

五波束抛物环面天线¹

杜彪 杨可忠 钟顺时*

(电子工业部第 54 研究所 石家庄 050081)

*(上海大学电子工程系 上海 201800)

摘要 本文首先给出了抛物环面天线的辐射场公式, 然后利用给出的公式设计和研制出一个 90° 角域的五波束抛物环面天线, 并示出了该天线五个波束的测试方向图和中心波束的计算方向图, 计算值和测量值吻合很好。最后, 还介绍了中心波束和边缘波束的增益测量值。

关键词 多波束天线, 抛物环面天线, 单偏置天线

中图分类号 TN823

1 引言

近年来, 随着国民经济的发展, 通信业务量与日俱增, 许多系统、行业、城市乃至县镇都要建立自己的专用通信网和局部区域通信网, 主要用来传递自己的业务和情报等信息。在这些通信网中, 主要采用一点对多点通信, 这就要求各通信网的中央站天线能够产生多个波束。在过去的一点对多点通信中, 通常采用全向天线。然而, 它和多波束抛物环面天线相比, 有两大缺点, 一是价格上比较昂贵; 二是保密性和抗干扰性能较差。因此, 为了满足市场这一需求, 我们开发研制出五波束抛物环面天线。本文将介绍这一研究成果, 给出理论分析公式与计算和测试方向图, 经比较两图结果吻合得很好。

2 理论分析

抛物环面是一段抛物线绕与其共面且与焦轴成 $\pi/2 + \alpha$ 角的轴线旋转而成的曲面, 其焦点为一焦环, 如图 1 所示。在焦环上放置几个馈源, 就能形成相对应的几个波束。本文的设计实例是放置 5 个馈源, 即产生 5 个波束。

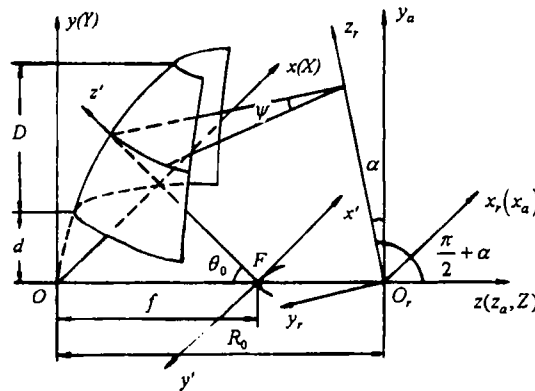


图 1 抛物环面天线的几何示意图

¹ 1997-11-14 收到, 1998-10-02 定稿

抛物环面天线的参数方程为^[1]

$$\left. \begin{aligned} x &= \rho \sin \psi, \\ y &= y_i - \rho \cos \psi \sin \alpha, \\ z &= z_i - \rho \cos \psi \cos \alpha, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中

$$\left. \begin{aligned} z_i &= R_0 \cos^2 \alpha - (y_m \cos \alpha - z_m \sin \alpha) \sin \alpha, \\ y_i &= (z_i - z_m) \operatorname{tg} \alpha + y_m, \\ \rho &= [(y_i - y_m)^2 + (z_i - z_m)^2]^{1/2}, \\ y_m^2 &= 4fz_m. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

利用物理光学法, 可导出抛物环面天线的辐射场公式, 其表达式如下^[1]:

$$\left. \begin{aligned} E_\Theta &= C(N_X \cos \Theta \cos \Phi + N_Y \cos \Theta \sin \Phi - N_Z \sin \Theta), \\ E_\Phi &= C(-N_X \sin \Phi + N_Y \cos \Phi), \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中

$$C = -je^{-jkR}/(\lambda R), \quad (4)$$

$$N_{\begin{matrix} X \\ Y \\ Z \end{matrix}} = \int_{y_{m1}}^{y_{m2}} \int_{-\psi_0}^{\psi_0} \frac{\rho}{r'^2} I_x e^{jk(x_p \sin \Theta \cos \Phi + y_p \sin \Theta \sin \Phi + z_p \cos \Theta - r')} dy_m d\psi, \quad (5)$$

其它各参数的表示式详见文献[1].

3 设计实例

天线的工作频段为 2.0~2.4GHz, 扫描范围为 90°, 波束个数 5 个, 要求增益为 23.5dB.

根据上述要求和上节给出的公式, 经反复计算和设计, 优化出天线的几何尺寸是^[2] $D = 0.8\text{m}$, $R_0 = 1.6\text{m}$, $f = 0.752\text{m}$, $d = 92\text{mm}$, $\alpha = 0^\circ$, $\theta_0 = 34.171^\circ$, $\psi_m = 114^\circ$.

图 2 给出了 $f = 2.2\text{GHz}$ 天线 5 个波束的测试方向图. 由图可知, 5 个波束的方向图基本一样, 第一旁瓣均小于 -19dB, 显示出良好的旁瓣特性.

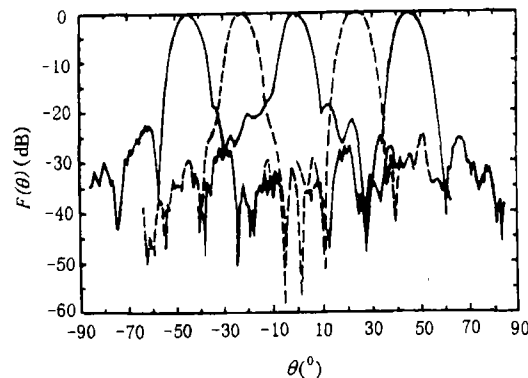


图 2 $f = 2.2\text{GHz}$ 天线 5 个波束的测试方向图

在 $f = 2.2\text{GHz}$ 频率上, 天线中心波束的理论计算方向图和测试方向图示于图 3。可见理论计算值和测量值吻合很好, 从而也证实了本文的理论分析、理论计算和设计的正确性。

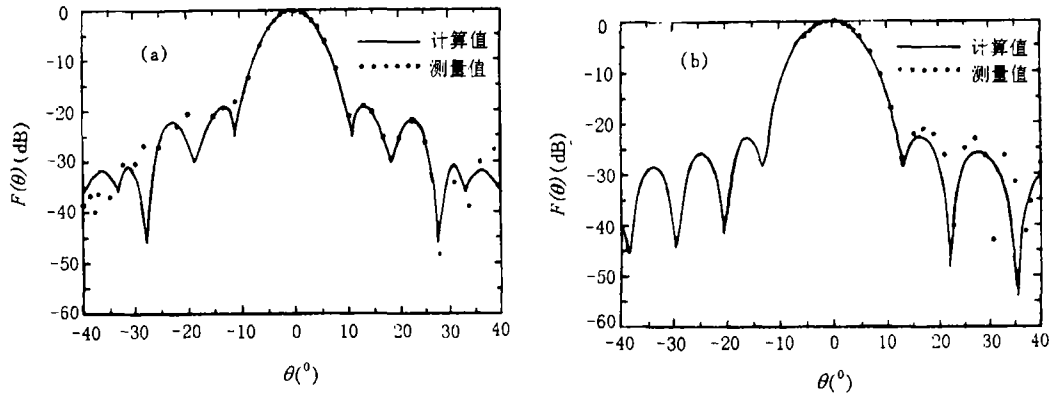


图 3 $f = 2.2\text{GHz}$ 天线中心波束的理论计算方向图和测试方向图
(a) $\Phi = 0^\circ$ 平面 (b) $\Phi = 90^\circ$ 平面

我们还利用比较法, 对 5 个波束的增益逐一进行了测试, 其中中心波束和边缘波束的测试结果见表 1。由表可知, 中心波束和边缘波束的增益基本相同, 其它波束的增益也基本一样。至此, 由方向图和增益的测试结果可得出, 5 个波束的辐射性能基本一样, 这就验证了抛物环面天线具有宽角扫描特性的优点。

表 1 天线中心波束和边缘波束的增益

| 频率 (GHz) | 增益 (dB) | |
|----------|---------|-------|
| | 中心波束 | 边缘波束 |
| 2.0 | 23.12 | 22.93 |
| 2.2 | 23.64 | 23.84 |
| 2.4 | 24.58 | 24.33 |

4 结 论

本文利用给出的辐射场公式, 优化设计出一个 90° 角域的五波束抛物环面天线, 并对该天线的 5 个波束进行了方向图和增益的测试。结果表明, 5 个波束方向图的形状和增益基本相同, 第一旁瓣均小于 -19dB , 且中心波束的理论计算方向图和测试值吻合很好。从而从理论和实验上验证了抛物环面天线的宽角扫描特性, 同时又证明了本文的理论分析和设计的正确性。

把 4 个这样的五波束抛物环面天线拼成圆阵, 即可在 360° 角域内 (全方位) 形成 20 个波束。它可广泛地用作蜂窝移动通信、局部网通信和一点对多点微波通信的中心站天线。

参 考 文 献

- [1] 杜 彪, 杨可忠, 钟顺时. 多波束抛物环面天线的理论分析. 中国科学 (A 辑), 1995, 25(12): 1323-1331.
- [2] 杜 彪. 多波束抛物环面天线的研究: [博士学位论文]. 上海: 上海大学, 1996.

FIVE-BEAM PARABOLIC TORUS REFLECTOR ANTENNA

Du Biao Yang Kezhong Zhong Shunshi*

*(The 54th Institute of Ministry of Electronic Industry, Shijiazhuang 050002)***(Department of Electronic Engineering, Shanghai University, Shanghai 201800)*

Abstract The radiation field formulas are given for a parabolic torus reflector antenna. A five-beam parabolic torus antenna with 90° azimuth coverage has been designed and developed. An experimental radiation pattern of these five beams and theoretical patterns of the central beam of the antenna are also given. Comparison between calculated and measured patterns shows they are in good agreement. Finally, the measured gain data for the central beam and the edge beam are presented.

Key words Multibeam antenna, Parabolic torus antenna, Single offset antenna

杜 彪: 男, 1962 年生, 博士, 高级工程师, 中国电子学会高级会员。现从事卫星通信地球站天线、微波天线和馈源系统的研究和工程设计。

杨可忠: 男, 1941 年生, 副总工程师、研究员, 中国电子学会高级会员。现从事卫星通信地球站天线、微波天线和馈源系统的研究和工程设计。

钟顺时: 男, 1939 年生, 教授, 博士生导师, IEEE 和中国电子学会高级会员。现从事电磁场与微波技术专业的教学和科研工作。