

美军新机的综合诊断技术及启示

潘 泉¹, 景小宁^{1,2}, 陈云翔²

(1. 西北工业大学 自动化学院, 陕西 西安 710072 2. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘 要:综合诊断是实现武器装备可靠性、维修性和保障性的重要手段和发展方向。本文分析了美军在新机研制中的综合诊断体系结构及其支撑技术;论述了实现综合诊断目前需要研究解决的问题;提出了我军在新机研制中应该注意解决的一些问题。

关键词:故障诊断;综合诊断;自治后勤;人工智能

中图分类号: V37 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009—3516 (2005) 02—0001—03

综合诊断的概念和思想初步形成于 20 世纪 80 年代,经过在武器系统中的实践与应用后,这一概念逐步趋于完善。美国学者 William Keiner Brown 以及美国开放系统综合诊断方法论证项目组 (OSA IDD) 分别给出了综合诊断的定义^[1~2],其核心思想就是:综合诊断是一个系统工程;实现所有相关要素的有效综合,包括系统的测试性、自动测试、手工测试、诊断预测、安全评估与预测、维修培训、维修辅助工具和技术资料、自治后勤等,将其综合功能分配到系统工程的各个阶段,包括系统设计、使用、维修和保障等;其目标是经济有效地检测和准确隔离武器系统中所有已知的或可能发生的故障,以满足任务要求,并使寿命周期费用最少。

1 综合诊断体系结构

美军的 F-35 多用途联合攻击机 (JSF) 中全面引入了综合诊断的思想,在其它武器系统的应用如美军 UH-60 黑鹰直升机和 SH-60 海鹰直升机等^[3~5]。美军在综合诊断的研究和应用中,针对不同的武器系统使用了各种综合诊断结构和技术,其中 JSF 飞机中采用的故障预测和健康管理系统 (PHM),充分体现了武器系统故障诊断维修保障体系的发展趋势。其体系结构可概括为图 1,实现了机载实时状态监测、故障诊断、故障预测预报和离线诊断、维修、后勤保障的综合化。

图 1 故障预测与健康管理系统 (PHM) 结构框图

PHM 的目标包括:增强飞机的安全性和任务可靠性;减少维修人力、备件和修复成本;消除常规检查;使维护周期和部件获取的交付周期最大化;自动隔离故障到单个外场可更换部件 (ILRU);消除不可重现故障

收稿日期: 2004—05—23

基金项目:国防预研基金资助项目 (41327030103)

作者简介:潘 泉 (1961—),男,上海人,教授,博士生导师,主要从事模式识别与智能信息系统,信息融合等研究。

(CND)和重测合格现象(RTOK);在JSF的后勤保障链的所有级别提供关于维修预测的实时信息;预防灾难性故障的发生;对故障进行早期检测和隔离;预测维修减少飞机停场时间。JSF中PHM的目标是与现有攻击机相比,减少人力需求20%~40%,增加作战出动架次25%,减少后勤保障复杂度50%^[1-5]。

2 综合诊断的支撑技术

系统建模技术。综合诊断涉及系统设计、诊断、预测、维修等各个阶段,因此其系统模型应尽量简单、直观,并使不同阶段的设计和使用能够理解和使用,还要尽量可用于系统的整个寿命周期。

测试性设计和BIT技术。测试性设计与分析、BIT技术是综合诊断的基本要素,因此有效的方法和辅助设计及分析工具是综合诊断中要研究的内容之一。

故障诊断技术。故障诊断是实现综合诊断的关键要素之一。故障检测是实现进一步诊断的基础,包括智能传感技术和非传统检测技术的研究。在美军的武器系统综合诊断中,已应用了包括谱分析、小波理论和模糊逻辑、神经网络、信息融合等先进信号处理技术和人工智能技术。另外如飞机这类武器系统的综合诊断包括机载实时诊断和地面远程诊断两个层次。机载实时诊断就是在飞行过程中对系统状态进行实时监测、故障预测、系统重构以及飞行员辅助决策等。远程诊断以通过数据传输链路接收的机载实时诊断和预测结果为基础,同时结合维修信息和专家知识等,实现融合诊断,对空中实时诊断结果中的故障未知和可疑模块进行进一步的诊断,为维修和保障系统提供信息。只有两种诊断的有效综合才能更好实现诊断的有效性。

预测技术。是综合诊断的关键技术之一,包括故障、系统安全、剩余寿命、可靠性、维修、后勤采购预测等方面。目前研究主要集中于预测模型、预测系统结构与推理、预测所需信息的选择与获取等方面的研究。

自动测试技术。自动测试设备(ATE)是综合诊断的基本要素之一,是武器系统离线测试的必要手段,也是机内测试和机载实时诊断的有效补充。美国国防部将自动测试设备也作为一个系统工程来对待,所定义的自动测试系统(ATS)包括ATE、测试接口和测试软件开发环境等。

外场维修技术和手段。随着武器系统及其相关技术数据数字化的迅速增长,美军外场维护普遍采用“便携式辅助维修设备(PMA)”。PMA是一种用于外场维修的移动计算设备,通常用于技术数据的显示、故障诊断隔离、维修指导、零配件查询与订购管理、维修文档管理与分析、状态监测与预测以及操作数据的上传和下载等。PMA还含有相应武器系统的交互式电子技术手册(ITEM),用于故障诊断隔离与维修指导。

自治后勤。自治后勤,也称为自主式后勤,是美军JSF项目采用的一项创新性保障方案,在一定程度上代表了21世纪美军武器装备后勤保障的发展方向。自治后勤的目标是设计一种先导式而非反应式的后勤保障系统,以最大程度地识别问题并自主启动正确的响应,飞机的全部通用后勤和维修活动都将实现自动化,从而最大程度地消除人力和人为差错。自治后勤系统通过实现诊断、维修和后勤保障的信息共享,可以缩短维修和供应保障过程,减少使用和保障费用,提高飞机的出动架次率,在飞机着陆前就为下次任务做好准备。这种革命性的保障方案将使军方在未来的战场中,高效地保障武器装备,实现成功的作战部署。

交互式辅助维修与虚拟维修技术。未来作战环境对作战飞机高出动强度的需求,要求维修人员能够迅速、准确判断故障性质和故障部位,及时处理故障,恢复系统正常运行,这就要求维修人员具有相应的技术水平,交互式辅助维修和训练系统是解决这一问题的有效途径。其可对具体的维修过程以图像、声音等形式进行技术指导,并可对维修人员按其技术水平进行自适应的技术培训。另外利用计算机仿真技术构建一种虚拟维修环境,模拟武器系统的整个维修过程,不仅可对综合诊断系统进行评估,还可对维修人员进行训练。

信息管理技术。美军在武器系统的综合诊断中采用综合信息管理系统对BIT信息、系统实时诊断结果信息、故障预测信息、远程诊断结果信息、维修信息、后勤保障信息以及系统的模型信息、地面测试信息、飞行员反馈信息、系统设计信息等进行综合管理,为综合诊断过程的所有环节提供信息共享。

另外,为了更好实现综合诊断功能,系统工程与并行工程也已成为美军近年来的研究重点。利用智能数据仓库、数据挖掘、计算机网络、无线网络、并行工程、系统工程等方法构成成套的综合诊断设计、分析与验证系统,使武器系统的维修保障方式进入一个全新的阶段。

3 实现综合故障诊断体系目前需要研究的问题

实现综合故障诊断系统,目前需要研究和解决的技术问题主要有:包括智能传感器、智能材料、嵌入式传

感器、嵌入式可检测材料在内的智能传感技术;非传统的检测技术,如涡流叶片末端传感器用于盘裂缝检测,静电排气碎片检测发动机叶片磨擦检测, MEMS技术的应用等;预测的概念性方法和模板,包括识别和跟踪适于预测的部件、适用的检测技术和方法、先进的综合模型(包括对故障的物理特性、元件设计及其材料特性的理解,故障的发展特性,剩余寿命分析,基于物理的、统计的、检测器驱动的模式)等;故障检测、隔离和预报,包括可测试性设计(OTD)技术、基于传感器和模型等的故障检测技术、飞行中的BIT技术、智能BIT技术、对传感器、模型等的信息融合实现故障隔离、通过对实时状态监测数据的分析处理实现故障的跟踪和趋势分析、根据故障跟踪和趋势分析以及寿命计算模型进行故障和系统性能的预测预报等。

目前实现综合故障诊断缺乏的技术和需要解决的问题主要有:对故障机理的更好理解;BIT数据和诊断数据的表示和传输规范;基于状态条件的性能预测;更好的系统态势估计技术;对初始故障的理解和检测;对故障发展速率的理解;对在不同负载和任务使用条件下的材料性能的理解;用来进行故障预测预报的部件的确定,有关故障对飞机机载设备和系统的影响的知识;更好的数据融合方法;更有效的综合模型(剩余寿命预测模型、故障及维修预测模型、自治后勤链中的信息综合模型等)。

4 结束语

未来战争中,高技术武器装备起着决定战争胜负的作用,而维修与保障技术是高新技术兵器形成战斗力和发挥其作战效能的重要保证。因此,在发展我空军新型作战飞机的同时,应注意研究与发展为这些飞机服务的维修与保障技术,保证新机作战效能的最大发挥。

综合故障诊断系统的实现是满足未来作战环境对作战飞机系统可靠性、维修性和保障性需求的有效途径。近年来,我军针对各种武器装备开展了广泛的地面测试设备的研制工作,但缺乏系统实时故障诊断预测研究,作战飞机故障诊断体系基本上是基于常规BIT诊断、维修和后勤保障相对分离,缺乏必要的信息共享。目前国内测试性/BIT技术及综合诊断的相关知识尚不够普及,软件工具开发和实用经验方面与先进国家还有差距。要实现综合故障诊断体系,需要多个学科的知识和技术,需要众多领域专家和技术人员的协作合作。在新一代作战飞机的研制方面,应该吸收和借鉴国外的先进经验和技术,从系统的概念设计、子系统设计到系统集成的整个设计过程同时考虑系统性能、测试性、维护性和可靠性需求,实现设计、制造、使用、维修和后勤保障信息的综合化和自动化。应在综合诊断的相关规范和标准、支撑技术、人工智能应用、计算机辅助工具开发等方面开展更加深入的研究,在理论研究、总结设计与使用经验的基础上,开发实用的综合诊断技术及其方法和工具,迅速提高我军武器系统的综合维修保障水平,对提高飞机安全性能、提高维护和后勤保障效率、降低寿命周期费用、提高战斗力将起重要作用。

参考文献:

- [1] James Bohr. Open Systems Approach—Integrated Diagnostics Demonstration Program [A]. American National Defense Industrial Association System Engineering & Supportability Conference 2002
- [2] Tom Conquest. Prognostics and Health Management at Smith Aerospace—Electronic Systems [R]. DARPA Bidder's Conference SN02—23, 2002
- [3] Amit Mathur, Deepak Hasti, Charles Domagala. Application of a Dependency—Model—Based Health Inference and Troubleshooting Strategy to a HUMS—Enabled Advanced Maintenance Concept [A]. The American Helicopter Society 59th Annual Forum, Phoenix, Arizona 2003.
- [4] Patterson Hine, Hindson W, Sanderfer D. A Model—Based Health Monitoring and Diagnostics System for the UH—60 Helicopter [A]. Proceedings of the AHS International 57th Annual Forum and Technology Display Washington, DC, 2001
- [5] Andrew Hess. The Prognostic Requirement for Advanced Sensors and Non—Traditional Detection Technologies [A]. DAPAR/DSO Prognostics Bidder's Conference, Alexandria, VA, 2002

(编辑:姚树峰)

(下转第 35 页)

