

微波地对空测温核函数的稳定性

张宏志*

黄润恒

(北京大学地球物理系)

(中国科学院大气物理所)

近十年来,被动微波遥感技术在气象上得到了广泛的应用,它已经成为探测大气温、湿、云、雨等气象要素的一种新的重要手段。美国已经在第三代气象业务卫星上安装了微波探测装置(MSU),与红外遥感技术相配合,以期提高测温精度。与此同时,地面大气微波遥感的研究工作也有了相应的发展^[1,2,3],已经成功地测得对流层大气温度分布和低层大气逆温,这就为研究边界层大气物理和监视污染物质扩散条件提供了新的工具。当前,地面微波测温的一个重要问题是反演温度层结的精度与探空相比,在900毫巴以上相差达2—5°K。为了满足实际工作的需要,因而有必要探讨反演辐射传输方程的方法。作为问题的第一步,需要考察积分方程核函数的稳定性。所谓核函数的稳定性,是指对于不同的大气温、湿、压分布,核函数的相对变化。为此,我们计算和比较了中纬度标准大气、北京地区气候平均大气和实际探空廓线三者的大气微波吸收系数、核函数和亮度温度。结果表明,在地对空微波测温波段上,水汽的微波吸收和发射占有不可忽视的贡献,水汽订正的问题将对反演精度有直接的影响。

一、微波测温方程的核函数及其计算方法

假定大气是平面分层、水平均匀的,并忽略大气分子和气溶胶粒子对微波的散射作用,则晴空大气微波辐射传输方程为(见图一)

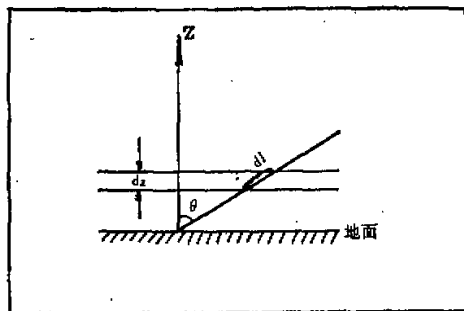


图 1

1978年3月17日收到。

* 现在国家地震局地球物理所工作

$$TB_{\nu}(\theta) = \int_0^{\infty} T(z) \alpha_{\nu} \sec \theta e^{-\int_0^z \alpha_{\nu} \sec \theta dz'} dz \quad (1)$$

其中 $TB_{\nu}(\theta)$ 为大气微波辐射亮度温度, θ 为天顶角, α_{ν} 为大气分子的微波吸收系数, 它包括氧分子和水汽分子两部分贡献的总和, 即 $\alpha_{\nu} = (\alpha_{\nu})_{\text{氧}} + (\alpha_{\nu})_{\text{水汽}}$. 吸收系数是大气温、湿、压的函数, 因而核函数

$$W_{\nu}(\theta, T, \rho, p) = \alpha_{\nu}(T, \rho, p) e^{-\int_0^z \alpha_{\nu} \sec \theta dz'} \sec \theta \quad (2)$$

也是温、湿、压的函数.

令大气的微波透过率 $\tau(\theta, Z) = e^{-\int_0^z \alpha_{\nu} \sec \theta dz'}$, 则(1)式又可写成

$$TB_{\nu}(\theta) = \int_0^{\infty} T d\tau. \quad (1')$$

其中 τ_0 为整层大气的微波透过率, 此时核函数(2)为

$$W_{\nu} = \frac{d\tau}{dz} \quad (2')$$

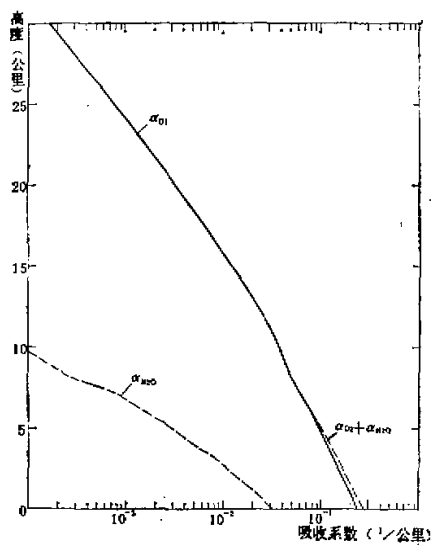
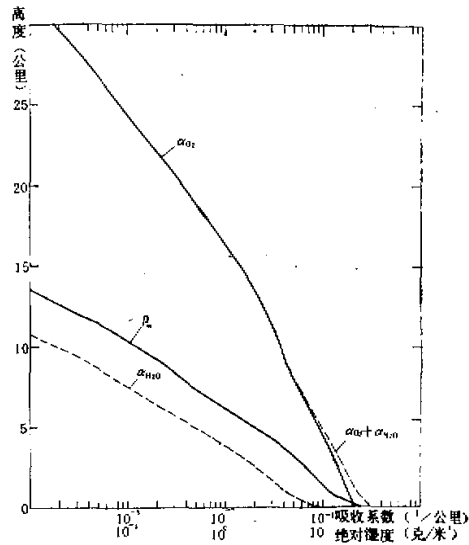
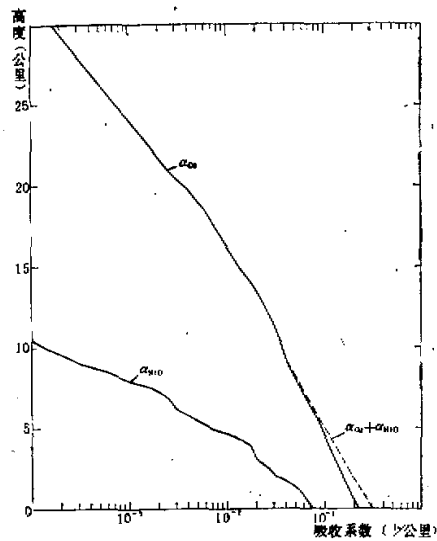
为了探测对流层大气的温度分布, 工作频率宜选择在氧分子 5 毫米吸收带的翼侧、吸收不太强的波段上, 例如选取 $\nu = 52.9 \text{ GC}^{[3]}$.

根据 Meeks 和 Lilly^[4]提出的氧分子微波吸收系数的公式以及 Gaut^[5]提出的水汽 1.348 厘米吸收带的公式, 便可计算不同大气条件下 52.9 GC 频率上的大气微波吸收系数, 再利用(2)、(1')式求出核函数和亮度温度.

二、计算结果和讨论

根据上节的公式, 计算了中纬度标准大气、北京 6、7、8 月气候平均大气以及若干次探空廓线的吸收系数和亮度温度, 分别考虑了氧气的贡献以及氧气和水汽的总贡献. 计算亮温时, 在低仰角条件下需要考虑地球曲率的订正, 式中的 $\sec \theta dz$ 用斜程厚度 dl 来代替. 图 2、图 3、图 4 是各种大气廓线下的氧气和水汽的吸收系数以及总吸收系数随高度的变化. 由图可见, 不同温度分布下的氧气吸收系数比较稳定, 标准大气、气候平均与实际探空三者相差不大. 特别是气候平均与探空两者的 $(\alpha_{\nu})_{\text{氧}}$ 更为接近, 在近地面层 0—5 公里范围内, 二者只差千分之几, 而且随着高度的增加, 吸收系数的差值也随之减小. 同时从图可见, 水汽 1.348 厘米吸收带对 52.9 GC 吸收系数的贡献只比氧气 5 毫米吸收带小 1—2 个量级, 尤其是在近地面层, 水汽的相对贡献可达 30% 左右. 可见在测温方程的反演中水汽的影响是不可忽视的一个因素. 此外, 由于水汽的吸收系数与水汽密度成正比, 因而不同水汽分布条件下的 $(\alpha_{\nu})_{\text{水汽}}$ 变化比较剧烈. 在 0—5 公里范围内, 上述三种水汽廓线对应的 $(\alpha_{\nu})_{\text{水汽}}$ 相差可达 50% 左右, 即使是气候平均与探空之间也有明显的差别.

上述吸收系数的变化特点, 在测温核函数上也有相应的反映. 如果不考虑水汽的影响, 不同温度分布下的核函数还比较稳定, 气候平均与探空廓线的核函数的相对差别只有

图 2 标准大气 52.9 千兆周的 α_{O_2} 及 α_{H_2O} 。图 3 52.9 千兆周的 α_{O_2} 及 α_{H_2O} 的七月份平均廓线。图 4 52.9 千兆周的 α_{O_2} 及 α_{H_2O} 的实际廓线。

千分之几。但是考虑到水汽的影响,由于不同水汽分布下的吸收系数差别较大,由此而引起的气候平均与探空廓线的核函数的差别约有 5% 左右,特别是在对地面测温有决定性影响的低层,差别尤为明显。可见,水汽吸收系数的差异是核函数不稳定的主要原因。

考虑到水汽的影响以后,对于同一温度廓线,用气候平均核函数算得的亮温(简称“亮温的计算值”)与用实际大气的核函数算得的亮温(简称“亮温的真值”)之间的差别,在高

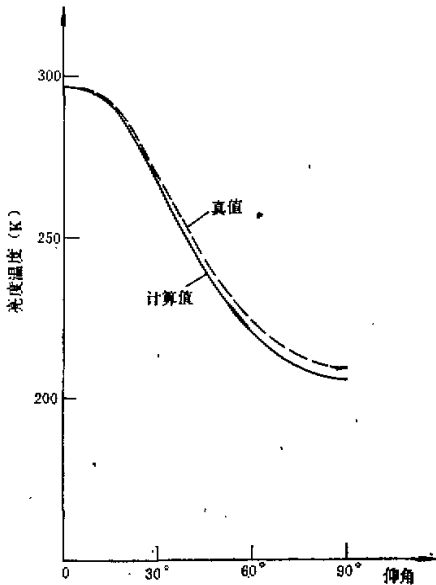


图5 考虑水汽影响后的两种亮温的比较

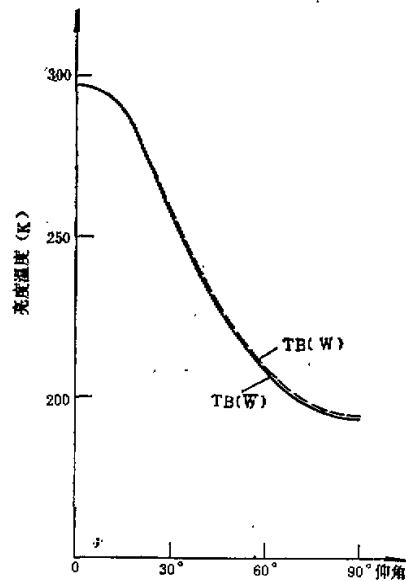


图6 未考虑水汽影响时两种亮温的比较

仰角情况下可达 $4-5^{\circ}\text{K}$ 。(见图5)而不考虑水汽的影响,这两种亮温的差别只有 1°K 左右。(见图6)如果采用非线性迭代的方法反演方程(1),由于在迭代过程中温度逐渐逼近于真值,这两种亮温的差别是愈来愈小的。然而,考虑了水汽影响以后(而且,由上述结果的分析,必须要考虑水汽影响),由于核函数对水汽分布比较敏感,如果水汽用某一事先已知的分布(比如气候平均)加以订正,则在迭代过程中,水汽的订正是不变的,那么由于假想的水汽订正与实际的水汽分布的不同所引起的亮温差异,在迭代过程中始终存在。这种差异势必转嫁到温度分布上,从而给温度的反演解带来虚假的成分。也即虚假的温度分布与不变的水汽订正可以与真实的温、湿分布具有相同的微波辐射。这或许是当前微波辐射资料的反演中精度不够高的原因之一。因此很自然的想法是,对水汽需要加以实况订正,采用温度和水汽联合反演的方法,或者根据湿度与温度之间的相关,由温度的反演解逐次调节水汽的订正量,或许可以改善这一情况。

参 考 资 料

- [1] E. R. Westwater, *Monthly Weather Review*, 100 (1972), pp. 15—28.
- [2] J.B. Snider, *J. Appl. Meteorol.*, 11(1972), pp. 958—967.
- [3] 赵伯林等, *大气科学*, 2(1978), p.323.
- [4] 周秀骥等, 大气遥感探测问题的研究, 中国科学院大气物理研究所集刊第5号.
- [5] N. E. Gant, *Studies of Atmospheric Water Vapor by Means of Passive Microwave Techniques*, AD-681915, 1968.