

14 311-2/5

位相连续变化型毫米波衍射天线的性能分析

TN 822.4

樊仲维 卢振武 廖江红

(中国科学院长春光学精密机械研究所应用光学国家重点实验室, 吉林, 长春, 130022)

张俊荣

(中国科学院长春地理所, 吉林, 长春, 130021)

陈芳允

(国防科工委, 北京, 100011)

摘要 报道了一种新型毫米波天线—衍射天线的测量结果. 经分析讨论说明, 这种天线具有良好的电性能.

关键词 毫米波, 衍射天线, 测量.

天线
位相型

引言

利用衍射光学技术, 设计制作的位相型 Fresnel 波带片, 具有厚度薄、重量轻和设计灵活等特点, 并具有较高的衍射效率. 近几年来, 这项技术在毫米波领域被用于天线设计, 并称这种天线为衍射天线. 但到目前为止, 仅限于采用位相离散量化为台阶状的 Fresnel 波带片型式, 一般只能做成 2 个台阶, 较好的做成 4 个台阶, 其衍射效率很低, 导致天线增益不高, 如工作在 94GHz、相对孔径为 1.6 的 2 个台阶的天线, 当边缘照射为 -10dB 时, 增益为 35dB^[1]; 工作在 12GHz、相对孔径为 1.5 的 4 个台阶的天线, 当边缘照射为 -10.8dB 时, 增益不超过 35dB^[2]. 为克服台阶状的 Fresnel 波带片衍射效率低的弱点, 我们设计了位相连续变化型式的衍射天线, 并制作了一个反射型的样机. 在理论上, 这种天线具有与理想的抛物面天线相当接近的衍射效率. 对样机实测表明, 它具有较高的增益和其它良好的电性能.

1 天线系统参数

衍射天线反射型样机的具体设计参数为: 设计频率 $\nu_0 = 36\text{GHz}$; 焦距 $f = 400\text{mm}$; 相对孔径 $D/f = 1$.

衍射天线的反射表面由 6 个三维浮雕环带组成, 采用数控车床车削加工在金属铝板上. 三维浮雕环带的高度约为波长的一半, 即 4mm 左右. 每个环带的半径 r_n 为^[3]:

* 国家自然科学基金(编号 6954701)、应用光学国家重点实验室基金(编号 A094G3)资助项目
本文 1996 年 3 月 18 日收到, 修改稿 1996 年 10 月 7 日收到

$$r_n = \sqrt{nf\lambda + (n\lambda)^2}, \quad (1)$$

式(1)中 f 为天线的焦距, λ 为设计波长. 图 1 是所制作的衍射天线实物照片. 实测时与此天线匹配的馈源是一个普通的光壁圆锥喇叭, 其几何参数如图 2 所示.

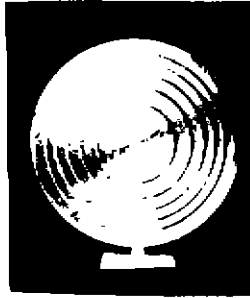


图 1 衍射天线
Fig. 1 Diffraction antenna

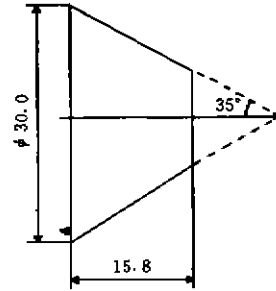


图 2 圆锥喇叭几何参数
Fig. 2 Geometry of conical horn

2 天线测量

我们对天线进行两次测量, 一次在上海电子物理所采用室外远场测量方法. 方向图的测量采用常规的平面远场扫描测量方法. 被测天线作为扫描接收天线^[4], 选用一个角锥喇叭作为发射天线, 发射出线极化方向的球面波. 增益的测量采用比较法, 将被测天线和标准天线的中心同轴背靠背地安装在同一转台上; 这样通过旋转转台, 被测天线和标准天线就能很方便地互换, 从而尽可能地减小测量误差. 测量时所用的标准天线是一个标准增益角锥喇叭.

复测是在航天总公司第二研究院第 207 所的微波暗室进行. 以紧缩场为照射源, 紧缩场静区尺寸为 2m. 将被测天线作为接收线置于方位转台上. 增益的测量也是采用比较法.

毫米波测量系统的组成则基本相同, 图 3 所示为测量系统方框图. 在测量过程中要求发射天线输出的毫米波功率稳定, 被测天线平台转动平稳. 由毫米波测量系统采集、输出测量结果.

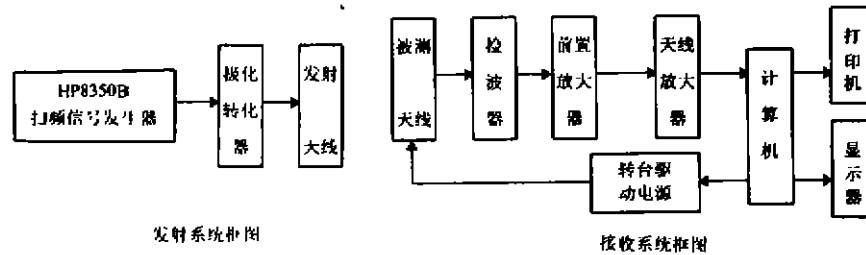


图 3 毫米波测量系统方框图
Fig. 3 Millimeterwave measurement system diagram

3 测量结果与讨论

图 4 为馈源的方向图实测的结果. 可见其 E-面和 H-面方向图差别较大, 说明方向图对称性不好, 它将对天线-馈源系统方向图的对称性带来不良影响. 方向图 3-dB 宽度: E-面为 43.8° , H-面为 23.0° ; 边缘照射电平: E-面为 -6.6dB , H-面为 -8.7dB .

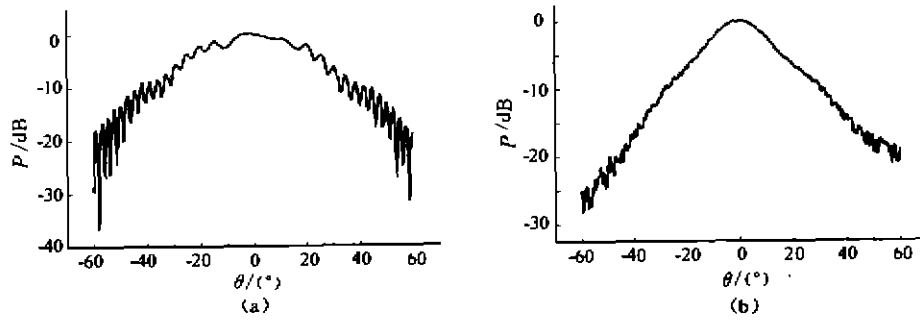


图4 实测馈源方向图
(a) E-面 (b) H-面

Fig. 4 Measured radiation patterns of the conical horn

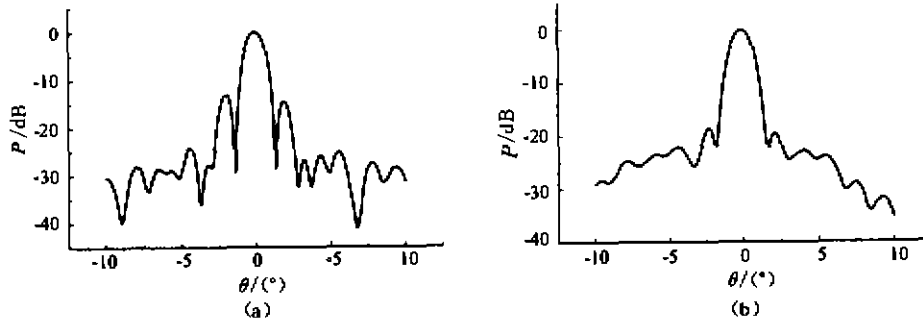


图5 实测衍射天线方向图
(a) E-面 (b) H-面

Fig. 5 Measured radiation patterns of the diffractive antenna

对衍射天线 E-面和 H-面的远场方向图分别进行了测量. 在设计频率为 36GHz 实测的主要电性能列于表 1. 图 5 给出了衍射天线 E-面和 H-面的远场方向图. 同时也测量了衍射天线的带宽, 即增益变化为 3dB 时的频率变化范围. 表 2 是增益的频率特性的测量结果. 其带宽约为 6GHz, 达到设计频率的 1/6.

表 1 实测衍射天线的主要电性能

Table 1 Measured antenna data at 6GHz

电 性 能	E-面	H-面
半功率宽度($^{\circ}$)	1.2	1.4
第一旁瓣电平(dB)	-12.9	-18.4
交叉极化电平(dB)	< -26	< -26
增益(dB)	40.9	

表 2 衍射天线的增益与频率的关系

Table 2 Measured diffraction antenna gain vs frequency

频率(GHz)	33.0	34.0	35.0	36.0	37.0	38.0	39.0
增益(dB)	37.2	39.6	40.2	40.9	40.2	39.8	37.7

衍射天线具有如下特点:

(1) 方向图的半功率波束宽度较小,说明这种天线具有良好的方向性;

(2) 增益比较高,高于前面所述文献报导的水平. 实测增益 $G=40.9\text{dB}$,天线的孔径效率 η_a 为:

$$\eta_a = \frac{G\lambda^2}{4\pi A} = 57.0\%, \quad (2)$$

式(2)中 A 为平面天线的有效面积;

(3) 交叉极化电平较低;

(4) 与传统天线(如抛物面天线)不同,衍射天线的反射面也有一定的带宽限制.这是因为采用了离散环带的结构型式,而环带是基于相互之间对设计波长具有位相补偿作用而确定的.当工作波长偏离设计波长时,环带之间的位相补偿作用失效,衍射天线的增益下降.导致衍射天线系统的带宽比抛物面天线系统有所下降.对于具有连续位相结构的衍射天线,带宽 $\Delta\nu$ 与设计频率 ν_0 及环带数 N 有关.其关系可由文献5导出:

$$\Delta\nu = \nu_0/N. \quad (3)$$

天线样机的反射面有6个环带,带宽为设计频率的1/6.与系统实测结果十分接近.可见,反射面对系统带宽的影响并不显著.系统带宽仍旧比较大;

(5) 与传统的天线相比,厚度大大减小.衍射天线样机的三维浮雕环带的高度仅为4mm左右.而一个具有相同设计参数的抛物面天线,沿轴向尺寸为26.5mm.

但是其第一旁瓣电平比较大,尤其是E-面的值.这一方面是由于馈源初级方向图的影响.众所周知,一个主面内的旁瓣电平决定于该面上的边缘照射情况.一般说来,边缘照射电平越小,旁瓣电平也就越小.本天线测量时采用的馈源边缘照射比较大,尤其是E-面,边缘照射电平达-6.6dB.另一方面,测量过程中天线与馈源是分开放置的.受这种机构型式的限制,天线与馈源之间的实际相对位置不可能调整到最佳位置,其偏差会影响测量结果.从衍射光学理论角度看,偏离理想焦点会使衍射图样的外环所占能量增加.反应到天线测量结果上,是旁瓣电平变大.相信如果改进馈源的设计,适当降低边缘照射的水平;改进天线系统的结构,更加精确地调整与控制天线与馈源的相对位置,会使旁瓣电平降低,测试结果会更好一些.

综上所述,这种衍射天线具有良好的性能.

致谢 本天线的测量工作承蒙航天总公司第二研究院第207所三室肖志河副主任及上海电子物理所徐培源教授、涂强博士以及贺国秋硕士的大力协作,深表谢意.

参考文献

- 1 Huder B, Menacl W. *Electronics Letters*, 1988, 24(6): 318~319
- 2 Guo Y J, Barton S K. *International Journal of Satellite Communications*, 1993, 11: 75~80
- 3 Black D N, Wiltse J C. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 1987, 35(12): 1123
- 4 毛乃宏,等. *天线测量手册*,北京:国防工业出版社,1987:77
- 5 Young M. *Journal of the Optical Society of America*, 1972, 62: 972~976

CHARACTERISTIC ANALYSES FOR mm-WAVE DIFFRACTION ANTENNA WITH CONTINUOUS PHASE CONSTRUCTURE*

Fan Zhongwei Lu Zhenwu Liao Jianghong

*(State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics and Fine
Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130022, China)*

Zhang Junrong

(Changchun Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130021, China)

Chen Fangyun

(National Defence Science & Industry Commission of China, Beijing, 100011, China)

Abstract The measurement results for a new type of mm-wave antenna—diffraction antenna were reported. The discussion results show that this kind of antenna possesses good electrical features.

Key words mm-wave, diffraction antenna, measurement.

* The project supported by the National Natural Sciences Foundation of China and by the Fund of State Key Laboratory of Applied Optics.