

# 航天遥感多光谱扫描仪辐射灵敏度的计算

韩 心 志

(哈尔滨工业大学一系)

**摘要**——本文讨论了航天遥感多光谱扫描仪的辐射灵敏度计算。给出这类仪器辐射灵敏度的计算方法及仪器设计原则。

## 一、引 言

地面目标的辐射包括几何特征和光学特征,它是人们对地面目标进行识别和分类的基本依据。

对于航天光学遥感,由于空间飞行器的轨道高达几百 km 以上,因此,对地面目标几何特征的识别比较困难;在这种情况下,目标的光学特征便成为重要的识别依据了。因此,光谱辐射度的测量及其精度,成了航天多光谱遥感的首要问题。实际上,多光谱仪器的设计,都是围绕着光谱辐射度的测量及其精度这一中心问题来进行折衷和平衡的。这个问题的深入讨论,不仅具有理论价值,而且具有实际意义。

## 二、噪声等效辐射率

扫描仪系统的噪声等效辐射率  $NER$  定义为产生一等效于系统噪声的信号所要求的目标辐射率变化量,换句话说, $NER$  是产生信噪比  $S/N$  为 1 的辐射率量值,即

$$NER = \frac{\Delta N_s}{(V_s/V_n)} \quad (1)$$

式中,  $\Delta N_s$  为目标辐射率变化量;  $V_s$  为成正比于目标辐射率变化的信号电压;  $V_n$  为噪声电压。 $NER$  是可探测到的最小的辐射率,被定义为系统的鉴别率。

对于扫描型辐射计或扫描仪,  $NER$  与探测器噪声等效功率有如下关系:

$$NER = \frac{NEP(A_d, \Delta f_n) \cdot \gamma}{A_0 T_0 \Omega} \quad (2)$$

式中,  $NEP(A_d, \Delta f_n)$  (W) 为辐射计探测器的噪声等效功率;  $A_d$  (cm<sup>2</sup>) 为探测器的面积;  $\Delta f_n$

本文 1987 年 7 月 10 日收到。

(Hz)为辐射计的噪声等效带宽;  $\gamma$  为电路下降因子,  $A_0(\text{cm}^2)$  为有效入瞳面积;  $T_0$  为辐射计光学, 包括所有反射镜、透镜和滤光镜等的有效“透过”因子;  $\Omega(\text{sr})$  为辐射计的瞬时视场立体角。

探测器的面积, 可以用光学系统的参数表示, 即

$$A_d = (D_0 \cdot F \cdot \alpha)^2; \quad (3)$$

式中,  $D_0$  为入瞳直径(cm);  $F$  为光学系统有效  $F$  数;  $\alpha$  为瞬时视场角( $r$ )。

将关系式(3)和

$$D^* = \frac{(A_d \cdot \Delta f_n)^{1/2}}{NEP} \quad (4)$$

代入式(2), 得:

$$NEP = \frac{4\nu F (\Delta f_n)^{1/2}}{\pi D_0 D^* T_0 \Omega^{1/2}} \quad (5)$$

当系统以方形瞬时视场扫描大面积景物, 且探测器信号处理中所用的滤波器为低通滤波器时取

$$\Delta f_n = \frac{3}{4\tau_d} \doteq \frac{\pi}{4\tau_d} \quad (6)$$

可使系统的热灵敏度最高。也可以取噪声等效带宽等于信号带宽, 即

$$\Delta f_n = \Delta f_s = \frac{1}{2\tau_d}; \quad (7)$$

这相当于作了高频补偿, 电路的频谱曲线成矩形。

现推导出摆镜方式对地扫描时探测器驻留时间  $\tau_d$  的表达式。

保证星下点不重叠、不漏扫的条件是:

$$V = \alpha H n \nu m; \quad (8)$$

式中,  $V$  为卫星星下点速度;  $\alpha$  为沿航向的瞬时视场角;  $n$  为并扫探测器元数;  $\nu$  为扫描镜摆动频率;  $m$  为扫描镜一周内的有效扫描次数。由此, 扫描周期为

$$T = \frac{1}{\nu} = \frac{\alpha n m}{V/H}; \quad (9)$$

式中,  $V/H$  为星下点速高比。

设  $\theta$  为行扫描方向的有效总视场角, 则摆镜的扫描角速度为

$$\omega = \frac{m\theta}{\eta T}; \quad (10)$$

式中,  $\eta$  为扫描摆镜的扫描效率

$$\eta = \frac{T_s}{T} = \frac{m\theta}{2\theta_{\max}}; \quad (11)$$

式中,  $T_s$  为获取数据的有效扫描时间;  $\theta_{\max}$  为与扫描镜摆角对应的扫描视场角, 此角度包括获取数据的线性视场角  $\theta$  和供摆镜在两侧极端位置返回用的非线性部分。

按探测器驻留时间的定义, 并考虑了式(9)、(10)和(11), 得:

$$\tau_d = \frac{\alpha}{\omega} = \frac{\Omega n \eta}{\theta (V/H)} \quad (12)$$

将式(12)代入式(6)得:

$$\Delta f_n = \frac{\pi}{4\tau_d} = \frac{\pi\theta(V/H)}{4\Omega n \eta} \quad (13)$$

再将式(13)代入式(5),最后得:

$$NER = \frac{2\gamma F}{D_0 D^* T_0 \Omega} \sqrt{\frac{\theta(V/H)}{\pi n \eta}} \quad (14)$$

在目标充满视场情况下,

$$E = N\Omega \quad (15)$$

将式(14)代入式(15),得系统另一辐射灵敏度表达式,即噪声等效辐照度,

$$NEI = \frac{4\gamma F}{D_0 D^* T_0} \sqrt{\frac{\theta(V/H)}{\pi n \eta}} \quad (16)$$

### 三、噪声等效温差和信噪比

噪声等效温差,是热波段所采用的辐射灵敏度参数,它与噪声等效辐射率之间的关系为

$$NE\Delta T = NER \left[ \frac{dN(\Delta\lambda)}{dT} \right]_{T_0}^{-1}; \quad (17)$$

式中,  $NE\Delta T$  是运行于光谱段  $\Delta\lambda$  内, 并且观察温度为  $T_0$  的黑体目标时, 辐射计的噪声等效温差;  $\left[ \frac{dN(\Delta\lambda)}{dT} \right]_{T_0}$  是在景物温度为  $T_0$  时测定的光谱段内目标景物的热微商。

辐射计的  $S/N$  输出 可表示为

$$S/N = N(\Delta\lambda)_{T_0} [NER]^{-1}; \quad (18)$$

式中,  $N(\Delta\lambda)_{T_0}$  是目标温度为  $T_0$  时波段的有效辐射率。数据  $\left[ \frac{dN(\Delta\lambda)}{dT} \right]_{T_0}$  和  $N(\Delta\lambda)_{T_0}$  可以从给定的黑体辐射数据表中查得。

对于测量地面目标温度分布的辐射计来说, 响应率和噪声等效温度也可以作为灵敏度的参数。令辐射计输出信号电压为  $V_s$ , 则其响应率为

$$R = \frac{V_s}{EA_0 T_0} \quad (19)$$

噪声等效温度及其和其它辐射灵敏度参数间的关系可用图 1 表示。

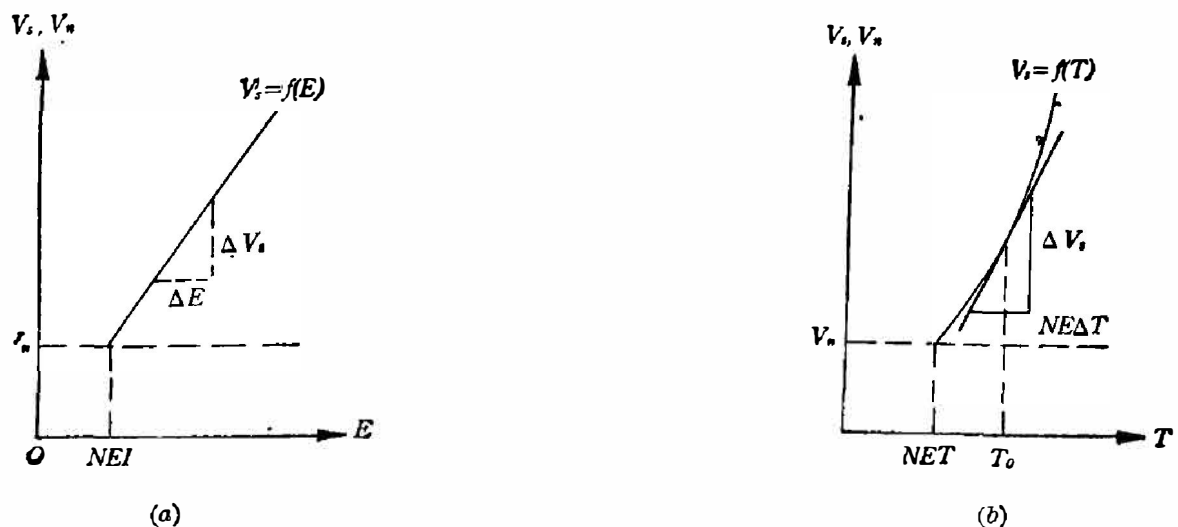


图 1 辐射灵敏度参数的意义及相互关系

Fig. 1 The meanings and relationship between the parameters of radiant sensitivity.

系统噪声等效电压

$$V_n = \frac{(A_d \cdot \Delta f_n)^{1/2}}{D^*} R \quad (20)$$

是一个常量,在图 1 中表现为一条平行于横轴的直线。

#### 四、噪声等效反射率差和信噪比

噪声等效反射率差,是反射波段(主要包括可见光和近红外波段)采用的辐射灵敏度参数。

噪声等效反射率差  $NE\Delta\rho$  可表示为

$$NE\Delta\rho = \frac{\Delta\rho}{(V_s/V_n)}; \quad (21)$$

式中,  $\Delta\rho$  为要求产生信号电压  $V_s$  的目标反射率变化。

因此,  $NE\Delta\rho$  是用反射率表示的系统辐射鉴别率,并且是最小可探测的变化,它和  $NER$  的关系为

$$NE\Delta\rho = \frac{\pi NER}{H_t}; \quad (22)$$

式中,总的目标辐射度为  $H_t$

$$H_t = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} H_{g\lambda} \cos \theta_0 d\lambda + \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_\lambda d\lambda; \quad (23)$$

其中,  $H_{g\lambda}$  为地面光谱辐照度;  $\theta_0$  为入射阳光能量的天底角;  $S_\lambda$  为散射或天空光谱辐照度。为简化计算,  $NE\Delta\rho$  可表示为

$$NE\Delta\rho = \frac{\pi NER}{0.707 H_\lambda \Delta\lambda} = \frac{\pi NER}{0.707 H_p}; \quad (24)$$

式中,  $H_p$  为目标辐照度;  $H_\lambda$  为目标光谱辐照度;  $\Delta\lambda$  为光谱带宽。计算时,假定天底角为  $45^\circ$ ;  $H_\lambda$  是海平面的太阳辐照度。取自 P·Moon 表。其条件是:相对大气质量  $m=2$  大气压力为 101.3 kPa,水蒸汽压力为 2.7 kPa。没考虑天空或散射辐照度。

大气和气象条件对辐射计算的影响非常复杂,必须针对确定的条件,以不同模式进行计算。在进行系统预算时,可用大气谱段透过率  $\tau_0$  来考虑大气的影响。

信噪比仍可以用式(18)表示,只是式中的  $N(\Delta\lambda)_\tau$  应代入反射辐射率

$$N = \frac{\rho E}{\pi}; \quad (26)$$

式中,  $\rho$  为波段光谱反射率的平均值;  $E$  为波段目标辐照度,即式(24)中的  $H_p$ 。这样,从式(18)得

$$S/N = \frac{\rho H_\lambda \Delta\lambda}{\pi NER} = \frac{\rho}{0.707 NE\Delta\rho} \circ \quad (27)$$

设波段  $1.55 \sim 1.75 \mu\text{m}$  的反射率为  $1 \sim 95\%$ ,则其信噪比  $S/N = 0.22 \sim 21$ 。

#### 五、结 束 语

辐射灵敏度是辐射计最重要的特性参数之一。在工程上确定辐射灵敏度参数,并把这一参数和辐射计其它特性参数,例如辐射计的空间鉴别率和光谱鉴别率联系起来,同时考虑

仪器结构参数(例如光学系统和探测器有关特性参数)和空间飞行器性能( $V/H$ ), 是这类仪器方案设计的基本依据。本文以这一观点建立了噪声等效辐射率关系式(14)。这一关系式虽然是针对物方摆镜多光谱扫描仪建立的, 其原理和方法对其它类似的仪器也是适用的。

### 参 考 文 献

- [1] Daniel E. Gibbons and Richard R. Richard, **NASA**, July 16, 1979, 953-36-00-0072.
- [2] Santa Barbara Research center, *Design Review Report, Volume 1*, Contract No. NAS5-21139, 15 July, 1972.
- [3] K. 斯达尔、G. 缪斯卡著(西德), *红外技术*, 石定河、王桂群译, 华中工学院出版社, 1982, 10, 146.
- [4] Philip N. Slater, *Remote Sensing Optics and Optical Systems*, Addison-wesley Publishing company, 1980, 461

## CALCULATION OF RADIANT SENSITIVITY FOR SPACE-BORNE MULTISPECTRAL SCANNER

HAN XINZHI

*(The first Department, Harbin Institute of Technology)*

### ABSTRACT

Calculation of radiant sensitivity for space-borne multispectral scanner is presented. The calculating method of radiant sensitivity and the principle of design for the scanner are given.