

· 天馈系统 ·

中图分类号: TN82

文献标志码: A

文章编号: 1004-7859(2012)08-0060-03

# 双锥共线阵天线辐射特性

庞秋媛, 倪育德

(中国民航大学 智能信号与图像处理天津市重点实验室, 天津 300300)

**摘要:** 双锥共线阵天线因其宽频带、高辐射功率等特点被广泛应用于工程中, 文中采用基于有限元法的电磁场仿真技术对双锥共线阵天线进行辐射特性研究, 分别通过改变阵子个数、锥角等参数研究其辐射特性与各参数变化的关系。然后根据导航设备的实际需要设计出一种满足国际民用航空公约附件十要求的双锥共线阵天线, 实验结果表明, 该天线适用于陆基导航系统中测距机的信标天线。

**关键词:** 双锥共线阵天线; 测距机; 辐射特性

## Radiation Characteristics of Linear Biconical Antenna Array

PANG Qiu-yuan, NI Yu-de

(Tianjin Key Laboratory for Advanced Signal Processing,  
Civil Aviation University of China, Tianjing 300300, China)

**Abstract:** Linear biconical antenna array is widely used in engineering application because of its directive characteristics and high radiation power. In this paper, by means of the HFSS simulation technology based on the finite element method, the radiation characteristics of linear biconical antenna array are studied. and the simulation results of the radiation patterns are given by changing the element number of array and its cone respectively. According to the antenna requirements for Distance Measuring Equipment (DME), a linear biconical antenna array is designed, which meets the specifications recommended by International Civil Aviation Organization Annex 10.

**Key words:** biconical antenna array; DME; radiation

### 0 引言

双锥天线是具有普遍性的物理模型。其宽频带、高功率容量的特点使其得到了广泛的研究和应用<sup>[1-3]</sup>。但是, 目前国内外文献大多只是针对单个双锥天线的辐射特性进行研究, 并没有关于双锥共线阵天线的辐射特性分析。文献[4]和文献[5]对任意锥角有限长双锥天线的电磁特性进行数值研究, 得到了包括单个对称双锥、单个不对称双锥、盘锥等不同类型椎体天线的阻抗特性和远场区辐射特性。本文则重点研究双锥共线阵天线的远场区辐射特性。

本文利用 HFSS 软件对单个对称双锥天线、对称双锥共线阵天线和非对称双锥共线阵天线分别进行建模仿真, 分析了锥角、阵子个数等参数对远场区辐射特性的影响, 并根据其不同辐射特性设计出一种适用于民航陆基导航设备测距机 (Distance Measuring Equipment, DME) 的信标天线。

### 1 双锥天线建模

双锥天线是一种典型的宽带天线, 依据其锥高

分为无限长和有限长 2 种。无限长的双锥天线上载行波, 具有理论上的无限宽的工作带宽, 即所谓的频率无关天线<sup>[6]</sup>。由于其宽频带、高容量功率, 通常被用于脉冲辐射中。无限长双锥天线和有限长双锥天线的一般模型, 如图 1 所示。当两锥臂长相等, 有限长为  $l$ , 上下半锥角分别为  $\theta_1$  和  $\theta_2$ , 且  $\theta_1 = \theta_2$  时, 称为对称双锥天线;  $\theta_1 \neq \theta_2$  时, 称为非对称双锥天线。

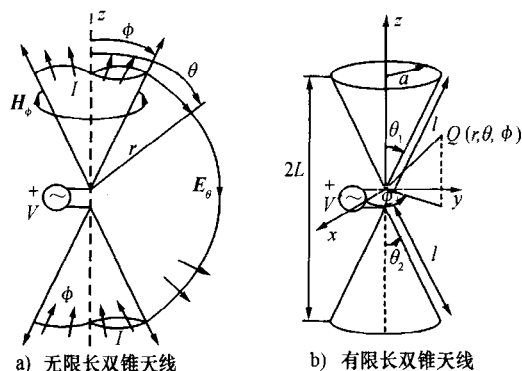


图 1 无限长和有限长双锥天线的一般模型

单个有限长对称双锥天线的输入阻抗为

$$Z_0 = \frac{\eta}{\pi} \ln \left( \cot \frac{\theta_1}{2} \right) \quad (1)$$

单个有限长非对称双锥天线的输入阻抗为<sup>[2]</sup>

$$Z_1 = \frac{\eta}{2\pi} \ln \left[ \left( \cot \frac{\theta_1}{2} \right) \left( \cot \frac{\theta_2}{2} \right) \right] \quad (2)$$

基金项目: 中央高校基本科研业务费 (ZXH2011C013)

通信作者: 庞秋媛

Email: Pangqiu yuan@yahoo.com.cn

收稿日期: 2012-03-15

修订日期: 2012-06-14

式中: $\eta$ 为媒质的特征阻抗,对自由空间, $\eta=376.7\ \Omega \approx 120\ \pi\ \Omega$ 。

从式(1)和式(2)中我们可以看出,双锥天线的输入阻抗与锥长无关,只与上下锥角有关。

对于双锥共线阵天线,当电压激励都为1 V,阵子相位都为0时,整个阵列天线的阻抗是每个阵子输入阻抗的并联之和,即

$$Z_{\text{array}} = \frac{1}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \cdots + \frac{1}{Z_N}} \quad (3)$$

式中: $N$ 为阵列天线阵子个数,本文的仿真均是基于此公式设置的输入阻抗。

在极坐标的条件下,单个有限长双锥天线在任意点 $Q(R, \theta, \phi)$ 处的辐射场为<sup>[2]</sup>

$$E_{\theta} = \frac{jk l V_0 e^{-jk(r+l)}}{2 \cdot r \cdot \ln \left\{ \left( \cot \frac{\theta_1}{2} \right) \left( \cot \frac{\theta_2}{2} \right) \right\}} \cdot \left[ \int_{\theta_1}^{\pi-\theta_2} e^{jkl \cdot \cos \theta \cos \theta'} \cdot \{ \sin \theta \sin \theta' J_0(k l \sin \theta \sin \theta') + j(1 + \cos \theta \cos \theta') J_1(k l \sin \theta \sin \theta') \} d\theta' \right] \quad (4)$$

式中: $V_0$ 为激励电压; $J_n(n=0,1)$ 为第一类贝塞尔函数。双锥共线阵天线的辐射场为每个双锥阵子辐射场的矢量和<sup>[7]</sup>。

## 2 双锥天线远场区辐射特性

### 2.1 单个对称双锥天线辐射特性

我们利用电磁仿真软件 HFSS 对单个对称双锥天线进行建模仿真。取上下锥长为 $l=60\ \text{mm}$ ;天线半锥角为 $\theta_1=\theta_2=30^\circ$ ;电压激励为1 V;相位为0;频率 $f=1\ 080\ \text{MHz}$ 。

图2为仿真得到的单个对称双锥天线E面(实线,下同)和H面(虚线,下同)的远场区方向图。需要说明的是,本文所给的方向图都是天线沿 $x$ 正半轴摆放时所得到的。

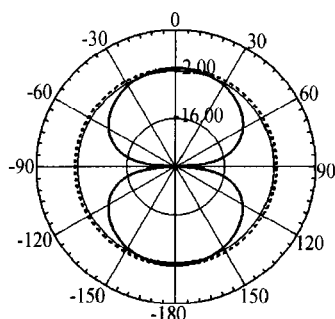


图2 单个对称双锥天线方向图

由图2可以看出单个对称双锥天线在H面的方向图成无方向性,在E面成对称的“8”字形,最大值在 $0^\circ$ 方向。不等锥角的效果是使E面方向图的主瓣向

小锥角的方向产生了一定的偏转。如果双锥尺寸不变,频率较低时,对应的方向图主瓣偏转很不明显,基本仍成“8”字形<sup>[4]</sup>。

### 2.2 阵子数较多时双锥共线阵天线辐射特性

按天线阵理论将双锥阵子在垂直于地面的直线上排列,以压缩铅垂平面的波瓣宽度的阵列天线称为双锥共线阵天线<sup>[8]</sup>。阵子之间用扼流器抑制同轴支撑钢管上的电流,馈电方式采用功率分配器分别给各阵子馈电。

将每个双锥天线作为双锥共线阵天线的一个阵子,取阵子数 $N=10$ 。取各阵子中心距前一个阵子中心的距离为阵子间隔 $d=130\ \text{mm}$ ;取每个阵子的上下锥长都为 $l=60\ \text{mm}$ ;天线半锥角为 $\theta_1=\theta_2=30^\circ$ ;频率 $f=1\ 080\ \text{MHz}$ ;电压激励都为1 V;阵子相位都为0。利用 HFSS 软件建立双锥共线阵模型,模型俯视图如图3所示。

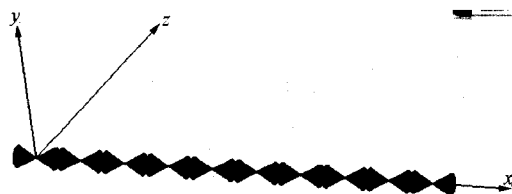


图3 双锥共线阵模型俯视图

图4为其E面和H面的方向图,由图中可以看出对称双锥共线阵天线较单个对称双锥天线辐射性能大大增强。E面方向图旁瓣数目增加,主瓣宽度变小,越小的主瓣宽度就会带来越好的增益,图2中天线的最大增益在 $0^\circ$ 为-1.1 dB,图4中天线的最大增益仍在 $0^\circ$ ,但达到了9.9 dB。H面方向图仍成无方向性。因此,在定向性要求高,增益高的应用场合,选择双锥共线阵天线较好。

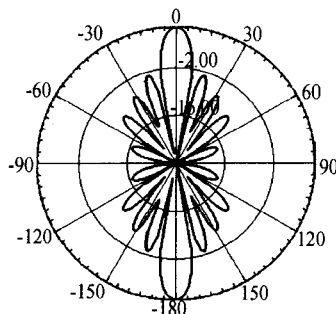
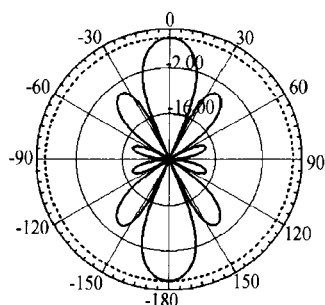


图4 对称双锥共线阵天线( $N=10$ )方向图

### 2.3 阵子数减少时天线辐射特性

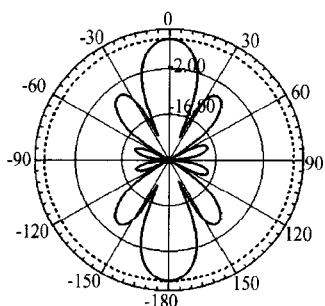
图5为阵子数减少时对称双锥共线阵天线的E面和H面方向图。取上下锥长为 $l=60\ \text{mm}$ ;天线半锥角为 $\theta_1=\theta_2=30^\circ$ ;频率 $f=1\ 080\ \text{MHz}$ ;阵子数 $N=5$ ;阵子间隔 $d=10\ \text{mm}$ ;电压激励都为1 V;阵子相位都为0。

图5 对称双锥共线阵天线( $N=5$ )方向图

由于阵子数目减少, E 面方向图较阵子数目较多时旁瓣数目下降, 主瓣宽度增加, 所以增益幅度也有小幅度的下降, 最大值增益仍在  $0^\circ$  为 8.7 dB, E 面和 H 面方向图的基本形状没有大的变化。

#### 2.4 非对称双锥共线阵天线辐射特性

如果保持双锥共线阵天线的锥长、阵子数目、阵子间隔和频率与 2.3 节中一致, 调整上下半锥角, 使  $\theta_1 = 30^\circ$ ,  $\theta_2 = 60^\circ$ , 实验结果如图 6 所示。

图6 非对称双锥共线阵天线( $N=5$ )方向图

结果表明其方向图较阵子数目相同时对称双锥共线阵的变化处只有主瓣与第一旁瓣间增益减小, 但是很不明显。如果想使方向图的主瓣发生偏转只能调整各阵子的相位偏移度。

### 3 设计 DME 信标天线系统

民航陆基导航设备中的 DME 所使用的信标天线系统就是由 1~11 个直线排列的宽频带 (960 MHz ~ 1 215 MHz) 双锥振子组成的共线阵。由于民航飞机飞行时有一定的高度, 所以一般要求 E 面的方向性图最大值指向仰角  $4^\circ$ , 这有利于其在运输航空高度层的工作<sup>[8]</sup>。根据以上分析结果本文设计了一种 E 面方向性图最大值在  $4^\circ$  的双锥共线阵天线。

设计天线上下锥长为  $l=60$  mm; 锥角为  $\theta_1 = 30^\circ$ ,  $\theta_2 = 60^\circ$ ; 阵子数  $N=10$ ; 阵子间隔  $d=10$  mm; 频率  $f=1\,080$  MHz。通过大量仿真实验发现, 设定从原点方向起, 各阵子相位偏移度为  $\varphi_1 = 0^\circ$ ;  $\varphi_2 = 10^\circ$ ;  $\varphi_3 = 20^\circ$ ;  $\varphi_4 = 30^\circ$ ;  $\varphi_5 = 40^\circ$ ;  $\varphi_6 = 50^\circ$ ;  $\varphi_7 = 60^\circ$ ;  $\varphi_8 = 70^\circ$ ;  $\varphi_9 = 80^\circ$ ;  $\varphi_{10} = 150^\circ$  时, 天线辐射特性最好。此时得到的天线 E 面和 H 面的方向图, 如图 7 所示。

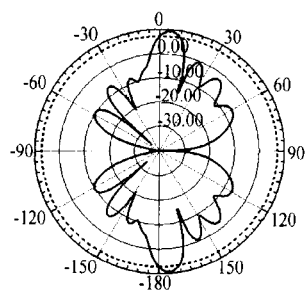


图7 设计的 DME 天线方向图

由图可以看出, 所设计的天线在  $4^\circ$  有最大值, 最大值处增益约为 9.4 dB, 满足国际民用航空公约附件十的要求。但  $0^\circ$  以下如何能够衰减的更好有待于进一步的研究。

### 4 结束语

本文利用电磁仿真软件 HFSS 对双锥共线阵天线进行了仿真研究。首先, 分析了单个对称双锥天线的辐射特性; 然后, 分析研究了双锥共线阵天线中阵子个数和锥角对其辐射特性的影响; 最后, 根据实际数据通过数值仿真设计出一种适用于民航陆基导航设备 DME 的信标天线。

### 参考文献

- [1] Ruan C L. A universal model for biconical antennas [J]. Chinese Journal of Radio Science, 2001, 16(1): 39-41.
- [2] Koj I N. Radiation field consideration of biconical horn antenna with different flare angles [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1988, 36(9): 1306-1310.
- [3] Surendra N S. Biconical antennas with unequal cone angles [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1998, 46(2): 181-193.
- [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. Wang Qi, Ruan Chengli, Wang Hongyu. Simulation study on the electromagnetic characteristics of the biconical antennas for finite length and arbitrary [J]. Chinese Journal of Radio Science, 2003, 18(6): 704-708.
- [5] 谢飞, 邱景辉, 宫宋伟, 等. 非对称双锥天线辐射特性研究 [J]. 电子测量技术, 2009, 32(6): 31-34. Xie Fei, Qiu Jinghui, Gong Shouwei, et al. Study of asymmetric biconical antenna's radiative character [J]. Electronic Measurement Technology, 2009, 32(6): 31-34.
- [6] 林昌禄. 天线工程手册 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2002. Lin Changlu. Antenna engineering handbook [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002.
- [7] Warren L S, Gary A T. Antenna theory and design [M]. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1998.
- [8] 王新稳, 李萍, 李延平. 微波技术与天线 [M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2006. Wang Xinwen, Li Ping, Li Yanping. Microwave technology and antenna [M]. 2nd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2006.

庞秋媛 女, 1988 年生, 硕士。研究方向为陆基导航系统天线及其辐射性能。

## 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](http://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](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、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](http://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>