

人工智能图像识别技术在高层建筑外立面监理中的缺陷检测与效率提高

周展鹏

440682*****5713

摘要: 高层建筑外立面作为建筑物的“形象窗口”，其施工质量直接影响建筑的美观性、安全性与耐久性。外立面施工过程中常见的空鼓、裂缝、脱落、饰面不平整等缺陷，若未能及时发现并处理，不仅会降低建筑的使用功能与外观品质，还可能引发高空坠物等安全隐患。传统的外立面监理主要依赖人工目视检查与手持检测工具，存在检测效率低、主观性强、危险性高及细节遗漏等问题，难以满足现代高层建筑施工的精细化与高效化管理需求。随着人工智能技术的快速发展，图像识别技术为外立面监理中的缺陷检测提供了新的技术路径。本文围绕人工智能图像识别技术在高层建筑外立面监理中的应用，系统分析了外立面常见缺陷类型及其产生机理，并对当前核心技术环节进行了分析，最后提出了相关的建议，希望能够对提高外立面缺陷检测的准确性、效率与客观性带来一定的参考价值。

关键词: 人工智能；图像识别；高层建筑；外立面监理；缺陷检测；效率提升

DOI: 10. 64216/3080-1508. 25. 11. 029

引言

高层建筑作为城市空间的重要组成部分，其外立面不仅是建筑功能的外在表现，更是城市形象的关键要素。随着建筑技术的进步与城市化进程的加速，高层建筑的高度不断增加、结构形式日益复杂，外立面材料与施工工艺也更加多样化（如玻璃幕墙、石材幕墙、金属板幕墙、涂料饰面等）。图像识别技术作为人工智能的重要分支，通过计算机对图像中的目标特征进行提取、分析与分类，可实现对外立面缺陷的自动检测与识别。将图像识别技术应用于外立面监理，不仅能突破人工检测的局限性，还能通过智能化手段提高检测效率与准确性，降低安全风险，推动监理工作向精细化、数字化方向转型。本文旨在系统研究人工智能图像识别技术在外立面监理中的应用原理、关键技术及效率提升策略，为高层建筑施工质量的智能化管控提供理论参考。

1 高层建筑外立面常见缺陷类型及产生机理

1.1 空鼓与脱落类缺陷

空鼓是指外立面饰面层（如瓷砖、石材、涂料）与基层（如混凝土墙体、幕墙龙骨）之间因粘结不牢固而形成的局部脱离现象，严重时可能导致饰面层脱落。其产生机理主要包括：基层处理不当（如混凝土墙面清理不彻底、浮灰未清除，导致粘结材料无法与基层有效结

合）、粘结材料性能不足（如砂浆配比不合理、聚合物含量低，粘结强度未达到设计要求）、施工工艺缺陷（如抹灰层过厚未分层施工、瓷砖粘贴时未揉压密实）、环境因素影响（如基层干燥过快导致粘结材料失水收缩，或温度骤变引发热胀冷缩应力）。空鼓缺陷初期通常表现为局部敲击声音空洞，若未及时处理，随着时间推移或外力作用（如风力、温度变化），空鼓区域可能逐渐扩大并最终脱落，造成安全事故。

1.2 裂缝类缺陷

裂缝是外立面最常见的缺陷之一，可分为结构裂缝与非结构裂缝。结构裂缝通常由建筑主体结构的变形（如地基沉降不均匀、温度应力导致的混凝土收缩）引起，可能危及建筑安全；非结构裂缝则主要表现为饰面层自身的开裂（如涂料面层龟裂、瓷砖釉面开裂、幕墙玻璃应力纹），多由施工或环境因素导致。非结构裂缝的产生原因包括：材料自身特性（如涂料的弹性模量过低、瓷砖的热膨胀系数与基层不匹配）、施工工艺问题（如基层未充分湿润导致抹灰层失水过快开裂、幕墙胶缝宽度不足无法吸收变形）、环境作用（如昼夜温差大导致材料热胀冷缩应力集中、紫外线照射加速材料老化）。裂缝不仅影响建筑美观，还可能成为水分渗透的通道，引发内部钢筋锈蚀、保温层失效等问题。

1.3 饰面不平整与色差类缺陷

饰面不平整主要表现为外立面局部区域的凹凸不平（如涂料抹灰层的波浪状起伏、瓷砖铺贴的高低差），影响建筑的整体视觉效果。其产生原因包括：基层平整度控制不足（如混凝土墙面抹灰前未进行找平处理）、施工操作不规范（如瓷砖铺贴时未用水平尺校准、涂料批刮时未均匀用力）、材料收缩变形（如抹灰层干燥过程中因水分蒸发导致表面收缩不均）。色差缺陷则表现为同一饰面材料在不同区域出现颜色深浅不一致（如涂料批次差异、石材天然纹理差异未被合理排版），主要由材料质量控制不严（如不同批次的涂料或石材颜色存在天然差异）、施工排版不合理（如石材幕墙未进行预排版导致色差集中）及环境因素（如长期暴晒导致部分区域褪色）引起。饰面不平整与色差虽不直接影响结构安全，但会显著降低建筑的美观性与高端形象^[1]。

1.4 密封与连接缺陷

密封缺陷主要指外立面幕墙或窗体的密封胶开裂、脱胶或密封不严，导致雨水渗漏、空气渗透及保温性能下降。其产生原因包括：密封胶材料老化（如长期暴露于紫外线、臭氧环境中导致胶体变脆）、施工工艺不当（如打胶前基层未清洁干净、胶缝深度与宽度不符合设计要求）、环境应力作用（如温度变化导致胶体反复伸缩开裂）。连接缺陷则表现为幕墙挂件、锚固件松动或焊接部位开裂，影响外立面的整体稳定性。这类缺陷通常由连接件材质不合格（如锚栓抗拉强度不足）、安装工艺不规范（如挂件未拧紧、焊接电流不稳定导致虚焊）或长期振动（如风力作用下幕墙轻微摆动引发疲劳损伤）引起。密封与连接缺陷虽初期表现不明显，但可能逐渐发展为渗漏、脱落等严重问题。

2 人工智能图像识别技术的核心原理与关键技术

2.1 图像采集与预处理技术

图像采集是缺陷检测的基础环节，其质量直接影响后续识别的准确性。高层建筑外立面的图像采集需借助专业的图像采集设备（如高分辨率数码相机、无人机搭载的云台相机、爬墙机器人携带的摄像头），根据外立面的高度、形状及检测需求选择合适的采集方式：对于低层区域（如3层以下），可采用人工手持相机近距离拍摄；对于中高层区域（4-20层），可利用无人机进行

空中俯拍或平拍，获取大范围的外立面图像；对于复杂造型或高空危险区域（如檐口、幕墙转角），可采用爬墙机器人沿墙面移动采集细节图像。采集到的原始图像通常存在噪声干扰（如镜头灰尘导致的斑点、光线反射形成的光斑）、光照不均（如阴影区域与受光区域的亮度差异）、分辨率不足（如远处细节模糊）等问题，需通过预处理技术进行优化。常用的预处理方法包括：去噪处理（采用中值滤波、高斯滤波等算法去除随机噪声，保留边缘细节）、光照均衡（通过直方图均衡化、自适应阈值分割等方法调整图像亮度与对比度，消除阴影影响）、图像增强（利用锐化滤波突出边缘特征，提高缺陷与背景的区分度）、尺寸归一化（将不同分辨率的图像统一缩放至固定尺寸，便于后续算法处理）。预处理后的图像应具有清晰的边缘、均匀的亮度及足够的细节信息，为特征提取奠定基础^[2]。

2.2 特征提取与分类识别技术

特征提取是从预处理后的图像中提取能够表征缺陷类型的关键信息（如裂缝的线状特征、空鼓的局部灰度异常、色差的区域色彩分布），是图像识别技术的核心环节。传统特征提取方法依赖于人工设计的特征算子（如SIFT（尺度不变特征变换）用于提取尺度不变的边缘点、HOG（方向梯度直方图）用于描述物体的轮廓特征、LBP（局部二值模式）用于刻画纹理细节），通过计算图像局部区域的梯度方向、像素灰度变化等参数，生成能够区分不同缺陷的特征向量。近年来，深度学习技术的兴起推动了特征提取的自动化发展。卷积神经网络（CNN）作为一种典型的深度学习模型，通过多层卷积层自动学习图像的多层次特征——浅层卷积层捕捉边缘、纹理等低级特征（如裂缝的线状边缘），中层卷积层组合低级特征形成局部结构（如空鼓区域的块状异常），深层卷积层整合局部结构形成全局语义信息（如整块饰面板的色差分布）。通过在大规模标注数据集（包含各类缺陷图像及其对应标签）上的训练，CNN模型能够自动优化网络参数，提取最具区分性的特征，实现对缺陷类型的精准分类（如将图像分为空鼓、裂缝、色差、密封缺陷等类别）。分类识别是基于提取的特征对缺陷类型进行判断的过程。常用的分类算法包括支持向量机（SVM）、随机森林（RF）等传统机器学习方法，以及基于深度学习的Softmax分类器（CNN模型的输出层通常采用Softmax函数计算各类别的概率）。在实际应

用中,需根据数据特点与检测需求选择合适的算法——对于小样本数据,传统机器学习方法结合人工特征可能更具稳定性;对于大规模复杂数据,深度学习模型(如ResNet、EfficientNet等改进型CNN)能够通过更深的网络结构与残差连接实现更高的识别精度^[3]。

3 人工智能图像识别技术在外立面监理中的应用流程与效率提升策略

3.1 应用流程设计

基于人工智能图像识别技术的外立面监理流程可分为四个主要阶段:(1)数据采集阶段:根据外立面的高度、形状及检测重点,选择合适的图像采集设备与方式(如无人机覆盖大面积区域、爬墙机器人检测细节部位),按照预设的拍摄路径与参数(如分辨率、拍摄角度)采集外立面图像,确保图像覆盖所有待检测区域且无重大遗漏。(2)预处理与标注阶段:对采集的原始图像进行去噪、光照均衡等预处理,同时由专业监理人员对部分典型图像(包含各类已知缺陷)进行人工标注(标记缺陷类型、位置及边界),构建用于模型训练的标注数据集。(3)模型训练与优化阶段:利用标注数据集训练深度学习模型(如CNN),通过交叉验证、参数调整等方法优化模型性能(如提高识别准确率、降低误检率),并针对不同类型的缺陷(如裂缝与空鼓的特征差异较大)可能需训练多个子模型或采用多任务学习策略。(4)实时检测与反馈阶段:将训练好的模型部署至现场检测系统(如便携式平板、云端服务器),对实时采集的图像进行自动分析,输出缺陷的类型、位置、严重程度等检测结果,并通过可视化界面(如缺陷分布图、统计报表)向监理人员展示。监理人员可根据检测结果进行重点复查或处理决策,形成“智能检测-人工复核-问题处理”的闭环管理^[4]。

3.2 效率提升策略

人工智能图像识别技术的应用可显著提高外立面监理的效率与质量,具体体现在以下方面:(1)检测速度大幅提升:传统人工检测单栋建筑外立面可能需要

数天甚至数周时间,而图像采集设备(如无人机)可在数小时内完成大面积图像采集,智能算法的分析时间仅需几分钟至几十分钟(取决于图像数量与模型复杂度),整体检测效率提高10倍以上。(2)检测准确性显著提高:智能算法通过大规模数据训练,能够识别人工难以察觉的微小缺陷(如早期宽度小于0.1毫米的裂缝),并通过量化分析提供客观的缺陷参数,避免了人工判断的主观性差异,检测准确率可达90%以上(传统人工检测准确率通常为70%-80%)。(3)安全风险有效降低:图像采集设备可替代监理人员进入高空危险区域(如20层以上的幕墙外侧),无需搭建复杂的脚手架或吊篮,减少了高空作业的安全隐患,同时降低了监理人员的劳动强度。

4 结论

本文围绕人工智能图像识别技术在高层建筑外立面监理中的应用,系统分析了外立面常见缺陷类型及其产生机理,研究了图像采集与预处理、特征提取与分类识别等核心技术环节,探讨了基于人工智能的缺陷检测流程优化与效率提升策略。研究表明,人工智能图像识别技术通过“图像数据采集-智能算法分析-缺陷精准定位”的全流程技术体系,能够显著提高外立面缺陷检测的准确性、效率与客观性,降低监理人员的工作强度与安全风险,推动外立面监理工作向智能化、数字化方向转型。

参考文献

- [1]王玮,米庆仁,肖云,杨新聪.基于可见光和红外图像融合的建筑外墙空鼓与脱落识别方法研究[J].工业建筑,2024,54(5):51-59.
- [2]陈然.基于图像识别的高楼外墙巡检无人机设计[J].电子制作,2023(23):60-64.
- [3]张涛.建筑外墙保温层施工常见缺陷图像识别与修复技术探索[J].工程建设,2025,57(5):170-173.
- [4]李华,赵强.基于深度学习的建筑外立面裂缝检测技术研究[J].建筑技术开发,2024,51(10):135-137.