

# 矩形反射柱体近旁天线辐射特性的计算 ——应用几何绕射理论\*

孙乃华 陈涵奎

(华东师范大学微波研究室)

## 提 要

本文用几何绕射理论分析计算了矩形反射柱体近旁偶极子和双环天线的水平辐射特性。研究了到达场点的直达波、反射波和柱体稜边各次绕射波之间的量值关系。分析了柱体边长、天线与柱体之间的相对位置和天线的馈电方式对合成场强方向图的影响。计算结果表明,需要对天线系统的有关参数进行优化设计,以得到最佳的全向辐射特性。本文的分析方法和结果为这类天线系统的优化设计提供了手段和依据。

## 一、引 言

在矩形反射柱体四周装置天线是电视广播中广泛采用的一种天线系统。这种天线系统特别适用于 VHF 频段。在几何绕射理论 (GTD) 发展以前,是把柱体面当作无限大导电平面来处理的<sup>[1]</sup>。在这种处理中没有考虑到柱体稜边的绕射作用。就反射场来说,有限柱体面的反射和无限大平面的反射也是不相同的。绕射场在场点的总场中所起的作用究竟多大很值得探讨。在反射柱体的天线系统设计中,反射体的尺寸和天线与反射体之间的相对位置,以及柱体四周天线的馈电方式,都是必须考虑的重要因素。本文对到达场点的入射、反射和各次绕射波的量值进行了比较,在考虑绕射场的情形下,分析了上述诸因素对天线系统的合成方向图的影响。本文考虑了方形柱体四侧天线的三种馈电方式:(1)四侧天线上的电流同相;(2)四侧天线上电流的相位,上下同相,左右同相,上下比左右超前  $90^\circ$ ;(3)四侧天线上电流的相位按逆时针方向依次递进  $90^\circ$ 。

## 二、基本理论和方法

对于电视天线,感兴趣的是与反射柱体相垂直的水平面的方向图。这使场强的计算问题简化得多。按照几何绕射理论,当柱体一侧存在电流元时,该系统在空间产生的场应包括几何光学场和绕射场。很重要的一点是要弄清楚各部分场的存在区域。设  $\vec{E}_1$  和  $\vec{E}_2$  分别表示直射场和反射场, $\vec{E}_3$  和  $\vec{E}_4$  表示绕射场, $\vec{E}_5$ 、 $\vec{E}_6$ 、 $\vec{E}_7$  和  $\vec{E}_8$  表示二次绕射场,

\* 1984年9月17日收到,1985年11月22日修改定稿。

参考图 1, 由考虑的电元到达场点的各个部分场的存在区域如表 1 所示.

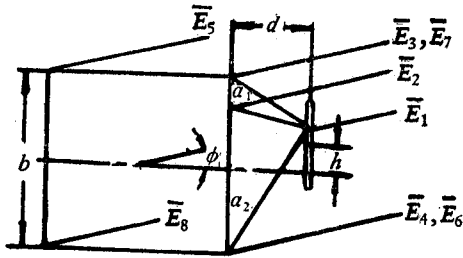


图 1 角柱近旁的偶极子和电流元

计算直射场和反射场可以应用电流元的远区场公式. 计算绕射场的公式是

$$\mathbf{E}_d = \bar{D} \cdot \bar{E}' A_d e^{-ikr}, \quad (1)$$

$$\bar{D} = -\hat{\beta}\hat{\beta}' D_s - \hat{\phi}\hat{\phi}' D_h. \quad (2)$$

在本问题中, (1) 式简化为

$$\mathbf{E}_d = -D_h \mathbf{E}_\phi' A_d e^{-ikr}, \quad (3)$$

式中  $D_h$  为垂直极化场的绕射系数;  $E_\phi'$  是波元入射到所考虑的稜边时产生的与入射方向和稜边垂直的场分量; 在计算一次绕射场时,

$\mathbf{E}_\phi'$  可由电流元的近区场公式求得; 在计算二次绕射场时,  $\mathbf{E}_\phi'$  则是由相邻稜边产生的到达所考虑稜边的一次绕射场.

表 1

部 分 场	存 在 区 域
$\bar{E}_1$	$0 \leq \phi \leq \frac{\pi}{2} + \alpha_1, \quad \frac{3\pi}{2} - \alpha_2 \leq \phi \leq 2\pi$
$\bar{E}_2$	$0 \leq \phi \leq \frac{\pi}{2} - \alpha_1, \quad \frac{3\pi}{2} + \alpha_2 \leq \phi \leq 2\pi$
$\bar{E}_3, \bar{E}_7$	$0 \leq \phi \leq \pi, \quad \frac{3\pi}{2} \leq \phi \leq 2\pi$
$\bar{E}_4, \bar{E}_6$	$0 \leq \phi \leq \frac{\pi}{2}, \quad \pi \leq \phi \leq 2\pi$
$\bar{E}_5$	$0 \leq \phi \leq \frac{3\pi}{2}$
$\bar{E}_8$	$\frac{\pi}{2} \leq \phi \leq 2\pi$

方形柱体四侧仅一侧有天线时的方向图, 可以在求得一个电流元产生的场强的基础上, 并在天线上的电流为正弦分布的假定下求得.

方形柱体四侧有天线时的系统的方向图由下式求得:

$$\begin{aligned} \bar{E}_t = & \bar{E}(r, \phi) + (j)^u \bar{E}(r, \phi + 90^\circ) + (j)^v \bar{E}(r, \phi + 180^\circ) \\ & + (j)^w \bar{E}(r, \phi + 270^\circ), \end{aligned} \quad (4)$$

式中对于馈电方式 (1),  $u=0, v=0, w=0$ ; 对于馈电方式 (2),  $u=1, v=0, w=1$ ; 对于馈电方式 (3),  $u=3, v=2, w=1$ .  $\bar{E}(r, \phi)$  是柱体一侧有天线(其上电流的参考相位为零)时的方向图.

### 三、数值计算结果

根据上述理论和方法, 对以下几个问题进行了计算和分析.

1. 柱体一侧有半波偶极子时, 考虑绕射场和不考虑绕射场所得方向图的比较 计

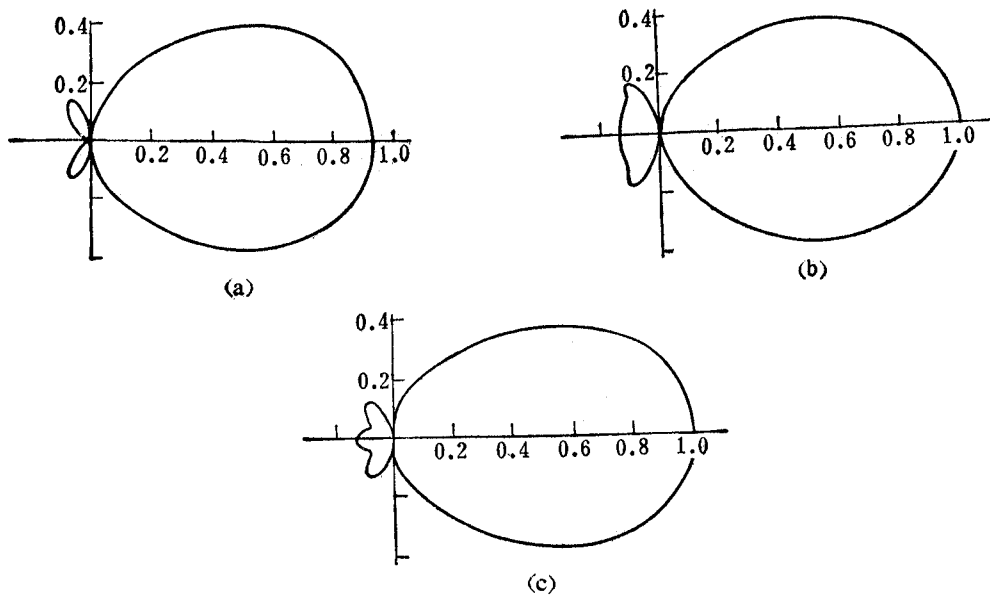


图 2 考虑和不考虑绕射场所得方向图的比较 ( $b = 0.7\lambda$ ,  $d = 0.25\lambda$ ,  $h = 0$ )

(a) 总场=直射场+反射场 (b) 总场=直射场+反射场+一次绕射场

(c) 总场=直射场+反射场+一次和二次绕射场

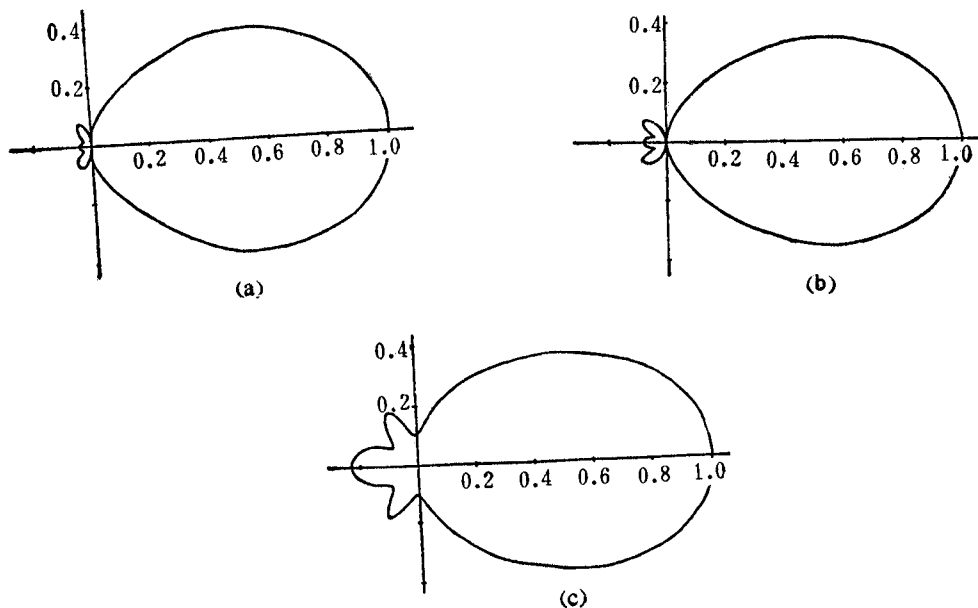


图 3 柱体宽度  $b$  不同时所得方向图的比较 ( $d = 0.25\lambda$ ,  $h = 0$ )

(a)  $b = 1.5\lambda$  (b)  $b = 1.0\lambda$  (c)  $b = 0.5\lambda$

算结果见图 2。结果表明,绕射场对主瓣的影响并不显著,但背瓣的主要部分来自绕射场的贡献;二次绕射场对背瓣形状有明显的影 响,在分析中不能忽略;一次绕射场与二次绕射场有互相干涉的现象。三次和三次以上的绕射场可以略去不计。

2. 柱体一侧有双环天线(环的周长为一个波长)时, 柱体宽度不同和双环天线与柱体相对位置不同对天线方向图的影响

图 3 给出  $d = 0.25\lambda$ ,  $h = 0$ , 柱体宽度  $b$  分别为  $0.5\lambda$ 、 $1.0\lambda$ 、 $1.5\lambda$  时所得方向图. 图 4 为柱体宽度  $b = 1.0\lambda$ ,  $h = 0$  时,  $d$  分别取  $0.1\lambda$ 、 $0.3\lambda$  和  $0.5\lambda$  时所得方向图. 结果显示,  $d$  越大, 背瓣越大, 当  $d$  增大到  $0.5\lambda$  时, 主瓣出现十分明显的变形. 图 5 示出

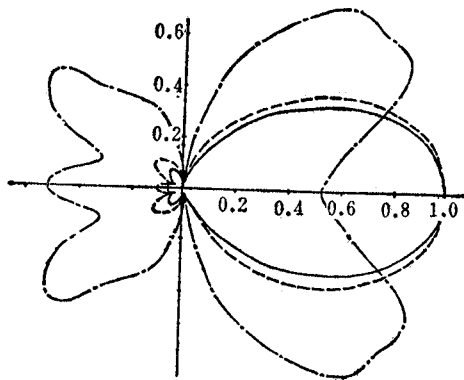
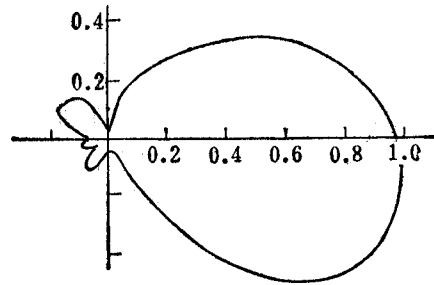
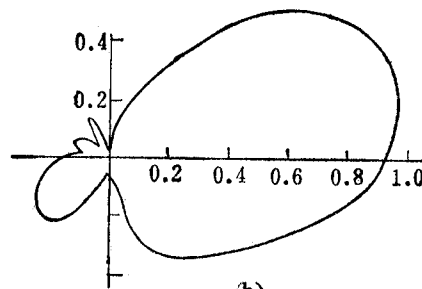


图 4 天线与柱体距离  $d$  不同时所得方向图的比较  
( $b = 1.0\lambda$ ,  $h = 0$ )  
—  $d = 0.1\lambda$  ---  $d = 0.3\lambda$  - · -  $d = 0.5\lambda$



(a)



(b)

图 5 天线偏离柱体中心线时的方向图  
( $b = 1.0\lambda$ ,  $d = 0.3\lambda$ )  
(a)  $h = \frac{\lambda}{2\pi}$  (b)  $h = -\frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{2\pi}$

天线偏离柱体中心线时的方向图, 由图可见该方向图产生扭曲而失去对称性.

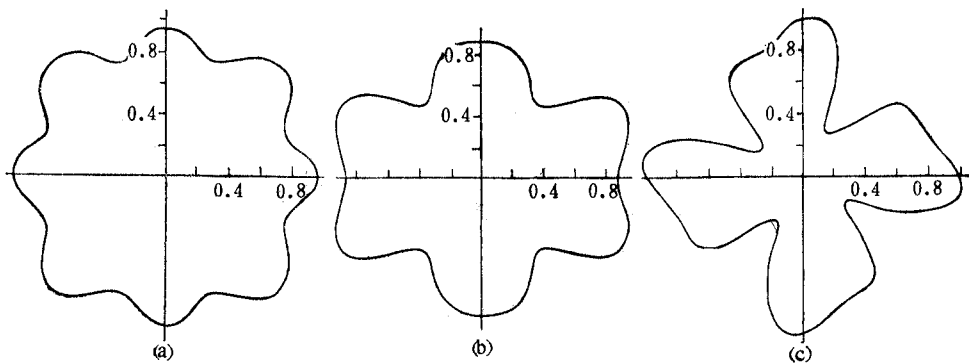


图 6 柱体四侧有双环天线时采用三种不同的馈电方式所得的合成方向图  
( $b = 1.0\lambda$ ,  $d = 0.3\lambda$ ,  $h = 0$ )

(a) 以方式(1)馈电 (b) 以方式(2)馈电 (c) 以方式(3)馈电

3. 柱体四侧有双环天线时馈电方式不同对合成方向图的影响 图 6 是  $b = 1.0\lambda$ ,  $d = 0.3\lambda$ ,  $h = 0$  时采用三种不同的馈电方式所得的合成方向图. 结果显示, 在所考虑

表 2

模 型 尺 寸	场值最大偏差 (dB)		
	方式 (1) 馈电	方式 (2) 馈电	方式 (3) 馈电
$b = 0.7\lambda, d = 0.25\lambda, h = 0$	3.95	12.68	3.45
$b = 1\lambda, d = 0.25\lambda, h = 0$	2.2	5.12	9.5
$b = 1\lambda, d = 0.3\lambda, h = 0$	2.16	4.69	10.45
$b = 1\lambda, d = 0.3\lambda, h = 0.159\lambda$	11.95	9.9	4.71
$b = 1\lambda, d = 0.3\lambda, h = 0.34\lambda$	11.7	10.07	6.49
$b = 0.965\lambda, d = 0.3\lambda, h = 0$	3.45	4.73	10.63
$b = 0.965\lambda, d = 0.3\lambda, h = 0.125\lambda$	11.06	13.6	21.63

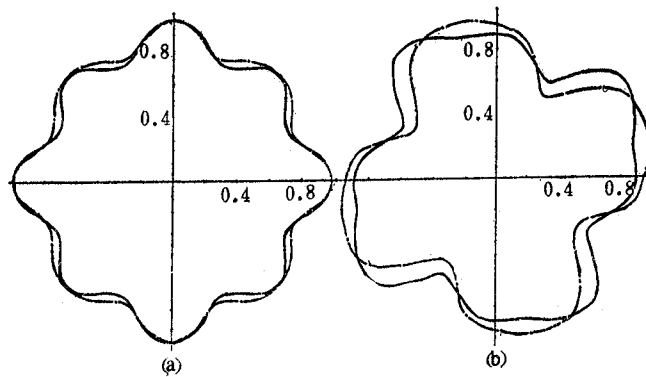
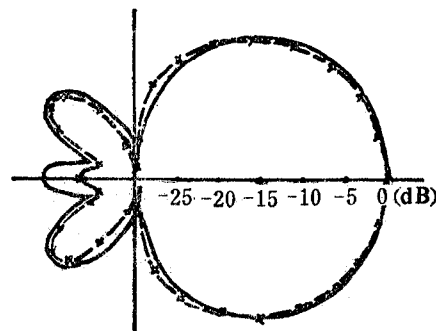


图 7 本文结果与文献[1]的近似解析结果的比较

(a)  $b = 1\lambda, d = 0.25\lambda, h = 0$ , 以方式(1)馈电 (b)  $b = 0.7\lambda, d = 0.25\lambda, h = 0$ , 以方式(3)馈电  
——本文的结果 —— · ——文献[1]的近似解析结果

的情形下, 四侧的天线同相馈电时可以得到最接近于全向辐射的方向图. 表 2 给出了根据几种模型尺寸算得的合成方向图的场值最大偏差. 结果表明, 馈电方式对总的辐射特性有很大影响, 柱体边长  $b$  和柱体与天线的相对位置也起重要的作用.

图 8 理论计算结果与实验结果的比较 ( $b = 0.965\lambda, d = 0.3\lambda, h = 0$ )

——计算结果 —— × —— 测试结果 (1.5 GHz)

为检验本文所得结果的可靠性, 将本文的计算结果与文献[1]的近似解析结果和本文的实验结果进行了比较, 比较曲线见图 7 和图 8. 图 7 中文献[1]的结果是在忽略了

柱体稜边绕射场的情形下得到的。

#### 四、结 论

分析结果表明,当反射柱体的一侧有天线时,绕射场对方向图主瓣的影响不大,但对背瓣有显著影响。三次和三次以上的高次绕射场的影响可以略去不计。

柱体四侧有天线时,系统的合成方向图决定于柱体边长  $b$ 、天线与柱体之间的相对位置 ( $d$  和  $h$ ) 以及四侧天线馈电相位的相对关系。为得到最佳的全向辐射特性,须以  $b$ 、 $d$ 、 $h$  和馈电相位差为参数进行优化设计。本文的分析方法和结果为这类天线系统的优化设计提供了手段和依据。

张锡年、朱守正、安同一、丁志根、袁德耀等同志参加本文实验工作,作者在此表示感谢。

#### 参 考 文 献

- [ 1 ] 遠藤敬二等, アンテナ工学, 日刊工業新聞社, 東京, 1969.
- [ 2 ] G. L. James, Geometrical Theory of Diffraction for Electromagnetic Waves, Peter Peregrinus Ltd., Stevenage, UK and New York, 1977, pp. 115—159.
- [ 3 ] R. G. Kouyoumjian, The Geometrical Theory of Diffraction and Its Application, in Numerical and Asymptotic Techniques Electromagnetics, ed. by R. Mittra, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1975, pp. 166—217.
- [ 4 ] R. G. Kouyoumjian and P. H. Pathak, *Proc. IEEE*, 62(1974), 1448.
- [ 5 ] H. Bach, Engineering Application of the Geometrical Theory of Diffraction, in Modern Topics in Electromagnetics and Antennas, ed. by E. J. Maanders and R. Mittra, Peter Peregrinus Ltd., Stevenage, England, 1977, pp. 5.1—5.87.

## CALCULATION OF THE RADIATION CHARACTERISTICS OF ANTENNAS ADJACENT TO A RECTANGULAR CYLINDER REFLECTOR BY GTD

Sun Naihua, Chen Hankui

(Microwave Research Laboratory, East China Normal University)

In this paper, the horizontal radiation characteristics of dipole and loop antennas adjacent to a rectangular cylinder reflector are calculated by the application of GTD. The magnitudes of the direct field, the reflected field and the diffracted field from the edges of the cylinder at the field point are calculated and compared. The effects of the dimension of the cylinder, of the relative position of the antennas with respect to the cylinder and of the method of feeding to the resultant field pattern are analyzed. Using the method described, optimum design can be carried out to obtain the optimum omnidirectional radiation characteristics of antennas with reflector of this kind.