

文章编号:1671-8879(2005)05-0103-05

# 天线结构的多工况离散变量优化设计

王晨曦<sup>1,2</sup>

(1. 长安大学 理学院, 陕西 西安 710064; 2. 西安交通大学 机械工程学院, 陕西 西安 710049)

**摘要:** 针对天线结构受载及工作状态的复杂性, 研究了天线结构的多工况离散变量优化设计问题。首先建立了天线结构在自重、风荷作用下受精度、应力和稳定性约束的多工况优化设计的数学模型; 其次根据材料特点, 将设计变量取为离散变量, 给出了天线结构的多工况离散变量优化设计数学模型。采用离散复合形法, 对多工况 8 m 天线进行了优化计算。结果表明, 计算结果与分析结果相吻合, 该方法可应用于多工况天线结构优化设计中, 且精度较高。

**关键词:** 天线结构; 多工况; 优化设计; 离散变量

中图分类号: TN82 文献标识码: A

## Antenna structure's discrete variables optimum design under multiple loading conditions

WANG Chen-xi<sup>1,2</sup>

(1. School of Science, Chang'an University, Xi'an 710064, China;  
2. School of Mechanical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** This paper studied antenna structure's discrete variables optimum design under multiple loading conditions in accordance with the complexity of antenna structure. Firstly, a mathematics model is established for optimum design of antenna structure under multiple loading conditions, which is constrained by antenna structure's accuracy, stress and stability under the self-gravity and wind loading. Then according to the characteristics of structure material, the variables are treated as discreteness, and the model is modified for discrete variables. Finally by taking the discreet compound shape method, the optimizing calculation of 8m antenna is carried out. A satisfactory agreement between the computation and the analysis is obtained. Results indicate that the method can be applied to the optimum design of antenna structure under multiple loading conditions. And the accuracy is satisfied. 3 tabs, 2 figs, 8 refs.

**Key words:** antenna structure; multiple loading condition; optimization design; discrete variables

## 0 引言

天线结构是一种大型精密机械结构, 广泛应用于卫星通讯、雷达技术与射电天文等领域, 几十年

来, 众多的科技人员对天线结构的优化设计做了大量的工作。首先是对天线结构在单工况下进行了从连续变量到离散变量的研究, 研究层次从尺寸、形状优化到拓扑优化, 甚至发展了拓扑、形状与机电

收稿日期: 2004-10-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(1990510)

作者简介: 王晨曦(1964-), 女, 湖南长沙人, 长安大学讲师, 西安交通大学博士研究生。

综合等天线结构的优化设计方法。后来考虑到天线结构可以实现方位-俯仰运动,正常工作时又受多种荷载的作用,而且工作姿态是多种多样的,文献[1]在连续变量优化的基础上又研究了天线结构多工况优化设计方法。然而,由于总有一些变量只能按离散变量处理<sup>[2]</sup>,例如杆、梁构件的截面积,膜、板、壳体构件的厚度等。所以,为了适应工程的需要,研究天线结构多工况离散变量的优化设计,具有重要的现实意义,这将使天线结构优化设计的研究从理论研究走向实际应用。本文比较全面地模拟天线在自重、风荷等多种荷载作用下的响应,提出适合工程应用的天线结构多工况离散变量优化设计方法,进行天线结构的优化设计。

## 1 优化设计模型

在实际工程中,1个结构仅受到单工况荷载的情况是很少的,通常都是受到多工况的作用。多工况荷载是由于同一结构在不同场合使用或其在同一场合所处的不同位置而造成的。多工况更符合实际情况,单工况可视为多工况的特例。对多工况荷载作用下的结构仅以某一单工况进行结构优化设计,所得的最优结果,显然不一定是其他工况荷载作用下结构的最优解,甚至可能是另一种工况作用下结构的不可行解。对天线结构来说,在天线指平时求得的最优解,在天线朝天工况下就不一定是最优解,有时甚至可能是不可行解。因此,研究多工况荷载作用下结构的优化设计具有重要的实际意义。

### 1.1 目标函数的提出

本文考虑的天线是最常用的辐射梁式杆、板混合结构的中型圆抛物面天线。这种天线的结构特点是:结构尺寸较大,精度要求较高,工作环境也较复杂。在天线结构的反射体上沿径向均匀分布着若干辐射梁,沿圆周方向分布着若干环。该结构反射体的结点坐标可由各环的半径及高度确定。它除承受本身自重外,还承受风力、冰雪、温度等随机荷载。由于荷载的作用,天线将产生变形,这种变形使得天线的工作表面偏离给定的理论面,因而将影响天线的电气性能<sup>[3]</sup>。为此,要求设计的天线结构必须具有足够的刚度,以保证天线工作时必须的精度。但是,刚度的增大,必然导致天线本身质量的增加,从而增加了自重变形,这种变形对天线的工作性能影响更大。本文所考虑的天线须作扫描运动,要考虑惯性荷载,因此力求质量轻,惯性小。质量轻也降低了成本,所以首要的任务就是寻求一个保证实际精

度的最小质量的天线结构,即本文选质量作为目标函数。由于天线的面板(主反射面)在结构上相对骨架而言刚度较小,所以把它等效为外载加入荷载矩阵,其质量作为被动构件的质量<sup>[4]</sup>。

### 1.2 约束函数的提出

#### 1.2.1 精度约束

精度有两种表示,一种是对于修正曲面,用相对于原设计抛物面沿轴向位移的均方根值表示,其计算公式见式(1);另一种是对于标准抛物面,用相对于最佳吻合抛物面半光程差的加权均方根值表示。

$$\delta = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_i^2 / m} \quad (1)$$

其中,  $u_i$  为第  $i$  个表面结点的轴向位移;  $m$  为表面结点的个数。于是精度约束可表示为

$$\sqrt{\sum_{i=1}^m u_i^2 / m} \leq [\delta] \quad (2)$$

式中:  $[\delta]$  为天线结构主力骨架表面结点轴向位移均方根值的容许值,即精度容许值。

#### 1.2.2 强度约束

由于强度约束在刚度较大的天线结构中往往是次要约束,大多数天线结构优化设计中不考虑强度约束,只作校核。本文所讨论的天线结构优化设计是在多工况复杂荷载状态下的质量最轻设计,结构中某些杆件的强度则可能不满足要求。因此认为考虑强度约束是必要的。对于拉杆,可直接写成应力约束表达式

$$\sigma_i \leq [\sigma_i]^+ \quad (3)$$

而对于压杆,一方面要小于许用压应力,另一方面则要按局部稳定性约束来讨论,即

$$-\sigma_i \leq -[\sigma_i]^- \quad (4)$$

### 1.3 数学模型的建立

以上只考虑了天线结构受单工况荷载的情况,对于多工况荷载,则需对每种工况分别考虑其精度约束和强度约束。综上所述,天线结构多工况优化设计问题可叙述为:求一最小质量设计,使天线结构主力骨架表面结点轴向位移的均方根值不超过某规定值,并且各单元的强度满足要求。其数学模型为

$$\left. \begin{array}{l} \text{minimize} \quad W = W_0 + \sum_{i=1}^n A_i l_i \rho_i \\ \text{X} \\ \text{subject to} \quad [\sigma_i]^- \leq \sigma_i \leq [\sigma_i]^+ \\ \quad \quad \quad i = 1, 2, \dots, n \text{ (杆元数)} \\ \quad \quad \quad \delta_l \leq [\delta], \quad l = 1, 2, \dots, p \text{ (工况数)} \\ \quad \quad \quad A_i^L \leq A_i \leq A_i^H \\ \quad \quad \quad X = (A_1, A_2, \dots, A_n)^T \in R^n \end{array} \right\} \quad (5)$$

式中: $A_i$ 为第*i*个设计变量(杆元截面积); $W$ 为目标函数(质量); $W_0$ 为被动构件质量; $l_i$ 为第*i*个杆元的长度; $\rho_i$ 为第*i*个杆元的密度; $\sigma_i$ 为第*i*工况下第*i*个杆元的应力; $[\sigma_i]^+$ 为第*i*个杆元的许用拉应力; $[\sigma_i]^-$ 为第*i*个杆元的许用压应力; $R^n$ 为*n*维实空间; $A_i^L$ 为第*i*个设计变量下限; $A_i^U$ 为第*i*个设计变量上限; $\delta_i$ 为第*i*工况下反射面结点轴向位移的均方根值; $[\delta]$ 为天线结构表面结点轴向均方根精度的容许值。

#### 1.4 天线结构的荷载分析

天线在荷载作用下会产生变形,正确地进行荷载计算,对天线结构的分析具有十分重要的意义。如果计算不正确或误差太大,则精确的结构分析方法也是无法补偿的,所得结果必然失去真实性。天线结构在正常工作时大多可位于0°到90°的任意仰角,从而使其处于多工况荷载作用状态。而在任意固定仰角状态,天线结构又承受着自重、风荷、温变等荷载的单一或联合的作用。其中只有自重荷载是始终存在且可预定的,其他都是随机的。它们的作用引起了天线反射面的变形,所以有必要对它们进行正确地计算。

##### 1.4.1 自重荷载的处理

自重荷载的基本形式是天线朝天与天线指平两种,分别如图1(a)、(b)所示,当天线处于任意仰角 $\alpha$ 时,如图1(c),其自重可分解为

$$P_1 = Ps \sin \alpha, P_2 = Ps \cos \alpha \quad (6)$$

2个分量,它们分别相当于朝天和指平两种情况。由于考虑的结构是弹性线性系统,其位移与荷载成正比,且可以迭加。所以,当天线处于任意仰角时,由自重引起的位移可由下述两部分迭加而得:①设天线处于朝天位置受重力分量 $P_1$ 作用引起的位移;②设天线处于指平位置受重力分量 $P_2$ 作用引起的位移。由于位移与荷载成正比,故第①项就等于天线朝天且受全部自重 $P$ (简称朝天自重)产生的位移 $\delta_{ct}$ 乘以 $\sin \alpha$ ;第②项等于天线指平且受全部自重 $P$ (简称指平自重)产生的位移 $\delta_{zp}$ 乘以 $\cos \alpha$ 。只要计算出朝天自重与指平自重两种基本位移 $\delta_{ct}$ 与 $\delta_{zp}$

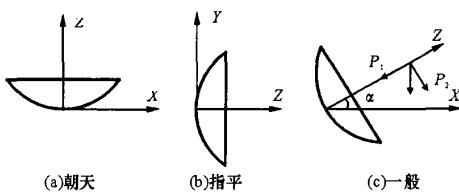


图1 天线自重荷载

后,任意仰角的自重位移 $\delta_{zz}$ 便易于合成求得,即

$$\delta_{zz} = \delta_{ct} \sin \alpha + \delta_{zp} \cos \alpha \quad (7)$$

##### 1.4.2 风荷的处理

风荷是天线结构的主要荷载,计算强度时起主要作用。由于风压正比于风速的平方( $q = V^2/16$ ),随着风速的提高,风荷的影响急剧增大,所以较精确地计算风荷是有实际意义的。本文考虑反射面板为壳单元,按平均风压系数计算风荷。每个壳单元计算出均布压力,然后转换成单元局部结点力和力矩,再经坐标转换成总体坐标系下的结点荷载向量。

同自重荷载处理的方式一样,从任何方向吹来的斜风引起的位移 $\delta_f$ 可以由正向1 m·s<sup>-1</sup>风力引起的位移 $\delta_{zf}$ 和侧向1 m·s<sup>-1</sup>风力引起的位移 $\delta_{cf}$ 合成,即

$$\delta_f = \delta_{zf} V^2 \cos \theta + \delta_{cf} V^2 \sin \theta \quad (8)$$

式中: $V$ 为风速; $\theta$ 为斜风方位角; $\delta_{zf}$ 、 $\delta_{cf}$ 分别为1 m·s<sup>-1</sup>的正向与侧向风力荷载引起的位移。

风正吹时,轴向力是在口面上均匀分布的,按各结点所占有的口面面积分配到结点上,它对于X轴和Y轴是对称的。而侧向风荷对X轴对称,对Y轴反对称,也认为是均匀分布的,按照各结点所占有的口面投影面积分配到各结点上。这样做只是近似的,若要精确计算,则需要设法定出斜吹时(在所需计算风向角的情况下)抛物面上各点的风压分布,从而形成结点荷载。

通过以上分析可看出,只要将朝天自重、指平自重、风正吹、风侧吹作为4种单项荷载,分别计算单项荷载作用下主力骨架结点的位移,然后再在不同仰角下进行合成,即可得到各结点的合成位移为

$$\delta = \delta_{ct} \sin \alpha + \delta_{zp} \cos \alpha + \delta_{zf} V^2 \cos \theta + \delta_{cf} V^2 \sin \theta \quad (9)$$

知道了任意工况下的位移,便可以计算相应的吻合精度、应力、内力等。对于保型天线吻合精度计算也可以分别计算以上4种荷载模式下位移的吻合参数与吻合精度,任意工况下的吻合参数与吻合精度也是各工况荷载因子的线性组合。如果天线在指平与朝天位置时能够严格保型,即吻合精度函数值为0,则其任意仰角位置由于吻合精度函数为朝天、指平吻合精度函数的线性组合,故也必然为0,即也一定严格保型。而其吻合参数为朝天、指平吻合参数的线性组合,当然是不为0的。

#### 1.5 天线结构多工况荷载问题的处理

天线结构在正常工作时承受多工况荷载的作用。多工况状态是由于天线可位于0°~90°任意仰

角状态所致,这一点不同于工作位置固定的一般承载状态机构。而在每一种工况即每个俯仰状态下天线又承受着自重、风荷、雪载、温变等荷载的作用,其中只有自重荷载始终作用且方向垂直向下,其他都是随机的。所以天线结构多工况优化设计的基本思想是在满足各工况下多种荷载共同作用的各种性态约束的基础上,寻求结构最轻设计。从理论上说,天线结构从 $0^\circ \sim 90^\circ$ 有无穷多个状态,在包括自重、风荷等各种荷载的作用下,寻求一组设计变量,使它对于任意状态都是最优的,这显然是不可能的;但若只考虑一种状态,求出的最优解,对于另一种状态,则可能是不可行解。所以,对于多工况情况,可以这样处理:在满足多工况下多荷载共同作用的精度约束和各性态约束基础上,使天线在尽可能多的工作状态下满足各种约束,并且结构质量最轻。本文选取 $0^\circ \sim 90^\circ$ 之间的 7 种典型状态即 7 种工况作为计算的姿态,它们是 $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$ 。这样既可适当减少计算量,也比较符合工程实际。

## 2 离散变量优化设计

前面建立的数学模型中的设计变量为连续变量,在实际生产中,杆元往往是在有限的型材中选用的,其截面积是一些不连续的离散数值。以往的算法是将杆元截面积按连续变量来计算,再圆整或近似到符合参数系列标准的离散值上。由于最优解一般总是在约束区域的边界上,圆整后的解很可能落在约束区域之外,成为不可行解,或非真正最优解,使优化设计的结果失去实际意义。以下将设计变量(杆元截面积)作为离散变量,讨论多工况天线结构的离散变量优化设计问题。

杆元截面积的型材规格,可查《机械设计手册》,将原始的标准型钢截面面积规格用 1 个二维数组进行存储,分析时只需选用其中的有限个数据即可。这时离散性约束条件,实际工程中可供选择的型材范围就转化为这样 1 个集合:

$$D = \{A_{i1}, A_{i2}, A_{i3}, \dots, A_{ij}, \dots, A_{id}\} \\ i = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

式中: $A_{i1}$  为第  $i$  个杆元截面积的下限; $A_{i2}$  为第  $i$  个杆元截面积的第二个可选值; $A_{ij}$  为第  $i$  个杆元截面积的第  $j$  个可选值, $j = 2, 3, \dots, d-1$ ; $A_{id}$  为第  $i$  个杆元截面积的上限; $d$  为截面积的可选个数。

结合式(5),建立天线结构多工况离散变量优化设计的数学模型为

$$\begin{aligned} & \underset{X}{\text{minimize}} \quad W = W_0 + \sum_{i=1}^n A_{ij} l_i \rho_i \\ & \quad i = 1, 2, \dots, n \\ & \text{subject to} \quad \delta_i \leq [\delta] \\ & \quad [\sigma_i]^- \leq \sigma_i \leq [\sigma_i]^+ \quad i = 1, 2, \dots, p \\ & \quad A_{i1} \leq A_{ij} \leq A_{id} \\ & \quad X \subset D = \{A_{i1}, A_{i2}, A_{i3}, \dots, A_{ij}, \dots, A_{id}\} \\ & \quad j = 2, 3, \dots, d-1 \\ & \quad X = (A_1, A_2, \dots, A_n)^T \in R^n \end{aligned} \quad \left. \right\} \quad (11)$$

## 3 算例

为了考核天线结构多工况离散变量优化设计方法,本文对 8 m 天线结构进行了多工况离散变量的优化设计,并同连续变量的多工况优化设计<sup>[1]</sup>作了比较,说明了本方法的可行性。

图 2 所示为 8 m 天线结构简图,根据对称性,只取 1/4 进行计算。这 1/4 部分共有杆元 97 根,结点 32 个。其结点编号及单元编号如图 2 所示。将这 97 根杆元划分为 12 类,分类见表 1。各类杆元截面积设为  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_{11}, A_{12}$ 。已知天线结构背架材料为钢材,弹性模量为  $E = 0.21 \times 10^7 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ,密度  $\rho = 0.00785 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。反射面板材料为铝,厚度为 4 mm,弹性模量  $E = 1 \times 10^7 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ,密度  $\rho = 0.00273 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

本例考虑了 7 种比较典型的荷载工况,每种工况均包含自重和风荷,并以  $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  作为保精度设计风速,以  $50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  作为保强度设计风速。具体

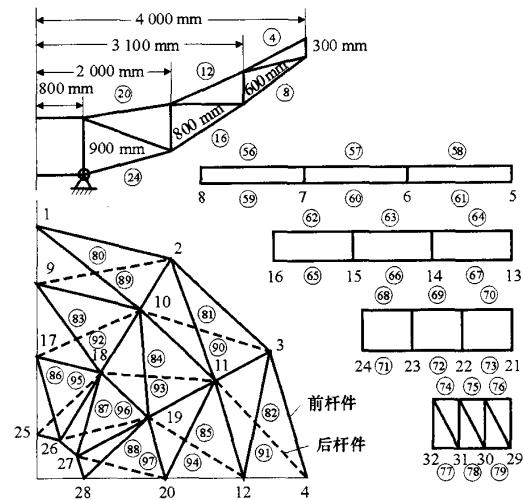


图 2 8 m 天线结构简图

表1 8 m天线1/4结构杆件分类表

类别	杆单元号	类别	杆单元号	类别	杆单元号	类别	杆单元号
1	1~8	4	25~32	7	49~55	10	68~73
2	9~16	5	33~40	8	56~61	11	74~79
3	17~24	6	41~48	9	62~67	12	80~97

荷载工况如表2所示。本例同时考虑精度、应力、压杆稳定性及几何条件约束。精度约束为杆元节点轴向位移的均方根值不超过0.085 cm。杆元的许用应力为 $\pm 1600 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。采用离散复合型算法,具体解法可参看文献[5],杆元截面积取自《机械设计手册》,GB705-89热轧六角钢规格表,则 $D = \{0.2208, 0.4012, 0.5543, \dots, 8.868\}$ ;上限为 $10 \text{ cm}^2$ ,下限为 $0.1 \text{ cm}^2$ ,初始值及优化结果见表3。最优方案下各工况的精度为:0.029738,0.072930,0.064925,0.021035,0.061593,0.060380,0.068112,比连续变量多工况优化结果

表2 8 m天线荷载工况

工况号	1	2	3	4	5	6	7
仰角 $\alpha/(\text{°})$	0	15	30	45	60	75	90
风向角 $\theta/(\text{°})$	0	80	60	0	60	60	90
保精度风速/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	20	20	20	20	20	20	20
保强度风速/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	50	50	50	50	50	50	50

表3 8 m天线多工况优化结果

设计变量	初始值/ $\text{cm}^2$	文献[1]优化结果/ $\text{cm}^2$	本文优化结果/ $\text{cm}^2$
$A_1$	3.0	0.89048	1.4800
$A_2$	4.0	1.17980	1.6970
$A_3$	6.0	1.79180	1.9490
$A_4$	2.0	0.59548	0.7015
$A_5$	3.0	0.88517	0.8660
$A_6$	3.0	2.55980	2.8060
$A_7$	6.0	4.55010	5.4130
$A_8$	2.0	0.59266	0.7015
$A_9$	3.0	0.89198	1.0480
$A_{10}$	4.0	1.18660	1.0480
$A_{11}$	6.0	1.84230	1.9490
$A_{12}$	2.0	0.59437	0.2208
结构质量/kg	397.71	237.29000	239.6153

的精度值<sup>[1]</sup>分别提高了9.9%,8.8%,8.6%,8.5%,8.1%,8.5%,8.0%。优化后设计变量变化趋势表明,天线结构由外环到内环截面积呈递增关系,这一点与实际情况是相吻合的,与文献[1]的优化结果也基本吻合,只是由于选材的局限性,设计变量取为离散变量,故结构质量略大于文献[1]的结构质量<sup>[6~8]</sup>。可见,本算法可以运用在天线结构多工况离散变量优化设计中,而且精度较高。

## 参考文献:

### References:

- [1] 张亚林.天线结构的多工况优化设计[D].西安:西安电子科技大学,1993.  
ZHANG Ya-lin. Antenna structure optimum design under multiple loading condition [D]. Xi'an: Xidian University, 1993.
- [2] 陈立周.工程离散变量优化设计方法[M].北京:机械工业出版社,1989.  
CHEN Li-zhou. Optimum design measure of discrete variables of engineering structure [M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 1989.
- [3] 朱钟淦,叶尚辉.天线结构设计[M].北京:国防工业出版社,1979.  
ZHU Zhong-gan, YIE Shang-hui. Antenna structure design [M]. Beijing: The National Defence Industry Press, 1979.
- [4] 王晨曦.核爆炸冲击波作用下天线结构的优化设计[D].西安:西安电子科技大学,2000.  
WANG Chen-xi. Antenna structure's analysis and optimum design by nuclear explosion blast wave [D]. Xi'an: Xidian University, 2000.
- [5] 王晨曦.基于混合离散复合形法的工程优化设计[J].长安大学学报(自然科学版),2004,24(4):91~96.  
WANG Chen-xi. Optimum design of engineering structure based on mixed-discrete complex shape method [J]. Journal of Chang'an University(Natural Science Edition), 2004, 24(4): 91~96.
- [6] Schmit L A, Miura H. An advanced structural/synthesis capability-access1[J]. AIAA, 1976, 10(5): 15~21.
- [7] Schmit L A, Farshi B. Some approximation concepts for structural synthesis [J]. AIAA, 1978, 12(5): 92~98.
- [8] Schmit L A, Miura H. An advanced structural/synthesis capability-access2 [J]. AIAA, 1978, 12(2): 23~35.

## 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](http://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](http://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](http://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>