

# Construction of quality testing standard system for green building engineering and its practice

Ye Dong

Jinchuan Nickel and Cobalt Research and Design Institute, Jinchang, Gansu, 737100, China

## Abstract

In the context of the global sustainable development strategy, green buildings, as a key component in the low-carbon transformation of the construction industry, have seen the improvement of their quality control systems become an industry consensus. To address the practical needs for quality testing in China's green building projects, this study analyzes the current testing standards through literature review and empirical research, identifying structural issues in indicator alignment, technology application, and evaluation mechanisms. The study innovatively proposes a three-dimensional framework: 'full life cycle-technology integration-collaborative governance'. This framework integrates BIM + IoT intelligent monitoring technology with traditional testing methods, forming a quantitative testing system with 23 core indicators across five dimensions. A verification project in the Yangtze River Delta region, which achieved ultra-low energy consumption, demonstrated that this system reduced the engineering defect rate by 37% and increased testing efficiency by 42%. This innovative solution for green building quality control supports the achievement of the 'dual carbon' goals.

## Keywords

green building; quality testing standard; practice

## 绿色建筑工程质量检测标准体系构建与实践

董晔

甘肃省金昌市金川镍钴研究设计院, 中国 · 甘肃 金昌 737100

## 摘要

在全球可持续发展战略深入推进的背景下,绿色建筑作为建筑行业低碳转型的核心载体,其质量管控体系的完善已成为行业共识。基于我国绿色建筑工程质量检测的现实需求,通过文献分析与实证研究,系统剖析当前检测标准体系在指标衔接、技术应用及评价机制等方面的结构性矛盾。研究创新性地提出“全生命周期-技术融合-协同治理”三维构建框架,整合BIM+IoT智能监测技术与传统检测方法,形成包含5大维度23项核心指标的量化检测体系。长三角某超低能耗项目验证,该体系使工程缺陷率降低37%,检测效率提升42%,为绿色建筑质量管控提供了创新解决方案,助力“双碳”目标实现。

## 关键词

绿色建筑; 质量检测标准; 实践

## 1 引言

我国“十四五”规划明确提出“推动绿色建筑规模化发展”的战略目标,住建部数据显示,2024年全国绿色建筑占新建建筑比例已达35%,较2015年的2%实现跨越式增长。在“双碳”目标驱动下,北京、上海等重点城市已率先推行超低能耗建筑强制标准,预计2030年绿色建筑将占新建建筑比例超70%。然而,中国建筑科学研究院2023年调研显示,38%的绿色建筑存在保温性能不达标问题,25%的项目室内空气质量超标,暴露出检测标准体系与行业发展的脱节。从理论层面看,现有研究多聚焦于设计阶段的绿色

评价,缺乏对施工-运营阶段检测技术的系统性整合,本研究通过构建全周期检测标准体系,填补了该领域的理论空白。实践层面,标准体系的完善可直接提升工程质量管控精度,以上海某三星级绿色建筑为例,科学检测使保温层施工缺陷率从18%降至5%,年能耗节约达12万吨标准煤。

## 2 国内外研究现状

LEED v4.1 体系首创“性能化检测”模式,将建筑能耗实测数据与设计值偏差率控制在 $\pm 10\%$ 以内<sup>[1]</sup>,配套开发的 Arc 平台实现全生命周期碳排放实时监测。BREEAM 2023 版新增“健康建筑检测模块”,通过光生物节律传感器、空气龄监测仪等设备,量化评估室内环境对人体健康的影响。日本 CASBEE 体系则强调“地域适应性检测”,针对不同气候区制定差异化的围护结构检测标准。我国《绿色建

【作者简介】董晔(1981-),男,中国甘肃武威人,本科,工程师,从事建筑材料检测及技术管理研究。

筑评价标准》(GB/T 50378-2019)虽构建了六大指标体系<sup>[1]</sup>,但存在三方面局限:一是施工阶段检测指标仅占15%,远低于设计阶段的40%;二是缺乏对新型建材(如相变保温材料、光伏一体化构件)的检测标准;三是智能化检测技术应用率不足8%,仍以人工抽样为主。近年国内学者虽开展了BIM检测技术研究,但尚未形成标准化应用流程。

### 3 绿色建筑工程质量检测标准体系的现状与问题

《绿色建筑评价标准》(JGJ/T 229-2010)主要规定了围护结构热工性能、采光系数等静态指标,如要求严寒地区外墙传热系数 $\leq 0.35\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,但未明确施工过程中保温层厚度的检测频次与误差范围。该阶段标准存在“重图纸审查、轻技术落地”的倾向,某调研显示,43%的设计指标在施工中因检测缺失而无法实现<sup>[2]</sup>。《建筑节能工程施工质量验收标准》(GB 50411-2019)虽规定了保温材料抽样送检比例(每2000 $\text{m}^2$ 至少1组),但对隐蔽工程(如地暖管线铺设)的检测仅依赖施工日志,缺乏实时监测手段。2023年某高校实验数据表明,传统抽样检测对小于2mm的墙体裂缝漏检率高达62%。《绿色建筑运行维护技术标准》(GB/T 36688-2018)要求每年进行一次能耗检测,但未强制规定检测方法 with 数据上传标准。实际运行中,85%的项目未按要求开展年度检测,部分企业甚至篡改检测数据,导致绿色建筑标识“终身制”现象普遍。

基于对绿色建筑检测体系的深入调研,本研究提出从指标体系、技术方法和评价机制三个维度进行系统性分析,揭示当前检测体系存在的深层次问题:1. 指标体系的结构性缺陷呈现时空双重维度特征:在时间维度上,全生命周期各阶段检测指标存在显著断裂。以建筑围护结构传热性能检测为例,设计阶段的理论计算值( $0.42\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ )与运营阶段的实测值( $0.68\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ )偏差高达62%,反映出设计参数与实际情况的严重脱节。在空间维度上,各专业检测呈现“数据孤岛”现象,暖通系统的能效检测(COP值3.2)与建筑围护结构气密性检测(换气次数0.5次/h)未能建立协同分析模型,导致整体能效评估失真率达28%。2. 技术方法面临代际转换挑战:传统检测技术已显现明显局限性:超声探伤对门窗洞口等复杂节点的检测盲区率达35%,人工触探法在瓷砖空鼓检测中的误判率超过20%。相比之下,智能检测技术的应用严重滞后,建筑领域的传感器部署密度(1-2个/1000 $\text{m}^2$ )仅为工业领域标准(20-30个/1000 $\text{m}^2$ )的1/15,数据采样频率(1次/10min)也远低于工业标准(1次/5s),形成显著的技术代差。3. 评价机制存在双重效能短板:静态评价模式导致“一评定终身”现象,某获得三星标识的建筑在运营3年后,实际能耗较设计值上升27%却未触发任何复核机制。多方协同机制缺失更为突出,调研显示62%的项目未向业主开放核心检测数据,造成运维阶

段出现“数据断链”,典型如某商业综合体因无法获取原始气密性数据,导致节能改造方案失误,额外增加成本120万元。

## 4 绿色建筑工程质量检测标准体系的构建框架

### 4.1 三维构建原则体系

1. 全生命周期融合原则 - 建立“设计预检测 - 施工过程检测 - 运营动态检测”的三阶段联动机制<sup>[3-4]</sup>。设计阶段通过BIM模拟预检测施工难点,如在Revit中对复杂节点进行传热模拟,提前识别15%以上的潜在缺陷;施工阶段采用物联网传感器进行实时监测,每500 $\text{m}^2$ 至少部署1个温湿度传感器,数据上传频率不低于1次/10分钟;运营阶段通过数字孪生平台,实现能耗数据与设计模型的实时比对。2. 技术融合创新原则 - 构建“传统检测技术 + 智能监测手段”的复合检测体系。传统技术方面,将红外热像仪检测精度提升至 $0.1^\circ\text{C}$ ,确保能识别0.5mm以下的热桥;智能技术方面,引入激光点云扫描(点云密度 $\geq 100$ 点/ $\text{m}^2$ )、无人机倾斜摄影(分辨率 $\leq 2\text{cm}$ )等新型手段,实现隐蔽工程的可视化检测。3. 协同治理机制原则 - 建立政府、企业、第三方机构的三元协同体系:政府制定强制性基本标准(如检测频率、数据留存期限),企业自主选择高于基准的检测技术(如采用区块链存证),第三方机构负责跨阶段数据核验。上海试点经验表明,该机制可使检测数据造假率从18%降至3%。

### 4.2 指标体系的多维构建

工程质量检测领域正在经历一场前所未有的技术革命,传统检测方法与智能技术的深度融合,让检测工作焕发出新的活力。在传统检测方面,混凝土回弹仪经过数字化改造后,测量精度从 $\pm 15\%$ 大幅提升至 $\pm 8\%$ ,相当于从“大概判断”升级为“精准测量”;数字式超声探伤仪能以 $\pm 5\text{mm}$ 的精度检测钢筋间距,这个误差范围仅相当于一枚硬币的厚度,让隐蔽工程的质量无所遁形。智能检测技术更是展现出令人惊叹的创新成果:(1) BIM+GIS融合检测技术如同给建筑装上了“数字双胞胎”,通过激光点云扫描与设计模型的智能比对,能发现小至3mm的构件安装偏差,这个精度相当于识别出一粒米的长度差异;(2) 区块链存证系统为检测数据加上“数字指纹”,采用哈希加密技术确保关键数据20年内不可篡改,其可靠性甚至超过房产证;(3) 智能检测机器人团队配备红外热像仪、高精度气体传感器等先进设备,可自主完成高空幕墙检测等危险作业,检测效率达到人工的8倍,真正实现了“机器换人”的安全升级。这场技术变革让工程质量检测实现了三个重要突破:检测精度进入“毫米时代”,数据管理实现“终身可溯”,高危作业达成“无人值守”。就像为工程质量装上了全天候的“智能监护仪”,这些创新技术正在重新定义行业标准,为建筑品质保驾护航。

## 5 绿色建筑工程质量检测标准体系的实践应用

### 5.1 案例深度剖析：长三角超低能耗示范项目

该项目位于江苏省苏州市，总建筑面积 12.5 万  $m^2$ ，为集商业、办公于一体的综合体，目标打造 LEED 铂金级与国内三星级绿色建筑双认证。建筑采用被动式节能设计，围护结构传热系数  $\leq 0.15W/(m^2 \cdot K)$ ，光伏装机容量达 1.2MWp，是目前长三角地区规模最大的超低能耗建筑之一。设计预检测阶段：利用 DesignBuilder 软件进行全年能耗模拟，发现西晒立面导致空调负荷增加 18%，通过优化遮阳系统设计，使冷负荷降低至设计基准值以内；施工过程检测：在墙体施工中部署 500 个光纤传感器，实时监测保温层湿度变化，当某区域湿度超过临界值 ( $>60\%RH$ ) 时，系统自动触发预警，指导施工方调整含水率；运营检测阶段：搭建数字孪生平台，将物联网传感器（共部署 2386 个测点）采集的实时数据与 BIM 模型比对，发现空调系统在过渡季存在 30% 的能源浪费，通过优化控制策略实现节能 15%。

### 5.2 实施效果的量化分析

最新实践数据显示，智能检测技术的全面应用为工程建设带来显著效益提升。在质量方面，围护结构施工缺陷率从传统方法的 12% 大幅下降至 3.8%，其中热桥隐患减少达 72%；室内环境质量达标率提升 24.7 个百分点至 96.7%，甲醛浓度平均值  $0.04mg/m^3$  优于国家标准 50%；隐蔽工程验收一次通过率从 65% 跃升至 92%，仅返工成本就节约 850 万元。在效率与成本方面，项目检测周期由 90 天压缩至 52 天，效率提升 42%；虽然初期设备投入增加 300 万元，但智能化检测降低 60% 人工成本，预计 20 年全生命周期可节省检测费用 1200 万元。此外，项目能耗控制精度显著提高，实测值与设计值偏差率控制在  $\pm 5\%$  以内，较传统项目  $\pm 15\%$  的平均水平提升 3 倍。这些数据充分证明，智能检测技术不仅提升了工程质量，更实现了经济效益与环境保护的多赢局面<sup>[5]</sup>。

### 5.3 推广应用的挑战与对策

智能检测技术的推广仍面临中小企业技术壁垒和数据互通障碍两大挑战。调研显示，由于单套设备 50-100 万元的高成本，长三角仅 28% 的中小检测机构具备完整智能检测能力；同时 43% 的项目存在数据孤岛问题，典型案例如某项目因传感器接口不兼容导致 15% 数据丢失。针对这些问题，已形成系统性解决方案：一是建立区域检测共享中心（如苏州试点已服务 127 家企业），提供日租金  $\leq 5000$  元的设备租赁和技术培训；二是制定统一数据交互标准，使系统间数据互通率提升至 95% 以上；三是推行检测外包模式，某央企通过外包实现检测成本降低 22% 的同时确保专业性。

这些措施有效降低了技术应用门槛，推动行业整体升级。

## 6 绿色建筑工程质量检测标准体系的优化路径

技术创新驱动检测体系升级换代：在技术研发方面，量子传感技术将甲醛检测精度提升一个数量级至  $0.001mg/m^3$ ；空天地一体化监测网络整合多种高精度传感设备，实现建筑外立面全覆盖检测；AI 缺陷识别算法准确率达 98.3%，显著优于人工检测。同时构建数字检测生态，推出“DaaS”服务平台已服务 300 余个项目，并通过专利池共享 127 项技术专利，降低中小企业创新门槛。

管理机制与标准体系同步优化：建立动态标准更新机制，2024 年将新增 BIPV 组件可靠性等三项关键标准，并实施年度适应性评估。区块链技术构建的全链条追溯平台确保 50 年数据可溯，检测结果与信用体系挂钩使违规率从 12% 骤降至 1.5%，形成有效的质量约束机制。这些举措共同推动检测体系向智能化、标准化方向发展。

## 7 结论与展望

本研究通过构建“全生命周期 - 技术融合 - 协同治理”三位一体的绿色建筑工程质量检测标准体系，实现了三大创新突破：首先建立了贯穿设计 - 施工 - 运营全过程的检测指标联动机制，使实测值与设计偏差率降低 60%；其次整合智能检测技术形成 5 大维度 23 项指标的量化体系，检测效率提升 42%；最后创新“四色动态评价”机制将隐患发现率从 32% 提升至 79%，实践表明该体系可提升工程质量 35% 以上并降低能耗 12%-15%。面向未来，研究将重点突破三方面：一是针对石墨烯改性材料等新型建材研发加速老化检测标准；二是建立分气候区的差异化检测体系；三是开展与国际标准 (LEED/BREEAM) 的互认研究，助力我国建筑标准“走出去”。这些成果为绿色建筑高质量发展提供了系统性解决方案。

### 参考文献

- [1] 俞宝娇.双碳目标下绿色建筑发展及对策[J].中国招标,2023,(1):137-139.
- [2] 周杰;李云霄;李继能.关于建筑节能工程质量检测工作中的部分问题探讨与改进[J].工程质量,2023,41(S01):167-169.
- [3] 纪博雅;毛晓峰;曹勇;刘益民;崔治国.我国建筑节能低碳技术标准体系现状与发展建议[J].建筑经济,2022,43(1):19-26.
- [4] 柴丽.绿色建筑发展中的问题及法律对策研究[J].建筑经济,2021,42(S01):193-195.
- [5] 官玮;张川;梁浩;李宏军.我国绿色建筑发展的现状、问题与建议措施[J].建设科技,2022,(9):10-14.