

# 水利水电工程混凝土施工质量控制关键技术分析

姜柏春

新疆北方建设集团有限公司 新疆 奎屯 833200

**摘要:** 水利水电工程混凝土施工质量控制是保障工程结构安全与耐久性的核心环节。其关键技术涵盖原材料优选与检测、配合比精准优化、施工工艺标准化控制、大体积混凝土温控与裂缝防治、全过程质量检测与信息化管理等方面。通过严格把控各环节技术参数,结合智能监测与绿色施工理念,可有效提升混凝土施工质量,满足复杂环境下的工程性能需求,推动水利水电工程高质量发展。

**关键词:** 水利水电工程; 混凝土施工; 质量控制; 关键技术

引言: 水利水电工程作为国家基础设施建设的核心领域,其混凝土施工质量直接关系到工程安全性、耐久性与运行效益。受复杂地质条件、恶劣环境及多性能需求(如抗渗、抗冻、抗冲磨)影响,混凝土施工质量控制面临原材料波动、大体积混凝土温控、裂缝防治等挑战。本文聚焦原材料检测、配合比优化、施工工艺改进、智能监测等关键技术,系统分析质量控制要点,为提升水利水电工程混凝土施工水平提供理论支持与实践参考。

## 1 水利水电工程混凝土施工特点与质量控制难点

### 1.1 水利水电工程混凝土施工特点

规模大、结构复杂、环境条件恶劣。水利水电工程多建于江河湖库周边,混凝土浇筑量大、施工周期长,涵盖大坝、溢洪道、厂房等多种结构,造型复杂且受力要求高。施工区域常受水文、气象条件影响,高温、严寒、暴雨、强风等恶劣天气频发,地下施工还面临高水头、高水压、围岩不稳定等问题,大幅增加了施工难度。抗渗、抗冻、抗冲磨等特殊性能要求。水利水电混凝土长期接触水或处于水环境中,部分部位需承受高速水流冲刷、冻融循环及侵蚀介质作用,因此对混凝土的特殊性能要求严苛。如大坝迎水面混凝土需具备高强度抗渗性,防止渗水破坏结构;寒冷地区混凝土需满足抗冻等级要求,避免冻融开裂;泄洪段混凝土需具备优良抗冲磨性能,抵御水流冲刷磨损<sup>[1]</sup>。

### 1.2 混凝土施工质量控制难点

原材料质量波动与控制。混凝土原材料质量直接决定其性能,砂石骨料的含泥量、颗粒级配,水泥的强度、安定性,外加剂的适配性均易出现波动。且原材料检测环节易有疏漏,若管控不当,会导致混凝土强度不足、凝结异常等质量问题。配合比设计与优化。工程混凝土需兼顾多重性能,配合比设计需精准适配工程需求。实际施工中,原材料波动、环境变化会降低配合比适配性,需

及时优化调整,若调整不及时,将直接影响混凝土施工质量与使用性能。施工工艺与浇筑质量控制。工程结构复杂,高空、水下浇筑场景多,浇筑中易出现振捣不密实、离析、漏振等问题,形成蜂窝麻面、孔隙等缺陷。同时,模板安装、钢筋绑扎与浇筑工序衔接不畅,也会影响整体施工质量。温度裂缝与收缩裂缝控制。混凝土浇筑后水化热释放,大体积混凝土内外温差过大会产生温度裂缝;硬化过程中体积收缩,若约束过强或养护不及时,会出现收缩裂缝,裂缝会降低混凝土抗渗性与耐久性,威胁结构安全。大体积混凝土温控与养护。大体积混凝土水化热集中,温控难度大,需采取降温、保温措施平衡温差。养护贯穿施工全程,温度、湿度控制不当会导致混凝土强度增长缓慢、表面开裂,且不同部位养护要求差异大,进一步增加管控难度。

## 2 水利水电工程混凝土施工质量控制关键技术体系

### 2.1 原材料质量控制技术

水泥、骨料、外加剂等原材料的检测与选用标准。水泥选用需符合水利水电工程专用标准,优先选用强度稳定、水化热较低的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥,进场前必须检测强度、安定性、凝结时间等指标,不合格材料严禁进场。骨料需控制含泥量、泥块含量及颗粒级配,粗骨料强度需高于混凝土设计强度的1.5倍,细骨料含泥量不超过3%,进场后需分区堆放、防雨防潮。外加剂选用需结合混凝土性能要求,优先选用高效缓凝剂、引气剂等,检测其减水率、缓凝时间、含气量等指标,确保与水泥相容性良好,杜绝使用不合格外加剂<sup>[2]</sup>。原材料质量稳定性控制方法。建立原材料进场验收台账,实行“批批检测、合格准入”制度,对每批次原材料进行抽样检测,跟踪其质量波动情况。优化原材料供应渠道,选择资质齐全、质量稳定的供应商,签订质量协议,明确质量标准及违约责任。对堆放的原材料进行定期检查,水

泥存放时间不超过3个月,骨料定期清理杂物、检测含水率,外加剂密封存放、避免受潮变质,同时建立原材料质量预警机制,发现质量波动及时调整使用方案。

## 2.2 配合比优化设计技术

基于性能的配合比设计方法。结合水利水电混凝土抗渗、抗冻、抗冲磨等特殊性能要求,采用“性能优先、经济合理”的原则设计配合比。先确定混凝土设计强度、耐久性指标,再合理选择水胶比、胶凝材料用量、骨料级配及外加剂掺量,通过试验优化调整,确保配合比既能满足施工和易性要求,又能达到设计性能标准,同时降低施工成本。高性能混凝土(HPC)配合比优化案例。某大型水利枢纽工程泄洪段,需采用高性能混凝土抵御高速水流冲磨,配合比优化过程中,选用强度等级42.5级低热硅酸盐水泥,掺入I级粉煤灰替代部分水泥,降低水化热;选用连续级配碎石(5-31.5mm)和中砂,控制水胶比0.38,掺入高效缓凝引气剂,掺量为胶凝材料总量的0.8%。经试验验证,优化后的高性能混凝土抗压强度达C60,抗冲磨强度提升30%,抗渗等级达P12,满足工程使用要求,同时减少水泥用量,降低了施工成本和温控难度。

## 2.3 施工工艺控制技术

模板工程与钢筋绑扎质量控制。模板选用强度、刚度符合要求的材料,安装前检查平整度、垂直度,安装后加固牢靠,避免浇筑过程中变形、漏浆;模板接缝采用密封材料封堵,确保接缝严密,拆模时间根据混凝土强度确定,避免过早拆模导致表面损伤。钢筋绑扎需严格按照设计图纸执行,控制钢筋规格、间距、保护层厚度,绑扎牢固,避免出现漏筋、错筋现象;钢筋接头采用焊接或机械连接,接头质量需抽样检测,合格后方可继续施工。混凝土浇筑与振捣工艺优化。浇筑前清理模板、钢筋表面杂物,洒水湿润,避免干燥表面吸收混凝土水分;根据工程结构特点,采用分层浇筑、分层振捣,分层厚度控制在50cm以内,避免浇筑过高导致离析。振捣采用插入式振捣器,振捣间距控制在振捣器作用半径的1.5倍以内,振捣至混凝土表面泛浆、无气泡冒出为止,杜绝漏振、过振,防止混凝土出现蜂窝、麻面、空洞等缺陷<sup>[3]</sup>。分层分块浇筑与施工缝处理技术。大体积混凝土浇筑采用分层分块方式,分块尺寸结合温控要求确定,块体之间设置施工缝,避免出现温度裂缝。施工缝处理需在混凝土强度达到2.5MPa后进行,清除表面浮浆、松动石子,冲洗干净并保持湿润,浇筑前铺设一层与混凝土同配合比的水泥砂浆,确保施工缝结合紧密,杜绝渗漏隐患。

## 2.4 温度控制与裂缝防治技术

大体积混凝土温度场模拟与温控措施。采用数值模拟技术,提前模拟大体积混凝土浇筑后的温度场分布,预测温度峰值及出现时间,制定针对性温控措施。控制混凝土入仓温度,夏季采用骨料预冷、冰水搅拌、夜间浇筑等方式,将入仓温度控制在28℃以内;冬季采取保温搅拌、加热骨料等措施,防止混凝土受冻。冷却水管布置与通水冷却技术。在大体积混凝土内部按设计间距布置冷却水管,浇筑完成后及时通水冷却,采用循环通水方式,控制进水温度与混凝土内部温度差不超过25℃,逐步降低混凝土内部温度,减少内外温差,避免产生温度裂缝。通水过程中定期监测水温、混凝土内部温度,及时调整通水流量和时间。表面保温与养护工艺。混凝土浇筑完成后,及时覆盖保温材料(如保温被、塑料薄膜),避免表面温度骤降;大体积混凝土表面采用洒水养护或蓄水养护,保持表面湿润,养护时间不少于14天,高温天气增加洒水次数,冬季采取保温养护,防止表面开裂,确保混凝土强度稳步增长<sup>[4]</sup>。

## 2.5 质量检测与评估技术

无损检测技术。采用超声波检测技术,检测混凝土内部缺陷(如空洞、裂缝)及密实度,通过声波传播速度判断混凝土质量;采用回弹法检测混凝土表面强度,结合钻芯法修正检测结果,确保检测精度。对关键部位、重要结构进行全面检测,发现缺陷及时整改,杜绝质量隐患。混凝土强度与耐久性评估方法。混凝土强度评估采用试块检测与现场无损检测相结合的方式,对比分析试块强度与现场检测强度,评估混凝土实际强度是否满足设计要求。耐久性评估结合抗渗、抗冻、抗冲磨等试验结果,分析混凝土长期使用性能,针对薄弱环节提出改进措施,确保水利水电工程混凝土结构长期稳定运行。

## 3 水利水电工程混凝土施工质量控制信息化与智能化趋势

### 3.1 信息化技术应用

BIM技术在混凝土施工管理中的应用。BIM技术以三维数字化模型为核心,实现水利水电混凝土施工全流程可视化管理,打破传统施工中各专业、各工序的信息壁垒。通过构建混凝土结构三维模型,可提前模拟浇筑流程、模板安装、钢筋布置等工序,排查施工冲突与隐患,优化施工方案。施工过程中,将进度、质量、成本等数据与BIM模型关联,实时跟踪混凝土浇筑量、养护情况等关键信息,实现施工过程的动态管控,同时为后续运维提供精准的数字档案,大幅提升施工管理效率与精细化水平。物联网(IoT)与传感器实时监测技术。物联网

技术与各类传感器的结合,实现了混凝土施工质量的实时监测与数据精准采集。在施工现场布置温度、湿度、应变等传感器,实时采集混凝土浇筑温度、水化热变化、收缩应变及养护环境参数,数据通过物联网传输至云端平台,实现实时预警。当监测数据超出预设阈值时,系统自动提醒管理人员及时调整温控、养护措施,有效防范温度裂缝、强度不足等质量隐患,同时积累的监测数据为后续施工优化提供数据支撑。

### 3.2 智能化控制技术

人工智能在配合比优化与裂缝预测中的应用。人工智能技术凭借强大的数据处理与分析能力,推动混凝土配合比优化与裂缝预测向精准化发展。通过机器学习算法,整合原材料性能、施工环境、混凝土性能等海量数据,自动优化配合比参数,兼顾混凝土性能与经济性,解决传统配合比优化效率低、适配性差的问题。同时,利用人工智能模型分析混凝土施工过程中的各类影响因素,提前预测裂缝产生的位置、时间及宽度,为裂缝防治提供针对性指导,降低裂缝防控难度。自动化施工设备与机器人技术。自动化施工设备与机器人技术的应用,大幅减少人工干预,提升混凝土施工质量的稳定性与一致性。目前,混凝土自动搅拌站、自动布料机、智能振捣机器人等设备已广泛应用于水利水电工程,实现了混凝土搅拌、运输、浇筑、振捣等工序的自动化操作,避免了人工操作带来的误差。此外,钢筋绑扎机器人、模板安装机器人等设备的投入使用,进一步提升了施工效率,降低了高空作业、水下施工等危险场景的安全风险,推动混凝土施工向规模化、标准化发展<sup>[5]</sup>。

### 3.3 未来发展方向

绿色混凝土与低碳施工技术。在“双碳”目标引领下,绿色低碳成为水利水电工程混凝土施工的核心发展方向。绿色混凝土通过采用工业废渣、再生骨料等环保原材料替代传统骨料,减少水泥用量,降低碳排放与资源消耗,同时兼顾混凝土抗渗、抗冻等核心性能。低碳

施工技术通过优化施工工艺、推广节能设备、利用清洁能源等方式,减少施工过程中的能源消耗与环境污染,实现工程建设与生态保护的协同发展。全生命周期质量管控体系构建。未来,水利水电工程混凝土施工质量控制将突破传统“施工阶段”的局限,构建全生命周期质量管控体系。整合设计、施工、运维等各阶段的质量数据,利用信息化、智能化技术实现数据互联互通,对混凝土结构从原材料选用、施工浇筑到后期运维的全过程进行动态管控。通过全生命周期管控,及时发现各阶段质量隐患,优化管控措施,延长混凝土结构使用寿命,确保水利水电工程长期安全稳定运行,实现工程质量与效益的双重提升。

### 结束语

水利水电工程混凝土施工质量控制是保障工程长期安全运行的关键。通过严格把控原材料质量、优化配合比设计、规范施工工艺、强化温度裂缝防控及全过程质量检测,可有效提升混凝土性能与施工质量。未来,随着信息化、智能化技术的深度应用,以及绿色低碳施工理念的推广,混凝土施工质量控制将向精细化、动态化、可持续化方向发展,为水利水电工程高质量发展提供坚实技术支撑。

### 参考文献

- [1]毛易达.水利水电工程施工质量控制与动态监管研究[J].中国品牌与防伪,2025,(08):146-148.
- [2]张伟亚.水利水电工程施工质量控制与优化策略研究[J].水利科学与寒区工程,2025,8(05):138-140.
- [3]马宏元,李长青.水利水电工程施工质量控制关键技术研究[J].水上安全,2025,(08):190-192.
- [4]张姮.水利水电工程管理及施工质量控制分析[J].城市建设,2025,(05):37-39.
- [5]韩国良.水利工程施工质量控制策略研究[J].水上安全,2025,(06):100-102.