

一种圆极化天线极化特性的幅度精测方法

张晓平, 周怀安

(北京空间飞行器总体设计部, 北京 100094)

摘要: 文章介绍了一种圆极化天线极化特性的测试方法。该方法仅利用幅度测量得到圆极化天线极化椭圆相关数据, 就可获得圆极化天线主极化、交叉极化、圆极化轴比等全部信息。该方法简单可行且可获得精确的极化特性测试结果。应用该测试方法, 结合使用时域硬件门测试技术, 在紧缩场成功实现了星载大型 UHF 螺旋天线的测试, 获得了理想的测试结果, 使得大型紧缩场双反射面系统在 UHF 频段的应用成为可能。

关键词: 圆极化天线; 极化特性; 幅度; 紧缩场; UHF 频段

中图分类号: V443.4; V416.6

文献标识码: A

文章编号: 1673-1379(2009)01-0067-04

1 前言

Vokurka教授在2007年国际AMTA会议上提出一种新的圆极化天线测试方法^[1]: 只需测试待测天线两两正交的两组线极化幅度方向图, 且只利用测试得到的4个线极化方向图幅度值, 即可计算得到待测天线的各个方向上的极化椭圆信息, 从而计算得到圆极化响应的幅度和轴比方向图。采用这种方法, 不需精测相位方向图, 就可以得到圆极化天线在各个方向上的极化特性, 从而在根本上解决了圆极化天线的测试问题。

这种新的测试方法使得圆极化辐射特性的测试简单可行, 尤其在测试场相位特性达不到所需的 $\pm 5^\circ$ 的相位测试要求时, 这种新的幅度测试方法具有重要的意义。因为在一般的天线测试场中, 幅度测试的精度比较容易保证, 而要进行相位的精确测试是不容易的。所以本文期望向天线测量领域详细介绍这种方法, 以推广该精确测试方法, 提高圆极化天线的测试精度。

2 传统的圆极化天线测试方法

2.1 线极化照明方式

采用线极化照明方式是最经典的测试方法, 也是国际天线测试量标准 ANSI/IEEE Std. 149—1979 (IEEE Standard Test Procedure for Antennas) 支持的标准测量方法。其基本理论是圆极化场矢量可以分解为两两正交的两个线极化分量, 也可以分解为

两个理想的左旋和右旋圆极化分量; 通过测试待测圆极化天线的水平(H)和垂直(V)极化功率方向图并将其相加合成的方法得到总的功率方向图; 用该总功率方向图近似等效待测天线的主旋极化功率方向图。若要得到真正的主旋极化方向图, 还需逐点测试各个方向上的轴比, 在总功率方向图上逐点扣除轴比产生的极化损失。图1所示为轴比与增益损失的关系曲线。

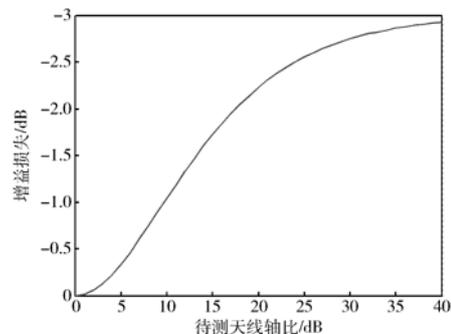


图1 轴比与增益损失的关系曲线
Fig. 1 The relation between antenna's AR and Gain Loss

而逐点测轴比是非常耗时的, 一般采用旋转线极化方向图的方法进行, 但需快速旋转线极化照明天线, 且接收端的DUT转台需调至最低速度, 以获得更真实的轴比信息, 否则测试的旋转线极化方向图太稀疏, 会漏掉更多的极化差点, 造成极化特性偏优的假象, 使得轴比测试误差较大。

在紧缩场测试技术的应用中, 由于紧缩场使用大型双反射面系统, 可形成良好的平面波测试环境, 可获得精确的幅度和相位测试结果, 使得理论

收稿日期: 2008-09-02

作者简介: 张晓平(1964-), 女, 高级工程师, 从事天线测试工作。联系电话: (010) 68744017。

的线圆变换得以应用，因此只测试待测天线 H 极化和 V 极化幅度和相位方向图，通过线圆变换就可得到待测圆极化天线的主旋极化和交叉极化方向图。但该线圆变换的方法又只限于紧缩场，普通天线远场的相位测试误差太大，只能使用经典的幅度测试方法进行圆极化天线的测试。

2.2 圆极化照明方式

经典远场的另一种圆极化天线测试方法是采用圆极化照明方式，即选择或自制具有良好轴比特性 (AR<1 dB) 左右旋圆极化天线各一个作为照明天线，直接测试待测圆极化天线主旋极化的功率方向图和交叉极化方向图。采用这种方法首先要求选择照明天线的圆极化特性非常好，但好的圆极化天线得来不易；其次是标定待测天线增益时，仍需圆极化照明，并测试标准喇叭H极化及V极化功率电平，由H、V功率电平相加合成得到标准增益喇叭天线的等效圆极化功率电平，再由比较法计算待测圆极化天线增益。

采用圆极化照明的测试方法可直接获得圆极化响应的功率方向图，但测试带来的不确定性比较大，而且好的圆极化照明天线往往需自行设计，且需要通过试验将圆极化照明天线的轴向轴比调至最佳，往往不及 2.1 节中线极化照明方式更直接方便，因此，该测试方法未列入国际及国内的天线测量标准中。

3 新的圆极化天线的测试方法

3.1 测试原理

由基础电磁场理论：圆极化天线的辐射电场矢量可分解为任意两个正交线极化分量（如图 2 所示）， u_p 为电磁场传播方向， u_1 、 u_2 为垂直于电磁波传播方向的两个任意正交的坐标方向， \vec{E}_1 、 \vec{E}_2 为 \vec{E} 在 u_1 、 u_2 方向的线极化分量。

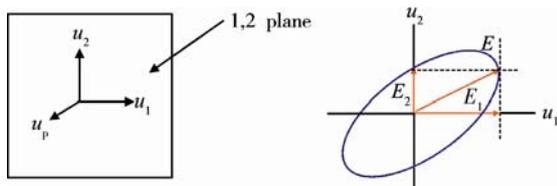


图 2 圆极化天线的辐射电场矢量

Fig. 2 The radiation electrical field vector of circular polarized antenna

$$\vec{E}(t) = E_{1m} \cos \omega t \cdot \vec{u}_1 + E_{2m} \cos \omega t \cdot \vec{u}_2 = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \quad (1)$$

同时，圆极化天线的辐射场电场矢量也可分解为左旋和右旋圆极化分量，如图 3 所示。

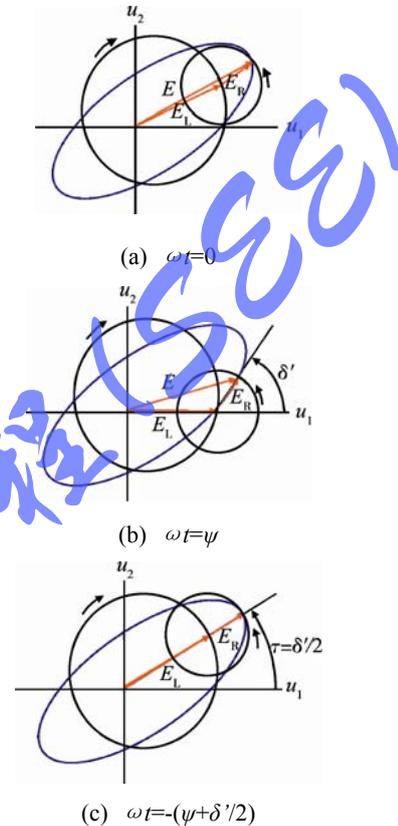


图 3 椭圆极化方向图分解

Fig. 3 Decomposing of ellipse polarized pattern

$$\begin{aligned} \vec{E}(t) &= E_L [\cos(\omega t + \varphi_1) \cdot \vec{u}_1 + \sin(\omega t + \varphi_1) \cdot \vec{u}_2] \\ &\quad + E_R [\cos(\omega t + \varphi_2) \cdot \vec{u}_1 + \sin(\omega t + \varphi_2) \cdot \vec{u}_2] \\ &= \vec{E}_L + \vec{E}_R, \end{aligned} \quad (2)$$

式中： \vec{E}_L 、 \vec{E}_R 分别为圆极化天线的主极化和交叉极化分量。

采用旋转线极化照明天线的方法可获得待测圆极化天线某一个固定辐射方向的极化方向图（如图 4 所示），其内接椭圆就是待测圆极化天线该辐射方向的极化椭圆，即极化方向图的最大值为极化椭圆长轴，最小值为极化椭圆短轴，长轴与 u_1 的夹角为极化倾角 τ 。图 4 中 u_3 、 u_4 为另一组垂直于电磁波传播方向的任意正交的坐标方向， \vec{E}_3 、 \vec{E}_4 为 \vec{E} 在 u_3 、 u_4 方向的线极化分量，因此：

$$|\overline{E}_1|^2 + |\overline{E}_2|^2 = |\overline{E}_3|^2 + |\overline{E}_4|^2 = |\overline{E}_R|^2 + |\overline{E}_L|^2, \quad (3)$$

$$E_1^2 = \frac{E_R^2 + E_L^2}{2} + E_R E_L (\cos 2\tau \cdot \cos 2\chi_1 + \sin 2\tau \cdot \sin 2\chi_1), \quad (4)$$

$$E_2^2 = \frac{E_R^2 + E_L^2}{2} + E_R E_L (\cos 2\tau \cdot \cos 2(\chi_2 + \frac{\pi}{2}) + \sin 2\tau \cdot \sin 2(\chi_2 + \frac{\pi}{2})), \quad (5)$$

$$E_3^2 = \frac{E_R^2 + E_L^2}{2} + E_R E_L (\cos 2\tau \cdot \cos 2\chi_3 + \sin 2\tau \cdot \sin 2\chi_3), \quad (6)$$

$$E_4^2 = \frac{E_R^2 + E_L^2}{2} + E_R E_L (\cos 2\tau \cdot \cos 2(\chi_3 + \frac{\pi}{2}) + \sin 2\tau \cdot \sin 2(\chi_3 + \frac{\pi}{2})). \quad (7)$$

联立公式(4)~(7)可以求解得到:

$$\tau = \frac{1}{2} \text{tg}^{-1} \left(\frac{\frac{E_1^2 - E_3^2}{E_2^2 - E_4^2} \cos 2\chi_3 - \cos 2\chi_1}{\sin 2\chi_1 - \frac{E_1^2 - E_3^2}{E_2^2 - E_4^2} \sin 2\chi_3} \right), \quad (8)$$

$$|E_R + E_L| = \sqrt{E_1^2 + E_3^2 + \frac{E_1^2 - E_3^2}{\cos(2\tau - 2\chi_1)}}, \quad (9)$$

$$|E_R - E_L| = \sqrt{E_1^2 + E_3^2 - \frac{E_1^2 - E_3^2}{\cos(2\tau - 2\chi_1)}}. \quad (10)$$

$$\text{AR} = 20 \lg \left| \frac{E_R + E_L}{E_R - E_L} \right|. \quad (11)$$

其中 χ_1 和 χ_3 分别为 \overline{E}_1 、 \overline{E}_3 的旋转角度。

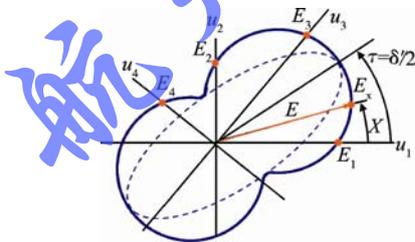


图4 极化方向图

Fig. 4 The polarization pattern of circular polarized antenna

由此可见,通过测试任意两组互为正交的线极化响应方向图,应用公式(8)~(10)可计算得到待测天线各个辐射方向上的左旋和右旋极化分量,重新绘制左旋、右旋极化方向图,即可得到圆极化辐射

方向图。应用公式(11)得到圆极化待测天线各辐射方向的轴比,由此可绘制轴比方向图。

3.2 新方法的优势及应用价值

采用国际新应用的圆极化天线测试方法,可避免使用不确定度更大的相位方向图测试,而只进行幅度方向图测试就可获得圆极化辐射方向图及轴比方向图,测试方便易行,且测试结果精度更高,因为一般天线测试场的幅度测试精度都非常高,尤其是传统的天线远场,在满足 $R \geq \frac{2D^2}{\lambda}$ 的远场测试条件下,静区内的幅度变化 $< 0.25 \text{ dB}$ 。

另外,在传统的天线远场测试中,由于场地自身的交叉极化特性限制,天线远场交叉极化的测试精度仅可达到 -25 dB ,限制了天线远场对具有超高交叉极化性能的卫星极化复用的通信天线的测试能力,而采用新方法可精确获得交叉极化方向图。因此,新方法的应用将提高最为原始、最方便建立的传统远场的应用价值,使其拥有更广泛的应用前景。

4 新的圆极化天线测试方法的典型应用

应用新的圆极化天线极化特性测试方法,在中国空间技术研究院大型紧缩场成功进行了UHF频段大型螺旋天线的测试。在实际测试过程中应用了紧缩场的双反射面系统,这样较紧缩场中直接远场照明方式^[2]可在UHF频段获得更大的测试静区。由于紧缩场测试频率范围为 $1 \sim 40 \text{ GHz}$,为克服紧缩

场UHF频段地面及墙体反射的影响,在测试中同时应用了时域硬件门测试技术^[2]以获得良好的平面波幅度和相位照明环境。

变换得到圆极化主极化方向图和轴比;之后采用新的圆极化测试方法,测试H、V、 $\pm 45^\circ$ 4个极化的幅度方向图,由公式(8)~(11)做数据处理得到圆极化主极化方向图和轴比。实测结果如图5~6所示,两种测试方法获得的主极化和轴比方向图基本一致。

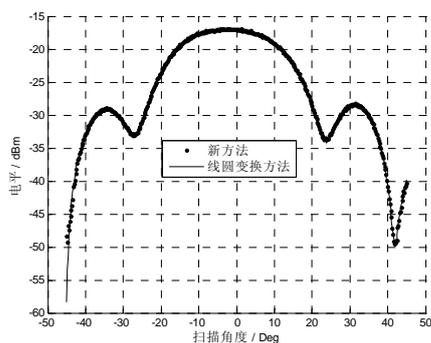


图5 主极化方向图

Fig. 5 Main polarization pattern

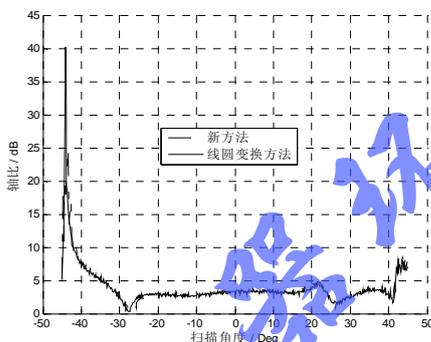


图6 轴比方向图

Fig. 6 Axial Ratio pattern

5 采用新测试方法应注意的问题及测试验证方法

新应用的圆极化天线测试方法是基于4个极化的幅度方向图的精确测试,无需相位方向图测试信息,因此两组正交的4个极化的幅度方向图测试要求精确。实际测试过程中,发射端照明天线需架设牢固、稳定,在旋转照明天线、更换测试极化状

态时不发生晃动和位置变化,照明天线旋转轴需与发射端极化转台的极化轴一致,以减小架装引入的测试误差。

态时不发生晃动和位置变化,照明天线旋转轴需与发射端极化转台的极化轴一致,以减小架装引入的测试误差。

由公式(3)可见,测试得到的两组正交的线极化幅度方向图其中任意一组的合成总功率方向图应相同,因此可采用比较两组合成总功率方向图一致性的方法验证幅度方向图测试的正确性。在获得了完全一致的合成功率方向图后,再应用公式(8)~(11)得到待测天线主极化、交叉极化及AR方向图,就可保证测试的正确性和有效性。

6 结论

新的圆极化天线测试方法仅应用幅度方向图测试信息即获得精确的圆极化天线主极化、交叉极化及轴比方向图信息,较传统的圆极化天线远场测试方法及紧缩场幅相方向图测试的方法更方便易行,测试精度更高,尤其在UHF频段,在测试场难以达到相位均匀度测试要求时,可以顺利解决UHF频段大型天线的测试难题。该新方法更适用于传统天线远场的测试,可改善天线远场的测试精度,尤其可解决远场交叉极化的测试问题,由此可见新方法的重要应用价值。

电磁场理论早在19世纪初就已经非常成熟完善,但如今灵活运用电磁场理论知识对解决实际测量问题仍具有非常重要的意义,中国空间技术研究院与国际同行的交流与合作促进了天线测试技术水平的提高和应用。

参考文献 (References)

- [1] van de Coevering L, Vokurka V J. Accurate axial ratio determination with modern microwave receivers[C]// AMTA, 2007-11
- [2] 张晓平. 紧缩场UHF天线测试方法的研究[J]. 航天器工程, 2008, 17(2): 63-70