

无人机在大型起重设备金属结构检测上的应用

胡静波,周前飞

(南京市特种设备安全监督检验研究院,江苏 南京 210017)

摘要:介绍了大型起重设备结构的损伤形式、检验需求和当前常规检验中存在的问题,论述了无人机平台在行业的应用及解决该类问题的可能性及其优势,对无人机检测系统研制和应用中需要解决的技术难点进行了分析,给出了无人机检测系统样机的技术指标和现场实测结果。

关键词:大型起重机;结构检测;无人机

中图分类号:TH211 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2019)05-0165-03

Application of UAV in Metal Structure Detection of Large Cranes

HU Jingbo, ZHOU Qianfei

(Nanjing Special Equipment Inspection Institute, Nanjing 210017, China)

Abstract: The damage forms, inspection requirements and problems existing in current routine inspection of large crane structure are analyzed in the paper. Then, the application of UAV in industry and the possibility and unique advantages of solving these problems are introduced. On this basis, the technical difficulties to be solved in the development and application of UAV detection system are discussed. The index and the results of field tests of the prototype of this UAV are described, and the development direction of the application of this system in the inspection on the large cranes is given out.

Keywords: large cranes; structure detection; UAV (unmanned aerial vehicle)

1 大型起重设备金属结构检测现状

随着社会经济的发展,起重机向着大型化的方向发展,其吨位越来越大、自身结构尺寸也越来越庞大。金属结构是起重机的骨架,支撑着电控系统、运行机构和其他零部件,其质量通常占整机质量的70%~80%。金属结构在长期的使用过程中,不可避免会受到荷载作用、疲劳与腐蚀效应以及材料老化等因素的影响,如果再缺乏及时的维护保养,很有可能会产生损伤累积和抗力衰退,从而影响结构的承载力和使用寿命,最严重时会导致结构突然断裂等事故发生。对于大型起重机金属结构而言,其不健康状态主要包括了结构变形、尺寸变化、厚度减小、结构裂纹及其他类型损伤等。

为防止事故的发生,对正在使用的起重机金属结构状况进行有效的检测、评估、识别和控制显得很有必要。这类检查行为大致可分为检验机构的定期检验、使用单位的日常巡检和技术机构的安全评估等几类。通过这些检查,可以及时地发现结构中出现的异常现象,可为设备的维护保养提供科学依据,从而通过对金属结构适当的维护保养来延长结构件的使用寿命,提高其承载能力。

大型起重机金属结构的检测属于高空作业,而且现场往往还伴随着高温、大风等恶劣环境。设备检查人员往往很难达到大型起重机结构的某些重要部位,即使达到后也会因为空间受限等原因难以从容地使用仪器进行检查工

作。这些重要部位包括门座起重机的臂架顶端和人字架、门式起重机的支腿上部和主梁下盖板,塔式起重机的臂架端部等都是检查的重点。

因此,对于大型起重机金属结构而言,如何找到一种成本较低,易操作,并且安全性高的方式将各类检测用传感器运送到被测部位,从而获得结构检测所需数据,再进行相应的评估和判断显得尤为重要。

2 无人机在检测行业的应用

随着科技的发展,无人机技术已成为近年来发展势头迅猛的一项技术,据中国航空器拥有者及驾驶员协会估计,我国民用无人机领域已有300~400家企业正在从事包括研发、设计、制造、运维等在内的相关产业。除航拍等消费领域的应用外,民用无人机目前已在电力巡检、桥梁检测、环境监测及风能勘测等领域得到广泛应用。

彭向阳等人研制了一种电力线路安全巡检及智能诊断系统,该系统利用无人机进行多传感器数据的采集工作^[1],可完成对线路通道的安全距离检测、线路设备异常发热及异常放电检测,实现对输电线路不同缺陷和隐患的智能诊断。王小莉研制了面向桥梁检测的四旋翼飞行器控制系统^[2],建立了一个四旋翼飞行器动力学模型,设计的飞机控制系统结合了PID技术,搭建了一套适应桥梁检测用的硬件系统。孙朝阳等人对无人机在风能勘测开发方面的应用进行了探讨^[3],利用无人机的航拍功能,进

行了无人机航摄数据分析处理的研究,研制了风能勘测无人机应用系统。刘晓东对无人机数据采集系统在公路养护中的应用进行了展望^[4],也是利用无人机的航拍特性,通过其采集的数据弥补传统公路养护数据采集设备和技术难以满足生产需求的不足,所研制的系统搭载了相机、摄像机、雷达等多种负载。

将无人机技术应用在大型起重机金属结构检测领域具有极大的优势。该方案可将检查人员的登高行为转变为无人机的飞行,将人眼的目测检查转变为高分辨率 CCD 图像采集,同时可利用搭载的其他无损检测仪器同步采集金属结构相关数据,地面站的各种损伤判断算法可为检验人员的判断提供帮助。采用无人机系统进行大型起重机结构检测目前几乎为空白,这种全新的检测模式降低了人工检测大型起重机重要部件时的风险,提高了特种设备检验检测的自动化水平。

3 系统研制中解决的难点

为达到大型起重机金属结构检测的目的,对无人机检测系统进行规划。该系统分为飞行子系统、通讯子系统和地面子系统 3 部分,如图 1 所示。

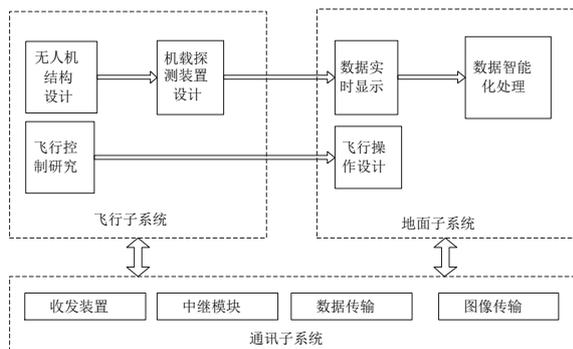


图 1 无人机检测系统架构

在具体研制过程中采用理论分析、样机试验和实验验证相结合的方法。各子系统研发中重点解决的技术难点包括:

1) 飞行子系统:该子系统的研发包括了无人机飞行平台设计、飞行控制算法研究和图像采集装置接口设计等。

在无人机结构设计环节,根据大型起重机现场检测的需求和搭载探测装置的需要,综合考虑无人机自重、有效载荷、飞行高度、飞行速度、悬停精度、精确定位程度等。在结构设计环节中,应特别考虑无人机飞行保护措施以及无人机意外掉落的缓冲保护装置等,以防止在检测过程中与周围障碍物发生碰撞伤害起重机或相关人员。

在无人机飞行控制研究环节,主要包括无人机姿态控制回路、位置控制回路、避险控制回路等内、外回路控制系统的设计。由于起重机作业现场环境复杂,无人机在飞行过程中存在很多静止或运动的障碍物,因此需要对无人机的自动避障功能进行特别定制。

2) 通讯子系统的研究:包括对数据传输和图像传输链路的研究。

数据传输是指对无人机平台飞行控制的通讯链路为双向传输,图像传输是指机载探测设备对地面的通讯链路是单向传输。对于图像传输而言,由于视频信息的信息量较大,必须对其进行适当的压缩,但同时又不能失去其中的信息,可采用 H.264 等国际流行的压缩编码进行处理。

3) 地面子系统的研究:包括无人机平台操作设计、数据实时显示和数据的智能化处理模块。

对于拍摄数据的智能化处理主要包括预处理和损伤识别两部分。由于起重机金属结构的各类缺陷与结构本体在灰度上存在较大差异,在预处理时可采用基于阈值的图像分割方法。金属结构的损伤主要包括有裂纹、锈蚀、磨损、塑性变形等形式。在损伤识别的处理中可利用结构响应值的改变来进行相应的识别处理,此时的损伤识别问题转化为对应的多峰值优化问题或相应模式下的分类识别问题。

以金属结构表面裂纹损伤识别为例。在本系统中综合考虑了无人机姿态变化和振动、拍摄天气、光照、裂纹退化等因素,采用了无人机图像定量去噪增强算法、基于图像局部区域约束与 R-L 反卷积的图像去模糊抖动算法等图像预处理方法,以此来提高输出图像的对比度和分辨力。在此基础上通过多尺度几何分析(MGA)的裂纹边缘特征提取方法、分形阈值与数学形态学的高精度裂纹骨架特征提取方法、二维经验模式分解(BEMD)和蛇模型的裂纹边缘特征提取方法提取裂纹特征向量。最后通过多尺度拓扑裂纹基础特征模型的分类算法、样本紧密度模糊支持向量机的裂纹类型识别方法、裂纹的扩展方向的复杂不规则裂纹参数识别方法对裂纹特征进行分类识别。系统以此方法来区分裂纹和非裂纹区域之间的差异,从而实现起重机金属结构有无裂纹缺陷的检测,并进一步识别裂纹缺陷的类型和长度、宽度、方向、面积等参数,建立了裂纹严重程度的量化评价方法。

4 样机性能及现场实测结果

根据设计方案和检测目研制的以图像识别为基础的大型起重机结构无人机检测系统,其实物见图 2。该系统能够实现起重机技术结构表面损伤、零部件缺失和机构损坏的自动化检测。



图 2 大型起重机结构无人机检测系统样机

在一台大型门式起重机现场安全评估过程中,利用无人机对人员难以接近的部位进行了检测,拍摄了待检测部位的高分辨率图像和视频,如起重机的下盖板、支腿、支腿

与主梁螺栓连接等部位,并将图像和视频实时传回地面操控平台进行显示,评估现场见图3。



图3 无人机检测系统检验现场

无人机检测系统除具备图像的实时采集显示功能外,还具有对图像裂纹等特征进行自动提取和识别的功能。无人机飞行平台能够在空中高精度悬停,对目标进行多视角拍摄。该系统创新地采用了上置式拍摄云台,更适合大型起重机主梁下盖板、支腿等重点部位的拍摄,具有比传统下挂式云台更大的仰视拍摄角度。现场传回地面工作站的图片如图4、图5所示。



图4 主梁下盖板及法兰连接部位



图5 主梁支腿法兰连接部位

该检测平台与设备最近的安全距离可以达到4m,完全满足贴近设备拍摄,提高目标细节分辨能力的要求。搭载的摄像机像元尺寸 $<4\mu\text{m}$,能分辨出宽度为0.2mm的裂缝缺陷,如图6所示。同时摄像机可以进行变焦,既能对目标进行短焦距大视场的整体观察,又能对目标进行长焦距小视场的详细观察;既适用于起重机金属结构整体变形的判断,也适用于金属结构损伤细节的检测。



图6 现场可识别裂纹尺寸测试结果

5 结语

目前该套检测系统已可实现检验人员对较难达到的起重机重点部位的检验、检测,但系统目前功能也存在一定的局限性,需要在应用中不断进行改进,主要在以下几个方面:

1) 无人机飞行保护方面:起重机检测现场往往会存在各类交叉作业和多种电磁干扰,钢结构的遮挡也会影响无人机的GPS定位,因此在检测系统的飞行保护和自动避障显得尤为重要,如何优化系统的避障功能但又不影响接近设备检测的需求,将是下一步研究重点。

2) 损伤自动识别方面:目前系统已可以在设备宏观检测基础上,结合检验人员的目测判断,进行进一步的损伤细节识别、检验,但如何让系统根据既定的检测方案,在检验人员不过多参与的情况下对各类损伤进行智能识别将是系统下一步需要解决的难点。

3) 检测标准制定方面:目前无人机飞行平台在结构件检验检测上的应用越来越受到各方关注,但该类型检测系统应当达到的技术要求和采用该系统进行检测应当遵循的检验方法还没有相应的国家标准。因此,在系统应用和改进的基础上对该类型产品的性能要求和检验、检测方法制定一系列标准将是下一步的发展方向。

总体来说,该套检测系统将无人机技术、视觉探测技术、损伤识别技术和传统检测技术有机结合,通过该系统的应用有效地提高了检测效率,减少了检验的人力成本投入,降低了检验中的风险,可用于检验、检测机构的定期检验、使用单位设备巡检和监察机构的专项检查等场合,具有显著的经济和社会效益。

参考文献:

- [1] 彭向阳,陈驰,饶章权,等. 基于无人机多传感器数据采集的电力线路安全巡检及智能诊断[J]. 高电压技术,2015,41(1):159-166.
- [2] 王小莉. 面向桥梁检测的四旋翼飞行器控制系统研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2013.
- [3] 孙朝阳,郑彦春,徐秀云. 无人机航空摄影测量技术在风能开发勘测方面的应用[J]. 电力勘测设计,2011(5):24-29.
- [4] 刘晓东,刘玲,杨璇. 无人机数据采集系统在公路养护中的应用展望[J]. 公路交通科技,2015(4):41-44.

收稿日期:2018-11-16