

# 甚高分辨率扫描辐射计的红外辐射定标

龚惠兴 郑亲波 张建新

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083)

**摘要**——介绍了扫描辐射计地面红外辐射定标的原理, 定标设备, 定标的精度与测量的结果。

**关键词**——红外辐射, 辐射定标, 多波段扫描仪。

## 1. 引 言

风云一号气象卫星甚高分辨率扫描辐射计的红外探测通道, 除用于拍摄红外云图外, 还具有测量目标温度的能力。扫描辐射计的响应率, 在轨道工作期间将受光学系统的污染等因素的影响而下降, 为此在仪器内部引入参考黑体, 并在卫星发射前进行辐射定标。扫描辐射计的红外通道使用 HgCdTe 探测器, 工作温度为 105K, 由辐射致冷器冷却, 因此, 红外辐射定标是在具有空间模拟背景及标准面源黑体的真空容器中进行。

## 2. 红外辐射定标原理

扫描辐射计对接收的目标辐射呈线性响应, 因此它的响应率  $R$  可用二点法校正。图 1

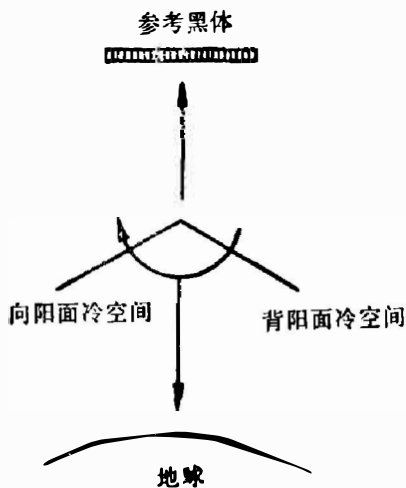


图 1 扫描辐射计观测时序

Fig. 1 Observational sequence of Scanning Radiometer.

是观测时序, 在每  $\frac{1}{6}$  秒周期内, 依次观测空间——地球目标——空间——参考黑体。在此期间, 辐射计的响应率不变, 辐射响应方程为

$$V = RN + I; \quad (1)$$

辐射参考基准之一是冷空间, 等效黑体温度为 4K, 其辐射率  $N_{SP} \approx 0$ 。控制电路在辐射计观测冷空间时, 产生恢复通道信号直流, 建立与零辐射对应的输出信号  $V_{SP}$ 。机内参考黑体为另一辐射基准, 其温度  $T_{REF}$  可精确遥测。若比辐射率为  $\epsilon_{REF}$ , 其辐射率  $N_{REF}$  为

$$N_{REF} = \frac{1}{\pi} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \epsilon_{REF} \cdot \phi(\lambda) c_1 \lambda^{-5} \frac{d\lambda}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T_{REF}}\right) - 1}; \quad (2)$$

式(2)中,  $\phi(\lambda)$  是辐射计归一化的光谱响应函数, 于是可确

定轨道上每扫描周期的响应率  $R$  和截距  $I$  为

$$\begin{cases} R = \frac{V_{SP} - V_{REF}}{N_{SP} - N_{REF}}; \\ I = \frac{V_{REF}N_{SP} - V_{SP}N_{REF}}{N_{SP} - N_{REF}}. \end{cases} \quad (3)$$

地面红外辐射定标的任务是用扫描辐射计的输出信号为过渡, 用标准黑体对参考黑体的比辐射率  $\epsilon_{REF}$  进行标定. 设标准黑体温度为  $T_E$ , 辐射率  $N_E$  为

$$N_E = \frac{1}{\pi} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \phi(\lambda) c_1 \lambda^{-5} \frac{1}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T_E}\right) - 1} d\lambda; \quad (4)$$

于是, 由式(2)~(4)可确定参考黑体比辐射率  $\epsilon_{REF}$

$$\epsilon_{REF} = \frac{\pi(V_E - I)}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \phi(\lambda) c_1 \lambda^{-5} \frac{d\lambda}{\exp\left(\frac{c_2}{\lambda T_{REF}}\right) - 1}} \cdot \frac{N_{SP} - N_E}{V_{SP} - V_E}. \quad (5)$$

### 3. 红外辐射定标设备与方法

红外定标设备由真空容器、空间模拟冷屏, 标准黑体、数据采集系统等组成.

真空容器的尺寸为  $\phi 2 \text{ m} \times 2.4 \text{ m}$ , 为防止试件污染, 主抽气泵用 15K 氮板, 抽速为  $2 \times 10^5 \text{ L/s}$ , 真空度在加载时优于  $6.6 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ . 容器内有  $LN_2$  热沉, 温度为 85K, 表面比辐射率高于 0.93,  $10.5 \sim 12.5 \mu\text{m}$  波段内的亮度为常温 300K 黑体的  $1/3.8 \times 10^4$ , 可以满足定标时低背景亮度的要求.

空间模拟冷屏用气氮冷却, 温度为  $15 \sim 20 \text{ K}$ , 尺寸为  $0.6 \times 1.2 \text{ m}^2$  表面为蜂窝, 比辐射率为 0.975, 与 4K 冷空间相比, 对辐射致冷器二级冷块平衡温度的影响小于 0.5K.

标准红外辐射源采用面源型黑体. 成像光学系统的辐射接收方程表明, 当目标黑体的面积充满光学口径和瞬时视场时, 接收的黑体功率  $P$  与黑体亮度、光学口径的面积和视场主体角的乘积成正比, 而与目标黑体离开辐射计光学入瞳的距离无关, 这是免去光学准直系统, 不考虑物像关系, 直接用面源黑体对辐射计进行定标的理论依据.

标准面源黑体为双重柱形腔结构, 黑体腔的有效口径为 270 mm, 高度为 215 mm, 内壁为  $L=25 \text{ mm}$ ,  $R=3 \text{ mm}$  的铜蜂窝, 表面喷涂  $\epsilon_N=0.95$  的黑漆. 面源黑体法向比辐射率  $\epsilon_{NB} \geq 0.9983$ , 工作温度在  $200 \sim 320 \text{ K}$  范围内可控可调, 黑体腔底为氨工质热管, 辐射面的温度均匀性优于 0.2K, 温控稳定度在 20 min 内优于  $\pm 0.04^\circ\text{C}$ . 当腔形面源黑体等效到理想黑体时, 在  $200 \sim 320 \text{ K}$  温度范围内, 决定其出射辐射度的绝对温度不确定度小于  $\pm 0.34 \text{ K}$ .

辐射定标时, 容器内还设有一深冷面源黑体, 口径为 400 mm, 比辐射率为 0.995, 温度为 110K, 用作直流恢复时模拟 4K 空间辐射参考基准. 在  $10.5 \sim 12.5 \mu\text{m}$  波段, 对 300K 黑体目标带来的定标误差约为  $\pm 0.026 \text{ K}$ .

数据采集及温控计算机对面源黑体、参考黑体实行温控, 并对辐射计的输出信号和各黑体的温度进行同步采集. 为保证高精度面源黑体温控的连续性, 它采用双 CPU 结构, 在主

机对数据运算处理时，温控 CPU 能实现面源黑体的温度自主控制。图 2 是红外辐射定标的设备及试验布置示意图。辐射计与标准面源黑体、深冷黑体在真空容器内的几何位置图见本期第 90 页图 12。定标时的现场照片见本期彩色插页图 f。

在定标时要驱除辐射致冷器内和各试件的残留气体，提高真空度，降低残留气体对二级冷块的热导和防止水汽在红外低温光学部件上的凝结污染，试件在真空容器内需进行 7 天 35°C 的常温烘烤放气。放气结束，冷屏保持在 15~20 K，辐射致冷器在 28 小时内可达到 105K 以下的工作温度，然后温控在  $105 \pm 0.2K$ ，并检验红外通道探测灵敏度和二级冷块冷量裕度。根据扫描辐射计在卫星上的工作环境、温度范围，实施参考黑体 25°C, 15°C, 5°C 和 -5°C 的恒温控制，在每一恒温点，由计算机按预定程序以约 10°C 的间隔，在 200~320K

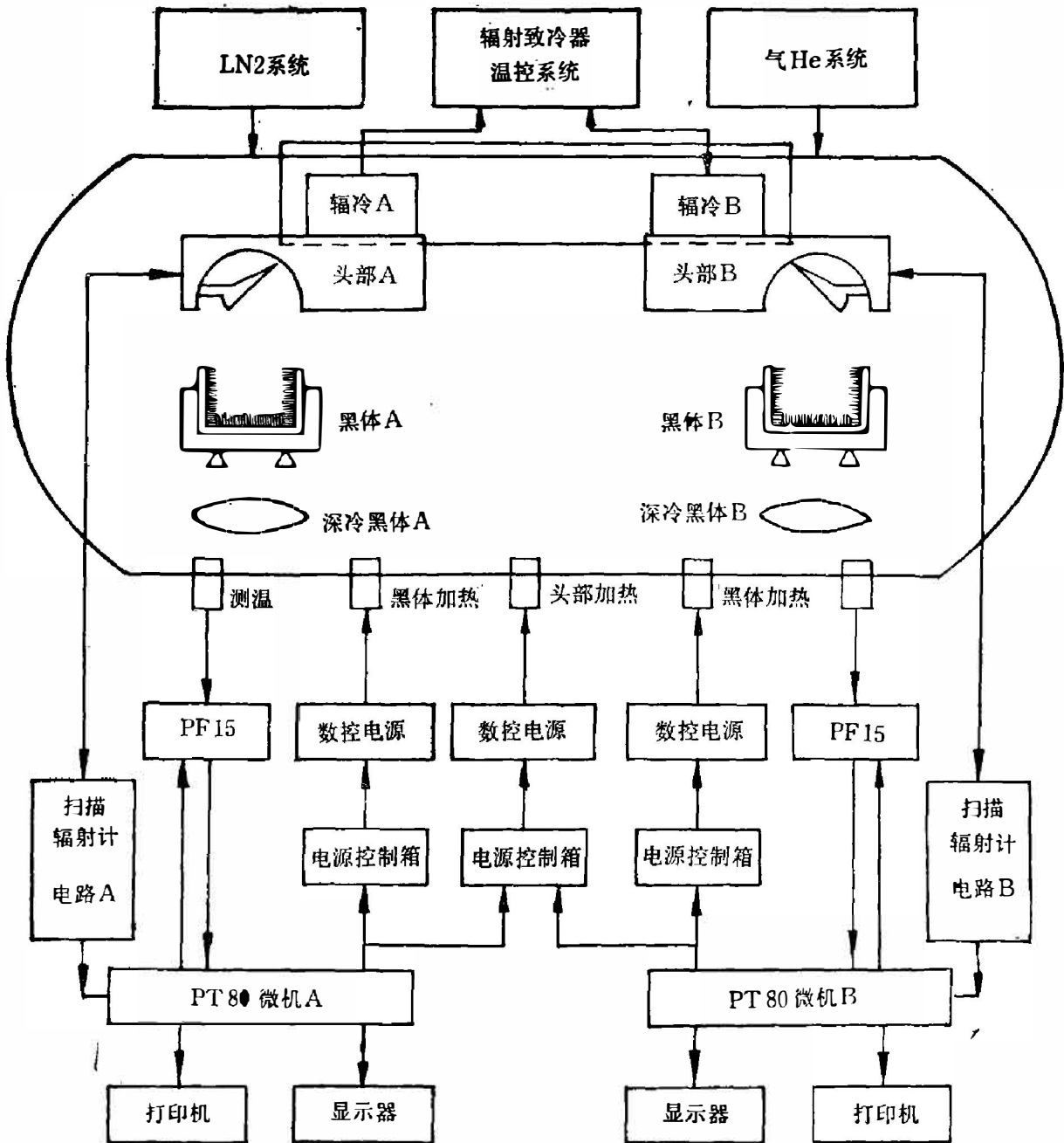


图 2 红外辐射定标示意图

Fig. 2 Block diagram of infrared calibration system.

范围内, 改变标准面源黑体的温度, 以确定卫星环境温度和目标温度对定标结果的影响。

#### 4. 定标精度与测量结果

1988年5~6月, 对风云一号气象卫星扫描辐射计进行了红外辐射定标, 定标不确定度为0.85 K, 误差分配为: 标准面源黑体0.34 K; 深冷黑体0.026 K; 参考黑体测温0.15 K; 通道噪声及数据量化0.33 K。

1988年9月7日卫星入轨, 9月20日红外通道开始工作, 获得了清晰的红外云图照片。9月20日晨4:30, 对朝鲜半岛东部 $N39^\circ$ ,  $E119.5^\circ$ 海区按定标方程 $N=0.4151V+422.8472$ 反演获得的海面温度 $T=290.1\sim 288.9\text{K}$ 。下午2:30对同一海区获得的海面温度 $T=291.3\sim 291.5\text{K}$ 。美国NOAA-9卫星9月20日下午4:31对 $N39^\circ$ ,  $E143^\circ$ 海区按定标方程 $N=-0.7422V+511.9998$ 反演获得的海面温度 $T=287.3\sim 288.5\text{K}$ 。NOAA-10卫星, 9月21日晨7:36对 $N39^\circ E137^\circ$ 海区按定标方程 $N=-0.1597V+158.726$ 反演获得海面温度 $T=291.3\sim 291.4\text{K}$ 。可以看到, 风云一号气象卫星与美国NOAA卫星的海面测温值基本上是一致的。

致谢——该工作得到航空航天部511所及509所的支持, 在此表示感谢。

#### 参 考 文 献

- [1] Levin Lanritson, Gary J. Nelson, Frank W., *Potro Data Extraction and Calibration of TIROS-N/NOAA Radiometers*, NOAA Technical Memorandum NESS 107, NOV. 1979.
- [2] 龚惠兴, 张建新, 李良新, 红外研究. 4(1985), 3:175.
- [3] Gong Huixing, Zheng Qinko. *Proceedings of the Beijing International Symposium on Remote Sensing*, Beijing China, NOV 18~22, 1986. p685~689.

## INFRARED RADIATION CALIBRATION OF VERY HIGH RESOLUTION SCANNING RADIOMETER

GONG HUIXING, ZHENG QINBO, ZHANG JIANXING

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

#### ABSTRACT

The calibration principle, method, equipments, its accuracy and the measured results for infrared radiation calibration on ground of the Scanning Radiometer are presented.