

## • 开发与应用 •

# SMA 在星载天线上的热变形控制研究

李 琴<sup>1</sup>, 朱敏波<sup>2</sup>

(1. 攀枝花学院 机电工程学院, 四川 攀枝花 617000; 2. 西安电子科技大学 机电工程学院, 陕西 西安 710071)

**摘要:**为了保证星载大型可展开桁架天线在轨运行时能可靠的工作,就必须对其进行在轨热变形控制。通过使用 ANSYS 软件对可展开天线加入 NiTi 形状记忆合金丝且在轨道的不同位置点的情况进行了计算,得出了天线反射面的均方根误差。通过研究可以发现,在周边桁架天线中嵌入 SMA 后减小了天线反射面的均方根误差,从而达到了保证天线型面精度的目的。

**关键词:**形状记忆合金; 可展开天线; 热变形; ANSYS; 控制

**中图法分类号:**TP391    **文献标识码:**A    **文章编号:**1000-7024 (2009) 15-3698-04

## Thermal deformation control of shape memory alloy in space-borne antenna

LI Qin<sup>1</sup>, ZHU Min-bo<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical Electronic Engineering, Panzhihua University, Panzhihua 617000, China;

2. School of Mechanical Electronic Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China)

**Abstract:** In order to maintain the high reliability of the large deployable antenna in satellites in space thermal environment, it is very important to control the thermal deformation of antenna at orbit. The main research object is to use characteristic of shape memory alloys (SMA) to control the thermal deformation of the deployable antenna at orbit. The stress of the antenna and the RMS of the reflecting face are calculated with ANSYS for the deployable antenna which embedded into NiTi shape memory alloys and at the different site. According to the discussion, the RMS of the deployable antenna which the SMA are integrated into is diminished. So, SMA are embedded in the deployable antenna control its precision.

**Key words:** shape memory alloy (SMA); deployable space antenna; thermal deformation; ANSYS; control

## 0 引言

星载天线在轨运行时,空间环境极其恶劣,要长期经受高真空、低温、微重力、太阳辐射以及地球和其它行星热辐射等的交替加热和冷却,引起高低温的剧烈变化,在最坏的情况下其温度变化范围可达 $\pm 150^{\circ}\text{C}$ <sup>[1]</sup>;同时,星载天线沿着轨道飞行时,要周期性地进出地球阴影区,往往要经历较大幅度的高低温变化,再加上天线自身结构(如反射网面、杆件等)的阴影遮挡影响,在结构中存在着较大的温度梯度,这样急剧的高低温变化和非均匀的温度分布会引起结构中的热膨胀和热应力,使天线结构产生热变形。

对于空间航天器结构来讲,我们一般要求其形状稳定,不管空间环境下的温度变化有多大,结构形状的变化要尽可能地小,这对于一些像大型桁架结构这样的柔性天线来讲,其敏感性和热稳定性要求较高,热变形引起的反射面形状的变化会对天线的电性能产生很大的影响;热荷载的突然变化还会引起结构的振动而影响天线在轨道飞行中的姿态控制。因此,对变形敏感的天线,为了保证其较高的热稳定性和型面精度,一个重要的设计约束就是要把结构的变形控制在一个很

小的范围之内,以保证天线的电性能。因此,对在轨星载天线的热变形的控制是十分必要的。

## 1 NiTi 形状记忆合金 (SMA) 本构关系

### 1.1 Brinson 本构模型

形状记忆合金的热力学本构关系可表示为<sup>[2]</sup>:

$$\sigma - \sigma_0 = E(\varepsilon - \varepsilon_0) + \Omega_s(\xi_s - \xi_{s0}) + \Omega_r(\xi_r - \xi_{r0}) + \Theta(T - T_0) \quad (1)$$

式中: $\sigma$ —应力, $E$ —弹性模量, $T$ —温度, $\xi$ —马氏体含量的百分比( $0 \leq \xi \leq 1$ ), $\Theta$ —热弹性系数, $\Omega$ —相变系数, $\xi_s$ —由温度诱发马氏体的体积比含量, $\xi_r$ —应力诱发马氏体的体积比含量,且 $\xi = \xi_s + \xi_r$ ,式中下标“0”的为初始状态。

(1) 相变由奥氏体向马氏体方向转换

当 $T > M_s$ , 且 $\sigma_s^f + C_u(T - M_s) < \sigma < \sigma_r^f + C_u(T - M_s)$ 时

$$\xi_s = \frac{1 - \xi_{s0}}{2} \cos \left[ \frac{\pi}{\sigma_s^f - \sigma_r^f} [\sigma - \sigma_r^f - C_u(T - M_s)] \right] + \frac{1 + \xi_{s0}}{2} \quad (2)$$

$$\xi_r = \xi_{r0} - \frac{\xi_{r0}}{1 - \xi_{s0}} (\xi_s - \xi_{s0}) \quad (3)$$

当 $T < M_s$ , 且 $\sigma_s^f < \sigma < \sigma_r^f$ 时

$$\xi_s = \frac{1 - \xi_{s0}}{2} \cos \left[ \frac{\pi}{\sigma_s^f - \sigma_r^f} (\sigma - \sigma_r^f) \right] + \frac{1 + \xi_{s0}}{2} \quad (4)$$

收稿日期: 2008-08-07; 修订日期: 2008-10-16。

基金项目: 国家部委预研基金项目 (41321070301)。

作者简介: 李琴 (1977—), 女, 四川成都人, 硕士研究生, 讲师, 研究方向为电子设备结构热设计和检测技术; 朱敏波 (1963—), 男, 陕西西安人, 硕士研究生, 副教授, 研究方向为电子设备结构热设计和工程数据库设计。E-mail: liqin103@126.com

$$\zeta_r = \zeta_{\infty} - \frac{\zeta_0}{1-\zeta_0} (\zeta_s - \zeta_{\infty}) + \Delta_r \quad (5)$$

其中  $M_r < T < M_s$  且  $T < T_0$  时

$$\Delta_r = \frac{1-\zeta_0}{2} \{\cos[\alpha_s(T-M_r)]+1\} \quad (6)$$

其它条件时:  $\Delta_r = 0$ 。

(2) 相变由马氏体向奥氏体方向转换

当  $T > A_s$ , 且  $C_s(T-A_s) < \sigma < C_s(T-A_f)$  时

$$\zeta = \frac{\zeta_0}{2} \left\{ \cos \left[ \alpha_s \left( T - A_s - \frac{\sigma}{C_s} \right) \right] + 1 \right\} \quad (7)$$

$$\zeta_s = \zeta_{\infty} - \frac{\zeta_0}{\zeta_s} (\zeta_0 - \zeta) \quad (8)$$

$$\zeta_r = \zeta_{\infty} - \frac{\zeta_0}{\zeta_r} (\zeta_0 - \zeta) \quad (9)$$

## 1.2 完全约束回复时回复应力-温度、弹性模量-温度的关系

把有初始残余变形的形状记忆合金丝完全约束时, 由于应变保持不变, SMA 将产生很大的形状回复力。下面我们将分析形状回复应力随温度变化的函数关系。由于 SMA 完全约束回复, 则本构关系变为

$$\sigma' - \sigma_0 = E(\zeta) \varepsilon_0 - E(\zeta_0) \varepsilon_0 + \Omega(\zeta) \zeta_s - \Omega(\zeta_0) \zeta_{\infty} + \Theta(T - T_0) \quad (10)$$

若初始应力  $\sigma_0 = 0$ , 则式(10)变为

$$\sigma' = E(\zeta) \varepsilon_0 - E(\zeta_0) \varepsilon_0 + \Omega(\zeta) \zeta_s - \Omega(\zeta_0) \zeta_{\infty} + \Theta(T - T_0) \quad (11)$$

式中:  $\sigma'$  —— 回复应力,  $\varepsilon_0 = \varepsilon_{\infty}$ ;  $A_s^*$  —— 存在应力的情况下奥氏体转变的开始温度,  $A_f^*$  —— 存在应力的情况下奥氏体转变的结束温度。

(1)  $T \leq A_s^*$  时, 没有新的奥氏体的产生, 回复应力与温度之间呈线性关系。

$$\sigma' - \sigma_0 = \Theta(T - T_0) \quad (12)$$

当  $T = A_s^*$  时

$$\sigma_1 - \sigma_0 = \Theta(A_s^* - T_0) \quad (13)$$

$\sigma_1$  为  $T = A_s^*$  时对应的回复应力, 而

$$\alpha_s(A_s^* - A_s) + b_s \sigma_1 = 0 \quad (14)$$

以上两式联立求解得

$$A_s^* = \frac{\alpha_s A_s - b_s \sigma_0 + b_s \Theta T_0}{\alpha_s + b_s \Theta} \quad (15)$$

(2) 当  $A_s^* \leq T \leq A_f^*$  时, 温度将诱发马氏体向奥氏体的转变, 式(14)变为

$$\sigma' - \sigma_0 = E(\zeta) \varepsilon_0 - E(\zeta_0) \varepsilon_0 + \Omega(\zeta) \zeta_s - \Omega(\zeta_0) \zeta_{\infty} + \Theta(T - A_s^*) \quad (16)$$

当  $T = A_f^*$  时,  $\zeta = \zeta_0 = 0$ , 且

$$\sigma_2 - \sigma_1 = E_s \varepsilon_0 - E(\zeta_0) \varepsilon_0 + 0 - \Omega(\zeta_0) \zeta_{\infty} + \Theta(A_f^* - A_s^*) \quad (17)$$

其中,  $\sigma_2$  为  $T = A_f^*$  时对应的回复应力, 而

$$\alpha_s(A_f^* - A_s) + b_s \sigma_2 = \pi \quad (18)$$

式(17)和式(18)联立求解得

$$A_f^* = \frac{\alpha_s A_s - b_s \sigma_1 - b_s E_s \varepsilon_0 + b_s E(\zeta_0) \varepsilon_0 + b_s \Omega(\zeta_0) \zeta_{\infty} + b_s \Theta A_s^* + \pi}{\alpha_s + b_s \Theta} \quad (19)$$

(3) 当  $T > A_f^*$  时, 马氏体向奥氏体的转变结束,  $\zeta_0 = \zeta_{\infty} = \zeta = \zeta_s = 0$ ,  $\sigma$  和  $T$  的关系为

$$\sigma' - \sigma_2 = \Theta(T - A_f^*) \quad (20)$$

同样, 类似的可以推出存在应力的情况下马氏体转变的开始和结束温度  $M_s^*$ 、 $M_f^*$  分别为

$$M_s^* = \frac{\sigma_2 - \sigma_0 + C_M M_s - \Theta A_s^*}{C_M - \Theta} \quad (21)$$

$$M_f^* = \frac{\sigma_0 - \sigma_0^* + C_M M_s - \Theta M_f^* + E_M \varepsilon_0 - E_s \varepsilon_0 - \varepsilon_s E_s}{C_M - \Theta} \quad (22)$$

其中,  $\sigma_{\infty}$  为  $T = M_f^*$  时对应的应力值。

## 2 周边桁架式可展开天线热变形分析及计算结果

以一 17 m 周边桁架式可展开天线为研究对象, 以地球同步轨道为例, 天线在轨道上的位置以会日点(太阳、地球和天线位于同一直线上时)为 0°转角开始, 当天线位于 171°时正要进入阴影区, 天线正要出阴影区时的角度为 188°。天线模型如图 1 所示。

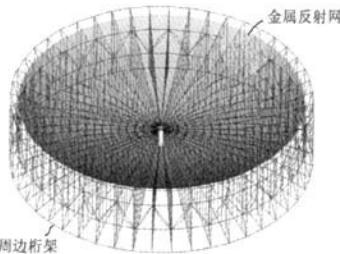


图 1 天线模型

可展开天线在轨运行时, 由于温度的变化会引起整个天线结构的变形, 而组成反射面的索网的变形是引起天线型面精度的主要因素, 因此, 考察天线的变形时, 主要考察天线反射面的均方根误差。

用热分析软件 I-DEAS 计算出天线处于不同位置的节点的温度场后, 把结果导入 ANSYS 对应的有限元模型中, 可计算出天线的变形。在 ANSYS 中进行热变形仿真时, 中央圆筒选择 Shell63 单元<sup>[6]</sup>; 绳索选用轴向仅受拉或仅受压的 Link10 单元<sup>[6-8]</sup>; 周边桁架采用 Beam4 单元。表 1 是天线位于不同转角时反射面的均方根误差。天线位于 45°转角时的变形图如图 2、3 所示。

表 1 不同转角时刻的计算结果

转角/°	0	45	135	171(in)	188(out)	202.5	270	315
反射面均方根误差/mm	0.160	0.190	0.182	0.188	0.234	0.170	0.441	0.281

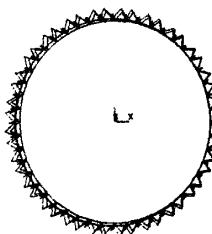


图 2 45°转角时周边桁架变形

## 3 周边桁架中加入 SMA 后的有限元分析

由于形状记忆合金的本构关系较复杂, 本文中周边桁架所使用的是梁单元, 且周边各杆之间是铰接, 在周边桁架中嵌入记忆合金后, 若采用理论推导关系式, 则较复杂, 往往得到

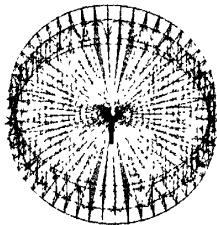


图 3 45°转角时整个天线变形

一些偏微分方程组,难以计算出实际的数值,对于记忆合金的效果难以预测。另外,在 ANSYS 中没有形状记忆合金对应的单元,需要外挂程序,或进行二次开发。本文在有限元分析计算时采用将合金丝的作用通过力的方式加载在周边桁架杆上,通过力来代替合金丝的作用来达到模拟的目的。

### 3.1 有限元力学模型的建立

文献[6]提出一种有限元力学建模方法:

(1)由于 SMA 丝的本构关系的复杂性,本文将合金丝的随温度变化的各个变化量分解成确定温度下的确定量进行分析。

(2)根据合金丝的物理参数和回复方式,分别计算出在一定温度下合金丝的横截面上的应力和弹性模量。

(3)将合金丝的应力作用在合金丝的横截面上,同时将已经算出的温度载荷作为体载荷加到相应的节点上进行计算。

### 3.2 嵌入 SMA 丝的周边桁架式可展开天线的

#### 在轨热变形分析

由前面计算出的天线变形结果和变形图可知,反射网面的变形主要是由于天线受热不均而引起;而从周边桁架的变形图可知,周边桁架主要是径向膨胀,所以为了让 SMA 起到充分的作用,应把它放到周边桁架的周向杆上。本文中是在每根周向杆上都加上记忆合金,且对天线运行一个周期的连续过程离散化,对于离散化后的每个时刻在用 ANSYS 进行分析时就是一个稳态分析过程,其中选取了几个位置进行了分析计算。加上 SMA 丝后用 ANSYS 进行模拟的具体方法步骤是:

(1)根据要加 SMA 的周向杆的各个杆的温度,用 SMA 的本构关系式计算出该温度下的回复应力,再根据所要加的 SMA 丝的横截面积进而计算出回复力;

(2)根据每根杆的温度所对应的 SMA 的回复力,把回复力加载到对应的周向杆上;

(3)再把先前算出来的温度作为体载荷加载到相应节点上;

(4)把周边桁架上的 4 点进行固定约束;

(5)计算;

(6)后处理提取结果。

#### 3.2.1 SMA 回复应力与弹性模量随温度变化的计算结果

本文选取的 SMA 丝的直径为 1.65 mm, 经过预拉伸后含有 0.6% 的塑性变形, 形状记忆合金的材料常数如表 2 所示。采用 MATLAB 编程求出合金丝在受限回复时不同温度下的回复应力, 同时又根据周边桁架周向杆在不同位置时刻的温度情况, 在表 3 中列出了所用到的温度与回复应力的关系; 再以此应力乘以 SMA 的横截面积得出回复力:  $F = S \times \sigma$ , 表 3 中计算出的回复力是使用 2 根合金丝的情况。表 4 中列出了 SMA

表 2 Ti-55%Ni 形状记忆合金的材料常数<sup>[2]</sup>

$E_s$ (GMPa)	67	$M_s$ (°C)	9
$E_u$ (GMPa)	26.3	$M_u$ (°C)	18.4
$\sigma_s^*$ (GMPa)	0.1	$A_s$ (°C)	34.5
$\sigma_u^*$ (GMPa)	0.17	$A_u$ (°C)	49
$\epsilon_L$	0.067	$C_u$ (MPa/°C)	8
$\Theta$ (MPa/°C)	0.55	$C_s$ (MPa/°C)	13.8

表 3 合金丝在不同温度下的回复应力

温度/°C	回复应力/Mpa	回复力/N	温度/°C	回复应力/Mpa	回复力/N
33	7.15	23.6	42	31.6	104.3
34	7.7	25.4	43	38.2	126.1
35	8.25	27.2	44	45.4	149.8
36	9.14	30.2	45	53.4	176.2
37	10.9	36.0	46	62.0	204.6
38	13.4	44.2	47	71.3	235.3
39	16.8	55.4	48	81.3	268.3
40	20.9	69.0	49	91.8	302.9
41	25.9	85.5	50	103	339.9

表 4 合金丝在不同温度下的弹性模量

温度/°C	弹性模量/Gpa	温度/°C	弹性模量/Gpa
39	63.4	46	63.8
42	63.5	47	63.9
43	63.6	48	64.0
44	63.7	49	64.1
45	63.7	50	64.2

弹性模量与温度的关系。

温度小于 39° 时合金丝的弹性模量不变,都为 63.4 Gpa

#### 3.2.2 在周边桁架中嵌入 SMA 后的计算结果

分别对在周边桁架中嵌入 2 根和 4 根 SMA 丝的情况进行了计算分析。天线在不同的位置点时,把周边桁架温度所对应的表 3、表 4 中的回复力和弹性模量分别加载到 ANSYS 的有限元模型中进行计算,得出天线变形结果。转角为 45° 时,周边桁架和索的变形如图 4、图 5 所示; 天线在不同转角位置时,反射网面的均方根误差如表 5 和表 6 所示; 反射面均方根误差与转角的变化关系曲线如图 6 所示。

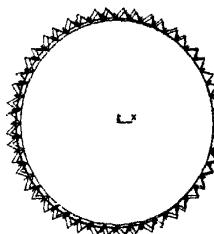


图 4 45°转角时加上 2 根 SMA 丝后周边桁架的变形

由图 6 可看出当转角为 188°, 即正要出阴影区时, 此时由于天线有的部分已经受热而有的部分还处于阴影区, 整个天线受热不均匀, 导致这个时刻的变形较大, 从而反射面均方根误差较大。同时可以看出, 当转角为 188° 时, 此时所要加 SMA 的周边桁架杆上的温度比较低 (2-14°C), 还未达到 SMA 发生奥氏体相变的温度, 这时, 记忆合金也就不起作用, 所以这个

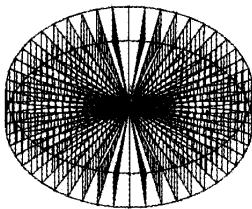


图 5 45°转角时加上 2 根 SMA 丝后索的变形

表 5 加上 2 根 SMA 丝后不同转角时刻的计算结果

转角/°	0	45	135	171(in)	188(out)	202.5	270	315
反射面均方根误差/mm	0.155	0.165	0.152	0.152	0.234	0.165	0.183	0.172

表 6 加上 4 根 SMA 丝后不同转角时刻的计算结果

转角/°	0	45	135	171(in)	188(out)	202.5	270	315
反射面均方根误差/mm	0.150	0.143	0.124	0.120	0.234	0.161	0.165	0.142

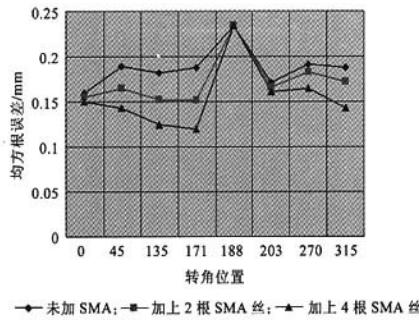


图 6 反射面均方根误差与转角的变化关系曲线

时刻加上记忆合金后的均方根误差与不加时相同。另外，周边桁架天线在未加记忆合金时，均方根误差最大，加上两根记忆合金时均方根误差有所减小，而加上 4 根记忆合金时均方

根误差又比加上两根的要好。同样是加上相同根数的记忆合金，但均方根误差减少的幅度也有所不同，这是由于本文采用的是被动控制的方法，当所要加 SMA 的位置的温度较高时，记忆合金所产生的回复应力较大，就会使得周边桁架由于热膨胀而引起的变形较小，从而使得整个反射网面的变形减小，即反射面的均方根误差较小。

#### 4 结束语

本文通过在周边桁架可展开天线的周向杆中加入不同数量的形状记忆合金丝，并以地球同步轨道为例，计算出了天线在不同位置点的反射面的均方根误差，并对仿真结果进行了对比分析，结果表明加入 4 根合金丝的控制效果要好于加入两根合金丝的控制效果，且同样是加入相同数量的合金丝，当天线处在不同的位置时控制效果有一定的差别。总之，该方法对星载天线的热变形控制是可行的、有效的。

#### 参考文献：

- [1] 朱敏波,何恩,曹峰云.星载天线热分析系统研究与开发[J].计算机工程与设计,2004,25(12):2251-2252.
- [2] 张亚欧.基于形状记忆合金驱动的自适应曲壳结构研究[D].南京:南京航空航天大学,2003.
- [3] 张朝晖.ANSYS 热分析教程与实例解析[M].石家庄:中国铁道出版社,2007.
- [4] 卫星,强士中.利用 ANSYS 实现斜拉桥非线性分析[J].四川建筑科学研究,2003,29(4):17-19.
- [5] 王卫琴,陈宇文.ANSYS 非线性有限元软件在桥梁结构分析中的应用[J].惠州学院学报(自然科学版),2003,23(3):99-104.
- [6] 陈洁如.星载大型可展开天线的热分析[D].西安:西安电子科技大学,2004.
- [7] Yue Zhufeng,Wan Jiansong,Zhang Qingmao.Constitutive relationship and applications of shape memory alloys[J].Rare Materials and Engineering, 2004,32(4):246-249.
- [8] 朱敏波,曹峰云,刘明治.星载大型可展开天线太空辐射热变形计算[J].西安电子科技大学学报,2004,31(1):28-31.

(上接第 3604 页)

#### 参考文献：

- [1] He X, Niyogi P. Locality preserving projections [C]. Proc 16th Conf Neural Information Processing Systems,2003.
- [2] JianYang,David Zhang.Globally maximizing, locally linimizing: Unsupervised discriminant projection with applications to face and palm biometrics[J].IEEE Trans Pattern Anal Machine Intell, 2007,29(4):650-664.
- [3] Yu Weiwei, Teng Xiaolong, Liu Chongqing. Face recognition using discriminant locality preserving projections[J].Image and Vision Computing,2006,24:239-248.
- [4] Hu Dewen, Feng Guiyu. Two-dimensional locality preserving projections(2DLPP) with its application to Palmpoint recogni-
- [5] Zhao Haitao, Sun Shaoyuan. Local structure based supervised feature extraction[J].Pattern recognition,2006,39:1546-1550.
- [6] 陈才扣.基于核的非线性特征抽取与图像识别研究[D].南京:南京理工大学,2004.
- [7] 庞彦伟,俞能海.基于核领域保持投影的人脸识别[J].电子学报, 2006,34(8):1542-1544.
- [8] Li Jun-Bao, Pan Jeng-Shyang, Chu Shu-Chuan. Kerenel class-wise locality preserving projection [J]. Information Science, 2007,178:1825-1835.
- [9] Yang Jian,Zhang David,Yang Jing-Yu.Locally principal component learning for face representation and recognition[J]. Neurocomputing,2006,69:1697-1701.

## 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>