

小型化高效率的短波宽带天线

张志刚 柳超 王跃平
(海军工程大学电子工程学院 武汉 430033)

摘要: 该文介绍了一种小型高效的短波宽带天线, 天线采用线栅型扇锥结构, 运用矩量法对不同导线数量、馈电端间距、扇锥张角下天线电压驻波比和最大增益进行仿真计算, 并根据仿真结果制作出实际天线, 测试结果与仿真结果较好地吻合。天线在 3~30MHz 频段 95% 以上频率点驻波比小于 2, 平均辐射效率达到 98%, 平均增益超过 6dBi。

关键词: 线栅型扇锥天线; 矩量法; 宽带; 短波

中图分类号: TN822

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2008)07-1776-03

Small Size and High Efficiency HF Broadband Antenna

Zhang Zhi-gang Liu Chao Wang Yue-ping

(College of Electronic Engineering, Naval Univ. of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: A small size and high efficiency HF broadband antenna that use wire sector-conical structure is designed. The Method of Moment is used to compute the VSWR and power gain of the antenna with different wire number, different size of feed-point gap and different sector-conical open angle. A sample antenna is built base on simulation results. The measured VSWR and radiation pattern agree well with those from simulation. The VSWR is within 2:1 over more than 95% of HF band, the average efficiency is 98% and the average gain is greater than 6dBi.

Key words: Wire sector-conical antenna; Mehtod of Moment; Broadband; High frequency

1 引言

为满足跳频、扩频以及软件无线电的需要, 短波射频系统必须实现宽带化, 其关键技术之一就是宽带天线。目前广泛使用的高增益宽带天线如对数周期天线、菱形天线, 占地面积庞大, 使用受到限制; 小型天线如加载双极、鞭天线占地小架设灵活, 但在低频端效率太低, 设计一种效率高、占地面积相对较小且具有中等增益的天线具有重要意义。

2 天线结构

在短波波段, 以较小尺寸实现宽带化较为理想的形式是采用锥形结构。理想无限长双锥天线结构完全由角度决定, 因而具有任意宽的频带特性, 是一种典型的宽频带天线, 实际天线的长度由最低工作频率决定。在短波波段, 由于频率较低, 锥形天线尺寸较大, 因此往往简化为线栅型圆锥结构^[1-3]; 水平架设时, 又将天线简化为扇锥结构, 如图 1 所示。尽管线栅型扇锥相对于双锥而言, 结构有了很大的变化, 但仍然可保留其特性阻抗低且沿天线特性阻抗基本不变的优点, 通过合理地选择扇锥的扇面角、张角、导线数量、激励区尺寸等参数可获得较宽的带宽。

双锥天线的特性阻抗为 $Z_0 = 120 \ln \text{ctg}(\theta_0/2)$, 其中 θ_0 为锥形顶角。因工程常用 300 Ω 平衡馈线馈电, 故取天线特性

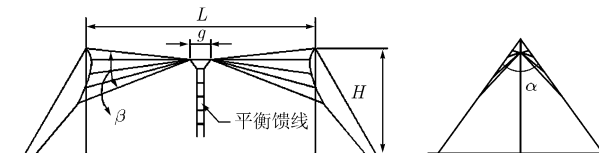


图 1 线栅型扇锥天线

阻抗为 300 Ω , 此时锥顶角 $\theta_0 = 18.77^\circ$ ^[2], 扇锥可视为由双锥展开而成, 对应扇锥的扇面角 2β 约为 58° 。

3 数值计算及结果分析

理想的双锥天线可以用解析法严格地分析计算, 有限长的双锥天线也有很多文献进行了详细的研究^[1, 4], 对于扇锥结构严格地推导计算过于复杂, 本文采用矩量法来计算。在矩量法中, 基函数的选取对于计算的速度及精度均有很大的影响, 由于线栅型扇锥天线导线数量多, 采用阶梯函数为基函数收敛速度较慢, 分段数多计算量大, 为获得较快的收敛速度, 本文采用正弦插值基。

选用正弦插值基时, 第 s_j 段上电流可用下式表示:

$$I_j(s) = A_j + B_j \sin k(s - s_j) + C_j \cos k(s - s_j), |s - s_j| < \Delta j/2$$

其中 Δj 为第 j 段的长度, s_j 为该段中点的坐标。 A_j , B_j , C_j 为 3 个未知系数。对于圆柱状细导线天线, 由于正弦插值基能够较好地逼近实际天线的电流分布, 因而具有较快的

收敛速度^[3, 4]。

设计一副工作在 3~30MHz 的线栅型短波宽带扇锥天线，长度 L 设定为 40m，架高 H 为 15m，采用矩量法分别对不同导线根数、馈电端间距以及扇锥张角时天线性能进行计算^[5]，重点考察天线的电压驻波比和最大辐射方向的增益两项指标，要求驻波比 < 2.5，架设于地面 ($\sigma = 0.01, \epsilon_r = 15$) 时平均增益不低于 5dBi。

(1)导线数量的选取 线栅型天线用导线代替面结构，当导线数量达到一定程度时，两者性能相近，导线数量越多，差别就越小，但加工制作和架设也越复杂。为选取合适的导线数量，取典型的 9, 15, 21 根导线的情况，导线材料选用 3mm 不锈钢丝绳，对天线增益进行计算，计算曲线如图 2 所示。从图中可以看出，当导线取 9 根以上时，天线的最大增益基本相近。

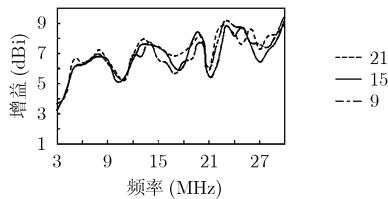


图 2 0.6m 馈电间距，不同导线根数对天线最大辐射方向增益的影响

(2)馈电端间距的选取 由于天线辐射单元由多根导线构成，从结构和加工制作方便上考虑，每臂的导线在馈电端等间距连接在一个导体板上，连接点间间距为 3cm。两臂间用绝缘板隔开，导体板之间的间距 g 对天线性能将产生一定的影响，取典型值 0.4m、0.6m、0.8m，计算天线输入端驻波比及增益，曲线如图 3 所示。比较计算结果可以发现，当馈电端间距为 0.4m 时，驻波比明显偏高，但增益略高，馈电端间距取 0.6m 和 0.8m 时天线增益几乎一样，相比较而言取 0.8m 驻波比性能更优。

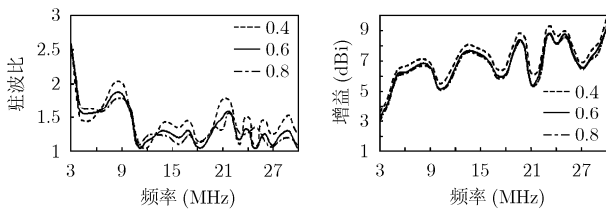


图 3 21 根导线、不同馈电间距天线性能仿真

(3)天线张角的选取 天线的张角 α (见图 1 所示) 的变化将改变天线的特性阻抗，从而对输入阻抗以及天线增益产生影响。分别取张角为 90°、70°、60°、50°，计算天线驻波比和增益，如图 4 所示。从图中可以看出，天线张角变化对天线驻波比影响较小，而对增益影响较明显。当张角 α 等于 90° 时，天线最大增益相对比较平稳，这对于宽频带稳定工

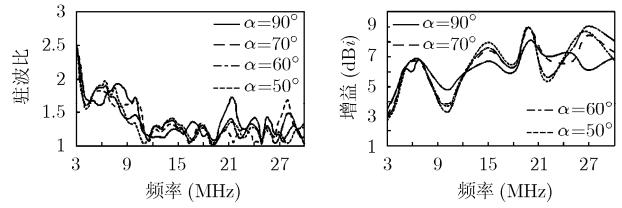


图 4 0.6m 馈电间距，21 根导线，不同张角的天线性能仿真

作是有好处的，此时天线的驻波比除在 21.5MHz 时略微突出以外，其余频段差别较小，因此张角 α 取 90° 是比较合适的。

4 天线设计实例

根据以上仿真计算结果，取天线长度 L 为 40m，高 H 为 15m，馈电间距 g 为 0.8m，导线取 21 根，张角 $\alpha = 90^\circ$ ，实际制作了一副天线，其驻波比测试曲线与计算曲线对比如图 5 所示，差别的主要原因是实际测试中在天线和网络分析仪之间插入了非线性的传输线变压器。测试曲线表明天线的驻波比除低频一小频段以外，其余超过 95% 频点的驻波比均在 2 以下。

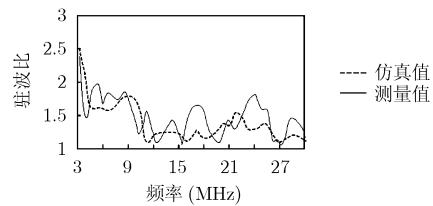


图 5 实际天线驻波比测量值与仿真计算结果对比

为方便方向图测量，按 1: 25 比例制作缩比模型天线，根据天线模型理论，相应测试频率为原频率的 25 倍。方向图的模型测试结果与仿真计算结果对比如图 6 所示，两者一致性较好，表明天线仿真模型是准确的。由于短波天线增益和效率测试复杂，受条件限制未能实际测量，但由于仿真模型经验证是准确的，因此可认为天线增益和效率的仿真结果是可信的。仿真结果表明采用 3mm 不锈钢丝绳作天线辐射体，地面参数为 $\sigma = 0.01, \epsilon_r = 15$ 时，天线的平均效率达到 98%，平均增益超过 6dBi。

5 结束语

本文采用矩量法分别对短波水平扇锥天线的馈电端间距、导线数量以及扇锥张角等结构参数作了优化计算，计算表明导线数量大于 9 根、馈电间距为 0.8m、张角取 90° 时天线性能较好。根据计算结果制作出实际天线，天线驻波比、方向图测试结果与仿真结果一致性较好。仿真计算大大缩短了试验调试的时间，优化了天线的性能。设计的天线具有相对体积小，辐射效率高、驻波比带宽宽的优点，适合于与宽带跳频电台连接使用。

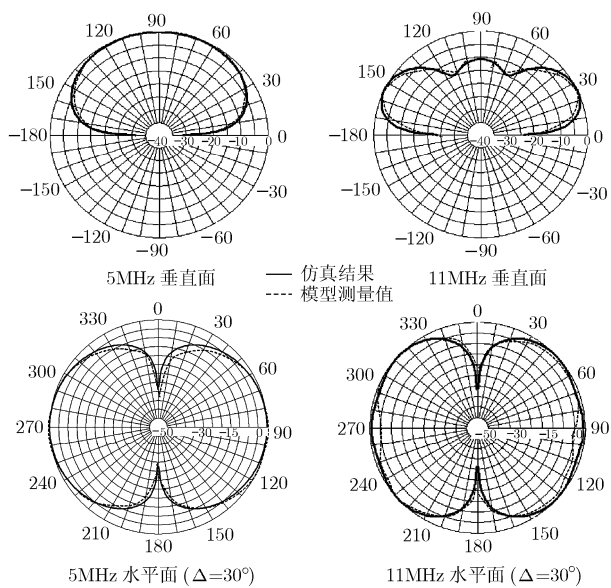


图6 天线方向图仿真结果和模型测量结果对比

参考文献

- [1] 王元坤, 李玉权. 线天线的宽频带技术[M]. 西安电子科技大学出版社, 1995, 第2章.
- [2] 张金生. 短波宽带全向天线[J]. 电波与天线, 1991, 10(1): 1-4.
- [3] 张晓刚, 纪奕才, 田步宁, 刘其中. 线栅型圆锥单极天线[J]. 西安电子科技大学学报, 2002, 29(6): 756-759.
- [4] 王琪, 阮成礼, 王洪裕. 任意锥角有限长双锥天线电磁特性的仿真研究[J]. 电波科学学报, 2003, 18(6): 704-708.
- [5] Givati, A P C Fourie. Analysis of skeletal wire conical antennas [J], *IEEE Trans. on AP*, 1996, 44(6): 844-858.

张志刚: 男, 1977年生, 讲师, 研究方向为天线数值计算和宽带天线.

柳超: 男, 1963年生, 教授, 研究方向为天线数值计算、宽带天线、潜艇通信.

王跃平: 男, 1974年生, 讲师, 研究方向为短波天线设计.