

傅里叶变换红外光谱仪扫描成像系统被动遥测火焰红外图像

刘志明, 高闽光, 刘文清, 陆亦怀, 张天舒, 徐亮, 魏秀丽

中国科学院环境光学与技术重点实验室, 中国科学院安徽光学精密机械研究所环境光学中心, 安徽合肥 230031

摘要 介绍了一种傅里叶变换红外光谱仪扫描成像系统,并用该系统测量了放在平台上的3盏普通实验用酒精灯的火焰红外发射谱,选择位于大气窗口内的波数为900~1000 cm⁻¹波段,利用普朗克定律,反演出了每条光谱对应的相对温度。实验中每一个光谱对应一个扫描位置即像素点,把这些温度数据通过Matlab软件绘制出了扫描范围内的红外图像。将红外图像叠加在视频图像之上,两者吻合得非常好,清楚地显示了3个火焰的位置。

关键词 傅里叶变换红外光谱;扫描成像;红外

中图分类号: O657.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2008)11-2520-03

引言

自然界一切温度高于绝对零度的物体(物质)无不在每时每刻产生着红外辐射,且这种辐射都载有物体的特征信息,这就为探测和识别各种目标提供了客观基础^[1]。红外技术就是通过红外探测器探测物体的红外辐射,提取物体的特征信息。目前,红外技术无论是在军事领域还是民用方面都发挥着重要作用。常用的红外仪器有红外测温仪,红外热像仪,红外光谱仪等。本文介绍了一种傅里叶变换红外光谱仪扫描成像系统,它是扫描设备与傅里叶变换红外光谱仪的联合。该系统不仅具备了傅里叶变换红外光谱仪非接触、实时、快速、准确、灵敏度高的优点,通过扫描还可以得到物体的空间信息。与红外热像仪相比,该系统结合视频图像不仅可以给出目标的温度分布,还可以得到目标详细的红外发射谱,从而可以反演目标的成分浓度分布。Klaus^[2]和Edgar^[3]利用类似系统进行了飞机尾气红外图像绘制,反演成分浓度的研究。

1 原理^[4-8]

火焰的红外发射谱是由普朗克定律决定的连续谱与分子转振能级跃迁的线状谱的混合,线状谱叠加于连续谱之上。

1.1 连续谱强度

连续谱强度满足普朗克定律

$$L(\nu) = \frac{C_1^3}{\exp(C_2/T) - 1} \quad (1)$$

其中: ν 为波数,单位是cm⁻¹, $L(\nu)$ 为辐射体在波数为 ν 处的发射率, $C_1 = 1.191062 \times 10^{-12} \text{ Wg} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{sr}^{-1}$,称为第一辐射常数, $C_2 = 1.438786 \text{ Kgc}$,称为第二辐射常数。

1.2 分子转振能级跃迁的线状谱强度

根据量子力学,波动力学,麦克斯韦-玻尔兹曼分布律可以计算出分子转振能级跃迁的线状谱强度为^[1]

$$I = \frac{C^4}{Q_r} (J + J + 1) e^{-BJ(J+1)hc/kT} \quad (2)$$

其中: C 是一个常数, Q_r 是分子配分函数, ν 是跃迁光子波数, J 是初态转动量子数, $J + 1$ 是末态转动量子数, B 是分子转动常数, h 是普朗克常数, c 是光速, k 是玻尔兹曼常数, T 是绝对温度。

2 实验

2.1 实验装置(FTIR扫描成像系统)

FTIR扫描成像系统由两部分组成,前一部分是扫描反射镜,水平俯仰可调,扫描的最小角度可达0.002°;后一部分是加拿大BOMEM公司的MR-154傅里叶变换红外光谱仪。通过反射镜的扫描可以使不同方位的辐射进入光谱仪,整体结构见图1。

测量的目标是放置在平台上的3盏普通实验用酒精灯火焰,它们之间的距离大约为25cm,距离扫描成像系统5m。实验光谱仪参数设置为:液氮制冷型中红外探测器MCT

收稿日期:2007-10-08,修订日期:2008-01-16

基金项目:国家自然科学基金项目(083H311501)和国家“863”计划项目(073H3H1514)资助

作者简介:刘志明,1983年生,中国科学院安徽光学精密机械研究所硕士研究生 e-mail:liuzhiming168@163.com

(TeedHg 碲镉汞), 响应波段为 $500 \sim 5\,000\text{ cm}^{-1}$, 中视场卡塞格林式望远镜, 视场角 10 mrad , 口径 $5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$, 光栏 2.3 mm , 分辨率 4 cm^{-1} , 增益 D。扫描参数设置为: 水平和俯仰视场扫描步长为 1.1459° , 每格(像素)大小为 $5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$, 共扫描像素点数为 $20 \times 10 = 200$ 个, 扫描范围 $100\text{ cm} \times 50\text{ cm}$, 每一个像素点位置测一条发射谱。

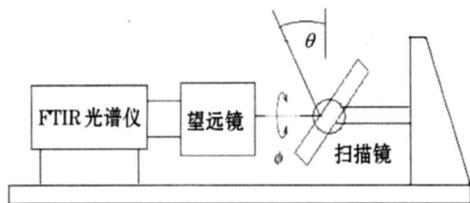


Fig. 1 FTIR scanning imaging system

2.2 实验结果

实验一共得到 200 条光谱, 图 2 给出了一条远离火焰处的低温发射谱和一条酒精灯火焰发射谱, 可以清楚地看到火焰发射谱强度明显高于低温发射谱强度, 还可以看到酒精燃烧后生成的二氧化碳的转振能级跃迁发射谱。选择波数为 $900 \sim 1\,000\text{ cm}^{-1}$ 大气窗口区内波段, 不受大气中水汽和二氧化碳吸收的影响, 同时也不受酒精燃烧后生成的高温水汽和二氧化碳发射谱的影响(见图 3), 其强度只与物体绝对温度和发射率有关。

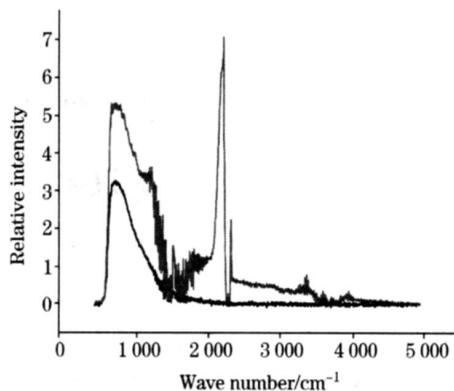


Fig. 2 Two of infrared emission spectra

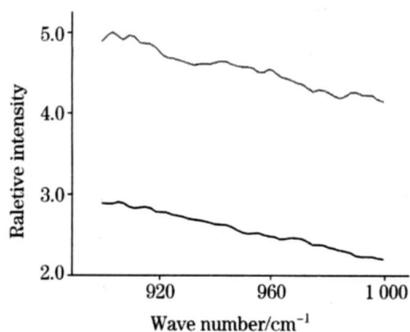


Fig. 3 Infrared emission spectra in $900 \sim 1\,000\text{ cm}^{-1}$

3 分析与处理

由于火焰温度要高出周围温度很多, 且本文目的是通过测量火焰结构找到高温位置, 进而得到火焰的红外图像, 因此我们没有考虑物体发射率的影响。通过自行开发的 VC++ 程序对实验得到的 200 条光谱进行处理。为了减少随机误差的影响, 把波数为 $900 \sim 1\,000\text{ cm}^{-1}$ 波段内的数据累加后求平均。从式(1)可以知道, 光谱的相对强度与绝对温度有关, 温度越高强度越大。因为我们关心的是红外图像即温度的相对分布, 不必计算每一像素点处的绝对温度。把每一个像素点处的相对温度值组成一个 20×10 的数组, 应用 Matlab 软件绘制伪彩色图(图 4)及等温线图(图 5)。

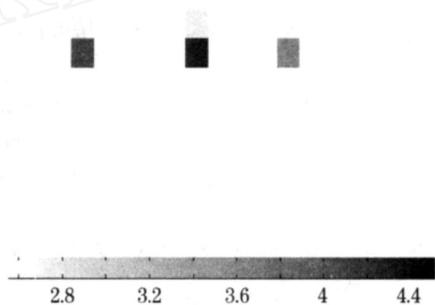


Fig. 4 False color map

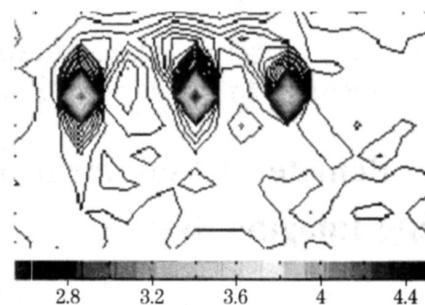


Fig. 5 Isotherm map

利用 Photoshop 软件, 将红外图像叠加到视频图像上, 透明度设置为 50%, 见图 6 和图 7。可以看到红外图像中 3 个温度较高的位置与视频图像中酒精灯火焰的位置吻合得非常好。

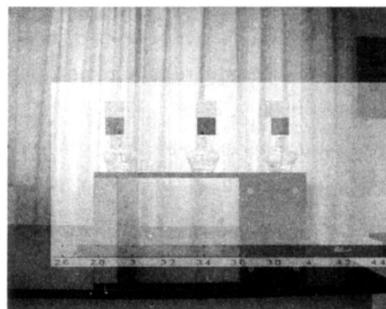


Fig. 6 False color map and the video image

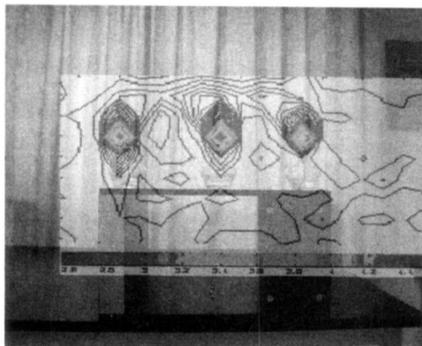


Fig 7 Isotherm map and the video image

4 结论及展望

可以看出,傅里叶变换红外光谱仪扫描成像系统准确地给出了扫描区域的温度分布,红外图像中 3 个温度较高的位置与视频图像中酒精灯火焰的位置吻合得非常好。下一步要开展的工作是得出扫描范围内的成分浓度分布。该系统在军事上可以用于军事目标识别,生化战剂探测,爆炸物挥发成分监测;民用上可以用于化工厂气体泄漏的应急预警,天然气输送管道监测和污染云团扩散特性研究等。

参 考 文 献

- [1] ZHANG Jian-qi, FANG Xiao-ping(张建奇,方小平). Infrared Physics(红外物理). Xi an: Xidan University Press(西安:西安电子科技大学出版社), 2004.
- [2] Klaus Schafer. Proceedings of SPIE, 2004, 5571: 334.
- [3] Edgar Flores-Jardines. Proc. of SPIE, 2005, 5979: 59791A.
- [4] LIU Zhi-ming, GAO Min-guang, ZHANG Tian-shu, et al(刘志明,高闽光,张天舒,等). Infrared Technology(红外技术), 2007, 29(4): 239.
- [5] LIU Zhi-ming, GAO Min-guang, XU Liang, et al(刘志明,高闽光,徐亮,等). Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory(光谱实验室), 2007, 24(3): 486.
- [6] WU Jin-guang(吴瑾光). Modern Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Its Application(近代傅里叶变换红外光谱技术及应用). Beijing: Scientific and Technical Documents Press(北京:科学技术文献出版社), 1994.
- [7] ZHU Jun, LIU Wen-qing, LIU Jian-guo, et al(朱军,刘文清,刘建国,等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2005, 25(10): 1573.
- [8] Gerhard Herzberg(G.赫兹堡著). Molecular Spectra and Molecular Structure(Vol. 1). Spectra of Diatomic Molecules(分子光谱与分子结构,第1卷,双原子分子光谱). Translated by WANG Ding-chang(王鼎昌,译). Beijing: Science Press(北京:科学出版社), 1983.

Passive Remote Measurement of Flame Infrared Image by a FTIR Scanning Imaging System

LIU Zhi-ming, GAO Min-guang, LIU Wen-qing, LU Yi-huai, ZHANG Tian-shu, XU Liang, WEI Xi-li

Key Lab of Environment Optics & Technology and Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China

Abstract The present paper introduced a FTIR scanning imaging system. This system is based on the combination of a FTIR spectrometer and a scanning mirror. So it has the advantage of FTIR spectrometer: non-contact, real-time, celerity, nicety and high sensitivity. Through scanning mirror, the authors can obtain the space information of targets. The authors used this system to measure the flames infrared emission spectra of three alcohol burners at a flat roof in our laboratory. According to Planck's law, the authors calculated the relative temperature of from each spectrum. These temperature data formed an array. The authors used matlab software to plot the infrared images of target and contrasted them with video image. They were consistent with each other very well. This experiment allowed us to obtain the temperature distribution of three alcohol burners' flames, and provide identification, visualization, and quantification of pollutant clouds.

Keywords FTIR; Scanning imaging; Infrared

(Received Oct. 8, 2007; accepted Jan. 16, 2008)