

大型飞机机载设备 及关键技术分析

Analysis of Airborne Equipment and Its Key Technologies on Large Aircraft

中国航空无线电电子研究所 谢振球 吴铭望



谢振球

长期从事飞机航空电子系统总体设计与系统综合工作,参加了多个型号项目的相关工作。从2003年开始专业从事民机模块化航空电子系统总体与综合设计技术的研究。主要研究方向为民用飞机模块化航空电子系统总体设计与综合技术,座舱综合显示控制技术、系统网络技术、系统安全性分析技术等。

大型飞机机载设备概述

按通常的定义,飞机可分为飞机机体、发动机及机载设备三大部分。机载设备一般是指完成飞行任务、作战任务以及为保证飞行员与成员安全、舒适而安置在飞机上的、有独立功能装置的总称。机载设备作为飞

机载设备已成为飞机实现新飞行功能、完成新任务的主要保证。机载设备是飞机的耳目、大脑和神经,可以说是飞机先进程度的一个重要标志,没有先进的机载设备就没有先进的飞机。其相关的关键技术也起着重大的作用。

机大系统的重要组成部分,正在发挥越来越重要的作用。无论是大飞机还是战斗机,机载设备已成为飞机实现新飞行功能、完成新任务的主要保证。

机载设备是飞机的耳目、大脑和神经,可以说是飞机先进程度的一个重要标志,没有先进的机载设备就没有先进的飞机。其相关的关键技术也起着重大的作用。

此外,装备先进的机载设备还是解决飞机经济可承受性的重要途径之一。当前先进的飞机中,机载设备的成本约占飞机总成本的40%左右,因此解决好机载设备成本显得越来越重要。

大型飞机机载设备主要由航电设备/系统(以下简称航电系统)和机电设备/系统(以下简称机电系统)两大部分组成,航电系统主要包括飞行控制、飞行管理、座舱显示、导航、数据与语音通讯、监视与告警、机内通话、客舱娱乐等主要功能系统;

机电系统主要包括电力系统、环控系统、燃油系统、液压系统、救生系统、辅助动力装置、机轮刹车系统、照明和生活设施等功能系统。

信息技术、网络技术和计算机技术的飞速发展,带动和促进了大型飞机机载设备技术的发展,使机载设备的综合化、智能化和网络化的程度不断提高,集各种先进机载设备技术于一体的波音787和空客A380已成为当今和未来一段时间内大型飞机先进性的代表。

大型飞机机载设备技术现状

1 航空电子设备/系统技术现状

航电系统技术发展迅速,从简单的机械仪表,到以ARINC429为主总线的传统数字航电系统,再到以ARINC629为主总线的初期模块化航电系统,到目前以机载高速数据网络为主传输通道的现代化、模块化的航空电子系统,仅仅经历了不到40年的时间。目前大型飞机航空电子



系统的主要特点是:

(1) 模块化。

以开放式结构和模块化为特征的航电系统在 A380 和波音 787 飞机上达到了新的水平。A380 飞机航空电子系统是基于 ARINC 653 标准的、开放式的综合模块化航空电子系统(IMA),由航空电子全双工以太网(AFDX)和 18 个 IMA 模块构成;波音 787 飞机航空电子系统采用满足 ARINC 653 标准的、开放式系统结构的通用核心系统(CCS),并采用满足 ARINC 664 标准的、光纤以太网的通用数据网络(CDN)。正如柯林斯公司的首席运营官所说:“无论是军用飞机还是民用飞机,也无论是干线机还是支线机,甚至不管是固定翼飞机还是旋翼飞机,不同平台的任务系统或许在功能上有差别,但以模块化的系统与开放式结构为基础的设计具有很大的共同性,可以缩短系统开发的周期,使产品更具竞争能力。特别在软件比例不断上升的今天,航空电子系统软件的不断升级已经成为提高系统性能的重要方法之一。”

(2) 高度综合化。

随着技术进步和功能及经济性方面要求的不断提高,航空电子系统发展的趋势是综合化程度在不断提

高。现代先进的飞机在硬件和软件综合上达到了非常高的水平,在大大提升飞机功能和性能的同时较好地控制了飞机的成本。目前机载航空电子系统的综合主要体现在座舱综合显示控制、综合数据处理、综合导航引导、综合监视与告警等方面。

(3) 智能化座舱。

飞机座舱更加突出“以人为本”,注重座舱的通用性,减少飞行员的转机型培训;显示区域更大、更直观、交互式的人机接口,减轻飞行员工作负担,采用多种手段改善态势感知能力,提高飞行安全性。

(4) 空地一体化。

A380 和波音 787 都实现了驾驶舱和客舱电子系统的全面综合,使航空电子体系更加完整和协调;同时也将空地应用需求紧密结合起来,便于实现空地运行网络化管理和满足空地一体化无缝隙不间断服务的需求。随着新航行系统的部署,地空和空空数据链在新航行系统中的作用越来越大,使得航电系统与地面系统能紧密地融合。

(5) 电传飞控。

近 20 年来,民用飞机利用电传飞行控制系统(FBW)替代传统的机械操纵系统,并广泛应用主动控制技术(ACT),取得了前所未有的成

效。目前,欧美等先进的民用飞机,如:A320、A340、波音 777、A380、波音 787 等都以数字电传飞行控制系统为基础,应用主动控制技术的成功范例,代表了民用飞机飞行控制系统的发展趋势。

2 机电系统技术现状

机电系统经历了漫长的发展过程,随着电子系统的发展,特别是控制技术的发展和不断应用,现代机电系统也发生了巨大的变化,目前先进机电系统的主要特点是:

(1) 功能、能量、控制和物理 4 个方面的全综合。

目前,发达国家的机载机电系统已经在综合化和多电飞机技术方面迈出了一大步,采用了全新的设计理念,在设计之初就以整个飞机性能最优为目标,而不是追求某个单项功能的最佳化,打破了传统机电系统各自独立的格局。尽可能用电能替代液压和气压能而成为飞机上唯一的二次能源,以实现机电系统功能、能量、控制和物理 4 个方面的全面综合,减少燃油消耗,减轻设备重量,降低制造与维护成本,同时提高可靠性和安全性。

(2) 多电飞机技术是发展方向。

A380 和波音 787 飞机大量采用了多电飞机技术,使燃油消耗和座英里成本比现有飞机分别降低 20% 和 10% 左右。A380 最突出的特点是采用了电力作动系统,使其飞行控制系统在系统独立性、冗余和可靠性上达到了更高的水平。另外,A380 还采用了固态配电技术,一次配电和二次配电系统采用了集中控制,大大提高了可靠性。

波音 787 采用了电环控系统,客舱用电动机增压,基本上取消了发动机上引气(唯一留下的引气功能是用作发动机进口防冰),打破了 50 年来的惯例;虽然仍采用集中式的液压系统,液压作动器仍在用,但大部分已改为电力驱动;机翼防冰将用

电加热取代引气。

总之,机电系统的发展趋势是综合化、系统化、自主化、大功率和高压体制,目标是实现功能、能量、控制和物理4个方面的全综合,实现向全电飞机的跨越。

大型飞机机载设备关键技术

大型飞机的机载设备与战斗机比较起来,有许多共同点,也有大量的不同点。我国通过多年军用飞机的研制,掌握了小飞机机载设备的研制技术,但是在大型飞机的机载设备研制上,还未完成相关的研制过程,在相关的关键技术上与国际先进水平还存在差距。

为方便对大型飞机机载设备的关键技术进行描述和梳理,我们将机载设备的关键技术分为系统级关键技术和分系统/设备级关键技术2大类。

1 系统级关键技术

随着现代大型飞机综合化程度的不断提高,在系统层次上的研制、管理、综合、验证的技术难度在不断增加。但是,飞机制造商为减少最后飞机综合、验证、取证的难度,希望机载系统能够完成系统的综合和验证后再提交给主机厂(所)进行飞机系统级的综合,因此对机载系统的研制提出了更高的技术要求。对照我国目前的技术现状,大型飞机机载设备在系统层面上主要的难点有以下3个方面。

(1) 系统总体设计与综合技术。

随着综合程度的不断提高和模块化结构的采用,同时更是由于计算处理能力的不断提高,越来越多的功能是由软件而非硬件来实现的,这些都对系统的设计与综合提出了更多和更高的要求;而且相对于小飞机,大型飞机机载设备无论是在规模、数量,还是在交联关系的复杂性,以及为提高可用性和安全性而大规模、大范围采用冗余和容错重构技术等各

方面,都对系统的综合提出了新的挑战。

目前,全世界具备大型飞机先进综合化机载产品总体设计和综合能力的国家或公司屈指可数,并且发达国家将先进综合化系统总体设计和综合的技术作为核心技术,严格限制技术的转让。在民用飞机机载设备研发中,我们与国外知名厂商最大的技术差距在于系统集成上,我国近年来所研制的几个型号民用飞机无一例外全部由国外厂商进行系统集成,导致尽管某些国产机载产品在技术、价格和性能上与国外产品相当,但在我国自己研制的MA60和ARJ21-700型飞机上难以被采用。

(2) 高可靠性设计技术。

大型飞机机载设备最重要的要求就是高可靠性。高可靠性是实现大型飞机的高安全性、高可用性和高完好性要求的基础。通常国外机载设备的可靠性指标(平均故障间隔时间MTBF)从几千到几万小时,而国产设备的MTBF从几百到几千个小时,这之间有一到两个数量级的差距。以目前我国现有的机载设备设计、制造、管理技术水平,要研制出满足大型飞机要求的可靠性指标的设

备,还需要做大量的工作。提高设备的可靠性是一个系统工程,它牵涉到系统与设备研制的各个方面,包括设计开发、仿真、制造、验证、使用等各个方面;而且,考虑到大型飞机的机载设备在使用环境、使用方式与战斗机的不同,在可靠性的评估和验证分析上也有其独特的特点与方法。

(3) 适航验证技术。

适航是国家对民用航空产品在安全和环保方面最低的要求,也是民用航空投入使用的先决条件。机载设备的适航合格审定主要有2种形式,即机载设备单独取证和随机取证。

适航的目的是保证机载设备的

安全性,关键是对研制、制造、使用过程的监控,强调的是对预计的功能和性能的验证。目前,由于模块化和综合化技术的发展,机载设备不断综合,各种功能越来越多地由软件来实现,这些都对机载设备和系统的适航提出了新的要求。这些要求主要体现在以下3个方面:

- 需要综合考虑各种适航要求;
- 对软件的验证提出更高的要求;
- 需考虑综合化设备中多个功能间的安全性影响和相互关系的验证。

目前在适航方面,大型飞机研制主要需要引用和遵循的标准规范主要有:

- 各国的管理当局的适航要求(例如FAR、JAR、CCAR等);
- 适航当局的咨询通告(AC);
- 航空工程师协会(SAE)的相关规定;
- 由航空无线电技术委员会(RTCA)和欧洲民用航空设备组织(EUROCAE)共同制定的DO系列规范;
- 航空无线电公司(ARINC)的标准规范;
- 设备的技术标准规范(TSO);
- 其他标准和规范等。

2 设备及分系统级关键技术

相对于小飞机特别是战斗机,大型飞机有一些独特的机载设备和系统,而且即使相同的设备也有不同的特点和技术要求,因此,大型飞机的机载设备和系统有其独特的关键技术。

(1) 大型飞机的飞行控制系统。

大型飞机对飞行控制系统的安全性要求非常高,而且大型飞机有多个操纵面,对于飞机的舒适性和飞行品质有其独特的要求。因此,大型飞机飞控系统主要的关键技术有:

- 大型飞机的主动控制技术;
- 非相似多余度(4余度)数字

电传飞行控制技术;

- 多操纵面、分布式控制体系结构及多模态飞行控制技术;
- 自动着陆控制技术。

(2) 飞行管理系统。

飞行管理系统是民用飞机和大型飞机核心和关键的系统。它的主要功能包括飞行计划、综合导航、引导、性能预测与计算等。在新的通讯导航识别/空中交通管理(CNS/ATM)体系下,对飞行管理系统的功能提出了更多更高的要求,飞行管理系统主要的关键技术包括:

- 先进飞行管理系统设计与验证技术;
- 多传感器综合导航和管理技术;
- 基于卫星导航和新一代数据链的导航和进着陆引导技术;
- 精确性能计算和四维引导技术。

(3) 网络系统。

大型飞机新的应用功能的采用,例如大屏幕显示、数字地图、空地数据链等,对飞机网络数据传输的能力提出了更高的要求。现代大型飞机对于网络的主要要求体现在速度快、可扩展、经济性好等方面,目前大型飞机主要采用的主网络系统为机载的实时交换式以太网系统(ARINC664/AFDX),其主要的关键技术有:

- 高带宽实时交换机设计技术;
- 网络管理与网络监控技术;
- 网络系统机载适应性设计技术;
- 网络系统测试技术。

(4) 监视系统。

目前大型飞机上主要的监视系统包括气象雷达、空中交通防撞、近地告警等,未来在新型数据链系统广泛使用的情况下,数据链也将成为一个重要的飞机环境信息来源。相关的关键技术主要包括:

- 气象雷达的风切变探测技术;

• 空中交通防撞算法技术;

- 前视近地告警技术;
- 多种监视系统的系统综合和综合告警技术。

(5) 供配电系统。

飞机供配电系统由飞机发电系统、二次电源、用电设备以及电能从发电系统传输到用电设备的飞机配电系统构成,是飞机的重要功能系统之一。大型飞机对供电功率的要求远远超过小飞机,而且多电飞机的发展,也对飞机电源系统的功率提出了更高的要求。大飞机电源与供配电系统的主要关键技术有:

- 大功率(200kW以上)变频发电机技术;
- 分布式固态配电和负载自动管理技术。

(6) 辅助动力系统。

辅助动力系统(APU)是独立于主发动机、为机载设备提供辅助及应急功率,并能起动主发动机的多功能飞机子系统。其主要的关键技术有:

- 高温、高功率密度无冷却涡轮技术;
- 高压比的微小型高效离心压气机技术;
- 无润滑高速轴承技术。

(7) 环控系统。

飞机环境控制系统(Environment Control System)又称座舱空调系统,是现代飞机必不可少的保障系统。它的任务是在飞机外部环境条件变化的情况下将飞机机舱内的空气压力、温度、流量、湿度、气流速度和清洁度等参数控制在规定范围内,满足机舱内加热、冷却、增压、通风和湿度调节要求,以保证机上乘员的安全舒适,并为机载电子设备提供正常工作的环境条件。大型飞机对环境控制的能力要求远高于小型飞机,因此给大型飞机环控系统的研制带来很大的技术难度,主要的关键技术有:

- 高压比、小流量的离心压缩机

技术;

- 高压直流电机可靠启动技术;
- 高速空气轴承技术。

(8) 液压与操纵系统。

飞机液压与操纵系统技术是飞机功能平台的重要组成部分,事关飞机的安全与性能。它既用于操纵飞机舵面,如方向舵、副翼、平尾等,也用于起落架收放、襟翼收放、减速板收放、尾喷口操纵、进气道调节、前轮操纵、机轮刹车的操纵。

大型飞机的作动器多为大型的作动器,对于液压系统的压力要求较高,技术上的主要难点和关键技术表现在:

- 大功率器件技术;
- 高压密封技术;
- 高温高压条件下系统散热技术;
- 开关磁阻电动机技术。

(9) 起降制动系统

起降制动系统主要包含起落架、机轮及刹车装置、防滑刹车与控制系统附件等。大型飞机由于自身的重量远大于小飞机,因此对于系统的设计和制造都提出了较高的要求,主要的关键技术有:

- 碳/陶刹车技术;
- 飞机地面航向综合控制技术。

结束语

机载设备的不断进步推动了飞机的发展,大型飞机机载设备及系统涉及的面广,承担的功能多且复杂,在此不一一列出。本文主要针对我国目前技术现状,对相关的关键技术部分作出介绍与分析,希望能起到抛砖引玉的作用。同时需要强调的是,我国在机载设备的研制上已积累了近30年的经验,通过加强投入、积累民机机载设备研发经验,完全可以研发出适应于大型民用飞机使用的合格的机载设备,并装备在我们自主研制的大型飞机上。

(责编 淡蓝)