

# 商用大飞机健康管理 应用研究\*

## Research of Commercial Aircraft Health Management Application

中国民用航空飞行学院 卢俊文 吴 瑞 王威风 尚泽译  
西南交通大学电气工程学院 王倩营



卢俊文

助理工程师, 2012年毕业于中国民用航空飞行学院载运工具运用工程专业, 长期从事航空器健康管理、复合材料计算力学等方面的研究。

在早期的飞机系统中, Built in test (BIT) 仅是一个简单按钮, 用来检测内部电路是否完好。但随着 20 世纪 80 年代早期数字航空电子计算机的出现, 机务人员开始面临检查故障与隔离故障的严峻挑战。1988 年,

AHM 技术优势及技术革新已经得到了长足发展, 但要清楚地认识到, AHM 技术的发展主要集中在改善维修、备件及人员配置等方面。但目前的飞机设计理念已经转向了完全自动化, AHM 技术也开始在保证关键部位安全等方面得到了发展, 实现了对关键部位的异常、失效进行实时监测与处理, 确保飞机的安全运行。

第一代健康管理的航空标准出台。之后几年, 随着新机型的出现, 标准得到进一步完善。健康管理标准的引入, 促使商业航空领域飞机健康管理 (Aircraft Health Management, 简称 AHM) 系统的出现。本文主要研究健康管理系统在商用航空维修领域的应用, 讨论了面临的挑战、发展现状及工程价值, 并对商用航空 AHM 未来发展方向进行了展望。

### 商用航空面临的挑战

作为运输服务类行业, 商用航空运作时间长, 安全要求高。这就要求航空公司在旅客出行计划、维修计划、安全及运行成本之间寻求平衡。有数据表明, 航空公司运行成本 (除去燃油、劳动力成本) 中最大的一项

就是维修成本, 大约占到飞机寿命周期内总成本的 1/2<sup>[1]</sup>。

其中, 导致维修成本如此之高的最主要原因是“无故障发现” (No Fault Found, 简称 NFF) 事件的出现。NFF 事件就是指飞机确实存在故障, 但是又无法排除故障, 这样就必须花费大量的时间去排故, 甚至有可能返回厂家进行修理。导致 NFF 发生的主要原因如下<sup>[2]</sup>:

- (1) 硬件或软件的缺陷;
- (2) 测试范围的选择错误及测试的不精确;
- (3) 由于航班安排密集, 排故时间短;
- (4) 维修文件的不准确或不完善;
- (5) 维修培训的不足;

\* 基金项目: J2012-06 西锐 SR20 飞机发动机本体翻修技术开发及 X2012-10 飞机结构健康监测体系下维修特点的研究。

(6) 维修体系不完善或维修人员的紧缺。

总之,需要通过改进飞机系统本身的设计或改善维修体系(通过维修文件的修订、维修人员的培训等来实现)来降低 NFF 事件的发生率。

## 商用航空分层的 AHM 框架结构

在商用航空领域, AHM 通常由一系列分层结构组成,每一层承担整个 AHM 系统的一部分功能。

最底层一般就是每个子系统之中的 BIT,从而确保每个子系统处于安全状态。同时, BIT 成本低,减少了飞机整个寿命内的使用成本。如果没有 BIT 的存在,整个 AHM 系统的效率将会受到很大限制。

中间层是每个子系统与整个 AHM 系统的衔接部分。例如,现阶段的飞机中配置了中央集成维修计算机,用来收集各个子系统的故障信息,完成故障原因的查找并给出推荐的维修措施。

在 AHM 的最顶层,利用所有与飞机健康管理有关的数据来保证机队利用率的最大化。AHM 为计划、运行、备件甚至设计等提供决策支持<sup>[3]</sup>。

出于商业需要, AHM 系统的设计必须满足客户的安全性及重要性需求。传统的维修系统是在飞机结束飞行后对飞机进行维修,故被称为非重要系统。然而,机组警告系统(Crew Alerting System,简称 CAS)用于判断飞机所有功能是否正常,它对飞机运行非常重要。FAA 通常定义 CAS 为重要系统<sup>[4]</sup>。

## 商用航空领域 AHM 的发展

自从 1964 年波音 727 首次引进 AHM, AHM 在商用航空领域已经过了约 50 年的发展历程。整个发展历程大致分为 4 个阶段<sup>[5]</sup>。

### 1 第 1 代 AHM 技术

早期的商用飞机主要由机械与模拟电路系统组成,一般通过一键式按钮向飞机内部电路提供电流来完成测试。如果电路导通性良好,则亮起绿灯,表明测试通过。这种技术相当于 BIT 技术的雏形。

### 2 第 2 代 AHM 技术

在 20 世纪 80 年代早期,商用飞机开始使用数字式仪表系统,同时新系统给机务人员带来排故方面的挑战。1988 年,工业界与 ARINC 共同制定了第一代健康管理标准 ARINC-604<sup>[6]</sup>。在该标准的基础之上,制造商开发了一系列的外场可替换单元(Line Replacement Units,简称 LRUs)及简单的显示面板供机务人员完成飞机相关系统的测试。

20 世纪 80 年代中期,在波音 757/767 商用飞机上使用了维修控制与显示面板(Maintenance Control and Display Panel,简称 MCDP),为机务人员对飞机子系统的排故提供了重要信息<sup>[7]</sup>。在 1988 年, Airbus 开发了中央故障显示系统(Centralized Fault Display System,简称 CFDS),它与 MCDP 的功能基本相似,但它集成了相关故障的关键词,节省了机务人员查阅手册的时间,提高了维修效率<sup>[7]</sup>。

### 3 第 3 代 AHM 技术

1993 年,航空工业推出新的健康管理标准 ARINC-624,随之产生了中央维修计算机(Central Maintenance Computer,简称 CMC),或称在线维修系统<sup>[8]</sup>。1989 年,波音 747-400 上率先使用了 CMC,使得机务人员在地面测试及排故方面变得更为简便。

### 4 第 4 代 AHM 技术

在波音 777 中,采用了模块化思想,引进了外场可更换模块(Line Replaceable Modules,简称 LRMs)、飞机 I/O 模块、通信模块及数据块模块。这些模块的集成,减轻了重量,节约了空间与电能,简化了布线,同时也便于冷却。在波音 777

的 CMC 中采用了基于模型的理论来完成故障的分析与隔离,搭建了一个模型数据库,减少了机务人员针对不同类型故障所做的调整工作。

## AHM 应用举例

AHM 典型成功应用案例有 Honeywell 公司的 Primus Epic CMC 及波音公司的机组信息与维修系统(Boeing Crew Information System/Maintenance System)。

### 1 Primus Epic CMC

Primus Epic CMC 航电系统代表了下一代的模块化航电系统,2003 年取得了 FAA 的适航许可并投入使用。Primus Epic CMC 可用于干线客机、支线客机及直升机。

Primus Epic CMC 采用了商业现货(Commercial Off-The-Shelf,简称 COTS)操作系统与通信协议,用 PC 机替代了专有硬件设备。如图 1 所示, Primus Epic CMC 可以存储所有的维修信息及 CAS 信息变动。Primus Epic CMC 内部嵌入的算法程序能够实现对故障部件的识别。Primus Epic CMC 使用按位存取的广播信息来反应故障状态,简化了子系统接口;使用外部远程连接,使维修人员在飞机外面能够调出驾驶舱内部的故障数据,便于排故,省去机务人员进出驾驶舱的时间,保证航班的准点率;系统集成了在线的飞机维修手册,提高排故效率。

Primus Epic CMC 已经在超过 200 架飞机子系统中得到了应用,它可以使各种部件状态信息在屏幕上得到显示,但是不需要部件制造商进行相关的设计及代码编程。同时, Primus Epic CMC 降低了运营商培训成本。

### 2 波音 787 机组信息与维修系统

图 2 给出了波音 787 机组信息系统(Crew Information System,简称 CIS)的网络结构图,该系统能够将空中所实现的功能与地面设备联系

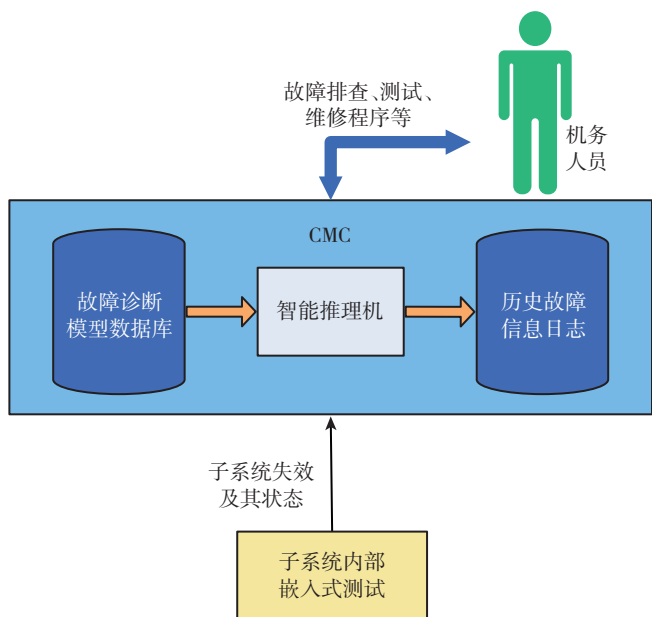


图1 Primus Epic CMC框架图

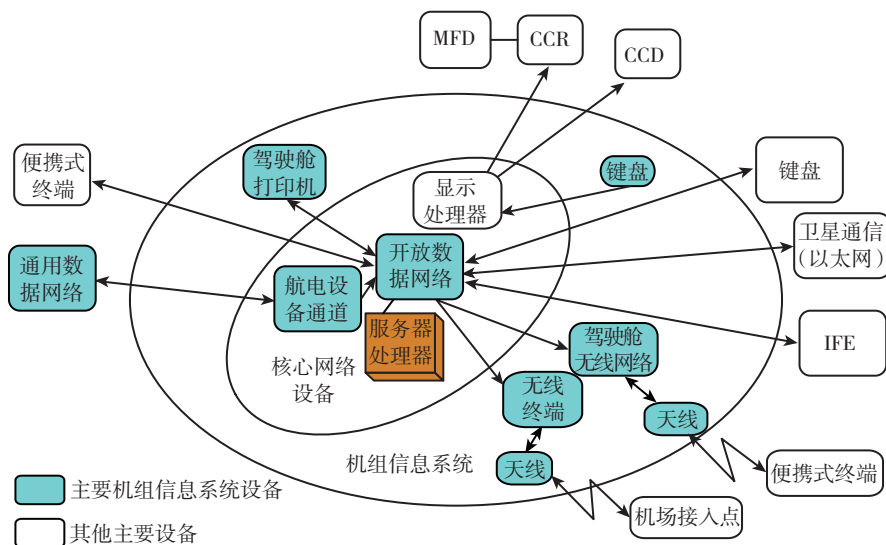


图2 波音787 CIS结构示意图

现了对关键部位的异常、失效进行实时监测与处理,确保飞机的安全运行。在现有的飞机中应用AHM技术,需要进行较大改装,成本比较高,且面临适航取证的难题。若进行大量改装并投入新设备,短期内难以收回成本。同时,需要攻克巨大的技术难题,如电源供应、设备改装等。飞机制造商及用户可以利用COTS构架及互联网来降低信息传输的成本,确保数据传输的安全、精确及良好的保密性。采用基于网络软件的体系,可以将状态监测、故障诊断模块及故障预测等集成起来。

总之,商用飞机的AHM技术面临机遇,同时也存在各种挑战。

### 参考文献

[1] Aircraft Operating Costs and Statistics, 12 Months Ended September 2005, Jet Aircraft [EB/OL]. 2006 [2014-07-20]. <http://www.aviationweek.com>.

[2] Untangling No Fault Found[EB/OL]. 2007 [2014-07-20]. <http://www.aviationweek.com>.

[3] Dabney T, Hernandez L, Scandura P, et al. Enterprise health management framework—a holistic approach for technology planning, R&D collaboration and transition//Proceedings of IEEE: International Conference on Prognostics and Health Management. New York: IEEE, 2008.

[4] Scandura P, Garcia-Galan C. A unified system to provide crew alerting, electronic checklists and maintenance using IVHM//Proceedings of IEEE: 23rd Digital Avionics Systems Conference. New York: IEEE, 2004.

[5] Technical Report: 727 to 787 Evolution of Aircraft Maintenance Systems[EB/OL]. 2006 [2014-07-20]. <http://www.aviationtoday.com>.

[6] ARINC, ARINC Report 604-1: Guidance for Design and Use of Built-In Test Equipment [EB/OL]. 1988 [2014-07-20]. <http://www.arinc.com>.

[7] Reflections on 20 Years of MRO[EB/OL]. 2004 [2014-07-20]. <http://www.aviationtoday.com>.

[8] ARINC, ARINC Characteristic 624-1: Design Guidance for Onboard Maintenance System[EB/OL]. 1993 [2014-07-20]. <http://www.arinc.com>.

(责编 谷雨)

起来,与RTCA/DO-178B的规定一致。其中,MFD全称为Multifunction Display(多功能显示模块),CCR全称为Common Computing Resource(通用计算资源),CCD全称为Cursor Control Device(指标控制装置),IFE全称为In-Flight Entertainment(机载娱乐设备)。波音787维修信息系统(Maintenance System,简称MS)包含CMC与飞机状态监测功能模块(Aircraft Condition Monitoring Function,简称ACMF)。CMC与ACMF

将CIS/MS采集到的数据应用到地面故障诊断与预测模块中,实现对飞机维修的经济管理。

### 总结与展望

AHM技术得到了长足发展,其优势已被广泛认可,但要清楚地认识到,AHM技术的发展主要集中在改善维修、备件及人员配置等方面,而目前的飞机设计理念已经转向了完全自动化,AHM技术也开始在保证关键部位安全等方面得到了发展,实