

红外告警目标模拟技术研究

郭克林¹, 刘素杰², 邢冀川³

(1.洛阳电光设备研究所, 河南 洛阳 471009; 2.中国石油通信公司信息技术事业部, 河北 廊坊 065500;

3.北京理工大学, 北京 100081)

摘要: 介绍了一种用于红外告警系统测试的红外目标模拟系统, 该系统按告警对象的辐射特性要求, 产生相应的 $3\sim 5\mu\text{m}$ 波段内的红外辐射, 指向并自动跟踪直升机目标。阐述了这种红外告警目标模拟系统的工作原理和组成, 给出了黑体发射器的计算公式并进行了相关的红外辐射源的计算, 简述了系统的外设部分和软件所提供的功能, 另一方面还提供了系统检验和标定的方法和手段。最后, 在测试中装载相应的测试数据进行了实际的告警功能测试, 结果显示所介绍的系统能很好地协助实现对机载红外告警系统能力的测试。

关键词: 红外辐射; 红外告警; 目标模拟

中图分类号: TN247

文献标识码: A

文章编号: 1001-8891(2014)11-0926-04

The Research of Infrared Alarm Target Simulation System

GUO Ke-lin¹, LIU Su-jie², XING Ji-chuan³

(1.Luoyang Institute of Electro-optical Devices, Luoyang 471009, China;

2.Information Technology Unit of China Petroleum Communication Company, Langfang 065500, China;

3.Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: An introduction of the infrared target simulation system for the test of infrared alarm system is given. According to the requirements of the radiation characteristics of the target, the system can produce infrared radiation in the related $3\sim 5\mu\text{m}$ infrared band, and then point and track the helicopter automatically. This paper describes the principle of operation and the composition of the infrared alarm simulation system and gives the design formulas of blackbody emitter and the calculation of the infrared radiation source. It also sketches the functions of the peripheral part and the software of the system. On the other hand, the paper provides the ways and means of the test and calibration of the system. Finally, with the experiment related data taken advantage of, the test of the practical alarm function is done. The results of the test show the system described in this paper can well complete the test function of airborne infrared alarm system.

Key words: infrared radiation, infrared warning, target simulation

0 引言

在现代战争中, 高科技武器的威胁具有全方位的特点。低空域中, 直升飞机会遭受来自上、下、左、右、前、后各方向的跟踪攻击, 为此要求红外告警和搜索跟踪系统具备全向侦测能力。所以, 世界上各军事大国一直将红外告警作为重点的武器技术研究方向。

为了测试机载红外告警系统的工作能力, 需要开发一套红外告警目标模拟器, 能仿真出多种红外目标

的辐射特性和曲线, 并能实时跟踪具备红外告警功能的直升机。红外目标模拟器按告警对象的辐射特性要求, 产生相应的 $3\sim 5\mu\text{m}$ 红外光波段内的红外辐射, 指向并自动跟踪直升机目标^[1-3]。

1 方案工作原理

1.1 目标模拟器构成:

- ①红外辐射头;
- ②CCD 自动跟踪转台;
- ③操控显示系统。

收稿日期: 2014-07-11; 修订日期: 2014-07-17.

作者简介: 郭克林 (1982-), 男, 本科, 主要研究方向为光电测试。

红外辐射头的工作原理框图如图1所示, 3部分的相互关系如图2所示^[4-5]。

如图1所示, 通过控温仪控制黑体发出所需3~5 μm的红外辐射光, 经过滤光片和准直光学系统形成无限远点目标源, 再利用控制器控制百叶窗的开合, 模拟红外弹的尾喷焰的红外辐射。

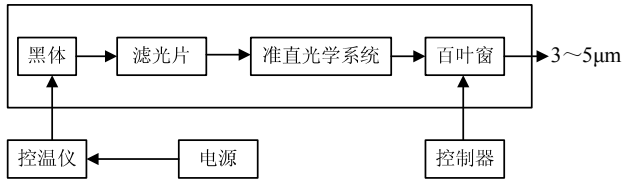


图1 红外辐射头的组成框图

Fig.1 The structure diagram of the IR unit

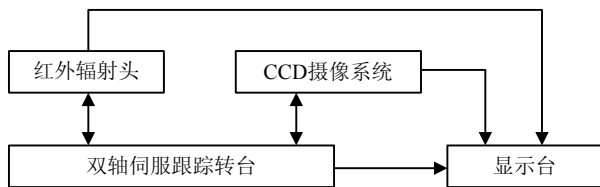


图2 红外告警目标模拟器系统框图

Fig.2 The block diagram of IR alarm target simulator

图2揭示了整个系统的工作原理, 通过CCD摄像系统实现对直升机的跟踪, 根据相应算法控制安装在双轴伺服跟踪转台的红外辐射头对目标直升机进行持续的跟踪, 所有相关的CCD摄像系统跟踪数据和双轴伺服跟踪转台的转角数据会实时呈现在显示台的屏幕上。

1.2 黑体光源发射器

黑体光源发射器由黑体及平行光管两大部分组成, 黑体是一具高精度控温的加热空腔, 在腔内的端部有一个小孔, 由小孔向外发射红外辐射, 由维恩定律可知:

$$M_{\lambda m} = bT^5 \quad (1)$$

式中: $M_{\lambda m}$ 为光谱辐射出射度的峰值; b 为一常数, $b = 1.2862 \times 10^{-15} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-5}$ 。

因此, 黑体的光谱辐射出射度为峰值与其绝对温度的五次方成正比。欲使峰值波长在3~5 μm范围内, 则黑体温度在 $T \approx 600 \sim 1000 \text{ K}$ 范围内变化。

由普朗克定律(式(2))和波耳兹曼定律(式(3)),

$$M_{\lambda} = \frac{c_1}{\lambda^5 \exp(\frac{c_2}{\lambda T}) - 1} \quad (2)$$

$$M = \int_0^{\infty} M_{\lambda} d\lambda = \delta T^4 \quad (3)$$

便可计算出 $\Delta\lambda = 3 \sim 5 \mu\text{m}$ 中的黑体辐射出射度

($\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$)。

由此可知, 只要测出黑体的温度 T 便可精确的计算出该波长范围内红外辐射功率。

为了使黑体光源发射器射出一束平行光, 因此, 将黑体小孔置于平行光管的焦面上, 由平行光管射出一束平行红外光束。

1.3 红外辐射源计算

红外辐射源——黑体位于离轴抛物面反射镜的焦点位置上, 由抛物镜射出的光束为一束平行光, 设离轴抛物面反射镜的通光孔径为 d_0 , 其焦距为 f ; 则要求辐射光输出的中波红外总功率 P_a 为:

$$P_a = I_0 \Omega \quad (4)$$

式中: Ω 为光源辐射的立体角, $\Omega = \pi \left(\frac{d_b}{2f'} \right)^2$,

所以:

$$P_a = \frac{I_0 \pi}{4} \left(\frac{d_b}{2f'} \right)^2 \quad (5)$$

黑体向抛物面反射镜投射的总光功率 P_a' 的数学表达式为:

$$P_a' = \frac{M}{\pi} \left(\pi \left(\frac{d_b}{2} \right)^2 \right) \cdot \left(\frac{\pi}{f'} \left(\frac{d_b}{2} \right)^2 \right) \tau_0 \quad (6)$$

式中: τ_0 为光学系统的透过率(反射率), 令(5)=(6), 则可解得:

$$M = \frac{4I_0}{d_0^2 \tau_0} \quad (7)$$

设 $I_0(3 \sim 5 \mu\text{m}) = 1000 \text{ W} \cdot \text{sr}^{-1}$, $\tau_0 = 0.9$, $d_0 = 30 \text{ cm}$, 则求得:

$$M(3 \sim 5 \mu\text{m}) = 4.94 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2},$$

$$M(0 \sim 5 \mu\text{m}) = \int_0^5 M_{\lambda} d\lambda,$$

$$M(0 \sim 3 \mu\text{m}) = \int_0^3 M_{\lambda} d\lambda,$$

则:

$$M(3 \sim 5 \mu\text{m}) = M(0 \sim 5 \mu\text{m}) - M(0 \sim 3 \mu\text{m}) \quad (8)$$

求得: 当黑体温度 $T = 1300 \text{ K}$ 时, $M(0 \sim 5 \mu\text{m}) = 12.572 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$, $M(0 \sim 3 \mu\text{m}) = 7.4887 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$, 则 $M(3 \sim 5 \mu\text{m}) = 5.0833 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。

黑体温度的控温精度直接影响到辐射强度的模拟式(6)误差, 由黑体辐射的波耳兹曼公式可得:

$$M = \delta T^4 \quad (9)$$

式中: δ 为波耳兹曼常数, $\delta = 5.67032 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ 。

将(9)式代入(7)式后可得:

$$I_0=\frac{\delta T^4d_0^2}{4}$$

(10)

微分(6)式, 得:

$$dI_0=d_0^2\delta T^3dT$$

(11)

令 $dI_0=1\text{ W}\cdot\text{sr}^{-1}$, $d_0=30\text{ cm}$, $T=1300\text{ K}$, 则:

$$dT=\frac{dI_0}{d_0^2\delta T^3}=0.112\text{ K}$$

(12)

2 外设部分

2.1 双轴跟踪转台和温控器的电气控制

转台控制系统必须能控制转台稳定、正常地工作, 确保转台在动态响应和静态精度方面的高性能指标。

转台采用步进电机, 由计算机驱动步进电机控制器的驱动信号和方向信号来控制角度调节, 并根据键盘中断, 相应不同速率的调节。电机步距精度可以控制在 $0.9^\circ/\text{步长}$ 。

温控器的电气控制要求温度为 $50^\circ\text{C}\sim 800^\circ\text{C}$, 在数据协议中设计校准表, 根据校准表标定温度, 温控器通过 232 接口通信, 根据校订的温度, 通过 232 接口发送相应指令。

2.2 软件功能

上位机的软件操作包括显示和控制两部分

1) 显示: 包括温度显示和转台显示。

显示流程总体方案图如图 3 所示。

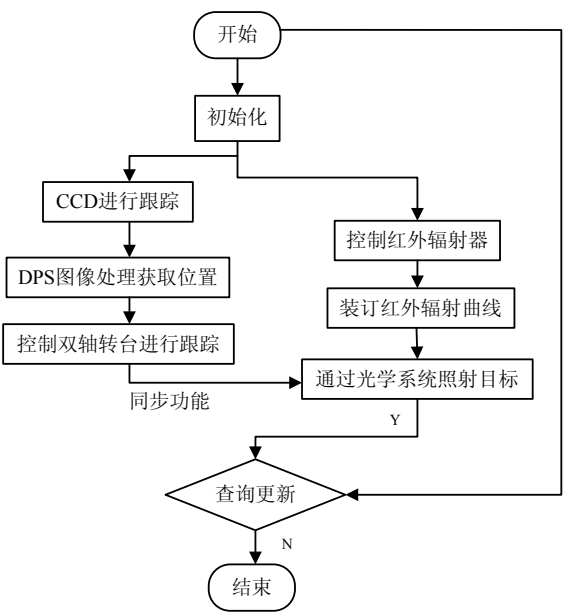


图3 软件基本流程

Fig.3 The flow diagram of the software

2) 控制: 包括温度的标定, 温度调节, 转台的

不同速率驱动电机。

温度控制方面, 通过 232 接口传输温度控制指令。在启用之前, 制作温度系数表标定温度参数, 通过键盘相应温度指令。

转台可以通过用户选择不同的转动速率, 响应相应中断后, 驱动电机, 控制转台, 同时把角度数据采集并通过显示器显示。

3 系统检验标定设备

为了要检测和标定红外辐射头输出的总辐射强度 I_0 , 以及标定百叶窗的通过率与辐射特性的关系, 必须同时研制一套配套的检验标定设备。

测试设备的工作原理框图如图 4 所示。

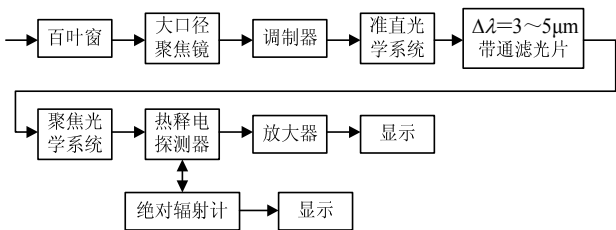


图4 红外辐射头辐射光功率测试系统工作原理图

Fig.4 The principle diagram of testing system for the light power of IR unit

在计量院, 当标定测试系统在 $\Delta\lambda=3\sim 5\mu\text{m}$ 的总辐射功率时, 使调制器不转动且停在透光的位置, 用绝对辐射计替换热释电探测器, 可测出红外辐射头输出的中波 ($3\sim 5\mu\text{m}$) 红外辐射总功率值; 在调制器工作时, 热释电探测器替代绝对辐射计, 便可测出其信号电压 V 。两者比对, 便可得到:

$$V=aP_a$$

(13)

式中: a 为一个常数。

若使百叶窗按辐射特性曲线的控制要求开-闭, 便可测得电压或辐射强度与百叶窗运动曲线的关系特性:

$$V=f_1(P_a)=f_2(\omega(t))$$

(14)

式中: $\omega(t)$ 为百叶窗的角函数。

4 系统测试结果

通过文献^[6-7]中的方法, 本系统装载了某导弹的红外辐射曲线, 此导弹发动机的尾流红外辐射主要集中在 $4\sim 5\mu\text{m}$ 和 $2\sim 3\mu\text{m}$ 。具有装载曲线的红外目标模拟器能自动跟踪直升机, 可测试机载的红外告警系统的多项性能。

在实际工程应用中, 检测直升机机载红外告警系

统的灵敏度、虚警率和探测范围时，应考虑大气传输的衰减，可按下式计算红外探测系统的探测距离，

$$L = \sqrt{\frac{\tau I}{D_{\text{NEFD}} \delta}} \quad (15)$$

式中： τ 为大气光谱透射系数； I 为弹体红外辐射强度； δ 为红外探测系统信噪比； D_{NEFD} 为红外探测系统噪声等效照度。

在所进行实验的区域气象数据平稳情况下（无强风、云雾雨等），此时的误差比较小。如果在所使用的大气衰减表格数据不够准确，采用的气象数据不能覆盖全区域时，都会造成较大实验和理论计算的偏差。

经过实验，涡喷发动机尾流的辐射峰值集中在2~3 μm 和4~5 μm 区间，通过各种实际测量，不同尾喷模型在不同的工作状况下，红外辐射特性非常相似，如图5所示。

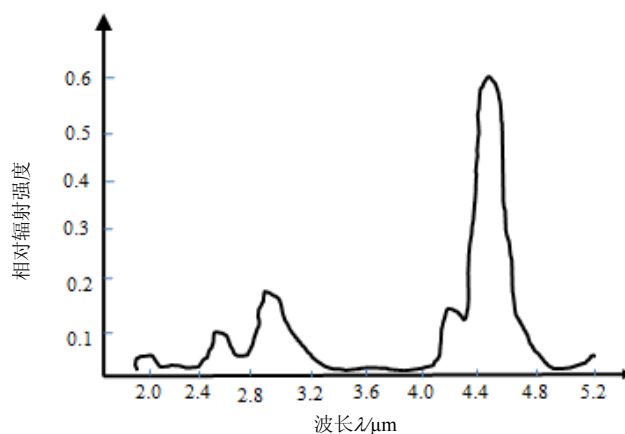


图5 某型导弹尾喷流红外辐射曲线

Fig.5 The spectrum of a certain missile IR

5 结论

在实际测试中，通过装载相应的测试数据来进行告警能力测试。经过实验表明，本系统利用所装载的红外辐射曲线能很好的产生红外辐射目标信号，顺利完成对直升机机载红外告警系统的测试。

参考文献：

- [1] 王勇, 栾文彦, 章曙光, 等. 红外目标模拟器及校准系统性能参数研究[J]. 红外技术, 1995, 17(6): 15-19.
- [2] 戴景民, 萧鹏. 红外目标模拟器校准系统研究与分析[J]. 仪器仪表学报, 2007, 28(4): 96-99.
- [3] 丁全心, 刘华. 红外成像系统仿真、测试与评价的发展与思考[J]. 红外与激光工程, 2009, 38(5): 753-758.
- [4] 徐南荣, 卞南华. 红外辐射与制导[M]. 北京: 国防工业出版社, 1997: 31-33.
- [5] 刘贤德. 红外系统设计基础[M]. 武汉: 华中工学院出版社, 1985: 168-175.
- [6] 徐南荣, 朱谷君. 热空腔-喷气流的组合辐射[J]. 航空动力学报, 1995, 10(3): 295-298.
- [7] 刘旭, 李为民, 别晓峰. 浮空红外探测系统预警高动态目标性能分析[J]. 红外技术, 2013, 35(12): 788-792.