

MSC 软件在天线结构设计分析中的应用

王建宅 郭海鹰

(中国电子科技集团公司第五十四研究所, 石家庄 050081)

摘要: 以 9 米天线系统为例, 介绍了利用 MSC.Patran/Nastran 有限元分析软件进行数字化建模的过程, 给出了天线载荷的计算方法, 并根据系统仿真给出的静力分析结果, 验证了天线设计的刚度和强度; 根据模态分析给出了系统的固有频率和振型。阐述了 CAE 软件在天线结构设计中发挥的重要作用, 给出了基于 MSC 软件, 天线结构设计分析的一般性方法。

关键词: 天线结构 MSC 有限元 固有频率

MSC software's application in the design and analysis of antenna structure

Wang Jianzhai Guo Haiying

(The 54th Research Institute of CETC, Shijiazhuang 050081, China)

Abstract: Based on the 9m diameter antenna, the paper introduces a digitized model using MSC.Patran/Nastran finite element method simulation software. Load's calculating method is presented, and antenna' rigidity and strength is discussed according to the simulation result. The system's natural frequency and vibration model is provided according to modal analysis. It is deduced that CAE software will play more important role in antenna structure design, and universality method in the design and analysis of antenna structure is presented based on MSC software..

Key Words: antenna structure MSC finite element method natural frequency

1 引言

在各种电子专用设备中, 天线结构较为复杂且形式多样, 随着科学技术的飞速发展, 天线被广泛应用于通信、雷达、射电天文等领域。天线结构对保证系统整体电性能发挥着非常重要的作用, 其合理设计应确保在各种环境下, 天线能够精确地保持形状和姿态。目前, 天线的结构设计分析已自成体系, 其中关键部分就是设计模型的建立及在此基础上进行的刚强度分析和变形的计算。以往多采用经验类比设计与传统材料力学简化计算相结合的方法, 但这一方法在很大程度上取决于设计人员的经验, 并且往往使设计偏于保守, 致使产品重量大, 成本高。尤其在当前客户要求越来越多样化的情况下, 已不能适应瞬息万变的市场要求。随着计算机技术和数值计算理论的发展, 借助 CAE 技术使得天线系统仿真和结构分析成为可能。CAE 技术是在三维实体建模的基础上, 从产品的方案设计阶段开始, 按照实际使用的条件进

行仿真和结构分析，按照性能要求进行设计和综合评价，以便从多个设计方案中选择最佳方案。笔者在天线结构设计中选用的 CAE 技术软件为 MSC.Patran/Nastran 有限元分析软件。

MSC.Patran/Nastran 是美国 MSC 公司开发的用于工程校验、有限元分析和计算机仿真的软件。Patran 是有限元分析前后处理软件，使用它可以实现建模的自动化和仿真结果的可视化；Nastran 是世界上应用最为广泛的大型通用结构有限元分析软件，在全球各个工业领域得到成功的应用。

2 问题的提出

天线结构是一种高精度的机械结构，它的最终目的是保证其电气性能要求。而实际上，由于天线将收到自重、风荷等外载的作用，天线表面必然偏离其理想设计形状，因此也就必然会影响其电气性能。这种天线表面误差对电气性能的影响按 Ruze 公式可定量地描述为

$$\eta_s = \frac{G}{G_0} = e^{-(4\pi\delta/\lambda)^2} \quad (1)$$

式中： η_s ——天线增益下降系数；

G_0 ——无表面误差时天线的增益；

G ——有表面误差时的增益；

δ ——天线表面各点半光程差的均方根值 (rms)；

λ ——波长。

采用分贝来表示增益下降系数，式 (1) 可写成

$$\eta_s \approx -686 \left(\frac{\sigma}{\lambda} \right)^2 \text{ (dB)} \quad (2)$$

由式 (1)，式 (2) 可见：随着表面误差的增大，天线增益将明显下降。因此，对于天线表面误差的分析计算是必要的。

天线的动态特性——固有频率和振型是系统的固有属性。对于动力系统，位移 $U(t)$ 和外力 $F(t)$ 都是时间的函数，若考虑阻尼力和速度 \dot{U} 成正比，惯性力与加速度 \ddot{U} 成正比，根据达郎贝尔原理，动力平衡方程如下：

$$[K]\{U\} + [C]\{\dot{U}\} + [M]\{\ddot{U}\} = \{F(t)\} \quad (3)$$

式 (3) 中， $\{U\}$ 、 $\{\dot{U}\}$ 、 $\{\ddot{U}\}$ 分别为节点的位移、速度和加速度列向量； $[K]$ 、 $[C]$ 、 $[M]$ 分别为刚度矩阵，阻尼矩阵、质量矩阵； $\{F(t)\}$ 为载荷列向量。

对于一个无阻尼自由振动系统，其无阻尼自由振动方程为：

$$[K]\{U\} + [M]\{\ddot{U}\} = 0 \quad (4)$$

任一自由振动都可以看成是简谐振动，假设作如下简谐运动：

$$\{U(t)\} = \{\phi\} \cos \omega t \quad (5)$$

式中， ω 为圆频率， $\{\phi\}$ 为振幅列向量。将式 (5) 代入式 (4) 得：

$$([K] - \omega^2 [M]) \{\phi\} = 0 \quad (6)$$

或

$$[K] \{\phi\} = \lambda [M] \{\phi\} \quad (7)$$

式 (7) 称为广义特征方程； λ 为特征值， $\lambda = \omega^2$ ； $\{\phi\}$ 为特征向量。

对于每一个固有频率 ω_i , 由式 (7) 可以解出一个列向量 $\{\phi_i\}$, 特征向量 $\{\phi_i\}$ 工程上称之为振型。

在有限元分析中, 一个系统可以看作是 n 个质点的集合, 所有质点在某个频率下的振幅就构成了该系统对应与该频率的振型。

3 MSC.Patran/Nastran 的分析流程

作为著名的有限元前后处理软件, Patran 前后处理功能齐全, 界面友好, 易于操作。用 Patran/Nastran 软件进行天线结构设计分析的一般流程如下:

(1) 建立几何模型

几何模型可直接在 MSC.Patran 中建立, 也可直接从 CAD 软件中读入, 或先从 CAD 软件中读入, 再在 MSC.Patran 中进行编辑修改。

(2) 选择分析程序

根据分析问题的性质不同, 可选择不同的分析程序。对于天线结构问题一般情况下选择 MSC.Nastran 作为分析软件。

(3) 建立分析模型

分析模型的建立一般分网格划分、创建材料、指定单元特性和施加载荷及约束条件四个步骤。

(4) 递交分析

主要是调用分析程序进行分析。Nastran 支持众多的结构分析类型, 主要包括: 静力分析、正则模态、频率响应及瞬态响应等。

(5) 评价分析结果

根据 Nastran 计算结果, Patran 可以以结构变形图、应力云纹图、图形符号以及动画、文本等多种方式处理有限元分析结果。

4 数学模型的建立

下面以 9 米天线为例, 分析其组成部分的数学模型建立方法。9 米天线主要由天线头和天线座架两大部分组成。天线头由中心体、反射体骨架、反射面和副反射体等组成; 天线座架等由方位底座、方位转盘、俯仰丝杠传动装置等组成。

(1) 中心体内部为带加强筋的箱体结构, 处理为壳单元, 与座架的连接板之间采取短粗的梁单元连接, 座架的连接板为厚钢板, 处理为壳单元。

(2) 反射体骨架由辐射梁、环向拉杆、空间斜向拉杆等组成。辐射梁、环向拉杆、空间斜向拉杆均为圆管结构, 处理为梁单元

(3) 反射面由 36 块扇型面板组成。扇型面板由 2mm 厚的铝板拉伸而成, 是典型的壳单元; 为了提高反射面的刚度, 在其背面布有 Z 型铝型材加强筋, 该加强筋通过密集的铆钉和反射面板进行铆接, 它不但承受轴向力, 而且还承受弯距, 所以将其视为梁单元; 调整螺栓安装在辐射梁和反射面之间, 用来调整反射面的位置。每块反射面板使用了 6 枚 M16 的调整螺栓, 它不但承受轴向力, 而且还承受弯距, 故将其视为梁单元。副反射体的支撑为薄臂椭

圆管，处理为梁单元。

(4) 天线方位底座为钢板焊接加筋腔体结构，将底座各组成部分均处理成板壳单元。方位转盘为钢板焊接加筋腔体结构，是由内、中、外三层筒加筋并带有上下法兰的结构，采用板壳单元。

(5) 天线座架俯仰轴及丝杠处理为梁单元，与天线连接处在计算时处理为刚性连接，全约束。

(6) 将以上部分合在一起，划分网格后，生成 9 米天线的整体有限元模型图，如图 1 所示。

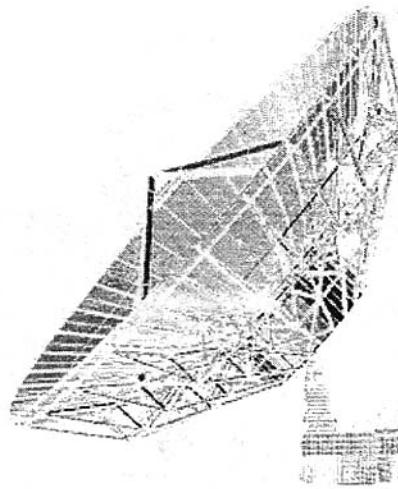


图 1 9 米天线的整体有限元模型图

5 载荷计算

9 米天线工作时受到的外载荷主要有自重、风载荷。

(1) 自重载荷

把结构离散成有限元模型后，设计不同方向的重力加速度，自重载荷将自动加上。

(2) 风载荷

风载荷由以下公式计算：

$$\text{风力 } F = C_F q A$$

$$\text{风力距 } M = C_M q A D$$

式中， C_F 、 C_M 分别为风力和风力距系数。 q 为动压头， $q = V^2/16$ ， V 为风速。

A 、 D 分别为 9 米天线口径面积和直径。

风载荷中的风力简化到天线反射面节点上并按集中力处理。

6 数据分析

在数字化建模的基础上，选择了 4 种工况进行了静力分析，分析结果如表 1 所示。

表 1 4 种工况的静力分析

序号	天线仰角	载荷	最大位移 (mm)	最大应力 (MPa)	变形 (mm)
1	43°	自重	2.23	6.85	0.41
2	43°	自重+20m/s	3.19	9.88	0.48
3	90°	自重	1.28	3.86	0.21
4	90°	自重+56m/s	4.13	19.1	

由于篇幅关系仅给出在仰角为 43° 时, 9 米天线在自重与 20 m/s 风载下的天线变形及应力分布图, 如图 2 和图 3 所示。

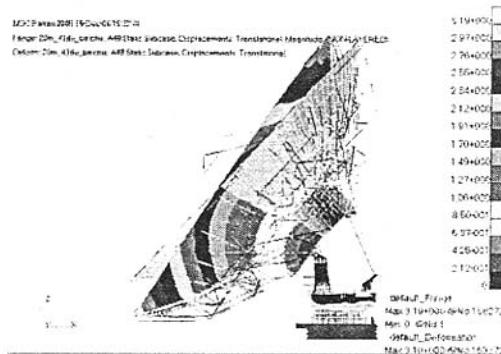


图 2 仰角 43°, 自重+20m/s 变形图



图 3 仰角 43°, 自重+20m/s 应力分布图

固有频率是表征结构系统固有振动特性的重要方面, 它的大小反映了结构的动态特性, 直接影响着伺服带宽的大小。经过模态分析, 表 2 给出了 9 米天线结构在俯仰角为 0°、90° 两种状态下的固有振动特性。

表 2 天线前 5 阶固有频率

阶数	频率 (Hz)	
	俯仰角 0°	俯仰角 90°
1	7.6549	9.3399
2	9.0811	11.552
3	11.233	11.727
4	12.12	12.158
5	12.171	12.232

图 4 为天线在仰角 90° 时的一阶振型。

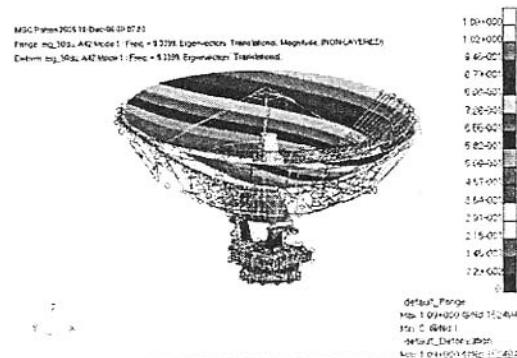


图 4 仰角 90° 时一阶振型

结论：通过天线在自重、风荷作用下的静力分析，可以看到天线的强度、刚度设计是满足要求的；通过俯仰角 0°、90° 两种状态天线整体结构的固有频率分析，表明天线整体结构的动态特性较好，满足技术指标要求。

经过电气测试方向图，其增益和旁瓣均满足技术指标，也验证了结构分析的正确性。图 5 为实测天线中心频率远旁瓣方向图。

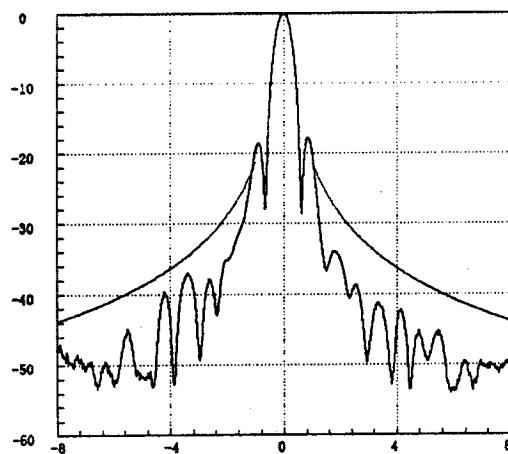


图 5 实测天线方向图

7 结束语

利用 MSC 软件，我们可以在产品研制的初期，通过有限元模型进行力学分析，及时发现设计中的问题和结构中的薄弱环节，从而保证了设计的成功率，不仅缩短了研制周期，而且也大大降低了成本，并且能够在满足要求的前提下，提高产品的设计水平。“工欲善其事，必先利其器。”掌握 CAE 软件，可以使我们的结构设计工作达到事半功倍的效果，随着现代科技的飞速发展，相信 CAE 技术将在天线结构设计中发挥越来越重要的作用。

参 考 文 献

- [1] 段宝岩，天线结构分析、优化与测量[M]，西安，西安电子科技大学出版社，1998 年
- [2] 叶尚辉，李在贵，天线结构设计[M]，西安，西北电讯工程学院出版社，1986 年
- [3] 刘卫星，组合结构分析的前后处理与网络自动划分研究，西安，电子科技大学论文学位论文，2001 年
- [4] Patran 和 Nastran 有限元分析专业教程，马爱军等，北京，清华大学出版社，2005 年

作者简介：

王建宅 男，(1974~)，中国电子科技集团公司第 54 研究所高级工程师，工学硕士。研究方向：天线结构设计

郭海鹰 女，(1966~)，中国电子科技集团公司第 54 研究所高级工程师。工学硕士。研究方向：计算结构力学。

联系人：王建宅 8690 13582199396

dian54_wjz@sohu.com

邮编：050081

河北省石家庄市中山西路 589 号

石家庄市 174 信箱 (54 所天伺部)

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>