

风云一号气象卫星可见红外 扫描辐射计的技术发展

龚惠兴

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

摘要——从仪器的技术发展过程回顾了风云一号气象卫星可见红外扫描辐射计经历的中分辨率、高分辨率、甚高分辨率三个研制阶段, 并系统地总结了各研制阶段遇到的主要技术问题、解决方法和达到的技术指标。

关键词——气象卫星, 扫描辐射计。

1. 引 言

1988年9月7日我国发射了第一颗极轨气象卫星(参见本期彩色插页图a)。它由长征四号三级火箭运载入轨, 太阳同步轨道, 高度为901 km, 倾角为 99.1° , 周期为102.86'。

甚高分辨率扫描辐射计是卫星的主要遥感仪器。用于获取全球的可见和红外云图, 进行海洋水色观测试验, 并根据输出信号幅值, 定量测量目标的辐射亮度。它的研制经历了中分辨率48 rpm 扫描辐射计、高分辨率120 rpm 扫描辐射计和甚高分辨率360 rpm 扫描辐射计三个研制阶段, 历时15年。

甚高分辨率扫描辐射计是我国第一台星载可见红外遥感仪器。作为空间遥感仪器, 它的技术发展受到三个因素制约: 气象卫星工程系统(卫星, 运载火箭, 发射场建设, 测控网, 接收和应用系统)的技术完备性; 与我国现有的极轨气象卫星云图地面接收站的兼容性; 以及遥感仪器自身的发展水平。由于是第一颗太阳同步轨道卫星, 发射场的建设, 运载火箭的研制需要投资和时间, 其间美国业务气象卫星从ITOS发展到TIROS-N, 探测水平提高了三倍, 云图传输体制从模拟发展到数字。我国的地面站亦作了相应的改造, 这就促使我们三次提出、更新扫描辐射计的设计和探测指标。

2. 中分辨率48 rpm 可见红外扫描辐射计

中分辨率48 rpm 可见红外扫描辐射计的设计开始于1974年, 它是我国研制的气象卫星第一代原理性样机。它摒弃了60年代美国TIROS和ESSA系列气象卫星上的电视摄

像的云图体制,采用光学机械扫描方式同时获取可见和红外云图资料,实现了一颗极轨气象卫星 12 小时复盖全球的目标。

扫描辐射计采用 45° 平面反射镜扫描,转轴与卫星飞行方向一致。图 1 是中分辨率扫描辐射计的外形,图 2 是其光路结构。它有

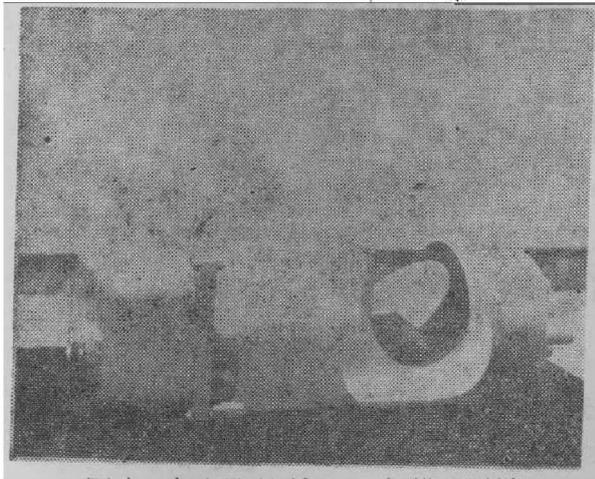


图 1 中分辨率 48 rpm 扫描辐射计
Fig. 1 48rpm Medium Resolution Scanning Radiometer.

0.55~0.83 μm , 10.5~12.5 μm 2 个探测波段。光学口径为 120 mm, 可见通道焦距为 500 mm, IFOV = 4 mrad; 探测器用 Si 光二极管, 尺寸为 $3 \times 3 \text{ mm}^2$, 响应率为 0.3 A/W, 暗电流为 1×10^{-8} A。红外探测器为浸没型热敏电阻, 光敏面为 $0.2 \times 0.2 \text{ mm}$, 时间常数 $\tau_0 = 2 \text{ ms}$, $D^* = 1 \times 10^8 \text{ cm Hz}^{\frac{1}{2}} \text{ W}^{-1}$ 。红外通道采用入瞳成象和 IFOV 由机械光栏限定的设计方法。原定指标 IFOV = 8 mrad。由于会聚光线在锗超半球透镜界面上的全反射, 实际的 IFOV 只达到 5.8 mrad。使用热敏电阻红外探测器时产生的

的另一问题是, 它的时间常数 $\tau_D = 2 \text{ ms}$, 相当于 80 Hz, 不能满足 315 Hz 图象信号响应带宽的要求, 为此必须进行微分校正, 结果使红外通道信噪比以 $\tau_D/\tau_A = 4$ (τ_A 为 315 Hz 对应的时间常数) 的倍率下降。

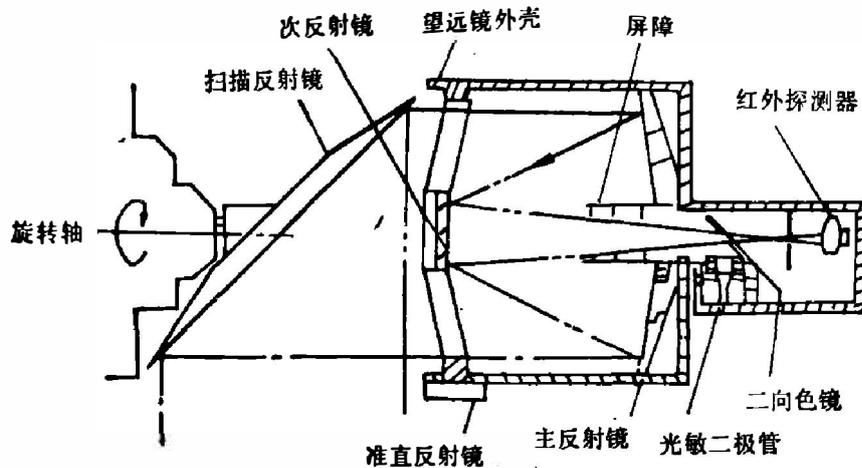


图 2 中分辨率 48 rpm 扫描辐射计光路图

Fig. 2 Optical configuration of the 48 rpm Medium Resolution Scanning Radiometer.

经测试, 红外通道探测灵敏度 $NE\Delta T = 1.0 \text{ K}$ (300 K 目标), 可见通道探测灵敏度 $NEI = 5 \times 10^{-11} \text{ W/cm}^2$, 其性能与 ITOS 气象卫星的扫描辐射计 SR 相当。图 3 和图 4 为该仪器可见与红外通道拍摄的地面目标照片, 图象清晰。

可见通道有很高的探测灵敏度, 红外通道对云和下垫面有良好的区分, 达到了设计指标。我们并对 48 rpm 可见红外扫描辐射计的性能与美国 ITOS 卫星 SR 的性能进行了比较(见表 1)。



图3 48 rpm 扫描辐射计可见通道照片
(1978.10, 0.55~0.83 μm)

Fig. 3 Visible-channel photo from 48 rpm MRSR (1978.10, 0.55~0.83 μm).



图4 48 rpm 扫描辐射计红外通道照片
(1978.10, 10.5~12.5 μm)

Fig. 4 Infrared-channel photo from 48 rpm MRSR (1978.10, 10.5~12.5 μm).

表1 48 rpm 可见红外扫描辐射计与美国 ITOS 卫星扫描辐射计的性能比较
Table 1 Performance comparison of 48 rpm MRSR with SR of ITOS Satellite

项 目		48 rpm 扫描辐射计	ITOS 卫星扫描辐射计
空间分辨率 (mrad)	可见	4	2.7
	红外	5.8	5.4
探测波段 (μm)	可见	0.55~0.83	0.52~0.73
	红外	10.5~12.5	10.5~12.5
探测器	可见	Si 光二极管	Si 光二极管
	红外	浸没热敏电阻	浸没热敏电阻
探测灵敏度	可见	$NEI \leq 5 \times 10^{-11} \text{ W/cm}^2$	$NEI \leq 1.7 \times 10^{-11} \text{ W/cm}^2$
	红外	$NE\Delta T \leq 1.0 \text{ K}$	$NE\Delta T \leq 1.0 \text{ K}$
光学口径 (mm)		120	120
扫描速率 (rpm)		48	48
输出信号		模拟云图	模拟云图
功耗 (W)		20	6.6
重量 (kg)		20	5.9

3. 高分辨率 120 rpm 可见红外扫描辐射计

美国从 1978 年起发射第三代业务气象卫星 TIROS-N, 有一台五通道高级甚高分辨率扫描辐射计 (AVHRR). 经星上实时信息处理后同时发送 6 线/s 的 HRPT 展宽数字云图和 2 线/s 经几何畸变校正的 APT 模拟云图. 为此, 我国增设 1700 MHz 的 HRPT 数字云图接收站, 原 APT 站的传真机改装, 接收 2 线/s 的 APT 云图. 于是在 1977 年决定研制 120 rpm 可见红外扫描辐射计, 作为我国气象卫星扫描辐射计工程样机研制的起点.

对 900 km 高度的太阳同步轨道, 星下点速度为 6.49 km/s, 当扫描速率为 120 rpm 时,

为使相邻扫描线衔接,瞬时视场应达到 3.6 mrad ,电子学带宽为 1.75 kHz . 用户要求红外通道探测灵敏度 $NE\Delta T \leq 0.8 \text{ K}$, 显然热敏电阻红外探测器的 D^* 和响应时间无法满足要求, 为此采用 HgCdTe 红外探测器, 其工作温度为 105 K , 并由被动式辐射致冷器冷却.

在 900 km 轨道高度,地球张角为 122.4° . 为实现与 TIROS-N 卫星 APT 相同的、每扫描线中同时传送可见和红外二个通道图像的要求,采用了图 5 所示的光路结构. 它有 2 个独立的光学系统,其参数相同,中间有一台驱动器,使两块位相差为 180° 的 45° 扫描镜交替接收地球辐射,两边各取一个通道,时分串接,形成每扫描线两个通道信号的输出. 两个光学系统的红外通道均为 $10.5 \sim 12.5 \mu\text{m}$, 可见通道波段分别为 $0.55 \sim 0.75 \mu\text{m}$ 和 $0.52 \sim 1.1 \mu\text{m}$, 以区分云和雪. 在指令控制下可形成可见 1-可见 2, 可见 1-红外, 可见 2-红外三种通道组合的输出.

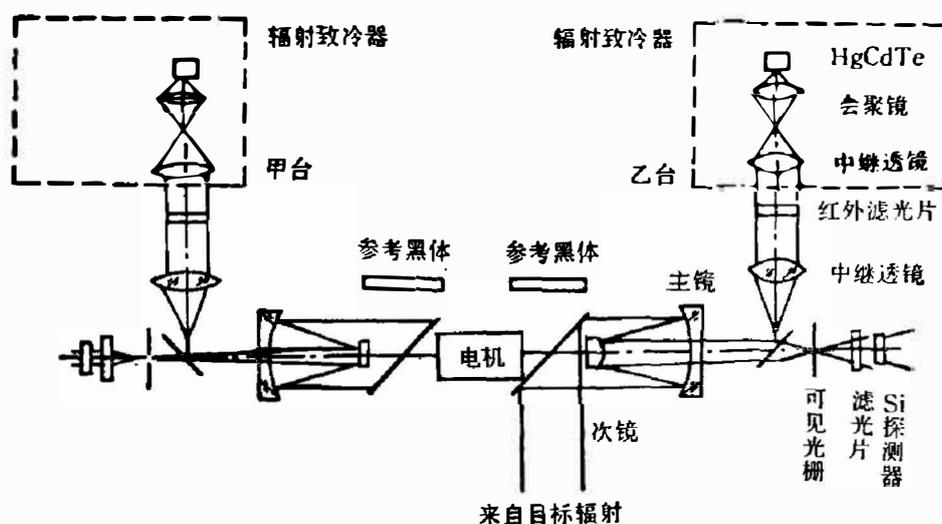


图 5 120 rpm 扫描辐射计光路结构

Fig. 5 Optical configuration of 120 rpm Scanning Radiometer.

主光学系统为双球面折迭式望远镜结构,口径为 124 mm , 焦距为 668 mm , 可见通道瞬时视场由机械光栏限定,尺寸为 $2.4 \times 2.4 \text{ mm}^2$, 瞬时视场为 3.6 mrad . 由于辐射致冷器尺寸较大,它与光学扫描器采用分体安装,其间为准直光耦合,以降低安装误差对像质和视场配准的影响. 红外通道的等效焦距为 123 mm , 探测器尺寸为 $0.36 \times 0.36 \text{ mm}^2$, 瞬时视场为 $2.9 \times 2.9 \text{ mrad}$.

可见探测器为 Si 光二极管,光敏面为 $3 \times 3 \text{ mm}^2$, 响应率为 0.4 A/W , 暗电流为 $1 \times 10^{-8} \text{ A}$, 结电容为 50 PF . 由于放大器噪声的改进,可见通道探测灵敏度 $NEI \leq 1.6 \times 10^{-11} \text{ W/cm}^2$, 红外探测器用光导 $\text{Hg}_{0.8}\text{Cd}_{0.2}\text{Te}$ 探测器,工作温度为 105 K . 初始设计要求 $D^* \geq 5 \times 10^8 \text{ cm Hz}^{\frac{1}{2}} \text{ W}^{-1}$, 1981 年实际达到 $D^* = 6 \times 10^9 \text{ cm Hz}^{\frac{1}{2}} \text{ W}^{-1}$. 探测性能有显著提高.

辐射致冷器的性能检验必须在具有 30 K 背景的真空容器中进行,而辐射致冷器冷却到预定的 105 K 是红外通道工作和性能检验的先决条件. 在 1980~1982 年间进行了三次试验,测得辐射致冷器的二级冷块温度达 100 K ,并可加热温控在 105 K . 红外通道探测灵敏度 $NE\Delta T \leq 0.2 \text{ K}$, 红外通道辐射定标的不确定度约 2 K , 标准辐射源用大口径腔形面源黑体.

扫描器的转速稳定度对图像质量有直接影响, 通常要求扫描抖动幅值小于 1 个像素. 48 rpm 扫描辐射计采用 1500 rpm 磁滞同步电机, 采用二级齿轮减速 31.25 倍的驱动方式. 为提高扫描精度和简化空间润滑, 120 rpm 扫描辐射计改用 TDB-500 永磁式同步电机直接传动. 它是按电磁减速原理工作, 减速比为 50, 比整步力矩达 $\frac{dM}{d\alpha} = 45000 \text{ gcm/rad}$. 扫描抖动 $\leq 1.1 \text{ mrad}$, 满足了图像质量的要求.

扫描辐射计对目标温度的定量测量, 要求其光学开口不受阻挡, 因此, 必须研究扫描器在轨道超高真空环境下 ($1.33 \times 10^{-8} \sim 10^{-9} \text{ Pa}$) 的长寿命润滑问题. 我们选用了储油轴承保持架和转轴出轴迷宫式密封的技术方案. 润滑油的分子量 $M = 8047$, $T = 327 \text{ K}$ 时, 饱和蒸气压 $P = 1.33 \times 10^{-5} \text{ Pa}$, 油蒸气通过二个环状气道的年损失量 Q 为:

$$Q = 1.02 \times 10^4 P \sqrt{MT} \frac{(r_2^2 - r_1^2)(r_2 - r_1)}{l} \text{ g/年} = 1 \text{ mg/年}$$

式中, r_2 , r_1 和 l 分别为轴孔内径、转轴外径和迷宫长度. 为了证实扫描器的真空长寿命运行性能, 1980 年 10 月至 1981 年 4 月, 在 KM-0.5 无油真空容器中进行了半年运行试验, 真空度达 $1.33 \times 10^{-5} \text{ Pa}$, 扫描器工作正常, 润滑油损失量约 3 mg, 实际内部储油量约 100 mg, 可以满足一年以上的轨道运行要求. 图 6 是扫描器真空运行寿命试验的现场照片.

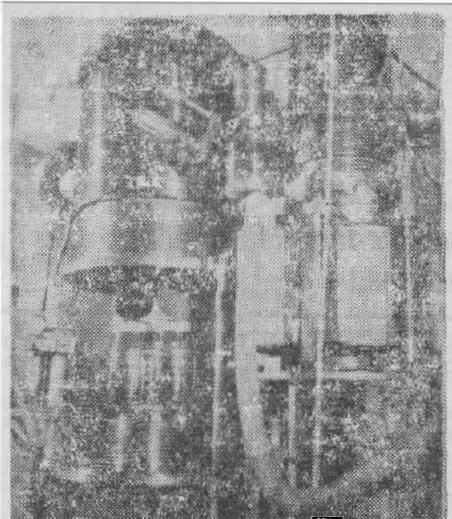


图 6 扫描器真空运行寿命试验现场

Fig. 6 Scene of scanner life-test in vacuum vessel.

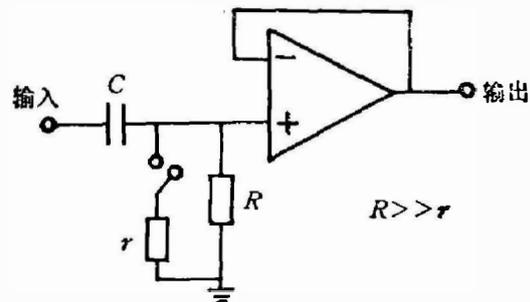


图 7 直流恢复放大器示意图

Fig. 7 DC-restoration amplifier.

为了对辐射计红外通道的辐射响应进行飞行中的校正, 内部设有参考黑体, 参考黑体可以温控, 温度由精密铂电阻遥测, 由于系统具有线性响应特性, 响应率可用二点法校正. 另一辐射参考点是冷空间, 等效黑体温度为 4 K. 为消除直流电平漂移, 红外通道放大器用交流耦合, 在观测冷空间时产生直流电平恢复(见图 7), 建立与零辐射对应的直流基准电平. $RC = T/A$; 其中 T 为扫描周期, A 为允许的信号平顶下降百分率.

图 8 为带有 LN_2 杜瓦瓶的 120 rpm 扫描辐射计外形照片. 图 9 为该扫描辐射计用 400 rpm 速率拍摄的航空照片. 波段为 $10.5 \sim 11.2 \mu\text{m}$, $\text{IFOV} = 3.6 \text{ mrad}$, 飞行高度为 3000 m, $\text{NE}\Delta T \leq 0.2 \text{ K}$.

120 rpm 扫描辐射计的性能经测定, 各项指标均达到设计要求, 并通过了力学环境试验、真空冷热浸试验、空间粒子辐照试验和扫描器的超高真空环境半年运行寿命试验, 完成

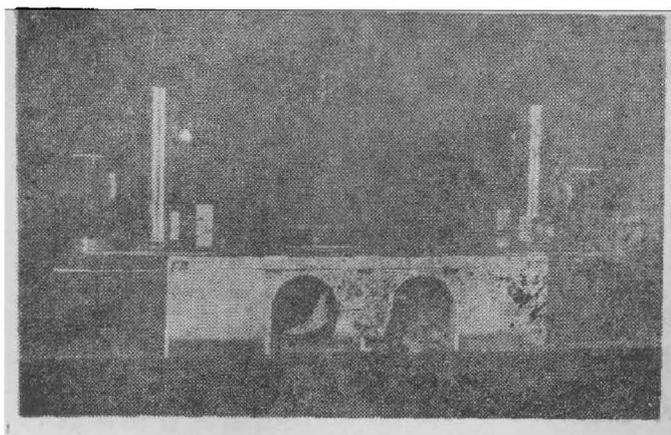


图 8 带 LN_2 杜瓦瓶的 120 rpm 扫描辐射计
Fig. 8 120rpm Scanning Radiometer with LN_2 dewar.

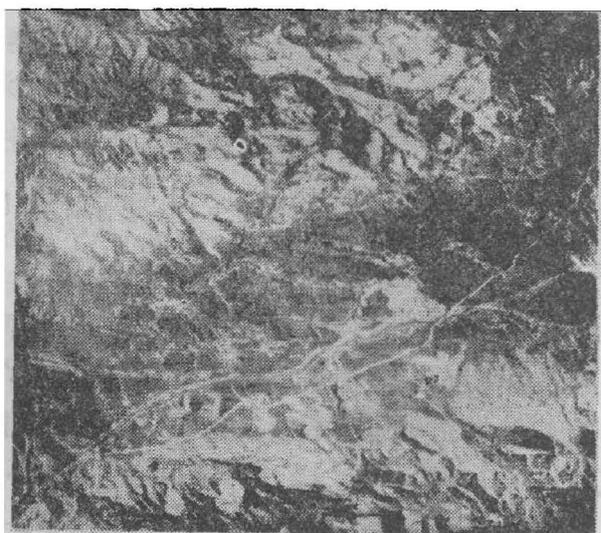


图 9 高分辨率扫描辐射计用 400 rpm 拍摄的航空
红外照片(1979.10.3, $10.5\sim 11.2\mu\text{m}$, 高度 3km, IFOV
=3.6 mrad, 浙江塘栖山区)

Fig. 9 Infrared photo from airborne High Resolution Scanning Radiometer (height: 3000 m; IFOV: 3.6 mrad; ratio: 400 rpm; wave band: $10.5\sim 12.5\mu\text{m}$; 1979.10.3 hilly area of Zhe Jiang province).

了工程初样的研制。对 120 rpm 可见红外扫描辐射计性能与 TIROS-N 卫星 APT 进行了比较(见表 2)。

表 2 120 rpm 可见红外扫描辐射计性能及其与 TIROS-N APT 的比较

Table 2 Performance comparison between 120rpm Scanning Radiometer and TIROS-N APT.

项 目	120 rpm 扫描辐射计	TIROS-N 卫星 APT
空间分辨率 (mrad)	3.6	3.9(飞行方向)
探测波段 (μm)	0.55~0.75 0.52~1.11 10.5~12.5	0.58~0.68 0.725~1.1 3.55~3.93 10.5~11.5 11.5~12.5
探测器	Si 光二极管 HgCdTe	Si 光二极管 InSb HgCdTe
探测器温度 (K)	105	105
致冷方式	辐射致冷器	辐射致冷器
探测灵敏度	可见: $\text{NEI} \leq 1.6 \times 10^{-11} (\text{W}/\text{cm}^2)$ 红外: $\text{NE}\Delta T \leq 0.2 (\text{K})$	红外: $\text{NE}\Delta T \leq 0.18 \text{ K}$
光学口径 (mm)	124	200
扫描速率	120(rpm)	2(线/s)
输出信号	未校正的模拟云图信号 格式同 TIROS-N	经扫描几何畸变校正的模拟云图信号
功耗 (W)	28(二台)	
重量 (kg)	58(二台)	

4. 甚高分辨率 360 rpm 扫描辐射计

在卫星轨道高度及全球复盖周期不变时,扫描辐射计的探测灵敏度与瞬时视场线度的立方成反比.在 1978~1981 年间 HgCdTe 红外探测器的 D^* 提高了一个数量级,如果把光学口径从 124 mm 增大到 200 mm,则系统灵敏度可提高 26 倍.这就达到了在满足红外通道 $NE\Delta T \leq 0.8$ K 用户要求前提下,把空间分辨率提高三倍的要求,可研制与 TIROS-N 卫星 AVHRR 相似的 360 rpm 甚高分辨率扫描辐射计.但要付诸实现,还必须解决光学系统、透镜、扫描器、三元 Si 探测器以及图像的实时信息处理等技术.

用户要求一台甚高分辨率 360 rpm 扫描辐射计的输出信号,经星上实时处理后能同时输出 6 线/s 的 HRPT 5 个通道数字图像信息和 2 线/s 的经几何畸变校正处理的 2 个通道 APT 模拟图像信息.信息格式与 TIROS-N 相同,供我国已有的地面站兼容接收,也可为世界各国所接收.

HRPT 信息处理器信息流程如图 10 所示,它是按 5 个通道模拟信号输入方式设计的,信号带宽为 15.7 kHz.为降低功耗和提高系统可靠性,使用了 5 只 8 bit A/D 转换器和并行转换方式.转换频率为 39.924 kHz,对天底两侧 $\pm 55.4^\circ$ 地球景象信号采样,每通道为 2048 字,每扫描线数据量为 10240 字,为提高转换精度,降低转换速率,充分利用 RAM 的高速写入特性,采用转换数据锁存,在下个转换周期写入 RAM.写入速率为 199.62 kbyte/s.在逻辑电路控制下,边写边读,写三读一方式对图像数据缓冲,并串转换后,最低位添加 2 个 0,形成与 TIROS-N HRPT 相同的,10 bit/字,码速率为 665.4 k bps 的码字时分五通道的数字云图信号,实现了 $\pm 55.4^\circ$ 地球景象信号在时间轴上成 332.4° 的展宽.

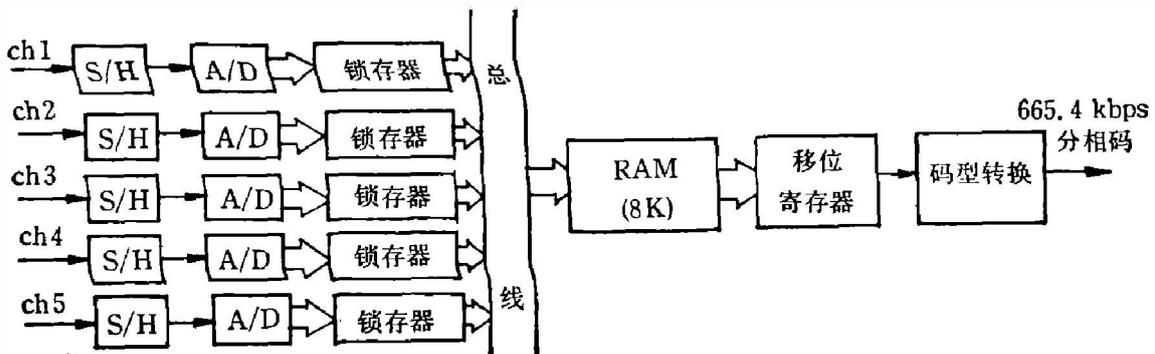


图 10 HRPT 实时信息缓冲处理

Fig. 10 HRPT real-time information buffering processor.

由于地球曲率及卫星到各观测点之间距离随扫描天底角 α 而变化,沿扫描方向的图像地面分辨率 Δl 为:

$$\Delta l = 1.2 \times 10^{-3} \left[\frac{(R+H) \cos \alpha}{\sqrt{1 - \left(\frac{R+H}{R}\right)^2 \sin^2 \alpha}} - R \right];$$

式中, R 为地球半径; H 为轨道高度. 图 11 虚线是地面分辨率随扫描天底角 α 的变化. 为

对几何畸变校正,把图像信号按扫描天底角 α 分成10个区段,各区段以不同频率采样(见表

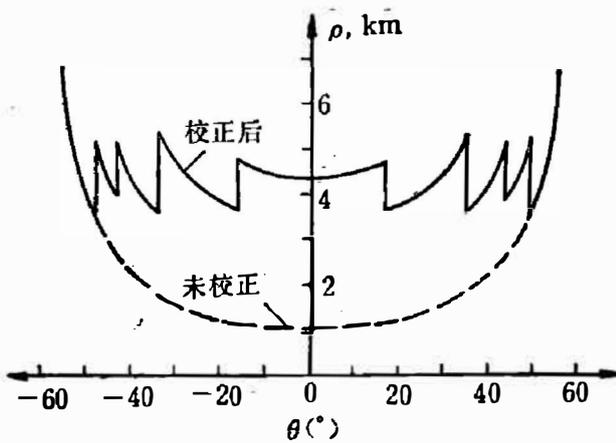


图 11 APT 图像沿扫描方向地面分辨率

Fig. 11 Ground resolution of APT image along the scanning direction

3), A/D 转换后存入 RAM, 然后线性读出, 实现扫描几何畸变的分区线性化校正, 平均地面分辨率约为 4 km (见图 11). 图像校正由 APT 信息处理器完成, 它有二路指令控制的模拟图像信号输入, 每路有独立的 A/D 和存储量为 1 k 的 RAM, 总采样字数为 909, 二个通道交替处理, 时分串接, D/A 转换后插入遥测信息, 形成与 TIROS-N APT 相似的 2 线/s 模拟图像信号.

甚高分辨率扫描辐射计原先共有二个可见和一个红外通道, 1985 年为扩大功能, 增加了二个海洋水色观测通道, 最终形成了 $0.48 \sim 0.53 \mu\text{m}$, $0.53 \sim 0.58 \mu\text{m}$, $0.58 \sim 0.68 \mu\text{m}$,

$0.725 \sim 1.1 \mu\text{m}$ 和 $10.5 \sim 12.5 \mu\text{m}$ 共五个通道的波段配置. 扫描辐射计光路图见本期第 92 页图 1. 本系统光学口径为 200 mm, 主光学系统由共轴共焦抛物面组成, 由于是平行

表 3 APT 图像分区线性化信息特征

Table 3 Information characteristics of APT image after area-linearization.

扫描天底角 $\alpha(^{\circ})$	采样频率(kHz)	沿扫描方向地面分辨率(km)
$\pm 0 \sim 16.8$	9.981	4.32~4.81
$\pm 16.8 \sim 34.7$	13.308	3.61~5.37
$\pm 34.7 \sim 43.6$	19.962	3.58~5.19
$\pm 43.6 \sim 48.6$	26.616	3.89~5.27
$\pm 48.6 \sim 55.4$	39.924	3.52~6.80

光输出, 省去与辐射致冷器耦合光路中的二块红外准直镜; 光束分裂采用红外反射率大于 0.90 的红外/可见分色片, 提高了红外通道的光学效率. HgCdTe 探测器尺寸为 $0.21 \times 0.21 \text{ mm}^2$, 焦距为 174 mm, 瞬时视场为 1.2 mrad. $0.725 \mu\text{m}$ 的前截止滤光片兼作可见/近红外分色片, 结合 Si 探测器的响应截止波长, 形成 $0.725 \sim 1.1 \mu\text{m}$ 波段, 从可见/近红外分色片反射的辐射, 会聚后由微型三色滤光片限定工作波段, 由三元 Si 探测器接收, 形成三个可见探测通道.

45° 扫描反射镜用铍材料成形抛光后镀膜制成, 尺寸为 $205 \times 290 \text{ mm}^2$, 由 30 极对的磁滞同步电机驱动, 同步力矩为 $350 \text{ g} \cdot \text{cm}$, 转速周期稳定度为 1.5×10^{-4} . 为减轻重量, 光学扫描器及电子线路箱的主结构均用铸镁件做成. 360 rpm 甚高分辨率扫描辐射计的光学扫描器和信息处理器的外形照片见本期彩色插页图 b.

辐射致冷器的辐射开口尺寸为 $360 \times 262 \text{ mm}^2$, 在 105 K 时的冷量裕度大于 10 mW. 辐射致冷器的地面环境保护对其入轨后的工作性能有重要的影响. 为此, 在辐射致冷器内的一级冷块上装有指令控制加热器, 功率为 20 W, 冷块温度由温度继电器控制在 32°C , 供入轨初期的烘烤放气和运行期间的冷块去污染加热. 辐射致冷器开口带有防污染罩(见本期

彩色插页图 d), 用于保持光学镜面的洁净和提高烘烤放气时二级冷块的温度。辐射致冷器用真空充氮密封容器储存; 防污染罩采用电磁双解锁和防冷焊措施, 能在 -90°C 时可靠地指令解锁。

扫描辐射计在发射前进行了辐射定标。可见近红外通道的辐射定标用太阳辐射作标准, 在对大气透过率及天空背景辐射修正后, 定标精度为 5%, 测定各通道的探测灵敏度 $NE\Delta\rho \leq 0.15\%$ 。红外通道的性能检验和辐射定标在 KM-2 真空容器内进行(见图 12), 冷背景用氦气冷却至 15~20 K, 标准辐射源用双重腔形面源黑体, 黑体精度为 0.34 K, 定标精度为 1.0 K。测定红外通道探测灵敏度 $NE\Delta T \leq 0.20\text{ K}$, 可见与红外通道的视场配准精度优于 1/5 像素, 红外通道的 $MTF \geq 0.25$, 各可见通道的 $MTF \geq 0.4$ 。

对甚高分辨率扫描辐射计性能与 TIROS-N 卫星 AVHRR 我们进行了比较, 其结果如表 4 所示。

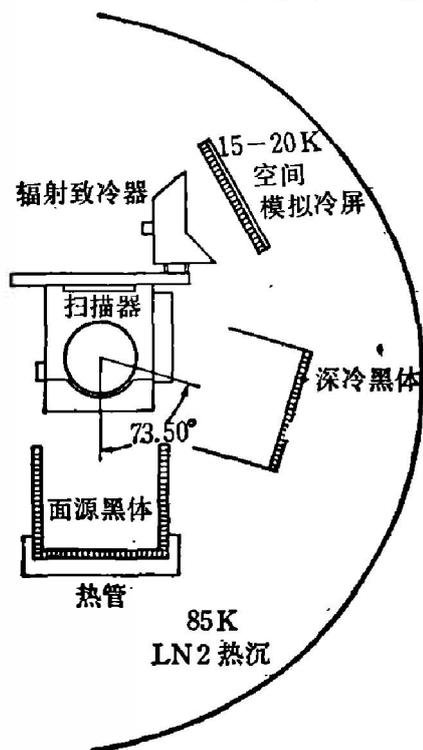


图 12 辐射计与标准面源黑体、深冷黑体在真空容器内的几何位置
Fig. 12 Arrangement of Scanning Radiometer, deep-low-temperature and standard black-bodies in vacuum vessel.

表 4 甚高分辨率扫描辐射计性能及其与 TIROS-N AVHRR 比较

Table 4 Performance comparison between FY-1 Very High Resolution Scanning Radiometer and TIROS-N AVHRR.

项 目	甚高分辨率扫描辐射计	TIROS-N 卫星 AVHRR
探测波段(μm)	0.48~0.53; 0.53~0.58	0.58~0.68; 0.725~1.1
	0.58~0.68; 0.725~1.1	3.55~3.93; 10.5~11.5
	10.5~12.5	11.5~12.5
空间分辨率(mrad)	1.2	1.3
地面分辨率(km)	1.1	1.1
探测器	Si 及 HgCdTe	Si, InSb, HgCdTe
致冷方式	辐射致冷器	辐射致冷器
探测灵敏度	可见近红外, $NE\Delta\rho \leq 0.15\%$	可见近红外 $NE\Delta\rho \leq 0.10\%$
	热红外 $NE\Delta T \leq 0.20\text{ K}$	热红外 $NE\Delta T \leq 0.15\text{ K}$
探测动态范围	Ch ₁ Ch ₂ 0~20%	Ch ₁ Ch ₂ 0~105%
	Ch ₃ Ch ₄ 0~85%	
	Ch ₅ 200~320 K	Ch ₃ Ch ₄ Ch ₅ 180~330 K
光学口径(mm)	200	200
扫描速率(rpm)	360	360
输出信息格式	与 TIROS-N 相同	五通道数字云图及二通道模拟云图
星上信息处理	与 TIROS-N 相同	高速数字信息缓冲及扫描几何畸变校正
重量(kg), 功耗(W)	47, 27	约 32, ≥ 35

5. 入轨后的工作情况

甚高分辨率扫描辐射计于1988年9月7日入轨,四个可见近红外通道立即工作,向地面发回清晰的图像(见本期彩色插页图 i)。经测定,图像地面分辨率和探测灵敏度都达到设计指标。对云系、作物、水陆分界和海洋水色等均有良好的观测能力。红外通道于9月20日开始工作,辐射致冷器达到预定的指标 105 K,初期的红外图像清晰(见本期彩色插页图 h, 空间分辨率为 1.2 mrad, 探测灵敏度 $NE\Delta M=0.5$ K。

由于辐冷器内处于低温的红外光学部件表面的水汽凝结,使红外通道信号迅速衰减。这主要是发射环境过于潮湿,遥感仪器缺乏应有的环境保护;虽经辐射致冷器轨道加热放气,但仍有大量水汽残留。这一问题有待进一步研究解决。

参 考 文 献

- [1] Lauritson L., et al., *Data extraction and Calibration of TIROS-N/NOAA Radiometers NESS-107*, (1979), 44~46.
- [2] **NASA-CR-156682.**
- [3] Karoli A. R. et al., *Applied Optics*. **6** (1967), 1183.
- [4] Gong Huixing, Zheng Qinbo, *Infrared radiation calibration of a space borne scanning radiometer. Proceedings of the Beijing international symposium on remote sensing Nov., 1986, 18~22.*

VISIBLE-INFRARED SCANNING RADIOMETER OF FY-1 METEOROLOGICAL SATELLITE AND ITS TECHNICAL ADVANCES

GONG HUIXING

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

ABSTRACT

According to the process of technical development of visible and infrared scanning radiometer installed on "FY-1" Meteorological Satellite, three stages of medium, high and very high resolutions, through which the instrument went, are reviewed. Some main technical problems, settlement method and the technical features obtained in each stage are summarized systematically.