

用冷空作为定标基准测天线增益*

袁 惠 仁
(南 京 大 学)

提 要

本文介绍用天线指向冷空时的天线噪声温度 T_{AN} 作为定标基准,并以射电源为信标,测量天线剩余噪声温度 T_{as} 的基本原理和方法. 与用冷、热负载为定标基准测量 T_{as} 相比,两者测量结果基本吻合;但该方法具有测量方法简便和测量设备简单等优点. T_{as} 的测量误差约为 $\pm 3\%$. 天线增益测量精度可保持在 ± 0.3 dB 左右.

一、引言

用射电天文法测量天线增益时,天线增益基本表达式为^[1,2,3]

$$G = 8\pi k T_{as} K_1 K_2 / S \lambda^2, \quad (1)$$

或

$$G = 4 T_{as} K_1 K_2 / \phi^2 T_B,$$

式中, S 为射电源流量密度, λ 为波长, ϕ 为距离因子, T_B 为射电源的亮度温度, K_1 为大气吸收修正因子^[4], K_2 为射电源角扩展修正因子^[5], T_{as} 为天线剩余噪声温度.

S 、 λ 、 ϕ 和 T_B 为已知, K_1 和 K_2 可用测量也可用经验公式求得, 而 T_{as} 只能用测量求得. 本文介绍用被测天线指向冷空时的天线温度 T_{AN} 作为定标基准测 T_{as} , 它和用冷、热负载 T_L 、 T_H 或用喇叭指向天顶处的噪声温度 T_Z 作为定标基准测 T_{as} 相比, 优点是测量方法和测量设备都比较简单, 更具有实用性. 缺点是测量精度有所下降. 对 9 架不同类型天线用该法测量了 T_{as} 值, 与用 T_L 、 T_H 和 T_Z 为定标基准的结果相比, 两者最大偏离约 2.8%.

二、 T_{AN} 的基本表达式

天线温度 T_A :

$$T_A = \frac{1}{4\pi} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} T(\theta, \varphi) G(\theta, \varphi) \sin\theta d\theta d\varphi, \quad (2)$$

式中, $T(\theta, \varphi)$ 为辐射温度, $G(\theta, \varphi)$ 为天线增益, (2)式可简化为:

$$T_A = T_N(1 - \beta_m) + T_{SB}\beta_B + \frac{1}{2} T_S G_B + \frac{1}{2} T_g G_B + \frac{1}{2} T_{Sg} G_B, \quad (3)$$

$$T_N = e^{-\tau_0} T_C + (1 - e^{-\tau_0}) \bar{T}_{atm},$$

$$T_{SB} \approx T_N,$$

$$(1 - \beta_m) = \frac{1}{4\pi} \int_0^{\theta_1} \int_0^{2\pi} G(\theta, \varphi) \sin\theta d\theta d\varphi,$$

$$\beta_B = \frac{1}{4\pi} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \int_0^{2\pi} G(\theta, \varphi) \sin\theta d\theta d\varphi,$$

式中, θ_1, θ_2 分别表示第一、第二零点, T_N 为主瓣内的平均冷空温度, T_{SB} 为第一副瓣内平均冷空温度, T_0 为车顶处大气总吸收, T_C 为宇宙辐射温度, \bar{T}_{arm} 为大气平均温度, G_B 为平均副瓣增益, T_S 为由副瓣进入天线的冷空辐射温度, T_g 为进入天线的地面辐射温度, T_{sg} 为经地面反射进入天线的冷空辐射温度。

由(3)式可得天线输出端的天线噪声温度 T_{AN} 为

$$T_{AN} = \eta_A T_A + (1 - \eta_A) \bar{T}_0, \tag{4}$$

式中, η_A 为天馈损耗, \bar{T}_0 为平均室温。

三、测量

以冷、热负载 T_L, T_H 或用喇叭指向天顶处的噪声温度 T_Z 为定标基准, 用迪克型辐射计测量 T_{as} 的方框图如图 1(a) 所示。以射电源为信标测得天线温度的漂移曲线和定标曲线如图 1(b) 所示。

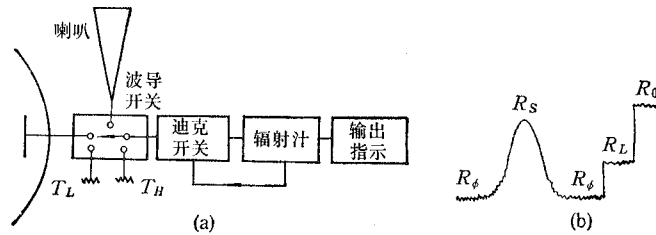


图 1 (a) 以 T_L, T_H 和 T_Z 测 T_{as} 的方框图
(b) 漂移曲线和定标曲线

辐射计工作于线性, 则 T_{as} 为

$$T_{as} = \Delta T_C (R_\phi - R_S) / \Delta R, \tag{5}$$

$$\Delta T_C = (T_0 - T_L) \text{ 或 } (T_0 - T_Z) \text{ 或 } (T_H - T_0),$$

式中, ΔT_C 为定标基准, T_0 为室温, ΔR 为辐射计输入 ΔT_C 时输出读数的增量, R_ϕ, R_S 分别为天线指向冷空和对准射电源时的输出读数。

已知 ΔT_C , 可由(5)式求得 T_{as} , 对各天线的 T_{as} 测量值列于表 1。

以被测天线指向冷空的噪声温度 T_{AN} 和 T_0 为定标基准测量剩余噪声温度 T'_{as} 的方框图如图 2(a) 所示, 图 2(b) 为漂移曲线和定标曲线, 与图 1 相比, 波导开关和冷热负载都可省去, 只要在天线输出端和辐射计输入端之间插入一个可变衰减器, 不仅可使测量操作方便, 测量设备简单, 而且可使测量系统的匹配得到改善。

同理, 此时天线剩余噪声温度 T'_{as} 为

$$T'_{as} = \Delta T_C (R_\phi - R_S) / \Delta R, \tag{6}$$

$$\Delta T_C = T_0 - T_{AN}.$$

对各被测天线, 由(6)式求得的 T'_{as} 测量值如表 1 所示。

表 1 以不同定标基准测得的 T_{as} 和 G

D (m)	f (GHz)	η_A (dB)	\bar{T}_0 (K)	T_L, T_H, T_Z (K)	σ ①	$\frac{1}{2} T_g^{LH}$ (K)	$\frac{1}{2} T_g^{(8)}$ (K)	T_A (K)	T_{AN} (K)	T_{ANM} $E = 20^\circ - 70^\circ$ (K)	T_{as} ② 由(5)式 (K)	T_{as} ② 由(6)式 (K)	$\frac{2(T_{as} - T_{as}')}{(T_{as} + T_{as}')}$ (%)	G ② 由 T_{as} 得 (dB)	G ② 由 T_{as}' 得 (dB)	作为信标的射电源
5	4	0.2	291	83	30	44	2.8	9	21.5	42—22	32.44	32.13	1	44.78±0.22	44.74±0.23	月亮
2	12	0.2	302	79	80	29	3.5	10	23	34—20	32.95	33.53	1.7	45.62±0.3	45.70±0.33	月亮
1.8	12	0.2	300	79	30	44	3	12	24.7	46—21	36.25	36.10	0.4	45.47±0.3	45.46±0.32	月亮
10	1.42	0.39	297	372	80	29	2	7	32	40—34	34.01	33.90	0.3	41.03±0.19	41.02±0.22	仙后座 A
1.8	8	0.2	291	79	30	44	3	10	22.5	46—33	18.85	18.50	1.9	41.82±0.3	41.74±0.32	月亮
2.97	12	0.2	296	80	80	29	3.5	10	23	38—20	80.90	80.81	0.1	49.88±0.26	49.88±0.27	月亮
3	12	0.52	294	79	4	91	1.5	16	47	59—50	71.40	73.84	1.8	49.92±0.21	50.01±0.23	月亮
2.5	12	0.2	290	7	80	29	3.5	10	22.5	36—24	52.73	52.55	0.3	47.96±0.2	47.95±0.21	月亮
2.5	12	0.2	290	28	80	29	3.5	10	22.5	36—24	54.30	52.78	2.8	48.11±0.23	47.98±0.25	月亮

注 ① 为地面介电常数
② 多次测量平均值

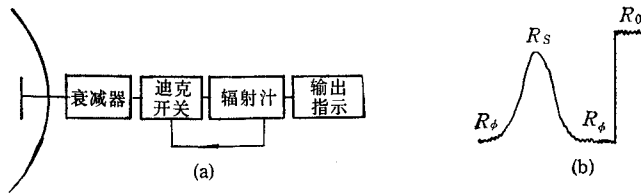


图 2 (a) 以 T_{AN} 和 T_0 为定标基准测 T'_{as} 方框图
(b) 漂移曲线和定标曲线

四、结束语

(1) 对九架不同类型天线分别用 T_L 、 T_H 、 T_Z 和 T_{AN} 为定标基准对 T_{as} 或 T'_{as} 进行了测量, 结果表明, T_{as} 和 T'_{as} 两者基本一致。天线口径、工作频率、天馈损耗、 T_{AN} 和 T_A 等参数都一一列于表 1。以 T_L 或 T_H 为定标基准, 在仰角 $E = 20^\circ - 70^\circ$ 间所测得的 T_{AN_M} 也列于表 1, 实测值和计算值两者也相吻合。

计算值 T_{AN} 的误差为 10—20%^[7], 此时定标基准 ($T_0 - T_{AN}$) 的最差相对精度为 $\Delta(\Delta T_C)/\Delta T_C \approx \pm 2\%$, 比用 T_L 、 T_H 和 T_Z 为定标基准时所测得的精度 ($\Delta(\Delta T_C)/\Delta T_C \approx \pm 1\%$) 有所下降。用 T_{AN} 为定标基准测量天线增益时, 其精度可保持在 ± 0.3 dB 左右。

(2) T_{AN} 作为定标基准时, 不受工作频率的限制, 并可避免在使用波导开关时所带来的不对称性误差。特别应指出的是这种方法可以避免因使用冷却剂所带来的麻烦, 为在边远地区进行天线增益测量提供了方便。

(3) 与冷空辐射相比, 银河中心方向的辐射特别强而且不均匀^[10], 测量时天线指向应偏离它。

彭云楼、薛吟章、魏双林、陈奇波、刘宗祝、邱家恒、林金庭、尚琼珍、张学健、王华栋和程文正等同志参加部分测量工作, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 袁惠仁、彭云楼、薛吟章、周凤安, 现代雷达, 2(1980), 117.
- [2] 袁惠仁、彭云楼、薛吟章, 通信学报, 1(1981), 56.
- [3] 袁惠仁、彭云楼、薛吟章、陈奇波、刘宗祝、杨庆仁, 通信学报, 3(1983), 45.
- [4] 袁惠仁、彭云楼、薛吟章、魏双林、周凤安, 应用科学学报, 3(1985), 249.
- [5] 袁惠仁、彭云楼、薛吟章, 天线测量技术, 中国电子学会论文集, 1984, 145.
- [6] A. A. Penzias and R. W. Wilson, *Astrophys. J.*, 142(1965), 419.
- [7] J. W. Findly, *Ann. Rev. Astrophys.*, 4(1966), 77.
- [8] D. L. Croom, *Proc. IEE*, 111(1964), 967.
- [9] R. Weiss, *Ann. Rev. Astrophys.*, 18(1980), 489.
- [10] 尚琼珍、胡汉明、李维华、龚元芳、袁惠仁, 云南天文台台刊, 1(1986), 142.

MEASUREMENT OF ANTENNA GAIN USING BACKGROUND TEMPERATURE OF SKY AS STANDARD OF CALIBRATION

Yuan Hui ren

(*Nanjing University*)

The basic principle and method of measuring the antenna excess noise temperature T_{as} by using the radio stars as calibration are presented in this paper. In this method, the antenna noise temperature T_{AN} is used as a standard of calibration when the antenna points at sky. It was found that the results of measurement using this method agree with that obtained by using liquid nitrogen at low and normal ambient temperature as standard of calibration. The method has advantage of more simplicity of the measurement and equipment. The total error of antenna excess noise temperature obtained by this method could be estimated to be $\pm 3\%$. The error of antenna gain measured is about ± 0.3 dB.