

# 水利水电施工中混凝土施工技术的应用

朱彩艳

泗洪县水利工程有限公司 江苏 宿迁 223900

**摘要:** 水利水电施工中,混凝土施工技术至关重要。其应用需严格把控原材料质量,合理设计配合比,采用分段浇筑、振捣密实等工艺。针对大体积混凝土,需采取温控措施防止裂缝。养护环节同样关键,通过覆盖、喷淋等方式保持混凝土湿润。此外,特殊施工技术如预应力混凝土、喷射混凝土等,也需根据工程需求合理应用,以全面提升水利水电工程混凝土施工质量,保障工程安全稳定运行。

**关键词:** 水利水电施工;混凝土施工技术;应用

引言:水利水电工程是关系国计民生的重要基础设施,在防洪减灾、水资源调配、清洁能源开发等方面发挥着不可替代的作用。混凝土作为水利水电工程的主要建筑材料,其施工质量直接决定了工程的整体性能与使用寿命。然而,水利水电工程多处于复杂的地质和水文环境中,面临着大体积混凝土温控、高抗冲磨性能要求、特殊结构施工等诸多挑战。深入研究和应用先进的混凝土施工技术,对提升水利水电工程质量、保障工程安全稳定运行具有至关重要的意义。

## 1 水利水电工程混凝土施工特点与要求

### 1.1 工程环境特殊性

(1) 水利水电工程多建于河道、山谷等区域,地质条件复杂多样。部分工程涉及高渗透地层,如砂卵石层,易导致混凝土浇筑后出现渗漏;软土地基承载力低,若处理不当,会使混凝土结构沉降变形,影响工程稳定性,需通过换填、注浆等工艺改良地基,保障施工质量。(2) 工程受水文气候影响显著。温差方面,昼夜或季节温差大时,混凝土易因热胀冷缩产生裂缝;北方地区冬季冻融循环频繁,会破坏混凝土内部结构;河流汛期水流冲刷力强,可能冲击未凝固的混凝土,需采取临时防护措施,如设置挡水围堰、加固模板,应对复杂水文气候条件。

### 1.2 混凝土性能要求

(1) 工程长期承受水压力、荷载等作用,对混凝土强度与耐久性要求高。抗压强度通常需达到C30及以上,且需抵抗水流侵蚀、钢筋锈蚀,确保工程使用寿命达数十年甚至上百年,需通过优化配比提升混凝土抗老化能力。(2) 抗渗性需满足P6及以上等级,防止水体渗入结构内部;水利枢纽的泄洪段、消力池等部位,混凝土需具备高抗冲磨性,抵御高速水流裹挟砂石的冲刷;同时,混凝土需具备良好抗裂性,避免裂缝引发渗漏或结

构破坏。(3) 部分工程有特殊功能需求,如大坝等大体积混凝土需具备温控性能,减少水化热导致的裂缝;抢修工程则要求混凝土快速凝固,缩短养护时间,尽快恢复工程功能<sup>[1]</sup>。

### 1.3 施工工艺挑战

(1) 大体积混凝土浇筑方量大、持续时间长,如大型大坝单次浇筑量可达数千立方米,易因水化热积聚导致内部温度过高,与表面形成温差裂缝,需采用分层浇筑、通水冷却等温控措施,管控难度大。(2) 特殊结构施工难度高,拱坝需保证曲面成型精度,混凝土浇筑需严格控制分层厚度与振捣质量;隧洞衬砌空间狭窄,模板安装、混凝土布料受限,且需应对围岩压力,确保衬砌厚度均匀、结构稳固,对施工工艺提出更高要求。

## 2 水利水电施工中混凝土施工技术的应用

### 2.1 原材料选择与配合比优化

(1) 水泥需优先选用低热硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥,降低水化热释放,适配大体积混凝土施工;骨料需满足级配连续、含泥量 $\leq 2\%$ 的要求,碎石粒径根据结构尺寸调整,粗骨料最大粒径不超过钢筋净距的 $3/4$ ,细骨料宜采用中砂,保证混凝土和易性;外加剂需针对性选择,缓凝减水剂可延长初凝时间,适应长距离运输需求,引气剂能提升混凝土抗冻性,抗裂防水剂可增强抗渗性能。(2) 高性能混凝土(HPC)配比设计需以强度、耐久性、工作性为核心指标,胶凝材料用量控制在 $380-450\text{kg}/\text{m}^3$ ,水胶比 $\leq 0.38$ ,通过掺入优质粉煤灰、矿粉等掺合料替代部分水泥,改善混凝土微观结构;同时采用粒径优化的骨料级配,减少空隙率,配合高效减水剂,使混凝土坍落度保持在 $180-220\text{mm}$ ,满足泵送施工要求,且28d抗压强度不低于C60,抗氯离子渗透系数 $\leq 1.0 \times 10^{-12}\text{m}^2/\text{s}$ 。(3) 环保型材料应用逐步推广,再生骨料可将建筑废弃物破碎筛分后使用,替代30%-50%天然

骨料,需控制其压碎指标 $\leq 12\%$ 、吸水率 $\leq 8\%$ ,搭配专用界面剂提升与水泥石的粘结力;低热水泥通过调整矿物组成,使7d水化热降低20%-30%,适配大坝等大体积混凝土工程,减少温控成本,同时降低碳排放,符合绿色施工理念。

## 2.2 模板与钢筋工程技术

(1)模板体系设计需根据结构形式选择,大坝面板宜采用钢框竹胶模板,面板平整度误差 $\leq 2\text{mm/m}$ ,支撑体系采用碗扣式脚手架,立杆间距 $\leq 1.2\text{m}$ ,横杆步距 $\leq 1.5\text{m}$ ,通过有限元分析验算模板刚度与稳定性,防止浇筑过程中出现变形、位移;隧洞衬砌采用钢模台车,模板弧度偏差 $\leq 3\text{mm}$ ,台车行走轨道安装平整度误差 $\leq 1\text{mm/m}$ ,确保衬砌混凝土厚度均匀。(2)钢筋连接优先采用直螺纹套筒连接,接头等级需达到I级,丝头加工精度符合GB50204标准,安装时力矩扳手拧紧力矩满足规范要求;钢筋防腐处理针对水环境特点,采用热镀锌工艺,锌层厚度 $\geq 85\mu\text{m}$ ,或涂刷环氧涂层,涂层厚度50-100 $\mu\text{m}$ ,同时在钢筋与模板间设置垫块,保证保护层厚度偏差 $\leq \pm 5\text{mm}$ ,避免钢筋锈蚀影响结构耐久性<sup>[2]</sup>。

## 2.3 浇筑与振捣技术

(1)分层分段浇筑工艺需根据结构尺寸确定参数,大坝混凝土分层厚度控制在0.5-0.8m,分层间隔时间 $\leq$ 混凝土初凝时间,采用台阶式浇筑法,台阶宽度 $\geq 2\text{m}$ ,避免出现冷缝;隧洞衬砌采用跳仓浇筑,仓段长度3-5m,相邻仓段浇筑间隔 $\geq 7\text{d}$ ,减少收缩应力;浇筑过程中采用溜槽或泵送布料,布料点间距 $\leq 3\text{m}$ ,防止混凝土离析。(2)振捣设备选择需适配施工场景,平面结构采用平板振捣器,振捣频率2800-3000r/min,振捣时间以混凝土表面泛浆无气泡为宜;竖向结构采用插入式振捣棒,振捣半径 $\leq 30\text{cm}$ ,插入深度至下层混凝土5-10cm,振捣间距 $\leq 50\text{cm}$ ,避免漏振、过振;对于钢筋密集区域,采用微型振捣棒(直径30mm),确保混凝土密实度,密实度检测采用回弹法,回弹值需符合设计强度对应的标准要求。

## 2.4 温控与养护技术

(1)大体积混凝土温控采用“预冷+通水冷却+表面保温”综合措施,原材料预冷通过骨料风冷(温度降至5-8 $^{\circ}\text{C}$ )、冷水拌合(水温 $\leq 10^{\circ}\text{C}$ ),使入仓温度 $\leq 15^{\circ}\text{C}$ ;浇筑后预埋 $\Phi 40\text{mm}$ 冷却水管,通水流量1.5-2.0 $\text{m}^3/\text{h}$ ,进水温度 $\leq 10^{\circ}\text{C}$ ,控制混凝土内部最高温度 $\leq 65^{\circ}\text{C}$ ,内外温差 $\leq 25^{\circ}\text{C}$ ;表面覆盖3层保温被(导热系数 $\leq 0.04\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ),减少温度梯度<sup>[3]</sup>。(2)智能养护系统整合温度、湿度传感器与自动喷淋设备,传

感器布设间距5-10m,实时监测混凝土表面温度(控制在5-35 $^{\circ}\text{C}$ )与相对湿度( $\geq 90\%$ ),数据传输至中控台,当湿度低于标准时,自动启动喷淋系统,喷淋间隔根据环境温度调整,高温天气每2h喷淋1次,每次持续30min,确保养护质量稳定。

## 2.5 特殊施工技术

(1)预应力混凝土技术在渡槽、闸室等结构中应用广泛,采用后张法施工,预留孔道采用金属波纹管,安装位置偏差 $\leq 5\text{mm}$ ,钢绞线张拉控制应力根据设计要求确定,张拉顺序对称进行,张拉后及时压浆,水泥浆水胶比0.26-0.28,压浆压力0.5-0.7MPa,确保孔道密实,提升结构抗裂性能。(2)喷射混凝土适用于隧洞初期支护,采用干喷或湿喷工艺,干喷混凝土水灰比0.4-0.5,喷射风压0.4-0.6MPa,湿喷混凝土坍落度120-150mm,喷射厚度根据围岩等级确定,II类围岩厚度 $\geq 100\text{mm}$ ,喷射后及时养护;水下混凝土施工采用导管法,导管直径 $\geq 250\text{mm}$ ,底部距基础面300-500mm,首批混凝土方量满足导管埋深 $\geq 1\text{m}$ ,浇筑过程中导管埋深控制在2-6m,防止断桩<sup>[4]</sup>。(3)3D打印混凝土在复杂结构中探索应用,采用纤维增强混凝土,抗压强度 $\geq \text{C}40$ ,打印速度50-100mm/s,层厚20-30mm,通过BIM技术建模,规划打印路径,适用于异形闸门、小型渡槽等构件,打印过程中实时监测混凝土凝结时间,控制层间粘结强度,减少打印缺陷,为水利工程异形结构施工提供新方案。

## 3 水利水电施工中混凝土施工质量通病与防治措施

### 3.1 常见质量问题

(1)裂缝问题频发,主要包括温度裂缝与干缩裂缝。温度裂缝多出现于大体积混凝土结构,如大坝坝体,因混凝土水化热释放集中,内部与表面温差超过25 $^{\circ}\text{C}$ ,产生温度应力导致裂缝,裂缝宽度常达0.2-0.5mm,严重时贯穿结构;干缩裂缝多发生在混凝土养护期,尤其在高温、大风环境下,表面水分蒸发过快,内部水分补给不足,产生收缩应力,形成不规则细小裂缝,多分布于结构表面,长度从几厘米到数米不等。(2)蜂窝麻面与孔洞缺陷影响结构外观与性能。蜂窝表现为混凝土表面出现形似蜂窝的孔洞,孔径5-20mm,多因振捣不密实,骨料间隙未被砂浆填满;麻面是混凝土表面呈现密集的小凹点,深度1-3mm,源于模板表面不光滑、脱模剂涂刷不均,或混凝土浇筑时气泡未排出;孔洞缺陷较为严重,孔径常超过20mm,甚至出现露筋情况,多因钢筋密集区域振捣不到位,或混凝土离析导致骨料堆积,砂浆缺失。(3)强度不达标与耐久性不足直接威胁工程安全。强度不达标表现为混凝土28d抗压强度

低于设计值,如设计C30混凝土实际检测仅为C25,可能导致结构承载能力不足;耐久性不足则体现为混凝土在水环境中易出现碳化、氯离子侵蚀,表现为表面起砂、钢筋锈蚀,缩短工程使用寿命,如渡槽混凝土因抗渗性差,使用5-10年后出现渗漏。

### 3.2 原因分析

材料因素方面,水泥强度等级不符合要求、骨料含泥量超标(超过2%)、外加剂掺量不当,会降低混凝土强度与和易性;工艺因素上,混凝土配合比设计不合理(如水胶比过大)、浇筑时分层过厚(超过0.8m)、振捣时间不足或过振、养护不及时(浇筑后超过12h未养护),均会引发质量问题;环境因素中,高温(超过35℃)导致混凝土坍落度损失过快,低温(低于5℃)影响水泥水化,冻融循环破坏混凝土内部结构,高湿度环境加速钢筋锈蚀,多因素综合作用加剧质量通病。

### 3.3 防治对策

(1) 优化配合比与施工工艺。配合比设计需根据工程需求调整,大体积混凝土采用低热水泥,掺入20%-30%粉煤灰减少水化热,水胶比控制在0.45以内;施工中严格控制浇筑分层厚度(大坝混凝土0.5-0.8m),采用插入式振捣棒振捣,确保振捣时间30-60s,直至表面泛浆;养护阶段覆盖保湿材料,高温时每2h喷淋1次,低温时采取保温措施,养护期不少于14d。(2) 加强过程监控与质量检测。原材料进场时检测水泥强度、骨料含泥量、外加剂性能,不合格材料严禁使用;浇筑过程中实时监控混凝土坍落度(控制在120-180mm),每50m<sup>3</sup>制作1组抗压强度试块;拆模后检查结构表面,发现蜂窝麻面及时用高一强度等级的水泥砂浆修补,孔洞缺陷需清理松

散混凝土后采用微膨胀混凝土填充<sup>[5]</sup>。(3) 引入智能化监测技术。采用无损检测技术,如超声波检测混凝土内部密实度,回弹法检测表面强度,雷达检测钢筋保护层厚度;运用物联网监控系统,在混凝土内部预埋温度传感器,实时监测温度变化,当内外温差接近25℃时自动报警,及时调整温控措施,通过智能化手段提升质量管控精度。

### 结束语

综上所述,水利水电施工中混凝土施工技术的应用涉及多方面要点,从前期原材料把控、配合比设计,到浇筑、振捣、养护等环节,每个步骤都紧密关联工程质量。特殊施工技术的合理运用,更进一步提升了工程的适应性与可靠性。未来,随着技术不断革新,我们需持续探索优化混凝土施工工艺,强化质量管控,以更好地应对水利水电工程中的复杂挑战,为保障工程安全与稳定运行筑牢坚实根基。

### 参考文献

- [1]李朦,蔡崇杰,董宇,等.水利水电工程混凝土施工技术及其裂缝控制研究[J].中国水泥,2024(11):103-105.
- [2]吴照龙.建筑工程混凝土施工裂缝控制技术及最佳实践探讨[J].佛山陶瓷,2024,34(10):162-164.
- [3]杨帆.水利水电工程施工中控制混凝土裂缝技术研究[J].东北水利水电,2024,42(9):16-18.
- [4]丛洁,靳伟,弓振铭.水利水电施工中混凝土施工技术的应用[J].价值工程,2025,44(8):128-131.
- [5]李孝忠.水利水电施工中混凝土施工技术的应用[J].中国科技纵横,2023(13):112-114.