

相关法测天线远场二维方向图*

康连生 张喜镇 邱育海
(中国科学院北京天文台)

相关法测天线远场二维方向图的原理见文献 [1, 2]。本文介绍我们在 176MHz 和 232MHz 两个频率上,对北京天文台密云综合孔径射电望远镜天线 (MSRT 系统)^[3]进行的远场方向图测试情况。根据测试结果计算了天线方向性系数、有效面积、表面利用系数以及天线增益系数,并与通过傅里叶变换公式计算的天线方向图作了比较。

图 1 是实测系统方框图。被测天线 T_1 和参考天线 T_2 同时接收辐射源 S 的信息,然后经过前置放大器进入相关接收机进行相关处理。当 T_2 跟踪辐射源时, T_1 不动,则干涉条纹的外包络正比于被测天线的场强方向图。

用相关法测天线方向图有其优越性:(1) 可以提高系统测远旁瓣的灵敏度。(2) 可以较好地抑制干扰。(3) 可以提高天线测试的动态范围。

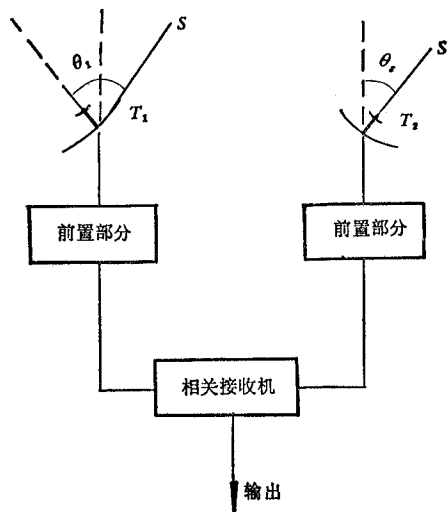
由文献 [1, 2] 可知,用相关法测天线方向图时,接收机输出端得到的信号功率 P_a 正比于天线增益系数,即:

$$P_a \propto K \cdot \sqrt{G_1(\theta_s - \theta_1)} \cdot \sqrt{G_{2\max}} \cdot S \cdot \beta \cdot \cos \varphi, \quad (1)$$

其中 K 为接收机常数, G_1 、 G_2 分别为被测天线和参考天线的增益系数, $(\theta_s - \theta_1)$ 为射电源方向与被测天线 T_1 指向间夹角。由于参考天线 T_2 始终跟踪射电源,所以取最大值 $G_{2\max}$ 。 S 为射电源辐射流量密度, β 为接收机带宽, φ 为两个天线的相位差。

当 $\cos \varphi = 1$ 时,输出功率正比于 $\sqrt{G_1(\theta_s - \theta_1)}$,即正比于被测天线场强方向图。用经典的飘移法^[4]测方向图的动态范围为 1:10,而用相关的动态范围则为 1:10²。

另外由于 $\cos \varphi$ 因子的存在,降低了干扰信号的影响。提高了天线方向图测试中的抗干扰能力。



* 1982年11月30日收到,1984年8月30日修改定稿。

与经典的辐射计飘移法测方向图相比较,相关法的灵敏度较高.因为存在下列关系:

$$\frac{(\text{SNR})_{\text{相关系统}}}{(\text{SNR})_{\text{辐射计}}} = \frac{2\sqrt{G_{2\text{max}}}}{\sqrt{G_1(\theta_s - \theta_i)}} \quad (2)$$

式中 $G_{2\text{max}}$ 是一个常量, $G_1(\theta_s - \theta_i)$ 是一个偏离天线主轴越远越小的量. 所以相关法测量天线远旁瓣的灵敏度高于飘移法.

相关法利用射电源作为辐射源,不仅完全满足远场要求,而且有射电源分布在相当宽的方位角上和仰角上,强度稳定,角径小等优点,见表 1. 也可以用“宁静太阳”作辐射源. 只要天线主瓣宽度远大于太阳视角径即可视为点源.

表 1 北天区强射电源表

		Cyg A(天鹅 A)	Cas A(仙后 A)	Taurus A(金牛 A)	Virgo A(室女 A)
α		19 ^h 58 ^m 21 ^s .9	23 ^h 21 ^m 59 ^s .2	05 ^h 32 ^m 35 ^s .1	12 ^h 29 ^m 12 ^s .6
δ		40°39.'0	58°39.'0	21°59.'2	12°34.'2
十年岁差	α	+0 ^m 339	+0 ^m 450	+0 ^m 6029	+0 ^m 5059
	δ	+1.'64	+3.'269	+0.'43	-3.'288

注: α 为射电源赤经, δ 为射电源赤纬,表中值均为 1968 年初始值.

由于我们是利用地球自转来“扫描”,因此除了赤纬 0° 上的天体,其它位置上的射电源扫过天线的轨迹都不在一个平面内,所以有必要将射电源的位置改正到测量平面内. 图 2 中, P 为北天极, OM 为天线指向, S 为射电源在天球上的位置(赤纬为 δ , 赤经为 α), MN 为天线被测平面在天球上的投影, S' 为改正后射电源位置, A 为时角.

在球面三角形 $\triangle PMS$ 中: $\widehat{PM} = \widehat{PS} = 90^\circ - \delta$. 根据球面三角公式导出:

$$\angle SM S' = 90^\circ - \text{arc ctg} \left(\sin \delta \cdot \text{tg} \frac{A}{2} \right) \quad (3)$$

$$\cos \widehat{MS} = \sin^2 \delta + \cos^2 \delta \cos A \quad (4)$$

为了获得天线的二维方向图,我们把测量所用的坐标定义在天线孔径平面内. 图 3

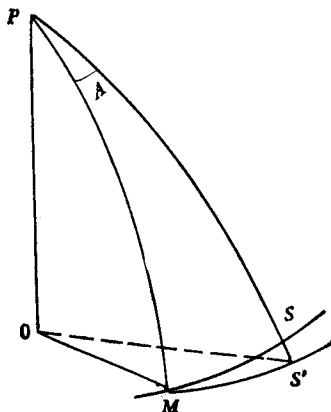


图 2 天球投影图

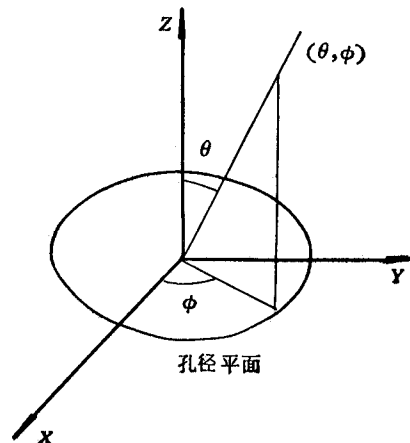


图 3 测量定义坐标

为测量所定义的坐标系，其中：

$$\theta = \widehat{MS} \approx MS' \quad (5)$$

$$\phi = \phi_0 + \Delta\phi_0 \quad (6)$$

$\Delta\phi_0$ 即是 $\angle SMS'$ ，也就是射电源位置改正值。 ϕ_0 即每次测量前馈源所在的角度。利用式(3)–(6)即可得到方向图上 $F^2(\theta, \phi)$ 实测值。

测量时将天线振子依次摆在八个不同 ϕ 值的方向上。每次测得一个一维方向图。再利用式(3)–(6)归算到二维图上，就得到了天线的远场二维方向图。

图 4 是我们测得的 9m 抛物面天线的远场二维方向图。所用频率为 176 MHz。我们利用春分点前后的太阳为辐射源 (δ 近于 0°) 因而改正量 $\Delta\phi$ 很小，有利于保证测量精度。

图中连线为负等分贝线。共有一千多个有效测量点。根据用 9m 抛物面天线实测的方向图，作数值积分进一步计算出天线的几个主要参数。

1. 天线方向性系数

$$D(O, O) = \frac{4\pi}{\iint_{4\pi} [F(\theta, \phi)]^2 d\Omega} \quad (7)$$

其中 $d\Omega$ 为立体角元。计算结果 176MHz 时方向性系数为 21dB；232MHz 时为 23.7dB。

2. 天线有效面积

$$A_0 = \frac{D(O, O)\lambda^2}{4\pi} \quad (8)$$

计算结果 176MHz 有效面积为 30m^2 ；232MHz 为 30.9m^2 。

3. 天线表面利用系数

$$\eta_a = \frac{D\lambda^2}{4\pi^2 R^2} \quad (9)$$

计算结果 176MHz 表面利用系数为 0.473；232MHz 为 0.490。

由于受天线机械条件的限制，我们用相关法只测到了离天线主轴正负 120° 范围内的值。但是已经清楚地测出了 -40dB 的旁瓣。

图 5 是根据实测馈源的照明分布，再利用傅里叶变换^[5]计算出的抛物面天线远场理论方向图与实测结果的比较。在主瓣范围内彼此接近。旁瓣电平的实测值略高于计算值。因为计算时采用的是理想抛物面天线。

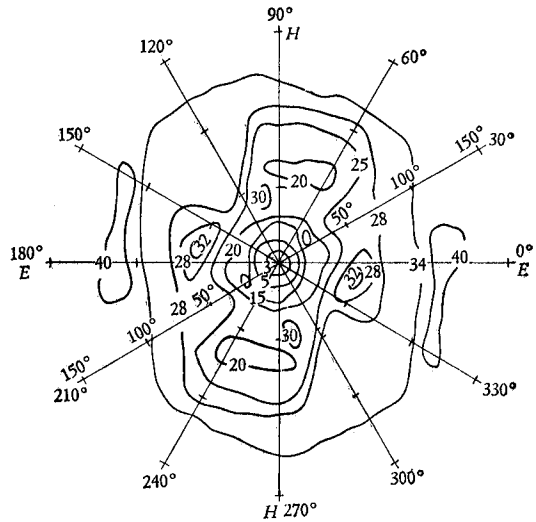


图 4 9m 抛物面二维方向图

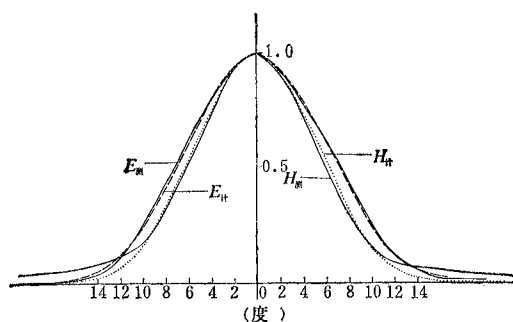


图5 根据实测的照明分布计算的抛物面天线方向图与实测图的比较

参 考 文 献

- [1] P. G. Smith, *IEEE Trans. on AP*, AP-14(1966), 6.
- [2] J. W. M. Baars. *IEEE Trans. on AP*, AP-21(1973), 461.
- [3] 王绥琯,北京天文台密云综合孔径设计方案(内部资料).
- [4] 林昌禄,国外电子技术,1978年,第11期,第55页.
- [5] W. N. Christiansen and J. A. Hoghom 著,陈建生译,射电望远镜,科学出版社,1977
- [6] H. T. Бова 讲,南京大学物理系天线教研组译,超高频天线,人民教育出版社,1959.

INTERFERENTIAL METHOD FOR TWO-DIMENSIONAL FAR-FIELD PATTERN MEASUREMENT

Kang Liansheng, Zhang Xizheng, Qiu Yuhai

(Beijing Observatory, Academia Sinica)

We presented the measurements of two-dimensional far-field pattern of antennas, which are going to be used in Miyun synthetic-aperture radio telescope. The patterns were measured by means of interferential method with the quiet sun. The measured results were compared with the calculated ones.