

天线结构参数化有限元分析及其变形反射面的拟合

李新玲¹, 石端伟²

(1.鄂东职业技术学院,湖北 黄冈 438000; 2.武汉大学 动力与机械学院,湖北 武汉 430072)

摘要: 基于 ANSYS 软件,以载荷作为变量,对某型天线结构进行参数化有限元分析,将反射面上的节点作为采样点,拟合变形反射面的精确数学方程;将非线性曲面目标函数伪线性化处理,并基于最小二乘法数值迭代方法,确定反应曲面几何方程的各个参数;该方法易于程序化,能有效地指导天线的结构设计。

关键词: 最小二乘法; 天线; 曲面拟合; 参数化有限元

中图分类号: TN82

文献标识码: A

文章编号: 1006-8449(2008)04-0083-03

0 引言

在实际工作中,天线主要承受风载荷和自重等,将导致天线反射面以及整体结构的变形,使得反射面不能与设计抛物面完全吻合。反射面实际形状与理论设计形状不一致,将使天线电磁性能不合乎设计要求,甚至影响正常的工作。应用 ANSYS 软件对天线结构进行整体有限元分析,将反射面上节点作为采样点,通过曲面拟合,确定变形后抛物面方程,并与设计抛物面相比较,评估变形对天线电磁特性的影响,确定变形后的反射面焦点位置,作为调整馈源位置的依据。

传统的曲面拟合多为基于最小二乘法构造乘积型基函数^[1],拟合出一般的多项式曲面,而且待定系数也是线性的。天线的反射面拟合,要求目标函数为抛物面,待定系数含有非线性参数,需要对非线性问题进行线性化处理,文献[2]~文献[4]将非线性参数略去二次微量,这对于反射面变形很小的情况下是适用的,随着变形的增大,误差越来越大。

本文运用 ANSYS 参数化有限元分析功能,将风载荷作为参数,进行参数化有限元分析,得到各载荷大小下反射面变形,编写程序直接读取 ANSYS 的节点位移数据进行曲面拟合,得到变形后的反射面几何参数,在曲面拟合时直接对非线性参数进行迭代,然后基于最小二乘法数值计算方法,确定反应曲面几何方程的各个参数,不仅实现了线性化的目的,而且拟合的精度也

大大提高。

1 天线结构参数化有限元分析

某天线结构主要由反射面、骨架、传动装置和馈源等组成。骨架为管型材焊接结构,有限元建模时应用 PIPE16 单元,可以较好地模拟其变形和受力特性;

反射面的实际结构为有孔铝板,为了建模时节约计算机资源,简化为无孔铝板,采用 SHELL63 单元划分网格,并进行单块铝板试验分析,通过等效刚度的方法,确定单元厚度;

由于馈源及传动部分对整个结构的刚度影响不大,建模时简化其结构形状,通过调整密度进行质量等效,并应用 SOLID45 单元划分网格。

根据实际工作情况,施加边界条件,运用耦合的方法建立结构各部分连接,载荷为结构的自重和风载荷,风载荷的大小由风洞试验得出。模型见图 1。

在天线结构分析中,不仅要极限工作载荷下结构的强度和刚度进行校核,还要对天线正常工作状态下一系列风载荷进行分析,评价天线的电磁性能,为控制系统调整天线馈源位置提供依据。

以风载荷为变量的参数化有限元分析过程为:运用 ANSYS 软件进行一次 GUI 分析后,自动生成 APDL

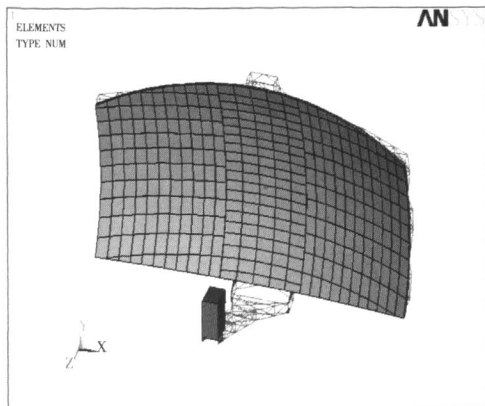


图1 天线结构分析模型

语言文件,然后删除多余的操作命令,增加命令设置变量,在下次分析时只需读入该命令文件,根据提示输入设定的变量即可快速完成分析。将风载荷设为变量,每次分析时,通过输入不同的载荷值即可得到结构在该载荷下的变形及应力结果。

图2为风载荷400Pa时反射面的变形云图。

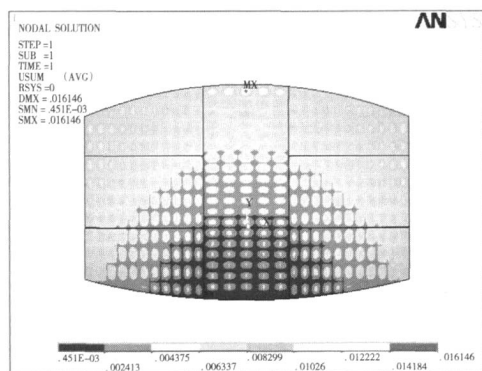


图2 反射面变形云图

2 变形反射面的拟合

最小二乘法是试验中对采样数据处理时最常用的一种方法,它的基本思想是使采样点 (X_i, Y_i, Z_i) 偏差最小,可描述为:

$$\sum_{i=1}^n [f(X_i, Y_i) - Z_i]^2 = \min \quad (1)$$

然后将目标函数表示为一系列基函数的线性组合,通过对采样点数据的处理,求解出该线性组合的系数,即可得到拟合后的曲面方程。

设反射面变形前的旋转抛物面方程为:

$$x^2 + y^2 = Cz \quad (2)$$

式中 x, y, z —抛物面上节点的坐标,mm;

C —抛物面焦距,mm。

假设反射面变形后仍为抛物面,由于该雷达天线反射面和载荷是关于 xoy 平面对称的,所以,可以认为变形后的曲面顶点坐标在 x 向是不变的,曲面有绕 x 轴的转角和焦距 C 的变化。

设变形后的顶点坐标为 $(0, A, B)$,单位为(mm),曲面绕 x 轴的转角为 θ ,单位($^\circ$),则经过数学变换后新的抛物面方程为:

$$x^2 + [(y + A)\cos\theta - (z + B)\sin\theta]^2 = C[(z + B)\cos\theta + (y + A)\sin\theta] \quad (3)$$

整理得

$$\begin{aligned} x^2 + y^2 + (z^2 - y^2)\sin^2\theta - 2yz\sin\theta\cos\theta = \\ -y(2A\cos^2\theta - 2B\sin\theta\cos\theta - C\sin\theta) - \\ z(2B\sin^2\theta - 2A\sin\theta\cos\theta - C\cos\theta) + \\ (CB\cos\theta + CA\sin\theta - A^2\cos^2\theta - B^2\sin^2\theta + 2AB\sin\theta\cos\theta) \end{aligned} \quad (4)$$

此时,函数中出现了非线性参数 θ ,使得该方程不能表示为某些基函数的线性组合,文献[3]和文献[4]方法认为 θ 角很小,可将 $\sin\theta$ 视作 θ , $\cos\theta$ 视作 $(1 - \theta^2)$,但是天线在承受大的风载荷时,转角将有较大的变化,甚至超过度 10° ,此时用上述方法消除非线性量,就会带来较大的误差。

本文在曲面拟合中,将 θ 在一定范围内进行迭代,这样含 θ 的项就不作为拟合的待定系数。

整理函数方程,取基函数为 X, Y 。令:

$$Z = x^2 + y^2 + (z^2 - y^2)\sin^2\theta - 2yz\sin\theta\cos\theta \quad (5)$$

$$X = y \quad (6)$$

$$Y = z \quad (7)$$

$$A1 = -2A\cos^2\theta + 2B\sin\theta\cos\theta + C\sin\theta \quad (8)$$

$$A2 = -2B\sin^2\theta + 2A\sin\theta\cos\theta + C\cos\theta \quad (9)$$

$$A3 = CB\cos\theta + CA\sin\theta - A^2\cos^2\theta - B^2\sin^2\theta + 2AB\sin\theta\cos\theta \quad (10)$$

则

$$Z = A1X + A2Y + A3 = [X \ Y \ 1]_{n \times 3} \begin{bmatrix} A1 \\ A2 \\ A3 \end{bmatrix}_{3 \times 1} \quad (11)$$

式(4)~式(11)中的 x, y, z 是结构受力变形后的坐标。该坐标值获得的方法为:在 ANSYS 的后处理中,将节点变形数据写成文本文件,并将变形前的节点坐标加上节点各向变形量,形成变形后的节点坐标文件。式中 n 为节点数目。

令 $R = [X \ Y \ 1]_{n \times 3}$, 则

$$\begin{bmatrix} A1 \\ A2 \\ A3 \end{bmatrix}_{3 \times 1} = \text{inv}(R^T R) \times R^T \times Z \quad (12)$$

计算出 $A1, A2, A3$ 后,可根据以下方程组解出 A, B, C 的值。

$$\begin{cases} A1 = -2A0 \cos\theta + C \sin\theta \\ A2 = 2A0 \sin\theta + C \cos\theta \\ A3 = CB0 - A0^2 \end{cases} \quad (13)$$

其中

$$\begin{cases} A0 = A \cos\theta - B \sin\theta \\ B0 = B \cos\theta + A \sin\theta \end{cases} \quad (14)$$

迭代过程中当 A, B, C 的绝对变化量足够小时即可终止迭代。

3 结语

本文基于 ANSYS 软件的 APDL 参数化分析语言,对雷达结构多种载荷下的反射面变形进行求解,并将

节点变形量作为采样点对变形后的反射面拟合出了最佳吻合抛物面,并应用 MATLAB 编写程序,实现了有限元计算到曲面拟合结果的产生的自动化。同时基于最小二乘法对非线性参量进行迭代的拟合方法,不仅适用于抛物面的拟合,也同样适合其它非线性曲面的拟合。具有较高的精度。

参考文献:

- [1] 颜庆津. 数值分析[M]. 修订版. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2000-01. 207 ~ 212.
- [2] 王从思, 段宝岩, 仇原鹰. 基于最小二乘法的天线变形反射面的拟合[J]. 现代雷达 2004, 26(10): 52 ~ 55.
- [3] 华麒麟. 天线变形曲面的一种拟合方法[J]. 现代雷达, 1994, 16(1): 75 ~ 82.
- [4] 朱钟淦, 叶尚辉. 天线结构设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1980. 47.
- [5] 陈伟, 何飞, 温卫东. 基于结构参数化的有限元分析方法[J]. 机械科学与技术, 2003, 22(6): 948 ~ 950.

收稿日期: 2008-01-29

修回日期: 2008-02-20

Parametric Finite Element Analysis of Antenna Framework Structure and Curved Face Fit of the Reflecting Surface

LI Xin-ling¹, SHI Duan-wei²

(1. Edong Institute of Vocation & Technology, Huanggang, 438000 China;

2. College of Power and Mechanical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: The finite element analysis of an antenna framework structure was carried out in ANSYS by using parametric load variable. The precise equation of the reflecting surface was fitted applying the nodes of the reflecting surface to fitting nodes. The nonlinear curved face objective function was pseudo-linearized. The nonlinear parameters of the reflecting surface were solved numerically based on the least square method. This method is easy to program and available for antenna framework structure design.

Key words: least square method; antennas; curved face fit; parametric finite element method

作者简介: 李新玲(1961-), 女, 湖北黄冈人, 工学学士, 高级讲师, 教务处副处长, 主要研究方向: 机械动力学; 石端伟(1963-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 机械动力学、虚拟样机设计等。

广告索引

封面: 特灵空调(中国)系统有限公司
封拉: 杭州华电华源环境工程有限公司
封底: 上海纳飒复合材料股份有限公司
封二: 上海华电源信息技术有限公司
封三: 浙江省制冷学会
前插一: 深圳麦克维尔空调有限公司
前插二: 传特板式换热器(北京)有限公司

前插三: 皇家空调设备工程(广东)有限公司
前插四: 口霖冷冻机械(上海)有限公司
中插一: 同方环境人工有限公司
中插二: 杭州华新机电工程有限公司
中插三: 杭州华新机电工程有限公司
中插四: 开利空调销售服务(上海)有限公司
中插五: 约克国际(北亚)有限公司
中插六: 三星(中国)投资有限公司
中插七: 三星(中国)投资有限公司

中插八: 浙大人工环境
中插九: 浙江亿利达风机有限公司
中插十: 中国媒体资源网
中插十一: 万国商业网
中插十二: 中国空调制冷网
中插十三: 北京中装泰格展览有限公司
中插十四: 中国制冷展
后插一: 上海国祥制冷工业有限公司
后插二: 希望深蓝空调制造有限公司

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，一直致力和专注于微波、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>