

圆极化天线在远场条件下的测试方法

郭 静 万顺生

(南京航空航天大学无人机研究院,南京,210016)

摘要:在微波暗室远场条件下,设计了一种利用线极化天线测量圆极化天线的方法。基于圆极化波的分解理论,利用线极化天线进行两次正交测量,所得结果通过公式换算,得到圆极化天线的方向性图和增益。通过多次对圆极化天线进行实际测试,验证了此方法的有效性,满足了实际应用的需要。

关键词:圆极化天线;线极化;方向性图

中图分类号:TN822 文献标识码:A 文章编号:1005-2615(2009)增刊-0062-05

Measuring Method for Circular Polarization Antennas in Far Field

Guo Jing, Wan Shunsheng

(Research Institute of Unmanned Aircraft, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing, 210016, China)

Abstract: In the microwave darkroom, a new method for measuring the circular polarization antennas is designed in far field by using the linear polarization antennas. Based on the decomposition theory of the circular polarization microwave, two orthogonal measurements for the linear polarization antennas can be made. By the conversion, it is easy to obtain the pattern and the gain of the circular polarization antennas. By measuring circular polarization antennas, the method is proved to be effective, thus meeting practical needs in engineering application.

Key words: circular polarization antennas; linear polarization; pattern

圆极化天线的极化波具有抗自然干扰的特性,为了获得最大极化效率,减少干扰,许多卫星通讯系统、点对点通讯系统、雷达系统、导航系统等都采用了圆极化方式^[1],由此可见,对圆极化天线的准确测量是相当重要的。文献[2]提出了一种用线极化源天线绕旋转轴高速旋转,而被测天线绕方位轴慢速旋转来测量圆极化天线的方法,但该方法只能得到一个截面的近似特性信息;文献[3-4]则介绍了用近场法测量天线极化特性的方法,但近场测量系统成本较高,不易实现。本文在现有远场天线自动测试系统的基础上,提出了一种较为简单的测量方法,即用线极化天线进行两次正交测量,得到待测天线在水平极化和垂直极化状态下接收到的电磁波幅度以及相应的局部增益,再通过公式换算,从而得到圆极化天线的方向性图和增益。

1 极化概念

极化是指在与波的传播方向垂直的平面内,电矢量变化一周矢尖所描绘出的轨迹。如果矢尖所描绘的轨迹是直线,则称为线极化,如图 1 所示;如果矢尖所描绘的轨迹是圆,则称为圆极化,如图 2 所示;如果矢尖所描绘的轨迹是椭圆,则称为椭圆极化,如图 3 所示^[5],其中圆极化和线极化是椭圆极化的两种特殊情况。描述椭圆极化的参数有:轴比、旋向和倾角^[6]。

椭圆极化轴比定义为长轴和短轴之比,用 r 来表示。用分贝表示的轴比 AR 为 $AR = 20\log(r)$ 。当 $r=1$ 或 $AR=0$ dB 时,为圆极化;当 $r=\infty$ 或 $AR=\infty$ dB 时,为线极化。

在实际测量中,通常使用线极化天线而非圆极

收稿日期:2009-04-24;修订日期:2009-09-09

作者简介:郭静,女,实习研究员,1983 年 6 月生,E-mail:bigpan2004@sina.com。

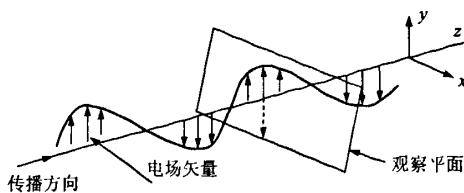


图 1 线极化示意图

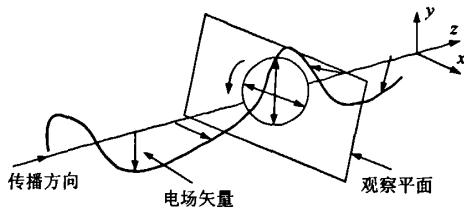


图 2 圆极化示意图

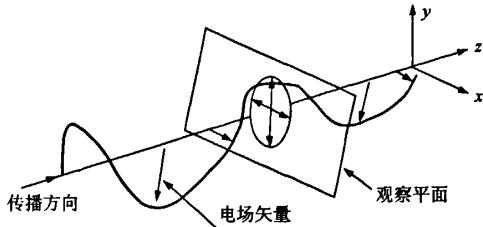


图 3 椭圆极化示意图

化天线来测量,这是因为理想的线极化天线较容易做到,而理想的圆极化天线则很难实现。一般的圆极化天线都表现为椭圆极化,若用一个非理想的圆极化天线来测量圆极化天线,则会带来一定的测量误差,所以本文研究通过线极化辅助天线来测量圆极化天线的方向性图和增益。当然,如果有一个理想的圆极化源天线,用它直接测量,其工作量要远小于用线极化天线来测量。

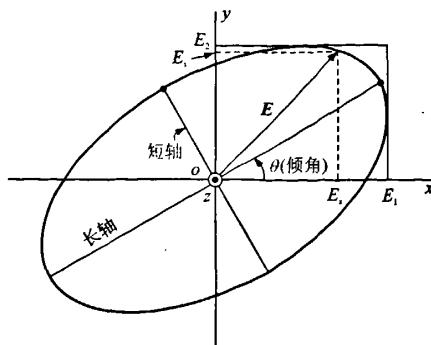
2 测试原理

理论研究表明,两个相互垂直的线极化波可以合成椭圆极化波,反之,任一椭圆极化波均可分解为两个极化方向互相垂直的线极化波。取任意方向(图 4)的一般椭圆极化波,可分别用沿 x 方向和 y 方向的两项线极化分量来描述。因此,如果电磁波沿 $+z$ 轴方向(即垂直于纸面向外)行进,则 x 方向和 y 方向的电场分量分别为^[7]

$$E_x = E_1 \sin(\omega t - \beta z) \quad (1)$$

$$E_y = E_2 \sin(\omega t - \beta z + \delta) \quad (2)$$

式中: E_1 为沿 x 方向的线极化波幅度; E_2 为沿 y

图 4 倾角为 θ 的椭圆极化波的瞬时分量 E_x 与 E_y , 以及幅度(或峰值) E_1 与 E_2

方向的线极化波幅度; δ 为 E_2 滞后于 E_1 的时间-相位角。

将式(1, 2)合并,写出瞬时的总矢量场 $E(z, t)^{[8]}$

$$E(z, t) = E_1 \sin(\omega t - \beta z) e_x + E_2 \sin(\omega t - \beta z + \delta) e_y, \quad (3)$$

在最简单的位置 $z=0$ 处观察,式(3)变成

$$E(0, t) = E_1 \sin(\omega t) e_x + E_2 \sin(\omega t + \delta) e_y, \quad (4)$$

对于圆极化波来说, $E_1 = E_2 = E_0$, 且 $\delta = \pm 90^\circ$, 代入式(4), 可得

$$E(0, t) = E_0 \sin(\omega t) e_x \pm E_0 \cos(\omega t) e_y, \quad (5)$$

则 x 方向和 y 方向的电场分量可写为

$$\begin{cases} E_x = E_0 \sin(\omega t) \\ E_y = \pm E_0 \cos(\omega t) \end{cases}$$

由此可以得到圆极化波的振幅 E_0

$$E_0 = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}, \quad (6)$$

因此,在测量圆极化天线方向性图的时候,只需测量待测天线在水平极化和垂直极化状态下的电磁波幅度,然后代入式(6)计算,就能得到待测天线的方向性图。

实验室通常用比较法来测量天线的增益。所谓比较法,即比较用已知增益的参考天线置换待测天线前后的接收功率,如图 5 所示。待测天线的增益为

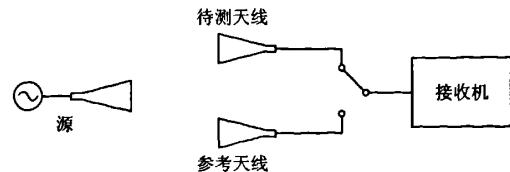


图 5 比较待测天线与参考天线的增益测量法

$$G_{AUT} = \frac{P_{AUT}}{P_{ref}} G_{ref} \quad (7)$$

式中: P_{AUT} 为用待测天线时接收到的功率; P_{ref} 为用参考天线时接收到的功率; G_{ref} 为参考天线的增益。

但是在实际应用中,理想的圆极化天线很难做到,因此通常是将线极化天线作为参考天线,测量待测天线的两个正交线极化的局部增益,再经过换算得到圆极化天线的总增益。测试时,首先将线极化源和参考天线的极化水平放置,以测量局部增益 G_H ,然后对铅垂极化源和参考天线重复测量局部增益 G_V ,代入式(8)计算待测天线的总增益 G_{AUT}

$$G_{AUT} = 10\lg \left[10^{\frac{G_H}{10}} + 10^{\frac{G_V}{10}} \right] \quad (8)$$

式中: G_H 为待测天线的水平极化增益,dB; G_V 为待测天线的垂直极化增益,dB。

3 测试系统和测试程序

南京航空航天大学微波暗室现建设了一套远场天线自动测试系统^[9],可直接对线极化天线的方向性图和增益进行测量,具有测量速度快、灵敏度高、动态范围大等优点。该天线测量系统主要分为 4 个部分,即发射系统、接收系统、位置控制系统和记录系统。发射系统由射频综合源 Agi-

lent83630A、定向耦合器 Agilent87300C 和被测天线组成。由于考虑到测试的方便性,将被测天线放置在可以三轴灵活运动的转台上,以测试天线的方向性图和增益。接收子系统由接收天线、参考电缆、频率变换器和接收机 Agilent8530A 组成。测试场的辅助源天线一般希望有特定的极化、较宽的频带、适当的增益和波瓣宽度等。南航微波暗室采用的源天线都是 NSI 公司生产的标准增益天线,分为 5 个波段,频段范围为 1~26.5 GHz。位置控制系统由 WH23F 三自由度测试转台和转台控制软件组成,两者相互独立,也可由计算机控制联动。记录系统主要有系统软件包 NSI2000 组成。NSI2000 的数据处理软件包可实时对测量数据进行分析,获得天线远场辐射特性信息,如方向性图、增益值等,然后将表格或图形显示在屏幕上或打印输出。

利用该测量系统,在微波暗室内对圆极化天线进行测量,测试系统框图如图 6 所示。待测天线为圆极化天线,并作为发射天线使用,参考天线和接收天线均为线极化天线,其测试程序如下:

(1)按图 6 连接好整个测试系统,调整接收天线的极化处于垂直方向,然后将待测天线放置在转台中心,调整转台的高度,使发射和接收天线处于

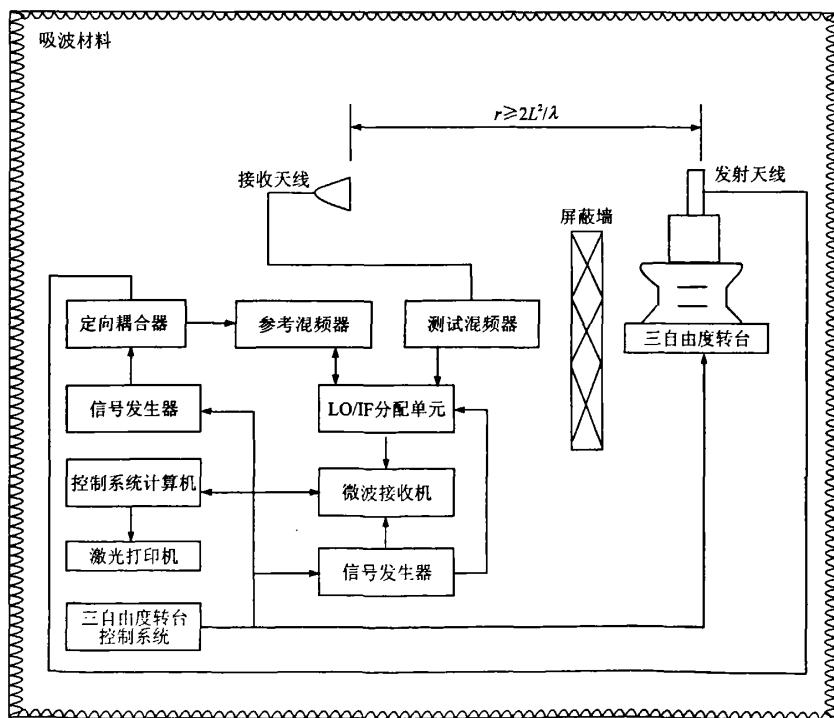


图 6 远场天线自动测试系统框图

同一高度。

(2)匀速转动转台一周,测量每个角度上的电磁波幅度,得到待测天线水平极化时接收天线接收到的电磁波幅度。

(3)调整接收天线的极化为垂直极化,重复步骤(2),得到待测天线垂直极化时接收天线接收到的电磁波幅度。将两次测量的结果代入式(6)就得到待测天线的方向性图。

(4)将待测天线换成参考天线,测量参考天线在垂直极化状态下发射,接收天线接收到的功率与待测天线垂直极化时接收天线接收到的功率以及参考天线增益一起代入式(7),得到待测天线的局部增益 G_V 。

(5)调整接收天线和参考天线的极化为水平极化,重复步骤(4),得到待测天线的局部增益 G_H ,将 G_V 和 G_H 代入式(8)就能得到待测天线的总增益。

同时,测试过程中要注意以下两个方面的问题:

(1)源天线和待测天线的中心必须在同一位置,高度和方位的不同会使得测量到的电磁波幅度值偏小,测量结果不准确;

(2)源天线和待测天线发射电磁波的方向必须相互平行,这样才能保证接收到的电磁波幅度最大。

4 测试实例

为了验证该测试方法的正确性,根据测试原理,在微波暗室内,利用上述天线自动测试系统,对图7所示的单脉冲测向天线进行测量,并将测量结果与仿真结果进行了比较。测试频率为:2.482,2.492和2.502 GHz;测量角度范围为:-90~+90°。仿真结果为:第二副瓣电平≤-11 dB;天线增益≥16 dB。

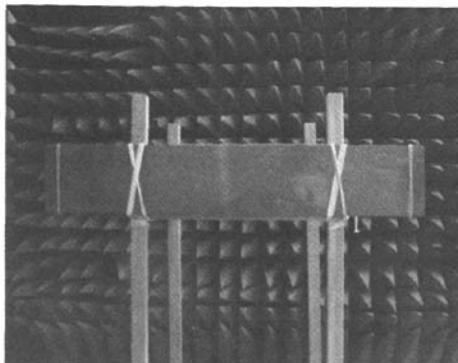


图 7 单脉冲测向天线 E 面测试状态

图8为待测天线E面垂直极化的方向性图,图9为待测天线E面水平极化的方向性图,测试频率均为2.492 GHz,图10给出了合成后的总方向性图。从图10中可以看出,第二副瓣电平约为-13 dB,小于-11 dB,与仿真结果相符。

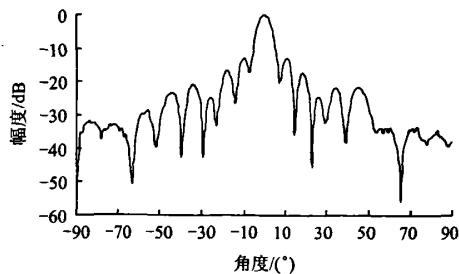


图 8 E 面垂直极化方向性图

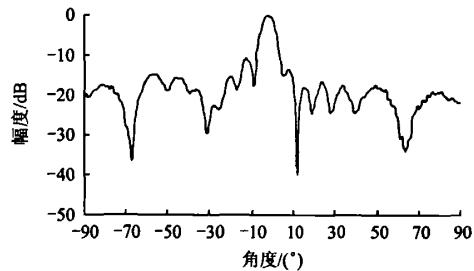


图 9 E 面水平极化方向性图

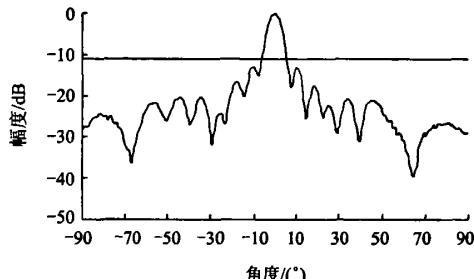


图 10 待测天线 E 面总方向性图

表1则给出了工作频率为2.492 GHz时,该单脉冲测向天线的局部增益以及计算后的总增益。总增益 $G_{AUT}=16.344 \text{ dB} > 16 \text{ dB}$,同样也与仿真结果相符。

表 1 待测天线局部增益和总增益测试结果 dB

G_V	G_H	G_{AUT}
15.715	7.640	16.344

对该天线在测试系统中进行多次测量,测量不同频率的天线方向性图和增益,所得结果均与仿真结果相符,具有较高的重复性(具体的测量结果由于

篇幅所限就不在这里给出)。测试结果表明,该测量方法是一种实际有效的圆极化天线远场测试方法。

5 结束语

圆极化天线的精确测量较为困难,本文结合南京航空航天大学远场天线自动测试系统的特点,在已知天线极化方式为圆极化的前提下,设计了一种利用线极化天线来测量圆极化天线方向性图和增益的方法。通过在微波暗室内的实际测试,证明该方法简单、有效,能够满足目前科研和生产对圆极化天线测试的需要,具有一定的应用价值。

参考文献:

- [1] 尚军平,傅德民,蒋帅,等.圆极化天线特性参数测量方法[J].西安电子科技大学学报,2009,36(1):106-110.
- [2] Toh B Y. Understanding and measuring circular polarization[J]. IEEE Trans on Education, 2003, 46(3):313-318.
- [3] 李勇,张士选,张福顺,等.高交叉极化鉴别度天线的近场测量[J].西安电子科技大学学报,2000,27(2):223-227.
- [4] Newell A C, Baird R C. Accurate measurement of antennas gain and polarization at reduced distances by an extrapolation technique[J]. IEEE Trans on AP, 1973, 21(4):418-429.
- [5] 秦顺友,杨可忠,陈辉.不同极化天线增益测量技术[J].电子测量与仪器学报,2003,17(1):7-11.
- [6] 林昌禄.天线测量技术[M].成都:成都电讯工程学院出版社,1987:165-169.
- [7] Kraus J D, Marhefka R J. 天线(3版)(上册)[M].章文勋,译.北京:电子工业出版社,2004.
- [8] 曹祥玉,高军,曾越胜,等.电磁场与电磁波[M].西安:西安电子科技大学出版社,2007.
- [9] 罗屹洁.多目标天线自动测试系统研究[D].南京:南京航空航天大学信息科学与技术学院,2004.

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>