

红外头罩气动光学试验

程梅莎 陈连忠

(中国航天空气动力技术研究院,北京 100074)

文 摘 为了探索红外头罩受到气动加热时导引头成像系统对目标识别影响精度,在电弧加热地面模拟试验设备上,针对“热”与“透”的联合模拟,研制了直通及三通两种试验方案,在一定的热环境参数下对几种红外头罩材料进行了试验研究,取得了相应的光学传输测试试验结果。其中“三通”试验方案因为具有更大的适应性和便易性而成为首选方案。

关键词 红外头罩,气动光学,地面模拟,试验方案

Aero-Optics Testing Schemes for Infrared Radome

Cheng Meisha Chen Lianzhong

(China Academy of Aerospace Aerodynamics, Beijing 100074)

Abstract In order to explore the target recognition influence of the guidance through infrared radome under aerodynamic heating, the straight-through and the three-way test methods were studied on the arc heated facility aimed at the simulation of heating and transmitting together. Several kinds of infrared radome material were tested under some aerodynamic heating conditions, and the infrared transmission effects were obtained. Between the two schemes, the three-way test method is preferred due to its adaptability and convenience.

Key words Infrared radome, Aero-optics, Ground simulation, Testing schemes

1 前言

带有红外末制导系统的高速飞行器在弹道末段一定高度抛罩后,来流与红外头罩相遇受到压缩而被阻滞,同时由于空气本身具有粘性,导致头罩表面附近形成边界层,在边界层内来流中的动能被阻滞而转变成热能,使球头头罩周围的气体温度升高,在热交换作用下导致头罩温度升高,使探测器观测到的图像信噪比降低,严重影响到目标识别^[1-2],造成气动光学效应。

为了探索头罩受到气动加热时对目标识别的影响程度,进行地面模拟试验研究是飞行器研制过程中常采取的一项重要而又经济有效的手段,电弧加热设备因为工作介质接近真实气体成分、参数模拟范围广、加热时间长等优点而成为气动加热试验必不可少的试验设备^[3]。利用电弧加热器加热空气产生高温

超声速气流,模拟弹头再入的气动加热环境,在光学头罩前产生弓形激波,并使头罩具有一定的温度分布及温升梯度,综合考察导引头目标成像的效果,是开展红外头罩气动光学测试试验的主要目的。

应用电弧加热器满足了热环境的模拟条件后,由于光线的直线传输特点,与电弧加热设备硬件将不可避免地发生干扰。本文针对“热”与“透”的联合模拟,研制了“直通”与“三通”两种试验装置。

2 试验

2.1 试验参数

驻点冷壁热流 q_{cs} :400 kW/m²;气流总焓 H_0 :600 kJ/kg;驻点压力 p_s :0.4 MPa;气体流量 G :3 kg/s;电弧功率 W :4 MW。参试的红外头罩有硫化锌、尖晶石及蓝宝石等三种材料,头罩的头部半径为 100 mm。

2.2 试验装置

2.2.1 直通试验装置

将红外头罩看作端头帽,在电弧加热地面模拟试验中,采用常规的自由射流驻点试验技术,应用锥形轴对称喷管,将模型的光学头罩部分置于流场中,为了使红外头罩表面积能尽量多的处于流场的核心区,头罩必须近距离置于喷管出口,而红外头罩内部的导引头与模拟目标之间要想形成光学传输通道,必须躲开喷管固壁。当导引头本身试场角较小,即使将导引头偏转到最大角度 $\theta_1 = \theta_{\max}$ 也无法躲开喷管固壁时,则需使红外头罩相对于流场轴线方向再偏转一定角度 θ_2 ,如图 1 所示,两个偏转角度的叠加使得光路刚好能避开喷管。

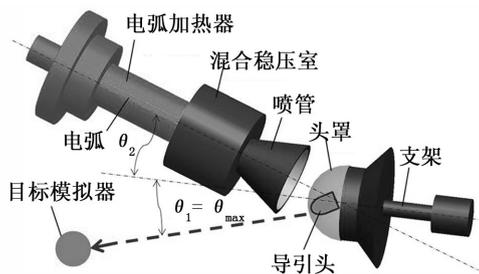


图 1 直通试验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of straight-through test equipment

2.2.2 三通试验装置

针对光学传输试验的特殊需求,在直通试验方案基础上,进行改造,突破电加直流射流的常规模式,设计三通试验装置,如图 2 所示。

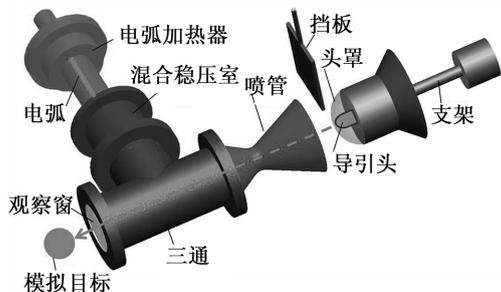


图 2 三通试验装置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of three-way test equipment

(1)在混合稳压室后设置“T”型接头,把气流方向改变 90° 后从锥形喷管喷出,红外头罩组件正对喷管出口放置。“T”型接头另一端装有强度经过设计的镀有增透膜的硫化锌(或尖晶石)红外玻璃观察窗,观察窗的直径由所需的几何通光孔径决定。红外玻璃观察窗既满足了光学传输的需要,又封闭了流场。

(2)目标模拟器放在观察窗外适宜距离处,与观察窗、喷管及头罩处于同一轴线上,从而使加热过程中导引头能够逆来流方向观测目标。

(3)为了防止电弧加热器停车时对头罩造成的“骤冷”作用,采用模型送进是一种有效的方法。但是头罩模型组件一般为 1:1 的结构件,体积、质量较大,并且进行气动光学测试试验时需要稳固支撑防止抖动,否则无法判断图像模糊的原因,因而采用模型送进较困难。本方案在喷管出口设计金属导流挡板,在停车前先将其送入,使气流从侧面流走,实现了停车后冷气流与头罩的完全隔离,这项措施称为“停车保护措施”。

3 试验结果

3.1 直通方案

(1)在气动光学测试试验中,对于视场角较小的导引头系统,电弧加热器开机后,弧光作为高温热源进入了导引头视场引起背景高亮,从而淹没了探测到的常温模拟目标本体;对于视场角较大的导引头系统,由于本身能够通过大角度偏转避开电弧弧光,因而对目标成像效果较好。

(2)试验录像显示,硫化锌头罩玻璃在电弧加热器停车瞬间发生碎裂,分析原因是与电弧加热器停车时高温气流突然转变为常温气流吹到温度较高的头罩上,对头罩表面起到了“骤冷”的作用,内外壁产生较大的温度梯度,造成较大的热应力,而硫化锌本身属于热脆性材料,在过高的热应力下导致碎裂。相同的试验条件下,蓝宝石头罩则未出现碎裂,显示出了相对优异的抗热冲击性能。

3.2 三通方案

利用三通试验装置完成了硫化锌、尖晶石及蓝宝石等多种头罩材料的气动加热光学传输测试试验,试验过程中红外模拟目标图像清晰可见,未受到电弧弧光的干扰,试验过程中的成像效果见图 3;头罩玻璃也没有发生因电弧加热器停车造成的“骤冷”碎裂。

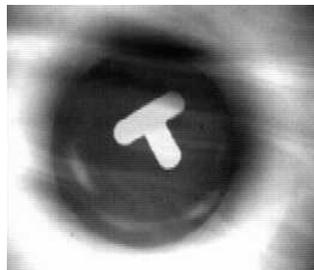


图 3 三通方案试验过程中采集到的红外目标图像

Fig. 3 Infrared target image in three-way test method

4 讨论

直通试验方案的缺点:一是流场不对称,红外探

测视角范围内的头罩面积快要出离流场的核心区,即光学传输没有经过受热严重的驻点部位;二是在综合多方面需求而确定的最佳偏转角度上,电弧加热器弧光仍有可能出现在导引头视场内,高温电弧的辐射淹没了目标本身的红外图像,因此本方案由于具有较小的适应性因而在气动光学测试试验中不推荐使用,如果引入“停车保护措施”,将更适用于单纯的头罩热结构考核试验。

在三通试验方案中,突破一般试验模式的束缚而设计出的试验方案,具有以下特点。

(1)利用“T”型接头迫使气流折转 90° 后再流经喷管,保证了头罩的“零攻角”加热状态,流场均匀对称,红外传输经过驻点区。

(2)“T”型接头及观察窗的结合,解决了长期以来倍受困扰的试验过程中驻点区光学测量的实现问题。

(3)安全避开了电弧弧光辐射对红外探测目标成像的影响。

(4)由于红外头罩造价昂贵、不易加工,一般参试头罩数量很少,而试验时测试项目繁多,需要重复使用。“停车保护措施”避免了电弧加热器停车时不能完全同步停冷气引起的玻璃骤冷碎裂,使昂贵的红外头罩能重复使用,保障了后续各项试验的顺利进行。

(5)根据光学原理,光线在介质中传播时,其传输特性取决于光线入射方向、介质的介电常数、吸收损耗和散射特性等^[4]。尽管“T”型接头引入了一段高温热气流,但这部分热气流在上游的混合稳压室经过充分混合,并且“T”型接头截面积较大,在这里气流速度很低,近似均匀分布,基本上没有温度及密度梯度存在,光学参数稳定,因此对于成像的影响是微弱的。多次的红外传输测试结果表明,同样的气动加热条件下,导引头对目标的识别程度主要依赖于导引头及模拟目标系统各项参数的匹配性及校正的方式方法,随着导引头积分时间的优化调整及校正方法的

改善,成像质量也会随之改善。

(6)由于“T”型接头中气流的速度很低,所以尽管气流在这里折转了 90° ,但总压基本上没有损失,图4是某次试验中测得的上游混合室及“T”型接头中的总压曲线,说明了这一点。

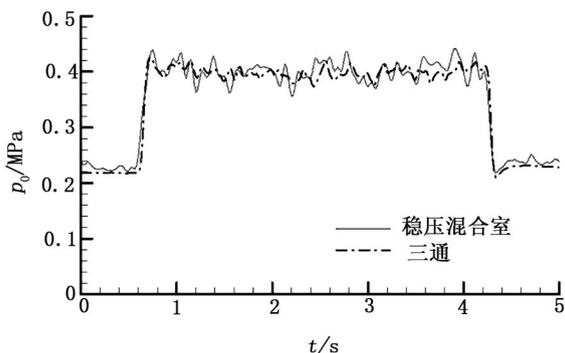


图4 三通前后总压曲线

Fig. 4 Total pressure curve in front and back of three-way

5 结论

由于导引头系统很昂贵,所以头罩气动光学试验一般不直接考核导引头成像效果,要先在选定的试验状态下进行热结构考核试验,当头罩结构强度过关后,才能装上导引头进行光学传输效应试验。三通方案由于几乎对流场没有衰减作用,因此既可以代替直通方案单纯进行头罩热结构考核试验,又可以进行光学传输试验,中间减少了电弧加热设备拆装及流场状态参数调试过程,具有很大的便易性,因此目前三通试验方案已成为头罩气动光学效应试验的首选方案。

参考文献

- [1] 殷兴良. 气动光学原理 [M]. 北京: 宇航出版社, 1991
- [2] Clark R, Banish M. Fundamentals of aero-optics phenomena [R]. AIAA, 94-2545
- [3] 张志成等. 高超声速气动热和热防护 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2003
- [4] Rahman Harrison. Aeri-optics research [R]. Air Force Phillips Laboratory, htm1997

(编辑 任涛)