

文章编号:1006-1355(2008)06-0039-04

模态参数改进为目标的前视天线座结构研究

陈进, 何成善, 彭学文, 刘明华

(重庆大学机械传动国家重点实验室, 重庆 400030; 重庆航天火箭电子技术有限公司, 重庆 400000)

摘要: 针对前视天线座的结构研究, 建立基于 ANSYS 的飞机天线座有限元模型, 并对有限元模型进行模拟实际工况的两个极限位置的模态分析。从分析的结果与实际应用工况的要求出发, 以固有频率为结构改进目标, 利用参数修改对结构动态特性的影响以及局部质量、刚度的灵敏度分析的基本原理, 对前视天线座的结构进行改进。改进设计后的前视天线座的低阶频率均远离激振频率及其整数倍, 从而有效的避免共振的发生。并得出一种通过改变部件的局部质量、局部刚度来改进部件的固有频率、振型、等模态参数, 进而集成改进装配体的动态性能的结构改进方法。

关键词: 振动与波; 前视天线座; 模态分析; 灵敏度分析; 结构改进设计

中图分类号: O241.82 **文献标识码:** A

Investigation of Antenna Base Structure for Improvement of Model Parameters

CHEN Jin, HE Cheng-shan, PENG Xue-wen, LIU Ming-hua

(Key State Lab of Mechanical Transmissions, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: In this paper, finite element model of the front-view antenna base was established using ANSYS code. The model analyses for two typical positions of the antenna were carried out. According to the results of the analyses and the requirement of application, aiming at the natural frequency adjustment, the structure of the front-view antenna base was improved. The influence of parameter changes on the structure dynamical characteristics was analyzed. The fundamental principle for the sensitivity analysis of local mass and local stiffness was employed. After the structure improvement of the front-view antenna base, low-order frequency of the structure is quite different from the excitation frequency and the multiples of the excitation frequency of the plane. Thus, resonance phenomenon can be avoided. The method provided above can also be applied for improving the dynamic structure characteristics of the antenna assemblage.

Key words: vibration and wave; front-view antenna set; model analysis; sensitivity analysis; structure improvement design

前视天线座安装在飞机的头部, 在它上面安装雷达, 用它来调整雷达的不同角度。该天线座采用电机驱动, 轴及齿轮传动的结构形式, 在对前视天线座进行模态分析时发现前视天线座的第一阶固有频率与飞机机体对天线座的激励频率几乎相同, 这将引起天线座与机体的共振, 严重影响雷达的工作可靠性, 降低雷达的使用寿命, 损坏相关的电子元件和电器模

块^[1]。针对该问题本文对前视天线座结构进行了以模态参数的优化为目标的改进设计。

1 天线座结构模态分析

1.1 有限元模型的建立

本文在建立研究对象的有限元模型时, 鉴于 PRO/E 软件在三维建模方面的方便快捷性, 首先通过 PRO/E 软件建立前视天线座的三维模型, 然后把 PRO/E 三维模型导入 ANSYS 并修复, 生成有限元实体模型, 对于三维实体, 为了精确地计算, 选用三

收稿日期: 2008-02-22; 修改日期: 2008-03-21
作者简介: 陈进, 男, (1956-), 重庆大学机械工程学院党委书记, 教授, 博士生导师, 博士, 发表论文 40 余篇。

维实体单元,本文选用 SOLID92 单元。由于天线座形状并不规则,且不需特别考虑节点生成位置,故采用 ANSYS 自带网格划分工具 Mesh Tool 对模型划分网格。划分网格后的有限元模型如图 1 所示。

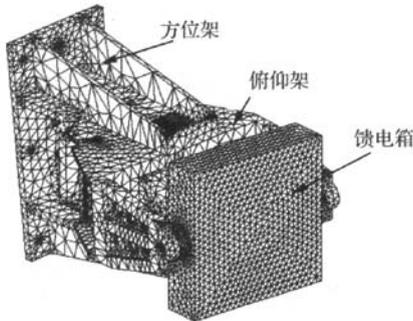


图1 前视天线座有限元模型

1.2 结构模态分析

模态分析是有限元分析的重要组成部分,通过模态分析可以识别出系统的模态参数,为结构系统的振动特性分析、振动故障诊断和预报以及结构动力学特性的优化设计提供依据。表 1 是前视天线座在两个极限工作位置的模态分析结果。

表1 前视天线座模态分析结果

工况一	频率	振型	工况二	频率	振型
第一阶	71.16	弯曲	第一阶	71.62	弯曲
第二阶	94.152	弯曲	第二阶	94.236	弯曲
第三阶	128.508	扭转	第三阶	128.951	扭转
第四阶	258.766	扭转	第四阶	258.325	扭转
第五阶	341.588	弯曲	第五阶	341.845	弯曲

由于该天线座安装在飞机上,经对飞机机体的模态测试,航空器机体对天线座的激励频率为 71Hz。因此为避免共振的产生,必须使天线座的固有频率远离 71Hz 及 71Hz 的整数倍,从上表发现两个极限工作位置的第一阶固有频率与航空器激振频率几乎吻合,这样会引起天线座与机体激烈的共振,所以必须对天线座进行基于固有频率为中心的结构改进设计

2 结构参数修改对动态特性影响的灵敏度分析

系统的固有频率和振型、模态质量或模态刚度是系统固有的,不受外界载荷及约束的影响,因此对一个具有 n 个自由度的线性振动系统,若不计阻尼的影响,则其自由振动的运动微分方程的一般形

式可以表示为

$$[M]\{\ddot{x}\} + [K]\{x\} = \{0\} \quad (1)$$

设方程的解具有简谐运动形式,即

$$\{x\} = \{X\}e^{i\omega t} \quad (2)$$

其中, $\{X\}$ 的元素代表各点的振幅,代入上式即得

$$([K] - \omega^2[M])\{x\} = \{0\} \quad (3)$$

此方程具有非零解的唯一条件是,其位移阻抗矩阵 $\{z\} = [K] - \omega^2[M]$ 的行列式等于零,即

$$|[K] - \omega^2[M]| = 0 \quad (4)$$

$[M]$ 和 $[K]$ 皆为正定矩阵时,将上式展开后,可求 N 个特征值 $\omega_r^2 (r = 1, 2, 3, \dots, N)$, 其平方根 ω_r 即为系统的固有频率,按大小顺序排列如下

$$\bar{\omega}_1, \bar{\omega}_2, \dots, \bar{\omega}_N \quad (5)$$

分别称为 1 阶、2 阶... N 阶固有频率。将每个特征值 ω_r^2 代入上式,均可求得一个对应的特征向量 $\{\phi\}_r$, 满足:

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

$$r = 1, 2, \dots, N$$

这个向量即为系统的特征向量。特征向量也就是所谓的模态,也称作振形,因为它是系统模态振动的变形形状。根据振动的特性,对于给定的系统,系统振型向量的比值与固有频率都决定于系统物理参数,是系统固有的。系统对质量、刚度的灵敏度分析如下:

1) 特征值对质量的灵敏度

$$S(\lambda_i/m_{ef}) = \frac{\partial \lambda_i}{\partial m_{ef}} \quad (7)$$

2) 特征值对刚度的灵敏度

$$S(\lambda_i/k) = \frac{\partial \lambda_i}{\partial k} \quad (8)$$

式中: λ_i 为特征值; m_{ef} 、 k_{ef} 分别表示质量 M 、刚度 K 中第 e 行第 f 列元素。分析上面两种灵敏度可知,对某阶特征值 λ_i , 该阶模态振型中变形较大的部位为敏感部位,改变这些部位的物理参数,将获得较大的特征值灵敏度。 $S(\lambda_i/m_{ef})$ 与 λ_i 有关,即当质量改变时,对各阶模态特征值灵敏度影响不同, λ_i 越大,影响越大,即质量的变化对高阶模态特征值影响较大,而 $S(\lambda_i/k_{ef})$ 与 λ_i 无关,即刚度变化对各阶特征值影响相同。

3 天线座的结构改进分析

3.1 结构改进目标

通过分析天线座各个部件的质量及刚度分布对各个部件模态特性参数的影响规律,确定各个部

件最佳的质量、刚度分布方案,即确定部件的模态特性结构改进方案。在此基础上,通过各个部件模态特性参数的改进,进而集成前视天线座整机模态特性参数的改进,从而达到前视天线座的低界固有频率远离71Hz及71Hz的整数倍的要求。

3.2 结构优化分析流程

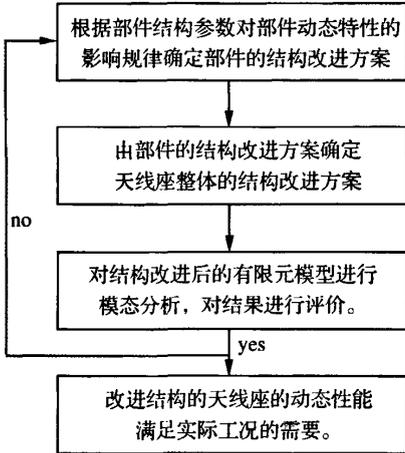


图2 前视天线座结构改进流程图

由于天线座的第一阶模态频率与飞机机体的激振频率几乎一致,必须采取可行的结构改进方法对天线座的模态参数进行调整来提高天线座的模态频率。但由于天线座结构复杂,约束条件庞杂,无法对其整体进行动力学性能要求的结构改进,因此我们采取主要部件结构改进实现整体的集成改进的思路。

3.3 天线座各个部件结构改进方案的确定

为了改进天线座的动力学性能,用主要部件优化实现整机的集成优化的思路,首先确定对各个部件的动力学性能起关键作用的动力学性能变化敏感部位,改变这些部位的结构参数,可以确定这些结构参数对各个部件动态性能的影响规律,根据这些规律我们就可以根据预想的目标来确定各个部件的结构改进方案。首先对各个部件进行自由模态分析,通过分析结果提取各个部件的自由模态振型。对某阶特征值 λ_i ,该阶模态振型中变形较大的部位为敏感部位,改变这些部位的物理参数,将获得较大的特征值灵敏度,可以确定对各个部件的动力学性能起关键作用的动力学性能变化敏感部位。因为前六阶自由模态振型为刚体的自由运动,其前六阶固有频率均为零,因此在计算时从第七阶算起,以实际的第七阶为第一阶显示固有频率,共计算11阶。

3.4 方位架结构改进方案及固有频率变化趋势

根据图3,为了有效提高方位架的固有频率,可以改变方位架模态振型变形较大部位的物理参数,依次确定方位架的结构改进方案如下:(1)将方位架的底板尺寸增加2mm(增加%10)。(2)方位架底板加强筋增加4mm(增加%15)。(3)方位架立板及立板侧筋减小2mm(减小%10)。结构改进后固有频率的变化的结果如表2所示:

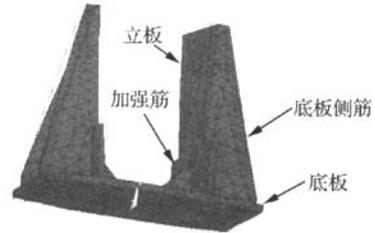


图3 方位架模态振型的变形形状

表2 方位架结构改进前后其固有频率的变化 Hz

阶数	1	2	3	4	5
原方案	195.2	245.7	514.41	925.18	1001.2
改进方案	239.44	271.33	582.03	1032.03	1142.12

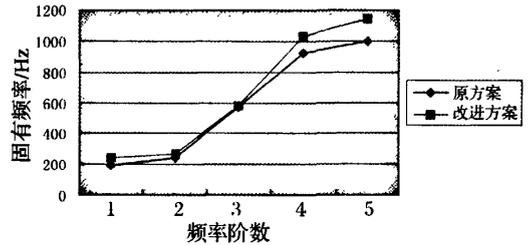


图3 方位架结构改进前后其固有频率的变化的变化趋势

3.5 俯仰架改进方案及其固有频率变化趋势

根据图4,为了有效提高俯仰架的固有频率,可以改变俯仰架模态振型变形较大部位的物理参数,依次确定俯仰架的结构改进方案如下:(1)将俯仰架的侧板尺寸增加2mm。(2)俯仰架增加10mm

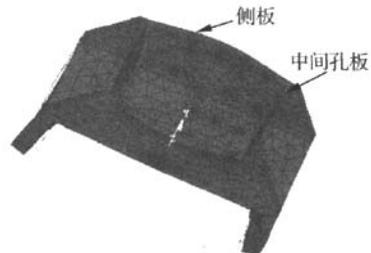


图4 俯仰架模态振型的变形形状

的中间孔板。(3)俯仰架中间孔板厚度增加1mm。结构改进后模态分析的结果如表3所示:

表3 俯仰架结构改进前后其固有频率的变化 (Hz)

阶数	1	2	3	4	5
原方案	422.44	504.94	651.57	1435.4	1488.6
改进方案	492.88	581.92	652.76	1672.8	1723.1

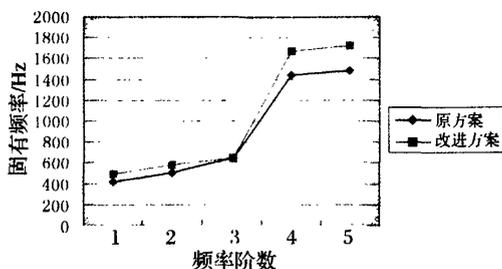


图4 俯仰架结构改进前后其固有频率的变化趋势

3.6 馈电箱改进方案及其固有频率变化趋势

根据图5,为了有效提高馈电箱的固有频率,可以改变馈电箱模态振型变形较大部位的物理参数,依此确定馈电箱的结构改进方案如下:将馈电箱的箱体壁厚增加1mm。结构改进后模态分析的结果如下表所示:



图5 馈电箱模态振型的变形形状

表4 馈电箱结构改进前后其固有频率的变化 (Hz)

阶数	1	2	3	4	5
原方案	1448.5	1801.4	2095.7	2250.8	2413.8
改进后	1664.5	1927.8	2157.6	2550.1	2790.8

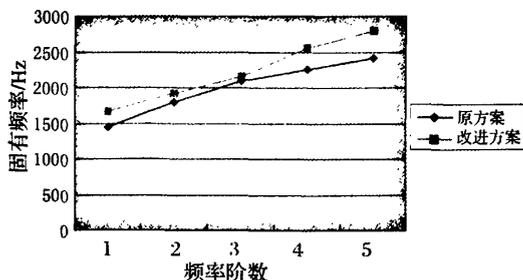


图6 馈电箱结构改进前后其固有频率的变化趋势

4 结构改进后的天线座模态分析

根据主要部件结构改进实现整体的集成改进的思路,在确定了方位架、俯仰架、馈电箱等主要部件的结构改进方案后,前视天线座的整体结构改进方案也就确定了,通过对天线座模态特性起决定作用的三个部件:方位架、俯仰架、馈电箱局部结构外形、局部结构尺寸的改变,使天线座整机的模态参数向预期的方向改变。表5是结构改进后天线座的模态分析结果。

表5 结构改进后的天线座模态分析结果 (Hz)

第一工况	固有频率	振型
第一阶	81.371	侧向弯曲
第二阶	107.45	侧向弯曲
第三阶	128.286	扭转
第四阶	295.778	扭转
第五阶	390.309	侧向弯曲

从数据比较可以看出,天线座的其余各阶固有频率都得到了大幅提高,其中第1阶提高14%、第2阶提高10%、第4阶提高11%、第5阶提高11%。结构改进后的天线座的前5阶固有频率均避开了飞机的激励频率(71Hz)及其整数倍,达到了避免共振发生的结构改进目标。从改进后结构的振型可以看出,各阶的振幅有一定程度的减小,表明天线座的动态性能得到了提高。

5 结语

本文针对飞机前视天线座现有结构,用模态分析方法对其进行研究,并以分析结果为出发点找到原结构设计上的缺陷,利用局部尺寸、局部质量、局部刚度变化对结构固有频率敏感性的影响原理,有针对性的改善了结构的动态性能,取得了很好的结构改进设计效果,该方法对提高现有设备的动态性能有很好的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 王其政. 机构耦合动力学[M]. 北京:宇航出版社,1999.
- [2] 邵忍平. 机械系统动力学[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- [3] 刘守圭,杨序贵,何小琦,等. 栅控电子枪部件的模型修正方法[J]. 中山大学学报(自然科学版)2004,43.
- [4] 廖伯瑜,周新民,尹志宏. 现代机械动力学及其工程应用—建模、分析、仿真、修改、控制、优化[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- [5] O. C. Zienkiewicz. The Finite Element Method in Engineering Science[M]. McGraw-Hill, London, 1971:35-47.

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>