

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^[1]。

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^[2]:

- (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^[3]。

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^[4]。

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^[5]。

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^[6]。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^[7]。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^[7]。

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^[8]。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式航电系统,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

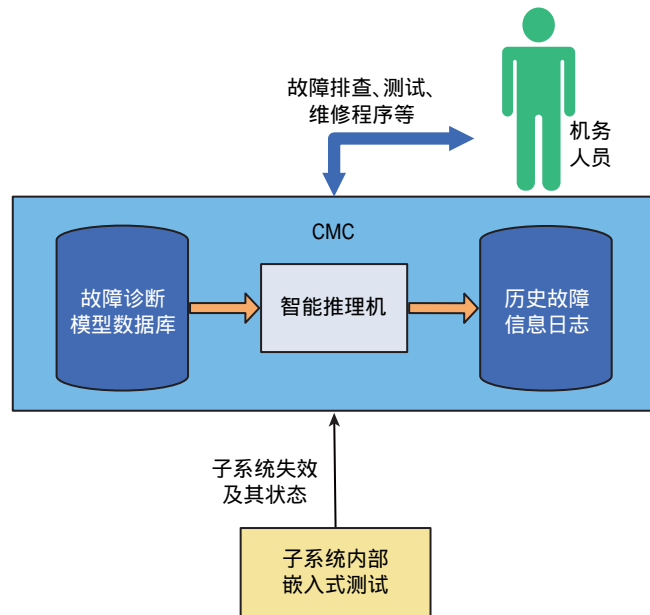


图1 Primus Epic CMC框架图

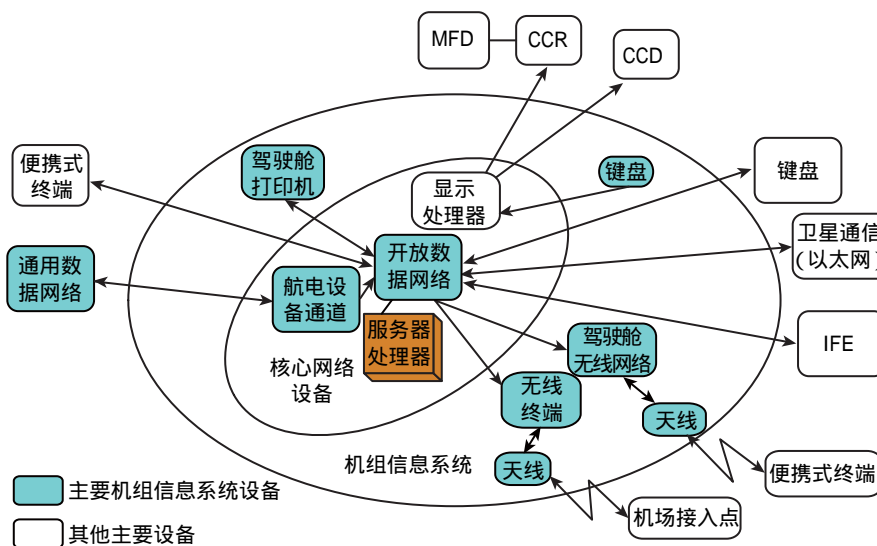


图2 波音787 CIS结构示意图

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

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)