

空间充气展开天线支撑结构的模态分析

苗常青^{1,3}, 李学涛², 马 浩²

(1. 天津大学 材料科学与工程学院, 天津 300072, E-mail: miaocq@hit.edu.cn; 2. 青岛理工大学 数理与信息工程系, 山东 青岛 266033; 3. 哈尔滨工业大学 复合材料与结构研究所, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘 要: 利用 ANSYS 对充气展开天线支撑结构进行了模态分析, 单元模型采用 ANSYS 提供的四边形四节点壳单元, 利用 Block Lanczos 方法(兰索斯法)分析了结构的固有频率和相应的振型, 并进一步研究了结构尺寸参数对结构模态的影响, 给出了结构固有频率随结构尺寸参数的变化曲线. 分析结果表明, 结构的尺寸参数对支撑结构的模态有着重要的影响.

关键词: 充气展开天线; 模态分析; 有限元; 动力学

中图分类号: TB122

文献标识码: A

文章编号: 0367-6234(2005)11-1589-03

Modal analysis of support structure of space inflatable antenna

MIAO Chang-qing^{1,3}, LI Xue-tao², MA Hao²

(1. School of Material Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China, E-mail: miaocq@hit.edu.cn;
2. Dept. of Mathematics Physics and Information Science, Qingdao Technological University, Qingdao 266033, China;
3. Research Institute of Composite Materials and Structure, Harbin Institute of Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: Modal analysis of an antenna support structure is carried out with the ANSYS program. Four - nodal quadrangular shell elements and the Block Lanczos method are used to analyze natural frequencies and corresponding modes of the structure. Furthermore, the effects of structural dimension parameters on the modes are investigated as shown in curves of structural natural frequencies with dimension parameters. The results show that structural dimension parameters greatly affect the modes of an antenna support structure.

Key words: inflatable antenna; modal analysis; finite element; dynamics

空间充气展开天线以柔性复合材料薄膜构造, 经过折叠包装并发射至空间预定轨道, 然后通过充气展开并且刚化, 从而形成大型空间结构. 与传统空间天线相比, 大型空间充气展开天线具有发射体积小、重量轻、可折叠包装、发射费用低等优点, 因此成为目前空间天线中的研究热点^[1]. 空间充气展开天线运行过程中有时要进行姿态调整和轨道改变, 会引起各种动力学问题, 因此有必要对充气展开天线的动力学特性进行研究.

目前, 对于充气展开天线的动力学研究, 主要集中在对充气展开天线整体的模态分析和实验测试以及对充气管在动力作用下屈曲分析. Leonard 指出, 可以利用弹性梁的弯曲模态来近似充气管

的低阶频率^[2]. Main 等使用欧拉-贝努利梁理论来分析充气管的动力性能^[3]. Park 等利用智能材料对充气展开天线结构中的支撑环进行了振动测试, 得到支撑环的固有频率和振型, 试验结果和有限元分析结果得到了很好地吻合^[4].

上述研究存在几点不足之处: 通常将薄壁充气管作为梁进行分析; 只对部分结构进行研究; 实验研究中的天线结构尺寸较小, 不能充分反映大型天线的动力学特性.

本文主要对大尺寸空间充气展开天线支撑结构进行了模态分析. 利用有限元软件 ANSYS, 建立了充气展开天线支撑结构的有限元模型, 利用壳单元对支撑结构进行了模态分析, 给出支撑结构的固有频率和振型, 并通过改变结构尺寸参数来分析结构尺寸的影响. 分析结果为进一步结构动力学分析以及结构设计优化提供了依据.

1 模态分析

模态分析主要计算结构的固有频率、模态振型、模态阻尼比及其他模态参数^[5]。

动力学的基本方程为

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{f(t)\}.$$

对于模态分析,通常 $f(t) = 0$, $[C]$ 一般不计,因此模态分析的公式为

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = 0.$$

式中: $[M]$ 为结构的质量矩阵; $[C]$ 为结构的阻尼矩阵; $[K]$ 为结构的刚度矩阵; $f(t)$ 为节点的荷载向量; $\{\ddot{u}\}$ 为结构的节点加速度向量; $\{\dot{u}\}$ 为结构的节点速度向量; $\{u\}$ 为结构的节点位移向量。

对于结构固有频率和振型的确定,有许多的数值解法,例如雅可比法、幂迭代法、子空间迭代法、反迭代法等。但是随着计算机技术的迅速发展,利用计算机软件来计算大型结构的固有频率和振型非常方便,因此本文利用有限元软件 ANSYS 来计算和分析结构的模态参数。

2 设计模型的介绍

空间充气展开天线包括反射面、支撑环、支撑管、储存箱、馈源等部分。本文设计的14 m口径充气展开天线模型如图1所示。其中,储存箱及馈源由一长方体代替。

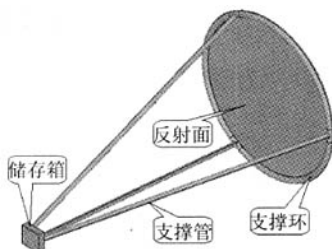


图1 空间充气展开天线设计简图

模型尺寸如下:三个充气支撑管长度为28 m,直径为0.45 m,管壁厚度为0.3 mm;充气支撑环内圈半径为7 m,支撑环截面直径为0.6 m,管

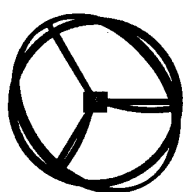


图3 第一阶振型

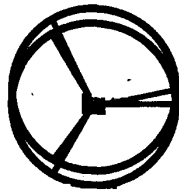


图4 第二阶振型

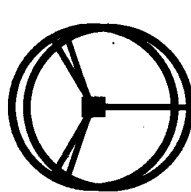


图5 第三阶振型

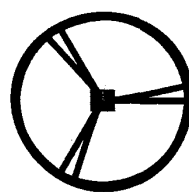


图6 第四阶振型

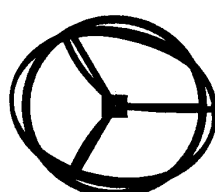


图7 第五阶振型

4 结构尺寸对模态的影响

4.1 支撑管直径的影响

万方数据

壁厚度为0.3 mm。二者的材料均为刚化后的碳布,其弹性模量约为22.094 GPa,泊松比为0.33,密度约为1005 Kg/m³。上述基本物理参数通过实验测得,刚化碳布由碳纤维预浸布加热固化制得。储存箱材料为铝,位于支撑管末端,用来存放折叠后的充气展开天线。

在对充气展开天线进行模态分析时,做了如下假定和处理:(a)将支撑环、支撑管以及储存箱作为一个整体,不考虑实际中各部件处的连接;(b)分析模型不包括反射面;(c)将储存箱一侧固定;(d)将材料假设为线弹性材料。

在上述假定的基础上,根据结构的薄壁特性,选用四边形壳单元 shell63,采用自由四边形网格和映射四边形网格相结合的方法对几何模型进行了网格划分,其有限元模型如图2所示。

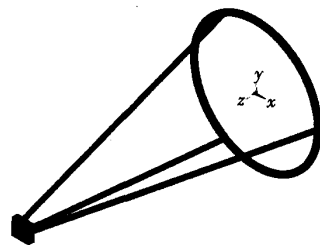


图2 空间充气展开天线支撑结构的有限元模型

3 支撑结构的模态分析

用ANSYS对充气展开天线支撑结构进行模态分析时,采用Block Lanczos方法(兰索斯法)分析结构的固有频率和振型,并给出结构前5阶固有频率和振型。所得到的结果如表1所示,对应的前5阶振型如图3~7所示。

表1 结构的前5阶固有频率

阶数	频率/Hz	振型描述
1	0.083 489	沿y轴方向上下振动
2	0.088 087	沿x轴方向上下振动
3	0.363 71	绕z轴方向扭转
4	0.912 51	环沿着与x轴正向成120°方向伸缩
5	0.923 86	环沿着与x轴正向成90°方向伸缩

直径取分别0.30 m,0.35 m,0.40 m,0.45 m,0.50 m,0.55 m进行模态分析,研究在此范围内支撑管直径对结构模态参数的影响。取前

10 阶频率,具体结果见图 8. 由图 8 可以看出,当支撑管直径由 0.30 m 增至 0.55 m 时,结构的前 10 阶固有频率值有逐渐增大的趋势. 前两阶的频率值很小,并且增长缓慢.

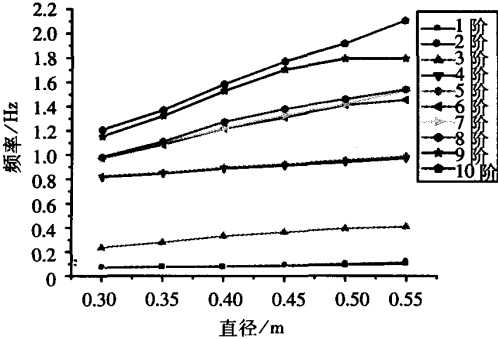


图 8 支撑管直径对频率的影响

4.2 支撑壁厚厚的影响

壁厚取分别 0.3 mm,0.45 mm,0.6 mm,0.75 mm,0.9 mm 进行模态分析,研究在此范围内支撑管壁厚对结构模态参数的影响. 取前 10 阶频率,具体结果见图 9. 由图 9 可以看出,当支撑管壁厚由 0.3 mm 增至 0.9 mm 时,结构的第一阶、第二阶、第四阶、第五阶、第六阶固有频率有逐渐下降的趋势;第三阶频率变化不大;第七阶至第十阶频率有逐渐增大的趋势. 但是变化的幅度并不大.

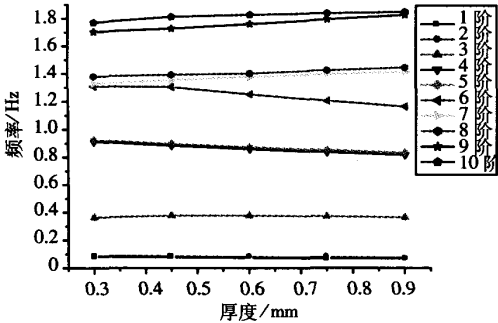


图 9 支撑管壁厚对频率的影响

4.3 支撑环截面直径的影响

截面直径取分别 0.60 m,0.65 m,0.70 m,0.75 m,0.80 m,0.90 m 进行模态分析,研究在此范围内支撑环截面直径对结构模态参数的影响. 取前 10 阶频率,具体结果见图 10. 由图 10 可以看出,当支撑环截面直径由 0.60 m 增至 0.90 m 时,前 10 阶频率中结构的第四阶和第五阶固有频率变化不大;第八阶频率有逐渐增大的趋势;其他各阶频率有逐渐下降的趋势.

4.4 支撑环壁厚厚的影响

壁厚取分别 0.3 mm,0.45 mm,0.6 mm,0.75 mm,0.9 mm 进行模态分析,研究在此范围内支撑环壁厚对结构模态参数的影响. 取前 10 阶频率,具体结果见图 11. 由图 11 可以看出,当支撑环壁厚由 0.3 mm 增至 0.9 mm 时,结构的第一阶、第二阶、第四阶、第五阶、第六阶固有频率有逐渐下降的趋势;第三阶频率变化不大;第七阶至第十阶频率有逐渐增大的趋势. 但是变化的幅度并不大.

环壁厚对结构模态参数的影响. 取前 10 阶频率,具体结果见图 11. 由图 11 可以看出,当支撑环壁厚由 0.3 mm 增至 0.9 mm 时,结构的前三阶固有频率有逐渐下降的趋势;后七阶频率有逐渐增大的趋势.

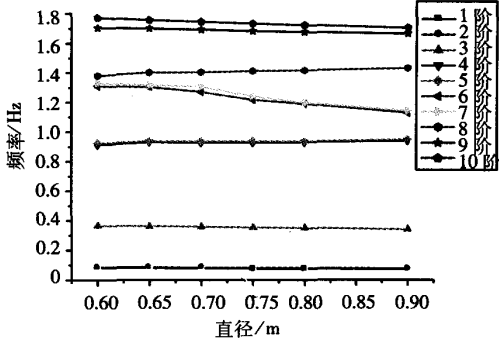


图 10 支撑环截面直径对频率的影响

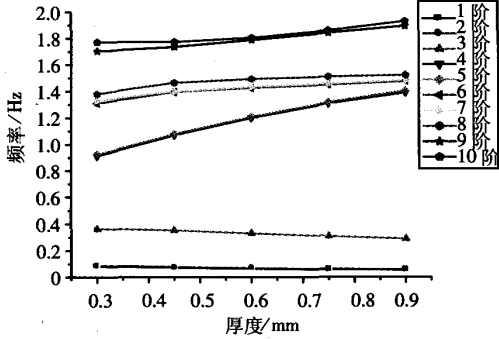


图 11 支撑环壁厚对频率的影响

5 结 语

本文利用有限元软件 ANSYS 对大型空间充气展开天线支撑结构进行了模态分析,并且通过改变结构部分尺寸参数来分析这些参数对结构模态的影响,得到的结论为充气展开天线的进一步动力学分析和结构设计提供了依据.

参考文献:

[1] COSTA C, MOTCH T. Inflatable structures technology development overview [J]. AIAA Paper, 1995, 95-3738.
[2] LEONARD J W. Tension Structures [M]. New York: McGraw-Hill, 1988.
[3] MAIN J A, CARLIN R A, GARCIA E, et al. Dynamic analysis of space-based inflatable beam structures [J]. Journal Acoustical Society of America, 1995, 97(2).
[4] PARK G, SAUSSE M, INMAN D J, et al. Vibration testing and finite element analysis of an inflatable structure [J]. AIAA Journal, 2003, 41(8): 1556-1563.
[5] 邹经湘. 结构动力学 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1996. 240-241.
[6] 博嘉科技. ANSYS 融会与贯通 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002. (编辑 王小唯)

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>