

## 宽带圆极化球面螺旋天线研究

夏冬玉, 张厚, 耿方志, 赵海洲, 任卫华

(空军工程大学导弹学院, 陕西三原 713800)

摘要: 研究了一种具有宽带、小尺寸、圆极化特点的新型球面螺旋天线, 采用螺旋线段对天。线进行划分, 曲线三角基函数和脉冲检验的矩量法分析了该天线的驻波、圆极化及方向图等特性。分析结果表明, 计算天线上的电流分布时未知系数大量减少, 提高了计算速度; 与传统球面螺旋天线、半球面螺旋天线相比, 该天线具有更加良好的辐射特性, 在卫星通信领域有着巨大的应用前景。

关键词: 螺旋天线; 球面螺旋; 矩量法; 螺旋分段; 圆极化

中图分类号: TN823 文献标识码: A 文章编号: 1009-3516(2007)02-0060-03

在卫星通信和全球定位系统中, 由于圆极化天线不受电离层法拉第旋转效应的影响, 而且能够降低信号传输过程中的多径效应, 因此备受人们关注。目前, 在这些系统中通常采用的圆极化天线一般是具有轴向模的圆柱面螺旋天线和微带天线, 然而, 它们都存在较大的缺陷: 圆柱面螺旋天线轴向辐射时, 波瓣宽度和带宽都比较窄, 实现圆极化需要较多的圈数, 增大了天线的体积; 微带天线仅能在较窄的频带内实现圆极化。为了实现宽带、宽波束、圆极化辐射, Mei 和 Meyer 率先提出了球面螺旋天线<sup>[1]</sup>, 从理论上对其远场进行了分析; 在此基础上, Safaai - Jazi 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<sup>[2]</sup>。Hui 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<sup>[3,4]</sup>。将 Hui 提出的半球面螺旋天线绕轴向旋转 180°, 在与原螺旋臂顶端相接处馈电, 就形成了一种新型球面螺旋天线, 即双臂半球面螺旋天线。本文采用螺旋线段对天线进行划分、曲线三角基函数和脉冲检验的矩量法分析了该天线的驻波、圆极化及方向图等特性。分析结果表明, 这种新型的球螺旋天线工作频带内圆极化特性较好, 具有较宽的阻抗带宽和方向图带宽。

## 1 球面螺旋天线结构

球面螺旋天线是一种以螺旋方式缠绕在球面上的线天线。为增强轴向辐射特性, 通常在其下方加垂直于轴向放置的圆形反射板。该天线可用极坐标方程式表示为

$$\begin{cases} r = a \\ \theta = \arccos\left(\frac{\varphi}{2N\pi} - 1\right) \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $r$  是天线所缠绕球面的半径,  $N$  是缠绕的螺旋圈数,  $\theta$  和  $\varphi$  分别为天线的俯仰角和方位角。

当螺旋线在整个球面上进行缠绕时, 即为 Mei 等提出的球面螺旋天线; 当螺旋线在半球面上进行缠绕时, 即为 Hui 等提出的半球面螺旋天线; 将半球面螺旋天线关于  $Z$  轴对称位置再绕一个螺旋臂, 采用顶端馈电方式, 即可得到新型的双臂半球面螺旋天线。

收稿日期: 2006-03-21

基金项目: 空军工程大学学术(联合)基金资助项目(KGD-XL02-200409)

作者简介: 夏冬玉(1978-), 男, 山东德州人, 博士生, 主要从事天线与电磁兼容研究;

张厚(1962-), 男, 山西太原人, 教授, 博士生导师, 主要从事天线与电磁兼容、智能天线研究。

## 2 天线特性分析

### 2.1 基于曲线基函数的矩量法

矩量法<sup>[5,6]</sup>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。文献[7]、[8]采用螺旋线段对天线进行划分,减少了天线分段数,提高了计算速度和精度。

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,每段轴向长度为  $d$  (因为球面上螺旋直径是变化的,因此  $d$  是一个渐变量,可根据螺旋的圈数进行控制),然后将天线上的电流用图 1(a) 所示的分段曲线三角形基函数展开如下:

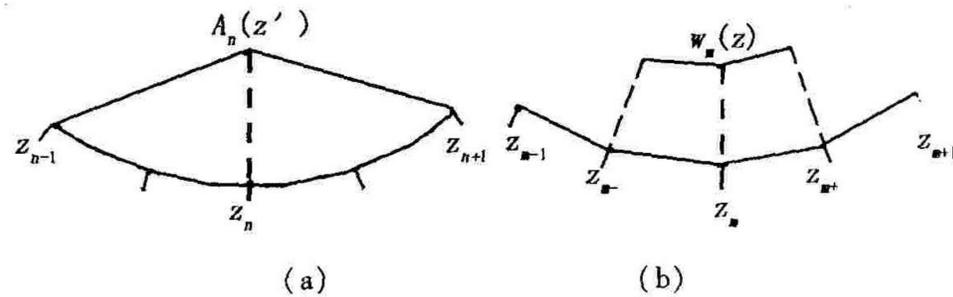


图1 曲线基函数与检验函数

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

其中,

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

将式(2)和式(3)代入电场积分方程<sup>[5]</sup>,并采用图 1(b) 所示的脉冲基函数

$$w_m(z) = \begin{cases} 1, & z \in (z_{m-}, z_{m+}) \\ 0, & \text{others} \end{cases} \tag{4}$$

为检验函数,经推导可得如下矩阵方程

$$[Z_{mn}][I_n] = [V_m] \tag{5}$$

其中,

$$Z_{mn} = \frac{1}{\sin(kd)} \left[ \int_{z_{m-}}^{z_m} \sin[k(z - z_{m-1})] + \int_{z_m}^{z_{m+}} \sin[k(z_{m+1} - z)] \right] \sum_{s=1}^3 C(s) \frac{\exp(-jkR(s))}{R(s)} dz;$$

$$\begin{cases} C(1) = 1/\sin k(z_n - z_{n-1}) \\ C(2) = 1/\sin k(z_{n+1} - z_{n-1}) / [\sin k(z_{n+1} - z_n) \sin k(z_n - z_{n-1})]; \\ C(3) = 1/\sin k(z_{n+1} - z_n) \end{cases}$$

$$R(s) = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2};$$

$[V_m]$  为  $m \times 1$  单位激励矩阵。

在求解其阻抗矩阵  $[Z]$  的元素时,可充分利用球面螺旋天线的旋转对称性,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。

### 2.2 结果分析

下面研究球面螺旋天线的电特性。球面螺旋天线球面直径均为 110 mm,螺旋线直径为 1 mm。传统球面螺旋天线的圈数为 8,半球面螺旋天线的圈数为 4,双臂半球面螺旋天线的圈数为 3.75。用螺旋线段对天线进行划分,对这 3 种螺旋天线进行了分析。图 2 给出了双臂半球面螺旋天线的输入阻抗随频率变化的情况,可见,该天线的输入电阻趋向一个稳定值,而输入电抗趋近于零,说明了该天线具有较大的阻抗带宽。图中同时给出了著名天线仿真软件 NEC2 的仿真结果,二者吻合较好,说明了本文算法的正确性。

图 3 给出了这 3 种球面螺旋天线的驻波比随  $C/\lambda$  ( $C$  为球面大圆的周长,  $\lambda$  为波长) 变化的曲线。由图可见,传统球面螺旋天线和双臂半球面螺旋天线在  $1.2 < C/\lambda < 3.6$  时驻波比小于 2,具有 3 倍频程的阻抗带宽,而半球面螺旋天线的驻波比仅在  $2.2 < C/\lambda < 3.6$  时小于 2,阻抗带宽较窄。而且,从图中还可以看出,双臂半球面螺旋天线低频端驻波特性较好,在天线小型化中具有较大的应用潜力。图 4 所示为这 3 种球面螺旋天线在同一频率下的轴比曲线,由图可见,这 3 种球面螺旋天线均有较宽的圆极化辐射角度。相互比较而言,传统球面螺旋天线的圆极化角度最窄,而双臂半球面螺旋天线的圆极化角度最宽。

图5所示为3种球面螺旋天线轴向辐射的远场方向图,显而易见,双臂半球面螺旋天线轴向辐射的3 dB波瓣角度最宽,而传统球面螺旋天线的波瓣宽度最小。进一步分析可知,当频率升高时,天线的辐射波束变宽,在 $C/\lambda > 2.6$ 时,传统球面螺旋天线和半球面螺旋天线的最大辐射方向发生了偏移,不能满足轴向辐射的要求,而双臂半球面螺旋天线在 $1.2 < C/\lambda < 3.2$ 的范围内均能保持宽角度的轴向辐射。

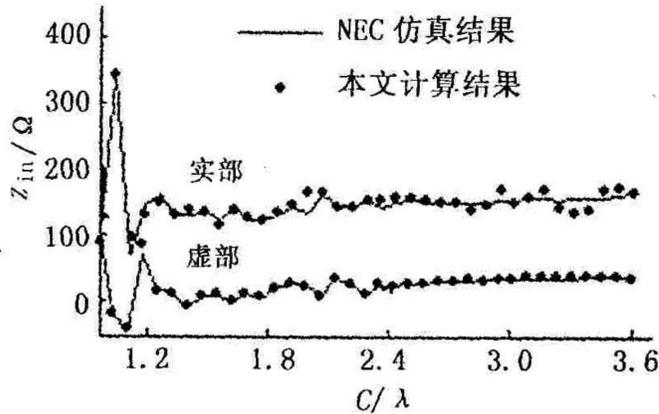


图2 双臂半球面螺旋天线的输入阻抗随频率变化曲线

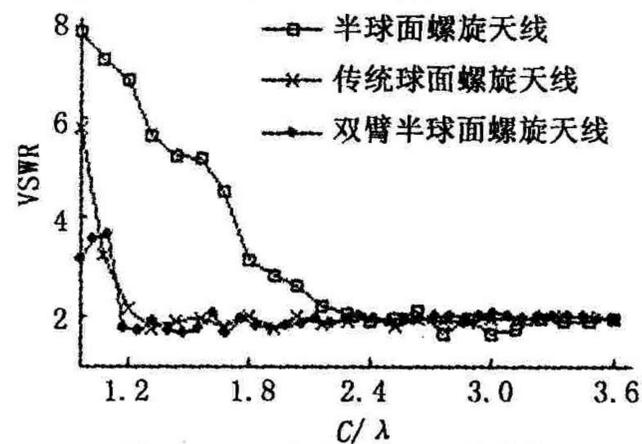


图3 天线的驻波比随频率变化曲线

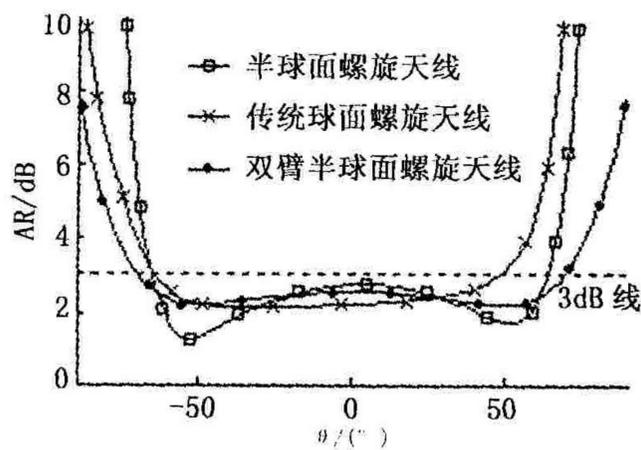


图4 天线的轴比随角度变化曲线

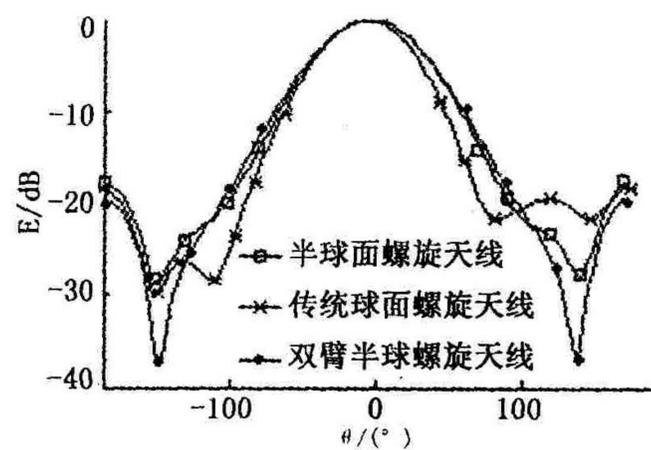


图5 天线的E面方向图

### 3 结论

采用螺旋分段的矩量法分析了3种球面螺旋天线的驻波、轴比和方向图特性,该方法使未知系数的数目大量减少,提高了计算速度。分析结果表明,双臂半球面螺旋天线在 $1.2 < C/\lambda < 3.2$ 的范围内,驻波比小于2,具有较宽的圆极化轴向辐射波束,其阻抗和方向图带宽大于100%,在天线小型化和卫星通信领域具有广阔的应用前景。

#### 参考文献:

- [1] Mei K K, Meyer M. Solution to Spherical Anisotropic Antennas[J]. IEEE Trans. on Antennas and Propagations, 1964, AP-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] 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] 夏冬玉,张厚,秦建军. 考虑互耦的天线阵列零点综合[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2005,6(4):85-87.
- [7] 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.
- [8] 纪奕才,郭景丽,刘其中. 加载法向模螺旋天线的研究[J]. 电波科学学报,2002,17(6):573-576.

(编辑:田新华)

(下转第65页)