

混凝土施工质量控制关键技术及其工程应用研究

黄 帅

(四川智通路桥工程技术有限公司, 四川 成都 610000)

摘 要 随着工程建设行业向高质量发展转型, 建筑结构的安全标准及长期耐久性要求日益提高, 而混凝土作为工程施工的核心建材, 其质量优劣直接关系着工程整体建设水平。然而, 原材料波动、施工工艺差异等易引发混凝土强度不足等隐患。基于此, 本文结合工程实践, 系统探究混凝土原材料筛选、生产流程管控、配合比精准设计、浇筑振捣规范的关键控制因素, 同时提出新型养护剂膜应用、标准实体样板建立、无线传感监测等策略, 旨在为提高混凝土质量控制提供实操方案, 助力保障建筑结构长期安全。

关键词 混凝土施工质量控制; 新型养护剂膜; 标准实体样板; 无线传感网络

中图分类号: TU755

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.32.020

0 引言

在房屋建筑、桥梁隧道等工程施工中, 混凝土是支撑结构稳定的“骨架”建材, 其品质关系着建筑的安全运营周期。但实际施工中, 常会因砂石级配失衡致使混凝土和易性不足, 或因振捣、养护操作不当出现小瑕疵, 这些问题若不及时管控, 易对施工质量造成干扰。因此, 明确混凝土质量控制的核心环节, 探索切实可行的创新管控路径, 对减少施工问题、保障工程质量至关重要。

1 混凝土工程施工质量控制关键因素

1.1 原材料质量控制

施工单位需围绕“源头把控—过程监管—全链追溯”构建原材料质量管控的流程, 以系统性思维替代传统单点检测, 从根本上保障混凝土基础品质。源头把控阶段聚焦供应商与原料特性双维度。其需对供应商实施分级准入, 优先选择具备绿色建材认证、近 3 年无质量投诉的企业, 并每季度复核其生产资质及产能稳定性。一方面, 施工单位需针对原料特性设定核心指标阈值, 如水泥需满足强度等级 $\geq P \cdot 042.5$ 、安定性合格且水化热峰值 ≤ 300 kJ/kg, 骨料需保证级配连续且含泥量 $\leq 3\%$ (中砂)、 $\leq 1\%$ (碎石), 外加剂减水率 $\geq 20\%$ 且与水泥相容性达标, 从源头降低质量波动风险。另一方面, 在过程监管阶段, 施工团队需建立“批次抽检+动态复核”的机制, 每批次原材料进场时, 要按规范抽取代表性样本送检, 如水泥每 200

吨取 1 组样检测强度与凝结时间, 骨料每 400 m^3 取 1 组样检测级配与杂质含量, 检测数据实时录入管控系统, 不合格批次直接清场。同时对长期使用的原料, 需重点监测骨料颗粒级配变化, 避免因原料特性偏移影响混凝土性能。混凝土的质量从根本上取决于其原材料的品质。水泥、骨料和外加剂等原材料的质量直接影响混凝土的强度、耐久性和工作性等一系列性能指标。因此, 确保原材料质量是高层建筑混凝土工程质量控制中的首要任务。有效的控制措施包括: 对供应商进行严格的筛选与评估, 对原材料批次进行抽样检测, 建立原材料质量追溯系统等。通过这些措施, 可以保证混凝土工程使用的原材料符合设计和规范要求, 为混凝土的高品质打下坚实的基础^[1]。

1.2 生产过程控制

为保障混凝土匀质性与性能稳定性, 施工单位需重构生产环节管控逻辑, 以精准化输出为目标, 搭建“预设校准—实时调控—追溯闭环”的生产过程质量体系, 实现从搅拌到运输的全环节可控。预设校准阶段, 施工团队需重点完成参数与设备的双重准备。参数层面, 其需结合工程部位强度需求 (如梁体 C40、基础 C30) 确定基础配合比, 同步明确搅拌核心参数标准, 如搅拌时间需按坍落度适配 (坍落度 120 mm 时搅拌 90 秒, 每增减 20 mm 对应调整 10 秒), 配料精度需控制在水泥 $\leq \pm 2\%$ 、骨料 $\leq \pm 3\%$, 保证初始参数合规。设备层面, 每日开工前要对自动化配料秤进行零点校准, 对搅拌罐转速 (标准 18 ~ 22 r/min) 进行空载测试, 若

偏差超过 ± 1 r/min 则需立即检修, 杜绝设备误差影响生产质量。实时调控阶段, 施工团队需动态优化搅拌及运输场景。搅拌过程中, 要采用在线坍落度监测仪, 每 30 分钟取样检测, 当实测值与设计值偏差超过 ± 20 mm 时, 系统自动触发调整指令。运输环节则需实施“时效+状态”双监控, 根据运输半径划定时间红线, 借助罐车 GPS 追踪路线, 转速传感器保证运输中罐车保持 $2 \sim 4$ r/min 低速转动以防止离析, 若超时到场, 需重新检测坍落度, 不合格混凝土直接废弃, 避免流入施工环节。此外, 追溯闭环阶段需借助数字化手段实现全流程留痕。每盘混凝土生产时, 自动采集配料数据、搅拌时长、检测结果等信息, 生成唯一的生产追溯码, 并关联浇筑部位^[2]。操作员、质检员、罐车司机需在对应环节签字确认, 数据同步上传至项目管控平台, 形成操作有记录、问题可溯源的管理机制, 既减少人为操作疏漏, 也为后续质量分析提供数据支撑, 从生产端筑牢混凝土质量防线。

1.3 配合比设计

配合比设计直接决定着混凝土的强度及耐久性, 是连接原材料品质与工程需求的核心环节。施工单位需以“全维度性能平衡”为目标, 构建科学的配合比设计管控流程, 实现从参数设定到技术验证的系统化把控。在基础适配环节, 施工团队需先结合原材料检测数据划定基础参数区间, 再依据工程部位功能要求明确关键指标——如抗渗墙体需设定 P6 及以上抗渗等级, 大体积筏板需将水化热峰值控制在 300 kJ/kg 以内, C30 混凝土则需保证水胶比 ≤ 0.55 、砂率维持在 $35\% \sim 40\%$, 借助原料特性与工程需求的精准匹配, 搭建符合规范的配合比基础框架。动态优化环节需针对施工环境与工艺特点调整参数。若施工环境为高温, 则需适当降低水胶比, 延长混凝土初凝时间。若涉及泵送施工, 需将坍落度调整至 $120 \sim 160$ mm, 同时优化骨料级配以提高流动性。在技术赋能环节, 施工团队要借助现代工具提高设计效率。一方面, 要引入混凝土配合比智能计算软件, 输入原材料参数与工程要求后, 可自动生成多组配比方案, 并模拟不同工况下的水化热发展、强度增长趋势。同时需建立配合比数据库, 收录过往成功案例的参数, 为新工程设计提供参考, 实现设计流程的精准化。混凝土的配合比设计是决定其性能的关键因素之一。科学合理的配合比不仅能满足工程的强度要求, 还能优化混凝土的工作性、耐久性和经济性。配合比设计需要综合考虑原材料特性、施工技术、环境条件等因素, 通过试验和计算来确定最优配合比。随着现代建筑技术的发展, 计算机

模拟和智能优化技术在配合比设计中的应用越来越广泛, 有助于更准确、更高效地实现配合比的优化^[3]。

1.4 浇筑与振捣质量控制

浇筑与振捣是混凝土成型的关键环节, 其影响着结构密实度及外观质量。施工单位需以“工序协同、效果可控”为原则, 构建从准备到核验的全流程管控体系。前置准备阶段需聚焦条件核查及方案细化。施工单位需先确认模板支撑稳定性(立杆间距 ≤ 1.2 m、扫地杆距地 ≤ 200 mm)、钢筋保护层厚度(梁类构件 ≥ 25 mm), 清理模板内杂物与积水。再结合结构类型制定浇筑方案, 如竖向结构需划分浇筑段, 每层浇筑高度控制在 500 mm 以内, 水平结构需确定浇筑顺序, 防止冷缝产生。过程协同阶段需注重操作规范及动态调整。浇筑时要采用“分层推移”的方式, 保证混凝土下落高度 ≤ 2 m, 避免骨料分离。振捣作业需采用“定人、定设备、定区域”的管理方式, 插入式振捣棒选用 $\phi 50$ mm, 振捣频率控制在 $1\ 000 \sim 1\ 500$ 次/min, 插入点间距 ≤ 400 mm, 振捣至表面泛浆、无气泡溢出即可, 避免过振致使骨料下沉。效果核验阶段需强化过程监测及成型检查。浇筑过程中安排专人观察模板变形、钢筋位移, 若发现问题需立即暂停调整。此外, 其需在浇筑完成后 24 小时内检查混凝土表面, 重点排查蜂窝等缺陷, 对超标部位及时制定修补方案。同时要留存浇筑记录, 标注浇筑时间、部位、振捣人员等信息, 为后续质量追溯提供依据, 保证混凝土成型质量符合规范要求^[4]。

2 混凝土质量控制技术在工程施工中的应用策略

2.1 引入新型养护剂膜, 实现长效养护

新型养护剂膜是一种高分子聚合物材料, 借助在混凝土表面形成连续密闭的透明薄膜, 阻断水分蒸发通道, 同时利用膜材的微透气特性调节内部湿度, 避免传统浇水养护易出现的干湿交替问题, 可将养护周期缩短 $20\% \sim 30\%$, 尤其适用于高温、大风等恶劣环境及不便浇水的竖向结构、大体积构件^[5]。

以高层住宅项目的地下室顶板与外墙施工为例, 施工单位需采用水性环氧基养护剂膜, 结合顶板大体积、外墙竖向施工的特性, 提前结合混凝土设计强度及施工环境温湿度调整膜材浓度, 保证膜层与混凝土表面的贴合度。一方面, 在混凝土浇筑完成、表面收光后 $1 \sim 2$ 小时, 用滚筒均匀涂刷养护剂膜, 涂刷厚度控制在 $0.2 \sim 0.3$ mm。对于外墙等竖向结构, 需采用喷涂方式, 分 2 次涂刷, 间隔 30 分钟, 保证膜层均匀附着。相比传统覆盖土工布浇水养护, 该方式可减

少养护用水量,且无需频繁补水,解决地下室顶板养护时渗水影响下层施工的问题。养护期间,施工团队需借助湿度传感器监测混凝土内部湿度,28天后检测显示,顶板混凝土抗压强度达C45设计值的103%,外墙表面无收缩裂缝,显著降低裂缝的发生率。此外,该养护剂膜在混凝土强度达标后可自然降解,无需人工清除,减少工序成本,尤其在夏季高温施工时,有效规避因水分快速蒸发致使的表面起砂问题,保障混凝土外观及内在质量的双重稳定。

2.2 建立标准实体样板,统一质量标杆

标准实体样板是将混凝土施工的质量要求、工艺细节转化为可视化实体的管控工具,借助1:1还原关键构件施工场景,提前明确模板安装、钢筋排布等环节的标准,统一施工团队、监理单位的质量认知,避免因口头交底致使的执行偏差,同时可提前暴露工艺矛盾点,将质量隐患解决在大规模施工前,减少后期返工成本。

以商业综合体项目的混凝土框架柱与楼板施工为例,施工单位在正式施工前,需选取项目典型构件建立标准实体样板。框架柱样板要选取C40混凝土,严格按设计要求绑扎钢筋,采用18mm厚多层板作为模板,展示模板拼缝处理(贴海绵条防漏浆)、加固方式(双钢管抱箍间距500mm)。楼板样板则需还原钢筋双层双向排布(上层钢筋马凳间距800mm)、混凝土浇筑厚度控制(设置标高控制点)及收光工艺。样板制作完成后,需组织施工班组、质检员、监理人员共同验收,同时拍摄样板细节照片、录制工艺讲解视频,作为施工人员培训素材。在后续大规模施工中,则要求各班组每日施工前对照样板核对工艺,质检员按样板标准巡检,发现偏差立即整改。相比传统无样板施工,该项目混凝土构件的钢筋间距不仅提高合格率,也减少因质量认知差异致使的返工,实现混凝土施工质量的标准化。

2.3 植入无线传感网络,实施结构监测

无线传感网络是依托微型传感器、无线传输技术构建的混凝土质量动态监测系统,可实时采集混凝土内部温度、应力应变等关键数据,突破传统“抽样检测+人工巡检”的局限性,实现从事后检测向实时预警的转变。施工单位借助数据可视化平台,能精准掌握混凝土水化热发展、强度增长及收缩变形情况,及时发现温度裂缝、应力集中等隐患,为调控措施制定提供科学依据。

例如:在超高层写字楼大体积混凝土筏板施工中,

施工单位需构建全周期无线传感监测体系。在筏板浇筑前,按“5m×5m”网格间距将温度传感器(测量范围-30~120℃,精度±0.5℃)及应变传感器(量程±3000με,精度±1με)封装在防护套管内植入钢筋骨架,避免浇筑时损坏,传感器借助LoRa无线信号穿透混凝土连接至中央数据平台。浇筑过程中,需实时监测混凝土内部最高温升及内外温差,当数据显示局部温差超过25℃时,平台自动向技术团队发送短信预警,施工团队要立即调整循环水管流量(从50m³/h提高至80m³/h),2小时内将温差控制在20℃以内。养护阶段,其需借助湿度传感器数据调控养护剂膜覆盖范围,对湿度低于80%的区域补涂膜材,保证混凝土内部湿度维持在85%以上。同时要借助应变传感器监测筏板收缩应力,当应力值接近2MPa限值时,及时采取后浇带张拉等措施释放应力。在整个施工过程中,平台会生成实时温度场、应力场云图,直观呈现混凝土内部状态,相比传统人工测温,监测频次提高至每分钟1次,成功避免潜在的温度裂缝风险。项目完工后,传感数据同步上传至建设单位运维系统,作为混凝土耐久性评估的基础资料,为后续的结构健康检查提供数据支撑,实现混凝土质量从施工到运维的全周期可控。

3 结束语

混凝土质量控制是工程建设的隐形基石,不仅决定着建筑结构的稳定性,更影响着工程的长期运营价值,其精细化管控是提高工程质量的核心抓手。未来,施工团队可进一步融合绿色建材技术与智能管控手段,如探索工业固废在混凝土中的高效应用以降低碳排放,借助AI算法优化配合比设计参数,推动混凝土质量控制从达标管控向优化效能升级,为建筑工程高质量发展注入持续动力。

参考文献:

- [1] 蔡则龙,王海军.建筑工程施工中预拌混凝土质量控制研究[J].房地产世界,2025(09):128-130.
- [2] 单建军,郑中申.浅谈水利工程施工中商品混凝土质量控制[J].治淮,2025(03):40-41.
- [3] 李伟.混凝土工程质量控制在高层建筑施工中的应用研究[J].砖瓦,2024(06):116-118,121.
- [4] 林武鹏.混凝土工程施工的质量控制方法探析[J].广东建材,2023,39(12):111-113.
- [5] 马建,曹东磊,陈立,等.无砂混凝土在工程建筑中的应用与质量控制[J].四川建材,2021,47(07):18-19.