

文章编号:1671-0576(2011)02-0039-04

电磁仿真软件在天线罩电气性能分析中的应用

吴秉横, 刘元云, 顾昊, 施凌飞

(上海无线电设备研究所, 上海 200090)

摘要: 为实现天线罩电气性能参数的精确仿真, 利用基于有限元方法的 Ansoft HFSS 软件对天线罩进行仿真分析。该仿真方法建模方便、便于更改, 完全模拟天线罩的实际工作状态, 具有计算精度高、可靠性强等特点, 有效解决了传统的高频近似算法分析天线罩电性能自身具有的精度偏低等问题。

关键词: 天线罩; 几何建模; 电性能仿真

中图分类号: TN820. 81

文献标识码:A

Application of Radome's Electric Property Analysis Using Electromagnetic Simulation Software

WU Bing-heng, LIU Yuan-yun, GU Hao, SHI Ling-fei

(Shanghai Radio Equipment Research Institute, Shanghai 200090, China)

Abstract: The Ansoft HFSS software based on Finite Element Method (FEM) is used in order to achieve the accurate simulation of radome's electric property parameters. By this method, the model is easy to found and modify. This method can simulate the radome's actual operation condition completely and has the characteristic of high calculation precision and reliability. Besides, the simulation method can effectively resolve the problem of low calculation precision which is existed in the traditional high-frequency algorithm when used in analyzing the electric property.

Key words: radome; geometric model; electric property simulation

0 引言

随着武器装备的发展, 对天线罩的电性能设

计提出了越来越高的要求, 传统的几何光学、物理光学等近似算法由于精度偏低、误差偏大等缺点, 已难以满足天线罩的设计分析要求, 成为天线罩设计的重要瓶颈之一。在计算机飞速发展的基础之上, 随着计算机的硬件配置不断更新以及仿真软件的普及, 天线罩的电性能设计步入了一个崭新的领域, 借助电磁仿真软件的天线罩电性能设

收稿日期: 2011-02-18

作者简介: 吴秉横(1982-), 男, 博士, 工程师, 主要从事天线和天线罩设计方面的研究。

计成为研究热点之一。

目前,微波领域中几种常用的仿真软件主要有基于有限元算法(Finite Element Method, FEM)的 Ansoft HFSS 软件^[1]、基于时域有限积分方法(Finite Integration Method in Time Domain, FIMTD)的 CST Microwave Studio 和基于矩量法(Method of Moment, MOM)的 FEKO 软件等^[2,3]。其中 Ansoft HFSS 软件具有结构适应性好、适合求解介质、精度高、速度快等特点,同时广泛应用于单脉冲天线的仿真设计,因此在天线罩的仿真设计领域,HFSS 软件具有良好的应用前景^[4]。

本文对应用电磁仿真软件分析天线罩电气性能的方法进行了研究,分别给出了天线罩的建模和仿真流程,并对 HFSS 软件的仿真设置进行了深入地探讨。

1 天线罩的几何建模和仿真分析

1.1 天线罩的壁厚设计

天线罩的初始法向壁厚基于几何光学-二维射线追踪理论,具体的壁厚设计公式^[5]:

$$d = \frac{m\lambda}{2\sqrt{\epsilon_r - \sin^2\theta}} \quad (m = 1, 2, \dots) \quad (1)$$

式中: λ 为波长; ϵ_r 为罩体材料的介电常数; θ 为入射角。令 $m=1$ 即确定了天线罩的半波壁厚设计公式。

由此可知,在已知天线的工作频率以及罩体材料的介电常数的前提下,只要确定了入射角 θ ,便可确定天线罩的初始壁厚。

由于安装于天线罩腔内的天线工作时在一定的转角范围内旋转扫面,因此对于天线罩表面的每一点,入射角都有一个变化范围,这些入射角分别是天线孔径面上各条射线产生。对于天线罩表面上某一个需要求解壁厚的点,根据总体给出的外形线方程,求出天线在旋转不同角度时天线口面垂直射出且通过该点的射线,便可求出该点在各种转角下的人射角,然后根据这些射线所含能量的轻重关系进行逻辑分析,从而可以求出平均入射角作为该点的人射角 θ 代入式(1),从而求出该点的初始法向壁厚^[6]。

依据上述壁厚设计的天线罩可以保证电磁波

以最小的能量损耗穿过天线罩,然而天线罩的各项电气性能参数中,除了表征电磁波穿透特性的功率传输系数外,还有瞄准线误差以及瞄准线误差斜率等更为关键的参数。

因此,在确定了天线罩的初始壁厚之后,需要对此天线罩的电气性能进行分析,通过仿真结果改进天线罩的设计参数,即对天线罩的法向壁厚进行优化,最终获得满意的天线罩法向壁厚设计结果。

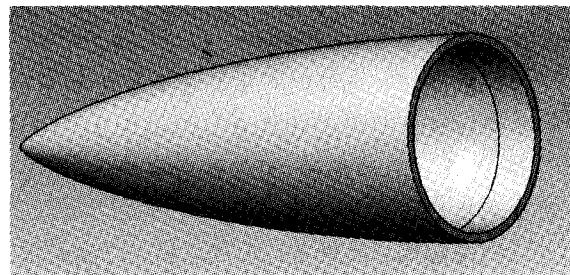


图 1 天线罩的罩体结构

1.2 天线罩三维几何模型的建立

为了实现天线罩的电气性能分析,在确定了天线罩的法向壁厚之后,需要对天线罩进行建模。根据总体给出的外形母线方程以及法向壁厚,借助 MATLAB 软件,可以计算出天线罩的内形曲线坐标。

为了精确的构造天线罩模型,借助 Solidedge 结构软件,选择“按表创建曲线”,将存在 Excel 表格中的外形线和内形线坐标导入,根据样条函数拟合曲线,构造天线罩罩体,罩体的结构如图 1 所示。将该模型导出为 .sat 文件,便可导入电磁仿真软件,分析天线罩的电气性能。

1.3 天线罩电气性能的仿真分析

天线罩的电气性能参数主要包括功率传输系数、瞄准线误差和瞄准线误差斜率等指标,目前仿真分析天线罩电气性能的方法可分为高频方法和低频方法两种。其中,高频近似法主要以几何光学和物理光学理论为基础,而低频数值方法则是以麦克斯韦电磁场理论为基础。

在众多高频近似法之中,射线追踪法因其物理概念简单,操作简单易行等特点,成为天线罩工程中重要的分析手段。该方法利用射线追踪技术计算天线口面垂直发出的若干条射线穿透天线罩

时的幅度和相位变化,通过一系列推导计算得出天线罩的功率传输系数和瞄准线误差等参数^[7]。然而,高频方法由于将电磁波等效为平面波,同时忽视了电磁波在天线罩与天线之间的多次反射,因此存在一定的误差,尤其对于罩体的曲率半径较小的情况,计算精度明显不足。

随着高速大容量计算机的应用,一些低频的电磁仿真方法相继引入到天线罩的电气性能分析中。借助成熟的商用软件,工程师们可以方便地运用这些电磁仿真方法完成仿真。在众多电磁仿真软件中,基于有限元方法的 Ansoft HFSS 软件以其良好的用户界面和精确的计算精度在天线和天线罩仿真领域具有重要的地位和广阔的应用前景。

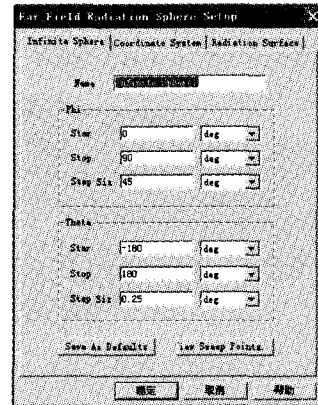
应用 HFSS 进行天线罩仿真,首先将在 Solidedge 中建立的天线罩. sat 文件导入到 HFSS 软件中,同时导入天线模型文件,通过总体给出的天线罩和天线以及转动中心的相对关系,借助平移、旋转等指令将天线和天线罩移动到其实际工作状态所在的位置,并且确定模型中各个部分的材料以及介电常数。

为了分析远场辐射特性,在确定了天线和天线罩的具体位置后,还需画出一个距辐射源足够远的透明辐射表面,设置为辐射边界。本文以一个矩形盒子作为辐射边界,并放在离天线罩大约四分之一波长的位置,软件将通过在此虚拟盒子上进行积分来求解远场辐射特性,以得到远场方向图等指标,如图 2 为天线罩仿真辐射边界的设置。

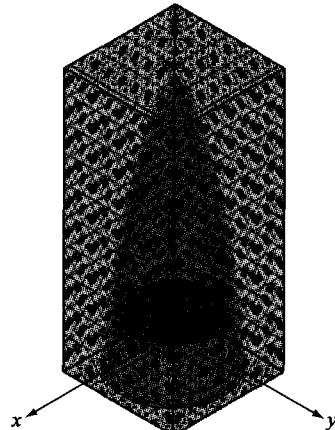
为了分析天线罩的功率传输系数、瞄准线误差等电气性能参数,需要将天线或罩体旋转不同的角度,获取该状态下的天线辐射方向图。在仿真过程中,采用天线静止、天线罩相对天线旋转的方法,通过计算天线罩旋转不同角度时天线的辐射方向图得出天线罩的功率传输系数和瞄准线误差曲线。

在 HFSS 软件中,可以设置天线罩的旋转角度为一个变量,通过对该变量进行扫参计算,可以自动计算并存储天线罩旋转不同角度时的天线辐射方向图。由于天线罩的影响,单脉冲天线差方向图的零深位置以及零深值都发生了变化,通过读取零深位置,便可得出带罩天线的零深位置曲

线,将这些值与在此之前已经仿真得出的不带罩时天线的零深位置相减,便可得出天线罩的瞄准线误差。



(a) 辐射边界设置



(b) 辐射边界模型图

图 2 天线罩仿真辐射边界的设置

2 Ansoft HFSS 软件的仿真设置

2.1 Ansoft HFSS 软件的计算精度

对于频域问题的求解,有限元法是各种数值算法中最为成熟可靠的算法。使用有限元法,一旦确定了控制方程及计算求解区域,就需要进行网格剖分。在有限元分析步骤中,网格剖分是非常重要的一步,其直接影响到计算机内存需求、计算时间和数值结果的精确度。

借助 Ansoft HFSS 软件自带的自适应剖分网格工具,逐步细化剖分天线和天线罩模型,可以高精度地仿真计算天线和天线罩的电气性能,消除了射线追踪法带来的远场近似问题,提高了设

计精度,大大提高了试验成功率,降低了研制周期。

图 3 为天线罩的网格剖分模型,图中的天线罩被分解成一个个微小的四面体,通过求解各个四面体的边值问题,便可实现天线罩的仿真。

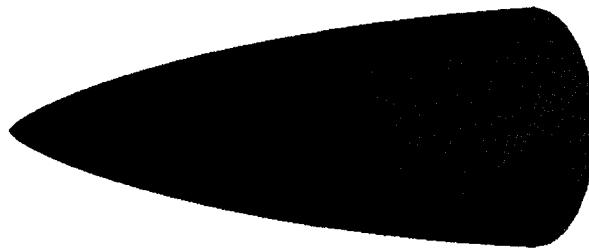


图 3 天线罩的网格剖分模型

2.2 模型和计算空间的精简

应用 HFSS 进行仿真,其计算区域直接影响着计算速度和计算精度。计算空间太大,导致网格数量增多,消耗大量的内存和计算时间却并不能提高计算精度;计算空间太小,无法完成预定区域的仿真,影响了系统的计算精度。

因此,在仿真天线罩的时候,需要根据具体需要对天线和天线罩的模型进行简化,以期待在不影响计算精度的前提下提高计算速度。对于单脉冲体制的天线,可以将天线中诸如和差器等组件删除,只需保留辐射波导和耦合波导,通过对耦合波导激励实现和差波束的控制。

除此之外,对于天线基本辐射不到的天线罩根部区域,根据具体要求也可以进行裁剪,这将极大地节约计算量,提高计算速度。

2.3 辐射边界的设置

Ansoft HFSS 软件中辐射边界的设置直接影响了远场方向图的结果。由于仿真过程中,天线罩沿转动中心旋转,而距离罩体四分之一波长的矩形辐射边界同样在旋转,导致了罩体旋转不

同角度时辐射边界相对天线是变化的,这带来了远场方向图的计算误差,应将辐射边界保持相对天线位置不变,同时保证天线罩始终在辐射边界内,这就需要扩大辐射边界,势必导致计算时间大幅度提高,因此这种设置只能在计算机硬件配置很高的前提下应用。

3 结论

本文借助 Ansoft HFSS 软件,研究了电磁仿真软件在天线罩电气性能分析中的应用。通过介绍天线罩壁厚的设计、几何模型建立方法和 HFSS 软件的仿真设置,给出了应用电磁仿真软件进行天线罩电气性能分析的具体方案,验证了该方法的可行性,并且对 HFSS 软件的仿真设置进行了研究和探讨。

参考文献

- [1] M. V. K. Chari, P. P. Silvester 著. 史乃, 唐任远等译. 电磁场问题的有限元解法 [M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [2] T. Weiland. A Discretization Method for the Solution of Maxwell's Equations for Six-component Fields [J]. Electronics and Communication AEU, 1977, 31(7): 116-120.
- [3] R. F. 哈林登, 著. 王尔杰, 等译. 计算电磁场的矩量法 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1981.
- [4] 谢拥军, 刘莹, 等. HFSS 原理与工程应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [5] 杜耀惟. 天线罩电信设计方法 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1993.
- [6] 彭望泽. 防空导弹天线罩 [M]. 北京: 宇航出版社, 1993.
- [7] 张漠杰. 主被动复合天线罩瞄准线误差分析 [J]. 制导与引信, 2003, 24(3): 33-37.

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>