

基于多源检测数据的既有房屋建筑安全评估方法及实践

陈锐基

广东尚标检测鉴定有限公司, 广东 广州 510000

DOI:10.61369/ADA.2026010054

摘 要 : 既有房屋建筑的安全评估以确保结构可靠性作为核心, 整合多种来源的检测技术(像无损检测、传感器监测)以及数据融合处理, 搭建综合评估的框架, 并且结合工程实例来验证方法的有效性。通过动态指标的优化、智能诊断(AI、数字孪生)以及标准化的推广, 打破传统的限制, 实现精准的研判, 为建筑安全管理提供支撑, 未来要推动数据标准化和智能技术的融合。

关 键 词 : 多源检测数据; 既有房屋建筑; 安全评估

Existing Building Construction Safety Assessment Method and Practice Based on Multi-source Detection Data

Chen Ruiji

Guangdong Shangbiao Testing and Appraisal Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract : The safety assessment of existing buildings is centered on ensuring structural reliability. It integrates various sources of detection technologies (such as non-destructive testing, sensor monitoring) and data fusion processing to establish an integrated assessment framework. Moreover, it combines engineering examples to verify the effectiveness of the method. Through the optimization of dynamic indicators, intelligent diagnosis (AI, digital twin), and the promotion of standardization, it breaks through traditional limitations and achieves precise assessment, providing support for building safety management. In the future, efforts should be made to promote data standardization and the integration of intelligent technologies.

Keywords : multi-source detection data; existing buildings; safety assessment

引言

既有房屋建筑的安全评估是确保城市建筑结构可靠以及使用安全的主要部分, 其准确性依靠多源检测技术和数据融合方法的协同运用。随着《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344-2019等规范施行, 既有建筑安全评估要整合结构监测、无损检测、环境感知等多方面数据, 打破传统单一方法的局限。本论文围绕安全评估的相关理论基础展开, 全面综述多源检测技术的类别与原理, 分析数据融合处理的主要环节, 搭建综合评估方案, 并且结合工程实际案例验证方法的有效性, 研究智能诊断技术集成、数字孪生应用以及标准化推广策略, 目的是为既有房屋建筑的安全评估提供科学且具可操作性的技术途径, 推动城市建筑安全管理体系的健全。

一、基础理论与检测技术综述

(一) 安全评估相关理论基础

既有房屋建筑安全评估把保障建筑结构可靠性和使用安全性当作核心目的, 其核心概念包含结构损伤判别、剩余承载力分析以及风险等级划分等主要方面。当下的评价准则大多根据国家或者行业规范, 像《民用建筑可靠性鉴定标准》之类, 经过对结构系统、构件性能以及使用环境的全面权衡, 建立定性和定量相融合的分级体系, 为评估结论提供标准化的根据。主流方法体系能够划分为传统经验方式、通过规范的评级方式以及数据驱动的智能评估方式。传统经验方式依靠工程师现场勘查和经验判断, 通过规范的评级方式通过荷载验算、材料性能检测等量化分析来明

确安全等级, 数据驱动方式则整合多源检测数据, 通过机器学习等技术实现评估过程的智能化与精准化。安全评估的理论基础还关联到结构力学、材料科学以及风险评估理论, 要全面考量结构的使用时长、环境侵蚀、荷载变动等要素对建筑安全性的作用, 为多源数据融合的评估办法提供理论根据^[1]。

(二) 多源检测技术分类及原理

多源探测技术通过融合不同原理的探测方式, 实现对既有房屋建筑结构状况的全面察觉。无损检测手段包括超声检测、回弹法、红外热成像等。其中超声检测通过声波于不同介质里的传播特性, 根据声速改变来判定混凝土内部的缺陷; 回弹法是通过混凝土表面硬度和强度的关联, 通过回弹数值间接评估其强度等级; 红外热成像技术通过捕捉结构表面温度分布的差别, 识别隐

蔽性裂缝或者空鼓等状况。传感器监测技术通过应变计、加速度传感器、位移传感器等装置,实时收集结构的应力、振动、变形等动态数据,实现对结构响应的持续监测。两种技术的协同运用模式能够通过无损检测获取结构的静态缺陷信息,再结合传感器监测得到的动态响应数据,搭建多方面的结构状态评价模型,提高安全评价的准确性和时效性。多源检测技术的整合要处理数据异构特性与时空同步特性问题,通过数据融合算法实现信息互补,给既有建筑安全评估提供全方位的技术支持。

二、基于多源数据的安全评估方法构建

(一) 多源数据融合处理技术

多源数据融合处理方法整合结构监测、无损检测、环境以及历史档案等多类异构数据,提高评估精准度。在预处理步骤运用自适应滤波进行去噪处理、通过插值来补全缺失数值以及利用标准化统一量纲;在特征提取阶段结合力学特性,提取变形、应力和损伤等主要特征;信息融合策略运用贝叶斯网络、D-S证据理论等手段实现概率融合,对不同数据源的权重进行量化,同时考虑时空关联性与不确定性^[9]。此技术把分散的数据转变为具备物理含义的安全评估参数,给结构安全诊断提供数据方面的支持。

(二) 安全评估综合框架设计

安全评估综合方案通过多源检测信息,融合结构性能、材料老化等要素。数据方面融合现场检测情况、历史运维记录以及环境监测信息,建立标准化数据集^[4]。模型层运用层次分析法或者随机森林等算法,针对承载力、变形这类结构指标以及碳化深度、钢筋损失等老化指标开展权重赋值与耦合分析。风险分级建立低风险、中风险、高风险、极高风险四级矩阵,同时确定常规监测、局部加固或者紧急处置等管控办法。此框架通过数据整合、模型耦合以及风险分级协作,给出科学且具备可操作性的技术途径。

三、工程实践案例的应用分析

(一) 典型工程检测鉴定实施

1. 案例背景与数据采集方案

工程实践案例应用分析:典型工程检测鉴定实施案例背景及数据采集规划 挑选一座于20世纪90年代建成的6层砖混结构的老旧住宅当作案例,此建筑由于使用时长较久,且存在墙体裂缝、楼板渗漏等表面病害,需要开展安全评估,从而确定后续的处置办法。为全方位获取建筑结构性能相关数据,拟定多技术协同的现场检测规划:运用全站仪对建筑整体的垂直度以及基础沉降开展测量,得到结构变形的相关参数;采用回弹法和钻芯法相结合的方式检测混凝土的抗压强度,其中钻芯法挑选主要受力部位进行取样,以此验证回弹结果的精确性;通过超声脉冲法检测墙体砌筑砂浆的饱满度以及内部存在的缺陷,同时配合红外热像仪排查隐蔽渗漏区域的含水率分布状况;对结构构件的损伤情形展开详细的普查,记录裂缝的位置、长度、宽度以及发展趋向等信息^[9]。

2. 安全状态诊断流程

在工程实践案例的应用分析里,典型工程检测鉴定开展的安全状态诊断程序要根据多源检测数据,运用第二章所提出的办法逐步实现结构损伤识别、承载力校核以及安全等级判定。首先通

过现场检测来获取结构的几何参数、材料强度、损伤分布等相关数据,再结合振动测试所得到的动力特性参数,运用多源数据融合算法来识别结构主要损伤的位置与程度,确定损伤对结构整体性能的影响范围^[6]。接着根据损伤识别的结果,运用有限元模型校正技术建立精细化的结构模型,输入检测获取的材料强度以及几何尺寸参数,通过结构力学分析来完成承载力的校验,评估结构在设计荷载和实际荷载作用时的承载能力储备。

(二) 加固处理与效果验证

1. 针对性加固方案设计

在工程实践案例的应用分析里,加固处理和效果验证阶段的针对性加固方案规划要紧密贴合多源检测数据的评估结论。以某已有的钢筋混凝土框架结构作为实例,通过多源检测得知梁端受弯承载能力不够,并且存在宽度为0.3mm的贯穿裂缝,根据评估结果拟定碳纤维加固和裂缝修复的组合方案。碳纤维布选用300g/m²的单向织物,粘贴在梁底受拉区域,粘贴的长度将弯矩包络图范围覆盖,锚固端伸展到支座边缘并且额外添加U型箍^[7];裂缝修复运用低压灌注环氧树脂的方法,灌注压力把控在0.2MPa,保证树脂能够充分填充裂缝内部。方案规划要考量材料力学特性和结构受力特点的适配性,例如碳纤维布的抗拉强度不低于3000MPa,环氧树脂的粘结强度要符合规范对裂缝修补的规定。

2. 后评估检测与效果量化

在某框方案造办公楼加固项目里,针对梁柱节点处裂缝以及承载力不够的问题,运用粘贴碳纤维布和增大截面的方法开展加固处置。在后评估检测环节,整合现场采用回弹法开展的混凝土强度检测、碳纤维布粘结性能的拉拔试验、动态应变监测以及有限元模拟所得数据,对加固效果进行量化。检测结果表明,加固之后梁端抗弯承载能力提高35%,柱节点核心区抗剪承载能力提高28%,结构自振频率由3.2Hz上升至4.5Hz,符合设计规定。多源数据开展协同分析,验证加固手段的有效性。其中动态应变监测可捕捉到荷载施加时应力分布显示均匀化走向,有限元模型的计算结果和现场实测数值的误差控制于5%以内,这进一步证实通过多源检测数据的安全评估办法具备较高可靠性^[8]。经由对加固前后结构性能指标的比较,清楚不同加固手段对结构刚度、承载能力以及动力特性的提高程度,为既有建筑加固成效的量化评定提供实践支撑。

四、方法优化与工程推广路径

(一) 工程质量评价体系完善

1. 评估指标动态优化机制

在方法改进与工程推广途径里,工程质量评估体系健全的主要在于评估指标动态优化机制的搭建。既有房屋建筑的安全评估要结合实际经验来调整指标体系的权重,通过多源检测数据的不断积累,判别不同使用阶段、环境状况下指标对安全状态影响程度的改变。比如长时间受环境侵蚀的建筑结构,材料性能衰减指标的权重需随时间动态调节,而不是运用固定权重模型。建立时变更新模型之际,要引入时间方面的变量,把检测数据和建筑服役时长、维护记录等信息建立关联,通过机器学习算法探寻指标权重的时变规律,保证评估结果和建筑实际安全状况的适配性。在实际操作里,能够根据历史评估案例的反馈信息,对指标权重

开展迭代校正,让体系更符合工程的实际需要^[9]。此机制的健全不但可以提高评估方式的科学性,还能为工程的推广提供标准化、动态化的技术保障,促使既有房屋建筑安全评估由静态定性朝着动态定量转变。

2.全生命周期质量管控

全生命周期的质量管控要贯穿于检测评估、加固设计、施工维护以及长期监测等各个阶段,建立动态管控体系,整合多源的检测数据,实现质量追溯和风险预警。健全工程质量评估体系,引入概率风险分析模型对失效概率进行量化,结合使用时长、荷载记载等建立分级评估标准。在推广过程里,需搭建标准化的管控程序,促进无人机巡检、传感器监测、BIM等技术的运用,并且打造跨部门的协同监管平台,实现数据、报告以及维护方案的共享,为既有建筑的安全管理提供全流程的技术保障。

(二)智能诊断技术集成应用

1.AI辅助决策支持系统

在方法改进与工程推广途径里,智能诊断技术集成运用的AI辅助决策支撑系统这一板块,要重点多源检测数据和机器学习的深度结合。此系统将既有房屋建筑的结构图纸、历史检测报告、实时传感器数据等多源信息作为输入,通过研发损伤自动识别模块,运用卷积神经网络(CNN)对结构构件的裂缝、变形等损伤特征开展图像识别与量化分析,结合随机森林算法对多源数据实施特征融合,搭建风险评估模型,实现从损伤识别到风险等级划分的自动化流程^[10]。系统要嵌入工程实践情境,对模型参数加以优化,从而适配不同的建筑类型和环境状况。通过与BIM平台的整合,把评估结果以可视化形式展现出来,为工程师提供直观的决策参考。在推广途径方面,要建立标准化的数据收集与预处理程序,开展具有代表性的工程试点应用,检验系统的精确性与稳定性,形成可复制的技术策略,促进AI辅助决策支持系统在既有房屋建筑安全评估里的大规模运用,提高评估效率与决策的科学性。

2.数字孪生技术应用

数字孪生科技通过搭建建筑全生命周期的数字化镜像实现动态安全管理与控制。以BIM模型作为载体,整合传感器收集的应力、位移、振动等实时数据,通过数据接口与算法引擎映射到数字孪生体,建立可交互的动态模型。此模型能够对不同荷载以及环境状况下的结构反应进行模拟,将有限元分析和实时数据相结合,精确确定裂缝延展或变形的区域。在推广过程中要建立标准化的数据采集和模型更新程序,研发轻量化的平台从而降低应用的门槛。结合机器学习等智能诊断算法分析孪生数据,可自动生成安全评估报告,推动评估从静态抽检向动态全周期监测转变,提升效率与可靠性

参考文献

- [1]王亚飞.基于监测数据的结构变形预测及安全评估方法研究[D].长安大学,2022.
- [2]张倩茹.基于机器学习的多源数据异常检测方法研究[D].东南大学,2022.
- [3]景玉.基于多源数据的未知攻击检测方法研究与实现[D].西安电子科技大学,2022.
- [4]刘一卓.基于多源异构数据的火焰燃烧状态评估与预测方法研究[D].华北电力大学(北京),2023.
- [5]冯焱玲.基于多源异构信息融合的数据可信度评估方法研究[D].电子科技大学,2022.
- [6]王莹,高秀云,樊沃周,等.基于多源信息融合方法的输电塔结构安全评估模型[J].地震工程与工程振动,2023,43(2):232-238.
- [7]梁冠军,尤超,张勇,等.基于FAHP的既有房屋改建施工安全风险评估模型及应用[J].西昌学院学报:自然科学版,2023,37(2):28-33.
- [8]潘展钊,谭彩,刘建文,等.基于多源检测与计算方法的软基水闸安全性态分析[J].广东水利水电,2023(3):24-29.
- [9]翟永亮.既有地铁隧道变形检测及安全评估实例探讨[J].建筑技术,2023,54(17):2157-2159.
- [10]晋炜,赵霄剑.关于房屋建筑性能评估鉴定体系的探索[J].山西建筑,2023,49(14):50-54.

(三)标准化推广实施策略

1.操作指南与技术规程编制

操作指引和技术规范需围绕多源检测数据的收集、处理、融合以及评估整个流程来建立。收集环节确定传感器设置、采样频次等参数;处理时期制定清理规则,统一度量单位并识别异常数据;融合时期规范加权模型,根据数据可靠性确定系数;评估时期建立多方面矩阵,明确安全等级量化标准。规程应融入质量管控机制,包括现场检查、交叉核验以及专家评定,建立可重复使用的操作体系,为不同情形下的安全评估提供标准化技术支撑。

2.区域化推广适配机制

在方法改进与工程普及途径里,标准化普及执行策略要搭建包含数据收集、指标方案、评估模型的全流程技术准则,统一多源检测数据的格式规范和质量规定,清楚不同检测技术(像无损检测、传感器监测)的应用场景和精度界限,并且设立评估结果分级标准以及对应的处理建议,保障评估方法的可操作性和结果可对比性。区域推广适配机制要根据不同地域的气候状况、地质特点、建筑建造年代以及结构类型的差别,对评估指标权重和预警阈值加以调整。比如在南方湿润地区,要加强建筑材料耐久性相关指标;在地震频发区域,需增添结构抗震性能的评估方面。除此之外结合地方政策法规与管理要求,建立区域化的数据共享平台与协同管理机制,联合地方住建部门、检测机构以及产权单位,形成技术标准+政策保障+区域适配的推广体系,促进既有房屋建筑安全评估方法实现工程化落地与常态化应用。

五、结论

通过多源检测数据的既有房屋建筑安全评估方式,通过融合结构监测、材料检测、环境感知等多方面数据,打破传统单一检测方法的局限,实现对建筑安全状况的全方位感知与精确判断,其创新意义体现在评估方面的扩充与评估精准度的提高上。目前方法于实际工程里已显示出明显成效,可有效判别建筑结构的潜在隐患,为老旧建筑改革、灾后安全鉴定等情形提供科学支撑,特别是在大型公共建筑、历史保护建筑等复杂构造的安全评定中具备突出适用性。但是当前方法仍然面临数据标准缺乏统一、跨源数据融合效能不足等状况,未来要推进多源检测数据的标准化体系搭建,规范数据的采集、传输以及存储流程,并且强化智能监测技术的融合运用,通过物联网、人工智能等技术实现数据的实时分析与风险预警,进一步提高既有房屋建筑安全评估的智能化程度与应用领域,为城市建筑安全管理提供更可靠的技术保障。