

文章编号 1005-0388(2008)03-0514-06

金属丝加载天线罩等效平板 透波特性的 GA 优化*

徐 欧^{1☆} 徐金平¹ 刘晓春² 王 云¹

(1. 东南大学毫米波国家重点实验室, 江苏 南京 210096;

2. 航空一集团济南特种结构研究所, 山东 济南 250023)

摘 要 应用遗传算法(GA), 对加载金属丝的天线罩等效平板结构的透波特性进行多参量、宽频带优化。采用传输矩阵法导出了等效平板结构的透射系数公式, 并据此构造遗传算法的适应度函数, 以金属丝加载天线罩等效平板中介质罩壁的厚度、金属丝的半径和布置间距为优化参量, 编写了遗传算法程序并在指定带宽内对透波性能进行优化。通过与有限元法计算结果的对比, 验证了适应度函数的正确性, 分别对金属丝加载于天线罩壁中间和内表面两种等效平板结构的罩壁厚度、金属丝布置参数等进行了优化, 优化结果可为天线罩工程研制提供设计参数。该算法优化速度快、计算效率高, 可以为这种结构的电性能设计提供优化工具。

关键词 金属丝加载平板; 天线罩; 遗传算法(GA); 传输矩阵法

中图分类号 TN011

文献标志码 A

Transmission performance optimization of wire-loaded radome dielectric slab using genetic algorithm

XU Ou¹ XU Jin-ping¹ LIU Xiao-chun² WANG Yun¹

(1. State Key Laboratory of Millimeter Waves, Southeast University, Nanjing

Jiangsu 210096, China; 2. Research Institute for Special Structures of Aeronautical

Composites, China Aviation Industry Corporation I, Jinan Shandong 250023, China)

Abstract Genetic Algorithm (GA) is employed to optimize the transmission property of the wire-loaded radome dielectric slab with multiple parameters and in broad band. The formulae of transmission coefficient of the slab are derived by transmission matrix method, and the fitness function in GA is constructed for optimizing repeatedly the parameters such as thickness of radome wall, radii of wire, and spacings of wires to obtain the expected transmission performance. The correctness of the fitness function is validated by comparing the results with those obtained by finite element method (FEM). Then GA is utilized to optimize the slab thickness, the wire spacing and wire radii of the radome dielectric slabs with wires loaded in the middle and on the surface of the slab wall. The optimization results can serve as the design parameter of practical radome structure. The presented algorithm provides a fast and efficient CAD tool for the design of the wire-loaded radomes.

Key words wire-loaded slab; radome; genetic algorithm(GA); transmission matrix method

1 引言

在现代天线罩的设计中,为了满足特定的工程要求而经常采取一些特殊的罩壁结构。在天线罩介质罩壁中夹入呈周期性排列的金属丝,通过合理设计金属丝的布置间距、半径和天线罩壁的厚度,使得金属丝的等效阻抗和多层介质的等效阻抗相匹配,达到扩展天线罩的工作带宽、保证天线罩强度的同时减小天线罩壁厚度的目的;另一方面,一些特种天线罩的内壁表面必须加载金属导线,以用作某些电气设备的馈线,而直接加载于罩壁内表面的金属丝对天线罩的透波特性会产生不利影响,如何布置金属丝,使这种不利影响尽量减小是天线罩设计者必须考虑的问题之一。对金属丝加载平板结构透波特性的分析方法有微扰法、耦合模理论等解析或半解析方法,这些方法难以处理多层介质金属丝加载结构;另外还有有限元法^[1,2]、有限差分法等数值方法,该类方法的优点是对任意复杂结构的金属丝加载方式适应性强且计算准确,缺点是计算量大且需要精确细致的几何建模和网格剖分工作,不利于和遗传算法(GA)等优化算法的结合。针对多层介质平板中加载细金属丝的结构,传输矩阵法是一种便捷且准确的分析方法,该方法是对多层介质平板电特性传输矩阵法分析^[3,4]的推广,先求出埋入多层介质中的、周期性排列的细金属丝对入射平面波所呈现的等效阻抗参数^[5~7],再利用该参数构成表征金属丝电特性的传输矩阵。由于传输矩阵法得到一个解析的表达式,在保证计算精度的同时计算速度快且易于和 GA 结合。

在对金属丝加载多层平板透波特性的优化设计过程中,优化参量较多,透波特性必须符合较宽频带的要求,因而传统的寻找局部最优解的优化方法难以解决。而 GA 是一种全局优化方法,不但适合于多参量、大规模的复杂优化问题,而且具有适应性好、鲁棒性强等优点,已经被广泛应用于无金属丝加载的天线罩介质平板结构^[8]和多层介质吸波材料^[9]的优化中。

应用 GA 对细金属丝加载天线罩等效平板的透波特性进行优化,采用传输矩阵法获得金属丝加载多层平板的透射系数计算公式,利用该公式构造 GA 的适应度函数(Fitness Function),并且将传输矩阵法的计算结果和准确度较高的有限元法计算结果进行了对比,验证了适应度函数的准确性。特别针对在天线罩介质罩壁中间和内表面加载细金属丝

的两种情形,编写 GA 优化程序对其透波特性进行优化,通过 GA 的选择、交叉和变异等操作和变量种群的逐代进化,使两种情形的结构参数分别收敛到各自的最优化结果。在天线罩工程设计中可以根据这些优化结果合理选择罩壁厚度和金属丝参数,以达到获得较宽的传输频带,或使金属丝对平板透波特性的不利影响减少到最小的目的。由于采用了解析计算公式设计 GA 中的适应度函数,因而优化程序的运算效率高,方便于工程应用中金属丝加载天线罩的优化设计。

2 金属丝加载天线罩等效平板结构

两种金属丝加载实心半波壁天线罩等效平板结构如图 1 所示,平板结构由介质罩壁、两个涂层和细金属丝构成:介质罩壁厚度为 d_1 ,介电常数为 ϵ_1 ,在罩壁外侧依次涂敷防雨蚀涂层(厚度 d_2 ,介电常数 ϵ_2)和抗静电涂层(厚度 d_3 ,介电常数 ϵ_3)。其中图 1(a)将金属丝加载于介质罩壁的中间,通过优化介质罩壁厚度和金属丝的结构参数,改善天线罩平板的传输特性或带宽特性;图 1(b)将金属丝加载于介质罩壁的内表面,这是为了一些电气设备馈电的方便而采用的结构,同样可以通过优化结构参数,减小小表面金属丝对天线罩透波特性的不利影响。

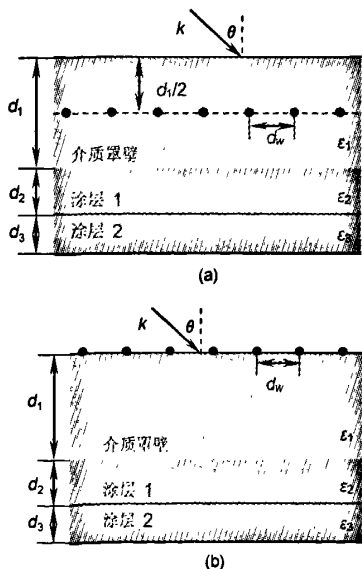


图 1 金属丝加载平板示意图

3 透波特性的传输矩阵法分析

加载等距排列金属丝的无限多层介质平板结构如图 2 所示。设每个介质层为各向同性的非磁性

材料,各层的厚度和介电常数如图中所标示。金属丝位于 $x = x_0$ 的平面,且轴向平行于 z 轴,沿 y 轴方向呈周期性排列,夹于介电常数为 ϵ 的介质层中任意位置,相邻金属丝的间距为 d_w 。入射平面波的入射面为 XY 平面,垂直极化(TE),入射角为 θ_0 。假定金属丝的半径 b 足够细,即 $b \ll d_w$ 。

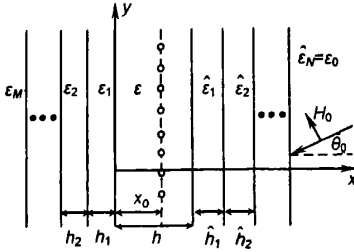


图2 加载等距排列金属丝的多层介质平板结构

对于如图2所示的金属丝所呈现的等效阻抗参数 Z_g 可由下式计算^[7]

$$Z_g = \frac{j\mu_0 d_w}{2\pi} \left(\ln \frac{d_w}{2\pi b} + \Delta_a \right) + d_w z_i \quad (1)$$

$$\text{式中 } \Delta_a = \frac{\pi}{d_w} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \left[\frac{1 + R_n^{(a)} \exp(-2hU_n)}{U_n} - \frac{d_w}{2\pi |n|} \right],$$

j 是虚数单位, $z_i \approx \left(\frac{\mu_0 \omega}{2\sigma_c} \right)^{1/2} \frac{1+j}{2\pi b}$ 。在 Δ_a 的表达式

$$\text{中, } R_n^{(a)} \cong \frac{R_n + \hat{R}_n \exp[-ZU_n(h-2x_0)] + 2R_n \hat{R}_n \exp[-ZU_n(h-x_0)]}{1 - R_n \hat{R}_n \exp(-2U_n h)}.$$

$R_n^{(a)}$ 是金属丝对第 n 阶 Floquet 模式场的反射系数,其表达式包含图2中金属丝左侧 ($x < x_0$) 的介质对

各阶 Floquet 模的反射系数 $R_n = \frac{N_n - Y_{1,n}}{N_n + Y_{1,n}}$, 和金属

丝右侧 ($x > x_0$) 的介质对各阶 Floquet 模的反射系

数 $\hat{R}_n = \frac{N_n - \hat{Y}_{1,n}}{N_n + \hat{Y}_{1,n}}$, 其中 $N_n = U_n / (j\mu\omega)$, U_n 是空气

中第 n 阶 Floquet 模式场沿 y 向的波数, 表达式为 $U_n = (\beta_n^2 - k^2)^{1/2}$, 而 $\beta_n = 2n\pi/d + k \sin \theta_0$, 是第 n 阶

Floquet 模沿 x 方向的波数。 R_n 和 \hat{R}_n 表达式中的参量 $Y_{1,n}$ 和 $\hat{Y}_{1,n}$ 通过以下迭代式求解:

$$Y_{m,n} = \frac{(\beta_n^2 - k_m^2)^{1/2}}{j\mu_m \omega} \frac{Y_{m+1,n} + N_{m,n} \tanh U_{m,n} h_m}{N_{m,n} + Y_{m+1,n} \tanh U_{m,n} h_m} \quad (2)$$

$$\hat{Y}_{m,n} = \frac{(\beta_n^2 - \hat{k}_m^2)^{1/2}}{j\hat{\mu}_m \omega} \frac{\hat{Y}_{m+1,n} + \hat{N}_{m,n} \tanh \hat{U}_{m,n} \hat{h}_m}{\hat{N}_{m,n} + \hat{Y}_{m+1,n} \tanh \hat{U}_{m,n} \hat{h}_m} \quad (3)$$

其中 $k_m = (\epsilon_m \mu_m)^{1/2} \omega$, $\hat{k}_m = (\hat{\epsilon}_m \hat{\mu}_m)^{1/2} \omega$, $U_{m,n} = (\beta_n^2 - k_m^2)^{1/2}$, $N_{m,n} = U_{m,n} / (j\mu_m \omega)$, $\hat{U}_{m,n} = (\beta_n^2 - \hat{k}_m^2)^{1/2}$, $\hat{N}_{m,n} = \hat{U}_{m,n} / (j\hat{\mu}_m \omega)$ 。

加载金属丝的多层介质平板结构的透射和反射

特性可以用级联等效传输线模型来描述,对应于如图2所示结构的等效传输线模型如图3所示。在图3中,将图2中每层介质等效为一段传输线,分别由一个等效传输矩阵表示其传输特性,其中金属丝的等效传输矩阵为:

$$A_w = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

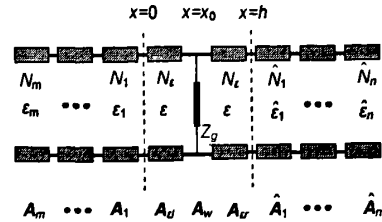


图3 含金属丝多层介质的等效传输线模型示意图

对于TE极化(电场方向平行于如图2所示的金属丝轴向), $Y^{TE} = (1/Z_g) \sqrt{\mu_0/\epsilon_0} \cos \theta_0$, 而细金属丝对平行(TM)极化的入射平面波(电场方向垂直于金属丝的轴向)的影响可以忽略^[10], 所以 $Y^{TM} \approx 0$ 。在求出金属丝的等效传输矩阵后,进一步求出金属丝两侧每层介质的等效传输矩阵^[3,4], 将各层介质和金属丝的等效传输矩阵依如下次序相乘

$$A = \hat{A}_n \cdots \hat{A}_2 \cdot \hat{A}_1 \cdot A_w \cdot A_d \cdot A_1 \cdot A_d \cdots A_m \quad (5)$$

从而得到整个金属丝加载多层介质平板的等效传输矩阵 A , 进而由传输矩阵 A 求得等效平板的透射系数:

$$T^{TE/TM} = 1 / A_{11} \quad (6)$$

4 遗传算法优化

遗传算法(GA)是一种全局化优化方法,可以对最优解进行高效、并行、多参量全局搜索。因而,GA适应于多参数、宽频带的金属丝加载天线罩透波特性的优化问题。在优化过程中,GA包括编码、构造适应度函数、遗传操作等几个主要方面^[11]。

4.1 优化参量编码

应用GA的第一步是对金属丝加载等效平板的几个待优化参数进行编码,这些参数包括金属丝间距 d_w 、金属丝半径 b 和介质罩壁厚度 d_1 , 由这些参数的编码构造GA的个体编码串和进化算法中每一代的种群。

编码方式采用二进制编码,将优化参数 d_w 、 b 和 d_1 的实数形式转换为二进制编码,为保证变量的求

解精度,每个参数采用 24 位二进制编码,然后将三个参数的编码串接成为一个{0,1} 二进制串,形成的个体二进制编码串如图 4 所示,然后由 N_p 个这样的编码串构成 GA 的种群。

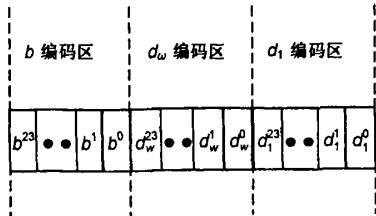


图 4 优化参数的二进制编码串示意图

4.2 适应度函数

算法在搜索优化解的过程中以适应度函数为评估依据,利用每一代种群中每个个体的适应度值对个体进行评判和淘汰,遴选出向最优解收敛的个体。根据透射系数公式(6),将适应度函数设计为:

$$F(d_l, d_w, b) = \min_{f_i} [T^{TE/TM}(f_i)]$$
$$f_{\min} \leq f_i \leq f_{\max} \quad (7)$$

其中 f_{\min} 和 f_{\max} 分别是优化频带的下限和上限。

4.3 遗传操作

遗传操作是对每一代种群的个体编码串依不同的概率进行选择、交叉和变异等操作,形成向最优解收敛的子代,然后对子代重复进行以上操作,循环往复,直至得到符合期望的优化目标的结果。

5 数值结果

5.1 适应度函数正确性的验证

应用传输矩阵法,分别对如图 1 所示的金属丝加载天线罩等效平板结构的透波特性进行分析,入射波的频率为 10 GHz,金属丝间距 d_w 为 0.5λ (相应的金属丝半径 b 为间距的 1%)。各层介质的厚度为: $d_1=7.874\text{ mm}$, $d_2=0.2\text{ mm}$, $d_3=0.06\text{ mm}$; 介质的介电常数为: $\epsilon_1=3.8-j0.07$, $\epsilon_2=3.0-j0.2$, $\epsilon_3=7.0-j1.94$ 。计算了两种结构对两个极化分量的透射系数随入射角变化的曲线,并和有限元法的计算结果进行对比,计算结果如图 5 和图 6 所示。传输矩阵法的计算结果和有限元法计算结果吻合得很好,验证了透射系数公式(6)的正确性,而适应度函数(7)由透射系数公式(6)构成,从而计算结果也证明了遗传算法中适应度函数的正确性。

5.2 透波特性的优化

针对如图 1 所示的两种金属丝加载结构,应用

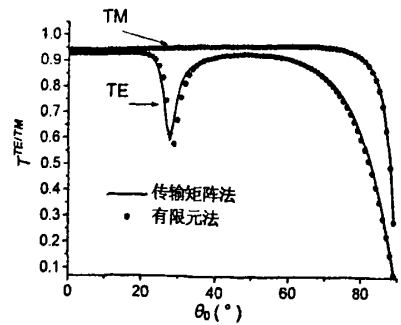


图 5 金属丝位于介质罩壁中间时透射系数随入射角度变化的曲线

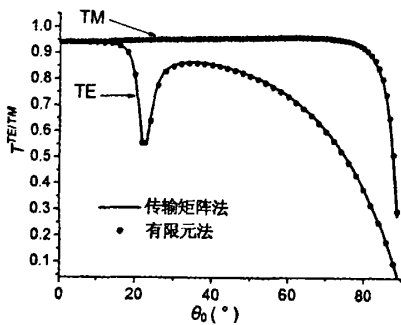


图 6 金属丝位于介质罩壁内表面时透射系数随入射角度变化的曲线

GA 分别对其透波特性进行优化。两个涂层的厚度分别为: $d_2=0.2\text{ mm}$, $d_3=0.06\text{ mm}$; 各层介质的介电常数为: $\epsilon_1=3.8-j0.07$, $\epsilon_2=3.0-j0.2$, $\epsilon_3=7.0-j1.94$ 。优化介质罩壁的厚度 d_1 (变化范围: $5 \leq d_1 \leq 9\text{ mm}$)、金属丝的间距 d_w (变化范围: $0 \leq d_w \leq 80\text{ mm}$)和金属丝的半径 b (变化范围: $0 < b \leq 0.01 d_w$),使得平板在 8~12 GHz 的频段内,规定的入射角度下平面波两个极化分量的透波特性均达到最佳。金属丝位于介质罩壁中间的优化结果如表 1 所示,金属丝位于介质罩壁内表面的优化结果如表 2 所示。

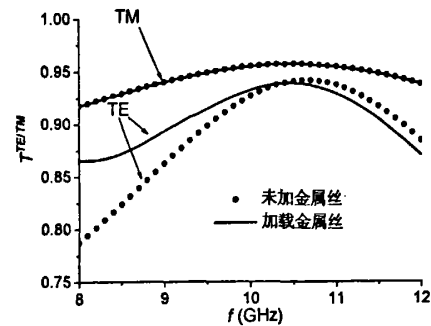
表 1 金属丝位于介质罩壁中间的优化结果

	入射角 40°	入射角 50°
介质罩壁厚度(mm)	7.21176	7.44706
金属丝间距(mm)	19.6	18.06
金属丝半径(mm)	0.2	0.18
带宽内垂直极化最低透射系数	0.86551	0.82837
带宽内平行极化最低透射系数	0.91782	0.94518

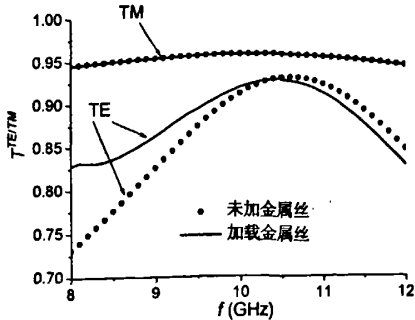
表 2 金属丝位于介质罩壁内表面的优化结果

	入射角 40°	入射角 50°
介质罩壁厚度(mm)	7.82353	8.18431
金属丝间距(mm)	74.3922	75.4118
金属丝半径(mm)	0.744	0.754
带宽内垂直极化		
最低透射系数	0.78061	0.73553
带宽内平行极化		
最低透射系数	0.91217	0.92913

根据优化所得的表 1 和表 2 中的结构参数,分别计算其透射系数的频率响应曲线。图 7(a)中实线为金属丝在介质罩壁中间、入射角为 40°时的曲线,图 7(b)实线为金属丝在介质罩壁中间、入射角为 50°时的曲线,在两个图中同时计算了未加载金属丝时平板的透射系数曲线。由图 7 可见,该结构在整个 8~12 GHz 频带内两种结构都保持了很高的透射系数,相较于未加载金属丝的情况,在罩壁中间加载金属丝的天线罩平板的透波特性带宽有所增加。



(a)入射角为 40°

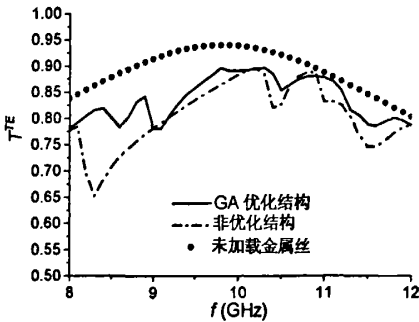


(b)入射角为 50°

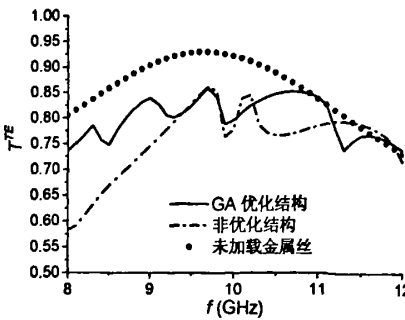
图 7 表 1 优化结果的透波性能

如前所述,加载金属丝的结构对 TM 极化的入射平面波不产生影响,因而在天线罩内表面加载的金属丝主要影响平板的 TE 极化透射系数。图 8(a)

实线为金属丝在介质罩壁内表面、入射角为 40°时 TE 极化透射系数的曲线,图 8(b)实线为金属丝在介质罩壁内表面、入射角为 50°时的 TE 极化透射系数曲线,在每幅图中用点线给出了未加载金属丝时平板的 TE 极化透射系数曲线。结果显示,在罩壁内表面加载的金属丝对平板 TE 极化透射系数的不利影响包括两个方面:其一是 TE 极化透射系数低于未加载金属丝平板结构的数值,其二是曲线存在很强的抖动。但这种不利影响经过 GA 优化后已经降低到了最小,为了证明这一点,计算了金属丝位于内表面、不同于表 2 所示参数的非优化结构的透射系数。表 3 和表 4 给出了金属丝间距不同于优化间距的平板的 TE 极化透射系数(罩壁厚度和金属丝半径与表 2 相同),无论是频带内最小透射系数,还是频带内平均透射系数,它们均低于 GA 优化结构的数值;同时在图 8 中绘出金属丝间距为 50 mm 时的透射系数曲线,此时的透波特性在大部分优化频带内低于 GA 优化结构的透波特性。因此,在天线罩表面必须采用金属丝的情况下,应用 GA 可以优化到对平板结构透波特性影响最小的最优金属丝布置结构。



(a)入射角为 40°



(b)入射角为 50°

图 8 表 2 优化结果的透波性能(TE 极化)

表 3 GA 优化结构与非优化结构透波特性的比较
(金属丝位于内表面,入射角为 40°)

	$d_w(\text{mm})$	最低 T^{TE}	平均 T^{TE}
GA 优化结构	74.3922	0.78061	0.8367
	30	0.57478	0.76337
非优化结构	40	0.58544	0.77374
($d_1=7.82353\text{ mm}$	50	0.65278	0.80384
$b=0.744\text{ mm})$	60	0.74863	0.82893
	80	0.74338	0.83391

表 4 GA 优化结构与非优化结构透波特性的比较
(金属丝位于内表面,入射角为 50°)

	$d_w(\text{mm})$	最低 T^{TE}	平均 T^{TE}
GA 优化结构	75.4118	0.73553	0.80144
	30	0.51531	0.71826
非优化结构	40	0.63993	0.74472
($d_1=8.18431\text{ mm}$	50	0.58323	0.75646
$b=0.754\text{ mm})$	60	0.67899	0.78243
	80	0.71622	0.80059

6 结论

应用遗传算法在宽频带内对金属丝加载天线罩等效平板结构的透波特性进行多参数优化,在 GA 优化过程中应用准确、快速高效的传输矩阵法设计算法的适应度函数。应用该算法,针对金属丝加载于天线罩介质罩壁的中间和内表面两种加载方式,不同平面波入射角度的情况下,在 8~12 GHz 频带内分别优化了结构的金属丝间距、半径和介质罩壁厚度。其中金属丝加载在罩壁中间的优化结构,在指定入射角下、整个优化频带内达到很高的透波率;而对于金属丝位于罩壁表面的结构,GA 收敛到了金属丝对介质平板透波特性影响最小的结果。该算法可推广到在任意多层平板结构的任意位置加载金属丝的情形,为相应的天线罩工程设计提供有效的优化手段。

参考文献

[1] Pelosi G, Freni A, Coccioni R. Hybrid technique for analyzing scattering from periodic structures[J]. IEE Microwave AP, 1993, 140(2): 65-70.

[2] 秦卫平,方大纲.有限元结合周期边界条件分析介质光栅衍射[J].电波科学学报,2001,16(4):479-483.

Qin W P, Fang D G. Finite element method of solving diffraction problem of dielectric optical grating[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2001, 16(4): 479-483.

[3] 孔金瓯[美]著,吴季等译.电磁波理论[M].北京:电子工业出版社,2003.

[4] 杜耀惟.天线罩电信设计方法[M].北京:国防工业出版社,1993.

[5] Wait, J R. The Impedance of a Wire Grid Parallel to a Dielectric Interface[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1957, 5(2):99-102.

[6] Wait, J R. Effective impedance of a wire grid parallel to the earth's surface[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1962, 10(5):538-542.

[7] Wait, J R. Electromagnetic scattering from a wire grid parallel to a planar stratified medium[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1972, 20(5): 672-675.

[8] 王旭苗,甄蜀春.遗传算法对天线罩结构的优化[J].现代雷达,2003,25(3):50-53.

[9] Mittra, R. et al.. Design of lightweight, broad-band microwave absorbers using genetic algorithms [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1993, 41(6):1024-1031.

[10] Tove Larsen. A survey of the theory of wire grids[J]. IRE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1962, 10(3):191-201.

[11] 王小平,曹立明.遗传算法理论应用与软件实现[M].西安:西安交通大学出版社,2002

徐 欧 (1976—),男,河北人,东南大学毫米波国家重点实验室博士生。从事电磁兼容、雷达罩电性能分析和优化方面的研究工作。



徐金平 (1962—),男,江苏人,东南大学毫米波国家重点实验室教授、博士生导师。主要研究方向为:计算电磁学、电磁散射、天线与电磁兼容、毫米波与亚毫米波理论与技术等。



E-mail: jpxu@seu.edu.cn

刘晓春 (1962—),男,山东人,研究员,现任济南特种结构研究所副总工程师。主要研究方向:雷达罩总体电性能设计。

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果,又能免除您舟车劳顿的辛苦,学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲,结合实际工程案例,直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>