

建筑工程中混凝土结构检测及质量控制研究

郑浩

深圳建设集团股份有限公司 广东 深圳 518000

摘要：混凝土结构作为建筑工程的核心承载体系，其质量安全性和耐久性直接决定建筑的使用寿命与使用效益，是保障人居安全、维护社会公共利益的关键环节。随着建筑工程向高层化、大跨度、复杂化方向发展，混凝土结构面临的受力环境、环境侵蚀与使用需求愈发多元，传统依赖经验判断与事后补救的质量管控模式已难以适应现代工程的精准化、前瞻性要求。结构检测作为质量管控的核心手段，通过科学技术方法对混凝土强度、耐久性、完整性等关键指标进行量化评估，为质量诊断、风险预警与维护加固提供数据支撑。质量控制则贯穿设计、施工全流程，通过源头把控、过程干预与动态调整，从根本上规避质量隐患。基于结构工程学、材料科学与检测技术的交叉融合，系统剖析引起混凝土结构检测的核心动因，深入研究多元化检测方法的技术原理与应用适配性，构建全流程、多层次的质量控制体系，实现检测与管控的协同联动，为提升建筑工程混凝土结构质量、降低安全风险、延长建筑服役寿命提供理论依据与技术支撑。

关键词：混凝土结构；检测方法；质量控制

Research on Concrete Structure Inspection and Quality Control in Construction Engineering

Hao Zheng

Shenzhen Construction Group Co., Ltd., Guangdong, Shenzhen, 518000

Abstract: As the core load-bearing system of construction engineering, the quality, safety, and durability of concrete structures directly determine the service life and efficiency of buildings, and are key links in ensuring human habitation safety and maintaining social public interests. With the development of high-rise, large-span, and complex construction projects, concrete structures are facing increasingly diverse stress environments, environmental erosion, and usage requirements. The traditional quality control model that relies on empirical judgment and post remediation is no longer suitable for the precise and forward-looking requirements of modern engineering. Structural testing, as the core means of quality control, quantitatively evaluates key indicators such as concrete strength, durability, and integrity through scientific and technological methods, providing data support for quality diagnosis, risk warning, and maintenance reinforcement. Quality control runs through the entire process of design and construction, fundamentally avoiding quality hazards through source control, process intervention, and dynamic adjustment. Based on the cross integration of structural engineering, materials science, and testing technology, this study systematically analyzes the core driving forces behind concrete structure testing, deeply studies the technical principles and application adaptability of diversified testing methods, constructs a full process and multi-level quality control system, realizes the coordinated linkage between testing and control, and provides theoretical basis and technical support for improving the quality of concrete structures in construction projects, reducing safety risks, and extending the service life of buildings.

Keywords: concrete structure; Testing methods; quality control

引言

在建筑工程领域，混凝土结构凭借材料易得、施工便捷、承载能力强等优势，长期占据核心结构地位，广泛应用于住宅、桥梁、工业厂房等各类建筑中。随着“质量强国”战略与建筑工业化的深入推进，建筑工程对混凝土结构的质量要求日益严苛，传统检测方法存在的精度不足、效率低下、检测滞后等弊端愈发凸

显，质量控制也面临着从碎片化管控向全流程协同的转型压力。在此背景下，深入探究引起混凝土结构检测的本质原因，创新优化检测技术方法，构建科学完善的质量控制体系，实现检测与管控的深度融合，不仅能提升混凝土结构质量管控的精准性与有效性，更能推动建筑工程行业向高质量、可持续方向发展，具有重要的理论价值与现实意义。

1 引起混凝土结构检测的原因

1.1 结构自身性能自然衰减

混凝土结构在长期服役过程中，受材料自身特性与时间因素影响，会发生不可避免的性能衰减，这是引发检测需求的核心自然原因。混凝土作为多相复合材料，内部存在微小孔隙与界面过渡区，在长期荷载作用下，这些薄弱部位会逐渐发展形成微观裂缝，随着时间推移，微观裂缝不断扩展贯通，导致结构刚度下降、承载能力减弱。同时，混凝土的水化反应并非一次性完成，长期服役过程中缓慢的水化产物转化会引发体积变形，进一步加剧裂缝产生。钢筋作为混凝土结构的重要受力组件，在服役过程中会因钝化膜破坏发生锈蚀，锈蚀产物体积膨胀会导致混凝土保护层剥落，形成恶性循环，严重影响结构整体性与耐久性。这种性能衰减具有隐蔽性与渐进性特征，无法通过肉眼直接精准判断，必须借助专业检测技术进行量化评估，及时掌握结构性能状态。

1.2 外部环境因素侵蚀作用

混凝土结构所处的外部环境是引发质量问题、触发检测需求的重要外部动因。自然环境中的温湿度变化会导致混凝土产生热胀冷缩，反复的温度应力作用会破坏混凝土内部结构，引发温度裂缝；降雨、降雪、地下水等水分侵入会溶解混凝土内部的碱性物质，破坏钢筋钝化膜，加速钢筋锈蚀，同时水分与有害物质的渗透会降低混凝土强度与耐久性。工业环境中的酸碱盐溶液、腐蚀性气体等会与混凝土发生化学反应，导致混凝土碳化、碱骨料反应、硫酸盐侵蚀等病害，破坏混凝土结构的化学稳定性。此外，地震、台风、暴雨等自然灾害会对混凝土结构造成突发性损伤，引发裂缝、变形甚至结构局部破坏，灾后必须通过全面检测评估结构损伤程度，为修复加固提供依据。复杂多变的外部环境使混凝土结构面临多重侵蚀风险，需通过定期检测及时发现损伤隐患。

1.3 设计与施工环节偏差影响

设计与施工阶段的各类偏差的累积，是导致混凝土结构出现质量缺陷、需要通过检测验证的关键人为因素。设计环节中，若荷载取值不合理、结构体系选型不当、配筋设计不足，或未充分考虑环境因素对结构的影响，会导致结构设计与实际受力需求不匹配，在使用过程中易出现应力集中、承载能力不足等问题。施工环节的偏差更为直接，混凝土原材料质量不合格、配合比设计不当会影响混凝土强度与工作性能；搅拌不均匀、浇筑振捣不密实会导致混凝土内部出现蜂窝、孔洞、疏松等缺陷；养护不及时或养护措施不到位会影响混凝土水化进程，导致强度偏低、表面开裂；钢筋安装位置偏差、保护层厚度不足会降低结构受力性能与耐久性。这些设计与施工偏差可能在结构建成初期未显现明显问题，但在长期使用过程中会逐渐暴露，需通过检测精准定位缺陷位置与程度。

2 建筑工程中混凝土结构检测方法

2.1 无损检测技术

无损检测技术凭借不损伤结构、检测效率高、可大面积应用的优势，成为混凝土结构检测的主流方法，核心包括超声回弹综合法、雷达探测法与红外热成像法。超声回弹综合法基于超声波传播速度与混凝土强度的相关性、回弹值与混凝土表面硬度的关联，通过双重指标协同计算，消除单一检测方法的局限性，提升混凝土强度检测精度，适用于结构整体强度普查。雷达探测法利用电磁波的传播与反射原理，向混凝土内部发射高频电磁波，通过分析反射波的传播时间、幅值与频率变化，可精准定位钢筋位置、保护层厚度、内部孔洞、裂缝等缺陷，检测过程快速便捷，结果直观形象^[1]。红外热成像法通过捕捉混凝土表面的温度场分布，利用缺陷部位与正常部位的热传导差异形成热像图，可有效检测混凝土内部空鼓、渗漏通道、裂缝等缺陷，尤其适用于大面积结构表面与隐蔽部位检测。无损检测技术的创新方向在于多技术融合，通过数据互补提升检测精度，同时结合数字化技术实现检测数据的实时传输与智能分析。

2.2 微损与破损检测技术

微损与破损检测技术通过对结构进行局部微小损伤或取样分析，获取混凝土内部深层性能参数，作为无损检测结果的验证与补充，核心包括钻芯取样法、拔出法与后装拔出法。钻芯取样法直接从混凝土结构中钻取圆柱形芯样，通过实验室抗压强度试验获取混凝土实际强度，检测结果真实可靠，是混凝土强度检测的“金标准”，适用于对无损检测结果有异议或需精准评估强度的场景，但取样过程会对结构造成局部损伤，需控制取样数量与位置^[2]。拔出法通过测量拔出锚固件所需的力，间接推算混凝土表层强度，检测过程对结构损伤较小，适用于已成型结构的强度检测。后装拔出法无需在混凝土浇筑时预埋锚固件，可在任意时间对既有结构进行检测，灵活性强，适用于老旧建筑检测与质量事故鉴定。这类检测方法的关键在于规范操作流程，减少检测对结构的影响，同时通过多点检测与数据统计分析，确保检测结果的代表性与准确性。

2.3 数字化监测技术

数字化监测技术依托物联网、传感技术与大数据分析，实现混凝土结构性能的实时、连续、动态监测，突破传统检测的时间与空间限制，核心包括光纤传感监测、无线传感器网络监测与BIM+监测技术。光纤传感监测利用光纤的光传输特性，将光纤传感器预埋或粘贴于混凝土结构内部，可实时监测结构应变、温度、裂缝发展等参数，具有灵敏度高、抗干扰能力强、可分布式监测的优势^[3]。无线传感器网络监测通过在结构关键部位部署无线传感器节点，采集混凝土强度发展、钢筋锈蚀、环境温湿度等数据，经无线传输至监测平台，实现数据的集中管理与分析预警。

BIM+监测技术将监测数据与BIM模型深度融合，构建结构数字孪生体，直观呈现结构性能状态与损伤发展趋势，为决策提供可视化支撑。数字化监测技术的创新价值在于实现从“定期检测”向“实时监测”的转型，通过数据驱动的风险预警，提升质量管控的前瞻性与主动性。

2.4 专项性能检测技术

专项性能检测技术针对混凝土结构的特定质量指标或缺陷类型，进行针对性检测评估，核心包括耐久性检测、裂缝检测与钢筋锈蚀检测。耐久性检测聚焦混凝土抵抗环境侵蚀的能力，通过检测混凝土碳化深度、氯离子含量、碱骨料反应程度等指标，评估结构长期服役的耐久性潜力，为运维策略制定提供依据。裂缝检测采用裂缝宽度仪、裂缝深度仪等专业设备，测量裂缝的宽度、深度、长度与分布情况，结合结构受力状态分析裂缝成因与发展趋势，判断是否影响结构安全。钢筋锈蚀检测通过电磁感应法、极化电阻法等技术，检测钢筋锈蚀程度、锈蚀速率与位置，评估钢筋对结构承载能力的影响。专项性能检测技术的关键在于根据结构实际情况与检测目的，选择适配的检测方法，实现缺陷的精准诊断与性能的全面评估。

3 建筑工程中混凝土结构施工质量控制的措施

3.1 源头管控

源头管控是混凝土结构质量控制的基础，核心在于材料质量把控与设计方案优化。材料质量管控需建立全链条追溯体系，严格筛选混凝土原材料供应商，对水泥、砂石、外加剂、钢筋等原材料进行进场检验，核查质量证明文件与性能检测报告，确保原材料符合设计要求；优化混凝土配合比设计，根据结构性能需求、施工工艺与环境条件，通过试验确定最佳配合比，兼顾强度、工作性能与耐久性，同时添加适量矿物掺合料与高效外加剂，改善混凝土内部结构，提升抗裂与抗渗性能^[4]。设计方案优化需充分考虑结构受力特性与环境适应性，合理选择结构体系与构件形式，精准计算荷载与配筋，避免设计冗余或不足；引入BIM技术进行设计碰撞检查，优化构件布置与节点设计，减少施工过程中的设计变更；针对复杂环境或重要结构，增加耐久性设计措施，如提高混凝土强度等级、增加保护层厚度、采用防腐涂层钢筋等，从源头降低质量风险。

3.2 过程管控

过程管控是质量控制的核心环节，通过规范施工工艺、强化过程监督，确保施工质量符合设计标准。混凝土搅拌阶段需严格按照配合比计量原材料，控制搅拌时间与搅拌顺序，确保混凝土搅拌均匀，工作性能达标；浇筑阶段需根据构件类型选择合适的浇筑方式，控制浇筑速度与分层厚度，采用插入式振捣器或平板振捣器进行振捣，确保振捣密实，避免漏振、过振导致的缺陷；养护阶段需制定针对性养护方案，根据环境温度、湿度与混凝土类

型，选择覆盖保湿、洒水养护或蒸汽养护等方式，控制养护时间（不少于14天），确保混凝土水化充分，强度稳步发展。钢筋工程施工需严格控制钢筋加工精度，确保钢筋规格、长度、弯钩角度符合设计要求；安装过程中采用定位支架固定钢筋位置，保证钢筋间距与保护层厚度准确，避免钢筋位移；钢筋连接需选择合适的连接方式（焊接、机械连接等），规范连接工艺，确保连接强度达标。施工过程中建立旁站监督制度，对关键工序进行全程跟踪，及时纠正违规操作。

3.3 检测管控

检测管控通过实时检测数据反馈施工质量，形成“检测—分析—调整”的闭环管控机制。施工过程中开展平行检测与见证取样检测，对混凝土坍落度、扩展度等工作性能进行现场检测，及时调整配合比；按规范要求制作混凝土试块，进行标准养护与同条件养护，定期检测混凝土强度发展情况，判断是否满足后续施工要求^[5]。利用数字化监测技术对混凝土水化热、结构应变、钢筋应力等参数进行实时监测，当监测数据出现异常时，及时分析原因，采取调整浇筑速度、加强养护、优化施工顺序等措施，避免质量缺陷产生。建立检测数据共享平台，整合各类检测数据，通过大数据分析识别质量波动规律，预判潜在质量风险，提前制定防控措施。同时，针对检测发现的质量缺陷，及时组织专家论证，制定科学的处理方案，确保缺陷得到彻底整改，避免遗留质量隐患。

结语：建筑工程混凝土结构的检测与质量控制是保障建筑安全、提升工程品质的核心抓手，贯穿结构全生命周期的各个环节。本文通过系统分析结构性能衰减、外部环境侵蚀、设计施工偏差、使用需求变更等检测动因，深入研究无损检测、数字化监测等多元检测方法的技术特性，构建了“源头—过程—检测”全流程质量控制体系，实现了检测与管控的协同联动。未来，随着AI、大数据、数字孪生等技术与结构工程的深度融合，混凝土结构检测将向智能化、精准化方向发展，质量控制将实现全生命周期的数字化、可视化管理，为建筑工程行业的高质量发展提供更坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 邱宜灯.探讨建筑工程中钢筋混凝土结构施工质量控制策略[J].建筑与预算,2023,(10):55-57.
- [3] 江波,郑俊.工程建筑中混凝土结构施工技术及质量控制[J].科技创新与应用,2023,13(20):163-166.
- [4] 闫硕.多角度论述工程建筑中混凝土结构施工技术及质量控制[J].居舍,2023,(18):81-83.
- [5] 许广平,许宇琛.土木工程建筑中混凝土结构的施工技术及质量控制对策[J].居业,2022,(01):13-15.