



北京航天测控技术有限公司伊大伟高级工程师:

直升机旋翼系统失效机理与故障模式分析的故障预测与健康管理方法

直升机旋翼系统由大量动部件组成,为单一通道无备份且所处工作环境复杂,是确保直升机可靠性和安全性的重要系统。现有的旋翼故障检测系统能力有限,由于旋转件上数据不易测量、工作状态多变及噪声环境复杂等因素影响,严重影响了直升机整体的可靠性和安全性。提出了一种基于旋翼系统失效机理与故障模式分析的PHM方法—改进的仿真神经网络预测方法,能够有效地利用旋翼系统失效模型并结合关键部件的测试、仿真数据,进行预测模型的建模,采用噪声数据参与模型训练的方式,极大地提高了故障检测的有效性,并提出了利用故障数据仿真及故障注入等实验手段进行验证的思路。该方法能够有效地进行预置多种故障情况的预测,能够解决旋翼系统关键部件故障预测能力低、无法合理进行健康管理的问题,为全面开展旋翼系统健康状态监控以及维修维护提供了必要的技术支撑。

旋翼数据采集系统安装在旋翼转动部分,将转动部件的应变数据传到机体采集系统中。来自传感器的信号穿过旋翼空心轴,汇集到远程多路复合器(RMU),将所有的信号进行脉冲编码调制后,通过发射器和环状天线传输发送到机体接收器上。数据无线通讯系统由发射器、天线、接收器组成,分别位于旋翼上部的轴箱上、桨毂上、机体上。

载荷实测监控提供了一种消除这种易变性的方法,并能更为精确地确定实际载荷。载荷实测系统一方面利用应变片进行测试,另一方面利用测量的机身参数来推导旋翼系统部件的载荷。具体包括统计学方法,如回归分析、全息照相干涉测量技术以及模拟神经网络方法。这些方法对于载荷监控的区别在于高频或低频参数是否作为输入及实时载荷预测是否需要飞行员参与。

对于仿真神经网络方法,其优点在于利用容易测量的机身参数来预测旋翼系统部件载荷,主要包括能够建立数据之间的关系或识别数据模式,即使这些数据是复杂的、受到噪声干扰的或者信息不完整。已有的HUMS系统中,曾经应用过一种前馈神经网络算法,利用整体系统参数对故障进行识别和分类。采用了两个神经网络,第一个神经网络用于对故障进行分类,第二个神经网络对损伤的程度进行识别。

在该损伤检测流程中,利用生成的旋翼系统故障数据库对这些神经网络进行训练。利用理想数据开发的神经网络有一个缺点,就是对理想的试验数据可以进行精确的分类,但是如果试验数据中包含噪声,那么分类的精度就大大下降,严重地影响了系统的可用性。

改进的算法,利用噪声数据参与神经网络的训练,在考虑噪声影响的因素,神经网络预测性能有显著提高。在此方法验证中,选择了旋翼系统桨叶及桨毂来进行实验,分析了3种故障:受潮、摆振阻尼器损伤以及变矩操纵系统损伤。首先调整用于评估神经网络的试验数据中噪声数据为某一基本值(2%-5%),采用理想数据训练的神经网络故障分类开始出现误差;而采用噪声数据参与训练的神经网络即使在噪声水平较高的情况下(噪声值10%-15%)高,故障分类的精度仍然很高。



中国飞行试验研究院测试所范旭明总工:

试飞机载测试系统综合试验与验证平台初步构想

1. 综合试验与验证的技术内涵

试飞机载测试系统地面综合试验与验证主要包括两方面,一方面是旨在提高技术成熟度的机载测试新技术、新系统的技术验证。另一方面则是大量的、针对每个型号、每架试验飞机的机载测试系统的功能、性能和可靠性等综合试验与验证,即在测试系统设计和集成完成以后,在测试系统装机和试飞之前,将机载测试系统在地面试验室,进行的1:1综合试验与验证,从而确保装机测试设备工作的可靠性、试飞数据测试的准确性。它力求真实的地面试验环境,它要求对即将投入使用的试飞机载测试系统进行测试和验证。

我们知道,在机载测试工作中,被试飞机是测试对象,而在地面综合试验与验证环节中,试飞机载测试系统就是

测试对象。我们不但要在地面构建出一套真实的试飞机载测试系统,更重要的是要通过虚实结合的方法为被测系统提供各类信号源,建立更为真实的试验环境,充分暴露被测系统设计和集成中的各类技术问题;通过采集机载测试系统相关节点的参数特性,对机载测试系统中测试参数的时间相关性、数据准确性等性能指标进行分析,对机载测试系统构建的合理性给出判断。

由于测试对象的变化和不同,导致试飞机载测试系统的验证技术要比试飞测试技术要求更高,其试验和验证系统也要比试飞机载测试系统更为复杂、精度要求更高,所以开展试飞机载测试系统的试验与验证技术研究是一件非常有意义而且有相当难度的工作。

2. 综合试验与验证的必要性

随着新一代飞机新技术、新结构、新材料的应用和飞行器性能的提高,使试飞测试参数比以前提高了好多倍,空客飞机测试参数已经达到4万个,而目前国内的试飞测试参数也急剧增加。由此导致的测试测试系统的复杂度大大提升。

面对新一代飞机试飞所出现的大量新的测试需求,如何安全、高效的完成飞行试验任务,拿出准确可靠的测试数据,是我们必须解决的问题。而且面对测试系统复杂度的日益提升,如何保证测试系统本身的可靠性,又是我们不得不面对的问题。

目前,面对一个新型号、一架新飞机采用的新技术、新方法,提供给试飞测试技术研究、测试方案设计、测试系统试验和验证的时间非常有限,给安全高效的试飞、拿出准确可靠的试飞数据带来了隐患。通常一项新的测试技术应用,需要在产品完成设计以后,在地面进行大量的测试和验证实验,实验成功后,然后将该技术应用在机载测试系统中,再进行系统级的测试和实验,验证其技术的成熟度和可靠性,为拿出准确可靠的试飞数据提供保障。

试飞机载测试目前的现状是缺少一个有效的测试系统综合实验验证环境。每次在接到一个测试任务后,根据测试任务需求,进行机载测试方案设计,将机载测试方案中涉及到的测试设备分成采集器、记录器联试,遥测系统联试,实验室校准等几个阶段来进行。由于试验环境和条件的限制使得机载测试系统无法形成装机前的系统联试,给飞行试验机载测试带来隐患。

为了解决上述问题,急需建立测试系统综合试验与验证平台,确保试飞机载测试系统功能的有效性、指标准确性和状态可靠性,不仅能完成机载测试系统的地面实验验证,也能为保证未来新一代飞机的可靠、高效试飞测试提供技术研究平台。



海军舰船电子装备电路板测试中心张波主任:

LXI总线的通用射频电路模块自动测试设备的开发

随着射频电路新兴技术的发展,雷达、电子对抗、通信等装备中射频电路模块的设计正由传统的波导和同轴线元器件逐渐向射频平面电路系统转移,采用射频平面电路技术设计典型的射频电路模块,如射频放大器,低噪声放大器、射频功率放大器、射频滤波器、混频器、振荡器、锁相环与频率合成器等,集成度更高,性能更优越,但是也给模块的维修与保障带来了新的挑战和问题。在装备的整个系统中,射频模块往往位于信号处理的前端,容易受外界环境的影响,故障率高,而且一旦发生故障,性能下降,将会直接影响装备整体技战

术水平的发挥,如何对射频故障件进行快速修复,有效地解决维修过程中的测试、诊断等难点,已成为电子装备维修保障体系建设中的一个重大问题。为此,海军机关下达了通用射频电路模块自动测试设备的研制任务,开展射频模块自动测试和智能诊断研究,解决射频电路模块基础理论复杂,“频带宽、动态范围大”,测试与维修时“被测信号捕获难度大、功能元件故障诊断复杂”,对人员要求理论层次和专业技能高等瓶颈问题,提高装备全寿命周期的完好率。

射频电路模块自动检测设备采用先进LXI总线作为系统主总线,测控计算机通过LXI总线与系统集成的微波信号源、频谱分析、微波功率计、数字示波器、微波开关等射频测试仪器连接,通过建立面向信号和基于软件总线方式的测试程序开发与运行平台,综合运用人工智能故障诊断技术、射频仿真与电磁环境精确数值技术、合成仪器技术和射频探笔技术,对被测模块进行性能指标参数自动检测和故障定位。射频电路模块自动检测设备可完成的测试任务主要包括射频器件的完整参数测试;宽带脉冲及窄带脉冲测试;雷达及电子战信号仿真功能;全相干信号的产生和分析;宽带通信系统信号的产生和分析;信号的频谱、时域和解调分析;信号的捕捉、存储和重建等。

LXI总线的使用,通用射频电路模块自动测试设备在构建时使用的是以LXI C类总线为主题,兼备IEEE1588同步触发能力。在测控计算机内插入一块基于PCI总线的LXI接口卡,作为整个射频ATE的LXI总线管理者,并要求这个LXI接口卡驱动软件支持IEEE1588同步触发协议。具有LXI接口的测试资源和测控计算机都通过以太网线连接到LXI路由器上,构成LXI总线星型网络,计算机通过LXI总线所遵循的TCP/IP协议控制各个LXI总线接口的测试仪器,不具备LXI总线接口的仪器可以通过适当的转接装置,转换成LXI总线接口、链入网络中。

通用射频模块自动测试设备研制成功以后,配备在海军舰船电子装备电路板测试维修中心,用于现役装备中30MHz~12.5GHz频率范围内的射频类电路、模块、组件的自动测试与综合故障诊断。它以坚实的射频微波工程理论为支持,突破传统测试方法的束缚,综合运用先进射频测试测量仪表技术,射频探针精密加工与制造技术,合成仪器的可重构配置技术以及基于专家系统和人工智能的故障诊断技术,充分发挥自动测试设备检测效率、测试精度和自动化程度高,故障定位准确,可靠性高,操作使用简便,具有较强的通用性和扩展性等优点,有效地解决目前我军对装备射频模块基地级开展测试、维修的难题,为提高我军装备技术保障快速反应能力奠定坚实基础。



海军装备研究院周圣林高级工程师:

新一代飞机故障预测与健康管理技术应用研究

1. 飞机PHM系统体系结构

飞机PHM系统结构可以区分为广义和狭义两种:从广义上讲,飞机PHM系统是指为实现PHM目标的全部技术手段和系统的集成,不仅包括机载嵌入式诊断系统,还包括地面自主保障系统(实现维修管理决策支持功能);从狭义上来讲,实现自主保障的关键技术之一是要求飞机具备PHM系统,因此也可以将PHM系统理解为机载嵌入式诊断与预测系统。这里采用的是广义的概念。

飞机PHM系统顶层设计的原理是:当检测出故障时能够自动进行故障隔离,机载PHM系统无需人的干预,自动和无缝地完成更高级别的分析。通过系统设计,飞行员干预的需求将保持最少。故障检测和故障隔离数据尽可能快地地下传给地面,以便启动自主维修保障过程,使飞机恢复使用。飞机PHM系统的体系结构主要包括两部分:机载PHM系统和多机种一体化地面PHM系统。

(1) 机载PHM系统

机载PHM系统采用分层智能推理机构,分为三个层次:最底层是分布在飞机各分系统最底层零部件(或器件)中的传感器或机内测试/机内测试设备(BIT/BITE),中间层的区域管理器和顶层的飞机管理器。最底层作为识别故障的信息源,借助传感器、模型等检测故障,但不做预测和故障隔离,将有关信息直接提交给中间层的区域管理器。各区域管理器(推进系统、结构、任务系统等)将区域故障信息经过信息处理和特征提取等整理后,传送给更高层的飞机管理器。飞机管理器通过对所有系统的故障信息的相互关联,确认并隔离故障,包括状态监控、健康评估、故障预测、建议生成等处理过程,最终形成维修信息和供飞行员使用的知识信息,传给地面PHM系统。

(2) 地面PHM系统

地面PHM系统相当于离线的PHM,宿驻在地面自主保障信息系统(ALIS)中。它采用与机载PHM系统类似的分层智能推理机构,接收通过维修下传链路、维修接口和便携式存储装置的机载PHM数据和其他相关数据,来进一步分析、判断飞机的安全性,调整使用计划,实施技术状态管理,更新飞机的状态记录,形成维修工作项目,以及分析整个机群的健康状况,并启动自主维修保障过程。

机载PHM和地面PHM系统共同构成飞机的PHM体系,共同确保对飞机故障的高效率和费用有效的维修,保障快速和直接的飞机部件与结构寿命使用管理,以基于状态的维修取代传统的定期更换和检查。

2. 飞机多机种一体化自主式保障设计研究

基于故障预测与健康管理的飞机多机种一体化的自主式保障设计,是未来多机种保障的需要,建立高效获取、存储和处理大量、来自多机型多种类型数据的先进方法,可以通过为多种飞机机上和机下生成的多种类型数据提供通用的数据存储、检索和处理方法来实现。针对舰载机多机种一体化自主式保障设计的需求和特点,需要开展以下技术的相关研究;(1)多机种自主式保障一体化结构设计;(2)多机种自主式保障一体化数据存储设计;(3)多机种自主式保障一体化数据访问和转换设计;(4)基于多机种PHM一体化的诊断和预测设计。