

建筑工程中混凝土施工质量控制策略研究

吴旭亮

单县村镇建设和房屋征收服务中心 山东 菏泽 274300

摘要: 在实际施工过程中, 由于原材料波动、配合比设计不合理、施工工艺不规范、环境因素影响以及管理机制缺失等多重原因, 混凝土结构常出现裂缝、强度不足、碳化、钢筋锈蚀等质量问题, 严重威胁工程安全。本文系统梳理了混凝土施工全过程中的关键质量控制节点, 深入分析了当前混凝土施工中存在的主要问题及其成因, 并在此基础上, 从原材料控制、配合比优化、施工工艺标准化、养护管理强化以及信息化技术应用等多个维度, 提出了一套科学、系统、可操作的质量控制策略体系。研究表明, 通过构建“全过程、全要素、全员参与”的质量控制机制, 并融合BIM、物联网等现代信息技术, 能够显著提升混凝土施工质量水平, 为保障建筑工程整体质量与安全提供理论支撑与实践指导。

关键词: 建筑工程; 混凝土; 施工质量; 质量控制; 配合比; 养护; 信息化管理

引言

从高层建筑、大型桥梁到地下空间、水利枢纽, 混凝土结构几乎遍布所有重大基础设施项目。据统计, 我国每年混凝土用量超过30亿立方米, 占全球总量的50%以上。如此庞大的使用规模, 使得混凝土施工质量成为决定国家基础设施安全与寿命的关键因素。然而, 近年来频发的建筑质量事故, 如楼板开裂、墙体渗漏、结构承载力不足甚至局部坍塌等, 暴露出混凝土施工环节存在诸多薄弱点。这些问题不仅造成巨大的经济损失, 更严重威胁人民生命财产安全, 损害社会公共利益。因此, 系统研究混凝土施工过程中的质量控制策略, 构建一套覆盖“人、机、料、法、环”全要素的精细化管理体系, 对于提升我国建筑工程整体质量水平、延长建筑使用寿命、推动建筑业高质量发展具有重要的理论价值与现实意义。

1 混凝土施工质量控制的关键环节与常见问题

混凝土施工是一个复杂的系统工程, 其质量受多个环节共同影响。主要可划分为原材料准备、配合比设计、搅拌运输、浇筑振捣、养护及后期检测等阶段。

1.1 原材料质量控制

混凝土由水泥、骨料(砂、石)、水、外加剂及矿物掺合料组成。任一组分的质量波动都会直接影响混凝土性能。水泥强度等级不符、安定性不良、凝结时间异常等问题会导致混凝土强度不足或开裂。骨料含泥量过高会削弱界面粘结力; 级配不合理影响和易性与密实度; 碱活性骨料可能引发碱-骨料反应, 导致膨胀开裂^[1]。水质不达标(如含氯离子、硫酸盐超标)会腐蚀钢筋或影响水泥水化。外加剂掺量不准、与水泥适应性差

可能导致离析、泌水或缓凝/速凝异常。

1.2 配合比设计与调整

配合比是混凝土性能的“配方”。设计不当或现场随意调整是常见问题: 理论配合比未考虑现场原材料实际波动; 为追求施工便利性而擅自增加用水量, 导致水胶比增大, 强度下降、收缩加剧; 未根据环境温度、运输距离等因素动态调整外加剂种类与掺量。

1.3 搅拌与运输

搅拌时间不足或过长, 导致均匀性差; 运输过程中离析、泌水, 尤其在长距离泵送时更为明显; 等待时间过长导致初凝, 影响浇筑质量。

1.4 浇筑与振捣

浇筑高度过大造成骨料分离; 分层厚度控制不当, 冷缝产生; 振捣不充分导致蜂窝、麻面、孔洞; 过度振捣则引起离析。

1.5 养护管理

养护是保证混凝土强度发展与减少收缩裂缝的关键, 但常被忽视: 养护开始时间延迟; 养护周期不足(尤其早期7天); 养护方式单一(仅洒水), 未覆盖保湿或控温; 冬季施工保温措施不到位, 夏季高温暴晒未遮阳降温。

1.6 质量检测与验收

试块留置不规范, 代表性不足; 强度评定仅依赖28天标准养护试块, 忽视同条件养护试块; 缺乏对实体结构的无损检测验证。

2 混凝土施工质量问题的成因分析

2.1 技术因素

当前许多工程仍沿用以抗压强度为核心的配合比设

计理念,忽视了耐久性、体积稳定性、抗裂性等长期性能指标,导致结构在服役期内过早劣化。施工工艺方面,缺乏统一、细化的作业标准,工人多凭经验操作,振捣时间、浇筑速度、分层厚度等关键参数随意性大,难以保证质量一致性^[2]。同时,质量检测手段相对落后,过度依赖破坏性试块,无法对结构实体进行实时、无损的状态评估,使得质量问题往往在后期才被发现,补救成本高昂。

2.2 管理因素

部分施工单位质量意识淡薄,在工期压力下牺牲质量换取进度,监理单位也常因人力不足或责任心不强而履职不到位。原材料供应链管理松散,进场检验流于形式,对供应商资质审核不严,导致不合格材料流入现场。此外,一线施工人员专业培训严重不足,对新材料、新工艺理解不深,操作不规范;管理人员对现代质量控制理念和技术掌握有限,难以有效组织和监督施工过程。这种“重结果、轻过程”的管理模式,使得质量控制沦为事后补救而非事前预防。

2.3 环境与外部因素

极端天气如高温、严寒、暴雨或大风,会干扰正常的施工节奏,增加质量控制难度。而建设单位为压缩成本推行低价中标模式,迫使施工单位在材料采购、工艺选择上降低标准,埋下质量隐患。此外,紧张的工期安排常常导致工序衔接仓促,混凝土未达拆模强度即被拆除模板,或养护时间被大幅压缩,这些都直接损害了结构的内在质量。因此,质量控制不能仅局限于技术层面,还需统筹考虑外部约束条件,建立更具弹性的应对机制。

3 混凝土施工质量控制策略体系构建

针对上述问题与成因,本文提出“全过程、全要素、全员参与、智能驱动”的四维质量控制策略体系。

3.1 全过程控制:覆盖施工全生命周期

在前期准备阶段,应建立严格的原材料准入制度,对水泥、骨料、外加剂等实行批次抽检与飞行检查相结合的方式,并开展水泥与外加剂的适应性试验,确保材料性能稳定可靠。配合比设计应基于全计算法或专业软件辅助,综合考虑结构部位、环境条件、耐久性要求等因素,并通过试配验证后方可用于施工。例如,在大体积混凝土中,为控制水化热温升,宜采用低热水泥(如P·LH42.5)并掺加30%~50%的粉煤灰或矿渣粉,将水胶比控制在0.35以下,同时限制单方胶凝材料总量不超过400kg/m³,以降低绝热温升峰值。在施工实施阶段,搅拌环节须采用自动计量系统,确保配料精度误差控制在

±1%以内;运输过程应控制时间(一般不超过90分钟),罐车转速维持在2~4r/min,到达现场后坍落度损失不应超过初始值的20%,且严禁二次加水。浇筑时需控制自由倾落高度不超过2m,分层厚度宜控制在300~500mm之间,相邻两层浇筑间隔时间不宜超过初凝时间的1/2(通常为1.5~2小时),以避免冷缝形成^[3]。振捣应遵循“快插慢拔、均匀布点”的原则,插入式振捣器作用半径一般为300~400mm,振捣时间以表面泛浆、无气泡逸出为准,通常为20~30秒/点,避免漏振或过振。养护阶段则需在终凝后(约6~12小时内)立即覆盖塑料薄膜与土工布进行保湿,夏季可辅以自动喷淋系统维持表面湿润,冬季则采用电热毯+保温棉组合保温,确保混凝土内部温度不低于5℃;对于重要结构,养护时间应不少于14天,大体积或高强混凝土建议延长至21天以上。在后期检测阶段,应按规范要求留置标准养护与同条件养护试块,后者用于指导拆模与张拉等关键工序;同时辅以回弹法、超声-回弹综合法或雷达扫描等无损检测手段,对实体结构强度与内部缺陷进行交叉验证,最终建立包含原材料报告、配合比通知单、测温记录、养护日志、检测数据在内的完整质量追溯档案。

3.2 全要素控制:聚焦“人机料法环”

在“人”的方面,应加强技术交底与岗前培训,尤其针对高性能混凝土、自密实混凝土等新材料,需组织专项培训并考核合格后方可上岗;推行关键岗位(如搅拌站操作员、振捣工、养护员)持证上岗制度,并明确班组长、质检员的质量责任边界。在“机”的方面,定期校验搅拌站称量系统(每月至少一次)、泵送设备压力表及振捣器频率(通常为12000~18000次/分钟),确保设备处于最佳工作状态;可推广带振捣时间提示与振幅反馈功能的智能振捣棒,防止人为操作偏差。在“料”的方面,实施原材料二维码或RFID电子标签溯源管理,每批次材料进场时扫码录入其出厂编号、检测报告、供应商信息等,建立动态材料性能数据库,便于快速追溯与趋势分析。在“法”的方面,编制详尽的《混凝土专项施工方案》和《作业指导书》,明确不同强度等级、不同部位混凝土的入模温度(夏季≤30℃,冬季≥5℃)、最大分层厚度、振捣间距、养护起始时间等具体参数,使操作有据可依^[4]。在“环”的方面,针对不同季节制定专项施工措施:冬季施工应依据《建筑工程冬期施工规程》(JGJ/T104)采取综合蓄热法或暖棚法,确保混凝土在达到抗冻临界强度(通常为设计强度的30%)前不受冻;夏季高温时段(气温>35℃)应避免中午浇筑,模板提前洒水降温,浇筑后立即覆盖反光隔热膜;

雨季施工则需搭设防雨棚，并在拌合水中扣除骨料含水率，防止水胶比失控。通过实时监测现场温湿度（建议每2小时记录一次），动态调整施工策略，确保环境因素始终处于可控范围。

3.3 全员参与：构建质量文化

质量控制不仅是技术人员的责任，更需要全体参建人员的共同参与。应全面推行“三检制”（自检、互检、专检），形成层层把关的质量防线。例如，振捣工完成一个区域后需自检密实度，相邻班组进行互检，专职质检员再进行抽检并填写验收记录。同时，建立质量奖惩机制，对主动发现蜂窝、裂缝等隐患并及时上报的工人给予物质或精神奖励，对擅自加水、缩短养护时间等违规行为严肃追责。此外，监理、业主与施工单位应每周组织联合质量巡检，重点检查养护覆盖完整性、试块留置规范性、测温数据真实性等，并将结果纳入月度履约评价。通过制度引导与文化熏陶，营造“人人重视质量、人人参与质量”的良好氛围，从根本上扭转“质量是质检员的事”的错误观念，使质量意识内化于心、外化于行。

3.4 智能驱动：融合现代信息技术

现代信息技术为混凝土质量控制提供了全新路径。BIM技术可在三维模型中嵌入混凝土构件的强度等级、配合比编号、计划浇筑时间、养护周期等属性信息，通过4D进度模拟优化工序逻辑，例如自动识别相邻墙体浇筑间隔是否小于初凝时间，从而预警冷缝风险；还可生成可视化交底动画，直观展示振捣路径与覆盖范围，提升一线工人理解效率。物联网技术则可通过在模板内预埋分布式光纤（DTS）或无线温湿度传感器（如LoRaWAN协议节点），以每10~30分钟的频率采集混凝土内部温度场与湿度变化数据。当监测到中心最高温度与表面温差超过25℃（大体积混凝土控制阈值）时，系统自动向管理人员推送预警，并联动启动冷却水管循环或增加保温

层厚度。结合机器学习算法（如LSTM神经网络），还可基于早期温升曲线与配合比参数，预测7天、28天强度发展轨迹，科学指导拆模或预应力张拉时间。此外，构建基于云平台的质量管理信息系统，整合原材料检测报告、配合比调整记录、搅拌电流数据、运输GPS轨迹、现场坍落度测试值、养护影像等多源异构数据，利用大数据分析技术识别质量波动规律（如某批次外加剂导致离析率上升），实现从“经验判断”向“数据驱动”的决策转变，全面提升混凝土施工质量控制的精准性与前瞻性。

4 结语

本文聚焦建筑工程混凝土施工质量控制，研究关键问题与成因，构建了涵盖全过程、全要素、全员参与和智能驱动的四维策略体系。研究发现，混凝土质量控制需贯穿全生命周期，环节疏漏会引发系统性风险；传统经验管理难满足现代工程需求，要融合标准化工艺与精细化管理；信息技术融合为动态监控、智能预警和精准决策提供支撑。未来，随智能建造与“双碳”目标推进，混凝土质量控制将升级：发展数字孪生预测性模型，变“被动检测”为“主动预防”；推广低碳材料与再生骨料；构建行业级大数据平台。持续创新理念与技术，才能筑牢建筑工程质量基石，推动建筑业高质量发展。

参考文献

- [1]赵丰杰.建筑工程中混凝土施工技术的质量控制研究[C]//广西网络安全和信息化联合会.第九届工程技术管理与数字化转型学术交流会论文集.宁波广工建设有限公司,2025:317-319.
- [2]冯遥,强裔.建筑工程中混凝土结构的施工质量控制[J].砖瓦,2023,(11):116-118+121.
- [3]江波,郑俊.工程建筑中混凝土结构施工技术及其质量控制[J].科技创新与应用,2023,13(20):163-166.
- [4]卞学春.建筑工程混凝土施工质量控制策略探析[J].城市建筑空间,2022,29(S2):434-435.