

基于 SBR 和像素法的复杂目标的 RCS 计算

胡银彪, 昂海松, 孙占久, 刘万波
(南京航空航天大学, 江苏 南京 210016)

摘要:介绍了计算空腔内部高频电磁散射的射线跟踪法,推导了未进行简化处理的口径积分公式。与已有的计算结果相比,矩形截面直进气道的计算结果与参考值的吻合效果更好。从散射中心的观点出发,将像素法和射线跟踪法结合应用,给出了计算公式,通过软件实现了这些算法。给出了某无人机利用该算法得出的计算结果,并与实验值进行了比较分析。

关键词:雷达散射截面积; 像素法; 射线跟踪法; 复杂目标

中图分类号:TN957 文献标识码:A

RCS calculation of complex objects based on SBR and pixel method

HU Yin-biao, ANG Hai-song, SUN Zhan-jiu, LIU Wan-bo
(Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Shooting and bouncing rays(SBR) method is introduced to calculate the RCS of the cavity's inside structure and precise aperture integration formulae are understood. The calculated results of a strait inlet with rectangular section is better agreement with reference values than those of Hao Ling. Based on the point of scattering center, pixel method and SBR are combined to compute RCS of complex objects. Formulae are given and the method is realized by software. Then the calculated results of a pilotless aircraft are offered and compared with the experimental results.

Key words: radar cross section; pixel method; shooting and bouncing rays method; complex objects

1 引言

目前,高频雷达目标 RCS 的计算分析方法主要有面元法(panel method)、射线跟踪法(shooting and bouncing ray method)。对复杂目标体的高频区 RCS 计算大多采用物理光学法,如板块法、像素法。但是这些方法只能计算表面一次反射,对飞机腔体或者具有多次反射的复杂物体不再适用,一般采用射线跟踪法进行计算。本文在研究了目前腔体 RCS 计算方法的基础上,推导出了未进行简化处理的口径积分公式,与国外学者 Hao Ling 等的计算结果相比,其计算结果与参考值的吻合效果更好。本文还从散射中心的观点出发,将像素法和射线跟踪法结合应用,给出了计算公式,通过软件实现了这些算法。然后利用该算法计算了某无人机的 RCS,并与实验值进行了比较分析。

2 计算方法

2.1 射线跟踪法

SBR 方法是一种高频近似方法。当入射的平面电磁波照射到腔体的开口端面时,射线被按照几何光学原理进行跟踪,直到每根射线都经腔壁和终端多次反射,重新回到入射

口径面为止^[1]。SBR 法大致可分为射线跟踪、场强跟踪、口径积分 3 步。

2.1.1 射线跟踪

入射平面波方程以球坐标系形式给出(省略时谐因子 $e^{j\omega t}$)

$$E^i(E_\theta^i \hat{\theta}^i - E_\phi^i \hat{\phi}^i) \cdot e^{jk^i \cdot r}$$

式中: E^i 、 E_θ^i 、 E_ϕ^i ——入射平面波的电场、水平极化分量、垂直极化分量, θ^i 、 ϕ^i ——入射平面波在球坐标系中的坐标,表示入射场的方向, k^i ——从原点指向入射点方向的矢量, $k^i = k_0(\sin \theta^i \cos \phi^i \hat{x} + \sin \theta^i \sin \phi^i \hat{y} + \cos \theta^i \hat{z})$, $k_0 = 2\pi/\lambda$ 。

假定入射射线起始点为 (x_0, y_0, z_0) , 方向矢量为 (s_x, s_y, s_z) , 则入射线上任意一点 (x_1, y_1, z_1) 可表示为

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} s_x \\ s_y \\ s_z \end{bmatrix} \cdot t$$

设入射射线 \vec{ab} 以入射角 θ_i 入射到表面法矢量为 \hat{n} 的良导体表面上(见图 1 所示),则射线基坐标系的单位矢量为

$$\hat{\phi}^i = \hat{\phi}^r = \hat{i} \times \hat{n} / \sin \theta$$

$$\hat{\theta}^i = \hat{\theta}^r \times \hat{i}, \hat{\theta}^r = \hat{\phi}^r \times \hat{r}$$

收稿日期:2004-03-29; 修回日期:2004-05-19。

作者简介:胡银彪(1969-),男,高级工程师,博士研究生,主要研究方向为飞行器目标特性分析,计算机辅助设计。

首先判断射线是否与面元相交, 判断的方法是设射线所在直线与平面四边形所在平面的交点为 p_0 , 平面四边形的 4 个顶点依次为 p_1, p_2, p_3 和 p_4 , 分别计算 p_0 与 p_1, p_2, p_3, p_4 所形成的 4 个三角形的面积 S_1, S_2, S_3, S_4 和四边形 $p_1 p_2 p_3 p_4$ 的面积 S_{1234} 。若 $S_1 + S_2 + S_3 + S_4 = S_{1234}$, 则射线与四边形相交; 否则与四边形不相交。

若入射方向为 \hat{i} , 反射方向为 \hat{r} , 界面法线方向(指向导体外部)为 \hat{n} , 则反射后的射线方向 \hat{r}' 可由如下等式确定

$$\hat{r}' = \hat{i} - 2.0 * (\hat{i} \cdot \hat{n}) * \hat{n}$$

除了要对射线管的轨迹求迹外, 还要对电场的幅度和相位进行跟踪, 设射线管与面元交点为 $(x_i, y_i, z_i), i = 1, 2, \dots, n$

$$E(x_{i+1}, y_{i+1}, z_{i+1}) = E(x_i^+, y_i^+, z_i^+) e^{-ip}$$

其中相位 $p = k_0[(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2 + (z_{i+1} - z_i)^2]^{1/2}$

将入射波相对于入射平面分解成 TE 波和 TM 波。

$$E(x_i, y_i, z_i) = (E^i \cdot \varphi_c^i) \varphi_c^i + (E^i \cdot \theta_c^i) \theta_c^i$$

反射波可以表示为

$$E(x_i, y_i, z_i) = \Gamma_{TE}(E^i \cdot \varphi_c^i) \varphi_c^i + \Gamma_{TM}(E^i \cdot \theta_c^i) \theta_c^i$$

式中: Γ_{TE}, Γ_{TM} —TE、TM 的反射系数。有关局部坐标 $\varphi_c^i, \varphi_c^i, \theta_c^i, \theta_c^i$ 的定义参见文献[4]。

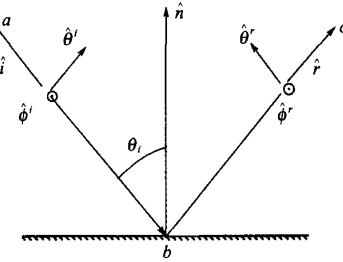


图 1 射线基坐标系

2.1.2 散射场积分

首先选择要进行积分的积分面——惠更斯面, 对于腔体目标选定口径面 Σ_A 为积分面。在远场的观察点 $r(r, \theta, \phi)$, 总的散射远场为^[2,3]

$$E(r) = \frac{jk_0 Z_0}{4\pi} \frac{e^{-jk_0 r}}{r} \sum_{i=1}^n \int_{\Delta A} [\hat{r} \times \hat{r} \times dP_{\varphi} + Y_0 \hat{r} \times dP_{em}] * \exp(jk_0 \hat{r} \cdot \hat{r}') ds$$

式中: \hat{r} — r (从原点到观察点)的单位矢量, \hat{r}' —从原点到积分面上某点的矢量, $\frac{e^{-jk_0 r}}{r}$ —自由空间的格林函数, dP_{φ}, dP_{em} —等效的电流矩和磁流矩, 其表达式为

$$dP_{\varphi} = \hat{n} \times H(r'), dP_{em} = E(r') \times \hat{n}$$

式中: \hat{n} —积分面表面的单位法矢, 指向腔体外部。则第 i 个射线管对远场的贡献为(此时积分面应取射线管 i 在积分面 Σ_A 上的投影所形成的区域 ΔA)

$$E_i(r) = \frac{jk_0}{4\pi} \frac{e^{-jk_0 r}}{r} \exp(jk_0 \hat{i} \cdot \hat{r}_i) * \{ Z_0 \hat{r} \times [\hat{n} * (\hat{r} \cdot H) - * (r \cdot \hat{n})] + [E * (\hat{r} \cdot \hat{n}) - \hat{n}(\hat{r} \cdot E)] \} * \int_{\Delta A} \exp[jk_0 \hat{r}' \cdot (\hat{r} - \hat{i})] ds$$

若取 $S = \frac{1}{\Delta A} \int_{\Delta A} \exp[jk_0 \hat{r}' \cdot (\hat{r} - \hat{i})] ds$, 则

$$E_i(r) = \frac{jk_0}{4\pi} \frac{e^{-jk_0 r}}{r} \exp(jk_0 \hat{i} \cdot \hat{r}_i) * \{\hat{\theta}[Z_0(-n_x H_r + H_y n_r) + (E_\theta n_r - n_\theta E_r)] + \hat{\phi}[Z_0(n_\theta H_r - H_\theta n_r) + (E_\theta n_r - n_\theta E_r)]\} * \Delta A * S$$

然后可将 E_i 化为如下形式

$$E_i(r) = \frac{e^{-jk_0 r}}{r} (\hat{A}_{\theta i} + \hat{\phi} A_{\phi i})$$

式中

$$A_{\theta i} = \frac{jk_0}{4\pi} \exp(jk_0 \hat{i} \cdot \hat{r}_i) * [(-n_x E_z \cos \phi - n_y E_z \sin \phi + n_x E_x \cos \phi + n_y E_x \sin \phi) + Z_0(n_x H_z \cos \theta \sin \phi + n_y H_z \sin \theta - n_x H_z \sin \theta - n_y H_z \cos \theta \cos \phi) + n_x H_y \cos \theta \cos \phi - n_x H_x \cos \theta \sin \phi] * \Delta A * S$$

$$A_{\phi i} = \frac{jk_0}{4\pi} \exp(jk_0 \hat{i} \cdot \hat{r}_i) * [(n_x E_y \sin \theta - n_y E_x \sin \theta - n_x E_x \cos \theta \sin \phi + n_y E_x \cos \theta \sin \phi + n_x E_z \cos \theta \sin \phi - n_y E_z \cos \theta \cos \phi) + Z_0(-n_x H_x \cos \phi + n_y H_x \sin \phi - n_x H_y \sin \phi + n_x H_z \cos \phi)] * \Delta A * S$$

式中: n_x, n_y, n_z —积分面单位法矢直角坐标分量, $E_x, E_y, E_z, H_x, H_y, H_z$ —射线管在积分面上电场和磁场的直角坐标分量, S —射线管形状函数的傅里叶变换。

假定惠更斯面上等效的电流矩 dP_{φ} 为零, 只有等效磁流矩对远场有贡献, 即在 $A_{\theta i}, A_{\phi i}$ 的表达式中, 磁场的直角坐标分量均取为零, 电场的直角坐标分量均取为原来的两倍; 积分面法矢方向为沿 z 坐标轴正向; 即 $\hat{r} = \hat{k}^i$ 观察方向与射线的入射方向相同, 则得 Hao Ling 在 1989 年提出的公式^[4]。

本文为使计算结果尽量精确, 不采用任何近似。

目标的雷达散射截面为

$$\text{垂直极化时 } \sigma_{\perp} = 4 * \pi * |A_{\phi}|^2$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}} = 2 * \sqrt{\pi} * A_{\phi}$$

$$\text{水平极化时 } \sigma_{\parallel} = 4 * \pi * |A_{\theta}|^2$$

$$\sqrt{\sigma_{\parallel}} = 2 * \sqrt{\pi} * A_{\theta}$$

以圆形截面腔体为例, 说明面元划分准则。本文主要采用每次增加一定的面元数进行考核, 如果增加一定的面元数后, RCS 的计算值基本不再变化, 就采用当前腔体面元的划分方式。

如果腔体内表面是曲面, 用于近似的面元数很多, 那么在射线求解运算中计算量可能很大, 本文采用以下方法减少计算量。

(1) 选择简单方法来确定反射线方向

$$\hat{r}' = \hat{i} - 2.0 * (\hat{i} \cdot \hat{n}) * \hat{n}$$

(2) 首先利用入射方向与面元法矢的点积小于零来判断射线与面元是否相交。

(3) 针对不同的腔体结构, 选择腔体面元旋转或者射线入射面旋转。

SBR 法将入射波划分成很多小射线管, 每一射线管经内

壁的多次互射后在离开口径面时必然会扩散,本文采用参考文献[1]的方法来保证算法的收敛性。

2.2 像素法

像素法是一种基于图像空间的 RCS 计算方法。将计算对象在一定雷达视角下进行旋转和消隐,得到目标图形后,以红、绿、蓝 3 种颜色的不同量级组合来表示法矢的 3 个分量,形成目标的像素法矢向量图,再对每一个像素进行计算。最后综合边缘计算的结果,得出目标整体的 RCS 值。

$$\sigma = \frac{4\pi}{\lambda^2} \left| \sum_{\text{像素}} \sin c \left(K_0 \frac{1}{\cos \theta} \sin \theta \right) e^{2jk_o z} \right|^2$$

2.2.1 表面散射场的计算

表面散射场可由下式求得^[5]

$$\sqrt{\sigma_2} = \frac{2\sqrt{\pi}}{\lambda^2} \sum_{\text{像素}} \sin c \left(K_0 \frac{l}{\cos \theta} \sin \theta \right) e^{2jk_o z}$$

式中: λ —雷达波波长, l —像素对应的实际边长, θ —法向矢量与射线的夹角, k_o —入射波波数。

2.2.2 边缘绕射场的计算

由远场电磁积分公式得该边缘的后向绕射场^[5]

$$E^d = -jk\Psi_0 \int_e [Z_0 I_s e_s \times (e_s \times e_t) + I_m e_s \times e_t] \cdot \frac{1}{\sin^2 \beta} \cdot e^{-jkr \cdot e_s} dl$$

取一个局部坐标 $r = r'_0 + z \times e_t$, 则有

$$E^d = \frac{2\Psi_0}{\sin^2 \beta} [(E_{i0} \cdot t) f \cdot e_s \times (e_s \times e_t) - z_0 (H_{i0} \cdot e_t) \cdot g \cdot e_s \times e_t] e^{-jkr_0 \cdot s} \frac{\sin(kl \cdot e_s)}{kl \cdot e_s}$$

将上式代入

$$\sqrt{\sigma} \lim_{R \rightarrow \infty} 2\sqrt{\pi} R \frac{E_s \cdot e_r}{E_i} e^{jkr}$$

可得^[6]

$$\sqrt{\sigma_3} = \frac{l}{\sqrt{\pi} \sin^2 \beta} [(e_i \cdot e_t) f \cdot e_s \times (e_s \times e_t) - (e_{i0} \cdot e_t) g \cdot e_s \times e_t] \cdot e_r \cdot e^{-jkr_0 \cdot s} \frac{\sin(kl \cdot e_s)}{kl \cdot e_s}$$

式中: g, f 的定义参见文献[6]。

2.3 基于散射中心的相位叠加

在高频频区,复杂目标的总散射场可由各个独立散射中心的散射场叠加而成。假定每个散射源上的场都是入射到该散射体上的场(忽略各部分之间的相互积累作用),并忽略各散射中心相互之间的多次散射和遮挡效应,如果保证 3 种算法的积分面一致,就可以对其进行相对相位叠加^[7],由于像素法和边缘绕射场的积分面为屏幕,所以只要将射线跟踪法的积分面也选为屏幕就可以进行相位叠加。

根据这一原理可以得到如下的叠加计算公式。

垂直极化

$$\sigma_{\perp} = |\sqrt{\sigma_{1\perp}} + \sqrt{\sigma_2} + \sqrt{\sigma_3}|^2$$

水平极化

$$\sigma_{\parallel} = |\sqrt{\sigma_{1\parallel}} + \sqrt{\sigma_2} + \sqrt{\sigma_3}|^2$$

应用这个叠加公式时要注意,公式中的后两项有水平极化和垂直极化之分,要保证水平极化和水平极化相加,垂直极化和垂直极化相加。

3 计算实例

3.1 矩形截面进气道

为检验射线跟踪法,选定了矩形截面进气道进行计算。口径边长 $a = b = 10\lambda$, 总长 $L = 30\lambda$, 波长 $\lambda = 3.0\text{ cm}$, 即频率 $f = 10\text{ GHz}$, $\phi = 0^\circ$ 。

参考值选用导波模式法计算的结果^[8],因为矩形截面进气道的外形可用均匀波段段进行模拟,此时导波模式理论及广义散射矩阵技术可以给出相当精确的结果^[7]。本文的计算结果与 Hao Ling 等学者的计算结果^[8]进行了比较,具体见表 1。从表中可以看出,本文的计算结果能够以相当的精度对腔体等目标的 RCS 进行预估。与 Hao Ling 等学者的计算结果相比,本文结果与参考值的吻合效果更好,另外,其收敛性也比文献[4]好。

表 1 不同方法的矩形截面直进气道 RCS 对比,
垂直极化,单位(dBλ * λ)

入射角	模式法 结果	文献[4] 结果	本文计 算结果
0	48.46	50.43	49.55
3	40.46	38.65	38.95
6	41.33	45.21	44.53
9	45.63	50.29	47.28
12	46.03	48.94	47.95
15	39.10	42.20	41.59
18	30.28	21.54	24.67
21	40.17	38.21	37.56
24	47.06	47.38	47.23
27	46.35	46.89	46.22
30	42.24	44.53	42.35

3.2 某无人机 RCS 耦合计算

图 2 是经过双 3 次样条插值得到的曲面拟合图和程序界面。

图 3 为长空靶机 RCS 值对照图,实线为本文计算得到的结果,虚线为实验值^[5],这里需要说明的是,实验值为多个角度平均值,未反映出散射 RCS 值振荡的局部情况。从图中可以看出,耦合算法计算得到的 RCS 值与实验值比较接近。在前方头部 $\theta = 0^\circ \sim 30^\circ$ 区域进气道内表面和压气机组成的腔体对整机 RCS 贡献较大, $30^\circ \sim 60^\circ$ 进气道贡献较小,没有太强的散射体,所以值相对平稳, $60^\circ \sim 120^\circ$ 之间产生一个很强的峰值,因为这一范围内垂直尾翼和机身侧面将产生很强的散射。

(下转第 269 页)

⑤ 构造三级子规划

$$\begin{aligned} & \left(\min_{\{S_{ij}\}} \frac{1}{T} \int_0^T \sum_{j \in J_i} \left[\left(1 - \frac{1}{\alpha_{ij}(t)} \ln (1 - \varphi_{ij}(t)) \right) C_{0ij}(t) + \right. \right. \\ & \quad \left. \left. (1 - \varphi_{ij}(t)) D_{ij}(t) \right] dt \right) \\ & \text{s.t. } \prod_{j \in J_i} \varphi_{ij}(t) \cong \varphi_i^*(t), t \in [0, T] \end{aligned}$$

设其最优解为 $\varphi_{ij}^*(t)$, $i \in I, j \in J_i$

⑥ 以 $\varphi_{ij}^*(t)$ 为参数依据, 重新估算 $C_{0ij}(t)$ 、 $\alpha_{ij}(t)$ 、 $D_{ij}(t)$ 曲线, 返回②, 重新求解, 直至收敛为止。这时得到的 $\varphi_{ij}^*(t)$ 为第三级各子系统的最优动态可靠度。

⑦ 在 $\varphi_{ij}^*(t)$ 下进行结构的具体优化设计

记 $\varphi_{ij}^*(t) = \max\{\varphi_{ij}^*(t) | t \in [0, T]\}$, x_{ij} 为子系统 S_{ij} 的设计变量, 对每个 $S_{ij}, i \in I, j \in J_i$ 构造如下的优化模型

$$\begin{aligned} & (S_{ij}) \min W(x_{ij}) \\ & \text{s.t. } \prod_{k \in H_{ij}} \left(1 - \frac{\sigma_{ijk}(x_{ij})}{[\sigma_{ijk}]} \right) \prod_{k \in K_{ij}} \left(1 - \frac{u_{ijk}(x_{ij})}{[u_{ijk}]} \right) = \varphi_{ij}^* \end{aligned}$$

(上接第 249 页)

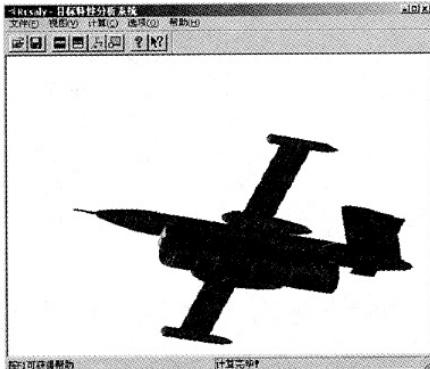


图 2 曲面拟合图和程序界面

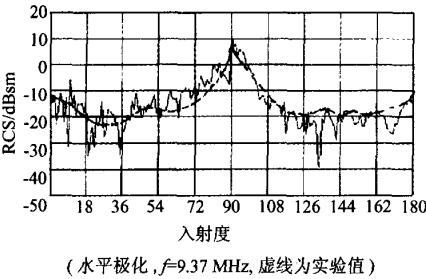


图 3 某无人机 RCS 值对照图

4 结束语

通过上述分析可以看出, 本文推导的、未经过简化处理的口径积分公式所得出的计算结果, 比文献[4]中的计算结果

式中: $W(x_{ij})$ —— S_{ij} 结构的重量或者造价; H_{ij} —— 应力约束指标集; K_{ij} —— 位移约束指标集; $[\sigma_{ijk}]$ 、 $[u_{ijk}]$ —— 许用应力和许用位移。

设其最优解为 x_{ij}^* , 则 x_{ij}^* 即为具体结构 S_{ij} 的最优设计。至此, 整个系统的全局全寿命优化设计已经完成。

本文只是理论上的初创, 许多细节尚需在今后的工作中继续完善。

参考文献:

- [1] 王光远. 工程软设计理论[M]. 北京: 北京科学出版社, 1992.
- [2] 王光远, 王文泉. 结构模糊优化设计[J]. 计算结构力学及其应用, 1984.
- [3] 谭忠富. 复杂结构优化设计的分解协调理论[J]. 黄淮学刊, 1997(1).
- [4] 朱道立. 大系统优化理论与应用[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1987.

更为精确, 与单一算法相比, 相位叠加算法是一种十分有效而实用的 RCS 计算分析方法。该算法与先进的前、后置处理方法结合起来, 可以建立可视化程度高、不受目标外形复杂程度和网格限制、RCS 分析精度高的雷达目标特性分析系统。该算法已在目标识别和靶标模拟真实目标(飞机、导弹、军舰)等方面得到了应用。

参考文献:

- [1] 郭文彦, 朱彦镇, 李海涛. 飞机进气道的高频电磁散射特性及 RCS 计算[J]. 哈尔滨工业大学学报, 1999, 31(1): 123–126.
- [2] Baldauf John, Lee Shung-Wu, Lin Luke, et al. High frequency scattering from trihedral corner reflectors and other benchmark targets: SBR versus experiment[J]. IEEE Trans. on Antennas. Propagat., 1991, 39(9): 1345–1351.
- [3] Pathak Prabhakar H, Burkholder Robert J. Modal, ray, and beam techniques for analyzing the EM scattering by open-ended waveguide cavities [J]. IEEE Trans. on Antennas. Propagat., 1989, 37(5): 642–643.
- [4] Ling Hao, Chou Ri-chee, Lee Shung. Shooting and bouncing rays: calculating the RCS of an arbitrarily shaped cavity[J]. IEEE Trans. on Antennas. Propagat., 1989, 37(2): 194–205.
- [5] 昂海松, 舒永泽, 周建江, 等. 复杂目标 RCS 计算的新方法——曲面象素法[J]. 电子与信息学报, 2001, 23(10): 962–969.
- [6] 张云飞, 武哲, 陆柱蕙. 导弹的 RCS 计算研究[J]. 北京航空航天大学学报, 2000, 26(3): 325–328.
- [7] 阮颖铮. 雷达截面与隐身技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
- [8] Ling Hao, Lee Shung-wu, Chou Ri-chee. High-frequency RCS of open cavities with rectangular and circular cross sections[J]. IEEE Trans. on Antennas. Propagat., 1989, 37(5): 649–654.

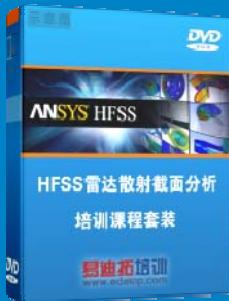
雷达散射截面（RCS）分析培训课程

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，致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养，是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、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。

雷达散射截面（Radar Cross Section，简称 RCS）是雷达隐身技术中最关键的概念，也是电磁理论研究的重要课题，使用 HFSS 软件可以很方便的分析计算各种目标物体的 RCS。

由易迪拓培训推出的《HFSS 雷达散射截面分析培训课程套装》是从零讲起，系统地向您讲授如何使用 HFSS 软件进行雷达散射截面分析的全过程。该套视频课程由专家讲授，边操作边讲解，直观易学。

HFSS 雷达散射截面分析培训课程套装



套装包含两门视频培训课程，其中：《两周学会 HFSS》培训课程是作为 HFSS 的入门培训课程，帮助您在最短的时间内迅速熟悉、掌握 HFSS 的实际操作和工程应用；《HFSS 雷达散射截面(RCS)分析》培训课程是专门讲授如何使用 HFSS 来分析计算雷达散射截面，包括雷达散射截面、单站 RCS、双站 RCS 等的定义，实例讲解使用 HFSS 分析单站 RCS、双站 RCS 和宽频 RCS 的相关设置和实际操作等。视频课程，专家讲授，从零讲起，直观易学...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/130.html>

● 更多培训课程：

● **HFSS 培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/>

● **CST 培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/>

● **天线设计培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/>