

国外高超声速技术计划回顾与展望

An Overview and Perspective of Hypersonic Technology Development Plans

钟萍 王颖 陈丽艳 / 中国空气动力研究与发展中心

摘要:回顾了近年来国外高超声速技术发展计划,总结了这些国家开展的飞行演示试验及地面试验的最新进展。

关键词: 高超声速; 计划; 飞行试验; 地面试验

Keywords: hypersonic; plan; flight test; ground test

0 引言

人类经过半个世纪的努力,在吸气式高超声速系统飞行试验领域取得了突破性进展。

因为高超声速飞行武器将把飞行时间减少一个数量级,并会极大地增加攻击时间,增加攻击关键目标的成功率,所以吸气式高超声速技术的发展对未来作战武器的研制也具有重要价值。

本文对世界范围内近年实施的高超声速飞行器发展计划与飞行试验进行了回顾与展望。

1 法国高超声速计划

1.1 PREPHA计划

法国于1992年启动了一项名为PREPHA的先进高超声速推进国家研究与技术计划。该计划集中于氢燃料超燃冲压发动机的研究与地面试验,并将导弹和可重复使用航天运载器确定为高速吸气式推进的中期应用目标,采用双模态冲压发动机为动力。

近10年来该计划主要开展的工作有:1)JAPHAR项目,历时4年,重点研究双模态超燃冲压发动机(DMR)的设计和地面试验及发动机在飞行器上的推进平衡作用,目标是高超声速巡航导弹。2)WRR项目,法俄联合开展的高超声速宽范围冲压喷气发动机计划,应

用于一种可变几何形状、马赫数3~12可重复使用运载器。3)PROMETHEE项目,是一项碳氢燃料双模态冲压喷气发动机计划,确定了一种新颖的双模态、可变几何形状冲压发动机概念,用于通用的高超声速空对地导弹。4)A3CP,先进复合燃烧室计划,任务是发展和确认与超燃冲压发动机需求相兼容的复合热交换器设计。5)PTAH-SOCAR先进燃料冷却复合材料结构技术研究。

1.2 LEA计划

法国于2003年1月启动了名为LEA的飞行试验计划,主要目的是解决以双模态超燃冲压发动机为动力的高

超声速飞行器(小型试验飞行器LEA)在马赫数4~8飞行的关键技术。通过地面试验和数值模拟手段,确定高超声速飞行器研制方法,发展相应的试验或数值模拟工具,并通过一系列飞行试验加以验证。

LEA计划也被称为“法国版”的“Hyper-X计划”。2006年完成了基础设计评估,2009年完成了关键设计评估,在对S4设备进行性能提升后,预计于2011年进行自由射流试验,以验证气动-推进系统构型。图1给出了LEA计划的地面试验发展逻辑图。LEA飞行试验最终计划在2013至2014进行4次飞行试验。

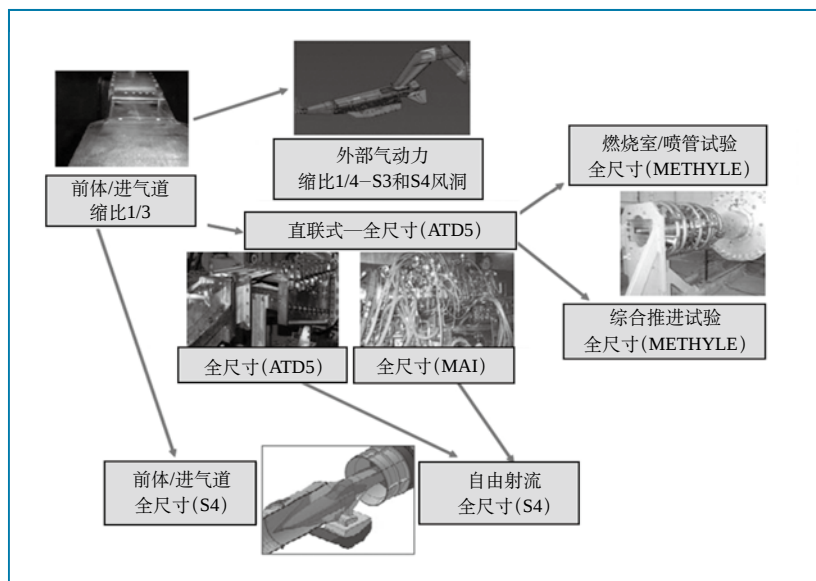
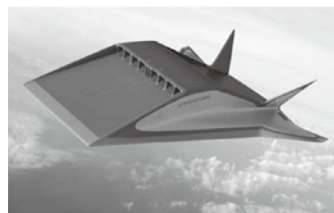


图1 LEA计划空气动力学与推进地面试验逻辑图



(a) 马赫数5飞行器方案, LAPCAT-A2



(b) 马赫数8飞行器方案, LAPCAT-MR1

图2 LAPCAT计划的飞行器方案

2 欧洲的先进推进概念与技术 (LAPCAT) 计划

LAPCAT计划由欧洲委员会倡议资助,目的是研究和发展适用于持续高超声速飞行的推进方案及相关技术,用更短时间实现远距离民用飞行。

该计划分为几个阶段。第一阶段于2005年开始,为期3年,目标是鉴定和评估减少远距离飞行时间所需的关键推进技术,重点是评估各种推进方案,研究结果形成了基于马赫数4~8的各种TBCC和RBCC飞行器方案,燃料采用煤油或氢。已经开展的燃烧实验集中于4个领域:利用德国航空航天中心(DLR)的直连管设备开展超声速燃烧试验;利用德国的高焓激波风洞(HEG)开展完整超燃冲压发动机布局的燃烧试验,采用HyShot II和HyShot IV两种布局的试验模型;高压燃烧下碳氢燃料离解过程的激波管研究;小型燃烧室中研究液氧/碳氢燃料的高压燃烧。

第二阶段计划于2008年启动,在第一阶段得出的几种飞行器方案中仅选取两种方案,马赫数5和马赫数8巡航飞行器(图2)。该项目将持续4年,目标是鉴定整个设计过程不同的物理模型以及最终的高超声速巡航器的可行性。马赫数5飞行器的工作主要集中于进气道、燃烧室和喷管的设计与性能考察,以及结构分析等。马赫数8飞行器的工作主要集中于发动机-机体一体化工具和方法的开发与确认、高速吸气式循环分析和各种运行方案关键

点设计的试验评估。

3 美国高超声速计划

3.1 Hyper-X计划及X-43A飞行试验

Hyper-X计划以高超声速飞机为应用背景,目标是检验、验证和开发以高超声速运行、用氢作为燃料的超燃冲压发动机为动力的飞行器所需的实验技术、计算方法和分析设计工具。要完成此目标需要获取以超燃冲压发动机为动力的飞行器飞行数据。为此,设计了三个Hyper-X研究飞行器,称为X-43A飞行器,其外形根据马赫数10巡航飞行全球到达方案的外形缩比设计。X-43A飞行试验的成功,证明了即使在小尺寸情况下,一体化超燃冲压发动机能为飞行器提供预期的性能和加速度。

3.2 海军的HyFly计划

高超声速飞行导弹计划(HyFly)是由海军研究办公室(ONR)和美国国防高级研究计划局(DARPA)联合开发的武器研制计划,目的是以飞行方式发展和验证液态碳氢燃料超燃冲压发动机为动力的导弹方案,飞行马赫数6.5(巡

航高度27千米),射程1100千米。2002年5月首次成功开展使用常规液态碳氢燃料的全尺寸、完全一体化的高超声速巡航导弹发动机地面试验(图3左),采用双燃烧室冲压喷气发动机(DCR)方案。HyFly导弹布局由推进结构和作战段结构组成(图3右),运载器是F-15E1飞机。2004年进行了第一次助推试验飞行器(BTV)试验;2005年进行了分离试验飞行器(STV)试验,飞行中出现了异常,因而又进行了第二次BTV试验,飞行马赫数达3.5;随后进行的两次飞行试验飞行器(FTV)试验分别于2007年和2008年完成。

3.3 空军的HyTech计划与X-51A飞行试验

高超声速技术计划(HyTech),由美国空军研究实验室于1995年提出并负责实施,旨在对马赫数4~8碳氢燃料的超燃冲压发动机进行可操作性、性能和结构耐用性地面试验,进而为DARPA的可负担得起的快速响应导弹演示器(ARRMD)提供发动机。HyTech计划既可用于发展远程高超声速导弹,也可用

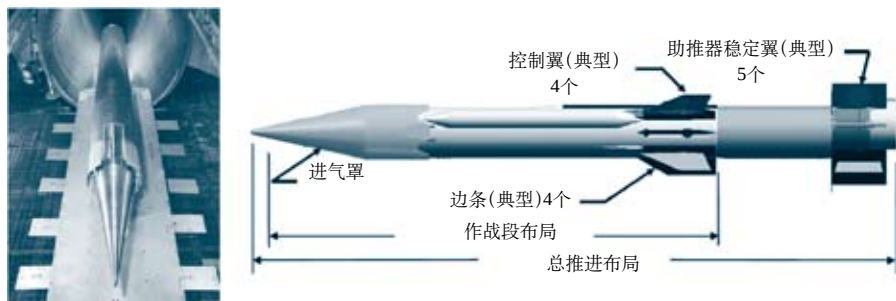


图3 HyFly全尺寸发动机地面试验模型(左)和飞行试验飞行器结构(右)

于发展未来空间进入飞行器。2003年,HyTech计划迈出了重要的一步,在NASA兰利研究中心完成了世界首例飞行重量的碳氢燃料超燃冲压发动机试验。

X-51A是美国空军研究试验室与DARPA联合推出的超燃冲压发动机演示验证器—乘波体(SED)飞行器,目的是对美国空军HyTech项目的超燃冲压发动机进行飞行试验,获取如下信息:一是获得主动冷却、自主控制运行的超燃冲压发动机的地面和飞行试验数据,以深入理解物理现象,开发设计超燃冲

压发动机的计算工具;二是验证吸热型燃料超燃冲压发动机在实际飞行状态下的生存能力;三是通过自由飞行试验,使超燃冲压发动机产生足够的净推力,验证飞行器的生存能力。自2001年开始,HyTech计划持续开展了大量的地面试验(图4)。试验证实,发动机性能和运行能力满足X-51A要求。

3.4 “猎鹰”(FALCON)计划

美国空军和DARPA于2003年启动的FALCON计划,是一项提升高超声速飞行技术和发展新的低成本空间发射

系统的双目标联合计划,目的是发展和验证能实现迅速全球到达任务的高超声速技术。该计划的最终任务是研制一种可重复使用的高超声速巡航飞行器(HCV),能以接近马赫数10的巡航速度到达全球任何地方。

目前,FLACON计划正在发展和验证高超声速巡航飞行器需要的一些技术:高升阻比空气动力学,高速、基于涡轮的组合循环推进,高温材料,热防护系统,以及先进的制导、导航和控制。通过发展一系列高超声速技术飞行器(HTVs)来增强验证这些飞行中的所需技术。HTV-1是一个先进的无动力、可机动、低风险高超声速再入飞行器。HTV-2将进行高超声速助推滑翔飞行器的飞行演示。HTV-3X是一个高度一体化的试验平台,将进行基于涡轮的一体化组合循环马赫数6飞行器的可重复使用飞行演示,用来验证一些关键技术,如高升阻比的高效气动外形、轻质耐用的高温材料,以及主动冷却的热管理技术、自主飞行控制和基于涡轮的组合循环推进。HTV-2已经分别于2010年4月和2011年8月进行了飞行试验,两次试验都未成功,说明还存在一些技术难题。

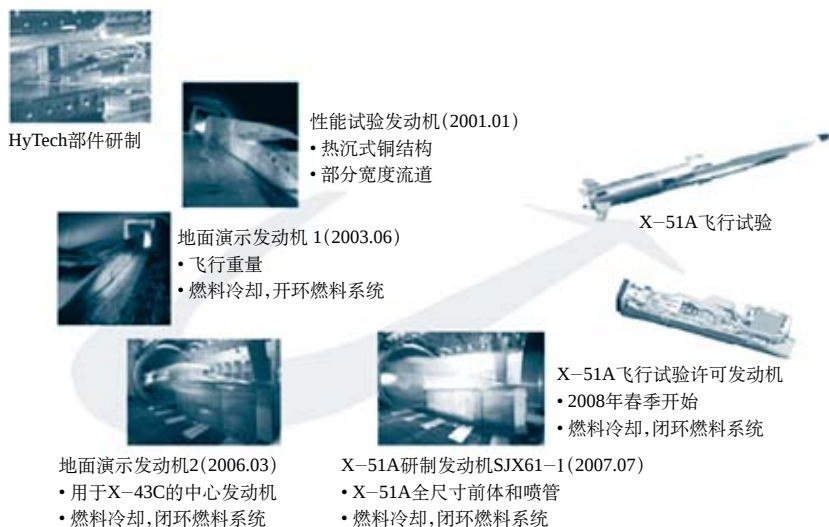


图4 HyTech至X-51A计划超燃冲压发动机地面试验的发展

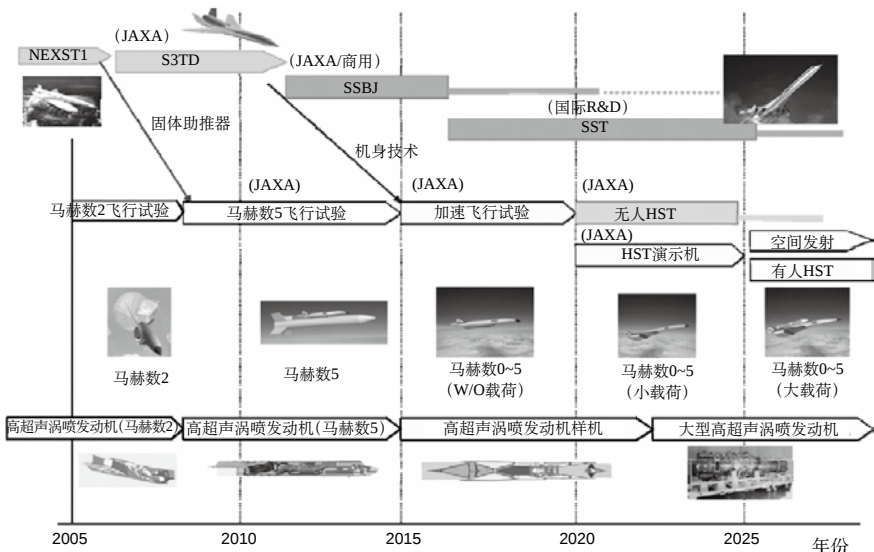


图5 日本高超声速飞机研究与发展路线图

4 日本高超声速技术计划

2006年,日本制定了2025高超声速吸气式飞行器技术成熟化发展路线图(图5),提出发展马赫数5以上的高超声速巡航飞行器和空间进入二级入轨(TSTO)技术的双用途计划。目前的飞行器方案按用途分飞机、航天运输系统、无人和有人飞行器4类。具体目标是:在20年内对马赫数5的高超声速飞行器系统技术进行飞行检验。具体步骤是:5年内,通过静态超声速飞行验证器对先进的机体设计技术进行验证,在高速推进系统的研究与发展方面取得进展;10年内,适

用于高超声速飞行器的高超声速发动机与机体的一体化技术的研究与发展方面也将取得进展。目前已在高超声速技术的储备、高超声速发动机研究、涡轮-冲压发动机的地面试验、超燃冲压发动机研究等方面取得了突破性进展,基于火箭的组合循环发动机的小型验证发动机研制也取得进展。

5 意大利无人空间飞行器计划

意大利宇航研究中心正在国家航空航天研究计划(PRORA)的框架内实施一个名为“USV”(无人空间飞行器)的研究计划。“USV”是一个技术推动计划,目标是研究和发展支撑未来空间进入、再入和高超声速飞行器的诸多技术问题。该计划另一个重要目标是致力于发展这些技术和知识结构,以实现未来跨大气层高超声速商业飞行。“USV”计划的主要特点是要实现数值模拟、地面试验和飞行试验三者结合的“综合研究”。计划开展一系列的飞行试验,设计了无人飞行试验台(FTBs),分3个阶段进行。第一阶段任务包括与再入方式中的低大气层段相关的所有飞行和任务操作。从大约35千米高度到地面,重点放在跨声速和低超声速再入飞行器的气动结构和飞行控制上。第二阶段任务是马赫数6~8范围内的高超声速飞行。这一阶段任务被称为HFT(高超声速飞行试验),设计方案为通过执行“rockoon”来实现,即由同温层气球发射,并从气球上释放后由助推器点火实现加速。第三阶段任务设计为涵盖全部再入方式感兴趣的飞行范围,从低地轨道到地面。已经计划并在实施一系列复杂程度逐步提高的飞行试验任务。

6 德国的SHEFEX计划

德国的SHEFEX计划由DLR负责,

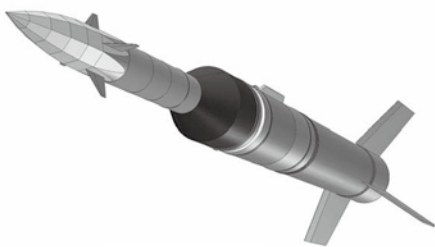


图6 SHEFEX II 系统布局

目的是为未来的高超声速运载器或再入飞行器研究一种可能的新的外形。通过应用小平面表面和尖缘外形来改进通常的航天飞行器外形。通过飞行实验,开展从90千米至20千米高度的高超声速飞行期间的流动效应的时间精确研究,并评估飞行器外形结构的合理性。

飞行试验采用二级探空火箭发射系统,SHEFEX I于2005年10月成功进行了飞行试验,飞行速度达马赫数6的飞行持续时间为20秒,获得了一套完整的有价值的空气动力数据。SHEFEX II(图6)将利用主动控制系统对试验飞行器进行重新设计,使飞行速度和再入飞行时间增加一倍,扩大飞行包线,实现再入过程中的全气动力主动控制。目前已经完成了所有子系统的关键设计,并计划在明年9月进行试飞。

7 结束语

本文对近年来国外高超声速技术相关计划做了回顾。可以看到,美国在高超声速技术领域取得了突破性的进展,其技术水平已经发展到利用飞行演示手段解决和回答一些关键技术问题,因而发展了许多相应的飞行演示方案,如Hyper-X项目的X-43A飞行演示计划、美国空军HyTech项目的X-51超燃冲压发动机演示验证器-乘波体(SED)飞行演示计划、FALCON项目的高超声速技术飞行器HTVs等。这些飞行演示计划都是要回答高超声速具体项目涉及的相关技术问题,确认和验证一些地面试验和

计算工具不能模拟和解决的问题,并作为发展适用型高超声速作战武器提供技术支持。美国的吸气式高超声速技术正在提高研制作战型高超声速飞行武器的技术储备等级,已经向实现空间进入的目标迈出了坚实的一步。

各国的计划也反应出自身的技术特点和发展思路,如SHEFEX II致力于试验新的再入制导和控制方法,在欧洲第一次用全气动力控制飞行器演示验证高超声速再入,代表了德国DLR大气再入和高超声速飞行的下一步技术发展方向。虽然欧洲的LAPCAT计划是一个民用飞行器计划,但其在研究过程中获得的关于燃烧与气动分析以及先进的吸气式发动机推进方案的成果与经验有重要的价值。这些技术同样可用于军事应用,稍微改进和推广就能用于发展高超声速作战武器和平台。

AST

参考文献

- [1] The DARPA/AF falcon program: The hypersonic technology vehicle #2 (HTV-2) flight demonstration phase[R]. AIAA2008-2539.
- [2] The french LEA flight test program - Status in 2008[R]. AIAA2008-2541.
- [3] Sustained hypersonic flight in Europe: technology drivers for LAPCAT II[R]. AIAA2009-7240.
- [4] The rationale for a hypersonic Air-breathing vehicle technology maturation[R]. AIAA2008-2579.

作者简介

钟萍,高级工程师,主要从事情报研究。

王颖,助理研究员,从事编辑工作。

陈丽艳,助理研究员,主要从事情报研究。