第 13 卷 第 2 期　　电子科学学刊　　Vol. 13, No. 2
1991 年 3 月　　JOURNAL OF ELECTRONICS　　Mar., 1991

确定介质薄板电参数的一种频域方法

张守融　　王卫延
(中国科学院电子学研究所,北京)

摘要　用单色电磁波照射介质薄板并测量其散射场,根据测得的散射场数据,可以确定介质薄板的电参数分布. 本文给出一种单层和双层不均匀介质薄板的电参数确定方法,并给出了数值计算结果.

关键词　逆散射;损耗介质;介质薄板

1. 引言

介质体的电磁逆散射问题,由于其明显的应用价值近年来引起许多学者的注意,并提出了一些根据介质体的散射场确定介质体参数分布的方法[1,2]. 但这些方法,都要求介质体满足弱散射条件,使它们的应用范围受到很大限制. 本文提出一种根据散射场确定介质薄板电参数分布的方法,不要求介质板满足弱散射条件,因而可以有较宽的应用范围.

设有任意宽度的无限长介质板位于自由空间中,并设介质板是各向同性、有损耗或无损耗的,其电参数分布在宽度方向可以是不均匀的,但假定沿长度方向均匀.

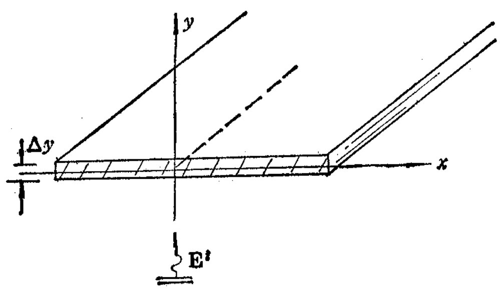

图 1

建立坐标系如图1所示,介质的介电常数和电导率分别记为 $\varepsilon(\boldsymbol{r})=\varepsilon(x,y)$ 和 $\sigma(\boldsymbol{r})=\sigma(x,y)$; 为简单起见,设介质的磁导率为真空磁导率 μ_0.

以电场矢量沿 $\hat{z}$ 方向线偏振的单色波 $\boldsymbol{E}^i=E^i\hat{z}$ 照射介质板. 在上述条件下,介质板内外的电场均应沿 $\hat{z}$ 方向线偏振。记电场分布为 $\boldsymbol{E}=E\hat{z}$, 则有

$$E(x,y)=E^i(x,y)+E^s(x,y) \quad (1)$$

这里 E^s 是介质板的散射场. 不论 (x,y) 点在介质板外部或者内部,(1)式都是对的.

设入射场有时间依赖 $e^{-i\omega t}$, 则介质板的散射场 E^s 可以表示为

$$E^s(x,y)=\iint_D i\omega\mu_0 J(x',y')\cdot G(x,y,x',y')dx'dy' \quad (2)$$

式中 $J(x',y')$ 是由下式定义的等效电流:

$$J(x',y')=[\sigma(x',y')-i\omega(\varepsilon(x',y')-\varepsilon_0)]E(x',y') \quad (3)$$

$G(x,y,x',y')$ 是二维波动方程的 Green 函数:

1989 年 7 月 4 日收到,1990 年 3 月 19 日修改定稿.

$$G(x,y,x',y') = \frac{i}{4} H_0^{(1)}(K_0 R) \tag{4}$$

K_0 是自由空间波数，R 是源点 (x',y') 到场点 (x,y) 的距离。积分在介质板的截面 D 上进行。由于在介质以外的空间区域中总有 $J=0$，因此这个积分也可以扩展到全部 (x',y') 平面，即

$$E^s(x,y) = \iint_{-\infty}^{\infty} i\omega\mu_0 J(x',y')\cdot G(x,y,x',y')dx'dy' \tag{5}$$

2.确定介质板电参数分布的方法

二维波动方程的 Green 函数 $G(x,y,x',y')$ 可以表为[3]

$$G(x,y,x',y') = \frac{i}{2}\int_{-\infty}^{\infty} H(\alpha,y,y')e^{i2\pi\alpha(x-x')}d\alpha \tag{6}$$

其中 $H(\alpha,y,y')$ 是已知函数

$$H(\alpha,y,y') = e^{i\sqrt{K_0^2-4\pi^2\alpha^2}|y-y'|}/\sqrt{K_0^2-4\pi^2\alpha^2} \tag{7}$$

并有 $\mathrm{Im}\sqrt{K_0^2-4\pi^2\alpha^2}\geqslant 0$。把(6)式代入(5)式，即得

$$E^s(x,y) = -\frac{\omega\mu_0}{2}\iiint_{-\infty}^{\infty} J(x',y')H(\alpha,y,y')e^{i2\pi\alpha(x-x')}dx'dy'd\alpha \tag{8}$$

记 $E^s(x,y)$ 对 x 的 Fourier 变换为 $\tilde{E}^s(\alpha,y)$。

$$\tilde{E}^s(\alpha,y) = \int_{-\infty}^{\infty} E^s(x,y)e^{-i2\pi\alpha x}dx \tag{9}$$

则有

$$E^s(x,y) = \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{E}^s(\alpha,y)e^{i2\pi\alpha x}d\alpha \tag{10}$$

比较(8)式与(10)式，则有

$$\tilde{E}^s(\alpha,y) = -\frac{\omega\mu_0}{2}\iint_{-\infty}^{\infty} J(x',y')H(\alpha,y,y')e^{-i2\pi\alpha x'}dx'dy' \tag{11}$$

设介质板充分薄，并可近似地认为介质板在厚度方向均匀，介质板内部的场和等效电流也可近似看作沿厚度方向是均匀的，如图2所示。这样，在散射体外一条直线 $y=y_0$ 上的散射场 $E^s(x,y_0)$ 对 x 的 Fourier 变换应为

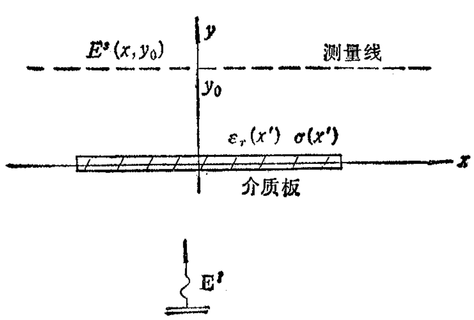

图 2

$$\tilde{E}^s(\alpha,y_0) = -\frac{\omega\mu_0\Delta y}{2}\times\int_{-\infty}^{\infty} J(x',0)\cdot H(\alpha,y_0,0)e^{-i2\pi\alpha x'}dx' = -\frac{\omega\mu_0\Delta y}{2}H(\alpha,y_0,0)\cdot\tilde{J}(\alpha) \tag{12}$$

式中 $\tilde{J}(\alpha)$ 是 $J(x',0)$ 对 x' 的 Fourier 变换。由(12)式可得

$$J(x',0)=-\frac{2}{\omega\mu_0\Delta y}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{\widetilde{E}^s(\alpha,y_0)}{H(\alpha,y_0,0)}e^{i2\pi\alpha x'}d\alpha \tag{13}$$

介质板内的电场 $E(x,0)$ 则为

$$E(x,0)=E^i(x,0)-\frac{\omega\mu_0}{4}\iint_D J(x',0)H_0^{(1)}(K_0R)dx'dy' \tag{14}$$

由(3)式即可得到介质板的电参数分布为

$$\sigma(x)-i\omega(\varepsilon(x)-\varepsilon_0)=\frac{J(x,0)}{E(x,0)} \tag{15}$$

图 3—图 4 表示用这种方法得到的计算结果. 在这些例子中，散射体是一块厚度为 0.05m 的介质板，宽 3.05m，入射波为 300MHz 平面波，垂直照射到介质板上. 测量线距介质板0.5m. 在讨算散射场时，采用了 Richmond 的方法[4]. 图 3(a) 和图 3(b) 是无损介质板的情形，图 4(a) 和图 4(b) 是有损介质板的情形. 曲线 A 是介质板的介电常数分布，曲线 B 是电导率分布. 实线表示给定的参数分布，虚线是确定的参数.

计算结果说明，用这种方法，可以相当准确地根据散射场确定介质薄板的电参数分布. 在图 3 和图 4(a) 中出现的被确定参数在给定参数附近振荡的现象，是由离散

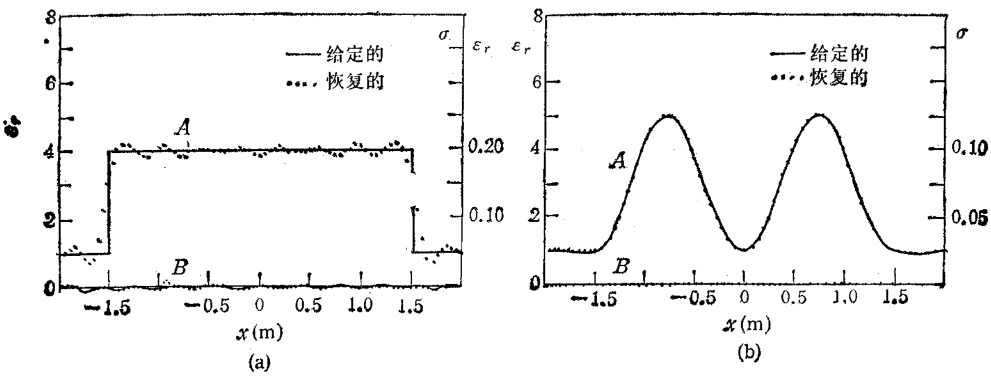

图 3

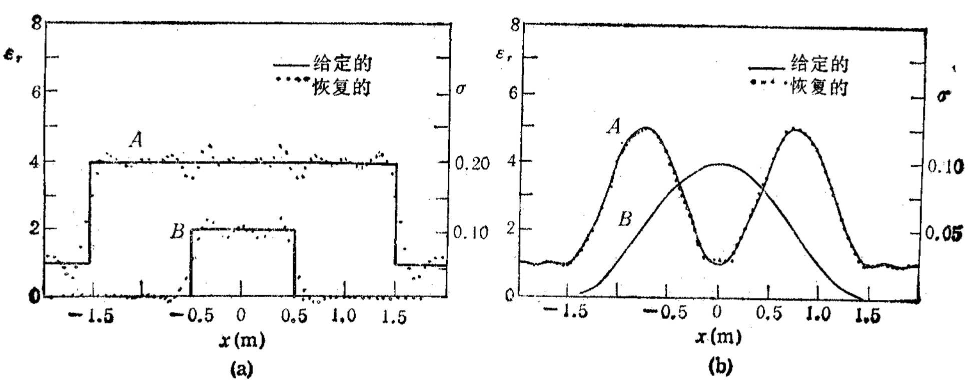

图 4

Fourier 变换中的计算误差引起的.

3. 双层介质板电参数分布的确定

如图5,设散射体是两块厚度为 Δy 的介质板,每块介质板充分薄,在厚度方向可视为各自均匀,并可近似地认为其内部电场和等效电流在厚度方向也各自均匀. 设两块介质板分别位于 $y=y_1$ 和 $y=y_2$, 两块介质板中的等效电流分别为 $J_1(x)$ 和 $J_2(x)$. 在散

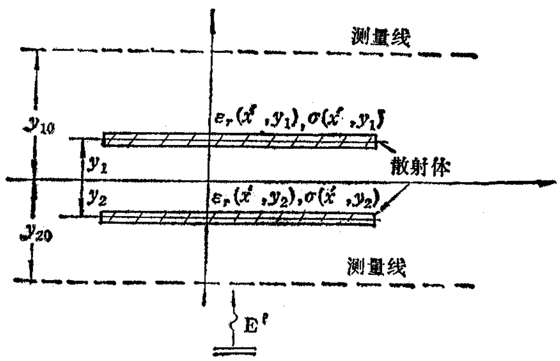

图 5

射体两侧选择两条测量线 $y=y_{10}$ 和 $y=y_{20}$. 在这两条线上测得的散射场分别为 $E^s(x,y_{10})$ 和 $E^s(x,y_{20})$, 其 Fourier 变换分别为

$$\left.\begin{aligned}\tilde{E}^s(\alpha,y_{10})&=\int_{-\infty}^{\infty}E^s(x,y_{10})e^{-i2\pi\alpha x}dx\\ \tilde{E}^s(\alpha,y_{20})&=\int_{-\infty}^{\infty}E^s(x,y_{20})e^{-i2\pi\alpha x}dx\end{aligned}\right\}\tag{16}$$

由(12)式可得

$$\left.\begin{aligned}\tilde{E}^s(\alpha,y_{10})&=A\tilde{J}_1(\alpha)+B\tilde{J}_2(\alpha)\\ \tilde{E}^s(\alpha,y_{20})&=C\tilde{J}_1(\alpha)+D\tilde{J}_2(\alpha)\end{aligned}\right\}\tag{17}$$

其中

$$\left.\begin{aligned}A&=-\omega\mu_0\Delta yH(\alpha,y_{10},y_1)/2\\ B&=-\omega\mu_0\Delta yH(\alpha,y_{10},y_2)/2\\ C&=-\omega\mu_0\Delta yH(\alpha,y_{20},y_1)/2\\ D&=-\omega\mu_0\Delta yH(\alpha,y_{20},y_2)/2\end{aligned}\right\}\tag{18}$$

式中H即如(7)式所示,而 $\tilde{J}_1(\alpha)$ 和 $\tilde{J}_2(\alpha)$ 分别为等效电流 $J_1(x')$ 和 $J_2(x')$ 的 Fourier 变换. $\tilde{J}_1(\alpha)$ 和 $\tilde{J}_2(\alpha)$ 可从(17)式解出, 从而可以求出两块介质薄板上的等效电流分布 $J_1(x)$ 和 $J_2(x)$, 再利用前面所述方法,即可得到各介质板的参数分布.

对两个双板模型进行了模拟计算. 两板的厚度均为 0.05m, 宽 2.05m, 两板间的距离为 0.2m, 入射波的频率为 300MHz. 图6表示的是两块无损介质板的情形. 图 6(a) 和图 6(b) 分别表示两块板中的参数分布. 图 7 是有损介质板的情形. 曲线A表示相对介电常数,曲线B表示电导率.

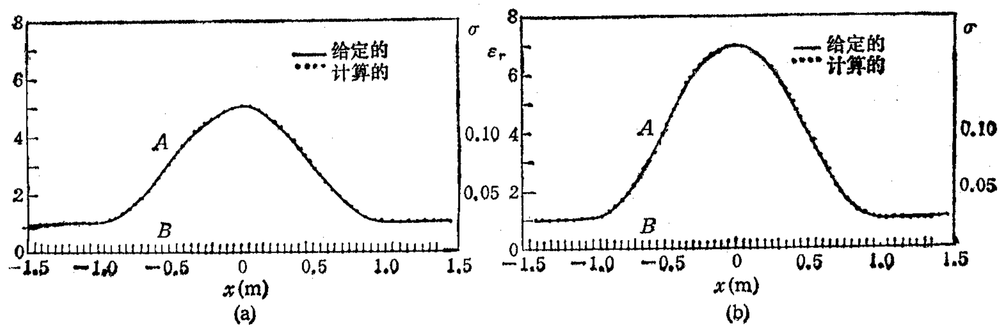

图 6

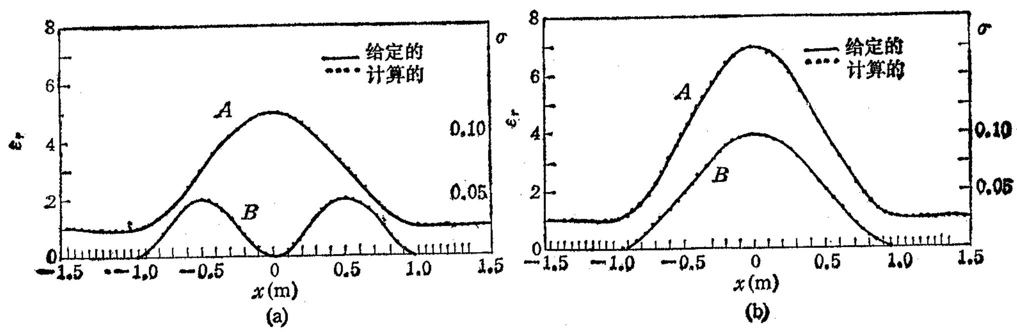

图 7

参 考 文 献

[1] M. Slaney, et al., *IEEE Trans. on MTT*, MTT-32(1984)8, 860.
[2] C. Pichot, et al., *IEEE Trans. on AP*, AP-33(1985)4, 416.
[3] G. Tyras, Radiation and Propagation of Electromagnetic Waves, New York, Academic, (1979).
[4] J. H. Richmond, *IEEE Trans. on AP*, AP-13(1965)3, 334.

A FREQUENCY-DOMAIN METHOD FOR DETERMINATION OF PARAMETERS OF DIELECTRIC SLABS

Zhang Shourong　Wang Weiyan
(Institute of Electronics, Academia Sinica, Beijing)

Abstract The complex parameters of single or double imhomogeneous lossy dielectric slabs can be determined if the slabs is illuminated by a harmonic electromagnetic wave and the scattered field is measured. The method of determiniing parameters is described and the numerical results are given.

Key words Inverse scattering; Lossy dielectric; Dielectric slab