

附件

南京航空航天大学

“十五”“211 工程”建设项目 可行性研究报告



项目名称：南京航空航天大学“十五”“211 工程”

建设地点：南京市御道街 29 号、江宁区将军路

建设单位：南京航空航天大学

二〇〇二年十月八日

“十五”“211 工程”重点学科 建设项目可行性研究报告

项目名称：先进飞行器综合设计与实验技术

所涉学科：飞行器设计

工程力学

人机与环境工程

项目负责人：高 正 教授

单 位：南京航空航天大学

2002 年 10 月 8 日

G647

1047



2007031072

目 录

“十五”“211 工程”重点学科建设项目可行性研究报告

先进飞行器综合设计与实验技术	(1)
航空航天产品快速研制技术	(19)
纳米材料、微器件与智能结构	(32)
飞行器自主控制与精确制导技术	(47)
微飞行器设计与制造技术	(65)
航空信息与航空安全	(79)
高超声速气动力/气动热技术	(89)
国防工业结构优化与企业竞争战略	(102)

“十五”“211 工程”大型仪器设备购置论证报告

多功能大功率激光加工系统	(114)
残余应力测试系统	(118)
热成形机床	(121)
点云坐标测量系统	(124)
快速成型系统	(126)
板料数控快速成形机	(128)
六自由度关节型机器人系统	(130)
数控精密慢速走丝线切割机	(133)
三轴高效深切磨削加工中心	(136)
虚拟仿真主机、仿真投影系统	(138)
X 射线衍射仪	(140)
微型转子高速动平衡机	(145)



2007031072

先进飞行器综合设计与实验技术

目 录

一、项目定义	(1)
二、项目背景	(1)
三、项目的建设的目标和内容	(6)
四、本建设项目所需经费说明	(9)
五、本建设项目已有的优势和特点	(12)
附件 1：“十五”“211 工程”本学科建设项目年度计划进展表	(15)
附件 2：“十五”“211 工程”建设项目新增仪器设备表	(17)

一、项目定义

本项目建在南京航空航天大学航空宇航学院的飞行器设计国家级重点学科,并涵盖了部分工程力学学科和人机环境工程学科。本项目的的主要建设内容有:飞行器先进设计环境和飞行器设计的试验验证手段。包含了飞行器设计学科四个学科方向:1. 飞行器多学科一体化总体设计技术;2. 先进复合材料结构设计与验证技术;3. 新概念旋翼飞行器设计与实验技术;4. 无人驾驶飞机特种技术。本建设项目将支撑飞行器设计学科在先进飞行器设计理论和飞行器创新设计方面的发展。

二、项目背景

飞行器设计技术在不断的渐进式发展中,伴随着突变式的飞跃。飞行器设计理论一方面在向深度发展,另一方面在向综合发展,飞行器设计理论的试验验证技术和手段在快速提高。新概念飞行器出现的频率在加快,伴随新型飞行器概念的提出,涌现大量的理论和实验问题。

多学科设计优化方法是当今飞行器总体综合设计理论的代表。

当今对飞行器的设计要求是多方面的,往往包括气动、性能、结构、操稳、推进、控制、防热、低噪声、隐身、可靠性、维修性、保障性、成本和进度等设计要求。而这些不同方面的设计要求通常相互影响、相互耦合。这一切使得飞机设计涉及的学科越来越多,专业分工越来越细,设计周期越来越长,开发成本越来越高。为了提高飞行器设计质量,加快设计进度,降低开发成本,必须研究飞行器综合设计技术。

飞行器多学科设计优化(Multidisciplinary Design Optimization, 以下简称 MDO)是飞行器综合设计的一种重要方法。它的主

要思想是:在飞行器设计的整个过程中利用分布式计算机网络技术来集成各个学科(子系统)的知识,应用有效的设计优化策略来组织和管理设计过程。目的是通过充分利用各个学科(子系统)之间的相互作用所产生的协同效应,获得系统的整体最优解,并通过实现各学科组的并行设计来缩短设计周期。

最近几年国外对 MDO 的研究非常重视。1989 年 AIAA 成立了 MDO 技术委员会,90 年代初美国 NASA 开展 MDO 研究,1991 年 MDO 技术委员会发表了 MDO 现状的白皮书。该白皮书详尽阐述了 MDO 的必要性和迫切性、MDO 的研究内容以及发展方向。该文的发表标志着 MDO 作为一个新的研究领域正式诞生。1994 年 NASA 就 MDO 对工业界的必要性的问题,对波音公司、洛克希德公司等美国九个主要航空航天工业公司作了进一步调查。调查结果表明,工业界对 MDO 的研究和应用有着广泛的兴趣和支持。工业界希望应用先进的多学科设计优化的方法,取代现有的综合优化设计系统,以缩短设计周期,获得更好的设计方案。同年八月,NASA 在兰利研究中心正式成立了多学科设计优化分部。其任务是:1)确认、发展和展示多学科设计优化方法;2)及时地将有前途的 MDO 方法向工业界推广;3)促进 NASA、工业界和高校对 MDO 的基础研究。同年,为促进 MDO 的深入研究和培养 MDO 的高级人才,NASA 决定建立大学基金项目,重点资助五所大学的 MDO 学科建设,为工业界培养这方面的高级人才。1998 年,美国 MDO 技术委员会邀请十位美、欧工业界专家对各自在 MDO 的应用状况和研究需求发表他们的见解。在此基础上,MDO 技术委员会发表了第二份白皮书。该白皮书指出,MDO 对于提高工业界产品开发能力的重要意义是肯定无疑的。

飞行器 MDO 的基本特点是:1) 在分析模型方面,它强调应用高精度的分析模型,因而它特别适用于那些具有显著创新布局的飞机总体设计;2) MDO 强调充分考虑各学科之间的相互作用和相互影响,通过利用学科之间的耦合性,寻找出整体最优的设计方案。3)

在计算环境方面,MDO 强调采用分布式计算环境,实现各学科组并行设计,缩短设计周期。因此,飞行器多学科设计与优化将是未来飞行器设计的一种重要方法论。建立飞行器 MDO 系统对于飞行器设计学科的发展和提高国防工业界的飞行器设计水平具有特别重要的意义,而目前我国还没有建立飞行器多学科设计优化实验室。

1. 复合材料结构设计是现代飞行器结构综合设计的典型

飞行器性能的提高很大程度依赖于先进材料的使用,轻质高强复合材料由于其可设计性使飞行器结构设计提前介入飞行器的总体设计,由于其良好的强度、刚度、寿命、隔声吸声、隐身、抗腐蚀等特性而日益广泛地被使用于各种类型的飞行器结构。特别是新一代主战飞机,由于其高可靠性,高机动性、高可维护性,高生存力,超音速巡航、隐身、大航程、短距起落等综合要求,先进复合材料结构的应用已成必然。

六十年代中期起,欧美等国开始将先进复合材料用于飞机的一般结构上,后来逐步将其用于次承力结构上,发展到今天已将其广泛用于机翼和机身等主承力结构上。此外,在保持复合材料高的比强度和比刚度特点的同时,为解决层合复合材料结构抗冲击损伤能力差、厚度方向强度弱等问题,国外在八十年代发展了纺织复合材料技术,为提高结构的抗坠撞性能,又发展了先进复合材料结构的耐坠撞设计和分析技术,并且已在飞行器上得到应用。

我国对先进复合材料的研究也很重视,先进复合材料技术被国家列为国防预研 18 项关键技术中六大重点发展的项目之一,航空系统在该领域的研究起步也不晚,开展研究已有 20 年之久,并取得了不少成果,但目前与国外先进水平尚有较大的差距。

高超音速飞行器的设计技术越来越受到重视。1996 年 2 月美国空军在《新世纪展望》中提出“能够继续存在的响应体系?即隐身、高速飞机和导弹是今后的基本需要”,认为高超音速技术是下一世纪充满活力的技术之一。美国计划在 2025 年向空军装备 M12—

M15 的势不可挡的高超音速战斗机和侦察机,它能在数分钟到达世界上任何地方。美国前参谋长福格尔曼将军曾预言:新一代的战斗机将是空天飞机。发展未来高超音速飞行器的关键技术之一是发展轻的结构和具有防、抗热能力的结构与材料。重复使用的高超音速飞行器要求结构更轻、更坚固,先进复合材料成为选择对象之一。

因此,在复杂使用环境中、复杂载荷作用下先进复合材料结构设计、分析与试验验证是当今和今后相当长一段时间内飞行器结构设计的关键技术之一。

2. 新概念旋翼飞行器是飞行器综合设计技术的一个新课题

提高直升机的飞行速度和扩大直升机的航程、发展新概念旋翼飞行器设计技术是当今国际直升机界的研究热点和发展方向,国外最近几年对非传统的、新概念的旋翼飞行器技术进行了很多研究,例如,倾转旋翼飞行器技术、高速旋翼飞行器技术等,尤其是前者,已经投入了实用。倾转旋翼飞行器是一种兼有直升机与固定翼飞机特征的新概念旋翼飞行器。这种飞行器的主要特点是其发动机及旋翼可以倾转,既能象直升机那样无需机场就可起降,又可相对于传统的直升机在飞行速度和航程方面有比较大的提高,因此,已被称为二十一世纪最有发展前景的旋翼飞行器之一。美国是目前唯一掌握这类飞行器技术的国家,欧盟、俄罗斯等也正在着手这类先进飞行器技术的研究。

新概念倾转旋翼飞行器的关键技术主要集中在倾转旋翼及其动态倾转过程上。因为倾转旋翼在垂直飞行时要具有直升机旋翼的功能,而在前飞时又要具有螺旋桨的功能,这两种功能存在一定的矛盾,这给旋翼气动和结构设计造成很大困难;旋翼倾转动态过程中的气动、动力学及飞行力学特性的变化及其对飞行控制律的影响,都涉及到直升机技术与固定翼飞机技术的相互交叉和融合。这些技术,要比单一的直升机或固定翼飞机技术问题复杂得多,且对实验设备和实验技术尤其是动态实验能力提出了新的、更高的要

求。国内尚不具备适合于新概念旋翼飞行器设计及其实验技术研究的实验装置。因此,建立一套新概念旋翼飞行器综合实验系统、开展其设计及实验技术研究是十分必要的。

3. 无人驾驶飞机特种技术是无人机综合设计的关键技术

本项目涉及的无人机特种技术主要包括:无人机先进气动外形、气动与隐身技术、无人机发射与回收技术等,它们都是无人飞行器综合设计的关键技术。它们对执行复杂任务的高性能无人机的研制,减少试验验证,避免风险,缩短周期具有重要的意义。本项目建设的目标是建立一套完备的无人机先进外形设计技术、隐身设计技术、火箭助推发射技术、冷气液压弹射技术、翼伞回收技术、气囊减震技术。

无人机飞行安全问题,主要发生在起飞和着陆阶段。因此在国内外对无人机技术的研究中,发射(起飞)和回收是主要内容之一,在多年的研究中,南京航空航天大学飞行器设计学科对无人机多种型式的发射方式和回收方式进行了研究并取得了一定的成果。但是由于经费限制,研究工作还很不系统,由于试验手段的缺乏,一些研究成果还难以在工程上实施应用。

隐身飞行器设计和电子设备的电磁兼容性设计是未来飞行器设计的两个重要指标,随着现代高科技的发展,地面探测设备威力增大,飞行器本身的目标电磁特性是地面探测设备的主要性能依据。采用隐身技术的飞行器大大减弱其电磁散射能量,从而使地面探测设备的威力下降,甚至探测不到而保存了自己。飞行器本身增加功能,需加装更多的电子设备用于火控、探测、侦察,这样电子设备增加,天线增多就存在如下问题,1) 电磁兼容问题;2) 飞行器上天线布局对电子设备的相互影响和对飞行器电磁特性本身的影响。本学科在无人机型号研制、预研课题及国家重点课题的研究中都碰到了飞行器外形、目标电磁特性、天线布局以及电磁兼容性等研究问题,有必要进一步加强这方面理论和实验研究。

三、项目建设目标和内容

南京航空航天大学飞行器设计学科是国家级重点学科,通过“九五”“211 工程”的第一期建设,完善了飞行器设计学科的设计和分析环境,改造和建设了实验室,支撑了该学科的教学和科学研究工作,取得一批标志性成果。主要成绩有:(1) 获得国家级的科技进步奖和发明奖 6 项,省部级科技进步二等奖以上有 10 多项;(2) 培养了一批高质量的研究生,其中全国优秀博士学位论文作者 1 人;(3) 在飞行器设计理论方面的研究取得了优异的成绩,发表一大批高水平的学术论文和著作,其中被 SCI 和 EI 收录的学术论文 92 篇;(4) 争取到了大量的国家级和国防重大和重点科研项目。

本建设项目对南京航空航天大学飞行器设计学科的进一步发展,并成为国际知名的教学和研究单位有着重大意义。它将大大提升飞行器设计学科的整体科研能力,为飞行器设计的学术和工程研究提供强有力的手段,为飞行器设计理论的发展和新型飞行器的创新设计提供强有力的支撑。通过“十五”“211 工程”的建设,本学科整体水平达到国际先进、国内一流,并有望取得如下标志性成果:

(1) 形成一支高水平教师队伍,具有博士学位的教师的比例 80% 以上,培养出一名院士;

(2) 培养一批高质量的研究生,其中全国优秀博士学位论文作者不少于一名;

(3) 获得国家级的三大奖 1—2 项;

同时这些建设项目为 863 课题、“十五”预研课题、国家自然科学基金、国防重大课题、重点型号研究等科研项目提供有力支持。

本项目的具体建设内容有下列三个方面:

1. 创建飞行器多学科设计优化系统

在五年之内建设一个国内一流,国际同档次的飞行器多学科设

计优化系统。该系统的硬件主要包括:由高性能工作站和个人计算机组成的分布式网络。软件主要包括:气动分析软件、结构有限元分析软件、总体性能分析软件、CAD 软件、隐身性能分析软件等。可进行飞行器多学科多目标一体化设计。具体的研究目标是:1)基于多学科设计优化策略建立飞行器多学科设计优化的分布式网络计算环境。2)在分布式网络计算环境下集成飞行器气动、飞行性能、结构、重量、操稳、推进系统、控制、隐身等各学科分析程序和软件,创建飞机多学科设计优化系统,如图 1 所示。

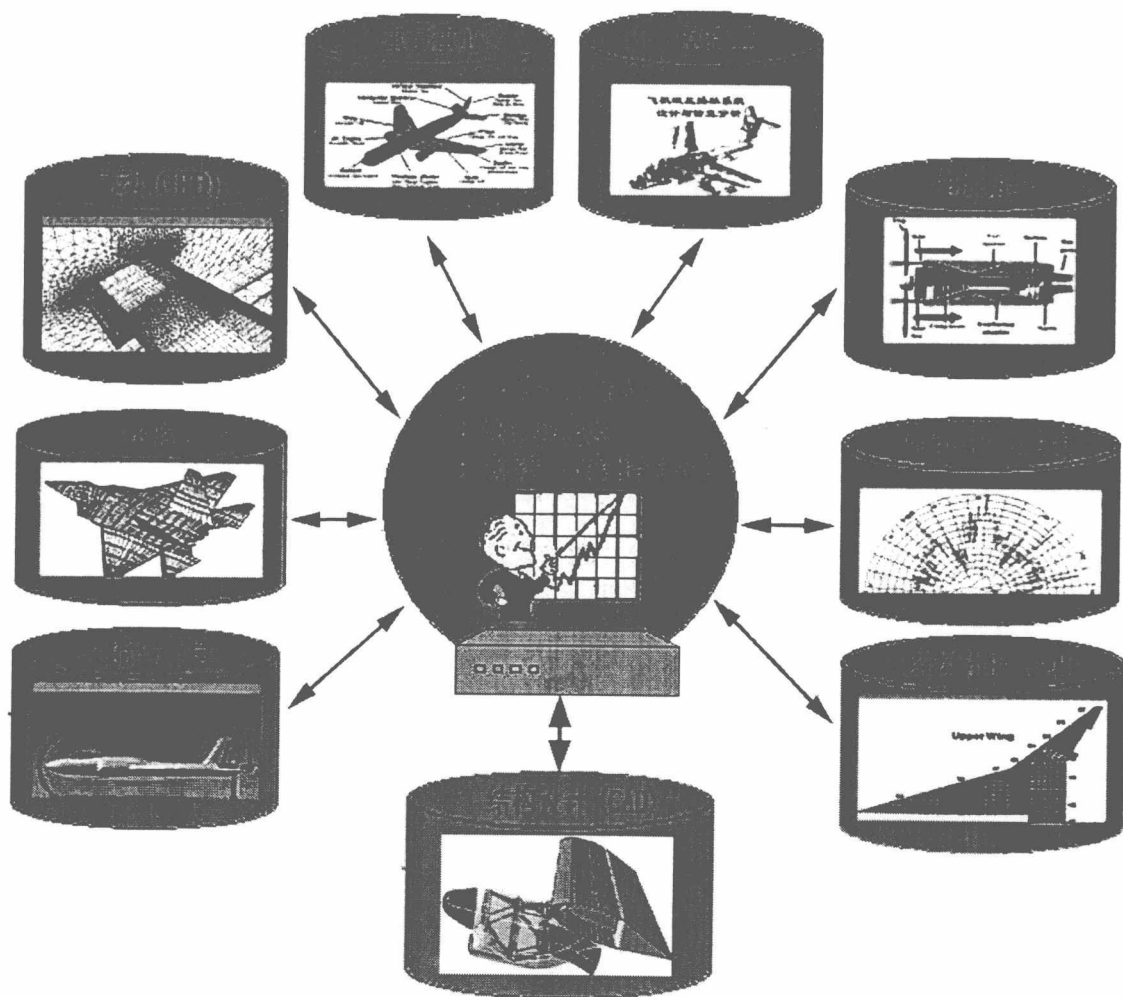


图 1 分布式计算环境下的飞行器多学科一体化设计系统示意图

2. 新概念飞行器综合实验系统

本项目建设的原则是立足高起点,建设一套能够进行倾转旋翼飞行器及未来新一代高速旋翼飞行器技术研究的综合实验系统,由倾转旋翼模型、动力系统、测试系统、控制系统、支撑系统等组成。该系统可通过液压作动器驱动模型旋翼在风洞中实现倾转运动、具有动态实验能力,同时具备实时控制、测量、分析和处理的能力。系统建成后,能实现包括新概念旋翼飞行器的设计、空气动力学、动力学、飞行力学与控制等相关技术的实验研究。该系统属国内首创,建设完成后可处于世界先进水平。

项目建设的具体内容包括:1) 倾转旋翼飞行器模型系统,它主要包括:旋翼系统、机翼、机身以及尾部模型系统。拟建造 2 米级旋翼直径的缩比模型,按相似模型设计;机翼可以埋设微型压力传感器,测量其表面压力;旋翼系统、机翼及机身需安装各自的高精度动态天平,以分别测量各部件的合力。2) 动力系统,它主要由模型旋翼动力分系统、支持平台动力分系统、旋翼及机翼操控动力分系统组成。3) 测量与数据采集分析系统,它主要由测量分系统、数据采集分系统、实验分析专用软件分系统组成。4) 控制系统,它主要由模型旋翼控制和模型支持平台控制两个分系统组成。5) 风洞中的飞行器模型支持系统,它由液压马达和液压作动器驱动,能够在风洞中实现倾转运动,使所支持的模型系统能够模拟倾转旋翼飞行器的典型飞行状态,特别是提供高精度的倾转过程的模拟。6) 风源系统提速改造,由于现有风源系统风速偏低,不能满足倾转旋翼飞行器的试验要求,需改造风源系统,通过更换电机等措施将现有风速由 30m/s 提高至 50m/s 以上。同时对实验环境进行相应改造,包括降噪、安全防护等。

3. 先进复合材料结构设计与实验验证系统

建设一个在飞行器先进复合材料结构设计、分析和实验验证等

方面均有特色的国内领先、在一些研究领域达到国际先进水平的复合材料结构设计和实验验证系统。其具体建设内容有:1) 复合材料结构分析软件(与飞行器多学科设计优化系统共用);2) 复合材料结构抗坠毁实验系统;3) 复合材料结构湿热环境下的疲劳和损伤容限实验系统。

四、本项目建设所需经费说明

本项目建设“十五”期间所需经费预算为 1600 万元,主要建设飞行器多学科总体设计优化系统、先进复合材料结构设计和验证系统和新概念旋翼飞行器设计和实验系统:

序号	项目建设内容	预算经费(万元)
1	飞行器多学科总体设计优化系统	500
2	新概念旋翼飞行器设计与实验系统	620
3	先进复合材料结构设计与实验验证系统	480
合 计		1600

1. 飞行器多学科总体设计优化系统

飞行器多学科总体设计优化系统由硬件和软件组成。

主要硬件设备包括:(1)计算机:计算服务器 3 台、微机工作站 30 台(分别安装气动分析与设计软件、飞行性能/操稳、重量、推进系统、隐身等软件)、高档 PC 机 80 台。(2)网络设备:高速交换机 3 台、交换机若干台等。(3)实验室改造与装修。

所需的主要软件包括:多学科设计环境软件(iSight)、气动设计软件(MGAERO)、飞行性能计算软件(AAA)、重量重心计算软件、操稳分析软件、推进系统分析软件、隐身性能计算软件、NASTRAN 有限元分析软件的热分析和疲劳分析模块、直升机气动及飞行力学

软件(FlightLab)、直升机气弹动力学分析软件(CAMRAD II)、其他辅助软件,如数据库、可视化软件。

经 费 预 算 表

单位:万元

支 出 项 目	金 额	备 注
1. 硬件的费用	280	
服务器 3 台	80	SGI200
微机工作站 30 台	80	
PC 机 80	80	
实验室改造	20	
其他辅助设备	20	交换机、打印机、网线等
2. 主要软件的费用	220	
气动设计软件	50	MSAERO 软件
飞行性能计算软件	25	AAA 软件,含几何设计模块
推进系统分析软件	10	
隐身性能计算软件	25	XFDTD 软件
直升机气动及飞行力学软件	50	FlightLab 软件,见附录三
多学科设计优化环境	30	iSight
其他辅助软件	30	包括库数据库、可视化软件等
3. 合计	500	

2. 新概念旋翼飞行器设计与实验系统

新概念旋翼飞行器设计与实验系统主要由硬件和测量与数据分析软件组成,本系统有六个分系统。

经 费 预 算 表

单位:万元

序号	建 设 内 容	设备费用		共计
		人民币	美元	
1	倾转旋翼模型系统	35		35
2	动力系统			
	模型旋翼动力分系统	28		28
	模型支持平台动力分系统	35		35
	模型旋翼和平台操控动力分系统	25		25
3	测量与实时数据采集分析系统			
	测力分系统	85		85
	流场测试分系统	95	(11.5)	95
	非接触式振动测量分系统	90	(10.8)	90
	实时数据采集分系统	70		70
	实验分析专用软件分系统	35		35
4	控制系统			
	旋翼模型控制分系统	35		35
	模型支持平台控制分系统	32		32
5	模型支持系统	35		35
6	风源系统改造	20		20
7	合 计	620		620

3. 先进复合材料结构设计与实验验证系统

先进复合材料结构设计与实验验证系统由分析系统和实验验证设备组成,分析系统所需计算机、网络设备、软件与多学科设计优化系统共用。添置的新设备主要有:用于复合材料结构复杂环境模拟的环境箱、复合材料结构坠毁实验的测量设备、复合材料机体一起落架结构综合设计实验设备。

经 费 预 算 表

单位:万元

设 备 名 称	经 费	备 注
装配式 MTS 环境箱	90	MTS 公司
100KNMTS 材料试验机	100	MTS 公司
基于 VXI 总线 HP 动态数据采集和分析系统	55	HP 公司
传感器及电荷放大器适调器	30	PCB 公司、B&K 公司
轮胎动力学试验装置	70	含台架,专用加载、专用测量设备等
C Scan	80	
动态加载测控设备	55	
总 计	480	

五、本建设项目已有的优势、特点

南京航空航天大学飞行器设计学科建立于 1952 年,1981 年首批获得博士、硕士授予权,1988 年首批设立博士后流动站,1998 年首批设立“长江学者”特聘教授岗位,是国家级重点学科。

本学科由老一辈学科带头人张阿舟教授、王适存教授、范绪箕教授等人所创建。自 1988 年被评为国家级重点学科以来,本学科的人才建设、学术水平、实验能力和整体实力都得到了大幅度的提高。建有我国直升机技术研究方向唯一的国家级(国防)重点实验室“直升机旋翼动力学实验室”、建有国内唯一专门从事智能材料与结构研究的航空重点实验室以及 CAD 中心、结构振动两个部门开放实验室,实验室面积总共达 14500 多平方米,价值 10 万元以上的设备总值达 13600 多万元,成为我国航空航天科技研究和高层次人才培养的重要基地。

本学科具有雄厚的科研力量,现设有无人机研究院、直升机技

术研究所、飞机技术研究所、航天器技术研究所、微型飞行器研究中心等研究机构。已形成“直升机技术”、“无人机技术”、“飞机设计技术”、“飞行器结构静动力学设计和控制”、“航空智能材料结构”五个综合性研究方向。在特殊飞行器设计与研制技术和学科整体水平上处于国内领先地位。

本学科自创建以来一直十分重视飞行器综合设计与实验技术的发展。自 1994 年起开始了基于现代计算机技术的先进飞行器综合设计及其实验技术的研究,并列入“九五”“211 工程”建设,进行了部分建设,取得了优异的成绩。目前本学科拥有一支老中青相结合从事飞行器综合设计的队伍,其中教授 21 名,副教授 48 名,具有博士学位的教师 39 名。具体负责本建设项目的 5 名教授、博导为:高正、丁运亮、王鑫伟、姚卫星、徐国华。

高 正 男,1938 年 1 月生,博士生导师,我国直升机科学技术领域的开拓者和学科带头人,国际著名直升机技术专家。直升机旋翼动力学国家级重点实验室主任,中国航空学会和中国空气动力学会理事,我国直升机专业分会主任,(国际)美国直升机学会中国分部主席。获国家发明奖 1 项,省部级科技进步奖 13 项,国家和省部级教学成果 5 项,出版著、译 7 部,发表学术论文 87 篇,已培养硕士、博士、博士后 28 名。

丁运亮 男,1941 年生,博士,教授、博导。长期从事飞机设计、飞机结构设计的教学和科研工作,特别是在轻型飞机设计、结构优化设计、复合材料和夹层结构有限元分析及优化设计方面取得多项研究成果,获得省部级科技进步奖 4 项,国家级和省级教学优秀成果奖各一项。并在国内外核心学术刊物上发表论文 30 余篇。

王鑫伟 男,1948 年生,博士,教授、博导。1984 年—1992 年 11 月先后在美国从事力学和结构有限元方面的研究。1992 年回国,美国 ASME 和 AAM(力学学会)会员,任美国 UMBC 和 UMDB 两所大学机械工程系客座教授,中国复合材料力学学会理事。先后承担过由自然科学基金和部“九五”预研等资助的大量项目,发表论文