

大体积混凝土温控施工措施与质量控制研究

郭 阳 张建军

陕西锦清铁路有限责任公司 陕西 西安 710001

摘 要：厚截面现浇混凝土施工阶段水化热集聚易引发内外温差失衡，催生温度裂缝，直接影响构件结构完整性与长期服役性能，温控施工是大型混凝土构件施工的关键管控内容。本文围绕拌合调配、现场浇筑、散热养护等工序梳理温控施工措施，搭建全流程质量控制体系，明确各阶段管控要点，为同类施工提供可参照的技术路径与质控思路。

关键词：大体积混凝土；温控施工；质量控制

引言：大型现浇混凝土构件普遍应用于多类基础工程建设，受自身截面厚度与胶凝材料水化特性影响，内部热量传导阻滞易形成温差应力，诱发结构性裂缝。施工环节需兼顾温控工艺落地与全过程质量管控，通过多工序协同调控消解水化热带来的结构损伤风险，保障构件成型品质与结构耐久性能，适配大型工程对混凝土构件的性能要求。

1 大体积混凝土温控施工基础概述

大型现浇混凝土构件普遍存在用料体量大、内部散热条件差、自然散热效率偏低的属性，内部胶凝材料水化反应会持续释放热量，构件内部热量难以向外散出，表层受外界环境影响散热更快，内外形成稳定温差场，逐步催生不均匀收缩应力。当应力超过混凝土基体抗拉强度时，结构表层及内部会生成贯通性、非贯通性温度裂缝，削弱结构密实程度，缩短构件服役年限。因此，温控防裂是大型现浇混凝土施工的核心重难点，也是防控温度裂缝、提升结构施工质量的关键工艺。施工中需优化传统工艺，摒弃单一管控模式，覆盖配合比优化、现场浇筑、界面防护、后期养护全流程闭环管控，通过调整原材料配比、严控浇筑分层厚度与速度、落实内外温控措施、规范保湿保温养护等手段，调控构件内外温度梯度，缩小内外温差，缓解不均匀收缩变形，从源头抑制温度裂缝产生，保障混凝土结构的完整性、密实性与稳定性，延长构件服役寿命^[1]。施工准备阶段，应依托建材水化放热规律、混凝土导热特性制定管控方案，聚焦内生热源管控、导热疏导、外立面保温三项核心内容，结合构件体量、原材特性、场地温湿条件，核定水化最高温升、界面温差、降温速率管控标准，从全流程温控与过程质量控制两大体系出发，制定专项温控作业

方案，减少温度裂缝，稳固结构性能，满足构件长期服役的稳定性要求。

2 大体积混凝土全流程温控施工措施

2.1 拌合原料温控调配措施

拌合主材自身热工特性，会直接左右混凝土固化全过程水化放热状态，原料温控调配是从源头管控构件温升的基础工序，依托主材甄选、配合比优化、来料温控多重方式，削减混凝土内部自生热能生成量。砂石集料划分专属堆放区域实施隔热管护，隔绝外界气温、直射光照带来的蓄热影响，炎热时段布设遮蔽结构阻隔热源，阴冷时段做好集料表层防护，避免集料温差波动干扰拌合基底温度。胶凝主材优选水化放热速率舒缓、早期热释放量更低的中低热硅酸盐水泥品类，调整水泥内部矿物组分占比，削减初凝阶段集中放热效应，掺入20%-30%的粉煤灰、矿渣粉等活性矿物掺合料替代原生水泥组分，弱化胶凝体系化合放热活性，保障拌合料黏结固结能力的同时适配温控施工标准。拌合水体应根据现场环境调整温度，依托水温制衡混合料整体初始温度状态。优化缓凝型外加剂配比参数，放缓胶凝材料水化化合进度，规避短时间内热能集聚富集，前置把控混合料温升状态，减少构件成型后温差裂缝的发生概率。

2.2 现场浇筑作业温控防护措施

混凝土浇筑成型阶段热交换活跃度较高，基体内部热能蓄积速度远超表层散温速度，依托现场施工工艺优化、结构导温布设、界面保温防护，可有效制衡基体温差变形程度。依照构件截面形制采用分层错缝浇筑模式，把控料体摊铺流量与铺筑层高，单层层高控制在300-500mm，放缓混合料堆叠固结进度，让各层水化生成热量有序向外扩散，杜绝整体一次性浇筑引发深部热

量滞留堆积。浇筑施工过程中,内部流通导热构件必须随混凝土浇筑高度同步分层埋设,防止构件错位并及时发生效用,借助循环介质转运固结内生热能,主动调控构件芯部温度基线,缩减基体内部与外表面温度差值。应根据施工现场实地昼夜气温更迭,对支护模板做隔热包覆处理,隔绝大气温度直接作用于混凝土外立面,减缓表层散热速率。浇筑施工完毕即刻封闭外露浇筑面,缩减混合料露天暴露时长,规避表层干湿变化联动温度应力增生^[2]。按照场地昼夜热环境动态调整施工时序,缓解基体非均匀收缩形变,提升浇筑阶段混凝土原生抗裂能力,保障构件成型结构完整性。

2.3 结构内外散热温控措施

大型现浇混凝土固结硬化阶段热量传导效率偏低,深部热能向外消散慢,表里温变速率失衡会持续生成结构收缩应力,依托内排外护双向温控手段,可平衡整体温度演变态势,减少应力叠加聚集。依托预埋导温管道完成深部热能疏导,根据现场施工条件和现浇混凝土体积特征进行材料选型、通水调度、均匀布置、分层铺设,保障不同深度区域热量均可被有效疏导,依托循环介质流转带走固结内生余热,平稳降低构件芯部基底温度,杜绝高温蓄积影响基体固化状态。外立面采用柔性保温护面管控表层散热速率,规避强对流、自然暴晒等外界因素加速表层降温,依托护面材质隔热性能适配环境气温波动,缩小结构表里温度差值。针对构件异形节点、加厚支座等密闭换热区域,加装外置导热配件优化换热条件,化解局部热能富集问题。依照混凝土强度生长节律动态调配散热力度,硬化早期加快内部余热疏导速度,硬化后期弱化表层散热效率,把控整体日均温变速率处于合理区间,减少温度作用催生的细微开裂问题,维持整体温度场均匀性,提升混凝土固结成型后的结构耐久度。

2.4 成型结构保温养护措施

混凝土进入初凝固结阶段后,内部胶凝结构尚未完全成型,外界温湿交变会联动产生温度收缩与干燥收缩双重作用,针对性落实保温养护作业,能够稳定构件表层热湿工况,抵御后期非受力裂缝发育拓展。模板拆除避开昼夜气温骤变时段,当昼夜温差超过 10℃时暂缓拆模作业,依托原有模板形成临时隔热屏障,减缓构件外立面与外界大气的换热速度,降低界面温度突变带来的结构损伤。针对构件外露平面、棱角交接位置全覆盖敷设保温覆材,收紧覆材拼接缝隙,削弱对流换热带来的表层热量流失,均衡构件表层温变幅度。依托浸润养护调控表层含水率,平衡基体内部毛细水体流动状态,缓

解干湿波动衍生的界面应力^[3]。严格控制养护周期不少于 14 天,并根据实际情况进行延长,养护期间需持续跟踪记录构件表层与内部的各项实时温度差值,依照深部余热消散进度梯度调整保温层级,循序渐进降低外部隔热防护力度,实现芯部与外立面温度协同衰减,同步控制表里温差 $\leq 20^{\circ}\text{C}$ 、降温速率 $\leq 2^{\circ}\text{C}/\text{d}$,加固表层基体抗裂性能,稳固构件成型后的整体结构稳定性,适配长期固化服役工况。

3 大体积混凝土温控施工质量控制体系

3.1 前期施工筹备质量管控

施工前期筹备管控是把控混凝土温控成效的基础环节,必须提前消解场地工况、材料性能、工艺部署带来的温控施工隐患,规避固化阶段温度应力超标引发的结构病害。结合构件形体构造、场地大气热环境特征,优化温控施工工艺排布逻辑,细化界面防护、内热疏导、分时浇筑各项作业细则,贴合胶凝组分放热节律优化施工排布方式。对进场拌合主材开展理化性能核验,甄别各类建材水化放热特质、拌合兼容程度,筛除热稳定性差、固结性能不达标的原料,留存完整材料检测报告与进场台账,实现全批次原料质量可追溯管理,夯实混合料温控适配基础。完成换热管件、测温传感构件及施工机具调试校验,排查管路连通性、测温器件感应精度,测温元件允许偏差控制在 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 以内,保障全过程温度监测、主动导热作业有序开展。依托工艺交底落实一线作业管控标准,明晰结构边角、加厚节点等高危开裂区域管控要点,统一现场作业操作规范。优化现场材料堆放、模板搭设区位布局,提前对作业基面做隔热预处理,均衡施工区域初始热态环境,缩减现场温控变量,搭建全维度前置质控防护体系。

3.2 现场温控工序质量管控

混凝土现场施工作业直接决定水化热散发速率,也是把控结构温差、消减温度应力的关键阶段,工序精细化管控能够有效缓解热量聚集诱发的开裂、变形问题。结合施工现场环境条件,施工人员需细化各分项作业温控执行标准,贯通拌料出料、分层浇筑、降温构件安装、面层防护全流程管控工作。混凝土入仓施工期间,合理调控下料速度与铺筑层高,采用薄层分次浇筑模式,入模温度控制在 $5\sim 30^{\circ}\text{C}$ (夏季优选 $\leq 28^{\circ}\text{C}$,不得超过 30°C ,冬季不得低于 5°C) 的适宜区间,从源头减少内部热量囤积,均衡构件各部位升温幅度。预埋降温管道施工过程中,规整管道排布走向与固定点位,严控管道接口密闭性,保障水循环散热体系稳定运转,防止管

道偏移、渗水降低散热作用。混凝土振捣作业结合料体状态把控作业幅度与时长,提升混合料密实程度,减少空腔孔隙蓄积多余热量。模板搭设阶段优化板材隔热处理方式,隔绝外部气温对构件表层的温度干扰,缩减构件芯部与表层温差^[4]。施工班组做好各工序交接核查工作,修正温控施工操作偏差,依托规范化作业把控现场温控效果,维护大体积混凝土成型稳定性,削减温度应力带来的各类结构裂缝。

3.3 施工温度监测质量管控

大体积混凝土成型阶段热量释放具备动态性,常态化测温管控可以掌握结构内热传导状态,匹配现场施工节奏优化温控手段,规避温差失控引发施工隐患。测温点位布设结合构件形体构造与浇筑分区落实排布工作,兼顾结构深部、表层、基底及周边环境测温点位布局,完整覆盖料体水化升温、温度平稳、梯度降温全周期变化过程。测温感应构件预埋作业贴合浇筑工序同步推进,固定埋设点位与入土深度,抵御振捣、摊铺施工带来的外力扰动,维持温度数据采集的真实性。施工人员结合胶体硬化进程开展测温作业,升温阶段每 2-4 小时采集一次数据,降温阶段每 4-8 小时采集一次,记录不同区位温度波动状态,研判内外温差变化趋势。一旦出现温差超标现象,快速溯源热异常诱因,适配调整表层保温、内部散热施工手法,协调结构整体降温节奏。定期校验测温传感设备运行状态,修护线路传输故障,缩减人为及设备因素带来的数据偏差。通过规范化测温运维,动态把控结构热变化状态,及时干预不良温变问题,提升大体积混凝土温控施工的精准度。

3.4 温控常见病害防控质量管控

大体积混凝土固化期间内热与外界环境温差不协调,会催生表层龟裂、内部贯通裂缝及表层骨料剥离等结构性缺陷,损伤构件受力稳定性,缩减结构服役年限。结合混凝土水化放热特性,把控施工全流程温控薄弱环节,从作业工艺、防护手段、后期巡检多维

度落实病害前置防控,明确各岗位防控职责并建立闭环问题响应机制。构件面层硬化阶段把控环境温变影响,适配保湿保温工艺调节面层收缩程度,缓解外部温变带来的胶体拉伸作用,减少浅表破损问题。构件内部热量消散速度需匹配表层固化进度,调控内部散热速率,平衡结构内外应力差值,避免内力积聚撕开结构内部胶体。构件接缝、棱角受力薄弱区域,针对性加厚隔热防护材质,边角部位保温层厚度较平面增加 1-2 倍,弥补常规温控作业覆盖盲区,弱化局部冷热差值。混凝土硬化周期内常态化排查外观形态,尽早发现初期温控缺陷,通过表层精细化修护阻断缺陷进一步拓展^[5]。依托现场温控作业实操经验优化施工工艺,规避同类温控病害反复出现,优化构件成型状态,筑牢大体积混凝土结构施工质量基础。

结束语:未来,大体积混凝土温控施工将逐步向精细化、动态化方向演进,施工工艺会结合材料性能优化与监测技术升级持续完善,质量管控维度也将进一步延伸。现场管控可依托热传导规律优化作业细节,强化工序衔接与动态干预能力,稳步提升大型混凝土构件的施工成型质量与长期服役稳定性能。

参考文献

- [1] 赵涛杰,索龙彦.大体积混凝土施工温控措施与裂缝风险智能预测方法研究[J].水泥,2026(5):105-107.
- [2] 崔红波.城乡引水排涝闸泵工程底板大体积混凝土施工质量控制措施[J].现代农村科技,2026(5):121-123.
- [3] 迟千钧,马达,李永军.高海拔地区风电基础大体积混凝土施工的温控技术应用及质量控制[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2026(3):167-170.
- [4] 纪翠云,唐塘.大体积混凝土重力坝浇筑温控技术与建设质量管理研究[J].水泥,2026(4):74-76.
- [5] 肖洪.大体积混凝土施工中温控与裂缝控制一体化技术研究[J].水泥,2025(12):83-85.