

# 航空装备综合状态维修框架研究

胡剑波<sup>1,2</sup>, 葛小凯<sup>1</sup>, 王 璞<sup>1</sup>, 张博锋<sup>2</sup>

(1. 空军工程大学工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 上海大学计算机工程与科学学院, 上海 200072)

**摘要** 在研究国外状态维修发展历程、航空装备特点和国内维修现状的基础上, 根据外军维修变革的特点和规律启示, 指出航空装备实施状态维修(CBM)的必要性和存在难点。分析了状态维修的内涵, 指出状态维修实施中存在的不足。基于以上分析, 从航空装备现状出发, 提出综合状态维修的框架, 对其基本内涵、技术途径以及核心的状态维修决策模型进行了研究, 并以某控制系统为例对实施综合状态维修的流程进行了案例分析, 验证了对航空装备开展综合状态维修的有效性和可行性。

**关键词** 状态维修; 维修决策; 维修信息集成; 综合状态维修

**DOI** 10.3969/j.issn.1009-3516.2011.06.001

**中图分类号** V37; TP206.3 **文献标识码** A **文章编号** 1009-3516(2011)06-0001-07

随着武器装备信息化程度不断提高, 以机械修复为主的传统方式已难以满足装备维修要求。为此以美国为首的西方国家对维修领域进行了全面改革, 20世纪60年代初, 美国联合航空公司通过不断试验和总结探索形成了以可靠性为中心的维修。随着状态监测、故障诊断与预警技术等应用到维修的全过程, 逐渐形成了“基于状态的维修”(CBM)。美军在此理念支持下开展了“陆军诊断改进计划”(ADIP)、“综合状态评估系统”(ICAS)和“健康预兆管理”(JSFPHM)等一系列研究计划。21世纪初, 美军又将一些新的维修技术、方法、实施过程引入到CBM中, 发展出了“增强型基于状态的维修”(CBM+)<sup>[1]</sup>和预测与健康(PHM)。维修改革是一个由理论到实践, 从实践再到理论不断反馈, 逐渐丰富、深化与综合的过程。由实际装备维修存在问题和数据分析结论出发, 先形成定性分析机制(RCM), 然后逐渐进入定量分析(状态监测), 再到重视维修决策(CBM+)目标, 并体现出未来重视维修信息集成和综合决策维修管理的趋势<sup>[2-3]</sup>。

由于现有装备本身信息化水平和故障可监测性有限等客观条件限制, 直接过渡到状态维修是不合理的<sup>[4]</sup>。本文立足航空装备维修保障的现状和特点, 从状态维修内涵、局限性和趋势出发, 提出“综合状态维修”, 综合考虑装备维修现状环境、维修模式等因素, 以CBM为核心, 逐渐向以信息的获取和处理为手段, 以维修决策为主, 维修效果最大化的维修模式转变, 并研究了其主要内容, 通过实际应用阐述了其有效性。

## 1 状态维修的内涵和局限性

### 1.1 状态维修内涵

状态维修(Condition Based Maintenance, CBM)也称状态监测维修或视情维修, 它通过对状态参数评价决定装备维修需求, 根据状态监测和故障诊断技术提供的信息, 在发生前判断异常、预知故障、安排维修计划, 是基于实时或接近实时评估设备状态并在装备出现明显劣化时实施的维修策略<sup>[5]</sup>。

CBM体系结构按功能可划分为: 数据采集、信号处理、状态监测、状态评估、预测、决策支持以及表示层

\* 收稿日期: 2011-06-09

基金项目: 上海市重点学科建设资助项目(J50103); 空军工程大学工程学院科研创新基金资助项目(XS1101020)

作者简介: 胡剑波(1965-), 男, 浙江慈溪人, 教授, 博士生导师, 主要从事先进控制理论与应用飞行控制、装备信息化等研究。E-mail: wjzaxian1984@163.com

七层<sup>[1]</sup>,CBM按实施程度可分为3个等级:①最简单的维修:由检测人员根据状态监测仪器对当时状态进行评价并确定维修方案;②效能费用中等的维修:进行状态评估,并制定维修初级方案;③高效、费用最多的维修:包括故障状态信息提取、专家诊断和预警,具有诊断和维修决策支持功能。

CBM主要特点:①把故障消灭在萌芽状态,主动检查并确定异常状态,及时进行事先维修;②强调计划性更符合实际;③核心是巡回监测、故障诊断和适时适度修理;④按照需要进行更换或修理损坏的部件,减少停机时间和配件消耗。

## 1.2 状态维修研究现状

状态维修包含状态监测、故障诊断和维修决策3个方面。目前状态监测技术相对比较成熟,主要有BIT、自检测装置、运行参数记录仪等,其核心在于状态监测点的设置与数据处理;故障诊断方法分为特征提取和模式识别2个步骤,特征提取主要有小波、经验模式分解等方法,提取故障特征向量后,利用神经网络和隐马尔可夫等模型进行分类实现故障诊断<sup>[6]</sup>;

状态监测和故障诊断为维修决策提供所需判断信息,决策才是关键和最终目的。目前主要有虚拟寿命、冲击与时间延迟模型等<sup>[7]</sup>。按照状态描述不同,维修决策分为离散<sup>[8]</sup>和连续模型<sup>[9]</sup>。二者基本思路都是:基于监测数据对系统运行状态进行划分或对退化建模,对整个寿命过程进行合理假设并建立平均费用率或可用度目标函数<sup>[10]</sup>,以剩余寿命、预防维修阈值或状态检测周期为决策变量进行优化实现最佳维修决策。

下面分别从维修活动影响、故障建模、参数估计及维修方式选择4方面对维修决策现状进行简要综述。

1) 维修活动对建模的影响主要是维修效果和时间。按照维修效果不同可分为完全和不完全模型,研究表明后者更加符合工程实际<sup>[11]</sup>,其分为B-P模型、虚拟寿命和故障强度减少模型(Arithmetic Reduction of Intensity,ARI)<sup>[12]</sup>,及几何函数等概率分布模型<sup>[9,13]</sup>。维修效果是设备退化状态、易接近程度和人员素质等的综合结果,可能是不良维修、基本维修、中度维修、完全维修及改进型维修之一<sup>[14]</sup>,现有模型均不是从统计角度对其研究,无法反应实际情况。维修时间通常被看作是一个常量,忽略了时变特性<sup>[13]</sup>。

2) 系统故障有渐发性和突发性故障。目前维修决策主要研究单一退化系统渐发性故障,对于多故障机制、突发故障竞争情况建模停留在理论层次<sup>[11,15]</sup>,缺乏实际应用。

3) 通常假设监测完全情况下,使用监测数据进行似然估计<sup>[16]</sup>。文献[17]通过故障数据分析,研究了仿真方法在不完全监测时参数估计中的应用,文献[18]研究了不完全维修的渐进性及参数估计。Monte Carlo仿真方法在估计决策所需的可用性、可靠性和平均故障时间等参数很适用<sup>[11]</sup>。

4) 现有维修决策建模大多仅考虑预防维修(Preventive Maintenance,PM)和事后维修(Corrective Maintenance,CM)2种方式,属于狭义状态维修<sup>[5]</sup>,在多种维修方式之间综合优化选择的过程。文献[5]称为狭义状态维修,并给出了广义状态维修的定义,文献[19]提出差异性维修的思想。

以上问题主要是由于维修信息不足或利用不充分造成的,忽略了系统运行环境、使用负载、制造差异和预防维修历史等外部因素,是现有状态维修决策模型难以应用实际的根本原因<sup>[20]</sup>。R. Guo指出必须开发能够反映研究对象真实本质的综合模型<sup>[7]</sup>。南卡罗来纳大学(University of South Carolina,USC)探讨了基于历史数据对维修管理系统和健康监控系统融合的方法,给出了通过数据源综合实现CBM的途径,研究了CBM实施过程中的实验测试和维修费用分析问题<sup>[21]</sup>。文献[3]研究了通过数据挖掘进行故障诊断和状态指标识别的方法。这均体现了开发综合维修管理系统对CBM实施的重要性。

## 1.3 状态维修局限性

根据以上分析可以看出,目前状态维修决策研究方面存在以下局限性:

1) 现有维修决策模型大多仅依赖状态监测信息实施维修,将CBM视为其他维修手段的替代,Nancy Regan<sup>[21]</sup>研究表明平均只有40%故障模式能够用CBM管理,只考虑单一维修方式下的决策是不完整的。

2) 目前状态维修决策对实际中大量存在的多退化机制冲击过程和潜在故障共同作用时的情形研究不透,制约了现有决策模型的实际应用可能性。

3) 维修决策是一个复杂的系统工程,对维修效果、时间、人为因素等因素考虑不同将影响决策。

以上局限性体现在系统建模中,就是对维修效果、时间和故障机制等假设的合理性问题。实际维修活动产生的相关信息是现实问题的真实反映,因此开展基于维修信息集成的综合维修决策是解决问题的根本途

径。

## 2 航空装备综合状态维修

从CBM 研究现状和局限性可以发现,仅数据驱动的状态维修是不足的,监测仅仅是手段,状态信息也只是反映装备运行状况的一个方面。因此,需要一种立足现有装备信息化条件,充分利用现有的装备本身和故障监测信息源,以科学性、经济性为目标恢复装备固有可靠性的综合维修模式——综合状态维修。

### 2.1 综合状态维修基本内涵

综合状态维修信息是指所有能够反映装备状态并能对装备维修决策进行支持的相关信息,包括性能数据、历史故障信息、历史维修记录、监测数据及维修管理信息等。其主要内容为:

- 1) 以可靠性为中心,把现代维修理论与装备维修管理的实际状况相结合,以最大限度提高装备的使用可靠性,以保证装备性能(功能和质量)的实现为目的。
- 2) 优先考虑系统的综合效益,力图以最小的经济代价来保持和恢复装备应有的可靠性。
- 3) 对装备单机运行状态进行定量化分析,基于历史维修数据和实际状态综合预测并修正其运行规律。
- 4) 充分发挥各种维修方式的不同适用性和有效性,利用正确的维修方式及其组合,获得最佳的维修效果,最大限度地减少故障所带来的损失。
- 5) 条件具备的情况下,以状态维修方式为主,通过在线监测信息决策维修时机和内容,制定和执行合理的维修方案,提高装备预防维修的有效性,防止过度维修和维修不足,提高装备战备完好率。

### 2.2 综合状态维修框架与步骤

图 1 是综合状态维修总体框架图。综合状态维修实施包含以下 5 个步骤:① 维修信息集成;② 维修策略分析:基于综合状态维修信息,用 RCM 分析装备故障机理和模式,确定装备退化规律、维修费用和维修效果等分布函数,选择适宜维修方式;③ 维修决策建模:根据维修方式和故障机制建立维修决策模型,进行决策优化求解;④ 维修评估:构建装备维修决策评估指标体系,对维修决策结果进行评估;⑤ 维修决策反馈优化:根据评估结果,对综合状态维修进行调整和优化,或者当装备可得到的维修信息变化后,进行维修决策重新建模。

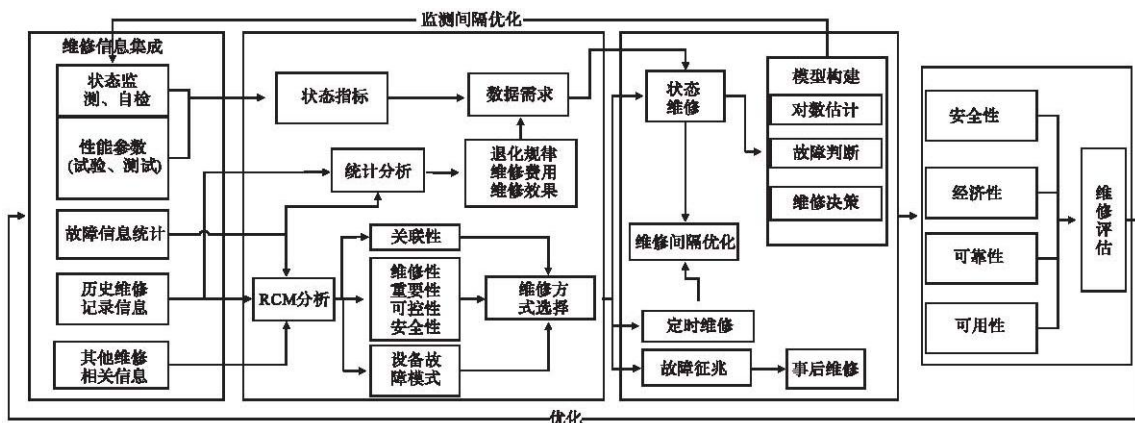


图 1 综合状态维修总体框架图

Fig. 1 Main framework of synthetical CBM

综合状态维修的综合方法包含以下几个方面:

#### 1) 维修信息的综合

维修信息的综合包括监测、性能、历史故障、维修、生产与质量及维修人员经验等信息。维修信息利用不充分的主要原因是丢失了关键的数据单元,如系统维修识别码等,造成维修信息相互无法关联。因此需要加强以下方面:① 明确需求,从综合状态维修实施需求出发,建立维修信息明确格式和内容要求;② 建立航空装备维修识别码,增加必要数据单元,制定收集规程和标准,规范以后维修信息收集;③ 加强科研与部队联系,推广 RCM 与 CBM 思想,使得各级维修部门明确维修信息综合必要性和重要性。

在以上数据收集基础上主要从以下几方面对维修信息进行综合:①按照信息来源:包括维修对象、方式、依据、效果、时机等②按照维修数据类型:按照时间(日历和飞行时间)、单位对故障信息综合;按照所属系统、维修任务、维修效果等对维修记录综合;按照监测变量类别(如振动)、所属设备、阶段(如初始故障期)对监测信息综合;③按照使用用途:依据故障诊断、故障预防或维修决策的需要,构建所需的维修信息子集。

## 2) 维修方式选择的综合

根据研究对象重要性、故障类型采取合适维修方式组合:①对于非关键的部件和间歇故障,采取事后维修或替换,对不可修部件进行故障后替换策略;②对于无明显耗损期的故障采取定时维修,根据历史故障发生情况,用可靠性理论计算这类故障发生期望最小周期,并结合出厂性能参数和专家意见给出合理的定时维修周期和部件故障时参数最小偏差;③对于耗损期的故障,分析故障发生对应的征兆参数,建立退化模型,实现状态维修;④对于能实行状态维修且重要程度高,故障危害性大的部件应视情采取状态维修与定时维修相结合,实行2种方式“先到先执行”的策略,并结合状态维修模型对定时维修间隔期进行优化。

## 3) 多决策目标的综合

对适宜采用状态维修的系统,根据其安全性、任务性、可用度和严重经济性后果,综合选择决策目标函数,构建决策优化模型,常用的有以下2种模型:

决策模型 1 对于安全性和任务性后果严重的系统,可将平均可用度作为目标函数得到:

$$\begin{aligned} \max \quad & EA \\ \text{s. t} \quad & EC \leq EC_0 \end{aligned} \quad (1)$$

式中:EA, EC 分别为平均可用度和维修费用;EC<sub>0</sub> 为最大经济承受能力。

决策模型 2 对于采用了冗余技术和 LRU 等管理技术,可将平均维修费用作为目标函数,得到:

$$\begin{aligned} \min \quad & EC \\ \text{s. t} \quad & EA \geq EA_0, 0 < EA_0 < 1 \end{aligned} \quad (2)$$

式中 EA<sub>0</sub> 表示最低可用度要求。

对于多单元系统、多系统耦合及多种故障机制的情形,在模型选择基础上还需综合考虑系统结构、系统关联和多故障竞争的情况,对决策中的可用度和费用进行相应的改变。

## 4) 分析方法的综合

对于综合状态维修过程,从故障判断、维修决策到模型参数估计,有基于模型、数据和仿真的方法。传统的基于模型的方法,在能够建立装备的确定模型时更加准确。基于数据的方法,以状态监测数据的分析为主,在提取装备特征的基础上进行故障诊断和维修决策,其优点是不需要装备的结构知识。仿真恰恰可以连接这2种方式并弥补二者的缺陷。特别是当模型不够明确、数据不够充分时,通过有限信息,对维修决策中不确定因素和参数进行仿真估计,简化模型求解难度,实现有效维修决策。图2是基于“模型-仿真-数据”的状态维修方法及过程图。综合3种方法进行故障诊断,在故障诊断基础上,构建基于时间或者基于状态的决策模型,进行维修内容优化和计划制定。

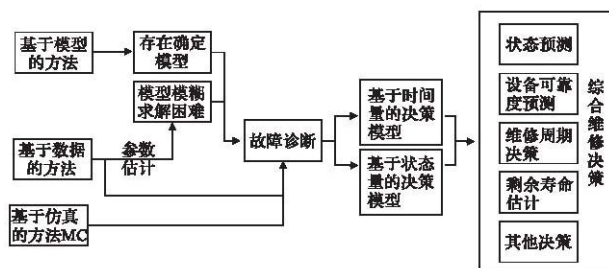


图2 “模型-仿真-数据”状态维修方法及过程模型

Fig. 2 Condition based maintenance methods and process model of “model - simulation - monitoring data”

## 5) 维修决策效能综合评估

依据可靠性理论从实际模型和仿真数据中计算故障率、可靠度、可用性、故障频率等,构建评价指标体系。针对不同系统决策需求侧重不同,对决策实施后的效能进行综合评价,由专家对系统可靠性、费用等进行分析,检查维修策略是否达到了优化,哪些还有待改进。如果不满足要求则寻找决策误差产生原因,从信息、模型和方法角度进行重新优化。

### 3 案例应用

下面以某控制系统为例进行讨论。该控制系统是飞行关键系统,属故障多发系统且故障后果严重,部队反映虚警高、维修任务重,希望能够对维修内容和时机等进行决策优化。调研发现该型控制系统维修流程规范清晰,且有较为完善的故障信息和丰富维修经验,目前仅停留在日历时间常规统计层次,且飞参及 BIT 中记录有相关监测信息未加利用。只对其开展综合状态维修具备条件。其综合状态维修实施流程见图 3。

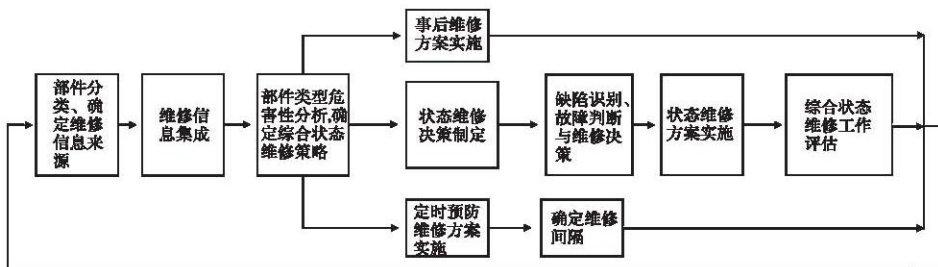


图3 综合状态维修实施流程

Fig. 3 Synthetical CBM implement flowchart

通过梳理历史信息,对系统部件进行编码,实现维修信息集成,采用词法分析技术建立飞参数据分析状态机提取监测数据。从质控部门获取飞行时间数据对故障信息进行标准化,建立综合状态维修数据库平台。

从控制系统的结构对故障信息划分,主要有受控对象故障、传感器故障、执行器故障和控制器故障。下面分别从维修策略制定、故障诊断、维修决策维修活动仿真等方面对该系统综合状态维修实施进行分析。

#### 3.1 综合状态维修策略

该系统目前主要采用定期维修、事后维修 2 种策略。通过对其维修信息综合发现该系统存在可用监测信息、性能试验数据,通过对维修信息日历统计归纳其主要故障模式和类型,绘制故障树,故障机理比较清晰。因此对其采取综合状态维修是合适的。通过实现基于飞行时间的统计和对监测参数分析,结合传统维修策略,对传感器和控制器采用定期维修、状态预防维修和事后替换的策略;对执行器采用定期维修和事后替换的策略。

#### 3.2 故障诊断模型

按照该系统不同部件维修信息量充分性,分别建立以下 3 个故障诊断模型:

1) 基于模型的故障诊断:控制器内部机理清楚,构建其状态或控制方程,在一定时间窗口内,输入输出存在一定解析关系,分析测量系统的残差,如果某控制量的残差不为 0,表明其对应的部件存在潜在故障。

2) 基于模式识别的故障诊断:对传感器,采用小波方法提取监测参数特征向量,用隐马尔可夫模型对不同类型故障进行分类训练。对于未知监测参数,用训练好的模型实现故障诊断。

3) 基于案例的故障诊断:对所有部件均可依据历史故障发生情况和专家经验构建故障案例信息库,当某些故障现象或征兆出现时,根据历史案例信息判断可能的故障类型和原因。

#### 3.3 维修决策模型

该型控制系统,自身可用度高,且采用冗余技术,因此采用模型 2,以费用为优化目标函数。首先建立监测参数退化模型,其条件密度函数如下:

$$v(t|A_i) = e^{\theta'z(t)} \quad (3)$$

式中: $z(t) = (z_1(t), z_2(t), \dots, z_p(t))'$ 为系统运行时间、故障和维修活动的影响向量; $A_i$ 表示运行历史信息; $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p)$ 为参数向量,用监测数据对退化过程的未知参数进行似然估计,得到状态退化方程。

基于式(3)对模型 2 进行细化,通过日历统计和基于飞行时间的统计获取决策模型中的各类维修费用期望值,采用数值计算方法优化求解确定预防维修间隔、状态监测周期及最佳维修次数等。

#### 3.4 维修活动仿真

维修活动是维修决策考虑的关键因素,但维修效果相关信息并无记录,因此需要针对实际情况构建相应仿真模型。鉴于几何分布特性,构建如下维修效果模型:

$$Y_i = (e^{(-a^i - b)} M - F) \sigma_0 + F \quad (4)$$

式中: $i$ 为维修次数; $a$ 和 $b$ 为未知参数; $M, F$ 分别为预防维修阈值和故障阈值; $\sigma_0$ 是人为影响因子。根据历史维修后系统状态恢复情况数据对式(4)进行仿真分析,得到决策所需的维修效果模型。

### 3.5 综合状态维修实施优点

试运行情况表明,目前实施综合状态维修在没有增加昂贵成本前提下,提高了维修信息利用率,实现了维修内容和决策优化,能够达到预期目的,具有以下特点:①能够增强故障诊断准确性,提高故障预警能力;②能够实现维修内容优化和预防维修计划制定,降低维修人员工作量;③能够促进维修信息规范化和标准化。

## 4 总结与展望

CBM思想虽然已经得到广泛研究和认可,但成本、安全性等因素制约了其应用。本文提出的综合状态维修,是在现有维修方式基础上,逐步增大实施状态维修比重,实现“渐进式变革、逐步替代,以维修决策最大化、故障最低化、费用最优化为目标,以信息为驱动,实现适应环境、维修现状的最佳维修”的过程。

在我军装备维修保障的转型期,开展综合状态维修符合实际情况,且对新的维修模式和思想推广具有重要意义。综合状态维修是一个复杂的系统过程,下一步研究重点是:①满足综合状态维修需求的维修信息集成与管理方法;②在综合状态维修的基础上开展针对单机的差异化维修控制研究。

### 参考文献:

- [1] Jack Bell. Condition based maintenance plus DoD guidebook[M]. Washington, DC:Deputy under secretary of defense for logistics and materiel readiness 3500 defense pentagon,20301-3500,2008.
- [2] Vytautas Blechertas, Abdel Bayoumi. CBM fundamental research at the university of south carolina: a systematic approach to U. S. army rotorcraft CBM and the resulting tangible benefits[C]//Proceedings of AHS International Specialists' Meeting on Condition Based Maintenance. Huntsville, AL:AHS,2009:1-20.
- [3] Nicholas Goodman, Abdel Bayoumi. Fault class identification through applied data mining of AH-64 condition indicators [C]//Proceedings of aHS 66th annual forum and technology display. Phoenix, AZ: AHS,2010:1-7.
- [4] 单志伟. 装备综合保障工程[M]. 北京:国防工业出版社,2007.
- SHAN Zhiwei. Equipment integrated support engineering [M]. Beijing: National defense industry press, 2007. (in Chinese)
- [5] 马飒飒,贾希胜,夏良华. 军队装备维修工程CBM综述[J]. 装备指挥技术学院学报,2008,19(2):111-116.
- MA Sasa, JIA Xisheng, XIA Lianghua. Survey on condition based maintenance for military equipment maintenance engineering [J]. Journal of the academy of equipment command & technology, 2008,19(2):111-116. (in Chinese)
- [6] 侯青剑,王宏力. 一种基于EMD的模拟电路故障特征提取方法[J]. 系统工程与电子技术,2009,31(6):1525-1528.
- HOU Qingjian, WANG Hongli. Method of fault feature extraction for analog circuits based on EMD[J]. Systems engineering and electronics,2009,31(6):1525-1528. (in Chinese)
- [7] Guo R, Ascher H, Love E. Towards practical and synthetical modelling of repairable systems[J]. Economic quality control, 2001,2(16):147-182.
- [8] Neves M L, Santiago L P, Maia C A. A condition-based maintenance policy and input parameters estimation for deteriorating systems under periodic inspection[J]. Computers & industrial engineering, available on-line,2011(4):1-5.
- [9] Allen H Tai, Ling-Yau Chan. Maintenance models for a continuously degrading system[J]. Computers & industrial engineering,2010,58:578-583.
- [10] 贾希胜. 以可靠性为中心的维修决策模型[M]. 北京:国防工业出版社,2007:1-15.
- JIA Xisheng. The decision models for reliability centered maintenance[M]. Beijing: National defense industry press, 2007:1-15. (in Chinese)
- [11] Hongzhou Wang, Hoang Pham. Reliability and optimal maintenance[M]. London: Springer-Verlag, 2006.
- [12] Laurent Doyen. Asymptotic properties of imperfect repair models and estimation of repair efficiency [J]. Naval research logistics, 2010,57(1):296-307.

- [13] Shahannaghi K, Babaei H, bakhsha A, et al. A new condition based maintenance model with random improvements on the system after maintenance actions: optimizing by monte carlo simulation [J]. World journal of modeling and simulation, 2008, 4 (3): 230 – 236.
- [14] 左洪福, 蔡景, 王伟华, 等. 维修决策理论与方法 [M]. 北京: 航空工业出版社, 2008: 135 – 157.  
ZUO Hongfu, CAI Jing, WANG Weihua, et al. Maintenance decision theory and method [M]. Beijing: Aviation industry press, 2008: 135 – 157. (in Chinese)
- [15] J A M van der Weide, Pandey M D. Stochastic analysis of shock process and modeling of condition – based maintenance [J]. Reliability engineering and system safety, 2011, 96: 619 – 626.
- [16] Alireza Ghasemi, Soumaya Yacout, M – Salah Ouali. Parameter estimation methods for condition – based maintenance with indirect observations [J]. IEEE transactions on reliability, 2010, 59(2): 426 – 439.
- [17] Gauthier Stephen E. Decision analysis to support condition based maintenance plus [D]. Monterey, California: Naval postgraduate school, 2006.
- [18] Doyen L, Gaudoin O. Classes of imperfect repair models based on reduction of failure intensity or virtual age [J]. Reliability engineering and system safety, 2004, 84: 45 – 56.
- [19] 王晶. 差异维修理论及其决策系统研究 [J]. 机械与电子, 2007(4): 75 – 77.  
WANG Jing. Research of diversity maintenance theoretics and decision system [J]. Machinery & electronics, 2007(4): 75 – 77. (in Chinese)
- [20] Major Steven J. A data warehouse to support condition based maintenance (CBM) [R]. New York: Operations research center of excellence technical report DSE – TR – 0509, 10996, 2005.
- [21] Abdel Bayoumi, Nicholas Goodman. Conditioned – based maintenance at USC – Part I – IV [C] // Proceedings of AHS international specialists' meeting on condition based maintenance. Huntsville, AL: AHS, 2008: 1 – 9.

(编辑: 徐敏)

## Study of Synthetical Condition – Based Maintenance Framework of Aviation Materiel

HU Jian – bo<sup>1,2</sup>, GE Xiao – kai<sup>1</sup>, WANG Ying<sup>1</sup>, ZHANG Bo – feng<sup>2</sup>

(1. Engineering Institute, Air Force University of Engineering, Xi'an 710038, China; 2. School of Computer Engineering and Science, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

**Abstract:** Through analyzing the characters of aviation material and current situation of it, studying the development roadmap of foreign CBM, enlightened by the development peculiarity and pattern of it, the necessity and difficulty points of implement CBM on aviation materiel are indicated. By analyzing the intrinsic nature of CBM, the deficiencies of implementing it in practice are pointed out. The frame of Synthetical Condition – Based Maintenance (SCBM) is presented ground on current situation of aviation materiel. Then we study the essential contents, technique process and maintenance decision model of it. Finally by analyzing the implement flow in one real control system, the efficiency and feasibility of practice SCBM in aviation materiel is illuminated.

**Key words:** condition based maintenance; maintenance decision; maintenance information integration; synthetical CBM