

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2017.03.020

未来飞机的智能化技术综述与发展展望

Smart Technologies for Future Aircraft

宋文滨 / SONG Wenbin

(上海交通大学, 上海 200240)

(Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

摘要:

我国商用飞机型号的系列化发展,使得我国进入全球屈指可数的多型号发展的大型飞机制造国家之列。如果无论单通道飞机,还是宽体飞机仍基本保持常规布局的假设成立的话,随着未来航空产品复杂性的增加和新技术的持续植入带来了市场、技术、经济和研制周期等多方面的挑战。在型号研制经验、特别是完整的全寿命周期的研制经验相对缺乏的不利条件下,在关注传统学科和专业技术领域发展的同时,更需要关注颠覆性新技术的预先发展和应用,力争实现跨越式创新。其中,智能化技术和方法将是未来航空全产业链发展的全局性关键技术之一,对进一步提高飞机安全性、经济性、舒适性和环保性,提高飞机设计制造和运营维护的个性化、定制化以及无缝化水平具有潜在的颠覆性影响。论述智能技术在商用航空领域全寿命周期各阶段和全供应链体系下的系统化应用价值,为宽体飞机项目的发展提出关键核心技术的战略性发展方向,服务于技术和产业布局以及核心技术预先发展的需求。

关键词:航空智能化;宽体飞机;多型号战略;无线传感器

中图分类号:V221.2

文献标识码:A

[Abstract] The development of multi-product strategy in commercial aircraft industry in China indicates that China has entered into a market where only a handful of countries could achieve. The significant challenges presented by the high risk, long process, and evolution of customer preference require constant technological advance whether it is for a single-aisle or wide-body aircraft. Due to lack of experience in multi-product strategy, aircraft certification and operational support, it will be particularly important to develop step-change technologies and innovation to achieve commercial competitiveness via increased customization for airlines as well as better economics, comfort levels, and less environmental impacts. One of the key areas for next generation civil transport aircraft will be smart technologies. An overview and a roadmap are provided for enabling smart technologies for the development of next generation aircraft.

[Keywords] smart aviation; wide-body aircraft; multi-product strategy; wireless sensors

0 引言

尽管世界经济发展速度仍然缓慢,复苏乏力,也并不均衡,但民用航空运输业基本保持每年3%~5%的增长速度发展,而我国航空运输业在整体经济增长有所放缓的同时,仍然保持接近两位数的增长。航空运输业的稳健发展为工业能力的提升和创新提供了机会。随着计算机技术和互联网技术的不断成熟及其应用在深度和广度上扩

展,工业领域正在出现两个显著的变化:产品智能化和服务定制化,这一趋势也必将对整个航空制造及航空运输服务业产生深远的影响。与此同时,航空制造业产业链的全球化发展(欧洲空客公司分别位于天津和北美的飞机总装线即是例证),以及产业链的深度融合,使得过去供应商单纯的分包业务向风险共担的服务集成商方向发展,从提供按照图纸制造的硬件供货商发展到从需求确立,设计、制造和集成,到售后服务等全寿命的服务商方向发

展。制造+服务的模式一方面可以提高产品的附加值,给企业带来更高的利润和价值,另一方面,客户可以更加灵活地获取定制化产品和服务,灵活应对市场动态,进而提高产品客户的忠诚度,更好地“锁定”客户。同时,作为产业链顶端的集成商,也可以提高供应商在价值链中的价值地位,最终能够更加充分地利用各领域更加专业的服务集成,提供更加定制化和智能化的产品和服务,确保产品的持续竞争性。与此同时,基于无线互联技术的研发、制造和服务模式也进一步提升了供应商的创新能力和服务更多 OEM 的能力,加速产业生态的更新速度。

航空制造与服务领域,未来一段时间内随着进入市场的机型种类的增加以及航空运输低成本化发展及个性化竞争趋势的增强,使得制造商和运营商都面临着更加激烈的竞争,需要满足最终客户的更加多样化和个性化的动态需求,智能化技术是满足这一变化趋势的重要支撑技术之一。与此同时,航空业的持续增长对环境的影响越来越受到重视,在噪声与排放领域取得跨越式的改进成为欧美推动航空技术发展的重要驱动力,在各传统航空专业领域的渐进式的技术进步带来的影响将无法满足未来的需求,需要在新动力、新布局以及具有全局性影响的关键技术方面取得突破性进展,通过这些技术及产品突破,既可以促进相关基础技术领域的发展,又可以通过取得局部领域的竞争优势,带动型号整体竞争性的跃升。欧美已经通过多项综合交叉类研究项目,提前布局未来技术发展,欧洲更加明确将成为未来航空技术的领导者作为 Horizon 2020 计划的战略目标,美国也从更加广泛的范畴定义未来航空研究,力争保持其技术上的国际领先地位。我国在复合材料、飞控、发动机,以及试飞和适航等一些重点领域仍然有追赶的空间,但也需要从战略高度规划未来的标志性关键能力的预先发展。面向航空型号产品全产业链的智能化技术是其中之一。

智能化一般用于表示人工智能技术的应用,其定义涵盖两个类别的内容:拟人化智能技术和逻辑化智能技术,其定义分别可以概括为:

(1) Humanistic AI “The art of creating machines that perform functions that require intelligence when performed by people” (Kurzweil, 1990) “The study of

how to make computers do things at which, at the moment, people are better” (Rich and Knight, 1991). “拟人化智能技术——能够完成人类利用其智能才能完成的任务的技术,或者,研究如何利用机器完成目前人类做得更好的事的技术。”

(2) Rationalistic AI “A field of study that seeks to explain and emulate intelligent behavior in terms of computational processes” (Schalkoff, 1990) “The branch of computer science that is concerned with the automation of intelligent behavior” (Luger and Stubblefield, 1993). “逻辑化智能技术——通过现有计算过程来解释和模拟人类智能活动的研究领域,或者,研究人类智能活动的计算机仿真的计算机学科的一个分支。”

目前的几乎所有智能系统主要属于后者,通过融入逻辑推理、自适应、演化等计算机化的智能过程寻求更好地解决复杂系统的设计和运行问题。并开始融入视觉、触觉等感知能力,开始向形式上的拟人化方向发展。智能系统的概念以及一些实现也已有一定的时间,从 1970 年代的专家系统,个人助理,到目前的基于数字化产品基础上发展起来的 KBE 技术 (Knowledge-based Engineering) 和基于工业机器人的智能制造技术。在 A350 上的智能化技术的应用已经有诸多体现,例如其智能化的机翼技术,基于 PHM 的视情维修技术的更广泛应用,以及制造过程中的智能化技术等。

本文从工业互联和未来航空发展需求出发,阐述了航空智能化发展的主要战略、研究内容、潜在应用以及重要的支撑技术。在此基础上,结合我国宽体项目的战略定位和国内外技术发展生态,初步提出了未来飞机项目智能化发展的主要框架,为后续制定更加精细和全面的发展路线图提出了参考。

1 工业互联与未来航空发展

一般认为,GE 公司最早提出“工业互联网”的概念^[1]，“工业互联”的主要特征是将基于高性能计算、互联网以及无线传感等技术发展起来的大数据、物联网以及云计算等技术充分应用到工业制造领域,通过互联网,将各种自动化和智能化的工业机器互联,借助软件和大数据分析,通过产品与服务的深度融合以及定制化创新,更好地为最终用户服务。这一模式,还将改变企业运营决策、产品研

发、商业模式以及服务模式。以决策为例,基于海量数据的分析结果将有助于决策的科学化和智能化,大幅提高生产力,甚至产生如同第一次和第二次工业革命规模的社会巨变。早在2013年,GE预测工业互联网将为全球GDP增加10万亿到15万亿美元。这也是众多国际制造企业和大量资本争相追逐的新的产业模式,也是国家科研管理以及投资部门重点扶植的产业方向。

未来商用航空技术的发展受到环保要求和能源限制的双重影响,随着航空运输业的持续发展,对单机的噪声和排放指标提出了更高的要求,以实现排放零增长的发展模式。这些目标在欧美、国际航空运输协会(IATA)以及国际民航组织(ICAO)等组织提出的长远发展规划中都有明确体现。例如IATA提出的Vision 2050规划和欧盟制定的Flight Path 2050计划等^[2-3],针对这些长远发展目标,各国制定和开展了一系列针对性的研究计划,包括NASA和波音公司开展的SUGAR项目^[4],其中涉及智能化部件技术以及智能化能源管理等,通过X47B缩比模型的试飞研究控制率的智能化技术。欧盟开展的一些项目包括“Smart Fixed Wing Aircraft”等^[5]。在智能材料和结构领域开展研究的时间更早,但主要集中在军机领域^[6]。从全局来看,智能技术在飞机型号中的应用,特别是系统化的应用仍处于初步阶段。

我国提出的“中国制造2025”规划同样围绕着“智能转型”展开,其中明确提出了航空领域的智能装备和产品的研发制造。加快大型飞机研制,适时启动宽体客机研制,鼓励国际合作研制重型直升机;推进干支线飞机、直升机、无人机和通用飞机产业化。突破高推重比、先进涡桨(轴)发动机及大涵道比涡扇发动机技术,建立发动机自主发展工业体系。开发先进机载设备及系统,形成自主完整的航空产业链。

毫无疑问,这一趋势也必将对航空制造与航空运输领域产生巨大和深远的影响,航空智能化发展将以智能制造、智能运营以及智能维修为主要特征,智能设计为主要手段,显著提高整个航空系统的经济效率、服务能力,降低对环境的影响。何为“智能航空”目前还没有统一的认识,参照智能制造的涵义,是人工智能技术和制造技术的融合,但事实上,智能航空应该涵盖更广的范畴,至少应该包

括图1中的内容,基本涉及商用飞机的全寿命周期和全产业链。智能技术在航空领域的应用首先体现在运营领域,典型的应用实例包括Honeywell公司发展的Smart Path®技术提供的智能化和高费效比的解决方案^[7],可以提高机场吞吐能力,减少噪声以及天气原因带来的航班延误。可以降低滑行阶段燃油消耗以及提供航班正点率的智能规划系统^[8],澳大利亚墨尔本大学开展的智能天空项目^[7],包括其中改善飞机进近效率的基于卫星导航的智能追踪(Smart Tracking)技术^[9]。此外,在飞机设计领域的应用包括防除冰系统的智能化^[10],流动控制应用中采用的智能涡流发生器和嵌入式智能驱动器等技术^[11-12]。随着数字化建模和基于物理的数值仿真方法,以及多学科一体化设计流程的发展,开展基于仿真的知识建模和智能优化及决策对提高设计的可信度和效率具有意义。此外,还有着重于提高机场信息化和服务水平的机场智能化技术等延伸领域的应用。

2 智能航空技术

如前文所述,智能化技术在航空领域的应用已经发展了一段时间,主要体现在几个方面,包括,智能物流系统采用RFID技术在航空行李托运管理系统中的应用,以旅客智能手机为中心的航空旅行服务系统的应用,通过预埋传感器的智能材料技术以及故障诊断系统采用的一些智能化方法。到目前为止,研究重点大多集中在一些局部范畴和方法验证研究,在飞机型号中仍然缺乏系统性的应用,需要在基础理论与方法、技术发展和型号应用等多方面与系统工程方法相结合,探索智能化技术的应用。

未来的飞机将更高效、更安静、更易用。先进的空气动力学、新材料、推进以及系统等传统航空学科需要和智能化技术相结合,发展创新性的综合解决方案。随着电技术在飞机上应用的范围不断扩大,也为智能化技术应用提供了更多的可能性。航空智能化研究的主要框架如图1所示。

2.1 智能设计技术

在一百多年的航空发展历程中,尽管飞机设计使用的方法和工具在精度和效率方面不断进步,但是飞机设计过程仍然遵循着基本的规律^[13],遵循从概念设计,初步设计到详细设计的基本流程。上世纪90年代以来数字化设计的不断发展和应用大大

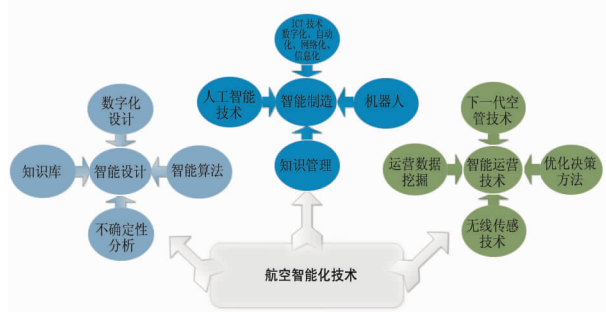


图1 航空智能化战略

提高了设计效率和质量,并通过逐渐融入越来越丰富的信息以及和数值仿真技术、优化技术的耦合推动多学科综合优化的发展,并向基于 KBE 一体化和综合价值体系的设计方向发展^[14],典型的应用领域包括多学科的智能优化及决策方法^[15],设计规则和知识建模以及基于高性能计算的即时可视化技术等。

在流动控制领域,虽然经过长期的持续研究,主动流动控制在型号上的应用非常有限,但是可以预期,随着新材料和控制器件的发展,流动控制将在未来型号应用中发挥较大的作用,特别是智能流动控制技术-基于智能算法的先进的被动/主动流动控制,连续变形技术以及相应的设计方法等。流动控制技术的应用将与气动设计实现更加紧密的结合。

2.2 飞机系统智能化技术

改善飞机效率的主要技术领域既包括一些传统专业领域,如材料结构技术,先进空气动力技术,发动机技术等,也涵盖飞机系统技术领域。随着多电系统在飞机上应用范围的不断扩大,系统智能化将成为重要趋势。系统的智能化发展包括控制信号高可靠性无线传输,系统的自我故障诊断和自我修复,以及 fly-by-wireless 技术等,在多电飞机上实现无线飞控技术,既可以大大提升飞机的飞行效率,但同时也面临着复杂的技术挑战。在提高安全性和可靠性的基础上提升软件和服务定制化程度。

2.3 智能材料及结构技术

智能材料能够针对外界条件(载荷或环境)的变化自主改变其特性,以更好地实现其功能。外界条件包含温度、载荷、电磁环境、化学环境等,发生变化的材料特性包括形状、刚度、粘性或阻尼等。材料的智能性体现在其感知、响应、记忆等基本特

性基础上的自适应能力方面。智能材料可以通过内嵌实现结构的智能化设计,使得结构具有自我诊断、自我修复以及任务环境自适应响应功能。智能材料及结构具有广泛的应用领域。常用的智能材料包括压电陶瓷、形状记忆合金(SMA),此外,还有磁敏材料、酸敏材料、色敏材料等。随着电压、温度以及光照改变颜色的常见系统如液晶屏(LCD)技术,智能材料可分为被动式和主动式,前者亦可称为感知材料,是具有传感器功能的智能材料;后者同时具有驱动功能,可实现向机械能的转换。智能材料与结构在航空领域的应用包括自适应外形机翼表面,尾涡智能破碎装置,振动及噪声抑制,载荷减缓,基于状态的维护策略等。

复合材料等新材料使用范围的扩大,其维护方法与金属材料的差异以及对维护成本的影响使得基于智能材料及结构的智能化技术的应用前景进一步增加。智能材料与流动控制等其他专业的结合也带来新的技术发展前景,与飞机多电化发展相结合,可以提高飞控和运营的灵活性,进而改善经济性和舒适性。

2.4 智能制造技术

智能制造是在工业智能化领域发展较早,也较快的领域,在航空领域的应用也呈现类似的特点。一般认为智能制造是人工智能技术和制造技术相结合的产物,是面向产品全寿命周期的信息化制造,是制造自动化和信息化的自然延伸和发展。增加了人工智能的因素。目前,有关智能制造技术的概念,国内比较权威的表述有两种^[16]。一是由中国机械工程学会 2011 年制订的《中国机械工程技术路线图》中指出:智能制造是研究制造活动中的信息感知与分析、知识表达与学习、智能决策与执行的一门综合交叉技术。智能制造技术涉及产品全生命周期中的设计、生产、管理和服务等环节的制造活动^[17]。二是由科技部 2012 年组织编制的《智能制造科技发展“十二五”专项规划》中指出:智能制造是面向产品全生命周期,实现泛存在于感知条件下的信息化制造。智能制造技术是在现代传感技术、网络技术、自动化技术、拟人化智能技术等先进技术的基础上,通过智能化的感知、人机交互、决策和执行技术,实现设计过程、制造过程和制造装备智能化,是信息技术和智能技术与装备制造过程的深度融合与集成^[18]。

从我国目前信息技术以及航空设计和制造技术的发展现状来看,实现类似德国提出的工业4.0设想还面临较大差距,同时也未必符合航空业发展需求。本文提出智能化技术应该紧密结合航空产业规律,最终目标是通过应用智能化技术,在现有数字化制造、信息化和无线网络互联技术的基础上,改善和提高航空制造和总装水平,并在设计过程中加以体现,重点应该关注:

1) 产品的综合化建模:采用知识工程方法,综合工艺流程、使用维护需求以及物理数值仿真模型,在设计中尽可能融入工程经验、工艺,提高模型的自包容特性;

2) 典型结构件的全过程智能化设计:基于使用环境,综合感知、数据、算法和控制等智能化结构设计的主要环节,考虑产品的综合化建模,实现系统级的全局优化;

3) 结合广域供应链的典型特征,改进跨地域、大部件装配及总装的自动化水平,实现全过程的自动控制,物流精确配送,信息决策智能化等,提高总体效率,降低成本;

4) 实现 IPPD(Integrated Product Process Development, 简称 IPPD) 框架下的精益制造技术,实现精益制造的智能化拓展,发展零部件的自我标识和识别,总装过程的智能优化等技术,提高制造和装配过程的效率,降低成本。

在深化数字化制造技术的基础上,分别向前在设计阶段和向后在使用维护阶段延伸,在全生命周期设计中融合智能化技术。

2.5 智能运营技术

充分利用现有的卫星定位技术,无限网络技术以及智能终端技术,提高航班在机场和航路的运营效率,提高机场的运营容量,减少航班延误,可以改善航空公司的运营经济性。主要应用领域包括航空公司航班安排、航线规划^[19]、定价策略以及空管系统的智能化建设,例如 FAA 的 NextGen 系统将彻底改变航空运输系统的运营方式,尽管其首要目标是实现三大核心功能的集成^[20],如图 2 所示。在其基础上融入智能算法,进一步提高智能化水平是自然的发展。航空公司面临的竞争压力带来商业模式的演化,在以技术为基础的低成本策略之上是更加个性化和定制化服务的出现,这些新的商业模式得益于移动互联网技术的发展。移动互联网技术从运

营商和乘客两个角度对商业模式带来革命性的变化,对于运营商而言,基于移动互联的客户服务、航班安排、维修模式以及网络优化可以在大幅降低成本的基础上提高服务个性化水平;对于乘客而言,可以实现从网络订票的简单服务到全流程的基于移动终端的旅行服务(订票、支付、选座、订餐及其他个性化服务)和延伸服务(租车,旅馆等)。

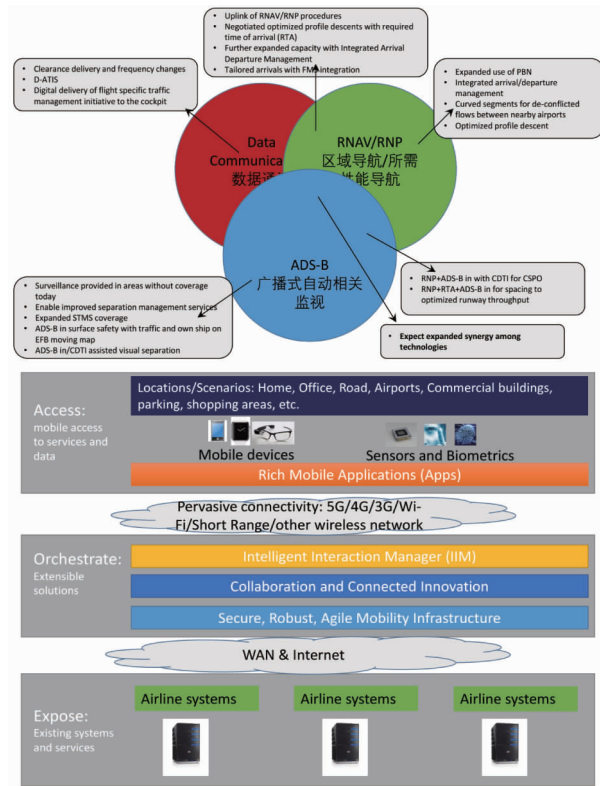


图 2 运营技术的智能化发展^[19-20]

2.6 智能维修技术

故障预测与健康管理(Prognostic and Health Management, 简称 PHM)技术是未来民机发展的一项关键技术,其应用有助于实现从计划性的事后维修到基于状态的维修或者视情维修模式的转变,减少飞机停机时间,改进备件管理方式,提高飞机运营效率,降低维修成本。

PHM 技术是随着传感器技术、信息技术和网络技术逐渐发展起来的,以机载系统为监控对象和信息来源,以无线网络为数据传输手段,整合机上和地面资源,实现集成化应用,实现实时监控、故障诊断、健康预测、健康管理四大功能,体现在飞机故障的快速响应和飞机部件以及系统的全寿命健康管理上。

基于大量状态数据的故障诊断、剩余寿命预测和健康管理以及基于模型的维修决策为大数据方法和人工智能方法的应用提供了典型的应用场景。PHM 技术代表了飞机智能化发展的重要方向,在飞机设计的整个生命周期,需要从系统架构,软硬件实现以及费效比评估等领域分析对飞机设计指标的影响。

2.7 智能驾驶舱技术

驾驶舱技术综合了机电、软件、通信、网络等多项信息化技术,智能驾驶舱技术的目标是进一步改善飞行员的工作环境和方式,降低飞行员工作负担,提高飞行的安全性。

在驾驶舱设计中,通过信息整合,采用人工智能原理及专家系统工具,并结合驾驶舱布局需求和人因工程原理,可以实现高效的驾驶舱布局设计,并进一步结合功能仿真,将驾驶舱设计推向基于物理仿真的智能化布局设计,在设计初期更加准确和高效地分析对比不同设计方案的优劣,实现驾驶舱设计的智能优化。

2.8 智能客舱技术

在满足适航要求、兼顾经济性的条件下,不断提高客舱的舒适性和个性化水平是目前发展的趋势,新一代客机客舱设计不仅要考虑物理特性的不断改变(客舱压力高度降低、空气湿度提高、噪声水平的下降等),更要注重乘客体验的改善。后者既包括传统的客舱娱乐系统的改进(大尺寸触屏、丰富娱乐节目、简便的操作等),也开始强调以乘客为中心,提供基于移动终端的定制化和个性化服务。更加个性化的“个人乘机助理”需要对乘客信息以及偏好、航班信息等进行融合,采用基于规则和场景的技术,对乘客的需求给出合理预测,并加以利用,更好地改善乘客旅行体验。这一技术的实现需要后端平台和数据的支持。

3 重要支撑技术

3.1 智能系统与算法技术

系统智能化关键在于反馈控制系统基础上的智能化算法的实现和融入以及人机交互方式的升级。智能系统的典型特征包括:(1)学习能力;(2)自适应能力;(3)稳健性;(4)自我提高的能力;(5)信息融合和外推能力等。同时,智能系统也可以接受一种被动式智能特征的存在,通过预存的内在逻辑

实现系统对环境变化的适应性改变,带来一定程度的自主性,在具有自主飞行的制导飞行器上得到广泛应用。这一基本原理的更广泛应用受益于传感技术的微纳米化,处理器功能的发展,无线传感技术以及新型材料和智能算法的发展。

智能算法是构建智能化系统的关键,实现系统的主动控制,外形的环境适变,以及行为方式的演化。典型的智能系统一般包含感知、传输、决策和执行几个环节。决策环节的核心在于人工智能领域中的基础算法,典型的方法包括机器学习、遗传优化、神经网络、模糊控制以及一些混合算法。

3.2 智能无线传感器网络

采用传统的有线控制系统实现较大规模的智能化面临系统复杂、可靠性低、费用高昂、使用维护不便等问题,高可靠性、抗干扰的智能无线网技术则可以大大降低系统的设计、制造和使用维护成本,同时,可以实现灵活的系统配置。

先进的低能耗、无线、微型传感器(例如 RFID)是构建无线感知网络的基础,因而是实现智能化技术,特别是飞机结构和系统的健康监测系统的关键支撑技术。典型的应用包括 NASA 航天飞机 Endeavor 机翼应变测量,国际空间站的增压罐的泄漏检测等。在航空领域,NASA 在波音 B757 试验飞机起落架上测试了无线传感技术,在太阳能飞机 Helio 上用于飞机机翼变形测量,要求传感器不对机翼变形带来附加影响。在地面试验中,无线传感器技术的应用范围更加广泛,可以对数据采集、诊断维护起到更加高效的推动作用。

3.3 智能材料和结构设计技术

包括复合材料技术在内的新材料技术在最近新型号研制中发挥了关键作用,进一步的发展将融入智能化技术,包括自诊断和自修复材料及与之相关的设计方法。在航空器关键零部件上实现结构设计的智能化不仅可以进一步提高飞行安全,还可以降低维护成本,提高运营效率,从而抵消研发投入和制造成本提高导致的单机价格的提高。无线传感技术、微芯片及移动互联技术为结构智能化应用提供了基础,可以预期在军民用飞行器关键部件上得到首先应用。

4 飞机智能化发展战略

紧密结合宽体项目需求和竞争环境,结合新技

术发展趋势,贯彻竞争与突破相结合的原则,制定智能化发展战略,重点在于通过智能化发展实现在传统技术基础上的附加值提升,分别结合设计与制造,运营与维护 and 最终客户服务三大领域,制定相应的发展战略,统筹各方资源。

围绕制造商的智能化战略:包括分别在设计和制造领域中的应用,在数字化设计和制造领域融入智能化方法,加快新技术寿命周期演化,满足型号发展的技术和经济性要求,提高制造商应对竞争条件下的多样化和定制化的客户需求。

运营商的智能化战略:在航空运输市场进一步自由化发展的背景下,不同的运营商需要提供更加个性化的运输服务,包括航线及航班规划,同时降低成本。另一方面,可选机型,特别是宽体机型的选择范围的局限性要求航空公司在产品定制化方面需要综合考虑需求和成本因素,提高机队的运营效率,降低维护成本。

围绕最终用户的智能化战略:智能终端和移动互联已经成为大众化产品,其对商务和休闲旅行的影响日渐明显,但仍有巨大的发展空间,例如个性化服务定制目前还限于一些高端乘客,与客舱服务和娱乐系统的整合将提供更多的定制化服务,这一目标的实现需要制造商、运营商和面向乘客的终端应用开发者的协同努力。

基于对未来民航飞机技术发展的评估,航空智能化战略的框架可以概括如图3所示。该框架从设计与制造,运营与维护以及最终客户服务三个方面提出了智能化发展的主要技术领域,在此基础上,提出了八个主要的智能化技术方向:

- (1) 智能设计技术;
- (2) 飞机系统智能化技术;

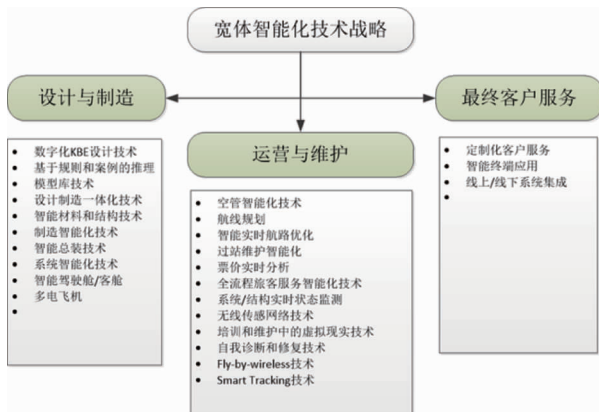


图3 未来航空智能化发展战略框架图

- (3) 智能材料及结构技术;
- (4) 智能制造技术;
- (5) 智能运营技术;
- (6) 智能维修技术;
- (7) 智能驾驶舱技术;
- (8) 智能客舱技术。

5 结论

航空领域,特别是在民用航空,市场竞争与客户需求推动航空技术的发展,其中航空公司在高安全性基础上对定制化和差异化服务的追求,国防用户对基于大数据实时信息融合能力的需求,以及制造商对全机系统设计效率、性能和成本要求的不断提高,公众对环保指标的要求,都对在航空产品的全寿命周期框架内,发展基于智能化的解决方案提出了需求,本文从航空型号设计、制造,运营以及维护等主要阶段,论述了智能化发展的主要方向和潜在应用,给出了八个主要的航空智能化技术方向,可以为制定详细的技术发展路线图提供依据。

参考文献:

- [1] 中日技术产业信息网. 工业互联网:GE提出的“人与机器融合的世界”[EB/OL]. 2014. (2014-2-11)[2017-08-4]. [http://finance. people. com. cn/n/2014/0211/c348883-24320720.html](http://finance.people.com.cn/n/2014/0211/c348883-24320720.html).
- [2] IATA's Annual General Meeting. IATA Vision 2050[EB/OL]. (2011-2-12)[2017-08-4]. https://www.iata.org/pressroom/facts_figures/Documents/vision-2050.pdf.
- [3] European Commission. Flightpath 2050: Europe's Vision for Aviation[EB/OL]. University of Munich, 2011. (2014-2-11)[2017-08-4]. [https://ec. europa. eu/transport/sites/transport/files/modes/air/doc/flightpath2050.pdf](https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/modes/air/doc/flightpath2050.pdf).
- [4] Bradley, Marty K and Droney, Christopher K. Subsonic Ultra Green Aircraft Research[EB/OL]. 2012. (2012-5)[2017-08-4]. [https://ntrs. nasa. gov/archive/nasa/casi. ntrs. nasa. gov/20120009038. pdf](https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20120009038.pdf).
- [5] CleanSky, Smart Fixed Wing Aircraft[EB/OL]. [http://www. cleansky. eu/content/page/sfwa-smart-fixed-wing-aircraft](http://www.cleansky.eu/content/page/sfwa-smart-fixed-wing-aircraft).
- [6] Boller, Christian. Smart Structures and Materials—Implications for Military Aircraft of New Generation[M]. Structural Health Monitoring, 2002.
- [7] Clothier R A, Frousheger D, Wilson M. The smart skies project: Enabling technologies for future airspace environments[J]. Proceedings of Congress of the International Council of the

Aeronautical Sciences, 2012.

[8] Niclas M D, Richard W, Martin S, et al. The Benefit of Innovative Taxi Concepts; The Impact of Airport Size, Fleet Mix and Traffic Growth[M]. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2013.

[9] Airservices. Smart Tracking[EB/OL]. http://www.airservicesaustralia.com/wp-content/uploads/11-107FAC_Smart-Tracking_P11.pdf.

[10] Bradley J, Sivier K, Anderson A, et al. The impact of Smart Icing Systems on commuter aircraft[C]. Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. 2013.

[11] AIAA. Aero-Structural Optimization of 3-D Adaptive Wings with Embedded Smart Actuators [C]. AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference. 2013.

[12] Barrett R, Farokhi S. Subsonic aerodynamics and performance of a smart vortex generator system[J]. Journal of Aircraft, 1996, 33(2): 393 - 398.

[13] Memasters, J. H. and Cummings, R. M., Airplane Design-Past, Present, and Future[J]. Journal of Aircraft, 2002, 39(1).

[14] Rocca, G. L. and van Tooren, M. J. L., Knowledge-Based Engineering Approach to Support Aircraft Multidisciplinary Design and Optimization[J]. Journal of Aircraft, 2009, 46(6).

[15] Moral, R. J. and Dulikravich, G. S., Multi-Objective Hybrid Evolutionary Optimization with Automatic Switching Among Constituent Algorithms[J]. AIAA Journal, 2008, 46(3).

[16] 郭洪杰, 杜宝瑞, 赵建国, 等. 飞机智能化装配关键技术[J]. 航空制造技术, 2014, 465(21):44 - 46.

[17] 中国机械工程学会. 中国机械工程技术路线图[M]. 北京:中国科学技术出版社, 2012.

[18] 科技部. 智能制造科技发展“十二五”专项规划[S]. 北京, 中华人民共和国科学技术部, 2012.

[19] Honeywell. SmartPath? Ground-Based Augmentation System (GBAS) [EB/OL]. 2015. <https://aerospace.honeywell.com/products/safety-systems/smart-path>.

[20] Administration F A. NextGen Implementation Plan[J]. Air Transportation Facilities, 2013.

[21] Howard Lock, Amir Fattah and Shaun Kirby. Airline of the future; Smart Mobility Strategies that Will Transform the Industry[EB/OL]. 2010. (2010 - 7) [2017 - 08 - 4]. http://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/pov/Airline_of_the_Future_PoV_FINAL0712.pdf.

作者简介:

宋文滨 男, 博士, 副研究员。主要研究方向: 飞行器设计、计算工程、流动控制和气动设计。Tel: 021 - 34207065, E-mail: swb@sjtu.edu.cn