大气微波辐射与水汽的遥感*

赵柏林　李慧心　韩庆源

（北京大学地球物理系）

地面上接收大气的微波辐射可以遥感大气温度、湿度层结和云雨要素．在1981年9月—10月，本实验室用 5 mm-1.35 cm 波段中4个频段的微波辐射计进行大气遥感实验，本文讨论有关 8 mm 微波窗区和 1.35 cm 水汽吸收带大气微波辐射特性，以及用此两波段遥感大气总水汽含量的方法和实验．

一、原　理

通常情况下，在 1.35 cm 和 8 mm 两波段中，大气吸收小于1．按微波辐射传输方程，亮度温度 $T_b(\nu)$ 为[1-3]

1.35 cm　　$$T_b(22) = T_m[\tau_{O_2}(22) + \tau_{H_2O}(22) + N\tau_{Cl}(22)]\sec\theta, \quad (1)$$

8 mm　　$$T_b(35) = T_m[\tau_{O_2}(35) + \tau_{H_2O}(35) + N\tau_{Cl}(35)]\sec\theta, \quad (2)$$

其中 ν 为频率，θ 为天顶角，$\tau_{O_2}(\nu)$、$\tau_{H_2O}(\nu)$、$\tau_{Cl}(\nu)$ 是氧、水汽和云的吸收，N 为天线视野中云量的比例，T_m 为平均温度，它为

$$T_m = \frac{\int_0^\infty T(Z) e^{-\int_0^Z \alpha \sec\theta\, dZ} \alpha \sec\theta dZ}{\int_0^\infty e^{-\int_0^Z \alpha \sec\theta dZ} \alpha \sec\theta\, dZ},$$

$T(Z)$ 为温度，Z 为高度，α 为吸收系数．

从北京9—10月探空资料分析，$\lambda = 1.35$ cm 波段水汽吸收 $\tau_{H_2O}(22)$ 和 $\lambda = 8$ mm 波段水汽吸收 $\tau_{H_2O}(35)$ 间有如下的关系：

$$\tau_{H_2O}(22) = a\tau_{H_2O}(35), \quad (3)$$

其中 $a = 3.25$，相关系数 $\gamma = 0.991$，均方根差为 $\sigma = 0.005$．水汽吸收 $\tau_{H_2O}(22)$，$\tau_{H_2O}(35)$ 均和大气总水汽量 Q 成正比．如

$$\tau_{H_2O}(22) = 0.003 + 0.0063Q. \quad (4)$$

$$(\gamma = 0.996, \sigma = 0.004)$$

由于云的吸收系数和频率的平方成正比，因此在 $\lambda = 1.35$ cm 云的吸收 $\tau_{Cl}(22)$ 和 $\lambda = 8$ mm 云的吸收 $\tau_{Cl}(35)$ 间的关系为

$$\tau_{Cl}(22) = 0.4\tau_{Cl}(35). \quad (5)$$

从探空资料分析，8 mm 波段和 1.35 cm 波段的 T_m 值近似相等．

由(1)—(3)式和(5)式有

本文1983年3月22日收到．

* 朱元竞、俞小鼎参加了工作．

$$\tau_{H_2O}(22) = \frac{a}{a-0.4}\left[0.4\tau_{O_2}(35) - \tau_{O_2}(22) + \frac{T_b(22)}{T_m}\cos\theta - 0.4\frac{T_b(35)}{T_m}\cos\theta\right]. \quad (6)$$

从观测的 8 mm 波段和 1.35 cm 波段的亮度温度 $T_b(35)$ 和 $T_b(22)$ 值，根据(6)式和(5)式，可以求得 1.35 cm 波段水汽吸收 $\tau_{H_2O}(22)$ 及大气总水汽含量 Q.

二、观测及资料分析

1981 年 9 月 8 日至 1981 年 10月15日于北京西郊北京大学进行观测实验，所用的是5mm-1.35 cm 中 4 个波段的微波辐射计，即 5 mm (B 型 $\nu = 52.8$ Gc, C型 $\nu = 54.4$ Gc) 微波辐射计用以测量大气温度，1.35 cm ($\nu = 22.235$ Gc) 和 8 mm ($\nu = 35.3$ Gc) 微波辐射计用以测量大气湿度和云层修正.



图 1 大气微波辐射的观测

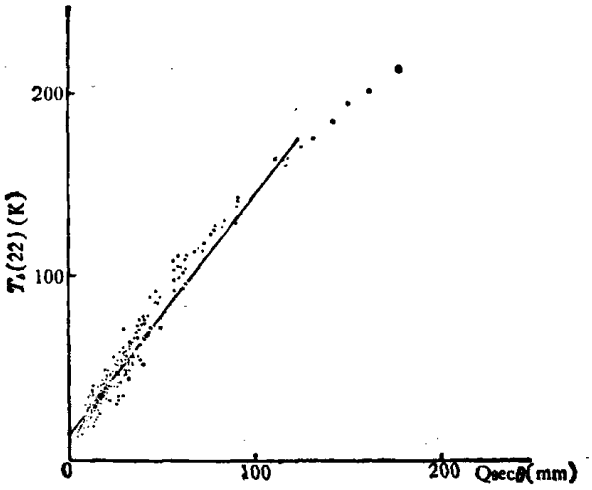

图 2 $T_b(22)$ 和 $Q\sec\theta$ 的关系(312 个样本)

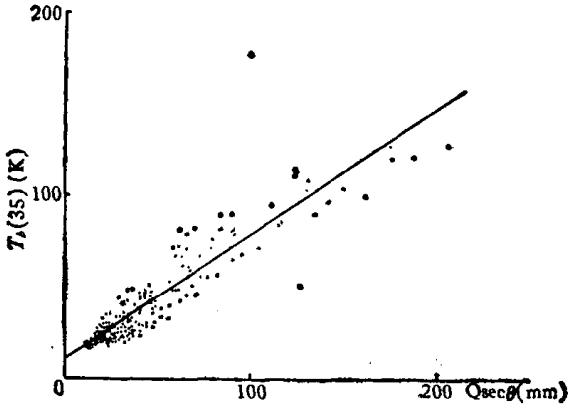

图 3 $T_b(35)$ 和 $Q\sec\theta$ 的关系(256 个样本)

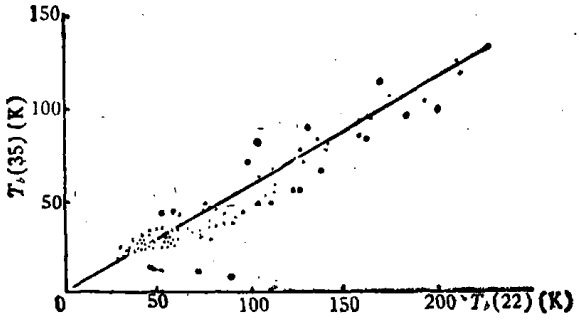

图 4 $T_b(22)$ 和 $T_b(35)$ 的关系(100 个样本)

1.35 cm 微波辐射计的整机噪声为 9.6 db，由于本机噪声和稳定性引起的误差小于 5%. 8 mm 微波辐射计的整机噪声为 12 db，由于本机噪声和稳定性引起的误差小于 4%.

用扫角法进行观测不同天顶角的亮度温度，同时有探空资料，作对比之用. 如图 1 中所示.

晴天的情况:

(a) 1.35 cm 的亮度温度 $T_b(22)$ 和大气总水汽含量 Q 之间有密切的关系，即

$$T_b(22) = 1.298\,Q\,\sec\theta + 14.61\ \mathrm{K}, \quad (7)$$

Q:mm，$\gamma = 0.9798$．如图 2 中所示．

(b) 8 mm 的亮度温度 $T_b(35)$ 和大气总水汽含量 Q 之间的关系为

$$T_b(35) = 0.6679Q\sec\theta + 10.60\text{K}, \tag{8}$$

Q:mm，$\gamma = 0.9449$，如图 3 中所示．

(c) 8 mm 的亮度温度 $T_b(35)$ 和 1.35 cm 的亮度温度 $T_b(22)$ 之间的关系为

$$T_b(35) = 0.5308T_b(22) + 2.267\text{K}, \tag{9}$$

$\gamma = 0.9646$，如图 4 中所示．

阴天的情况：有 6 天是在阴天条件观测的．用 (4) 及 (6) 式分析这些资料．

(a) 1.35cm 的水汽吸收：微波遥感值 $\tau_{H_2O}(22)$（遥感）和探空测量值 $\tau_{H_2O}(22)$（探空）是一致的．即

$$\tau_{H_2O}(22)_{\text{遥感}} = \tau_{H_2O}(22)_{\text{探空}}, \tag{10}$$

而 $\frac{\sigma_{\tau_{H_2O}}}{\tau_{H_2O}} = 15.6\%$，两者平均值的差值为 1.88%．

(b) 大气总水汽含量：微波遥感值 $Q_{\text{遥感}}$ 和探空测量值 $Q_{\text{探空}}$ 是一致的，

$$Q_{\text{遥感}} = Q_{\text{探空}} \tag{11}$$

而 $\frac{\sigma_Q}{Q} = 19.8\%$．两者平均值的差值为 0.26%．

根据大气 8 mm 和 1.35 cm 波段的微波辐射，可用以遥感大气中的水汽．

参 考 文 献

[1] 赵柏林、尹宏、李慧心、杜金林、胡成达、朱元竞，中国科学，1980，9：874—882．

[2] 赵柏林、尹宏、李慧心、杜金林、胡成达、朱元竞、景荣林，气象学报，39 (1981)，217—225．

[3] 赵柏林、秦瑜，北京大学学报（自然科学），1978，4：26—36．