

红外仪器的光谱响应定标

洪 焯

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

摘要——描述了红外仪器光谱响应函数自动测试定标装置的设计、制作及其特点, 给出了用这套装置进行测试定标的光谱曲线, 并分析了光谱定标精度。

关键词——定标, 光谱响应; FY-1 气象卫星。

1. 引 言

甚高分辨率扫描辐射计是我国第一颗太阳同步气象卫星上的主要探测仪器, 它测量来自地球大气的电磁辐射。在可见波段, 利用云层对太阳光的反射和散射摄取全球云图; 在红外波段, 利用地球和大气发射的热辐射, 推算地表的温度, 拍摄红外云图等。为了推算地表温度, 除了掌握大气吸收模式外, 仪器的光谱响应函数是一个必不可少的参数。因此, 在卫星发射前, 必须对扫描辐射计进行红外光谱响应函数的定标。由于红外光学系统安装在扫描仪的辐射制冷器内, 其探测器温度为 105K; 光学系统温度约为 150K; 而光学零件和探测器件的光谱响应与温度有关, 因此模拟遥感仪器的工作环境, 即在真空、低温条件下对红外光学系统光谱响应函数的定标是非常重要的。

本文描述了定标装置的光学系统、低温真空系统、电子学系统和微机处理系统, 并给出了光谱响应定标结果和误差分析。

2. 定 标 原 理

光谱响应的定义为: 探测系统(或其它光度系统)对单位入射单色辐射功率所产生的响应大小

$$R(\lambda) = V(\lambda)/P(\lambda); \quad (1)$$

式(1)中, $P(\lambda)$ 为被探测器接收的单色辐射功率; $V(\lambda)$ 为探测量在对应单色辐射下的反应量。

目前测量光谱响应有多种方法, 应用较广的是以热敏探测器信号为辐射功率标准的置换法和直接比较法。置换法就是将热敏探测器和被测系统先后置于单色仪出射狭缝处, 在

一定波段内扫描测量。该方法不足之处是对测量时间内光源的稳定性和单色仪的波长驱动

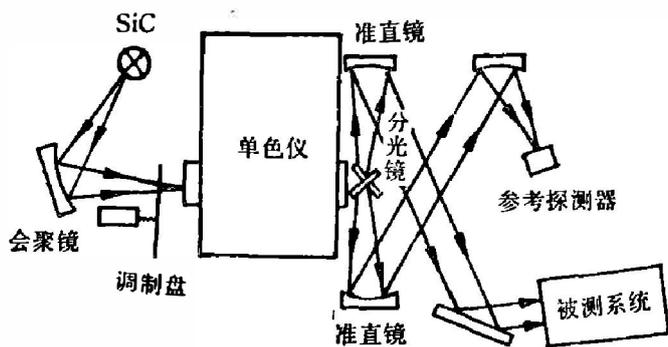


图1 光学系统

Fig. 1 The optical system.

重复性要求较高。直接比较法亦称双光束法，就是在每一波长通过分光将单色辐射分别入射到热敏探测器和被测系统（见图1）。此法的基本优点是测量同步性好，对光源的稳定性要求不高。本系统采用的是双光束测量方法。

根据图1，参考探测器的输出为

$$V_r(\lambda) \propto P(\lambda)T(\lambda)R_r(\lambda); \quad (2)$$

式(2)中， $P(\lambda)$ 为光源的光谱功率分布；

$T(\lambda)$ 为单色仪及其光路的传递函数； $R_r(\lambda)$ 为参考探测器的光谱响应。

在同样条件下，被测系统输出为

$$V_s(\lambda) \propto P(\lambda)T(\lambda)R_s(\lambda); \quad (3)$$

式(3)中， $R_s(\lambda)$ 为被测系统的光谱响应。

比较式(2)、(3)，得

$$R_s(\lambda) = \frac{V_s(\lambda)}{V_r(\lambda)} R_r(\lambda); \quad (4)$$

因此，只要测量出 $V_s(\lambda)$ 、 $V_r(\lambda)$ ，并已知 $R_r(\lambda)$ ，就可定出被测系统的相对光谱响应。

3. 定标装置

图2是根据上述原理建立的定标装置的方框图。

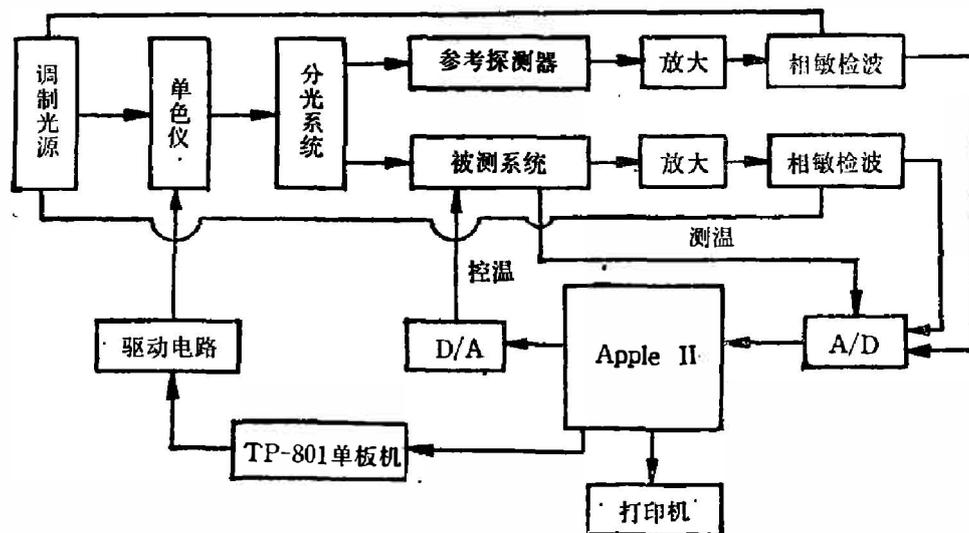


图2 定标装置方框图

Fig. 2 Block diagram of the calibration system.

3.1 光学系统

光学系统由光源、调制器、单色仪和分光系统组成(见图1)。

来自光源的辐射经过会聚镜进入单色仪入缝,它分别被两个不同频率的调制盘调制;经单色仪分光后,被两块反射镜分成两路;两束不同频率的单色光通过各自的准直镜准直后,分别进入被测系统和参考探测器。

系统采用 SiC 棒作为红外光源,由于是双光路系统,光源的不稳定性影响可消除。

调制盘的调制频率取决于探测器,对于参考探测器——TGS 热释电探测器,调制频率为 10Hz;对于被测系统的探测器——HgCdTe 光电探测器,调制频率为 1kHz。

在调制盘的两端分别装有发光二极管和硅光二极管,调制盘转动时,调制发光二极管发出的光,使硅光二极管接收到调制盘的同步信号,用来作为同步检波的参考信号,以得到较高的信噪比。

系统中的单色仪采用美国进口的 JARRELL-ASH MONOSPEC 27 型光栅单色仪,对 501/mm 的光栅,其测量范围为 7~21 μm ;分辨率为 72 nm/mm;狭缝宽为 50~250 μm 。由于它是手动的,给光谱逐点测量带来很大的麻烦;而且用眼睛读数,精度不高;因此,使用前首先将它改为自控。

采用双光束测量光谱响应的优点是测量的同步性和对光源的稳定性要求不高,但是必须保证两束光的一致性,因此选择合适的双光束方案十分重要。在本系统中,是用平面反射镜将单色仪出缝出射的光分成上下两束,分别被热敏探测器和被测系统接收。由于两块分光反射镜是在同一配方、同一条件下复制得到的,其余的则是在同一条件下镀膜得到,故两路光学系统的反射率基本一致,它们对系统光谱响应率的影响可以忽略。

3.2 低温真空系统

由于红外光学系统置于扫描辐射仪的辐射致冷器内,为了对被测的红外光学系统的光谱特性有一个全面准确的了解,需要模拟空间条件对系统进行光谱定标。设计低温真空系统的目的就是在地上获得模拟的空间环境对系统进行定标。

根据被测系统在辐射致冷器中的结构及技术要求,设计了如图 3 所示的系统。

低温真空系统在结构上既要满足光学成像的要求,又要满足热平衡的要求,容器内各级温度与辐射致冷器内的各级温度要相同,即 $T_A = 105 \pm 0.5\text{K}$, $T_B = 150\text{K}$, $T_C = 220\text{K}$ 。

整个容器采用不锈钢材料,温度的测量和控制由 Apple II 实施,采用电桥电路测温方法,用软件控温。

3.3 电子学系统

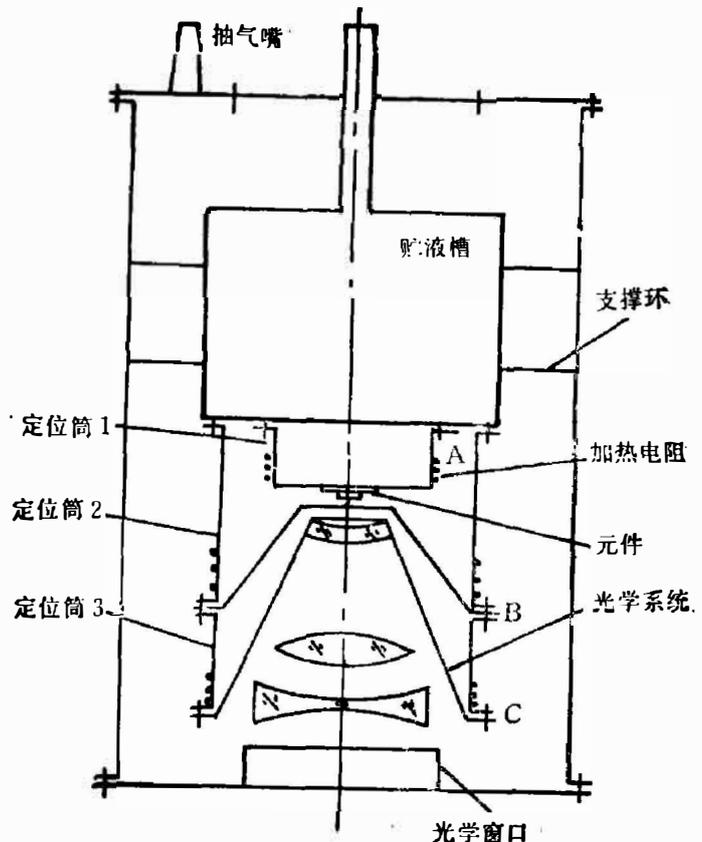


图 3 真空低温系统

Fig. 3 The low-temperature vacuum system.

电子电路对探测器测出的微弱信号进行放大和预处理,得到高信噪比的直流信号,供微机采样处理成最终的光谱信息。它由低噪声前放、选频放大器和同步检波器组成,其中,同步检波器中的移相器和方波发生器仅用两个单稳态多谐振荡器(一块集成片)组成,调试十分方便,而且性能可靠。

3.4 微机处理系统

整个定标装置用 Apple II 微机和 TP-801 单板机进行数据采集、处理以及系统控制(见图 2)。

Apple II 微机的主要功能是: (1) 给单板机发步进电机转动命令; (2) 采集光谱信号并进行处理; (3) 采集温度信号,并根据其偏差进行控制; (4) 根据参考探测器的光谱特性对结果进行修正; (5) 打印光谱响应数据和曲线。

Apple II 与系统的联系通过 32-6522 接口卡进行,此接口卡有两个 6522 芯片,共有 4 个 8 位输入/输出并行接口,任一端口都可由 CPU 用简单的输入或输出指令来读或写。

TP-801 单板机在系统中用来产生驱动步进电机的方波脉冲,并显示单色仪波长。

TP-801 的 PIO 有两个并行接口,置 PA 口为输入方式, PB 口为输出方式,当 PA 口接到 Apple II 的指令后,由 PB 口发出驱动步进电机的脉冲信号。

4. 定标结果和误差分析

定标装置研制成后,对扫描辐射计的红外光学系统进行了测试定标,图 4 是其中一套系统的光谱响应曲线。

光谱响应函数的测量精度包括对应于各种波长的系统的响应值和波长的读数值,以及响应函数的重复性。

影响光谱响应函数测量精度的主要因素有:单色仪的精度、双光路的对称性、参考探测

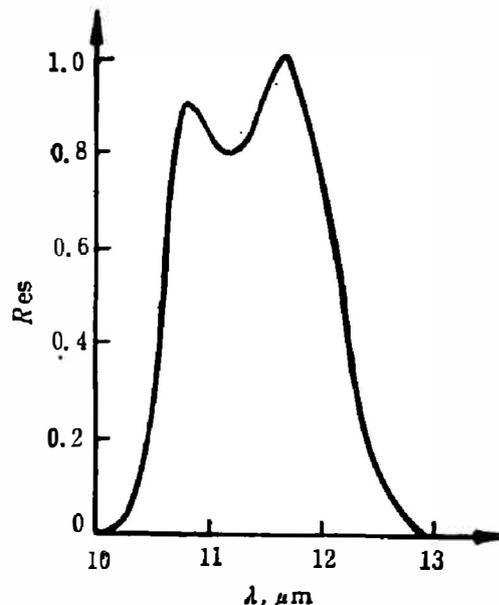


图 4 光谱响应曲线

Fig. 4 The calibrated spectral response curve.

器的归一化光谱响应等。为保证定标精度,测量定标装置建立后,将各部件对测量精度的影响进行了定性或定量的分析,理论和实验都表明,该系统光谱响应函数的定标,波长精度优于 ± 25 nm;重复性精度为 $\pm 3.78\%$ 。

5. 结 论

测试定标结果表明:该装置具有稳定性好,定标前调试方便,整个测试过程全部实现自动控制等特点,它不仅适用于红外波段的光谱定标,还适用于可见波段的光谱定标。

用该装置成功地标定了风云一号气象卫星扫描辐射计红外通道的光谱响应函数,测量重复性精度可达 3.78% ,波长精度优于 ± 25 nm。

致谢——本工作是在龚惠兴研究员、郑亲波副研究员的悉心指导和具体帮助下完成的,在工作中还得到了胥学荣、张军、王志明、郑秀兰、张善、潘介仪、朱美娟、朱三根、张玉林、胡敏、顾君侠等同志的热情帮助,在此一并致以诚挚的谢意。

参 考 文 献

- [1] Hudson. Jr. R. D., 红外系统原理, 翻译组译, 北京: 国防工业出版社, 1975.
- [2] 张幼文, 红外光学工程, 上海: 上海科学技术出版社, 1982, 222~292.
- [3] 林林等, 红外研究, 1(1982), 1:21~28.
- [4] 周守胜等, 低温物理实验的原理与方法, 北京: 科学出版社, 1985.
- [5] White G. K. 低温物理实验技术, 洪朝生等译, 北京: 科学出版社, 1962.
- [6] 王欲知, 真空技术, 成都: 四川人民出版社, 1981. 1, 379~490.
- [7] 蒋嗣荣等, 计算机控制技术, 西安: 西北电讯学院出版社, 1985. 6, 40~70.

CALIBRATION OF SPECTRAL RESPONSE OF INFRARED INSTRUMENT

HONG YE

(Shanghai Institute of Technical Physics, Academia Sinica, 200083, Shanghai, China)

ABSTRACT

The paper describes the design, development and characteristics of the system used for automatic calibration of the spectral response of infrared instrument. The calibrated spectral response curve is given and the calibration accuracy is analysed.