

·学科进展与展望·

重大研究计划“空天飞行器的若干重大基础问题”研究进展

崔尔杰*

(中国航天科技集团公司第十一研究院,北京 100074)

[摘要] 本文介绍了重大研究计划“空天飞行器的若干重大基础问题”资助项目所取得的一些研究进展及成果应用情况。给出了为发展我国空天飞行器技术,需大力加强相关基础研究的体会。

[关键词] 重大研究计划,研究进展,空天飞行器

1 总体情况

2002年1月,国家自然科学基金委员会第二次委务会审批通过重大研究计划“空天飞行器的若干重大基础问题”,批准经费4000万元,执行期为5年。2005年追加经费1500万元。4年来共资助面上项目89项,重点项目6项,并对2002年度资助的部分项目进行了经费追加。这些项目都是相关研究领域中的前沿和热点问题,有较强的理论意义和工程应用的针对性。3年多来,各个项目的研究工作进展顺利,已经取得多项有创新意义的阶段性成果,部分成果已开始应用于实际问题。

2 研究进展

本重大研究计划的研究工作可以分为3个项目群:(1)流动与燃烧;(2)材料与结构;(3)控制与隐身。几年来各个项目群均取得显著进展。

2.1 流动与燃烧

在非定常、复杂流动的高精度数值模拟方面,提出了网格、内点格式和边界点格式匹配协调的非定常计算方法和网格技术;发展了对物理扰动有较高分辨率的紧致格式;提出了稀薄流到连续流跨流区多尺度三维气动问题的统一算法;发展和完善了信息保存(IP)方法;通过飞行力学方程与NS方程的耦合以及利用非线性动力学理论,给出了飞行动态稳定性判据及动态演化规律;开展了高超声速气动

布局原理和乘波体外形的优化设计研究。

在可压缩混合层、流动转换和湍流研究方面,利用直接数值模拟手段,研究了高速可压缩边界层转换特性,揭示了流动失稳和流场演化过程。开展非线性逾越(bypass)转换机理研究;利用PIV和纹影显示手段,研究了可压缩剪切层中涡结构对流动失稳和混合效果的影响,清晰地显示了流场的细致结构;用大涡模拟方法研究了燃烧室中可压缩旋射流的湍流特性,建立了适用于旋涡分离流动的非线性湍流模型。

在喷流干扰与流动控制方面,发展了超声速表面油流显示和三维空间激波显示的新方法;进行了应用合成射流技术增强超燃掺混机理的研究;开展了用于飞行器翼面流场主动控制的热电式合成射流压电微驱动器研究。

在燃料、掺混、燃烧与推进方面,研究了超声速流场掺混模式和机理,进行了流向涡掺混的数值模拟。提出设计内乘波式进气道的方法。对凹槽增混性能进行了数值研究和平面激光诱导荧光实验观测。开展了碳氢燃料制备和有关物性研究,建立了相应测定设备与实验方法,并进行了实验测量。开展了脉冲爆轰发动机的数值模拟研究,和空天飞行器推进系统燃烧并行模拟计算研究,编制了并行计算软件包。

2.2 材料与结构

在超轻薄壁泡沫金属芯结构的冲击损伤破坏行

* 中国科学院院士。

本文于2006年6月12日收到。

为、动态性能及细观结构影响和设计优化的理论与实验研究,以及轻质、高比强、阻尼、散热多功能兼容材料和机翼机身轻质点阵材料的设计分析方面,获得一些原创性的成果。

在空天飞行器的新型轻质耐热材料体系探索与设计、耐热结构一体化陶瓷基复合材料及其应用基础问题方面,做出原创性成果:制备出 TiAl/Nb 层板复合材料,填补这一领域的材料空白。对轻质耐热材料与结构设计理论研究取得新进展,提出和发展了基于拓扑优化的力学性能和最佳散热效果协同的结构设计策略和方法。

在智能结构研究方面,发展了基于多主体协作的分布式结构健康监测技术,制备出具有自诊断功能的智能夹层的航空机翼盒段试验件;在压电/铁电智能材料的细观力学行为与失效分析方面,提出了高电冲击载荷与循环电载作用下,压电介质中裂纹尖端的热效应,建立了连续畴变的铁电材料宏观的本构关系;在超磁致伸缩型智能结构的力-磁-热-电的耦合行为方面,提出了一个新的非线性耦合的本构模型。建立了基于 MEMS 的微自适应结构灵巧蒙皮技术,首次获得了可用于翼型主动流动控制的微致动器子系统原型样件,相关成果申报国家发明专利 5 项。

在超高速撞击过程的跨层次计算方面,提出多时间尺度的数值模拟方案,利用该方案对三维纳米晶体高速变形进行了研究,并首次发现 F-R 源的螺旋状形貌。对超高速碰撞进行三维跨尺度模拟,发现了超音速波前传播和原子沿裂纹的射流等新的科学现象。发明了国内外独创的双通道、双温区、超音速等离子喷涂的新系统和新工艺,成功制备了成分、结构连续分布大体积功能梯度热障涂层 (FG-TBCs),并完成了对涂层常规性能的检测。

2.3 控制与隐身

建立了挠性航天器大范围快速机动的非线性动力学模型,并推广于可伸缩挠性航天器结构控制;提出一种将全数字适应方法和变结构控制方法结合起来的新控制方法,并在可伸缩挠性航天器气浮台实验装置上进行了 4 种实验方案的比较试验研究。提出一种基于姿态敏感器的地球同步轨道卫星的自主导航方法。

研制出第三代超磁致伸缩作动器,获国家发明专利;提出 TbDyFe 建模和控制方法,提出四种智能控制算法,使控制精度大大提高。项目已通过鉴定,达到国内领先、国际先进水平。研究了智能蒙皮飞

行器的飞行控制,这是一个流体/结构耦合自适应控制的重要发展方向。

在飞行器气动与隐身的协同化理论与方法的研究中,建立了满足多目标设计要求的飞行器外形多学科综合优化设计方法。有关研究成果已在新一代战斗机、无人作战平台等多种飞行器方案设计过程中得到应用,并取得良好的设计结果。

开展了飞行器等离子体隐身的基础研究,分析了高超声速飞行器激波层及边界层内电子密度的分布,及其对电磁波反射及透射的影响。在隐身材料方面,研究了四针状氧化锌晶须的吸波机理,设计了预测晶须材料反射率衰减的模型,通过原位生长技术,在氧化锌晶须表面原位生长磁性材料,提高了材料在低频段对雷达波的吸收效果,拓展了吸波频带。

3 成果应用

本重大研究计划项目的许多研究成果或阶段研究成果,在工程实践中得到应用,取得很好的效果。如高精度数值模拟计算方法、高超声速气动布局原理与控制、气动/隐身一体化优化设计原理和方法、等离子喷涂新工艺方法、材料制备方法和检测装置、高焓气动地面试验设备、各种先进测试设备和测试方法等。下面给出几个典型例子。

3.1 爆轰驱动原理和高焓激波风洞

通过在脉冲爆轰驱动的高焓激波风洞增设爆轰段扩容腔的方法,大幅提高了正向爆轰驱动实验气流品质性能。该方法已经应用于中国科学院力学研究所 JF-10 高焓激波风洞,实现了来流速度 5 km/s 和总温 7920 K 的实验条件。

目前的 JF-10 爆轰驱动高焓激波风洞能产生比国外同类设备品质更高的实验气流。这一重要进展使我国高焓流动模拟能力居世界领先地位。

3.2 轻质宽频高效吸波隐身材料

系统研究了四针状氧化锌晶须材料的吸波机理,设计了预测晶须材料反射率衰减模型,提出了吸波剂材料改进的方向和基本思路,提高了材料在低频段对雷达波的吸收效果,且涂层的厚度由原来的 2 mm 降低为 1 mm。

2004 年,该种材料在某型飞机典型部位多处使用,取得良好效果,有望得到推广使用,对于提高飞行器的生存和突防能力具有重要意义。

3.3 超磁致伸缩作动器

突破多项关键技术,研制出具有自主知识产权的超磁致伸缩作动器 (MagAct III-7.2),该作动器设计原

理和技术已取得国家专利(专利号 ZL03264617.8)。对解决新型航天器对隔振致稳控制的高要求,降低由于微幅、低频振动对航天系统跟踪、瞄准和发射精度影响有重要作用。

4 体会与展望

几年来的实践经验使我们体会到,国家自然科学基金委员会重大研究计划项目的设立,对于推动我国高技术相关基础科学问题的研究,促进跨部门跨学科的交流与融合,支撑和引领前沿科学技术发展,发挥了重要的作用。

纵观近年来国外空天技术的发展趋势,以及军民两方面需求情况,可以预料:在今后若干年内,将面临许多具有挑战性的关键技术难题,迫切需要基础科学的创新发展。国外曾把空天技术未来发展中的关键科学技术问题归结为如下几个方面,即:先进气动布局;燃料与推进;材料与防热;智能自主控制;总体与设计优化和地面模拟试验等。这与我们在该

重大研究计划中确定的主要科学目标是非常一致的。

今后 15 年或稍后一些时期,我国将大力发展各类应用卫星体系,进一步发展载人航天技术、空间实验室、月球探测及深空探测技术;载人航天和天地往返运输系统;天/地一体化信息系统。在重大需求推动下军用航天技术也必将有很大发展。

空天技术是涉及多种学科的高技术领域,空天飞行器研制中面临的基础科学问题也是多方面的,我们现有的科学技术基础尚不足以圆满解决所面临的各种复杂而困难的问题。大力加强基础理论研究,是我们面临的十分迫切的任务。

面对国家重大需求背景,如何更好地突出基金项目基础研究的特点,发挥基础研究对关键技术攻关和工程研制的支撑、推动和引领作用,是我们今后工作中的一项重要任务。为此,我们要进一步聚焦研究方向,在更深的层次上促进学科交流与融合,加强课题的协调和集成,认真做好后几年的工作,确保取得较好成果。

PROGRESS ON NSFC MAJOR RESEARCH PLAN

“SOME KEY FUNDAMENTAL PROBLEMS OF AEROSPACE FLYING VEHICLES”

Cui Erjie

(*Chinese Academy of Aerospace Aerodynamics, Beijing 100074*)

Abstract In this paper, the progress and its applications of the projects are introduced about the major research plan “Some Key Fundamental Problems of Aerospace Flying Vehicles”. The suggestion of enhancing the concerned fundamental research is given according to the techniques of aerospace flying vehicles.

Key words major research plan, research progress, aerospace flying vehicle