

---

---

文章编号 1674-2915(2010)04-0391-06

# 红外测温过程中灰度值漂移的修正

孙志远, 朱 玮, 乔彦峰

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

**摘要:**对基于中波红外焦平面探测器实现目标的表面温度测量进行了理论及实验研究。介绍了红外测温系统的组成和测量原理,建立了红外探测器测温模型。分析了标定过程中出现的红外探测器灰度值漂移现象,通过4种不同的实验方法总结了红外探测器灰度值漂移的规律,根据这些漂移规律提出了漂移补偿的方法。最后,以黑体为目标进行了测温实验。结果显示,漂移补偿前后的测温误差分别为1.965℃和0.335℃,表明测温精度得到了很大的改善。

**关键词:**红外探测器;红外测温;灰度值漂移;漂移补偿

中图分类号:TN219 文献标识码:A

## Amendment of gray drift in infrared temperature measurement

SUN Zhi-yuan, ZHU Wei, QIAO Yan-feng

(*Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China*)

**Abstract:** The surface temperature measurement of temperature target based on a medium wave infrared detector was researched theoretically and experimentally in this paper. The constitution and measurement principle of the system were introduced and a temperature measurement model for the infrared detector was established. The gray drift characteristics of the infrared detector in a calibration were analyzed, and the drift disciplinarians were summarized by four kinds of different experiments. Meanwhile, the drift compensation method was proposed based on the drift disciplinarians. Finally, a temperature measurement experiment was carried out, and the results show that the measurement error before and after drift compensations are 1.965℃ and 0.335℃, respectively, which indicates that the measurement precision has been improved in a great degree after the compensation.

**Key words:** infrared detector; infrared temperature measurement; gray drift; drift compensation

## 1 引言

自然界中温度在绝对零度以上的物体均会发出热辐射。通过红外探测器对物体的热辐射进行探测,将物体热辐射的功率信号转换成电信号,即可将物体表面温度的空间分布经电子系统处理,得到与物体表面热分布相应的热像图,即温度场。运用这一方法,能对目标进行远距离热成像和测温,进一步利用黑体对红外探测器进行标定后,即可实现对物体表面温度的准确测量<sup>[1~5]</sup>。由于根据目标的表面温度就可以计算目标的辐射强度和辐射亮度等其它辐射特性,所以该项技术在辐射测量领域得到了广泛应用。在使用黑体标定测温曲线的过程中发现:随着测量时间的增加,红外探测器像元的能量近似线性增加,即红外探测器的像元产生了灰度值漂移。本文主要研究这种灰度值漂移对温度测量精度的影响,通过实验总结了红外探测器灰度值漂移的规律并提出了补偿方法,从而改善了测温精度。

## 2 系统的组成与测量原理

### 2.1 系统的组成

红外测温系统由红外光学系统、红外探测器、信号处理和标准黑体辐射源等部分组成。

#### 1) 红外光学系统

红外光学系统的主要参数如下:

口径:50 mm;

焦距:100 mm;

视场大小: $5.4^\circ \times 4.3^\circ$ 。

#### 2) 红外探测器

探测器组件为制冷型中波红外探测器,材料为碲镉汞(HgCdTe),主要参数如下:

响应波段: $3.7 \sim 4.8 \mu\text{m}$ ;

光敏面像元数: $640(\text{H}) \times 512(\text{V})$ ;

像元尺寸: $15 \mu\text{m} \times 15 \mu\text{m}$ ;

制冷方式:斯特林制冷。

#### 3) 标准黑体辐射源

选用CI公司的SR-800高精度面黑体,主要

技术参数如下:

可设温度: $-25 \sim 125^\circ\text{C}$ ;

温度稳定度: $\pm 0.001^\circ\text{C}$ 。

### 2.2 基于红外探测器的测温模型建立

辐射源的面积为 $A_s$ ,与红外系统的距离为 $l$ ,辐射源通过红外光学系统在探测器上成像的面积为 $A_i$ ,如图1所示。

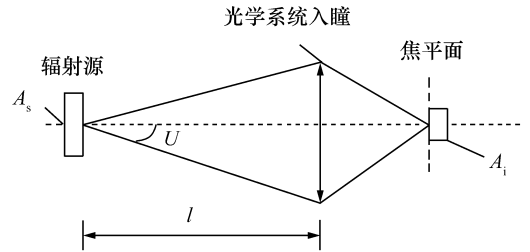


图1 目标通过红外光学系统成像时的物像关系  
Fig. 1 Relation of object and image through optical system

通过理论推导得到,表面温度为 $T$ ,发射率为 $\varepsilon(\lambda, T)$ 的扩展源在红外探测器像面上形成的图像灰度值可以表示为<sup>[6~8]</sup>:

$$\begin{aligned} h &= G \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R(\lambda) \cdot E'(\lambda, T) \cdot d\lambda \\ &= \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{D}{f}\right)^2 \tau_{\text{opt}} \cdot \tau_{\text{air}} \cdot G \cdot \\ &\quad \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R(\lambda) \cdot M(\lambda, T) \cdot d\lambda \end{aligned} \quad (1)$$

式中: $G$ 为系统增益; $R(\lambda)$ 为红外探测器的光谱响应率; $E'(\lambda, T)$ 为像元的辐射照度; $D/f$ 为系统的相对孔径; $\tau_{\text{opt}}$ 和 $\tau_{\text{air}}$ 分别为光学系统的透过率和大气透过率; $M(\lambda, T)$ 为目标的辐射出射度。

## 3 红外探测器的灰度值漂移

### 3.1 红外探测器灰度值漂移概述

将黑体温度设置在 $25^\circ\text{C}$ ,待温度稳定后放置在红外相机的镜头前,以红外相机开机并完成非均匀校正的时刻为“零时刻”,每隔10 min进行一次红外图像的采集。使用matlab中的plot工具画出探测器中心像元灰度值随时间的变化曲线,本文称为探测器像元的漂移曲线,如图2所示,横

坐标为测量时间(单位为:min),纵坐标为探测器像元的灰度值。

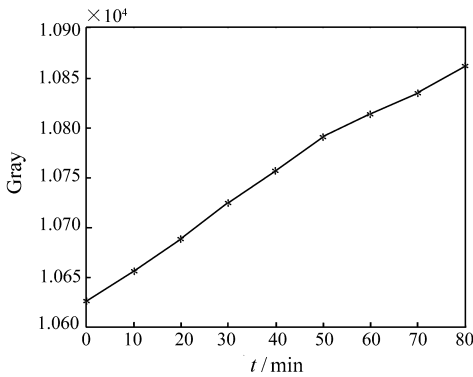


图2 红外探测器中心像元的漂移曲线

Fig.2 Drift curve of infrared detector

从图中可以看出,红外探测器像元的响应灰度值随测量时间的增加而增加,即红外探测器像元在跟踪测量过程中存在灰度值漂移(以下简称漂移)。拟合得到图2所示的漂移曲线的方程为

$$y = -0.00011x^2 + 0.058x + 297.904 \quad (2)$$

从公式可以看出,漂移曲线近似线性。

使用开机时刻获得的标定数据拟合得到中心像元的测量曲线,利用该测量曲线计算 25 °C 黑体在不同时刻的温度值,如表 1 所示。

表1 探测器像元漂移引起的测温误差

Tab.1 Measurement error caused by drift of infrared detector

时间/min	20	40	60	80
温度值/K	298.98	300.00	300.82	301.50
测温误差/K	0.98	2	2.82	3.5

从上表可以看出,红外探测器的漂移特性对测温结果有较大影响,灰度值漂移的补偿是提高红外测温精度的重点。本文通过实验总结了红外探测器灰度值漂移的规律。

### 3.2 灰度值漂移规律总结

#### (1) 漂移曲线的重复性实验

对探测器中心像元的漂移曲线进行多次重复测量,得到曲线如图3所示。从图中可以看出,相同的实验条件,3次漂移实验的漂移曲线规律相似。

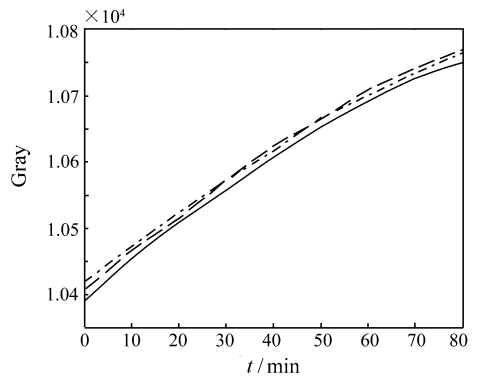


图3 3次相同实验拟合得到的漂移曲线的对比

Fig.3 Comparison of drift curves of three same experiments

#### (2) 目标源温度不同时红外相机漂移曲线比较

将黑体的温度分别设定在 15、20、25 和 30 °C,放置在红外镜头前,探测器中心像元的漂移曲线如图4所示。从图中可以看出,目标温度不同时,红外探测器的漂移曲线是平行的,只是由于目标能量的差异使漂移曲线的起始点不同。

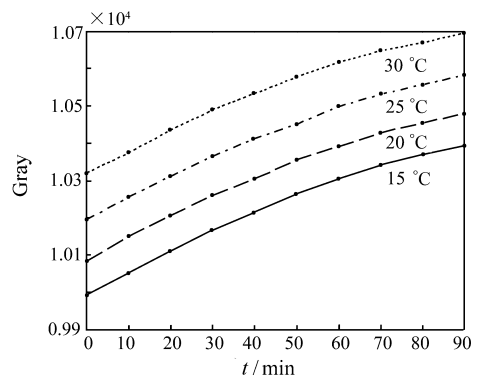


图4 目标源温度不同时的漂移曲线比较

Fig.4 Comparison of drift curves of different targets

#### (3) 不同环境温度漂移曲线

将红外相机放入恒温箱中,将恒温箱的温度分别设定为 0、30 和 40 °C,分别画出不同温度下红外探测器中心像元的漂移曲线,将这3次实验得到的漂移曲线与室温(约 22 °C)条件下的漂移曲线比较,得到图5。

将图5中的其它曲线向 0 °C 曲线平移后得到图6,从图6中可以看出,环境温度越高,漂移曲

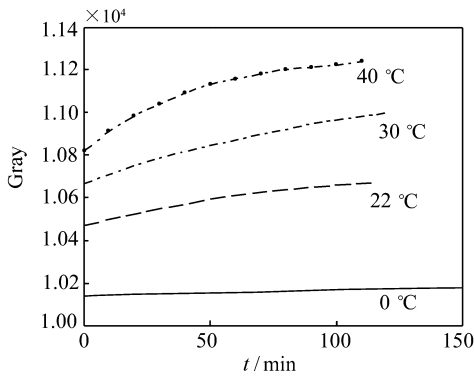


图5 不同环境温度下漂移曲线的比较

Fig. 5 Comparison of drift curves in different environment temperatures

线的斜率越大。当环境温度为 0 °C 时,红外相机的漂移很小。

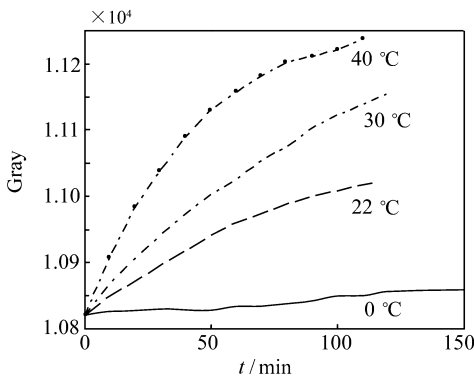


图6 图5中曲线平移后

Fig. 6 Figure 5 after paralleling

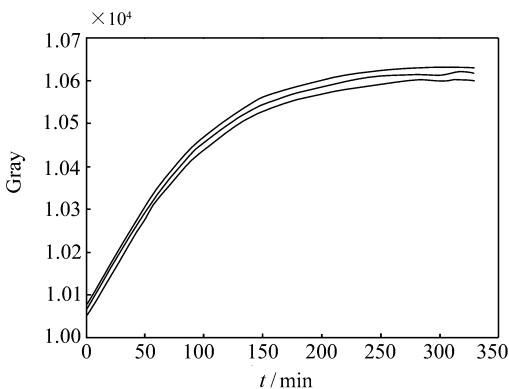


图7 长时间漂移实验

Fig. 7 Long time drift experiment

#### (4) 长时间漂移实验

对红外相机作长时间的漂移实验约 6 h,在探测器中心像元附近选择 3 个像元,画出它们的漂移曲线,如图 7 所示。从图中可以看出,漂移曲线在 250 min 左右趋于平缓。

根据以上实验总结出了红外探测器像元的漂移规律:

(1) 环境温度变化不大时,探测器像元在几次测量下得到的漂移曲线规律是近似相同的。

(2) 探测器像元的漂移规律与目标源的温度无关。

(3) 环境温度不同时,探测器像元的漂移曲线斜率不同,而且环境温度越高,漂移曲线的斜率越大,环境温度接近 0 °C 时,漂移曲线近似一条与时间轴平行的直线,即探测器像元的漂移很小。

(4) 开机较长一段时间以后,探测器像元的漂移曲线趋于平缓。

### 3.3 漂移补偿方法

根据上述灰度值漂移规律,本文提出以下两种补偿方法:

(1) 根据环境温度变化不大,红外探测器像元的漂移曲线规律近似相同这一规律,测量前可使用黑体拟合出探测器像元的漂移曲线,在环境温度变化不大的情况下使用该漂移曲线。

(2) 在测量间隙,将温度近似稳定的物体(如红外相机的镜头盖)挡在镜头前,拟合出该次测量的漂移曲线。

拟合出漂移曲线后根据记录的开机时间和数据采集时间就可以计算该段时间内目标像元灰度值的变化量,消除该漂移量,即可准确确定目标像元的真实响应灰度值。

## 4 实验部分

以黑体为目标进行测温实验,将黑体放置在平行光管的焦平面处模拟远距离目标,计算了黑体的测温精度。

### 4.1 实验设备及实验过程

实验设备主要有高精度面黑体及平行光管。

(1) 两个面黑体:以 CI 公司的 SR-800 宽范围高精度面黑体作为标定源,以另一台大面阵黑体

作为目标进行测温实验。

(2)平行光管:平行光管由两个离轴反射镜组成,口径为600 mm,焦距为6 m,两个反射镜反射率的理论值均为0.95。

实验室的环境温度约为18.5℃,在环境温度-5~+10℃内进行了测温实验,实验主要有以下几个步骤:

(1)非均匀校正:将镜头盖作为校正源,积分时间选择为2.5 ms,执行单点校正命令,校正后下传校正系数表。

(2)标定过程:将SR-800宽范围高精度面黑体放置在红外相机镜头前,设定标定温度为14~28℃,标定间隔为2℃,将黑体放置在镜头前标定。

(3)漂移数据采集:以非均匀校正后开始采集红外图像的时刻为“零时刻”,盖上相机的镜头盖(近似地认为镜头盖的温度恒定),每隔20 min进行一次镜头盖图像的采集。

(4)测量过程:将大面阵黑体放置在平行光管的焦平面处,通过平行光管成像,设定大面阵黑体的温度值分别为14、15、16……28℃,采集各温度点的红外图像,将14~28℃,间隔1℃的所有温度点的图像采集过程为一组,共循环测量4组,用时约2 h。

## 参考文献:

- [1] 屈惠明. 红外成像电子学理论及其关键技术研究[D]. 南京:南京理工大学,2007.  
QU H M. Research on infrared imaging electronics theory and its key techniques[D]. *Nanjing: Nanjing University of Science and Technology*,2007 (in Chinese)
- [2] MAZIKOWSKI A, HYP SZER R, JEDRZEJIEWSKA-SZCZERSKA M. Modeling of non-contact temperature measurement system using multiwavelength pyrometry[J]. *SPIE*,2001,4516:120-124.
- [3] 林志强,郑小兵,张磊. 红外探测器光谱响应率定标方法[J]. 光电工程,2008,35(2):118-122.  
LIN ZH Q, ZHENG X B, ZHANG L. Calibration of spectral responsivity of infrared detector [J]. *Opto-electronic Eng.*, 2008,35(2):118-122. (in Chinese)
- [4] 邢强林. 红外焦平面成像探测辐射特性测量标定方法研究[J]. 飞行器测控学报,2007,26(4):68-71.  
XING Q L. Calibration for FPA infrared radiation measuring system [J]. *J. Spacecraft TT&C Technol.*,2007,26(4):68-71. (in Chinese)
- [5] 刘涛,姜卫东,黎湘,等. 弹道中段目标动态红外辐射特性仿真计算[J]. 红外与激光工程,2008,37(6):955-958.  
LIU T, JIANG W D, LI X, et al. . Simulation calculation of dynamic infrared radiation characteristics of the target in ballistic midcourse[J]. *Infrared Laser Eng.*,2008,37(6):955-958. (in Chinese)
- [6] 张建奇,方小平. 红外物理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2004.  
ZHANG J Q, FANG X P. *Infrared Physics*[M]. Xi'an: Xidian University press,2004. (in Chinese)
- [7] 郝道银,谈恒英. 工程光学[M]. 北京:机械工业出版社,1999.

## 4.2 实验结果

在目标图像上选择一点进行测温实验,分别计算漂移补偿前后的测温误差,统计每一组测温误差的均方根值,单位为℃,结果如表2所示。

表2 漂移补偿前后的测温误差

Tab.2 Measurement errors before and after drift compensation

	第一组	第二组	第三组	第四组	平均值
补偿前	1.4	1.80	2.19	2.47	1.965
补偿后	0.32	0.31	0.39	0.32	0.335

经计算,漂移补偿前,4组数据测温误差的平均值为1.965℃;而漂移补偿后为0.335℃,测温精度得到了较大的改善。

## 5 结论

针对由于红外相机内部电路结构紧凑,散热性不好,导致红外相机存在灰度值漂移,从而影响测温精度的问题,本文实验研究了影响红外探测器测试精度的灰度值漂移并提出了漂移补偿的方法。以黑体为目标进行了测温实验,结果表明,漂移补偿后,测温精度得到了很大的提高。

YU D Y, TAN H Y. *Engineering Optics*[M]. Beijing: China Machine Press, 1999. (in Chinese)

[8] 吴晗平. 红外辐射大气透过率的工程理论计算方法研究[J]. 光学精密工程, 1998, 6(4): 35-43.

WU H P. Research into theoretical calculation method on engineering of transmittance of infrared radiation through atmosphere[J]. *Opt. Precision Eng.*, 1998, 6(4): 35-43. (in Chinese)

作者简介: 孙志远(1982—), 男, 辽宁沈阳人, 博士研究生, 主要从事红外辐射测量方面的研究。

E-mail: zhiyuansun1982@yahoo.com.cn

## 《发光学报》(双月刊)

中文核心期刊(物理学类; 无线电电子学、电信技术类)

《发光学报》是中国物理学会发光分会与中国科学院长春光学精密机械与物理研究所共同主办的中国物理学会发光分会的学术会刊。该刊是以发光学、凝聚态物质中的激发过程为专业方向的综合性学术刊物。

《发光学报》于1980年创刊, 曾于1992年, 1996年, 2000年和2004年连续四次被《中文核心期刊要目总览》评为“物理学类核心期刊”, 并于2000年同时被评为“无线电电子学、电信技术类核心期刊”。2000年获中国科学院优秀期刊二等奖。现已被《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》和“万方数据资源系统”等列为源期刊。英国《科学文摘》(SA)自1999年; 美国《化学文摘》(CA)和俄罗斯《文摘杂志》(AJ)自2000年; 美国《剑桥科学文摘社网站》自2002年; 日本《科技文献速报》(CBST, JICST)自2003年已定期收录检索该刊论文; 2008年被荷兰“Elsevier Bibliographic Databases”确定为源期刊。2001年在国家科技部组织的“中国期刊方阵”的评定中, 《发光学报》被评为“双效期刊”。2002年获中国科学院2001~2002年度科学出版基金“择重”资助。2004年被选入《中国知识资源总库·中国科技精品库》。

本刊内容丰富、信息量大, 主要反映本学科专业领域的科研和技术成就, 及时报道国内外的学术动态, 开展学术讨论和交流, 为提高我国该学科的学术水平服务。

《发光学报》为双月刊, A4开本, 144页, 国内外公开发行。国内定价: 40元, 全年240元, 全国各地邮局均可订阅。《发光学报》欢迎广大作者、读者广为利用, 踊跃投稿。

主管单位: 中国科学院

主办单位: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、中国物理学会发光分会

地 址: 长春市东南湖大路3888号 《发光学报》编辑部

邮 编: 130033

电 话: (0431)86176862, 84613407

E-mail: fgxbt@126.com

国内统一刊号: CN 22-1116/O4

国际标准刊号: ISSN 1000-7032

国内邮发代号: 12-312

国外发行代号: 4863BM

http://www.fgxb.org