

Research on Intelligent Detection Technology for Adhesive and Pressing Blocks in Existing Hidden Frame Glass Curtain Wall Structures Empowered by Artificial Intelligence

Tianwen Liu Chong Ma

Guangzhou Urban Construction Vocational College, Guangzhou, Guangdong, 510925, China

Abstract

With the increasing number of high-rise buildings and large public buildings in cities, the application of glass curtain walls in modern building facade systems is becoming increasingly widespread. Hidden frame glass curtain walls are widely used due to their good facade integrity and superior visual effects. However, in the long-term service process, problems such as structural adhesive aging, bonding performance degradation, and loose pressure blocks gradually emerge, directly affecting the safety of curtain wall structures. The traditional manual inspection method has problems such as low efficiency, strong subjectivity, and limited ability to identify hidden dangers, which makes it difficult to meet the refined needs of safety assessment for existing building curtain walls. This article takes the existing hidden frame glass curtain wall as the research object, and constructs an intelligent detection technology system for structural adhesive and pressure block based on artificial intelligence technology. By integrating machine vision, deep learning algorithms, and non-destructive testing technology, intelligent identification and risk assessment of the aging state of structural adhesive and the stability of pressure block structure are achieved. The research results indicate that the artificial intelligence detection model has high accuracy and stability in identifying defects in curtain wall structures, which can significantly improve the efficiency of existing curtain wall safety assessment and provide technical support for building curtain wall operation and maintenance management.

Keywords

hidden frame glass curtain wall; structural adhesive; block detection; machine vision; deep learning

人工智能赋能既有隐框玻璃幕墙结构胶与压块智能检测技术研究

刘天雯 马冲

广州城建职业学院, 中国 · 广东 广州 510925

摘要

随着城市高层建筑和大型公共建筑数量不断增加, 玻璃幕墙在现代建筑立面体系中的应用日益广泛。隐框玻璃幕墙因其立面完整性好、视觉效果优越而被大量采用, 但在长期服役过程中, 结构胶老化、黏结性能衰减以及压块松动等问题逐渐显现, 直接影响幕墙结构安全。传统人工巡检方式存在效率低、主观性强及隐患识别能力有限等问题, 难以满足既有建筑幕墙安全评估的精细化需求。本文以既有隐框玻璃幕墙为研究对象, 构建基于人工智能技术的结构胶与压块智能检测技术体系, 通过融合机器视觉、深度学习算法及无损检测技术, 实现对结构胶老化状态与压块结构稳定性的智能识别与风险评估。研究表明, 人工智能检测模型在幕墙结构缺陷识别中具有较高准确率和稳定性, 可显著提升既有幕墙安全评估效率, 为建筑幕墙运维管理提供技术支持。

关键词

隐框玻璃幕墙; 结构胶; 压块检测; 机器视觉; 深度学习

1 引言

随着城市高层建筑与大型公共建筑数量的持续增长, 玻璃幕墙因其良好的建筑表现力与轻质结构特性被广泛应用于现代建筑外围护体系。其中, 隐框玻璃幕墙以立面整体

性强、视觉效果优越等优势成为主流形式。但随着建筑服役年限的增加, 结构硅酮密封胶老化、黏结性能衰减以及压块连接松动等问题逐渐显现, 对幕墙结构安全与建筑运行安全产生潜在威胁。传统人工检测方式在效率与准确性方面存在明显局限。基于此, 引入人工智能技术, 通过机器视觉与深度学习算法构建幕墙智能检测体系, 对既有隐框玻璃幕墙结构胶与压块状态进行自动识别与评估, 对提升建筑幕墙安全管理水平具有重要意义。

【作者简介】刘天雯(1987-), 女, 中国广东人, 硕士, 讲师, 从事土木工程+人工智能研究。

2 既有隐框玻璃幕墙结构安全问题与检测需求

2.1 隐框玻璃幕墙结构体系与受力机理

隐框玻璃幕墙作为现代高层建筑和大型公共建筑中应用广泛的外围护结构形式,其主要特点在于玻璃面板通过硅酮结构胶与铝合金框架形成黏结连接,从而在外立面上形成连续完整的玻璃界面。该结构体系通常由钢或铝合金龙骨体系、玻璃面板、结构硅酮密封胶、压块及连接件等构成,其中结构胶既承担玻璃板块与金属框架之间的黏结作用,又在一定程度上参与结构受力传递。因此,在幕墙受风荷载、温度荷载及自重荷载等作用时,玻璃板块所承受的荷载需要通过结构胶黏结层传递至铝合金框架,并最终传递至主体结构体系,结构胶在整个力学传递路径中起到关键作用。

在实际工程运行环境中,隐框玻璃幕墙长期处于复杂气候条件与多种荷载耦合作用之下。结构胶材料属于高分子有机材料,其性能会随着服役时间的延长而逐渐发生变化,例如在紫外线辐射、温湿度循环以及空气污染物侵蚀等因素影响下,硅酮结构胶可能出现表面粉化、硬化或黏结界面退化等现象。当结构胶的剪切强度或剥离强度降低时,玻璃面板与框架之间的黏结可靠性将随之下降,从而影响幕墙整体结构稳定性。因此,从结构安全角度看,结构胶黏结性能与压块连接稳定性共同构成隐框幕墙安全性能评估的核心指标,对其进行系统化检测与评估具有重要工程意义。

2.2 既有幕墙结构胶与压块检测需求分析

随着城市既有建筑数量的持续增长,大量早期建设的隐框玻璃幕墙已进入服役中后期阶段。根据建筑幕墙工程维护管理经验,在幕墙运行10至20年后,结构胶老化、胶缝开裂及黏结界面剥离等问题逐渐显现,这些缺陷不仅影响建筑立面美观,还可能对结构安全产生潜在威胁。尤其是在高层建筑中,一旦玻璃板块连接失效,可能引发玻璃脱落等安全事故,因此加强既有幕墙结构安全检测成为建筑运维管理的重要内容。目前建筑幕墙检测规范通常要求对结构胶进行外观检查、硬度检测及黏结性能评估,同时对压块连接状态进行检查,以判断幕墙结构是否满足安全运行要求。然而,在实际检测工作中,传统检测方法往往依赖人工巡检与局部抽样检测相结合的方式。人工巡检主要通过目测观察结构胶表面状态及压块连接情况进行判断,但这种方式受检测人员经验影响较大,难以实现统一标准评价。

3 人工智能赋能幕墙结构胶与压块智能检测技术原理

3.1 机器视觉与深度学习在幕墙缺陷识别中的应用机制

在既有隐框玻璃幕墙检测领域,机器视觉技术为结构胶与压块状态识别提供了重要技术基础。机器视觉系统通过高清摄像设备、无人机巡检系统或地面移动检测平台获取建筑幕墙表面图像数据,并借助图像处理算法对结构胶表面形态、裂纹特征及颜色变化进行分析。对于隐框幕墙而言,结构胶通常位于玻璃板块之间的胶缝区域,其外观特征在不同

老化阶段会表现出明显差异,例如胶缝表面出现龟裂纹理、局部开裂、粉化或色差变化等,这些特征均可通过图像识别技术进行提取与分析。

在人工智能检测体系中,深度学习算法尤其是卷积神经网络(Convolutional Neural Network, CNN)被广泛应用于图像特征识别与分类任务。该算法通过多层卷积运算逐步提取图像中的边缘特征、纹理特征及形态特征,并通过池化层降低数据维度,从而实现复杂图像信息的高效处理。在幕墙结构胶检测场景中,需要首先建立包含多种缺陷类型的图像数据库,例如结构胶表面裂纹、胶缝开裂、胶体老化及剥离等典型缺陷样本。通过对这些图像进行人工标注并输入神经网络模型进行训练,可以使模型逐渐学习不同缺陷类型的特征规律。当系统接收到新的幕墙图像数据时,模型即可自动对结构胶状态进行识别与分类,并输出相应的缺陷类型及风险等级。

对于压块结构的检测,机器视觉同样具有重要应用价值。压块通常位于玻璃面板边缘位置,其外形特征具有一定规律性,通过目标检测算法可以对压块位置进行自动识别。当压块缺失、安装偏移或连接件异常时,系统可以通过图像比对算法识别结构变化,从而实现压块连接状态的自动检测。此外,通过引入深度学习目标检测模型(如YOLO或Faster R-CNN算法),还可以对幕墙立面中的多种构件进行实时识别,提高检测系统的自动化程度和检测效率。

3.2 多源无损检测与智能数据融合技术

仅依靠单一图像识别技术难以全面反映幕墙结构胶与压块的真实状态,因此在智能检测系统中通常需要结合多种无损检测技术进行综合分析。多源无损检测技术主要包括红外热成像检测、超声波检测以及激光扫描检测等方法,这些技术可以从不同角度获取幕墙结构状态信息,并为人工智能模型提供多维度数据支持。

红外热成像检测技术主要利用结构材料在不同温度条件下的热辐射特性来识别幕墙结构缺陷。当结构胶发生脱粘或内部存在空洞时,其热传导特性会发生变化,从而在红外热像图中形成明显的温度异常区域。通过对红外图像进行温度分布分析,可以识别结构胶内部粘结构缺陷。此外,在日照或温差变化条件下,幕墙不同区域的热响应特征也存在差异,通过时间序列热成像数据分析,可以进一步提高缺陷识别精度。

超声波检测技术则主要用于识别结构胶内部缺陷及界面黏结状态。当超声波在结构胶与玻璃或金属界面传播时,如果界面存在脱粘或空洞,超声波反射信号会发生明显变化。通过分析回波信号特征,可以判断结构胶黏结界面的完整性,从而实现隐蔽缺陷的检测。与此同时,激光扫描技术可用于获取幕墙立面的三维几何信息,通过高精度点云数据分析可以识别玻璃板块微小位移或变形,从而判断压块连接系统是否存在松动现象。在人工智能检测体系中,多源数据融合技术是提升检测精度的重要手段。通过建立数据融合模型,可以将机器视觉图像数据、红外热成像数据及超声检

测数据进行综合分析。人工智能算法通过对不同数据特征进行联合学习,可以构建更为精准的缺陷识别模型。

4 既有隐框玻璃幕墙结构胶与压块智能检测系统构建

4.1 智能检测系统总体架构设计

在人工智能技术不断发展的背景下,构建面向既有隐框玻璃幕墙的智能检测系统,是提升幕墙安全监测效率与精度的重要技术路径。该系统通常由数据采集层、数据处理层和智能分析层三个核心部分组成,通过多源数据获取、智能识别算法及风险评估模型,实现对结构胶老化状态与压块连接稳定性的系统化检测。在数据采集层,通过无人机巡检设备、高清工业相机、红外热成像仪以及激光扫描设备等多种检测终端,对建筑幕墙立面进行高精度数据采集。无人机巡检技术能够在短时间内完成高层建筑立面的图像采集任务,有效解决传统检测方法中高空作业效率低和安全风险高的问题,同时可以实现对幕墙大面积区域的快速扫描。

在数据处理阶段,系统首先对采集到的图像和检测数据进行预处理,包括图像去噪、几何校正以及亮度均衡处理等操作,以提高后续识别算法的稳定性。随后通过特征提取算法对结构胶区域与压块区域进行识别,并提取关键图像特征参数,例如裂纹长度、裂纹密度、胶缝宽度变化以及压块位置偏移量等。通过构建幕墙构件识别模型,可以将图像中的不同结构要素进行分类标识,从而形成完整的幕墙构件数据库。在智能分析阶段,系统利用深度学习模型对提取到的特征进行综合分析,通过缺陷识别算法自动识别结构胶裂纹、老化区域以及压块异常状态,并结合风险评估模型对缺陷等级进行划分。最终,系统可自动生成幕墙缺陷分布图及安全评估报告,为建筑运维管理提供科学依据。

通过这种分层结构的智能检测系统,可以实现对既有隐框玻璃幕墙状态的动态监测与智能分析,同时为建筑运维平台提供实时数据支持,使幕墙安全管理逐步向数字化与智能化方向发展。

4.2 幕墙结构安全评估模型构建

在完成结构胶与压块缺陷识别之后,还需要建立相应的幕墙结构安全评估模型,以对幕墙整体安全状态进行综合判断。安全评估模型通常基于幕墙结构健康监测理论,通过对结构胶性能参数、压块连接状态及幕墙构件变形数据等指标进行综合分析,形成多指标评价体系。在实际工程应用中,可以选取结构胶裂纹密度、胶缝完整度、压块连接稳定性以及玻璃板块位移量等关键参数作为评价指标,并通过加权分析方法建立幕墙结构安全评价模型。

在评估模型中,结构胶性能通常通过胶缝裂纹率与老化指数进行描述。当结构胶裂纹长度占胶缝总长度比例较高时,说明胶体老化程度较为严重,其黏结性能可能已经明显下降。压块连接状态则通过压块完整率及连接稳定指数进行评价,当压块缺失或松动比例较高时,玻璃板块边缘区域的约束能力将显著降低。此外,通过激光扫描技术获取的幕墙

三维点云数据,还可以计算玻璃板块的微小位移量,从而判断幕墙结构是否存在变形风险。

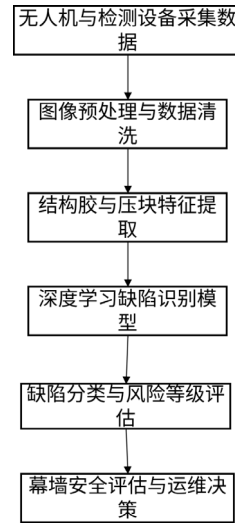


图1 既有隐框玻璃幕墙结构胶与压块智能检测系统技术流程图

为了提高评估模型的可靠性,人工智能算法可以对多项检测数据进行综合分析,并通过机器学习方法建立预测模型。同时,通过将检测结果与建筑信息模型(BIM)平台进行集成,可以建立幕墙构件健康档案,实现幕墙全生命周期管理。通过这种数据驱动的安全评估方法,既有隐框玻璃幕墙的检测工作不仅能够实现缺陷识别,还能够实现结构安全状态的动态评估,为建筑运维管理提供更加科学和精准的决策支持。

5 结语

随着城市建筑规模不断扩大,既有隐框玻璃幕墙的安全检测需求日益增加。传统人工检测方法在效率和精度方面存在明显局限,而人工智能技术为幕墙检测提供了新的技术路径。本文通过构建基于机器视觉与深度学习算法的幕墙智能检测体系,实现了对结构胶老化状态及压块连接状态的智能识别。工程应用案例表明,该技术在检测效率与识别精度方面均具有显著优势,可有效提升既有幕墙安全评估水平。未来随着人工智能算法和多源检测技术的进一步发展,幕墙智能检测系统将在建筑运维管理领域发挥更加重要的作用。

参考文献

- [1] 夏江洲,王健,王鑫茹,等.新型智能攀爬机器人的设计[J].黑龙江科学,2023,14(22):100-102.
- [2] 杨显昌.基于模态特征的玻璃幕墙安全检测研究[D].:哈尔滨工业大学,2022.DOI:10.27061/d.cnki.ghgdu.2022.002225.
- [3] 闵杰.基于深度学习的玻璃幕墙安全检测及综合评价方法[D].:哈尔滨工业大学,2025.DOI:10.27061/d.cnki.ghgdu.2025.004444.
- [4] 李晓旭,张晟.高层建筑玻璃幕墙常见安全隐患类型及排查措施[J].中国建筑装饰装修,2025,(11):154-156.DOI:10.3969/j.issn.1672-2167.2025.11.033.