

光纤传感在飞机结构健康监测中的应用进展和展望



王文娟,薛景锋*,张梦杰

中国航空研究院,北京 100012

摘要:由于波分复用可实现多点测量特点,光纤传感被期望用于飞机结构的实时监测。飞机对重量(质量)极为敏感,光纤传感的应用可以极大程度上减少测量导线而达到减重的目的。同时,光纤传感还具有抗电磁干扰、耐高温、抗疲劳、抗环境腐蚀的显著优势。随着智能飞机结构的广泛应用,要求光纤传感更密集、更快、更小型。基于飞行测试和相关应用经验,本文对当前研究进展进行回顾,并对未来发展进行展望。

关键词:光纤传感;结构健康监测;飞机;应用;展望

中图分类号:V219

文献标识码:A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2020.07.013

结构维修占飞机维修60%以上的时间,结构寿命也决定了飞机的寿命,而且结构损伤呈现分布式、偶发性和难监测的特点,因此结构健康监测成为飞机预测与健康管理的核心方面^[1]。美国和欧盟持续发展了飞机结构健康监测技术,F-35飞机发展了预测与健康管理系统(PHM),更引起国际上对于结构健康监测技术的关注和重视^[2]。

飞机结构健康监测可以分为整机疲劳寿命监测和关键部位损伤监测两部分。整机疲劳寿命监测将载荷监控与疲劳寿命分析结合以实现疲劳寿命监控,掌握每一架飞机的实际使用情况,有利于控制剩余寿命,提高飞机在飞行中的安全性;关键结构损伤监测通过监测关键结构部位应力或损伤参数,与正常指标进行对比分析,从而判断出飞机重要结构的受损程度以及损伤的具体位置^[3]。

结构状态主要通过应变、载荷和振动等信息反映。由于飞机的高机动性、结构复杂性以及环境严酷性,需进行多点状态监测,使用传统应变片的方法已很难满足需要,主要原因是引线多、增重多、寿命不能与机体同寿,亟须研究采用新的应变测量技术。光纤光栅(FBG)传感技术作为一种新兴的应变测量技术,具有结构灵巧、布线简洁、高效、长寿命、抗电磁干扰等诸多优点,在航空航天等尖端装备领域具有重大应用前景。为适应航空航天装备关键部位高精度测

试、大型结构件上千点测试的特殊需求,使得高精度光纤光栅和弱反射分布式光纤光栅传感技术成为武器装备结构健康监测和状态管理的核心与关键。

1 光纤传感系统

1.1 光纤光栅原理和特点

光纤光栅应变测量原理如图1所示,宽带光入射光纤光栅串,每经过一个光纤光栅,就反射回与其中心波长对应的窄带光,而光纤光栅的中心波长随其应变状态发生偏移,通过对回光波长的检测来获得对应光纤光栅测点的应变变化。光纤光栅串由一系列不同中心波长的光纤光栅组成,采用波分复用技术来实现高效的应变测量^[4]。

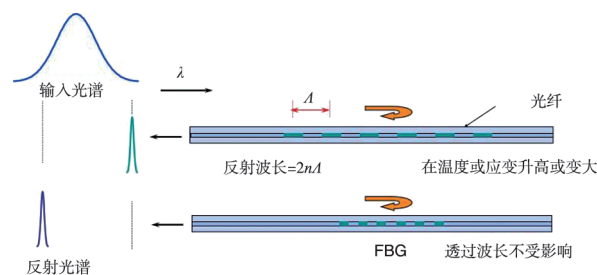


图1 光纤光栅应变测量原理

Fig.1 The principle of fiber grating strain measurement

收稿日期: 2020-05-20; 退修日期: 2020-05-29; 录用日期: 2020-06-10

*通信作者. Tel.: 010-84936599 E-mail: xuejingfeng@cae.ac.cn

引用格式: Wang Wenjuan, Xue Jingfeng, Zhang Mengjie. Application progress and prospect of optical fiber sensor in aircraft structural health monitoring[J]. Aeronautical Science & Technology, 2020, 31(07): 95-101. 王文娟, 薛景锋, 张梦杰. 光纤传感在飞机结构健康监测中的应用进展和展望[J]. 航空科学技术, 2020, 31(07): 95-101.

光纤光栅传感因具有精度高、波分复用、抗电磁干扰能力强、寿命长、可靠性高、耐腐蚀、体积小、重量轻,易埋于复合材料结构等优点,已成为满足结构关键部位结构健康监测需要、极具发展前途的应变载荷测量技术。

1.2 弱反射光纤光栅原理和特点

弱反射光纤布拉格光栅传感系统的原理如图2所示,当信号光入射到达弱反射光纤布拉格光栅时,与光纤布拉格光栅的中心波长一致的很小一部分信号光被光纤光栅反射回来,剩余的大部分光信号继续向前传输直到下一个弱反射光纤布拉格光栅,继续发生同样的作用,接着继续如此进行下去,直到序列中的最后一个光纤布拉格光栅。最后只需要分析探测系统接收到的光栅中心波长的变化情况,就可以实现阵列中每个光栅的传感功能^[5]。

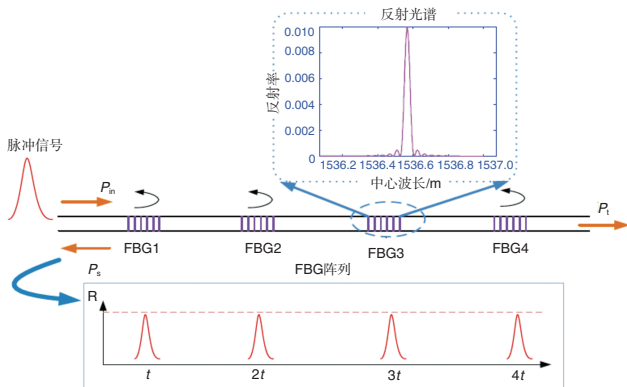


图2 弱反射光纤布拉格光栅传感系统的原理

Fig. 2 The principle of the weak-reflection fiber Bragg grating sensing system

弱反射分布式光纤光栅可以在一个长距离光纤内以毫米间隔刻制光栅,光栅的反射系数小于0.1%,一次测量即可以获得待测光纤所有位置处的温度/应变信息,实现对待测光纤的快速巡检。具有多测点、高空间分辨率、无盲区连续分布式测量的能力,可实现成千上万个点的测试,实现空间连续特性测量。适用于飞机机体等大型结构的变形、载荷分布的测试需求。

2 航空需求

智能化、自感知、安全经济已成为新一代飞机发展的趋势。飞机预测与健康管理系统是提高飞机可靠性、测试性、保障性和维修性的关键技术;由于武器装备的高机动性、结构复杂性以及环境严酷性,使用传统的应变监测技术已很难满足对结构综合健康状态的监测,尤其在服役环境下的实时在线监测。飞机在结构方面,由于减重的要求更为迫切,使复合材料的使用量在不断增加,一方面复合材料使用

经验相对金属材料更为欠缺,另一方面复合材料失效具有更隐蔽的特点,因此复合材料的监测技术成为结构监测的难点和重点。由于缺少长寿命结构应变载荷监测手段,目前采用基于临时应变飞参数据的载荷方程方法,设计部门最希望直接获得关键部位的应变载荷,用于结构寿命与安全评估,对于复合材料,飞机设计人员更为关心飞行过程的动载荷以及飞机着陆后的偶发冲击对结构造成的损伤。

飞机结构状态实时监测系统的实现,有几个关键因素:系统需要监测参数高度集成、重量轻、测量数据准确稳定可靠、传感器要与机体同寿。我国在20世纪90年代就已提出对飞机开展实时结构健康监控的思想,为何到今天尚未实现,关键原因是没有找到适合的传感器,由于飞机结构是连续分布的,进行结构状态监控仅应变参量全机就需要几百个测点,如果采用传统应变片就需要上千条导线,仅导线和航插的重量就达几十千克,基本不具备可实现性,加之电阻应变片易受电磁干扰影响、焊点易断等原因,一直未被作为长期装机实施结构应变监测的手段。因此,传感器是制约结构监控技术发展的瓶颈。

先进复合材料具有轻质量、高强度、高模量、结构功能一体化和设计制造一体化、易于制造整体化大型构件等优点,其用量已成为航空器先进性的重要技术指标之一。随着其应用的广泛性和重要性,也面临一些较为棘手的问题,首先大型复合材料制造过程中工艺参数复杂,难以保证参数均匀性,导致一些部件存在较高的废品率,严重影响生产效率;其次复合材料基于本身各向异性的特点,在服役过程中受到外部载荷尤其是冲击载荷作用下,内部易产生分层、脱黏等损伤而表面往往难以察觉,存在严重安全隐患,目前周期性的全尺寸无损检查耗时耗力,且无法达到实时监控的目的;在维修方面,对复合材料部件的使用寿命预估和维修策略研究甚少,导致使用相当保守,亟须一种结构健康监测的手段对其制造、服役、维修阶段进行监控^[6]。

分布式光纤传感系统是同时利用光纤作为传感敏感元件和传输信号介质,利用光波在光纤中传输的特性,可沿光纤长度方向连续的传感被测量(如温度、压力、应力和应变等),包括基于后向瑞利散射、拉曼效应、布里渊效应等多种不同原理的系统。优点在于可在很大的空间范围内连续地进行传感,传感部分结构简单、使用方便,同时信息获取成本大大降低,性价比高。采用分布式传感器不需要对光纤进行刻蚀,在全程范围内具有感知功能,随着空间分辨率和采样速率的提升,在结构应变场、温度场、结构损伤的监测中具有重要应用价值。

光纤传感器是复合材料结构健康监测最有潜力的传感器,具有质量轻、尺寸小(类似头发丝)、长寿命、高可靠性等优点,可安装或内埋于材料结构中,与复合材料实现完美匹配。分布式光纤侧重连续应变场的监测,光纤光栅侧重对复杂部件关键应力点的监测,两者互补。

3 应用研究进展

美国军方在三代机F-18以及四代机F-22、F-35中,在机身、机翼等重要部位安装光纤光栅传感器进行动态应变、温度等参量的测量,光纤光栅成为PHM的重要组成部分。波音、空客的新一代军用运输机、民用客机中也研究使用大量的光纤光栅传感器进行飞机的结构状态监测,以降低检查维护成本,提高飞机使用安全性。X-33研制了包含光纤传感器的VHM系统,在F-18上进行领先验证的传感网络布局情况,采用光纤光栅传感,如图3所示。随后,美国国家航空航天局(NASA)将该VHM系统在X-33上进行应用验证,以多点应变和温度测量的光纤光栅传感网络,进行结构实时健康监测^[7],如图4所示。

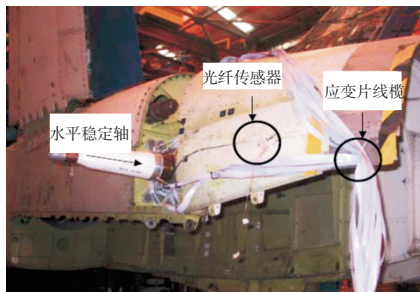


图3 光纤传感器在F-18上进行领先验证的传感网络布局情况
Fig.3 Fiber optic sensor network layout for leading verification on F-18



感知变化
利用光纤感技术实现结构健康监测

图4 安装有光纤结构健康监测系统的X-33验证机

Fig.4 X-33 installed with optical fiber structural health monitoring system

美国第四代战斗机F-35中配备了PHM系统,其重点是利用对先进传感器的集成应用,并借助各种算法和智能模型来预测、诊断、监控和管理飞机的状态,在起落架结构疲劳监测系统就采用了先进的光纤应变传感器^[8]。

2008年,NASA利用光纤传感器测量系统对Ikhana无人机机翼形状进行了测试,每个机翼布置了1440个传感器,如图5所示。研究人员能够在无人机执行任务时实时检测机翼的应变分布及二维形变。这是实现亚声速固定翼飞机姿态控制的第一步,并且同时为机翼结构及负载能力监测提供了一个有效的方法^[9]。

德国宇航公司(DASA)飞机测试中心将光纤光栅传感器安装于新研制的碳纤维增强塑料(CFPR)机翼表面,实现了对机翼疲劳特性的监测。空客公司利用FBG传感器在A340-600试验台上对复合材料结构健康状况进行监测评估^[10]。

瑞典光学研究院与瑞典国防研究院(FOI)正在进行一项名为“Smart”的国家计划,旨在将光纤光栅传感器开发用于监视战斗机复合材料结构的时分复用应变和温度测量系

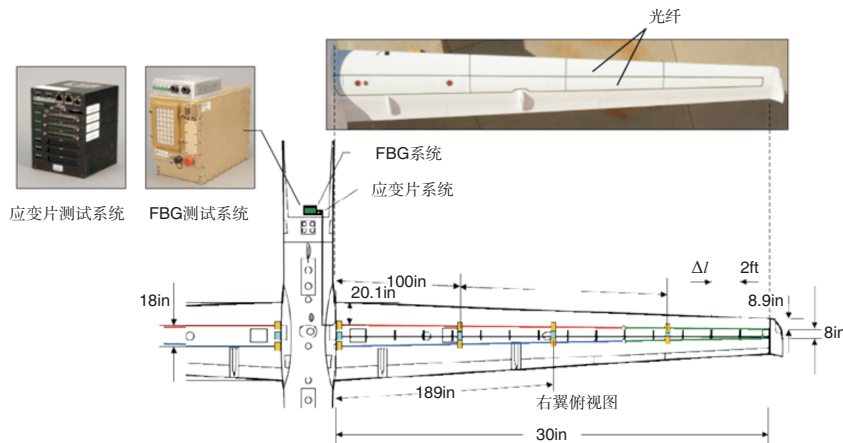


图5 带有光纤传感器的Ikhana无人机 (1in=25.4mm)

Fig. 5 Ikhana unmanned aerial vehicle with optical fiber sensors

统,同时也准备开发基于先进载荷监视和损伤探测技术的实时健康和操作监视系统^[11]。

欧盟第六框架计划支持的项目 SMIST (structural monitoring with advanced integrated sensor technologies) 反映了空客发展 SHM 技术的研究计划和路线图。SMIST 目的是将先进传感系统集成于飞机结构中,以降低维护成本、减轻重量、提高飞机的运营能力。

欧盟第七框架协议:灵巧智能飞机结构 SARISTU (smart intelligent aircraft structures) 项目中已将光纤光栅传感器作为飞机机翼变形测量的手段,用于变弯机翼控制和结构健康监测。图6为在变弯度机翼后缘上安装的光纤传感器梁和光纤带状传感带^[12]。

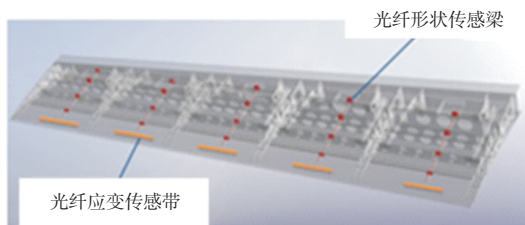


图6 变弯度后缘变形传感系统布局

Fig.6 Layout of trailing edge deformation sensing system

国内方面,相关高校和科研院所紧跟国际研究前沿开展了相关研究工作。针对某型飞机机翼盒段,构建了基于波分复用结构的分布式传感网络测量盒段试件应变监测系统,运用波长监测方法实现对盒段结构承受载荷情况的有效监测研究表明,传感器的波长偏移与载荷呈线性关系,传感器的最大载荷监测灵敏度达 3.09pm/N ^[13]。基于瑞利背向散射的新型分布式传感器的研究应用光纤传感器对复合材料结构固化过程进行监测,并对复合材料结构进行损伤识别,开展了复合材料压力容器的结构健康监测等研究^[14]。

针对航空领域光纤传感技术开展研究,开展光纤传感器、光纤光栅解调仪、校准和航空应用研究。主要针对光纤光栅结构应变—载荷监测系统、复合材料结构健康监测等方面开展相关研究工作。在传感器安装、传输布局、解调仪表热设计和抗振性设计、系统环境适应性和耐久性试验等方面取得良好进展,同时在飞机复合材料应变和冲击损伤的监测方面,积极开展了光纤光栅在复合材料结构上的安装及埋植研究,经元件级试验验证,将光纤光栅传感器安装在某型飞机综合油箱试验盒段,并参加了相关静强度试验,应变测试准确性高。

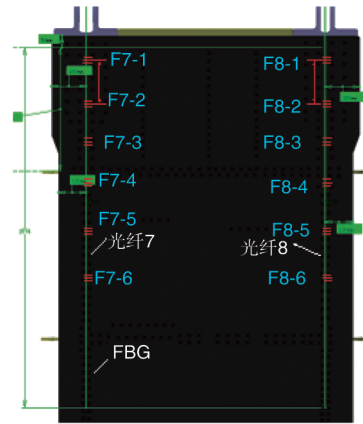
在复合材料健康监测方面,针对某型飞机的复合材料 PHM 技术攻关,目的是利用埋入的光纤传感器对复合材料内部应变和损伤进行监测^[6]。要求光纤埋入复合材料内部或采

用玻璃布方式埋入复合材料表面,既能很好地感知复合材料结构应变,又要确保光纤的埋入对复合材料结构的影响在可接受范围内。开展了光纤光栅内埋碳纤维复合材料的应用技术研究,包含对光纤和复合材料结构相容性、工艺性、光纤对复合材料内部结构的影响、光纤对复合材料拉伸、压缩、弯曲等力学性能的影响等。并在某型飞机 1:1 油箱盒段和复合材料机翼表面成功埋入几十个光纤光栅,还在 1:1 油箱静力试验中成功监测到应变和损伤异常点,如图7所示。

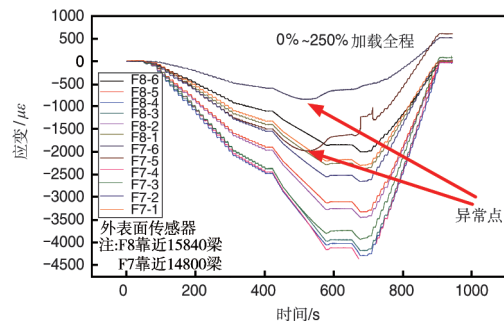
2012年7月,开展了光纤光栅监测系统在某型飞机的空中飞行验证,如图8所示。一方面验证光纤光栅监测系统在



(a) 传感器内埋复合材料试件



(b) 机翼油箱布局图



(c) 静力加载数据曲线

图7 传感器内埋复合材料试件、机翼油箱布局及静力加载数据图

Fig.7 Sensor embedded composite specimen, wing tank layout, static loading data

飞机飞行环境下的适应能力,另一方面验证光纤光栅监测系统对飞机滑行、中低空飞行、高空飞行状态的监测能力。先后完成了光纤光栅应变、温度传感器的封装与保护设计、链路布局设计、解调仪表软件设计及性能优化、仪表安装工装加工、试飞现场数据采集与处理等多项工作。试飞结果表明,光纤光栅监测系统可适应歼击机机上环境,在地面试验、滑行、中低空、高空和大表速下,光纤光栅监测系统工作正常稳定,对机上设备无影响;该系统在飞行环境下可有效获取飞机结构应变和温度信号,与电阻应变测量系统在机上环境测试数据对比,数据准确可靠,抗电磁干扰性能优越,波分复用,结构灵巧,在飞机结构监测领域中具有广阔的应用前景。

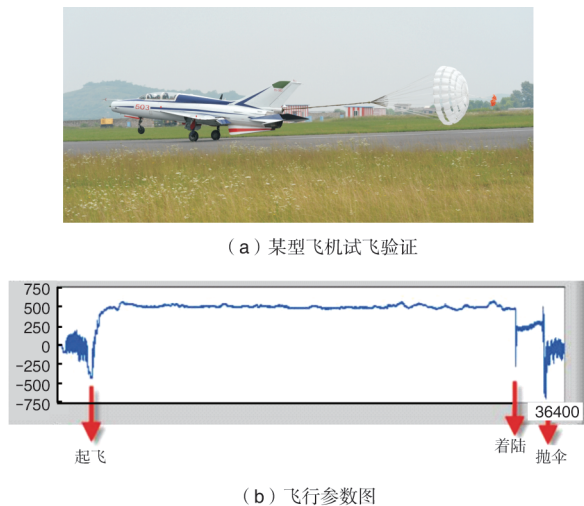


图8 光纤传感系统在某型飞机的试飞验证

Fig.8 Flight test verification of optical fiber sensing system in a certain aircraft

2017年,针对某型飞机油箱内部关键结构的裂纹扩展,利用光纤光栅系统对其开展了在线损伤监测。开展了光纤光栅裂纹传感器设计及封装、解调系统研发、飞机改装、现场安装与测试、数据处理等研究,图9为关键结构的有限元分析、应变飞参对比图、多次起落的应变数据对比图,可以看出,光纤在机上环境的应变及损伤测试的有效性以及良好的重复性。

4 未来展望

光纤光栅成为飞机结构PHM及强度试验中所需应变、载荷等的测量手段,已是毋庸置疑的趋势。与国外相比,国内研究的持续性、深入性、系统性和工程性还需加强,在装备技术发生深刻变化的今天,走结构智能化道路,就像“骨骼肌肉需要神经”一样,不容质疑,而研究者的责任是要能够使光纤传感器像神经一样,具备融合于结构的能力,通过

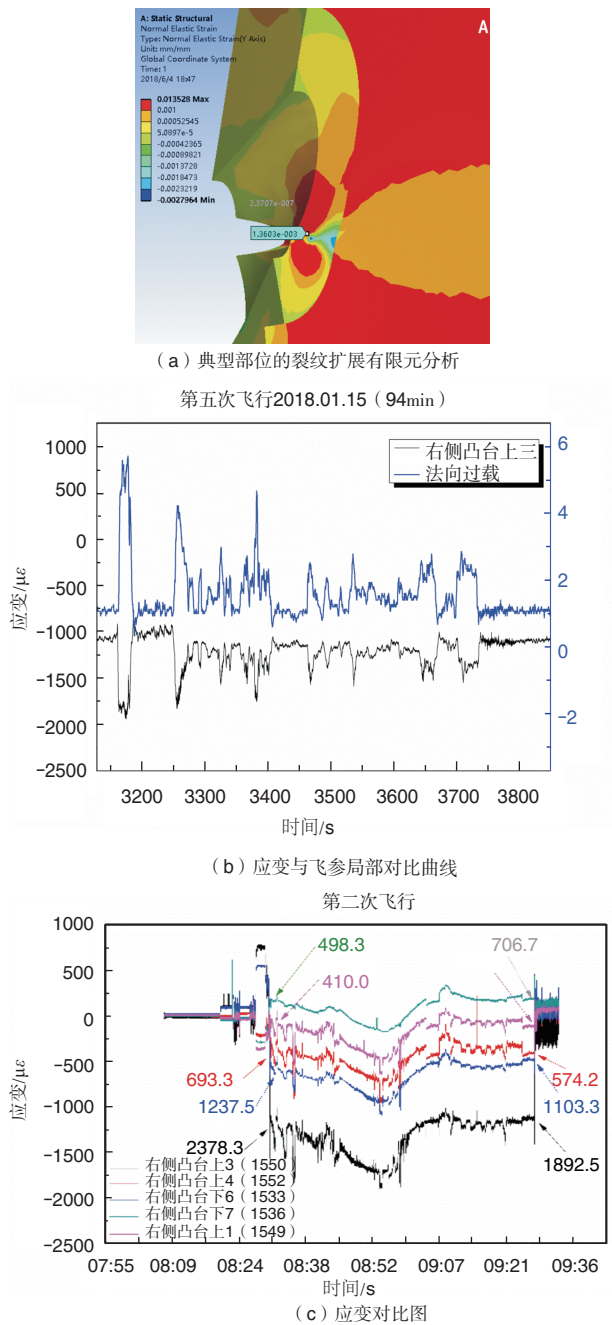


图9 典型部位的裂纹扩展有限元分析、应变与飞参局部对比曲线、应变对比图

Fig.9 Finite element analysis of crack growth in typical parts, local comparison curve of strain and flying parameter, and comparison diagram of strain

扎扎实实的工程化过程,光纤传感器将放射出应有的光芒。根据相关工作经验,梳理出一些光纤传感器走向飞机结构状态监测工程化的若干问题供讨论。

(1) 光纤传感器在飞机结构上的安装及引线

由于飞机结构复杂、空间狭小,解决安装及引线问题是

走向飞机工程的关键环节。飞机结构材料体系包括铝合金、钛合金、复合材料等,为实现更有效的结构健康监测,光纤光栅传感器应考虑与被测结构的材料相容性、安装可靠性、应变传递率等因素,需要选取不同的安装方式。针对金属结构,一般采用胶黏或焊接的方式,重点需解决连接方式的准确定、稳定性和耐久性等问题;复合材料一般采用表贴或内埋方式,飞机改装一般采用表贴方式,而内埋可用于复合材料生产过程中,与复合材料形成一体化结构,可解决复合材料低速冲击载荷带来的内部损伤监测难题,技术难点为光纤的引线及出入口保护,尤其要考虑对飞机复合材料部件的切割和装配过程的影响,以及光纤传感系统的可靠性和耐久性。为了更专业解决安装问题,需要研究专用工装、不同层级的验证试验和数字仿真模型。

(2) 光纤传感器数据的拓展

光纤传感器可由波长测量得到分散点的应变测量,如何通过所测应变值实现对飞机载荷、变形、振动等参量的测量,是飞机结构健康监测技术关键所在。首先需要对被测结构开展理论计算,并根据所需数据要求进行光纤传感器的封装和安装设计,通过特征值的提取和推衍算法(如载荷反演算法、曲率重构算法等)实现所需参量的测量,让光纤传感器提供更有价值的数据。

(3) 光纤解调系统的小型化高速

光纤光栅在走向飞机应用的过程中,首先要解决系统小型化问题。采用窄线宽扫描激光器是最有前景的研究方向之一,需要研制重量轻、可靠性高、适应机载环境的解调器;为解决飞机振动冲击的测量问题,以及振动冲击数据的记录,需要提高解调仪表的速率。

(4) 信息融合

飞机结构 PHM 系统中包含各种传感器,需要开展光纤传感器与其他传感器的融合分析。作为应变传感器,要研究如何建立与飞参数据的关联关系,构建基于飞参加速度的应变载荷方程;其次与裂纹传感器关联,构建应变累积与裂纹产生及扩展的关系。

(5) 数据在线处理、压缩、传输与大数据分析

新的监测手段与原有监测管理体系存在矛盾。现有飞机上的传感系统工程应用限于原有标准,也影响了对新技术的使用。基于大数据和非传统模型的综合判断是实现未来在线监测的关键问题。每次飞行监测点如果比较多,监测数据可达上百 G,离线分析对于飞机维护响应太慢,不能很好满足在线监测要求,必须要对数据进行在线识别与处理,物理建模与大数据分析是解决智能运维支持的关键问

题。综合建模分析、多维度数据融合处理以及在线快速响应算法,均是未来亟须发展的技术。

(6) 光纤传感器系统的计量

准确的传感器数据是开展结构 PHM 的前提,首先需要研究光纤传感系统的计量问题,特别针对应变传感器安装前后的校准、温度补偿,要控制光纤光栅应变传感器在安装之后的测量偏差;其次需研究仪表的计量问题,传感器安装在结构上之后无法拆卸下来,就要对解调仪表进行校准,需要研制便携式校准器,解决光纤解调仪表的现场校准问题。

AST

参考文献

- [1] 刘晓明, 王国才, 熊峻江. 飞机结构健康监测中的信息获取技术[J]. 航空科学技术, 2012(3):56-60.
Liu Xiaoming, Wang Guocai, Xiong Junjiang. Access to information technology of aircraft structure health monitoring[J]. Aeronautical Science & Technology, 2012(3):56-60. (in Chinese)
- [2] Shin C S, Chen B L, Liaw S K. An FBG-based impact event detection system for structural health monitoring [Z]. Advances in Civil Engineering, 2010.
- [3] 孙侠生, 肖迎春. 飞机结构健康监测技术的机遇与挑战[J]. 航空学报, 2014,35(12):3199-3212.
Sun Xiasheng, Xiao Yingchun. Opportunities and challenges of aircraft structural health monitoring[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2014,35(12):3199-3212. (in Chinese)
- [4] 薛景锋, 宋昊, 王文娟. 光纤光栅在航空结构健康监测中的应用前景[J]. 航空制造技术, 2012(22):45-49.
Xue Jingfeng, Song Hao, Wang Wenjuan. Application of optical fiber grating in health monitoring for aircraft structure [J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2012(22):45-49. (in Chinese)
- [5] 李政颖, 孙文丰, 王洪海. 基于光频域反射技术的超弱反射光纤光栅传感技术研究[J]. 光学学报, 2015, 35(8):56-63.
Li Zhengying, Sun Wenfeng, Wang Honghai. Research on the ultra-weak reflective fiber bragg grating sensing technology based on optical frequency domain reflection technology[J]. Acta Optica Sinica, 2015, 35(8):56-63. (in Chinese)
- [6] 王文娟, 宋昊, 吴天, 等. 基于光纤光栅传感器内埋的复合材料加筋板冲击位置识别 [J]. 航空制造技术, 2016 (15):103-109.
Wang Wenjuan, Song Hao, Wu Tian, et al. Impact location identification of stiffened composite plates based on FBG

- sensors embedded[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2016(15):103-109.(in Chinese)
- [7] Seo D, Kwon S, Bae N, et al. MEMS wall shear stress sensor for real time onboard monitoring of flow separation over a wing surface[C]// 51st AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, 2013.
- [8] Dussault P L. Creating a closed loop environment for condition based maintenance plus(CBM+) and prognostics health management[C]// 2007 IEEE Aerospace Conference Proceedings, 2007: 327-331.
- [9] Mitschke F. Fiber-optic sensors[M].Berlin: Heidelberg, 2010.
- [10] Betz D, Staudigel L, Trutzel M N. Test of a fiber bragg grating sensor network for commercial aircraft structures[C]//IEEE 15th Optical Fiber Sensors Conference Technical Digest, 2002:55-58
- [11] Ferdinand P. Applications of Bragg gating sensors in Europe [C]// Proceedings of the Optical Fiber Sensors Conference, (ofs-12), 1997:14-19.
- [12] Evenblij R, Kong F, Koimtzoglou C, et al. Shape sensing for morphing structures using fiber bragg grating technology[Z]. Smart Intelligent Aircraft Structures (SARISTU), 2016.
- [13] 芦吉云, 梁大开, 潘晓文. 基于准分布式光纤光栅传感器的机翼盒段载荷监测[J]. 南京航空航天大学学报, 2009,41(2): 218-221.
- Lu Jiyun, Liang Dakai, Pan Xiaowen. Load measurement of wing box based on distributed fiber bragg grating sensors[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics&Astronautics, 2009,41(2):218-221.(in Chinese)
- [14] 杜善义, 张博明. 飞行器结构智能化研究及其发展趋势[J]. 宇航学报, 2007,28(4): 773-778.
- Du Shanyi, Zhang Boming. Status and developments of intelligentized aircraft structures[J]. Journal of Astronautics, 2007,28(4): 773-778.(in Chinese) (责任编辑 王为)

作者简介

王文娟(1985-)女, 硕士, 高级工程师。主要研究方向: 智能结构设计及研制、复合材料健康监测、光纤传感技术及应用等。

Tel: 010-84936248 E-mail: wangwenjuan@cae.ac.cn

薛景锋(1973-)男, 博士, 研究员。主要研究方向: 光纤传感器、结构健康监测、智能结构等。

Tel: 010-84936599 E-mail: xuejingfeng@cae.ac.cn

Application Progress and Prospect of Optical Fiber Sensor in Aircraft Structural Health Monitoring

Wang Wenjuan, Xue Jingfeng*, Zhang Mengjie

Chinese Aeronautical Establishment, Beijing 100012, China

Abstract: Optical fiber sensing has wide application prospects in real-time monitoring of aircraft structures due to its wavelength division multiplexing. Since the aircraft is very sensitive to the weight, the use of optical fiber sensors can greatly reduce the number of leads, thereby greatly reducing the weight of the test system. At the same time, optical fiber sensing also has the advantages of anti-electromagnetic interference, high temperature resistance, anti-fatigue and environmental corrosion, which can improve the environmental adaptability and reliability of the test system. With the advancement of the concept of smart aircraft, optical fiber sensing is developing in a more dense, fast, and miniaturized direction, making fiber-optic sensing more urgently needed. Based on leading flight test and other research experiences, this paper summarizes the current research and provides prospects and ideas for future development.

Key Words: optical fiber sensing; structural health monitoring; aircraft; application; prospect

Received: 2020-05-20; Revised: 2020-05-29; Accepted: 2020-06-10

*Corresponding author. Tel.: 010-84936599 E-mail: xuejingfeng@cae.ac.cn