

自主式、智能化：航空维修新趋势

Autonomic and Intelligent – New Trends of Aviation Maintenance

北京航空工程技术研究中心 武维新 罗乖林



武维新

北京航空工程技术研究中心主任，中国航空学会理事，航空维修工程专业委员会主任委员。主要从事飞机使用维修、综合保障和科研管理工作。先后获国家科技进步一、二等奖各1项，军队科技进步一等奖1项和二、三等奖7项，国家发明专利1项，荣立个人二等功1次、三等功2次。发表论文30多篇，编著出版专著4部。

航空维修工程是组织人力和物力，应用各种技术、工艺技能，保证航空技术装备和设备得到及时、恰当和经济的维修保障，达到保持或恢复装备的可使用状态所进行的一系列管理和工程技术工作。

(1) 维修技术工作。维修技术

基于状态的维修是主动的预测性维修，它利用先进的技术手段对设备和产品状态进行检测，通过对检测结果的综合分析即可对设备的“健康状况”做出诊断及预测，针对具体的故障或隐患做出维修决策，进行适时和适度的维修。

工作是由具有规定技术水平的人员使用规定的操作程序和资源在规定的维修级别所进行的全部维修活动。它包括装备的保养、检查、试验、修理、大修、加装、改装等工作。维修工作分为预防性维修与修复性维修2类工作。

(2) 维修管理。维修管理是计划、组织、监督、控制和指导航空技术装备维修工程技术工作所实施的活动。它包括：制定装备的维修计划；制定装备的维修技术政策与法规；制定并更新装备维修和检查的范围、深度和频次的技术准则；制定维修人员的技术训练大纲；制定装备的维修质量标准；对各维修级别实施的维修工作进行监督与指导等。

维修技术的发展趋势

1 维修方式——实时主动维修

自动测试技术在航空技术装备上的应用日益广泛，在解决装备的战备完好率和节约装备全寿命费用方面是非常有效的。美国空军即将装备的第四代战斗机F-35飞机装有故障预测和健康管理(Prognostics and Health Management, PHM)系统，它是机内测试技术(BIT)、自动测试技术(ATE)和故障监控与诊断技术的进一步发展。PHM主要利用先进的传感器(如涡流传感器、小功率无线综合微型传感器、无线微机电系统MEMS)的集成，并借助各种算法(如Gabor变换、快速傅里叶变换、离散傅里叶变换)和智能模型(如专家系统、神经网络、模糊逻辑等)来预测、诊断、监控和管理飞机的状态。PHM系统代表了维修理念的转变，即从传统的基于传感器的诊

断转向基于智能系统的预测,由只是反映维修需求转向先导式的、在准确的时间、对准确的部位采取正确的维修活动。这一技术的实现将使维修从原来以事件为主宰的维修(即事后维修)或与时间相关的维修(即定期维修)向实时主动维修方式转变。

2 维修保障——自主式保障

自主式保障系统方案(Autonomic Logistics,AL)是美军和主承包商洛克希德·马丁公司为F-35战斗机提出的一种创新性保障方案,是美国三军通用的一种实时、智能化的全球装备保障网络系统,是一种借助先进数字化信息技术的全新的维修与保障系统。AL是从自主式神经系统援引过来的,是一种先导式而非反应式的后勤保障系统,它能识别和传达飞机状态、维修、供应和训练活动以保障和增强F-35任务能力。AL将保障要素综合起来形成一种无间的后勤保障系统,这种无间系统将使F-35武器系统能够以最低的费用达到规定的出动架次率。F-35项目采办的核心——经济可承受性目标在很大程度上也是借助于自主式后勤设计和保障来实现的。

该系统由5部分组成:具有PHM能力的高度可靠的智能化飞机;用技术支持的维修人员;一体化的训练环境;智能信息基础设施和装备保障基础设施。在自主式维修保障系统中,维修保障活动由机载PHM系统触发,PHM根据故障检测和故障隔离并利用智能推理机,对机上设备或组件进行故障诊断及预测、剩余寿命跟踪、故障过滤和告警,向飞行员建议下一步采取的必要时行动等。当飞机还在空中时,机载PHM所检测到的飞机故障信息通过智能信息基础设施自动传输给地面维修站(或离线PHM)和装备保障系统。地面维修站能下载和访问机载PHM提供的数据和信息并进行

分析,将分析结果转化为一系列的维修任务,明确需要进一步进行的测试和修理活动,准备好相应的零备件、技术资料、维修人员和维修设备等,必要时通过装备保障系统订购维修备件,当飞机降落后便可快速地进行维修,缩短飞机再次出动准备时间,提高飞机出动强度并大幅度地减少维修工作量,节省使用和保障费用,提高飞机的战备完好性。据估计,通过有效落实这种维修保障方案,将能够使维修人力减少20%~40%,装备保障规模缩小50%,出动架次率提高25%,飞机的使用和保障费用比以前的机种减少50%以上,而且保证飞机的使用寿命达8000飞行小时。

3 维修模式——基于状态的维修

基于状态的维修(Condition Based Maintenance, CBM)是美军正在大力推行的一项新的维修政策。它是一种以对设备状态进行实时或接近实时评估为基础的维修。设备状态的信息通过嵌入式传感器、外部测试或便携式测试设备测量获得。CBM的宗旨是,只有在有需要维修的明显征兆时才进行维修,同时要保证设备的可靠性和安全性,以最大限度地减少事后维修(工作到出现故障再维修)或预防性(计划)维修。采用CBM能够减少虚警和不必要的维修,降低使用和保障费用,提高战备完好性和任务可靠性。

波音公司的工作人员在为F/A-18战斗机进行设备维护



基于状态的维修是主动的预测性维修,它利用先进的技术手段对设备和产品状态进行检测,通过对检测结果的综合分析即可对设备的“健康状况”做出诊断及预测,针对具体的故障或隐患做出维修决策,进行适时和适度的维修。

CBM起源于民用领域,目前已在军事领域得到推广应用,特别受到美国国防部的大力推动,作为实现其未来后勤企业的6项创新举措之一。美国空军F-35战斗机的PHM系统已经具备了实施CBM的条件。美国陆军航空兵也积极进行了应用和发展,在美陆军的UH-60“黑鹰”、CH-47“支奴干”和AH-64“阿帕奇”直升机上进行了实践并取得了成效, AH-64和UH-60上的滑油冷却器实施CBM后将其寿命由2500h延长到3500h;实施CBM后大幅度地减少了CH-47的50h振动检查,每架直升机每次检查可节省2个工时。

维修管理的发展趋势

科技的不断进步和航空装备的升级换代使传统的维修体制和训练

方式难以适应现代航空维修的需要,新形势迫切需要新的维修体制和训练手段。

1 维修体制——两级维修

美国空军根据海湾战争中暴露出来的严重装备保障问题,在20世纪90年代初对传统的维修体制——三级维修进行重大改革,率先在F-22新一代飞机和F-15E等某些改型飞机上推行两级维修方案,取消中继级维修车间,其维修任务少部分转移到基层级,大部分转由大修基地完成。即将服役的F-35战斗机也采用两级维修体制。

实施两级维修体制对装备的技术水平提出了更高的要求,它需要有3个重要前提:

(1) 现场可更换单元(LRU)或现场可更换模块(LRM)应该是高可靠且价格较低廉;

(2) 故障检测与故障隔离的机内测试(BIT)或机内测试设备(BITE)必须高可靠、性能全面且能避免虚报警;

(3) LRU或LRM应在设计时分块适当和按模块设计,可达性要好且能快速与电路、液压、气动元件等断开。

两级维修体制是用“保障速度”来取代“保障规模”,能满足未来战争的需求,它是通过减少保障规模来提高作战能力的基本手段,同时也能降低保障需求和一定时间内的再供应,而这2方面是美军的2个核心战斗保障原则。美陆军也对现有的四级维修体制进行改革,将其转变为两级维修,并认定两级维修是未来的发展方向,能快速响应21世纪对陆军的需求。

2 维修训练——虚拟维修

第四代战斗机是极其复杂、应用了许多新技术的飞行平台,对维修人员的素质和技能有极高的要求,采用第三代战斗机那样的实物模型进行维修人员训练是不现实的。因此,采

用维修模拟技术培训维修人员是提高航空装备维修人员技术水平的一项重要措施。

与一般计算仿真不同,维修训练仿真系统更强调感官上的逼真性。近年来出现的虚拟现实(VR)技术,已成为训练仿真系统设计的热点。VR技术利用计算机生成的三维交互环境,允许人员通过三维图形、触感、运动感知等方式感受仿真世界并直接操作其中的物体,能使受训人员处于一种接近真实的训练环境中进行操作。VR技术比较适合于机械专业的维修训练。美军研制的飞机修理训练系统,参训人员穿戴头盔式的三维立体显示器、数据手套及立体声耳机,在仿佛置身于真实的维修环境中,进行发动机、武器等的拆装训练。F-35飞机将为维修人员提供一种嵌入式训练能力,为作战中队提供任务-工作预览能力,它可能包括虚拟显示单元,便于维修人员在实际接触飞机之前就能进行预先演练。

科技发展对航空维修提出新要求

1 测试技术的进步使维修更加现代化

第三代战斗机上采用机内测试(BIT)和自动测试设备(ATE),不仅可以对航空电子系统及设备进行故障的检测、定位和隔离,而且还可对许多非航空电子系统(如电源系统、燃油测量与控制系统、液压系统、环控系统、刹车防滑系统、舱盖系统等)进行监控和处理。这些自动测试技术在航空技术装备上得到日益广泛的应用,在解决装备的战备完好率和节约装备全寿命费用方面是非常有效的。实践表明,自动测试技术能完成设备的连续或周期的监测、故障检测、故障隔离和故障辨识等功能,不仅能及时准确地排除机上的故障,提高了维修效率和飞机利用率,保证作战飞机有较高的作战效能,而

且还会加快航空维修由人员密集型向技术密集型的转化和由常规经验维修向高技术科学维修的转化,使航空维修现代化达到一个新水平。

2 高度信息化使软件维修需要新措施

航空电子设备向综合化和数字化方向发展,计算机已成为现代航空电子系统的核心。计算机在第三代战斗机上的日益广泛应用,给装备维修带来了新问题。在装备维修中,我们不仅会碰到硬件的可靠性和维修性问题,而且还会有软件的可靠性和维修性问题。许多软件故障,只有在投入使用后才能发现。在美国军用飞机中,任务关键系统出现的故障有70%与软件有关。更为值得注意的是,任务关键系统中的软件故障可能会造成机毁人亡的严重事故。如1989年2月2日,瑞典JAS-39原型机在试飞着陆时的严重损坏就是软件故障引起的。因此,如何维护软件是装备维修面临的新课题。

软件工程认为,软件开发完成交付用户使用后,就进入运行/维护阶段,此后的工作就是要保证软件在相当长的时期能够正常运行。这种保障就是软件维护。软件维护实现的方式就是对软件的修正或完善。因此,有人认为:武器装备的软件一般不能像硬件那样,由部队维修人员维护,软件维护一般由原研制部门承担,而部队维修人员根据使用中出现的的问题,提出软件改进、完善的意见。但是,对作战任务软件的维护采用上述方式是不合适的。软件维护是一个工作量大、技术难度大、资源要求高、维护特点与硬件差别显著的工作,显然,如何在装备维修中落实、管理软件的维护工作,维修部门需要采取新的办法与措施。

3 新材料的广泛应用急需新的维修手段

钛合金、复合材料等新材料在第三代战斗机上得到了一定程度的应

用,给装备维修带来了新发展,需要研究新的维修手段,发展新的维修技术。钛合金因其比强度高、热稳定性好、耐腐蚀性能优异等,在飞机和发动机结构上不断得到应用。然而,钛合金与其他材料相比,其损伤形式有很大不同,它对微动疲劳和微动磨损损伤十分敏感;对氢脆损伤也十分敏感;在一定温度和应力条件下,钛合金构件易产生热盐应力腐蚀和低熔点金属致脆破坏;另外,钛合金构件与其他低腐蚀电位的金属构件在腐蚀环境下接触时,将导致其他金属构件的严重腐蚀。因此,在日常维护和定期检修中,对钛合金构件必须采取与常规金属构件不同的维修技术和方法。

复合材料结构在环境适应性和损伤机理上与常规金属结构有很大的不同。吸湿性对环氧树脂基复合材料性能影响很大,湿气使树脂膨胀、塑化和玻璃化温度降低,导致树脂性能下降。复合材料的损伤和缺陷主要表现为纤维断裂、分层、气泡、开胶和穿透性断裂等形式。常规的探伤方法难以满足要求,需要采取新的探伤手段和方法,一般采用X射线探照法、CT扫描超声探测法、声发射和分层解剖法,激光全息法等。复合材料结构的修理采用树脂注射、粘补和补强片等方法,施工中需要特殊的切割、加热、加压和打磨设备以及在有环境控制的设施内进行。

隐身性能是第四代战斗机必须具有的性能之一。为了实现隐身性能,除了飞机外形设计、结构与总体布局等一系列降低可探测性的措施外,还有一项必须采用的措施是使用吸波涂层。飞机表面隐身材料涂层的表面完好程度要求比一般防护涂层高,其厚度达2mm左右,韧性较差容易导致裂纹掉块,阳光照射下会起气泡,雨水能进一步加重影响造成裂纹掉块。吸波材料的维修技术有其特殊性,材料硬化需专用的环

境参数检测系统,消除吸波材料要在专用机库内使用高压气压送结晶麦粉。吸波材料的最新进展目标是使用起来容易,并能减少维修需要,而不是改进性能。总之,隐身材料在新一代战斗机上的使用给维修带来新课题。

4 高科技装备呼唤高水平的维修人员

我国军用飞机长期以来实行的是传统的维修专业划分,即分为机械、军械、特设、无线电4个专业。专业之间的界限非常明确,相互之间很少交叉。第三代战斗机装备部队后,不仅增加了火力控制和飞行控制专业,而且各专业之间发生了交叉。如军械专业负责的武器系统管理与火控专业交叉;飞控专业负责的惯性导航系统与无线电专业的近距导航交叉;无线电专业不但负责通讯、导航和识别系统,而且还要负责电子对抗系统;特设专业的飞参、机载检测与告警系统以及报警系统,几乎与所有专业都交叉。

显然,传统的维修专业划分已与新装备的技术水平不相适应。科学合理划分维修专业,不仅是保证维修质量、提高维修工作效率的需要,而且也是以合适的维修人力保证作战机动性的需要。

现代飞机的非电专业,特别是机械专业,也采用了电控技术。如发动机采用电调装置;航空武器由以往的单一的枪炮武器发展到包含火箭、导弹在内的航空武器系统,其组成不仅有武器和弹药,还有装挂和发射装置、火力控制系统以及为保证武器系



“台风”战斗机进行日常维护

统的正常工作配备的地面检测设备和专用车辆等,航空武器系统逐渐向机光电一体化方向发展,电气和电子专业也在与机械专业相结合。因此,实施装备维修要求维修人员必须具备更高的素质:一是必须具有更高的维修技能,不但能够解决本专业的维修问题,而且能够解决由于与其他专业交叉而产生的维修问题;二是要求各类维修人员具有更宽的知识面,除了掌握本专业的技术知识外,还需要掌握当代的最新科学技术知识,特别是微电子技术、计算机技术、电子测试技术等方面的知识;三是为了适应信息化战争的要求,必须培养装备信息化人才,装备信息化人才不仅要具备传统意义上的各种素质,还必须具备信息时代特征的信息素质,包括计算机操作能力、网络应用能力、处理和应用信息的能力、对新的信息和环境变化做出迅速反应的能力等。因此,现代航空维修人员是具有多种专业知识和高素质的复合型人才。

结束语

随着自动测试技术、计算机技术及其他相关技术的发展,航空装备的技术水平不断提高,航空维修也在向技术密集型的高技术科学维修转化,自主式、智能化维修将成为航空维修的新趋势。(责编 依然)