

# 角锥喇叭天线的计算机设计

朱佩涛<sup>1</sup> 刘述章 李继文

电子科技大学物理电子学院 成都 610054

**摘 要:** 本文用计算机编程, 给出角锥喇叭天线的设计方法和天线参数的求出方法。此方法求出的天线参数比用插值法和近似方法精确。由于有了计算机的辅助, 使天线的设计工作更加简单。

**关键词:** 角锥喇叭 天线 计算机设计

## The Computer Desinning of Pyramidal Horn Antenna

Zhu Peitao Liu Shuzhang Li Jiwen

College of Physical Electronics, UESTC, Chengdu, 610054

**Abstract:** With the programning on computer, the method to work out the parameter of the antenna and to design the pyramidal horn antenna was presented in the paper. The antenna parameter gained with this method is preciser than the traditional method. The design of antenna becomes more simpler aided by the computer.

**Key Words:** pyramidal horn antenna computer designing

## 1 引 言

角锥喇叭天线的设计中, 往往要涉及许多复杂的公式和计算, 一般情况下, 设计者都是根据要求的参数, 在适当的图表中查找设计的数据。但是, 图表中不可能对每个对应的参数都给出精确的数据。往往还需要进行较复杂的插值或近似运算来求得, 即使这样求得的结果也未必精确。为此, 我们编写了通用的程序, 利用它, 就可以采用计算机设计, 可以使整个设计过程程序化, 使设计方便, 而且也精确。

## 2 基本关系式

### 2.1 角锥喇叭天线的几何关系

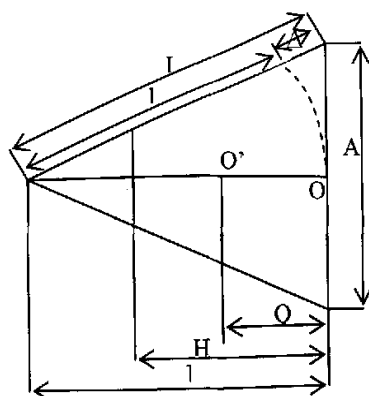


图1 角锥喇叭天线的几何关系

A 为矩形口面的宽度, L 为斜长, l 为锥高, H 为口面馈电波导的轴长,  $\Delta$  为边缘对于中心的最大光程差, S 为最大相位偏差,  $\Phi_m$  是以弧度表示的相位偏差。

### 2.2 角锥喇叭天线 E 面、H 面的几何关系

由文献<sup>[1]</sup>知:

$$\Delta = L - l = A^2 / (8L_0) \quad (1)$$

$$L_0 = (L + l) / 2 \quad (2)$$

$$S = \Delta / \lambda = A^2 / (8\lambda L_0) \quad (3)$$

$$\Phi_m = 2\pi S = \pi A^2 / (4\lambda L_0) \quad (4)$$

$$l = \left( \frac{A^2}{8\lambda^2 S} - \frac{S}{2} \right) \lambda \quad (5)$$

$$L = \left( \frac{A^2}{8\lambda^2 S} + \frac{S}{2} \right) \lambda \quad (6)$$

(1) — (6) 式, 相应的参数加脚注 E 和 H 就分别代表角锥喇叭的 E 面和 H 面的参数。

$$\text{E 面轴长为:} \quad H_E = l_E \left(1 - \frac{b}{A_E}\right) \quad (7)$$

$$\text{H 面轴长为:} \quad H_H = l_H \left(1 - \frac{a}{A_H}\right) \quad (8)$$

因为角锥喇叭要求两面轴长相等, 可以得到

$$(A_H - a)l_H / A_H = (A_E - b)l_E / A_E \quad (9)$$

### 3 角锥喇叭性能参数计算

由于角锥喇叭天线的 H 面和 E 面的场结构, 分别和 H 面扇形喇叭的 H 平面, 以及 E 面扇形喇叭的 E 面上的场结构相似。直接利用 H 面和 E 面扇形喇叭的结果。角锥喇叭天线的 H 面有相位偏差的方向振幅是按余弦分布的, E 面是均匀分布的。

#### 3.1 角锥喇叭天线 H 面方向图

由文献<sup>[2]</sup>给出的公式, 变换得到 H 面方向性函数:

$$F_H = e^{j\frac{\pi}{8S_H}(\frac{1}{2} + \frac{A_H}{\lambda}\sin\theta)^2} [C(u_1) + C(u_2) - jS(u_1) - jS(u_2)] \\ + e^{j\frac{\pi}{8S_H}(\frac{1}{2} - \frac{A_H}{\lambda}\sin\theta)^2} [C(u_3) + C(u_4) - jS(u_3) - jS(u_4)] \quad (11)$$

式中,  $C(x)$ 、 $S(x)$  为菲涅尔积分,  $S_H$  为最大相位偏差,  $A_H$  为 H 面的口径, 上式未进行归一化, 也未考虑慢变因子  $(1 + \cos\theta)/2$ 。根据式 (11)、(12) 进行编程, 同时对场强归一化, 得到  $S_H$  为要求值时的方向图 (幅度方向图和相位方向图)。图 2 是  $S_H$  分别为 0.0625、0.2、0.6 的 H 面方向图。横坐标为  $(A_H/\lambda)\sin\theta$ 。

$$u_1 = 2\sqrt{S_H} \left(1 - \frac{1}{4S_H} \frac{A_H}{\lambda} \sin\theta - \frac{1}{8S_H}\right) \quad (12.1)$$

$$u_2 = 2\sqrt{S_H} \left(1 + \frac{1}{4S_H} \frac{A_H}{\lambda} \sin\theta + \frac{1}{8S_H}\right) \quad (12.2)$$

$$u_3 = 2\sqrt{S_H} \left(1 - \frac{1}{4S_H} \frac{A_H}{\lambda} \sin\theta + \frac{1}{8S_H}\right) \quad (12.3)$$

$$u_4 = 2\sqrt{S_H} \left(1 + \frac{1}{4S_H} \frac{A_H}{\lambda} \sin\theta - \frac{1}{8S_H}\right) \quad (12.4)$$

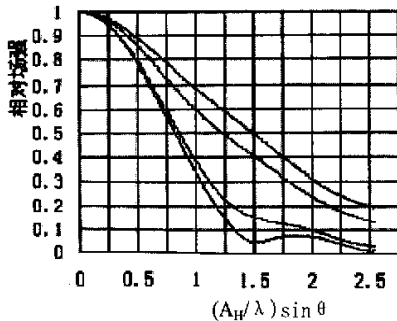


图2 角锥喇叭 H 面方向

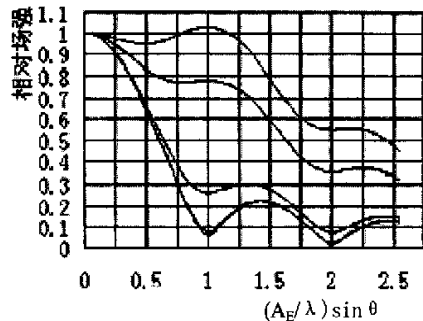


图3 角锥喇叭 E 面方向

#### 3.2 角锥喇叭天线 E 面方向图

同样对 E 面方向性函数进行变换, 得到

$$F_E = [C(\omega_1) + C(\omega_2)] - j[S(\omega_1) + S(\omega_2)] \quad (13)$$

$$\omega_1 = 2\sqrt{S_E} \left(1 + \frac{1}{4S_E} \frac{A_E}{\lambda} \sin \theta\right) \quad (14.1)$$

$$\omega_2 = 2\sqrt{S_E} \left(1 - \frac{1}{4S_E} \frac{A_E}{\lambda} \sin \theta\right) \quad (14.2)$$

同样未进行归一化,也未考虑慢变因子  $(1+\cos \theta)/2$ 。利用式(13)、(14),在编程同时对场强归一化,得到以  $S_E$  参变量的方向图(幅度方向图和相位方向图)。图3示出  $S_E$  为 0.05、0.0625、0.2、0.5、0.6 的 E 面方向图。可见当  $S_E > 0.5$  时,方向图发生畸变,所以一般要取  $S_E < 0.5$ 。

可以改编程序,给出以  $S_H$  和  $S_E$  为参变量,场强为 0.7071(3dB)和 0.3162(10dB)时的  $(A/\lambda)\sin\theta$ ,并由此可计算波瓣宽度  $2\theta$ 。

### 3.3 增益

对于角锥喇叭天线,常将方向性系数  $D$ ,看成增益  $G$ 。由文献<sup>[3]</sup>知

$$D = \frac{4\pi A_H A_E}{\lambda^2} \cdot ATL \cdot PEL \quad (15)$$

ATL 为幅度渐变损耗, PEL 为相位渐变损耗。用 dB 表示为

$$D(\text{dB}) = 10\log \frac{4\pi A_H A_E}{\lambda^2} + 10\log ATL(\text{dB}) + 10\log PEL(\text{dB}) \quad (16)$$

对于角锥喇叭天线,  $ATL_E = 0$  (dB),  $ATL_H = 0.9121$  (dB)

相位渐变损耗计算:

$$PEL = \frac{\left| \int_{-w/2}^{w/2} E(x) e^{-j2\pi S(2x/w)^2} dx \right|}{\left( \int_{-w/2}^{w/2} |E(x)| dx \right)^2} \quad (17)$$

式中  $w$  为矩形波导宽或窄边,  $S$  为 E 面或 H 面的最大相差。

对于 E 面,取  $w=b$ ,  $E(x)=E_0$ ,  $S=S_E$ , 得到

$$\begin{aligned} PEL_E &= \left| \int_0^1 e^{-j2\pi S_E t^2} dt \right| \\ &= \frac{1}{4S} [C^2(2\sqrt{S_E}) + S^2(2\sqrt{S_E})] \end{aligned} \quad (18)$$

对于 H 面,取  $w=a$ ,  $E(x)=E_0\cos(\pi x/a)$ ,  $S=S_H$ , 得到

$$\begin{aligned} PEL_H &= \left| \frac{\pi}{2} \int_0^1 \cos\left(\frac{\pi t}{2}\right) e^{-j2\pi S_H t^2} dt \right| \\ &= \frac{\pi^2}{64S} \{ [C(u) + C(v)]^2 + [S(u) + S(v)]^2 \} \end{aligned} \quad (19)$$

$$u = 2\sqrt{S_H} - \frac{1}{4\sqrt{S_H}} \quad (20.1)$$

$$v = 2\sqrt{S_H} + \frac{1}{4\sqrt{S_H}} \quad (20.2)$$

根据式(18)、(19)、(15)或(16)编程,就可以计算喇叭天线的增益了。如需要可以给出最大相位误差为参变量时的相位渐变损耗。比用插值运算,要简单的多,且精确。由于菲涅尔积分多次用到,因此可以把菲涅尔积分程序模块化。

## 4 程序运用一角锥喇叭天线的设计

### 4.1 已知频率 $f$ 、增益 $D$ 和最大相差 $S$ 时的设计

(1) 按角锥喇叭天线工作频率选定工作波导, 得到  $a \times b$ 。

(2) 按对  $S_E$ 、 $S_H$  的要求, 可以通过公式 (15), 得到  $A_E \times A_H$ , 再用式 (5)、(6)、(9) 求出  $A_E$ 、 $A_H$ 。

(3) 用式 (5)、(6)、(7)、(8), 求出  $l_E$ 、 $l_H$ 、 $L_E$ 、 $L_H$ 、 $H_E$ 、 $H_H$ 。

这时求得的  $H_H = H_E$ 。

如要设计最佳角锥喇叭天线, 只要使  $S_E = 3/8$ ,  $S_H = 1/4$ 。

#### 4. 2 已知频率 $f$ 和波瓣宽度 $2\theta$ 时的设计

这里的波瓣宽度可以是 3dB 或 10dB 时的波瓣宽度, 设计步骤如下:

(1) 按角锥喇叭天线工作频率选定工作波导, 得到标准波导  $a \times b$ 。

(2) 先试探选择一个面的  $S$ , 然后根据 2. 1 节或 2. 2 节的程序计算出 3dB 或 10dB 波瓣宽度, 计算出此面的口径。注意此时要考虑慢变因子, 用式 (21) 修正波瓣宽度。

$$\frac{BW_1}{BW_2} = \sqrt{\frac{\text{电平}_1(\text{dB})}{\text{电平}_2(\text{dB})}} \quad (21)$$

$BW$  为与电平相对应的波瓣宽度。利用修正的波瓣宽度, 计算口径宽度。用式 (5)、(6)、(7)、(8), 求出  $L$ 、 $l$ 、 $H_H$  或  $H_E$ 。

(3) 再试探选择一个面的  $S$ , 根据 2. 1 节或 2. 2 节的程序计算出 3dB 或 10dB 波瓣宽度, 计算出此面的口径。用式 (2)、(3)、(9) 式求出  $L$ 、 $l$ 。

(4) 用步骤③结果, 求出修正的最大相位偏差  $S$ 。

例: 设计具有如下要求的角锥喇叭天线, 工作频率 7GHz, 10dB 波瓣宽度, H 面波瓣宽度  $45^\circ$ , E 面波瓣宽度为  $60^\circ$ 。

根据频率知  $\lambda = 41.8275 \text{ mm}$ , 选馈电波导 BJ-70, 它的  $a \times b = 34.849 \text{ mm} \times 15.199 \text{ mm}$ , 用 3. 2 节的方法, 试取  $S_H = 0.2$ , 考虑波瓣为  $45^\circ$ , 慢变因子 0.337dB, 用式 (21) 得修正宽度为  $45.75^\circ$ , 用 2. 1 节的程序知  $(A/\lambda) \sin\theta = 1.0949$ , 计算出  $A_H = 120.631 \text{ mm}$ , 进而求出  $l_H = 208.078 \text{ mm}$ ,  $L_H = 216.634 \text{ mm}$ ,  $H_H = 146.967 \text{ mm}$ 。试取  $S_E = 0.05$ , 波瓣为  $60^\circ$ , 慢变因子为 0.603dB, 修正的宽度为  $61.799^\circ$ , 所以  $A_E = 61.899 \text{ mm}$ ,  $l_E = 198.613 \text{ mm}$ ,  $L_E = 199.684 \text{ mm}$ ,  $H_E = 147.967 \text{ mm}$ 。

验算:  $S_H = 0.2$ , 宽度为  $45.75^\circ$ , 慢变因子为 0.348dB, 用式 (21) 求得宽度为  $45^\circ$ 。再求当  $S_E = 0.056$ , 用程序计算得  $(A/\lambda) \sin\theta = 0.743$ , 求得波瓣宽度为  $61.872^\circ$ , 慢变因子为 0.641dB, 修正后的宽度为  $59.98^\circ$ 。波瓣宽度符合要求, 并且  $H_H = H_E$ 。

## 5 结 束 语

由于计算机程序参与设计, 使天线设计较原来的设计更精确和方便, 显示出独特优越性。论文中图表均为 MATLAB 中计算得到。若使整个设计过程程序化, 由于程序的实用性和可操作性较强, 天线设计工作将更加简化。

## 参 考 文 献

- [1] 林昌禄, 聂在平, 天线工程手册 [M], 北京: 电子工业出版社, 2002。
- [2] 谢处方, 邱文杰, 天线原理与设计 [M], 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1985。
- [3] 林昌禄, 陈海, 吴为公, 近代天线设计 [M], 北京: 人民邮电出版社, 1990。

## 作者简介:

朱佩涛: 男, 1977 年生于山东菏泽。现攻读电子科技大学硕士学位。主要研究兴趣为天线、毫米波电路、毫米波准光技术等。

E-mail: zpt2091@163.com

## 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>