

# 水下电场天线横向振动及其诱发电磁噪声研究

朱四华<sup>1</sup>, 朱学山<sup>2</sup>, 林洪文<sup>1</sup>, 胡昊<sup>1</sup>

(1. 海军航空工程学院 电子信息工程系, 山东 烟台 264001; 2. 中国人民解放军 91329 部队, 山东 威海 264200)

**摘要:** 横向振动作为水下电场天线在海水随机脉动应力作用下的主要振源,其诱发的电磁噪声在长波通信电磁噪声中占主导作用,直接影响长波通信深度和质量。建立了天线的横向振动模型,导出了天线的随机振动响应,分析了横向振动诱发电磁噪声的产生机理及特性,并给出了电磁噪声的仿真结果及结果分析。研究表明:采用平板脉动压力下 Bernoulli 梁的随机振动模型计算振动诱发电磁噪声是可行且准确的,可以根据横向振动诱发电磁噪声分析结果优化天线结构以减小振动感应噪声。

**关键词:** 通信技术; 长波通信; 拖曳天线; 横向振动; 电磁噪声

**中图分类号:** TN827

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-1093(2014)07-1060-05

**DOI:** 10.3969/j.issn.1000-1093.2014.07.019

## Research on Lateral Vibration and Vibration-induced Electromagnetic Noise of Underwater Electric Field Antenna

ZHU Si-hua<sup>1</sup>, ZHU Xue-shan<sup>2</sup>, LIN Hong-wen<sup>1</sup>, HU Hao<sup>1</sup>

(1. Department of Electronic Information Engineering, Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, Shandong, China; 2. Unit 91329 of PLA, Weihai 264200, Shandong, China)

**Abstract:** Lateral vibration is the dominating vibration source caused by seawater ripples for the underwater electric field antenna, and the lateral vibration-induced electromagnetic (EM) noise is dominant in EM noises for long wave communication, which has a significant influence on the receiving depth and quality of long wave communication. The lateral vibration model of towed antenna is established, and the response of lateral stochastic vibration is deduced. The generating mechanism and characteristic of lateral vibration-induced EM noise are analyzed. Furthermore, the simulation and analytic results of EM noise are given. All the results indicate that the calculation of vibration-induced EM noise under the assumption of Bernoulli beam and the excitation of stochastic fluctuating stresses is feasible and exact, and the antenna configuration is optimized and the vibration-induced EM noise is decreased based on the results of lateral vibration-induced EM noise.

**Key words:** communication technology; long wave communication; towed antenna; lateral vibration; EM noise

## 0 引言

水下电场天线的接收性能由天线及艇体的本地

噪声决定,天线在海水随机脉动应力作用下的横向振动、纵向振动及扭转振动,通过切割地磁场产生振动感应电磁噪声,此类电磁噪声直接关系着长波通

收稿日期: 2013-09-08

作者简介: 朱四华(1979—),男,讲师。E-mail: cinly\_zhu@163.com

信深度和质量<sup>[1-5]</sup>。横向振动作为主要振源,其诱发的电磁噪声在天线本地噪声中占主导作用。

Burrows<sup>[3-4]</sup>、刘海泉等<sup>[5]</sup>讨论了水下拖曳电场天线的运动感应噪声,给出了流体脉动压力的随机谱密度函数,得到了横向振动运动感应噪声的实验与仿真结果。Burrows 还对水下磁场天线的各种振动机制进行了分析,得到了运动感应噪声的定性分析<sup>[6]</sup>;文献[7-8]分析了磁场天线扭转振动诱发电磁噪声的机理特性,并给出了仿真结果及分析。横向振动诱发电磁噪声研究基本上基于文献[4]的研究成果<sup>[9-12]</sup>,没有形成包含天线振动模型、噪声形成机理、噪声量级大小和影响分析的系统性研究成果。

建立水下电场天线横向振动模型,导出天线随机振动响应,分析横向振动诱发电磁噪声形成机理及特性,并给出电磁噪声的仿真结果与分析。现有文献还没有关于天线湍流边界层脉动应力测量的直接结果,因此本文采用 Barkwell 研究声纳噪声时的平板表面脉动压力数据<sup>[13]</sup>,来近似横向激励源<sup>[14]</sup>。

## 1 天线横向振动模型

将天线横向振动模型考虑为随机脉动压力作用下的梁,如图1所示,其动力学方程如(1)式所示。

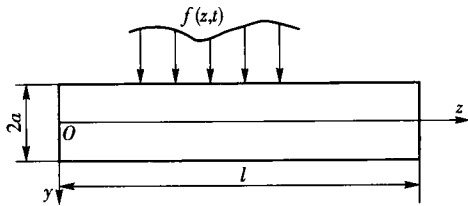


图1 天线横向振动模型

Fig. 1 Lateral vibration model of antenna

$$\left\{ EI \frac{\partial^4}{\partial z^4} - \frac{\partial}{\partial z} \left[ T(z) \frac{\partial}{\partial z} \right] + m_1 \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right\} y(z, t) = f(z, t), \quad (1)$$

式中:  $EI$  为弯曲硬度;  $T(z)$  为天线非均匀张力;  $m_1$  为天线单位长度横向振动有效质量;  $f(z, t)$  为天线所受横向激励;  $y(z, t)$  为天线在海水随机脉动压力作用下的振动响应。

在研究天线上  $z = z_0$  处集中力所激励的振动时,可考虑  $z = z_0$  的有限区域。该区域内天线张力为近似均匀,设该张力为  $T(z_0)$ ,则(1)式可写成

$$\left\{ EI \frac{\partial^4}{\partial z^4} - T(z_0) \frac{\partial^2}{\partial z^2} + m_1 \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right\} y_0(z, t) =$$

$$f_0(t) \delta(z - z_0), \quad (2)$$

式中:  $f_0(t)$  为该集中力的大小;  $\delta(z - z_0)$  为狄拉克  $\delta$  函数。在频域中, (2) 式可以写成

$$\{ EIk^4 + T(z_0)k^2 - \omega^2 m_1 \} Y_0(k, \omega) = F_0(\omega) e^{-ikz_0}. \quad (3)$$

天线振动响应功率谱密度  $Y_0(k, \omega)$  可表示为

$$Y_0(k, \omega) = H_1(k, \omega) F_0(\omega) e^{-ikz_0}, \quad (4)$$

式中:  $H_1(k, \omega) = \frac{1}{EIk^4 + T(z_0)k^2 - \omega^2 m_1}$ ,  $H_1(k, \omega)$  表示集中力  $f_0(t)$  的功率谱到天线位移  $y_0(z, t)$  的功率谱的传递函数。

## 2 横向振动感应噪声机理分析

对于电场天线,天线在脉动压力  $f(z, t)$  作用下的瞬时横向位移为  $y(z, t)$ 。在  $yz$  平面内,地磁场有两个分量  $B_y$  和  $B_z$ ,  $B_z$  是与天线横向位移相垂直的地磁场分量;  $\mu(z) = A(z)N(z)$  代表天线灵敏度曲线,其中  $A(z)$  为天线线圈面积,  $N(z)$  为线圈匝数密度。根据电磁感应定律,电场天线总的横向振动感应噪声电压为

$$V(t) = B_z \int \mu(z) \frac{\partial y(z, t)}{\partial t} dz, \quad (5)$$

频域中的天线横向振动感应噪声电压表示为

$$V(\omega) = -i\omega B_z \int \mu(z) Y(z, \omega) dz, \quad (6)$$

式中:  $|z| < l$  时,  $\mu(z)$  等于 1, 其余情况下为 0。可得横向振动感应噪声电压的功率谱为

$$S_v(\omega) = \omega^2 B_z^2 \frac{1}{2\pi} \int |U(k)|^2 |H_1(k, \omega)|^2 S_f(k, \omega) dk, \quad (7)$$

式中:  $U(k)$  为  $\mu(z)$  的功率谱密度。对于电场天线,天线有效长度  $l_e$  即两电极之间距离<sup>[5]</sup>, 故有  $l_e = 2l$ 。由噪声电压功率谱除以天线有效长度平方,即可得电场天线横向振动感应噪声的功率谱密度  $S_e(\omega)$  为

$$S_e(\omega) = \omega^2 B_z^2 \frac{1}{2\pi} \int \left| \frac{U(k)}{U(0)} \right|^2 |H_1(k, \omega)|^2 S_f(k, \omega) dk, \quad (8)$$

式中:  $U(k) = \int_{-l}^l \mu(z) e^{-ikz} dz = 2l \text{sinc} kl / kl$ 。在  $k$  的范围内,当(8)式中被积函数项具有不可忽略数值时,可近似认为  $S_f(k, \omega)$  等于  $S_f(0, \omega)$ 。在(8)式中,代入  $U(k)$  在  $k=0$  处的峰值以及  $H_1(k, \omega)$  在  $\pm k_1$  处峰

值的基值,可近似得到

$$S_e(\omega) = \frac{1}{2l} \left( \frac{B_z}{\omega |m_l|} \right)^2 S_f(0, \omega) \left\{ 1 + \frac{Q_l}{\pi k_l l} \right\}, \quad (9)$$

式中:  $Q_l$  为天线横向振动的机械品质因数。对于长电场天线, (9) 式中的“短曲线”修正项  $Q_l/(\pi k_l l)$  可以忽略, 此时运动感应噪声的功率谱变为

$$S_e(\omega) = \frac{1}{2l} \left( \frac{B_z}{\omega |m_l|} \right)^2 S_f(0, \omega). \quad (10)$$

(10) 式表明, 电场天线横向振动感应噪声功率谱与电缆直径相关, 一旦电缆直径确定, 则  $m_l$  也确定。再考虑到随机脉动激励影响, 电场天线横向振动感应噪声功率谱仅与天线长度和潜艇航速有关。

### 3 横向振动感应噪声结果分析

欲确定横向振动感应噪声在振动诱发噪声中的作用, 需要对不同天线长度、不同航速条件下的天线横向振动感应噪声进行仿真, 并将仿真结果和实验结果进行比较分析, 以验证所得出的机理分析。

对于电场天线, 在 (10) 式的天线横向振动感应噪声功率谱  $S_e(\omega)$  中, 包含电缆横向力分布的二维谱密度  $S_f(k, \omega)$ , 本文采用文献 [14] 推导出的二维谱密度  $S_f(k, \omega)$ , 如下:

$$S_f(k, \omega) = \frac{2}{5} \pi a \varphi(\omega) \left( \frac{U_c^2}{\omega^2} \right) \cdot \frac{1}{0.01 + \left( 1 + k \frac{U_c}{\omega} \right)^2} \left( 1 - e^{-\left| \frac{\omega}{U_c} \right| a \pi} \right), \quad (11)$$

式中:  $\varphi(\omega) = \rho^2 U_\infty^3 \delta^* \times 10^{-5.94e^{0.1241g} \frac{\omega \delta^*}{U_\infty}}$ ;  $U_c(\omega) = U_\infty \times 0.635 e^{\frac{0.035 U_\infty}{\omega \delta^*}}$ 。

由文献 [4]、文献 [5] 所得的  $S_f(k, \omega)$  与 (11) 式均不相同。采用 (11) 式、文献 [4]、文献 [5] 的  $S_f(k, \omega)$ , 分别将  $\varphi(\omega)$ 、 $U_c(\omega)$  代入  $S_f(k, \omega)$ ,  $m_l = \rho \pi a^2 + \rho \pi a^2 b$ 。则由 (10) 式得到的电场天线横向振动感应噪声功率谱分别为:

由 (11) 式得到的结果,

$$S_e(\omega) = \frac{B_z^2}{5\pi(1+b)^2} \times 10^{-5.94e^{0.1241g} \frac{\omega \delta^*}{U_\infty}} \times \frac{\delta^*}{a} \times \left( 0.635 e^{\frac{0.035 U_\infty}{\omega \delta^*}} \right)^2 \times \frac{U_\infty^5}{\omega^4 l a^2} \times \left( 1 - e^{-\left| \frac{\omega}{U_c} \right| a \pi} \right), \quad (12)$$

由文献 [4] 得到的结果,

$$S_e(\omega) = \frac{B_z^2}{5\pi(1+b)^2} \times 10^{-5.94e^{0.1241g} \frac{\omega \delta^*}{U_\infty}} \times \frac{\delta^*}{a} \times$$

$$\left( 0.635 e^{\frac{0.035 U_\infty}{\omega \delta^*}} \right)^2 \times \frac{U_\infty^5}{\omega^4 l a^2}. \quad (13)$$

由文献 [5] 得到的结果,

$$S_e(\omega) = \frac{1.82 B_z^2}{5\pi(1+b)^2} \times 10^{-5.94e^{0.1241g} \frac{\omega \delta^*}{U_\infty}} \times \frac{\delta^*}{a} \times \left( 0.635 e^{\frac{0.035 U_\infty}{\omega \delta^*}} \right)^2 \times \frac{U_\infty^5}{\omega^4 l a^2} \times \left( 1 - e^{-0.55 \left| \frac{\omega}{U_c} \right| a \pi} \right). \quad (14)$$

仿真参数: 地磁场分量  $B_z = 50 \text{ uT}$ , 电缆直径  $a = 0.00825 \text{ m}$ , 电缆浮力系数  $b = 0.75$ , 天线长度  $l = 300 \text{ m}$ , 电缆密度  $\rho = 0.8 \text{ g/cm}^3$ , 湍流边界层位移厚度  $\delta^* = a/3$ 。在不同航速下, 由 (11) 式、文献 [4]、文献 [5] 得到电场天线横向振动感应噪声功率谱  $S_e(\omega)$  仿真结果, 如图 2 所示。

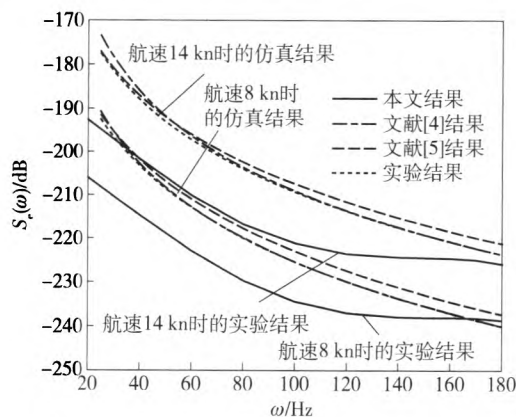


图 2 电场天线横向振动感应噪声的仿真结果

Fig. 2 Simulation result of lateral vibration-induced noise for E-field antenna

为了验证 (11) 式计算得到的横向振动感应噪声的准确性, 图 2 中也反映了 300 m 长 E 场天线的横向振动感应噪声实验结果 [3]。图中, 曲线由下至上分别表示航速 8 kn、14 kn。

为了便于比较不同条件下的电场天线横向振动感应噪声功率谱结果, 在两种潜艇航速下, 得到了不同频率时横向振动感应噪声功率谱的仿真数据与实验数据 [3], 分别见表 1 和表 2。

通过分析图 2, 并比较表 1 和表 2 的数据可以看出, 在电场天线横向振动感应噪声的计算结果中, 采用 (11) 式的随机脉动压力谱所得到的计算结果误差最小。在 8 kn 航速下, Burrows 的计算结果 [4] 与实验结果的误差最大时 (20 Hz) 可相差 21.12 dB, 采用 (11) 式时仅相差 18.61 dB, 误差的差距为 2.51 dB, 此时文献 [5] 的计算结果误差接近本文的计算误差, 但比本文的计算误差大 0.72 dB; 随着极

低频工作频率的提高,Burrows 的计算结果<sup>[4]</sup>误差逐渐减小,但始终比本文的结果误差大,在高频段比较接近,而文献[5]的计算结果误差却是逐渐增大,在 160 Hz 时与本文的计算误差相差 2.58 dB;随着潜艇航速的提高,3 种计算结果的误差均会提高,但由 (11) 式得到的结果仍优于 Burrows<sup>[4]</sup>与文献[5]的计算结果。由分析结果可知,所得的随机脉动压力谱公式无论是在低频工作段还是高频工作段,计算误差均小于 Burrows<sup>[4]</sup>的和文献[5]的,Burrows 的计算公式在高频段比较准确,而文献[5]的计算公式比较适用于低频段。

表 1 电场天线横向振动感应  
噪声功率谱(航速 8 kn)

Tab. 1 Lateral vibration-induced noise power spectra of electric field antenna for the towed speed of 8 knots

频率/Hz	本文 结果/dB	文献[4] 结果/dB	文献[5] 结果/dB	实验值 <sup>[3]</sup> /dB
20	-187.50	-184.99	-186.78	-206.11
40	-203.38	-202.76	-201.88	-214.81
60	-213.03	-212.86	-211.05	-222.78
80	-220.03	-219.98	-217.76	-229.91
100	-225.51	-225.48	-223.08	-234.81
120	-230.01	-229.95	-227.49	-237.04
140	-233.82	-233.81	-231.26	-237.78
160	-237.13	-237.13	-234.55	-238.28

表 2 E 场天线横向振动感应  
噪声功率谱(航速 14 kn)

Tab. 2 Lateral vibration-induced noise power spectra of electric field antenna for the towed speed of 14 knots

频率/Hz	本文 结果/dB	文献[4] 结果/dB	文献[5] 结果/dB	实验值 <sup>[3]</sup> /dB
20	-172.55	-167.19	-172.23	-192.59
40	-188.07	-186.06	-187.22	-201.85
60	-197.35	-196.45	-196.05	-210.02
80	-204.10	-203.67	-202.44	-216.67
100	-209.43	-209.22	-207.50	-222.04
120	-213.84	-213.74	-211.71	-223.15
140	-217.60	-217.55	-215.33	-224.04
160	-220.87	-220.85	-218.50	-224.81

分析上述现象的原因,(11)式中多了附加项,且与文献[5]的计算结果相差系数 1.82 以及指数项的 0.55,因而由(11)式的流体脉动压力谱能给出

更准确的电磁噪声结果,文献[5]中的计算结果类似于 Burrows 的推导结果<sup>[4]</sup>,但考虑了机械振动因子。本文也可以在公式中增加该项内容,但考虑到对于长天线来说,此项噪声功率很小,故为了使问题更清晰,在推导结果中略去了此项。

通过仿真分析并将仿真结果与实验结果进行比较,不仅验证了电场和磁场天线的机理分析,同时也证明,由于(11)式的随机脉动压力谱误差小,因而相对于 Burrows<sup>[4]</sup>与文献[5]的计算结果,所得的横向振动感应噪声更接近实艇实验结果。研究结果为后续进一步分析电场和磁场天线的横向振动感应噪声奠定了基础。

4 结论

通过建立天线在随机脉动压力作用下的横向振动模型,计算了电场天线的横向振动感应噪声,给出了电场天线横向振动感应噪声的产生机理,研究了横向振动感应电磁噪声特性,并对仿真计算结果进行了分析。形成了比较完善的横向振动感应噪声分析计算方法。研究结论为:

1) 在计算电场天线的横向振动感应噪声中,基于 Bernoulli 梁的振动模型假设,且采用平板压力模型对随机激励进行近似,是可行且准确的。基于本文的天线表面脉动压力功率谱密度拟合计算公式,得到了电场天线横向振动感应噪声结果,与美国麻省理工学院林肯实验室 Burrows 的实验结果<sup>[4]</sup>吻合,比以往的相关计算结果具有更高的精度,且模型清晰,公式使用方便,使得长波通信横向振动的研究中,只需直接利用该公式估计噪声谱密度即可,而不必再去处理繁琐的流体力学问题。

2) 对电场天线的横向振动感应噪声进行了仿真分析。不同天线长度、不同航速下的横向振动分析表明,在实际的接收天线设计中,在已知天线基本参数的情况下,根据系统实际工作频率,选择适当的天线长度可以尽量减小横向振动感应噪声,从而减小长波通信系统的发射功率,并提高水下收信深度和通信质量。所得结果对于进一步研究其他振动模式下的振动感应噪声具有一定的参考价值。

参考文献(References)

[1] Pelios A. Motion-induced noise in trailed antennas, technical memorandum No 2[R]. US: RCA David Sarnoff Research Center, 1972.

- [2] Manning J E. Vibration and strain-induced noise from the ELF flexible loop antenna[R]. Lexington: Massachusetts Institute of Technology, 1971: 1-31.
- [3] Burrows M L. Motion-induced noise in electrode-pair extremely low frequency(ELF) receiving antenna[J]. IEEE Transaction on Communication, 1974, 22: 540-542.
- [4] Burrows M L. On the design of a towed ELF H-field antenna[R]. Lexington: Massachusetts Institute of Technology, 1972: 9-39.
- [5] 刘海泉, 梁高权. 超低频电场拖曳天线的运动感应噪声[D]. 武汉: 海军工程大学, 1987.  
LIU Hai-quan, LIANG Gao-quan. Motion-induced noise of towed SLF E-field antenna[D]. Wuhan: Naval University of Engineering, 1987. (in Chinese)
- [6] Burrows M L. Other sources of motion-induced noise in a towed ELF H-field antenna[R]. Lexington: Massachusetts Institute of Technology, 1973.
- [7] 朱四华, 王德石. 磁场天线磁致伸缩噪声的仿真实验[J]. 武汉理工大学学报, 2006, 28(6): 87-89.  
ZHU Si-hua, WANG De-shi. Simulation and experimental research of H-field antenna magnetostrictive noise[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2006, 28(6): 87-89. (in Chinese)
- [8] 朱四华, 王德石. 磁场天线的扭转振动及运动感应电磁噪声研究[J]. 电波科学学报, 2006, 21(6): 830-833.  
ZHU Si-hua, WANG De-shi. Torsion vibration and motion-induced noise research of H-field antenna[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2006, 21(6): 830-833. (in Chinese)
- [9] 杨路刚. 超低频磁场拖曳天线技术研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007.
- YANG Lu-gang. Research on towed ELF H-field antenna[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2007. (in Chinese)
- [10] 谢慧, 高俊, 柳超. 超低频拖曳全向接收天线运动感应噪声研究[J]. 电波科学学报, 2007, 22(5): 861-866.  
XIE Hui, GAO Jun, LIU Chao. Analysis of motion-induced noise of super low frequency towed omni-directional receive antenna[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2007, 22(5): 861-866. (in Chinese)
- [11] 喻莉, 杨路刚. 超低频磁场电缆运动感应噪声研究的分析与优化[J]. 舰船科学技术, 2007, 29(5): 96-98.  
YU Li, YANG Lu-gang. Optimization design of motion-induced noise of ELF H-field cable antenna[J]. Ship Science and Technology, 2007, 29(5): 96-98. (in Chinese)
- [12] 孟庆辉, 王永斌, 赵志礼. 潜艇周围影响超低频通信的电磁噪声来源及特征分析[J]. 舰船科学技术, 2009, 31(11): 66-69.  
MENG Qing-hui, WANG Yong-bin, ZHAO Zhi-li. The source and characteristics of extremely low frequency noise affecting communications around the submarine[J]. Ship Science and Technology, 2009, 31(11): 66-69. (in Chinese)
- [13] Bakewell J H P. Turbulent wall-pressure fluctuations on a body of revolution[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 2005, 43(6): 1358-1363.
- [14] 丁浩, 朱四华, 王德石. 水下拖曳绳索在随机脉动压力作用下的响应[J]. 鱼雷技术, 2005, 13(1): 29-32.  
DING Hao, ZHU Si-hua, WANG De-shi. Response of underwater towed cable under random and fluctuant pressure[J]. Torpedo Technology, 2005, 13(1): 29-32. (in Chinese)

## 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>