

建筑材料老化检测与结构安全性评估技术研究

温作锡¹ 杨义堡²

1. 浙江新则工程检测有限公司, 浙江 温州 325000
2. 浙江元本检测技术股份有限公司, 浙江 温州 325000

[摘要]随着建筑年限的增加, 建筑材料的老化问题日益严重, 对建筑的结构安全性造成了极大的影响。文中旨在探讨建筑材料老化的检测方法和结构安全性的评估技术, 以期为建筑维护和修复提供科学依据。首先, 介绍建筑材料老化的基本情况及其对结构安全性的影响; 其次, 分析当前主要的材料老化检测技术; 然后, 探讨结构安全性评估的方法和标准; 最后, 提出几种结合老化检测与安全性评估的综合评估模型。

[关键词]建筑材料老化; 结构安全性评估; 检测技术; 维护策略; 评估模型

DOI: 10.33142/ect.v3i3.15708

中图分类号: TU227

文献标识码: A

Research on Aging Detection of Building Materials and Structural Safety Assessment Technology

WEN Zuoxi¹, YANG Yibao²

1. Zhejiang Xinze Engineering Testing Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang, 325000, China
2. Zhejiang Yuanben Detection Technology Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang, 325000, China

Abstract: With the increase of building age, the aging problem of building materials is becoming increasingly serious, which has a great impact on the structural safety of buildings. The purpose of this article is to explore the detection methods of building material aging and the evaluation techniques of structural safety, in order to provide scientific basis for building maintenance and repair. Firstly, introduce the basic situation of building material aging and its impact on structural safety; Secondly, analyze the current major material aging detection technologies; Then, explore the methods and standards for structural safety assessment; Finally, several comprehensive evaluation models combining aging detection and safety assessment are proposed.

Keywords: aging of building materials; structural safety assessment; testing technology; maintenance strategy; evaluation model

引言

随着城市化进程的加速, 越来越多的建筑物面临着材料老化和结构安全问题。建筑材料的老化不仅影响建筑物的美观和使用功能, 更直接威胁到人们的生命安全。研究建筑材料的老化特性及其对结构安全性的影响, 开发有效的检测和评估技术, 已成为结构工程领域的重要课题。本部分将介绍建筑材料老化的常见现象、造成老化的主要因素及其对建筑安全性的潜在影响, 为后续的研究内容和方法的选择提供理论基础和背景。

1 建筑材料老化现象及其影响

1.1 常见老化现象

建筑材料老化是指由于自然因素和人为因素长期作用导致的材料物理性能、化学性能和机械性能的逐渐退化。老化现象普遍存在于各种建筑材料中, 如混凝土、钢材、木材和塑料等。

在混凝土建筑中, 老化主要表现为碳化、冻融损伤、盐害、裂缝和钢筋锈蚀。碳化是由于二氧化碳与混凝土中的氢氧化钙反应生成碳酸钙, 这一过程降低了混凝土的碱性, 使得混凝土中的钢筋更容易锈蚀。冻融损伤是指水分在混凝土孔隙中冻结形成冰晶, 体积膨胀导致微观裂缝和

材料结构破坏。盐害通常发生在海洋或盐碱地区的建筑中, 盐分通过毛细作用进入混凝土, 促进钢筋的锈蚀和混凝土的剥离^[1]。钢材的老化主要表现为腐蚀和疲劳损伤。腐蚀是指钢材在湿润环境中与氧气反应生成氧化铁, 长期腐蚀会导致钢材截面减小, 承载能力下降。疲劳损伤是由于重复荷载作用, 钢材内部产生微裂缝, 逐渐扩展至宏观裂缝。

木材的老化现象包括风化、生物侵蚀和干燥收缩。风化是指木材表面在紫外线和氧气作用下逐渐灰化、变脆。生物侵蚀是由真菌、昆虫等生物活动导致木材结构受损。干燥收缩则是由于木材在干燥环境中水分蒸发, 导致体积收缩, 可能会出现裂缝。塑料材料的老化则通常表现为光老化和热老化。光老化是由于紫外线照射引起的化学结构断裂, 造成材料性能下降和颜色褪变。热老化是由于长时间高温作用, 塑料中的添加剂挥发或分解, 导致材料变脆和强度下降。

1.2 老化对结构性能的影响

建筑材料的老化直接影响到建筑的使用功能和结构安全。老化现象如裂缝的出现和扩展、材料的强度下降以及刚性的丧失, 都会导致建筑结构的承载能力下降。在混凝土结构中, 老化导致的钢筋锈蚀和混凝土碳化减少了结

构的抗压和抗弯强度,使得建筑在承受外部荷载时更容易发生变形甚至崩塌。冻融损伤和盐害则进一步加速了混凝土结构的劣化过程,降低了其耐久性和抗震性能。

钢结构的腐蚀和疲劳损伤减少了其横截面积和材料疲劳强度,影响结构的整体稳定性和安全系数。重复荷载下的疲劳裂缝是导致钢结构失效的主要原因之一,尤其是在桥梁和大型公共建筑中。木结构的风化、生物侵蚀和干燥收缩影响其抗压和抗弯性能,使得木结构在承受重载时容易发生断裂。此外,生物侵蚀还会导致木材内部结构的破坏,影响建筑的整体稳定性和寿命。

塑料材料的老化尤其在现代建筑中使用的各种绝缘材料和装饰材料中体现得较为明显。光老化和热老化使得这些材料的机械性能降低,不仅影响建筑的外观,也影响其绝缘性能和防水性能。建筑材料的老化对建筑结构的安全性能有着直接和深远的影响。这不仅要求在建筑设计和施工阶段采用高质量材料和正确的防护措施,还需要在建筑使用过程中进行定期的检查和维护,以确保建筑的安全和功能性。

2 建筑材料老化检测技术

2.1 物理检测技术

物理检测技术在建筑材料老化检测中发挥着重要作用,主要用于评估材料的机械性能、结构完整性及其变化情况。这些技术通常包括无损检测方法,如超声波检测、X射线检测、磁粉检测和渗透检测。

超声波检测是一种常用的无损检测技术,通过分析超声波在材料中的传播速度和反射特性来评估材料的密度、弹性和内部缺陷。在混凝土和金属材料中,超声波能有效地检测到裂缝、空洞和其他结构缺陷。例如,超声波脉冲速度测试可以用来评估混凝土中的碳化深度和冻融损伤^[2]。X射线检测利用X射线的穿透能力,对建筑材料进行成像,从而发现材料内部的结构异常。这种方法特别适用于检测金属构件的腐蚀程度和混凝土中钢筋的位置及其腐蚀状况。

磁粉检测主要应用于检测钢材等铁磁性材料的表面及近表面缺陷。通过在磁场中撒布磁粉,可以在裂缝或其他表面缺陷处形成磁粉聚集,从而可视化缺陷位置。渗透检测,也称为染色渗透检测,适用于发现所有可见表面的细小裂缝。在此技术中,一种特殊的染料被涂抹在材料表面,染料会渗透进入微小裂缝中,随后通过清洁剂和显像剂使裂缝变得清晰可见。这些物理检测技术不仅可以帮助评估建筑材料的当前状态,还可以在维护和修复决策中提供科学依据,有助于预防潜在的结构失败。

2.2 化学检测技术

化学检测技术主要用于分析建筑材料中的化学成分和材料老化的化学机制。这些技术包括光谱分析、色层分析和电化学分析等。

光谱分析如红外光谱分析和拉曼光谱分析,能够确定

材料中化学键的类型和含量,适用于识别混凝土中的碳化程度和钢材中的腐蚀产物。通过分析样品光谱中的特定峰值,可以精确地评估材料的化学状态和老化程度。色层分析,特别是气相色谱和液相色谱,可以用于检测和分析建筑材料中的有机化合物和添加剂的变化。例如,在塑料和橡胶材料中,这种技术可以用来评估抗氧化剂和其他稳定剂的降解程度。电化学分析方法如电化学阻抗谱和极化曲线,常用于评估金属材料,特别是钢筋的腐蚀状态。通过测量材料在模拟环境中的电化学响应,可以推断出腐蚀速率和腐蚀机制。

这些化学检测技术提供了一种深入了解材料化学性质变化的方法,对于评估材料的耐久性和预测其未来性能具有重要意义。通过综合物理和化学检测技术,可以更全面地评估建筑材料的老化情况和结构安全性,为建筑的维护和修复提供强有力的技术支持。

3 结构安全性评估方法

3.1 安全性评估标准

结构安全性评估标准是确保建筑结构在设计和使用期间满足安全要求的基本准则。这些标准涵盖了从材料选择、设计规范、施工过程到结构的维护和检验各个方面。不同国家和地区根据其地理、气候特点和建筑传统,设定了不同的安全性评估标准。

国际标准如 ISO (国际标准化组织) 和 ASTM (美国材料与试验协会) 提供了广泛认可的测试方法和安全标准,这些标准对建筑材料的性能、质量控制以及最终的结构安全提供了详细的指导。例如,ISO 13822 提供了评估现有结构的基础上的结构安全性的指南,而 ASTM 的多种标准涵盖了从混凝土强度测试到钢结构的腐蚀测试等多个方面。国家标准,如美国的 ASCE (美国土木工程师学会) 标准,中国的 GB (国家标准) 系列等,根据各自国家的具体情况制定相关规范。这些标准不仅指导建筑设计和施工,还规定了建筑材料测试和建筑结构定期检查的具体要求。例如,ASCE 7-16 为建筑结构提供了风载、雪载和地震载荷的计算标准,而中国的 GB 50010 则详细规定了混凝土结构的设计要求。

在评估过程中,通常需要结合地方建筑法规和特定行业标准。例如,地震多发区的建筑需要遵守更为严格的抗震设计标准,而工业建筑如化工厂则需要符合更高的防火和防爆标准。

3.2 安全性评估模型

安全性评估模型是通过数学和物理模型来预测和评估结构在各种荷载作用下的响应和性能。这些模型可以基于确定性分析也可以基于概率性分析,旨在识别结构潜在的薄弱环节和可能的失败模式。

确定性模型通常基于经典力学原理,如弹性理论、塑性理论等,通过计算结构在规定荷载下的应力、变形等响

应来评估其安全性。例如,有限元分析(FEA)是一种常用的确定性模型,能够提供结构的详细应力和变形分布,帮助工程师优化设计和评估结构的安全储备。FEA模型可以模拟复杂的结构系统和多种材料行为,广泛应用于桥梁、高层建筑和其他工程结构的设计和安全评估中。概率性模型则考虑到材料性能、施工质量、使用条件等因素的不确定性。这类模型使用统计方法来预测结构在未来特定条件下的安全性,如蒙特卡洛模拟和可靠性分析。通过这种方法,可以评估不同的设计方案和维护策略对结构安全性的影响,为决策提供概率上的支持。

健康监测和实时评估模型是近年来发展起来的一个重要领域。通过在结构关键位置安装传感器,收集数据如位移、应力、温度等,结合实时数据分析和预测模型,可以实时监控结构的健康状态。例如,使用加速度计和应变计监测桥梁的振动和加载响应,再通过数据分析预测其可能的疲劳寿命和即时的安全状况^[3]。这些安全性评估模型在现代工程实践中是不可或缺的工具,它们帮助工程师设计更安全的建筑,并对现有建筑的安全状况进行有效监控和管理。通过这些模型,可以系统地评估和管理建筑的安全风险,确保结构的长期使用安全和稳定。

4 综合评估模型的构建与应用

4.1 模型构建方法

综合评估模型是一种集成多种评估技术和方法的模型,旨在提供一个全面的视角以评估建筑的结构安全性。这类模型通常融合了物理检测数据、化学性能分析、数学建模和实时监测数据,以便提供更精确和实时的建筑健康状况评估。

模型构建的第一步是确定评估的目标和范围。这涉及到建筑的类型、使用情况、历史数据,以及可能面临的主要风险因素。例如,针对历史建筑的评估模型会着重考虑材料的老化和环境的影响,而工业设施则更关注机械疲劳和化学腐蚀^[4]。第二步是选择适当的检测和监测技术。这通常包括无损检测技术如超声波检测和X射线检测,以及需要安装的监测设备,如应变计和加速度计。此外,化学分析方法也被用于评估材料中的化学退化或腐蚀。第三步是数据的集成和分析。使用数据融合技术整合来自不同来源的数据,包括实时监测数据、历史维修记录,以及环境数据等。数据分析通常采用统计学方法和机器学习技术,以识别数据中的模式和趋势,预测潜在的结构问题。第四步是模型的验证和校准。这一步骤通过与实际的检测结果和历史事故数据比对,来调整和优化模型参数。这个过程是迭代的,随着新数据的获取和新技术的应用,模型会不断地被更新和改进。

最后一步是实施决策支持系统。将综合评估模型整合入建筑管理系统,提供实时的安全状态评估和维护建议。

这可以帮助建筑管理者做出科学的维护决策,优化资源的配置,延长建筑的使用寿命,同时保障人员安全。

4.2 案例分析与应用

案例分析通常是展示综合评估模型有效性的最好方式。以下是几个应用综合评估模型的案例:

案例一:历史建筑安全评估 - 在对一座百年老建筑进行安全性评估时,使用了综合评估模型。模型集成了从无损检测中得到的结构裂缝和材料退化数据,结合环境监测中的温湿度变化数据。通过模型分析,预测了结构在未来几年内可能的退化趋势,为修复和加固工作提供了依据。

案例二:桥梁寿命预测 - 在一座大型悬索桥的安全评估中,综合评估模型融合了实时交通载荷数据、环境监测数据和定期的结构检测结果。模型采用机器学习算法分析数据,成功预测了因交通增长和环境变化导致的潜在疲劳损伤。基于模型的建议,进行了针对性的加固设计,显著提高了桥梁的安全性和可靠性。

案例三:工业设施风险评估 - 对于一个化工厂,综合评估模型集成了化学腐蚀数据、温度监测和历史事故记录。通过对不同化学反应导致的腐蚀速率和可能的腐蚀位置进行预测,模型指导了厂区的安全检查和维护计划,有效减少了由材料老化和设备故障导致的安全事故。

这些案例展示了综合评估模型在不同类型的建筑和结构中的广泛应用可能性。通过精确的数据分析和预测,这些模型不仅能够提高结构的安全性,还能够帮助管理者合理安排维护资源,优化运营成本。

5 结语

本文系统研究了建筑材料老化及其对结构安全性的影响,并探讨了多种老化检测技术和结构安全性评估方法。通过构建综合评估模型,可以更有效地对老化建筑进行安全性评估,为建筑维护和修复提供科学依据。未来研究可以进一步探索新的检测技术和评估模型,以适应不断变化的建筑环境和材料特性,从而更好地服务于城市建筑的安全与维护工作。

[参考文献]

- [1]张景昭.高层建筑给排水管道材料优化研究[J].工程技术研究,2024,9(24):115-117.
- [2]张景昭.高层建筑给排水管道材料优化研究[J].工程技术研究,2024,9(24):115-117.
- [3]史小妮.影响建筑材料检测的因素及对策[J].建材发展导向,2024,22(21):7-9.
- [4]崔华文,张坤.建筑结构检测技术在鉴定加固中的应用[J].石材,2024,11(9):113-115.

作者简介:温作锡(1997.11—),毕业院校:东华理工大学,所学专业:土木工程,当前就业单位:浙江新则工程检测有限公司,职务:检测员,职称级别:助理工程师。.