

水利工程混凝土施工技术质量控制

杨永升

河南省水利工程质量检测有限公司 河南 漯河 462000

摘要：水利工程混凝土施工质量直接关系到工程的安全运行与耐久性能。本文针对水利工程大体积、高耐久、复杂工况等特点，系统阐述了原材料配比、搅拌运输、模板钢筋、浇筑振捣、养护拆模及特殊季节施工等关键技术，构建了施工前、施工中、施工后三阶段质量控制体系。在此基础上，从原材料管控、工艺优化、体系完善及检测升级四个维度提出质量控制优化对策，以期水利工程混凝土施工提供技术参考。

关键词：水利工程；混凝土施工技术；质量控制

引言：水利工程是国家基础设施的重要组成部分，其建设质量直接关系到防洪安全、供水安全和生态安全。混凝土作为水利工程最主要的结构材料，其施工技术与质量控制水平决定着工程的寿命与可靠性。与建筑工程相比，水利工程混凝土具有体积大、工况复杂、耐久性要求高等显著特点，施工中面临温度裂缝、抗渗不足、冲刷磨损等特殊问题。近年来，随着水利工程建设规模持续扩大，混凝土施工技术不断进步，但质量通病时仍有发生。本文系统梳理水利工程混凝土施工关键技术，分析质量控制要点，提出优化对策。

1 水利工程混凝土的特殊性

水利工程混凝土在材料性能、施工条件和服役环境方面具有显著特殊性。从结构尺度看，大坝、闸墩等建筑物多为大体积混凝土结构，单次浇筑方量大、水化热集中，温度裂缝风险突出。从服役环境看，水工混凝土长期处于浸水、干湿交替或水位变动区，对抗渗、抗冻、抗冲刷磨蚀性能要求远高于普通混凝土。从施工条件看，水利工程多位于河道、峡谷等复杂地形，施工场地受限，部分结构需在水下或水位变动区施工，增加了作业难度。此外，水利工程设计使用年限长达50至100年，对混凝土的长期耐久性提出了严苛要求。这些特殊性决定了水利工程混凝土施工不能简单套用建筑工程的技术标准，必须在材料选择、配合比设计、温控措施、养护工艺等方面采取针对性技术方案^[1]。

2 水利工程混凝土主要施工技术

2.1 混凝土原材料选用与配比技术

原材料选择是混凝土质量的基础。水泥宜选用中热或低热硅酸盐水泥，以降低水化热；骨料应控制含泥量、级配及针片状颗粒含量，粗骨料最大粒径根据结构尺寸确定。掺合料方面，粉煤灰、矿渣粉等可替代部分水泥，既降低成本又降低水化热、改善和易性。外加剂

包括减水剂、引气剂、缓凝剂等，用于调节工作性和凝结时间。配合比设计需兼顾强度、抗渗、抗冻、抗裂及经济性，通过正交试验优化砂率、水胶比、掺合料掺量等参数。大体积混凝土应控制水胶比不大于0.50，胶凝材料用量不宜过高。配合比确定后须进行现场适应性验证，根据骨料含水率动态调整施工配合比，确保出机混凝土性能满足设计要求。

2.2 混凝土搅拌与运输技术

搅拌是保证混凝土均匀性的关键工序。搅拌设备应根据浇筑强度和运距选用，大型工程宜配置强制式搅拌机，具备自动计量和实时记录功能。投料顺序可采用一次投料或二次投料工艺，二次投料（先加部分水和骨料，再加胶凝材料和剩余水）可提高强度。搅拌时间应通过试验确定，一般不少于90秒，以拌合物均匀、颜色一致为准。运输过程需防止离析、泌水和坍落度损失，自卸车运输应加盖防雨防晒，搅拌车运输需保持罐体低速旋转。长距离运输或高温季节可添加缓凝型减水剂。运输时间不宜超过混凝土初凝时间，卸料前应快速搅拌30秒。需建立运输调度系统，减少车辆等待时间，确保混凝土连续浇筑。

2.3 混凝土模板与钢筋工程

模板系统应具有足够的强度、刚度和稳定性。大体积混凝土常用大型钢模板，面板厚度不小于4mm，背楞间距经计算确定；异形部位可采用木模或胶合板模。模板安装前应涂刷脱模剂，接缝采用密封条防止漏浆，安装偏差控制在规范允许范围内。滑模技术适用于闸墩、隧洞衬砌等规则结构，可实现连续快速施工。钢筋工程中，钢筋加工应确保尺寸准确、弯钩角度规范，现场绑扎牢固，接头位置错开。保护层厚度是控制裂缝和耐久性的关键，采用预制砂浆垫块或塑料卡具固定，厚度偏差不得超过±5mm。钢筋与模板之间需设置定位筋，防止浇

筑过程中移位。对于大体积混凝土,可埋设冷却水管和测温元件,后续进行通水冷却和温度监测^[2]。

2.4 混凝土浇筑与振捣技术

浇筑工艺应遵循“分段分层、连续推进”原则。大体积混凝土常采用台阶法或斜层法浇筑,每层厚度30至50cm,确保下层混凝土初凝前完成上层覆盖。浇筑速度应与搅拌运输能力匹配,避免冷缝产生。振捣是保证密实度的核心操作,插入式振捣器是主要工具,振捣点间距不超过有效半径的1.5倍,每点振捣时间20至30秒,以表面泛浆、不再冒泡为准。振捣棒应快插慢拔,避免碰撞模板和钢筋。大体积混凝土需严格控制入仓温度,夏季采用加冰拌和、骨料预冷;冬季采取热水拌和、保温运输。施工缝处理时,凿毛表面、清除浮浆、涂刷界面剂,并按设计要求安装止水带或止水铜片。

2.5 混凝土养护与拆模技术

养护是保障混凝土强度发展和耐久性能的关键环节。混凝土浇筑后应及时覆盖保湿,养护方法包括覆盖湿麻袋、洒水、蓄水及喷涂养护剂等。大体积混凝土宜采用蓄水养护,既保持湿度又有利于散热。养护用水应与拌和水同质,避免污染。养护温度控制是关键,夏季应防止暴晒导致表面干裂,冬季需采取保温措施防止冻害。养护持续时间根据水泥品种和结构部位确定,普通混凝土不少于7天,掺用缓凝剂或抗冻要求的不少于14天,大体积混凝土宜延长至28天。拆模时间以混凝土强度达到设计要求为准,侧模一般在强度达到2.5MPa后拆除,底模需根据跨度确定。拆模后应及时进行表面缺陷检查与修补。

2.6 特殊季节施工技术

高温季节施工主要控制混凝土温度。采取骨料预冷(风冷、水冷)、加冰拌和、液氮冷却等措施,使出机口温度控制在28℃以下。选择夜间或阴天浇筑,仓面喷雾降温,缩短运输时间。仓内埋设冷却水管,通水冷却降低内部温升,进出水温差控制在20℃以内。低温季节施工重点防冻。采用热水拌和,骨料加热,保持混凝土入仓温度不低于5℃。添加防冻剂和早强剂,覆盖保温被、电热毯或搭设暖棚。拆模后立即包裹保温,避免混凝土表面温度骤降。雨季施工需做好防雨排水,搭设遮雨棚,检测骨料含水率并调整配合比,浇筑中遇雨应立即覆盖新浇混凝土,雨后清除积水再继续施工。

3 水利工程混凝土质量控制体系

3.1 施工前质量控制

施工前质量控制是预防质量问题的第一道防线。技术准备方面,应组织图纸会审和设计交底,编制施工组

织设计和专项施工方案,对关键工序制定作业指导书。材料检验是核心环节,水泥、骨料、掺合料、外加剂等进场须查验合格证并按批次复验,骨料含泥量、级配等指标需逐批检测。配合比设计应进行试配和现场适应性验证,通过抗压强度、抗渗等级、抗冻等级等指标评价。人员方面,施工前应开展技术交底和培训,明确质量标准和控制要点^[3]。设备方面,搅拌站计量系统须经标定,振捣器、模板、运输车辆等应检查完好。现场准备包括基层清理、施工缝处理、预埋件定位等,验收合格后方可进入下一工序。

3.2 施工过程质量控制

施工过程质量控制采用工序管理方法,设置质量控制点。混凝土拌和前检查骨料含水率,调整施工配合比,逐盘记录计量数据,每班检测坍落度、含气量、温度不少于3次。浇筑过程实行旁站监督,检查分层厚度、浇筑顺序及振捣质量,防止漏振、过振。每浇筑100至200立方米应制作抗压试块,抗渗、抗冻试块按规范数量制作,同条件养护试块模拟结构真实养护条件。大体积混凝土需埋设温度传感器,监测内部温度变化,控制内外温差不超过25℃。模板检查包括垂直度、平整度和接缝密封性,浇筑中巡查变形情况。钢筋检查关注保护层厚度和定位稳定性。隐蔽工程须经监理验收签证后方可覆盖。

3.3 施工后质量检验与评定

施工后检测评定是验证质量的最终环节。外观检查包括蜂窝、麻面、裂缝、露筋等缺陷,用刻度放大镜测量裂缝宽度,记录分布位置。强度检测以标准养护试块为依据,同时采用回弹法或超声回弹综合法进行现场推定,必要时钻取芯样进行抗压试验。耐久性检测包括抗渗等级(逐级加压法)、抗冻等级(快冻法或慢冻法),每项不少于3组试件。结构尺寸与位置偏差采用全站仪、水准仪测量,偏差应在规范允许范围内。质量评定按《水利水电工程单元工程施工质量验收评定标准》执行,分为合格与优良等级,评定内容包括外观质量、实体强度、耐久性能及资料完整性,评定结果作为工程验收和结算的依据。

4 水利工程混凝土质量控制优化对策

4.1 原材料质量控制

建立供应商评价与准入制度,优先选用通过质量管理体系认证的厂家,每年进行现场考察和产品抽检。水泥进场须核验批号和强度报告,安定性不合格一律退货。骨料堆场应硬化并分区,设置防雨棚,定期检测含泥量和级配,超标骨料严禁使用。掺合料需检验细度、

需水量比和活性指数,每批不超过200吨为一检验批次。外加剂须进行相容性试验,重点验证减水率、凝结时间差和抗压强度比。建立进场台账,实现原材料批次与使用部位的可追溯,不合格材料应隔离标识并清退出场。对于大体积混凝土,应专门检测水泥水化热和骨料碱活性,防止碱骨料反应。原材料质量控制应实行“先检后用、不合格禁用”原则。

4.2 施工工艺优化

推广智能化拌和系统,实现配合比、含水率、计量偏差的实时监控和数据上传。优化浇筑分层厚度,大体积混凝土每层宜控制在30至40cm,确保振捣能量有效传递。振捣工艺采用“行列式”或“梅花形”布点,二次振捣工艺(初凝前再次振捣)可消除泌水通道。温控方面,夏季采用片冰代替部分拌和水,骨料预冷温度降至15℃以下,仓面喷雾降温;冬季采用蒸汽加热骨料,热水拌和。内置冷却水管采用分层布置,通水流量和温度动态调整,降温速率控制在1℃/天以内。推广清水模板和新型脱模剂,提高外观质量。对于抗冲磨部位,可采用环氧砂浆或钢纤维混凝土等特种材料,提高表面耐磨性^[4]。

4.3 质量管理体系完善

落实全员质量责任制,项目经理为第一责任人,明确技术负责人、质检员、施工员、班组长等各岗位质量职责。推行“三检制”,即班组自检、施工队互检、项目部专检,层层把关。实施工序交接验收制度,上道工序不合格不得进入下道工序。建立质量可追溯制度,对原材料、配合比、浇筑记录、试块强度等数据归档保存,形成“一仓一档”。开展常态化质量教育与培训,提升一线作业人员的质量意识和操作技能。建立质量问题快速响应机制,发现缺陷立即报告并组织分析处理。实行质量奖惩与绩效考核挂钩,对质量优良的班组给予奖励,对重复出现问题的责任人追究责任,营造“人人重视质量”的氛围。

4.4 检测与监测技术升级

推广无损检测技术,超声法可检测内部空洞和裂缝

深度,冲击弹性波法适用于大体积混凝土均匀性评价,地质雷达可探测钢筋分布和保护层厚度。预埋传感器监测体系应包含温度计、应变计、压力计等,接入自动化采集系统,实现实时预警。建立混凝土施工质量信息化管理平台,集成拌和站数据、试验检测数据、温控数据及验收记录,实现数据互通和趋势分析。引入BIM技术进行施工模拟和可视化交底,对复杂节点进行碰撞检查,指导模板和钢筋布设。采用无人机倾斜摄影技术辅助外观检查和高程测量,提高检测效率^[5]。建立检测设备的定期校准和维护制度,确保数据准确可靠。通过技术升级实现从人工检测向智能监控的转变。

结束语

水利工程混凝土施工技术与质量控制是保障工程安全耐久的核心环节。本文从材料、工艺、质量管理及检测监测等维度系统梳理了关键技术要点和控制措施。大体积混凝土温控、抗渗抗冻及特殊季节施工是水利工程的难点所在。质量控制须贯穿施工全过程,从原材料把关、工艺优化、体系完善到智能检测,形成闭环管理。随着数字化、智能化技术的发展,混凝土施工正向精细化和智慧化方向迈进。唯有持续技术创新与严格过程管控并重,方能打造高质量水利工程,支撑水利事业可持续发展。

参考文献

- [1]李松涛.水利工程混凝土施工技术及其质量控制的策略[J].水上安全,2025(1):94-96.
- [2]音正兵.水利工程混凝土施工技术及其质量控制措施[J].建材与装饰,2023,19(22):145-147.
- [3]李体强.水利工程混凝土施工技术及其质量控制方法[J].现代装饰,2022,511(14):187-189.
- [4]王传合.水利工程混凝土施工技术及其质量控制研究[J].电脑爱好者(普及版),2023(4):469-471.
- [5]王征.水利工程混凝土施工技术及其设备质量控制措施研究[J].中国设备工程,2026(5):217-219.