

# 天线罩烧蚀过程中热力耦合试验方法研究

李翔 周永鑫 夏吝时 张俊武 张昕

(北京航天长征飞行器研究所 高超声速飞行器防隔热技术中心, 北京 100076)

## 一、前言

高超声速飞行器航程远、飞行马赫数高, 还需在稠密大气层中做大攻角变轨机动飞行, 横向过载大、动压高、气动加热时间长、热载荷十分恶劣, 这就对天线罩的抗烧蚀和高温承载性能提出了很高的要求。以往的地面试验方法中, 对天线罩的强度和烧蚀试验均分开进行考核, 无法真正实现对天线罩烧蚀过程中高温承载性能的动态模拟。基于上述情况, 本文提出了一种试验方法, 利用高温燃气流和力学加载设备, 通过对天线罩试验件施加典型时刻下的气动热和力学载荷环境, 实现了对罩体烧蚀量和烧蚀过程中应力水平的动态模拟。

## 二、试验方案

在前期多轮试验方案论证工作的基础上, 最终确定在航天一院十四所烧蚀试验室的 YA6814 液体火箭发动机喷管试验台上进行天线罩烧蚀过程中热力耦合试验。采用喷管出口处的高温燃气流来模拟天线罩迎风面区域的烧蚀状态, 并通过选取合适的发动机工作时长对烧蚀量进行模拟。前期仿真结果表明高温燃气流产生的力学载荷达不到飞行环境下烧蚀区域的应力水平, 故需要在天线罩小端区域采用箍带施加额外的横向拉力以实现对天线罩烧蚀区域最大动压时刻载荷的模拟。试验方案的示意图如图 1 所示。

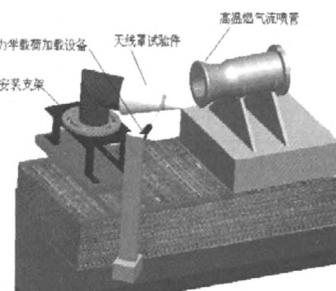


图 1 试验方案示意图

## 三、试验流程

紧扣热力耦合试验的目的, 试验需要模拟飞行环境烧蚀段内罩体的热环境和烧蚀量, 因此在流场调试的过程中, 首先须保证天线罩壁面峰值热流密度达到飞行环境下的状态。通过调整天线罩与发动机喷管出口处的相对位置, 经过数轮调整, 最终确定了天线罩与喷管的最终相对位置关系。在最终相对位置确定之后, 通过测压模型得到天线罩外壁面压力分布, 结合天线罩热力耦合三维强度计算, 进而确定横向力学载荷的数值。

试验时,先将横向拉力加载至天线罩小端,待加载稳定之后,发动机开车,通过高温燃气流对天线罩进行热力同时加载。试验过程中的天线罩状态见图 2,发动机停机后天线罩的冷却状态见图 3。天线罩烧蚀后,除工作区存在局部烧蚀外,罩体无裂纹及其它破坏形式,具有良好的高温承载性能。

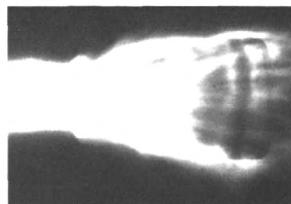


图 2 天线罩试验过程状态

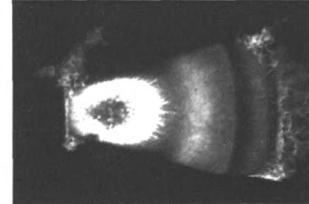


图 3 天线罩冷却过程状态

#### 四、试验结果分析

由于试验过程中罩体外部要受到高温燃气流的冲刷,因此本次试验的应变测点全部布置于罩体内表面。通过内表面典型截面的应变测量,进而了解整罩在试验过程中的应力水平。图 4 和图 5 分别给出了罩体母向和环向两个典型测点处的应变变化,第 57s 之前仅施加力学载荷,57s 至 62s 的 5s 时间段为力学载荷和高温燃气流同时加载。

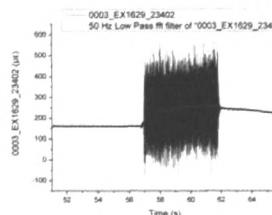


图 4 罩体母向应变测量结果

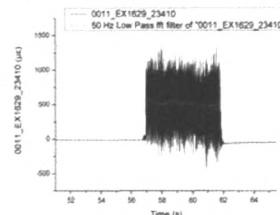


图 5 罩体环向应变测量结果

试验测试数据与飞行状态仿真数据对比如表 2 所示。本次试验主要目的测试罩体高温燃气流作用下的烧蚀和应力水平,因此应重点关注天线罩工作区的应力水平,从表 2 中可以看出,除母向压应力外,试验状态测出的罩体工作区的母向和环向应力值基本覆盖了飞行状态,甚至为过考核状态,因此达到了考核罩体工作区的强度目的。

表 1 天线罩应力结果对比

应力类别	飞行环境理论值 (MPa)	试验测试值 (MPa)
母向拉应力	4.79	5.53
环向拉应力	5.81	6.78
环向压应力	7.35	7.08

#### 五、结论

本次试验实现了对天线罩烧蚀和强度的双重考核,考察了天线罩在烧蚀过程中的动态过程,直接反映了在热力耦合作用下天线罩的可靠性与安全性,并为高超声速飞行器地面考核试验开辟了一条全新途径,为飞行器烧蚀防热分析设计和强度结构理论分析提供了有力的试验数据支撑。

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com)),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果, 又能免除您舟车劳顿的辛苦, 学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>