

两种新型球面螺旋天线的特性分析

张厚¹, 尹应增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 2863 信箱, 北京 100085)

摘要: 将平面等角螺旋天线投影到半球面和部分球面上, 得到半球面螺旋天线和部分球面螺旋天线两种新型球面螺旋天线. 采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、增益、极化及方向图等随频率变化的曲线. 新型半球面螺旋天线具有较宽的圆极化带宽, 部分球面螺旋天线增益曲线较为平坦, 且易于加工, 为不同要求下天线形式的选取提供了良好的依据.

关键词: 球面螺旋天线; 矩量法; 曲线基函数

中图分类号: TN823 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2400(2008)01-0144-04

Analysis of two novel spherical helical antennas

ZHANG Hou¹, YIN Ying-zeng², XIA Dong-yu³

(1. Missile Institute of Air Force Engineering Univ., Sanyuan 713800, China; 2. Research Inst. of Antenna and EM Scattering, Xidian Univ., Xi'an 710071, China; 3. P. O. B. 2863, Beijing 100085, China)

Abstract: Two novel spherical helical antennas are designed by projecting the planar equiangular spiral antenna onto the surfaces of hemisphere and partial sphere. Their radiation properties are analyzed by the moment method with the curved basic and testing function, and the curves of the VSWR, gain, polarization and pattern vs. frequency are also given, respectively. It can be seen that the circular polarization band of the novel hemispherical helical antenna is broader. The gain curve of the partial spherical helical antenna is flatter and the structure is simpler.

Key Words: spherical helical antenna; moment method; curved basic function

在移动卫星通信系统中, 为了便于卫星和终端的通信, 天线需要覆盖的面积往往非常大, 这就要求天线具有宽波束、圆极化特性. 传统采用的柱螺旋天线和微带天线可以达到这一要求, 但在波束宽度、工作带宽上有很大的局限性. 为了实现宽带、宽波束、圆极化辐射, H. B. Riblet 于 1960 年率先提出了球面螺旋天线, 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降低了天线的剖面, 具有更加稳定的机械结构, 并对这种半球面螺旋天线组阵进行了分析和研究.

从目前可检索到的文献可见, 所研究的球面螺旋天线都具有等螺距的特点, 对采用其他方式螺旋缠绕的天线的特性还未很好地研究. 笔者将平面等角螺旋天线投影到球面上, 得到了两种新型的球面螺旋天线: 半球面螺旋天线和部分球面螺旋天线. 采用曲线基函数的矩量法对天线进行了分析, 给出了天线的驻波、增益、圆极化及方向图曲线.

收稿日期: 2007-08-22

基金项目: 国家自然科学基金资助 (60471043)

作者简介: 张厚(1962-), 男, 空军工程大学教授, E-mail: warmer88@163.com.

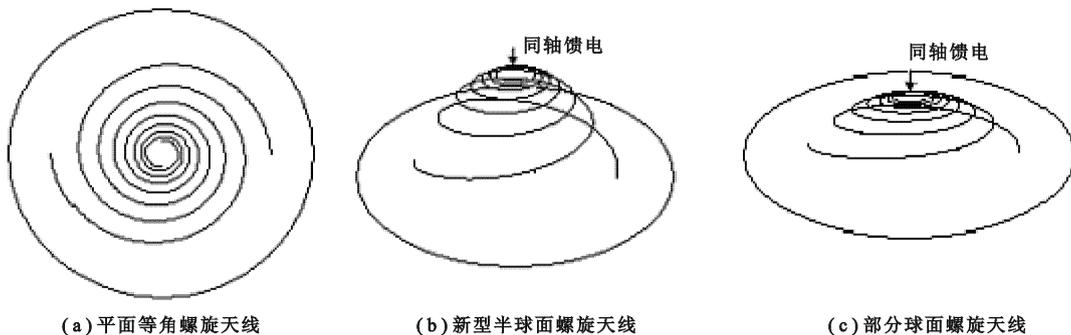


图 1 天线结构示意图

1 新型球面螺旋天线结构

平面等角螺旋天线是一种频率无关天线,如图 1(a)所示,在极宽的频带范围内具有良好的阻抗特性和方向图特性.将平面等角螺旋天线投影到直径等于平面螺旋极径的半球面上,可以得到一种新型的半球面螺旋天线,如图 1(b)所示.当平面等角螺旋天线所投影的球面半径大于平面螺旋的极径时,所得的新型天线是一种部分球面螺旋天线,如图 1(c)所示,较半球面螺旋天线而言,具有更低的剖面.适当对方程进行修正,最后可得这两种新型球面螺旋天线极坐标方程式

$$\begin{cases} r = a \\ \theta = \arccos\left(1 - (1 - \exp(-2\varphi \tan\alpha))^{1/2}\right) \end{cases}, \quad 0 < \varphi < 2N\pi \quad (1)$$

其中 a 是天线所缠绕球面的半径, α 为平面螺旋的绕角, N 是缠绕的螺旋圈数, θ 和 φ 分别为天线的俯仰角和方位角.

2 基于曲线基函数的矩量法

矩量法^[5]是在电磁辐射与散射分析研究中广泛采用的一种数值方法,具有精确度高的特点.传统的矩量法通常采用直线段来近似模拟曲线天线的结构,需要相当多的直线段才能精确模拟曲率很高的曲线天线.采用螺旋线段对天线进行划分,可以减少天线分段数,提高计算速度和精度^[6,7].

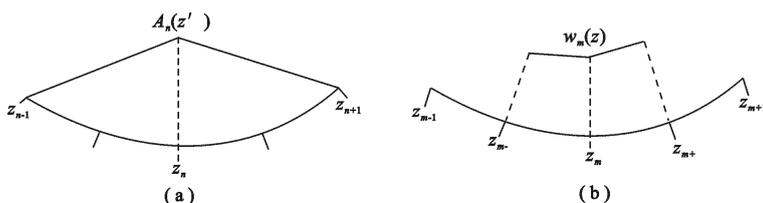


图 2 曲线基函数与检验函数

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如下:

$$I(z) = \sum_{n=1}^M I_n A_n(z) \quad (2)$$

其中

$$A_n(z) = \begin{cases} (d - |z - z_n|)/d & , \quad z_{n-1} \leq z \leq z_n \\ 0 & , \quad \text{其他.} \end{cases} \quad (3)$$

将式(2)和(3)代入电场积分方程,并采用图 2(b)所示的脉冲基函数为检验函数,即

$$\omega_m(z) = \begin{cases} 1 & , \quad z \in (z_{m-}, z_{m+}) \\ 0 & , \quad \text{其他,} \end{cases} \quad (4)$$

经推导可得如下矩阵方程:

$$\mathbf{Z}_{mm} \mathbf{I}_n = \mathbf{V}_m \quad (5)$$

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,这样可大大减少矩阵填充的时间.

3 天线特性分析

笔者研究的半球面螺旋天线球面直径为140 mm,螺旋线直径为0.1 mm,圈数为 4,部分球面螺旋天线球面的直径也为140 mm,高度为35 mm,比半球面螺旋天线高度低了一半,具有更好的低剖面特性. 为了加强单向辐射,增加了一个反射板,反射板与半球距离为2 mm,直径为200 mm.

用曲线段对天线进行剖分,应用矩量法对这两种新型的球面螺旋天线的辐射特性分别进行了分析,结果如图 3~8 所示.

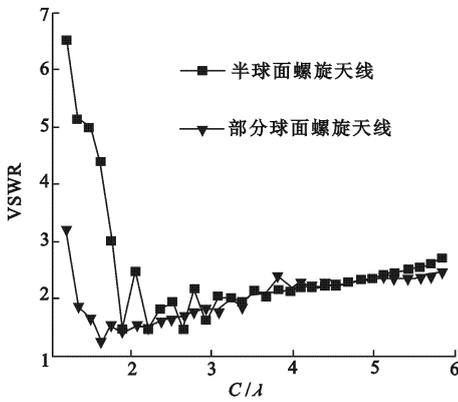


图 3 天线的驻波比曲线

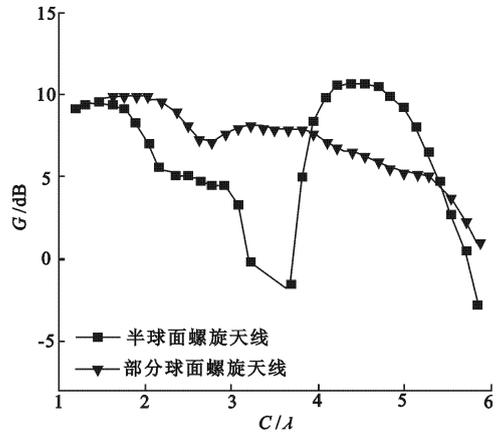


图 4 天线的增益曲线

图 3 所示为天线在 C/λ (C 为天线水平面大圆的周长, λ 为波长) 等于 1.1 ~ 5.8 的频带内的驻波比曲线. 由图可见,在 $C/\lambda > 1.8$ 的频带内,二者驻波比均小于 3,随频率变化的规律基本一致. 图 4 所示为天线的增益曲线,由图可见半球面螺旋天线在整个频带内起伏比较大,仅在 $1.1 < C/\lambda < 2.7$ 和 $4 < C/\lambda < 5.5$ 两个频段内分别具 3 dB 的增益带宽,而部分球面螺旋天线则在 $1.1 < C/\lambda < 5.6$ 的较宽频带内增益变化小,具有很好的增益特性.

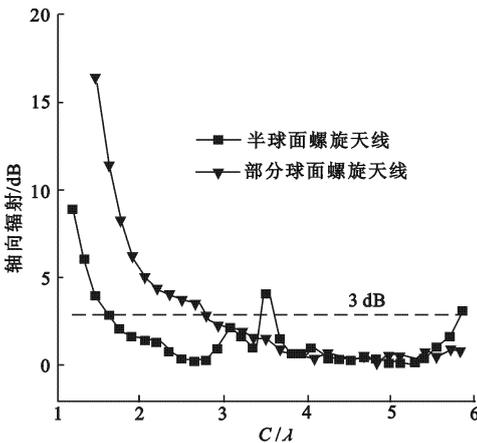


图 5 天线的轴比曲线

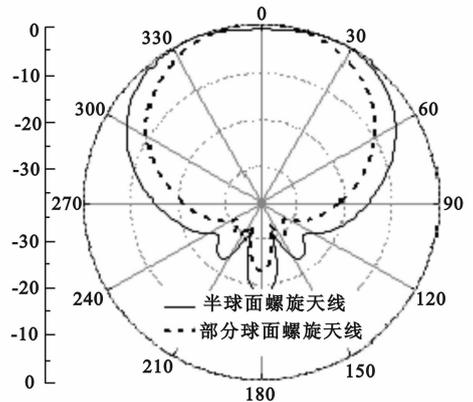


图 6 $C/\lambda = 2.7$ 时天线的远场方向图

图 5 所示为天线轴向辐射时的轴比曲线. 由图可见,半球面螺旋天线在 $C/\lambda > 1.5$ 的频带内,轴比小于 3 dB,具有良好的圆极化特性;部分球面螺旋天线在 $C/\lambda > 2.7$ 的频带内具有小于 3 dB 的轴比特性. 显而易

见,半球面螺旋天线较部分球面螺旋天线具有更好的圆极化特性.

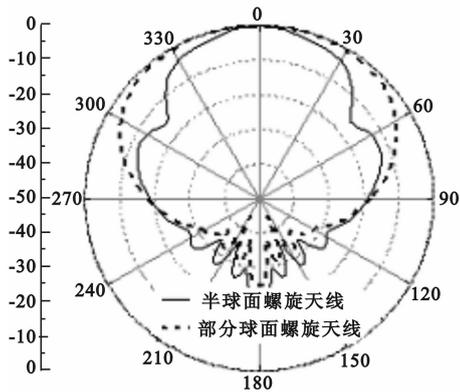


图 7 $C/\lambda = 4.5$ 时天线的远场方向图

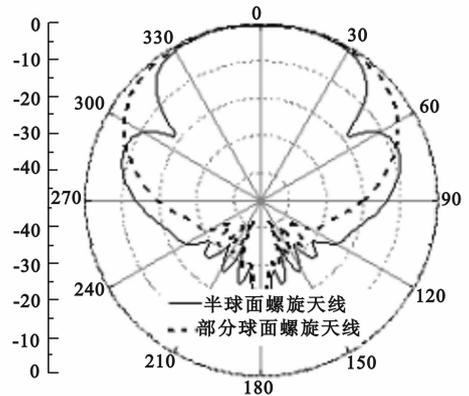


图 8 $C/\lambda = 5.5$ 时天线的远场方向图

图 6~8 所示为 C/λ 分别为 2.7, 4.5, 5.5 时天线的远场方向图. 由图可见,二者均具有较好的轴向辐射和宽波束特性.

4 结束语

笔者将平面等角螺旋天线投影到球面上,得到了两种新型的球面螺旋天线.通过采用基于曲线基函数的矩量法对这两种天线的辐射特性进行了分析,从结果可以看出,新型半球面螺旋天线具有较宽的圆极化带宽,部分球面螺旋天线增益曲线较为平坦,且易于加工,这对于工程实践中天线形式的选取具有较大的参考价值.

参考文献:

- [1] Mei K K, Meyer M. Solution to Spherical Anisotropic Antennas [J]. IEEE Trans on Antennas and Propagations, 1964, 12(4): 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] 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.
- [6] Chmapagne N J. The Use of Curved Segments for Numerically Modeling Thin Wire Antennas and Scatters [J]. IEEE Trans on Antennas and Propagations, 1992, 40(6): 686-689.
- [7] 纪奕才, 孙保华, 刘其中. 基模螺旋天线的研究 [J]. 电子学报, 2002, 30(3): 428-430.
Ji Yicai, Sun Baohua, Liu Qizhong. Research on Nonmal Model Helical Antenna[J]. Acta Electronica Sinica, 2002, 30(3): 428-430.

(编辑: 郭 华)