

文章编号:1001-893X(2007)02-0149-05

卡塞格伦天线系统中波束指向角度和天线座机械角度关系的研究与分析^{*}

吴 鹏

(中国西南电子技术研究所, 成都 610036)

摘要:文中介绍的卡塞格伦天线系统中,波束指向角度和天线座机械角度有着复杂的数学关系。采用球面三角法推导了这些关系,作为雷达伺服系统测量和控制波束指向角度的基础。

关键词:雷达;伺服系统;卡塞格伦天线;波束方向;机械角度;数学关系;角度控制与测量

中图分类号:TN82 文献标识码:A

Study on and Analysis of the Relations between Beam Direction and Mechanical Angle of the Antenna Pedestal in Cassegrain Antenna

WU Peng

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract: Complicated mathematical relations exist between beam direction angle and mechanical angle of the antenna pedestal in Cassegrain antenna system discussed in this paper. Such relations are derived from spherical triangular equations and lay the foundation for radar servo mechanism measurement and beam direction control.

Key words: radar; servomechanism; Cassegrain antenna; beam direction; mechanical angle; mathematical relation; angle control and measurement

1. 引言

本文介绍的这种卡塞格伦天线的形式,其副反射面固定,扭转反射板可以在方位轴和俯仰轴上转动,驱动波束指向所需的方向,如图1所示。

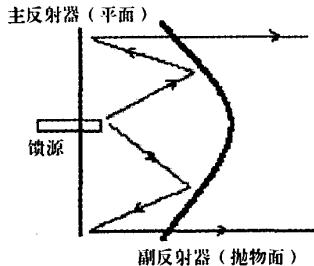


图1 变形卡塞格伦天线之一

这种天线形式的角度控制方法最早是美国的一个专利,其译文刊载在《空载雷达》1978年第1期(见文献[1])。这种形式中,波束的空间角度和扭转反射板的机械角度有着复杂的数学关系,专利中给出了扭转反射板安装在方位为外框、俯仰为内框的常规天线座形式的这种数学关系,未给出推导过程。文献[2]用几何方法给出了文献[1]介绍的数学关系推导,这种方法略显烦琐。这两篇文章都只给出了已知机械角度计算波束电角度和波束旋转角度的关系。本文中,扭转反射板安装在俯仰为外框、方位为内框的另一种形式的天线座上。在这种形式中,波束的空间角度和扭转反射板的机械角度也有着相似的复杂数学关系,找出这种关系,才能实现波束的空间角度控制和测量。本文采用球面三角法推

* 收稿日期:2006-05-12; 修回日期:2006-10-10

导机械角度和波束空间角度的数学关系,不但介绍了由反射板机械角度计算波束指向角度的关系,还介绍了由波束指向角度寻求反射板机械角度的关系。

2 两种二维天线座

对于只有方位和俯仰控制的两轴天线座,有两种框架结构形式,如图2所示。图2(a)为框架形式1,方位为外框、俯仰为内框,其方位角和俯仰角设为 α_1 和 β_1 。图2(b)为框架形式2,方位为内框、俯仰为外框,其方位和俯仰角设为 α_2 和 β_2 。第1种框架是先绕 z 轴转动方位角度 α_1 ,再绕 y 轴转动俯仰角度 β_1 。第2种框架是先绕 y 轴转动俯仰角度 β_2 ,再绕 z 轴转动方位角度 α_2 。为了叙述方便,在本文中,角度符号下标为1表示第一种框架形式,即方位为外框,角度符号下标为2表示第二种框架形式,即俯仰为外框。

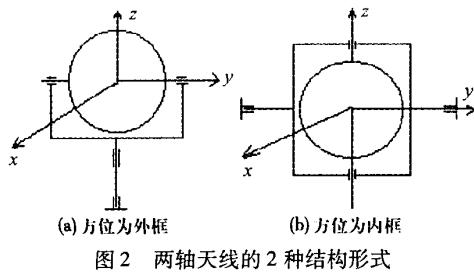


图2 两种二维天线座

根据图3,这2种结构的方位和俯仰角度的关系如式(1)^[2]。

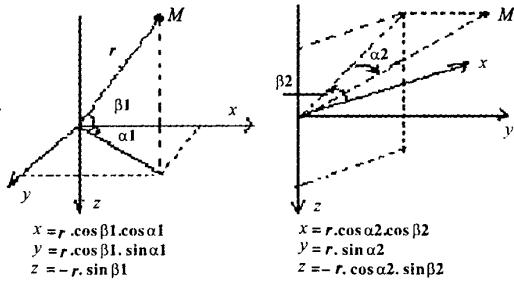


图3 2种框架形式角度的关系

$$\begin{cases} \cos \beta_1 \cdot \cos \alpha_1 = \cos \beta_2 \cdot \cos \alpha_2 \\ \cos \beta_1 \cdot \sin \alpha_1 = \sin \alpha_2 \\ \sin \beta_1 = \cos \alpha_2 \cdot \sin \beta_2 \end{cases} \quad (1)$$

一般来说,雷达系统所说方位角和俯仰角按第1种框架形式的结构定义,即 α_1 和 β_1 。在一些特

殊情况下,如雷达系统要求方位快速机动,因此希望方位转动惯量小,就可能采用方位在内框的第2种框架形式结构形式。在下面叙述中,如已知 α_1 、 β_1 ,可按式(1)计算出 α_2 、 β_2 ;也可已知 α_2 、 β_2 ,可按式(1)计算出 α_1 、 β_1 。

3 倒置卡塞格伦天线的电轴和机械轴的关系

图4是变形卡塞格伦天线波束角度关系示意图,其主反射面为平面板,副反射面为抛物面。起初,扭转反射板的坐标系(X_R , Y_R , Z_R)和固定坐标系(X , Y , Z)重合,因俯仰在外框,坐标系(X_R , Y_R , Z_R)先绕 Y 轴旋转俯仰机械角度 Ed_2 ,此时轴 X_R 变到图中 X'_R ,轴 Z_R 从 Z 变换到图中 Z_R 位置,然后再绕 Z_R 旋转方位机械角度 Ad_2 。由于有一个反射平面,入射波将反射到如图中的波束位置,指向目标,波束坐标系为(X_L , Y_L , Z_L)。下面分析在这种系统中,反射板机械方位角 Ad_2 、俯仰角 Ed_2 和雷达波束方位角 α_2 、俯仰角 β_2 的关系。图4中,为了图形简洁,有些坐标轴未画出,相信读者能够理解其含义。

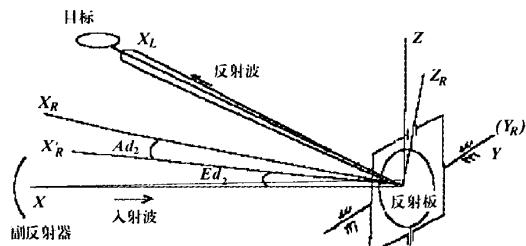


图4 反射板和波束角度关系示意图

波束指向角度是由控制反射板角度来完成的。天线伺服系统的控制元件和测角元件都安装在反射板的转轴上。伺服系统只能控制反射板运动,间接控制着雷达波束的空间角度位置。同时,伺服系统只能测出反射板的机械角度位置,间接知道雷达波束的空间角度位置。采用控制反射板的方式和一般雷达天线的伺服控制相仿,反射板安装在万向支架的内框上。

下面详细叙述扭转反射板用第二种框架形式的波束空间角度和反射板机械角度的关系。

3.1 已知机械角 Ad_2 和 Ed_2 ,求波束空间角度 α_2 和 β_2

在雷达搜索工作中,测到的反射板方位机械角度 Ad_2 和俯仰机械角度 Ed_2 ,必须换算为雷达波束

的方位角度 α_2 和俯仰角度 β_2 ，这才是雷达波束的真实指向角度，参见图 5。

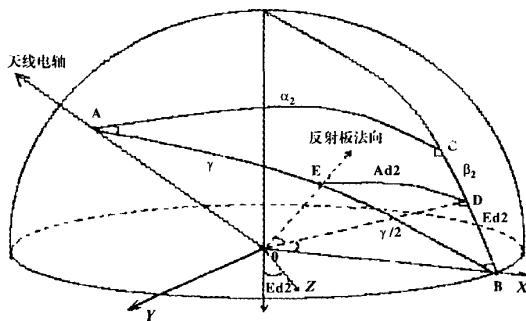


图 5 反射板角度和波束角度示意图(方位在内框)

按此框架形式,反射板先绕 Y 轴转动俯仰角度 $Ed2$,再绕 z 轴转动方位角度 $Ad2$ 。设反射板安装在球心 O 点, X 轴与单位球面交于 B 点, X 轴的指向即方位角 0° 。反射板先绕 Y 轴转动俯仰角 $\angle BOD = Ed2$, 反射板法线在单位球面上的交点轨迹为弧线 BD , 此时 Z 轴转动到 z 轴位置, 然后绕 z 轴转动方位角 $\angle DOE = Ad2$, 反射板法线指向为 OE , 反射板法线在单位球面上的交点轨迹为弧线 DE 。在此过程中, 波束电轴与单位球面交点的轨迹为弧线 BC 和 CA 。

雷达天线电轴(即波束)的俯仰角 $\angle BOC = \beta_2$, 雷达天线电轴的方位角 $\angle COA = \alpha_2$ 。注意到B点将以E点为对称点, 反射到A点, $\angle BOE = \angle AOE = \gamma/2$, 从而有 $\angle BOA = \gamma$ (γ 为波束入射线和反射线的夹角, 其一半为入射角和反射角)。

在球面三角形 EBD 和 ABC 中, $\angle D = \angle C = 90^\circ$, 有如下关系:

在球面三角形 EDB 中, D 为直角, 由 $\frac{\sin B}{\sin Ad2} = \frac{\sin D}{\sin d}$

$$\sin B = \frac{\sin A d2}{\sin(\alpha/2)}$$

在球面三角形 ABC 中, C 为直角, $\frac{\sin B}{\sin \alpha_2} = \frac{\sin C}{\sin \gamma}$, 则:

$$\begin{aligned}\sin \alpha_2 &= \sin \gamma \cdot \sin B \\ &= \sin \gamma \cdot \frac{\sin A d 2}{\sin \frac{\gamma}{2}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 2 \sin \frac{\gamma}{2} \cdot \cos \frac{\gamma}{2} \cdot \frac{\sin Ad2}{\sin \frac{\gamma}{2}} \\
&= 2 \cos Ad2 \cdot \cos Ed2 \cdot \sin Ad2 \\
&= \cos Ed2 \cdot \sin(2Ad2) \\
\text{在球面三角形 } EDB \text{ 中:} \\
\cos B &= \cos Ad2 \cdot \sin E \\
&= \cos Ad2 \cdot \frac{\sin Ed2}{\sin \frac{\gamma}{2}} \\
&\quad (\because \frac{\sin E}{\sin Ed2} = \frac{\sin D}{\sin(\gamma/2)}) \\
\tan \beta_2 &= \tan \gamma \cdot \cos B \\
&= \frac{\sin \gamma}{\cos \gamma} \cdot \cos Ad2 \cdot \frac{\sin Ed2}{\sin \frac{\gamma}{2}} \\
&= \frac{2 \sin \frac{\gamma}{2} \cdot \cos \frac{\gamma}{2} \cdot \cos Ad2 \cdot \frac{\sin Ed2}{\sin \frac{\gamma}{2}}}{\cos \gamma} \\
&= \frac{2 \cos Ed2 \cdot \cos Ad2 \cdot \cos Ad2 \cdot \sin Ed2}{2 \cos^2 \frac{\gamma}{2} - 1} \\
&= \frac{\cos^2 Ad2 \cdot \sin(2Ed2)}{2 \cos^2 Ad2 \cdot \cos^2 Ed2 - 1}
\end{aligned}$$

于是：

$$\begin{aligned}\beta_2 &= \tan^{-1}\left(\frac{\cos^2(Ad2) \cdot \sin(2Ed2)}{2\cos^2(Ad2) \cdot \cos^2(Ed2) - 1}\right) \\ \alpha_2 &= \sin^{-1}(\cos(Ed2) \cdot \sin(2 \cdot Ad2))\end{aligned}\quad (2)$$

以上是反射板机械角转换为电轴角度的问题，在雷达工作时，测量到 $Ad2$ 和 $Ed2$ ，需要经过上式的运算才能得到实际电轴指向角度。

3.2 已知电轴角度 α_1 和 β_1 , 求机械角 $Ad2$ 和 $Ed2$

在雷达对指定空域进行搜索时,要求电轴指向特定方位角度 α_1 和俯仰角度 β_1 ,需计算出反射板应转动的方位角度 $Ad2$ 和俯仰角度 $Ed2$ 作为角度伺服系统的指令。先利用式(1)可以求出 α_2 和 β_2 ,再用式(3)可解出反射板机械角度 $Ad2$ 和 $Ed2$ 。

由 α_2 和 β_2 , 求机械角 $Ad2$ 和 $Ed2$ 的关系推导如下(参见图 5):

在球面三角形 ABC 中, C 为直角, 由 $\frac{\sin B}{\sin \alpha_2} = \frac{\sin C}{\sin \gamma}$ 得:

$$\sin B = \frac{\sin \alpha_2}{\sin \gamma}$$

在球面三角形 BED 中, D 为直角, 则:

$$\frac{\sin B}{\sin A} = \frac{\sin D}{\sin \frac{\gamma}{2}}$$

$$\begin{aligned}
 \sin A d2 &= \sin \frac{\gamma}{2} \cdot \sin B \\
 &= \sin \frac{\gamma}{2} \cdot \frac{\sin \alpha_2}{\sin \gamma} \\
 &= \frac{\sin \alpha_2}{2 \cos \frac{\gamma}{2}} \\
 &= \frac{\sin \alpha_2}{\sqrt{\frac{1 + \cos \gamma}{2}}} \\
 &= \frac{\sin \alpha_2}{\sqrt{2(1 + \cos \alpha_2 \cdot \cos \beta_2)}}
 \end{aligned}$$

在球面三角形 ABC 中, $C = 90^\circ$, 则:

$$\begin{aligned}\cos B &= \cos \alpha_2 \cdot \sin A \\ &= \cos \alpha_2 \cdot \frac{\sin \beta_2}{\sin \gamma} \\ (\because \frac{\sin A}{\sin \beta_2} &= \frac{\sin C}{\sin \gamma})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tan Ed2 &= \tan \frac{\gamma}{2} \cdot \cos B \\
 &= \frac{\sin \frac{\gamma}{2}}{\cos \frac{\gamma}{2}} \cdot \cos \alpha_2 \cdot \frac{\sin \beta_2}{\sin \gamma} \\
 &= \frac{\sin \frac{\gamma}{2}}{\cos \frac{\gamma}{2}} \cdot \cos \alpha_2 \cdot \frac{\sin \beta_2}{2 \sin \frac{\gamma}{2} \cdot \cos \frac{\gamma}{2}} \\
 &= \frac{\cos \alpha_2 \cdot \sin \beta_2}{2 \cos^2 \frac{\gamma}{2}} \\
 &= \frac{\cos \alpha_2 \cdot \sin \beta_2}{\cos \gamma + 1} \\
 &= \frac{\cos \alpha_2 \cdot \sin \beta_2}{\cos \alpha_2 \cdot \cos \beta_2 + 1}
 \end{aligned}$$

由上面推导结果知：

$$\begin{aligned}\tan Ed2 &= \frac{\cos\alpha_2 \cdot \sin\beta_2}{\cos\alpha_2 \cdot \cos\beta_2 + 1} \\ \sin Ad2 &= \frac{\sin\alpha_2}{\sqrt{2(1 + \cos\alpha_2 \cdot \cos\beta_2)}}\end{aligned}\quad (3)$$

上式表明,要想实现指定空域的搜索,需先产生电轴方位角和俯仰角 α_1, β_1 , 再利用式(1)计算出 α_2, β_2 , 最后用式(3)及时计算出反射板的机械角度 $Ad2$ 和 $Ed2$ 作为角度伺服系统的指令。若按照一定规律不断变化 α_1, β_1 , 得到 $Ad2$ 和 $Ed2$, 可实现指定空域的搜索。

4 波束的旋转效应

卡塞格伦天线不但机械角和电轴角有复杂的关系,同时波束还有旋转效应,即波束随机械角的不同有不同的旋转角度,参见图 6。

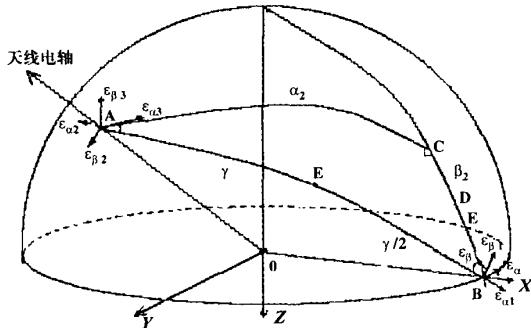


图6 天线的波束旋转效应示意(方位在内框)

反射板将波束反射后指向 A 点, 弧线 BE 上的点都将反射到弧线 AE 上, 因此, 向量 $E_0(\varepsilon_\alpha, \varepsilon_\beta)$ 经反射后成为向量 $E_3(\varepsilon_{\alpha_3}, \varepsilon_{\beta_3})$, 注意这两个向量的方向, 向量 E_3 的方向是向量 E_0 旋转了一个角度。

如果馈源沿直线 BO 发出一个雷达波, 经过 O 点的反射板反射后, 形成一个指向 OA 的雷达波束, 该波束将旋转一个角度。同理, 如果雷达接收机探测到波束指向有方位角度误差 $\varepsilon_{\alpha 3}$ 和俯仰角度误差 $\varepsilon_{\beta 3}$, 考虑到波束的旋转, 它们不是反射板转台坐标系的方位角度误差和俯仰角度误差, 必须把 $\varepsilon_{\alpha 3}$ 和 $\varepsilon_{\beta 3}$ 旋转一个角度后才能得到反射板转台坐标系的方位角度误差 ε_{α} 和俯仰角度误差 ε_{β} 。

下面推导去旋矩阵,为了书写简洁,推导中 $\alpha = \alpha_2, \beta = \beta_2, \angle A$ 是弧线 AC 和 AB 的夹角, $\angle B$ 是弧线 BC 和 BA 的夹角。先将波束坐标系上的向量 $E_3(\varepsilon_{\alpha_3}, \varepsilon_{\beta_3})$ 旋转 $(180^\circ - \angle A)$, 成为 $E_2(\varepsilon_{\alpha_2}, \varepsilon_{\beta_2})$, 再旋转 180° (即反射), 成为 $E_1(\varepsilon_{\alpha_1}, \varepsilon_{\beta_1})$, 最后旋转 $(180^\circ - \angle B)$, 成为反射板转台坐标系上的向量 $E(\varepsilon_\alpha, \varepsilon_\beta)$ 。

$$\begin{aligned}
 C &= [\text{旋转 } 90^\circ - B] \cdot [\text{旋转 } 180^\circ] \cdot [\text{旋转 } 180^\circ - A] \\
 &= \begin{bmatrix} \cos(90^\circ - B) & \sin(90^\circ - B) \\ -\sin(90^\circ - B) & \cos(90^\circ - B) \end{bmatrix} \\
 &\quad \cdot \begin{bmatrix} \cos 180^\circ & \sin 180^\circ \\ -\sin 180^\circ & \cos 180^\circ \end{bmatrix} \\
 &\quad \cdot \begin{bmatrix} \cos(180^\circ - A) & \sin(180^\circ - A) \\ -\sin(180^\circ - A) & \cos(180^\circ - A) \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \sin B & -\cos B \\ \cos B & \sin B \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -\cos A & \sin A \\ -\sin A & -\cos A \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} -\sin B & -\cos B \\ \cos B & -\sin B \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -\cos A & \sin A \\ -\sin A & -\cos A \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \cos A \sin B + \sin A \cos B & \cos A \cos B + \sin A \sin B \\ -\cos A \cos B + \sin A \sin B & \sin A \cos B + \cos A \sin B \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \sin(A+B) & \cos(A+B) \\ -\cos(A+B) & \sin(A+B) \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

注意到在球面三角形中：

$$C = 90^\circ$$

$$\begin{aligned}
 \sin \frac{(A+B)}{2} &= \frac{\cos \frac{\alpha - \beta}{2} \cdot \cos \frac{C}{2}}{\cos \frac{\gamma}{2}} \\
 \cos \frac{(A+B)}{2} &= \frac{\cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \sin \frac{C}{2}}{\cos \frac{\gamma}{2}} \\
 \sin(A+B) &= 2 \sin \frac{(A+B)}{2} \cos \frac{(A+B)}{2} \\
 &= 2 \frac{\cos \frac{\alpha - \beta}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}}{\cos \frac{\gamma}{2}} \cdot \frac{\cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}}{\cos \frac{\gamma}{2}} \\
 &= \frac{\cos \alpha + \cos \beta}{2 \cos^2 \frac{\gamma}{2}} \\
 &= \frac{\cos \alpha + \cos \beta}{\cos \gamma + 1} \\
 &= \frac{\cos \alpha + \cos \beta}{\cos \alpha \cos \beta + 1} \quad (\cos \gamma = \cos \alpha \cos \beta)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \cos(A+B) &= 2 \cos^2 \frac{(A+B)}{2} - 1 \\
 &= 2 \left[\frac{\cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}}{\cos \frac{\gamma}{2}} \right]^2 - 1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{2 \cos^2 \frac{\alpha + \beta}{2} - 2 \cos^2 \frac{\gamma}{2}}{2 \cos^2 \frac{\gamma}{2}} \\
 &= \frac{\cos(\alpha + \beta) + 1 - (\cos \gamma + 1)}{\cos \gamma + 1} \\
 &= \frac{\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta - \cos \alpha \cos \beta}{\cos \gamma + 1} \\
 &= \frac{-\sin \alpha \sin \beta}{\cos \alpha \cos \beta + 1}
 \end{aligned}$$

最后的结果如下：

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_\alpha \\ \varepsilon_\beta \end{bmatrix} = \frac{1}{\cos \alpha_2 \cdot \cos \beta_2 + 1} \cdot \begin{bmatrix} \cos \alpha_2 + \cos \beta_2 & -\sin \alpha_2 \cdot \sin \beta_2 \\ \sin \alpha_2 \cdot \sin \beta_2 & \cos \alpha_2 + \cos \beta_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_{\alpha^3} \\ \varepsilon_{\beta^3} \end{bmatrix} \quad (4)$$

上式的结果和文献[1]中的形式相同,其中的矩阵就是文献[1]所说的去旋矩阵。它的意义是,接收机给出的角度误差信号在典型的雷达系统中作为伺服系统的角度误差信号,可直接用于伺服系统闭环控制。但是在上述卡塞格伦天线系统中,接收机给出的角度误差已经不是反射板转台的角度误差,如果不经过去旋解算,去掉波束的旋转效应,那么在雷达角度跟踪的伺服系统控制中,方位和俯仰的运动将存在耦合关系。要解算旋转效应,计算量较大,这是设计这种天线伺服系统时必须考虑的问题之一。

参考文献:

- [1] 数字式天线定位系统与方法[J]. 空载雷达, 1978, (1).
- [2] 孙九如. 卡塞格伦天线系统中天线座坐标系与目标波束坐标系的关系[J]. 舰船电子对抗, 2003, (3).
- [3] 陈瑞泉. 空载雷达的空域稳定讨论[J]. 空载雷达, 1978, (1).

作者简介:



吴 鹏(1963-),男,四川成都人,高级工程师,从事雷达伺服系统研制工作,(电话)028-87555479(电子信箱)wupeng94@sohu.com。

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>