

从国外民机重大研究计划看 我国大型民机发展的关键技术

西北工业大学 姜澄宇 宋笔锋



姜澄宇

西北工业大学校长、博士生导师，中国航空学会副理事长，中国宇航学会常务理事，中国机械工程学会理事，中国航空第一集团公司科技委委员，曾主持多项国家、国防和“863”领域的科研项目，获国家科技进步二等奖1项、光华科技基金二等奖1项、省部级科技进步一等奖1项、二等奖5项、三等奖4项。在国内外刊物上发表学术论文100余篇。

民机产业是航空工业的重要组成部分，是带动科技发展、促进国民经济和社会发展的战略性产业，大型民机的研制能力是衡量一个国家科技水平和工业水平的重要标志。大型民机的发展具有先导性，其产品的

研制大型民机已被列入我国中长期发展规划。根据我国民机发展的实际情况，结合国外相关领域的发展规划，本文提出我国要实现大型民机的跨越式发展，需要重点突破的技术领域包括：高效气动设计技术和关键风洞试验技术，先进材料和结构技术，降低排放物污染技术，降噪技术，高安全性和可靠性设计技术，飞机系统技术等。在大型民机发展中，应始终以安全性、经济性、舒适性和环境保护为核心攻克各项关键技术。

每一次升级，都会带动装备制造业、电子产业、材料产业、发动机制造业等相关产业关键技术的群体突破。

国际民航组织对民机适航性有着严格的规定，并且随着经济和社会的发展，对民机的设计要求还将不断提高。近几十年来，以美国波音公司和欧洲空客公司为代表的大型航空企业，在若干研究计划的支持下，投入大量人力、物力和财力，使大型民机技术水平有了长足的发展。他们生产的大型民机得以在满足苛刻的适航性要求的条件下不断获得高额利润。以波音公司的7××系列客机为例，从60年代的B707开始发展至今已经40余年，在美国本土飞行的燃油效率提高了80%，长航程飞行的燃油效率提高了70%，噪声降

低了20%，碳氢化合物、一氧化碳、氮氧化物和烟尘的排放量分别降低了约93%、68%、26%和50%。空中客车公司在大型民用飞机设计方面也实现了技术上的突破，所设计生产的A380超大型客机耗油率低，座英里成本比之前最大的宽体飞机还要低15%；排放更少，比之前世界上最大的客机还要安静，客机起飞时发出的噪声可以达到噪声控制标准的一半。

本文在研究国外民机重大研究计划的基础上，提出了发展我国大型民机产业亟需攻克的几项重大关键技术。

从波音、空客民机发展战略看 我国大型民机发展关键技术

与其他种类的飞机相比，民用飞

机的设计更加注重安全性、经济性、舒适性以及环境保护等几个方面。

波音公司的 John Roundhill 和 Peter Radloff 指出,波音未来民机发展的关键技术领域,包括气动、材料、推进和系统技术。波音力图从提高推进系统可靠度、材料健康监测系统、电击保护、增强驾驶舱系统和系统健康监测等方面增强飞机安全性;从降低耗油率、降低维护费用、减轻材料重量、降低材料造价和维护维修费用等方面提高飞机的经济性;从降低推进系统噪声、减少排放物污染、能源优化、非 Halon 防火等方面加强环境保护;另外,还从降噪和机舱设计等方面提高乘坐的舒适性。空客公司也提出了未来民机发展五大战略目标。

总的看来,波音公司和空客公司将着重在气动、材料、降噪、减少排放物污染和改进系统等几个关键领域来提高民机的安全性、经济性、舒适性以及实现环境保护。

我国在大型民机发展上存在以下技术问题:

(1) 缺乏先进大型民机总体设计、气动设计、电传与主动控制和复合材料主结构等核心技术。

(2) 缺乏满足适航要求并具有市场竞争力的发动机技术。大型民机所需高涵道比大型涡扇发动机正在军用发动机的基础上开展研制工作,而国产小型航空发动机则普遍存在寿命短、翻修间隔时间短、耗油率高、可靠性低、噪声和振动大等缺点。

(3) 缺乏满足适航要求并具有市场竞争力的机载系统。我国机载系统的关键元器件仍依赖进口,在使用寿命、工艺材料、可靠性、性价比、系列化程度上存在差距,机载系统与设备还不能满足大型民机研制的需要。

(4) 试验手段还需要进一步完善,所积累的试验数据和使用维护数据还不够多,一些试验方法、试验软

件还有待进一步发展和改进。

我国要实现大型民机的跨越式发展,需要重点突破的领域包括高效气动设计技术和关键风洞试验技术、先进材料和结构技术、降低排放物污染技术、降噪技术、高安全性和可靠性设计技术、飞机系统技术等。

从国外民机重大研究计划看发展民机需解决的关键问题

1 高效气动设计技术和关键风洞试验技术

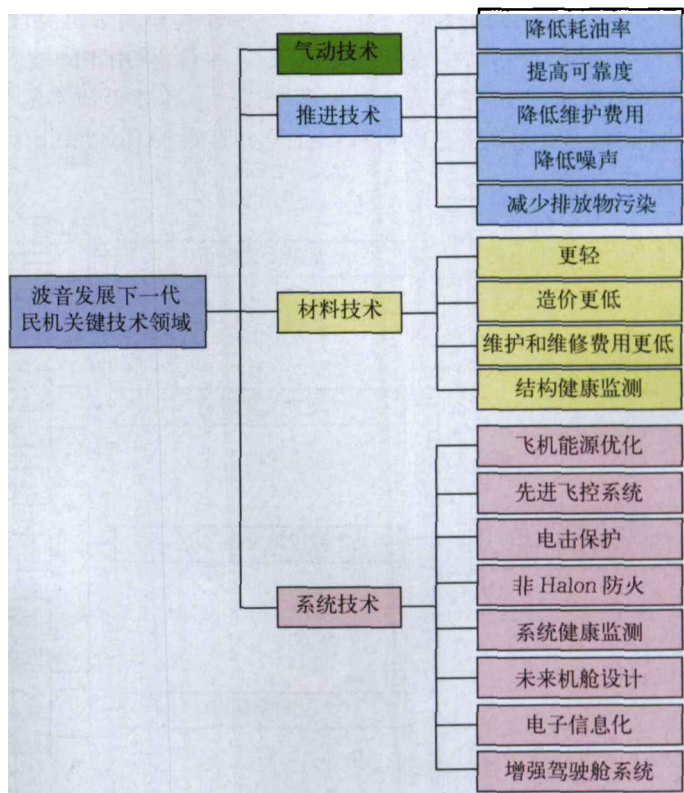
提高飞机的气动特性是飞机设计永恒的主题。通过采用先进的气动布局设计,一方面可以减少飞机的飞行阻力,提高升阻比和巡航效率,降低耗油率,从而大幅度提高飞机的经济性;另一方面可以使飞机具有更高的安全性。

欧洲开展的相关研究计划主要有 3 个: AWIATOR、EUROLIFT 和 OPERA 计划。

2002 年,欧盟投资 8000 万欧元,资助空客和多个国家的共 23 个合作单位开始了 AWIATOR (Aircraft Wing With Advanced Technology Operation) 计划。该计划从 2002 年到 2007 年,属于欧洲第 5 个框架计划的研究内容,目的是研究和验证降低飞机阻力、改善飞机性能的气动技术,重点探索减少飞机尾涡强度的新方法、降低噪声的新方法、新

型减速装置、新型大面积机翼翼面、新型自适应襟翼装置以及新的层流控制方法等。

另外,欧洲 EUROLIFT 计划 (European High Lift Program) 和 OPERA 计划 (Open Platform Enabler for Revolutionary Aerodynamics & Collaborative Design) 致力于高效气动技术的风洞试验研究。有空客公司参与的 EVROLIFT 计划开始于 2000 年,主要借助欧洲跨声速风洞研究高升力状态下空气



波音下一代民机发展的关键技术领域

动力学特性及其与雷诺数的关系,开发精确的高升力装置设计方法,从而缩短设计周期,提高设计精度,避免飞机生产厂商的经济风险。而 OPERA 计划则组建了一个空前的欧洲协作联盟,由运输机、直升机、商业机、军机、发动机厂商以及多个大学的计算流体力学专家组成。该计划的目的是制定下一代流体力学计算标准,该标准将支持和加速新的气

动力计算技术的发展。主要研究内容包括降噪和减少阻力的气流控制装置、气动外形优化设计、多学科优化设计以及数字风洞等。

总结分析欧洲一系列重要研究计划可以看出,该技术领域需研究的关键问题是:

- 减阻设计;
- 高效增升装置设计;
- 先进主动流动控制装置设计;
- 有效的尾涡控制技术;
- 风洞试验技术;
- 防冰除冰技术。

2 先进材料和结构技术

先进材料和结构设计一直是飞机设计的重要研究领域。对大型飞机而言,通过采用先进的材料和合理

划、CAI计划、ALCAS计划、ACT计划以及洛克希德·马丁公司的AAI计划等。

(1) TANGO (Technology Application to the Near-Term Goals and Objectives) 计划由欧洲12个国家的34个部门合作,目标是减重20%、降低成本20%。TANGO计划对大型整体结构技术进行研究,希望通过采用新的材料、设计方法和制造工艺来减轻机体结构重量,降低燃油消耗,减小对环境的影响,从而使结构效率得以提高;选用中央翼、外翼和两个机身段等4个大的验证平台,采用不同技术途径进行验证。

(2) 低成本复合材料(Composites Affordability Initiative, CAI)

司、洛克希德·马丁公司等企业合作完成,目标是降低军机、民机等飞机成本50%。

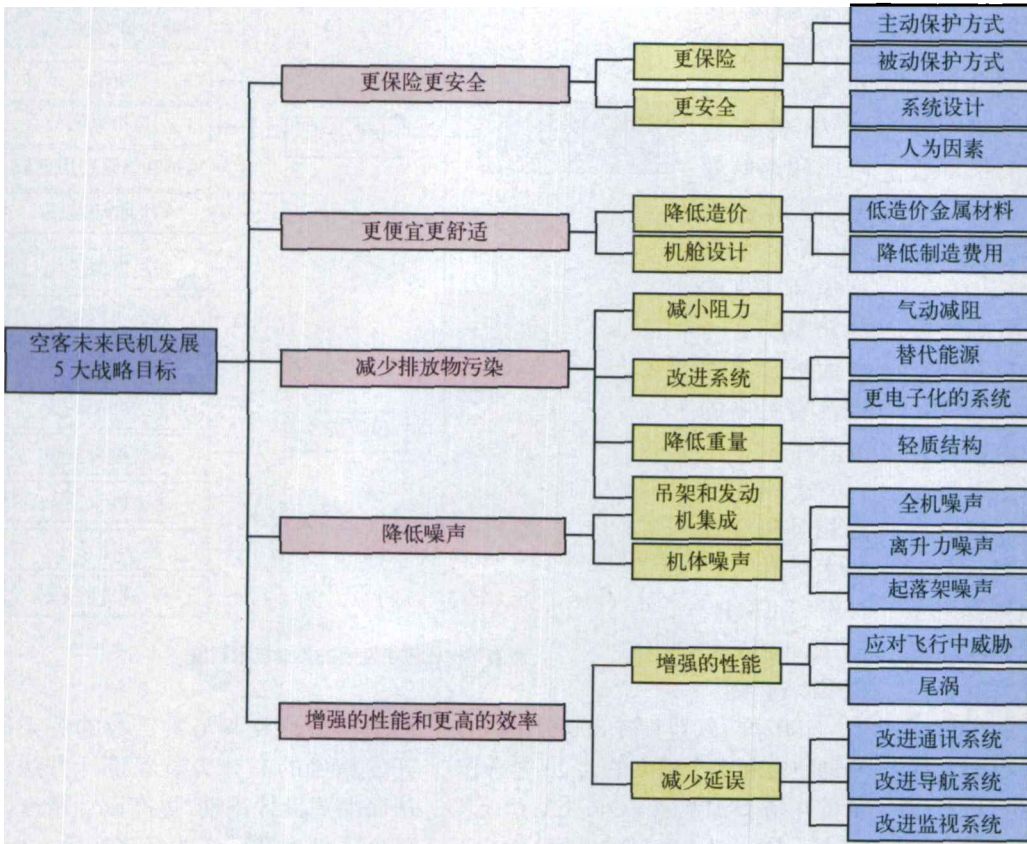
(3) 欧洲的先进低成本机体结构(Advanced Low Cost Aircraft Structures, ALCAS)计划始于2005年,历时5年,目标是通过将碳纤维复合材料应用到飞机主结构中,降低造价15%。降低造价的目标主要从复合材料减重、降低复合材料部件制造费用和降低维护费用3方面来实现。通过设计、制造和测试合适的机翼、机身组合,验证现有的和新的复合材料技术。针对不同的结构材料和设计方法与飞机系统的最佳结合,为低成本地制造出轻质飞机结构提供相应的数据和经验。

由以上计划可以看出,该技术领域需研究的关键问题为:

- 低成本复合材料技术;
- 整体结构技术;
- 新型材料技术。

3 降低排放物污染技术

由于飞机排放的废气含有二氧化碳和氮氧化物等气体会污染环境,因此如何降低飞机废气对环境的污染已成为飞机设计需要考虑的重要因素。世界著名的航空发动机设计和制造商从来没有终止过降低排放物污染技术的研究,而随着民用飞机的发展,国际民航组织还将制订更严格的污染排放标准。因此,要使我们



空客未来民机发展战略目标

的结构,可以降低结构重量,提高经济性。

围绕材料和结构,美国和欧洲开展的主要研究计划有:TANGO计

划由美国政府资助,从1996年到2007年,分4个阶段完成,1~2阶段投资1亿美元。该计划由包括美国空军、海军的政府机构和波音公

司研制的大型民机拥有市场,必须重视降低排放物污染技术的研究。

美国和欧洲在该方面的主要研究计划有EEFAE、ANTLE及

UEET 等。

(1) 2000 年 3 月, 欧盟发起了其有史以来最大的航空发动机研究计划——为期 5 年的高效环保发动机 (Efficient and Environmentally Friendly Aero Engine, EEFAE) 计划。目标是使二氧化碳排放减少 12% ~ 20%、氮氧化物排放减少 60% ~ 80%、发动机成本降低 30%、可靠性提高 60%。EEFAE 计划的目的是发展为保持欧洲工业作为民用喷气飞机先进涡扇发动机供应商竞争地位所需的先进技术。该计划涉及 9 个欧洲国家的 19 家参与单位。由英国罗·罗公司领导近期和中期的发展工作。两种验证平台——ANTLE (经济可承受的近期低污染) 和 CLEAN (环保航空发动机部件验证机) 的试验在 2004 年第二季度开始。

(2) 作为欧盟高效和环境友好航空发动机计划的一部分, 欧洲的近期可实现的低排放发动机 (Affordable Near Term Low Emission, ANTLE) 计划面临的挑战是在效率和环境益处方面实现大幅改善, 同时实现生产和寿命循环成本的最小化。实现这一目标需要开发的技术包括新材料、先进的空气动力学、最优化的结构设计、低成本制造技术、贫油燃烧系统和全新的控制和动力系统。ANTLE 计划的污染排放目标是减少碳氧化物 10%, 减少氮氧化物 60%。该发动机计划在 2008 年投入使用。

(3) 美国 NASA 的超高效发动机技术 (Ultra-Efficient Engine Technology, UEET) 计划、零二氧化碳研究计划 (Zero CO₂ Research Project, ZCRP) 等都如何减少飞机废气排放污染进行了研究。UEET 计划从 1999 年开始, 为期 5 年, 该计划的目标是: 与 GE90 这一水平的发动机相比, 发动机的耗油率降低 10%, 噪声降低 10dB, 氮氧化物

排放降低 20%, 使用费用降低 50%。UEET 计划的应用范围比 NASA 曾实施的高速研究计划和先进亚音速技术计划更广泛, 能为 50 座支线飞机、300 座亚音速和超音速飞机、超音速公务机、先进战斗机和重复使用的运载火箭等多种飞行器的动力装置以及工业燃气轮机提供验证技术。在该计划下 NASA 完成了 7 个技术项目: 推进系统一体化和评定, 降低排放, 高负荷涡轮和压气机, 高性能发动机材料和结构, 推进系统/飞机一体化, 推进系统智能控制, 一体化的部件技术验证。

总结国外各项大型研究计划, 可以看出, 降低飞机废气排放污染的关键技术有:

- 降低耗油率技术;
- 先进燃烧室技术;
- 新型能源替代技术;
- 新概念发动机技术;
- 直接减少污染物技术。

4 降噪技术

随着空中交通、机场、航站变得越来越拥挤, 喷气飞机产生的噪声已成为一个不可忽视的重要问题, 噪声已成为当今阻碍飞机运输业发展的一个制约因素。随着人类社会的发展和航空运输需求的增加, 飞机适航噪声的要求也必将越来越严格。因此, 不遗余力地降低飞机噪声已成为飞机设计和研究的重要科学问题, 降低民机噪声也是民机研制的关键技术之一。

为了减小飞机噪声对环境的污染, 最根本的是要从噪声源上加以控制。国外在这方面的主要研究计划有: QAT、SILENCE(R) 及 QTD 等。

NASA 实行的静音飞机技术 (Quiet Aircraft Technology, QAT) 计划, 目标是在 1997 年噪声水平的基础上 10 年内降噪 50%, 25 年内降噪 75%。研究的技术包括喷气发动机外表面的扇形边缘设计以及覆盖起落架的下滑配合装置。

QAT 研究计划的长期目标是发展新的噪声控制技术, 使飞机感觉噪声级下降 20dB。这必将通过发动机噪声降低、机体噪声降低、短舱声学处理、舱内噪声降低等技术予以实现。

NASA 兰利研究中心试验室的测试结果表明, 当飞机起降和在巡航高度飞行时, 先进的扇形外形最多能够将噪声降低 4dB。而由古德里奇公司制造的新型起落架罩能够使起落架呈流线型, 从而降低飞机着陆时的噪声。

2001 年 4 月, 欧洲开始了有史以来最大的噪声研究计划——SILENCE(R), 投资 1.1 亿欧元。这项计划属于欧洲第五框架, 共有 51 家公司参与, 为期 4 年。该计划旨在大幅度降低飞机噪声对社区的影响, 目标是到 2008 年飞机噪声再降低 6dB。该计划不仅涉及喷管和内衬, 还包括低噪声涡轮、风扇和出口导向叶片。这项计划对以下技术进行研究: 风扇降噪技术, 发动机一体化技术, 涡轮机械噪声和采用智能控制的主动噪声控制技术。

另外, 各发动机公司也有各自的降噪计划。罗·罗公司和波音公司合作的“静音技术验证机” (Quiet Technology Demonstrator Research) 计划, 利用两家公司共同开发的技术包 (包括锯齿状尾喷管和进气口新的消音内衬) 改进一台遛达 800。这台发动机已经在地面和空中进行了试验, 尾喷口噪声降低了 4dB, 风扇噪声降低了 13dB。GE 公司在“X 代”计划下研究两级对转复合材料的风扇叶片间的气动干扰问题, 由于该技术可大大减小风扇的直径, 从而相应减小风扇叶尖的速度, 因而能大大降低风扇的噪声水平。GE 公司的“绿色创想计划”、普·惠公司“绿色发动机”计划也对发动机新型环保技术进行了研究。

飞机噪声主要来源于发动机产生的噪声、飞机部件系统产生的噪声

(机体噪声)以及操纵飞机产生的噪声,本文分别从发动机降噪、机体降噪和操纵系统降噪3个方面来讨论大型民机降噪的关键技术。

(1) 发动机降噪关键技术。

·通过改变风扇和喷管结构外形和尺寸来降低噪声可以成为发动机降噪的一项关键技术;

·吸音隔音降噪技术也可以成为发动机降噪的一项关键技术;

·另外,“虚拟排气管”等新概念降噪技术虽不能成为发动机降噪的关键技术,但对于未来进一步降低发动机噪声还是具有很好的借鉴意义的。

(2) 机体降噪技术。

·起落架流线型设计技术可以成为机体降噪的一项关键技术;

·对于襟翼和缝翼噪声,NASA正在开发一些先进技术,诸如主要部件连接技术、襟翼边缘附面层吹除技术以及缝翼后缘开孔技术等;

·增压风洞中的声测量技术是飞机降噪领域中的一项关键技术,它可以为机体降噪技术提供验证平台和数据资源。

(3) 降低操纵系统噪声技术。

(4) 噪声预测技术。

(5) 主动噪声控制技术。

5 高安全性和可靠性设计技术

在现代飞机的设计中,高安全性、高可靠性和可维修性已经成为与性能同等重要的设计要求,对飞机是否能够满足适航要求有着重要影响。当前的民机市场竞争激烈,并有着极高的入门限制,如果不能有效地解决飞机的安全性问题,飞机就得不到适航证,也就不可能进入当前的大飞机市场。

飞机的安全性问题一直是飞机设计人员关注的核心问题之一。在世界范围内,近20年来虽然民机的事事故率基本保持平衡,但是随着航空运输的增长,飞机事故的绝对数量仍在不断增加,因此飞机安全性日益受

到重视。

在飞机安全性和可靠性方面美国和欧洲的计划主要有FLYSAFE和AVSP等。

2005年2月,欧洲投资5300万欧元,启动了FLYSAFE研究计划。该计划涉及14个国家的36个合作单位,计划在4年内定义和测试对飞行安全起到积极作用的新工具和软件系统,主要研究影响飞行安全各项因素中最重要的天气、事故和地形这3类因素。FLYSAFE计划的目标是到2020年事故率降低80%,大大降低因失去联系、可控飞行撞地、着陆失败、地面事故、空中事故、天气恶劣、其他因素和未知因素等导致的大事故次数。

另外,NASA也在2000年开始进行航空安全计划(Aviation Safety Program,AVSP),希望到2007年重大事故率降至1/5,到2022年降至1/10。该计划着重进行以下研究:航空系统建模和监控,开发用于识别和修改系统隐患的先进模拟技术;事故预防,避免和消除事故“复发”,包括系统大事故预防、个别特殊飞行事故预防和天气事故预防;事故损伤减轻,降低事故造成的危害程度。

根据以上研究计划,我国大型民机发展在提高安全性和可靠性方面应注重以下关键技术:

(1) 天气。

·实时天气预测技术;

·空中天气传感设备技术;

·对大气湍流的监测、减缓技术,以及突风载荷对安全性的影响评估技术。

(2) 地形数据库技术。

(3) 空中交通管理技术。

(4) 降低人为事故技术。

(5) 高可靠性设计技术。

6 先进系统技术

从波音下一代民机发展关键技术领域可以看到,系统技术是波音公

司民机发展的关键技术领域,主要包括高安全性和可靠性技术、电控技术、人机环境技术等。目前我国在总体综合优化设计技术方面与国外存在较大差距。

(1) 先进总体综合优化设计技术。

总体设计方案的好坏对飞机整体性能有着决定性的影响,新研制飞机技术风险的80%在于总体设计。我国要实现大型民机的跨越式发展,飞机总体综合优化设计技术是一个关键问题。

据资料显示,波音公司和空中客车公司已开始将飞机多学科综合优化设计技术运用于新型号的研制,并将该技术作为新型大型民用飞机的关键技术投入了大量的人力和物力进行研究。例如,在美国NASA的亚声速固定翼研究计划(Subsonic Fixed Wing Project,SFW)中将多学科分析和优化(Multi-disciplinary Design Analysis and Optimization,MDAO)作为顶层的主要设计技术进行重点研究。该计划旨在提高NASA的飞机多学科综合优化设计水平,使飞机在降低噪声和环境污染的同时,能有更高的能源利用率和更优的飞机性能。

(2) 先进电控技术。

飞机的电控系统如同人的神经系统,对飞机的整体性能有着重要影响。以B787飞机为例,信息传递的网络化、航空电子的综合与模块化是B787的重要特征。A380和B787的航电系统都采用了以ARINC664为标准的宽带以太网,数据吞吐量较以往大幅提升。而A380在其液压控制系统中的创新也对提高其整体性能起到了重要作用。

从2001年初开始,NASA研究人员开始了一项革命性的飞行控制系统的验证飞行试验,该飞控系统将使未来飞机在出现主系统失效、作战损坏时实现飞机安全、受控

着陆。该计划被命名为智能飞行控制系统(Intelligent Flight Control System, IFCS) 研究计划。IFCS 是 NASA 飞行研究计划中的一个重点项目,飞行研究计划旨在提高和改善 NASA 的大气飞行研究能力,促进航空航天技术的创新,探索新的物理现象,加速发展和验证新概念飞行器。NASA 的飞行研究计划由德赖登飞行研究中心实施。IFCS 的飞行研究由 NF-15B 试验研究机承担,重点是为实现飞机飞行的计算机控制开发具有自学习能力的神经网络软件,这种软件能自动将飞机系统数据与正常飞行状态数据进行比较,并自动调整飞行控制以补偿损坏或不起作用的飞行控制面或系统。试验成功后首先将 IFCS 应用于 C-17 之类的运输机平台上。飞机能耗效率(Aircraft Energy Efficiency, ACEE) 研究计划是 NASA 兰利研究中心民用航空三大计划之

一。ACEE 计划开始于 1976 年,其投资占到了 NASA 先进民用飞机研究资金的 70%,该计划的研究内容包括控制技术、发动机元件改进、高效能源发动机技术、涡轮螺旋桨发动机技术、高效能源运输机气动、层流控制和先进复合材料等。其研究成果对美国大型民机发展产生了持续而深远的影响。

分析国外研究计划,在先进电控技术领域的关键技术为:

- 电(光)传操纵和主动控制技术;
 - 航电系统智能化设计技术。
- (3) 人机环境技术。

随着民用航空的发展,竞争日趋激烈,除安全性、经济性、环保性以外,舒适性也日益成为各大民机制造商争夺市场需要考虑的重要因素。尤其是对于大型民机来说,往往要执行长距离飞行任务,乘客有可能长达十几个小时乘坐飞机,因此飞机的舒

适性也就显得十分重要。

波音公司对民机舒适性提出了新的要求:宽敞的座位和过道、优良的乘坐舒适性、创新的照明设备、改善的客舱环境、先进环境控制。这些因素在我国进行大型民机研究中也必须加以考虑。

结束语

研制大型民机已被列入我国中长期发展规划。根据我国民机发展的实际情况,结合国外相关领域的发展规划,本文提出我国要实现大型民机的跨越式发展,需要重点突破的技术领域包括:高效气动设计技术和关键风洞试验技术,先进材料和结构技术,降低排放物污染技术,降噪技术,高安全性和可靠性设计技术,飞机系统技术等。在大型民机发展中,应始终以安全性、经济性、舒适性和环境保护为核心攻克各项关键技术。

(责编 晓霖)



德国SPRENGER机械、电动式装配/推削用压机

Maschinenbau
Entwicklungen

德国SPRENGER机械、电动式装配/推削用压机
经40多年专业设计和不断改进,现已广泛应用于各类机械的装配,如压进、推出轴筒、套类零件等。

同时也可使用推进型拉刀来洁净高效地制作各类花键槽。

特点

- ★ 高压力
- ★ 长行程
- ★ 坚固设计
- ★ 高效装配
- ★ 操作简单
- ★ 可靠安全
- ★ 节省空间



T3、T5
机械式压机

T5-M01
电动式压机



广告索引号 08-070

中国总代理 上海德物机械有限公司

地址: 上海市中山北路2130号万千大厦2001室 电话: 021-52914389 52919640 传真: 021-52917086
电邮: sales@dimoral.com 网址: http://www.dimoral.com/