求,为后续混凝土面板施工提供可靠的几何基础。



图 1 测量放线图

### (三) 坝体填筑

石料选择应以坚硬新鲜的块石为主, 经过筛分检验后方可用于填筑施工。堆石料运至填筑区域后需采用推土机进行摊铺, 摊铺厚度应保持均匀, 边缘区域摊铺采用挖掘机配合人工完成。填筑区域按设计要求分区填筑, 主堆石区与边坡区域采用不同的碾压设备和施工工艺, 确保各区域压实质量满足要求<sup>[3]</sup>。坝体填筑过程中测量人员需密切监测填筑高程和断面尺寸,

施工单位应对每层填筑碾压质量进行严格检测, 检测结果需达到设计要求方可进行下层填筑。碾压后的填筑层表面需保持平整, 粒径级配合理, 避免出现局部集中和粒径分布不均匀现象, 以确保坝体具备良好的整体性和均质性。施工过程中应加强对碾压工艺的控制和监督, 避免填筑区域出现漏压和欠碾现象, 保证坝体填筑质量满足工程建设标准, 大坝填筑设计指标及碾压施工参数如表 1 所示。

表 1 大坝填筑设计指标及碾压施工参数

项目	垫层	过渡层	主堆石	次堆石
岩石要求	新鲜灰岩	新鲜灰岩	新鲜灰岩	弱风化岩
设计干密度 (t/m <sup>3</sup> )	2.20	2.15	2.10	2.05
渗透系数 (cm/s)	10 <sup>-3</sup> ~ 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-2</sup>	透水	透水
含泥量 (%)	1	1 ~ 2	3 ~ 5	5 ~ 7
最大粒径 (m)	0.08	0.3	0.6	0.6 ~ 0.8
5mm 细粒含量 (%)	30 ~ 40	5 ~ 7	3 ~ 5	3 ~ 5
铺料厚度 (m)	0.4	0.4	0.8	0.8
加水量 (%)	10 ~ 20	15 ~ 30	15 ~ 30	
碾压遍数	8	8	8	8
压实率 (%)	8.9	9.9	6.5	7.5 ~ 8.0

### (四) 洒水

洒水养护是混凝土面板堆石坝施工质量控制的重要环节, 通过科学合理的洒水作业能够有效提升堆石料的压实效果。工程施工现场架设 DN80 镀锌钢管引水系统, 在填筑区域布设喷淋装置, 洒水强度需保持在每平方米 1.5 ~ 2L 的用水量。施工人员应根据现场气候条件和堆石料含水率情况调整洒水频率, 干旱天气下应增加洒水次数, 使堆石料含水率维持在 4% 左右的最佳压实范围。洒水与碾压工序应紧密配合, 洒水后的堆石料需静置一定时间使水分充分渗透, 增加石料之间的摩擦系数和咬合力<sup>[4]</sup>。碾压过程中保持石料表面湿润状态, 避免出现局部干燥或积水现象, 通过合理控制含水率来提高压实质量。

### (五) 夯实

夯实工序是确保混凝土面板堆石坝结构稳定性的关键环节, 科学合理的夯实工艺直接影响坝体的整体性能。施工单位选用 25 吨级振动碾压机沿坝轴线方向进行往复碾压, 碾压机行进速度控制在 2.5km/h, 单幅碾压宽度 2m, 碾压遍数严格执行无震 2 遍、有震 4 遍、无震 2 遍的工艺要求。坝体砂砾石料采用分层填筑法, 振动碾压过程中需注意不同区段的压实工艺, 堆石坝核心区及过渡带振动碾压采用有序错距方式, 边坡部位顺坡采用液压振动碾压工艺。狭小区域及边角部位采用手扶式振动碾压设备进行辅助夯实, 确保坝体各部位均匀压实。施

工过程中压实度检测人员需按规范要求进行密实度检测, 经检测合格后方可进行上层填筑。

### (六) 混凝土面板施工

混凝土运输车将拌和物输送至坝面受料斗, 通过溜槽系统将混凝土精准分配至浇筑区域, 浇筑过程采用分层法, 控制单层浇筑厚度在 30 ~ 50cm 范围内。施工现场配备 100mm 和 70mm 两种规格的振捣器, 主体区域采用大直径振捣器, 止水片及侧模位置则使用小直径软管振捣器进行处理, 振捣间距控制在 40cm 以内, 振捣深度确保进入下层混凝土 5cm。浇筑过程中混凝土坍落度控制在 3 ~ 5cm, 初凝时间应控制在 12h 以内, 确保混凝土面板具有良好的整体性和抗渗性。面板混凝土施工过程中应密切关注气温和湿度变化, 及时调整施工工艺参数, 浇筑完成后需采取覆盖养护等措施, 确保混凝土面板施工质量满足规范要求<sup>[5]</sup>。

## 四、混凝土面板施工质量的控制措施

### (一) 混凝土的振捣和收面

混凝土面板振捣施工过程直接影响混凝土结构性能和工程质量, 科学合理的振捣工艺是确保面板质量的关键环节。振捣作业需由专业人员严格执行规范操作, 振捣器的插入深度和间距必须满足设计要求, 施工现场采用 100mm 振捣器振捣中部区域, 止水片及侧模处则采用 70mm 软管振捣器进行处理, 振捣间距需严格控制在 40cm 范围内, 振捣深度应确保进入新浇混凝土层底部 5cm。

振捣过程中振捣器必须沿滑膜前铅直方向向下操作,避免因不当操作导致模板上浮而影响施工质量,振捣作业人员需密切关注振捣过程中的各项参数指标,杜绝漏振和过振现象发生。混凝土收面作业需在初凝时间内完成,面板混凝土应在收面前采取防止干缩裂缝的措施,收面作业质量直接影响面板结构的外观和耐久性。施工人员需根据不同建筑结构特点合理调整预埋管长度,通过调整工艺参数控制浇筑量和初凝时间,在确定滑模与收面平台间距后综合分析确定提升速度等关键数据。

### (二) 滑模提升质量控制

滑模提升作为混凝土面板施工的重要工序,提升速度的控制对确保面板结构质量具有重要影响。滑模提升施工必须在混凝土结构强度满足要求且达到脱模条件后方可进行,滑模提升速度的控制既不能过快也不能过慢,施工经验表明滑模提升速度应控制在1.5~2.5m每小时的范围内较为合适。滑模提升速度过快容易引起混凝土结构鼓包和流淌等质量缺陷,反之提升速度过慢则可能导致混凝土表面出现开裂问题,同时还会降低施工效率和经济效益。滑模系统的整体性和稳定性直接影响面板施工质量,施工过程中需确保滑模系统各部件连接紧固,运行平稳,避免提升过程中出现倾斜和卡阻现象<sup>[6]</sup>。面板施工质量控制人员需密切监测混凝土的凝结时间和强度发展情况,根据气温和湿度等环境因素适时调整提升速度。施工单位应建立滑模提升施工的质量控制体系,明确各工序质量控制要点和检验标准,做好施工记录和质量检测工作,及时发现和处理施工过程中出现的质量问题。

### (三) 面板养护质量控制

混凝土面板作为大面积薄壁结构,其养护质量直接影响结构的抗裂性能和耐久性。混凝土面板结构易受温度和湿度等外界环境因素影响而产生收缩变形和裂缝,混凝土面板虽具有一定的抗拉强度和抗裂性能,但面板结构特点决定了养护工作的重要性。工程施工中面板混凝土经过两次抹面后必须采用塑料薄膜进行覆盖养护,确保混凝土表面保持适宜的湿润度,有效预防干缩裂缝的产生。养护过程中施工人员需加强对模板和钢筋网的保护,避免因养护不当造成结构损坏,同时需根据工程实际情况科学制定养护时间,确保混凝土表面湿润度满足规范要求。养护工作的质量直接影响混凝土面板的整体性能,施工单位应建立完善的养护管理制度,配备专业养护人员,定期检查养护效果。恶劣天气条件下混凝土养护尤为重要,施工人员需密切关注天气变化,及时采取有效的养护措施,避免因养护不当导致面板产生裂缝病害。

### (四) 特殊天气的质量控制

混凝土面板在特殊天气条件下的施工质量控制尤为重要,面板浇筑质量受外部环境因素的直接影响,施工单位需针对不同天气情况制定相应的施工措施。面板浇筑过程中遇到大雨天气时,坡面易出现混凝土流淌现象,施工人员需立即停止施工作业并用塑料布覆盖浇筑面,

同时做好仓内积水排除工作,避免雨水冲刷对混凝土面板造成损害。连续降雨天气下可考虑采用机械设备进行碾压,确保混凝土面板的密实度,雨季作为混凝土面板裂缝和渗水的易发阶段,需做好防水设计和施工。雨天输送混凝土物料时必须在物料表面铺设防雨布,防止雨水渗入导致混凝土离析,影响物料性能。施工人员需对止水结构两侧采用棉纱布进行封堵,截面位置填充沥青材料,避免结构受冲刷破坏。特殊天气下的施工质量控制需要施工单位建立完善的应急预案,配备必要的防护设施和材料,确保面板施工质量满足工程要求。

### (五) 止水片施工质量控制

止水片施工质量控制是确保混凝土面板防渗性能的关键环节,止水片固定安装需形成封闭的止水带结构。施工中需对止水带两侧的混凝土进行充分振捣,确保结构密实度达到规范要求,同时加强养护工作,防止止水带产生裂缝。止水片生产采用工程内部模具进行制作,单片尺寸较长,生产过程需严格控制各环节质量,防止止水片出现变形和破损。止水片安装过程中搭接位置的搭接长度不应小于20mm,不同类型止水片需采用相应的固定方式,避免产生安装偏差。混凝土振捣是止水片施工的重要环节,振捣结束后混凝土表面不应出现水泡,气泡消失是判断振捣质量的重要指标。施工人员需加强对止水片的保护,避免因施工不当造成结构损坏,同时需根据材料特性选择合适的施工工艺,提高止水效果和使用寿命。止水片施工质量控制要求施工单位加强施工人员的技术培训,建立完善的质量检测标准,确保止水片施工质量满足防渗要求。

### 结语

综上所述,混凝土面板堆石坝施工过程中涉及多个关键施工工序,各工序之间相互关联、相互影响。面板堆石坝施工必须严格执行施工规范要求,加强施工质量控制和监督管理。工程建设过程中通过科学合理的施工组织、先进的施工工艺和完善的质量控制体系,有效保证了面板堆石坝的施工质量。未来研究应着重关注新材料、新工艺、新技术在面板堆石坝施工中的应用,进一步提高施工效率和工程质量,推动水利水电工程建设技术的创新发展。

### 参考文献

- [1] 刘晓刚. 水利水电工程混凝土面板堆石坝施工技术[J]. 工程建设与设计, 2024, (20): 190-192.
- [2] 罗永红. 创新技术在混凝土面板堆石坝中的应用分析[J]. 工程与建设, 2024, 38(04): 881-882.
- [3] 聂培, 周娟. 水利工程混凝土面板堆石坝坝体填筑施工技术[J]. 水上安全, 2024, (04): 187-189.
- [4] 周杰. 水利水电施工混凝土面板堆石坝技术[J]. 散装水泥, 2023, (02): 122-124.
- [5] 苏理智. 水利水电施工混凝土面板堆石坝技术分析[J]. 珠江水运, 2021, (13): 76-77.
- [6] 王林. 试论水利水电施工混凝土面板堆石坝技术[J]. 智能城市, 2020, 6(16): 151-152.