

平板裂缝天线的有限元简化模型及模态分析*

苗 玲, 陈志刚, 陈 敏

(南京电子技术研究所, 江苏南京 210013)

摘要: 介绍了一种简化的平板裂缝天线有限元建模方法。以某天线为例, 应用这种方法建立了有限元模型, 进行了模态分析并与试验结果进行了比较。结果表明这种建模方法降低了模型的复杂程度, 提高了计算效率, 对平板裂缝天线的动力学分析有一定的指导意义。

关键词: 平板裂缝天线; 有限元; 模态分析

中图分类号: TN82; TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-5300(2008)05-0055-03

A Simple Finite Element Model of Plane Slot Array Antenna and Its Modal Analysis

MIAO Ling, CHEN Zhi-gang, CHEN Min

(Nanjing Research Institute of Electronics Technology, Nanjing 210013, China)

Abstract: A simple finite element modeling method of plane slot array antenna is introduced in this paper. As an example, a finite element model of the antenna is established by this method. Then its modal analysis is made and the analysis results have been compared with experiment. The results indicate that this modeling method reduces modeling complexity, improves computational efficiency, which is helpful for dynamic analysis of plane slot array antenna.

Key words: plane slot array antenna; finite element; modal analysis

0 引言

平板裂缝天线具有高增益、低副瓣、体积小、重量轻等优点, 因而在机载雷达中得到广泛应用。平板裂缝天线由辐射板、馈电板、功分网络、和差网络等构成, 每个零件均是薄壁腔体结构, 采用数控加工, 整个天线通过盐浴焊焊接成型, 其结构的显著特点是多层、薄壁、空腔。平板裂缝天线的结构如图 1 所示^[1]。由于这种结构壁厚很薄(一般只有 0.5 mm ~ 1 mm), 而且在辐射板及馈电板的表面有大量裂缝, 如果应用常规的板单元等建模方法会导致模型庞大、建模困难, 对于复杂的大口径天线还会导致求解时间过长甚至无法求解的情况。目前国内许多学者对于平板裂缝天线的力学分析方法进行了研究, 应用等刚度理论将辐射板及馈电板上的裂缝进行等效简化, 将辐射面板及馈电面板等效为不带缝的平板^[2]。对于上述简化方法只对裂缝进行了简化, 建模时仍需要对辐射面板、中间隔板、馈电面板做为板单元进行建模, 对于大口径的天线

由于尺寸大、中间隔板多, 采用上述方法建模模型仍庞大求解仍然困难, 达不到预期简化的效果。文中针对平板裂缝天线的这种特殊结构形式, 在等刚度理论的基础上, 提出了一种更为简便的等效建模的方法, 将辐射面板、中间的隔板及馈电面板一起简化为一种夹层结构, 将这种夹层结构组成的板等效为正交异性的平板, 通过程序对简化后的平板参数进行计算, 然后应用力学分析软件 MSC Patran/Nastran 建立天线的有限元模型, 并进行了模态分析, 且通过试验对分析结果进行了验证。结果表明这种有限元建模方法能有效提高平板裂缝天线的力学分析效率, 有较高的准确性, 可以为相关设计人员提供参考。

1 有限元等效建模方法

1.1 等效夹层结构

辐射面板和馈电面板以及辐射板中间的隔板组成了一个夹层结构, 根据等刚度理论, 夹层板抗弯刚度和抗拉刚度等效成各向异性板。

* 收稿日期: 2008-05-15

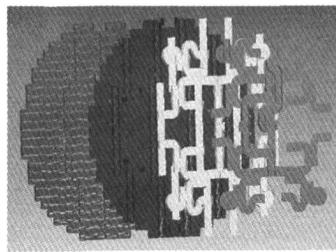
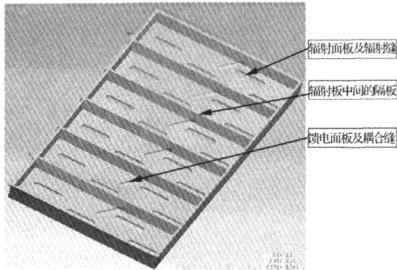


图1 平板裂缝天线结构示意图



辐射板及馈电板组成的夹层结构局部示意图

辐射面板、中间隔板和馈电面板组成的夹层结构,是由如下的典型截面线性排列组成的,如图3所示。其中X向为平行于辐射缝长度的方向。

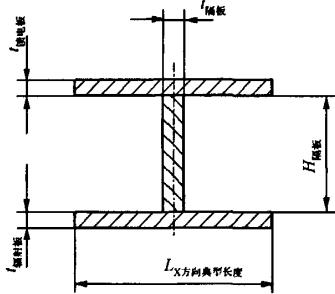


图3 典型截面图

1.2 等效理论公式

根据以下公式进行拉伸刚度、弯曲刚度、密度的等效。

$$E_e L t_e = E_{\text{辐射板}} L t_{\text{辐射板}} + E_{\text{馈电板}} L t_{\text{馈电板}} + E H_{\text{隔板}} t_{\text{隔板}} \quad (1)$$

$$E_e I_e = E_{\text{辐射板}} I_{\text{辐射板}} + E_{\text{馈电板}} I_{\text{馈电板}} + E I_{\text{隔板}} \quad (2)$$

$$M_e = \rho_e t_e S = M_{\text{辐射板}} + M_{\text{馈电板}} + M_{\text{隔板}} \quad (3)$$

式中: E_e 为等效板弹性模量; E 、 $E_{\text{辐射板}}$ 、 $E_{\text{馈电板}}$ 为铝弹性模量,辐射面板、馈电面板弹性模量; t_e 、 $t_{\text{辐射板}}$ 、 $t_{\text{馈电板}}$ 、 $t_{\text{隔板}}$ 为等效板厚度,辐射板、馈电板、隔板的厚度; I_e 、 $I_{\text{辐射板}}$ 、 $I_{\text{馈电板}}$ 、 $I_{\text{隔板}}$ 为等效板惯性矩,辐射面板、馈电面板、隔板的惯性矩; M_e 、 $M_{\text{辐射板}}$ 、 $M_{\text{馈电板}}$ 、 $M_{\text{隔板}}$ 为等效板质量,辐射面板、馈电面板、隔板的质量; ρ_e 为等效板密

度; $H_{\text{隔板}}$ 为隔板的高度; S 为天线辐射面面积。

其中,考虑辐射缝及耦合缝对刚度的影响,忽略辐射缝缝长和偏置的影响,根据参考文献[2]中的方法,将带缝的辐射面板和馈电面板等效成不带缝的各向异性板。按公式:

$$EA = E_{\text{辐射板}} A_{\text{辐射板}} \quad (4)$$

$$EI = E_{\text{辐射板}} I_{\text{辐射板}} \quad (5)$$

可以求得等效后均质辐射面板的 $E_{\text{辐射板}}$ 及 $I_{\text{辐射板}}$,同理忽略耦合缝角度的影响可得到 $E_{\text{馈电板}}$ 及 $I_{\text{馈电板}}$,将其代入式(1)及式(2)。

1.3 编写程序

根据以上计算公式以及等效截面,应用 Visual Basic 语言编写程序,计算出等效后各向异性板的各项参数(横向等效弹性模量 E_x ;纵向等效弹性模量 E_z ;等效厚度 t_e)。

2 实例分析及试验验证

2.1 建立有限元模型

以某平板裂缝天线为例,该天线采用一体化焊接成型,天线的口径为 $\Phi 1000$ mm。将辐射面板、中间隔板、及馈电面板组成的夹层结构简化为均质各项异性板,将各项参数输入编程后求解的对话框,计算后可得到等效后的各项参数(E_x 、 E_z 、 t_e)。

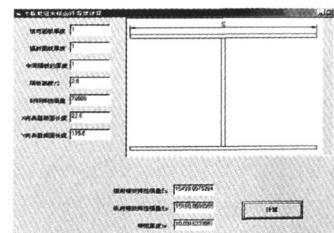


图4 等效计算界面图

用有限元力学分析软件 MSC. Patran 建立力学模型,其中等效面板和安装板划分为板单元;馈电板的周边加强筋划分为梁单元;天线背面的功分网络及和差网络采用偏心截面梁来计算;负载、开关等做为集中质量元加在有限元模型上,天线的有限元模型如图5所示。

2.2 材料特性和边界条件

材料特性:天线的材料为铝板6063。弹性模量 $E = 70$ GPa;泊松比为 0.33;铝的密度为 2.7 g/cm³。

边界条件:天线与天线座的连接点简化为铰支。

2.3 计算结果

运用力学分析软件 MSC. Nastran 进行模态分析,取前 4 阶固有频率作为计算结果。用 MSC. Patran 进

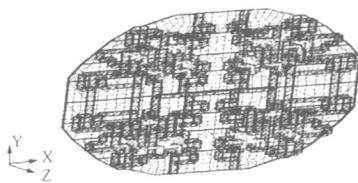


图 5 天线有限元模型

行后处理,读取模态分析的结果。

表 1 天线固有频率计算结果

阶数	1 阶	2 阶	3 阶	4 阶
频率	50.4	61.9	98.4	151.5

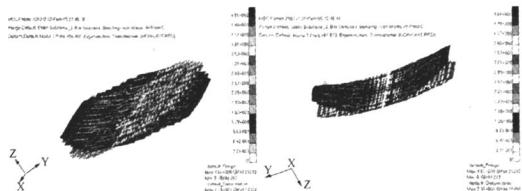


图 6 天线 1 阶及 2 阶固有频率振型图

2.4 试验验证

该平板裂缝天线在环境试验室进行了振动试验,给定一个恒定的激励,在 5 Hz ~ 2000 Hz 范围内进行了频率响应测试,在天线选定的点上安装传感器,通过响应曲线可以得到天线的固有频率见表 2。从表 2 可以看出,平板裂缝天线固有频率实测结果略低于计算结果,这是由于结构阻尼的影响造成的^[2]。

(上接第 42 页)

6 结 论

文中运用仿真软件对发射转台进行了仿真优化,解决了刚强度设计难题,通过应力和变形测试对仿真结果进行了试验验证。试验结果表明,采用仿真软件可以使结构设计更为合理、安全和可靠,可以更高效地提高设计质量,降低产品设计风险。

参考文献:

- [1] 李勤. 某类车载相控阵测量雷达结构总体设计要点[J]. 电子机械工程, 2005, 21(4): 41~43
- [2] 唐登运. 天线结构的稳健优化设计[J]. 电子机械工程,

表 2 天线固有频率试验结果

阶数	1 阶	2 阶
频率	45.2	55.3

3 结 论

通过上述的分析及试验验证,说明这种等效简化建模方法能比较准确的模拟实际结构情况,同时能使建模大大简化,提高计算效率。这种方法适用于类似结构的平板裂缝天线,特别对于大口径的平板裂缝天线力学分析有较高的工程应用价值。随着有限元分析技术的发展,如何使分析更快更准确是工程设计研究的方向。

参考文献:

- [1] 曹俊,苗玲,陈敏. 平板裂缝天线基于 Pro/E 的快速设计[J]. 现代雷达, 2007, 增刊: 253~254
- [2] 季馨,汤长岭. 机载雷达平板裂缝阵列天线结构动态分析[J]. 现代雷达, 1996(6): 84~89
- [3] 隋允康,杜家政,彭细荣. MSC.Nastran 有限元动力分析与优化设计实用教程[M]. 北京:科学出版社, 2004

作者简介:苗玲(1976-),女,高工,主要从事天线微波结构设计工作。

陈志刚(1976-),男,工程师,主要从事复合材料结构设计工作。

陈敏(1967-),女,高工,主要从事天线微波结构设计工作。

2007,23(2):46~49

- [3] 黄天成. 基于 ANSYS 的某雷达天线 CAE 分析[J]. 电子机械工程, 2007, 23(3): 38~40
- [4] 王飞朝. 基于有限元技术的模态分析在雷达结构设计中的应用[J]. 电子机械工程, 2006, 22(1): 14~16
- [5] 程春红. 某高架机动性雷达力学试验[J]. 电子机械工程, 2006, 22(4): 30~33

作者简介:向熠(1973-),男,工程师,主要从事结构总体设计工作。

胡长明(1969-),男,研究员,从事结构总体规划和技术管理工作。

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>