

“基于非介入式智能识别的钢结构工程检测关键技术及应用” 成果登记公示信息

成果名称:	基于非介入式智能识别的钢结构工程检测关键技术及应用
完成单位:	中冶建筑研究总院（深圳）有限公司, 天津大学, 上海市建筑科学研究院有限公司, 深圳市房屋安全和工程质量检测鉴定中心, 北京航空航天大学, 哈尔滨工业大学(深圳), 中冶建筑研究总院有限公司, 深圳市城图科技有限公司
完成人员:	姚志东, 卢佳祁, 常正非, 邓涌, 郝彬, 胡卫华, 王静远, 王卓琳, 闫贵海, 李禹濛, 逯鹏, 郭刘潞, 王超, 雷聪, 李艳娜, 何京波, 余炫达, 陈雨
研究起止日期:	2017-12-04 至 2023-11-30
主要应用行业:	建筑业
高新技术领域:	电子信息
评价单位:	天津市科学技术评价中心
评价日期:	2024-06-07
成果简介:	<p>①课题来源与背景:</p> <p>课题来源:</p> <p>国家投入和省级投入来自于国家重点研发计划项目科学技术部高技术研究发展中心《跨海集群设施服役状态评估及智能维护技术与装备》2019YFB1600702。</p> <p>地级投入来自于深圳市技术攻关面上项目深圳市科技创新委员会《沿海大型钢结构服役性态智能诊断系统研发》JSGG20201102173802006。</p> <p>自有资金投入除上述两个课题外还包括中国五矿集团科技专项 中国五矿集团有限公司《基于无人机搭载多传感设备的建筑与基础设施智能检测技术》2019ZXA11 和中冶建筑研究总院重大课题中冶建筑研究总院有限公司《大面积填海区域变形及建</p>

筑外围护系统监测检测关键技术》YJA2018Kj01。

课题背景:

钢结构工程广泛应用于各类工程,但由于施工不规范、温度波动、盐湿环境、反复荷载等因素影响,会使结构出现多种病害,其中沿海地区的钢结构工程还会面临着极端环境。使得钢结构工程安全诊治面临着巨大的困难。然而,传统的钢结构工程诊断方法已无法满足当前的需求,将人工智能等高效分析技术引入钢结构工程诊断领域是亟需解决的重要问题。

目前已有研究人员开展了用于巡检机器人和无人机等设备的研究,探讨了基于深度学习的螺栓、焊缝、锈蚀缺陷识别,并使用视频识别、传感器测量、有限元模拟对结构变形研究,但现有无人机无法抵近墙面,现有识别算法具有依赖样本量大、耗费人工、不易获取样本、识别不清等问题,变形检测面覆盖不全。因此,研发一种非介入式、高效、精准的钢结构工程损伤智能识别技术显得尤为重要。

各完成单位已在建筑钢材、焊接材料和防腐涂层等领域构建了较为完整的标准体系,建有国家钢结构工程技术研究中心和国家钢结构质量监督检验中心等中心,曾参与了多个科研项目具有丰富经验,保障了成果的顺利完成。

②技术原理及性能指标:

本研究创新研发了针对钢结构工程检测的非介入式智能识别关键技术。主要成果如下:

(1)高鲁棒控制的钢结构数据采集装备与优化算法。研发了可吸附于钢结构表面的多旋翼壁面无人机,使用基于激光定位的

巡检路径规划方法，其“磁力吸附+贴壁飞行”的模式为国内首创，无卫星信号下的精准定点定位复拍，目标点前后位置偏差小于 5%，并提出了基于可解释性的检测并恢复神经网络对抗样本方法，数据误检率和漏检率降低至 1%。

(2)基于特征级联的钢结构节点损伤智能巡检技术。发明了多模态渐进式联邦学习的焊缝表面缺陷图像识别方法，缺陷分割 IoU 优于 90%；建立基于零缺陷样本的螺栓丢失缺陷巡检系统和基于多维特征的螺栓微小松动缺陷巡检系统，螺栓丢失缺陷的漏检率仅为 1%，当螺栓松动角度阈值为 2.5° 时，识别准确率可达 99.7%。

(3)适应复杂场域的钢结构锈蚀损伤智能检测技术。研发了一种基于 HSV 多特征的表面锈蚀智能检测方法，可排除实际检测场景中与锈蚀相近特征的干扰，识别准确率优于 95%；研究了基于无人机正射图像的表面锈蚀损伤检测方法，实现对广域场景的全方位覆盖和锈蚀准确的提取。并采用基于高光谱的涂层劣化性态时谱识别方法，实现涂层劣化识别。

(4)空地一体化的钢结构变形损伤智能检测技术。提出基于无人机和无人车有效结合的钢结构全覆盖倾斜摄影测量方法，检测的空间覆盖率超过 95%。研发基于机器视觉的结构竖向变形动态监测方法，建立了基于三维可视化的结构变形实时监控系統，精度可达亚毫米级。

③技术的创造性与先进性:

本项研究针对钢结构工程损伤的研发，彰显了显著的创造性与先进性。充分利用科学知识和原理，在采集装备和识别算法等

方面实现了自主创新，自主研发的技术占比高，还推动了行业技术的进步，展现了卓越的创新能力。“磁吸+壁面”模式、地空协同模式为国内首创，高光谱技术为国内首次引入建设领域。

④技术的成熟程度，适用范围和安全性：

本技术经过了长时间的研发与验证，所采用的无人采集装备、巡检和检测方法以及智能算法等关键技术，拥有完善的系统架构和操作流程，经过了严格的测试和验证。在多个实际项目中得到了广泛应用，涵盖了不同类型的钢结构工程，在实际应用中表现出了高度的稳定性和可靠性，得到了用户的广泛认可，本技术具有一定的成熟性和良好的安全性。可广泛的应用于各类钢结构焊接、螺栓节点、金属锈蚀、涂层劣化、结构变形检测与监测。

⑤应用情况及存在的问题：

本技术相关成果率先在以深圳为代表的粤港澳大湾区取得区域应用,核心成果还推广应用于北京市、上海市等多个城市。应用对象包括大型公共建筑(医院、体育场馆、车站等)、超高层建筑、桥梁等多种类型的钢结构工程。近三年主要完成单位依托本项目成果进行市场拓展的总收入超过 2 亿元，经济效益显著。

存在问题：本技术应用于普通民用建筑，技术成本相对较高，可能限制了在一些小型项目中的普及；此外，对于某些特殊损伤类型，识别准确率还有待提升。

⑥历年获奖情况：

2023 年《滨海城市典型建筑全寿期安全控制关键技术及应用》获得中国五矿集团有限公司的中国五矿集团公司科技进步奖一等奖。

