

<测试技术>

基于 FTIR 的目标背景辐射测量方法研究*

朱 军^{1,2}, 刘文清¹, 陆亦怀¹, 高闯光¹

(1. 中国科学院安徽光学精密机械研究所, 安徽 合肥 230031; 2. 安徽大学 电子工程与信息科学系, 安徽 合肥 230039)

摘要: 介绍了用 FTIR 光谱仪进行目标背景辐射测量的方法, 通过黑体对系统的光谱响应进行标定, 得出系统的仪器响应函数 IRF。分析背景辐射和大气的衰减作用对目标红外辐射的影响。应用 MODTRAN 大气辐射传输软件计算大气辐射等相关参数, 给出了大气透过率谱以及测量得到的大气背景辐射谱。

关键词: 傅立叶变换; 红外辐射; 目标背景; 数据采集

中图分类号: TN219 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8891(2004)01-0052-04

引言

傅立叶变换光谱仪是遥感探测可见和红外弱辐射的有力工具, 该技术综合运用了机械学、光学、电子学、计算机学等多门学科知识。光谱是通过傅立叶变换, 从空间域变换到频率域而得到的, 类似的技术在现代信息处理技术中具有广泛的应用。为了测量大气中的目标, 我们利用 ABB BOMEM 公司的红外傅立叶变换光谱仪, 研究目标背景辐射测量的方法。首先通过测量不同温度的黑体对 FTIR 光谱仪进行校准, 通过输入参考文件到软件生成仪器响应函数; 然后进行目标背景辐射的测量, 测量中目标区域的背景光学特性和大气路径的光学厚度一般不容易获得, 必须修改 BOMEM 标准和数据约简技术以进行该类型的测量。在测量数据的处理过程中要运用大气辐射传输软件 MODTRAN 进行大气吸收修正。

1 测量系统原理

测量系统如图 1 所示, 主要由傅立叶红外光谱仪、计算机、黑体辐射源、样品加热系统、温度控制系统以及辅助光路系统组成。其中 FTIR 光谱仪负责测量入射红外辐射的光谱辐射曲线; 样品加热系统将样品的温度控制在所需的温度; 黑体提供标准辐射源; 辅助光路系统将样品或黑体的辐射引入 FTIR 光谱仪。计算机负责采集探测器信号, 并利用傅立叶变换完成时域干涉图到频域光谱图的转换, 最后得到样品或黑体红外辐射曲线。

首先利用激光准直系统对光路系统进行准直调节, 然后将黑体标准辐射源温度控制到要求的某一温

度, 温度稳定后, 启动红外光谱仪, 计算机开始采样、数据存储等, 得到黑体标准辐射源的辐射能量光谱曲线。在黑体标准辐射源的位置上替换为被测样品, 将其温度控制在与黑体相同的温度上, 待温度稳定后, 重复黑体辐射采样过程, 同样也可以得到目标辐射的辐射能量光谱曲线。由计算机计算出样品曲线与黑体曲线之比, 得到一条新的曲线。这条曲线就是所测样品在某一温度下的光谱发射率曲线。

2 FTIR 系统校准的实现

红外辐射测量是建立在黑体辐射理论上, 以黑体辐射源为基准辐射量的对比测量。因此测试之前要建立仪器响应函数, 它反映测量所得的输出信号与输入辐射信号之间的函数关系, 它由设备光学系统、电子线路和探测器的响应率等因素决定。借助扩展标准面黑体辐射源、红外平行光管等设备, 用光谱辐亮度函数对设备输出信号进行标定。

图 2 为 FTIR 光谱仪校准流程, 它采用两种校准的黑体源产生一个仪器响应函数 IRF, 黑体温度的选择必须保证预期的辐照度的变化范围限定, 测量值存储在两个参考文件中, 各由四条曲线组成: 分别是实部的和虚部的谱, 扫描方向分成前向和反向。使用修改的参考文件生成仪器响应函数 IRF; 标准的 BOMEM 方法对于各波数在测量值和理论值之间生成线性回归; IRF 应用于原始的数据可以按照辐照度 (J) 产生数据, FTIR 要求 IRF 的斜率和截距存储用于两个方向的扫描, 并且为 FFT 的原始数据提供实部和虚部, 可以采用多个谱函数描述仪器响应函数 IRF。

* 收稿日期: 2003-04-16; 安徽省高校优秀中青年骨干教师项目

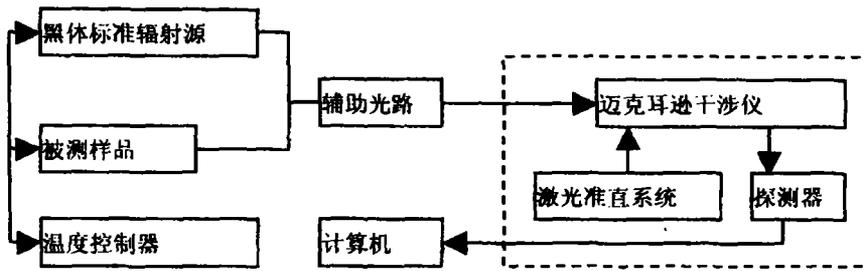


图 1 红外光谱辐射测量原理框图

Fig. 1 Block diagram of IR spectral radiance measurement

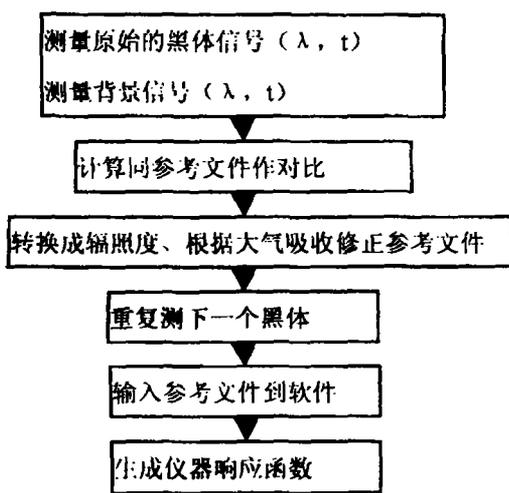


图 2 FTIR 光谱仪校准流程

Fig. 2 Calibration procedure of FTIR spectroradiometer

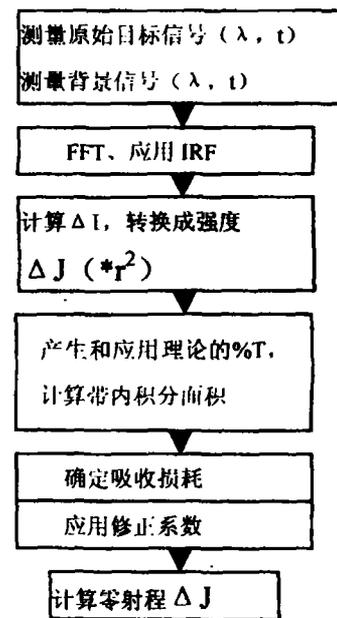


图 3 目标背景辐射数据采集流程

Fig. 3 Data collection procedure of target background radiance

3 红外辐射对比强度的测量与计算

红外探测器基于对红外辐射对比差异计算来探测目标。红外探测器先探测包含目标的视域的红外辐射强度,再探测不含目标的同一视域,然后红外系统的处理器将前者减去后者,得到辐射对比强度。

无目标的视域的光谱辐射强度为

$$J_{1,\lambda} = L_{B,\lambda} A_p \quad (1)$$

式中: $L_{B,\lambda}$ 是背景的光谱辐射亮度, A_p 是视域面积。

对包含目标的视域,红外辐射强度的计算应考虑以下三部分:首先是源辐射强度,目标源辐射强度包括被大气衰减后的反射的源辐射强度;其次是未被遮挡的背景辐射强度,它为大气路径背景辐射乘以视域中未被遮挡部分的面积。目标表面对于探测器可见的所有面元在视线方向的投影之和即为目标在视线方向的投影面积;最后是前景辐射强度,它为大气前景辐射亮

度(目标与红外探测器之间的大气辐射)和目标在视线方向的投影面积之乘积。所以,包含目标的视域的光谱辐射强度为:

$$J_{2,\lambda} = \sum_i J_{i,\lambda} + L_{B,\lambda} (A_p - \sum_{j=1}^n A_{s,j}) + L_{F,\lambda} \sum_{j=1}^n A_{s,j} \quad (2)$$

式中: $J_{i,\lambda}$ 是目标第 i 块面元发射出光谱辐射强度, $L_{B,\lambda}$ 是有目标的视域中背景光谱辐射亮度, $A_{s,j}$ 是目标第 j 块面元在探测器视线方向的投影面积, $L_{F,\lambda}$ 是目标与探测器之间的前景的光谱辐射亮度。由(2)式减去(1)式可以得到光谱辐射对比强度

$$J_{C,\lambda} = \sum_i J_{i,\lambda} - (L_{B,\lambda} - L_{F,\lambda}) \sum_{j=1}^n A_{s,j} -$$

$$(L_{B,\lambda} - L_{B,\lambda})A_P \quad (3)$$

如上述流程图 3 所示,将表观谱辐照度 ΔI_{APP} 值乘以 r^2 (r 为到目标的距离) 转换成表观谱强度 ΔJ_{APP} 。形成大气透过率曲线的步骤如下: 利用 MODTRAN 输入相应的参数, 要求频率步长小于光谱仪频率分辨率的 $1/2$, 计算各频率点的大气透过率 $T\%$, 插入 MODTRAN 的计算结果到 FTIR 测量的频率中。通过去除吸收带修正发送曲线, 理想情况下我们使用大气透过率曲线在各频率修正 ΔJ_{APP} 。应用 MODTRAN 软件获得的典型大气条件下红外辐射的大气传输特性如图 4 所示, 波数范围选择为 1000 cm^{-1} 至 5000 cm^{-1} , 其中波数为 2000 cm^{-1} 至 3000 cm^{-1} 之间存在有 CO_2 的红外吸收, 波数为 3000 cm^{-1} 至 4000 cm^{-1} 之间有 H_2O 的红外吸收。为了提高对于零射程带内积分 J 的数值估计的准确度, 我们在吸收窗口的边界之间进行了线性插值, 图 5 为插值后的修正谱。但是仪器的信噪比和 MODTRAN 输入的准确度的极限导致在吸收带内噪声被放大。我们假定在这些波段中间无可用的信息而且我们不想创建数据。通过乘以修正常量修正大气谱。目标以甲醇为例, 当甲醇谱传播到靠近测量范围, 子带积分面积变得越来越准确, 在近距离通过对谱进行插值作为更好的逼近。为了确定一次测量是否有效, 完成一次校准, 进行黑体测量仔细检查测量步骤将结果和理论的黑体曲线作比较, 实测的某特定温度下黑体辐射相对强度谱线如图 6 所示。将 FTIR 光谱仪设置为水平方向, 在室温环境下测得的大气辐射谱如图 7 所示, 测量时采用的是中视场望远镜, 在 $4.3 \mu\text{m}$ (波数为 2325.6 cm^{-1}) 处大气背景辐射亮度约为 2×10^{-7} , 接近同温度黑体辐射。

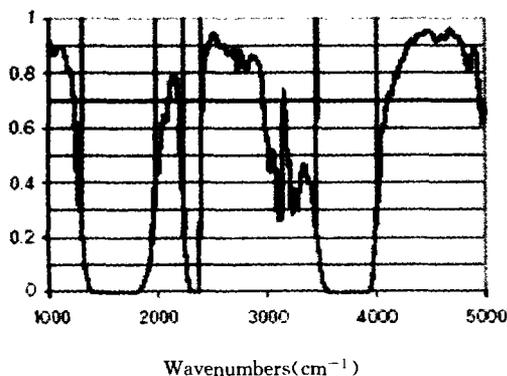


图 4 大气透过率谱

Fig. 4 Atmospheric transmittance spectrum

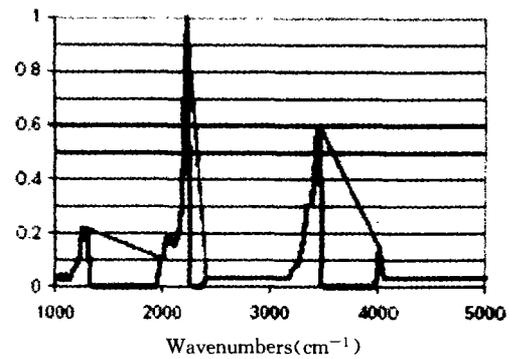


图 5 在接收波段上的线性插值

Fig. 5 Linear interpolation over receiving band

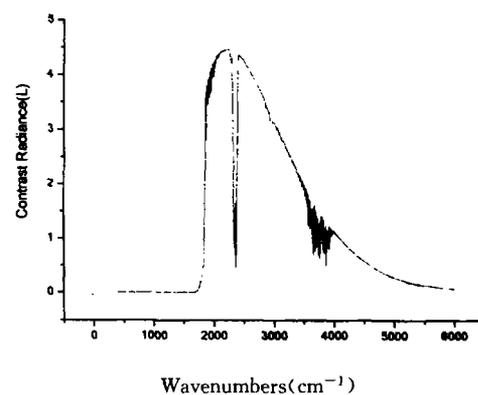
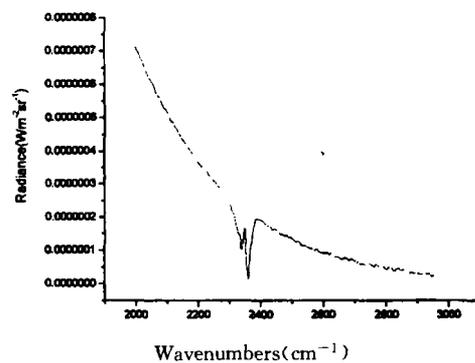
图 6 黑体辐射相对强度谱 ($T=640 \text{ K}$)Fig. 6 BB contrast radiance spectrum ($T=640 \text{ K}$)

图 7 大气背景辐射谱

Fig. 7 Atmospheric radiance spectrum

4 结语

本文阐述了 ABB BOMEM 公司的红外傅立叶变换光谱仪的标定和辐射量测量方法, 经黑体辐射量验证准确, 对目标辐射测量原理、方法、计算模型、线性插

值等问题的分析讨论具有实际操作与指导意义,为红 了依据。
外辐射测量设备的数据处理方法及软件开发研制提供

参 考 文 献

- [1] 吴宗凡,柳美琳等. 红外与微光技术[M]. 北京:国防工业出版社,1998.
- [2] 王正明,易东云. 测量数据建模与参数估计[M]. 长沙:国防科技大学出版社,1996.
- [3] 路学荣. 用傅立叶光谱仪测量发射光谱的研究[A]. 傅立叶变换红外光谱技术及应用研讨会论文集(二)[C]. 海洋出版社, 1993.
- [4] 世森宣文. 通过测定反射率、透射率计算比辐射率[J]. 红外,2001. (1).
- [5] 华建军,张建强. 空中目标红外特性的计算方法[J]. 激光与红外,2001. 31(3):166~168.
- [6] 大气辐射传输实用算法,MODTRAN USERS MANUAL VERSIONS 3.7&4.0.

作者简介: 朱军,1968 生,女,副教授,安徽省高校优秀中青年骨干教师,在职博士生,从事光电技术与仪器、数字信号处理及通信等方面的教学科研工作;

刘文清,1954 生,男,博士,研究员,博士生导师,从事光学环境监测等方面的科研工作;

陆亦怀,男,副研究员,硕士生导师,从事光学环境监测等方面的科研工作。

高闽光,男,副研究员,在职博士生。

Research on Radiance Measurements of Target and Background Based on FTIR

ZHU Jun^{1,2}, LIU Wen-qing¹, LU Yi-huai¹, GAO Min-Guang¹

(1. *Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China;*

(2. *Dept. of Electronic Engineering & Information Science, Anhui University, Hefei 230039, China*)

Abstract: Methods of target and background radiance measurements based on FTIR are discussed in this paper. Calibrating spectral response of system with blackbody, we can get instrument response function of the system. The influence of the background radiation and the atmospheric attenuation to the infrared radiation is considered. MODTRAN software is used to calculate atmospheric radiation and transmittance. Atmospheric transmittance and radiance spectra are provided.

Key words: Fourier transform, infrared radiation, target background, data collection