

气动加热对红外成像的影响试验研究

陈连忠¹, 张嘉祥², 费锦东³

(1. 西北工业大学, 陕西 西安 710072; 2. 航天空气动力技术研究院, 北京 100074; 3. 航天科工集团二院二部, 北京 100039)

摘要:介绍了在气动加热条件对红外成像的影响试验研究的情况, 利用电弧风洞产生高温, 高超声速流场, 模拟红外窗口的气动加热, 红外图像由高温黑体产生, 利用高速红外热像仪接收红外目标的辐射。通过对穿过高温流场、模型之后的红外图像测量分析, 初步揭示了气动加热对光学传输的影响。

关键词:气动光学; 红外; 电弧风洞

中图分类号: TN216 **文献标识码:** A

Experiment Research on the Aerodynamic Heating Effect on the Infrared Imaging

CHEN Lian-zhong¹, ZHANG Jia-xiang², FEI Jin-dong³

(1. Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China; 2. China Academy of Aerospace Aerodynamics, Beijing 100074, China; 3. No. 2 Institute of the Second Academy of CASIC, Beijing 100039, China)

Abstract: This paper provides an instruction of the experiment research on the aerodynamic heating effect on the infrared imaging. With the high temperature hypersonic flow field generate by the arc heating wind tunnel, the infrared window was heated and the infrared image after transmit through the hypersonic flow field have been measured, with the analysis, we get the initial conclusion of the aerodynamic heating effect on the aero-optics (AO).

Key words: aero-optics effects; infrared; arc heating wind tunnel

1 前言

红外光束在穿过高超声速流场的过程中, 由于激波、边界层以及分离、转捩等现象的存在, 引起高超音速流场内的密度变化剧烈, 从而引起红外光束的折射、散射和吸收。另外, 当红外光穿过高超声速流场中的红外固体平板时, 由于红外材料的受到气动加热后引起的温度梯度、热应力, 也引起红外光学的折射、散射、吸收, 这些现象统称为气动光学效应 (如图1所示)。

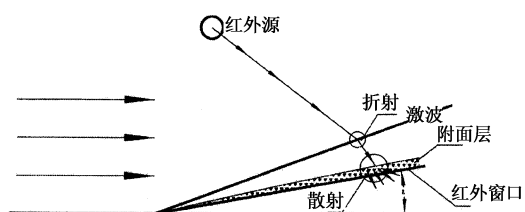


图1 气动光学效应模型

美国从20世纪80年代开始, 先后在NSWC-9#风洞, AEDC-C风洞和国家高能激波风洞LENS上开展了大量的气动光学效应试验。图2给出了其在AEDC-C风洞进行气动光学效应的设备原理图。

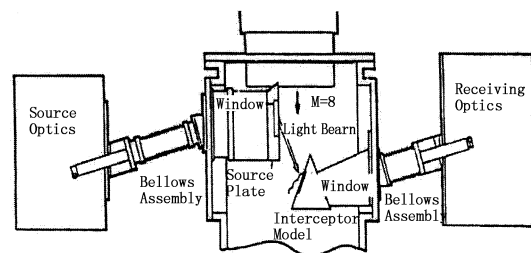


图2 美国 AEDC - C 风洞气动光学效应设备原理图

基金项目: 国防 973 项目 (No. 51323030202 - 1) 资助。

作者简介: 陈连忠 (1972 -), 男, 博士生, 从事气动热试验研究工作。E-mail: quarter724@sohu.com

收稿日期: 2008-07-30

本文利用中国航空气动力技术研究院的电弧风洞,模拟高温、高超声速流场,观测到了红外图像在窗口受到气动加热条件下的气动光学效应。

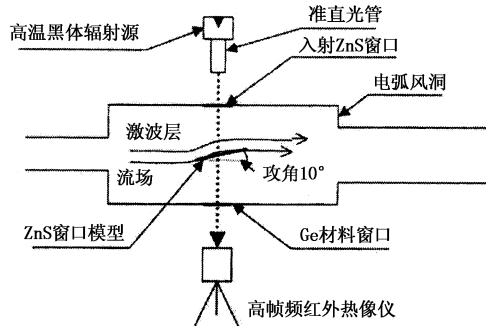


图3 电弧风洞气动光学效应试验原理图

2 实验部分

2.1 实验设备

中国航空气动力技术研究院的电弧风洞主要由电弧加热器、喷管、试验段、扩散段、冷却器和真空系统组成,其中电弧加热器主要由管状的正、负电极组成,试验时在正、负电极之间产生电弧,电弧对压缩空气进行加热,气体温度、压力随之升高,经过拉瓦尔喷管的加速膨胀后,试验段形成高温、高超声速流场。通过调节电弧功率、空气流量,更换相应的喷管,可以改变高超声速流场的气流温度、气流马赫数、气流密度等参数。

2.2 测试设备

测试设备主要包括高温黑体辐射源、红外热像仪等,利用红外热像仪采集高温黑体源产生的红外热图像,通过分析处理,可以获得由于高温高超声速流场、模型本身引起的像偏移、像畸变、像模糊、像抖动等气动光学效应。

3 试验状态参数测量

利用电弧风洞产生的高温、高速流场流过红外窗口表面时,在窗口表面形成高温附面层,高温附面层内形成的温度梯度和速度梯度,大量热量从高温气流传入窗口,对窗口进行气动加热。通过改变气流的温度、压力、速度,可以改变传入窗口的热量,可以研究不同加热状态下窗口受热对红外图像传输的影响。

在对红外窗口进行气动加热前,利用热流校测模型对窗口表面热流进行测量,获得窗口表面的热流分布,如表1所示。热流测点位置分布如图1所示。

表1 窗口表面的热流分布

热流测点	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
q_{cw}	297	299	283	250	261	315	277	239	278

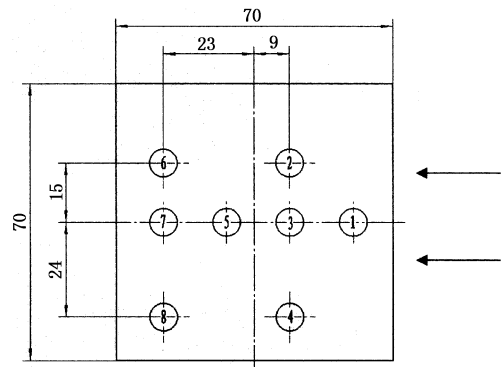


图4 热流测点位置分布

4 试验结果及分析

4.1 红外窗口热响应

电弧风洞启动后,在窗口表面形成超声速、高温气流,高温气体通过热传导将热量传入窗口,平均热流密度为 280kW/m^2 。窗口背面温升曲线如图5所示,窗口内部距离表面不同厚度的温升曲线如图6所示,数据表明,窗口背面温度随着加热时间紧似呈线性增加,最大温升达到 142°C ,距离背面 5mm 处的最大温升达到 167°C ,表面温升估计达到 180°C 左右(表面温度无法直接测量)。表面和背面温差估计达到 40°C 。

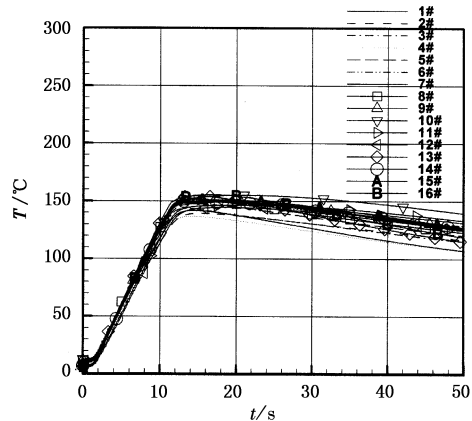


图5 红外窗口背面及不同部位的温升曲线

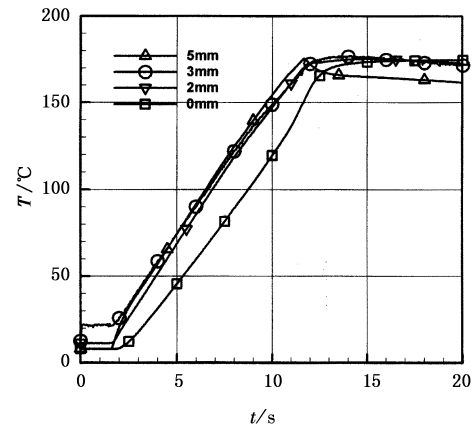


图6 红外窗口内部沿厚度各部位的温升曲线

4.2 红外图像变化

图7给出了高速红外热像仪采集到的红外靶标图像的变化过程,0s的图像是在加热前获得的红外图像,电弧风洞加热开始后很短时间内,图像就发生了严重的模糊,变形和位移,在加热2s后,图像完全被背景噪声淹没,加热停止后,随着窗口的逐渐冷却,红外图像逐渐的恢复为加热前的状态,表明气动加热产生了较为严重的气动光学效应。

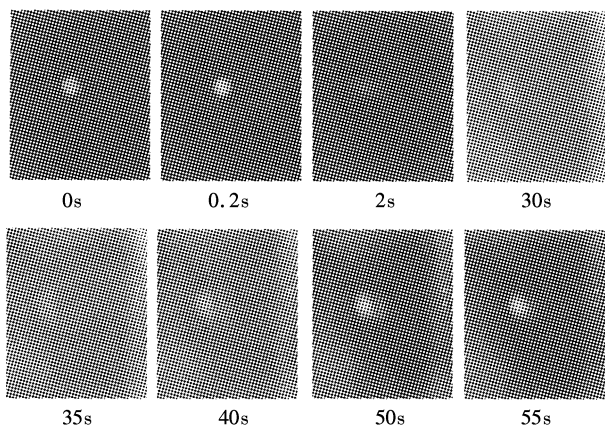


图7 加热过程中不同时刻的红外图像

4.3 气动光学效应分析

通过对窗口的温升过程和穿过窗口的红外图像变化过程分析,可以看出随着窗口被加热,温度逐渐升高,窗口表面辐射出大量的热能通过光路传入红外热像仪,如果以窗口初始温度为273K,在2s时,窗口温度达到290K左右,辐射能量增加1.1倍,到10s时,窗口温度达到450K左右,辐射能量增加2.7倍,导致了红外热像仪接受到大量窗口辐射能,使得探测器达到饱和,最终导致红外目标图像模糊并逐渐被淹没。

另外,随着传入窗口热量的增加,窗口温度迅速

升高并在内部形成较大的温差,从而导致红外窗口的光学性能和热物理性能发生变化,窗口温度升高导致窗口密度变化,密度变化引起光学折射率的变化,而窗口内部温差的存在,导致窗口产生不均匀变形最终导致图像的变形和位移。

5 结论

- 气动加热引起的红外窗口本身温度升高,红外窗口散发的红外辐射能通过红外光路传入红外热像仪,造成目标图像背景噪声增加,信噪比下降,并且由于红外辐射能量与窗口温度的四次方成正比,随着窗口温度的增加,背景噪声迅速增加。

- 气动加热还在窗口内部沿厚度方向形成温度梯度,从表面到背面的温差也造成窗口内部热膨胀差异,从而在窗口内产生热应变,对红外光线的传输造成影响,从而可能导致目标图像的变形。

- 模型的温升还同时造成模型内部各部位密度发生较大变化,从而引起各部位折射率的变化,也是造成目标图像的变形的因素之一。

- 随着窗口温度的升高,窗口的红外穿透系数也将随之变化,也是引起图像模糊的因素之一。

参考文献:

- [1] 殷兴良. 气动光学原理[M]. 北京:中国宇航出版社, 2003:221-230.
- [2] F L crosswy, A G Havener. Aero-optics measurement system for the AEDC aero-optics test facility[J]. AD-A232 852, 1991, 2:23-40.
- [3] 姜贵庆, 刘连元. 高速气流传热与烧蚀热防护[M]. 北京:国防工业出版社, 2003:1-9.
- [4] 陈连忠. 高超声速拦截器头部红外窗口内冷方案研究[D]. 北京:北京空气动力技术研究所, 1998:11-30.

欢迎点击“激光与红外网”

www.laser-infrared.com