

# 阵列口径外多层介质加载问题的简化处理\*

李祥林 曹幼江  
(上海有线电厂研究所)

(一) 引言 阵列天线一般是由称为单元的许多小天线组成的。由于是露天工作,它必须防雨、防尘和防潮……。而天线罩的加入,阵列性能下降不应太大。此外,以扫描为特征的相控阵,其性能是与扫描角紧密相关的<sup>[1]</sup>,其变化规律在两个主平面是相反的,如图1所示。为了在要求的空域内达到更好的阻抗匹配特性、达到宽角扫描和能量充分利用的目的,应当选择这样一种材料做天线罩:即当波投射于该材料时,它对波产生的电纳随扫描角的变化规律、在两个主平面内是相反的。Magill 和 Wheeler<sup>[2]</sup>将一块高介电常数的薄介质板置于阵面外一近距离上获得了很好的效果。文献还指出:平面波投射于薄介质板时所呈现的电纳值随入射角(相当于扫描角) $\theta$ 的变化为:在H面电纳  $B(\theta)$  正比于  $1/\cos\theta$ ,在E面  $B(\theta)$  正比于  $\cos\theta$ 。这正是我们所要求的。

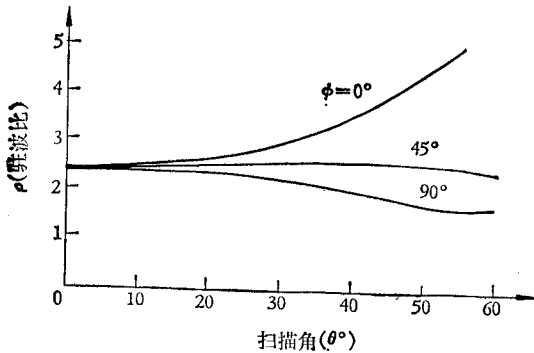


图1 无外加载阵列之典型扫描特性  
Fig. 1 The typical scan performance of the external unloaded array

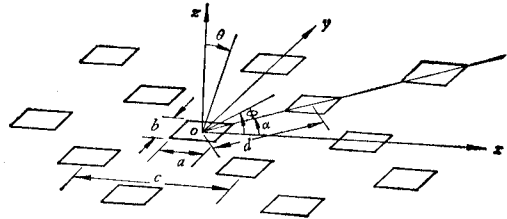


图2 阵列的几何图形  
Fig. 2 The array geometry

(二) 问题的分析与处理 平面阵列口面外介质加载问题的求解是一个极为复杂的电磁场边值问题。即使利用现代高速电子计算机,求解也是十分复杂、很费时间的。再考虑到工程上需要的性能“优化”过程,寻求较简单的求解方法是十分迫切的。

图2所示的无限周期平面相控阵天线的加载情况,根据单元室的概念,可只考虑其中一个单元室的情况。因为它代表了阵中绝大多数单元的情况。图3同时给出了最外两层介质罩的等效电路。这一问题的求解,可从最简单的情況着手。

图4表示一段传输线,其特性阻抗为  $Z_C$ ,负载阻抗为  $Z_L$ ,传输线长为  $l$ 。其输入阻抗为<sup>[3]</sup>:

$$Z_{in} = Z_C \frac{Z_L + Z_C \text{th}(\gamma l)}{Z_C + Z_L \text{th}(\gamma l)} \quad (1)$$

设传输线为无耗线,并以导纳表示,则(1)式变为

\* 1980年9月13日收到。

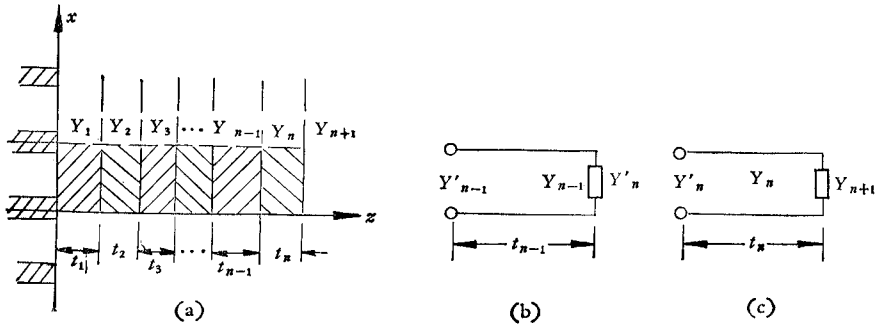


图 3 一个单元区的介质加载及其传输电路  
Fig. 3 The dielectric load and the equivalent circuit for an element cell

$$Y_{in} = Y_C \frac{Y_L + jY_C \operatorname{tg}(\beta t)}{Y_C + jY_L \operatorname{tg}(\beta t)} \quad (2)$$

式中,  $\beta$  为  $z$  向传输常数, 导纳  $Y_{in}$ 、 $Y_C$  和  $Y_L$  分别为阻抗  $Z_{in}$ 、 $Z_C$  和  $Z_L$  的倒数。

图 3 所示的  $n$  层介质加载, 可利用(2)式, 由后(第  $n$  层)至前(第 1 层)逐步地将各层介质的作用最终等效到阵列口径面上去, 得到一个总的、考虑了所有介质作用的等效导纳值。将该值代入不加载情况下的表征自由空间导纳  $Y$  中, 便可以利用原来不加载的公式计算有载的问题了。这一程序利用计算机是容易完成的。

由(2)式, 第  $n$  层介质在其内侧面处的等效输入导纳  $Y'_n$  值(见图 3(c)) 为

$$Y'_n = Y_n \frac{Y_{n+1} + jY_n \operatorname{tg}(\beta_n t_n)}{Y_n + jY_{n+1} \operatorname{tg}(\beta_n t_n)} \quad (3)$$

有了  $Y'_n$  值, 又可以把它作为第  $(n-1)$  层介质处的负载导纳值、计算该层内侧面处的等效输入导纳  $Y'_{n-1}$ 。(见图 3(b)) 为

$$Y'_{n-1} = Y_{n-1} \frac{Y'_n + jY_{n-1} \operatorname{tg}(\beta_{n-1} t_{n-1})}{Y_{n-1} + jY'_n \operatorname{tg}(\beta_{n-1} t_{n-1})} \quad (4)$$

同样, 第 1 层介质在其内侧面(即阵面口径处)的等效输入导纳  $Y'_1$  为

$$Y'_1 = Y_1 \frac{Y'_2 + jY_1 \operatorname{tg}(\beta_1 t_1)}{Y_1 + jY'_2 \operatorname{tg}(\beta_1 t_1)} \quad (5)$$

(5)式为我们需要的最终结果。为说明其如何使用, 现引用文献[1]中没有介质加载时阵列计算的最终结果如下:

$$\begin{bmatrix} 1 + R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_i \\ \vdots \end{bmatrix} = 2[K]^{-1} \begin{bmatrix} Y_{in1} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (6)$$

式中  $R_1$ 、 $R_2$  和  $R_i$  分别为单元内第 1、第 2 和第  $i$  个模的反射系数,  $Y_{in1}$  为单元内主模导纳。  $[K]^{-1}$  为方阵  $[K]$  的逆矩阵, 其第  $(i, q)$  元为

$$k_{iq} = Y_i \delta_{iq} + \sum_{p=1}^2 \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} Y_{mn}^p C_{mnp}^p C_{mnq}^{p*} \quad (7)$$

式中,  $Y_{mn}^p$  是无介质加载阵面口外弗洛盖模导纳。如以(5)式的  $Y'_1$  代替  $Y_{in1}$ , 则由(6)式

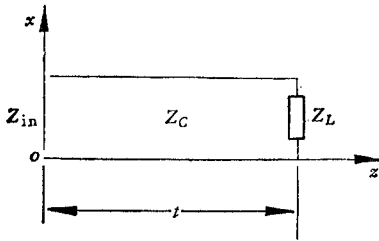


图4 典型传输线电路

Fig. 4 The typical circuit of the transmission line

解得的反射系数  $R_i$  便是  $n$  层介质加载阵列的结果。

(三) 结果的优化和试验验证 编制了专门的优选程序,对  $n=1,2$  的两种情况在“719”型计算机上得到了有用的结果。优选程序是十分有效的,见图5。以能量守恒、对称性等理论对理论结果进行了检验。波导模拟器<sup>[4]</sup>的实验数据与理论数据基本吻合,见图6。本文的处理,使在许多条件下无法求解的计算得以实现,为理论计算设计优质相控阵天线提供了条件。

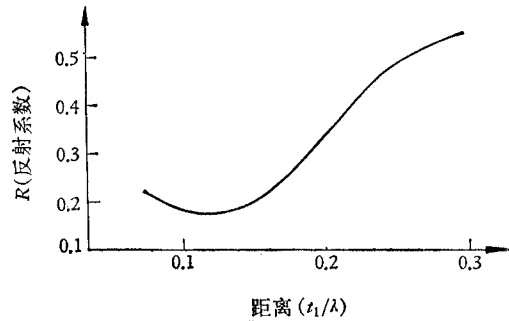


图5 介质板与口面距离不同时的反射系数

Fig. 5 Reflection coefficient versus distance between the dielectric sheet and the aperture

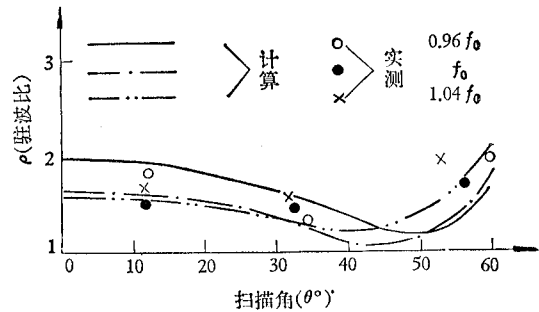


图6 理论计算值与模拟器试验结果

Fig. 6 Theoretical data obtained with computer and experimental results obtained with simulator

### 参 考 文 献

- [1] 李祥林、姚以慈, 矩形波导单元相控阵天线阵面的理论计算与设计, 中国电子学会天线年会报告(1979)。
- [2] E. G. Magill and H. A. Wheeler, Proc. IEEE Trans. on AP, AP-14(1966), 49.
- [3] 西安电讯工程学院, 微波传输线, (1976), 26.
- [4] P. W. Hannan and M. A. Balfour, Proc. IEEE Trans. on AP, AP-13(1965), 342.

## A SIMPLE WAY TO HANDLE THE PROBLEM OF LOADING WITH MULTILAYERED DIELECTRIC SHEATHS OUTSIDE THE ARRAY APERTURE

Li Xiang-lin, Cao You-jiang

(Shanghai Wire Communications Factory)

In this paper the effects of dielectric sheet on the array antenna are described on the concept of element cell. The formulae suitable for the computer calculation are derived by the use of transmission line circuit theory. Useful results are obtained by the use of computer type-719, and the correctness of the results is discussed. The theoretical data are in agreement with experimental results obtained from the waveguide simulators.