

一种宽带圆极化介质半球面螺旋天线

张厚¹, 龚书喜², 夏冬玉³

(1. 空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800; 2. 西安电子科技大学 天线与电磁散射研究所, 陕西 西安 710071; 3. 北京 2866 信箱, 北京 100085)

摘要: 研制了一种新型双臂等角半球面介质螺旋天线, 应用基于曲线基函数的矩量法对其辐射特性进行了分析, 给出了天线的驻波、极化及方向图等随频率变化的曲线. 计算与实测结果表明, 在800 MHz~2 600 MHz的频带内, 驻波比基本小于2, 轴比小于3 dB, 相对带宽可达106%.

关键词: 宽带; 矩量法; 圆极化; 螺旋天线; 介质

中图分类号: TN823 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2400(2009)03-0524-03

Novel broadband circular-polarized dielectric hemispherical helical antenna

ZHANG Hou¹, GONG Shu-xi², XIA Dong-yu³

(1. Missile Inst. of Air Force Eng. Univ., Sanyuan 713800, China; 2. Research Inst. of Antenna and EM Scattering, Xidian Univ., Xi'an 710071, China; 3. P. O. Box 2866, Beijing 100085, China)

Abstract: A novel bifilar constant-angle dielectric hemispherical helical antenna is developed. Its radiation properties are analyzed by the moment method with the curved basic and testing function, the curves of VSWR, polarization and pattern vs. frequency are presented, respectively. The calculated and measured results show that within the range of 800 MHz~2 600 MHz VSWR is less than 2, that AR is less than 3 dB, and that the relative bandwidth reaches 106%.

Key Words: broadband; MOM; circular-polarization; helical antenna; dielectric

近些年来, 球面螺旋天线因其具有宽带、宽波束和圆极化的特点备受人们关注, 在卫星通信和全球定位系统中具有广阔的应用前景. 球面螺旋天线由 H. B. Riblet 于 1960 年率先提出, 并进行了实验研究. Mei 和 Meyer^[1]在此基础上研究了非均匀螺旋缠绕的球面螺旋天线, 从理论上对其远场进行了分析. 虽然这种天线提出比较早, 但直到近几年才引起人们的重视和研究. 美国 Virginia 大学对该天线进行了大量的研究, A. Safaai-Jazi^[2]等对这种球面螺旋天线的阻抗、圆极化特性进行了深入研究; Hui^[3-4]等提出了一种半球面螺旋天线, 这种天线在增加圆极化角度的同时, 也降低了天线的剖面, 具有更加稳定的机械结构. 文献[5]采用矩量法进行分析, 给出了部分球面螺旋天线和半球面螺旋天线的驻波、方向图等参数的频带特性, 文献[6]给出了一种低剖面球面螺旋天线, 天线轴比小于3 dB的带宽达到两个倍频程. 笔者在文献[5-6]的基础上设计了一种双臂等角半球面介质加载螺旋天线, 天线轴比小于3 dB的带宽达到3个倍频程, 相对带宽可达106%.

根据等效原理, 将电场积分方程(EFIE)同 Poggio-Miller-Chang-Harrington-Wu(PMCHW)方程相结合, 将空间的场由天线表面电流、介质表面等效电流和磁流进行合成, 应用基于曲线基函数的矩量法对设计介质加载的双臂等角半球面螺旋天线进行分析, 计算结果同实测结果吻合较好.

1 天线结构

天线的结构如图1所示, 螺旋线缠绕在一个介质半球面上, 为

了增强辐射,在天线的下方放置一圆形反射板.当螺旋线在半球面缠绕时,设相邻螺旋夹角为 θ_0 ,螺旋圈数 N ,则 $\theta_0 = \pi/(2N)$,由螺旋的起始点处可得 $\varphi = 0, \theta = \pi/2$,螺旋缠绕一周后 $\theta = \pi/2 - \pi/(2N), \varphi = 2\pi$,可得等角半球面螺旋天线的球坐标方程为

$$\begin{cases} r = a, \\ \theta = -\varphi/(4N) + \pi/2, \end{cases} \quad (1)$$

式中 r, θ, φ 是球坐标参数, $0 \leq \varphi \leq 2N\pi, a$ 为球面半径, N 为半球面螺旋天线圈数. 同样,易得其直角坐标方程为

$$\begin{cases} x = a \cdot \cos(\varphi/(4N)) \cos \varphi, \\ y = a \cdot \cos(\varphi/(4N)) \sin \varphi, \\ z = a \cdot \sin(\varphi/(4N)), \end{cases} \quad 0 \leq \varphi \leq 2N\pi. \quad (2)$$

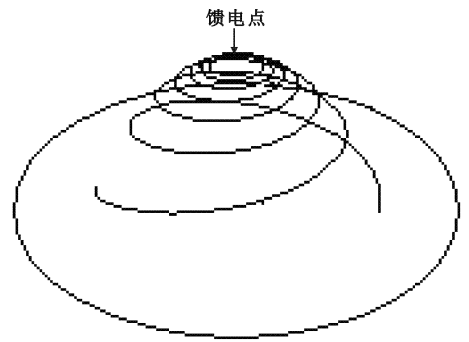


图 1 新型半球面螺旋天线

2 基于曲线基函数的矩量法

螺旋天线上的电流可通过求解电场积分方程而获得.把天线分为 $M+1$ 段, M 为奇数,然后将天线上的电流用图 2(a)所示的分段曲线三角形基函数展开为

$$I(z) = \sum_{n=1}^M I_n A_n(z), \quad (3)$$

$$A_n(z) = \begin{cases} (d - |z - z_n|)/d, & z_{n-1} \leq z \leq z_n, \\ 0, & \text{其他.} \end{cases} \quad (4)$$

将式(3)和(4)代入电场积分方程,并采用图 2(b)所示的脉冲基函数

$$w_m(z) = \begin{cases} 1, & z \in (z_{m-}, z_{m+}), \\ 0, & \text{其他.} \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{为检验函数,经推导可得如下矩阵方程} \quad \mathbf{Z}_{mm} \mathbf{I}_n = \mathbf{V}_m. \quad (6)$$

对于半球面螺旋天线,在求解其阻抗矩阵 \mathbf{Z} 的元素时,可充分利用其对称性,只需求出其中部分元素就可求得矩阵中的其他元素,这样可使矩阵填充的时间大大减少.

将介质加载等角半球面螺旋天线的螺旋臂用曲线分段模拟,采用基于曲线基函数的矩量法^[7]求解 EFIE 方程,获得螺旋臂上的电流分布,而将介质球面用三角面元进行划分,用 RWG 基函数展开求解 PMCHW 方程获得等效的表面电流和表面磁流,空间的辐射场由这 3 者共同作用而得.

3 计算与测试结果

选天线的球面半径为 57 mm, $N=3.5$,介质相对介电常数为 5,测试在外场进行,采用自动测量系统,图 3 给出了该双臂半球面等角螺旋天线驻波比(VSWR)的计算和测量曲线,从测试结果可以看出,在 800 MHz~3 000 MHz 的频带内,驻波比基本小于 2,具有较宽的阻抗带宽.

图 4~6 分别给出了天线在 883.0 MHz, 1 797.5 MHz 和 2 595.0 MHz 时 E 面方向图的计算和测量曲线,从图中可以看出,天线具有较好的轴向辐射特性,波束宽度不小于 60° . 图中实测方向图与计算结果基本吻合. 部分副瓣存在一定的误差,主要是测试环境产生的影响所致. 图 7 分别给出了这 3 个频点下测量所得的轴比曲线,由图中可以看出,在 $-60^\circ \sim 60^\circ$ 的范围内,天线的轴比小于 3 dB,具有较好的轴比特性,说明天线的圆极化特性较好.

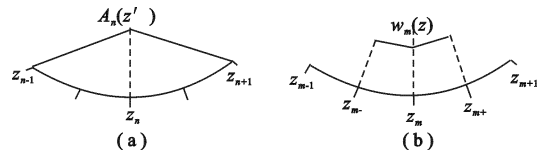


图 2 曲线基函数与检验函数

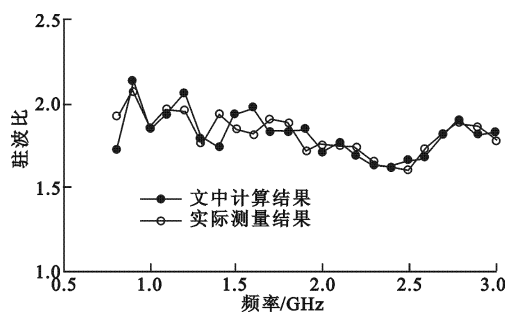


图 3 天线驻波比曲线

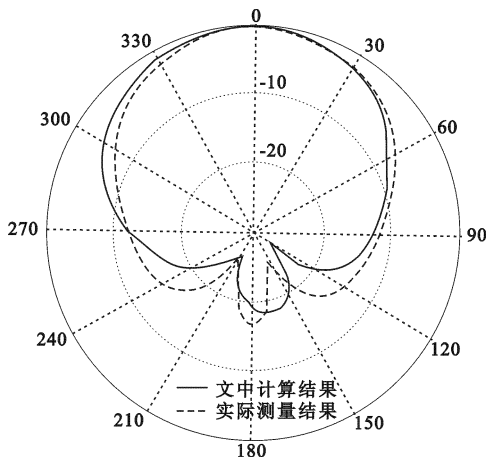


图 4 天线在 883.0 MHz 时 E 面方向图

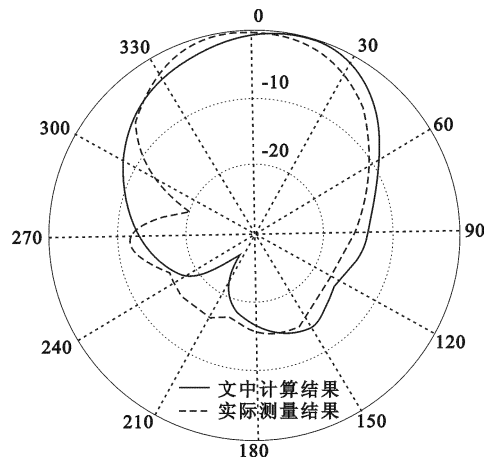


图 5 天线在 1797.5 MHz 时 E 面方向图

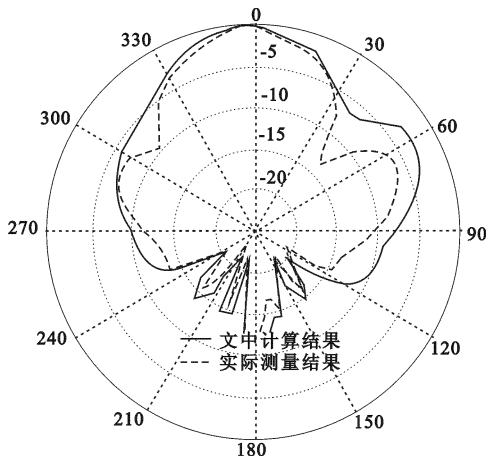


图 6 天线在 2595.0 MHz 时 E 面方向图

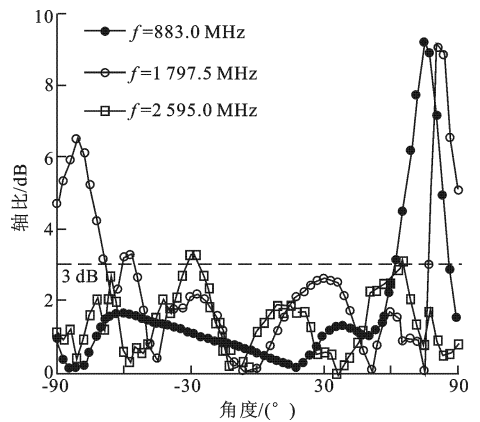


图 7 天线轴比的曲线

4 结束语

研制了一种新型的双臂等角球面螺旋天线,将介质作为螺旋线的支撑体,与空气半球面螺旋相比,该天线具有稳定的机械结构,且尺寸较小,计算和实测结果表明,在800~2600 MHz的频率范围内具有良好的阻抗特性,且能够进行圆极化的轴向辐射,具有较宽的辐射波束.可用于第3代移动通信中.

参考文献:

- [1] Mei K K, Meyer M. Solution to Spherical Anisotropic Antennas[J]. IEEE Trans on Antennas and Propagations, 1964 (12): 459-463.
- [2] Safaai-Jazi A, Cardoso J C. Radiation Characteristics of a Spherical Helical Antenna[J]. IEE Proc Microwaves Antennas and Propagation, 1996, 143(1): 7-12.
- [3] Hui H T, Chan K Y, Yung E K N. The Low-profile Hemispherical Helical Antenna with Circular Polarization Radiation over a Wide Angular Range[J]. IEEE Trans on Antennas and Propagations, 2003, 51(6): 1415-1418.
- [4] Hui H T. Coaxial-feed Axial Mode Hemispherical Helical Antenna[J]. Electronics Letters, 1999, 35(23): 1982-1983.
- [5] 张厚, 尹应增, 夏冬玉. 两种新型球面螺旋天线的特性分析[J]. 西安电子科技大学学报, 2008, 35(1): 144-147. Zhang Hou, Yin Yingzeng, Xia Dongyu. Analysis of Two Novel Spherical Helical Antennas[J]. Journal of Xidian University, 2008, 35(1): 144-147.
- [6] Zhang Hou, Xia Dongyu. A Novel Low-profile Spherical Helical Antenna[J]. Journal of Electromagnetic Waves and Applications, 2008, 22(8/9): 1131-1139.
- [7] 李世智. 电磁辐射与散射问题的矩量法[M]. 北京: 电子工业出版社, 1985.

(编辑: 齐淑娟)