

水利工程大坝混凝土护坡现场浇筑施工工艺分析

张 霞, 王 瑜, 翟亮亮

(青岛江达建设工程有限公司, 山东 青岛 266300)

摘 要 水利工程大坝混凝土护坡现场浇筑施工质量关系到大坝安全与运行寿命, 当前施工中存在模板安装精度不足、支护稳定性欠缺, 混凝土配合比适配性差、浇筑密实度不达标, 施工缝处理不规范及后期裂缝防控不到位等问题。本文分析了问题成因, 采取优化模板安装与支护、精准配比混凝土与改进浇筑振捣工艺、规范施工缝处理与完善裂缝防控等技术措施, 并强化全过程质量、材料设备及安全管控。实践表明, 这些措施可有效解决现存施工问题, 提升混凝土护坡成型质量与结构稳定性, 为大坝长效运行提供保障。

关键词 大坝混凝土护坡; 现场浇筑; 施工工艺; 质量管控; 裂缝防控

中图分类号: TV544

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.13.017

0 引言

水利工程大坝作为防洪、灌溉、供水及发电的核心枢纽, 其护坡结构直接承担着抵御水流冲刷、防止边坡侵蚀、保护大坝主体安全的关键作用。混凝土护坡因结构稳定性强、抗渗耐久性好, 成为大坝护坡的主流形式, 其现场浇筑施工质量直接决定护坡防护效能与大坝长期运行安全。当前, 随着水利工程建设规模扩大、标准提升, 大坝混凝土护坡现场浇筑施工面临诸多技术挑战, 施工过程中易出现各类质量隐患, 影响护坡结构完整性与服役寿命。因此, 深入分析现场浇筑施工工艺, 排查现存技术问题, 对优化施工流程、提升施工质量、保障大坝长效稳定运行具有重要的现实意义与工程价值。

1 水利工程大坝混凝土护坡现场浇筑施工现存技术问题

1.1 浇筑模板安装精度不足及支护稳定性欠缺

在水利工程领域, 大坝混凝土护坡的现场浇筑施工技术是保证大坝结构稳定性和延长使用寿命的关键环节。此工艺包含复杂的技术步骤和精细的工程操作, 需严格控制质量。浇筑模板安装精度不足易引发拼接缝隙偏大、表面平整度超标等问题, 部分构件未依据设计坡面完成精准调校, 与坝体坡面贴合度不足形成局部凹凸, 致使后续混凝土护坡产生错台、蜂窝等质量问题, 破坏结构整体性能与外观效果。模板支护体

系杆件间距、步距难以满足规范标准, 底部垫板设置缺失、连接节点紧固性不足, 斜撑与拉接构件布设数量不足, 在浇筑侧压力与振捣作用力下易出现位移、变形乃至失稳, 干扰施工作业推进, 形成安全隐患并造成材料损耗, 抬升工程成本并延长建设周期。

1.2 混凝土配合比适配性差且浇筑密实度不达标

在大坝混凝土护坡现场浇筑作业中, 混凝土配合比适配性差、浇筑密实度不足问题突出。配合比多采用常规参数, 未结合坡面施工与长期水环境工况专项试配, 水胶比、砂率、胶凝材料及外加剂掺量难以协同匹配; 原材料进场后未动态检测砂石含水率、骨料级配与水泥活性, 拌和计量偏差超标且随意调整配比, 导致混凝土和易性、保水性、黏聚性失衡, 易出现离析、泌水、流动性不足, 难以满足坡面连续均匀浇筑要求^[1]。浇筑时布料不均、分层过厚、下料过高, 振捣设备与操作不符坡面特点, 振捣间距偏大、插入深度不足, 转角、边缘及钢筋密集区易漏振, 局部过振引发骨料下沉、浆体分离; 模板密封不严造成漏浆, 致使混凝土内部残留气泡孔隙、骨料填充不密实, 结构均匀性与密实度不达标, 降低护坡强度、抗渗性与耐久性。

1.3 施工缝处理不规范及后期裂缝防控不到位

施工缝处理不规范主要表现为: 浇筑中断后, 未按规范彻底清理缝面, 浮浆与松动骨料未剔除, 也未采用高压水冲洗或刷毛处理以提升粘结力, 新混凝土浇筑前未铺设同配合比水泥砂浆结合层, 造成新旧混

作者简介: 张霞 (1981-), 女, 本科, 工程师, 研究方向: 水利工程。

混凝土结合不紧密,形成受力薄弱面,在水压力与温度变化作用下易出现渗漏、脱空等隐患。后期裂缝防控不到位体现在:未依据护坡浇筑面积与环境温度合理设置伸缩缝、沉降缝,缝宽及间距不满足设计要求,且未使用合格填缝材料密封;同时混凝土浇筑后养护不及时、养护周期不足,洒水频次与养护湿度未达标,加之水泥用量控制不当,水化热大、散热不及时,使混凝土内外温差过大产生温度应力,引发表面及深层裂缝,降低护坡结构整体性与抗渗性能。

2 大坝混凝土护坡现场浇筑施工问题成因分析

2.1 施工技术交底不细致及操作流程不规范

施工技术交底不细致、操作流程不规范,直接影响大坝混凝土护坡浇筑质量。交底内容偏宏观,未结合护坡坡度、坡长及浇筑区段等现场条件细化参数,对布料厚度、振捣点位、抹面时机、养护起始时间等关键工序缺乏量化要求,作业人员难以精准把控施工标准。现场作业随意性较大,工序执行不严格,混凝土入仓方式与浇筑速度控制不当,易产生离析;振捣存在漏振、过振问题,坡面平整度无统一控制标准。模板支设与加固工序简化,支撑稳定性不足,在混凝土自重及侧压力下易发生位移、变形,降低护坡结构尺寸精度与外观成型质量,为后续裂缝、蜂窝麻面等质量缺陷埋下隐患。

2.2 材料质量管控不严及施工设备性能不足

材料质量管控不严体现在混凝土原材料进场检验环节缺乏系统性核查,砂石骨料的含泥量、颗粒级配未达到设计规范要求,部分骨料中夹杂杂质未及时清理,水泥的强度等级、安定性等关键指标未进行全面复检就投入使用,外加剂的掺量未根据现场环境温度、骨料含水率进行动态调整,导致混凝土拌和物的和易性、凝结时间出现偏差,浇筑后易产生裂缝、强度不足等质量隐患^[2]。施工设备性能不足主要表现为混凝土拌和设备的搅拌叶片磨损严重、搅拌转速不稳定,无法实现原材料的均匀拌和,输送设备存在漏浆、堵管等问题,导致混凝土浇筑过程中断、坍落度损失过大,振捣设备功率不足、振捣棒插入深度和振捣时间不符合规范,使得混凝土内部密实度不足,形成蜂窝、麻面等缺陷,影响护坡结构的整体性和抗渗性。

2.3 现场施工环境管控缺失及应急处置不当

现场施工环境管控缺失体现在对大坝护坡浇筑区域周边水文、气象及地质条件的动态监测不到位,未建立完善的环境监测机制,对浇筑过程中突发的降雨、大风、高温、低温等恶劣天气预警不及时,未提前采

取针对性防控措施,导致混凝土浇筑过程中出现离析、初凝过快、表面裂缝等质量问题。对施工区域的排水系统布置不合理,雨水、施工废水无法及时排出,积聚在浇筑作业面,破坏混凝土配合比稳定性,降低护坡结构密实度。应急处置不当则表现为未制定完善的突发环境异常应急预案,对浇筑过程中出现的暴雨冲刷、边坡坍塌、混凝土浇筑中断等突发情况,缺乏科学有效的处置流程和应急物资储备,处置过程中操作不规范、响应不及时,进一步加剧施工质量隐患,甚至影响施工安全和进度。

3 大坝混凝土护坡现场浇筑施工问题解决技术措施

3.1 优化模板安装工艺及强化支护体系设计

优化模板安装工艺、强化支护体系设计,能够从模板选型、安装精度与支护稳定性等维度提升施工质量。结合大坝护坡坡度与结构尺寸,选用刚度适中、表面平整、拼接严密的定型钢模板,降低模板形变与漏浆概率。模板安装前清理基面并均匀涂刷隔离剂,保障脱模后混凝土外观质量^[3]。以设计高程与坡面线型为依据控制模板就位,借助精准测量放线确定布设位置,利用可调支撑构件校正垂直度与平整度,避免错台、跑模等问题。依据坡面受力特征完善支护体系,采用斜撑、对拉螺栓与横向围檩组合形式,提升模板整体抗侧压性能,结合浇筑速度与侧压力确定支护间距与杆件规格,关键区域增设加固节点,防范支护失稳。模板接缝设置密封压条,减少漏浆隐患,浇筑阶段实时监测模板形变,动态调整支护参数,确保模板体系在浇筑与振捣全过程中保持稳定,为大坝混凝土护坡成型质量提供可靠支撑。

3.2 精准配比混凝土及改进浇筑振捣施工方法

水利工程大坝混凝土护坡施工有其自身特性,需优化混凝土配比精度与浇筑振捣工艺,参照护坡结构的强度标准、抗渗抗冻性能及耐久指标,结合现场气象状况、骨料级配情况和水泥品类开展适配试验。在进行配合比设计时,需综合考虑工程的结构类型、使用环境、施工条件等多方面因素,合理选择水泥类型、骨料粒径分布以及水灰比等关键参数,并通过严格的试验验证其可行性和有效性。合理确定水胶比、砂率、外加剂掺量等关键配合比参数,严格把控原材料进场检验与拌和计量精度,采用自动计量拌和设备保证拌合物均匀稳定,防止离析、泌水。浇筑按分段分层、循序渐进实施,结合护坡坡度与结构尺寸合理划分施工段,控制浇筑层厚,及时摊铺、缩短停歇时间。振捣选用适配设备,执行快插慢拔,严控振捣间距与时长,

保证密实平整, 消除蜂窝、麻面、漏振等缺陷, 做好振捣衔接, 避免过振造成骨料下沉、浆体上浮, 提高护坡混凝土整体密实度与结构稳定性。

3.3 规范施工缝处理及完善裂缝防控技术

规范大坝混凝土护坡施工缝处理应严格执行《混凝土结构工程施工规范》(GB 50666-2011) 及《水利水电工程施工质量检验与评定规程》(SL 176-2007)。施工缝宜设在结构受剪力较小且便于施工部位, 纵向每 20 m、横向每 2 m 设置, 缝宽 2 cm, 采用聚乙烯泡沫板填塞。凿毛宜在浇筑后 20 ~ 30 小时进行, 混凝土强度达 1.2 ~ 2.5 MPa 时, 机械凿毛深度 5 ~ 10 mm, 密度 600 ~ 800 点/m², 骨料外露 1/3 ~ 1/2, 凿毛后高压水清理干净, 浇筑前缝面保持饱和和面干无积水。裂缝防控构建“光照管理+温度调节+应力缓释”三维体系, 夏季采用双层纳米银反射膜遮阳, 反射率 92%, 配合纳米雾化冷却, 表层温度日波动控制在 ±2 °C 以内, 预埋空心储能钢筋调控温差, 同时控制混凝土坍落度 6 ~ 8 cm, 减少收缩裂缝, 保障护坡结构完整与抗渗性能。

4 大坝混凝土护坡现场浇筑施工质量管控要点

4.1 施工全过程技术管控及工序验收标准

混凝土护坡浇筑应实施全过程技术管控, 覆盖各施工环节。进场原材料需完成核验, 水泥、砂石骨料、外加剂等均开展取样检测, 性能参数满足设计标准与施工条件后方可使用, 不合格原料严禁投入现场作业。浇筑前对护坡基面全面清理, 清除杂物、浮土及松动岩体, 按设计要求修整坡面坡度, 检查模板支撑牢固性、表面平整度及接缝密封效果, 防范浇筑中漏浆、形变等状况^[4]。浇筑阶段控制混凝土拌合质量、坍落度与浇筑速率, 采用分层浇筑、分层振捣作业, 保证振捣密实, 减少蜂窝、麻面、空洞等质量缺陷。各工序严格执行验收要求, 基面清理、模板架设、混凝土浇筑完工后均开展现场实测实量, 参数达标后方可进入下一工序, 不满足要求部位及时整改并重新验收。

4.2 材料设备全周期管控及性能优化措施

大坝混凝土护坡现场浇筑实行材料设备全周期闭环管控, 从原材料进场验收、存储保管、拌合加工, 到设备运行调试、现场浇筑及后期维护均实施全过程管理。水泥、砂石骨料、外加剂、钢筋等进场时严格核查出厂合格证与检验报告, 按批次复试检测, 严控质量指标, 杜绝不合格材料进场使用^[5]。砂石骨料分类堆放并做好防雨防尘措施, 稳定含水率; 水泥密封仓储, 防止受潮结块; 外加剂精准计量, 确保混凝土

和易性、强度及耐久性达标。施工设备定期检修保养, 振捣设备、输送泵、模板体系、计量装置保持良好运行状态, 优化参数匹配。结合现场工况及时调整设备运行模式, 强化实时监测与隐患排查, 以精细化管控保障施工连续有序, 从源头提升护坡结构成型质量与长期运行稳定性。

4.3 现场施工安全管控及质量追溯体系构建

现场施工安全管控需聚焦浇筑作业全流程风险防控, 对模板支撑体系进行定期承载力检测与加固处理, 严防坍塌隐患, 同时规范混凝土输送设备操作流程, 划定作业安全区域并设置警示标识, 管控高空作业防护措施落实情况, 及时排查用电设备漏电、机械运行故障等安全隐患, 确保浇筑作业期间人员与设备安全。质量追溯体系构建需明确各环节责任主体, 对原材料进场检验报告、配合比参数、浇筑时间、振捣工艺参数、养护记录等信息进行全面详实记录, 采用信息化手段建立追溯台账, 实现原材料进场、施工过程、成品检测等各环节可追溯, 一旦发现质量问题, 可快速定位问题环节、排查原因, 为质量整改提供精准依据, 保障护坡浇筑质量符合设计标准。

5 结束语

水利工程大坝混凝土护坡现场浇筑施工直接关系到大坝整体安全、耐久性与运行寿命。当前施工中仍存在模板安装精度不足、混凝土配合比不合理、浇筑振捣不规范、施工缝与裂缝防控不到位等问题, 其根源在于技术交底、材料设备、环境管控及现场管理等多环节管控缺失。通过优化模板支护、精准设计配合比、规范浇筑振捣、强化施工缝处理与裂缝防控, 并建立全过程质量管控与安全追溯体系, 可有效提升混凝土护坡成型质量与结构稳定性。在实际工程中, 应持续细化施工工艺、严格落实规范标准, 为水利工程大坝长效稳定运行提供坚实的技术与质量保障。

参考文献:

- [1] 滕杰. 基于水利工程大坝混凝土护坡现场浇筑施工工艺的应用研究[J]. 科技与创新, 2025(14):149-151.
- [2] 毛玉增. 基于水利工程大坝混凝土护坡现场浇筑施工工艺的应用研究[J]. 珠江水运, 2024(11):74-76.
- [3] 郑旭明. 水利工程水库大坝混凝土施工技术初探[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025(20):190-192.
- [4] 姜丽玉. 水利工程中大坝护坡混凝土施工技术[J]. 黑龙江科学, 2021, 12(12):122-123.
- [5] 陈凤贵. 水利工程大坝护坡绿色混凝土试验研究与应用[J]. 水利科学与寒区工程, 2025, 08(04):37-40.