

· 光电系统与amp;设计 ·

近场红外辐射模拟技术与工程应用

吕明春, 张延坤, 王 旭

(总参某部军事代表室, 北京 100012)

摘要:随着新材料、光电子器件和光电技术的不断发展, 红外波段光电设备应用领域越来越广泛, 对红外辐射模拟技术方面的需求日益迫切. 分析了红外辐射体的工作机理, 探讨了红外辐射模拟的关键技术, 研究了近距离红外辐射模拟工程实现的可行性. 介绍的红外辐射模拟技术主要基于模拟近距离外界目标的红外辐射特性, 为红外设备提供试验、检验配试所需的红外辐射模拟信号.

关键词:红外辐射; 模拟技术研究; 工程应用

中图分类号: TN219

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2010)01-0009-03

IR Simulation Technology and Application in Short Distance

LV Ming-chun, ZHANG Yan-kun, WANG Xu

(Military Affairs Representative Office of One Management of PLA's Staff Management, Beijing 100012, China)

Abstract: The application field of electro-optic equipment in infrared band is becoming more and more extensive, and the requirement for IR simulation technology is urgent increasingly with continuous development of the new material, photoelectron detectors and electro-optic technology today. The principle of the infrared radiator was analyzed, the key technology of IR simulation was discussed, and the feasibility of IR simulation engineering practice in short distance was studied. The IR simulation technology is introduced in order to provide the IR simulation signals for the infrared equipments test and examination mainly based on IR feature of targets outside in short distance.

Key words: infrared radiation; simulation technology study; manufacturing application

近年来, 二维凝视焦平面阵列红外摄像器件研制蓬勃发展, 该器件不仅可以作为传感器使用, 而且还可作为红外图像产生器使用. 由此, 红外场景视频模拟技术开发研究工作逐渐展开. 目前, 在红外辐射模拟技术方面的需求非常迫切, 红外辐射模拟技术已经成为当今检测和试验等领域的重要研究课题之一. 以红外光电设备性能检测和试验为背景, 探讨红外辐射模拟技术与工程实现的可行性等问题.

1 工作原理

红外辐射体是红外辐射模拟的重要内容. 红外辐射体主要靠加电升温, 当温度达到一定值时, 其向

外产生的辐射能量便达到一定值. 辐射体的红外辐射能量主要是由辐射体的温度所决定.

1.1 红外辐射及红外光谱

任何物质(体), 其内部的带电粒子都是处于不断运动状态的. 当物体具有一定温度, 即物体温度高于热力学温度 0 K 或摄氏温度 -273 ℃ 时, 它就会不断地向周围进行电磁辐射. 物体的自发辐射, 在常温下主要是红外辐射. 红外辐射的物理本质是热辐射, 物体的热辐射特性主要由物体的温度决定, 故又称为温度辐射. 温度越高、辐射出来的红外线越多, 红外辐射的能量就越强.

收稿日期: 2009-12-02

作者简介: 吕明春(1967-), 男, 辽宁普兰店人, 硕士, 高级工程师, 研究方向为光机电与电子工程.

在电磁波谱中,通常将波长范围为 $0.76 \sim 1000 \mu\text{m}$ 的区域称为红外光谱区.在红外技术中,为便于对不同波长的红外光进行研究,通常将红外辐射分为 4 个区域:近红外(波长为 $0.76 \sim 3 \mu\text{m}$);中红外(波长为 $3 \sim 6 \mu\text{m}$);中远红外(波长为 $6 \sim 20 \mu\text{m}$);远红外(波长为 $20 \sim 1000 \mu\text{m}$)^[1].

所谓远或近,是指红外辐射在电磁波谱中距离可见光的远、近程度,靠近可见光的为近红外区,远离可见光的为远红外区^[2].

1.2 点源和面源

任何物体在高于温度 0 K 的任何温度下,总是不断地自发向周围空间辐射红外线.因而,任何物体在一定条件下,都可以视为红外辐射源.根据辐射源几何尺寸的大小及距离探测器的远近,可分为点源和面源,下面重点探讨面源辐射体.

面源是具有一定大小面积的辐射源,如图 1 所示.既然辐射源的面积有一定的大小,就无法明确定义立体角,且面源所发射的功率 P 会与面积大小有关.点源定义的辐射强度 I 不适合描述面源.

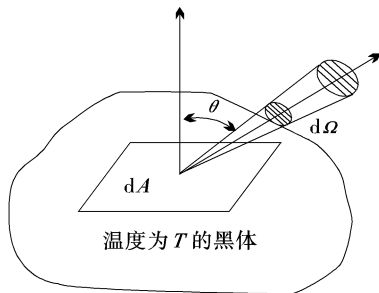


图 1 面源辐射体

对于面源,按照图 1 的定义,面源上 X 点的面辐射亮度(辐射度)为

$$L = \lim_{\substack{\Delta A \rightarrow 0 \\ \Delta \Omega \rightarrow 0}} \left(\frac{\Delta^2 P}{\cos \theta \cdot \Delta A \cdot \Delta \Omega} \right) = \frac{\Delta^2 P}{\cos \theta \Delta A \Delta \Omega} \quad (1)$$

由式(1)可见,面辐射亮度 L 与被照面在面源表面上的位置、方向和面源的面积 ΔA 有关.

辐射出射度,即单位面积发射的辐射功率为

$$M = \frac{\partial P}{\partial A} = \int_{\text{半球}} L \cos \theta d\Omega \quad (2)$$

进行红外目标模拟的理论设计时,需要利用面源的概念.假设辐射面温度、辐射率均匀分布,则可通过温度与有效发射率求得辐射体单位面积的辐射功率,再乘以面积因子,即可得到辐射体总的辐射能量.

1.3 黑体与实际辐射源

绝对黑体是指一个物体对于任何波长的电磁辐

射都全部吸收,且具有最大辐射率的物体.它能够在任何温度下,全部吸收任何波长的入射辐射功率.黑体必然是最理想的辐射体.实际上,在自然界中并不存在完全理想的黑体.但通过对理想物体的研究,可使对所研究的问题得以简化.因此,人们提出了黑体的概念,并以此为基础进行红外辐射的研究.

黑体是理想化的辐射体,然而,在自然界中理想的黑体是不存在的,大量的非黑体辐射才是自然界中的自然现象.基尔霍夫定律指出,一个好的辐射体必然是一个良好的吸收体.该定律还把黑体辐射和非黑体辐射联系起来,为研究实际物体的辐射提供了方便.

比辐射率是衡量一个物体辐射性能的重要物理参数,常用 ϵ 表示.黑体是比辐射率最大的物体.把黑体的比辐射率定为 1,其他物体在同一温度时的辐射出射度与黑体相比,就得到比辐射率的定义为

$$\epsilon = \frac{\text{物体的全辐射量}}{\text{同一温度下黑体的全辐射量}} = \frac{M(\lambda, T)}{M_B(\lambda, T)} \quad (3)$$

比辐射率又称为发射率.根据物体辐射发射率的变化规律,辐射源可分为如下 3 类:(1)黑体.这类辐射体的特点是发射率 ϵ 与波长和方向无关,且等于 1,这是理想化辐射体;(2)灰体.灰体的发射率 ϵ 是小于 1 的一个常数,其发射率不随波长变化;(3)选择性辐射体.选择性辐射体的发射率 ϵ 随波长而变化,且 ϵ 小于 1.选择性辐射体的辐射特性与黑体辐射特性差异较大,是随辐射波长的改变而变化的,且其辐射光谱不连续.

可见,黑体是最佳的热辐射体.灰体的 ϵ 是黑体的一个不变分数,其 ϵ 越接近 1,就越似黑体.因此,在研制红外辐射源时,高发射率的灰体材料是最佳选择^[3-4].

2 红外辐射模拟技术与工程实现

2.1 红外辐射模拟的关键技术

通常红外辐射模拟技术主要有以下几个方面:

(1) 高温、大口径辐射源

文中研究的模拟辐射源其温度工作范围为室温 $+5 \sim 800 \text{ }^\circ\text{C}$,有效辐射口径不小于 $\Phi 60 \text{ mm}$.为解决外场试验距离较远(相对室内试验而言)、大气传输衰减、辐射能量不足的问题,要求辐射体应具有高温、大口径.为此,通过选择良好辐射体材料,设计特

殊的腔形结构,采取表面特殊的发黑处理,以解决开口大影响有效发射率这一难题。

(2)高精度温度调节、稳定控制与显示

该模拟辐射源具有温度控制功能,温度分辨率优于 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,温度控制精度优于 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$,控制器具有温度显示功能、连续可调可控、能独立操作,且可根据标准测量结果对显示温度实施修正。为实现不同测试距离、不同天气状况以及不同目标对辐射体温度的不同要求,采取温度可任意调节、控制及显示等技术,使得辐射体辐射能量可调节,将辐射体的辐射能量按要求控制在一定数值上,同时便于观测与实时调整,以有效提高红外辐射模拟信号的实用性^[5]。

(3)智能型档位设定。设计多个固定温度档位,以实现模拟红外辐射特性的选定,温度值可根据需要预先设置。

(4)插片式光阑,光阑口径分别为 $\Phi 5$ 、 $\Phi 10$ 、 $\Phi 20$ 、 $\Phi 40\text{ mm}$ 可选。更换光阑限定辐射窗口的几何尺寸,以实现不同测试距离条件下对红外辐射口径大小的要求。工程实现上采取简捷的可调光阑插片式结构,光阑模块与辐射腔体采取一定的隔热措施,并对光阑片与辐射体接口端面进行高反射率抛光处理,以有效防止光阑片受腔体加热后对其性能的影响。

2.2 红外辐射模拟的工程实现

红外辐射模拟工程实现上的硬件设备主要由红外辐射体、温度控制器、光阑转接头与光阑插片等构成。其组成示意图如图 2 所示。

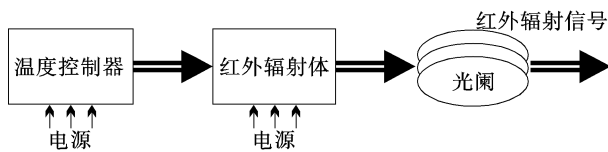


图 2 近距离红外辐射模拟硬件组成示意图

红外辐射体是红外辐射模拟设备的重要组成部分。该模块主要由高发射率的材料制成,通过加电升温产生红外热辐射。辐射体温度可随意调节,能够满足多种测试条件下对辐射能量的需求。

温度控制器采取智能化测温控温仪,配合热电偶温度传感器,来实现红外辐射体温度的测量、调节与控制。同时,温度控制器配备温度预先设定器,可通过数字键盘设置固定档位的温度(辐射能量),使用方便快捷。

光阑转接头与光阑插片用于连接辐射体与限孔光阑,并具有隔热隔离功能,光阑为插片式结构,不

同口径的光阑可以满足不同测试条件下对红外辐射口径的需求。

2.2.1 总体设计

红外辐射模拟设备的总体设计基于模块化、易操作、安全性、效费比、使用维护方便等工程设计思想,以上述分析计算为基础,并综合考虑使用环境要求等因素。

根据红外辐射原理,可以研制多种不同的红外辐射源。其有效发射率的大小是评价辐射源优劣的重要依据,有效发射率是空腔形状、制作材料、空腔壁面与真正等温条件差异的函数。在选择和设计腔体结构时,往往以壁面漫反射和温场均匀性为前提,选择合理的腔体结构,可以获得理想的有效发射率。因此,设计时选择特殊的腔形结构,配以高精度控温仪和严密的工艺措施,确保其性能满足使用要求。

首先,采取分体式结构。辐射体与温度控制器采用 2 个模块,通过电缆连接,电缆提供供电接口与控制数据接口,实现控制器和辐射体的供电与数据信息交换。其次,温度可调、可控、可显示,以满足多种条件下对辐射能量的需要。第三,智能型固定温度档位设计。根据使用需要设定固定档位的温度值,通过掀动数字键盘选择辐射体的辐射能量。第四,进行插片式光阑结构设计,光阑通过插片式结构与辐射体连接,使用方便。

2.2.2 红外辐射体的设计与研制

根据总体设计要求,辐射体选用不锈钢材料制作,以满足高温要求。腔形结构设计采用圆柱加同心槽底部的结构形式,表面进行特殊的发黑处理,以获得高的有效发射率。辐射体外体非均匀绕制加热丝,并用特殊材料加以固定,填充高铝纤维棉进行保温。辐射体与外壳留有气道,加装轴流风机排风,以避免发热腔体的温度传导至外壳。

2.2.3 温度控制器的开发与研制

根据总体设计要求,温度控制器需要实现以下 2 个方面的功能:

一是温度的高精度调节、测量、控制与显示。根据使用要求,辐射体温度要严格进行控制,并在规定范围内可任意设置。为实现这一要求,需要开展的关键工作主要有温度传感器的选择、传感器的布设和智能化测温控温仪的参数选择等,同时综合考虑三者之间的相互制约以及对温度控制器功能的影响,实现智能化测温控温仪的开发与研制。

(下转第 74 页)

3 结 束 语

从振动理论入手,阐述了高精度星敏传感器随机振动的相关分析过程,包括功率谱密度的确定和振动分析的结果评价.由分析结果可知,航天器发射过程中产生的随机载荷对某高精度星敏传感器的影响非常小.不论是 X 向安装还是 Y 向安装,星敏传感器的最大加速度响应放大倍数都在安全裕度内,应力集中处应力值都远小于材料的许用值.接下来的工作是结合星敏传感器其他静态和动态指标,在满足要求的同时优化星敏传感器的结构.

参考文献

[1] 余成武,卢欣.有限元分析在航天器产品设计中的应

(上接第 11 页)

二是温度的固定档位预先设置.根据使用需求,预设多档固定温度值,研制温度预置设定器,以有效解决温度设定的输入与修改、辐射功率的自动调整以及与智能化测温控温仪的通讯接口等问题,使之满足使用要求.

3 结 束 语

对近距离红外辐射模拟技术,如高温度大口径目标红外辐射模拟技术、多功能高精度温度控制技术、红外辐射模拟的温度稳定控制等进行了初步探讨.通过模拟辐射源试验、温度控制的手动设置与计算机自动调节能力的检测、辐射口径变换功能的检

(上接第 51 页)

理芯片,设计了多画面监视控制器,不仅实现了用一台监视器同时监视多路视频输入,而且还能够将 ATM 机上的点钞数据同步叠加到视频画面上,既提高了监控效率、降低了监控系统成本,又增加了监控视频的信息量,深受金融行业客户欢迎.此设计方案硬件电路简洁,软件开发和升级容易,对业界同行进行相关产品开发也有一定的参考价值.该产品已经量产,产品性能稳定,使用效果良好.为了使之设计更合理、功能更完善,下一步的改进重点是用 TW2835/TW2836 代替 TW2824,因为前者功耗更

用[J].空间控制技术与应用,2008,34(4):28-32.

- [2] 李德葆,陆秋海.工程振动试验分析[M].北京:清华大学出版社,186-193.
- [3] Jeffrey W Percival, Kenneth H Nordsieck, Kurt P Jaehrig. The ST5000: a high-precision star tracker and attitude determination system [C] //Proceedings of SPIE, 2008, 7010: 70104H-1-70104H-6.
- [4] DAN Michaels, JAMES Speed. New Ball Aerospace star tracker achieves high tracking accuracy for a moving star field[C]//Proceedings of SPIE, 2004, 5430: 43-52.
- [5] ROELOF W H, VAN Bezooijen. SIRTf autonomous star tracker[C]//Proceedings of SPIE, 2003, 4850: 108-121.
- [6] 李蓓蓓.振动分析的有效工具——功率谱密度[J].包装工程,2004,25(3):46-50.

测.结果表明,该模拟辐射源功能较为全面,可以较好地模拟不同目标的红外特性,并且体积小、质量轻、操作使用简便,实用性强.

参考文献

- [1] 严衍禄.近红外技术基础及应用[M].北京:中国轻工业出版社,2005.
- [2] [美]A·R 杰哈.红外技术应用——光电、光子器件及传感器[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [3] 宣益民,韩玉阁.目标与背景的红外辐射特性研究及应用[J].红外技术,2002,24(4):16-19.
- [4] 毛峡,李兴新,朱刚,等.目标红外辐射特性计算[J].电子测量技术,2003(5):19-20.
- [5] 华振斌,孟凡斌.红外辐射强度测量系统设计[J].光电技术应用,2009,24(2):10-12.

低,功能更强,特别是支持音频输入/输出.此外,为了使操作更加方便,必须增加对鼠标功能的支持.

参考文献

- [1] Techwell Inc. TW2824 4 channel video QUAD/MUX controller for security applications, datasheet Rev. 1.4 [DB/OL]. USA:Techwell Inc, 2004.
- [2] 赵建领.51 系列单片机开发宝典[M].北京:电子工业出版社,2007.
- [3] 范庆辉,阳富民.基于 TW2824 的 OSD 技术研究与实现[J].计算机工程与设计,2007,28(10):2469-2474.