

天线结构动力特性分析的未确知因子法

梁震涛, 陈建军, 张建国

(西安电子科技大学 机电工程学院, 陕西 西安 710071)

摘要: 构建了物理参数和几何参数同时具有未确知性的天线结构动力特性分析模型, 并提出了基于未确知因子的结构动力特性分析方法; 利用未确知因子的数学表述和未确知有理数的运算规则, 推导出结构特征值的计算表达式。算例给出了未确知性结构的特征值可能值及其可信度的计算结果, 表明该方法的可行性和有效性。

关键词: 固体力学; 未确知天线结构; 未确知因子法; 未确知量; 动力特性分析; 结构动力学

中图分类号: TB115 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1093(2007)04-0440-05

Unascertained Factor Method of Dynamic Characteristic Analysis for Antenna Structures

LIANG Zhen-tao, CHEN Jian-jun, ZHANG Jian-guo

(School of Electromechanical Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, Shaanxi, China)

Abstract: The dynamic characteristic analysis model of antenna structures was built, in which the structural physical parameters and geometrical dimensions were all considered as unascertained variables. And a structure dynamic characteristic analysis method based on the unascertained factor method was given. By the mathematics expression of unascertained factor and the principles of unascertained rational number arithmetic, the computational expression of structural characteristic was developed. At last, an example was given, in which the possible values and reliabilities of the unascertained structure characteristics were obtained. The rationality and validity of the presented method are demonstrated.

Key words: solid-state mechanics; unascertained antenna structure; unascertained factor method; unascertained variable; dynamic characteristic analysis; structure dynamics

天线的功能是发射与接受电磁信号, 其结构的动力特性对天线的伺服性能和指向精度有着显著的影响。由于天线结构在生产和装配过程中不可避免地受到多种不确定因素的影响, 使其结构的物理参数和几何参数具有不确定性。因此, 对不确定性天线结构的动力特性分析是一个具有现实工程背景和重要理论意义的研究课题。迄今, 国内外关于不确定结构分析虽有不少文献问世, 但基本都将结构的不确定性视为随机性^[1-4]或模糊性^[5-6]来处理。然而导致结构不确定性的原因不仅有随机和模糊性, 还有未确知性和灰性^[7-9]。

所谓未确知信息是指纯粹的主观上、认识上的不确定性信息, 即在进行某种决策时, 所研究和处理的某些因素和信息可能既无随机性又无模糊性, 而是由于条件的限制使决策者对它们认识不清、或所掌握的信息不足以确定事物的真实状态的数量关系^[9]。在目前的不确定性结构的分析过程中往往把结构的几何参数和物理参数等数据的未确知性视为纯粹的随机性, 并以未确知变量的“当量值”拟合成某种典型的随机分布模型。但是在工程实践中, 由于多种因素的影响, 所得信息不一定是纯粹的和完备的随机信息, 尤其是对于小样本的情况, 若将它

收稿日期: 2005-09-29

基金项目: 陕西省自然科学基金(2005A009); 国防预研基金(51421060505DZ0155)项目资助。

们视为随机变量来处理,则很难得到它们的概率分布函数,即使人为给定某种概率分布类型,其后的复杂计算也是近似的,且这种简化往往造成了计算结果与实际结果的较大差异。因此,非常有必要对未确知性结构的分析模型和求解方法进行研究,以期获得工程意义上更安全、可信度较高的计算结果。

本文针对抛物面天线结构,构建了考虑结构的物理参数和几何参数同时具有未确知性的结构动力特性分析模型,提出了基于未确知因子法的结构动力特性分析方法;并通过算例表明了文中模型和方法的合理性和有效性。

1 未确知信息和未确知因子的提出

1.1 未确知信息与随机信息的关系^[9]

定义1:设 x 为欲知元, S 为非空集合(Cantor集), U 为“在 S 中”, A 为“ x 在 S 中,且 x 是 $e \in S$ 的可能性为 α_e , $0 \leq \alpha_e \leq 1$ ”。则由 A 可得知 U ,所以 A 是信息。如果 $\sum \alpha_e = 1$,则称 A 为随机信息;如果 $\sum \alpha_e = \alpha \leq 1$,则称 A 为未确知信息。

由定义可知,随机信息是未确知信息的特例,它是以随机试验为背景的信息,通常是客观地描述未来事物的,总可信度为1,表明一切试验结果是已知的。如果试验结果不完全已知,则该试验不是随机试验,而基于此背景的信息不再是随机信息,而是未确知信息。

1.2 未确知因子的引入

为在结构分析中便于对未确知性量进行处理,这里提出将未确知性量以未确知因子的表示。

定义2:设未确知有理数 $A = [[x_1, x_n], \varphi(x)]$,其中 $\varphi(x) = \begin{cases} \alpha_i, x = x_i (i = 1, 2, \dots, n), \\ 0, \text{其它} \end{cases}$,
 $0 < \sum_{i=1}^n \alpha_i = \alpha \leq 1, 0 < \alpha_i \leq 1, (i = 1, 2, \dots, n)$ 。令
 $A = \tilde{A}A^*$,其中 $A^* = \left[\left[\frac{1}{\alpha} \sum_{i=1}^n x_i \alpha_i, \frac{1}{\alpha} \sum_{i=1}^n x_i \alpha_i \right], f(x) \right]$,
 $f(x) = \begin{cases} 1, x = \frac{1}{\alpha} \sum_{i=1}^n x_i \alpha_i, \\ 0, \text{其它} \end{cases}$,
 $\tilde{A} = \left[\left[\frac{\alpha x_1}{\sum_{i=1}^k x_i \alpha_i}, \frac{\alpha x_n}{\sum_{i=1}^k x_i \alpha_i} \right], g(x) \right]$,
 $g(x) = \begin{cases} \alpha_i, x = \frac{\alpha x_i}{\sum_{i=1}^k x_i \alpha_i} (i = 1, 2, \dots, n), \\ 0, \text{其它} \end{cases}$ 。

由以上公式可知, A^* 实际是一个实数,即是一个确定性量,它所对应的就是未确知有理数 A 中的确定性部分;而 \tilde{A} 称为未确知有理数对应的未确知因子,它所对应的是未确知有理数 A 中的未确知部分,且 A 与 \tilde{A} 的可信度分布密度函数相等,即 $\varphi(x) = g(x)$ 。

2 具有未确知性参数天线结构的有限元分析模型

大型抛物面天线的骨架结构为空间桁架。为不失一般性,设结构共有 ne 个杆单元组成,并考虑结构的物理参数和几何尺寸均为未确知量。下面利用未确知因子法对这种未确知结构进行有限元建模。

结构在总体坐标下的刚度矩阵 \mathbf{K} 可被表示为

$$\mathbf{K} = \sum_{e=1}^n \lambda^{(e)T} \mathbf{K}^{(e)} \lambda^{(e)} = \sum_{e=1}^n \left\{ \frac{\mathbf{E}^{(e)} \mathbf{A}^{(e)}}{l^{(e)}} \lambda^{(e)T} \mathbf{G} \lambda^{(e)} \right\}. \quad (1)$$

式中: $\lambda^{(e)}$ 为 e 单元的坐标转换矩阵; $\mathbf{K}^{(e)}$ 为局部坐标下 e 单元的刚度矩阵; $\mathbf{E}^{(e)}$ 、 $\mathbf{A}^{(e)}$ 和 $l^{(e)}$ 分别为 e 单元的弹性模量、截面积和杆长;矩阵 \mathbf{G} 为6阶方阵,其中元素 $g_{11} = g_{44} = 1, g_{14} = g_{41} = -1$,其余元素值为0。

考虑到各单元的所选材料、制造工艺和测量方法相同,故可认为各单元同类参数的未确知性彼此是相同的。利用定义2中对未确知量的表述,可将未确知的结构参数 $\mathbf{E}^{(e)}$ 、 $\mathbf{A}^{(e)}$ 、 $l^{(e)}$ 进行分解变换,即有: $\mathbf{E}^{(e)} = \tilde{\mathbf{E}}^{(e)} \mathbf{E}^{(e)*}$, $\mathbf{A}^{(e)} = \tilde{\mathbf{A}}^{(e)} \mathbf{A}^{(e)*}$, $l^{(e)} = \tilde{l}^{(e)} l^{(e)*}$,其中 $\mathbf{E}^{(e)*}$ 、 $\mathbf{A}^{(e)*}$ 、 $l^{(e)*}$ 分别为 $\mathbf{E}^{(e)}$ 、 $\mathbf{A}^{(e)}$ 、 $l^{(e)}$ 中的确定量部分;而 $\tilde{\mathbf{E}}^{(e)}$ 、 $\tilde{\mathbf{A}}^{(e)}$ 、 $\tilde{l}^{(e)}$ 则分别为相应的未确知因子。

由式(1)显见,当 $\mathbf{E}^{(e)}$ 、 $\mathbf{A}^{(e)}$ 、 $l^{(e)}$ 为未确知量时, $\mathbf{K}^{(e)}$ 和 \mathbf{K} 亦为由未确知量组成的矩阵。令

$$\mathbf{K}^{(e)} = \frac{\tilde{\mathbf{E}}^{(e)} \cdot \tilde{\mathbf{A}}^{(e)}}{\tilde{l}^{(e)}} \mathbf{K}^{(e)*}. \quad (2)$$

式中: $\mathbf{K}^{(e)*}$ 为 $\mathbf{K}^{(e)}$ 的确定量部分,即当 $\mathbf{E}^{(e)} = \mathbf{E}^{(e)*}$ 、 $\mathbf{A}^{(e)} = \mathbf{A}^{(e)*}$ 、 $l^{(e)} = l^{(e)*}$ 时单元的刚度矩阵。

由于各单元的弹性模量、杆横截面积和杆长的未确知性彼此是相同的,即有 $\tilde{\mathbf{E}}^{(e)} = \tilde{\mathbf{E}}$ 、 $\tilde{\mathbf{A}}^{(e)} = \tilde{\mathbf{A}}$ 、 $\tilde{l}^{(e)} = \tilde{l}$,则式(2)可表为

$$\mathbf{K}^{(e)} = \frac{\tilde{\mathbf{E}} \cdot \tilde{\mathbf{A}}}{\tilde{l}} \mathbf{K}^{(e)*}. \quad (3)$$

代入式(1),则结构的总刚度矩阵可表示为

$$K = \sum_{e=1}^n K^{(e)} = \sum_{e=1}^n \left(\frac{\tilde{E} \cdot \tilde{A}}{\tilde{l}} K^{(e)\#} \right) = \frac{\tilde{E} \cdot \tilde{A}}{\tilde{l}} K^{\#}, \quad (4)$$

式中: $K^{\#}$ 为 K 的确定性部分。

同理, 对 ne 个单元的质量矩阵利用未确定因子法进行处理并且组集后, 可得到结构总质量矩阵 M 的表达式为

$$M = \tilde{A} \tilde{l} \tilde{\rho} M^{\#}. \quad (5)$$

式中: $M^{\#}$ 为 M 的确定性部分; \tilde{A} 、 \tilde{l} 、 $\tilde{\rho}$ 分别为 A 、 l 和 ρ 所对应的未确定因子。

3 具有未确定性参数天线结构的动力特性分析

利用结构振动中的 Rayleigh(瑞利)商, 结构的各阶固有频率可表示为

$$\omega_i^2 = \frac{\phi_i^T K \phi_i}{\phi_i^T M \phi_i} \quad (6)$$

式中: ω_i 为结构的第 i 阶固有频率; ϕ_i 为与 ω_i 对应的结构的第 i 阶固有振型。

假设 $\varphi_i = \tilde{\varphi} \cdot \phi_i^{\#}$, 并将其与式(4)、式(5)代入式(6)可得

$$\begin{aligned} \omega_i^2 &= \frac{\frac{\tilde{E} \tilde{A}}{\tilde{l}} \tilde{\varphi} \phi_i^{\# T} K^{\#} \phi_i^{\#} \tilde{\varphi}}{\frac{\tilde{\rho} \tilde{A} \tilde{l}}{\tilde{\rho} \tilde{A} \tilde{l}^2 \tilde{\varphi}^2 M_i^{\#}}} = \\ &= \frac{\tilde{E} \tilde{A} \tilde{\varphi}^2 K^{\#}}{\tilde{\rho} \tilde{A} \tilde{l}^2 \tilde{\varphi}^2 M_i^{\#}} = \frac{\tilde{E}}{\tilde{\rho} \tilde{l}^2} (\omega_i^{\#})^2, \end{aligned} \quad (7)$$

式中: $K_i^{\#} = \phi_i^{\# T} K^{\#} \phi_i^{\#}$ 和 $M_i^{\#} = \phi_i^{\# T} M^{\#} \phi_i^{\#}$ 分别是提出未确定因子后对应的确定性结构的第 i 阶主刚度和第 i 阶主质量; 两者之比即 $K_i^{\#}/M_i^{\#} = (\omega_i^{\#})^2$ 为对应确定性结构的第 i 阶固有频率。

由上式可知: 由于 E 、 ρ 、 l 均为未确定量, 因此 ω_i^2 亦为未确定量。

将(7)式进一步简化表示为

$$\omega_i^2 = \tilde{\omega} (\omega_i^{\#})^2, \quad (8)$$

式中: $\tilde{\omega} = \left[\left[\min \left(\frac{\tilde{E}}{\tilde{\rho} \tilde{l}^2} \right), \max \left(\frac{\tilde{E}}{\tilde{\rho} \tilde{l}^2} \right) \right], \varphi(\tilde{\omega}) \right]$, $\varphi(\tilde{\omega})$ 是未确定有理数 $\tilde{\omega}$ 对应的可信度分布函数; $(\omega_i^{\#})^2$ 可由常规的确定性结构的固有频率计算方法求得。

为此, 具有未确定参数天线结构的各阶固有频率最终可被表示为

$$\omega_i^2 = \left[\left[\min \left(\frac{\tilde{E}}{\tilde{\rho} \tilde{l}^2} \right), \max \left(\frac{\tilde{E}}{\tilde{\rho} \tilde{l}^2} \right) \right], \varphi(\tilde{\omega}) \right] \cdot (\omega_i^{\#})^2. \quad (9)$$

由(9)式可以看出, 未确定参数结构各阶固有频率取某值的可信度与各参数取值可信度的趋势是一致的, 即当一参数取值的可信度增大, 而其余参数取值的可信度不变时, 它所对应固有频率值的可信度也随之增大。并且截面积的未确定性对固有频率的结果是没有影响的。

4 降阶

在未确定有理数的运算过程中, 随着参数的增加, 可信度分布函数中的变量数目大幅度增加, 使计算效率下降, 因此应对未确定信息进行降阶处理。常用的对未确定有理数进行降阶处理的方法有合并小可信度点法、压缩取值区间法以及混合降阶方法等^[9]。本文为了方便程序化实现并保证较高的降阶效率, 采用了合并小可信度点法进行降阶。

设未确定有理数 $A_n = [[x_1, x_n], \varphi(x)]$, $\varphi(x) = \begin{cases} a_i, & x = x_i (i = 1, 2, \dots, n); \\ 0, & \text{其它,} \end{cases}$ 其中 $0 < a_i \leq 1$,

$i = 1, 2, \dots, n$, $\sum_{i=1}^n a_i = a \leq 1$. 令: $\bar{x} = \frac{1}{2}(x_1 + x_n)$, 则有 $x_1 < x_2 < \dots < x_k < x_{k+1} < \dots < x_n$.

若 $\varphi(x_i) \leq r$ (通常取 $r \leq 0.01^{[9]}$), 可认为点 x_i 的可信度很小, 可以去掉 x_i 并把该点的可信度 $\varphi(x_i) \leq a_i$ 加到点 x_i 的左边或右边点上, 方法如下:

1) 当 $2 \leq i \leq k-1$, 令 $\varphi(x_{i+1}) = a_{i+1} + a_i$, 同时舍弃点 x_i ;

2) 当 $i = k$ 或 $i = k+1$ 时, 令 $\varphi(\bar{x}) = a_k + a_{k+1}$, 同时舍弃点 x_k 或 x_{k+1} ;

3) 当 $k+1 < i \leq n-1$ 时, 令 $\varphi(x_{i-1}) = a_{i-1} + a_i$, 同时舍弃点 x_i .

若 $\varphi(x_i) > r$, 则保持该可能值和对应可信度不变。

由此可见, 上述降阶过程没有舍弃点 x_1, x_n , 故未确定量的取值区间未改变。但是除了 x_1, x_n 外, 其它非零可信度点的可信度均大于 r , 原未确定量的阶数下降, 更便于实际应用和数据的处理。

5 算例

8 m 口径抛物面天线结构(图 1 所示, 因对称性仅绘出 1/4 部分)。该结构共有 96 个节点, 336 个杆单元。单元的截面积分为 12 类, 天线中心圆的上下弦共 24 个节点被完全约束。结构材料为钢, 考虑同类参数的未确定性相同, 对结构第 9 类杆单元的弹性模量 E 、杆长 l 和质量密度 ρ 进行连续 3 次试

验,所得各量的试验值和对应未确知因子及其可信度见表1.经按前述方法计算获得结构固有频率的可能值及其可信度,表2给出了结构前三阶固有频率的部分可能值和相应可信度的计算结果。图2、

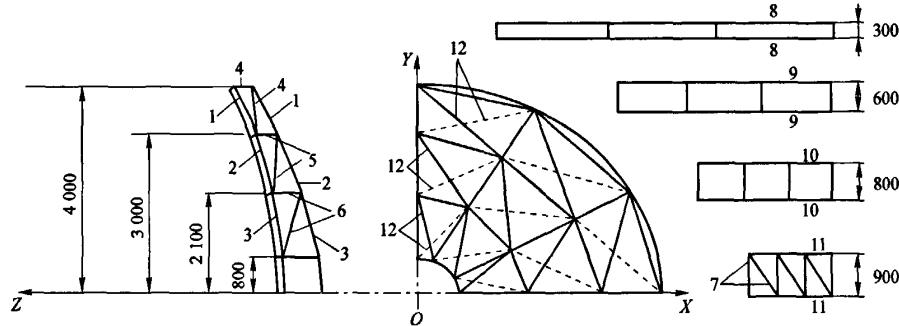


图1 8 m口径天线结构简图(单位:mm)

Fig. 1 Antenna structure of 8 m diameter

表1 第9类杆单元各未确知量和未确知因子的取值及相应的可信度

Tab. 1 The values and confidence degrees of the unascertained variables and factors of the ninth kind truss elements

未确知量 E/Pa	2.08×10^{11}	2.10×10^{11}	2.13×10^{11}	其它
未确知因子 E	0.9927	1.0022	1.0166	其它
可信度 $\varphi_E(x)$	0.35	0.4	0.1	0
未确知量 l/m	1.573	1.605	1.653	其它
未确知因子 T	0.9790	0.9990	1.0288	其它
可信度 $\varphi_l(x)$	0.25	0.5	0.2	0
未确知量 $\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	7.78×10^3	7.80×10^3	7.88×10^3	其它
未确知因子 $\bar{\rho}$	0.9960	0.9986	1.0088	其它
可信度 $\varphi_{\bar{\rho}}(x)$	0.3	0.4	0.2	0

表2 天线结构前三阶固有频率可能值和相应可信度的部分计算结果

Tab. 2 Part results of the first three natural frequencies and the corresponding confidence degrees of the antenna structure

一阶		二阶		三阶	
ω_1/Hz	$\varphi(\omega_1)$	ω_2/Hz	$\varphi(\omega_2)$	ω_3/Hz	$\varphi(\omega_3)$
21.190	0.0028	23.475	0.0028	40.166	0.0028
22.047	0.028	24.659	0.032	41.899	0.021
22.259	0.032	24.723	0.024	42.193	0.032
22.706	0.035	25.139	0.02	42.301	0.024
22.730	0.04225	25.181	0.04225	43.085	0.04225
22.925	0.04	25.406	0.0175	43.917	0.035
23.168	0.035	25.462	0.03	44.029	0.02625
23.451	0.03	25.667	0.035	44.972	0.01
24.270	0.001875	26.887	0.001875	46.005	0.001875

图3分别给出了天线结构一阶、二阶固有频率所有的可能值与可信度的对照图;图4、图5分别给出了天线结构一阶、二阶固有频率所有的可能值与累积可信度的对照图。

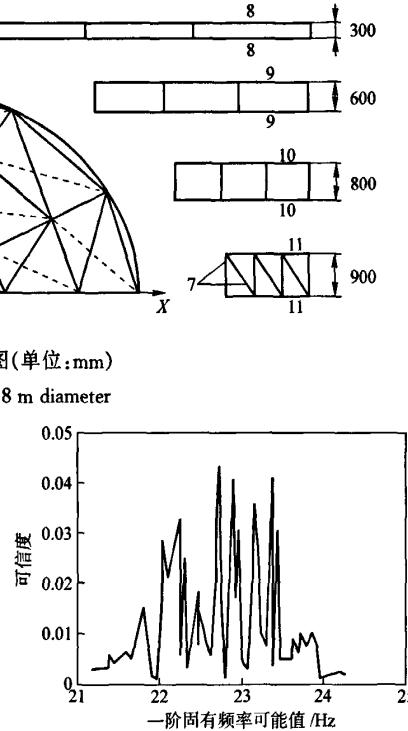


图2 天线结构一阶固有频率可能值与可信度

Fig. 2 The values and confidence degrees of the first natural frequency of the antenna structure

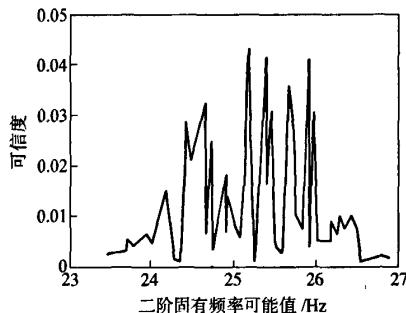


图3 天线结构二阶固有频率可能值与可信度

Fig. 3 The values and confidence degrees of the second natural frequency of the antenna structure
对计算结果的分析表明:

1) 具有未确知性参数天线结构前三阶固有频率所有可能值分别落在区间[21.190, 24.270]Hz、[23.475, 26.887]Hz 和 [40.166, 46.005]Hz 之内,而最大可信度所对应的可能值分别出现在22.730 Hz、25.181 Hz 和 43.085 Hz,且此时的可信度均为

0.042 25.

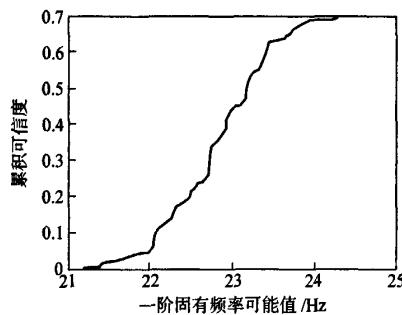


图4 天线结构一阶固有频率可能值与累积可信度

Fig. 4 The values and cumulate confidence degrees of the first natural frequency of the antenna structure

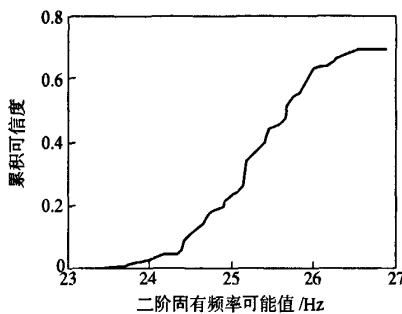


图5 天线结构二阶固有频率可能值与累积可信度

Fig. 5 The values and cumulate confidence degrees of the second natural frequency of the antenna structure

2) 在计算过程中,当各未确知性参数分别取最大可信度所对应的值时,所得到的结构固有频率可能值的可信度也最大,这说明各结构参数取某值的可信度越高,它所对应的结构固有频率可能值的可信度也越高。

3) 确定性与未确知性两类结构动力特性分析的模型和计算结果是有差异的,前者仅是后者中各未确知量的未确知性均为零的一种特例。显然,当结构的物理参数和几何尺寸两者之一具有未确知性时,常规的确定性分析模型和方法将无能为力,此时只能依赖基于未确知结构的动力特性分析模型和方法。

6 结论

1) 现有的随机结构分析方法往往以某种典型分布概率来描述实际存在的未确知性,且常使用估计值或经验值来代替实际值,导致计算结果的较大误差或失真。而本文的方法则是从实际数据出发,充分利用了客观的不确定性信息,克服了随机方法

对于小样本事件难以确定其分布概率的缺陷,不需要拟合成某种分布概率,避免了因近似拟合而带来的误差,使计算结果更贴近于客观实际。

2) 文中将未确知量引入到天线结构的动力特性分析中,构建了物理参数和几何参数同时具有未确知性的天线结构动力特性分析的有限元模型,并提出了基于未确知因子法的分析方法;算例表明该方法可行有效。

参考文献(References)

- 1] CHEN J J, CHE J W, SUN H A, et al. Probabilistic dynamic analysis of truss structures[J]. Structural Engineering and Mechanics, 2002, 13(2): 231-239.
- 2] ZHAO Lei, CHEN Qiu. Neumann dynamic stochastic finite element method of vibration for structures with stochastic parameters to random excitation[J]. Computers and Structures, 2000, 77 (6): 651-657.
- 3] GAO W, CHEN J J, MA H B, et al. Optimal placement of active bars in active vibration control for piezoelectric intelligent truss structures with random parameters[J]. Computers and Structures, 2003, 81(1): 53-60.
- 4] CHEN Jian-jun. Analysis of engineering structures response to random wind excitation[J]. Computers and Structures, 1994, 51 (6): 687-693.
- 5] RAO S S, Sawyer J P. Fuzzy finite element approach for the analysis of imprecisely defined systems[J]. AIAA Journal, 1995, 33(12): 2364-2370.
- 6] 郭书祥. 模糊运算和模糊有限元静力控制方程的求解[J]. 应用数学和力学, 2002, 23(9): 936-942.
- GUO Shu-xiang. Fuzzy arithmetics and solving of the static governing equations of fuzzy finite element method[J]. Applied Mathematics and Mechanics, 2002, 23(9): 936-942. (in Chinese)
- 7] 王光远. 论不确定性结构力学的进展[J]. 力学进展, 2002, 32 (2): 205-211.
- WANG Guang-yuan. On the development of uncertain structural mechanics[J]. Advances in Mechanics, 2002, 32(2): 205-211. (in Chinese)
- 8] 王光远. 未确知信息及其数学处理[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 1990, 23(4): 1-9.
- WANG Guang-yuan. Unascertained information and its application[J]. Journal of Harbin University of C. E. & Architecture, 1990, 23(4): 1-9. (in Chinese)
- 9] 刘开弟, 吴和琴, 庞彦军, 等. 不确定性信息数学处理及应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- LIU Kai-di, WU He-qin, PANG Yan-jun, et al. Mathematics processing of unascertained information and its application[M]. Beijing: Science Press, 1999. (in Chinese)

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,一直致力于专注于微波、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>