

基于多维检测数据的既有建筑可靠性综合评定方法研究

梁均华

广东尚标检测鉴定有限公司，广东 广州 510000

DOI:10.61369/ME.2025110010

摘要：既有建筑可靠性评定技术不断发展，传统检测方法有局限，多维检测技术应运而生。目前评定中多维检测数据应用存问题，为此建立多维度检测指标体系，通过数据融合、多维度评价准则、综合评定模型等实现准确评定，还构建预警阈值动态修正机制。经多案例验证，该评定方法具应用价值，未来在智能传感与数字孪生技术应用等方面有探索空间。

关键词：既有建筑；可靠性评定；多维检测技术

Research on the Comprehensive Reliability Evaluation Method of Existing Buildings Based on Multi-dimensional Detection Data

Liang Junhua

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

Abstract : The reliability evaluation technology of existing buildings is constantly developing. Traditional detection methods have limitations, and multi-dimensional detection technology has emerged as the times require. Currently, there are problems in the application of multi-dimensional detection data in the evaluation. Therefore, a multi-dimensional detection index system is established, and accurate evaluation is achieved through data fusion, multi-dimensional evaluation criteria, and a comprehensive evaluation model. A dynamic correction mechanism for early warning thresholds is also constructed. Through multiple case studies, it is verified that this evaluation method has application value and there is room for exploration in the application of intelligent sensing and digital twin technology in the future.

Keywords : existing buildings; reliability evaluation; multi-dimensional detection technology

引言

随着我国城市化进程的加快，既有建筑数量不断增加，其可靠性评定至关重要。2023年颁布的《既有建筑鉴定与加固通用规范》，为既有建筑可靠性评定提供了政策指导，强调评定工作需科学、精准开展。既有建筑可靠性评定技术虽已发展多年并形成标准体系，但传统检测方法存在局限，多维检测技术应运而生。然而，当前既有规范在受损建筑动态评估方面有不足，且多维检测数据应用存在多源异构数据整合困难、结构性能退化模型与实测数据匹配度欠佳等问题。本研究围绕这些痛点，从检测指标体系构建、多源异构数据融合等多方面展开，以提升既有建筑可靠性评定的科学性与准确性。

一、既有建筑可靠性评定方法现状分析

(一) 既有建筑可靠性评定技术现状综述

既有建筑可靠性评定技术历经多年发展，国内外已形成相应的标准体系^[1]。传统检测方法如目测法与局部抽样检测，受限于主观判断及样本局限性，难以全面、精准评估既有建筑可靠性。随着科技进步，多维检测技术应运而生，其融合多源数据，能更深入、全面地反映建筑实际状况，克服传统方法的不足。然而，目前既有规范在受损建筑动态评估方面存在一定局限性。既有规范多侧重于静态评估，难以适应受损建筑随时间变化的复杂特性，无法实时、动态跟踪建筑性能演变，在应对突发灾害或长期

性能劣化后的建筑可靠性评定时，难以提供及时、准确的评估结果，亟待新的综合评定方法加以完善。

(二) 多维检测数据应用现存问题

目前，既有建筑可靠性评定中多维检测数据应用存在诸多问题。在多源异构数据整合方面，三维激光扫描、微震监测、光纤传感等数据类型多样、结构复杂，现有评定方法难以有效融合这些数据，导致数据间关联性无法充分挖掘，无法全面反映建筑实际状况^[2]。同时，受损后结构性能退化模型与实测数据的匹配度欠佳。结构性能退化模型通常基于理论假设与有限试验得出，与实际多维检测数据存在差异，使得评定结果与建筑真实的可靠性状态偏离，无法精准评估既有建筑在受损后的可靠性，影响对建

筑后续维护、加固决策的科学性与合理性。

二、多维检测数据采集与处理技术

(一) 建筑结构多维度检测指标体系

建立的既有建筑结构多维度检测指标体系涵盖多个关键方面。材料强度退化方面，需精准检测建筑材料随时间及环境影响下的强度变化，这对评估结构承载能力至关重要^[3]。构件变形监测主要针对梁、柱等关键构件，监测其在各种荷载作用下的变形情况，变形超出一定范围将影响结构稳定性。裂缝扩展追踪着重关注结构表面裂缝的长度、宽度变化，裂缝的发展可能预示着结构内部损伤加剧。环境振动响应则通过监测环境振动下建筑结构的响应特性，如频率、阻尼等参数，以此评估结构的整体性能。各类传感器依据相应的空间布设原则进行合理布置，确保数据采集的准确性与代表性，同时遵循严格的数据采集标准，为后续可靠性评定提供可靠数据支撑。

(二) 多源异构数据融合方法

在既有建筑可靠性评定中，多源异构数据融合是关键环节。不同类型的检测数据，如点云数据、应变数据等，具有不同的格式、语义和时空特征^[4]。基于贝叶斯网络的多维数据时空配准算法，能有效解决多源数据在时间和空间上的不一致问题。该算法通过概率推理，将不同来源数据进行合理整合，确保数据在时空维度上的一致性和准确性。同时，开发的专项数据预处理流程，涵盖点云数据去噪、应变场重构、损伤定位等步骤。点云数据去噪可提升数据质量，应变场重构有助于获取结构应力分布，损伤定位为可靠性评定提供关键信息。通过这些处理，实现多源异构数据的高效融合，为既有建筑可靠性综合评定奠定坚实数据基础。

三、可靠性综合评定模型构建

(一) 结构可靠性分级评定体系

1. 安全性-适用性-耐久性多维度评价准则

在既有建筑可靠性综合评定中，安全性、适用性和耐久性多维度评价准则是关键。安全性从结构承载能力、稳定性等方面考量，需依据材料性能衰减、损伤累积效应评估结构抵抗破坏的能力^[5]。适用性关注建筑在正常使用时满足功能要求的程度，比如空间布局是否合理、是否存在影响使用的变形等，这也与材料及结构的长期性能变化相关。耐久性则着重于结构在环境作用因子影响下，抵抗老化、腐蚀等劣化的能力，环境作用因子如湿度、酸碱度等会加速材料性能衰减，需综合考虑以确定结构使用寿命。通过对这三个维度的全面评价，并依据构建的三级评价指标体系及各维度权重分配规则，实现对既有建筑可靠性的准确评定。

2. 基于证据理论的综合评定模型

在既有建筑可靠性综合评定中，构建基于证据理论的综合评定模型，旨在解决传统单一指标评定的信息缺失问题。此模型融合定量检测数据与专家经验，利用D-S证据理论，能有效处理不确定性信息。具体而言，将不同来源的检测数据及专家给出的

主观判断作为证据体，通过证据理论的合成规则，把这些证据进行融合，以形成对既有建筑结构可靠性更全面、准确的评定。例如，把结构材料强度、构件尺寸偏差等定量检测数据，与专家基于丰富经验对结构外观、历史使用情况的评估相结合，经证据合成后，获得既有建筑可靠性的综合评定结果，避免因单一指标评定而遗漏重要信息，使评定结果更具科学性与可靠性^[6]。

(二) 受损结构时变可靠性分析

1. 损伤演化与性能退化耦合模型

在受损结构时变可靠性分析中，损伤演化与性能退化耦合模型的构建至关重要。该模型需综合考虑裂缝扩展路径与承载力退化这两个关键因素^[7]。裂缝的扩展并非孤立现象，其路径会对结构的力学性能产生深远影响，同时，结构的承载力也会随着时间与损伤的积累而逐渐退化。通过开发考虑裂缝扩展路径与承载力退化的非线性时程分析方法，可有效揭示结构在不同阶段的力学响应特征。将裂缝扩展与承载力退化有机结合，构建耦合模型，实现对结构损伤演化过程中性能退化的准确模拟，从而为既有建筑可靠性综合评定提供坚实的基础，精准预测结构的剩余寿命，为既有建筑的维护、加固决策提供科学依据。

2. 预警阈值动态修正机制

为实现既有建筑可靠性的准确评定，构建预警阈值动态修正机制尤为关键。该机制基于实时监测数据展开，能自适应调整可靠性预警阈值。在既有建筑服役过程中，结构性能不断变化，传统固定阈值难以满足实际需求。通过持续收集多维检测数据，利用数据挖掘与分析技术，深入探究结构性能退化规律。根据结构服役性能退化预警等级划分标准，对不同退化程度进行量化界定。在此基础上，结合结构当前状态及未来发展趋势，动态调整预警阈值，确保阈值始终契合结构实际情况，为既有建筑可靠性评定提供更为精准有效的预警指标，实现对结构安全状态的实时、准确评估^[8]。

四、工程验证与应用研究

(一) 历史保护建筑鉴定案例

1. 砖木结构多指标检测实施

在历史保护建筑鉴定案例的砖木结构多指标检测实施中，充分展示三维激光扫描与微损取芯技术在现场检测里的协同应用。三维激光扫描能够快速、精确地获取建筑整体的空间几何信息，对砖木结构的外观形态、构件尺寸与位置关系进行全面记录。微损取芯技术则针对砖木材料本身，通过少量取芯分析木材的强度、腐朽程度以及砖体的抗压性能等关键指标。将两者获取的数据进行融合，借助数据融合算法，可有效整合不同类型的数据。这不仅验证了数据融合算法的有效性，还为基于多维检测数据的既有建筑可靠性综合评定提供了准确、全面的数据支撑^[9]，有助于更科学合理地评估历史保护建筑的真实状况，为后续保护与修复策略的制定提供坚实依据。

2. 残损状况综合评定实践

在某百年砖混历史保护建筑鉴定工程中，对其残损状况展开

综合评定实践。首先运用多种检测手段获取多维检测数据，涵盖结构材料性能、构件尺寸偏差、裂缝分布等方面。基于这些数据，依据分级评定体系，对建筑的各个部分进行细致分析。例如，针对墙体，从裂缝宽度、长度及分布区域，结合砌体强度检测结果，评定其损伤程度。同时，考量建筑的整体变形情况，通过倾斜测量数据评估基础的稳定性。在评定过程中，严格遵循分级标准，从单个构件到结构子系统，再到整体结构，逐步确定残损等级。依据评定结果，为后续的加固决策提供精准且全面的依据，切实体现基于多维检测数据的分级评定体系在历史建筑鉴定中的重要应用价值^[10]。

（二）灾后建筑应急评估应用

1.震后结构快速检测方法

在灾后建筑应急评估应用中，震后结构快速检测方法依托构建的无人机巡检与光纤监测相结合的应急评估系统。无人机凭借其灵活、高效的特点，能够快速对大面积受灾区域的建筑进行整体巡检，获取建筑外观、结构轮廓等宏观信息，快速识别出可能存在损伤的区域，为后续详细检测提供重点方向。而光纤监测技术则利用光纤传感器对应力、应变等物理量敏感的特性，埋设于建筑关键结构部位，实时、精准地监测结构内部力学参数变化。二者相结合，一方面从宏观视角快速定位损伤区域，另一方面从微观层面准确捕捉结构内部变化，实现对震后建筑结构快速、全面且精准的检测，为既有建筑可靠性综合评定提供关键数据支持。

2.安全性分级处置策略

在以某地震受损框架结构为案例进行验证时，针对灾后建筑应急评估应用中的安全性分级处置策略，首先依据时变可靠性模型计算结构在不同时间点的可靠度指标。基于这些指标，对建筑安全性进行分级。对于可靠度指标较高，结构损伤较轻的建筑，可允许有限人员在一定时间内临时使用，同时加强监测。而对于可靠度指标处于中间范围，结构存在一定损伤的，需进行临时加固措施后，方可安排部分人员使用。若可靠度指标极低，结构损伤严重，则应立即封锁，严禁人员靠近。通过这种基于时变可靠性模型计算结果的安全性分级处置策略，为应急疏散决策提供科学且合理的支撑，最大程度保障人员生命安全与合理利用现有建筑资源。

（三）工业建筑可靠性监控

1.疲劳损伤在线监测系统

开发基于应变模态分析的钢结构疲劳损伤诊断系统后，将此

系统应用于工业建筑可靠性监控的疲劳损伤在线监测。在实际工业建筑场景中，通过在关键节点布置传感器，持续采集应变等数据。系统利用这些实时数据进行应变模态分析，准确识别出结构中可能存在疲劳损伤的区域。同时，结合历史数据与模型分析，对关键节点的实时可靠性进行动态评估，判断疲劳损伤发展趋势。一旦监测到疲劳损伤指标接近或超出设定阈值，系统及时发出预警，提醒相关人员采取措施，以保障工业建筑的安全可靠运行，实现从理论研究到工程实际应用的转化，验证该诊断系统在工业建筑可靠性监控疲劳损伤在线监测方面的有效性与实用性。

2.全寿命周期管理平台

在工业建筑可靠性监控全寿命周期管理平台的工程验证与应用研究中，将集成检测数据与评定模型构建的工业建筑数字孪生系统，应用于实际工业建筑项目。通过对不同类型、不同使用年限的工业建筑进行数据采集与分析，验证该系统对建筑可靠性评定的准确性与有效性。同时，基于闭环式的可靠性管控机制，实时监测建筑在运营过程中的状态变化，及时发现潜在的安全隐患，并依据评定结果提出针对性的维护与改造策略。通过实际工程应用，不断优化全寿命周期管理平台，提升工业建筑可靠性监控水平，为既有工业建筑的安全稳定运行提供有力保障，推动工业建筑可靠性评定技术在实际工程中的广泛应用。

五、总结

本研究围绕既有建筑可靠性评定，深入挖掘多维检测数据的价值，展现出显著技术优势。所提综合评定方法在受损结构评估与历史建筑保护等领域应用价值颇高，能够为这些复杂场景提供科学、精准的评定依据，助力既有建筑的合理维护与有效保护。然而，既有建筑可靠性评定领域不断发展，未来在智能传感设备集成与数字孪生技术应用等方向仍有广阔探索空间。智能传感设备集成可实现数据实时、动态采集，提升评定时效性；数字孪生技术应用则能构建虚拟模型，助力更直观、深入的分析。后续研究将聚焦这些重点方向，不断完善既有建筑可靠性综合评定体系，推动该领域持续进步。

参考文献

- [1] 郭鑫. 既有建筑旁孔透射波法桩基检测 [D]. 南昌大学, 2021.
- [2] 许瑶莉. 基于 PPP 模式的既有建筑绿色改造多主体演化博弈研究 [D]. 西南科技大学, 2022.
- [3] 孙浩. 多维数据异常检测方法研究和应用 [D]. 新疆大学, 2023.
- [4] 郑赛. 既有社区中心建筑的再生性改造策略研究 [D]. 华南理工大学, 2022.
- [5] 但昭辉. 不确定条件下既有建筑节能改造决策鲁棒优化方法研究 [D]. 华中科技大学, 2022.
- [6] 赵军元. 既有建筑结构检测及安全性评定探究 [J]. 中国建筑金属结构, 2024, 23(7): 172–174.
- [7] 万翔. 既有建筑检测鉴定及加固方法研究 [J]. 砖瓦, 2022(002): 000.
- [8] 高伟. 低应变法检测既有建筑地基基础的研究 [J]. 中国高新科技, 2022(010): 000.
- [9] 雷亚平. 既有建筑综合节能改造的节能量测量与验证方法探讨 [J]. 建筑节能, 2022(050–004).
- [10] 倪小磊, 管韫文, 盛娟. 基于 BIM 的既有建筑结构加固研究 [J]. 四川建材, 2021(011): 047.