

# 大气探测红外分光辐射计-I 型

王 模 昌

(中国科学院上海技术物理研究所)

**摘要**——本文描述了用于大气温度廓线探测的大气探测红外分光辐射计-I 型的光学机械系统、电子学系统、定标试验及其试验结果。定标试验结果表明, 该仪器光谱分辨率、扫描速率和仪器灵敏度  $NE\Delta N$  等主要指标均与美国 VTPR 的水平相当。

## 一、引 言

大气探测红外分光辐射计(以下简称红外分光计)用九个光学通道测量大气温度的垂直分布廓线, 其中七个通道在  $15\mu\text{m}$  二氧化碳吸收带; 一个通道在  $11\mu\text{m}$  大气窗口, 用来测量地表面或海洋面温度; 一个通道在  $8.1\mu\text{m}$  水汽吸收带, 用来测量水汽总含量。用光谱法测量大气温度垂直分布是美国 Kaplan<sup>[1]</sup> 在 1959 年首先提出的, 经过 20 多年实践, 证明这种方法是成功的; 以这一原理研制的仪器在美国已经多次应用在气象卫星上, 其中包括美国第二代业务气象卫星 NOAA-2 上的 VTPR, 第三代业务气象卫星 TIROS-N 上的 HIRS-2, 以及军用气象卫星 BLOCK-5D 和地球同步气象卫星 GOES 都装配这类仪器。目前, 它已成为气象卫星上重要的红外遥感仪器。红外分光计对大气温度、湿度进行三维空间探测, 这对发展数值天气预报有极重要的意义。红外分光计的研制成功, 被认为是自无线电探空以来在气象学探测上最有意义的进展。本文描述了我们首次研制的红外分光计的主要分系统和性能。

## 二、光学机械系统

红外分光计-I 型的光学系统如图 1 所示; 它包括主光学系统、光锥场光学系统、扫描反射镜、滤光片轮/调制器和 DLATGS 红外探测器。

主光学系统采用 D. K 系统(即椭球面主镜、球面次镜、卡塞格林望远镜)。场光学系统采用光锥, 文献[2]对此作了分析。光锥是用光学复制的方法制造的, 会聚能量可达 80% 以上。

本文 1986 年 3 月 10 日收到。

扫描反射镜由步进马达驱动完成一维扫描,加上卫星本身运动,红外分光计就完成二维

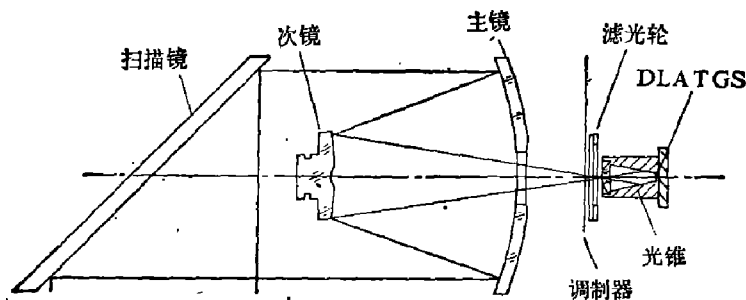


图1 红外分光计-I型光学系统原理图

Fig. 1 Schematic diagram of the optical system of the ATPS-I.

扫描运动。当扫描反射镜对着某个观察点时,滤光片轮旋转一周,九个光学通道的滤光片依次通过视场光阑,探测器接收了九个通道的信号,这要求滤光片轮/调制器与扫描镜同步运动。

滤光片轮/调制器系统是红外分光计中一个重要部件。滤光片轮上安装了十块干涉滤光片,其中二块是相同的滤光片,以提高第一通道的灵敏度。

滤光片轮/调制器是由一只转速为50c/s的同步电机经过多级齿轮变速驱动的,滤光片轮转速为2c/s,调制器转速为5c/s。

调制器表面涂3M黑漆,放在滤光片轮之前。调制器的作用是:提供了一个能量参考点;调节信号上升沿与参考平顶的时间,以达到最佳的信噪比;防止滤光片框架通过视场光阑时信号的不规则起伏,这种起伏将给信号处理带来困难。

滤光片轮/调制器和探测器组合件(包括场镜、光锥、前置放大器)的温度要严格一致,以便形成一个等效的黑体腔;只有这样,调制器通过视场光阑时的能量才相等,调制器才能提供一个能量参考点。实验表明,这些部件之间的温差不能大于0.05°C。

表1 红外分光计-I型主要光学机械参数

Table 1 The main optical and mechanical parameters of ATPS-I.

| 参 数    | 参 数 值    | 参 数      | 参 数 值     |
|--------|----------|----------|-----------|
| 瞬时视场   | 2.143°   | 主光学系统焦距  | 174.96 mm |
| 地球扫描张角 | ±41.85°  | 光学系统 F 数 | 0.502     |
| 步距角    | 2.7°     | 视场光阑尺寸   | 6.8 mm    |
| 主镜直径   | 90 mm    | 滤光片轮转速   | 2 c/s     |
| 次镜直径   | 41.96 mm | 调制器转速    | 5 c/s     |

表2 红外分光计-I型通道特性

Table 2 The channel characteristics of ATPS-I.

| 通道序号 | 中心波数(cm <sup>-1</sup> ) | 光学带宽(cm <sup>-1</sup> ) | 灵敏度 $NE\Delta N$ (mW/cm <sup>2</sup> ·str·cm <sup>-1</sup> ) |      | 功 能    |
|------|-------------------------|-------------------------|--|------|--------|
|      |                         |                         | 设计值  | 测量值  |        |
| 1    | 671.0                   | 3.6                     | 0.85   | 0.70 | 温度廓线测量 |
| 2    | 684.6                   | 14.5                    | 0.30   | 0.12 | 温度廓线测量 |
| 3    | 690.1                   | 8.3                     | 0.25   | 0.14 | 温度廓线测量 |
| 4    | 706.4                   | 8.9                     | 0.19   | 0.19 | 温度廓线测量 |
| 5    | 717.7                   | 10.0                    | 0.19   | 0.18 | 温度廓线测量 |
| 6    | 730.1                   | 8.4                     | 0.19   | 0.12 | 温度廓线测量 |
| 7    | 751.9                   | 9.8                     | 0.19   | 0.14 | 温度廓线测量 |
| 8    | 903.8                   | 19.2                    | 0.19   | 0.11 | 大气窗口   |
| 9    | 1235.7                  | 23.4                    | 0.20   | 0.14 | 水汽测量   |

滤光片轮/调制器、探测器组合件的温度控制在  $35^{\circ}\text{C}$ 。滤光片轮/调制器转动部件，它的温度是依靠外面的一个温控罩通过长时间辐射交换达到平衡的。为了达到良好的等温效果，对齿轮变速箱、同步电机实行温控是必要的。

红外分光计-I型主要的光学机械参数如表1所示。各光学通道的特性如表2所示。

窄带干涉滤光片是严义坝、许士荣等同志专门为红外分光计-I型研制的，其中研制难度最大的中心波数为  $675.9\text{cm}^{-1}$ ，带宽为  $3.8\text{cm}^{-1}$  的滤光片的透过率曲线如图2所示。

DLATGS 探测器是马述侃、何文莲等同志研制的，探测器的居里温度为  $62^{\circ}\text{C}$ ，敏感面直径为  $1.8\text{mm}$ ，有较好的稳定性，响应率的温度变化率为每度  $0.3\%$ ，探测率为  $9 \times 10^8\text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2}\text{W}^{-1}$ 。

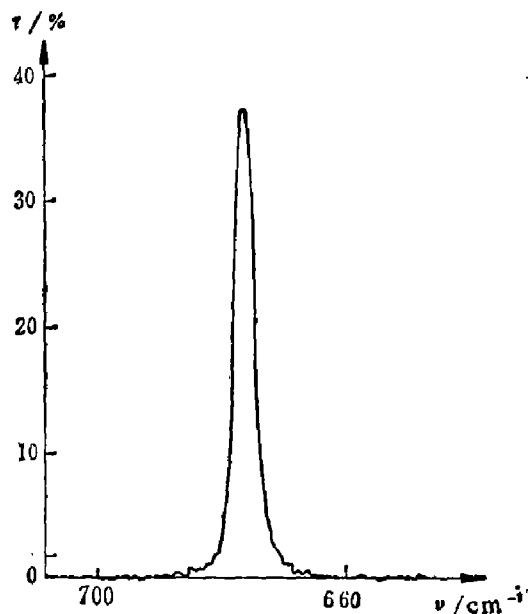


图2 滤光片透过曲线

Fig. 2 Transmittance curve of the filter.

### 三、电子学系统

红外分光计-I型的电子学处理如图3所示。

电子学处理线路由模拟信号处理线路；多路转换开关和 A/D 转换器；微处理器；光电基准和逻辑转换线路；温度控制和测量线路；同步电机和步进电机控制电源；直流电源等几部分组成。

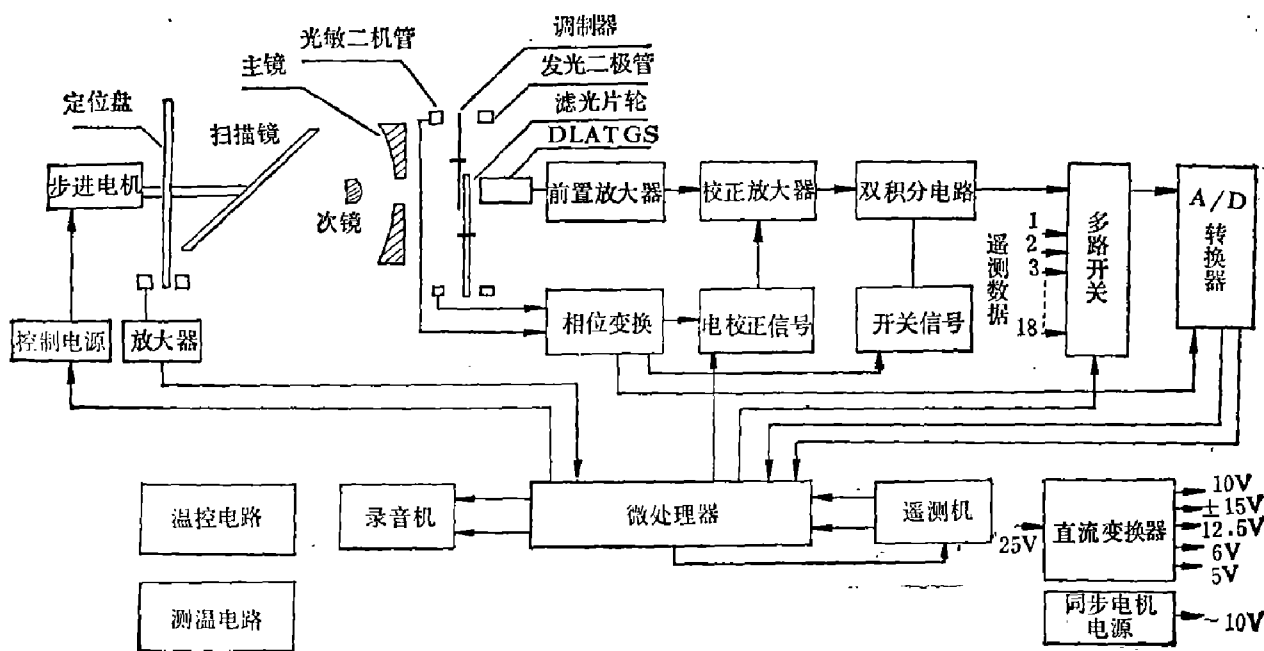


图3 电子学方框图

Fig. 3 Block diagram of electronics.

正如文献[3]指出,对于红外分光计用一路模拟线路处理九个不同的光学通道的信号,减小通道之间的串音误差是十分重要的。美国 VTPR 采用箝位-积分方法来处理。红外分光计-I 型采用双积分方法处理。文献[4]比较了这两种处理方法在串音误差和信噪比两方面的性能,结果表明,双积分方法有更好的性能。同时,双积分方法允许 DLATGS 探测器响应率的低频限提高到 3 Hz 左右,降低了对探测器的要求,提高了系统的稳定性。

表 3 列出了两种处理方法的串音误差。由表 3 可见,频带高频限提高到 60 Hz 以上时,双积分方法串音误差可以忽略;而箝位-积分方法仍有较大的误差。表 3 中的频带为 DLATGS,前置放大器和校正放大器的合成带宽。

为了计算积分电路的信噪比,文献[4]提出了一种计算方法,实验证明这种计算方法是正确的。

表 3 两种处理方法的串音误差

Table 3 The crosstalk errors with the two different processing methods.

| 频 带<br>(Hz) | 串音误差(%)               |       | 频 带<br>(Hz) | 串音误差(%)              |       |
|-------------|-----------------------|-------|-------------|----------------------|-------|
|             | 双积分法                  | 箝位积分法 |             | 双积分法                 | 箝位积分法 |
| 0.1~10      | 488                   | 222   | 3.1~10      | 315                  | 60.7  |
| 0.1~20      | 21                    | 56    | 3.1~20      | 16.4                 | 101   |
| 0.1~30      | 1.9                   | 9.8   | 3.1~30      | 1.5                  | 136   |
| 0.1~40      | 0.2                   | 1.4   | 3.1~40      | 0.18                 | 138   |
| 0.1~50      | 0.03                  | 4.0   | 3.1~50      | $2.3 \times 10^{-2}$ | 135   |
| 0.1~60      | 0.004                 | 4.6   | 3.1~60      | $3 \times 10^{-3}$   | 132   |
| 0.1~70      | $6 \times 10^{-4}$    | 4.6   | 3.1~70      | $4.8 \times 10^{-4}$ | 129   |
| 0.1~80      | $9 \times 10^{-5}$    | 4.6   | 3.1~80      | $7 \times 10^{-5}$   | 128   |
| 0.1~100     | $2.3 \times 10^{-6}$  | 4.6   | 3.1~100     | $1.8 \times 10^{-6}$ | 126   |
| 0.1~150     | $5.3 \times 10^{-10}$ | 4.6   | 3.1~150     | 0                    | 124   |
| 0.1~200     | 0                     | 4.6   | 3.1~200     | 0                    | 123   |

红外分光计-I 型采用了较先进的微处理器<sup>[6]</sup>,实现各通道数据的采集和预处理,控制同步电机和步进电机同步运动,完成红外分光计-I 型与遥测发射机的接口。微处理器对数据的预处理大大减少了数据的输出量,简化了数据处理。

#### 四、定标实验

定标实验的目的是在热真空、冷背景环境下标定红外分光计输入的辐射强度与输出的电压信号之间的关系曲线和灵敏度  $NE\Delta N$ 。

表 4 定标黑体面源的主要性能

Table 4 The main performances of the blackbody for calibration.

| 参 数    | 参 数 值      | 参 数    | 参 数 值  |
|--------|------------|--------|--------|
| 面源面积   | 250×300 mm | 温度控制精度 | 0.05°C |
| 温度均匀性  | ±0.5°C     | 蜂窝高度   | 25 mm  |
| 有效发射率  | 0.998(计算值) | 蜂窝边长   | 3 mm   |
| 可控温度范围 | -50~50°C   | 面源准确度  | 2%     |

定标试验装置如图4所示。为了减少分光计辐射对定标黑体的影响,红外分光计与面源黑体之间安装一只灌有液氮的冷屏。

定标黑体面源用半导体致冷,黑体表面为六角形蜂窝。定标黑体的主要性能如表4所示。

由于红外分光计在真空条件下与在常压条件下工作有很大不同,所以,定标试验前要调试分光计,使它在真空条件下正常工作,这主要是通过调节热平衡、排除外界电磁场干扰和外界机械振动对DLATGS探测器的干扰来达到要求。

定标试验中用一台Z80单板微处理机模拟遥测发射机产生帧同步和码同步信号,将分光计数据取出并转换,送给8510A打印机。

定标试验实验条件为:

KM-1真空容器真空度 $(1.0\sim 2.4)\times 10^{-6}$ 托;

热沿温度  $-120^{\circ}\text{C}$  以下;

冷屏温度  $-120^{\circ}\text{C}$  以下。

试验中,红外分光计采用定标试验扫描模式,即扫描镜总是指向星下点位置,对准面黑体源进行定标。试验中,校正放大器输出波形对于调节热平衡是十分重要的。

定标时,红外分光计-I型基板控制在某一温度(例如 $28^{\circ}\text{C}$ ),分别改变黑体温度(从 $-30^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ ),每个点(共八个点)测量时,稳定黑体温度在30分钟以上,使黑体温度均匀稳定,然后测量红外分光计-I型的输出信号(数字量)。根据输入和输出关系得到定标曲线。

红外分光计输出噪声电压为0.16(数字量),由定标曲线可以计算出各通道的灵敏度 $NE\Delta N$ 。

定标试验测量结果表明,红外分光计-I型的主要性能指标:光谱分辨率、扫描速率和仪器灵敏度 $NE\Delta N$ 已达到设计指标的要求(见表2),与NOAA-2上VTPR的性能指标相当。

致谢——本工作是在匡定波研究员指导下进行的,他提出了许多宝贵的意见;张肇先副研究员承担了总体工作,王培纲、郁蕴健、董惠中、戎雪虎、郑丽华、朱靖安、唐世豪、钱荣琴等参加了该课题的工作;严义坝研究员和许士荣等同志研制了窄带滤光片;马述侃、何文莲等同志研制了DLATGS探测器;在此一并致谢。

### 参 考 文 献

- [1] Kablan L. D., *J. Opt. Soc. Amer.*, **49**(1959), 1004.
- [2] 王培纲, *红外研究*, **2**(1983), 4: 275~280.
- [3] Falbel G. and Zink D., *Conference on Infrared Techniques*, university of Reading, 1971, 231~255.
- [4] 王模昌, *红外研究*, **4**(1985), 5: 329~334.
- [5] 王模昌, *红外研究*, **4**(1985), 6: 452~456.

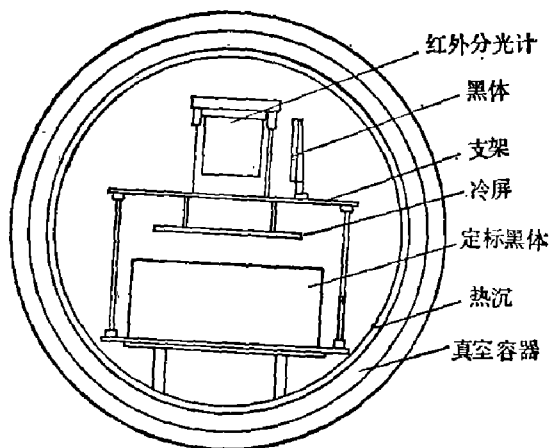


图4 定标试验装置示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the calibration equipment

# ATMOSPHERE TEMPERATURE PROFILE SOUNDER, ATPS-I

WANG MOCHANG

*(Shanghai Institute of Technical Physics, Academia Sinica)*

## ABSTRACT

The optical system, mechanical system and electronical system of the Atmosphere Temperature Profile Sounder, ATPS-I, and the result of the calibration test are described. This result shows that the main performances of the ATPS-I are on a level with those of VTPR on NOAA-2 satellite.