

机载多光谱扫描仪的光谱定标*

叶家福

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

摘要: 介绍了机载多光谱扫描仪光谱定标的原理、装置及实验方法, 并给出了部分结果与讨论.

关键词: 机载多光谱扫描仪, 成像光谱仪, 光谱定标.

引言

机载多光谱扫描仪每一个工作波段的工作波长范围、中心波长、带宽由于实际值与设计值不完全一致, 所以有必要在安装、调试及飞行前进行定标, 完整地给出仪器的光谱响应曲线, 以检验实际系统中滤光片、探测器及光学系统、电子学系统的综合效果. 光谱定标的结果是遥感仪器主要性能指标之一, 定标的据是进行图象判读和数据处理的依据.

1 光谱定标的原理

1.1 系统光谱响应

机载多光谱扫描仪的光谱定标是指对传感器入瞳处的光谱响应率 $R_1(\lambda)$ 的标定,

$$R_1(\lambda) = \frac{V_1(\lambda)}{k_1 \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} H_\lambda \cdot A_1 \cdot d\lambda} \quad (1)$$

式(1)中 $V_1(\lambda)$ 为定标系统的输出电压, H_λ 为单色仪出射狭缝处第二光学系统的光谱辐照度, A_1 为扫描仪有效工作面积, k_1 为扫描仪和定标系统总的电子学增益常数, A_1 为扫描仪定标时有效工作面积, λ_2 、 λ_1 分别为扫描仪工作波段的上、下限.

1.2 系统的相对光谱响应

如果用标准无选择性探测器替代扫描仪, 在同样条件下, 其光谱响应率为

$$R_2(\lambda) = \frac{V_2(\lambda)}{k_2 \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} H_\lambda \cdot A_1 \cdot d\lambda} \quad (2)$$

本文1991年4月30日收到, 修改稿1992年4月18日收到.

*国家自然科学基金资助项目.

式(2)中 k_2 是标准探测器与定标系统总的电子学增益. 这样, 扫描仪的相对光谱响应 $R(\lambda)$ 即可表示为:

$$R(\lambda) = k_2 \cdot V_1(\lambda) / k_1 \cdot V_2(\lambda). \quad (3)$$

除上述替代法外, 光电系统的相对光谱响应还可用双光束、比较法、灯流调节法来确定^[1]. 因标准探测器很难获得; 而且光源能量分布又有一定差异, 使仪器的传递函数存在着一定的不确定性; 另外, 对二次色散后的绝对光谱辐射亮度进行定标是不容易的, 所以定标的结果只是系统的相对光谱响应.

1.3 系统的绝对光谱响应

从原理上讲, 对于系统的绝对光谱响应, 最主要的是要找出波段与波段之间的衔接因子 ξ , 绝对光谱响应率 $R_A(\lambda)$ 与 ξ 的关系可表示为

$$R_A(\lambda) = \xi(\lambda) \cdot k_2 \cdot V_1(\lambda) / k_1 \cdot V_2(\lambda), \quad (4)$$

式(4)成立应满足以下几个条件:

(1) 采用理想的标准无选择性探测器, 具有较好的波长分布、足够而且均匀的光谱响应率、足够好的“无选择性”、无明显吸收峰和室温下有足够好的温度稳定性;

(2) 能精确地知道所采用定标源的光谱空间能量分布函数;

(3) 整个定标系统满足文献[2]中所描述的定常线性系统;

(4) 能够对定标系统出射狭缝处光谱辐射率或光谱辐照度进行绝对定标;

(5) 能够精确地对辐射源进行绝对定标, 包括象辐射率、辐照度、辐射功率等物理量;

(6) 能够用实验方法精确地求出不同波长范围、不同光源、不同光栅时的波段衔接因子 ξ .

光电系统的绝对定标除上述条件外, 需要一系列切实可行的技术措施给以保证.

2 定标装置与方法

2.1 实验装置

图1是典型定标工作时光谱定标系统方框图.

由精密稳流源馈电的光源辐射经第一光学系统、滤光片、斩光器进入英国 Rank-Hilger 公司生产的 Monospek 1000 单色仪. WZRD 型精密稳流源电流稳定精度为 0.05%, 其电压和电流工作状态有两种, 分别为 120V 和 30V, 15A 和 25A; 斩光器工作频率有 12.5、80 和 800Hz 三种; 滤光片有可见、近红外、红外、窄波红外等选择方式. 由单色仪出射的单色光经第二光学系统后被一准直光学系统转换成单色平行光, 这时, 与该辐射准直的机载扫描仪系统把所接收的载波辐射由焦平面上的光电探测器转换成电信号. 并有各自对应的前置级放大, 经转换开关后通过锁相放大进入接口装置. 接口装置把模拟信号转换成数字信号, 经过一单板机采样保持后经由 IEEE488 接口送入 0530B 微机的异步通讯输入端.

由于单色仪带自动扫描机构, 所以只须控制扫描初始位置, 设定输入起始波长和终止波长, 其余工作全可由软件完成.

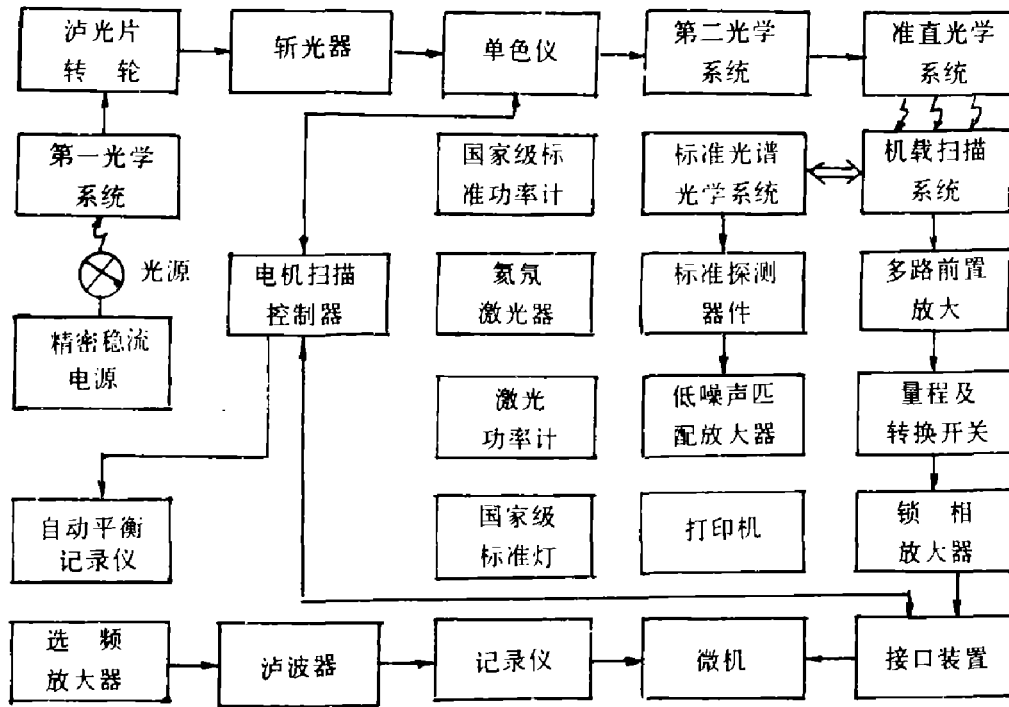


图 1 光谱定标系统方框图

Fig. 1 Schematic diagram of a spectral calibration system

2.2 光谱定标方法

(1) 选频放大定标法

选频放大定标法适用于光谱通道少, 波长带宽宽的光机扫描系统. 其主要优点是具有足够的信噪比, 谐波失真小, 滤波方便, 测试系统简单. 但存在谐波干扰, 采用二只 1612 型 B&K 公司滤波器可以抑制干扰 5dB 以上. 该方法也适用于一般光谱响应测量.

(2) 锁相放大定标法

由于锁相放大器增益高, 可抑制杂散辐射, 对经二次色散的接收辐射, 当光谱通道数变多时, 其对应光谱带中的辐射能量积分变小, 采用锁相放大可以大大改善信噪比. 这种方法适用于系统的相对光谱响应测量和定标.

(3) 选频、锁相混合放大法

这种方法一般先经选频放大, 再把选频输出信号进行锁相放大. 锁相放大可以自相关或互相关检测^[3], 对互相关工作状态, 参考信号必须由带参考信号发生器的斩光器提供. 为了方便有时选用具有低噪声的带通滤波器匹配前置放大器以代替选频放大, 输出信噪比也可改善 1.2 倍. 该方法一般来说适用于绝对光谱定标.

2.3 记录方式

采用选频放大定标法时, 用丹麦 B&K 公司的 2305 型记录仪记录系统的光谱响应曲线. 对于双光束工作状态, 采用 XWT-2 双笔自动记录仪效果较好. 记录仪加波长标记时, 也可用于记录绝对光谱定标信号, 另外, 在测量与定标结果有关的系统瞬态响应和系统的输出漂移等系统参数上也非常有用.

用微机记录可把定标结果存储在介质文件中, 并可用打印机打出表格、数据和曲线.

用绘图仪记录可用不同颜色将结果十分清晰地绘出图来(见图2),图2是中红外32个通道实际定标结果,已用在1991年中澳联合科学试验中.

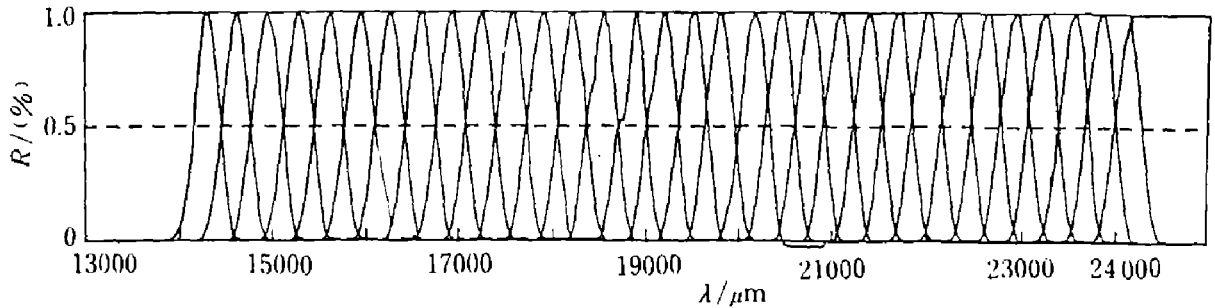


图2 中红外成像光谱仪光谱定标谱线

Fig. 2 MIR AVIRIS spectral calibration result

3 定标结果与讨论

3.1 光谱定标结果

在光谱定标系统调整良好,无干扰情况下,本系统可以达到的性能指标见表1.

表1 光谱定标系统性能指标

Table 1 Performances of the spectral calibration system

光栅编号	工作波长范围 (μm)	可分辨光谱 半宽度 (nm)	波长精度 (nm)	波长漂移 (nm/h)
D410~B100	0.2~0.6	0.0075	0.057	0.02
D410~C100	0.33~1.2	0.007	0.059	0.02
D410~D100	0.67~2.0	0.013	0.125	0.20
D410~E100	1.30~4.0	0.035	0.175	0.18
D410~F100	2.70~8.0	0.090	0.315	0.20
D410~G100	5.4~16.0	0.150	1.59	0.31
D410~H100	10.7~25.0	0.300	2.75	0.39

光谱定标系统光谱分辨率,对波带宽仅为0.007nm的波形仍清晰可辨.

图3是用美国低压汞灯对可见光和中红外波段光谱定标谱线.图3谱线具有实际参考价值.

3.2 定标实验条件对定标结果的影响

(1) 时间常数 τ 的影响

当定标系统时间常数大于0.3s时,71通道航空扫描仪第6通道的光谱轮廓变得模糊园滑了(见图4).由此可见,时间常数 τ 对光谱定标有明显的影响.

(2) 电子学通道间串音的影响

图5(a)是系统18通道的光谱,由图5(a)可见,由于受邻近通道17、19通道电源间耦合产生的电子学串音的影响,出现两个明显下凹的峰(分别来自17和19通道).图5(b)是加退耦电路消除串音影响后的理想光谱.

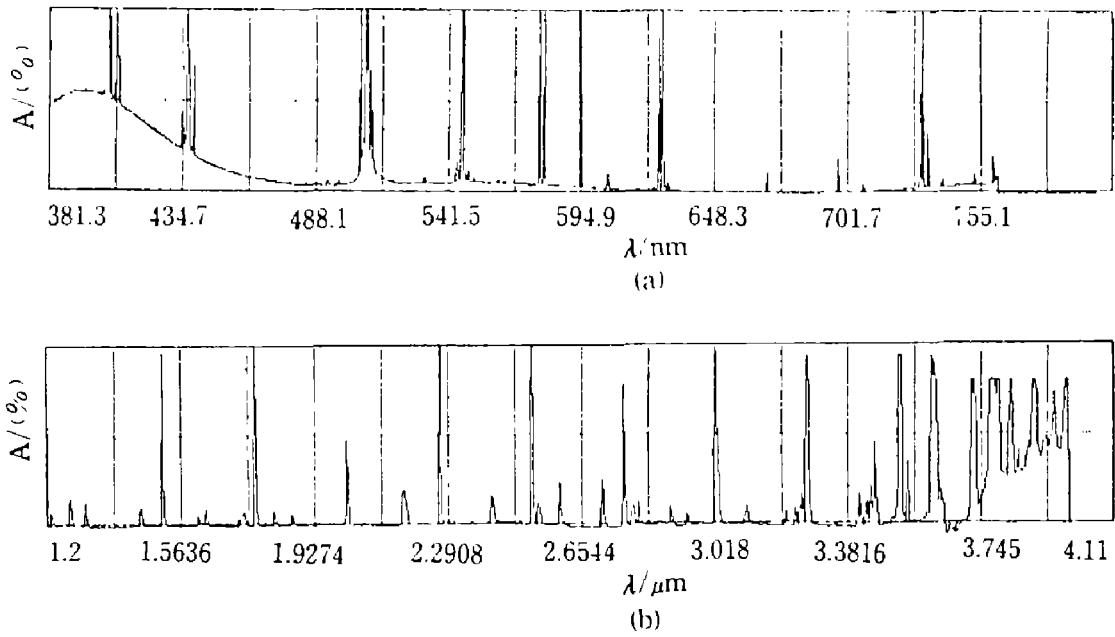


图3 可见光与红外波段系统定标结果. (a) 可见光; (b) 中红外
 Fig. 3 VIS (a) and MIR (b) band system spectral calibration results

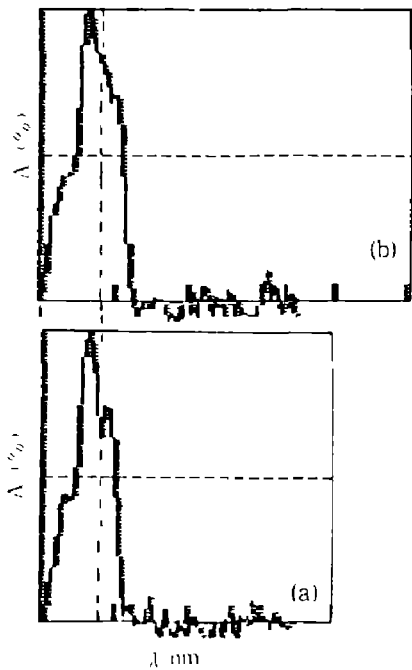


图4 时间常数 τ 对定标结果的影响
 (a) $\tau = 1$ s; (b) $\tau = 0.1$ s

Fig. 4 The effect of system time constant on the experimental result. (a) $\tau = 1$ s; (b) $\tau = 0.1$ s

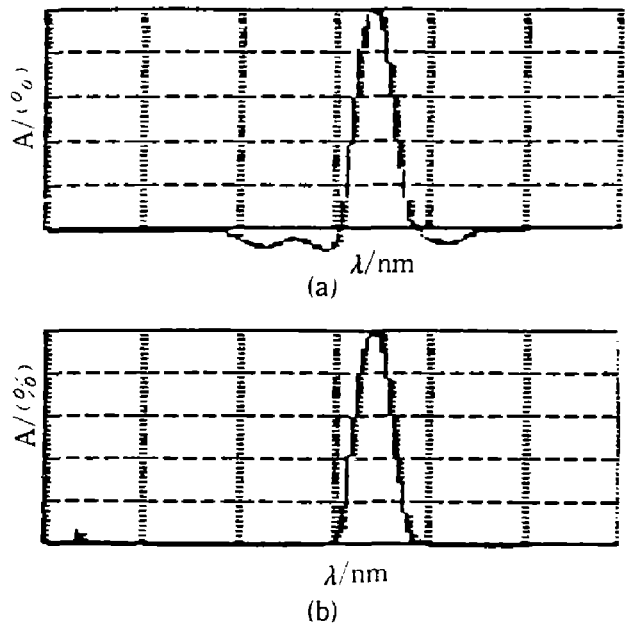


图5 电子学串音对光谱的影响. (a) 存在电子学串音的光谱; (b) 排除电子学串音的光谱

Fig. 5 Effect of electrical cross-talk on spectra (a) before calibration, (b) after calibration

(3) 光学象质的影响

图6 是第6通道焦面线列器件远离焦点正确位置3mm时因光学象质不好, 使邻近通道产生串音, 结果使四个通道的信号同时出现在一个通道上.

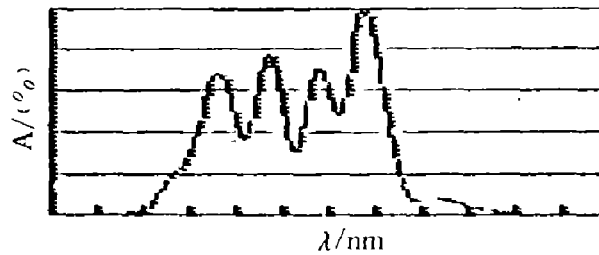


图6 光学象质不好产生的串音

Fig. 6 Cross-talk due to poor optical image quality

致谢: 本工作得到中国科学院和我所许多领导和同志的支持与帮助, 特表谢意.

参 考 文 献

- 1 叶家福. 仪器仪表学报, 1984, 5(2): 197
- 2 绪方胜. 现代控制工程, 北京: 科学出版社, 1984, 216~233
- 3 叶家福. 航空兵器, 1988, (4): 19
- 4 叶家福. 上海计量测试, 1986, (1): 7

SPECTRAL RADIOMETER CALIBRATION OF THE AIRBORNE MULTISPECTRAL SCANNER SYSTEM*

Yie Jiafu

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

Abstract: The principle, apparatus, calibration methods of the spectral radiometer calibration for airborne multispectral scanners are described. The experimental results and discussions are given.

Key words: airborne multispectral scanners, spectral radiometer calibration, imaging spectrometers.

* The project supported by the National Natural Science Foundation of China.