

DOI:10.3785/j.issn.1008-973X.2008.09.001

## 桁架式可展开天线精度计算方法

侯国勇,关富玲,赵孟良

(浙江大学 空间结构研究中心,浙江 杭州 310058)

**摘 要:** 为了建立单元尺寸与反射面精度的关系模型来指导天线结构设计,分别用单元上取点、应用于球体及抛物面的浅壳理论推导了 3 种不同的误差计算方法,并进行了对比. 用基于 PhotoModeler 软件建立的非接触摄像测量系统,对口径为 2 m 的天线模型进行了反射面精度测试及展开重复精度试验,将试验结果与误差的理论计算方法进行对比,验证了应用于抛物面的浅壳理论推得的公式估算反射面精度更精确,应用于球体的浅壳理论推得的公式使用方便,计算结果与应用于抛物面的线壳理论公式所得结果较接近,单元上取点推得的精度计算公式可以用来估算拟合抛物面的拟合焦距,指导天线调焦机构的设计.

**关键词:** 可展开天线;形面偏差;精度测试

**中图分类号:** V414

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1008-973X(2008)09-1469-05

## Error computation method of deployable truss antenna

HOU Guo-yong, GUAN Fu-ling, ZHAO Meng-liang

(Space Structures Research Center, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

**Abstract:** In order to establish the mathematical formulas for element size and surface error to guide the antenna design, three methods were presented to calculate the reflector surface error, which were obtained by getting points on element, using shallow theory on paraboloid and sphere, and their results were compared. A non-contact Photogrammetric measure system was built using PhotoModeler software packages to measure the static surface error and the repeated deploying surface error of an antenna model with 2 m caliber. Finally the comparison of the test results with the theoretical solutions shows that the formula deducted from shallow theory used on paraboloid has higher accuracy, but the formula deducted from shallow theory used on sphere is simple and its result is close to the former formula. The formula deducted from getting points on element can obtain the focus and guide the design of focus adjustment system for antenna.

**Key words:** deployable truss antenna; surface error; error measure

可展开结构从 20 世纪 70 年代开始在航天领域应用,至今已有 30 多年的历史,现在已经涵盖了各个领域,从火箭的各级连接部分到卫星的太阳帆板、通讯天线、探测设备,到俄罗斯发射的人造太阳、空间站的可伸展桁架,等等,无一不与伸展的概念相关联. 对于星载大口径天线,可采用的展开天线形式有花瓣型、伞状<sup>[1]</sup>、缠绕肋、环柱、构架式<sup>[2]</sup>和环开展

开<sup>[3]</sup>等.

单元构架式展开天线(truss modular deployable antenna)的背架由各种桁架单元(truss modular)构成,称为 Pactruss 桁架结构,具有高展开可靠性、高刚度和高抗震性能,几何设计灵活,能满足不同的反射面要求. 由于其所具有的显著优点,它是各国宇航研究开发的重点.

收稿日期: 2007-05-10.

浙江大学学报(工学版)网址: www.journals.zju.edu.cn/eng

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(69982009).

作者简介: 侯国勇(1980-),男,浙江诸暨人,博士生,从事空间结构研究. E-mail: yahoo407@163.com

通讯联系人: 关富玲,女,教授. E-mail: gfl@zju.edu.cn

与固面天线不同,可展开天线不能通过模具加工出相对理想的反射面,而需在可展开背架结构上铺覆金属丝薄膜.桁架式可展开天线的抛物面反射面由许多平面三角形构成<sup>[4]</sup>,这些三角形的尺寸与整个反射面的精度有很大的关系.为了满足电磁波反射的要求,必须研究这些三角形单元尺寸对天线形面精度的影响,从而指导这类可展开反射器的结构设计.

为了进行天线的形面精度试验,作者所在的课题组设计了2 m口径的天线模型<sup>[5]</sup>,并进行了展开重复精度测试.天线的结构设计采用了自编的针对四面体单元天线的设计程序,该结构设计程序能详细给出部件数据,并且与AutoCAD接口,显示天线的整体实体模型,便于零件制图<sup>[6]</sup>.

作者对3种不同的形面偏差计算方法进行了理论推导,并采用程序实现;最后对实测值与理论方法获得的结果进行比较,确定3种精度计算方法的优劣.

## 1 反射面精度理论计算

### 1.1 三角形单元上取点计算均方根值

天线反射面是由一系列三角形单元构成的,如图1所示.

为了计算均方根值,作者编制了程序.程序中在每个三角形上取10个点,计算这10个点到最佳拟合抛物面的距离的平方和.取点如图2所示.假设拟合抛物面顶点只在 $z$ 轴上移动,即设拟合抛物面方程为

$$\frac{x^2 + y^2}{4f'} + H = z',$$

式中: $f'$ 为拟合抛物面的焦距, $H$ 为顶点位移.如图3,原设计抛物面上A点对应实际反射面上的B点,B点既不在设计抛物面上,也不在最佳吻合抛物

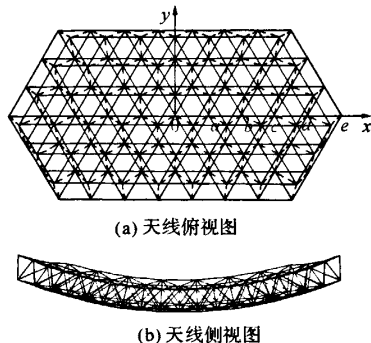


图1 天线图例

Fig. 1 Illustration of antenna

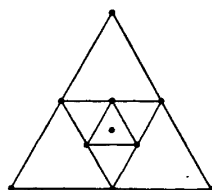


图2 每个三角形单元取点示例

Fig. 2 Points on each triangle element

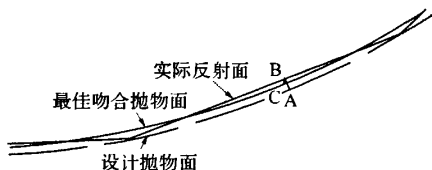


图3 与最佳吻合抛物面的偏差

Fig. 3 Deviation with optimal paraboloid

面上.因结构偏差是微小的,所以B点至最佳吻合抛物面的法线方向余弦近似等于原设计抛物面上A点的法线方向余弦.由B点向最佳吻合抛物面做法线BC,交于C点,令 $BC = \Delta$ .这里 $\Delta$ 为代数量,当最佳吻合抛物面在实际反射面内侧时为正,反之为负.

设 $A(x_0, y_0, z_0)$ ,  $B(x_1, y_1, z_1)$ ,如图2取点,坐标都为已知量.A点的法线方向余弦 $l, m, n$ 为

$$l = \frac{-x_0}{2\sqrt{f(f+z_0)}}, m = \frac{-y_0}{2\sqrt{f(f+z_0)}}, n = \sqrt{\frac{f}{f+z_0}}. \quad (1)$$

式中: $f$ 为原设计抛物面的焦距.则C点的坐标为

$$x = x_1 + l\Delta, y = y_1 + m\Delta, z = z_1 + n\Delta. \quad (2)$$

C点在最佳吻合抛物面上,故满足方程,

$$\frac{x^2 + y^2}{4f'} + H = z',$$

得到法向偏差 $\Delta$ 的表达式为

$$\Delta = \frac{1}{2\sqrt{f(f+z_0)}} [x_0(x_1 - x_0) + y_0(y_1 - y_0) - 2f(z_1 - z_0 - H) - 2z_0(f' - f)]. \quad (3)$$

因此 $\Delta$ 的加权均方根值 $\Delta_b^2$ 为

$$\Delta_b^2 = \frac{1}{N} \sum \Delta^2. \quad (4)$$

式中: $N$ 为所取的总点数,即10倍的三角形单元个数.

当 $\Delta_b^2$ 取到最小值时,有

$$\frac{\partial \Delta_b^2}{\partial H} = 0, \frac{\partial \Delta_b^2}{\partial f'} = 0. \quad (5)$$

根据式(5)可解出 $H$ 和 $f'$ .

接着将 $f', H$ 回代到式(4)中计算这些点相对于拟合抛物面的均方根值.

### 1.2 按浅壳理论计算均方根值<sup>[7]</sup>

如图4所示,三角形的3个顶点 $(x_i, y_i, z_i)$ 在

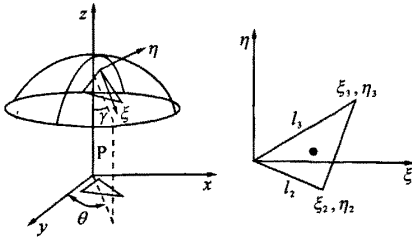


图4 三角形在抛物面中的位置

Fig. 4 Position of triangle in paraboloid

旋转面上,  $i=1, 2, 3$ . 过  $z$  轴和三角形的形心做一个平面  $P$ , 该平面和  $y$  轴的夹角为  $\theta$ . 在三角形平面上建立一个平面坐标系  $(\xi, \eta)$ , 原点为  $(x_1, y_1, z_1)$ ,  $\xi$  轴平行于平面  $P$  和三角形平面的交线, 其中原点  $(x_1, y_1, z_1)$  为三角形 3 个顶点中最高的一个顶点.  $x$  轴和  $\xi$  轴的夹角为

$$\gamma = \frac{\arccos [(By_c + Cx_c)]}{\sqrt{(By_c + Cx_c)^2 + y_c^2 + x_c^2}}. \quad (6)$$

式中:  $y_c, x_c$  为三角形在原坐标系下的形心坐标, 三角形平面方程为  $z = A + By + Cx$ .

$$\theta = \arctan (x_c / y_c). \quad (7)$$

因此坐标系  $(\xi, \eta)$  可以写成

$$\begin{cases} \xi_i = [(y_i - y_1) \cos \theta + (x_i - x_1) \sin \theta] / \sin \gamma, \\ \eta_i = \pm \sqrt{l_i^2 - \xi_i^2}. \end{cases} \quad (8)$$

应用浅壳近似理论, 旋转面的方程可以写成关于  $\xi, \eta$  的公式:

$$w = a + b\xi + c\eta + \xi^2 / (2R_\xi) + \eta^2 / (2R_\eta). \quad (9)$$

式中:  $a$  是点  $(\xi_i, \eta_i)$  到有效反射面的垂直距离; 其余常数为

$$\begin{cases} b = (\eta_3 d_2 - \eta_2 d_3) / (4S), c = (\xi_2 d_3 - \xi_3 d_2) / (4S), \\ S = (\xi_2 \eta_3 - \xi_3 \eta_2) / 2, d_i = \xi_i^2 / R_\xi + \eta_i^2 / R_\eta, \end{cases} \quad (10)$$

其中  $S$  为三角形的面积,  $R_\xi, R_\eta$  为三角形形心垂直对应到旋转面处的曲率. 这样均方根值  $\epsilon_{\text{rms}}$  (root mean square) 可以在整个三角形面积  $S$  积分得到

$$\phi = \iint w^2 d\xi d\eta = S[a^2 - ag/6 + g^2/120 - S^2 / (90R_\xi R_\eta)]. \quad (11)$$

式中:

$$g = (\xi_2^2 - \xi_2 \xi_3 + \xi_3^2) / R_\xi + (\eta_2^2 - \eta_2 \eta_3 + \eta_3^2) / R_\eta. \quad (12)$$

以下为两种求解  $\epsilon_{\text{rms}}$  的方法.

#### 1.2.1 浅壳为一球体

$$R_\xi = R_\eta = R, a = \delta = \text{常数}. \quad (13)$$

为了使  $\phi$  取到最小值, 对  $\phi$  关于  $a$  求导, 即

$$\frac{\partial \phi}{\partial a} = 0. \quad (14)$$

得到  $a = g/12$ . 则

$$\phi = S \left( \frac{g^2}{720} - \frac{S^2}{90R^2} \right). \quad (15)$$

式中:

$$g = (\xi_2^2 - \xi_2 \xi_3 + \xi_3^2) / R_\xi + (\eta_2^2 - \eta_2 \eta_3 + \eta_3^2) / R_\eta = [\xi_2^2 + \eta_2^2 + \xi_3^2 + \eta_3^2 - (\xi_2 \xi_3 + \eta_2 \eta_3)] / R.$$

若等边三角形单元边长为  $L$ , 则

$$g = [2L^2 - (\xi_2 \xi_3 + \eta_2 \eta_3)] / R. \quad (16)$$

由图4可以看到,  $l_2, l_3$  的夹角为  $60^\circ$ , 因此

$$\left| \frac{\eta_2 / \xi_2 - \eta_3 / \xi_3}{1 + \eta_2 / \xi_2 \cdot \eta_3 / \xi_3} \right| = \tan 60^\circ = \sqrt{3},$$

即

$$\left| \frac{\xi_2 \eta_3 - \xi_3 \eta_2}{\xi_2 \xi_3 + \eta_2 \eta_3} \right| = \sqrt{3}, \quad (17)$$

$$\frac{2S}{\xi_2 \xi_3 + \eta_2 \eta_3} = \sqrt{3}. \quad (18)$$

式中三角形面积  $S = \sqrt{3}L^2/4$ ,

$$\xi_2 \xi_3 + \eta_2 \eta_3 = L^2/2. \quad (19)$$

因此  $g = 3L^2/(2R)$ , 则

$$\phi = S \left( \frac{g^2}{720} - \frac{S^2}{90R^2} \right) = \frac{\sqrt{3}L^6}{3 \cdot 840R^2}. \quad (20)$$

均方根值

$$\epsilon_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{\phi}{S}} = \sqrt{\frac{L^4}{960R^2}} = \frac{L^2}{8\sqrt{15}R}. \quad (21)$$

从上述过程可以得知, 三角形网格拟合的有效反射球体球心坐标不变, 半径减小  $a$ , 即半径由原来的  $R$  变为  $R - L^2/(8R)$ .

1.2.2 浅壳为一抛物面 如图4中顶点在原点、开口向下的旋转抛物面方程可以写成

$$y^2 + x^2 = 4F(-z). \quad (22)$$

每个三角形对应抛物面上各点的 2 个垂直方向的主曲率近似取三角形形心沿  $z$  轴延伸与抛物面交点处的曲率. 则

$$\begin{cases} R_\xi = 2F[1 + (r_c/(2F))^2]^{3/2}, \\ R_\eta = r_c \sqrt{1 + (2F/r_c)^2}. \end{cases} \quad (23)$$

式中:  $r_c$  为该点的矢径,  $r_c^2 = y_c^2 + x_c^2$ . 有效反射面的方程可以用  $F'$  代替  $F$ 、 $-\delta - z$  代替  $-z$  得到, 即

$$y^2 + x^2 = 4F'(-\delta - z). \quad (24)$$

式中:  $F'$  和  $\delta$  使  $\epsilon_{\text{rms}}$  值最小. 为了得到  $F', \delta$  和  $a$  的关系, 做一条过三角形形心且垂直于三角形平面的直线, 直线的方程可以写成关于矢径  $r$  和  $z$  的方程,  $r^2 = y^2 + x^2$ .

$$z = z_c + (r - r_c) / (\sqrt{B^2 + C^2}). \quad (25)$$

联立解方程(24)和(25)得到直线穿过抛物面处的矢径为

$$r_q = \frac{-2F}{\sqrt{B^2+C^2}} + 2\sqrt{\frac{F^2}{B^2+C^2} + F\left(-z_c + \frac{r_c}{\sqrt{B^2+C^2}}\right)}. \quad (26)$$

同样直线穿过有效反射面处的矢径可以通过联立解方程(25)和(26)得到

$$r_p = \frac{-2F'}{\sqrt{B^2+C^2}} + 2\sqrt{\frac{F'^2}{B^2+C^2} + F'\left(-\delta - z_c + \frac{r_c}{\sqrt{B^2+C^2}}\right)}. \quad (27)$$

因此

$$x_q = -r_q^2/(4F), x_p = -r_p^2/(4F'), \quad (28)$$

$$a = \sqrt{(x_p - x_q)^2 + (r_p - r_q)^2}.$$

在数值计算中,对于一个三角形就要采用上面的方法计算一次 $\phi$ ,且要对 $F'$ 和 $\delta$ 求导使 $\phi$ 最小.在整个网格区域内的程序计算就变得困难.因此采用上文中叙述的对三角形取点的方法计算 $F'$ 和 $\delta$ ,再将它们作为已知量代入公式(28)中.这样在每个三角形中都是完全的数值计算,为程序的计算提供便利.对于实际反射面,所有杆件的长度都有细微的差别,因此对每个三角形进行数值计算是必要的,这样累加得到的 $\phi$ 除以三角形的总面积就是 $\epsilon_{rms}^2$ .

### 1.3 3种方法计算结果比较

对焦距为2170 mm的正馈天线采用不同计算方法得到的均方根值进行比较,如图5所示.其中,方法一为在三角形上取点计算得到的 $\epsilon_{rms}$ 值;方法二为由球面代替抛物面得到近似公式(21)计算得到的 $\epsilon_{rms}$ 值;方法三为在抛物面上逐个三角形积分得到 $\epsilon_{rms}$ 值.

由图5可以看到,在三角形上取点计算的均方根值比浅壳理论方法计算的值大将近2倍.根据对从俄罗斯购入的该类型天线形面误差的电子测量结果可知,其均方根值比按浅壳理论应用于球体得到的近似公式的值略小,与图5中按浅壳理论在三角形上逐个积分得到的均方根值较接近.但是在三角形上取点计算均方根值的方法可得到抛物面顶点的位移,浅壳理论应用于球体得到的近似公式的优势在于使用非常方便.

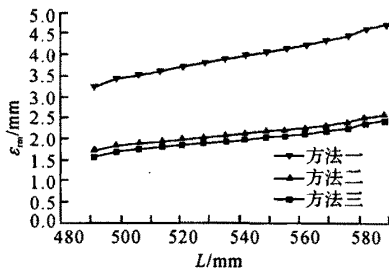


图5 均方根值比较

Fig. 5 RMS of each method

## 2 2 m口径天线的展开精度试验

### 2.1 模型设计指标

天线口径为2 m,反射面设计焦距为2170 mm,  $\epsilon_{rms}$ 为2.00 mm(S波段),天线杆件材料采用不锈钢,节点采用铝合金,反射面网用铜丝网替代.为了消除地面重力的影响,结构上设置了3根拉杆来抵消重力.模型见图6~8.

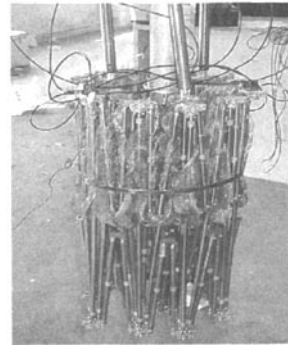


图6 收拢状态

Fig. 6 Furlled state

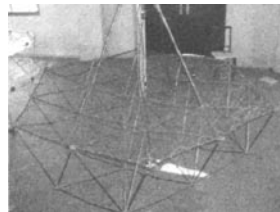


图7 展开状态

Fig. 7 Deployed state

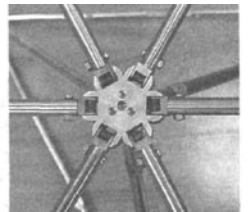


图8 模型节点

Fig. 8 Node in model

### 2.2 精度测量设备

作者基于PhotoModeler软件建立摄像测量系统,对模型结构进行测量.反射面精度测量前需在结构反射面上黏贴黑色圆形靶子来获得目标点,黑圆点直径为7 mm,反射面上的目标点共黏贴了19个;同时对测量过程中使用的数码相机进行校准,在软件中得到相机的参数.

采用数码相机进行拍照,用到的相机型号为Olympus  $\mu$  digital 800.前后2次拍照的角度以成90°为宜,照片数目大于4张;在软件中选择使用相机的参数,并将照片导入软件;依次选择照片,在照片上标识目标点,建立不同照片间目标点的对应关系,同一个目标点的编号相同.最后进行数据处理,得到以下结果:①所有目标点的三维坐标;②每张照片对应的数码相机拍摄空间位置和方位角;③测量

系统的测量精度.处理结果既可以在三维浏览器里查看图像结果,也可输出为 DXF 格式的文件.

测量过程中采用的标尺为 Brunson 公司生产的精密测量用标尺,型号为 05-MCP-298.标尺具有极低的热膨胀系数,长度随环境条件的变化极小,500 mm 的标尺制造误差在  $\pm 0.003$  mm.标尺两端有反射靶子,在照片中强光显示.本次测量中标尺的实际长度为 596 mm,见图 9.

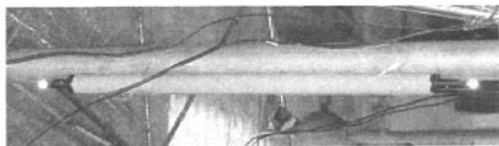


图9 精密测量用标尺

Fig.9 Invar tube for measuring system

### 2.3 模型测量结果

本次试验总共进行有效展开次数为 9 次,得到 9 次展开后的反射面上目标点的空间坐标模型.应用根据上面 3 种精度计算方法编制的程序,计算得到每次展开后的精度,见表 1.其中  $f'$  为拟合抛物面的焦距.

表 1 不同方法得到的精度

Tab.1 Surface errors based on different methods

次数	$\epsilon_{\text{rms}}/\text{mm}$			$f'/\text{mm}$
	方法三	方法二	方法一	
1	2.32	2.76	5.74	2 225.3
2	2.57	3.02	6.03	2 265.6
3	2.26	2.65	5.40	2 281.7
4	2.61	3.18	6.20	2 216.0
5	2.24	2.62	5.14	2 199.1
6	2.18	2.38	4.71	2 241.2
7	2.58	3.05	6.59	2 231.7
8	2.30	2.70	5.42	2 256.6
9	2.45	2.89	6.06	2 309.5

该种测量方法是采用数学方法得到目标点的空间坐标,然后采用不同的曲面拟合方法,得到不同的形面精度数值.虽然天线实际在反射电磁波的时候,反射性能的好坏还与反射面的材料、结构的加工精度及使用状态密切相关,但是根据航天科技集团 504 所电磁波测量的结果,天线反射性能主要与杆长有关,天线的形面精度与方法三得到的精度结果非常接近.因此课题组制作的模型的精度与设计精度是接近的.但是方法一可得到最终反射面的焦距,可指导卫星自动调焦系统的设计.

### 3 结 语

本文推导了计算桁架式展开天线反射面精度的

理论方法,并设计一个 2 m 口径的展开天线模型,用基于 PhotoModeler 软件建立的摄像测量系统,对抛物面反射面进行精度测量实验.精度测量结果表明:模型的反射面精度与设计要求相接近,表明原有结构设计程序适合于设计更大口径的该类型天线.最后比较不同的误差计算方法,得到一种准确估算反射面精度的理论计算方法.

研究桁架式展开天线的反射面精度,目的是为了更好的指导天线的结构设计.在本文的工作中,由于加工和测试过程还存在一定的误差,结构的形面精度还不是非常符合设计要求,在以后的研究中必须对各种误差源进行分析,尽量减少此类误差,提高形面精度.

### 参考文献 (References):

- [1] NATORI M C. Modular antenna concept consisted of radial ribs and hoop cables for space VLBI mission [C]// 25th ESA Antenna Workshop on Satellite Antenna Technology, ESA/ESTEC, Noordwijk, the Netherlands: [s. n.], 2002.
- [2] 刘明治,高桂芳.空间可展开天线结构研究进展[J]. 宇航学报,2003,24(1):82-87.  
LIU Ming-zhi,GAO Gui-fang. Advances in the study on structure for space deployable antenna [J]. Journal of Astronautics,2003,24(1):82-87.
- [3] 冯达武,赵人杰.空间大型网状展开天线展开机构的研究[J]. 中国空间科学技术,1997(1):64-70.  
FENG Da-wu,ZHAO Ren-jie. The research of large-size space mesh antenna deploying mechanism [J]. Chinese Space Science and Technology,1997(1):64-70.
- [4] 岳建如,关富玲.大型可展构架式星载抛物面天线结构设计[J]. 浙江大学学报:工学版,2001,35(3):238-243.  
YUE Jian-ru, GUAN fu-ling. A Large deployable hexapod paraboloid antenna [J]. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2001, 35(3):238-243.
- [5] 张京街,关富玲.大型切割旋转抛物面展开结构的设计[J]. 工程设计学报,2000(1):46-48.  
ZHANG Jing-jie, GUAN Fu-ling. Design of large cutting-parabolic structure [J]. Journal of Engineering Design, 2000(1): 46-48.
- [6] 关富玲,侯国勇,赵孟良.构架式可展开天线结构设计的程序实现[J]. 工程设计学报,2006,13(2):108-113.  
GUAN Fu-ling, HOU Guo-yong, ZHAO Meng-liang. Program implementation of structure design for deployable truss antenna [J]. Journal of Engineering Design, 2006, 13(2): 108-113.
- [7] AGRAWAL P K, ANDERSON M S, CARD M. Preliminary design of large reflectors with flat facets [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1981, AP-29(4): 56-63.

## 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](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>