

超高层建筑用高性能混凝土材料的耐久性检测方法研究

岳喜智

淮北职业技术学院, 安徽 淮北 235000

DOI:10.61369/ERA.2026050021

摘 要： 超高层建筑加快了城市化进程的步伐，其服役周期较长，所处环境复杂度高，对高性能混凝土这一核心材料的耐久性设定了严苛的质量要求，混凝土结构若耐久性不强，易受裂缝、碳化及钢筋锈蚀之害，对高层建筑结构安全构成直接冲击，缩短服役年限。本文对超高层建筑服役期间的表现特点进行探讨，深入挖掘影响高性能混凝土耐久性的核心要素，探讨碳化、氯离子侵害、冻融破坏、硫酸盐侵蚀等关键病害的检测技术路径，研究检测方法的原理、实施细节、应用领域及精度保障手段，依托工程实例，验证检测技术的实际应用价值，建议对检测流程实施优化，科学依据与技术支撑是高层建筑高性能混凝土耐久性检测的依托，保证检测结果真实反映混凝土耐久性的实际水平，维护超高层建筑结构的长久稳定与安全。

关 键 词： 超高层建筑；高性能混凝土；耐久性；检测方法；结构安全

Research on Durability Testing Methods for High-Performance Concrete Materials Used in Super High-Rise Buildings

Yue Xizhi

Huaibei Vocational and Technical College, Huaibei, Anhui 235000

Abstract： Super high-rise buildings have accelerated the pace of urbanization. Given their long service life and the complexity of their operating environments, stringent quality requirements are imposed on the durability of high-performance concrete, a core material used in these structures. If the concrete structure lacks sufficient durability, it is prone to damage from cracking, carbonation, and steel reinforcement corrosion, directly impacting the structural safety of high-rise buildings and shortening their service life. This paper explores the performance characteristics of super high-rise buildings during their service periods, delves into the key factors influencing the durability of high-performance concrete, and discusses the technical approaches for detecting critical defects such as carbonation, chloride ion attack, freeze-thaw damage, and sulfate attack. It examines the principles, implementation details, application areas, and accuracy assurance measures of various testing methods. Based on engineering case studies, the paper verifies the practical application value of these testing technologies and suggests optimizing the testing procedures. Scientific evidence and technical support are essential for the durability testing of high-performance concrete in high-rise buildings, ensuring that the test results accurately reflect the actual durability level of the concrete and maintaining the long-term stability and safety of super high-rise building structures.

Keywords： super high-rise buildings; high-performance concrete; durability; testing methods; structural safety

引言

城市化的进程愈发迅速，超高层建筑数量稳步增长，其结构体量惊人、自重承重能力高、工作环境复杂多变，混凝土性能需求超越一般建筑标准甚多，高性能混凝土以其高强度、高抗渗性及优良的工作性能脱颖而出，成为超高层建筑结构中的首选建材，其耐用性受环境因素、材料配比、施工技术等多重条件所限，易受老化侵蚀。超高层建筑服役周期一般超过百年，若混凝土的耐久性遭遇挑战，维修作业繁复、成本投入高，或许会引发安全事件，探讨超高层建筑高性能混凝土耐久性检测技术前景，精准锁定耐久性潜在缺陷，及时采取防控行动，对超高层建筑结构安全维护与延长其使用年限具有现实意义。

课题信息：安徽省教育厅2024年自然科学重点项目（2024AH051706）；安徽省教育厅2025年自然科学重点项目（2025AHGXZK30733）；安徽省质量工程项目（2024jyxm1153）。

作者简介：岳喜智（1996.12—），男，汉族，安徽淮北人，工学硕士，淮北职业技术学院 助教，研究方向：混凝土 固废利用。

一、超高层建筑用高性能混凝土的耐久性特征及核心影响因素

（一）高性能混凝土的耐久性核心特征

超高层建筑所采用的优质混凝土与一般混凝土相较，耐久性上独领风骚，其特性主要体现在高防渗、高耐冻、高抗侵蚀以及减缓碳化速度上，混凝土性能更上一层楼，引入矿物混合剂与高效外加剂，调整水胶配比系数，提升内部结构的紧凑度，孔隙率大幅削减，有效阻绝水分、氯离子等有害介质的入侵。其水化反应更为彻底地释放出活力，界面过渡部分结构得到优化升级，抗裂性能明显提升，适应超高层建筑在风压、温度变化、雨雪侵袭等复杂环境中的长期使用挑战，与一般混凝土相较量，超高层建筑所采用的混凝土，其抗渗能力一般都能达到 P12 等级以上，冻融循环次数可突破 500 次大关，碳化速率降幅超三成，有效遏制钢筋锈蚀及结构老化的速度。

（二）耐久性核心影响因素

超高层建筑采用的高性能混凝土，其耐久性受多因素耦合制约，基本构成可划分为物质属性和外部条件两大类，材料内在组成要素范畴，水胶配比乃核心参数，混凝土收缩开裂，低标准难辞其咎，过大的数值将削弱结构的紧密度，高层建筑所用高性能混凝土的水胶比一般维持在 0.28 至 0.4 的比例区间。矿质添加剂的品种及其掺加量对耐久性有显著影响，混凝土内部结构的优化，粉煤灰、硅灰、矿渣粉等掺合料功不可没，增强对侵蚀的抵御力，但若掺量超限，将妨碍初期强度提升，外加剂挑选需与混凝土成分相契合，合理施用减水剂及引气剂，大幅增强抗渗及抗冻能力，若挑选失误，可能引发不良后果。外部环境相关要素剖析，高层建筑高空环境中的强风及温差剧烈变化，沿海地带的氯离子侵害现象，极地气候中的冻融变换循环。

二、超高层建筑用高性能混凝土耐久性专项检测方法研究

（一）碳化耐久性检测方法

高性能混凝土在超高层建筑中，耐久性问题多与碳化现象紧密相连，空气中的二氧化碳与混凝土的氢氧化钙相接触反应，改变混凝土的碱性成分配比，破坏钢筋钝化层，引起钢筋锈蚀情况，解析超高层建筑之特性，对碳化持久性实施现场抽样与无损检测的融合检验，本方法以酚酞试剂滴定及回弹 - 碳化法为检测手段。酚酞滴定在实地检测中占据主导地位，超高层建筑混凝土结构的关键部分，操作关键点鲜明，运用钻芯法实施样本挖掘，钻芯作业中，留意混凝土内部结构的保护，直径取值维持 100 毫米，构件厚度与高度同模，对样品实施磨光作业，逐步滴加 1% 的酚酞指示液，静候 1 至 2 分钟，审视颜色变化轨迹，非着色部分即碳化地带，采用游标卡尺量取碳化层深度，每个样本于三个独立点进行量度，采用算术平均法得出碳化深度之平均值，直接显现混凝土碳化深浅，采样可能引发结构上的微小破坏，必须对样本选取的数量及位置进行限定，优先选取非承重结构模块。该检

测技术——回弹碳化法，适用于难以进行样本采集的关键承重结构，以回弹仪为工具测定混凝土的强度水平，聚拢碳化层深度检验成果，建立强度与碳化层深度间的匹配模型，探讨混凝土碳化耐久性的间接评价途径，在检测区平均设置 16 个回弹检测点，求取回弹均值，在该区域对小直径芯样实施碳化层深度检验作业，实施回归模型剖析，调整回弹力度水平，同步探讨碳化对混凝土强度影响的根源性，此技术无需进行大面积样本考察，结构损害微乎其微，检测成效超凡，适用于高层建筑高空检测技术，须预先构建与本工程高性能混凝土匹配的回弹 - 碳化关系曲线，维持检测的精确标准。

（二）氯离子侵蚀耐久性检测方法

沿海超高层建筑耐久性面临的主要挑战是氯离子侵蚀高性能混凝土，氯离子潜入混凝土内部深层，钢筋钝化膜遭破坏，加快钢筋锈蚀步伐，混凝土表面出现裂缝，氯离子侵害检测手段分析综述，主要采用氯离子浓度检测技术与氯离子扩散系数检测技术，保证检测结果真实反映氯离子渗透深度与扩散速度。氯离子检测技术主要分为现场采集与原位检测两种模式，现场实施样本检验行动，在混凝土结构不同深度层段实施芯样钻取作业，对芯样施行破碎、研磨与筛分作业，执行硝酸银滴定技术测定氯离子含量水平，参照氯离子浓度分布格局，评估氯离子渗透的深度水平。务必对样品研磨的精度实施严格限制，抵制杂质侵扰，检测点至少应选取三个平行样本以供核实，维持检测结果的精确性，原位检测采用氯离子选择电极技术手段，将电极插入混凝土预制的洞窟，利用检测设备读取氯离子浓度数值，该手段实施简捷，实现连续监测普遍化，超高层建筑高空大面积检测的适宜性探讨新前沿，先校准电极，抵消环境温湿度对检测成果的干扰。评估混凝土抗氯离子渗透性能的关键手段是氯离子扩散系数测定法，实施电迁移工艺，选取混凝土规范试块，放入电迁移检测装置之内，施加直流电压（稳定电压施加），评估特定时段氯离子迁移的量，求解扩散率，超高层建筑所采用的高性能混凝土，其氯离子扩散系数需低于 $1.0 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ ，若检测数值越界，说明混凝土对氯离子侵蚀的抵抗能力有限，必须采取防腐作业程序，该技术检测效果精准无比，量化混凝土对氯离子侵蚀的防御力，试验程序繁复，适宜实验室与实地采样检测相融合，工程防控需数据作为后盾。

（三）冻融破坏耐久性检测方法

应对严寒挑战的超高层建筑实施路径，冻融作用是混凝土耐久性退化的关键诱因，混凝土微隙中水结冰后体积增大，内部压力产生，长期作用下，混凝土表面脱落，结构强度降低，针对耐久性，冻融破坏的检测主要采用快速冷冻与缓慢冷冻两种手段，实地外观全面审查分析，全面检验混凝土的耐寒特性。实验室检测中速冻技术独领风骚，采集混凝土规范试件，存入低温实验装置内，维持实验温度区间于 -18°C 至 5°C ，每次冻融周期限定于 2 至 4 小时之间，完成规定次数冻融循环周期性操作后，评估混凝土质量降低指标与动弹模量保留比，超高层建筑结构材料，采用 500 次冻融循环的高性能混凝土，质量损耗率须严守 5% 的警戒线，动弹模量保留率至少以 80% 为基准，该技术检测效果非凡，迅速

鉴定混凝土的抗冻表现，为工程设计与材料选择提供路径依据。缓慢冷冻法更贴近实际服役环境，适用于现场实地检验，混凝土试件在自然冻融条件下实施放置，定期对试件质量与强度进行跟踪，追踪冻融交替的次数，直至样品暴露明显损坏征候，实地检测混凝土结构表面，留意是否有剥落、裂隙、砂化等异常。

（四）硫酸盐侵蚀耐久性检测方法

侵蚀主要在硫酸盐介质环境中展开，混凝土水化反应产物与硫酸盐产生反应并结合，合成膨胀性分子团簇，导致混凝土出现裂缝、强度减弱，超高层建筑的地下部分及外墙结构遭受显著破坏。针对硫酸盐侵蚀耐久性的检测，主要采用浸泡及强度对比两种检测手段，以精确分析混凝土抗硫酸盐侵蚀的抵抗力。浸泡法对混凝土标准试件进行筛选，将其置于既定浓度的硫酸盐溶液中浸泡处理，规范浸泡的温度和时长参数，周期性地检测样本的重量、硬度及膨胀度。对于采用高强混凝土的超高层建筑，实施5%硫酸钠溶液浸泡法，180天浸泡已告一段落，强度减少幅度不得超出10%，膨胀比上限设定为0.02%。本技术模拟了硫酸盐侵蚀的实质演变，评估结果直观显示，是检验混凝土长期抗硫酸盐侵蚀效果的技术手段。通过硫酸盐浸泡前后的强度差异，强度测试法展现了混凝土试件的耐久性变化，可探讨硫酸盐侵蚀对混凝土耐久性的破坏性作用。选择两对相仿的混凝土实验样品，一组作为对照样本群，置于标准养护环境中；另一组作为实验样本群，置于硫酸盐溶质浸泡情形，步入既定时间阶段，分别对两份样本进行抗压强度测试分析，计算负荷损耗比，衰减强度比偏低，说明混凝土对硫酸盐侵蚀的防护能力更强。

三、工程实例应用与检测方法优化

（一）工程实例应用

以320米高楼为样本，该建筑群坐落于海岸线附近，建筑核心部分采用C70级的高性能混凝土。五年使用期限告一段落，实施耐久性核查，采用本研究提出的检测途径，对混凝土的碳化现象、氯离子侵蚀、冻融作用及硫酸盐腐蚀性能进行细致检验。检验结果显示，平均碳化厚度为3.2毫米的混凝土，未达规范边界；氯离子扩散的量值为 0.8×10^{-12} 平方米每秒，300次冻融往复结束，质量降低比例为2.1%，动态模量保持度高达88%，低温抵御

力佳；180日硫酸盐浸泡作业，衰减强度占比为7.3%，达到设计规格，归纳检测反馈，研究数据证实，该建筑所用高性能混凝土的耐久性表现良好，仅对氯离子含量局部过高的区域实施防腐作业，本检测方法验证有效，实用性与精确度得到证实。

（二）检测方法优化建议

超高层建筑具有高大、结构复杂、高空作业难度大及服役环境多变的特点，亦借鉴该工程案例的检测教训，探讨高性能混凝土耐久性检测技术的优化路径，献上以下切实可行的实施对策与实施计划，形成一套专门的检测体系，考量超高层建筑所在区域（诸如沿海、严寒地带、工业区）的多样性。一是严格界定检测核心内容，杜绝无目标检测活动。沿海建筑检测需特别强化氯离子侵蚀的检测效果跟踪，针对严寒地带，加大冻融破坏检测的投入，增强检测效能、减少检测成本支出。四是对抽样流程进行精炼，明确划分承重结构与辅助结构，优先对非承重结构部位实施样本搜集，对小直径钻芯取样的关键承重结构实施质量检验，减少对结构承载力的侵害，采用原位检测技术途径，实现取样与原位检测的相互配合，兼顾检测精确度与结构稳固性要求的平衡。三是采纳智能检测技术，探讨超高层建筑高空检测的挑战性，无人机搭载高分辨率视觉及检测器，远程监控高空结构，实时进行数据采集，减少高空作业潜在风险系数，同步实施智能监控系统对混凝土耐久性参数的持久追踪，增进检测效率与数据精准度。

四、结论

超高层建筑采用的高性能混凝土耐久性，受材料内在属性及外界环境双重因素制约，主要病害涉及碳化现象、氯离子侵害、冻胀破坏及硫酸盐侵害；各类病害的特定检测技术各有其侧重点，通过酚酞滴定、氯离子选择性电极、快速冷冻及浸泡等手段，可精确检测混凝土的耐久性等级，依托工程实例进行核实，这些手段既实用又精准可靠；对检测流程进行优化、采用智能化技术支持，大幅提高检测的效率与精度，研究高层建筑高性能混凝土耐久性防控的科学原理，高层建筑的发展趋势正逐步向更高、更复杂转变，对高性能混凝土耐久性能的考核要求将逐步升级，未来耐久性检测技术应走向智能化、精确化、全流程化道路。

参考文献

- [1] 周鹤峰. 高品质住宅建筑工程中混凝土材料质量检测技术及其应用研究 [J]. 居舍, 2026, (04): 40-42.
- [2] 何文坚. 超高层建筑用高性能混凝土材料的耐久性检测方法研究 [J]. 科学技术创新, 2026, (03): 145-148.
- [3] 高爽. 基于绿色建筑的混凝土材料耐久性与检测技术研究 [J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24 (11): 73-75.
- [4] 朱栓喜. 复杂环境下混凝土材料耐久性检测技术及其评估体系优化研究 [J]. 居舍, 2025, (13): 75-77+81.
- [5] 王剑英. 建筑工程实体检测中建筑材料检测技术应用要点研究 [J]. 石材, 2025, (05): 134-136.