

提升基础研究平台能力， 支撑液体动力技术创新发展

谭永华

(航天推进技术研究院, 陕西 西安 710100)

摘 要: 从基础理论与设计准则创建、提高产品质量与可靠性、支撑关键技术攻关及引领技术创新发展等层面论述了液体动力技术基础研究的重要性。介绍了俄罗斯、美国、欧洲及日本等相关领域的发展概况, 并与国内基础研究情况进行了比较。从优化整合资源、创新体制机制、强化队伍建设及增加研究经费等方面, 提出了提升我国液体动力技术基础研究平台能力的对策。

关键词: 基础研究; 液体动力技术; 创新发展

中图分类号: V43

文献标识码: A

文章编号: (2010) 01-0001-08

Upgrade platform capability for fundamental research, support innovative development of liquid propulsion technology

Tan Yonghua

(Academy of Aerospace Propulsion Technology, Xi'an 710100, China)

Abstract: This paper presents the essentiality of liquid propulsion fundamental research from the aspects of basic theory and design criteria establishment, product quality and reliability improvement, key technology study supporting and guiding for innovatively development of technology. Fundamental research status in the world as in Russia, USA, Europe and Japan are introduced and comparison with the situation in China is conducted. Proposals are given in terms of resource optimizing and conforming, system innovation, team management and research fund increase.

Key words: fundamental research; liquid propulsion technology; innovative development

收稿日期: 2009-12-13; 修回日期: 2010-01-19。

作者简介: 谭永华 (1964—), 男, 研究员, 研究领域为液体动力系统总体设计。

0 引言

基础研究是指认识自然现象、揭示自然规律,获取新知识、新原理及新方法的研究活动。包括以认识自然现象、揭示客观规律为目的的探索性基础研究,以解决国民经济、社会发展及科学自身发展中重大科学问题为目的的应用基础研究^[1]。

液体动力技术基础研究是探索液体火箭发动机工作时所发生的流动、传热及燃烧等过程的基本规律和掌握发动机结构动、静力学特性和力学环境适应性的研究工作。液体动力技术基础研究涵盖液体火箭发动机热过程技术和液体火箭发动机构造与环境技术等。其研究内容涉及液体推进剂喷雾燃烧过程、工质与结构间复杂传热过程、液体推进剂物理化学特性、流体流动过程(如涡轮泵中复杂流动过程)、发动机系统动力学、结构动静力学特性与力学环境、发动机试验技术、特种密封技术及工艺制造技术等。

世界航天技术发展的历史经验表明,基础研究是推动液体动力技术进步的先导和提升自主创新能力的平台。在太空经济时代来临的大背景下,为不断提高我国液体动力技术水平以更好满足国民经济和国防建设需求,应大力加强基础研究。在这一重要领域如没有坚实基础和重大建树,缺乏原始创新能力,将很难在未来日益激烈的全球化航天科技竞争中取得优势和主动地位。

1 液体动力技术基础研究在型号研制中的地位和作用

在我国液体动力技术发展过程中,科技人员在相对有限的条件下,充分挖掘实验设备潜力,开展了大量基础研究。在液体动力技术基础理论与设计准则创建、提高航天产品的质量与可靠性、支撑关键技术攻关及引领液体动力技术创新发展等方面发挥了重要作用。

1.1 基础理论与设计准则的创建

多年来,开展了液体推进剂物理化学性质、

化学动力学特性、热力和输运参数计算方法、喷雾燃烧特性、燃烧不稳定性抑制技术、传热特性、组合件性能计算方法、喷管造型、低温推进剂技术及结构力学特性等领域的基础研究,提出了我国液体火箭发动机性能和强度计算方法,开发了具有自主知识产权的计算软件,制定了液体火箭发动机设计规范。

此外,还在液体火箭发动机试验及工艺技术领域开展了基础研究,范围涵盖液体火箭发动机基本工作过程试验技术、组合件性能试验技术、发动机缩比试验技术及发动机整机试验关键技术等方面。通过引进具有世界先进水平的单喷嘴燃烧稳定性和燃烧室高频燃烧稳定性模拟试验台,研究并掌握了单喷嘴燃烧稳定性模拟试验和高频燃烧稳定性模拟试验技术,建立了模拟试验准则。

基础研究为我国液体动力技术基础理论创建做出了重要贡献,为我国自主研制液体火箭发动机奠定了基础。

1.2 提高航天产品的质量与可靠性

提高航天产品质量与可靠性的关键之一在于提高设计水平,而高水平的设计来源于扎实、深入的基础研究。在长期的型号研制过程中,基础研究对于提高各型发动机的质量和可靠性、保证发动机在历次飞行任务中很高的成功率发挥了重要作用。

某型火箭主发动机研制中,启动阀管路在试车中多次断裂。通过大量结构特性分析和模态试验研究,解决了这一问题;某高空发动机研制中,开展了热泵气蚀、二次点火前两相流动问题的研究,为发动机系统和结构改进提出了建议,成功解决高空二次点火相关技术问题,确保了发动机工作可靠性;液氧/煤油发动机研制中经过大量模态试验,辨识出了发动机的低频动态特性。据此经改进设计,使单机助推发动机和双机助推发动机均达到总体规定的一阶频率要求,为保障新型运载火箭的可靠性做出了贡献;氢/氧发动机研制中,通过模态试验成功解决涡轮泵次同步振动问题,显著提高了涡轮泵组件工作可靠性;姿轨控发动机研制中,射流撞击雾化燃烧过程和液膜冷却等基础研究工作为提高发动机的性

能和可靠冷却提供了重要保证。

1.3 支撑关键技术攻关

基础研究在型号研制关键技术攻关过程中,起到了不可替代的重要作用。

早期某型发动机研制中,遇到了不稳定燃烧这一液体火箭发动机研制中难度最大的技术关键。为此开展了燃烧不稳定性抑制技术的攻关,进行了不稳定燃烧机理分析和多种工程抑制措施的研究,采用隔板加液相分区等措施,消除了该发动机的不稳定燃烧现象^[2]。

高空发动机研制中,归纳了10个需要攻关的关键技术,其中推力室冷却技术尤为重要。通过对 N_2O_4 冷却特性进行试验研究和理论分析及推力室传热计算,揭示了发动机工作条件下 N_2O_4 在亚临界区临界热流低而烧毁热流高的原因,在沸腾理论上实现了一次突破,并在发动机中成功实现用 N_2O_4 对推力室进行冷却。

在液氧/煤油发动机研制中,开展了推力室收扩段冲压成型过程数值仿真,准确预测了成型过程应力变化、危险点及失稳模式,确定了成型模具参数和热处理流程,突破了液氧/煤油发动机研制的关键工艺技术,解决了加工过程中喉部局部失稳而出现的冷却通道阻塞问题,使一度陷入僵局的推力室研制能够继续进行。

1.4 引领液体动力技术创新发展

液氧/煤油发动机、氢/氧发动机、月球着陆探测器发动机、单组元凝胶推进剂发动机、亚燃冲压发动机及电推进发动机等型号研制中集中展示了基础研究引领技术创新的作用。

在液氧/煤油发动机研制过程中,对我国克拉玛依油田和大庆油田等多个产地的煤油产品进行了传热和结焦特性研究,验证了国产煤油作为液氧/煤油发动机燃料的可行性。这一重要研究成果不仅为国产液氧/煤油发动机的成功研制提供了重要保证,还为掌握高压补燃发动机推力室冷却技术奠定了基础。液氧/煤油发动机涡轮泵技术、特种金属密封技术、燃气发生器缩比试验技术、发动机系统动力学仿真、系统低频特性(POGO)仿真及试验技术等领域的研究,极大地推动了这些领域的技术再创新。

氢/氧发动机气液喷嘴喷雾燃烧技术和燃烧室冷却技术领域的基础研究不仅有力地配合了大推力氢氧发动机的型号研制,还使我国在低温推进剂液体火箭发动机热过程技术领域的研究取得了重要进展。

在月球着陆探测器发动机研制过程中,开展了针栓式喷注器喷雾燃烧特性、月球着陆探测器热防护技术及折损喷管仿真等基础研究工作,推动了我国大变比变推力发动机技术发展。

推进剂特性领域的基础研究成果引领了武器系统新技术发展,推动了新型动力系统在型号中的应用。单组元凝胶等推进剂在实际应用中展示出良好的性能。

2 国内外液体动力技术基础研究概况

2.1 国外液体动力技术基础研究概况

世界各主要航天大国在液体动力技术发展中均高度重视基础研究。俄罗斯、美国、欧洲、日本等都形成了比较完善的研究体系,拥有先进的实验研究手段和仿真计算条件,在发展过程中产生了大量研究成果,为技术发展提供了强有力的支撑。

(1) 俄罗斯

俄罗斯液体动力技术基础研究主要集中在热过程研究所(科尔德什中心)、莫斯科航空学院、化工机械研究所、鲍曼理工大学及喀山航空学院等研究所和高等院校。俄罗斯液体动力技术基础研究起步较早、覆盖面宽、研究深入、与工程结合紧密,其主要的研究领域有:

- 液体火箭发动机喷雾、燃烧过程;
- 液体火箭发动机燃烧不稳定性;
- 液体火箭发动机传热过程;
- 各种不同液体燃料冷却性能;
- 高温和低温条件下材料及镀层与富氧环境的相容性;
- 动力装置热辐射特性;
- 发动机结构热强度特性;
- 不同推进剂组合的点火过程。

俄罗斯拥有数量庞大、功能齐全的各种研究

试验台。如热过程研究所的高频不稳定性模拟试验台和化工机械研究所的单喷嘴模拟试验台。这些实验系统在降低大型液体火箭发动机研制技术风险方面发挥了重要作用,为 PD-170 等发动机研制初期的燃烧稳定性研究做了大量工作。

在液氧/烃类液体火箭发动机技术基础研究领域,俄罗斯进行了非常成功的研究。其主要研究工作有:高压条件下煤油的传热和结焦特性研究、同轴离心式气/液喷嘴的喷雾燃烧特性、高富氧环境下同轴离心式液/液喷嘴喷雾燃烧特性、高压条件下煤油液滴蒸发燃烧特性研究、高压推力室冷却技术、高压推力室燃烧不稳定性及富氧燃气通道金属颗粒对结构安全性的影响等。进入 21 世纪之后,虽然俄罗斯的液体动力技术已经趋于成熟,但基础研究仍在不断发展。

(2) 美国

美国液体动力技术基础研究单位主要有马歇尔空间飞行中心 (MSFC)、格林研究中心、喷气推进实验室 (JPL)、兰利研究中心及宾夕法尼亚州立大学推进工程研究中心 (PERC) 等。美国拥有最为齐全和先进的实验设备,对液体动力技术进行了广泛而深入的基础研究。其主要研究领域包括:

- 液体推进剂射流破碎机理;
- 液体火箭发动机喷注单元喷雾特性研究;
- 单喷注单元及多喷注单元的燃烧特性;
- 液体火箭发动机燃烧不稳定性;
- 凝胶推进剂喷雾特性;
- 模型发动机燃气组分及温度分布特性;
- 液体火箭发动机燃烧和传热过程数值仿真;
- 液体火箭发动机冷却技术;
- 太空环境下液体火箭发动机燃烧特性;
- 烃类推进剂结焦、积炭及传热特性研究;
- 各种不同推进剂组合点火技术。

在氢氧发动机技术基础研究方面,美国长期以来进行了深入、持久的研究,使其在该领域一直居于世界领先,并为航天飞机主发动机的研制奠定了坚实基础。研究中发展了多种激光诊断技术,如使用 OH 根辐射成像技术对流场进行可视化研究,使用 OH 和 O₂ 的激光诱导荧光 (PLIF)

技术进行反应区的判断,气液界面和射流的破碎长度使用弹性光散射 (ELS) 技术进行测量,温度的定量测量使用相干反斯托克斯拉曼散射 (CARS) 技术等。燃烧不稳定性是美国液体动力技术基础热过程研究中长期持续研究的重要课题。20 世纪 60 年代,美国阿波罗计划推动了大量燃烧不稳定性研究工作,发展了大量理论分析模型和实验测试技术。

(3) 欧洲

欧洲在液体动力技术基础方面的研究机构主要集中在法国和德国。

法国的研究机构主要有法国航空航天研究发展局 (ONERA)、法国国家科学研究中心 (CNES) 和巴黎 Malabry 中央大学。ONERA 拥有进行低温推进剂燃烧研究的 Mascotte 高压燃烧实验台和从事 C、H、O、N 元素燃烧特性研究的 LAERTEL 实验室。

德国的研究机构主要有德国宇航中心 (DLR) 属下的 Lampoldshausen 研究中心、德累斯顿大学和慕尼黑大学。Lampoldshausen 中心技术部主要负责热过程基础研究工作,其宗旨是为阿里安火箭动力系统提供技术支撑,拥有高压燃烧实验台 P8 和低压燃烧实验台 M3 等,目前主要从事低温推进剂和烃类推进剂的喷雾燃烧、喷管流场研究、传热和流动测量技术研究、热结构分析及燃烧室寿命预估等。

(4) 日本

日本液体动力技术基础研究主要在 KAKUDA 宇航中心 (KSPC) 进行。该研究中心建有液体火箭燃烧试验台、高空试验台、高压液氧涡轮泵试验台及供应系统试验台等。燃烧试验台主要研究氢/氧推进剂的燃烧过程,另外也进行高可靠性燃烧装置及其他新型燃料的研究工作。KAKUDA 宇航中心对日本的 LE-5、LE-5B、LE-7 和 LE-7A 等液体火箭发动机及先进推进系统的研究发展提供了重要的基础技术支撑。

2.2 国内液体动力技术基础研究概况

国内从事液体动力技术基础研究的主要单位有航天推进技术研究院、国防科学技术大学、北京航空航天大学、哈尔滨工业大学及西北工业大

学等。

航天推进技术研究院建设了激光全息雾化系统、PLIF激光诱导荧光混合比测量系统、单喷嘴燃烧不稳定性实验系统、高频燃烧不稳定性实验台、亚/超声速燃烧实验系统及电推进实验系统等。在高压大热流推力室冷却技术、煤油传热特性分析、烃类发动机离心同轴式喷嘴燃烧不稳定性研究、膜冷却技术、层板喷注器雾化燃烧技术、针栓式喷注器技术、凝胶推进剂流动及雾化燃烧技术、煤油在亚声速和超声速环境下的燃烧技术和相关的热结构技术、脉冲爆震燃烧技术、微型发动机关键技术及稳态等离子体推力器关键技术等领域开展了研究工作。

国防科学技术大学在液体火箭发动机的喷雾燃烧理论、模型及应用方面进行了长期的深入研究,对多种推进剂组元液滴的亚临界/超临界蒸发及燃烧过程进行了深入的理论分析,建立了液滴亚临界/超临界蒸发及燃烧过程的数学模型。在液体火箭发动机推力室工作过程、超燃冲压发动机基础实验和仿真、三组元液体火箭发动机实验和仿真及燃烧不稳定性研究等领域进行了大量研究。建设了激光诊断系统,如PLIF和CARS等。

北京航空航天大学在液体火箭发动机的燃烧与流动、传热与热结构、现代设计与工作过程仿真及新概念发动机等领域做了很多基础理论研究。近些年在喷嘴动力学、全流量补燃循环发动机、发动机工作过程及真空羽流效应等方面进行了很多数值仿真和实验研究工作。

2.3 国内外液体动力技术基础研究对比

我国航天液体动力技术在特定的历史条件下,走出了一条以型号研制带动基础科研的道路,形成了基础研究与工程型号研制协同发展的模式。在我国航天液体动力技术从最初的仿制、改型到今天的独立设计高性能发动机的发展历程中,基础研究起到了应有的作用。根据未来发展和创新需求,应当确立基础研究在技术发展中的先导地位,促进液体动力技术又好又快发展,缩小与世界航天强国的差距。

当前我国液体动力技术水平与世界航天强国相比,尚有明显差距,特别是基础研究领域。

2.3.1 基础研究体制机制不同

国外航天液体推进技术基础研究领域在长期的发展中能够取得较大的成果,除了几十年来持续发展的积累外,其研究体系建设、激励技术创新的机制方面有许多值得借鉴的地方。

首先,国外的研究体系比较健全。在高等院校与工程研制单位之外,有专门进行液体动力技术基础研究的研究机构,如俄罗斯科尔德什中心、美国的马歇尔飞行中心、德国的Lampold-shausen研究中心等。这些研究机构的中心任务是从事基础研究,其研究的侧重点明显有别于高校和工程研制单位。高等院校偏重理论基础,工程研制单位偏重技术应用,而基础研究机构则介于两者之间,注重运用基础理论解决液体动力技术中的具体问题,侧重于应用基础研究。因此这样的基础研究机构在高校和工程研制单位之间搭建起了一个桥梁。国内液体动力技术领域缺少介于高校和工程研制单位之间从事基础研究的专门研究机构。

其次,国外基础研究与工程型号研制以及与高等院校的基础理论研究具有紧密的联系,在研究中分工明确、协作充分。如俄罗斯热过程研究所与能源机械联合体等在液体动力技术研究中构建了非常紧密的联系。这种紧密联系有着体制机制上的基础。热过程研究所具有高级职称的研究人员,几乎都在高等院校兼任教学职务,同时也在能源机械联合体兼职。高校的教授在热过程研究所、能源机械联合体这样的单位兼职,能源机械联合体的工程技术人员也在高等院校和基础研究单位任职。这样一种兼职的机制,很容易促进工程单位、基础研究机构和高等院校之间的沟通。这种形式有力地促进了理论与工程实际的紧密结合,推动了技术和基础理论的发展。我国目前一般高校和工程单位仅通过一些课题研究进行合作。两者之间的联系缺少常态化和机制化,不利于高校与工程研制单位的技术交流。

第三,国外的基础研究单位对外开放的程度较高。在俄罗斯、美国、德国等国的基础研究机构中,一般都可以看到长期或者短期在那里工作的外国学者或学生。这种开放机制非常有利于不

同国家研究人员之间的学术交流,有利于本单位的研究人员开拓思路,汲取他人的长处。而我国的研究单位,对外较为封闭。

2.3.2 国内研究经费投入不足

经费投入不足造成两方面的差距:其一,缺乏完备的试验设施;其二,基础研究单位规模过小。

国外在基础研究试验设施上进行了大量的投入,具备功能齐全、种类繁多的试验设施。国外研究单位的试验设施主要针对液体动力系统热过程及力学与环境技术的基本现象、基础理论、模型验证等方面的研究而设,主要为原创性、基础性研究服务,具有较强的针对性,与型号研制单位的试验系统有显著不同。我国在液体动力技术领域的实验设备投入主要针对型号研制任务,资金偏重于投入工程型号研制试验设施建设,较少针对基础性研究,这使得国内在基础研究方面的实验设备与国外相比尚有较大差距,许多关键基础性研究较难开展。

国外液体动力技术基础研究单位规模较大,多学科、多领域研究人员汇集,具有很强的基础研究能力。例如,俄罗斯克尔德什中心(热过程研究所)拥有近3000人的科研人员队伍,而航天推进技术研究院整建制的基础研究部门仅有近40名研究人员,其规模无法相比。

2.3.3 仿真能力差距明显

俄罗斯、美国、欧洲等在液体动力技术基础研究中,注重理论分析、实验研究及数值仿真三者的结合,拥有相当数量的研究人员长期从事液体火箭发动机数值仿真研究,开发出大量仿真软件。而国内在仿真方面,无论是软件还是硬件,尚未形成应有的规模。同时,国内仿真研究与实验研究和理论分析存在较为严重的脱节现象。

2.3.4 原始创新能力不足

我国液体动力技术基础研究与其他领域的基础研究共同存在的一个不足之处是研究工作创新性低。科研人员为了保证在较短的几年内就有成果产出,选题和技术路线往往以跟踪模仿为主,更愿意进行创新性较小、成功几率大的工作。因此很难围绕某一方向进行持续、深入的系统研究^[9]。这就违背了基础研究所固有的周期长、

厚积薄发、探索性强的基本规律,影响了研究的创新性。

3 提升基础研究平台能力的对策

在液体动力技术基础研究领域,我国与国际先进水平尚存在较大差距。在这一领域如果长期处于落后的地位,对未来发展将造成长远不利影响。当前,国民经济和国防建设对我国航天事业发展提出了新的更高要求,迫切需要研制更新型的高性能液体动力系统。为了保障大型航天活动的顺利实施,需要研制更大推力的液氧/烃和氢/氧发动机;天地往返运输系统及武器的发展须掌握可重复使用液体火箭发动机技术和吸气式推进技术;为满足空间信息系统及深空探测的需求,需要发展高性能轨道机动发动机、高性能空间推进系统、电推进及核/热一体化动力系统。因此,急需提升液体动力技术基础研究平台能力,为型号研制提供强大技术支撑。

3.1 统筹规划,优化整合资源,发挥整体优势

抓住液体动力技术成功完成专业重组这一契机,对基础研究进行统筹规划、统一部署,优化整合资源,形成基础研究整体优势。

(1) 建设基础研究中心

依托现有基础研究平台,完善液体动力技术研究体系,对研究资源实施优化整合,构建基础研究中心。在中心集中进行基础研究硬件平台建设。硬件平台主要由喷雾试验研究条件、燃烧与传热试验研究条件、力学环境试验研究条件及仿真计算硬件条件等组成。在此基础上,积极推进航天液体动力技术国家(国防)重点实验室建设。

(2) 设立顶层策划机构

在基础研究中心设立液体动力技术基础研究的顶层策划机构——基础研究专家委员会。委员会成员由相关领导、基础研究中心专家及高校知名教授组成,委员会的职责是确定基础研究方向和每年的研究课题,审议基础研究成果。

3.2 体制机制创新,营造基础研究良好氛围

3.2.1 完善基础研究创新机制

应大力支持和鼓励基础研究人员从型号研制

中提炼出适合自己研究方向的研究课题,大胆探索,做好自由探索与解决特定工程问题的定向应用研究之间的平衡。应建立起向原始创新倾斜的奖励和激励制度,激活科研人员的创新能力,并改进和完善评价体系,使科学评价切实反映研究工作的长远科学价值、社会价值及潜在的经济价值,充分体现基础研究具有的长期性和前瞻性特点^[45]。

3.2.2 健全型号研制与基础研究有效融合机制

进一步健全型号研制与基础研究的有效融合,对目前型号研制管理体制进行改进,建立相应的机制,保证从型号研制初期基础研究能尽早介入。

3.2.3 建立健全合作、开放机制

基础研究条件对院内开放:各研究所的设计人员可申请到基础研究中心进行短期培训,参与中心课题的研究工作,也可自带课题利用中心设备和人才优势开展研究工作,研究工作期限可以采用固定期限或不固定期限。在读研究生也可以进入中心进行课题研究和专业培训。

基础研究条件对国内开放:高校教师可自带课题,利用中心设备开展研究工作,也可申请参与中心的课题研究任务。试验和仿真研究条件对社会开放,可根据合同要求开展研究工作。

基础研究条件对国际开放:提出一部分基础研究课题,吸收国际优秀人才来中心开展合作研究;安排一定的科研经费,邀请国际著名专家来中心开展技术交流。

推广国内访问学者等制度,促进人员的交往和流动,在此基础上进一步仿照国外模式,将人员的交流以常态化方式固定下来,如采取兼职的方式。

3.3 多渠道筹措经费,加大投入力度

我国液体动力技术基础研究投入偏低是长期以来制约基础研究发展的重要因素,应结合我国国情,多渠道筹措经费,逐步加大投入力度。

在整个专业领域基础研究发展统一规划指导下,优先发展跨学科的公共研究平台,建成若干世界一流的多学科试验平台,为重点领域研究提供先进的工具,并依托这些支撑能力,建成具有

国际竞争力的大型基础科研基地^[4]。

加快落实现有基础研究平台技改项目资金和技改实施步伐,完善基础研究急需的实验设备,为提升基础研究平台的创新能力提供一个好的硬件环境。

鼓励各单位建立和扩大如研究基金、创新基金等各种基金项目,保证基础研究人员在一些领域获得有效的研究经费支持。拿出一定比例企业创新基金,充实基础研究资金来源。

3.4 加强队伍建设,培养高素质研究人员

践行科学发展观,坚持以人为本,加快智力资本的积累,为液体动力技术基础研究发展提供充足的人才储备^[9]。

研究队伍由四个层次组成:核心研究人员、客座研究人员、研究生及试验系统管理人员。

营造良好的用人环境,坚持竞争激励与崇尚合作相结合,促进人才的有序流动;坚持“人尽其用”的用人之道,发挥老、中、青科研人员各自的优势与积极性,实现基础研究人才队伍的“生态平衡”。高度重视和加强高技能科研辅助人才和管理人才的培养。改进管理,减轻各种非学术性负担,确保科研人员特别是学术带头人能集中精力在第一线从事研究。

4 结束语

基础研究是科技进步的先导,是自主创新的源泉。面对日益激烈的航天液体动力技术领域的国际竞争和国内的发展需求,应改变过去以型号带动基础科研的发展模式,转变到以基础研究引领技术发展的模式,将基础研究放在重要的位置,努力做到“发展航天,动力先行;基础研究,超前规划”。对基础研究给予持续稳定支持,制定切实可行的扶持政策,营造激励创新的用人环境;突出支撑引领,针对关键问题和瓶颈问题,促进基础研究与型号研制紧密结合。推动我国液体动力技术实现新的更大发展,使我国液体火箭动力技术水平跃上一个新台阶。

(下转第24页)

以有效降低设计难度,提高发动机寿命。

3 结论

采用数值模拟方法比较了富氢/富氧燃气气-气喷嘴和常温氢氧气-气喷嘴的区别,研究了富氢/富氧燃气温度对气-气喷嘴燃烧性能和传热性能的影响,结论如下:与常温氢气/氧气相比,富氢/富氧燃气推进剂可以使燃烧在更短的燃烧室长度内完成,也会使燃烧室热载显著增加;富氢/富氧燃气温度的增加对燃烧性能的提高不明显,但会增加燃烧室壁面和喷注面板的热载,富燃燃气温度增加对热载影响更为明显。

参考文献:

- [1] Cai Guobiao, Wang Xiaowei, Jin Ping, et al. Experimental and Numerical Investigation of Large Mass Flow Rate Gas-Gas Injectors[R]. AIAA-2008-4562.
- [2] Vaidyanathan A, Gustavsson J, Segal C. Heat Fluxes/OH PLIF Measurements in a GO_2/GH_2 Single-element, Shear Injector[R]. AIAA-2007-5591.
- [3] Conley A, Vaidyanathan A, Segal C. Heat Flux Measurements for a GO_2/GH_2 Single-Element, Shear Injector[J]. Journal of Spacecraft and Rockets. Vol.44, No.3, May-June 2007.
- [4] Vaidyanathan R, Tucker P. K, Papila N, et al. Computational-fluid-dynamics-based Design Optimization for Single-Element Rocket Injector. Journal of Propulsion and Power[J]. Vol.20, No.4, July-August 2004.
- [5] Shyy W, Kevin T P, Vaidyanathan R. Response Surface and Neural Network Techniques for Rocket Engine Injector Optimization [J]. Journal of Propulsion and Power. 2001, 7 (2): 391-401.
- [6] Lin J, West J S, Williams W R, et al. CFD Code Validation of Wall Heat Flux Heat Fluxes for a GO_2/GH_2 Single Element Combustor [R]. AIAA-2005-4524.
- [7] Marshall W M., Pal S. Benchmark Wall Heat Flux Data for a GO_2/GH_2 Single Element Combustor[R]. AIAA 2005-3572.
- [8] 中国航天工业总公司. 世界导弹与航天发动机大全[M]. 北京: 军事科学出版社, 1999.
- [9] Sozer E, Vaidyanathan A, Segal C, et al. Computational Assessment of Gaseous Reacting Flows in Single Element Injector[R]. AIAA 2009-449.
- [10] Shang M, Chen Y, Paul L. Investigation of Chemical Kinetics Integration Algorithms for Reacting Flows [R]. AIAA 95-0806.

(编辑: 陈红霞)

(上接第7页)

参考文献:

- [1] 叶玉江. “十一五”我国基础研究发展方向[J]. 中国科技论坛. 2007(1): 9-12.
- [2] 段增斌. 中国大型液体火箭发动机研制 [J]. 火箭推进, 2000, 26(1): 15-30.
- [3] 王静, 张延东. 关于加大基础研究稳定支持力度之思考和建议[J]. 中国科技论坛, 2008(5): 20-23.
- [4] 林豆豆, 田大山. MPG 科研管理模式对创新我国基础研究机构的启示[J]. 自然辩证法通讯, 2006, 28(4): 53-59.
- [5] 陈佳洱. 基础研究: 自主创新的源头 [J]. 科学咨询. 2005, 23(11): 11-14.
- [6] 陈敬全. 从科学发展观的角度审视我国基础研究的发展 [J]. 中国科学基金, 2007(3): 153-156.

(编辑: 马杰)