

天馈同技术

基于 ANSYS 与 Delphi 天线电性能分析平台的设计*

王从思, 段宝岩, 仇原鹰, 邵晓东

(西安电子科技大学机电工程学院, 西安 710071)

【摘要】 天线结构设计人员由于不甚了解电磁理论, 不能进行严格理论分析和计算, 只是依靠经验设计天线机械结构, 从而保证天线反射面满足电气设计人员提出的精度指标要求。结果在工程中造成浪费。因此, 有必要建立天线电性能分析平台, 在天线虚拟电子样机设计之后, 利用该平台计算天线电性能, 判断天线结构是否满足要求。该平台可用来指导天线结构设计人员的工作, 改进天线设计手段和方法, 提升设计分析质量, 降低天线设计与制造成本。

【关键词】 ANSYS 软件; Delphi 软件; 天线; 电性能; 变形模型

中图分类号: TN82 文献标识码: A

Development of Electrical Performance Analysis Platform of Reflector Antenna Based on ANSYS and Delphi

WANG Cong-si, DUAN Bao-yan, QIU Yuan-ying, SHAO Xiao-dong

(School of Electromechanical Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China)

【Abstract】 Due to little knowledge of electromagnetic theory, antenna structure designers generally depend on experience to design the mechanical structure of antenna to meet the surface precision requirement required by electrical designers. This is a phenomenon which causes enormous resource waste in engineering. Therefore, it is necessary to develop an electrical performance analysis platform of reflector antenna, by means of which the electrical performance of antenna can be calculated, thus making it possible to evaluate whether the antenna structure satisfies the requirements after completion of simulated electronic prototype of antenna. The platform can provide the theoretical guidance and assistance to the structure designer, improve antenna design efficiency and reduce the cost of designing and manufacturing antenna.

【Key words】 ANSYS; Delphi; antenna; electrical performance; distortion model

0 引言

天线结构设计的基本目标是在一定条件下保证天线反射面精度, 从而确保被天线反射面接收的电磁波可以有效聚焦, 最终保证天线电性能指标。在工作中有些电讯人员, 并没有经过严格的理论分析和计算, 因而造成天线反射面精度指标要求过高。这往往会出现一些问题, 如:(1)对于反射面精度指标要求过高, 增加了结构设计和制造的难度和成本;(2)只注意单个零部件的精度, 忽视了整机的精度。随着天线在国防中的应用越来越普遍, 提高天线设计效率与减少天线成品次品率就显得更加重要。因此, 需要研究天线机电耦合性能分析理论, 建立天线结构精度(特别是整机精度)与电性能之间的量化计算关系, 并将其设计成软件平台, 通过调用天线结构有限元建模分析、优

化设计等功能模块来实现天线电性能的实时仿真分析, 达到判断天线结构设计是否合理的目的, 从而指导天线结构设计人员的工作, 改进天线设计手段和方法, 提升设计分析质量^[1]。

天线电性能分析平台的基础之一是天线有限元建模分析模块。整个平台设计原理是, 首先利用有限元分析软件 ANSYS 分析天线结构, 得到天线变形信息。然后, 利用在 Delphi 软件环境下编制的分析计算程序, 分析天线变形信息, 给出当前设计与工作条件下的天线电性能, 判断当前天线结构设计是否合理, 提出修改指导意见。同时也可进一步地合理分配各零部件的精度要求。

通过应用天线电性能分析平台, 用户可以有效地估算不同工况下天线结构对电性能(辐射方向图、增益、副瓣电平等)的影响, 避免盲目满足分配精度, 把

* 收稿日期: 2004-08-30 修订日期: 2004-11-25

基金项目: 国防科工委预研项目(Y0215804)

机械设计与电气设计有效结合起来,充分发挥天线机械结构设计人员的作用,实现提高天线设计与制造效率,及降低设计与制造成本的目的。

1 抛物面天线的结构设计

根据整个天线结构设计系统软件平台的要求,建立天线电性能分析平台需首先构建天线参数化设计系统与天线结构有限元建模分析系统。为更好地理解电性能分析计算系统,本文对这两个系统做简单介绍。

1.1 面天线参数化设计系统

抛物面天线结构呈旋转对称性,适合参数化造型。因此,面天线结构参数化设计系统在现有商品化 CAD 软件基础上进行二次开发,建立面向天线设计的天线快速建模软件。用户只需输入一些结构参数,零件绘制、部件装配、整件装配的过程就完全由程序自动完成,并能实时动画显示。

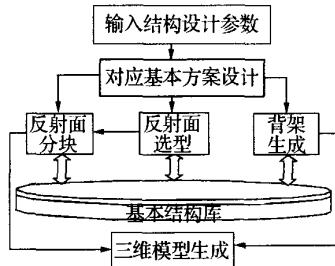


图 1 面天线参数化设计系统

图 1 给出了面天线参数化设计系统流程。该设计系统可从整体上控制天线结构,包括反射面形状、骨架类型的确定,反射面自动分块,由辐射梁、环梁及副梁信息自动生成骨架,以及生成反射面与骨架的连接等,从而形成抛物面天线的雏形,构成用户操作基础。利用 I - DEAS 的交互功能,可在此三维模型基础上进行操作,修改天线模型^[2]。

1.2 面天线有限元建模系统

抛物面天线结构一般由中心体、骨架、反射面、加强筋等组成^[3]。根据抛物面天线结构旋转对称特点,利用通用有限元分析软件 ANSYS 的前处理功能,可方便快速地建立天线结构分析模型,显著提高天线结构设计能力和效率,改进天线产品性能^[4,5]。完成天线结构设计后,利用有限元建模系统对天线结构性能进行分析,包括结构载荷响应分析(如重力、风荷、温度)和模态分析(固有频率、固有振型)等。

天线结构建模仿真的基本流程如图 2 所示。首先在用户整体控制下形成一个典型的三维天线模型,用户在此模型基础上可方便地进行局部修改。当用户修

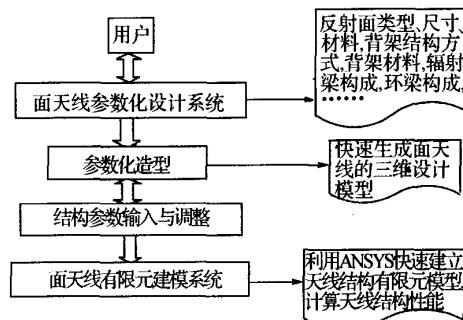


图 2 面天线结构建模仿真流程图

改满意后,便进入有限元分析模块,对模型进行有限元分析,评估天线结构力学性能。同时,此模块也可对天线结构进行优化设计分析。

2 电性能分析平台的设计

天线电性能分析平台作是天线结构综合设计平台的一个非常重要的子系统,并在天线设计仿真阶段提供天线性能判断的准则方面发挥重要作用。平台首先通过 ANSYS 软件分析某种工况下的抛物面天线结构,得到天线反射面变形信息。接着,根据天线机电耦合性能分析理论,计算所需天线电性能。最后,利用基于 Delphi 软件系统下的电性能分析平台,以图形与数值的形式给出分析结果。图 3 给出的就是天线电性能分析平台的输入界面。



图 3 电性能分析平台的输入平面

目前成熟的软件开发环境主要有 Borland 公司的 Delphi 和 C++ Builder、微软公司的 VB 和 VC。综合考虑开发环境的功能、易用性等各项指标,以及用户的要求等,选定 Delphi6.0 作为天线电性能分析平台的开发环境。

在参数输入界面内,每个 Edit 输入项都利用 Delphi 的异常处理功能与 MessageDlg 功能。在输入数据类型错误或没有输入等各种情况下,执行异常处理与 MessageDlg,给出相应信息,指导用户操作,避免输入错误造成难以预料的不良结果^[6,7]。

2.1 分析模型的建立

天线电性能分析计算的基础是得到天线变形反射面的详细信息。因此,首先调用 ANSYS 软件进行天线结构有限元分析,并编制生成含有天线信息的文本文件程序。这些文本文件包含的内容有天线基本结构参数,反射面变形前后采样节点的坐标,坐标系统转化需要的参数等。电性能分析平台在内部自行读取这些文本文件,同时建立天线变形反射面分析模型。

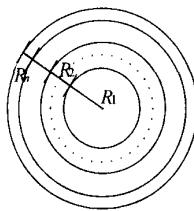


图 4 反射面轮廓偏差分环图

图 4 给出的反射面轮廓偏差分环图是天线变形反射面分析模型建立的关键。分析模型假设把天线口面分成 n 个环,同时假设每个分环的误差与其它环的误差相互独立。这对短相关长度的误差是合适的,但实际中经常遇到的如热变形这样的光滑变化的误差,它就不再适用了。实际上具有长误差相关性的表面变形经常会更容易地对反射面性能造成破坏。这需要专门深入地加以研究。

下面分析第 i 环域的表面变形引起的口径相位误差 δ_i 。它可由几何光学法构造出

$$\delta_i = \frac{4\pi}{\lambda} \varepsilon_i \cos \zeta_i \quad (1)$$

式中: $\tan \zeta_i = \rho_i' / 2f$, f 表示焦距; ρ_i' 为第 i 环域中心对应的半径; ζ_i 为第 i 环域中心与焦点的连线与焦轴的夹角; ε_i 为第 i 环域法线方向的表面变形误差。这里假设表面误差不改变反射线方向,且 δ 仅依赖 ρ' ,而与 Φ' (天线口面方位角)无关。

取节点变形后位置的法线方向余弦等于相应原设计抛物面上节点位置的法线方向余弦^[8]。原设计抛物面上的理论位置 (x_p, y_p, z_p) 对应的法线方向余弦为

$$l = \frac{-x_p}{2\sqrt{f(f+z_p)}}, m = \frac{-y_p}{2\sqrt{f(f+z_p)}}, n = \sqrt{\frac{f}{f+z_p}} \quad (2)$$

于是,节点变形后与拟合曲面的交点就可方便地确定下来。相应的节点法向偏差就得到了。再令第 i 环域有 p_i 个采样节点,则其表面变形误差为

$$\varepsilon_i = \sum_{k=1}^{p_i} \varepsilon_{ik} \quad (3)$$

已知每个环域的表面法向偏差后,就可确定相应的口径相位误差,同时也建立了天线变形反射面分析模型。

在上述计算过程中,为方便节点信息的存贮,采用 Delphi 软件的记录类型 Record,把采样节点坐标、位移、偏差等都用一个变量表示。这样做的目的也是为了提高节点选择、坐标变换等大量工作的计算速度,缩短平台分析计算的时间。

2.2 电性能的分析

天线电性能包括效率、增益、副瓣电平等许多参数,一般给出其辐射方向图与轴向增益即可。面天线的远区场强与口径分布的傅里叶变换成比例,其公式如下^[9]

$$E(u) = 2\pi d^2 \sum_{i=1}^n E_{i,i-1}(u) e^{j\delta_i} \quad (4)$$

式中

$$E_{i,i-1}(u) = E_i(u) - E_{i-1}(u) \quad (5)$$

$$E_i(u) = \int_0^{u/n} Q(\rho) J_0(u\rho) \rho d\rho \quad (6)$$

这里应用了第一类 Bessel 函数

$$J_n(x) = \frac{(-j)^n}{2\pi} \int_0^{2\pi} e^{jx \cos \varphi} \cos(n\varphi) d\varphi$$

式(4)中, δ_i 是变形模型中得到的第 i 个环域对应的相位误差。式(6)中的 $Q(\rho)$ 代表天线口径场振幅分布,其表达式为

$$Q(\rho) = B + C(1 - \rho)^p \quad (B + C = 1) \quad (7)$$

上式中的 P 表示口径场分布参数, B, C 由照射锥削 ET 决定。

反射面变形引起的天线增益损失为

$$\Delta G = 10 \lg \frac{G}{G_0} = 10 \lg e^{-(2\pi \bar{\varepsilon}_\rho / \lambda)^2} = \\ 10 \lg \left[1 - \left(\frac{2\pi \bar{\varepsilon}_\rho}{\lambda} \right)^2 \right] \quad (8)$$

式中: G_0, G 分别是反射面变形前后的天线增益; $\bar{\varepsilon}_\rho$ 为反射面径向偏差均方根值。

馈源选为常用的接近于圆对称的 $\cos^n \alpha$ 馈源,用来确定天线在最大辐射方向的增益。此平台对辐射场强进行归一处理,来表示天线辐射方向图,即绘出天线归一化辐射方向图。并采用直角坐标方向图,它虽不如极坐标方向图直观,但可以精确表示强方向性天线

的方向图。为了更具体地定量表示方向图形状,给出了半功率波瓣宽度、波束偏移^[10]等电性能参数。

2.3 后处理

在计算天线电性能之后,需要对其进行后处理,以方便用户操作。电性能分析平台使用 Delphi 饼图构件,即 Chart 构件,来绘制天线远区场强辐射方向图。在 Chart 构件里添加 2 条 Fast Line,并把它作为方向图变化曲线的载体。使用 Chart 构件的目的是为了更好地满足用户对方向图信息了解的操作需要,即可方便地通过鼠标左键与右键的点击与拖拉,实现对辐射方向图的局部放大、缩小,整体移动与复原等操作。

副瓣电平是反映天线电性能的一个非常重要的参数。因此,平台提供了便于用户了解前 10 个副瓣信息的交互操作。采用 Delphi 记录类型的全局变量来存储天线副瓣信息,并在输出界面上用下拉列表框 ComboBox 构件的形式,动态输出用户需要了解的副瓣电平及其位置等信息。

同时,为实现对不同工作状况下的天线进行电性分析,平台提供了“重新计算”的功能。例如,在输入界面内再次输入新的天线工作频率或照射锥削或口径场分布参数等,或同时改变它们,然后利用平台提供的“重新计算”功能,重新对天线进行有限元分析以及电性能分析,并给出新的工作参数下的天线电性能。

3 结语

在天线仿真设计阶段分析计算天线电性能,对于分析当前设计方案的合理性有着重要的指导意义,且可以明显提高天线设计效率。因此天线电性能分析平台的推广使用将会改变目前天线设计状况。电性能分析平台与面天线参数化设计系统以及有限元建模系统的接口已处理完毕,并作为一个完整软件系统进行了推广使用。通过在实际中的应用,证明了该系统软件平台具有较高的可靠性和实用性。天线电性能分析平台设计合理,计算时间短,结果准确,且用户操作简单、

方便。同时,用户可对天线结构优化前后的天线电性能及效果做个直接比较。该系统软件平台的应用使 7.3 m 圆口径抛物面天线的设计手段和方法得到改进,设计和分析质量得到提升。目前,该型号产品已投产并销售。

参 考 文 献

- 1 面天线虚拟制造项目组. 用户访谈报告. 西安: 西安电子科技大学, 2002
- 2 方 新. I-DEAS 产品三维设计指南. 北京: 机械工业出版社, 2000
- 3 段宝岩. 天线结构分析、优化与测量. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1998
- 4 ANSYS-China 公司. ANSYS 分析指南. 1998
- 5 ANSYS-China 公司. 2000 年 ANSYS 中国用户年会论文集. 2000
- 6 李 睿, 方 坤. Delphi 开发高级界面实例. 北京: 人民邮电出版社, 2000
- 7 何鹏飞. Delphi 7 程序设计教程. 北京: 清华大学出版社, 2003
- 8 叶尚辉. 天线结构设计. 北京: 国防工业出版社, 1980
- 9 Tripp V K. A new approach to the analysis of random errors in aperture antennas. IEEE Trans. Antennas Propagat., 1984, 32 (8): 857 - 863
- 10 魏文元, 宫德明, 陈必森. 天线原理. 西安: 西北电讯工程学院, 1985

王从思 男, 1980 年生, 博士研究生。研究方向为天线机电耦合性能分析。

段宝岩 男, 1955 年生, 教授, 博士生导师。主要研究方向为先进制造技术、工程结构优化设计、机电一体化等。

仇原鹰 男, 1958 年生, 教授, 博士生导师。主要研究方向为智能机器人控制技术、机械手动力学等。

邵晓东 男, 1970 年生, 副教授, 硕士生导师。主要研究方向为虚拟现实技术、产品数据管理等。

美海军 DD(X) 双波段雷达成功通过关键设计评审

[美国《每日防务》2005 年 1 月 19 日报道]由诺斯罗普·格鲁曼和雷声公司牵头的 DD(X) 团队成功完成双波段雷达工程发展模型的关键设计审查(CDR)。

在过去的 2 个月里,该双波段雷达成功通过了 14 项技术审查,其中包括在美海军沃伦普斯岛陆上试验场对 AN/SPY-3 多功能雷达所进行的里程碑 B 标准测试(DTA1-410)。此次 CDR 的通过和在沃伦普斯岛的成功试验为整个 DD(X) 计划在 2005 年 3 月进行的里程碑 B 决策创造了条件。

DD(X) 驱逐舰的双波段雷达系统被设计成能同时在 2 个波段上工作,集成了 X 波段的 AN/SPY-3 雷达和更低频率 S 波段的体搜索雷达。双波段雷达标志着美军首次实现了由一部资源管理器对两个雷达波段进行控制的功能。

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>