

# 航空多光谱扫描仪

孙积修

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

**摘要:** 介绍了航空多光谱扫描仪的设计, 主要参数的计算和相互之间的关系, 及主要性能指标.

**关键词:** 多光谱扫描仪, 瞬时视场.

## 引言

航空遥感具有图象空间分辨能力强、灵敏度高、投资小、收效快及作业灵活等特点, 近几年发展迅速, 并得到广泛应用. 为适应航空多光谱扫描仪 (AMS) 应用不断扩大和判读新技术发展的需要, 我们研制了航空多光谱扫描仪及其配套设备.

## 1 扫描仪系统设计

### 1.1 波段划分

为适应不同应用的需要, 并参考目前正在运行的陆地卫星上使用的扫描仪, 我们把多光谱扫描仪的波段划分为:

(1)  $0.45 \sim 1.09 \mu\text{m}$  均分为 16 个波段; (2)  $1.55 \sim 1.75 \mu\text{m}$  为 1 个波段; (3)  $2.05 \sim 2.35 \mu\text{m}$  为 1 个波段; (4)  $8.00 \sim 12.50 \mu\text{m}$  为 1 个波段.

### 1.2 灵敏度

扫描仪的灵敏度与光谱分辨率、空间分辨率是密切相关的. 对于不同的应用, 应提出不同的性能要求, 如用于军事一般是牺牲灵敏度和光谱分辨率来提高空间分辨率. 而本仪器主要用于资源勘查、作物普查、环境保护、地质研究、古迹调查和海洋开发等方面的应用, 因此我们以牺牲空间分辨率, 来提高灵敏度和光谱分辨率.

可见光及近红外波段仪器的灵敏度体现在噪声等效反射率差—— $NE\Delta\rho$ . 信噪比的计算公式为:

$$\frac{S}{N} = \frac{\beta^2 \tau_a \cdot \tau_0 \cdot \eta_c \cdot A_D \cdot D^* \cdot \rho(\lambda) \cdot \sin\theta \cdot M_{S\Delta\lambda}}{\pi \sqrt{d^2 \cdot \Delta f}} \quad (1)$$

其中,  $A_D$  为光学通光面积,  $M_{S\Delta\lambda}$  是光谱带宽  $\Delta\lambda$  内的太阳辐照度,  $D^*$  为探测器的探测

率,  $\tau_a$  为探测路程上的大气透过率,  $\tau_0$  为系统光学透过率,  $\theta$  为太阳角,  $\eta_e$  为电子系统信号传递因子,  $d$  为探测器光敏面的线度,  $\Delta f$  为系统噪声带宽. 将上述参数的数据代入式 (1), 可计算出各波段信噪比和噪声等效反射率差 (见表 1).

表 1 各波段的信噪比和噪声等效反射率差

Table 1  $S/N$  and  $NE\Delta\rho$  for each band

$\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )	$S/N$	$NE\Delta\rho$ (%)	$\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )	$S/N$	$NE\Delta\rho$ (%)
0.45~0.49	125	0.79	0.81~0.85	365	0.27
0.49~0.53	163	0.61	0.85~0.89	345	0.28
0.53~0.57	191	0.52	0.89~0.93	212	0.47
0.57~0.61	254	0.49	0.93~0.97	295	0.34
0.61~0.65	232	0.43	0.97~1.01	395	0.25
0.65~0.69	264	0.38	1.01~1.05	312	0.32
0.69~0.73	293	0.34	1.05~1.09	148	0.68
0.73~0.77	379	0.26	1.55~1.75	184	0.54
0.77~0.81	341	0.29	2.08~2.35	149	0.67

在远红外波段, 仪器灵敏度体现在噪声等效温差—— $NE\Delta T$ , 计算公式为:

$$NE\Delta T = \frac{\pi\sqrt{A_0\Delta f}}{D^* A_D \beta^2 \eta_e \tau_a \tau_0 X_{T\Delta\lambda}}, \quad (2)$$

式 (2) 中,  $A_0$  为探测器光敏面面积,  $X_{T\Delta\lambda}$  为探测波段内 300K 黑体微分辐射出射度. 将数据代入式 (2) 中可计算得:

$$NE\Delta T = 0.1 \text{ K} \quad (8 \sim 12.5) \mu\text{m}.$$

### 1.3 扫描仪方框图

航空多光谱扫描仪主要由光学系统、光电转换系统、信息处理系统、参考源系统、电机稳速系统和微机控制系统组成; 配套设备有记录系统和实时显示系统. 扫描仪方框图见图 1.

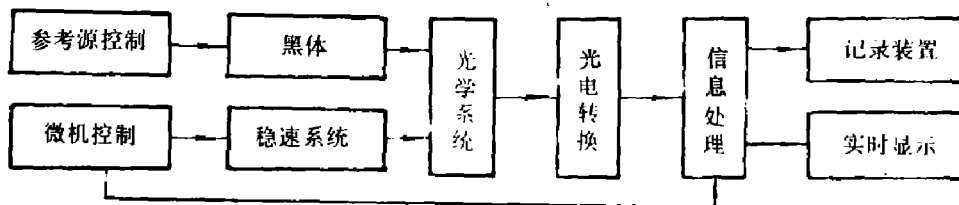


图 1 扫描仪方框图

Fig. 1 Block diagram of AMS

### 1.4 扫描仪主要参数

航空多光谱扫描仪主要参数见表 2.

表 2 扫描仪主要参数  
Table 2 Specifications of AMS

参 数	参数值	参 数	参数值
工作波段	19	扫描率	20, 30, 40, 50 (条/s)
瞬时视场	3 (mrad)	探测器	Si 线列阵 (0.45~1.09 $\mu\text{m}$ ) 高阻 HgCdTe (1.55~3 $\mu\text{m}$ ) 低阻 HgCdTe (8~12.5 $\mu\text{m}$ )
扫描总视场	90°	电源	DC+27V $\pm$ 1V $\leq$ 30A
灵敏度	$NE\Delta e \leq 1\%$ (0.45~3 $\mu\text{m}$ ) $NE\Delta T \leq 0.1$ K (8~12.5 $\mu\text{m}$ )		

## 2 光学系统

扫描仪光学系统由地物扫描光学系统、主光学系统和分光光学系统组成 (见图 2)。

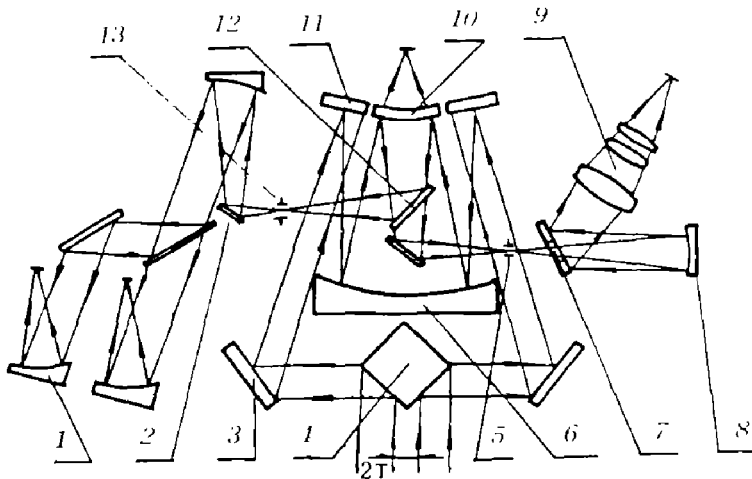


图 2 光学系统原理图

1-离轴抛物面镜, 2-平面反射镜, 3-下平面反射镜, 4-四方棱镜, 5-光栏 1, 6-主镜,  
7-分光光栏, 8-准直镜, 9-会聚镜组, 10-次镜, 11-上平面反射镜, 12-分色片, 13-光栏 2

Fig. 2 Block diagram of the optical system

### 2.1 地物扫描光学系统

地物扫描光学系统是采用四方棱镜旋转接收地物目标电磁能量的光机扫描形式, 它具有结构简单、紧凑、动平衡好、象面不旋转和总视场与扫描角有倍角关系等优点。

假设地面是理想的朗伯辐射体, 辐射率为  $N$ , 扫描仪瞬时视场为  $\beta$ , 扫描角为  $\theta$ , 平台高度为  $h$ , 系统接收面积为  $S$ , 则系统接收到的目标功率为:

$$dp = N\pi Sh \frac{\beta}{4} \cos\theta, \quad (3)$$

由式 (3) 可见, 系统接收到的能量受扫描角  $\theta$  影响。我们在四方棱镜扫描系统中引入不透光区 (2T), 经数学推导有:

$$S \propto \frac{1}{\cos\theta}, \quad (4)$$

将式(4)代入式(3)消除扫描角 $\theta$ 变量,这就保证了在整个扫描视场范围内落到探测器上的能量与扫描角 $\theta$ 无关.

系统引入的不透光区尺寸由下式决定:

$$2T = \sqrt{2}b \left(1 - \cos\frac{W}{4}\right) \quad (5)$$

式(5)中 $b$ 为四方棱镜每个面的宽度, $W$ 为扫描总视场角.

## 2.2 主光学系统

主光学系统采用R-C反射系统,主要是考虑到本系统工作波段宽、主次镜的配合加工容易保证成象质量,另外,我们还应用双焦距解决了各类探测器的几何尺寸问题.次镜表面镀有 $6\mu\text{m}$ 的分色片,小于 $6\mu\text{m}$ 的辐射能量经次镜反射后会聚于光栏孔,其焦距为 $666.67\text{mm}$ ;而大于 $6\mu\text{m}$ 的辐射能量透过次镜而会聚,系统焦距为 $181.5\text{mm}$ .系统成象质量见表3.

表3 系统成象质量

Table 3 Image quality of the system whose wavelengths is between  $0.4$  and  $6\mu\text{m}$  and longer than  $6\mu\text{m}$

$\lambda (\mu\text{m})$	弥散园直径				
	零视场	0.25 视场	0.5 视场	0.75 视场	全视场
0.4~6	0.0151	0.0234	0.0535	0.0891	0.1022
>6	0.071	0.0874	0.1027	0.1185	0.125

## 2.3 分光系统

由次镜进行第一次分光,把小于 $6\mu\text{m}$ 的能量反射会聚后,再由分色片进行第二次分光;让小于 $1.1\mu\text{m}$ 的能量透过分色片,再经平面反射镜至仪器光栏1(见图2).经过光栏1的能量经准直成平行光并投向闪耀光栅.经光栅色散并由透镜组会聚,将 $0.45\sim 1.09\mu\text{m}$ 光谱均分成16个等分成象于等效16元硅阵列探测器上(由32元硅线列阵组成).16个光谱特性曲线见图3.

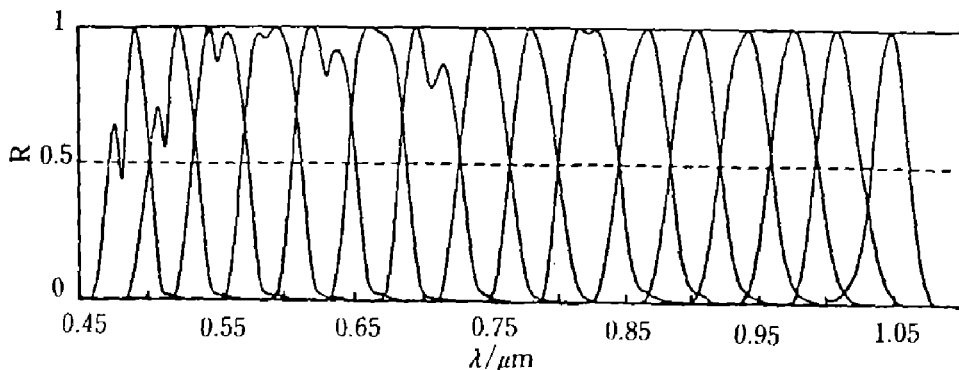


图3 1~16波段光谱特性曲线

Fig. 3 The spectral response of 16 bands

$1.1\sim 6\mu\text{m}$ 的能量经分色片反射到仪器光栏2(见图2),经过光栏1的能量由离轴抛物面镜准直并再次经过分色片分成两路,然后再经各自的离轴抛物面镜会聚在探测器光敏面上,在探测器窗口处经窄带滤光片而分成 $1.55\sim 1.75\mu\text{m}$ 和 $2.08\sim 2.35\mu\text{m}$ 两个波段.

光谱特性曲线见图 4. 大于  $6 \mu\text{m}$  的能量透过次镜, 直接由主次镜会聚于探测器的光敏面上. 由于大气吸收和 HgCdTe 探测器的光谱特性确定了波段选择为  $8 \sim 12.5 \mu\text{m}$ . 19 波段光谱特性曲线见图 5.

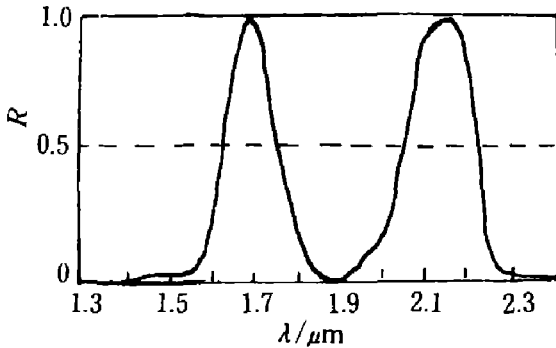


图 4 17 与 18 波段光谱特性曲线  
Fig. 4 The spectral response of  
the 17th and 18th bands

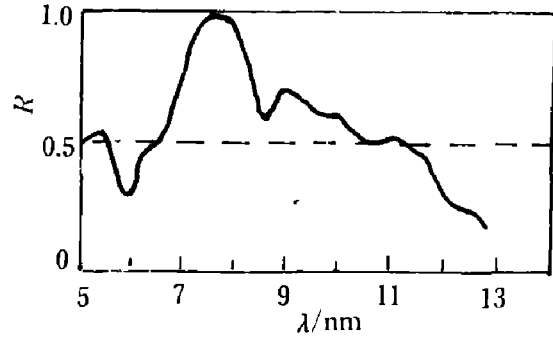


图 5 19 波段光谱特性曲线  
Fig. 5 The spectral response of  
the 19th band

### 3 遥感应用

本仪器在国内外得到了多方面应用, 取得了丰富的地物目标图象信息数据, 并由地面预处理系统转换成标准 CCT 磁带. 如在森林防火中仪器能通过烟雾发现小火和地下火, 为灭火提供依据, 在清理火场中可以发现余火以防止死灰复燃. 在海洋方面主要用于港口污染的监测, 海洋浮游生物与海冰 (见图 6) 的调查, 为海上工程设计提供数据. 在土地利用、作物普查等方面的应用也取得了一批推广应用的成果. 另外, 在考古方面如对秦始皇陵墓保护区的考查 (见图 7), 基本上解决了文物古迹的分布和开发地下文物的预测工作. 我们还与苏联、日本等国进行了联合航空遥感实验, 提供了 CCT 磁带.

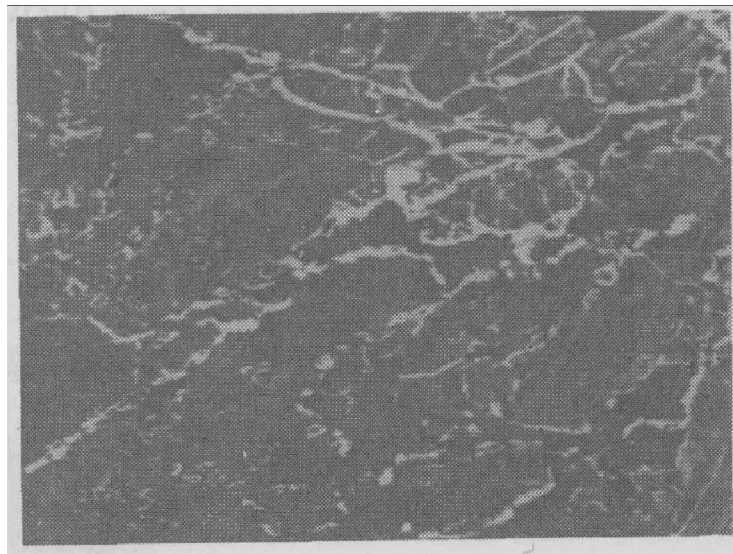


图 6 渤海湾尼罗冰  
Fig. 6 Nile ice in the Bo Hai Gulf

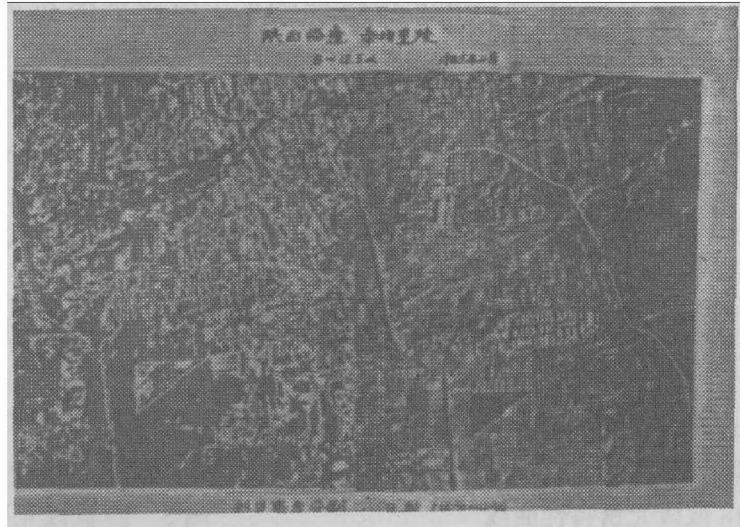


图7 秦始皇陵墓

Fig. 7 Tombs of the First Emperor of the Qin Dynasty

## AIRBORNE MULTISPECTRAL SCANNER

Sun Jixiu

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

**Abstract:** This paper describes the design and specifications of the Airborne Multispectral Scanner (AMS), the calculation of key parameters as well as the relations between them.

**Key words:** multispectral scanner, instantaneous field of view (IFOV).