

水利工程混凝土施工技术及其质量控制措施

周忠祥

盱眙县盱城水利服务站 江苏 淮安 211700

摘要: 混凝土是水利工程核心施工材料,其施工质量直接决定工程防渗、抗冻及承载性能,关乎水利工程运行安全与使用寿命。本文聚焦水利工程混凝土核心施工技术,系统阐述配比设计、搅拌运输、浇筑振捣及养护关键工艺,分析施工中外观、结构及管理层面的质量问题与成因,从施工前、中、后全阶段提出质量控制优化措施,完善长效管控体系,为水利工程混凝土施工质量提升提供参考。

关键词: 水利工程;混凝土施工技术;质量控制措施

引言:水利工程多处于复杂水文与地质环境中,对混凝土结构的稳定性、耐久性有着严苛标准。混凝土施工工序繁杂,任一环节操作不规范均会引发开裂、渗漏等质量缺陷,影响工程整体质量。为有效解决水利混凝土施工中的常见质量问题,规范施工工艺、强化全过程质量管控,本文结合工程施工实际,梳理核心施工技术,剖析质量隐患成因,并制定针对性、系统化的质量控制优化策略,助力水利工程提质增效。

1 水利工程混凝土核心施工技术

1.1 混凝土配比设计技术

(1) 原材料选型控制:结合水利工程抗渗、抗冻、抗压需求,优选水泥、砂石、外加剂、掺合料。选用水化热适中的中热硅酸盐水泥,骨料严控含泥量、针片状含量及级配,外加剂注重减水率与相容性,掺合料检测活性指数与需水量比,从源头保障性能基础。(2) 科学配比设计:根据工况、水文环境及受力要求,优化水胶比、砂率、骨料级配。水胶比控制在0.35~0.50以满足抗渗等级,砂率综合孔隙率与泵送性能确定,粗骨料采用连续级配降低空隙率,实现工作性与耐久性协调^[1]。

(3) 配比试配与调整:通过试配检测坍落度、强度、耐久性,结合现场条件动态微调。每批原材料进场后复核适配曲线,依骨料含水率调整用水量,依坍落度损失调整外加剂掺量,确保出机与入模性能满足规范要求。

1.2 混凝土搅拌与运输技术

(1) 标准化搅拌施工:规范搅拌设备操作流程,严控搅拌时间、投料顺序、搅拌转速,保障混凝土拌合均匀性,避免离析、结块问题。采用二次投料工艺提高拌合质量,搅拌时间不低于30秒,确保胶凝材料充分水化,砂浆均匀包裹骨料。(2) 运输过程管控:选用专用运输设备,做好运输过程保温、防晒、防颠簸措施,控制运输时长,保证混凝土入模性能达标。高温季节对罐

体喷淋降温,低温季节包裹保温材料,运输时间控制在90分钟内,运输途中保持罐体低速转动,到场后检测坍落度满足浇筑要求。

1.3 混凝土浇筑与振捣技术

(1) 浇筑前期准备:清理浇筑基面、验收模板与钢筋安装质量,排查施工隐患,做好浇筑技术交底。基面清除杂物与积水,模板拼缝严密、支撑牢固,钢筋保护层厚度准确,隐蔽工程验收合格后方可开盘。(2) 分层分段浇筑施工:遵循水利工程施工规范,采用分层、分段、连续浇筑方式,严控浇筑厚度与浇筑速度,杜绝施工冷缝。每层浇筑厚度控制在30~50cm,上层混凝土在下层初凝前覆盖,分段接茬处设置键槽并凿毛处理。(3) 精细化振捣作业:选用适配振捣设备,规范振捣点位、深度与时长,消除混凝土内部气泡、空隙,保障结构密实度。插入式振捣棒移动间距不超过有效半径1.5倍,快插慢拔,以混凝土表面泛浆、不再沉降为度,避免过振离析或漏振欠实^[2]。

1.4 混凝土养护技术

(1) 养护时机把控:严格遵循浇筑完成后的初凝、终凝时间,及时开展养护作业,杜绝过早养护或养护滞后问题。混凝土终凝后立即覆盖养护,夏季在浇筑完成后2~4小时内启动,冬季适当延迟但不超过8小时。(2) 差异化养护方式:根据季节温度、工程部位差异,采用洒水养护、覆膜养护、保温养护等方式,适配水利工程露天施工环境。大体积混凝土内部埋设冷却水管循环降温,表面覆盖土工布并持续洒水保持湿润,日均气温低于5℃时采用蓄热法保温养护。(3) 养护周期管控:严格按照规范要求保障养护时长,全程监测温湿度,规避温差过大引发的混凝土开裂问题。普通混凝土养护不少于7天,掺缓凝剂或抗渗混凝土不少于14天,大体积混凝土内外温差控制在25℃以内,拆模后及时回填或覆盖减

少暴露时间,确保结构长期稳定。

2 水利工程混凝土施工常见质量问题及成因分析

2.1 混凝土外观质量缺陷

(1) 常见缺陷类型: 主要包含表面蜂窝、麻面、气泡、掉皮、缝隙、错台等外观问题,影响工程美观与表层防护性能。蜂窝表现为骨料外露、砂浆缺失的空穴状缺陷;麻面为表面粗糙、布满小凹坑;气泡群集中于构件侧面或顶部;错台表现为模板接缝处相邻表面高差超标,削弱表层抗冲刷与抗渗能力。(2) 缺陷成因: 模板安装不平整、密封性差、脱模剂涂刷不均,导致混凝土表面粘连或漏浆;振捣不到位致使气泡未能充分排出,拌合不均匀造成砂浆包裹不足,浇筑速度过快使侧压力剧增引发胀模;此外,分层厚度过大、卸料高度超标导致骨料分离,亦是外观缺陷的重要诱因。

2.2 混凝土结构性质量问题

(1) 常见缺陷类型: 核心为混凝土开裂、强度不足、结构密实度不够、渗漏通道等结构性问题,直接影响工程安全。裂缝按成因分为温度裂缝、干缩裂缝及荷载裂缝;强度不足表现为抗压、抗拉指标低于设计等级;密实度欠缺则形成内部孔隙连通,成为承压水渗透的隐患通道。(2) 缺陷成因: 配比设计中水胶比偏大或水泥用量不足直接削弱强度,骨料含泥量超标降低界面粘结力;养护期间温湿度控制失效,表面失水过快引发干缩开裂,内外温差过大催生温度裂缝;浇筑振捣工艺违规,如漏振、欠振导致混凝土内部架空,过振则造成浆骨分离形成软弱夹层,结构整体性受损。

2.3 施工管理层面质量隐患

(1) 人员操作隐患: 施工人员专业能力不足、质量意识薄弱,未严格按照施工规范作业,存在随意施工、简化工序等问题。关键工序如振捣时长控制、养护时机判断依赖经验而非标准,技术交底流于形式,操作偏差累积为结构性缺陷。(2) 设备与物料隐患: 施工设备老化、精度不足,计量系统偏差导致配比失真,振捣设备功率不匹配降低密实效果;原材料进场检验不严格,不合格物料如含泥量超标的砂石、过期的外加剂投入施工,从源头埋下质量隐患,且追溯机制不健全致使问题批次难以定位。(3) 管理制度隐患: 施工质量管控体系不完善,全过程监督、巡检、验收机制缺失,隐蔽工程未经验收即进入下道工序;问题整改闭环不到位,同类质量缺陷反复出现缺乏根因分析与预防措施,质量责任未能逐级压实,管理链条的脆弱性放大了技术与操作层面的风险。

3 水利工程混凝土施工质量控制优化措施

3.1 施工前期质量预控措施

(1) 原材料质量管控: 建立进场检验制度,对水泥、骨料、外加剂等逐一抽检,不合格严禁使用。水泥检测安定性、凝结时间及强度等级;细骨料含泥量 $\leq 3\%$;粗骨料控制针片状及压碎指标;外加剂检测减水率及相容性;掺合料检测细度、需水量比及烧失量。每批次由监理与施工方联合取样送检,合格入库,建立不合格品退场台账^[3]。(2) 施工方案优化: 结合地质、水文、气候条件细化混凝土方案,明确各工序技术标准与质量要求,做好专项交底。大体积混凝土制定温控方案,明确冷却水管布置间距与通水流量;高温季节明确骨料预冷及冰水拌合措施;冬季施工明确蓄热保温及防冻剂掺配方案。交底分层级开展,项目部向班组书面交底,班组向操作人员现场交底,内容涵盖工艺参数、质量标准及应急处置措施,确保覆盖全体作业人员。(3) 设备与人员筹备: 检修校准施工设备,保障运行精度;开展人员专项培训,强化专业技能与质量意识。搅拌站计量系统委托校准,称量误差 $\leq 1\%$;振捣设备逐一试运行,备用设备不少于在用量的30%;运输罐车检查搅拌叶片磨损及保温性能。人员培训涵盖基础理论、操作要点及验收标准,培训后组织理论与实操考核,合格上岗,特种作业持有效资格证书。

3.2 施工过程动态质量控制

(1) 工序标准化管控: 严格落实配比、搅拌、运输、浇筑、振捣、养护全工序标准化作业,严控各环节施工参数。搅拌阶段严格执行投料顺序,先投入骨料和部分拌合水,再加入水泥和掺合料,最后加入外加剂和剩余用水,搅拌时间30~60秒;运输阶段罐体转速2~4转/分钟,到场后检测坍落度并记录入模温度;浇筑分层厚度30~50cm,下层初凝前完成上层覆盖;振捣插入点间距不超过有效半径1.5倍,单点振捣20~30秒,以表面泛浆、无气泡逸出为判定标准。(2) 全过程现场巡检: 设立专职质量监督人员,对施工全过程动态巡查,及时发现并整改违规操作与质量隐患。每台浇筑部位配备不少于2名专职质检员旁站监督,检查内容包括模板支撑位移、钢筋保护层变化、入模坍落度波动、振捣规范性和养护及时性。巡检采用移动终端实时记录,一般隐患现场整改,重大隐患签发通知单限期整改,整改后复检验收,形成闭环管理^[4]。(3) 关键节点验收管控: 对模板安装、钢筋铺设、混凝土浇筑、养护成型等关键节点开展分段验收,验收合格后方可进入下一工序。模板验收检查拼缝密封性、垂直度偏差及支撑刚度;钢筋验收检查规格数量、搭接长度、焊接质量及保护层垫块;浇筑前

验收检查基面清理、施工缝处理及预埋件位置；养护成型后检查尺寸偏差、外观质量及强度回弹数据。所有验收形成书面记录，隐蔽工程留存影像资料。

3.3 施工后期质量检测与整改管控

(1) 成品质量检测：采用无损检测、抽样试压等方式，检测混凝土强度、密实度、抗渗性等核心指标，核验工程质量。回弹法检测表面强度，超声波法探测内部密实状况，钻芯取样进行抗压及抗渗标号试验。检测数据与设计指标逐项比对，形成质量评估报告，为工程验收提供客观依据。(2) 缺陷精准整改：针对检测发现的外观、结构性质量缺陷，制定专项整改方案，规范修补工艺，保障整改后结构性能达标。蜂窝麻面凿除松散层后用聚合物砂浆分层抹压修补；裂缝宽度小于0.2mm采用表面封闭，大于0.2mm采用环氧树脂灌浆补强；渗漏通道采用水溶性聚氨酯化学灌浆封堵。修补完成后重新检测验证，确保修补区域性能不低于原设计要求，整改过程留存完整文字及影像记录。(3) 质量溯源归档：建立施工质量档案，记录各工序施工数据、检测结果、整改情况，实现施工质量全程可溯源。每批次混凝土建立独立档案卷宗，含原材料检验报告、配合比通知单、搅拌记录、运输台账、浇筑记录、养护日志、检测报告及整改验收单。采用数字化管理系统归档，支持多维度查询检索，为运维及责任追溯提供可靠数据支撑^[5]。

3.4 完善长效质量管控体系

(1) 健全管理制度：完善施工质量责任制、奖惩制度、监督制度，明确各岗位质量职责，压实管控责任。制定岗位质量职责手册，项目经理负总责，技术负责人负技术责任，质检人员负监督责任，班组长负直接操作责任，形成层层落实的责任链条。建立质量奖惩考核机制，质量指标量化分解到作业班组，月度考核、季度评比、年度总评，结果与绩效薪酬挂钩，激励全员重视质量。(2) 引入智能化管控：运用智能监测设备、信息化管理系统，实现混凝土施工温湿度、浇筑速度、强度变化等数据实时监测。大体积混凝土埋设温度传感器实时

采集温度数据，温差超预警值时自动报警；搅拌站配备数据采集系统，每盘配合比称量数据自动上传云端；养护阶段采用无线温湿度记录仪持续监测，数据超限时自动提醒并生成纠偏建议。智能化管控推动质量控制从事后处置向事前预防、从经验判断向数据驱动转变，显著提升管控效率。(3) 强化常态化培训：定期开展施工技术、质量管控、安全规范培训，持续提升施工团队专业水平，规避人为质量问题。建立分层级培训体系，新进场人员开展岗前培训考核；在岗人员每月组织技术交流与案例分析；每季度开展理论考核与实操比武；每年邀请专家开展新技术、新材料专项培训。培训成绩记入个人技术档案，作为岗位晋升及评优参考，从根本上筑牢工程质量的人才根基。

结束语

综上所述，水利工程混凝土施工质量管控是一项系统性、全过程的工作，需依托标准化施工技术与精细化管控体系。施工中需严格落实各工序施工规范，把控原材料、施工过程及后期整改关键环节，同时结合智能化手段与常态化培训完善管控机制。通过技术优化与管理升级，可有效规避各类质量缺陷，提升混凝土结构稳定性与耐久性，保障水利工程长期、安全、稳定运行。

参考文献

- [1] 许浩,田雨浩,郑建月,陈明.南公1水电站堆石坝面板混凝土防裂技术研究[J].中国农村水利水电,2025,15(04):84-89.
- [2] 汪娟,王振红.特高拱坝陡坡廊道混凝土施工期温控措施优化[J].水利与建筑工程学报,2024,22(02):92-97.
- [3] 杨海巍,李鹏.水利工程大体积混凝土施工关键技术及质量控制研究[J].水利水电技术,2023,54(08):158-164.
- [4] 周虎,金峰,安雪晖.复杂工况下水工堆石混凝土施工工艺优化与质量评价[J].人民长江,2022,53(11):167-172.
- [5] 张良群,梁骏宇.水利枢纽工程混凝土施工技术及其质量控制策略[J].工程技术与质量管理,2025,7(02):56-60.