

由卫星测值计算短波红外大气窗区 亮度温度的一种方法

汪 勤 模

(中央气象局卫星气象中心)

摘要——本文提出了利用 $3.7\mu\text{m}\sim 4.0\mu\text{m}$ 大气窗区内两个通道的同时测值和多项式拟合法计算短波红外大气窗区亮度温度的一种公式。计算误差小于 $\pm 0.4\text{K}$ 。概述了利用这个亮度温度对 $4.3\mu\text{m CO}_2$ 吸收带通道测值进行反射太阳辐射订正的方法。

一、引 言

美国泰罗斯-N(TIROS-N)气象卫星上的改型高分辨率红外探测仪(HIRS/2)有两个位于短波红外大气窗区($3.7\mu\text{m}\sim 4.0\mu\text{m}$)的通道,即 HIRS/2-18 和 HIRS/2-19,其中心波数分别是 2511.95cm^{-1} 和 2671.18cm^{-1} ,并记为 W_1 和 W_2 。利用这两个通道的同时测值,可以计算地球表面的反射率,估计由地球表面反射的太阳辐射对 $4.3\mu\text{m CO}_2$ 吸收带温度探测通道的影响。

二、计算方法

短波红外大气窗区对水汽的响应比长波红外大气窗区($11.0\mu\text{m}$)弱得多,所以不象后者那样,水汽吸收是首要考虑的因子。然而,由地球表面反射的外来辐射是必须要考虑的,其中对大气向下辐射的反射分量不到地球表面辐射的百分之一,可以忽略不计。但是,反射的太阳辐射却占七分之一左右,乃是白天短波红外遥感中起主要影响的因子^[1]。

对于短波红外大气窗区,在无云大气条件下,辐射传递方程可简化为^[2]:

$$R(W) = \epsilon_s B(W, T_s) + \gamma_s I_0(W) \mu_0 \quad (1)$$

其中, $R(W)$ 是红外探测仪中短波红外大气窗区通道(中心波数以 W 示之)对着地球时测得的辐射强度。右边第一项是地球表面发射的辐射对 $R(W)$ 的贡献部分,第二项是地球表面反射的太阳辐射对 $R(W)$ 的贡献部分。 γ_s 和 ϵ_s 分别是地球表面的反射率和热辐射效率。 μ_0 是太阳天顶角 θ_0 的余弦,当 θ_0 大于 90° 时,就令 $\mu_0 = 0$ 。 $B(\nu, T)$ 是温度为 T 的黑体在波数 ν 处的分谱辐射强度,亦称普朗克函数,

本文 1981 年 7 月 18 日收到。修改稿 1982 年 2 月 14 日收到。

$$B(\nu, T) = \frac{c_1 \nu^3}{\exp(c_2 \nu/T) - 1},$$

其中, c_1, c_2 分别代表第一、第二辐射常数, $c_1 = 2hc^2, c_2 = hc/k$ 。

I_0 是到达地球表面的太阳辐射强度, 它近似表示为:

$$I_0(W) = B(W, T_{sun}) \frac{\Omega_{sun}}{\pi}, \quad (2a)$$

其中, T_{sun} 是太阳的亮度温度, 通常取为 5800~6000 K, Ω_{sun} 是太阳对地球所张的立体角, 是个常数, 约为 7×10^{-5} sr。在此我们假定太阳的直接辐射在量值上等于温度为 T_{sun} 的黑体辐射强度。

若计入大气气体成分对短波红外窗区太阳辐射的微量吸收效应, 方程(2a)改为:

$$I_0(W) = B(W, T_{sun}) \frac{\Omega_{sun}}{\pi} \tau^{(\sec \theta_0 + \sec \theta)}(W)。 \quad (2b)$$

其中 $\tau(W)$ 是局地垂直方向上的透过率, θ_0 是太阳天顶角, θ 是卫星天顶角。这样表示后, 方程(1)型式保持不变。

引用 Smith 关于在 $3.7 \mu\text{m}$ 至 $4.2 \mu\text{m}$ 这个狭窄的短波红外谱区内, γ_s 和 ϵ_s 与波长近似无关的假定^[3], 根据方程(1)和(2), 得:

$$\frac{R(W_2) - \epsilon_s B(W_2, T_s)}{R(W_1) - \epsilon_s B(W_1, T_s)} = \frac{B(W_2, T_{sun})}{B(W_1, T_{sun})}。 \quad (3)$$

若取 $T_{sun} = 5800$ K, 对于 TIROS-N 的 HIRS/2-18 和 HIRS/2-19, 方程(3)右边为:

$$\frac{B(W_2, T_{sun})}{B(W_1, T_{sun})} = K = 1.10635。 \quad (4)$$

按定义, 亮度温度 T_B 满足下式:

$$\epsilon_s B(W, T_s) = B(W, T_B)。 \quad (5)$$

方程(3)可写为:

$$B(W_2, T_B) - KB(W_1, T_B) = R(W_2) - KR(W_1)。 \quad (6)$$

方程(6)是关于 T_B 的超越方程, 我们用多项式拟合法来建立 T_B 和辐射测值 $R(W_1)$ 和 $R(W_2)$ 之间的显式关系式。令:

$$f = R(W_2) - KR(W_1), \quad (7)$$

我们取三次多项式, 即:

$$T_B = \sum_{i=0}^3 a_i [\ln(-f)]^i, \quad (8)$$

由方程(6)和(7)可见, 我们可先计算出系数 a_i 。选取从 200 K 到 340 K (相当于世界上两个极端温度) 这样的温度范围, 就 TIROS-N 两个短波红外大气窗区通道, 使用最小二乘法, 建立关于 a_i 的线性方程组, 采用主元素消去法解该方程组, 计算结果如表 1 所示。

表 1 TIROS-N 上的 HIRS/2 短波红外窗区亮度温度计算的系数

a_0	a_1	a_2	a_3
314.0904	29.1788	2.5256	0.1266

这样, 根据 TIROS-N 上的 HIRS/2 通道 18 和 19 的同时测值, 按方程(7)计算 f , 然后代入方程(8)就得出 T_B , 其误差小于 ± 0.4 K (见表 2)。

表 2 多项式拟合法计算值(T_B)和模拟值(T)

$T(K)$	210	240	260	280	300	320	340
$T_B(K)$	210.08	239.95	259.86	279.97	300.13	320.09	339.68
T_B-T	0.08	-0.05	-0.14	-0.03	0.13	0.09	-0.32

须指出, 尽管在短波红外大气窗区, 水汽和其他气体成分影响相对较小, 但仍须考虑它们对测值的影响, 特别是在大气低层水汽含量相对较大时(本文假定在应用方程(8)之前已经对测值作了这些成分吸收的订正处理)。

三、地球表面反射率和反射太阳辐射项订正

利用卫星红外探测器短波红外大气窗区通道的测值计算出亮度温度 T_B 之后, 按方程(1), 反射率 γ_s 为:

$$\gamma_s = \frac{R(W) - B(W, T_B)}{I_0(W)\mu_0},$$

若取 W 为 W_1 , 利用方程(2b)得:

$$\gamma_s = \frac{R(W_1) - B(W_1, T_B)}{B(W_1, T_{sun})} \left[\frac{\Omega_{sun} \mu_0}{\pi} \right]^{-1} [\tau^{\sec \theta_0 + \sec \theta}(W)]^{-1}. \quad (9)$$

位于 $4.3 \mu\text{m}$ CO_2 吸收带内某个通道(中心波数以 ν 示之)的反射太阳辐射订正项 $SC(\nu)$, 实际上就是方程(1)右边的第二项。

$$SC(\nu) = \frac{R(W_1) - B(W_1, T_B)}{B(W_1, T_{sun})/B(\nu, T_{sun})} \left[\frac{\tau(\nu)}{\tau(W_1)} \right]^{\sec \theta_0 + \sec \theta}, \quad (10)$$

其中, 太阳天顶角 θ_0 可利用卫星观测瞬时的地方时按天文学公式计算出来。还有一个参数——透过率, 须事先利用适当的方法求出。

参 考 文 献

- [1] 曾庆存, 大气红外遥测原理, 科学出版社, 1974.
- [2] Smith W. L. et al., NOAA TM NESS 57, 1974.
- [3] Smith W. L., WMO/UN Regional Training Seminar on the Interpretation, Analysis and Use of Meteorological Satellite Data, Tokyo, Japan, 23 Oct. to 2 Nov., 1978.

**A METHOD OF DETERMINING THE BRIGHTNESS
TEMPERATURE IN SHORT-WAVE IR ATMOSPHERIC SPECTRAL
WINDOW FROM SATELLITE MEASUREMENT**

WANG QINMO

(Satellite Meteorological Center, CMB)

ABSTRACT

Presented in this paper is a formula of calculating brightness temperature in short-wave IR atmospheric window from instantaneous radiance measurements of two channels in $3.7\sim 4.0\mu\text{m}$ spectral band by polynomial fit technique. Its accuracy is within $\pm 0.4\text{ K}$. The approach for determining corrections of reflected solar radiance on measurements in $4.3\mu\text{m}$ CO_2 absorption band is briefly described.