

大气探测红外分光辐射计 II 型模样

张肇先 王模昌

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

摘要: 报道了大气探测红外分光辐射计 II 型 (ASIS-2) 模样, 它具有 20 个通道, 可以从卫星探测大气温度廓线和水汽垂直分布. 它与美国 TIROS-N / NOAA 气象卫星上的高分辨率红外辐射探测仪 (HIRS) 相比, 在光学、电子学和机械等方面都作了改进. 其仪器灵敏度优于 HIRS-1 仪器, 而与 HIRS-2 接近. 它具有可增加 2 个红外通道和多个可见光通道的潜力.

关键词: 大气探测, 分光计, 辐射校准.

1 仪器描述

ASIS-2 是一台从卫星探测大气温度廓线和水汽垂直分布的仪器, 采用三光路——20 通道 22 块滤光片——带辐射制冷器的 HgCdTe 探测器和 InSb 探测器以及 Si 探测器方案. 该仪器主要由步进扫描系统, 光学系统 (包括滤光片), 电子学 and 数据处理, HgCdTe 探测器、InSb 探测器和 Si 探测器, 辐射制冷器, 机内冷黑体和热黑体以及机械部分组成.

仪器光路如图 1 所示. 来自地球和大气的辐射经过由步进电机驱动的扫描镜反射, 再由卡塞格林望远镜会聚到视场光阑上, 然后被可见光——红外分色片以 $1.3\ \mu\text{m}$ 为界分成光谱范围不同的 2 束辐射. 调制器安装在紧靠着视场光阑的前面用作测量的参考: 可见光透过该分色片后经过可见光中继系统和第 20 通道滤光片到达 Si 探测器. 红外辐射在被可见光——红外分色片反射以后以 $5.5\ \mu\text{m}$ 为界把入射光束分解成长波红外和短波红外; 透过该分色片的是波长大于 $5.5\ \mu\text{m}$ 的长波红外辐射, 它经过长波中继光学系统到达 HgCdTe 探测器, 被分色片反射的是波长小于 $5.5\ \mu\text{m}$ 的短波红外辐射, 它经过短波红外中继光学系统到达 InSb 探测器. 红外探测器安装在工作温度为 105 K 的辐射制冷器上.

14 块长波红外滤光片 (其中 2 块滤光片用以分别改善第 1 通道和第 4 通道的性能) 与 7 块短波滤光片安装在滤光片轮上. 滤光片轮以 10 rps 的速率旋转. 当扫描镜步进到某一位置后, 仪器沿某一方向凝视当时的地面视场. 在 100 ms 的时段内选取 20 个通道信息的一组电信号. 然后扫描镜步进 1.8° 凝视下一个地面视场进行测量. 这样, ASIS-2 在 6.4 s 时间内在与卫星星下点轨迹垂直的方向上完成 56 次测量, 然后扫描镜再回扫到起始位置. 每扫描 37 行以后进行一次辐射校准, 即看冷黑体和热黑体各 5.6 s, 看冷空间 5 s

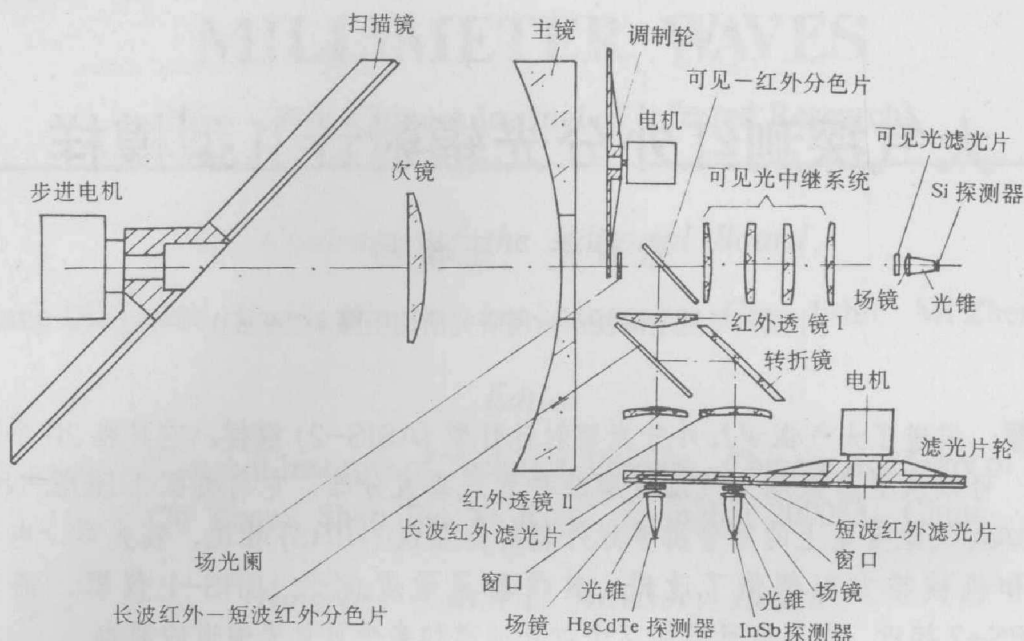


图1 ASIS-2 模样光路图

Fig. 1 Optical schematic diagram of ASIS-2 experimental model

左右. 如果气象卫星在 900 km 高度飞行, ASIS-2 可以在星下点轨迹两侧宽度为 2380 km 的条幅内取得大气辐射率数据, 提供给气象部门反演为大气温度廓线.

在工作时, 对机内冷黑体和热黑体、滤光片轮、调制轮、HgCdTe 探测器和 InSb 探测器都进行精密温度控制. 对它们以及基板、光学系统和电路箱的温度还不断进行测量.

ASIS-2 的整机特性如表 1 所示. 各通道的性能如表 2 所示. 在 14 块长波红外滤光片中, 通道 1 和通道 4 各具有 2 块特性非常接近的滤光片. 如果这 2 个通道在使用单个滤光片条件下的性能能达到要求, 则另外 2 块滤光片可用以增加 2 个新的长波红外通道. 由于可见光路是独立的, 如果设置一个可见光滤光片轮系统, 也可以增加多个可见光通道. 因此, ASIS-2 具有增加大气探测功能的潜力.

表 1 (ASIS-2) 模样的特性

Table 1 Characteristics of (ASIS-2) experimental model

卫星高度 (km)	900	辐射校准周期 (s)	256
卫星轨道倾角 (°)	99	通道数	长波红外 (12), 短波红外 (7), 可见光 (1) (见表 2)
光学视场 (°)	1.225 (长波红外), 1.20 (短波红外), 1.25 (可见)	探测器	长波红外 HgCdTe (6.7~15 μ m), 短波红外 InSb (3.7~4.6 μ m), 可见光 Si (0.69 μ m)
对地扫描张角 (°)	± 49.5	望远镜口径 (cm)	15
每行测数	56	红外探测器温度	105K
地面覆盖宽度 (km)	2380	数字化位数 (bit)	13
地面瞬时视场 (km)	19.6 (天底, 1.25° 视场)	尺寸 (光学头部) (mm ³)	700 × 320 × 320 (长 × 高 × 宽)
步进和凝视时间 (ms)	100	重量 (光学头部) (kg)	~40
总扫描时间加回扫时间 (s)	6.4	功耗 (W)	~35 (平均值)
灵敏度 (NE Δ N)	参见表 2		
辐射校准	290K 黑体, 265 黑体, 4K 冷空间		

表 2 (ASIS-2) 模样各通道的性能
Table 2 Performances of all the channels of ASIS-2 experimental model

通道编号	中心波数 (cm^{-1})	半功率带宽 (cm^{-1})	滤光片透过率 (%)	$NE\Delta N$ ($\text{mW}/\text{m}^2\text{-sr-cm}^{-1}$)	测量目的
1 (2 块)	669.5	4	29	1.7	(1) 探测大气冷区温度 (2) 第 5、6、7 通道也可用于计算视场中的云高和云量.
2	678.0	11	70	0.48	
3	690.0	11	75	0.36	
4 (2 块)	706.0	13	77	0.17	
5	715.5	15.5	68	0.25	
6	733.5	16	74	0.22	
7	750.0	16	74	0.22	
8	893.0	36	68	0.09	测量地面温度或云顶温度, 测云.
9	1026	25.5	84	0.18	测量 O_3 含量.
10	1233	55	82	0.13	(1) 探测水汽, 提供 CO_2 通道及窗口通道的水汽订正. (2) 第 12 通道也可用于探测薄卷云.
11	1360	39	85	0.13	
12	1470	75	88	0.12	
13	2188	26.5	68	0.005	探测大气暖区温度.
14	2206	20.5	65	0.005	
15	2240	28.5	70	0.003	
16	2263	24	72	0.0042	
17	2352	24	72	0.0026	
18	2499	35	69	0.0026	探测云顶温度, 在部分有云条件下用于推导地面温度.
19	2671	113	79	0.0007	
20	14619	971	65	$<0.1\%A$	测云: 白天与 $4.0\mu\text{m}$ 和 $11\mu\text{m}$ 一起确定晴空视场.

2 光学设计

ASIS-2 的光学系统首先把可见光分离出来, 然后再使长波红外与短波红外辐射相互分离 (见图 1). 这样滤光片轮和调制轮是相互分开的, 制作和装调比较容易. 调制轮设在主镜之后, 能更好地消除分光计内部热辐射对测量的影响. 由于 3 条光路共用一个视场光阑, 视场的同一性容易实现. 如前所述, 这种设计能增加一些可见通道作其它大气探测用.

在 3 只探测器前面我们采用曲面光锥 (红外) 或直线光锥 (可见光) 作为聚光元件, 以提高光学效率, 避免色差, 减少视场损失.

3 电子学分系统

电子学分系统由长波红外、短波红外和可见光模拟处理电路、多路开关和 A/D 转换器、2 只微处理器、步进电机驱动电源、调制器和滤光片轮驱动电源、温度测量和控制电路、直流变换电路等部分组成 (见图 2). 其中微处理器具有多种功能, 如数据采集和预处理、接口、产生控制信号和电学校准阶梯波信号等. 图 2 中 TIP 即 TIROS 信息处理器.

在 HIRS-2 仪器中, 使用测速电机和力矩电机与步进电机组成闭环以控制步进电机

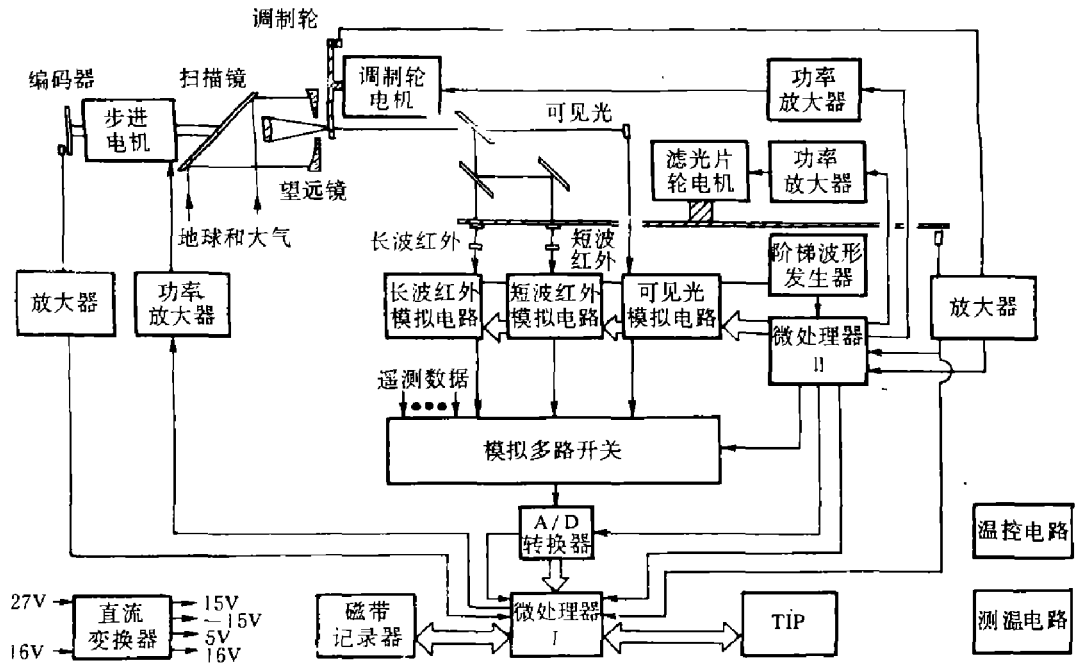


图 2 ASIS-2 模样电子学分系统方框图

Fig. 2 Schematic diagram of the electronic subsystem of ASIS-2 experimental model

的阻尼过程，其扫描镜抖动时间为 30ms^[1]。而在 ASIS-2 中由于采用微处理器实现了准最佳控制，其抖动时间只有 15ms。

4 机械设计

步进扫描镜组合件、光学组合件、滤光片组合件、调制轮组合件、冷黑体和热黑体、线路箱以及辐射致冷器等部件设计成模块安装在基板上。滤光片轮设计成轴对称形状(见图 3)，其直径约为 20cm。7 块短波红外滤光片和 1 块基片均匀分布于内圈，14 块长波红外滤光片和 2 块基片均匀分布于外圈。这样的设计有利于滤光片轮的动平衡。其中未镀膜的基片可用于光学对准。

扫描镜采用横向(椭圆短轴)三角网络形桁架式结构，这种结构的形变与在镜子背面铣成栅格的结构相比形变小。

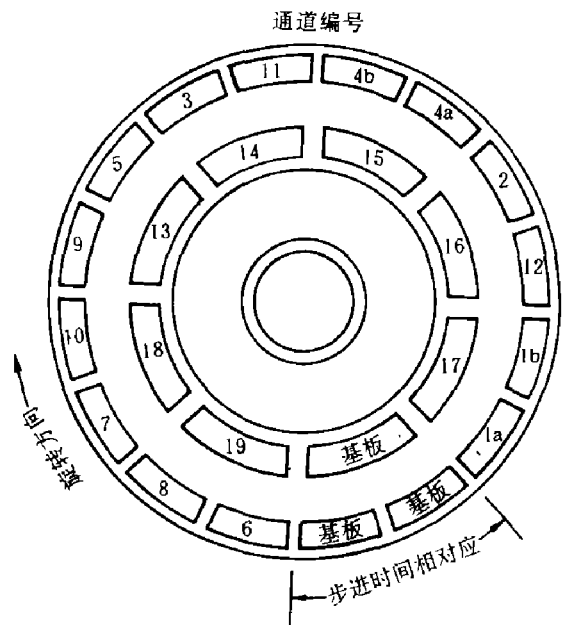


图 3 ASIS-2 模样的滤光片轮 (从红外探测器方向看)

Fig. 3 Filter wheel of ASIS-2 experimental model (viewing from the IR detectors)

5 滤光片、探测器和辐射致冷器

ASIS-2 采用 20 块窄带滤光片选取通道, 其中心波数、带宽和透过率如表 2 所示.

HgCdTe 探测器和 InSb 探测器分别把 6.7~15 μm 波段 (通道 1~12) 和 3.7~4.6 μm 波段 (通道 13~19) 的红外辐射转换为电信号. 它们的面积都为 $2.1 \times 2.1 \text{ mm}^2$ 左右. HgCdTe 探测器的探测率 $D_p^*(105 \text{ K}) = 9 \times 10^9 \text{ cmHz}^{1/2} \text{ W}^{-1}$, 截止波长 $\lambda_c(105 \text{ K}) = 15 \mu\text{m}$. InSb 探测器的 $D^*(3.7 \sim 4.6 \mu\text{m}, 105 \text{ K}) = 5 \times 10^{10} \text{ cmHz}^{1/2} \text{ W}^{-1}$. 这 2 只红外探测器分别与各自的锗场镜、曲面光锥以及外壳构成组合件安装在辐射致冷器的冷块上, 工作于 105 K 温度. Si 探测器的直径为 3 mm, 暗电流 $I_d = 3.5 \times 10^{-10} \text{ A}$, 响应率 $R = 0.3 \text{ A/W}$, 它与第 20 通道滤光片及外壳构成组合件.

辐射致冷器的侧面呈 L 形, 即地球屏蔽板与一级辐冷和二级辐冷垂直. 一级辐冷和二级辐冷都呈蜂窝结构并且安装在同一水平面上. 辐射致冷器安装于仪器背阳面, 与仪器其它部分之间隔热良好, ASIS-2 的热真空试验结果表明, 辐冷器可以冷却到 98 K (实际控制温度为 105 K).

6 辐射校准

ASIS-2 的校准是在航空航天工业部上海卫星工程研究所使用直径约为 2 m 的 KM-2 热真空容器进行的. 试验时真空度为 $(5.5 \sim 7) \times 10^{-6} \text{ Pa}$. 采用直径为 25 cm 的热管型面源黑体作为辐射源, 其等效比辐射率为 0.996. 辐射致冷器面向一只由氦气致冷的冷屏, 其温度为 11.4~14.2 K. 校准温度范围为 210~320 K. 对基板温度为 15 $^\circ\text{C}$ 和 25 $^\circ\text{C}$ 两种状态测量了 2 组校准曲线. 由校准试验确定了 ASIS-2 所有 19 个红外通道的灵敏度 $NE\Delta N$ (见表 2), 由表 2 可见 ASIS-2 的灵敏度远优于同类仪器 HIRS-1^[3], 与 TIROS-N 卫星上的 HIRS-2^[1] 相接近. 至于第 20 通道由于测量时间比 HIRS-2 长 40 倍左右, 估计其灵敏度优于 0.1% A (A 为大气反照率).

致谢: 匡定波教授对本项工作提出了很多宝贵意见并给于大力支持, 作者谨致谢意. 参加此项工作的还有王培纲、杨丽蓉、戎雪虎、董惠中、郑丽华、郁蕴健、钱荣琴、许伟亮、赵健、王东雁、刘成瑞等同志.

参考文献

- 1 Koenig E W. *Performance of the HIRS/2 instrument on TIROS-N*, In A. Deepak (ed.), *Remote Sensing of Atmospheres and Oceans*, New York: Academic Press, 1980, pp.67-94
- 2 Schwalb A. *TIROS-N/NOAA A-G Satellite Series*, NOAA Technical Memorandum NESS 95, March 1978
- 3 Koenig E W et al. *High Resolution Infrared Radiation Sounder (HIRS) for the Nimbus F Spacecraft*, NASA-CR-144743

ATMOSPHERIC SOUNDING INFRARED SPECTRORADIO- METER II (ASIS-2): EXPERIMENTAL MODEL

Zhang Zhaoxian, Wang Mochang

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: The experimental model of the Atmospheric Sounding Infrared Spectroradiometer II (ASIS-2), an instrument with twenty channels for the remote sounding of the atmospheric temperature profile and the vertical distribution of water vapor from a satellite, is reported in this paper. Compared with the High Resolution Infrared Radiation Sounder (HIRS) on the meteorological satellites TIROS-N/NOAA of the United States, both its optics and mechanism and its electronic circuits have been improved to some degree. Its sensitivity is better than that of HIRS-1 and approaches that of HIRS-2. The ASIS-2 experimental model has the potential to add two infrared channels and a lot of visible channels.

Key words: atmospheric sounding, spectrometer, radiometric calibration.