

# 天线立体方向性图的测量

袁惠仁 葛文建

(南京大学电子科学与工程系 南京 210093)

**摘要** 本文叙述了以太阳为信标,用射电天文法测量天线立体方向性图的基本原理和方法。该测量方法用总功率辐射计作为接收系统,用计算机作为终端数据采集和归算系统。它能实时、快速处理,得到天线立体方向性图。被测天线口面直径为20m,波长为17.8cm,可测旁瓣电平约为-41dB,精度约为±0.6dB。

**关键词** 立体方向性图,射电天文,辐射计

## 1 前言

用射电天文法测量方向性图除满足远场条件,而且不受工作频率限制外,更主要的是不受天线仰角的限制和地面环境的影响<sup>[1]</sup>,因此用该法测量天线远旁瓣特性是很有价值的。另外天线置于几乎在水平位置上测得的方向性图,即天线静态方向性图与天线实际使用状态时( $h \neq 0$ )的方向性图,即天线动态方向性图之间是有差异的。这种差异与天线的仰角和天线的口径大小有关,天线的口径越大这种差异就越大。无疑射电天文法可以测出天线的动态方向性图。用计算机实施实时数据采集和处理,可以实现快速实时测得天线立体方向性图。这样做既完善了测量手段又提高了测量精度。

## 2 测量系统

测量系统由接收和数据采集、处理两部分组成。测量系统方框图如图1所示。

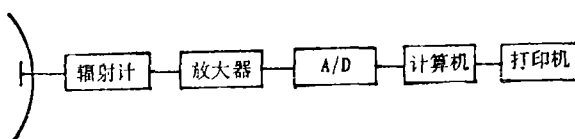


图1 测量系统方框图

接收部分采用总功率辐射计。辐射计的极限灵敏度  $\Delta T_{a,\min}$  用下式表示:

$$\Delta T_{a,\min} = MT_{1,\gamma} / \sqrt{\Delta f \tau}, \quad (1)$$

式中  $T_{1,\gamma} = T_a/L + (1 - 1/L)T_0 + T_R$ ,  $T_a$  为天线噪声温度,  $L$  为天馈损耗,  $T_R$  为本机噪声温度,  $\Delta f$  为带宽,  $\tau$  为积分时间,  $M$  为常数。

将  $T_a = 30\text{K}$ ,  $L = 0.7\text{dB}$ ,  $T_R = 30\text{K}$ ,  $\Delta f = 20\text{MHz}$ ,  $\tau = 1\text{s}$ ,  $M = 1$  代入(1)

1994-04-04 收到, 1994-06-27 定稿

袁惠仁 男, 1935年生, 教授级高工, 从事天线和微弱信号检测的研究工作。

葛文建 男, 1957年生, 讲师, 从事图像和信息处理的研究工作, 目前在海外从事研究工作。

式得  $\Delta T_{\min} \approx 0.02\text{K}$ 。

A/D 允许输入电压范围为  $+10\text{V} \sim -10\text{V}$ 。为了充分利用动态范围,保证数据的准确采集,该系统设计了一个低噪声,高增益和高稳定度的放大器。并对数据实施重复采样。

### 3 测量方法和结果

为了使测量处于线性区<sup>[4]</sup>和提高旁瓣电平的测量分辨率,采用了主瓣区和旁瓣区分段测量的方法。在上述测量区域内,计算机可实时识别检测信号幅度的大小,对过大信号和过小信号给予提示,以改变衰减量。

**3.1 修正** (1) 天线对太阳作相对运动的修正。天线对太阳的相对角速度

$$V = V_A \pm 15'' \cos \delta, \quad (2)$$

式中  $V_A$  为天线角速度,  $\delta$  为太阳赤纬。

偏离电轴极大值的电轴角

$$\theta = (V_A \pm 15'' \cos \delta)t, \quad (3)$$

(2) 电轴角的修正。偏离电轴极大值的实际角度

$$\theta_H = 2 \sin^{-1}[\sin(\theta/2) \cos h], \quad (4)$$

式中  $h$  为天线仰角。

**3.2 处理** 在测量到立体方向性图中某一个完整的方向性图的信号数据后,用(3)和(4)式对此数据进行修正,并在间断点处利用多项式插值法进行插值,最后通过归一化处理成为一个完整的立体方向性图。

利用各个电轴角上所测量到的方向性图的数据,通过三维透视变换矩阵可得天线方向性图的三维显示。

三维坐标转换为二维平面坐标的表达式:

$$V_{2d} = PT_2R_YR_XR_ZT_1V_{3d}, \quad (5)$$

式中

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1/k & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad T_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -k \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$R_Y = \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & \sin \phi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \phi & 0 & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad R_X = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & \sin \phi & 0 \\ 0 & -\sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$R_Z = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad T_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -X \\ 0 & 1 & 0 & -Y \\ 0 & 0 & 1 & -Z \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

式中  $k$  为常量。

改变  $\theta$ ,  $\phi$  和  $\phi$  三个角度可获得方向性图在各个方向上的三维显示。被测天线为卡

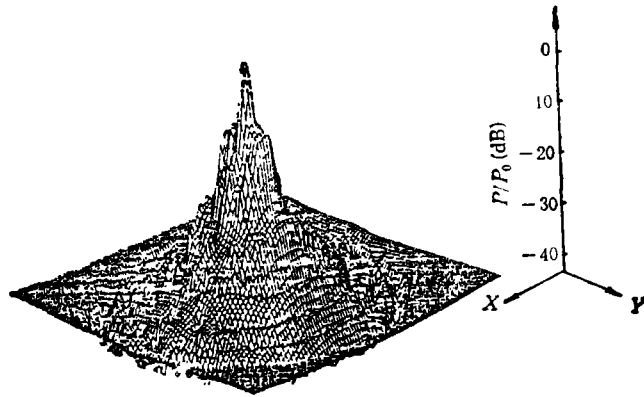


图2 天线立体方向性图

塞格伦轨式,  $D = 20\text{m}$ ,  $\lambda = 17.8\text{cm}$ . 显示的立体方向性图和其等值切线图如图2和图3所示.

由立体方向性图可以清楚地看到天线的旁瓣特性, 从该图上可方便地截取平面波瓣图. 运用交互式方法可得任意角度上的幅值.

测得的该天线的主瓣半功率点宽  $\theta_A$ 、第一旁瓣电平  $A_{11}$ 、以及该天线增益  $G$  的测量值、用场地法测得的相应参数和设计指标都列在表1中. 用射电天文法和场地法所测得的参数与设计值基本一致.

误差可用下式表达<sup>[4]</sup>

$$\sigma = \pm [(\Delta S/S)^2 + (\Delta T_{\text{amin}}/T_{\text{as}})^2 + (\Delta A/A)^2 + (\Delta G/G)^2 + (\Delta R/R)^2 + \Delta^2]^{1/2}, \quad (6)$$

式中  $\Delta S/S$  为太阳流量相对稳定度,  $\Delta T_{\text{amin}}/T_{\text{as}}$  为分辨率,  $\Delta A/A$  为衰减器精度,  $\Delta G/G$  为增益稳定度,  $\Delta R/R$  为读数误差,  $\Delta$  为非线性误差. 将  $\Delta S/S = \pm 5\%$ ,  $\Delta T_{\text{amin}}/T_{\text{as}} = \pm 8\%$ ,  $\Delta A/A = \pm 2\%$ ,  $\Delta G/G = \pm 2\%$ ,  $\Delta R/R = \pm 9\%$ ,  $\Delta = +2\%$  代入(6)式得  $\sigma = \pm 0.6\text{dB}$ .

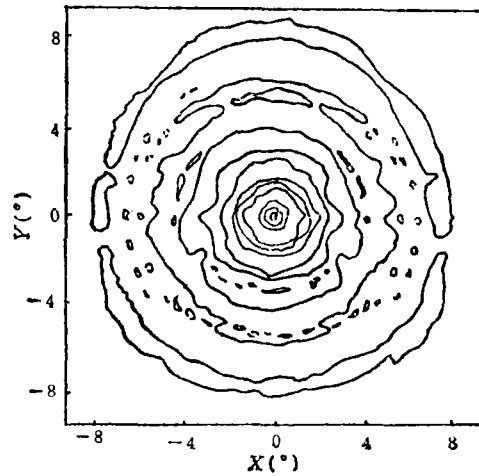


图3 天线立体方向性图的等值切线图

表 1

	$\theta_A(^{\circ})$	$A_{11}(\text{dB})$		$G(\text{dB})$
		H	V	
设计值 <sup>[3]</sup>	36	优于-15	优于-15	优于48.9
场地法 <sup>[3]</sup>	36	-17	-18	49.1
射电天文法 <sup>[4]</sup>	33	-17	-17	48.5

#### 4 讨论

(1) 用射电天文法测量天线方向性图时, 可以克服由于校标塔不可能造得很高的限制, 能完整地测得方向性图, 并能克服地面和环境的影响。

(2) 测量时间较长, 测量系统的稳定性和可靠性对测量结果是至关重要的<sup>[5]</sup>。

(3) 测量由计算机实施快速和实时自动化处理, 操作简单方便, 精度高。

#### 参 考 文 献

- [1] 袁惠仁. 通信学报, 1988, 9(6): 64—67.
- [2] 袁惠仁, 等著. 天线参数的射电天文测量. 北京: 电子工业出版社, 1987, 89—93.
- [3] 航天部 503 所, 国家卫星气象中心电子部 39 所. 2F CTS00-BG11 天馈分机测试结果. 1992—3, 1—35.
- [4] Yuan Huiren. 30m Antenna Parameters Measurement by Means of Radioastronomical Method Proc. of ISAE' 93, Nanjing: 1993, 172—175.
- [5] 袁惠仁, 等. 通信学报, 1983, 1(3): 56—60.

## MEASUREMENT OF ANTENNA THREE-DIMENSIONAL PATTERN

Yuan Huiren    Ge Wenjian

*(Department of Electronic Sciences & Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093)*

**Abstract**    The fundamental principles and techniques of radioastronomical method by using the sun in the measurement of antenna three-dimensional pattern are described. And a total radiometer is used for measurement system. Collection and calculation of the data are performed by the computer. The aperture and operating wavelength of the measured antenna are respectively 20m and 17.8cm. Measured level is estimated to be  $-41\text{dB}$ , and measured error is about  $\pm 0.6\text{dB}$ .

**Key words**    Three-dimensional pattern, Radioastronomical method, Radiometer