

混凝土浇筑施工过程质量控制措施分析

李 娅

河南省遂平县阳丰乡索店村管庄 河南 遂平 463100

【摘 要】：现代建筑中大尺寸、高承载力、低碳混凝土浇筑阶段容易出现温差开裂、蜂窝分层、界面粘结失效等成型质量问题。本文围绕原料调配、隐蔽工序查验、现场浇筑操作、水化热温度管控、后期保湿养护等完整工序，构建了一套系统化的管控技术框架。借助有限元温度场模拟优化冷却管路布置与振捣、接缝处置工艺，可将构件内外温差控制在 20℃ 以内，有效减少结构裂缝的出现概率，保障混凝土的整体力学性能与耐久性能。

【关键词】：混凝土浇筑；水化热；数值模拟；温控技术；养护工艺

DOI:10.12417/2811-0528.26.17.015

1 引言

随着低碳建筑理念的深入推进，再生骨料、低热胶凝材料等新型材料在工程中得到广泛应用。在大体积混凝土筏板、超长结构等复杂构件的施工中，若浇筑分层、温度控制、界面处理等关键工序的技术把控不足，极易引发结构性病害。传统的单一工序管控手段难以满足复杂构件成型的高质量要求。因此，本文以混凝土浇筑全流程技术管控为核心，整合原材料管控、现场浇筑工艺、有限元温控仿真及后期养护等成套技术，完善连续浇筑的标准化技术路径，为同类工程提供可借鉴的质量控制方案。

2 工程概况

郑州市汇泉西悦城 10 号院，包含 1-8 号楼、门卫、地下车库、出地面独立楼梯及风井、公交站房，其中 1 号楼、3 号楼、4 号楼、6 号楼、8 号楼为地下 2 层地上 34 层框架剪力墙结构，2 号楼为地下 2 层地上 16 层框架剪力墙结构，7 号楼为地下 2 层地上 32 层框架剪力墙结构，5 号楼为地上 3 层，地下车库为地下 2 层框架结构。主体大规模采用 C30~C45 混凝土，契合建筑循环利用与绿色发展的理念，地下为大面积筏板、超长后浇带、梁柱节点高低标号交界、大跨度楼板同步施工，浇筑总量超过 12 万 m³。由于再生骨料掺配比例较高、长距离泵送、分层连续浇筑、温控防裂、接缝防渗等多重质量管控难点并存，全工序需落实浇筑全过程标准化质量管控体系^[1]。

3 混凝土浇筑前期基础管控内容

3.1 原材料与配合比管控要求

依据《混凝土结构工程施工质量验收规范》（GB 50204-2015）及《普通混凝土配合比设计规程》（JGJ 55-2011），落实低碳建材应用理念。进场水泥、再生粗细骨料、矿物掺合料、高性能外加剂同步开展理化性能复试，严控骨料含泥量、针片状颗粒指标与外加剂掺量阈值。实验室基准配合比结合实

时砂石含水率换算施工配合比，动态修正拌合用水量，严格限定抗渗构件水胶比上限，不同强度等级拌合料设置独立计量配料体系，计量设备执行周期校验机制，从物料组分层面消除浇筑强度离散、离析等先天技术缺陷。

3.2 浇筑前隐蔽工程验收标准

参照《建筑施工模板安全技术规范》（JGJ 162-2008），开展浇筑前置工序技术核验。模板体系应完成刚度与稳定性的力学验算，板缝填充密封材料以阻断漏浆通道，脱模剂应均匀涂刷并避免污染钢筋接触面。钢筋保护层垫块应连续布设，梁柱节点、板面负弯矩钢筋应配套定型支撑构件，管线、预埋件应完成定位加固。隐蔽工序核验完成并形成书面记录后方可启动浇筑作业，通过前置技术核验有效规避涨模、露筋、构件尺寸偏移等浇筑成型质量隐患，实现绿色施工下一次成型的技术目标。

4 混凝土浇筑全过程质量控制措施

4.1 现场浇筑工序管控手段

（1）布料与振捣控制要求：混凝土下料自由倾落高度应控制在 2m 以内，超出限值时需布设串筒或溜槽完成导流输送。物料应沿作业面水平分层铺展，插入式振捣设备对应的分层铺筑厚度控制在 300mm 至 500mm 之间，平板振捣设备适配铺筑厚度不超过 200mm。振捣点位采用梅花形排布，点位间距设置为 300mm 至 400mm，设备插入深度应向下穿透下层浇筑物料 50mm 至 100mm。单点位持续振动时长维持在 15s 至 30s，待表层浮浆均匀析出、内部气体完全排出后缓慢提拉振捣器具。浇筑完成 30min 至 60min 内应实施表层二次振捣作业，以消除物料塑性收缩形成的细微裂缝。钢筋密集区域宜选用直径 30mm 的小型振捣器具作业，全程避免器具撞击模板及预埋管线。低碳连续浇筑工艺可同时减少物料离析与二次拌合产生的材料损耗。

(2) 施工缝及后浇带处理措施: 混凝土连续浇筑作业间歇时长严格控制在初凝时长范围内, 超出时限的界面按施工缝技术流程处置, 待界面物料完全初凝后凿除表层厚度 50mm 松散浮浆, 直至基底坚硬粗骨料完全外露, 高压气流清理凿除产生的粉尘碎屑并持续洒水浸润界面。新物料铺筑前均匀摊铺厚度 50mm 同强度无石子水泥砂浆过渡层, 分层浇筑时对新旧物料结合区域延长振捣作业时长。后浇带间隔静置周期设定 60d, 选用强度提升一级的微膨胀抗渗混凝土填充, 填充物料分层厚度维持 300mm, 振捣作业覆盖新旧混凝土交界全部区域, 填充完成后持续覆盖保湿材料, 养护周期不少于 14d。通过长效界面处理工艺, 可有效提升结构的整体防渗性能与力学连续性。

4.2 大体积混凝土温控数值模拟分析

(1) 混凝土水化热计算基础理论: 胶凝材料水化进程持续释放水化热并向构件内部积聚, 热量传导遵循固体瞬态热传导物理机理, 体系内部产生温度梯度并生成温度应力, 控制构件内外温差限值 20℃ 以阻断贯穿裂缝生成路径。胶凝体系选用低热硅酸盐水泥搭配粉煤灰矿物掺合料降低单位体积放热总量, 拌合阶段控制入模温度不高于 30℃, 冬季施工工况下入模温度不低于 5℃。热传导过程区分内部热源产热、固体导热、表面对流散热三类传热形式, 水化放热速率随龄期延长逐步衰减, 数值计算过程将时间离散为固定步长 1h 开展分步迭代运算, 依托低碳胶凝材料体系缩减总放热量, 为温度场数值求解提供底层物理理论支撑, 完整描述热量产生、传递、散失全流程物理变化规律。

(2) 温控数值模型构建与参数选定: 采用有限元分析软件建立三维实体几何模型, 还原筏板完整几何尺寸, 构件厚度设定 1800mm, 模型划分六面体实体单元, 单单元尺寸控制 200mm。完成边界条件分类定义, 构件底部设置地基接触导热边界, 侧部与顶部设置空气对流散热边界。材料热工参数固定取值, 混凝土导热系数取 2.8W/(m·℃), 比热容取 970J/(kg·℃), 密度取 2400kg/m³, 环境空气对流换热系数取 15W/(m²·℃)。冷却水管布设间距 1500mm, 管道内径 40mm, 循环冷却水进水温度控制 16℃, 模型加载随龄期变化的水化热热源函数, 统一设置时间计算步长 1h, 完成几何、单元、材料、边界、热源全部参数赋值, 完成数值模型完整搭建流程。

参考文献:

- [1] 郑军.箱梁混凝土分层浇筑水化热效应分析[J].交通世界,2025,(25):140-142.
- [2] 蒋霄,卢景义,张晓,等.分批浇筑对大体积混凝土板水化热影响研究[J].上海建设科技,2025,(4):89-95.
- [3] 徐常杰.大体积混凝土浇筑温控措施及数值模拟分析[J].江西建材,2025,(2):269-271.

(3) 浇筑温度场计算结果分析: 数值计算以瞬态热传导方程作为核心求解依据:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + Q(\tau)$$

式中: ρ 为混凝土密度 (kg/m³); c 为混凝土比热容 [J/(kg·℃)]; T 为空间内任意位置的瞬时温度 (℃); τ 为水化龄期 (h); λ 为混凝土导热系数 [W/(m·℃)]; x 、 y 、 z 为空间三维坐标 (m); $Q(\tau)$ 为单位体积混凝土的瞬时水化放热强度 (W/m³)。

模型运算至龄期 168h, 构件中心最高温 68℃, 表层温度 49℃, 内外温差未超 20℃ 限值。温度峰值出现在浇筑 72h, 降温速率 2℃/d。冷却水管疏导水化热, 表层保温措施均衡了散热过程, 通过调控水流速度与管距, 可进一步优化温控参数, 抑制温差应力裂缝的产生, 从而适配低碳大体积混凝土的施工要求。

4.3 浇筑完成后养护与成品管控

混凝土完全凝固后, 静置 6 至 12h, 铺放土工织物遮盖构件表面, 外层裹覆聚乙烯薄膜留存内部水汽, 普通硅酸盐混凝土持续保湿养护周期设定 7d, 添加矿物掺料、大体积及防渗混凝土养护周期拉长至 14d。当外界温度超过 25℃ 时, 每 2h 进行一次雾化喷水操作; 当外界温度低于 5℃ 时, 应停止喷水, 改用 30mm 厚保温棉被完整包裹构件以隔绝热量流失。侧模板拆除参照构件边角完好无破损作为判断依据; 底模板拆除应结合构件跨度匹配对应强度参数: 跨度小于 2m 的构件, 达到设计强度标准的 50% 即可拆除; 跨度大于 8m 的构件, 需满足设计强度标准的 100% 方可拆除。模板拆卸结束后, 应立即重新铺设保温保湿遮盖材料, 以减少后期修补材料的消耗, 贴合低碳施工技术思路, 稳定维持表层水化反应所需的环境条件。

5. 结语

整套混凝土浇筑全流程技术管控体系覆盖原料配比、隐蔽验收、布料振捣、施工缝处理、水化热数值模拟温控与长效养护全部工序。通过量化施工参数与温度场仿真手段精准控制水化热释放速率与构件温差。该成套技术可抑制蜂窝、温度裂缝等质量缺陷, 适配低碳混凝土施工要求, 可为同类大型现浇混凝土构件浇筑提供完整技术参考。