

微波辐射计的逆向辐射对定标及辐射测量的影响

李 靖 姜景山

(中国科学院空间科学与应用研究中心 北京 100080)

摘 要 微波辐射计是一种无源的微波遥感器,系统中存在逆向辐射,它通过天线向外辐射能量。逆向辐射温度的大小与接收机的噪声温度和前端器件有关,系统中的逆向辐射温度对微波辐射计的定标及陆基微波辐射计天底角附近的微波辐射测量都产生一定的影响。

关键词 微波辐射计,逆向辐射温度

1 引 言

在无源微波遥感中,一般认为微波辐射计是接收被观测物体的辐射,而没有能量从天线向外辐射。但实际系统中一方面由于接收器件的热噪声产生能量的逆向辐射,另一方面由于天线到接收系统各环节的失配而产生能量反射,这些能量通过天线向外辐射,遇到物体便反射回来被天线接收。这部分能量对微波辐射计的定标及辐射测量会产生影响,忽略它的影响,会降低微波辐射计定标精度和微波辐射的测量精度。

2 逆向辐射的机理

微波辐射计前端的网络表示如图1, T_A 为天线或匹配负载的输出噪声温度,它通过连接网络正向传输给接收机,并被接收机所接收,接收机所

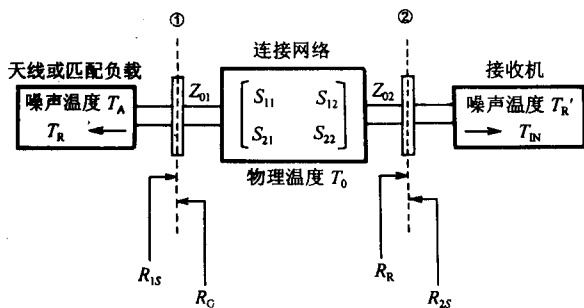


图1 微波辐射计前端的网络表示图

Fig.1 Network representation of microwave radiometer front end

接收的净功率的噪声温度 T_{IN} 的表示式参见文献 [1]。除了正向传输外,接收机的噪声温度 T_R' 通过连接网络逆向传输到天线或匹配负载端口,引用正向传输的分析方法进行分析,可得到天线或匹配负载端口所接收到的微波辐射计逆向辐射温度 T_R ,

$$T_R = \alpha_m Y T_R' + \alpha_m (1 - Y) T_0 + (1 - \alpha_m) T_A \quad (1)$$

式中 $\alpha_m Y T_R'$ 为由接收机净递送的噪声温度; $\alpha_m (1 - Y) T_0$ 为有损网络 S 由于自发射所产生的净递送的噪声温度; $(1 - \alpha_m) T_A$ 为天线或匹配负载产生的被反射回来的净递送的噪声温度。 α_m 和 Y 分别被称为失配损耗因子和传输因子,并表示如下:

$$\alpha_m = \frac{(1 - |R_{1S}|^2)(1 - |R_G|^2)}{|1 - R_{1S} R_G|^2} \quad (2)$$

$$Y = \frac{1}{L_S} \left[\frac{(1 - |R_R|^2)(1 - |S_{22}|^2)}{|1 - S_{22} R_R|^2(1 - |R_{1S}|^2)} \right] \quad (3)$$

式中

$$R_{1S} = S_{11} + \frac{S_{12} S_{21} R_R}{1 - S_{22} R_R} \quad (4)$$

$$L_S = \frac{Z_{01}}{Z_{02}} \frac{(1 - |S_{22}|^2)}{|S_{12}|^2} \quad (5)$$

L_S 是网络 S 的反向传输损耗因子, Z_{01} 和 Z_{02} 分别是端口 1 和 2 的特性阻抗,通常 $Z_{01} = Z_{02}$ 。为了计算 α_m 和 Y ,必须知道电压反射系数 R_R 和 R_G 的幅度和相位以及网络 S 的散射系数的幅度和相位,这些量可用网络分析仪测取。

3 逆向辐射温度 T_R 的测量

微波辐射计逆向辐射温度的大小与接收机前端器件有关,其测量步骤如下:先将环境温度 T_0 下的匹配负载和接收机相连,测量辐射计的输出电压为 V_1 ;再将匹配负载放入液氮中,此时有效输入噪声温度为 T_{N2} ,输出电压为 V_2 ;最后用一短路器替换匹配负载,输出电压为 V_3 ,短路器的作用是将微波辐射计逆向辐射温度 T_R 全部反射给接收机,此时逆向辐射温度 T_R 变成了辐射计的输入信号。微波辐射计的定标方程为:

$$V = G_S(T_{IN} + T_{REC}) \quad (6)$$

其中 G_S 为系统增益因子, T_{REC} 为有效本机噪声温度, T_{IN} 为接收机输入噪声温度, V 为输入为 T_{IN} 时对应的输出电压。将前面的测量结果代入公式 (6) 可得方程组:

$$\begin{cases} V_1 = G_S(T_0 + T_{REC}) \\ V_2 = G_S(T_{N2} + T_{REC}) \\ V_3 = G_S(T_R + T_{REC}) \end{cases} \quad (7)$$

其中 G_S , T_{REC} 和 T_R 为待求的参量,其它均为已知参量,从方程组中可以求得 T_R 的值。对 5.4GHz 全功率微波辐射计的逆向辐射温度进行了测量,有 $T_0 = 289.1\text{K}$, $V_1 = 3685\text{mV}$, $T_{N2} = 142.6\text{K}$, $V_2 = 2630\text{mV}$, $V_3 = 3708\text{mV}$, 代入方程组 (7) 解得 5.4GHz 微波辐射计逆向辐射温度 $T_R = 292.3\text{K}$ 。由于 5.4GHz 微波辐射计前端加有隔离器,因此它的逆向辐射温度基本上是输入端为 50Ω 电阻的辐射功率。同时也对 36GHz 微波辐射计的逆向辐射温度进行了测量,其逆向辐射温度 T_R 为 302.1K 。微波辐射计有效本机噪声温度随频率的升高而升高,也使与之相关联的微波辐射计逆向辐射温度升高。

4 逆向辐射对定标的影响

微波辐射计输出电压与输入噪声温度呈线性关系,因此用两个标准噪声温度源便可对其进行定标。定标源一般采用如图 2 的定标装置,外层和内层为铝,屏蔽外界的电磁辐射,中间层为保温层,底部为微波吸波材料。它可提供两点以上定标温度,一般高温点为环境温度,而低温点可通过向容器内注入致冷剂得到。则天线接收到的亮度温度 T_A 为:

$$T_A = T_C(1 - \gamma) + \gamma T_R \quad (8)$$

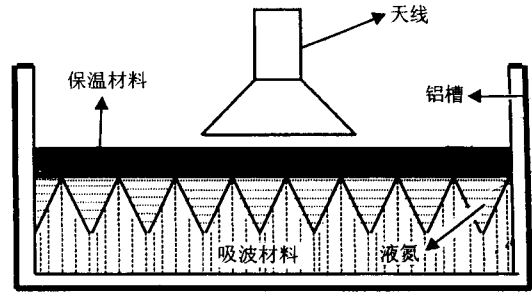


图2 整体定标装置示意图

Fig.2 Apparatus for the integrated calibration

T_C 为吸波材料的物理温度, γ 为吸波材料及致冷剂平面的反射率, T_R 为微波辐射计的逆向辐射温度, γT_R 为逆向辐射温度带来的影响。

下面估算一下它对定标精度的影响程度。一般吸波材料在 0° 时的反射率为 $-30 \sim -40\text{dB}$, 即 γ 为 $0.001 \sim 0.0001$, 如果辐射计前端加有隔离器, 则 T_R 约为 300K , γT_R 为 $0.3 \sim 0.03\text{K}$ 。因此它对微波辐射计定标精度会产生一定的影响, 如果忽略了它的影响, 会降低辐射计定标精度。对于其它形式的定标装置, 也可进行类似的分析。

5 逆向辐射对辐射测量的影响

由于陆基微波辐射测量实验平台较低,微波辐射计逆向辐射温度对陆基微波辐射测量影响更大。以中国科学院长春地理研究所微波遥感室 1989 年测量水面油膜实验为例^[2], 来分析微波辐射计逆向辐射温度对辐射测量的影响。

水面油膜测量实验装置示意图如图 3。实验成功地得出了在 9.2GHz、观测角为 12° 时, 水面油膜辐射亮度温度随油膜厚度变化关系曲线, 以及在 36GHz、观测角为 24° 时水面油膜辐射亮度温度随油膜厚度变化关系曲线, 并与理论值取得了很好的一致性。当时也作了若干次在 9.2GHz 和 36GHz 频率下, 观测角为 0° 时的实验, 没有得出水面油膜的辐射亮度温度随油膜

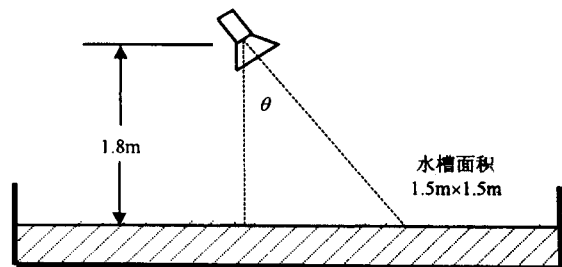


图3 水面油膜辐射测量装置示意图

Fig.3 Apparatus of oil slick radiation measurement

厚度的变化关系曲线,不论往水槽内倒入多少柴油,辐射计的输出基本保持不变,这是由于微波辐射计逆向辐射温度通过天线向外辐射,在天底角测量时辐射计所接收到的能量除了来自水面油膜的辐射外,还有一部分能量来自于逆向辐射经水面油膜的反射,它抵消了水面油膜的辐射亮温随油膜厚度的变化关系,因而辐射计的输出基本保持不变,而在偏离天底角测量时,天线接收不到逆向辐射经水面油膜反射的能量,因此对辐射测量不产生影响。

下面就 0° 水面油膜微波辐射测量实验分析如下:水面油膜可以看成两层介质,利用分层媒质的并矢格林函数及耗散介质中的起伏逸散定理^[3],可计算出水面油膜的辐射亮温,当水面油膜的物理温度和水体的物理温度相等时,有

$$T_{\text{BH}}(\theta) = T_1(1 - \gamma_{\text{H}}) \quad (9)$$

$$T_{\text{BV}}(\theta) = T_1(1 - \gamma_{\text{V}}) \quad (10)$$

γ_{H} 和 γ_{V} 为水面油膜的水平极化和垂直极化的反射率,是水和水面油膜的介电常数和油膜厚度的函数。在 0° 时, $T_{\text{BH}}(0) = T_{\text{BV}}(0)$, $\gamma_{\text{H}} = \gamma_{\text{V}}$ 。因此观测角为 0° 时,辐射计接收的能量 T_{A} 为:

$$\begin{aligned} T_{\text{A}} &= T_{\text{BH}}(0) + \gamma T_{\text{R}} \\ &= T_1(1 - \gamma) + \gamma T_{\text{R}} \\ &= T_1 + \gamma(T_{\text{R}} - T_1) \end{aligned} \quad (11)$$

式中 T_{R} 为逆向辐射温度, T_{R} 的大小应为实验时的环境温度,而此时水面油膜的物理温度也为环境温度,即 $T_{\text{R}} = T_1$,则辐射计接收到的能量基本上为一常数 T_1 ,因此辐射计的输出基本保持不变。即水面油膜的辐射亮度温度随油膜厚度的变化被天线的辐射经水面油膜的反射的贡献所抵消,而在偏离 0° 测量时,辐射计接收不到逆向辐射温度经水面油膜反射的贡献,辐射计输出很好地反映了水面油膜厚度的变化。

在其它微波辐射测量实验中,微波辐射计逆向辐射对 0° 的测量都有所贡献,可用类似的方法进行分析处理,去除逆向辐射温度的影响,使微波辐射测量实验更加精确。

6 结 论

本文对微波辐射计逆向辐射温度进行了研究,并就其对微波辐射计定标和微波辐射测量的影响进行了分析。辐射计逆向辐射基本上是辐射计输入端电阻的辐射功率。根据定标源辐射率的不同,辐射计逆向辐射温度对辐射计定标精度产生不同的影响;在观测角为 0° 附近进行微波辐射测量时,随着实验平台高度及被测物体的反射率的不同,有不同程度的影响。在高精度微波辐射计定标和辐射测量时必须加以注意。

参 考 文 献

- 1 Ulaby F. T., R. K. Moore, A. K. Fung. Microwave Remote Sensing, Active and Passive, 1981, 1:404—410.
- 2 胡学伟等. 水面油膜微波辐射特性的研究. 环境遥感, 1991, 6(2):152—157.
- 3 Leng Tsang, Jin Au Kong, Robert T. Shin. Theory of Microwave Remote Sensing. John Wiley & Sons, 1985, 47.

作 者 简 介

李靖,男,1967年生,1990年、1994年、1997年分别于吉林大学、中国科学院长春地理研究所、中国科学院电子学研究所获理学学士、理学硕士、工学博士学位,现为中国科学院空间科学与应用研究中心博士后,主要从事微波遥感器的研制、微波辐射计定标研究及地物电磁散射和辐射特性的理论研究等。已发表论文10余篇。

Reverse Radiation in Microwave Radiometer

Li Jing Jiang Jingshan

(Center for Space Science and Applied Research, CAS, Beijing 100080)

Abstract The Microwave radiometer is a kind of passive microwave remote sensor. Generally microwave radiometer can be considered as passive receptors of radiation from objects with no energy radiated from the antenna to its surroundings practically the components of radiometers have thermal noise and radiate energy in the reverse direction. In another case, the reverse radiation comes from the mismatch of the components between the antenna and the receiver system. The energy radiated to the outside through the antenna is reflected by the objects and received by the antenna again. The value of revising radiative temperature is linked to the noise of the receiver and components of the receiver front-end. The reverse radiative temperature in the system will affect the accuracy of the microwave radiometer calibration and the ground-based microwave radiative measurements near nadir angle.

Key words Microwave radiometer, Reverse radiative temperature