

实测高云对毫米波辐射 衰减的观测方法之讨论

刘 炎 肖 汉 流

提 要

本文讨论利用太阳作为大气外射电源来实测高云对射电辐射衰减的原理以及方法。

地球大气会对无线电波造成衰减。在微波波段, 衰减主要由水汽和氧气的吸收造成。由于大气中氧气的含量比较稳定, 因而其对大气吸收变化的影响较小; 但水汽含量的起伏却比较大, 由此引起的吸收变化也相当大。在射电波段, 尽管大气吸收的值可以用理论公式^[1]或者经验公式^[2, 3]算出, 但由于大气的实际状态与理论模型之间总有不同程度的偏差。特别是对于毫米波段更是如此。因此通过实测得到毫米波段的大气吸收值仍然是更为基本, 更为可靠的。

各种云层对于来自大气外的射电辐射所造成的衰减各不相同, 并且衰减的机制也不完全一样, 因而理论计算更为困难。因此云层对射电辐射的衰减情况更需由实测来得到。

由于紫台在青海为13.6米毫米波射电望远镜选址, 需要实测高云对毫米波辐射的衰减情况, 因此我们在本文中将讨论进行实测的观测原理和方法。

高云离地面的高度在五千米以上, 全部由细小的冰晶组成, 冰晶的大小约为10—50微米^[4]。高云对毫米波的衰减机制除了吸收作用之外, 还可能存在散射作用。与中云和高云相比, 高云的衰减要小一些^[5], 但对于高云衰减进行实测的研究工作, 目前所见的报导还很少。

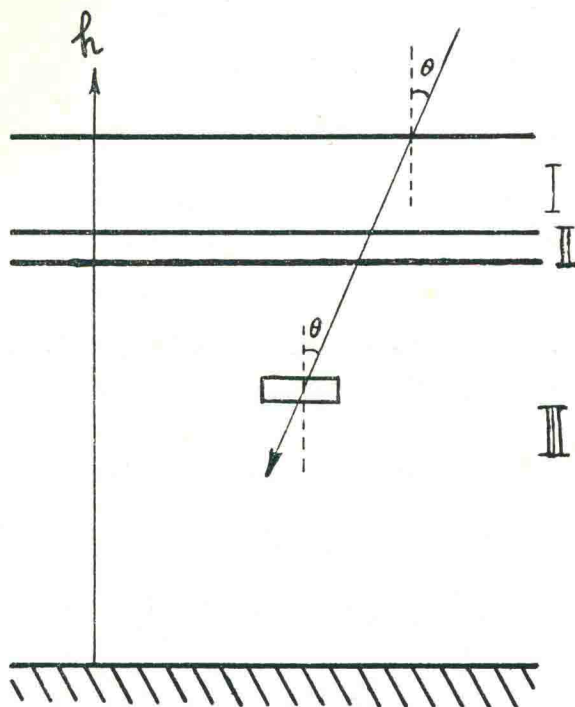
一、射电波在大气中的传播

当射电源(例如太阳)的辐射经过大气层时, 会发生吸收, 散射和二次辐射等; 而当大气中有云层存在时, 情况就更为复杂。电磁波通过介质时, 其传播规律由辐射转移方程决定。

由于高云主要是呈水平层状结构, 而且离地面的高度在五公里以上, 因此我们可以采用一个平面平行分层的三层简化模型来讨论太阳的射电波通过高云及大气时的传播情况。这样

的简化不全带来太大的误差。

图1即是一个简化的模型，上层Ⅰ是高层大气，中层Ⅱ是高云，下层Ⅲ是低层大气，相应的参数分别为 $K_1, \sigma_1, \tau_1, \beta_1$; $K_2, \sigma_2, \tau_2, \beta_2$ 以及 $K_3, \sigma_3, \tau_3, \beta_3$ 。 h 是垂直坐标， θ 是射电波的入射角。



图一 高云和大气的三层模型

由于我们讨论毫米波的传播，因此在高云中须得考虑到冰晶粒子对电磁波的散射作用。设大气层和云层对于射电波具有真吸收（吸收系数为 K ）、散射（散射系数为 σ ）和热辐射三种作用。对于某一种波长的射电辐射 I ，如忽略折射效应，即认为折射率 $n=1$ （这种假定是合理的，因为在大气和高云中， $n-1 < 10^{-3}$ ，在只讨论吸收作用时，可以忽略折射效应），则辐射转移方程为：

$$\cos \theta \frac{dI}{d\tau} = -I + \beta B + (1 - \beta)J \quad (1)$$

式中 θ 为太阳射电波的入射方向同垂直方向的夹角； τ 为光学厚度， $d\tau = (\kappa + \sigma)dh$ ， h 为离地面的垂直高度； $\beta = K/(\kappa + \sigma)$ ，为真吸收在总衰减中所占的比例。 B 为热辐射函数，即普朗克函数。 J 为平均辐射流：

$$J = \frac{1}{4\pi} \iint_{4\pi} I d\Omega \quad (2)$$

由 (1) 式对于云层和大气层分别积分，得到方程的形式解为：

$$\begin{aligned}
I = e^{-(\tau_1 + \tau_2 + \tau_3) \sec \theta} & \left\{ I_{\odot} \delta(\theta - \theta_0) + \right. \\
& + \int_0^{\tau_1 \sec \theta} [\beta_1 B_1 + (1 - \beta_1) J_1] e^{r_1} d\gamma_1 + \\
& + \int_{\tau_1 \sec \theta}^{(\tau_1 + \tau_2) \sec \theta} [\beta_2 B_2 + (1 - \beta_2) J_2] e^{r_2} dr_2 + \\
& \left. + \int_{(\tau_1 + \tau_2) \sec \theta}^{(\tau_1 + \tau_2 + \tau_3) \sec \theta} [\beta_3 B_3 + (1 - \beta_3) J_3] e^{r_3} d\gamma_3 \right\} \quad (3)
\end{aligned}$$

式中下标 1、2、和 3 分别表示在高层大气、云层和低层大气中的各量。\$I_{\odot}\$ 为在上边界处太阳的入射辐射流。而

$$\delta(\theta - \theta_0) = \begin{cases} 1; & \text{当 } |\theta - \theta_0| \leq \theta_{\odot}/2 \\ 0; & \text{当 } |\theta - \theta_0| > \theta_{\odot}/2 \end{cases}$$

其中 \$\theta_0\$ 为太阳圆面中心的天顶距，\$\theta_{\odot}\$ 为太阳圆面的视角直径。\$d\gamma = \sec \theta d\tau\$。在微波波段，大气层中的衰减效应主要由真吸收引起，散射效应很小，即 \$\sigma_1 \approx \sigma_3 \approx 0\$，因此 \$\beta_1 = \beta_3 = 1\$。

射电辐射的强度 \$I\$ 可用有效亮温度 \$T_b\$ 来表示，两者之间的关系为瑞利——琼斯公式：

$$I = \frac{2k}{\lambda^2} T_b$$

式中 \$\lambda\$ 为辐射波长，\$k\$ 为玻尔兹曼常数。因此 (3) 式中的 \$I\$、\$I_{\odot}\$、\$B\$、\$J\$ 等量都可以用相应的亮温度 \$T_b\$、\$T_{b\odot}\$、\$T_{bB}\$ 和 \$T_{bJ}\$ 等来表示。于是

$$\begin{aligned}
T_b = e^{-(\tau_1 + \tau_2 + \tau_3) \sec \theta} & \left\{ T_{b\odot} \delta(\theta - \theta_0) + \right. \\
& + \int_0^{\tau_1 \sec \theta} T_{bB1} e^{r_1} d\gamma_1 + \int_{\tau_1 \sec \theta}^{(\tau_1 + \tau_2) \sec \theta} [\beta T_{bB2} + (1 - \beta) T_{bJ}] \cdot \\
& \cdot e^{r_2} d\gamma_2 + \int_{(\tau_1 + \tau_2) \sec \theta}^{(\tau_1 + \tau_2 + \tau_3) \sec \theta} T_{bB3} e^{r_3} d\gamma_3 \left. \right\} \quad (4)
\end{aligned}$$

式中 \$\beta_2\$ 和 \$T_{bJ2}\$ 的下标 “2” 都已去掉不写。

(4) 式中方括号内的四项积分实际上都是非常困难的，现用某种平均值来代替。令

$$\left. \begin{aligned}
\overline{T_{bB1}} &= \frac{\int_0^{\tau_1 \sec \theta} T_{bB1} e^{r_1} d\gamma_1}{e^{\tau_1 \sec \theta} - 1} \\
\beta \overline{T_{bB2}} &= \frac{\int_{\tau_1 \sec \theta}^{(\tau_1 + \tau_2) \sec \theta} \beta T_{bB2} e^{r_2} d\gamma_2}{e^{(\tau_1 + \tau_2) \sec \theta} - e^{\tau_1 \sec \theta}} \\
(1 - \beta) \overline{T_{bJ}} &= \frac{\int_{\tau_1 \sec \theta}^{(\tau_1 + \tau_2) \sec \theta} (1 - \beta) T_{bJ} e^{r_2} d\gamma_2}{e^{(\tau_1 + \tau_2) \sec \theta} - e^{\tau_1 \sec \theta}} \\
\overline{T_{bB3}} &= \frac{\int_{(\tau_1 + \tau_2) \sec \theta}^{(\tau_1 + \tau_2 + \tau_3) \sec \theta} T_{bB3} e^{r_3} d\gamma_3}{e^{(\tau_1 + \tau_2 + \tau_3) \sec \theta} - e^{(\tau_1 + \tau_2) \sec \theta}}
\end{aligned} \right\} \quad (5)$$

τ_2 实际上是云层在垂直方向的总衰减, 可写为 $\Gamma_{\text{云}}$, 而 $(\tau_1 + \tau_3)$ 则是天顶方向的大气总吸收 Γ_0 , 因此,

$$\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = \Gamma_0 + \Gamma_{\text{云}} \quad (6)$$

于是 (4) 式化为:

$$\begin{aligned} T_b = & T_{b\odot} \delta (\theta - \theta_0) e^{-(\Gamma_0 + \Gamma_{\text{云}}) \sec \theta} + \\ & + \overline{T_{bB1}} e^{-(\Gamma_0 + \Gamma_{\text{云}}) \sec \theta} (e^{\tau_1 \sec \theta} - 1) \\ & + [\beta \overline{T_{bB2}} + (1 - \beta) \overline{T_{bJ}}] e^{-\tau_3 \sec \theta} [1 - e^{-\Gamma_{\text{云}} \sec \theta}] + \\ & + \overline{T_{bB3}} (1 - e^{-\tau_3 \sec \theta}) \end{aligned} \quad (7)$$

现在分别来讨论 (7) 式中的各项:

i) $T_{b\odot} \delta (\theta - \theta_0) e^{-(\Gamma_0 + \Gamma_{\text{云}}) \sec \theta}$

这一项显然是经过大气和云层衰减后的太阳射电辐射。

ii) $\overline{T_{bB1}}$ 和 $\overline{T_{bB3}}$

这是上层大气和下层大气的平均辐射温度。

当不存在云层时, 即 $\Gamma_{\text{云}} = 0$ 时, (7) 式中第二项和第四项之和即是整个大气层的平均辐射温度 $T_{b\text{大气}}(\text{无云})$:

$$\begin{aligned} T_{b\text{大气}}(\text{无云}) = & \overline{T_{bB1}} e^{-\Gamma_0 \sec \theta} (e^{\tau_1 \sec \theta} - 1) + \\ & + \overline{T_{bB3}} (1 - e^{-\tau_3 \sec \theta}) \\ = & \overline{T_{bB}} (1 - e^{-\Gamma_0 \sec \theta}) \end{aligned} \quad (8)$$

式中 $\overline{T_{bB}}$ 是整个大气层中的 T_{bB} 的平均值, 其计算的方法可见文献 [6], 在微波波段, 约为几十 K 至 300 K 的量级^[1]。在有云层时, (7) 式中的相应两项之和当然要略高于此值, 但仍比 $T_{b\odot}$ 要低得多。

在实际观测的资料处理中, 含有 $\overline{T_{bB1}}$ 和 $\overline{T_{bB3}}$ 的项都可以消去, 因此可不具体分析或计算这两项的值。

iii) $[\beta \overline{T_{bB2}} + (1 - \beta) \overline{T_{bJ}}]$

这一项实际上是云层的某种平均辐射, 包括热辐射和散射辐射在内。其值的计算更加困难, 这里我们不作讨论, 因为在实际观测中, 在大部分情况下, 这一项也可以消去。

令

$$\overline{T_{b\text{云}}}' = \beta \overline{T_{bB2}} + (1 - \beta) \overline{T_{bJ2}} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} T_{b\text{大气}}(\text{有云}) = & \overline{T_{bB1}} e^{-(\Gamma_0 + \Gamma_{\text{云}}) \sec \theta} (e^{\tau_1 \sec \theta} - 1) + \\ & + \overline{T_{bB3}} (1 - e^{-\tau_3 \sec \theta}) \end{aligned} \quad (10)$$

于是 (7) 式可写为:

$$T_b = T_{b\odot} \delta(\theta - \theta_0) e^{-(\Gamma_0 + \Gamma_{\text{云}}) \sec \theta} + \overline{T_{b\text{大气}}(\text{有云})} + \overline{T_{b'\text{云}}} e^{-\tau_{\text{云}} \sec \theta} (1 - e^{-\Gamma_{\text{云}} \sec \theta}) \quad (11)$$

当不存在云层时

$$T_b = T_{b\odot} \delta(\theta - \theta_0) e^{-\Gamma_0 \sec \theta} + \overline{T_{b\text{大气}}(\text{无云})} \quad (12)$$

(11) 式和 (12) 式即是测量高云衰减和大气吸收的基本公式。

二、射电望远镜观测——天线温度和记录仪读数

当用射电望远镜观测某一射电源时, 所接收到的辐射相应的天线温度为:

$$T_A = \epsilon_M \overline{T_b}(\text{主瓣}) + (1 - \epsilon_M) \overline{T_b}(\text{旁瓣}) \quad (13)$$

式中 ϵ_M 为天线射束效率; $\overline{T_b}(\text{主瓣})$ 以及 $\overline{T_b}(\text{旁瓣})$ 分别是在主瓣方向内以及旁瓣和后瓣方向内辐射源的平均有效亮温度。

由 (11) — (13) 式, 我们可以得到在观测不同对象的射电辐射时所相应的天线温度。设太阳圆面上的亮温度分布均匀 (在毫米波段, 这一条件容易满足), 并且天线的主瓣宽度比太阳圆面的角径小得多 (只要天线的口径足够大), 则

(1) 当天线对准被云层遮盖的太阳观测时:

$$T_{A1} = \epsilon_M T_{b\odot} e^{-(\Gamma_0 + \Gamma_{\text{云}}) \sec \theta} + \epsilon_M \overline{T_{b\text{大气}}(\text{有云})} + \epsilon_M \overline{T_{b'\text{云}}} e^{-\tau_{\text{云}} \sec \theta} (1 - e^{-\Gamma_{\text{云}} \sec \theta}) + (1 - \epsilon_M) \overline{T_{b\text{旁}}} \quad (14)$$

(2) 当天线对准有云的天空背景观测时:

$$T_{A2} = \epsilon_M \overline{T_{b\text{大气}}(\text{有云})} + \epsilon_M \overline{T_{b'\text{云}}} e^{-\tau_{\text{云}} \sec \theta} [1 - e^{-\Gamma_{\text{云}} \sec \theta}] + (1 - \epsilon_M) \overline{T_{b\text{旁}}} \quad (15)$$

(3) 当天线对准无云遮盖的太阳观测时:

$$T_{A3} = \epsilon_M T_{b\odot} e^{-\Gamma_0 \sec \theta} + \epsilon_M \overline{T_{b\text{大气}}(\text{无云})} + (1 - \epsilon_M) \overline{T_{b\text{旁}}} \quad (16)$$

(4) 当天线对准无云的天空背景观测时:

$$T_{A4} = \epsilon_M \overline{T_{b\text{大气}}(\text{无云})} + (1 - \epsilon_M) \overline{T_{b\text{旁}}} \quad (17)$$

在短时间内分别观测两个不同对象的射电辐射，在记录仪上可以得到读数之差为

$$\begin{aligned} R_1 - R_2 &= L\eta (T_{A1} - T_{A2}) \\ &= L (T_{A1}' - T_{A2}') \end{aligned} \quad (18)$$

式中 R_1 和 R_2 分别为相应于 T_{A1} 和 T_{A2} 的记录仪读数， L 为仪器的温度标度常数， η 为天馈系统的传输效率。 T_{A1}' 和 T_{A2}' 为相应于 T_{A1} 和 T_{A2} 的有效天线温度，即噪声温度。

三、观 测 方 法

测量高云衰减的观测方法可以从 (14) — (18) 式得到：

I. 测量高云的衰减

(A) 如果太阳有时被云挡住，有时露出，则可先在短时间内分别观测有云时的太阳和天空背景，得到 T_{A1} 和 T_{A2} ，相应地由 (14) 式和 (15) 式得到记录读数之差：

$$\begin{aligned} R_1 - R_2 &= L\eta (T_{A1} - T_{A2}) \\ &= L\eta T_{\odot A} e^{-(\Gamma_0 + \Gamma_{\text{云}}) \sec \theta_1} \end{aligned} \quad (19)$$

式中 $T_{\odot A} = \epsilon_M T_{b\odot}$ 为相应于太阳辐射的天线温度。

然后在另一短时间内分别观测无云时的太阳和天空背景，得到 T_{A3} 和 T_{A4} ，相应地由 (13) 式和 (14) 式得：

$$R_3 - R_4 = L\eta T_{\odot A} e^{-\Gamma_0 \sec \theta_1} \quad (20)$$

(1) 如果这两组观测之间的间隔时间很短， L 、 Γ_0 和太阳的天顶距 θ 变化均可忽略，则高云的衰减值

$$\Gamma_{\text{云}} = -\cos \theta \ln \frac{R_1 - R_2}{R_3 - R_4} \quad (21)$$

(2) 如果两组观测之间的间隔时间稍长， L 、 Γ_0 虽未变，但 θ 已经变化，则

$$\Gamma_{\text{云}} = -\cos \theta_1 \ln \frac{R_1 - R_2}{R_3 - R_4} - \Gamma_0 \left(1 - \frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2}\right), \quad (22)$$

此时必须先知道 Γ_0 才能求出 $\Gamma_{\text{云}}$ 。

(3) 如果在观测期间 L 和 θ 都已变化，那就不能用读数 R 直接计算，而必须对每组观测分别定标，求出相应的有效天线温度 T_{A1}' 、 T_{A2}' ，以及 T_{A3}' 、 T_{A4}' ，则

$$\Gamma_{\text{云}} = \cos \theta_1 \ln \frac{T_{A1}' - T_{A2}'}{T_{A3}' - T_{A4}'} - \Gamma_0 \left(1 - \frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2}\right), \quad (23)$$

(4) 如果在观测期间不仅 L, θ 已经变化, 而且 $\Gamma_0, \Gamma_{\text{云}}$ 也已发生变化, 那末观测所得的误差颇大, 由 (23) 式算出的 $\Gamma_{\text{云}}$ 也只能作为参考了。

(B) 如果在很长时间内太阳方向始终被高云挡住, 则可在一系列的天顶距处测量 n 组有云遮盖时的太阳和天空背景, 并且每次测量都进行定标, 则由 (14) 和 (15) 式可得:

$$\ln (T_{A1}' - T_{A2}')_i = -(\Gamma_0 + \Gamma_{\text{云}}) \sec \theta_i + \ln \eta T_{\odot \Delta} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (24)$$

式中 i 为每一组观测的编号。只要太阳的辐射在观测期间不变化, 那 $\ln \eta T_{\odot \Delta}$ 就是常数。作 $\ln (T_{A1}' - T_{A2}')_i \sim \sec \theta_i$ 的图, 其直线的斜率即为 $(\Gamma_0 + \Gamma_{\text{云}})$, 如果已由其他方法测定了 Γ_0 , 那就可以得到 $\Gamma_{\text{云}}$ 了。

(C) 如果天空中有高云, 但始终未挡住太阳, 则可在同一天顶距处观测有云的和无云的天空背景, 由 (15) 和 (17) 式得:

$$T_{A2} - T_{A4} = \epsilon_M \overline{T_{b' \text{云}}} e^{-\Gamma_{\text{云}} \sec \theta} [1 - e^{-\Gamma_{\text{云}} \sec \theta}] + \epsilon_M \overline{T_{bB1}} e^{-\Gamma_0 \sec \theta} (e^{-\Gamma_{\text{云}} \sec \theta} - 1) (e^{\tau_1 \sec \theta} - 1) \quad (25)$$

显然由 (25) 式是几乎不可能由观测而得到 $\Gamma_{\text{云}}$ 的。但如果认为云层之上的大气吸收 τ_1 很小 (事实上, 在毫米波段 τ_1 只有 Γ_0 的 $1/5$ 左右或更小), $\Gamma_{\text{云}} \approx \Gamma_0$, 并且 $\Gamma_{\text{云}} \ll 1$ (7), (8), 因此 (25) 式中的第二项与第一项相比是一级小量, 可以略去, 于是得:

$$\Gamma_{\text{云}} = \left(\frac{R_2 - R_4}{L} \right) \left(\frac{\cos \theta}{\eta \epsilon_M \overline{T_{b' \text{云}}}} \right) e^{\Gamma_0 \sec \theta} \quad (26)$$

如果已经知道 Γ_0 和 $[\eta \epsilon_M \overline{T_{b' \text{云}}}]$, 就可以求出 $\Gamma_{\text{云}}$ 了。 $\eta \epsilon_M$ 可由用同时观测不同天顶距处的太阳辐射及大气辐射来测定大气吸收的方法定出, 但 $\overline{T_{b' \text{云}}}$ 却并不知道。而且对于不同的高云来说, $\overline{T_{b' \text{云}}}$ 是不同的。因此严格来说, 用这种方法不能定出 $\Gamma_{\text{云}}$ 。但如果我们假定 $[\eta \epsilon_M \overline{T_{b' \text{云}}}]$ 为常数, 或者说, 认为对于不同的高云其变化很小, 则可以先用上述的 (A) 法, 当云层时遮时露太阳时测定 $\Gamma_{\text{云}}$; 再用测量大气吸收的方法来测定 Γ_0 , 于是即可利用 (26) 式倒过来求出 $[\eta \epsilon_M \overline{T_{b' \text{云}}}]$ 的值 (各次求出的值可能不一致, 可取多次观测值的平均)。以后即可利用只观测高云辐射的方法, 根据 (26) 式来定出某一高云的 $\Gamma_{\text{云}}$ 了。但是, 显然这种方法的精度不高, 只能估计出 $\Gamma_{\text{云}}$ 的大致范围。

I. 大气吸收的测量

在上述几种测量 $\Gamma_{\text{云}}$ 的方法中, 有些需要同时测定大气吸收 Γ_0 的值才能得到 $\Gamma_{\text{云}}$ 。 Γ_0 的测量可利用 (11) 式进行, 基本方法有两种: 一种是观测太阳的辐射随天顶距的变化, 一种是观测大气的辐射随天顶距的变化。这是两种常规的观测方法, 这里就不作讨论了。

四、讨 论

I. 各种方法的比较

由于高云出现的情况在各个不同的地区, 各个不同的季节都有变化, 因此上节中所述的测量高云衰减的几种方法, 可以在各个不同的天气条件下使用。例如在南京地区的秋天, 高云单独出现的机会较多, 其时遮时露太阳的机会也不少, 这就有可能用简便易行的 A—(1) 法来测量。而如在青海的格尔木等地区, 有的季节单独出现高云的机会极多, 高云量在 7—8 以上。这时露出太阳的机会很少, 观测也许就得用 A—(2) 和 A—(3) 法来补充。又如在南京的夏天, 高云出现的机会虽不少, 但单独出现高云 (不伴随中云和低云) 的机会却不多, 而高云单独时露时遮太阳的机会则更少, 这时就得用 (C) 法来测量了。

上述各种测量方法, 有的简便易行, 精度较高, 有的则颇为繁杂, 精度也低。在此, 我们把各种方法的观测条件, 对于仪器的要求以及测量精度等作一比较, 详见表 I:

表 I 各种观测方法比较

项 目	观 测 方 法			观测 条件	要 否 测 Γ_0	要 否 定 标		对 仪 器 要 求				精 度
	编 号	云 情	对 象			测太阳 大信号	测背景 小信号	稳 定 性	灵 敏 度	动 态 范 围	线 性	
高 云 衰 减	(A)	云 时 遮 时 露 太阳	太 阳 (1)	θ, L 不 变	×	×	×	中	中	大	高	高
			(2)	θ 变 化	✓	✓	×	高	中	大	高	次
			(3)	L 变 化	✓	✓	×	高	中	大	高	次
	(B)	云遮太阳	太 阳		✓	✓	×	高	中	大	高	次
	(C)	云不遮太阳	云		✓	×	✓	中	高	小	高	差
大 气	(1)	测 太 阳 辐 射			✓	✓	×	高	中	大	高	高
吸 收	(2)	测 大 气 辐 射			✓	×	✓	中	高	小	高	次

说明: 表中✓表示“要”, ×表示“否”。

由表 I 可以看到, 在 A—(1) 法的观测条件中, 由于太阳的天顶距 θ 和接收机增益都不变, 因此观测时既不需要定标, 也不需测定大气吸收, 对仪器的灵敏度, 稳定性的要求也不高, 而测量的精度却是最高。在另外一些观测方法中, 都需测定大气吸收 Γ_0 。在毫米波段, Γ_0 的值比高云的 $\Gamma_{\text{云}}$ 高一个量级左右, 如果 Γ_0 的测量误差或者本身的起伏较大, 超过 $\Gamma_{\text{云}}$ 的值, 那末 $\Gamma_{\text{云}}$ 的误差就很严重。使用观测云辐射的方法来测定 $\Gamma_{\text{云}}$, 则是最差的方法, 只能在万不得已的情况下使用。

在测量高云衰减的同时再测量大气吸收 Γ_0 , 是一项颇为麻烦的工作。为了减少资料归算时的计算工作, 在气象条件有利的情况下, 我们可以用一种对 A—(2) 及 (B) 法进行改进

的方法：在各个不同天顶距处不断地观测有云遮盖时以及无云遮盖时的太阳和附近的天空背景，然后分别作 $((T_1' - T_2') \sim \sec \theta)$ 以及 $((T_3' - T_4') \sim \sec \theta)$ 的斜线，后者的斜率即是 Γ_0 ，而两条斜线上相同 $\sec \theta$ 的处之纵坐标之差即是 $(\Gamma_{\text{云}} \sec \theta)$ 的值，由此即可得到 $\Gamma_{\text{云}}$ 的值了。在实测时，每一块高云的衰减不一定相同，得到的 $(R_1 - R_2) \sim \sec \theta$ 斜线将是弥散的，这一弥散的程度，除了观测的误差之外，也与 Γ_0 、 $\Gamma_{\text{云}}$ 的起伏之大小有关。

Ⅰ. 对观测仪器的要求

在毫米波段上，高云的衰减可能比中云和低云小得多⁽⁶⁾，根据 Texas 大学普朗克研究中心于 1971—1973 年期间的实测，在 35 GHz 频率上，中云和低云对射电波的衰减为 0.1—0.2 db，而在 95 GHz 频率上为 0.3—0.6 db；只有积雨云的吸收特别大，在这两个频率上分别为 0.3—0.4 db 以及 2.1 db 左右。1981 年 11—12 月期间，我们用射电望远镜在紫金山天文台也进行了实测，得到在 95 GHz 频率上，垂直方向的高云衰减 $\Gamma_{\text{云}}$ 的值为 0.01—0.05 db⁽⁷⁾。

因此如果高云的衰减在毫米波段 ≤ 0.1 db，那末即使用观测太阳的方法来测量，对于射电仪的要求还是相当高的。接收机的增益漂移每小时应小于 0.5%，非线性程度应小于 1%，而天线旁瓣影响——当天线指向不同天顶距观测时，进入旁瓣的环境辐射的变化也应小于 1%。如果高云的衰减更小，则对仪器的要求就得更高。

Ⅲ. 观测方法的应用范围

第三节中所述的各种测量方法，在厘米波段也同样适用。事实上在推导基本公式 (11) 和 (12) 时，对于各种波长的射电辐射，其形式都是相同的。并且在厘米波段，由于云的散射作用可以忽略，因而散射项一开始就可以在辐射转移方程中舍去，于是 $\beta=1$ ，方程解的结果也就简单一些，但得到的最后结果还是一样的。

以上的测量方法，除了 (C) 法以外，对于测量中云和低云的吸收，也同样适用，实际上由于在各个不同地区，不同季节时中云和低云经常能出现，其时遮时露太阳的机会也较多，因此只要用 (A) — (1) 法测量就可以了。

* * * *

本工作曾得到熊大润、黄福泉、韩付和吴洪敦等同志的有益帮助，在此深表感谢。

参 考 文 献

- (1) Meeks, M. L. "Methods of Experimental Physics", 12, (1976), ASTROPHYSICS, Part B, "Radio Telescopes", 142-176.
- (2) Shimabucuru, F. I et al., IEEE Trans. AP-18, (1970), 485.
- (3) Johnson, W. A. et al., IEEE Trans. AP-18, (1970), 512.
- (4) 《气象简说》编写组：《气象简说》，p.95.
- (5) Lai-Iun Lo, et al, IEEE Trans. AP-23, (1975), 782.
- (6) 姚金兴、徐志材、吴洪敦，科研工作报导，1976 (1), 72.

- (7) 肖汉流、刘炎、周玉兰、周纯剑,《武汉大学学报》(自然科学版), 1, (1983), 28.
- (8) 《电波与天线》, 1972年第1期, 徐更生译自: "Propagation Factors in Space Communications" AGARD 1967.

ON THE METHOD OF THE MEASUREMENT OF ATTENUATIONS OF RADIO WAVES AT MM-WAVELENGTHS BY HIGH CLOUDS

Liu Yan Xiao Han-liu

ABSTRACT

The principle and method of the measurement of radio emission attenuations by high clouds are discussed in this paper. The attenuations are determined from observing sun as the extra-terrestrial source.

青岛观象台小行星照相定位观测

(1965年1月—6月)

周兴海 孙寿甦

这里发表的小行星照相位置是紫金山天文台青岛观象台于1965年上半年得到的观测结果。此项观测系从1960年开始的,但1966年以后一度中断,现拟恢复。1965年以前的结果前已陆续发表,刊登在天文学报副刊上,自1965年以后的资料正在进行整理,并拟将整理的结果陆续发表。

观测所用的望远镜为口径32厘米的标准天体照相机,焦距等于3.58米。每张底片的大小为 16×16 厘米,露光两次:第一次为20分钟;第二次约8—10分钟。两次露光间隔1分钟,并在赤纬方向移动1毫米。所测星象系第二次短露光星象。参考星一般有三颗,位置取自yale星表。

观测者为周兴海、孙寿甦和王积善,在下表的观测者栏中,分别用(周)、(孙)和(王)表示。表中的0—C栏系观测值和小行星星历表中的计算值之差,其余各栏自明。