

电磁脉冲辐射波模拟器笼形天线的理论和数值研究

孟粉霞 夏洪富 王建国

(西北核技术研究所, 西安 710024)

摘要: 采用天线理论和数值模拟方法研究了同轴线馈电的双锥笼形天线辐射特性。通过双锥天线和馈电同轴线的阻抗匹配确定双锥半张角为 32° ; 结合清晰时间的概念, 确定双锥笼形天线半径为 2.5m。给出了双锥半径 2.5m、笼形天线长度 50m、末端经过削锥处理、架高 15m 时的双锥笼形天线在地面上方 2m 水平面内的辐射场分布, 在该平面上 $40\text{m} \times 60\text{m}$ 的区域内, 电场最大值为 6kV/m , 最小值为 1.6kV/m ; 在 $80\text{m} \times 10\text{m}$ 的区域内, 电场最大值为 82kV/m , 最小值为 12kV/m 。

关键词: 辐射波模拟器, 双锥笼形天线, 数值模拟

Theoretical and Numerical Studies on Cage Antenna of EMP Radiating-Wave Simulator

MENG Fen-xia, XIA Hong-fu, WANG Jian-guo

(Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China)

Abstract: This paper studies theoretically and numerically the radiation characteristics of the biconical-cylindrical cage antenna fed through the coaxial transmission line. The half angle of biconical antenna is determined as 32° by the impedance matching between the biconical antenna and coaxial transmission line. The radius is determined as 2.5m by the clear-time. Finally, the cage antenna is taken as the form of a 50-m long cylindrical wire, 2.5m in radius, supported horizontally above the ground up to 15m. The cylindrical wire's ends are returned to the ground through the use of tapered conductor sections. For the above antenna, this paper presents the E-field in the horizontal plan above the ground up to 2m. For the electric field in the volume of $40\text{m} \times 60\text{m}$, the maximum is 6kV/m and the minimum is 1.6kV/m . For the electric field in the volume of $80\text{m} \times 10\text{m}$, the maximum is 82kV/m and the minimum is 12kV/m .

Key words: Radiating-wave simulator, Biconical-cylindrical cage antenna, Numerical simulation

引言

核爆炸产生核电磁脉冲(HEMP), 由于其覆盖区域大、场强高, 对电子或电器系统具有相当大的威胁^[1]。要研究HEMP效应以及电子系统加固措施, 必须拥有大型EMP模拟设备。当最大场强在 50kV/m 、能够模拟被测系统是否毁损时, 称为“威胁级”模拟器。在水平极化、辐射波HEMP模拟器中, 双锥笼形水平天线是最常用的辐射天线^[2,3]。该天线的优点是结构简单, 缺点是波瓣图为“8”字形, 方向性很差, 因而效率低; 场强随距离的增加而快速衰减, 因而难以在较大面积(如 80m 长、 40m 宽)内有较均匀的场强, 从而影响大尺寸电子系统HEMP模拟试验的可信度。

为了克服双锥笼形天线的缺点, 王建国、田春明提出了基于 TEM 喇叭天线的辐射波模拟器技术^[4,5], 这种天线的增益较大, 因而试验区的面积也较大, 能够满足大尺寸系统试验的需求。但考虑到双锥笼形天线技术相对比较成熟, 本文研究双锥笼形天线问题。

辐射波模拟器由脉冲源及辐射天线两部分组成。本文采用双指数脉冲作为电压激励源, 通过理论分析和数值模拟相结合的方法研究双锥笼形天线的辐射特性, 提出双锥笼形天线的主要设计参数。本文对水平极化 EMP 模拟器的工程设计将起到一定的参考作用。

* 收稿日期: 2006-12-25; 定稿日期: 2007-04-07

1 双锥笼形天线基本结构

典型水平极化、HEMP 辐射波模拟器的双锥笼形天线由双锥天线、笼形天线和接地部分构成, 如图 1 所示。图中 ϵ_0 和 μ_0 分别为空气的电容率和磁导率; ϵ 、 μ 和 σ 分别为大地的电容率、磁导率和电导率。双锥天线是理想的宽带天线之一, 为了模拟水平极化的 HEMP 环境, 天线应该水平放置。在

有限长度处, 双锥天线被圆柱形笼形天线截断。测试区平行于天线, 对称分布于天线两侧。图 1 给出了坐标系的方向, x 轴垂直于笼形对称轴且平行于地面, y 轴垂直于地面向上, z 轴平行于笼形对称轴且平行于地面方向。双锥天线中点位于 $(0, H_0, 0)$ 处, H_0 为天线的对称轴线距地面高度。

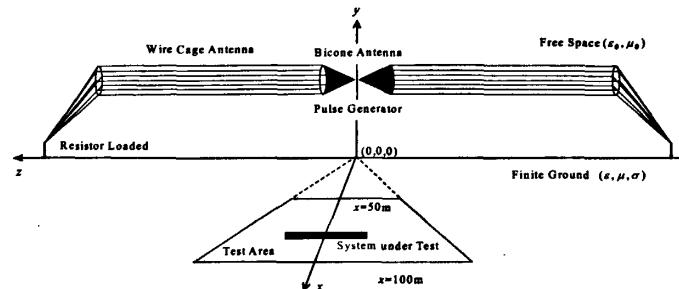


图 1 水平极化双锥笼形模拟器结构图

1.1 双锥天线

双锥天线的主要作用是辐射电磁波, 它属于偶极子天线类型。无限长双锥天线具有常阻抗^[6]

$$Z_r = 120 \ln \operatorname{ctg} \theta_c / 2 \quad (1)$$

式中, θ_c 为双锥的半张角。当 $\theta_c = 32^\circ$ 时, $Z_r = 150 \Omega$ 。

在自由空间中, 双锥天线在观察点 $P(r, \theta)$ 处的辐射场为

$$E(r, \theta, t) = \frac{60}{Z_r} \cdot \frac{V_0(t)}{r} \sin \theta \quad (2)$$

$$H(r, \theta, t) = \frac{E(r, \theta, t)}{120\pi}, \theta_c < \theta < \frac{\pi}{2} \quad (3)$$

式中, r 为双锥顶端到观测点之间的距离, θ 为天线轴线和 \vec{r} 之间的夹角, V_0 为双锥天线上的电压差。

当存在大地时, 场强将迅速降低, 其降低的大小和快慢与大地电参数 ϵ 、 σ 和 HEMP 波形有关。它没有解析表达式, 只能用数值模拟或实测给出。

有限长双锥天线的几何结构如图 2 所示。在笼形天线和双锥天线连接处, 由于阻抗的不连续, 电流将被部分反射。反射电流所激励的电磁场势必对原辐射场形成干扰, 影响其波形。为此引入清晰时间(clear-time)的概念^[1]。清晰时间是指波从双锥顶

端到达观察点 P 的时间与波从双锥顶端沿锥面达到笼形天线与双锥天线连接点再到观察点 P 的时间之差, 即

$$t_c = \frac{1}{c} \left\{ r_0 - r + \left(r_0^2 + r^2 - 2r_0 r \cos(\theta - \theta_c) \right)^{1/2} \right\} \quad (4)$$

式中, t_c 为清晰时间, r_0 为双锥顶端沿锥面到笼形天线与双锥天线连接点之间的距离, r 为双锥顶端到观测点之间的距离, θ 为天线轴线和 \vec{r} 之间的夹角。清晰时间 t_c 实质上代表不同传播路径的双波干涉时间, 双波干涉的结果是使场强降低。清晰时间如果小于脉冲峰值出现的时间, 则辐射场上升沿必将受到干扰, 并且造成峰值的降低。

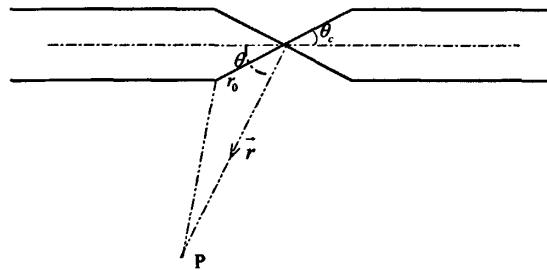


图 2 有限长双锥天线的几何结构

从公式 (4) 可知, 要想使观察点清晰时间增大, 并提高辐射场强度, 就要增加双锥顶点到与笼形天线连接处的长度。可用两种方法实现, 一是在双

锥天线半张角不变的情况下增大笼形天线半径，二是在笼形天线半径不变的情况下减小双锥天线的半张角。

增大天线半径会给工程实施带来很大困难。减小双锥天线半张角，会使双锥天线阻抗增大，辐射场峰值下降，所以两者要兼顾考虑。为了不影响EMP峰值，清晰时间应大于电压上升时间以使干涉出现在下降沿。因此，清晰时间会间接地影响双锥长度和半径的选择。

1.2 笼形天线

笼形天线的主要作用是辐射脉冲低频中的成份，使脉冲具有足够的衰落时间，影响EMP脉冲后沿的形成和脉冲的空间分布特征。笼形天线有三种选择方案：(1) 末端为削锥双锥，无接地；(2) 阻性负载偶极子天线，无接地；(3) 常数阻抗天线，接地。为了减小电流反射，模拟器设计通常采用第三种方案，本文以这种物理结构作为研究对象。

根据传输线理论，半径 R 、距离地面 H_0 的笼形天线对于低频成份(波长与天线高度同量级)的线阻抗为：

$$Z_0 = 60 \cosh^{-1} \left(\frac{H_0}{R} \right) \quad (5)$$

当同轴电缆特征阻抗 $Z = 150\Omega$ 时，为了使笼形天线和同轴电缆达到匹配，要求： $R = 2\text{m}$ 时，天线架高 $H_0 = 12\text{ m}$ ； $R = 2.5\text{m}$ 时，天线架高 $H_0 = 15\text{m}$ ；半径 $R = 3\text{m}$ 时，天线架高 $H_0 = 20\text{m}$ 。

在末端，圆柱形笼形天线逐级形成削锥，由电极引向地面，放射状导体接地。主要目的是减小末端的电流反射。

2 数值模拟计算

本文采用时域有限差分(FDTD)方法对双锥笼形天线辐射特性进行数值模拟研究^[7-9]，在FDTD中结合传输线方程和细线算法模拟同轴线馈电部分，并采用完全匹配吸收层截断无限大的外空间^[10,11]。激励电压采用双指数脉冲，由式(6)给定。脉冲峰值 $2.5 \times 10^3\text{kV}$ ，上升前沿按不同定义分别为 1.9ns ($10\% \sim 90\%$) 和 4.5ns ($0 \sim 100\%$)，脉冲的半高全宽 58ns 。脉冲最高有效频率为 600MHz (定义最高有效频率为最大值的千分之一)，它要求

FDTD模拟时的空间网格 $\Delta \leq 0.05\text{m}$ 。

$$U(t) = 2.68 \times 10^6 (e^{-1.3 \times 10^7 t} - e^{-1.0 \times 10^9 t}) \quad (6)$$

2.1 半张角与阻抗的匹配

公式(1)给出了无限长双锥天线的常阻抗。但是，对于有限长双锥天线，其输入阻抗不仅和 θ_c 有关，而且也和臂长有关。输入阻抗是和工作频率相关的。根据输入阻抗的定义，假设天线输入口处的电压和电流分别为 $V_p(f)$ 和 $I_p(f)$ ，则天线的输入阻抗为^[4]

$$Z_{in}(f) = \frac{V_p(f)}{I_p(f)} \quad (7)$$

当同轴传输线阻抗为 150Ω ，有限长双锥天线(末端半径 2m)在 $\theta_c = 30^\circ, 32^\circ, 34^\circ$ 时，通过 FDTD 模拟考察双锥天线输入阻抗的变化，取 $\Delta = 0.05\text{m}$ 。图 3 给出了不同半张角下天线的输入阻抗随频率的变化。

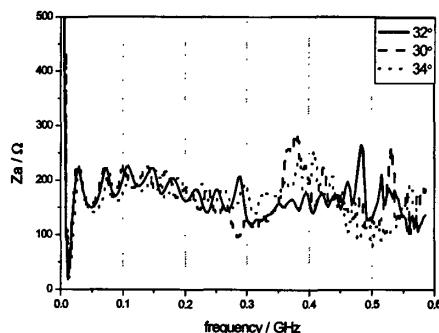


图 3 不同半张角下的输入阻抗

从图 3 可以看出：半张角对双锥输入电压、输入电流有轻微影响，在 $0 \sim 300\text{MHz}$ 影响较小， $300 \sim 600\text{MHz}$ 内， $\theta_c = 32^\circ$ 时，输入阻抗最接近于电缆特征阻抗 150Ω 。所以，以 $\theta_c = 32^\circ$ 为好。

2.2 双锥顶端半径

如前所述，双锥半径决定着清晰时间的大小，从而对脉冲的上升沿和峰值有影响。为了研究双锥半径对脉冲辐射特性影响的规律，本文考察了双锥顶端半径 $R = 0.6\text{m}, 1.1\text{m}, 2.0\text{m}, 2.1\text{m}, 2.2\text{m}, 2.5\text{m}$ 时的辐射场。为了考察双锥天线的辐射特性，双锥天线末端不接笼形。图 4 给出了不同半径下天线中心轴线上 $x = 20\text{m}$ 处的脉冲波形。表 1 则更详细地给出了不同半径下 $x = 4, 10, 20, 30\text{ m}$ 处的

清晰时间、辐射场上上升沿和峰值。

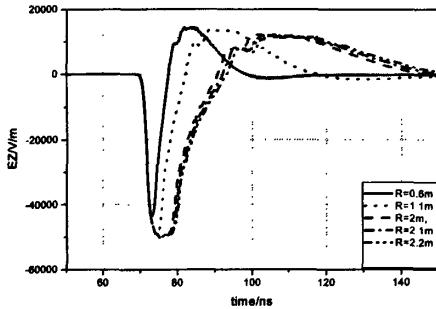


图 4 不同半径下(20,0,0)点的辐射脉冲

从图 4 可以看出, 在 $x=20\text{m}$ 处, R 从 0.6m 到 2.0m 变化时, 脉冲峰值、上升沿和半高宽均随半径增大而增大; $R \geq 2\text{m}$ 时, 脉冲峰值和上升沿不再随半径变化, 但脉冲衰落部分仍受半径影响, 半径

越大, 脉冲半高宽就越大, 低频成份就越丰富。表 1 更清楚地给出了不同半径的天线在不同位置处辐射脉冲的上升沿和峰值, 以及该位置所对应的清晰时间。表中数据表明, 当 $R \geq 2\text{m}$ 时, 对同一天线来说, 在天线中心水平面内, 当观察点在 x 方向离双锥天线顶端的距离大于 10m 时, 脉冲上升沿不再随 x 变化, 基本稳定在 2.3ns 。对某一特定位置, 当不同半径下的清晰时间均大于 4.5ns 时, 不同半径下的脉冲峰值和上升沿均一致。清晰时间大于 3.8ns 时, 峰值和上升沿有轻微差别。这就要求, 为了获得稳定的上升沿和最大的峰值, 必须保证试验区域的清晰时间必须不小于脉冲上升沿 (4.5ns)。当清晰时间为 3.8ns 时, 对脉冲峰值和清晰时间影响不大。

表 1 不同位置处脉冲峰值、上升沿和清晰时间

		$R=0.6\text{m}$	$R=1.1\text{m}$	$R=2\text{m}$	$R=2.1\text{m}$	$R=2.2\text{m}$	$R=2.5\text{m}$
$x=4\text{m}$	peak value/V/m	232487	251535	251546	251546	251546	251546
	rise time/ns	1.9	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
	current time/ns	2.2	4.9	11.8	12.7	13.7	16.6
$x=10\text{m}$	peak value/V/m	89437	98967	100892	100892	100892	100892
	rise time/ns	1.8	2.2	2.3	2.3	2.3	2.3
	current time/ns	1.9	3.8	8	8.5	9.0	10.7
$x=20\text{m}$	peak value/V/m	43521	48753	50363	50363	50363	50363
	rise time/ns	1.7	2.1	2.3	2.3	2.3	2.3
	current time/ns	1.9	3.5	6.9	7.3	7.7	8.9
$x=30\text{m}$	peak value/V/m	29425	32489	33559	33562	33562	33562
	rise time/ns	1.8	2.0	2.2	2.2	2.2	2.2
	current time/ns	1.8	3.4	6.5	6.9	7.2	8.4

当笼形天线取 (1) $R=2\text{m}$, $H_0=12\text{m}$, (2) $R=2.5\text{m}$, $H_0=15\text{m}$, (3) $R=3\text{m}$, $H_0=20\text{m}$ 时, 本文通过公式 (2) 对地面上方 2m 水平面内辐射场进行估值 (不考虑地面影响), 并通过清晰时间 ($t_c > 3.8\text{ ns}$) 来确定试验区域 (文中仅列出 $R=2.5\text{m}$, $H_0=15\text{m}$ 情况下的结果, 见表 2)。结果表明, 满足试验条件的区域呈梯形分布, 为了在天线单侧达到 $40\text{m} \times 60\text{m}$ 的试验区域, 当 $R=2\text{m}$ 时, x 最远至 150m , 该处电场约 6.6kV/m ; 当 $R=2.5\text{m}$ 时, x 最远至 120m , 该处电场约 8.2kV/m ; 当 $R=3\text{m}$ 时, x 最远至 110m , 该处电场约 8.8kV/m , 比 $R=2\text{m}$ 的值稍大。

考虑到工程代价, 选取 $R=2.5\text{m}$ 比较适合。辐射场最大值在天线正下方, 为 77kV/m , 最小值距离天线中心最远, 为 8.1kV/m 。试验区域则根据待

测目标的几何尺寸和对场强的要求而定, 当评估目标体积较小而对场强要求较高时, 试验区域可选取在天线正下方, 当评估目标体积较大又对场强要求不太高时, 试验区域可选取在天线两侧的梯形区域。

表 2 $R=2.5\text{m}$, $H_0=15\text{m}$, 地面上方 2m 水平面内的电场 (V/m)

$x(\text{m}) \backslash z(\text{m})$	0	5	10	15	20
0	76923.1	71795.8	60971.1	50379.3	41922.2
20	41922.2	41030.5	38662.2	35488.7	32124.6
40	23775.9	23609.6	23131.1	22394.3	21471.9
50	19356.4	19266.4	19003.7	18588.8	18051.0
60	16288.7	16235.0	16076.8	15823.3	15487.6
80	12338.2	12314.7	12245.3	12132.1	11978.8
100	9916.6	9904.4	9868.2	9808.6	9727.1
120	8284.9	8277.8	8256.6	8221.6	8173.4

2.3 数值模拟结果

根据前面理论分析, 最终确定双锥半张角为 32° , 半径 2.5m , 距离地面 15m 。本文采用 FDTD

方法对该参数设置下的双锥笼形天线进行数值模拟,由于整个计算空间为 $165\text{m}\times45\text{m}\times250\text{m}$,受计算机内存限制,数值模拟时采用较大的迭代网格,即 $\Delta=0.5\text{m}$ 。表3给出了不考虑大地影响时(计算时取大地电容率 $\varepsilon=\varepsilon_0$ 、电导率 $\sigma=0$),地面上方 2m 水平面内的辐射场分布,其中加黑数据对应位置满足清晰时间条件。结果表明,不考虑大地影响时,数值模拟结果和2.2节中估值是接近的,误差小于10%。理论估值和数值模拟二者之间得到了相互印证。表4给出了考虑大地影响时(计算时取大地电容率 $\varepsilon=4\varepsilon_0$ 、电导率 $\sigma=4\times10^{-4}\Omega^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$)的计算结果。可以看出,由于大地的存在,辐射场明显减小。在 $x=120\text{m}$ 处由 7.5kV/m 降低到了 1.6kV/m 。在加黑数据的梯形区域,清晰时间大于 3.8ns 。但是,我们可以看出,在 $40\text{m}\times60\text{m}$ 的区域内,辐射场不可能达到 $20\sim50\text{kV/m}$ 。考虑到对称性,在天线正下方 $80\text{m}\times10\text{m}$ 的区域内,辐射场最大 82kV/m ,最小 12kV/m 。由于数值模拟时采用了较大的计算网格,对高频部分进行了滤波,所以实际辐射场比数值模拟结果稍高些。
万方数据

表3 无大地影响时, $R=2.5\text{m}$, $H_0=15\text{m}$ 时地面上方 2m 水平面内的电场(V/m)

$x(\text{m}) \backslash z(\text{m})$	0	5	10	15	20
0	84262	75373	55055	37811	26635
20	37995	37157	34066	29691	25184
40	21505	21466	20822	19774	18474
60	14819	14841	14645	14243	13777
80	11249	11249	11181	11031	10781
100	9033	9037	9014	8937	8821
120	7519	7542	7527	7481	7416

表4 考虑大地影响时, $R=2.5\text{m}$, $H_0=15\text{m}$ 时地面上方 2m 水平面内的电场(V/m)

$x(\text{m}) \backslash z(\text{m})$	0	5	10	15	20
0	82592	74010	53953	35918	24157
20	32699	32387	29802	25610	20956
40	12622	12693	12398	11814	10953
60	6231	6246	6190	6035	5845
80	3620	3635	3605	3565	3495
100	2343	2346	2342	2322	2291
120	1627	1630	1628	1616	1604

3 结论

本文通过理论分析和数值模拟对双锥笼形天线的辐射特性进行研究,最终确定当同轴电缆特征

阻抗 $Z=150\Omega$ 时,天线双锥半张角 $\theta_c=32^\circ$,半径 $R=2.5\text{m}$,架高 15m 。另外,在具体工程实施时,要求双锥与笼形天线连接部分尽可能采用平滑过渡连接;天线末端接削锥,削锥平滑过渡,终端通过匹配电阻接地。在该设置下,地面上方 2m 水平面内,在天线正下方 $80\text{m}\times10\text{m}$ 的区域内,场值最大 82kV/m ,最小 12kV/m ;在天线两侧 $40\text{m}\times60\text{m}$ 的区域内,场最小值 1.6kV/m 。总之,试验区域根据待测目标几何尺寸和对场强的要求而定,当评估目标体积较小而对场强要求较高时,试验区域可选取在天线正下方,当评估目标体积较大又对场强要求不高时,试验区域可选取在天线两侧的梯形区域。

参 考 文 献

- [1] 周壁华,陈斌,石立华.电磁脉冲及其工程防护,北京:国防工业出版社,2003.
- [2] Joseph R Miletta, Ronald J Chase, Brian B Luu. Modeling of Army Research Laboratory EMP Simulators. IEEE Trans NS 1993,40 (6): 1967~1976
- [3] Ian D Smith, Harlan Aslin. Pulsed Power for EMP Simulators. IEEE trans AP, 1978, 26(1): 53~59
- [4] 王建国,田春明,刘小龙等.超宽带TEM天线的数值模拟,强激光与粒子束,2001,13(4): 493~497
- [5] 田春明,王建国,陈雨生等.基于TEM喇叭的辐射波模拟器天线的近场特性.强激光与粒子束,2004,16(5): 641~644
- [6] 周朝栋,王元坤,杨恩辉.天线与电波.西安:西安电子科技大学出版社,1994
- [7] K S Yee. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equation in isotropic media. IEEE Trans AP, 1966, 14 (4):302~307
- [8] Kenneth Demarest. FDTD modeling of scatterers in stratified Media. IEEE Trans AP, 1995, 43(10):1164~1168
- [9] 王长清,祝西里.电磁场计算中的时域有限差分方法.北京:北京大学出版社,1994
- [10] J P Berenger. A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves. J Comput Physics, 1994, 114(3): 185~200
- [11] S D Gedney. An anisotropic PML absorbing medium for the truncation of FDTD lattices. IEEE Trans AP 1996, 44 (12): 1630~1639

孟粉霞 1978年生,女,河南人,助理研究员,毕业于西北核技术研究所,硕士,主要从事高功率微波、瞬态电磁场数值模拟方法研究工作。

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>