

无人机巡检技术在建筑工程外观检测中的应用探索

陈剑

湖南精恒工程检测有限公司

DOI:10.12238/jpm.v6i7.8251

[摘要] 随着近年来建筑工程规模的不断扩大，以及无人机巡检技术的广泛应用，从而使得工程外观的智能化检测需求逐渐提升，无人机巡检技术具备了低空贴近摄影测量和三维建模等优势，其可满足建筑工程外观检测的需求。这种技术经高清影像采集、多视影像匹配与圆锯片识别等功能，能够准确捕捉建筑外立面裂缝等缺陷，与传统人工检测相比，可明显提高检测的效率与安全性。基于此，本文将结合实际案例，深入剖析无人机巡检技术在建筑工程外观检测中的应用效果，希望为建筑外观检测的数字化转型提供参考。

[关键词] 无人机巡检技术；建筑工程；外观检测

Exploration of the application of UAV inspection technology in building engineering appearance inspection

Chen Jian

Hunan Jingheng Engineering Testing Co., LTD.

[Abstract] In recent years, with the continuous expansion of construction projects and the widespread application of drone inspection technology, the demand for intelligent inspection of building exteriors has steadily increased. Drone inspection technology, with its advantages in low-altitude photography and 3D modeling, can effectively meet the needs of exterior inspections for construction projects. This technology, through high-definition image acquisition, multi-view image matching, and circular saw blade recognition, can accurately identify defects such as cracks on building facades. Compared to traditional manual inspections, it significantly enhances the efficiency and safety of inspections. This article will analyze the application effects of drone inspection technology in building exterior inspections through practical cases, aiming to provide a reference for the digital transformation of building exterior inspections.

[Key words] UAV inspection technology; construction engineering; appearance inspection

前言

在建筑工程的外观检测过程中，普遍面临着高空作业安全隐患较大、人工巡检效率较低等多种挑战，传统的建筑工程外观检测的手段越来越无法满足现代化的建筑工程管理的需求。无人机技术凭借低空贴近摄影测量、三维建模和智能图像识别等功能，为建筑工程外观检测提供了新思路与新技术。现有的研究显示，无人机能够利用高清摄像头对建筑外立面实施拍照，并结合多视影像匹配和纹理映射等技术，实现缺陷的准确定位和量化分析。基于此，本文将结合实际工程案例，系统探索无人机巡检技术在建筑外观检测中的应用，从而为推动建筑工程外观检测服务的智能化转型提供理论与实践参考。

一、无人机巡检技术概述

（一）技术原理和系统组成

“无人机巡检技术”指的是，将无人飞行器作为载体，集激光雷达（LiDAR）、高分辨率摄像、多光谱传感器和红外热成像等模块于一体，经自动导航或远程操控可实现建筑外观数据采集的智能化技术。无人机巡检技术的核心系统的构成包括：飞行平台、感知系统、地面控制站和数据处理单元四个部分。其中，飞行平台具备了极强的抗风能力与稳定性，这样可适应建筑工程复杂环境。感知系统利用多种传感器进行协同运行，从而实现空鼓、裂缝和渗漏等问题的准确识别。数据处理模块借助边缘计算或云端平台，可进行图像拼接、三维建模和缺陷分析等工作。地面控制站主要负责实时监控和任务规划，保证巡检效率与安全性。这种技术可打破传统人工检测在视角

局限、效率较低和安全风险等方面的局限，从而为建筑工程的外观检测提供新思路与新技术。

(二) 技术优势与工程适用性分析

与传统的检测技术相比较，无人机巡检技术具备了三个突出的优势。首先，高效性，单次飞行能覆盖几万平方米的建立外立面，检测效率提高5倍以上；其次，精准性，通过厘米级定位和亚毫米级的血斧分辨率，能够识别宽度 $\geq 0.2\text{mm}$ 的裂缝；最后，安全性，可防止检测人员高空作业的风险出现，特别适用于超高层建筑或灾后结构评估等任务中。工程的适用性主要体现在三个方面。一是，通过倾斜摄影生成三维实景模型，辅助BIM系统开展质量验收。二是，红外热成像技术能够快速确定土体空鼓或保温层的缺陷，检测精度90.0%以上。三是，时序影像对比分析能力可以为建筑老化的评估提供数据支持。目前这种技术在国内许多大型工程中得到了广泛应用，其也成为智能建造技术体系的重要组成部分^[1]。

二、建筑工程外观检测中面临的挑战分析

(一) 高空作业安全风险和效率挑战

在传统的建筑工程外观检测中，往往需依靠人工攀爬或搭载吊篮、蜘蛛人等设备进行近距离作业，在一些超高层或复杂结构的建筑检测中，高空坠落的风险较大。相关调研数据显示，人工巡检过程中60.0%的安全事故来自作业平台稳定性不足，如吊篮钢丝绳的磨损引起悬停失控等。在古建筑或异形结构的检测中，由于立足点缺失可能导致坠落风险大。作业效率层面，单栋高层建筑的人工巡检需耗时15-20天，并且会受到天气的极大影响，雨天、强风等条件下必须暂停作业。比如，在深圳某项目中曾由于台风季延误检测工期45天。另外，人工巡检的覆盖范围较小，对于建筑的转角、顶部等区域往往需反复攀爬，其所消耗的时间在总工期中的占比达35.0%以上。

(二) 检测精准度与数据完整性的挑战

传统的检测技术主要采用目视观察与手持仪器，其对于0.5mm内的细微裂缝辨识度不到30.0%，而且难以量化缺陷的三维坐标。在相关的工程案例的比较试验中，人工检测对玻璃幕墙密封胶老化的漏检率可达22.0%，无人机的巡检能实现0.2mm级的缺陷识别。数据采集集中，人工记录极易受到主观判断的干扰，如缺陷位置的描述不清晰，缺乏空间坐标关联；而且纸质记录的数字转化率不到50.0%，无法形成历史追溯档案。对于隐蔽性的缺陷，传统敲击检测法的效率较低，每平方米检测时间达10-15min，并且还可能对建筑表面造成二次损坏^[2]。

(三) 成本控制与人员配置的挑战

人工巡检的成本主要包括，高空作业人员的工资，在总成本中的占比为：60.0-70.0%，而且需配备安全员和地面指挥等，如在一些工业园区的建筑巡检中，人工成本可达几十万元。此外，设备投资方面，吊篮租赁的租金为2000元/天左右。而且

需频繁地移位，设备的调试时间在总工时中的占比达15.0%。

人员配置方面，专业的高空作业人员极其缺乏，一线城市中持证人员的平均年龄超45岁，年轻的从业者占比不到12.0%，而且由于安全风险较大致使人才严重流失。另外，检测团队需兼具建筑结构知识和高空作业技能，此类复合型人才的培育周期为3-5年，无法满足行业快速发展的需求。

(四) 数据管理与后期维护的挑战

在传统的建筑工程外观检测中，生成的纸质报告存在三个方面的问题。一是，数据的碎片化，缺陷的位置、类型尺寸等信息记录过于分散，如在某项目中曾出现，在17份报告中同一缺陷的描述不统一的现象。二是，缺乏时空维度，难以实现不同检测周期的比较分析，如某古建筑5年内的6次检测数据由于格式不标准，难以形成操作发展的趋势曲线。三是，缺乏可追溯性，纸质的档案电子化归档率不到30.0%，而且纸质档案极易受到环境影响而损坏。如某档案馆由于潮湿致使20.0%的检测报告出现字迹模糊的问题。在后续的维护环节，传统数据无法与BIM系统整合，缺陷修复后的复检依然需进行人工检测，若工程由于数据断层，会致使二次检测成本明显增加^[3]。

表1 广州周大福金融中心外观检测数据

检测维度	技术指标	实测数据
工作效率	单架次覆盖面积	1800m ²
	项目总耗时	3天
图像采集	单张影像分辨率	0.1mm/像素
	热成像精度	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
缺陷检测	玻璃裂纹平均长度	0.6cm
	密封胶开裂平均宽度	2.1mm
建模精度	三维模型误差	$\pm 2.0\text{mm}$

三、无人机巡检技术在建筑工程外观检测中的应用策略

以广州周大福金融中心为例，该工程超高层地标性建筑，高度为530m。建筑总面积达37万m²，外立面应用的是不规则的曲面玻璃幕墙和金属框架结合设计。随着建筑使用年限的增长，幕墙结构受到紫外线、风雨侵蚀和温度应力的影响。极易出现玻璃面板破损、胶条老化等安全隐患。2024年项目方使用了无人机巡检技术实施专项的外观检测。在本次检测中采用的是大疆无人机，型号：经纬M350 RTK，其配备了禅思P1五镜头倾斜摄影相机和禅思H20T多传感器模块。五镜头相机的分辨率达0.1mm/像素，单次飞行能够覆盖1800m²的区域。H20T的热成像功能可检测出0.5℃以上的温差，可为空鼓隐患的检测提供支持。经自主研发的三维航线规划系统，无人机应用“分层环绕+重点补拍”模式，可分12个高度层级来拍摄建筑工程的外立面，耗时仅3天就能完成全部数据的采集，与传统的人工检测相比，效率可提高8倍左右。数据处理环节，采用大疆

智图软件对 1.8 万张影像进行处理，并构建起精度为 $\pm 2.0\text{mm}$ 的三维实景模型，且使用 AI 图像识别算法，准确定位玻璃面板裂纹 153 处，（长度平均：0.6cm）、密封胶开裂区域 58 处、金属框锈蚀点 41 个。具体数据见表 1。

基于此，无人机巡检技术在建筑工程外观检测中应用策略包括以下几个方面：

（一）无人机选型与飞行性能优化

在建筑工程的外观检测过程中，必须结合建筑的不同特点及作业简单，科学选择适合的无人机型号。比如，广州周大福金融中心属于超高层建筑，其周围的气流较复杂、电磁干扰较大，所以，应选择具备极强抗风性能（可抵御 6 级以上阵风）、高稳定性的飞控系统与良好的抗电磁干扰的无人机。基于此，在该项目中主要使用了大疆经纬 M350 RTK 无人机，其具备了先进的飞行控制系统，能够在复杂气流中维持飞行姿态的稳定，保证了数据采集的精准性。而且，根据检测任务的要求，可合理配置搭载设备。在建筑外观的细节检测过程中，配备高分辨率的光学相机，如禅思 P1 五镜头倾斜摄影相机，具备了 0.1mm/像素的超高分辨率，可清晰地拍摄玻璃幕墙的细微裂缝、密封胶的细小开裂等缺陷。在隐蔽的缺陷检测过程中，可以使用热成像仪，如禅思 H20%的热成像功能可对 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的温差变化进行检测，有利于识别土体空鼓等隐患。

（二）航线规划和数据采集模式创新

航线的科学规划可保证无人机能够高效采集建筑外观的数据。比如，在广州周大福金融中心的不规则曲面玻璃幕墙和复杂顶部选型的外观检测中，主要应用了“分层环绕+重点补拍”的复合航线规划模式。首先，针对建筑进行整体分层环绕飞行，将平行航线的纹路设置为 5-10m，这样可完全覆盖建筑的外立面，并采集基础的影像数据。在建筑的顶部复杂选型、转角等部位检测中，可利用手动操控或预设特定航线的方式实施重点补拍。而且，借助先进的 3D 建模技术，在飞行前先构建起建筑的 3D 模型，以模型为基开展航线规划，可确保无人机的飞行路径与建筑结构相符合，防止飞行碰撞风险的出现。在采集数据时，对采集参数进行优化，可结合建筑材质、表面反光等特点来调整相机曝光的时间、感光度等参数，可减少玻璃幕墙反光导致的影像光斑噪点，显著提升影像的质量^[4]。

（三）数据处理和智能分析能力强化

无人机可采集海量的数据，因此，其需构建完善的数据处理和智能分析体系。一方面，应用高性能计算设备和先进的数据处理软件，如借助英伟达的 GPU（专业图形处理单元）集群可快速完成数据的处理，融合大疆智图等软件可对所采集的影像实施快速拼接，并构建三维模型，从而生成精准度达 $\pm 2.0\text{mm}$ 的 3D 实景模型。另一方面，应用深度学习算法对建筑外观的问题实施智能化识别和分类。训练以卷积神经网络为基础的模

型，可让其精准识别玻璃面板的裂缝、密封胶的老化及金属框架的锈蚀等问题，而且，可自动标注缺陷的位置、尺寸及严重程度等信息。比如在广州周大福金融中心的外观检测中，利用了这种智能分析技术，有效识别了玻璃面板裂缝 153 处、密封胶开裂区域 58 处、金属框架锈蚀点 41 个，明显提升了检测的精准性和效率。另外，搭建数据管理平台，可实现统一存储、管理和分析检测数据，全球历史数据的实时查询、比对，从而为建筑外观的后结关维护提供数据支撑。

（四）人员培训和行业标准完善

操作人员的专业技能和行业标准的完善程度，会对无人机巡检技术在建筑工程外观检测中的应用效果产生直接的影响。首先，应重视检测人员的专业培训，培养更多既能熟练操作无人机，又精通建筑材料、结构等知识的人才。培训的内容应包含：无人机的飞行原理、操控技巧、故障排查，以及建筑外观缺陷的识别与分析方法等。经理论学习 and 实践操控，全面提升操控人员在复杂环境中的工作能力。其次，重视行业标准的构建与完善，制定统一的无人机建筑外观巡检技术操作规范、数据采集标准及缺陷评估准则等。明确无人机的飞行高度、速度及拍摄角度等参数要求，规范数据处理的流程及报告格式，从而使不同项目的检测结果具备可比性，从而促进无人机巡检技术在建筑工程外观检测中的科学应用^[5]。

结论

总之，无人机巡检技术具备了低空摄影测量和三维建模功能，可为建筑外面的检测提供高效、精准的解决方案，可提高缺陷的识别精准度和作业的安全性。通过对广州周大福金融中心的案例分析可知，这种技术可解决传统检测的高空作业中各种挑战，但是仍需在抗风性能优化、AI 算法训练等方面进行优化。未来，应促进技术与 BIM、GIS 等系统的深度融合，从而构建起标准化的检测体系，这样才能实现对建筑外观的高效检测。

[参考文献]

- [1]皇甫森森.基于无人机巡检的高层建筑物外观检测系统设计[J].信息记录材料, 2023, 24(8): 176-179.
- [2]那威, 李亮.无人机与计算机视觉融合的建筑质量智能巡查技术应用实践[J].中国建设信息化, 2024(18): 28-29.
- [3]张安信.无人机技术在工程检测行业上的运用现状和展望[J].四川建筑, 2022(002): 042.
- [4]李彩虹.无人机技术在现代工程测量中的实践探索[J].价值工程, 2025(9).
- [5]刘春, 艾克然木·艾克拜尔, 蔡天池.面向建筑健康监测的无人机自主巡检与裂缝识别[J].同济大学学报: 自然科学版, 2022, 50(7): 13.