

# 探究视情维修技术在飞机维修中的有效应用策略

赵宝林 贾 凡

中航西安飞机工业集团股份有限公司飞机维修中心 陕西 西安 710089

**摘要:** 飞机是一种复杂且用途广泛的产品。飞机的维修策略经历了修复性维修、定期维修和视情维修三个阶段。视情维修是基于取证技术和故障检测技术、故障预测和决策技术以及态势调整、重组资源的思想。同时,相关研究人员继续最前沿的研究,以视情维修思想策略来探索发展重要技术,并进行深入分析。在现代飞机设计过程中,已经开始纳入基于视情维修思想的后续维修保障策略。

**关键词:** 视情维修技术;飞机维修;应用

**引言:** 随着中国飞机技术不断进步,飞机系统的复杂性与日俱增。基于定期维修思想的维修工作变得更加频繁,且成本巨大。通过最新研究发现,定时更换飞机零件与飞机的使用故障率之间并没有必然的联系。在飞机的设计阶段,开展关于后期设备维修的相关技术及有效策略研究,从全寿命周期的可靠性角度进行设备维修,维修工作将不再是被动的,而是变得有针对性以及前瞻性。视情飞机维修技术用于维修飞机,使维修工作可以简化,避免不必要的过度修理。通过这种维修方式,可以降低维修成本,减少了飞机故障的发生率,使飞机的性能优势得到了更好发挥。同时,对于飞机运行中出现的故障,有必要进行深入调查并提供适当的管理计划以启动纠正措施。

## 1 CBM 的概念和发展历程

### 1.1 CBM 的概念、理论依据及基本假设

CBM 的含义有多种解释,这里使用Moubray对CBM的描述,即利用状态评估来识别潜在的故障,采取行动防止工作失败或避免工作失败的后果。<sup>[1]</sup>CBM 的概念基础是P-F曲线。P-F曲线表示设备损坏情况,如图1所示。

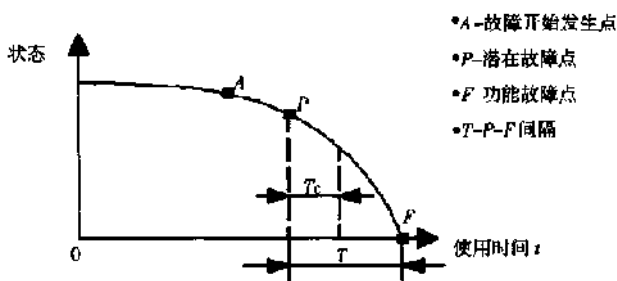


图1 P-F曲线图

根据图1,为防止设备功能故障的发生,设备维修时间应选择在F点之前,P点之后。这意味着应该在P点和F点之间找到合适的时间进行维修。这是CBM的基本概念。飞机的许多故障是由于其设备功能的退化,而功能的退化有一个从潜在变化到根本变化的过程。在这个过程中,总会有一些迹象可以检查,例如“隐藏的故障”。<sup>[1]</sup>因此,CBM遵循的基本假设是:第一,由于结构或操作系统损坏而导致的各种故障。此

类故障不会导致功能的瞬时故障,因此,从故障指标的检测到功能故障的发展,伴随不同异常征兆的时间段反映了系统性能衰退过程。第二,CBM可以准确及时地识别数据库中的信号。飞机的磨损、老化、生锈等多种故障都有一个从隐性故障到显性故障的过程,这是飞机故障分析的基础。<sup>[3]</sup>

## 1.2 CBM 的发展历程

### 1.2.1 维修思想发展历程

飞机维修思想发展历经了故障后维修、以预防为主的维修和以可靠性为中心的维修这一过程。根据常见的修复方法,有修复性维修(CM)、固定故障(FBM)、定时修复(TBM)、固定修复(CBM)等类似的修复方法,如图2和图3所示。

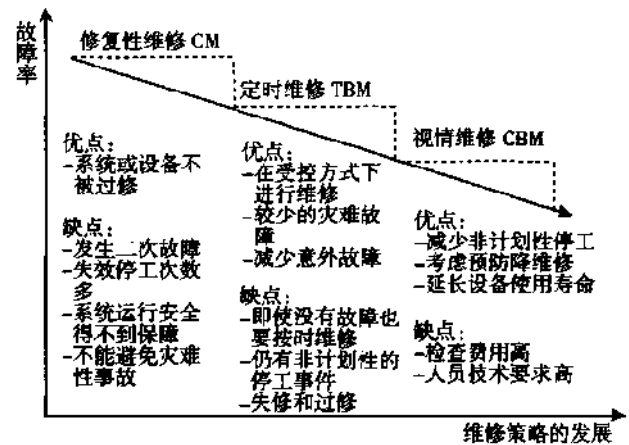


图2 一般维修方式分类及优缺点图

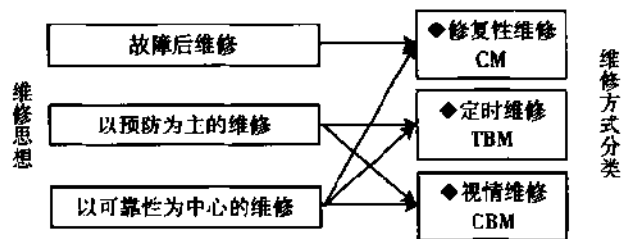


图3 维修思想和一般维修方式联系图

视情维修技术是对已识别的内容进行提炼,并更多地利用预测技术的一种新方法。目标是就系统的工作方式做出准确的判断。鼓励尽可能在任何系统故障萌发阶段或故障之前

制定决策解决方案,以最大限度地减少故障发生的可能性,最大限度地减少不必要的维修造成的损害,显著提高系统和团队装备的可靠性。未来,只用TBM一种模式的维修将逐步演变为CM、TBM和CBM等几种系统协同工作的方式。<sup>[4]</sup>

### 1.2.2 CBM状态监控发展历程

飞机状态监控流程主要包括机载系统化数据采集,将单点数据参数转化成趋势变化参数,再运用网络将趋势参数实时传回到地面数据库,组成机队的状态信息数据库。从100%的人工监控发展到100%的机器监控,主要经历4个发展阶段。

#### (1) 人工记录

普遍应用在民用和军用飞机发动机状态监控的早期方法。飞机稳定巡航时,由飞行员或机械师人工记录驾驶舱仪表数据,输入终端数据库,再借助于软件分析。缺点:因为记录方式脱节,容易在读出、抄写和录入三阶段出现错误,工作效率低,监控参数少,准确性差。

#### (2) 机载记录

利用数字飞行记录器或快速记录器中连续记录的参数重放,仅对发动机工作状况进行监控。优点:避免记录环节可能出现的大部分失误,相对人工记录准确度提高。缺点:对象仅限于发动机,记录部分参数,数据有限。

#### (3) 飞机状态监控系统

使用飞机状态监控系统(aircraft condition monitoring system, ACMS)连续监控飞行数据链,记录汇总数据以报告方式呈递。优点:易于使用,监控范围广,准确度和精度提高。缺点:前期投入、人员专业培训费用高。

#### (4) 实时监控和人工智能

运用ACMS和飞机通信寻址、报告系统(ACARS)实时将状态数据传递给地面数据库,再用人工智能系统进行实时解析,选用有效的故障诊断、隔离措施。优点:实时性,及时的地面数据库数据分析能对飞机正常运行给予帮助及指导,地面维修也可以提前如期准备,减少飞机过站、停场等进站维修时间,进一步提高飞行安全性和经济性。

ACMS是飞机上主要安装的机载数据采集和处理系统,能以实时方式收集数据,对发动机状态和飞机性能进行监控以及特殊的工程研究。而现行最先进的飞机发动机状态监控系统(SKYMON)正是建立在先进的机载数据采集、通信设备、空地数据通信网络、计算机与计算机网络技术上全新的ACMS。这种机载数据采集和空地数据通信系统在国外部分航空公司已经应用,特别是应用于飞机、发动机的状态监控上。<sup>[5]</sup>

## 2 视情维修工作中的时间模型

视情维修工作中,根据飞机产生的系统故障问题将时间模型构建起来,分析故障在发展的进程中的各个时间节点,研究故障的持续性特征,就可以对故障的产生时间、发展的时间予以明确,根据时间的序列对故障进行划分,具有针对性地提出不同的阶段故障管理目标。将最初的故障产生构建零件故障处理系统、部件故障处理系统,最终飞机运行中产

生重大的事故的处理系统也要构建起来。

发生故障初级阶段,系统可能依然处于正常运行状态。随着故障的发展,故障隐患开始产生,部件发生故障隐患,而且相互之间作用,此为故障生成阶段。在故障的生成过程中,会有故障线性化现象。如果故障没有及时处理,就会持续下去,部件之间的系统性故障隐患就会生成。当部件的故障隐患没有及时排除,飞机依然运行,就有可能出现重大的飞行事故,此为故障发展阶段。在这个阶段,如果不能及时采取有效的措施处理故障,而是飞机依然执行飞行任务,整体机载系统就会损坏,最终造成严重后果。<sup>[2]</sup>对于飞机的故障采用外部诊断的方式,与内部诊断方式相比较,有更高的准确性,但是,在实际应用中不能发挥测试的作用。

## 3 视情维修工作中涉及到的关键技术

### 3.1 视情维修工作中采用的状态监测技术

视情维修离不开对飞机各系统工作情况的信息采集和监控。状态监控系统能够实时收集信息,比较周围同一系统的各种指标,更好地了解系统内构成部件的工作情况及性能发展趋势,从而对其使用寿命进行科学的评估。使用这项技术来监控飞机的状态,收集信息并建立监控是开展视情修理工作的、规划修理方式的关键基础。<sup>[2]</sup>

### 3.2 视情维修工作中采用的故障诊断技术

视情维修工作中采用的故障诊断技术应用于飞机的各项设备检修中,可更好地了解系统的工作方式并采取行动。使用故障检测技术,可以显示飞机系统信号健康情况。基于系统故障检测和故障之间的相关性,对各种故障采取适当的隔离措施,正确识别故障,并一一进行解决。根据检测飞机故障位置,可分为内部故障和外部故障。其中,视情维修技术可以有效进行内部故障的诊断,对航空电子仪表设备进行直接诊断,反映飞行中的故障问题,也可以促使设备进行自动检测,达到预防故障的效果。这种检测方法虽然容易采用,但也有其弊端,即检测过程中容易出错,出现误报。这需要持续发展的检测技术及故障作用机理进一步研究来防止误判现象发生。<sup>[6]</sup>

### 3.3 视情维修工作中采用的故障预测技术

将用于静态维修的预测技术用于检修各种飞机设备,并执行测试功能。使用最先进的技术,收集设备的各项数据,包括性能参数、工作环境以及实验、使用过程中显示的大量数据等等。基于对飞机故障问题的这种分析,对未来的可能存在设备问题进行预测,并从科学的角度对预测结果进行评估,更好地解释飞机设备的故障现象。准确识别故障的类型及发展阶段,做好故障的分类,确定故障的程度、位置和原因,了解故障的发展和演变过程,最后找出可能引发故障的原因并得到结果。故障预测技术可以帮助飞机维修人员及时发现隐患,采取行动消除隐患,避免因隐患增加而导致的更为严重的后果。

## 4 航空发动机状态监控系统主要内容

### 4.1 气路性能监控

发动机气路性能监控(gaspath analysis, GPA)技术早期由

Urban在1972年提出来的,理论依据是发动机所监控的基本热力参数与各气路部件的特性(效率、流通能力等)之间存在着严格的气动热力学关系,因而可通过利用流量连续性、能量守恒等理论建立起精确的数学模型。在模型中描述了测量参数随发动机单元体的几何参数、工作状态以及性能参数之间的变化关系。但总体来讲,为建立驾驶舱内可观测发动机健康参数的可用发动机传感器数量不足,同时关于元件健康的监控中也有些失效与突然间改变的参数变化趋势。所以,一般在线的不可测量的检测方法是根据故障监察和故障隔离方法制定的。例如:专家系统(expert system, ES)、参数估计(parameter estimation, PE)、贝叶斯理论(bayesian theory, BT)、主成分分析(principal component analysis, PCA)、支持向量机(support vector machines, SVM)等,都是文献中曾引用过用于发动机气路性能监控的算法。

#### 4.2 振动监控

振动信号是发动机状态监控与故障诊断常用于监控结构状态问题的数据。在旋转过程中,不完全平衡的转动部件会产生不同程度振动,振幅增大的时间过长可引起有关转子平衡的变化,其征兆信息就是所监控的振动信号。再有配合不当、元件磨损和部件损伤也是引起转子振动的重要原因,如损坏的风扇叶片或齿轮失效。当可以使用高振动频率测量工具在飞机上处理信号收集和发送时,将开创出更多改善现状的新方法。

#### 4.3 滑油系统监控

润滑系统监控诊断时需关注如油污染物之类的情况。因为传感器监测个体部件,所以按照分类给出了内部部件磨损迹象和损伤级数,还要注意金属碎片可能造成隔离损伤的情况。监测数据包括:滑油消耗率监控、滑油磨粒监控、滑油品质状况监控和滑油温度与压力监控。

#### 4.4 控制系统监控

发动机大型组件监控的关键作用是控制系统失效监测和隔离。这种监控方式是基于控制系统传感器和主要位置的反馈(连续的或开关的)。伴随全权数字电子发动机操纵机构的问世,专注于自测的线路要求确保控制系统自身的完整性,来提供必要水平的可替换组件失效隔离。在飞机状态监控工作中,不但受到传感器精度和位置的影响,而且状态监控系统的构建也为快捷有效的工作提供了平台。现在不少以CBM开发的健康管理方法就以便捷、准确的飞机状态监控为基础提出,因此做好监控工作就做好了CBM的第一步。<sup>[6]</sup>

### 5 飞机维修过程中视情维修技术的应用

视情维修技术在飞机维修中的使用受到多种因素的限制,这使得视情维修技术需要变得更加高效。利用视情维修技术修理飞机的目的是为了提高飞机的使用效率,减少不必要的修理时间等待及航材消耗,降低飞机维修成本。故障预测和健康管理(PHM)是利用现代技术监控飞机整体机能。作为视情维修中的重要一环,最近的研究中也使用到了人工智能技术,它能够检测和隔离故障,诊断飞机故障,有效地预测故障和管理

飞机部件的状态,以确保部件的安全运行,延长部件的使用寿命。故障预测和健康管理可有效维护飞机系统,减少系统故障的可能性。使用故障预测和健康管理,联合分布式信息系统(JDI5)应与支持系统和独立操作结合使用。健康管理具备预测故障和检测故障的功能,可以预测故障发生的时间和故障的位置以及系统的使用寿命,科学评估系统的剩余使用寿命,在操作系统运行中具有很高的可靠性,可降低飞机系统维修的资金成本,提高维修工作的准确性。<sup>[3]</sup>实施故障预测和健康管理系统还可以详细记录飞机电子健康信息,并实时监控系统健康状况,并提高维修保障能力。在飞机维修中,故障预测与健康管理系统目前主要应用于美国军用直升机修理,以及民用的波音和空客飞机,包括B777、A330和A320。我国航空业维修在这方面则处于刚刚起步阶段。

结束语:伴随着CBM复杂系统状态监控、故障预测和维修决策优化方法的不断发展,逐步产生了故障预测与健康管理的(prognostics and health management, PHM)分析方法,此方法不仅包括传感器布局设计、数据信息处理、故障诊断、寿命预测、智能决策等内容,还增加了对系统及人的管理功能,使得其应用领域非常广泛,包括航空航天机械/电子产品功能安全、计算机硬/软件安全和化工企业工艺安全等领域。并且由波音公司开发飞机健康管理(airplane health management, AHM)及由美国国家航空航天局(national aeronautics and space administration, NASA)开发的飞行器综合健康管理(integrated vehicle health management, IVHM)也得到了发展。现代飞机系统极为复杂,系统交联关系多。降低飞机的维修成本及周期,采用最先进的维修技术来改进维修流程,推进维修工作从传统维修转变为视情维修,从而达到降低飞行成本,提高飞机安全性是目前维修行业未来发展的主流趋势。结合国外先进思想理念及策略,发展适用于国内航空业视情维修体系的技术及管理仍需要深入研究。

#### 参考文献

- [1] 徐欢. 视情维修技术及其在飞机维修中的应用[J]. 山东工业技术, 2016(18):1.
- [2] 邵春玲. 视情维修技术及其在飞机维修中的应用[J]. 工业, 2016(12):00317-00317.
- [3] 范晨杰. 视情维修技术及其在飞机维修中的实践[J]. 设备管理与维修, 2019(12):2.
- [4] 李红亮、冯伟、刘伯然. 情维修技术及其在飞机维修中的实践[J]. 品牌研究, 2020(33): 275
- [5] 马沛睿、王晓天. 飞机维修技术探析[J]. 中小企业管理与科技. 2014(20):218-218
- [6] 杨昇. 飞机维修技术探析[J]. 科技咨询. 2013(33):59

作者简介: 赵宝林, 1963.03, 男, 汉, 陕西省榆林市, 研究员级高级经济师, 硕士研究生, 飞机维修技术、管理、经营、发展方面 主要从事: 飞机维修、改装、保障。