

金属截锥柱侧天线辐射场的研究

刘其中 尹应增

张野 王辉宁

(西安电子科技大学天线所 西安 710071) (北京特殊机电研究所 北京 100076)

摘要 根据实测的单元天线方向图,利用几何绕射理论,给出了金属截锥柱侧天线三维辐射场的一种有效的数值分析方法。这些公式同样适用于金属截柱或截锥。应用上述公式计算了截锥侧微带天线及其排阵的任意平面方向图,并与实测结果进行了比较,两者吻合良好。

关键词 单元天线实测方向图,截锥柱,几何绕射理论,三维辐射场

1 引言

单元天线(直立振子,倒L型天线,纵向、横向缝隙天线,矩形、圆形微带天线)置于无限大金属板面上,求其辐射场可以用解析式或者数值计算方法。该单元天线及其排阵位于金属截锥柱侧时的三维辐射场可以按文献[1,2]计算。随着天线技术的发展和工程应用的要求,不少新的单元天线已趋实用化。其中有些单元天线,例如,各种复杂形状的微带天线、天线窗中的天线等,其辐射场目前还很难用解析式、数值方法较精确地计算或者计算极为复杂。但是,随着各种大中型微波暗室的应用,测试设备精度、自动化程度和计算机控制程度的不断提高,已能快速、精确地测出单元天线的辐射图。然而,单元天线及其排阵置于载体上,其总尺寸较大,其总的辐射图很难在微波暗室中测量,外场测量难度较大,也不便于计算机辅助分析和设计。因此,工程上急需在测量出单元天线辐射图的基础上,计算单元天线及其排阵置于金属截锥柱侧时的总辐射图,也可推广至其它载体。本文介绍这方面的一些工作。

计算单元天线及其排阵置于金属截锥柱侧的总辐射图,是以单元天线置于无限大金属平面上的辐射图为基础的^[1,2]。实际测量中不可能用无限大平面,而是置于有限大的接地平面上。本文应用几何绕射理论(GTD)^[3,4],根据实测的置于有限大平面中心的单元天线的辐射图,算出其位于无限大平面上的辐射图。

2 截锥柱侧天线辐射场的计算

2.1 单元天线辐射场的计算 如图1所示,测量单元天线辐射图时,天线置于半径为 a 的圆形金属板上,天线的相位中心与板的圆心重合。由于接地板为有限尺寸,必然存在边缘绕射场。因而,实验测出的场为单元天线的人射场与边缘绕射场叠加后的总场。

1993-6-11 收到,1994-01-04 定稿

刘其中 男,1938年生,教授,从事天线工程、天线数值计算和CAD的教学和科研工作。

尹应增 男,1945年生,讲师,从事通信天线和微带天线的科研工作。

张野 女,1941年生,高级工程师,从事飞行器天线研究和设计工作。

王辉宁 男,1963年生,高级工程师,从事微带理论及其在飞行器天线工程中应用等方面的工作。

在计算单元天线及其排阵置于金属截锥柱侧,在载体影响下的辐射场时,必须用单元天线的入射场。因而,必须从实测场中减去边缘绕射场,关键在于计算边缘绕射场。

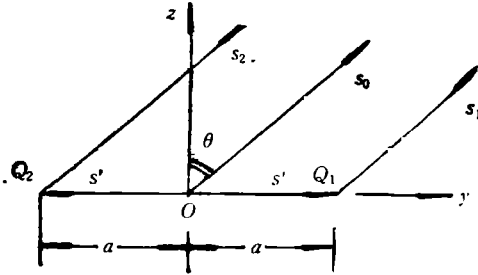


图 1 圆形接地板及边缘绕射

式中的 $E^i(Q)$ 为 Q 点处的入射场, s 为绕射点 Q 至场点的距离, $k = 2\pi/\lambda$, λ 为工作波长,其它各量的计算参见文献[3,4]。

Q_1 处一次绕射场至 Q_2 处, Q_2 处产生二次绕射;类似, Q_1 处产生二次绕射。这些二次绕射和多次绕射场较小,可以忽略不计。若要较精确计算,不能忽略时,可以用上述类似的推导,导出计算公式。当 θ 角很小时,处于焦散区,公式失效。可以用边缘电磁流法计算边缘绕射场[3,4]。

2.1.2 用边缘电磁流法计算绕射场 设边缘电流和磁流分别为 I^e 和 I^m 。按 GTD

$$\begin{aligned} I_z^e &= [\sqrt{8\pi k/(z_0 k)}] \exp(-j\pi/4) E_z^i(Q) D_s(\varphi, \varphi', \beta), \\ I_z^m &= [z_0 \sqrt{8\pi k/k}] \exp(j\pi/4) H_z^i(Q) D_h(\varphi, \varphi', \beta), \end{aligned} \quad (2)$$

式中 $k = 2\pi/\lambda$; $z_0 = 120\pi$; E^i , H^i 为入射场;下标 z 表示 z 分量,其它分量类似;其余各量的含义和计算公式参见文献[4]。本文中为掠入射,仅有 Φ 分量 (Φ 为图 1 所示坐标系中的方位角) 产生环流, $E_\Phi^i = 0$, $H_\Phi^i \approx 0$ 。所以,仅存在 I_Φ^m , 产生的边缘绕射场的计算公式参见文献[4]。

2.2 截锥柱侧天线总辐射场的计算 计算出单元天线的入射场,就可以按 GTD^[1,2] 计算出该单元天线及其排阵在截锥柱侧时的总辐射场。该辐射场包括以下几种场的贡献:几何光学场,即由天线所在处 Q' 沿直线 S_1 传至场点的场(如图 2 所示);爬行绕射场,即沿 S_e 和 S'_e 爬行至场点的场;上下底边缘一次绕射场,即沿 S_d (仅画出沿上底)传至场点的场;上下底边缘二次绕射场,即沿 S_{d2} (仅画出沿下底)传至场点的场;对于如图 3 所示的双锥组合体,还有沿 R 的爬行二次绕射场。

单个天线的辐射场可以表示为

$$E = E^i + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 E_{ij}^e + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{L_d} E_{ij}^d + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{L_{d2}} E_{ij}^{d2}, \quad (3)$$

式中 E^i 为几何光学场; E_{ij}^e 为爬行绕射场;爬行衰减较大,爬行一周以上的场可以忽略, $i = 1$ 为一次绕射, $i = 2$ 为爬行-边缘-爬行绕射, $j = 1, 2$ 分别表示顺时针方向和反时针方向的爬行绕射; E_{ij}^d 为底边缘一次绕射场, $i = 1, 2$ 分别表示上下底边缘绕射, j 为绕射点的顺序号, L_d 为边缘绕射点的数目,由射线寻迹决定^[3]; E_{ij}^{d2} 为底边缘二次绕

射场, i, j 和 L_{di} 的含义与 E_{ij}^s 类似。各种场的计算参见文献[1,2]。

多个天线排阵时,总场为

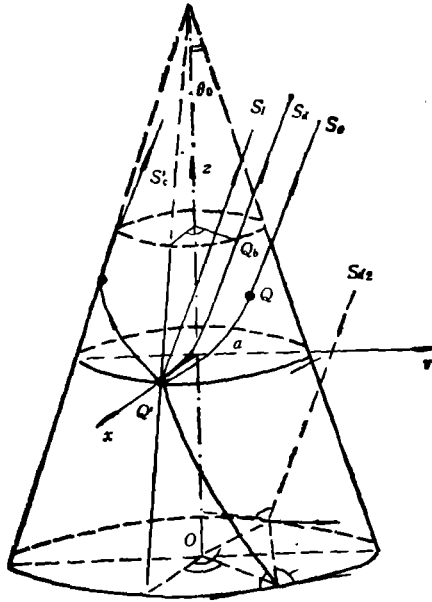


图2 坐标系和各种场

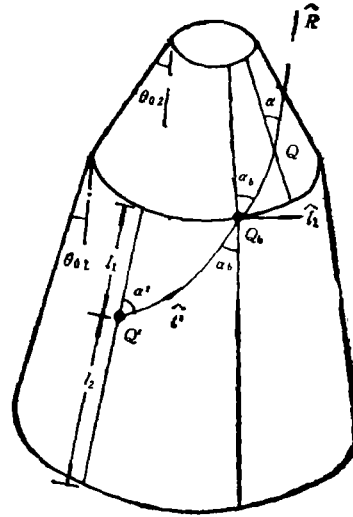


图3 双锥组合体(或锥柱)的爬行二次绕射场

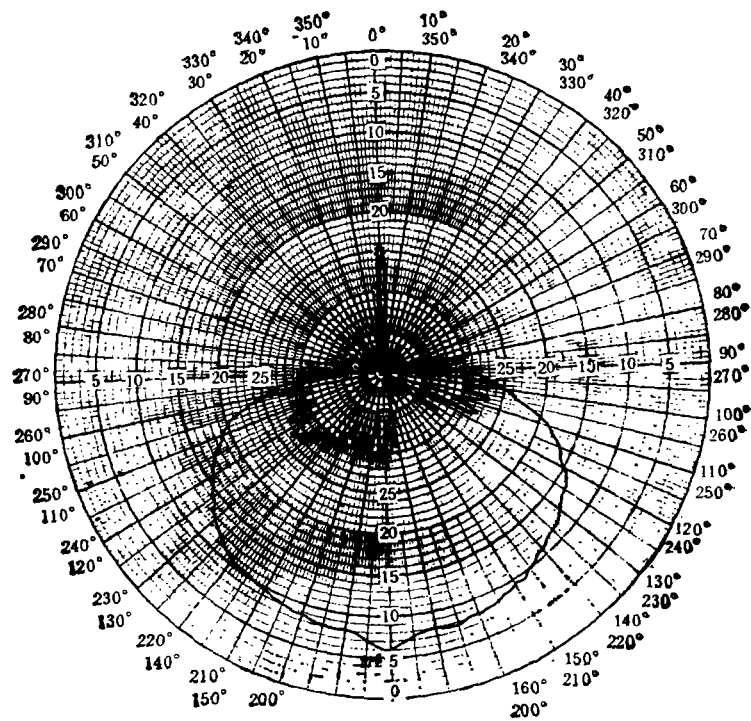


图4 实测矩形微带天线H面方向图

$$E = \sum_{m=1}^n E_m, \quad (4)$$

式中 E_m 为第 m 个天线的辐射场, n 为排阵天线的数目。

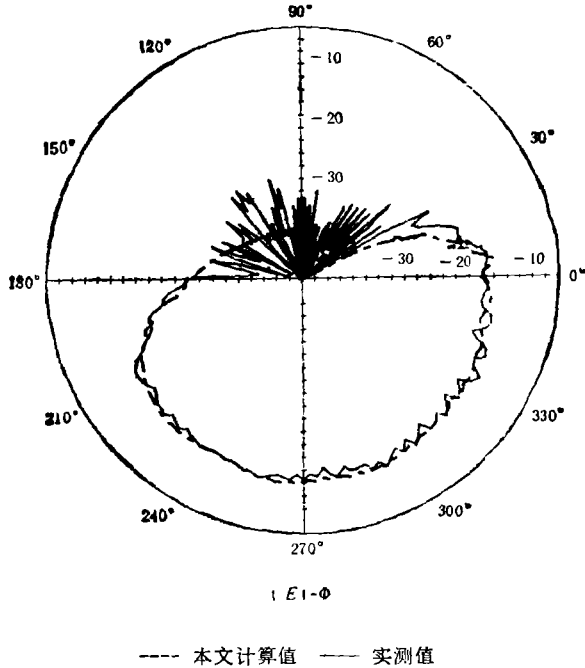


图 5 截锥侧矩形微带天线在 $\phi = 0^\circ$ 平面内 E_θ 分量方向图

2.3 应用举例 根据本文的公式,编制了通用程序,由单元微带天线的实测方向图(H面实测图如图4所示),可以计算单元微带天线及其排阵置于截锥柱侧时,任意平面的方向图。以矩形微带为例,计算结果示于图5—图7。天线和截锥体的参数如下:截锥体下底半径、半锥角、天线沿母线至上下底长度分别为187.5mm, 8° , 825.2mm和139.5mm;微带天线的长度、宽度、介质基片高度和相对介电常数分别为19mm, 25mm, 2mm和3;工作在0,1模,工作频率为4.1GHz;测量单元天线方向图时,接地板为直径为800mm的金属板。

单元天线的实测方向图(如图4所示,图中中间小瓣为交叉极化

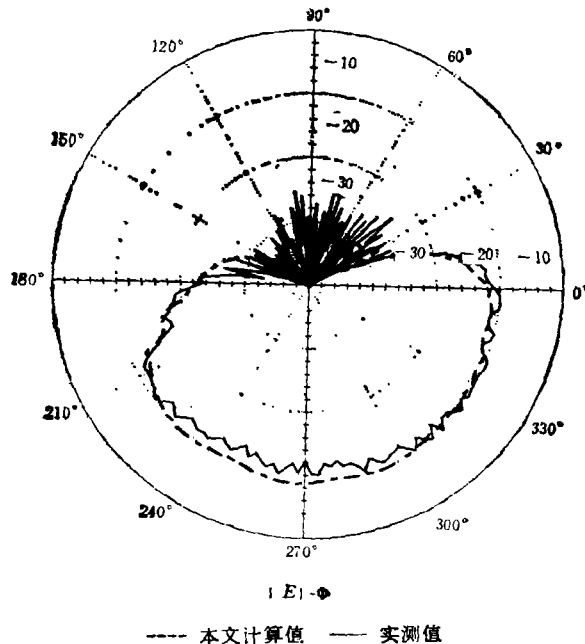


图 6 截锥侧矩形微带天线在 $\phi = 30^\circ$ 平面内 E_θ 分量方向图

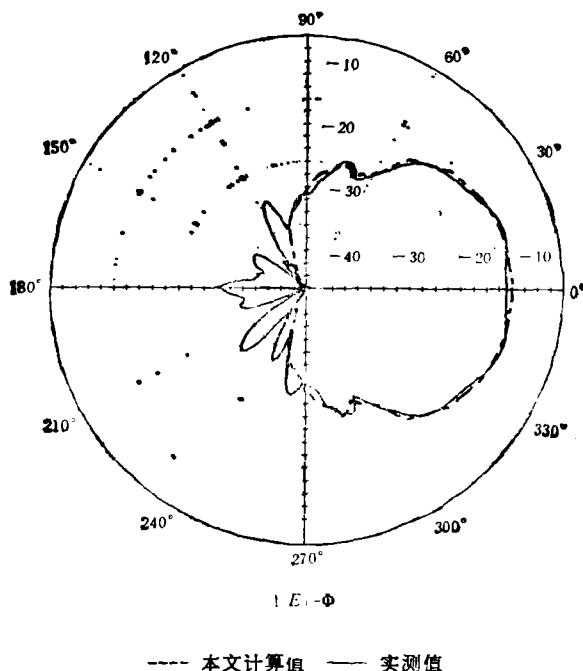


图7 截锥侧矩形微带天线在 $\theta = 90^\circ$ 平面内 E_θ 分量方向图

分量)基本上为半平面辐射,图5的总方向图后半平面仍有一定的辐射,主要是由于截锥体尺寸有限,存在上下底绕射和爬行绕射场。

为了验证本文计算公式的精度,进行了实验测试,并与计算值对比。可以看出,方向图吻合较好(本文仅给出三个图,研究中对数十个图进行了对比)。高电平区,实测图起伏较多主要是由于环境影响(包括支架散射和背景噪声等),只能用实测图的平均包络与本文计算值对比。在低电平区两者相差稍大,产生上述误差的原因是,环境影响对低电平区的测量可能带来较大的误差;另一方面几何绕射理论计算的近似性,要在低电平区都能达到较好的精度比较困难。可见理论计算结果与实测方向图吻合良好,能满足工程应用的实际要求。

参 考 文 献

- [1] 刘其中,官德明,马澄波. 电子学报,1990,18(5): 40—46.
- [2] 刘其中,张雪,王辉宁. 电子学报,1992,20(9): 93—95.
- [3] Pathak P H, Wang N. IEEE Trans. on AP, 1981, AP-29(4):609—622.
- [4] 汪茂光. 几何绕射理论. 西安: 西北电讯工程学院出版社,1985,60—93.
- [5] 刘其中,马澄波,官德明. 西安电子科技大学学报,1991,18(3): 45—53.

STUDY ON RADIATION FIELD OF ANTENNAS ON THE TRUNCATED CONE-CYLINDER

Liu Qizhong Yin Yingzeng

(*Xidian University, Xi'an 710071*)

Zhang Ye Wang Huining

(*Beijing Special Mechano-Electrical Research Institute, Beijing 100076*)

Abstract On the basis of the experimental element pattern and GTD, an efficient numerical method for analyzing 3-D radiation field of antennas on the truncated cone-cylinder is presented. These formulas are also applicable to the truncated cylinder and cone. Examples are given on the calculation of 3-D radiation fields of microstrip antennas on the truncated cone. The results of calculations agree well with the experimental ones

Key words Experimental element pattern, Truncated cone-cylinder, GTD, 3-D radiation field