

红外发射材料光谱发射率的测量法*

王海燕, 吴坚业, 朱国荣

(总装工程兵科研一所, 江苏 无锡 214035)

摘要: 发射率是评价红外材料性能的关键指标之一, 快速、准确测量发射率对红外材料的研制具有重大意义。详细介绍傅里叶变换红外光谱法测量辐射源分谱能量得出发射率的原理和实验方法。

关键词: 发射率; 傅里叶红外; 光谱仪

中图分类号: TN212 文献标识码: A 文章编号: 1001-8891(2003)06-0061-03

引言

随着红外技术在军事应用方面表现出举足轻重的作用和巨大的应用前景, 以及红外材料的大量涌现和广泛使用, 人们对影响红外材料辐射特性的重要参数之一发射率的测量提出了迫切的要求。发射率不仅取决于物质的内在性质, 同时还取决于物质表面的物理状态、光滑程度、材料粒度、温度、辐射角等, 这些因素使得发射率的测量很复杂。傅里叶变换红外光谱法由于迈克尔逊干涉仪和计算机取代了色散法测量中的棱镜或光栅, 因此具有扫描速度快、光通量大、完全没有入射狭缝、分辨率高、波数精确等优点, 尤其不受辐射源随时间变化的影响, 使得有可能测量 100℃ 以下甚至常温下的红外辐射。

1 基本理论

1.1 黑体

有关黑体辐射的理论研究, 主要反映在斯特藩—玻尔兹曼定律:

$$\omega(T) = \sigma T^4 \quad (1)$$

式中: σ 为玻尔兹曼常数。普朗克定律:

$$\omega(\lambda, T) d\lambda = \frac{c_1}{\lambda^5} \left[\frac{d\lambda}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T}\right) - 1} \right] \quad (2)$$

式中: c_1 、 c_2 为第一、第二辐射亮度。维恩定律:

$$\lambda_{\max} = hc/4.965k = 0.2898/T \quad (3)$$

1.2 发射率

发射率是实际物体与同温度黑体在相同条件下的辐射功率之比。然而在实际工作中材料的热辐射特性在不同波长及不同方向上是不相同的。对于波长范围取平均, 可用“总”表示, 对于半球范围取平均, 可用“半球”表示, 故而分分谱及全波长发射率、方向、法向和半

球发射率。由于大多数红外系统都是响应辐射源规定方向上的一个小立体角内的辐射通量, 因而通常测量都是方向发射率。实际上绝大多数辐射体都是灰体, 即光谱发射率与全波长发射率相等。取法向 $\theta=0$ 则灰体与黑体满足以下关系:

$$W(\lambda, T) = \epsilon(\lambda, T) W_B(\lambda, T) \quad (4)$$

1.3 红外光谱仪

传统的色散型红外光谱仪把辐射体辐射的光分为等强度的两束, 经切光器, 交替进入单色器, 经过棱镜或光栅色散后交替射到检测器上, 通过分光元件转动的全过程得到一张红外谱图。但光谱仪的光学系统对被测辐射体的光谱能量分布必不可免的会产生一定影响, 表示为仪器函数:

$$F(x_2) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x_1) h(x_1, x_2) dx_1 \quad (5)$$

式中: $f(x_1)$ 为输入信号, $F(x_2)$ 为输出信号, $h(x_1, x_2)$ 为仪器传递函数。在带有狭缝的光谱仪中, 仪器函数是单色仪狭缝象的照度分布函数, 而狭缝象的照度分布取决于狭缝宽度、照明方法、孔径光栅的衍射和光学系统的象差。综合考虑所有这些因素, 使仪器分布函数的计算变得十分困难, 特别是入射狭缝限制了入射辐射的光通量, 使得测量比室温稍高的辐射体的能量分布不可行。傅里叶变换红外光谱仪, 辐射体辐射的光直接进入迈克尔逊干涉仪, 它将辐射光分成两束, 一束光透过到达动镜, 另一束反射到达固定镜, 由于动镜的移动, 这两束光重新在分束器结合产生光程差, 相应变化的光程差干涉图被获得, 经计算机傅里叶变换后得到一张红外谱图。因此具有扫描速度快、光通量大、完全没有入射狭缝、分辨率高、波数精确等优点, 尤其不受辐射源随时间变化的影响, 使得有可能测量 100℃ 以下甚至常温下的红外辐射。本实验红外傅里叶红外

* 收稿日期: 2003-08-26
万方数据

光谱仪是 PE 公司 GX-III 型傅里叶红外光谱仪,性噪比优于 6000 : 1,另配红外显微镜。GX-III 型傅里叶红外光谱仪内置四束等价光路,可以与液相、气相、热失重等大型附件连用。

2 实现方法

2.1 测量系统光学原理图

测量系统光学原理图见图 1。

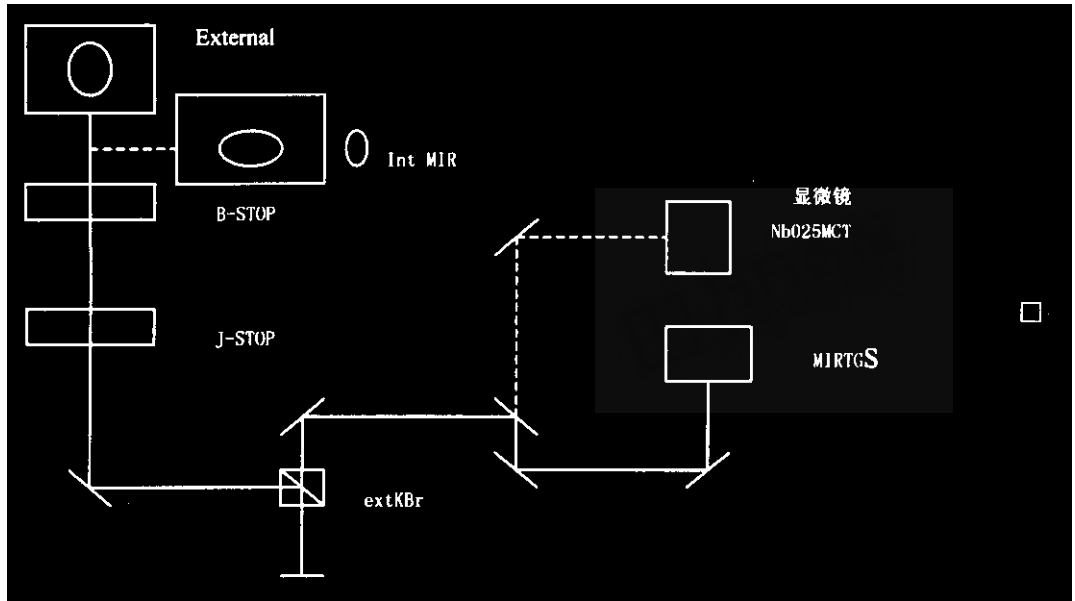


图 1 测量系统光学原理图 Fig. 1 Optical scheme of measurement system

2.2 计算方法

FT 分谱辐射能量的测量结果可以表示为:

$$T(\lambda, T) = R(\lambda, T)[W(\lambda, T) + B(\lambda, T) + I(\lambda, T)] \quad (6)$$

式中: $W(\lambda, T)$ 是被测辐射体的光谱辐射能量; $B(\lambda, T)$ 是背景产生的辐射能量; $I(\lambda, T)$ 干涉仪产生的辐射能量, $R(\lambda, T)$ 是仪器的响应函数。与被测目标相比,背景和干涉仪的辐射都很小,即式(5)简化为:

$$T(\lambda, T) = R(\lambda, T) W(\lambda, T) \quad (7)$$

把式(4)代入式(7)得:

$$\epsilon(\lambda, T) = W(\lambda, T) / W_B(\lambda, T) \quad (8)$$

也就是物质发射率即为物质辐射能量与黑体辐射能量之比。

2.3 黑体炉

黑体炉为微型球腔热管炉,并用专用温控器控制,精度为 $\pm 0.01^\circ\text{C}$,控温范围从室温到 250°C 。

2.4 测试结果

见图 2、图 3。

2.5 结果讨论

尽管 FT 方法实现了快速辐射测量,但还存在以下几个方面的误差。(1)被测辐射体与已知标准黑体温度的稳定性和一致性。采取循环水的解决办法,并且可降低背景噪声。(2)大气中和的吸收。采取双光路,参比与样品相互抵消。GX-III 型傅里叶红外光谱仪为单光路仪器,具有扣除背景中水和二氧化碳的功能。(3)黑体空腔的发射率达不到理想黑体。采取给出修正因子加以解决。(4)背景与仪器都会发射干扰噪声。采取循环水或用液氮对探测器致冷,提高信噪比。GX-III 型傅里叶红外光谱仪外配红外显微镜,由于红外显微镜与光谱仪检测器不同,灵敏度增高,因此本实验中还可以通过利用红外显微镜检测器,提高信噪比。

3 结论

傅里叶变换红外光谱法是 100°C 以下甚至常温下较好地测试发射率的方法之一,满足了实际需要。测试方法简单、可靠,具有较高的精度。

参 考 文 献

[1] 吴瑾光. 近代傅里叶变换红外光谱技术及应用[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994.
 [2] 相宜禾、岳敏. 红外系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 1985.

作者简介: 王海燕(1976-),女,江苏盐城人,工程师,主要从事伪装测试评估技术研究。

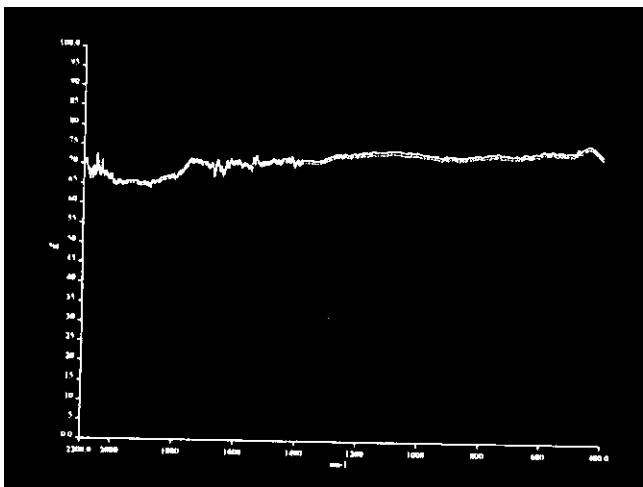


图 2 重复测试同一样品的光谱发射率曲线

Fig. 2 Repeated measurements of spectral emissivity of same material

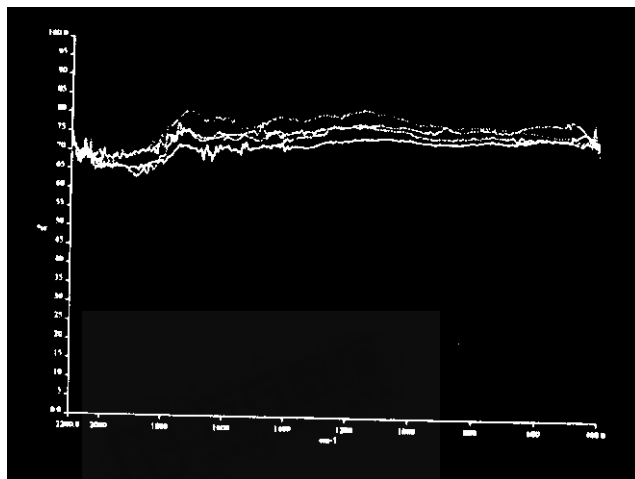


图 3 不同样品的光谱发射率曲线

Fig. 3 Spectral emissivity of several materials

Measurement of Material Spectral Emissivity

WANG Hai-yan, WU Jian-ye, ZHU Guo-rong

(The First Engineers Scientific Research Institute of the General Armaments Department, Wuxi 214035, China)

Abstract: Emissivity is a key factor in evaluation of performance for infrared materials. It is significant to measure emissivity quickly and accurately for the development of infrared materials. The article particularly introduces the principle and the experiment of the infrared spectrum method of fourier-translation measuring the radiant-energy spectrum.

Key words: emissivity, FTIR, spectrometer

(上接第 60 页)

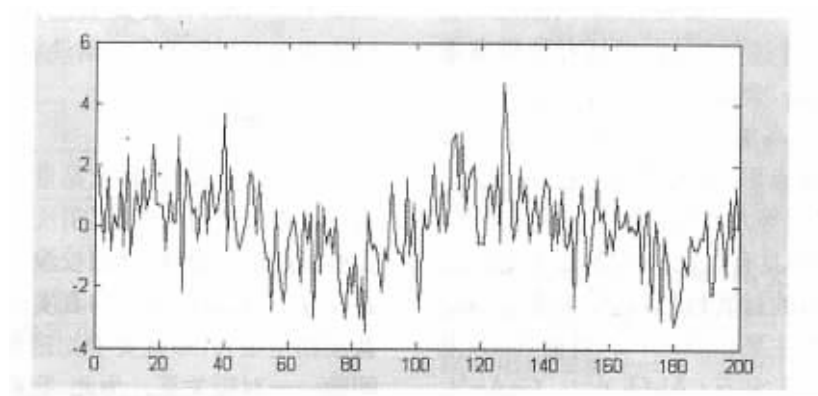


图 1 多元探测器噪声仿真结果

Fig. 1 Noise simulation results of the detector

作者简介: 史忠彦(1974-),男,硕士研究生,山东烟台人,从事机载导弹武器系统控制与检测研究。

Noise Simulation of Infrared Multi-element Seeker

SHI Zhong-yan, ZHANG Kun, SONG Kai (Air Force University of Engineering, Xian 710038, China)

Abstract: This paper analyzes the noise resource of infrared multi-element seeker and builds up the formulas of all kinds of noises. By analyzing "L" type multi-element seeker, there are three kinds of noise signals: white noise sine noise and fraction noise. Finally MATLAB language was used to simulate the results.

Key words: multi-element seeker, noise, simulation

红外发射材料光谱发射率的测量法

作者: [王海燕](#), [吴坚业](#), [朱国荣](#)
 作者单位: [总装工程兵科研一所, 江苏, 无锡, 214035](#)
 刊名: [红外技术](#) **ISTIC PKU**
 英文刊名: [INFRARED TECHNOLOGY](#)
 年, 卷(期): 2003, 25(6)
 被引用次数: 5次

参考文献(2条)

1. [吴瑾光](#) [近代傅里叶变换红外光谱技术及应用](#) 1994
2. [相宜禾](#), [岳敏](#) [红外系统](#) 1985

相似文献(6条)

1. 期刊论文 [王新北](#), [萧鹏](#), [戴景民](#), [WANG Xin-Bei](#), [XIAO Peng](#), [DAI Jing-Min](#) [基于傅里叶红外光谱仪的光谱发射率测量装置的研制 - 红外与毫米波学报](#) 2007, 26(2)
 基于傅里叶红外光谱仪成功研制了固体材料光谱发射率测量装置, 它由一个试样加热炉、一个参考黑体炉、水浴环境腔体及真空系统等组成, 可以实现 100~1500 °C 及光谱 0.66~25 μm 范围内固体材料光谱发射率测量, 参考黑体用于对系统的标定, 水浴环境腔体和真空系统用来消除环境和大气的影响, 装置调试后对某种航天用材料做了测试实验, 得到了很有规律的结果, 估计了系统的不确定度: 发射率不确定度小于 2.27%(3δ, ε=0.9), 6.80%(3δ, ε=0.3)。
2. 期刊论文 [何小瓦](#), [戴景民](#), [辛春锁](#), [王宗伟](#), [徐辉](#), [He Xiaowa](#), [Dai Jingmin](#), [Xin Chunsuo](#), [Wang Zongwei](#), [Xu Hui](#) [基于傅里叶光谱仪在高温环境下材料光谱发射率测试技术 - 宇航材料工艺](#) 2007, 37(5)
 在对傅里叶红外光谱仪与传统的色散型光谱分析仪进行比较的基础上, 综述了基于该装置的高温红外光谱发射率测量技术的国内外发展现状, 在详细介绍各特色的装置结构、工作原理、测量温度范围和测量水平的同时, 评述了这项技术的特点和局限性, 并对其未来发展趋势进行了展望。
3. 会议论文 [俞伦鹏](#), [王文革](#) [固体材料表面光谱发射率测量](#) 1997
 关于材料表面发射率的测量, 人们已做了大量的研究工作。至于材料表面在不同温度下的连续光谱发射率的测量, 一直是一个难点。该文介绍了利用傅里叶红外光谱仪、微型黑体、微型试样加热器和辅助光路组成的测量装置, 成功地实现了固体材料表面连续光谱发射率测量。
4. 期刊论文 [武文明](#), [成来飞](#), [张立同](#), [徐永东](#), [陈杰锋](#), [WU Wen-ming](#), [CHENG Lai-fei](#), [ZHANG Li-tong](#), [XU Yong-dong](#), [CHEN Jie-feng](#) [C/SiC 复合材料热辐射性能研究 - 固体火箭技术](#) 2005, 28(4)
 利用稳态量热计法和傅里叶红外光谱仪分别测定了 C/SiC 复合材料在 90°C 时的半球向总发射率和室温法向光谱反射率, 研究了纤维预制体编织方式、涂层厚度及表面形貌对 C/SiC 复合材料热辐射性能的影响。结果表明, 3D C/SiC 复合材料的热辐射性能优于 2D C/SiC, 2D C/SiC 的总发射率为 0.78, 3D C/SiC 达到 0.82; SiC 涂层厚度对 C/SiC 复合材料的热辐射性能影响很大, 随着 SiC 涂层厚度的增加, C/SiC 总发射率先降低后上升, 最高值可达 0.85; 表面抛光后 C/SiC 复合材料热辐射性能有所下降, 2D 和 3D C/SiC 总发射率分别为 0.74 和 0.75。
5. 会议论文 [武文明](#), [成来飞](#), [张立同](#), [徐永东](#), [王广](#) [3D C/SiC 复合材料热辐射性能研究](#) 2006
 利用稳态量热计法和傅里叶红外光谱仪分别测定了 3D C/SiC 复合材料在 90°C 时的半球向总发射率和室温法向光谱反射率, 研究了表面形貌、涂层厚度及高温氧化对 3D C/SiC 热辐射性能的影响, 结果表明, 3D C/SiC 具有优异的热辐射性能, 其总发射率达到 0.83; 随着 SiC 涂层厚度的增加, 3D C/SiC 总发射率先降低后上升, 最低 0.51, 最高 0.85; 高温氧化后, 3D C/SiC 的热辐射性能有所升高。
6. 期刊论文 [刘海鹰](#), [刁训刚](#), [杨盟](#), [王天民](#), [武哲](#), [LIU Haiying](#), [DIAO Xungang](#), [YANG Meng](#), [WANG Tianmin](#), [WU Zhe](#) [低红外发射率 TiO₂/Ag/TiO₂ 纳米多层膜研究 - 红外](#) 2005, ""(10)
 利用磁控溅射在玻璃衬底上制备了具有良好的光谱选择性透过率的 TiO₂/Ag/TiO₂ 纳米多层膜, 通过用 X 射线衍射、扫描电子显微镜、UV-VIS-NIR 分光光度计、傅里叶红外光谱仪对样品进行表征, 优化了薄膜的制备工艺, 研究了多层膜的光学特性。结果表明, 当 Ag 膜的厚度为 12nm 时, 多层膜具有高的可见光透过率和优良的导电性能, 样品在 555nm 波长处的透过率最高达 93.5%, 红外波段平均反射率为 90% 左右, 8 μm~14 μm 波段红外发射率 ε < 0.2, Ag 层厚度的增加使可见光高透过率波段变窄, 透过率下降。内层及外层 TiO₂ 厚度的变化引起薄膜可见光透过峰的位置及强度发生变化, 外层的影响高于内层。

引证文献(5条)

1. [黄龙祥](#), [沈湘衡](#), [宋江涛](#) [基于热像仪的物体波段发射率的测量](#) [期刊论文] - [激光与红外](#) 2009(2)
2. [何小瓦](#), [戴景民](#), [辛春锁](#), [王宗伟](#), [徐辉](#) [基于傅里叶光谱仪在高温环境下材料光谱发射率测试技术](#) [期刊论文] - [宇航材料工艺](#) 2007(5)
3. [张辉](#), [胡铁力](#), [张建春](#) [8~14 μm 红外线对织物作用的测量](#) [期刊论文] - [东华大学学报 \(自然科学版\)](#) 2007(4)
4. [曹义](#), [程海峰](#), [郑文伟](#), [才鸿年](#), [成绍军](#) [基于红外热像仪的涂层波段发射率测量](#) [期刊论文] - [红外技术](#) 2007(6)
5. [张大舜](#), [于洋](#), [陈亮](#) [粗糙表面的发射率特性研究](#) [期刊论文] - [沈阳理工大学学报](#) 2006(3)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hwjs200306017.aspx

授权使用: 西安电子科技大学(xadz kj), 授权号: edffc207-4498-4e9e-b21d-9e390155ec16

下载时间: 2010年11月25日