

# 飞机尾焰红外图像采集与分析\*

胡炳梁<sup>1</sup> 刘学斌<sup>1</sup> 杜云飞<sup>1</sup> 孙益善<sup>1</sup> 张宏刚<sup>2</sup>

(1 中国科学院西安光学精密机械研究所空间室, 西安 710068)

(2 中国飞行实验研究院, 西安 710089)

**摘要** 介绍了超音速机载红外测量吊舱系统(以下简称红外测量吊舱)中红外探测器的选型,以及在测量目标机亚音速飞行时飞机尾喷口及飞机尾焰的电视和红外热图,并对跟踪空中飞行目标所采集到的红外尾焰热图作了细致的分析和计算,从而为空中目标的红外特性检测分析、研究提供了有效的数据积累。

**关键词** 红外测量吊舱;焦平面阵列;红外热图;尾焰流场特性

**中图分类号** TB866 **文献标识码** A

## 0 引言

随着红外隐身技术的发展,人们可通过改进结构设计和应用红外物理原理来衰减、吸收目标的红外辐射能量,改变目标的红外辐射特征,降低对目标的可探测性,使红外探测设备难以探测到目标<sup>[1]</sup>。为了更好的了解飞机在空中飞行时的红外特性,就必须研制一种有效的测量手段来测量飞机在空中飞行时的红外特性。我所和试飞院联合研制的红外测量吊舱是我国第一个超音速机载红外测量吊舱,它可以搭载三种不同的测量设备,包括中波、长波红外焦平面热像仪,傅里叶光谱仪,辐射计<sup>[2]</sup>。它是一种先进的多功能平台,居国内领先水平,目前该设备顺利完成外场30多个架次试飞任务,测得了几种飞机飞行时的红外特性,受到了用户的好评。

## 1 红外探测器

自上个世纪70年代提出红外焦平面阵列的概念以来,经过20多年的研究,焦平面热成像技术在中波3~5 μm波段已取得比长波8~14 μm波段更为长足的进步,尤其是基于320×240像元HgCdTe和InSb中波焦平面探测器的红外成像技术,已达到很高的性能指标。

在红外测量吊舱系统中我们选用HgCdTe焦平面探测器。HgCdTe红外CCD输出视频信号,经钳位和放大等预处理后,由A/D转换成14 bit的数字图像信号,然后经固定图形噪声消除和响应率非均匀性校正后,存入帧图像存储器中。经伪彩色编码和D/A转换,在显示器上显示。

HgCdTe中波红外焦平面热像仪的主要特性参

数如下:分辨率:320×240像素;像元尺寸:25 μm×25 μm;波长:3~5 μm;NETD:0.03 k(25°时);标准测温范围:-10℃~60℃;测温精度:±2℃ T<100℃、±2% T≥100℃;空间分辨率:0.25 mrad;视场:4.5°×3.5°(100 mm镜头)。

## 2 飞机尾焰红外图像

发动机尾焰是高温燃气,其主要成分是二氧化碳和水蒸气,辐射波段范围在2~5 μm,是分子谱带辐射,其中在波长4.2~4.5 μm附近强烈的窄带辐射是当前红外制导对空导弹所跟踪的目标。尾焰的光谱会因发动机的不同、发动机所用的循环不同、燃料中添加剂的不同、运行条件的不同以及环境的不同而有很大差别<sup>[3]</sup>。

在实际跟踪过程中,两架飞机编队飞行,若吊舱正挂则目标机在前,吊舱在后。若吊舱反挂,则吊舱在前,目标机在后。由于吊舱系统本身具有可见光电视跟踪系统,所以跟踪过程中可用切换开关控制监视器,显示可见光或红外电视图像。而两套记录系统则分别记录跟踪过程中可见光和红外电视图像数据,以供事后分析。图1、图2分别是在同一架次飞行过程中对目标机尾喷口跟踪采集到的可见光和红外电视图像。

图1是红外测量吊舱对某型号飞机跟踪时可见光电视获得的图像,图中观察不到目标飞机的尾喷



图1 飞机尾喷口电视图像  
Fig. 1 The TV image of plane's jet

特性.

图2是HgCdTe中波红外焦平面热像仪在红外测量吊舱正挂时,飞机油门工作在75%,飞行高度2980 m,飞行速度450 km/h,载机与目标机斜距470 m时测得的目标机尾喷口飞机尾焰的红外热图.



图2 飞机尾喷口红外热图

Fig.2 The infrared image of plane's jet

在跟踪飞行过程中,当目标飞机空中加力时还可以明显地观察到尾喷口尾焰变化情况.

### 3 目标机红外尾焰温度及面积计算

根据克希霍夫定律,当被测物体与黑体温度相同时,黑体的辐射能与被测物体的辐射与反射能之和应该相等.由于热像仪测量的温度是等效黑体辐射温度,它不是目标的真实温度.热像仪测量的目标温度是用某一个波段内与它有相同辐射功率的黑体的温度来表示的.一般情况下,目标都不是黑体,所以发射率都小于1,这样测量的目标辐射温度总是低于目标的真实温度,发射率越低,误差就越大.标定时如果把黑体温度转换成热像仪测量波段内该温度黑体的辐射出射度,则通过对热像仪数据进行处理,就可以求出目标辐射温度.

被测物体表面辐射亮度可表示为

$$L_t = \frac{1}{\tau_a} \left[ \frac{1}{A_{t,p}} (L_{t,i} - L_{b,i}) NR^2 \alpha \beta + L_{b,i} - L_p \right] \quad (1)$$

辐射强度

$$I_t = L_t A_{t,p} = \left[ (L_{t,i} - L_{b,i}) NR^2 \alpha \beta + A_{t,p} (L_{b,i} - L_p) \right] / \tau_a \quad (2)$$

式中  $L_{t,i}$  为目标像表面平均辐射亮度,  $L_{b,i}$  为背景像表面平均辐射亮度,  $L_p$  为目标和热像仪之间路径的大气辐射亮度,  $R$  为目标距离,  $N$  为目标像大小所占像元数,  $\alpha$  为热像仪每个像元对应的水平视场,  $\beta$  为热像仪每个像元对应的垂直视场,  $A_{t,p}$  为测量方向的

目标投影面积,  $\tau_a$  为目标和热像仪之间的大气光谱透过率.

实际上

$$A_{t,p} \approx NR^2 \alpha \beta \quad (3)$$

当  $L_p$  可以忽略时,式(1),(2)可以简化为

$$L_t = \tau_a^{-1} L_{t,i} \quad (4)$$

$$I_t = \tau_a^{-1} L_{t,i} A_{t,p} \quad (5)$$

利用红外测量系统自带的软件,可以直接读出像幅上任何一个点、一条线、一个区域内的温度和它的像元数目.这样根据得到的目标温度、像元数目、焦距、距离、热像仪的像元尺寸可以计算出飞机在3~5  $\mu\text{m}$  的辐射强度、尾焰的面积.这些飞机在飞行中的数据的获得对分析飞机尾焰流场的特性非常重要,也为红外隐身技术提供了有效的依据和数据积累.

### 4 结论

红外测量吊舱已成功地进行了超音速飞行实验,它对我国研究空中低速、高速飞行目标特性提供了有效的测量手段,为研究飞机的隐身技术,为超音速飞机气动流场的分析,超音速飞机红外辐射模型的动态校模,空中红外对抗系统的性能试验和评估,导弹红外导引头跟踪性能试验和评估提供了有效的实验数据.该吊舱的研制成功为研究空中目标的目标特性提供了有效的测量手段,填补了我国红外测量领域的一项空白.

#### 参考文献

- 1 付伟. 红外隐身原理及其应用技术. 红外与激光工程, 2002, 30(2): 88~93  
Fu W. *Infrared and Laser Engineering*, 2002, 30(2): 88~93
- 2 孙益善. 超音速机载红外测量吊舱系统技术说明书. 中国科学院西安光学精密机械研究所, 2002. 1~4  
Sun Y S. *Ultrasonic Infrared Pod System Instructions*. Xi'an Institute of Optics & Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, 2002. 1~4
- 3 李世祥. 光电对抗技术. 湖南: 国防科技大学出版社, 2000. 255~285  
Li S X. *Photo Electricity Confront Technology*. Changsha: Publishing House of National University of Defense Technology, 2000. 255~285

## The Collection of Plane's Jet Wash Infrared Image

Hu Bingliang<sup>1</sup>, Liu Xuebin<sup>1</sup>, Du Yunfei<sup>1</sup>, Sun Yishan<sup>1</sup>, Zhang Honggang<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Xi'an Institute of Optics & Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068

<sup>2</sup> Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089

Received date: 2003-01-16

**Abstract** The structure of infrared pod loaded in the ultrasonic plane is introduced. The principle of focal plane apparatus and infrared image are included. The infrared image of plane's jet is presented when measuring subsonic plane. A great deal of temperature data gathered from tracking target is offered and analyzed. A effective measure to obtain the object's characteristic flying in the air is achieved by the result studied, which is helpful in the field of researching the object's characteristic flying in the air for the future.

**Keywords** Infrared pod; Focal plane array; Infrared image; Characteristic of thermal wake



**Hu Bingliang** was born in 1973 in Shaanxi Province. He received B. S. Degree at Huazhong Science University. Now he is a PH. D. candidate in Xi'an Institute of Optics & Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences. His research interests include auto control, infrared image, computer control and DSP design.