

# HFSS/UTD 混合法在天线设计中的应用

李 中, 张晨新, 王光明  
(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

**摘 要:**为精确设计某型散射通信天线,采用高频电磁仿真软件(HFSS)仿真设计反射面天线的馈源结构,然后对馈源的远场进行拟合、插值,并结合一致性绕射理论(UTD)计算整个天线的方向图。通过对天线的实测,结果吻合较好,说明该混合法对此类天线的分析精度高、速度快,在工程设计中有很大的应用空间和前景。

**关键词:**散射通信天线;HFSS;一致性绕射理论

**中图分类号:** TN823    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1009-3516(2006)06-0044-03

电磁场计算中混合法的运用越来越广泛,矩量法、共轭梯度法和快速傅立叶变换相结合的混合法对二维复杂目标电磁散射特性的研究<sup>[1]</sup>;一致性绕射理论与矩量法相结合的方法在许多方面都有成功应用<sup>[2]</sup>。而在本文中,利用流行的商业软件 HFSS 进行馈源远场方向图的设计,然后在一定辐射空间范围内对方向图进行多项式拟合,结合 UTD 分析设计了一套偏馈式切割反射面天线。我们知道,流行的电磁场仿真软件 HFSS 采用有限元方法,具有良好的对电小天线的分析精度,但在分析电大尺寸导体上的天线时,由于受到计算机资源的限制,其计算效率低、精度差。而高频近似法由于简单易行,一直统治着电大尺寸目标的电磁散射特性计算领域,因此,把两者有效结合,其分析结果更加准确和快捷,是一种很好的计算手段<sup>[3]</sup>。

## 1 馈源的理论分析与设计

设计的天线用于某武器系统的散射通信中,工作在 C 波段,频带宽度 600 MHz,驻波比 < 1.5;增益 > 34 dB,第一副瓣电平(FSLL) < -20 dB,极化方式为垂直极化。在兼顾性能与成本的基础上,采用角锥喇叭作为馈源结构,根据在反射面边缘上的照射锥削,形成非旋转对称的远场方向图。我们可以简单地利用口面场的傅立叶变换,得到馈源的远区辐射场。若孔径位于  $xy$  平面内,其远区场可以表示为<sup>[4]</sup>

$$E_{\theta} = \frac{jke^{-jkr}}{4\pi}(1 + \cos\theta)(f_x + \cos\varphi + f_y \sin\varphi) \quad (1)$$

$$E_{\varphi} = \frac{jke^{-jkr}}{4\pi}(1 + \cos\theta)(f_x + \cos\varphi + f_y \sin\varphi) \quad (2)$$

式中,  $Z_0$  为自由空间波阻抗,  $f_x$  和  $f_y$  构成矢量  $f$  的两个分量,而

$$f = \iint_S E_a e^{jk \cdot r} dS' \quad (3)$$

为孔径电场分布  $E_a$  在孔径面  $S$  内的二维傅里叶变换。

对馈源的孔径辐射模型进行编程计算,并把中心频率点计算结果与仿真和实测所得的结果作一比较,如图 1、图 2 所示。

收稿日期:2006-05-18

基金项目:国家“863”创新基金资助项目(2003AA005044)

作者简介:李 中(1980-),男,湖南安乡人,博士生,主要从事电磁辐射与散射、超宽带通信研究。

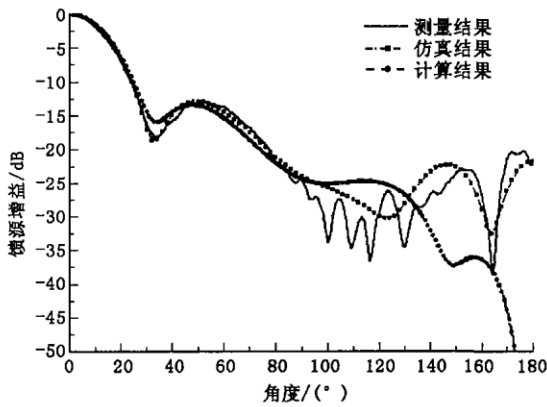


图 1 馈源 E 面方向图

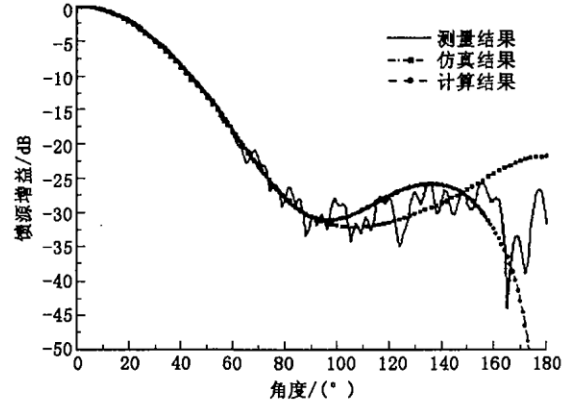


图 2 馈源 H 面方向图

从图中可以看出,馈源方向图的仿真结果比计算结果更加吻合真实结果,这正是因为编程计算的孔径辐射模型只是一种近似模型。为了使设计的天线方向图更加准确,我们把 HFSS 仿真得到的馈源方向图曲线进行多项式拟合,得到馈源两个主面上的方向图函数  $E_e(\theta)$  和  $E_h(\theta)$ 。然后在整个立体空域内对馈源的 E 面和 H 面两个主方向图插值,如下式

$$E(\theta, \varphi) = E_e(\theta) - (E_e(\theta) - E_h(\theta)) \cos^2(\varphi) \quad (4)$$

## 2 天线的 UTD 分析

在方向图的主瓣和近副瓣范围内用口径场法或物理光学法进行计算是比较精确的,但在远副瓣和后瓣范围内误差相当大。为了更精确地计算该天线方向图的远副瓣和后瓣,用一致性几何绕射理论来计算,加以修正和改进<sup>[5]</sup>。

绕射场一般可表示为

$$\mathbf{E}^d(s) = \mathbf{E}^i(0) \bar{D}A(s) \exp(-jks) \quad (5)$$

式中,  $\mathbf{E}^d(s)$  为观察点处的绕射场强矢量;  $s$  是沿绕射射线从绕射单元到远场观察点的距离;  $\mathbf{E}^i(0)$  是绕射点处的人射波场强矢量;  $\bar{D}$  为并矢绕射系数,它与入射波的极化、入射角、绕射单元属性等有关;  $A(s)$  是绕射场的扩散因子,它描述了绕射射线管的横截面在传播过程中的变化。

在射线基坐标系中,  $(s', \beta_0', \phi')$  和  $(s, \beta_0, \phi)$  分别表示入射和绕射坐标系,则并矢绕射系数  $\bar{D}$  一般可表示为

$$\bar{D}(\phi, \phi', \beta_0) = -\hat{\beta}_0' \hat{\beta}_0 D_s(\phi, \phi', \beta_0) - \hat{\phi}' \hat{\phi} D_h(\phi, \phi', \beta_0) \quad (6)$$

式中,  $D_s$  和  $D_h$  称为标量绕射系数,  $D_s$  为劈面的软边界条件(狄里赫利边界条件)绕射系数,  $D_h$  为硬边界条件(诺依曼边界条件)绕射系数,并有

$$D_{s,h}(\phi, \phi', \beta_0) = \frac{\exp(-\frac{j\pi}{4}) \sin(\frac{\pi}{4})}{n \sqrt{2\pi k s} \sin \beta_0} [(\cos \frac{\pi}{n} - \cos \frac{\phi - \phi'}{n})^{-1} \pm (\cos \frac{\pi}{n} - \cos \frac{\phi' + \phi}{n})^{-1}] \quad (7)$$

上式中  $n$  表示外劈角系数。

## 3 测试结果

采用 Agilent 8720ET 矢量网络分析仪测量了天线的匹配特性,把天线测试得到的驻波比和馈源的仿真结果放在一起作一比较,如图 3 所示。从图中可以看出,在整个工作频带(600 MHz)内,馈源仿真结果与天线测量结果差别不大,从而也说明了偏馈反射面天线较好地解决了口径遮挡的问题。所以设计时可以简单地把馈源的匹配特性近似地作为整个天线的匹配特性加以考虑。

在符合远场测试条件下的测试场地对天线的方向图特性进行了实测。天线的增益为 35 dB,水平面方

向图特性如图4所示。

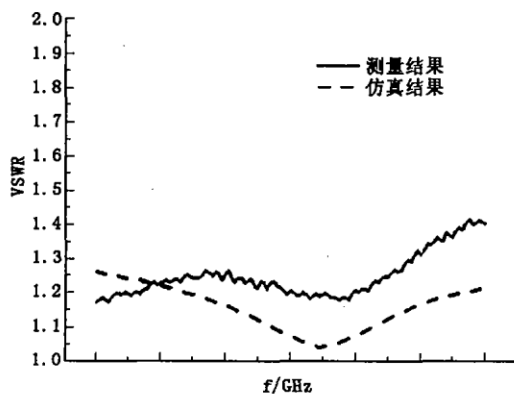


图3 仿真和测量的驻波比曲线图

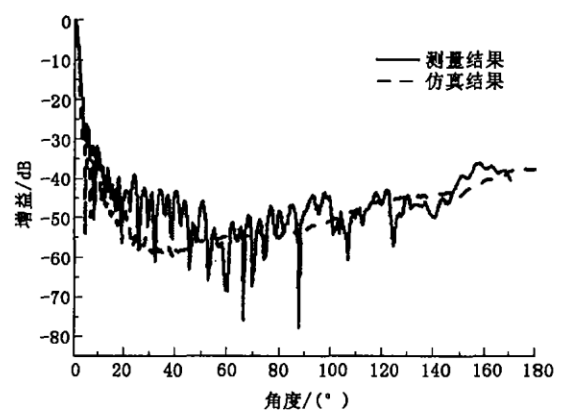


图4 天线水平面方向图

为了更好地说明该混合法计算的有效性,把计算和实测的天线方向图作一比较。从图4中可以看出,天线的方向图与计算结果吻合较好。由于人为地把 $20^\circ$ 方向作为物理光学和几何绕射理论的分界点,给 $20^\circ - 40^\circ$ 的方向图带来的误差较大,并且馈源的安装位置与反射面的表面公差也会给天线的方向图产生一定的影响。天线总的性能完全满足设计指标,现已批量生产投入使用。

## 4 结论

利用高频方法UTD与现有的电磁场仿真软件HFSS相结合,克服后者在计算电大尺寸导体上的天线时精度差、速度慢的特点。通过该设计思想,成功地研制了一套低副瓣的散射通信天线。总的来说,该混合法精确度高、实用性强、灵活性大,是一种很好的计算手段。

### 参考文献:

- [1] 张晨新,王积勤,王光明,等.二维复杂目标电磁散射的计算机仿真[J].空军工程大学学报(自然科学版),2000,1(1):50-54.
- [2] Gary A Thiele, Thomas H Newhouse. A Hybrid Technique for Combining Moment Methods With the Geometrical Theory of Diffraction[J]. IEEE on AP, 1975, 23(1): 62-69.
- [3] 郭景丽,刘其中. HFSS/UTD混合法计算电大尺寸导体上的天线[J].微波学报,2005,21(2):17-19.
- [4] 林昌禄,聂在平.天线工程手册[M].北京:电子工业出版社,2002.
- [5] 李中.散射通信天线的研制[D].西安:空军工程大学导弹学院.2005.

(编辑:田新华)

## Hybrid Application of HFSS / UTD in the Design of Antenna

LI Zhong, ZHANG Chen-xin WANG Guang-ming

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, Shaanxi, China)

**Abstract:** In the design process of some scatter communication antenna, the feed is simulated and devised with high frequency simulation software (HFSS). The far field property of feed is fitted and interpolated, and the directivity pattern of the whole antenna is calculated combining uniform geometrical theory of diffraction (UTD). Through measuring the practical antenna, the results are consistent well, which proves that the hybrid method is of great precise and high speed in the analysis of this kind of antenna. And the method shows a tremendous application space and prospect in the engineering design.

**Key words:** scatter communication antenna; HFSS; UTD