

微波探测装置窗区通道表面放射率的 计算及其应用

张凤英

(卫星气象中心)

提 要

本文介绍利用MSU测值计算微波表面放射率(又称比辐射率 ϵ_s)的理论背景及其方法,并给出了1988年12月13日10:50GMT NOAA-10MSU资料计算得到的结果,其结果与Grody(1983)计算结果基本一致。最后简单介绍了微波表面放射率的应用研究,结果表明,根据MSU表面放射率可以辨别不同类型的表面特征以及利用MSU表面放射率监测洪涝区域和海冰的可能性。

一、引言

微波探测装置(MSU)是Tiros-N/NOAA系列卫星业务垂直探测器(TOVS)的一个组成部分。它由4个通道组成,其中3个通道位于氧气吸收带,用来探测大气温度的垂直分布;位于50GHz的窗区通道用来探测表面放射率并用于云的检测。

微波遥测是利用地球大气本身发射的微

波辐射遥测大气的各种参数。一般来说,地球大气的红外辐射要比微波辐射强得多。而微波辐射穿透云层的能力较强,因此可用来探测云内和云以下的大气信息。与红外相比,这是微波探测的一大优点。

然而,由卫星进行微波大气遥测的一个特殊问题是表面放射率。在红外波段,表面放射率近似等于1.0;在微波区,表面放射率不是一个常量,它随表面状况的不同而变

化, 其值变化范围约在0.5—1.0之间。在洋面上, 表面放射率取决于含盐度、海冰、表面粗糙度等。在陆地上, 表面放射率取决于土壤的水分含量。土壤表面变湿将使表面放射率迅速减小。因此, 表面放射率对微波通道测值具有重大的影响。利用微波通道的这一特点, 通过其测值可判断表面特征。

二、仪器特征

MSU是TOVS的一个组成部分, 是高分辨率红外辐射探测器(HIRS/2)的辅助探测器。它由4个通道组成, 其中, 一个位于50.30GHz的窗区通道, 主要用于测量表面放射率并进行云检测; 另外3个氧气通道主要用于探测大气的热力结构, 在晴空条件下, 它们与HIRS/2红外通道一起用于反演大气的温、湿垂直分布; 在多云情况下, 它们可单独用来反演大气温度的垂直分布。表1给出了MSU光谱通道的特征。

表1 MSU光谱通道特征

通道序号	中心频率 (GHz)	通道带宽 (MHz)	主要吸收成分	峰值能量贡献高度 (hPa)
1	50.31	200	窗区	地表
2	53.73	200	O ₂	700
3	54.96	200	O ₂	300
4	57.95	200	O ₂	90

尽管MSU通道少, 空间分辨率低, 但由于微波具有对云的穿透能力, 使得MSU成为TOVS资料处理中不可缺少的重要资料。为充分利用HIRS/2空间分辨率高及MSU能穿透云的优点, 在TOVS资料处理中, 我们将MSU资料插值到HIRS/2视场上, 使得每个HIRS/2扫描点都具有MSU通道的测值。

三、理论基础

在微波区, 由于表面放射率 ϵ_s 通常小于1.0, 因此, 有着来自地表面的反射贡献, 于是, 根据Rayleigh-Jeans近似(辐射值

与温度成线性关系), 辐射传输方程可写成[1]:

$$T_B(\nu) = \hat{\tau}_\nu(P_s)T_s + \int_{P_s}^0 T(P) \frac{d\hat{\tau}_\nu(P)}{dP} dP \quad (1)$$

引入局地天顶角 θ , 则

$$\hat{\tau}_\nu(P) = \left\{ 1 - \left[1 - \epsilon_s(\nu, \theta) \right] \left(\frac{\tau_\nu(P_s)}{\tau_\nu(P)} \right)^{\sec\theta} \right\} \tau_\nu(P) \quad (2)$$

(1) 式中, $T_B(\nu)$ 表示通道 ν 的亮温, $T(P)$ 为温度廓线。 $\hat{\tau}_\nu(P)$ 表示通道 ν 从卫星到大气层 P 的“有效大气透过率”, $\tau_\nu(P)$ 表示通道 ν 从卫星到大气层 P 垂直光学路径上的大气透过率。对MSU而言, 光学路径中的主要吸收气体是氧气。当仪器从星下点向两端扫描时, 随着天顶角 θ 的增大, 探测路径变长, 吸收增加。这就是通常所说的“临边效应”。(2) 式中, 通过 $\sec\theta$ 考虑了“临边效应”问题。对于MSU的11个扫描视

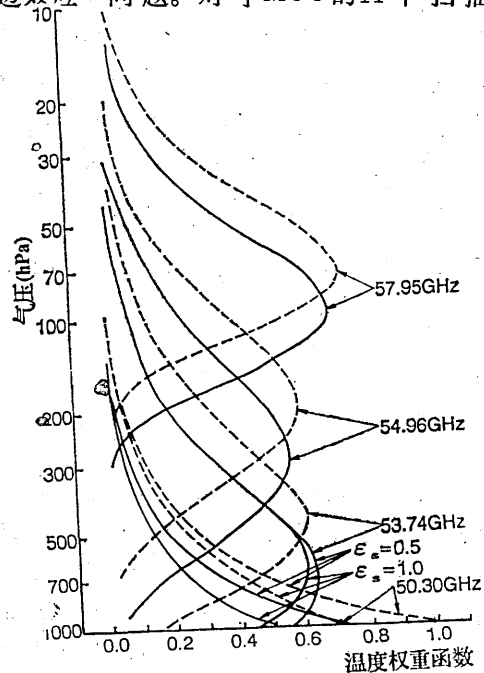


图1 MSU通道的权重函数

$\epsilon_s=1.0$ 为干燥陆地表面, $\epsilon_s=0.5$ 为洋面; 实线为 $\theta=0^\circ$, 虚线为 $\theta=56.6^\circ$

场, θ 的值为 $0^\circ, \pm 10.7^\circ, \pm 21.6^\circ, \pm 32.7^\circ, \pm 44.2^\circ$ 和 56.6° 。表面放射率 $\epsilon_s(\nu, \theta)$ 随表面类型、天顶角 θ 而变化, 其值的变化范围从 1.0 (干燥陆地表面) 到 0.5 (光滑洋面)。

(1) 式中, $d\hat{\tau}_\nu(P)/dP$ 为温度权重函数。它可用来确定不同高度的大气温度对辐射亮温的贡献。图1给出了MSU通道的权重函数[1]。它是利用Rosenkranz (1975) 的氧气吸收模式[2]和Liebe等 (1977) 的谱参数[3], 由美国标准大气计算出来的。由图1可以看出, 仪器扫描角 θ 和表面放射率 ϵ_s 对卫星测值的影响。

对于“临边效应”的处理方法多种多样。在我们的研究中, 采用Smith等人的多通道线性组合的回归法[4]对“临边效应”进行订正。图1中的权重函数除受频率 ν 和扫描角 θ 影响外, 还受表面放射率 ϵ_s 的影响。洋面 (或湿的地面) 与干燥地面相比放射率变小, 从而提高了对近地面大气温度的灵敏度。这种表面效应对MSU通道1是非常显著的, MSU通道2次之, 其它两个通道几乎不受影响。因此, MSU通道1(50.30GHz)可作为对表面放射率的变化及对近地面层大气温度的变化感应灵敏的窗区通道 (其晴空柱大气透过率约为 0.7)。MSU通道2 (53.74GHz) 对地表感应不太灵敏 (其晴空柱大气透过率约为 0.1), 可用来去掉窗区通道中部分温度的贡献。因此, 利用MSU通道1和通道2测值的组合可估算表面放射率 ϵ_s 。

四、计算方法

与温、湿反演类似, 表面放射率 ϵ_s 的计算方法也可分为两类, 即, 统计法和物理法。

1. 统计法

Grody对MSU通道的特性进行了大量研究。研究表明, MSU窗区通道主要对表

面放射率、云及低层大气温度和可降水感应敏感。但在晴空条件下, MSU通道1 (记为MSU1) 的测值主要受表面放射率和温度的影响。MSU通道2 (记为MSU2) 主要对低层大气中较高高度 (700hPa上、下) 的温度感应灵敏, 对地面相对来说不敏感 (因MSU2的透过率仅为 0.1)。因此, 利用MSU1和MSU2这两个通道的组合, 可去掉温度对窗区通道的影响, 从而提取出表面放射率信息。

Grody根据模拟晴空条件下不同表面放射率 ϵ_s 的MSU1和MSU2的辐射亮温之间的关系, 建立了计算表面放射率 ϵ_s 的回归方程[1], 即

$$\epsilon_s = a + bT_B(\text{MSU1}) + cT_B(\text{MSU2}) \quad (3)$$

式中, a 、 b 和 c 是回归系数。

在Grody的研究中, 回归系数是从有限的空间 (美国) 和时间 (1979年4月) 数据样本中获得的。Grody采用的MSU亮温未进行“临边效应”订正, 因此, 对于MSU 6个不同天顶角 θ 分别计算6组不同的系数。表2给出了Grody计算的回归系数。

表 2 确定表面放射率的回归系数(Grody)

天顶角(θ)	a	$b \times 10^3$	$c \times 10^3$
0°	3.62	9.52	-20.95
10.75°	3.66	9.61	-21.25
21.60°	3.85	10.00	-22.50
32.66°	4.63	11.43	-27.43
44.16°	5.68	12.98	-33.76
56.57°	9.39	18.87	-56.60

在我们的研究中, 使用的MSU亮温已进行“临边效应”订正, 因此, 仅计算零度天顶角的回归系数。我们采用的回归系数是利用“温度初估值反演 (TIGR)”全球数据集[5]中的极地和 中纬度带的样本分别计算的。表3给出了我们所使用的回归系数。利用表2和表3中的回归系数, 及MSU1

表 3 确定表面放射率的回归系数
(由TIGR计算得到)

纬度带	样本数	a	b × 10 ³	C × 10 ³	ε 的标准偏差
极 地	525	0.797	8.25	-8.29	0.040
中纬度	545	1.080	7.44	-8.83	0.030

和MSU 2的观测亮温[T_B(MSU1)和T_B(MSU2)],由(3)式即可计算出表面放射率ε_s。

2. 物理法

我们已讨论了微波区的辐射传输方程及其MSU通道的权重函数,从中可以看出,表面放射率ε_s对卫星测值I_v的影响。因此,

表 4 大气透过率和向上、向下辐射贡献(mW·cm⁻²sr⁻¹)的平均值和标准偏差

量	中纬度(545样本)		极地(525样本)	
	平均值	标准偏差	平均值	标准偏差
c	0.679	0.012	0.664	0.012
∫ [↑] Bdτ	1.89 × 10 ⁻³	0.02 × 10 ⁻³	1.90 × 10 ⁻³	0.02 × 10 ⁻³
∫ _↓ Bdτ	1.97 × 10 ⁻³	0.03 × 10 ⁻³	1.97 × 10 ⁻³	0.03 × 10 ⁻³

表4中的大气透过率τ是利用Scott和Chedin的快速逐线模式“4A”[6]计算的。表面温度T_s可利用经过水汽削弱及地面效应订正后的HIRS/2窗区通道(11μ)估算出来。

根据Rayleigh-Jeans近似,方程(4)可用温度形式来表示,即:

$$T_B(MSU1) = \epsilon_s [\tau T_s - \alpha] \beta \quad (5)$$

利用(5)式,当MSU1的亮温T_B和表面温度T_s已知时,便可求得表面放射率ε_s。

对于极地气团,

$$T_B(MSU1) = \epsilon_s (0.664 T_s - 56.24) + 137.9 \quad (6)$$

对于中纬度地带,

$$T_B(MSU1) = \epsilon_s (0.679 T_s - 57.42) + 138.8 \quad (7)$$

五、结果分析及其应用

通过对辐射传输方程本身的求解也可获得表面放射率信息。

为计算方便,对MSU通道1而言,我们将辐射传输方程化简为如下形式[5]:

$$I = \epsilon_s \left[\tau B_s - \tau \int_{\downarrow} B d\tau \right] + \left[\int_{\uparrow} B d\tau + \tau \int_{\downarrow} B d\tau \right] \quad (4)$$

其中,I表示MSU1的辐射亮度,τ表示大气透过率,B为温度T的普朗克函数,∫[↑]Bdτ和∫_↓Bdτ分别为向上和向下的辐射贡献。研究发现,对于给定的纬度带,量τ,向上和向下的辐射贡献在给定的近似范围内可看作常量(至少对于确定表面放射率是如此)。表4给出了这些量的标准偏差。

我们利用前面介绍的物理法和回归法分别计算了NOAA-10 1988年12月13日10:50 GMT MSU的表面放射率。图2、3分别给出这两种方法计算的结果,其中,图2是利用物理法计算结果绘制的,图3是利用统计法及表3中的系数计算得到的。图中所取范围为30—45°N, 115—130°E。该区域覆盖黄海、渤海、华北平原、长江三角洲平原、内蒙古高原的一部分及朝鲜半岛,几乎包含了各种类型的地形特征。

在图2中,较低的表面放射率(0.55)为开阔水域。由内海到海岸,随着海水温度、深度、水中含盐度等的变化,其表面放射率由小变大,而陆地的表面放射率更大。图2中,0.70线在大部分地区基本接近海岸线,但在渤海湾地区,0.80线与海岸线更为吻合,由图还可看出,长江三角洲地区的表面放射率也较低(0.8—0.7之间),这是由

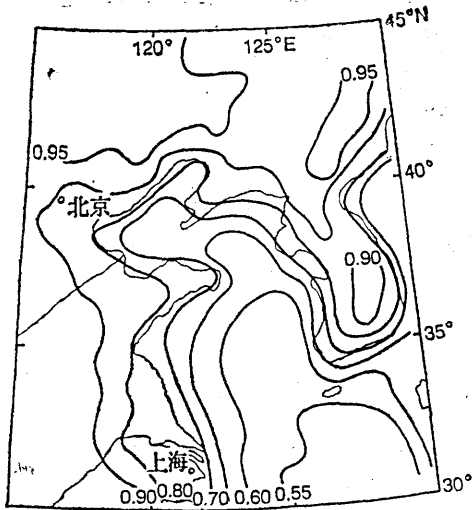


图 2 1988年12月13日10:50GMT
NOAA-10MSU表面放射率(物理法)

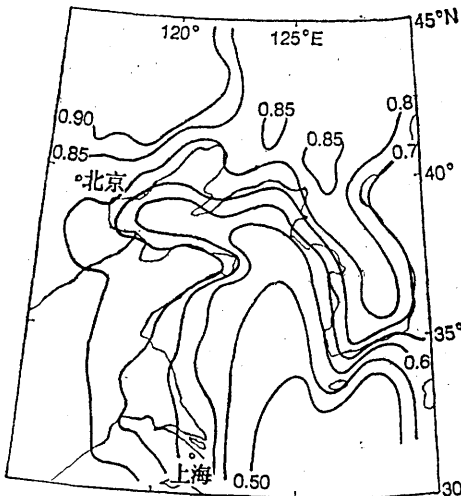


图 3 NOAA-10 MSU表面放射率(统计法, 时间同图2)

于该地区河流、湖泊较多的缘故。图中的高值区(0.95)恰巧位于内蒙古高原地区,该地区气候干燥,这与理论计算值是一致的。

同样,图3给出了统计法计算的结果。由图可见,两种方法计算结果相似,但统计法计算的值比物理法略低0.05—0.1。

Grody利用表2给出的系数,用1979年4月10日20:45GMT NOAA-7 MSU资料,计算了表面放射率,并与雷达资料相对照(图略)。较低的表面放射率给出了密西西

比河的位置,0.90线是河的两岸,0.85线是俄亥俄河和密西西比河的交界处,0.80线指出了美国大湖的位置。计算结果还可看出,可降水和厚云对表面放射率的影响,雷达回波正好与表面放射率的0.9线相对应。这说明,由于可降水和云的影响,使得该地区的表面放射率降低。对照图2—3,我们的计算结果与Grody的结果基本一致。

尽管MSU空间分辨率低(约110km),平滑了许多细微的表面特征,但由于干燥地面($\epsilon_s \approx 1.0$)与开阔水面(或湿的地面, $\epsilon_s \approx 0.5$)之间的对比度大,因此,根据表面放射率 ϵ_s 是能够分辨出不同类型的表面特征的。

Grody曾探讨利用MSU测值(即亮温)监测强风暴以及利用MSU表面放射率监测由强风暴引起的洪涝区的研究[1]。由于微波对云的穿透力较强以及微波表面放射率随土壤中水份含量的增加而剧减的变化,结果表明是可行的。

Yamamouchi曾利用MSU通道亮温进行监测海冰的研究[7]。他所采用的方法是大家熟悉的“阈值法”,也就是说,当MSU通道亮温低于某一阈值时,即认为有冰。Chedin和Scott曾利用MSU表面放射率代替亮温进行监测海冰的研究[5],并根据表面放射率的大小可判断出近年的冰和多年的冰。

目前,我们对于MSU表面放射率的计算仅仅是试验,对于其应用仅限于洋面上的云检测。对于其它应用,还未进行研究。但从Grody等人的研究可知,利用微波表面放射率监测洪涝区、海冰等是可行的,诸如此类的应用研究有待于进一步开发。

参考文献

- [1] Grody, N.C., Severe Storm Observations Using the Microwave Sounding Unit. J. Clim.

- Appl. Meteor., 22, 609—625, 1983.
- (2) Smith, W.L.et.al., The TIROS-N Operational Vertical Sounder. Bull. Amer. Meteor. Soc. 60, 1177—1187, 1979.
- (3) Rosenkranz, P. M., Shape of the 5 mm Oxygen Band in the Atmosphere. IEEE Trans. Antennas Propag, 22, 498—506, 1975.
- (4) Liebe, H. J. et.al., Atmospheric Oxygen Microwave Spectrum—experiment versus theory. IEEE Trans. Antennas Propag, 25, 327—335, 1977.
- (5) Scott, N. A. Chedin, A., et. al., Recent Advances in the Retrieval of Meteorological Parameters Through the 3I System. A Report from the CIMSS, SSEC, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin 53706, p. 286—321, 1988.
- (6) Scott, N.A. and Chedin, A., A fast line-by-line method for atmospheric absorption computations: the Automatized Atmospheric Absorption Atlas. J. Appl. Meteor., 20, 802—812, 1981.
- (7) Yamamouchi, T. and Seo, Y., Discrimination of Sea Ice in an Antarctic from NOAA-MSU. Proc. 6th Symp. On Polar Meteorology and Glaciology, National Inst. of Polar Research, Tokyo, Japan, 1984.
- (8) Kuo-Nan Liou, An Introduction to Atmospheric Radiation. Academic Press, New York, 1980.

Computations and applications of surface emissivity for the microwave sounding unit window channel

Zhang Fengying

(Satellite Meteorological Centre)

Abstract

This paper presents the background and methods for estimation of surface emissivity from the MSU measurements. It shows the results obtained from NOAA-10 MSU data of December 13, 1988 at 1050 GMT using the methods described in the paper. And the results have a good agreement with Grody's (1983). Applications of surface emissivity are briefly described at the end of paper. It can be seen that the different types of surface can be distinguished through MSU surface emissivity, and it is possible to observe the flooding areas and sea ice by using MSU surface emissivity.