

目标红外辐射特性测量与数据分析

何瑛^{1,2}, 林晓煊²

(1. 西安工程大学电子信息学院, 陕西西安, 710048; 西安航空职业技术学院, 陕西西安, 710089)

摘要: 由于仿真技术的限制, 实际测量是获取各类目标红外辐射特性的最重要手段, 本文以空中目标为对象, 论述了红外辐射特性的测量原理与定标方法, 搭建了测量系统, 并说明了各测量设备的功能, 详细阐述了地面、地空和空空测量的具体方法, 说明了红外热像和红外光谱测量数据的处理方法, 通过实际测量验证, 证明本文所阐述的方法是可靠有效的, 能够满足型号研制的需要。

关键词: 红外辐射特性; 测量; 数据分析

中图分类号: TN967 文献标识码: A

Measurement and data analysis of infrared radiation characteristic of target

He Ying^{1,2}, Lin Xiaohuan²

(1. Xi'an Polytechnic University, Department of electronic information, Xi'an, 710048, China

2. Xi'an Aeronautical Polytechnic Institute, Xi'an, 710089, China)

Abstract: The simulation technology is limited, the actual measurement is the most important means to obtain the infrared radiation characteristics of all kinds of target, the target as the object, discusses the principle of infrared radiation characteristics and calibration methods, build a measurement system, and describes the features of the measurement device, described in detail the specific method of ground, air and air-to-air measurement, the processing method of the infrared thermal imaging and infrared spectral measurement data, verified by actual measurements, prove the method is reliable and effective, can meet the needs of the development models.

Keywords: infrared radiation characteristic measurement; data analysis

0 引言

空中目标红外辐射特性测量, 主要是利用空基或地基红外测量平台, 通过地面静态、空中伴飞或地对空跟踪测量的方式, 对空中目标进行的红外辐射特性测量, 其目的在于获取空中目标的红外辐射强度和红外辐射光谱分布等红外特性。目标红外辐射测量对于准确评估目标的红外辐射特性, 进而指导目标的红外隐身设计, 评估目标的战场生存能力都具有非常重要的意义。美国的 F-22 飞机在初始作战使用阶段进行了 13 架次 17 小时的红外动态测量, 测量结果直接用于 F-22 飞机的红外建模校模。本文基于对红外热像仪和红外光谱辐射计的应用, 阐述空中目标红外辐射特性的动、静态测量方法。

1 测量原理与定标方法

目标红外辐射特性测量采用的基本测量设备为红外热像仪

和红外光谱辐射计。

设热像仪每个像素对应的目标辐射强度为 ΔI_i , 则:

$$\Delta I_i = L_{\Delta\lambda}(T_i) dA_i = \frac{1}{\tau_a} (R\theta_0)^2 L_{\Delta\lambda}(T_i)$$

式中: $L_{\Delta\lambda}$ 为目标在 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ 波段内的辐射亮度;

dA_i 为每个像数对应的目标投影面积;

τ_a 为热像仪工作波段内的平均透过率;

R 为热像仪与目标间的距离;

θ_0 为 dA 所对应的夹角。

在 $\Delta\lambda = \lambda_1 \sim \lambda_2$ 波段内, 目标总辐射强度为:

$$I_{\Delta\lambda} = \sum_i \Delta I_i = \frac{1}{\tau_a} (R\theta_0)^2 \sum_i L_{\Delta\lambda}(T_i)$$

得:

$$L_{\Delta\lambda}(T_i) = \frac{V_i(T_i)}{\pi C \tau_a} = \frac{V_i(T_i)}{\tau_a K}$$

式中: $K = \frac{V_i(T_i)}{\tau_a L_{\Delta\lambda}(T_i)} = \pi C$, 定义 K 为热像仪的亮度响应度得:

$$I_{\Delta\lambda} = \frac{(R\theta_0)^2}{\tau_a K} \sum_i V_i(T_i)$$

R 是测量距离, 可通过 GPS 差分数据解算或激光测距仪测距得到; θ_0 每个像数对应的视场角, 根据视场角和像数个数得到; τ_a 是带通内大气透过率的平均值, 可通过测量的大气条件和测量距离作为 LOWTRAN 的输入进行计算后得到。 $\sum_i V_i(T_i)$ 对于给定的图像, 可通过使用图像处理软件得到; K 通过对系统的定标获得。

通过点源法定标确定光谱辐射计的光谱辐射照度响应度 $R_E(\lambda)$, 光谱辐射照度响应度 $R_E(\lambda)$ 由下式给出:

$$R_E(\lambda) = \frac{V_{bb}(\lambda) - V_{bg}(\lambda)}{\frac{A_s}{\pi^2} \cdot M_{bb\lambda}(T) \cdot \tau_a(\lambda) \cdot \tau_0(\lambda) \cdot r_d(\lambda) d\lambda}$$

通过扩展源法定标, 分别采用温度 T_1 及 T_2 的扩展源定标黑体对光谱辐射计进行定标, 得光谱辐射亮度响应度 $R_L(\lambda)$, 光谱辐射亮度响应度 $R_L(\lambda)$ 由下式给出:

$$R_L(\lambda) = \frac{V_1(\lambda) - V_2(\lambda)}{L_{bb\lambda}(T_1) - L_{bb\lambda}(T_2)}$$

式中: $V_1(\lambda)$ 和 $V_2(\lambda)$ 分别为在光谱波长处对黑体源温度为 T_1 和 T_2 测量时光谱辐射计输出的光谱电压值; $L_{bb\lambda}(T_1)$ 和 $L_{bb\lambda}(T_2)$ 分别为黑体源温度为 T_1 和 T_2 时的黑体光谱辐射亮度。

目标光谱辐射强度由下式给出:

$$I_{t\text{有效}} = A_t \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{t\text{有效}}(\lambda) d\lambda$$

式中: $I_{t\text{有效}}$ ——目标有效辐射强度, $W \cdot Sr^{-1}$;
 A_t ——目标面积, m^2 。

2 测量系统

2.1 测试系统框图

定标、跟踪、显控系统对红外测量系统来说很关键, 大气与环境参数测量、红外测量、时间空间位置信息和目标状态参数测量系统为数据采集与记录系统提供各种信号信息, 然后获得红外热像图和光谱信息, 最终地面数据处理与分析系统对各数据进行分析处理, 得到的结论为型号研制和相关研究提供技术保证。

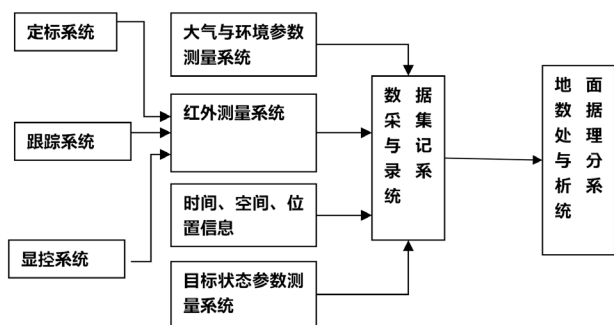


图1 测试系统框图

2.2 测试设备

目标红外辐射特性测量的基本设备有:

- 1) 红外测量系统主要由红外热像仪和红外光谱辐射计组成, 是获取目标红外辐射特性的核心设备, 红外热像仪的工作波段为中波和长波, 光谱辐射计的工作波段一般为 2-14 微米。
- 2) 大气与环境参数测量系统包括: 干、湿温度计、气压表、风速计、大气能见度测量仪、气象探空仪、太阳辐射仪和平台环境测量设备。
- 3) 时间空间位置信息测量系统包括: 载机定位系统或地面固定站点、目标机定位系统和平台测角设备。
- 4) 目标状态参数测量系统包括: 速度/高度/姿态角测量设备、定位系统、发动机状态参数测试设备、热部件和蒙皮温度测量设备。

3 测量方法

飞机红外特性测量主要有地面静态测量、地对空动态测量和空对空动态测量三种。

3.1 地面静态测量

地面试验测试采用飞机固定位置开车, 红外辐射测量设备按照不同测量方位角度移位的方式进行。尾喷流温度、压力及气体成分测量靶基座沿飞机轴线固定在飞机尾喷口后面的地面上。

3.2 地对空动态测量

对低中空、慢速运动的空中目标的下半球采用地对空红外测量方法进行目标的红外特性测量, 测量时采用二自由度地对空跟踪测量转台, 在转台上安装电视跟踪系统和各类红外测量设备, 对目标进行自动跟踪, 并进行红外特性测量, 同时采集目标状态、空中位置、大气与背景等相关参数等。

目标状态与位置参数通过在目标机上安装的常规飞行参数和发动机状态参数测量传感器以及定位系统获取。

采用气象参数测量设备, 测量地面气象数据及大气参数垂直分布, 用于计算测量路径上大气对红外辐射的影响。

3.3 空对空动态测量

对于高空、快速运动的空中目标, 采用空中伴飞方法进行红外特性的测量, 即采用载机外挂机载红外测量系统, 与被测目标机进行空中编队飞行, 按规定的飞行状态和测量视角, 采集目标的红外特性数据, 同时采集目标状态、空中位置、大气与背景等相关参数等。

机载红外测量吊舱光学头部装有电视摄像机和红外测试仪器, 电视摄像机用于目标的搜索与跟踪, 红外测量仪器用于对目标的红外辐射特性测量, 光学测试设备安装在采用陀螺稳定的常平架上, 用于光轴的稳定, 并且各类光学测量设备的光轴保持平行, 吊舱舱体内还安装数据采集、记录设备, 用于测量数据的采集

和记录。

目标机上,装有常规飞行参数和发动机状态参数测量传感器,用于测量目标参数,测量载机和被测目标机上,均安装有定位系统,用于提供时间基准信息和飞机位置、速度信息等,并事后用于解算测量距离,根据目标的姿态角解算出测量视像角。

采用气象参数测量设备,测量地面气象参数及大气参数垂直分布,用于计算测量路径上大气对红外辐射的影响。

4 数据处理方法

4.1 红外图像数据及其辐射量的计算与处理

4.1.1 选取红外图像的原则

根据测试要求,在采集的大量红外图像中选取合适的红外图像进行辐射量计算与处理,选择红外图像的原则如下:

- 1) 图像清晰;
- 2) 测量距离较近或图像中的目标较大;
- 3) 符合要求视像角;
- 4) 不同目标状态下的红外图像等。

4.1.2 数据的计算与处理

1) 红外图像数据处理程序:

- a) 根据测试目的选取合适的红外图像;
- b) 确定红外图像中等温区的平均温度,并进行像素统计;
- c) 根据仪器的视场、测量距离和像素数目,确定等温区的辐射面积;

d) 利用下式计算等温区的表观辐射亮度和目标表观辐射强度;

$$M(\lambda, T) = \frac{2\pi \cdot c^2 \cdot h}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

$$L_{\lambda_1-\lambda_2} = \frac{1}{\pi} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M(\lambda, T) d\lambda$$

$$I_{\lambda_1-\lambda_2} = A_0 \cdot L_{\lambda_1-\lambda_2}$$

式中: $M(\lambda, T)$ ——黑体光谱辐射出射度;

c ——光速;

k ——波尔兹曼常数;

h ——普朗克常数;

T ——目标辐射温度;

$L_{\lambda_1-\lambda_2}$ —— $\lambda_1 - \lambda_2$ 波段内的表观辐射亮度;

$I_{\lambda_1-\lambda_2}$ —— $\lambda_1 - \lambda_2$ 波段内表观辐射强度;

A_0 ——等温区面积。

e) 表观辐射强度进行大气吸收修正后,即可得到目标有效辐射强度:

$$I_t = \frac{I_{\lambda_1-\lambda_2}}{\tau_a(\lambda)}$$

式中: I_t ——目标真实辐射强度;

$\tau_a(\lambda)$ ——大气透过率。

2) 红外光谱数据处理方法如下:

a) 辐射面积: $A_0 = R^2 \tan^2(\theta/2)\pi$

式中: A_0 ——视场面积,与距离平方成正比;

R ——目标距离;

θ ——仪器视场角。

b) 通过下式计算背景比例系数 k :

$$k = (A_0 - A_S) / A_0$$

$$A_S = A_1 \cos a + A_2 \sin a$$

式中: k ——背景比例系数;

A_S ——目标面积;

A_1 ——目标正面面积;

A_2 ——目标侧面面积;

a ——测量方位角。

c) 根据下式进行光谱辐射强度计算;

d) 通过下式减去背景影响,得到目标光谱结果:

$$L_m(\lambda) = L_c(\lambda) - k \cdot L_B(\lambda)$$

式中: $L_m(\lambda)$ ——目标表观光谱辐射亮度;

$L_c(\lambda)$ ——目标和背景的表观光谱辐射亮度;

$L_B(\lambda)$ ——背景表观光谱辐射亮度。

e) 进行大气吸收修正后,即可得到目标有效光谱辐射亮度:

$$L_t(\lambda) = \frac{L_m(\lambda)}{\tau_a(\lambda)}$$

f) 对上式进行积分即可得任意波段内的目标辐射强度:

$$I_{\lambda_1-\lambda_2} = A_0 \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_t(\lambda) d\lambda$$

4.2 测量结果的不确定度影响因素

影响测量结果不确定度的因素主要有:

- 1) 红外测量仪器的系统误差;
- 2) 仪器定标误差;
- 3) 高空气象数据及大气红外吸收模型修正误差;
- 4) 背景辐射;
- 5) 测量距离误差引起的辐射量计算、背景比率计算、大气透过修正等误差;
- 6) 光轴视像线空间方位精度与目标姿态角精度对方向辐射的影响;
- 7) 飞行时的背景测量及背景辐射扣除误差等。

5 对某飞机的红外辐射特性测量与分析

基于前述方法,我们对某飞机的红外辐射特性进行了地面和空中的实时测量,得到了清晰可用的红外图像序列和比较准确的测量结果,图2为地面测量所获红外热图像,图3为空中测量所

获中波红外热图像和红外光谱。

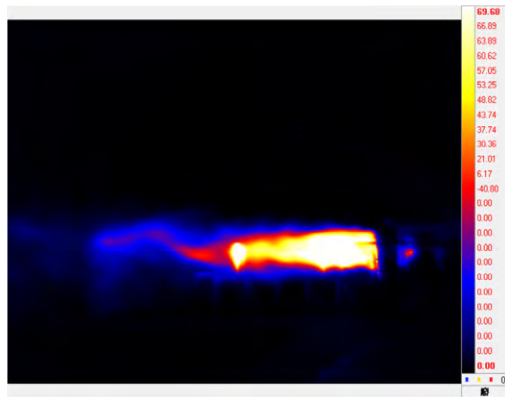


图2 地面测量热图

6 结束语

本文描述了目标红外辐射特性测量的原理、方法、设备、过程以及数据处理方法等,通过对真实飞机的测量验证,证明本文所描述的方法是可靠的,能够获得较为准确的测量结果。目标红外辐射特性测量与数据分析是一项长期的基础工作,本项目完成了飞机的红外辐射特性测量与数据分析工作,在目标红外辐射特性测量和数据分析方面积累了一定的经验,为进一步开展军用目标红外辐射特性的测量和数据分析奠定了基础。

参考文献

- [1] W. G. Kuller, M. E. Steblin. Airborne infrared measurement systems and techniques[J]. AIAA-86-9814, 1986.
- [2] 张国英, 张金全, 地对空动态目标红外特性测量系统, 目标与环境特性研究, 1999. 1: 52-56
- [3] 刘德成译, F/A-22 飞机红外特征预测模型的飞行试验验证, 试飞研究, 2011

证,试飞研究,2011

- [4] 徐南荣, 卞南华, 红外辐射与制导, 国防工业出版社, 1997
- [5] 张建奇等, 红外物理, 西安电子科技大学出版社, 2004

作者简介

何瑛,女,1982年出生,西安工程大学在读研究生,主要从事电子信息处理方面的研究工作。

林晓焕,女,1964年出生,西安工程大学电信学院教授,从事电子信息教学及研究工作。

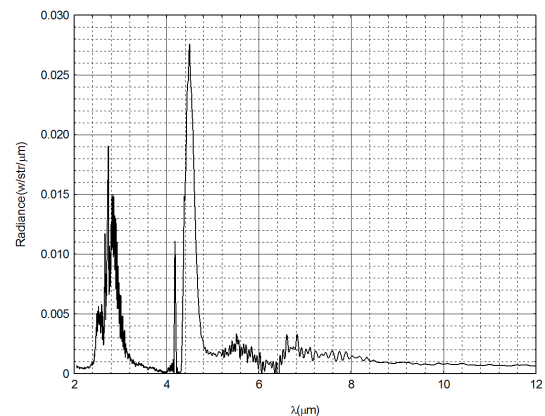
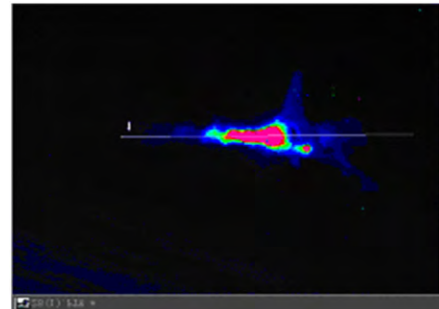


图3 空空测试热图和光谱

(上接 18 页)

模式。而校园网中包含着大量的信息,如校园一卡通、教务管理等系统。因此,必须充分的把握好系统的安全,以防黑客使用该系统对校园网进行攻击,并对校园网中数据进行窃取、备份和修改,从而给学校带来巨大的损失。

在该系统中,我们采用数据安全访问控制技术。对其中的相关模块,设计到数据库的用户必须进行自身的身份认证之后,方可对该模块进行访问;同时管理员对相关的角色设置权限,以此防止非法的访问。

5 结束语

基于 B/S 模式的思政辅助教学给思政教学带来了新的创新。通过该平台,可让学生在不受时间、地点等的情况的现状下,实现学生对思政教学资源的共享和访问,以此更好的满足网络化条件

下的个性需求,并对课堂做额外的补充,具有很强的实际应用价值。

参考文献

- [1] 马志欣. 新疆高校网络环境下辅助教学平台现状调研与分析[J]. 中国电化教育, 2008, 10: 69-73.
- [2] 刘超. 基于 ASP.NET 的网络辅助教学平台的分析与设计[J]. 玉林师范学院学报(自然科学版), 2008, 03: 128-131.
- [3] 汪洋. 基于 B/S 模式的《VB 程序设计》网络辅助教学平台的开发与应用[D]. 新疆师范大学, 2010.
- [4] 李德录, 王昱, 杨小萍, 韩双旺. VB 下基于 ADO 的数据库访问技术[J]. 工业仪表与自动化装置, 2011, 04: 12-15+20.