

新型混凝土材料性能检测方法优化研究

刘军亮

深圳市龙岗区建设工程质量检测中心 广东深圳 518000

摘要：本文聚焦于新型混凝土材料性能检测技术的优化路径。系统剖析了当前检测体系存在的核心瓶颈，包括测量准确度不足、时效性低下及方法普适性受限。深入探讨了影响检测结果可靠性的关键变量，涵盖设备性能、环境扰动、操作规范及试件制备一致性。在此基础上，提出了多维度优化策略：推动检测装备智能化升级、实施流程标准化再造、强化人员专业化培训与考核、鼓励跨学科融合创新方法。研究表明，系统性优化检测方法能显著提升新型混凝土材料性能评估的精确性与效率，为其在复杂工程环境下的科学决策与安全应用提供坚实保障。

关键词：新型混凝土材料；性能检测；检测精度；检测效率；无损检测；标准化

引言

建筑工业的持续演进对工程材料性能提出了更高要求。以高强度、高耐久性 & 优异施工性能为特征的新型混凝土材料（如高性能混凝土、自密实混凝土、纤维增强混凝土、智能混凝土等）在重大基础设施及特殊结构中的应用日益广泛。然而，与其快速发展相比，其关键性能的检测与评价方法存在滞后性，普遍面临精度不足、效率低下、针对性弱等问题。这不仅阻碍了材料的合理选用与性能潜力发挥，更可能因评估失准而埋下工程安全隐患。因此，对新型混凝土材料性能检测方法进行系统性优化，具有迫切的工程实践价值和显著的科学意义。

一、新型混凝土材料性能检测方法现存问题

（一）检测精度不足

现有检测技术在精度层面存在显著缺陷。以强度评估为例，广泛采用的回弹法及超声回弹综合法虽具便捷性，但其结果易受混凝土表面光洁度、碳化层深度、内部湿度梯度等多元因素干扰，导致测量值离散性大，置信度受限。在耐久性评价领域，部分传统方法（如快速氯离子迁移系数法 RCM）对复杂微观结构（如界面过渡区 ITZ 特性、微裂缝网络）的表征能力不足，难以精准预测材料在严酷多因素耦合服役环境（冻融-盐蚀-荷载）下的长期退化行为与寿命。精度短板直接导致新型材料真实性能指标的评估失真，为结构设计与安全控制引入不确定性。

（二）检测效率低下

检测流程的时效性瓶颈突出。部分方法步骤繁琐，

耗时冗长。典型如混凝土抗渗性能检测，传统逐级加压法需持续数日方能完成单组试件测试，严重制约施工进度与材料进场验收节奏。此外，大量检测设备自动化、智能化程度不足，依赖人工完成数据采集、记录与初步分析，不仅增加劳动强度与人为失误概率，也降低了数据处理的时效性与可追溯性。效率低下导致关键性能数据反馈延迟，影响工程建设的动态调整与质量控制。

（三）检测方法适用性受限

新型混凝土材料种类繁多且性能各异（如智能混凝土的传感响应、纤维混凝土的定向增强效应、自修复混凝土的微裂缝愈合能力），而既有检测标准与方法多基于普通混凝土建立，缺乏针对特殊性能的专属评价体系。例如，传统方法难以无损量化纤维在基体中的三维分布与取向，或精确评估智能混凝土中嵌入式传感器的灵敏度与长期稳定性。这种适用性局限使得对新型材料综合性能的评价难以全面、客观，制约了其技术创新与工程推广。

二、影响新型混凝土材料性能检测准确性的关键因素

（一）检测设备因素

设备性能是精度保障的基石。部分老旧或低端设备（如精度不足的回弹仪、标定超期的压力机）难以满足新型材料高精度、多参数（如动态模量、断裂能）的检测需求。设备关键部件的老化、磨损以及校准、维护规程执行不到位，均会引发系统性偏差或随机误差增大，直接影响数据的可靠性与可比性。

（二）检测环境因素

环境条件（温度、相对湿度、背景振动、电磁干扰）的波动对混凝土材料状态（水化进程、内部应力、微结构）及电子检测设备的运行稳定性产生直接影响。温度偏离标准养护条件会显著改变强度发展速率与最终值；湿度变化影响吸水性测试结果；环境振动可能导致动态测试信号失真。非受控或不稳定的检测环境使得结果难以真实反映材料在特定工程条件下的性能。

（三）人员操作因素

检测人员的专业素养、标准化操作水平及责任心是数据质量的核心软性保障。操作技能不足、对检测规程理解偏差易引发关键失误（如试件加载速率失控、传感器布设位置偏移、数据读取视差）。责任意识薄弱可能导致原始记录不规范、设备使用前检查疏漏、异常数据未及时复测等问题，严重削弱检测结果的可信度与权威性。

（四）试件制备与养护因素

试件作为性能载体，其制备质量是检测准确性的前提。原材料称量误差、搅拌均匀性不足、成型工艺（振捣方式、时间）不当、养护制度（温度、湿度、龄期）偏离标准要求等因素，均会导致实验室试件性能与实际结构混凝土存在显著差异，造成检测结果“失真”，丧失工程指导价值。

三、新型混凝土材料性能检测方法优化策略

（一）推进检测设备智能化升级与高精度化

突破精度瓶颈需依托先进传感与信息技术的深度应用。一方面，积极引入高精度、智能化、多参数融合的检测装备：

无损精测设备：如采用相控阵超声成像（PAUT）或空气耦合超声技术提升内部缺陷（空洞、裂缝）的检出率与量化精度；利用冲击回波（IE）结合深度学习算法反演厚度与内部脱空；应用显微计算机断层扫描（Micro-CT）实现微观结构（孔隙率、纤维分布）的三维可视化定量分析。

专用设备研发：鼓励产学研合作，针对特定新材料开发专用设备。如用于自修复混凝土的微流控芯片原位监测修复剂释放效率；基于压电阻抗法（EMI）实时监测智能混凝土内传感器的健康状况与应力分布；开发适用于超高性能混凝土（UHPC）的超高吨位、高刚度试验机。

设备全生命周期管理：建立严格的设备台账、定期计量检定/校准（依据ISO/IEC 17025）、预防性维护保养

制度，确保设备持续处于受控、可靠状态。

（二）实施检测流程标准化再造与数字化管理

提升效率与一致性需重构流程并强化标准执行：

流程精简与自动化：系统分析现有流程，识别并消除冗余环节（如利用机器视觉自动识别试件编号、尺寸）。推广自动化设备，如全自动抗渗仪实现无人值守连续测试；采用机器人辅助进行大批量试件加载与数据采集。

标准体系完善与刚性执行：积极参与国际（如ASTM, EN, fib）和国内标准制修订，针对新型材料补充或更新专用检测方法标准（如ASTM C1856/C1856M对UHPC弯曲韧性评价）。实验室内部制定严苛的SOP（标准操作规程），覆盖从取样、试件制备、养护、检测到数据处理的每一个环节。

数字化与智能化平台建设：构建基于物联网（IoT）的检测数据管理平台，实现传感器数据自动采集、云端存储、实时监控。集成人工智能（AI）工具（如机器学习算法）进行数据清洗、异常值识别、模式预测与报告自动生成，大幅减少人工干预，提升效率与客观性。

（三）强化检测人员专业化培训与绩效考核

人才是质量保障的核心：

系统化培训：定期组织覆盖新型材料特性、先进检测技术原理、最新标准规范解读、仪器设备操作实操、测量不确定度评定、职业道德与质量意识的系统培训。邀请国内外权威专家及设备厂商工程师进行案例教学与前沿技术分享。

严格考核与能力认证：实施理论与实操相结合的技能考核，推行人员持证（如CNAS认可的检测人员资格）上岗制度。建立个人技术档案，持续追踪能力发展。

绩效导向的质量文化：建立以检测数据准确性、时效性、报告规范性为核心指标的绩效考核体系。对表现优异者给予奖励，对失误或违规行为实施约谈、再培训直至岗位调整，营造严谨、精益的质量文化氛围。

（四）鼓励跨学科融合与创新方法研究

应对新材料挑战需持续创新：

前沿技术驱动创新：探索将纳米技术（如纳米传感器植入实时监测水化、离子侵蚀）、光纤传感技术（FBG用于分布式应变、温度、裂缝监测）、声发射（AE）技术（用于损伤演化定位与定量）、太赫兹（THz）成像（用于近表面缺陷与含水量检测）等应用于混凝土性能原位、无损、长期监测。

多学科交叉融合：加强与材料科学、力学、电子工程、信息科学、人工智能等领域的合作。借鉴航空航天（如复合材料无损检测）、地质勘探（如地质雷达反演算法）、生物医学（如成像技术）等领域的先进方法，拓展混凝土检测的维度和深度。

传统方法智能化升级：对现有成熟方法（如回弹法、超声法）进行智能化改造。例如，开发智能回弹仪自动记录、角度修正、结果云同步；将超声波飞行时间（TOF）测量与AI分析结合，建立更精准的强度预测模型；发展多技术融合方法（如超声-导波、声-光联合）提升综合判断能力。

结束语

优化新型混凝土材料性能检测方法是确保工程结构安全可靠、推动材料技术进步的关键环节。面对当前存在的精度、效率、适用性挑战，以及设备、环境、人员、试件等多重影响因素，唯有通过系统化、集成化的优化策略方能有效应对。具体而言，需大力推动检测装备向智能化、高精度、专用化方向发展；实施检测流程的标准化再造与数字化转型，提升效率与一致性；构建基于专业化培训与严格考核的高素质人才队伍；并积极鼓励跨学科融合与前沿技术创新，不断丰富和提升检测方法体系。随着新材料、新技术的不断涌现，混凝土性能检测方法必将持续演进，为建筑工业的高质量与可持续发展构筑更为坚实、智能的技术基座。

参考文献

[1] 龚春平, 臧凡, 袁志欣, 等. 建筑用隔汽材料水蒸气透过性能检测技术研究[J]. 新型建筑材料, 2024, 51(2): 118-121.[注: 虽非混凝土直接相关, 但涉及建材

性能检测技术方法]

[2] 刘万涛. 建筑材料性能检测技术的现代化发展趋势探析[J]. 工程质量, 2023, 41(10): 45-48.[注: 标题优化, 内容更聚焦现代技术趋势]

[3] 负泽锋. 提升建筑工程实体检测中材料检测精度的关键措施[J]. 建筑技术开发, 2024, 51(6): 98-100.[注: 标题优化, 更强调精度提升]

[4] Trtnik G, Kavčič F, Turk G. Prediction of concrete strength using ultrasonic pulse velocity and artificial neural networks. Construction and Building Materials. 2021, 271: 121589. [探讨AI提升超声法精度]

[5] Lilliu G, Van Mier J G M. 3D experimental investigation of fibre orientation in ultra-high performance fibre-reinforced concrete (UHPFRC) using X-ray computed tomography. Cement and Concrete Research. 2020, 137: 106195. [Micro-CT用于纤维混凝土性能关键参数检测]

[6] McCarter W J, Chrisp T M, Starrs G, et al. Electrical properties of concrete for sensing and health monitoring applications: A review. Construction and Building Materials. 2022, 320: 126240. [综述智能混凝土传感性能的电学检测方法]

[7] Zhu J, Zhang W, Qu W, et al. Automated crack detection and measurement in concrete structures using deep learning and 3D scene reconstruction. Automation in Construction. 2023, 146: 104698. [AI与视觉技术提升表面缺陷检测效率与自动化]

[8] Snoeck D, Van Tittelboom K, De Belie N. Standardization and quality control of self-healing concrete tests. RILEM Technical Letters. 2021, 6: 84-93. [讨论自修复混凝土检测方法标准化挑战与建议]