

天线罩对阵列天线方向图的影响*

阮颖铮** 刘万明 周海京

(电子科技大学微波工程系 成都 610054)

【摘要】 利用复源点波束场的叠加来模拟阵列天线的方向图,并利用复射线理论对带罩阵列天线的一体化辐射特性进行仿真分析,得到了对阵列天线与雷达罩一体化设计有参考价值的结论。

关键词 阵列天线; 雷达罩; 方向图; 复射线

中图分类号 TN82

分析天线罩电磁传输特性常用方法有几何光学法、物理光学法、平面波谱法和等效传输线法等。但对大口径天线和天线罩而言,这些方法将遇到数值分析与积分运算方面的困难,且一般都不能计入天线罩各层界面之间的多次反射,因而影响分析结果的精度。

本文利用复射线理论方法^[1],首先对阵列天线的远场方向图进行复源点场的叠加模拟^[2],然后利用复射线近轴近似法和集合复射线法^[3,4],计算每一个复源点波束场经天线罩折射和多次反射后的辐射场^[5],最后经过场的相干叠加得到带罩阵列天线的一体化远场方向图。

1 理论分析

1.1 阵列天线远场方向图的复源点场模拟

一个位于 xoy 平面内的 $M \times N$ 单元的平面阵列天线,其远区方向图可表示为各单元辐射场的相干叠加

$$F(\theta, \phi) = \sum_{m=1}^M I_m \exp\{j m [k d_x (\cos\theta \cos\phi - \cos\theta_0 \cos\phi_0)]\} \sum_{n=1}^N I_n \exp\{j n [k d_y (\cos\theta \sin\phi - \cos\theta_0 \sin\phi_0)]\} \quad (1)$$

式中 I_m, I_n 表示沿 x 和 y 方向各阵元的复电流分布; d_x, d_y 为单元间距; θ, ϕ 为观察点方向; θ_0, ϕ_0 为主波束指向。该方向图包括一个主瓣和若干副瓣,而每一个波瓣的形状类似于高斯分布^[2],因而可用一个复源点波束场来近似模拟,而整个天线的方向图则可表示为这些复源点场的叠加。主平面上每一个复源点波束矢量 b_i 由对应的天线波瓣确定, b_i 的方向 θ_i 为相应波瓣峰值方向, b_i 的模 b_i 由等

效波瓣宽度原理确定^[1]
$$b_i = \lambda \ln \left[\frac{2}{c} (\theta_{0.5})^2 \right] \quad (2)$$

式中 $\theta_{0.5}$ 为方向图主瓣或副瓣 3 dB 宽度的一半。

由于每个复源点场的方向图可表示为^[1]

$$f_i(\theta) = \exp[-0.5 k b_i (\theta - \theta_i)^2] \quad (3)$$

因此主平面内叠加场的远区方向图为

1996年 9月 6日收稿,1996年 11月 13日修改定稿

* 国家教委博士点基金资助项目

** 男 57岁 大学 教授

$$F(\theta) = \sum_{i=-I}^I A_i \exp[-0.5 k b_i (\theta - \theta_i)^2] \quad (4)$$

式中 $2I+1$ 表示天线方向图主副瓣总数; A_i 、 b_i 、 θ_i 为第 i 个波瓣的幅度、波束宽度和波束指向角

1.2 天线及天线罩辐射特性的一体化复射线分析

以机载远程战场侦察雷达为例, 它的天线罩通常为机身下方的柱形介质罩。为简化分析起见, 可用一个圆柱形二维 ($\partial/\partial y=0$) 单层介质罩来模拟。设罩的内外半径分别为 a_1 和 a_2 , 相对介电常数为 $\bar{\epsilon}$ 。在 xoz 主平面内天线方向图第 i 个波束对应的复源点 \tilde{S}_i 具有如下复坐标

$$\begin{cases} \tilde{X}_s = 0 + j b_i \cos \theta_i \\ \tilde{Z}_s = h + j b_i \sin \theta_i \end{cases} \quad (5)$$

式中 $(0, h)$ 表示天线等效相位中心的位置

从复源点 \tilde{S}_i 出发的第 i 个波束在罩的内外表面间经 M 次来回反射, 利用复射线近轴近似^[3]和集合复射线原理^[4]可得到该波束的总辐射场

$$\tilde{u}_i = \tilde{u}_{M0} \exp(jk \mathbb{W}_M) \quad (6)$$

式中 \tilde{u}_{M0} 是 M 次反射的轴向集合射线场; \mathbb{W}_M 是偏轴复相位校正因子, 它们均可根据几何关系由复射线理论求出^[1]。

叠加所有可能到达观察点 P 的复源点波束辐射场, 便可求得整个天线阵在计入天线罩影响后的辐射方向图

$$\tilde{u} = \sum_{i=-I}^I \tilde{u}_i \quad (7)$$

2 数值结果及讨论

计算模型天线为一个 16×32 单元的平面均匀相控阵, 单元间距 $d_x = d_y = \lambda/2$, 天线相位中心 $X_s = 0, Z_s = h = 10\lambda$; 圆柱形天线罩 $\bar{\epsilon} = 2.5$, 中心位于坐标原点, 内半径 $a_1 = 20\lambda$, 壁厚 $\Delta a = a_2 - a_1$ 分别为 $\lambda / \bar{\epsilon}, 5\lambda / \bar{\epsilon}, 10.25\lambda / \bar{\epsilon}$ 分别对应于薄层罩、匹配厚度罩和不匹配厚度罩。

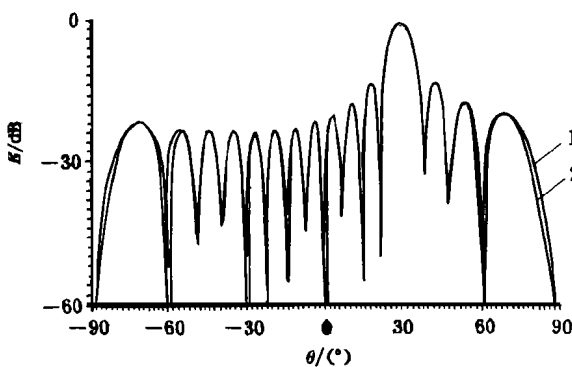


图 1 单脉冲相控阵天线的方向图及复源点场模拟结果 (扫描角 30°)

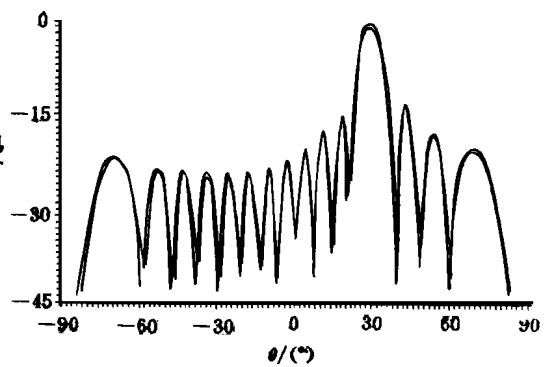


图 2 不同天线罩厚度对相控阵天线和方向图的影响

图 1 为无天线罩时在波束扫描 $\theta_0 = 30^\circ$ 情况下相控阵天线在 xoz 平面内的单脉冲和方向图 (曲线 1) 与复源点场模拟方向图 (曲线 2) 的比较。由图可见, 除远副瓣形状有误差外, 整个方向图拟合精度都相当精确

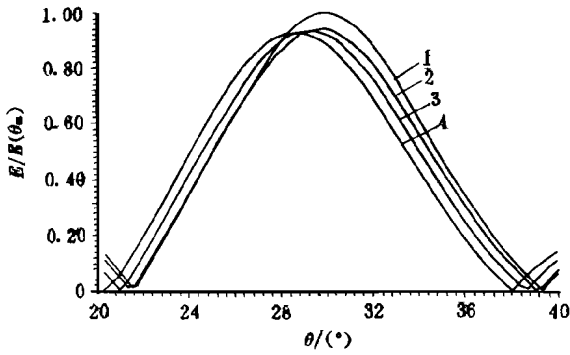


图 3 图 2 主瓣的局部放大图

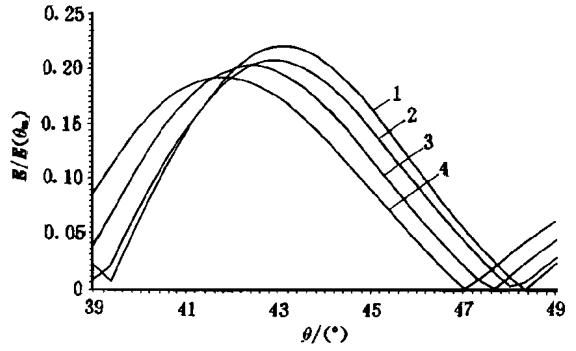


图 4 图 2 第一副瓣的局部放大图

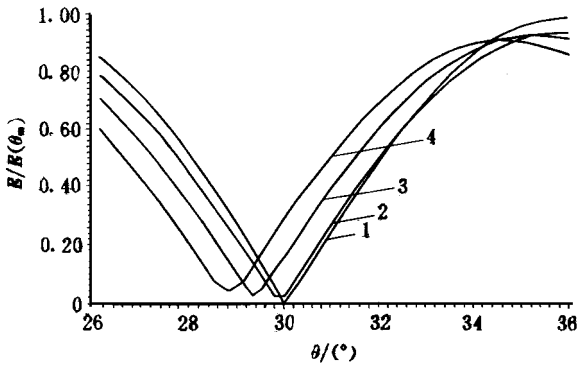


图 5 单脉冲相控阵差方向图零点附近的局部放大图

图 2 表示不同厚度的天线罩对相控阵天线单脉冲和方向图的影响。为清楚起见,将该图的主瓣 ($\theta_0 = 30^\circ$ 附近) 放大后绘于图 3, 而将第一副瓣 ($\theta_1 = 43^\circ$ 附近) 放大后绘于图 4。图中曲线 1、2、3、4 分别表示天线罩的壁厚 $\Delta a / \bar{X} = 0, 1, 5, 10, 25$ 。由图可见, 低介电常数罩 ($\bar{X} = 2.5$) 可保持很高的透波率 (大于 90%), 且随着壁厚的增加, 主瓣峰值增益仅略有下降, 但同时副瓣峰值亦随之下落, 因而相对副瓣电平没有明显的变化。但是, 由于天线罩引起的主副瓣位移则是十分明显的, 它将直接影响相控阵波束扫描的指向精度。图 5 给出了该相控阵天线单脉冲差方向图零点 ($\theta_0 = 30^\circ$) 附近的局部放大图。由图

可见, 随着罩的厚度增大, 差波瓣零点偏移将迅速增大, 且零值深度和差斜率也随之变差。因此, 在相控阵天线和雷达罩的一体化设计中应进行必要的扫描波束指向误差的补偿。

3 结 束 语

本文提出的复源点波束模拟法可用来分析天线罩对阵列天线方向图的影响, 该方法比传统的分析方法更具简捷性和实用性。文中虽然只给出了不同厚度的单层圆柱罩的分析计算结果, 但其原理和方法亦可用于分析其他形状的三维多层天线罩, 分析不同极化方向、不同介质材料、不同扫描角、不同幅度分布时, 天线罩对天线方向图的影响, 从而对天线罩的形状、结构、材料、厚度等进行综合优化, 得到对方向图影响最小的参数组合。鉴于本文篇幅所限, 有关结果将另文发表。

参 考 文 献

- 1 阮颖铮.复射线理论及其应用.北京:电子工业出版社,1991: 88~ 127
- 2 阮颖铮.天线方向图的复射线仿真.通信学报.1994,15(1): 92~ 96
- 3 Ruan Y Z, Felsen L B. Reflection and transmission of beams at a curved interface. J Opt Soc Am A, 1986, 3: 556~ 579
- 4 Ruan Y Z. Approximate complex ray analysis of 2-D radomes. J Electro(China), 1990, 7(2): 135~ 142
- 5 Zhou H J, Ruan Y Z. A general complex ray analysis method for radomes based on Gaussian beam expansion. Chinese J Electro, 1995, 4(4): 68~ 72

Influence of Radome on Pattern of Array Antennas

Ruan Yingzheng Liu Wanming Zhou Haijing

(Dept. of Microwave Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract Dielectric radome has usually an effect on antenna radiation properties and distorts the antenna patterns. In this paper, the pattern of array antenna is simulated by superposition of complex source point beam fields, and the complex ray theory is used to analyze the influence of radome on antenna radiation properties. Conclusions obtained are helpful for combined design of array antenna and radome.

Key words array antenna; radome; pattern; complex ray

编辑 徐安玉 黄 辛

。科研成果介绍。

BAL-607侦察雷达模拟训练卡

主研人员: 谭福年 李华安 谭 钧

BAL-607型雷达模拟训练卡,能逼真地模拟雷达所探测到的固定地物图像,在不同方向与距离中可有多种画面组合,同时产生位置、速度、走向各异的多批随机出现的动目标,并输出反映目标性质的多普勒声音。

由于采用以 CPU 为中心的控制电路,并采用软件技术实现各种功能,能灵活、随机地产生各种背景图像和动目标信号,且易于修改和更换。训练卡结构紧凑,功耗低,使用维护方便,能作为一个插件插在雷达的显控终端机内。

W 频段微带混频器

主研人员: 谢 俊 薛 泉 薛良金 徐 静 刘述章

混合集成混频器是小体积、轻重量、低成本毫米波混合集成前端的基础部件之一。该混频器采用微带混合环平衡混频方式,提出了一种新颖的中频引出结构,妥善解决了混合环不标准问题。进行了过渡电路、有限厚度导体微带特性以及 W 频段 Schottky 管电参数特性的理论分析和优化设计。样品经有关权威计量研究中心检测,其主要性能指标为:带宽 4 GHz,中频为 10 MHz~ 100 MHz,本振功率为 2 mW~ 4 mW 的条件下,变频损耗小于 6 dB

。科 卞。