

# 无人机视觉成像结合超声回弹法老旧小区混凝土构件强度检测应用研究

敖 翔

重庆市住房和城乡建设技术发展中心（重庆市建筑节能中心） 重庆 400000

**【摘 要】**：老旧小区建筑环境繁杂，混凝土构件现场检测盲区覆盖广，病害易出现遗漏，强度检测数据存在偏差，结合行业现存问题，文章构建无人机视觉结合超声回弹的混凝土构件检测技术体系。研究搭建无人机视觉成像检测模块，依托适配环境的运动控制模型、分层成像采集方案及定制图像算法，完成混凝土病害图像采集与降噪处理。研究构建超声回弹融合检测模块，依靠视觉定位布设检测区域，通过多源数据拟合模型修正检测偏差。老旧小区实景试验证实，该联合检测模式可补齐检测盲区，降低病害漏检情况，优化混凝土强度检测数据精度，实现检测全流程数字化，可为老旧小区结构安全检测与智能改造提供有效技术支撑。

**【关键词】**：无人机视觉；超声回弹法；老旧小区；混凝土强度；无损检测

DOI:10.12417/2811-0528.26.17.009

老旧小区服役时间较长，混凝土构件易产生剥落、空鼓、裂缝等损伤，建筑结构安全状态随之受到影响，高效检测是小区安全鉴定与改造的重要基础。人工检测与单一超声回弹检测模式，受楼栋密集、管线杂乱、高空作业受限等现场条件限制，存在检测死角多、隐蔽病害漏判、检测偏差大、作业风险高的问题，难以适配老旧小区复杂检测场景。本文整合无人机视觉成像与超声回弹无损检测技术，构建一体化检测体系，优化图像处理、测区布设及数据计算模型，依托实景试验验证技术优势，为老旧小区混凝土结构安全检测提供全新的高效技术方案。

## 1 无人机视觉成像检测模块

### 1.1 无人机平台抗干扰与运动控制模型

老旧小区楼宇密集、管线交错，墙体钢筋与配电设施产生的电磁杂波，会导致无人机成像传输丢帧、飞行姿态出现偏移。设备搭载直接序列扩频抗干扰传输模块，可见光与红外成像数据经宽带扩频传输及接收端解扩降噪，可实现 600m 稳定图像传输，信号强度低于-75dBm 时可自主切换定向天线，规避楼体遮挡造成的信号断连。机体与地面双坐标系运动控制模型，结合坐标旋转变换与动力学方程线性化处理，构建线性解耦模型，调节电机转速保障飞行平稳<sup>[1]</sup>。激光雷达避障系统采集障碍物坐标并更新巡航地图，可在近距离快速重规划航线，沿建筑外立面开展安全作业，适配小区狭窄复杂的飞行环境。

### 1.2 老旧小区混凝土构件视觉成像采集方案

设备搭载红外热像仪与高清成像装置，可全天候采集小区梁柱、阳台板等混凝土构件检测数据。依托构件病害温差特征，

航测选取清晨六至八点实施，环境温差稳定，病害与完好区域红外辐射差值超 0.1℃，规避强光遮蔽内部缺陷的问题。设备采用分层分区采集模式，低空近景记录低层构件表观病害，倾斜环绕扫描获取高层易损构件数据。空地配合补齐检测覆盖盲区，无人机扫描后补拍建筑遮挡区域影像，依托 GPS 与飞行姿态参数匹配图像空间位置，修正高层检测覆盖不足、病害定位偏移的问题。

### 1.3 混凝土视觉图像预处理算法

老旧小区扬尘、杂散光与设备热噪声，会造成采集图像边缘虚化、病害灰度对比效果偏弱。系统配置分层预处理算法，依托卡尔曼滤波建立噪声状态与观测方程，解算噪声转移矩阵，滤除现场各类噪声与风化纹理干扰，图像边缘梯度可提升 42%。分段灰度线性增强手段可优化背景与病害灰度区间，转换色彩空间拆分图像分量，区分各类构件病害特征，杜绝特征混淆现象。MATLAB 平台可实现影像批量自动化处理，摒弃人工逐帧参数调试流程，提升批量影像处理效率，强化混凝土隐蔽缺陷视觉识别效果，为后续病害分割提供优质图像数据支撑（见图 1）。

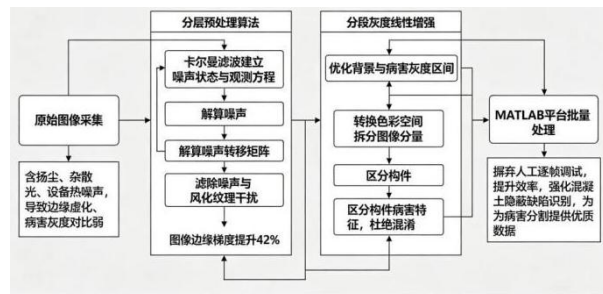


图 1 老旧小区图像预处理系统流程

## 2 超声回弹混凝土强度检测融合模块

### 2.1 超声回弹法混凝土强度检测基本原理

研究采用的超声回弹综合法契合检测规范,回弹值与超声声速参数可表征混凝土表层密实度及内部均匀性,弥补单一检测手段的不足。表层碳化、风化会影响回弹检测精度,内部空洞、微裂隙会干扰超声检测结果,双参数耦合可抵消龄期、含水率带来的检测误差<sup>[2]</sup>。内部损伤会改变声波传播速度与回弹数值,基于参数构建的强度拟合函数,可判定长龄期混凝土抗压强度。该无损检测方式适用于老旧小区长期服役的框架与砖混构件,可支撑建筑结构安全鉴定相关工作开展。

### 2.2 视觉定位辅助下测区精准布设方法

传统超声回弹检测依靠人工判定病害、布置测区,无法识别结构内部隐蔽缺陷,病害漏检问题较为突出。研究利用无人机视觉获取的病害坐标与轮廓信息,确立智能测区布设规范,围绕病害核心区域布置标准测区,固定各类检测点位,在完好构件区域均匀布设测点。现场导入坐标文件即可完成点位导航,省去人工逐层排查流程。实测数据显示,视觉辅助布点模式可将漏检率由 28.7% 降至 3.2%,精简冗余测点与作业环节,提升小区混凝土构件测区布设质量与作业效率。

### 2.3 多源检测数据耦合计算模型

适配老旧小区混凝土损伤不均的复杂工况,研究搭建融合红外视觉特征、超声声速、回弹值的多源数据耦合计算模型。提取红外灰度差值作为损伤特征系数,改良传统强度拟合公式,修正内部缺陷带来的声速衰减误差。动态加权融合算法可依据构件实际状态调整参数权重,降低表层检测误差干扰。D-S 证据理论可处理多源数据冲突,剔除异常数据并输出构件综合抗压强度。模型相较传统双参数算法,与钻芯实测真值的相对误差下降 5.1%,提升老旧小区长龄期损伤混凝土的强度检测精度。

## 3 现场仿真与老旧小区对比试验分析

### 3.1 试验样本与工况参数设置

试验选取建成 22 至 28 年的老旧框架小区开展实测,选取

96 处混凝土构件作为样本,包含表层剥落、内部空鼓、深层裂缝及完好密实四类结构状态。试验设置多种光照环境,控制无人机作业风速与红外采集温差的合理区间。检测设备统一校准,标定回弹、超声仪器精度,预留 18 处钻芯点位,以钻芯实测强度作为校验标准。试验统计多项作业与识别指标,保障试验数据可靠可用,为技术验证提供数据依据。

### 3.2 单一超声回弹法检测试验

传统超声回弹检测采用人工巡查布点,人员攀爬楼栋排查构件缺陷,凭经验布设测区。六层楼栋人工布点耗时 110 分钟,高空及悬挑构件存在作业局限,存在 21 处检测盲区。检测仅依靠双参数推算强度,未结合内部隐蔽损伤状态,检测结果与钻芯真值平均相对误差 12.6%。96 组样本中 14 处内部疏松病害未检出,病害识别准确率仅 85.4%。传统检测作业效率低、高空作业风险大,隐蔽病害识别效果较差,难以满足老旧小区高精度结构检测鉴定需求。

### 3.3 无人机视觉+超声回弹联合检测试验

同批次 96 处构件采用无人机视觉与超声回弹联合方案检测,设备采集楼栋外立面影像,经处理识别与定位输出有效数据,单栋航测耗时 22 分钟,规避各类高空作业隐患<sup>[3]</sup>。工作人员依托病害坐标精准布点,单栋布点耗时 38 分钟,消除高空检测盲区。多源耦合模型结合红外损伤系数优化计算,强度推定误差降至 7.5%,病害识别准确率达 100%。该方案可输出构件坐标、病害影像、强度数据与安全报告,数据接入智慧改造平台,完成小区混凝土检测全流程数字化溯源留存。

## 4 结语

本文构建无人机视觉耦合超声回弹的老旧小区混凝土构件联合检测体系,完成成像采集、图像预处理、智能布点及多源数据耦合计算的全流程优化。对比试验表明,相较于传统单一检测方式,该技术可消除高空检测盲区,提升病害识别精度与作业效率,降低混凝土强度检测误差,有效弥补传统检测技术的多项缺陷。该技术可实现检测数据数字化溯源,对接智慧改造平台,适配老旧小区复杂作业场景。后续可优化算法模型,提升极端环境检测稳定性,为老旧小区结构安全评估与翻新改造提供完善的技术支撑。

## 参考文献:

- [1] 漆玲,周海龙.回弹法与超声回弹综合法在混凝土抗压强度测试的研究[J].江西建材,2024,(11):109-111.
- [2] 蔡昶.基于双目视觉的无人机检测与测距技术研究[D].西京学院,2025.
- [3] 许世达.高强混凝土回弹法和超声回弹综合法检测研究[J].工程技术研究,2025,10(18):17-19.