

# 水利工程中的水库坝体护坡板混凝土施工技术分析

郭 誉

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南 郑州 450001

**【摘 要】**：为解决水库坝体护坡混凝土施工易出现滑移、渗漏、开裂等质量问题，保障坝体结构稳定与长效运行，本文依托水利工程施工规范，采用现场工艺梳理、病害成因分析及质控总结的方法，系统研究坝体护坡板混凝土施工整套技术体系。文章梳理了前期准备、拌合运输、浇筑振捣、养护接缝的核心工艺，总结了蜂窝麻面、裂缝、渗水等常见病害的成因与整改方案，构建了全过程质量管控体系。研究表明，精细化工序管控、标准化施工工艺可有效规避护坡施工质量缺陷。研究结果可为同类水库坝体护坡混凝土施工提供技术参考，提升工程施工质量与耐久性。

**【关键词】**：水利工程；水库坝体；护坡板；混凝土施工；质量控制

DOI:10.12417/2811-0528.26.19.063

## 引言

水库坝体护坡是水利枢纽工程的重要防护结构，直接抵御风浪冲刷、雨水渗透及冻融破坏，是保障坝体安全稳定、延长工程使用寿命的关键环节。坝体坡面为倾斜作业面，相较于普通平面混凝土施工，施工难度大、质量控制点多，极易出现混凝土滑移、板面开裂、接缝渗水等病害。当前部分护坡施工存在工艺不规范、细节管控不到位、质控体系不完善等问题，易引发坝体防护失效隐患。为此，本文结合现场施工实操经验，系统梳理护坡板混凝土标准化施工工艺，剖析常见质量问题成因，制定针对性防控措施与全过程质控策略，为水利护坡工程规范化、高质量施工提供实操依据。

## 1 水库坝体护坡板混凝土工程概述

### 1.1 护坡板混凝土结构功能

水库坝体护坡板混凝土区别于普通建筑路面混凝土，核心服务于坝体安全防护，具备多重实用功能。其整体封闭结构可以直接阻挡库区风浪、雨水对坝体土体的直接冲刷，避免表层土体剥离流失。密实的混凝土结构能够阻断雨水、库水渗入坝体内部，减少土体含水率变化引发的不均匀沉降，维持坝体形体稳定。针对北方低温库区和昼夜温差较大的区域，高强度混凝土可有效抵御冻融循环带来的结构破坏，避免坝体表层冻胀开裂。多重防护作用相互配合，能够长期维持坝体整体稳定性，延长水库主体工程使用寿命，保障水利工程持续安全运行<sup>[1]</sup>。基于特殊使用场景，护坡板混凝土必须满足高抗渗、高抗冻、高抗冲刷、强耐久性的性能要求，各项指标均需严格符合水利行业专项施工规范。

### 1.2 护坡板混凝土施工技术特点

坝体护坡施工区别于平面混凝土施工，整体作业面为倾斜坡面，施工操作难度更大，技术管控要点更为特殊。坡面倾斜

的结构形态会导致未凝固混凝土受重力作用产生下滑趋势，极易引发表层滑移、厚度不均等问题，对浇筑、振捣的及时性和均匀性要求极高。坡面作业无法采用常规平面施工设备，振捣、收光工序需要适配小型设备精细化操作，密实度管控难度显著提升。工程多为露天施工，温湿度、降雨、大风等天气因素会直接影响混凝土初凝速度和成型质量，施工时效性要求严格<sup>[2]</sup>。护坡板需分块浇筑成型，板块之间的接缝是防水薄弱点，接缝密封、防渗处理的施工标准远高于普通混凝土工程，任何细节疏漏都会造成后期渗水病害。这些施工特点决定了坝体护坡板施工必须依托专项工艺，不能直接套用常规混凝土施工方案。

## 2 水库坝体护坡板混凝土核心施工工艺与技术要点

坝体护坡板混凝土施工是一套连贯的系统化工序，各环节衔接紧密，任一工序质量不达标都会影响整体工程效果。本文梳理现场标准化施工流程，形成完整施工工艺体系，具体流程如图1所示。

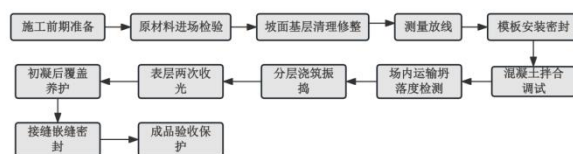


图1 水库坝体护坡板混凝土标准化工序流程图

### 2.1 施工前期准备技术要点

#### 2.1.1 原材料质量管控

原材料品质是混凝土成型质量的基础，护坡工程所用材料需适配水利工程耐久、防渗、抗冻的核心需求。水泥优先选用普通硅酸盐水泥，进场前核验强度、安定性、凝结时间等核心指标，杜绝受潮、过期、标号不达标的水泥投入使用。砂石骨料选用级配连续的洁净材料，严格控制含泥量、针片状颗粒含

量,骨料粒径适配坡面薄层浇筑工艺,避免大粒径骨料引发表层蜂窝缺陷。外加剂根据库区气候条件选型,低温区域适配防冻外加剂,多雨区域选用防渗外加剂,进场前通过试验确定适配掺量。拌合用水采用洁净自来水,杜绝使用含杂质、酸碱度超标的水体,从源头保障混凝土基础性能。

2.1.2 坡面基层处理技术

基层处理直接决定混凝土与坝体坡面的粘结强度,是杜绝空鼓、脱落病害的关键工序。施工人员需彻底清理坡面杂草、浮土、松散土体和建筑垃圾,保证基层整体洁净。针对坡面凹凸不平区域,采用人工配合小型机械找平夯实,严格对照设计坡度修整坡面,压实表层土体,消除后期土体沉降隐患。全部修整作业完成后,提前 24 小时对坡面均匀洒水湿润,让基层土体保持适宜含水率,避免干燥基层快速吸收混凝土水分,造成粘结不牢、表层开裂等问题,为后续浇筑施工创造良好条件<sup>[3]</sup>。

2.1.3 测量放线与模板施工技术

施工前依托设计图纸,采用全站仪、水准仪完成精准测量放线,清晰标定护坡板浇筑边界、厚度控制线以及分格缝位置,放线精度控制在规范允许范围内,保证板块尺寸规整。模板选用高强度钢模板,整体刚度和平整度满足施工要求,不易发生变形。模板安装过程中严控垂直度与平整度,板块拼接缝隙采用密封胶封堵,彻底杜绝浇筑过程中漏浆问题。同时布设专用加固构件,增强模板整体稳定性,有效抵御混凝土浇筑过程中产生的侧压力,避免出现跑模、变形、错台等质量问题。

2.2 混凝土拌合与运输技术

混凝土拌合严格遵循试验室出具的适配配合比,结合现场砂石骨料实时含水率微调用水量,保证水胶比稳定。拌合设备运行过程中严控拌合时长,确保水泥、骨料、外加剂混合均匀,混凝土色泽一致、和易性良好。拌合完成后及时检测坍落度,适配坡面施工的混凝土坍落度控制在 50 至 70mm,避免坍落度过大引发坡面流淌,或坍落度过小造成振捣不密实。场内运输采用密闭运输设备,缩短运输时长,减少混凝土离析、初凝现象。运输至施工现场后,再次抽检坍落度,指标不合格的混凝土直接废弃,严禁用于坡面浇筑施工。

2.3 坡面混凝土浇筑与振捣核心技术

坡面浇筑采用分层分段、自上而下的施工方式,分层厚度严格控制在 20 至 30cm,适配坡面倾斜作业环境,避免一次性浇筑厚度过大导致混凝土下滑。浇筑过程保持连续作业,减少施工冷缝产生。振捣工序采用小型插入式振捣器搭配平板振捣器协同施工,插入式振捣器处理混凝土内部密实度,平板振捣器平整表层结构。振捣作业遵循快插慢拔的操作原则,均匀排

布振捣点位,杜绝漏振、过振现象,防止内部出现空洞、蜂窝麻面或表层骨料离析。振捣完成后及时开展两次表层收光,初次收光平整表层浮浆,初凝前二次压光闭合表层细微裂缝,有效提升护坡板面整体平整度和密实度。

2.4 混凝土养护与接缝处理技术

混凝土浇筑完成后,根据环境温度确定养护启动时间,常温环境下浇筑完成 4 至 6 小时后覆盖土工布洒水保湿养护,高温天气缩短养护准备时长,低温天气做好保温防冻覆盖。养护周期严格按照水利规范执行,全程保持表层湿润,避免水分快速蒸发引发干缩裂缝。护坡板分格缝、施工缝是防水薄弱部位,待混凝土强度达标后,及时清理缝隙内部杂物、浮尘,采用专用防水密封胶嵌缝填充,保证缝隙填充饱满、粘结紧密,阻断雨水、库水渗透通道,提升护坡整体防渗性能<sup>[4]</sup>。

3 施工常见质量问题及防控措施

结合水库坝体护坡施工现场实操情况,梳理出工程高频质量问题病害,针对性分析成因并制定落地性防控与整改方案,具体内容如表 1 所示。

表 1 水库坝体护坡板混凝土施工质量通病及防控措施

| 病害类型   | 核心成因                       | 防控措施                       | 整改方案                        |
|--------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 蜂窝麻面   | 模板密封不严漏浆,振捣不均匀、不到位,骨料级配不合理 | 提前封堵模板缝隙,优化骨料级配,规范振捣点位与时长  | 清理表层松散骨料,清水湿润后用同配比水泥砂浆抹平压实  |
| 表层裂缝   | 养护不及时、水分蒸发过快,温差过大,表层收光不到位  | 浇筑后及时覆盖养护,严控内外温差,落实二次压光工艺  | 细微裂缝采用密封胶灌缝,贯穿裂缝切割处理后重新修补浇筑 |
| 板面空鼓脱落 | 基层清理不彻底、未充分湿润,混凝土与基层粘结性差   | 彻底清理基层杂物,提前洒水湿润,严控浇筑粘结质量   | 切除空鼓破损板块,重新修整基层,浇筑新混凝土并做好养护 |
| 接缝渗水   | 缝隙清理不干净,密封材料填充不饱满,嵌缝施工不规范  | 彻底清理缝隙杂物,分层填充密封材料,保证填充密实饱满 | 剔除失效密封材料,重新清理缝隙,高标准完成嵌缝密封作业 |
| 强度     | 配合比把控不严,                   | 严格执行试验配合                   | 强度轻微不足可加                    |

|    |                    |                     |                    |
|----|--------------------|---------------------|--------------------|
| 不足 | 拌合不均匀, 养护周期不足、环境恶劣 | 比, 规范拌合流程, 保障标准养护周期 | 强表层防护, 严重不达标板块拆除返工 |
|----|--------------------|---------------------|--------------------|

### 3.1 常见质量病害及成因分析

坝体护坡板混凝土施工病害大多源于现场细节管控缺失, 各类病害成因集中在四个维度。原材料管控不当会出现骨料级配失衡、外加剂掺量不准等问题, 从源头影响混凝土基础性能。施工工艺不规范是核心诱因, 模板漏浆、振捣疏漏、收光不细致、接缝处理粗糙等操作问题, 会直接引发蜂窝麻面、裂缝、渗水等缺陷。现场管控不到位会导致工序衔接混乱, 混凝土运输超时、浇筑中断等情况频发。养护环境与管控不当会造成混凝土水分流失过快、温差应力过大, 诱发干缩裂缝、强度增长缓慢等问题。所有病害均为施工细节疏漏导致, 无突发性、不可控病害, 通过标准化管控均可有效规避。

### 3.2 针对性防控与整改技术措施

针对各类高频病害, 现场施工需落实精细化防控措施。前期严格核验原材料指标, 根据现场工况微调配合比, 保证混凝土性能适配坡面施工需求。模板安装、浇筑振捣、表层收光、接缝处理等核心工序统一操作标准, 固定作业流程, 杜绝随意施工。养护阶段根据天气动态调整养护方式, 高温保湿、低温保温, 保障混凝土强度稳定增长。针对已出现的质量缺陷, 遵循小缺陷修补、大缺陷返工的原则, 细微裂缝、麻面采用砂浆修补、密封灌缝处理, 空鼓、强度不达标等严重问题及时拆除返工, 避免病害持续扩大影响坝体防护安全。

## 4 施工质量全过程管控策略

### 4.1 施工前预控管理

施工前期预控是减少质量隐患的关键, 进场后先完成施工方案技术交底, 让作业人员熟悉坡面施工难点、操作标准和质控要点。所有进场原材料、设备逐一核验复检, 不合格材料严禁进场, 施工设备提前调试检修, 保证运行稳定。完成测量放

线后进行二次复核, 确认尺寸、坡度、分格缝位置精准无误。全面排查坡面基层隐患, 提前处理松软、凹凸区域, 从源头规避各类施工风险, 为后续施工奠定基础<sup>[5]</sup>。

### 4.2 施工中过程管控

施工全过程实行工序旁站监督, 聚焦混凝土拌合、运输、浇筑、振捣、模板固定等关键工序, 全程跟踪作业状态。严格执行工序验收制度, 每道工序完成后先自检、再复检, 验收合格后方可进入下一工序。现场安排专人管控混凝土坍落度、拌合时长、浇筑厚度、振捣范围等核心参数, 及时纠正不规范操作, 杜绝批量质量问题出现, 保障各工序施工质量合规。

### 4.3 施工后验收与运维管控

护坡施工全部完成后, 按照水利工程验收规范开展全方位质量检测, 核查板面平整度、结构尺寸、混凝土强度、接缝密封性等核心指标, 同步检查外观有无裂缝、破损、空鼓等缺陷。验收合格后做好成品保护, 避免施工器械、人为活动造成表层破损。工程交付后, 初期重点关注表层养护状态和接缝密封情况, 定期排查细微病害, 及时处理初期隐患, 保障护坡结构长期稳定运行。

## 5 结语

水库坝体护坡板混凝土施工质量直接关系到坝体结构安全与工程使用寿命, 坡面倾斜作业的特殊工况, 决定了该项施工对工艺精细化、管控标准化的高要求。本文结合现场施工实际, 梳理了从前期准备、拌合运输、浇筑成型到养护接缝的全套施工工艺, 明确各工序核心技术要点, 总结了高频质量病害的成因与处置方案, 构建了全过程质量管控体系。基层处理、模板施工、浇筑振捣和养护防渗是护坡施工的核心环节, 也是质量管控的重点部位, 现场施工需摒弃粗放作业模式, 聚焦细节管控落实标准化工艺。本次研究主要针对常规水库坝体护坡施工场景, 后续可结合不同气候、不同坝体材质工况, 进一步优化适配性施工工艺, 为水利护坡工程质量提升提供更全面的技术支撑。

## 参考文献:

- [1] 康益琨.考虑渗流效应的水库大坝护坡结构加固设计研究[J].新发现,2025,(21):91-93.
- [2] 史然.水利工程水库坝体护坡板混凝土施工技术研究[J].水上安全,2024,(20):166-168.
- [3] 闫大杰.水利工程水库坝体护坡板混凝土施工技术[J].中国水泥,2024,(5):85-87.
- [4] 折发伟.水利水库坝体护坡板混凝土施工技术探讨[J].建材发展导向,2024,22(4):119-121.
- [5] 卢常兴.水利工程中水库坝体护坡板加固施工技术[J].水上安全,2023,(12):184-186.