

天线-罩系统电气性能分析

柳敏静, 郭东明*, 康仁科, 贾振元

(大连理工大学 精密与特种加工教育部重点实验室, 辽宁 大连 116024)

摘要: 天线罩在保护雷达天线不受环境影响的同时, 又会对天线的电磁辐射产生某些干扰, 使天线的电气性能降低。因此, 需要对天线-罩系统的电气性能进行精确分析和仿真预测。在天线罩工程中应用较多的是射线跟踪(RT)法和平面波谱-表面积分(PWS-SI)法, 通过对比分析发现 PWS-SI 技术在分析精度和运算速度上具有较突出的优点, 同时具有精确处理天线-罩系统近场的灵活性。应用 PWS-SI 方法对某一类较小的天线-罩系统 E-面上的远场和方向图(SP)、瞄准误差(BSE)和瞄准误差率(BSES)进行了数值分析和计算, 并将仿真计算结果与实测值进行比较, 发现两者具有良好的一致性, 证明 PWS-SI 方法在预测这类天线-罩系统的电气性能上是准确有效的。

关键词: 天线罩; 射线跟踪法; 平面波谱-表面积分法; 瞄准误差

中图分类号: TN954 文献标识码: A

0 引言

天线罩是保护雷达天线不受环境影响而损坏的外壳。同时, 天线罩又对天线的电磁辐射产生某些干扰, 使天线的电气性能降低, 影响雷达的作用范围和跟踪精度等^[1,2]。因此, 需要对天线-罩综合体的电磁波的传输效率(transmittance)、瞄准误差(bore sight error, BSE)和方向图的旁瓣电平(sidelobe level)进行仿真和分析。由于天线罩壁对电磁波的衰减、反射和折射作用, 电磁波透过罩壁后产生传输损耗和波束偏移。传输损耗会降低电磁波的传输效率, 减小雷达的作用距离。而波束偏移的主要后果是增加导引头的瞄准误差, 还会导致天线的旁瓣电平升高, 引起发射管的频率牵引等。

在过去的几十年中, 人们对带罩天线的辐射问题做了大量的研究, 并形成了多种多样的分析方法。出于分析精度和计算复杂性的综合考虑, 在天线罩工程中应用较多的是基于几何光学(geometric optics, GO)近似的射线跟踪(ray tracing, RT)法^[3~5], 以及基于物理光学(physical optics, PO)近似的口径积分-表面积

分(aperture integration-surface integration, AI-SI)法^[6]和平面波谱-表面积分(plane wave spectrum-surface integration, PWS-SI)法^[7~9]。

本文首先对 RT 法和 PWS-SI 法进行详细的分析和对比, 然后应用 PWS-SI 方法对某一类较小的天线-罩系统的远场和方向图(sum pattern, SP)、瞄准误差(BSE)和瞄准误差率(bore sight error slope, BSES)进行数值分析和计算, 并将计算值与实测数据进行比较。

1 天线-罩系统电气性能分析方法

天线-罩综合体的电气性能都是通过天线的远场方向图得到的, 方向图是天线从不同方向辐射出去的功率或场强所形成的图。天线罩影响天线方向图畸变的原因相当复杂, 所以严格地分析和计算天线-罩综合体特性是非常困难的, 在实际工作中往往要对各种因素作相应的近似, 通常只讨论天线辐射场直接透过天线罩的相位和振幅的畸变和对天线辐射方向图的影响。一般情况下, 假设天线罩曲面光顺平滑, 并且曲率半径与波长相比足够大, 在射线通过罩壁点处, 采用局部平

板来近似,如图 1 所示,并且平板内的多次内部反射和表面波等大多被忽略.

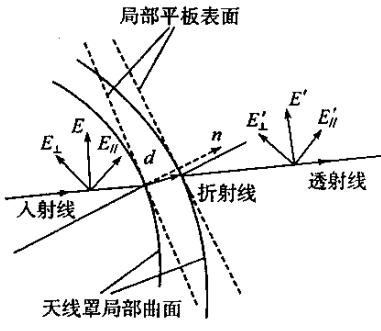


图 1 局部平板近似示意图

Fig. 1 Local flat slab approximation

常用的天线罩电气性能分析方法大多基于几何光学(GO)原理和物理光学(PO)原理.

GO 原理是麦克斯韦的零波长近似,所以说它是一种计算电磁辐射的近似方法,但对直径小到 5 个波长的天线罩,仍可以得到相当好的结果.通常用 GO 近似地对天线罩进行分析时,不考虑衍射和干涉的影响.因为 GO 只处理直射、反射和折射线,所以在接近物理边界时不能得到好的结果.由于 GO 的简便性,它经常被用来与其他方法相结合解决有关天线罩的问题.

在分析天线罩的电气性能时,PO 法一般提供比 GO 更高的计算精度,这是因为 GO 中一些假定的局限性,对直径小于约 5 个波长的天线罩,GO 的计算精度难以满足要求.

1.1 射线跟踪(RT)法

在早期天线罩的设计和分析中,广泛采用射线跟踪法,它属于几何光学范畴.1949 年飞机雷达天线罩综合体跟踪误差的研究方法还只限于 Kilcone^[3] 提出的二维几何射线跟踪法; Tavis^[4] 提出了分析轴对称天线罩的三维射线跟踪法,应用轴对称天线罩外部的等效孔径场来分析天线罩的性能; Paris 用这种方法解决了角锥喇叭在天线罩内、辐射罩外表面切向场的求解^[5].

射线跟踪法选择一些垂直于口径的等间隔平行射线,根据天线口径上的激励场分布确定每条射线的强度和相位,利用几何光学将射线引出到天线罩外面的一个新的等效口径上,如图 2 所示.它将辐射的近区场看成是一个单一的平面波,给定天线口径附近单色平面波的传播方向就是入射线的方向.在射线与罩壁交点上,采用局部平板近似,大部分能量穿过罩壁向自由空间辐射,少部

分能量经罩壁反射后沿反射线直线传播,再次穿过罩壁向自由空间辐射,形成所谓“闪烁瓣”的远区副瓣,自由空间辐射的能量相互干涉,形成天线-罩的方向图.

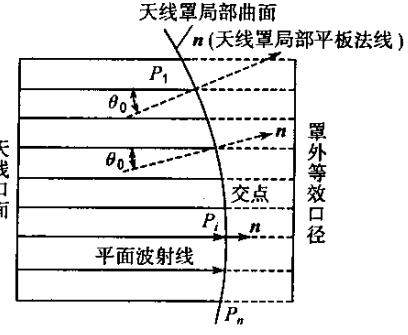


图 2 射线跟踪原理图

Fig. 2 Schematic diagram of ray tracing method

射线跟踪法简便有效,并适用于非均匀壁厚天线罩的分析.但是,几何光学-单一平面波的射线跟踪法在许多方面进行了大规模的近似,在有些近似条件较难满足的情况下,该方法的精度和可靠性就很难保证,使其适用范围受到了一定的限制.另外,射线跟踪法不能够解释天线前面加空间滤波器以后,收发方向图是否具有互易的问题.

例如,由于射线跟踪法所采用的标量克希霍夫衍射公式将天线口径看做是一个封闭曲面,忽略了天线口径边缘的线电荷和线磁荷,在计算结果上造成了一定的误差.对大天线来说,例如天线口径面积约大于 $160\lambda^2$,计算结果比较精确;对于天线面积在 $(75 \sim 160)\lambda^2$,计算结果也较令人满意;而对于天线口径面积小于 $75\lambda^2$ 时,用几何光学-射线跟踪法来计算天线罩的影响就较为勉强了.一般情况下,地面和舰载的雷达天线与波长相比都是很大的,故在考虑天线罩的影响时,可以用几何光学-射线跟踪法.而对于机载和导弹头天线,有时口径面积会小于 $75\lambda^2$,几何光学-单一平面波射线跟踪法的计算结果就不能够满足精度要求了.

1.2 表面积分(SI)法

当用 Kirchhoff-Fresnel 积分方法通过天线罩表面积分计算天线口径上任一点的场时,PO 发展为表面积分方法. Paris^[6]首先应用这种方法计算了角锥喇叭天线-天线罩综合体的方向图,结果与实测结果有很好的一致性.

表面积分法是基于 Schelkunoff 在 1936 年提

出的场等效原理,它是惠更斯原理的更严格的形式,即如果全部电磁场源限于一个封闭曲面 S 以内,则 S 面外任一点的场可由曲面上的切向电场和切向磁场求出。把它们分别看做等效的面磁流和面电流分布,通过矢量位(电和磁的)求出曲面以外的场。

SI 法是用一外部的参考平面(通常选为天线罩外表面)来重建入射平面波作为惠更斯源的网格点,然后在网格点和天线口径之间跟踪射线。表面积分法和直接射线的不同点主要体现在总的传输系数上,与单一的射线相比,SI 采用一束射线通过天线罩罩壁后积分的方法,如图 3 所示,其密集的采样点反映了曲率的变化,从而建立了更为精确的罩壁传输模型。

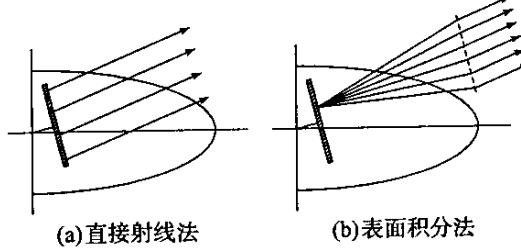


图 3 直接射线方法和表面积分方法

Fig. 3 The direct ray method and the surface integration method

在 Paris 之后, Hayward 等^[10] 也比较了这两种跟踪方法的预测值和实验数据,指出对于其中天线的口径和波长比值较小的天线罩,射线跟踪法不能精确地预测相位畸变,表面积分计算方法更为精确。

1.3 平面波谱理论和平面波谱 - 表面积分 (PWS-SI) 方法

1950 年,Booker 和 Clemmow 提出了平面波角谱的概念。随后,平面波的角谱理论被学者们成功地应用于分析波导天线的导纳、偶极天线等问题。

Wu 和 Rudduck^[7,8] 将其应用于分析计算天线口径近场,并给出了圆形孔径和条状线口径的天线分布、正切卵形天线罩的近场表达式,同时提出了采用平面波角谱展开法来分析天线罩的平面波谱 - 表面积分 (PWS-SI) 方法,主要目的在于提高带罩天线瞄准误差的计算精度。平面波角谱展开法是指:在无源区,任何单频电磁波都可以表示为沿不同方向传播的一系列平面电磁波的线性组合,在平面波谱 - 表面积分法中,把这样的平面电

磁波传播的方向作为这个子平面波对罩壁的入射线。

PWS-SI 法假设:(1) 在天线罩内表面上的近场分布是作为一个局部平面波入射到一个平面介质板来处理的。在入射处,平面波是以波印亭向量方向来传播的。这样,就能够运用由平面波入射到平板上而得到的结果。(2) 忽略天线与天线罩之间多次散射的影响。(3) 面积分技术只考虑位于天线前半空间($z > 0$) 的天线罩表面上的场。位于天线后半空间($z < 0$) 的天线罩表面上的场为 0。

后来, Joy 等^[9] 扩展了 PWS-SI 法,利用快速傅里叶变换(FFT) 加快了计算速度。万国宾等^[11,12] 进一步发展了这种方法,引入有效近场的概念,提出了一种计算远场的波谱射线法,方便了非圆形对称口径带罩天线的分析。在应用方面,刘建芬等^[13] 对带罩天线的共极化、交叉极化方向图,及罩壁反射引起的闪烁瓣进行了分析计算,获得了很好的结果。另外, Rong 等^[14,15] 也应用 PWS-SI 法对某小型天线 - 罩系统进行了精确分析。

对于机载和导弹头这类孔径面积小于 $75\lambda^2$ 的天线来说,PWS-SI 方法在分析三维天线 - 罩系统体的性能方面是一种有效的技术,PWS 的角谱理论可以使得计算更为精确。另外,与对天线口径进行空域积分的 AI-SI 法相比,PWS-SI 采用谱域积分,大大提高了计算速度,因为 AI 法的计算时间和孔径的面积成正比,而 PWS 法计算时间和孔径的直径成正比。

2 应用 PWS-SI 法分析天线 - 罩系统的瞄准误差特性实例

天线罩引起的瞄准误差 BSE 和瞄准误差率 BSES 是描述天线罩电气性能的重要参数,BSES 和 BSE 是相关的,平缓变化的 BSE 就可以得到良好的 BSES。它们的存在严重影响系统的跟踪精度,同时,BSES 还影响跟踪的稳定性,BSES 过大有时甚至会造成跟踪目标的丢失或脱靶,因而,必须将这 2 个参数控制在一定范围以内。本文主要分析天线罩引起的瞄准误差特性。

在本例中,天线为矩形波导缝隙阵列天线,口径场垂直线极化,非均匀激励,天线罩为一轴对称旋转体,属于较小的天线 - 罩系统(由于篇幅所

限,天线及天线罩的基本参数从略),因而,本文采用 PWS-SI 方法进行系统电气性能的分析.

由于天线罩具有轴对称性,为简化计算,本文采用三次 B- 样条函数对天线罩的一条母线进行插值拟合,将其绕旋转轴转动一圈得到天线罩的三维曲面. 在此基础上,进行后续的数值分析和计算.

首先应用 PWS-SI 法计算天线 - 罩系统的远场和方向图,按以下几个步骤进行:

(1) 利用对辐射天线的积分确定入射于天线罩内表面上的近场,即在图 4 中,由天线 ① 求在天线罩内表面 ② 上的场;

(2) 计算透过天线罩的外表面上的透过场,即在图 4 中由 ② 到 ③ 的场;

(3) 根据由沿罩外表面上的切线场分布,对天线罩外表面积分求得天线 - 罩综合体的远区辐射方向图,即图 4 中 ③ 到 ④ 的场.

图 4 中的 ⑤⑥⑦ 用于计算闪烁瓣.

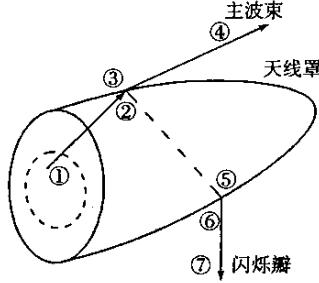


图 4 三维天线 - 罩系统

Fig. 4 3-D Antenna-radome system

经过一系列的推导可得,对口面天线,远区辐射场一点 P 的场分布可记为

$$E_P = i_R E_{px} + j_R E_{py} + k_R E_{pz} \quad (1)$$

其中

$$\begin{aligned} E_{px} &= \iint_{S_R} f_x(x_R, y_R, z_R) dS_R \\ E_{py} &= \iint_{S_R} f_y(x_R, y_R, z_R) dS_R \\ E_{pz} &= \iint_{S_R} f_z(x_R, y_R, z_R) dS_R \end{aligned} \quad (2)$$

$f_i(x_R, y_R, z_R), i = x, y, z$ 是关于天线罩上一点 $M(x_R, y_R, z_R)$ 的函数,其中包含了罩壁几何厚度、电厚度的信息;同时,它也是一个对电磁波谱的二重积分. S_R 是整个天线罩在 $z > 0$ (z 为天线坐标系内的坐标,见图 5) 部分的壳体表面积.

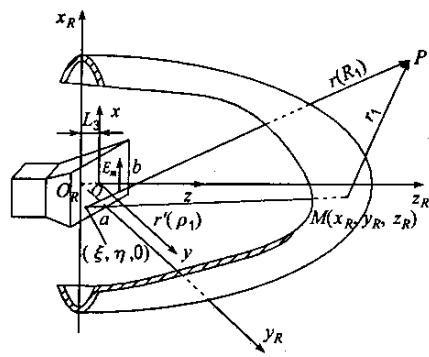


图 5 天线和天线罩的相对位置及相应的坐标系

Fig. 5 The relative position and corresponding coordinate system between antenna and radome

天线 - 罩综合体的远区辐射方向图,是以天线罩外表面上的切面场为二次源,沿天线罩外表进行积分得到的. 将对面积的曲面积分化为二重积分进行计算:

$$E_{pi} = \iint_{S_R} f_i(x_R, y_R, z_R) dS = \iint_{D_{x_R y_R}} \left[f_i(x_R, y_R, z_R) \times \sqrt{1 + z_{x_R}^2(x_R, y_R) + z_{y_R}^2(x_R, y_R)} \right] d.x_R d.y_R \quad (3)$$

在确定了天线罩曲面的数学表示以后,容易得到曲面上任意点 $P(x_R, y_R, z_R)$ 处的 $f_i(x_R, y_R, z_R)$ 和 $\sqrt{1 + z_{x_R}^2(x_R, y_R) + z_{y_R}^2(x_R, y_R)}$,接下来求出曲面在 $x_R-O_R-y_R$ 平面上的投影 $D_{x_R y_R}$,便可计算式(3).

天线和天线罩的相对位置及相应的坐标系如图 5 所示,设天线罩坐标系为 (x_R, y_R, z_R) ,天线坐标系为 (x, y, z) ,天线罩坐标原点 $O_R(0,0,0)$ 为天线的万向轮转动轴心, L_3 为天线不扫描时天线口径离开万向轮轴心 O_R 的距离.

当天线既作俯仰扫描又作方位扫描时,其平面方程在天线罩坐标系下可以表示为

$$z_R = Q_1 x_R + Q_2 y_R + Q_3 \quad (4)$$

其中 $Q_1 = -\tan \Omega / \cos \omega, Q_2 = -\tan \omega, Q_3 = L_3 / (\cos \Omega \cos \omega)$.

将天线运动状态下的平面方程(4)与天线罩曲面方程联立可得两者的交线,该交线投影到 $x_R-O_R-y_R$ 平面上所围成的部分即为式(3)中的积分区域 $D_{x_R y_R}$ [16].

因为式(3)是一个非常复杂的四重积分,本文采用 Gauss 多重积分方法对其进行计算,这样

就可以得出天线-罩系统的远区辐射场,进而获得和方向图.

图6所示为天线-罩系统的E-面和方向图的计算值与实测值的对比,考虑到测试中存在的误差,可以认为,在最大值附近,计算结果与实测结果有较好的一致性,根据该和方向图进行最大值搜索可以保证瞄准误差计算结果的准确性.

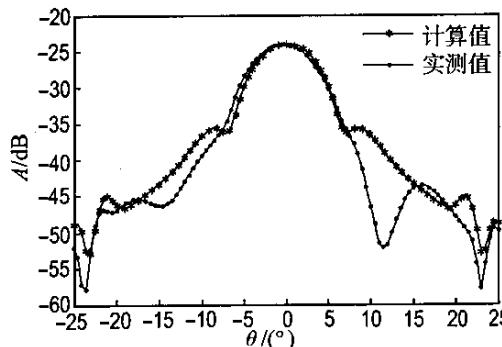


图6 E-面和方向图计算值与实测值的对比

Fig. 6 Comparison of calculated and measured results of E-plane sum-pattern

根据定义,加罩天线远场和方向图主波束最大值与天线方向角的差值即为瞄准误差.天线-罩系统的远场和方向图主波束最大值通常偏离天线方向角在几度范围内,且围绕在主波束最大值两旁,因此本文中通过对和方向图最大值搜索的方法来确定瞄准误差.在实际使用和测量过程中得知,E-面误差大于H-面误差,因此本文仅选用E面上的计算结果与实测结果进行了对比.

由于最大值搜索方法的局限性和计算过程中的截断误差,本算法的瞄准误差求解存在着一定的数值误差.应用本算法计算得到的天线-罩系统在E-面上的瞄准误差值与实测值曲线的形状在走向和最大值的位置上有着很好的一致性,如图7所示,可以认为,PWS-SI方法在预测天线-罩系统的电气性能上是准确有效的.图8所示为天线-罩系统在E-面上的瞄准误差率的计算值与实测值的对比.

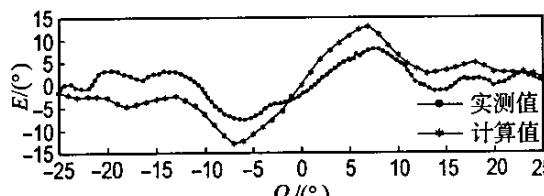


图7 E-面瞄准误差计算值与实测值的对比

Fig. 7 Comparison of calculated and measured results of boresight error in E-plane

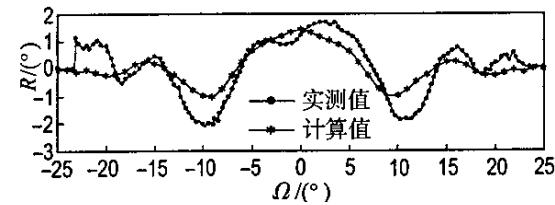


图8 E-面瞄准误差率计算值与实测值的对比

Fig. 8 Comparison of calculated and measured results of boresight error slope in E-plane

3 结 论

用于分析带罩天线辐射问题的方法多种多样,其中PWS-SI技术在分析精度和运算速度上具有较突出的优点,同时具有精确处理天线-罩系统近场的灵活性,是一种分析小型天线-罩系统电气性能的有效实用的方法.本文应用PWS-SI方法对某一类天线-罩系统的远场和方向图、瞄准误差和瞄准误差率进行了数值分析和计算,所得结果与实测结果有良好的一致性.

参 考 文 献:

- [1] 彭望泽. 防空导弹天线罩[M]. 北京: 宇航出版社, 1993.
- [2] PENDERGRASS T S. Radome analysis [A]. Contract DASG60-81-C-0109 U. S. Ballistic Missile Defense Command AD-A136805 [R]. US: [s n], 1983.
- [3] KILCONE N R. An approximate calculation of radome boresight error [A]. Proceedings of USAF/GEORGIA Technical Symposium on Electromagnetic Windows [C]. US: US Air Force System Command, 1968. 91-111.
- [4] TAVIS M. A three-dimensional ray tracing method for the calculation of radome boresight error and antenna pattern distortion [A]. Report No. TOR-0059(56860)-2 [R]. US: US Air Force System Command, 1971.
- [5] PARIS D T. Digital computer analysis of aperture antennas [J]. IEEE Trans on Antenna and Propagat, 1968, AP-16(3):262-264.
- [6] PARIS D T. Computer-aided radome analysis [J]. IEEE Trans on Antenna and Propagat, 1970, AP-18(1):7-15.
- [7] WU D C F, RUDDUCK R C. Plane wave spectrum-surface integration technique for radome

- analysis [J]. *IEEE Trans on Antenna and Propagat*, 1974, **AP-22**(3):497-500.
- [8] RUDDUCK R C. New plane wave spectrum formulation for the near-field of circular and strip apertures [J]. *IEEE Trans on Antenna and Propagat*, 1976, **AP-24**(4):438-449.
- [9] JOY E B, HUDDIESTON G K. Radome effects on ground mapping radar [A]. *Contract DAAH01-72-C-0598. AD778203* [R]. US: US Army Missile Command, 1973.
- [10] HAYWARD R A, ROPE E L, TRICOLES G. Accuracy of two methods for radome analysis [A]. *AP-S International Symposium* [C]. Seattle: IEEE, 1979.
- [11] WAN Guo-bin, TANG Shan-jing, HOU Xin-yu, et al. Plane wave spectrum and boresight error of radome-enclosed antennas [J]. *Chin J of Aeronaut*, 1999, **12**(2):106-110.
- [12] 万国宾, 汪文秉, 侯新宇, 等. 面向远场计算的波谱射线法 [J]. *电子学报*, 1999, **28**(1):127-129.
- [13] 刘建芬, 万伟. 天线-罩系统的分析 [J]. *航空学报*, 1987, **8**(1): 67-76.
- [14] RONG Hua, GUO Dong-ming, WU Xiu-qin, et al. An optimization method for calculating the boresight error of radome [A]. *CIE of the International Conference on Radar Proceedings* [C]. Beijing: [s n], 2001.
- [15] RONG Hua, GUO Dong-ming, WU Xiu-qin, et al. A numerical simulation method for analyzing the electromagnetic properties of radome constructed with discrete points [A]. *Proceedings of the International Conference on Frontiers of Design and Manufacturing* [C]. Dalian: Dalian Univ Technol Press, 2002.
- [16] 杜耀惟. 天线罩电信设计方法 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1993.

Analytical method of electrical performance of antenna-radome system

LIU Min-jing, GUO Dong-ming*, KANG Ren-ke, JIA Zhen-yuan

(Key Lab. for Precis. and Non-Tradit. Mach. Technol. of State Minist. of Edu. ,
Dalian Univ. of Technol. , Dalian 116024, China)

Abstract: Radome is designed to protect the radar antennas from the external environment. However, radome is interfering with the electromagnetic radiation of radar antenna, which may result in significant performance degradation to radar antenna systems. Therefore, electrical performance of radome-enclosed antenna has to be precisely analyzed and artificially predicted. In practice, some methods widely used are compared in detail with other methods, such as the ray tracing (RT) method and the plane wave spectrum-surface integration (PWS-SI) method. It can be concluded by comparison that the PWS-SI method has more outstanding advantages in analysis accuracy and computation time than other methods. Meanwhile, it is flexible to handle the effect of radome wall precisely. Then, the PWS-SI method is applied to numerical analysis of far-field sum pattern, boresight error and boresight error slope of a smaller antenna-radome system. The calculation results coincide with the measured results. Therefore, the PWS-SI method is accurate and effective to analyze the electric performances of smaller antenna-radome system.

Key words: radome; ray tracing method; plane wave spectrum-surface integration method; boresight error

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>