

两种新型球面螺旋天线的数值分析

张厚¹, 夏冬玉¹, 屈天莹², 任卫华¹

(1. 空军工程大学导弹学院, 陕西三原, 713800; 2. 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, 可得到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。从二者辐射特性的分析结果可以看出, 二者均具有宽带、宽波束和圆极化特性, 新型半球面螺旋天线的具有更宽的圆极化带宽, 部分球面螺旋天线具有较小尺寸的同时其频带内的增益曲线更加平坦, 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

Numerical Analysis on Two Novel Spherical Helical Antennas

Zhang Hou¹, Xia Dong-yu¹, Qu Tian-ying², Ren Wei-hua¹

(1. *The missile institute, air force engineering university, Sanyuan, Shanxi 713800, China*)

(2. *The No.2863 mail box, Beijing, 100085, China*)

Abstract: Two novel spherical helical antennas can be 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 curved basic and testing function, and the curves of the VSWR, gain, polarization and pattern vs. frequency are also given, respectively. By compared with each other in the radiation property, it can be seen that the circular polarization band of the novel hemispherical helical antenna is broader and the gain curve of the partial spherical helical antenna is more even though its dimension is less small. These results provide dependable gists to the choice of antenna format according to the requirements.

Key words: spherical helical antenna MOM curved basic function

1 引言

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，也降低了天线的剖面，具有更加稳定的机械结构，并对由这种半球面螺旋天线进行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是具有等螺距的特点，对采用其他方式缠绕螺旋的天线的特性仍未得到很好的研究。本文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，为不同要求下天线形式的选取提供了良好的依据。

2 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 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 2 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 3 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：

$$\begin{cases} r = a \\ \theta = \cos^{-1}(1 - \sqrt{1 - e^{-2\phi \tan \alpha}}) \end{cases} \quad 0 < \phi < 2N\pi$$

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。

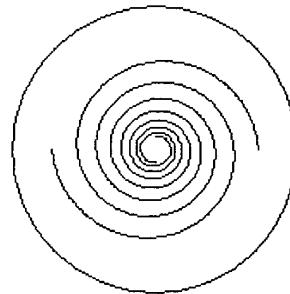


图 1 平面等角螺旋天线结构示意图

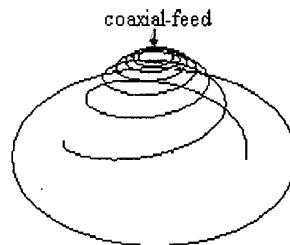


图 2 新型半球面螺旋天线

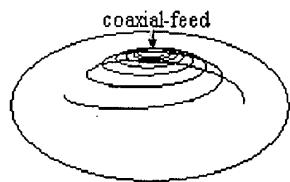


图 3 部分球面螺旋天线

3 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^[6,7,8,9]。

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 4 (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,

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

将式(2)和(3)代入电场积分方程, 并采用图 4(b) 所示的脉冲基函数

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

为检验函数, 经推导可得如下矩阵方程

$$[Z_{mn}] [I_n] = [V_m] \quad (5)$$

对于半球面螺旋天线, 在求解其阻抗矩阵[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。

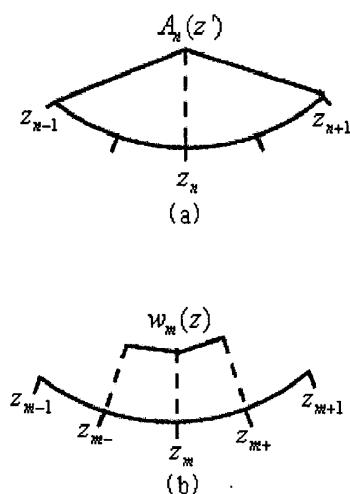


图 4 曲线基函数与检验函数

4 天线特性分析

本文研究的半球面螺旋天线球面直径为 140mm, 螺旋线直径为 0.1mm, 圈数为 4, 部分

球面螺旋天线球面的直径也为 140mm, 高度为 35mm, 比半球面螺旋天线高度低了一半, 具有更好的低剖面特性。反射板与半球距离为 2mm, 直径为 200mm。

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 5~10 所示。

图 5 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, 其计算时采用的是 300 欧姆的高阻抗作为特性阻抗。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, 但在 $1.2 < C/\lambda < 1.8$ 的频段低端, 部分球面螺旋天线的驻波特性明显好于半球面螺旋天线, 在该频带内其驻波比小于 2。可见, 这两种天线都具有较好的阻抗特性, 部分球面螺旋天线具有更好的低端性能, 有利于天线小型化。

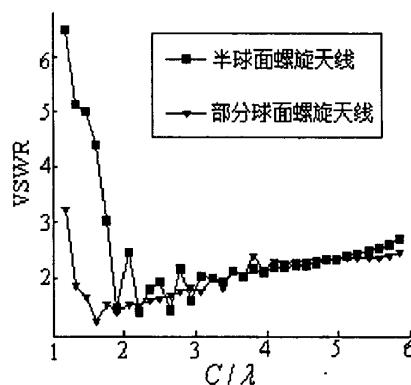


图 5 天线的驻波比曲线

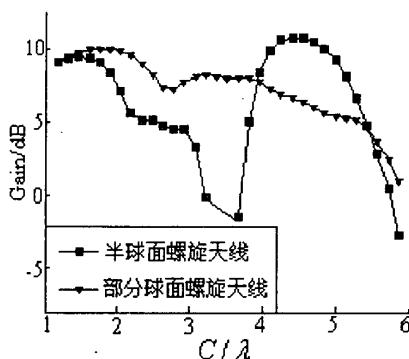


图 6 天线的增益曲线

图 6 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 3dB 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。半球面螺旋天线在 $2.7 < C/\lambda < 4$ 的频带内下降较大，主要是因为天线的方向图在该频带内分裂为两偏离轴向的对称波瓣造成的。

图 7 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 3dB ，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 3dB 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。

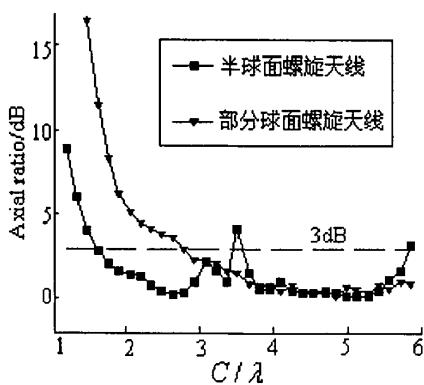


图 7 天线的轴比曲线

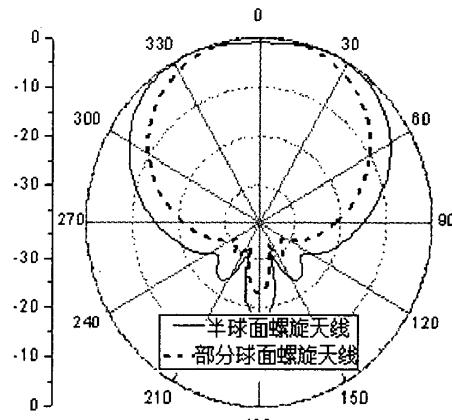
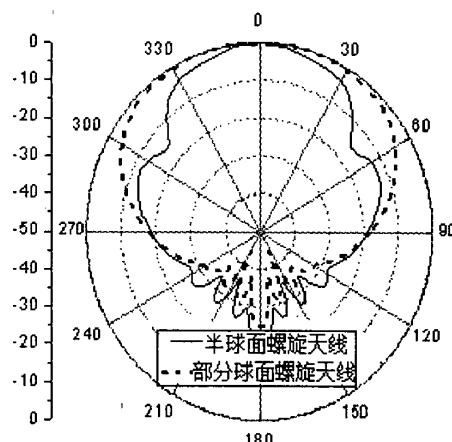
图 8 $C/\lambda = 2.7$ 时天线的远场方向图

图 8~10 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。在低频段，半球面螺旋天线的波束宽度大于部分球面螺旋天线，而在高频段则恰恰相反。

图 9 $C/\lambda = 4.5$ 时天线的远场方向图

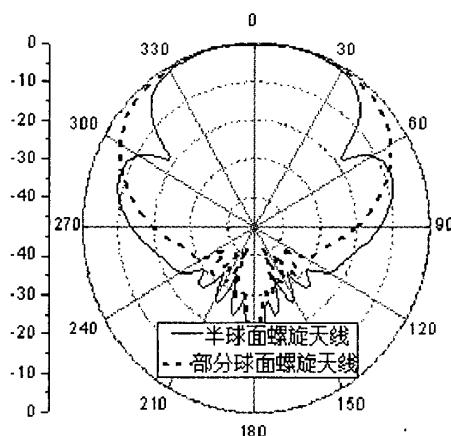


图 10 $C/\lambda=5.5$ 时天线的远场方向图

4 结论

本文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, 部分球面螺旋天线的阻抗特性和增益特性好于半球面螺旋天线, 而其圆极化轴比带宽则小于后者; 天线的远场方向图则在低频段与高频段分别具有较宽的波束。这些都为工程实践中天线形式的选取提供了有力的参考。

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] A. Safaai-Jazi, J. C. Cardoso. Radiation characteristics of a spherical helical antenna[J]. IEE Proc. Microwaves Antennas and Propagation, 1996, 143(1): 7-12.
 - [3] H. T. Hui, K. Y. Chan, and E. K. N. Yung. 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] H.T. Hui, etc. 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] N J Chmapagne, etc. The use of curved segments for numerically modeling thin wire antennas and scatters[J]. IEEE Trans. on Antenna and Propagations, 1992, 40(6):686-689.
 - [7] E D Caswell and W A Davis. Analysis of a helix antenna using a moment method approach with curved basis and testing function [A]. IEEE International Symposium on AP[C], Atlanta, 1998:111.
 - [8] 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.
 - [9] 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, 580.
- 张 厚 (1962-), 男, 山西人, 教授, 博士生导师。
夏冬玉 (1978-), 男, 山东人, 博士研究生。

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>