

基于 ANSYS 的 螺纹连接法兰结构模态分析

注：国家自然科学基金资助（项目编号：10876034）

摘要：运用工程分析软件 ANSYS 分析了螺纹连接法兰结构的模态。本文通过建立有限元模型对其进行模态分析得到固有频率、振型，对比分析不同固有频率对结构的影响，为螺纹连接法兰结构的有限元模型简化以及进一步的动力学分析、非线性接触分析提供了理论依据。

关键词：ANSYS；螺栓连接；有限元；模态分析

中图分类号：TB115 文献标识码：A 文章编号：1006-883X(2009)06-0033-03

高旭 曾国英 李婷婷

一、引言

现代机电系统是技术高度综合的系统工程，其结构部分一般包含有大量螺纹连接结构，连接结构为整个结构较薄弱的部位，连接可靠性直接影响整机的安全可靠，它们对于保障结构的功能实现至关重要。工程结构长期在复杂环境下工作，不可避免地造成连接状态的变化（如螺栓松动、垫层老化等），任由其发展就将可能导致连接失效，进而造成结构功能丧失，甚至酿成重大安全事故。因此重点对螺纹连接结构的固有频率和振型进行了分析，为螺纹连接结构的进一步非线性线性分析提供依据。

二、螺纹联接法兰结构介绍

该法兰模态试件主要用于研究螺纹连接状态的识别，主要包括上下两个壳体，连接方式有两种：螺栓连接、螺钉连接。上下壳体零件的材料为 Q235，在中间连接部位法兰盘上均布有八个螺栓（M6×25）。试件的上下壳体形状如图 1、2，整体形状如图 3(a)。

三、螺纹连接法兰结构有限元模型的建立

模型的简化以及网格划分是建立有限元模型的重要环节，也将直接影响计算结果的精度和计算规模^[1]。螺纹连接法兰结构的实体模型以及有限元模型如图 3。该

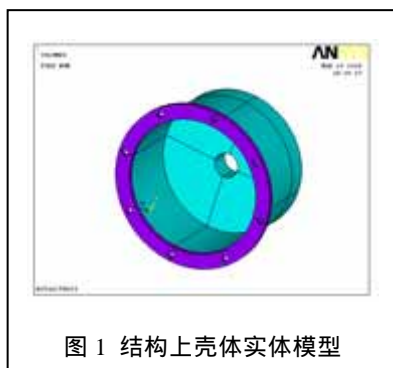


图 1 结构上壳体实体模型

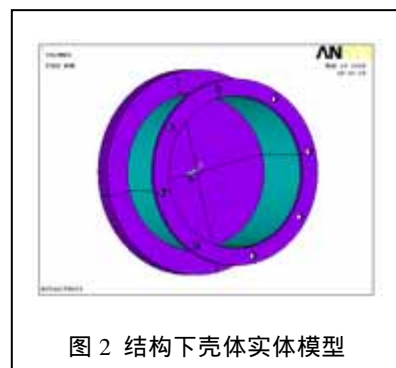


图 2 结构下壳体实体模型

有限元模型包括 solid45、solid186 两种实体单元，网格划分采用扫掠和智能划分两种方式，在模型建立过程中采用了一些简化如下：

(1) 忽略结构中的倒角以及倒圆。

(2) 由于基于 ANSYS 模态分析对非线性行为的忽略以及结构中上下件螺栓连接的紧密,将上下壳体的连接以及接触采用粘接的方式进行处理同时模型中去除螺栓、螺母。

四、模态分析的基本原理

在结构动力学中对于无阻尼振动系统,系统自由振动的运动微分方程^[2]用矩阵形式表示为:

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

式中, $\{\ddot{x}\}$ —加速度响应的 n 阶列阵;

$\{x\}$ —位移响应的 n 阶列阵;

$[M]$ —系统的质量矩阵, $n \times n$ 阶方阵, 正定矩阵;

$[K]$ —系统的刚度矩阵, $n \times n$ 阶方阵, 正定或半正定矩阵(在螺纹连接结构中,为半正定矩阵)。

令方程(1)的解为: $\{x\} = \{X\}e^{j\omega t}$ (2)

将式(2)代入式(1), 可得:

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

由式(3)的特征方程可得系统的固有频率 ω_i ($i=1,2,\dots,n$), 即求得系统的无阻尼固有频率。将 ω_i 代入上式可求得对应的位移向量 $\{X\}$, 称为固有振型 $\{\phi\}_i$ 。

五、螺纹连接法兰结构的模态分析

模态分析用于确定设计结构或机器部件的振动特性即结构的固有频率和振型,它们是承受动态载荷结构设计中的重要参数。同时,也可以作为其它动力学分析问题的起点^[3]。

对螺纹连接法兰结构进行模态分析,主要是确定其各阶频率以及振型对结构的不同影响从而为进一步非线性分析提供一定的依据。

在对螺纹连接法兰结构进行模态分析时不考虑结构阻尼且结构为线性,对地面 X、Y、Z 三方向进行约束,求解方法采用 Lanczos 法。

通过分析得到螺纹连接法兰结构的前 20 阶约束模态,其固有频率及振型如表 1。

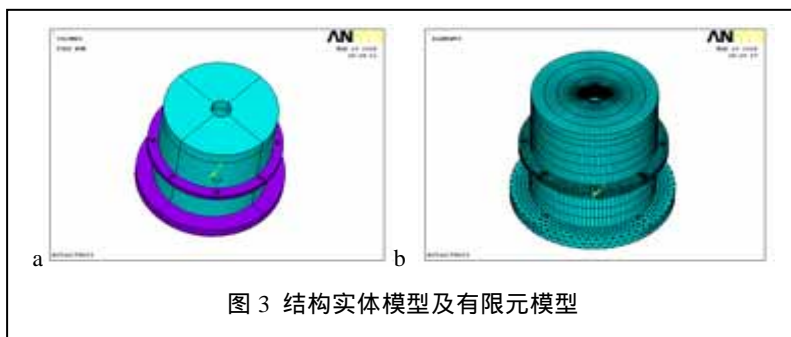


图 3 结构实体模型及有限元模型

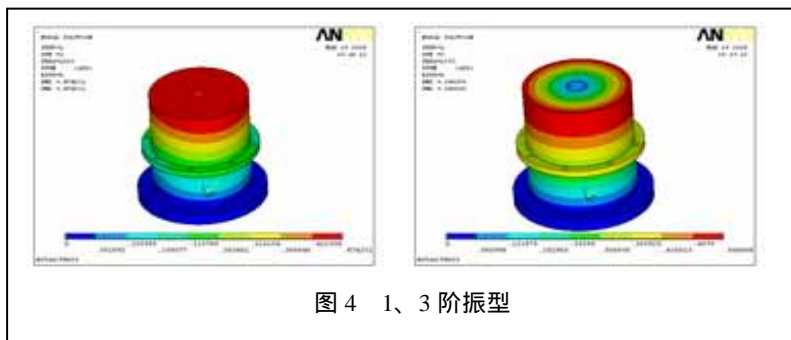


图 4 1、3 阶振型

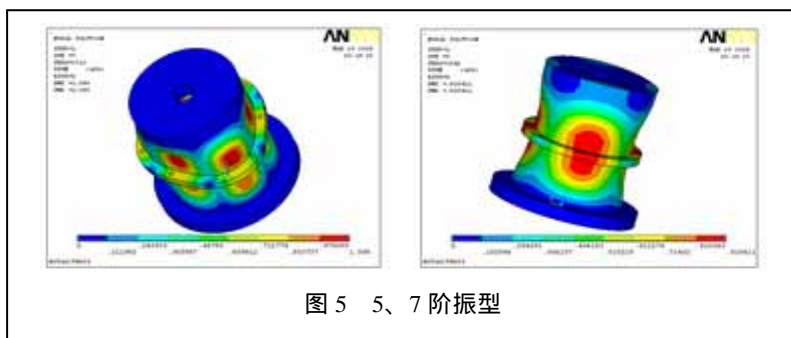


图 5 5、7 阶振型

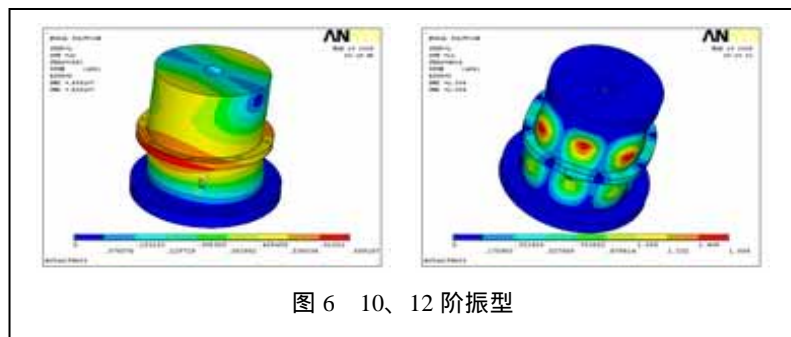


图 6 10、12 阶振型

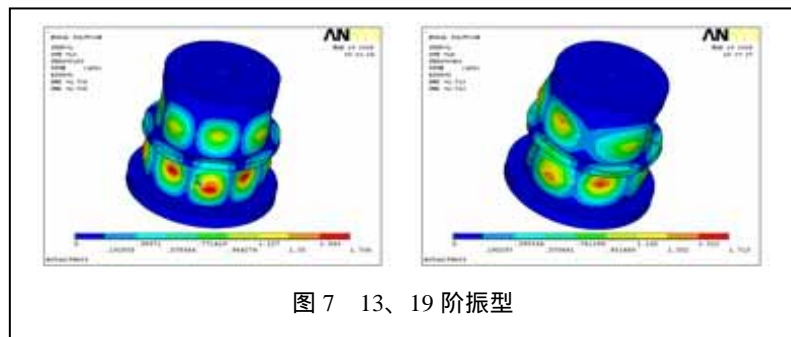


图 7 13、19 阶振型

表 1 螺纹连接法兰结构各阶固有频率及振型

阶数	固有频率 (Hz)	振型
1、2	1033	整体结构绕 Y 轴或 X 轴摆动
3	2373	绕 Z 轴转动
4	2613	沿 Z 轴上下振动
5、6	3042	法兰沿圆周上互相垂直的两个方向拉伸沿、压缩振动
7、8	3515	法兰在圆周等分三方向拉伸压缩振动
9、10	3993	绕 XY 平面一轴摆动
11、12	4604、4648	法兰在圆周四个方向上拉伸压缩振动
13、14	5188、5230	法兰在圆周四个方向上拉伸压缩振动及绕 Z 轴转动
15、16	5378	法兰绕 Y 轴或 X 轴摆动
17、18	5398	法兰圆周上五点拉伸压缩振动及绕 Z 轴的转动
19、20	5480	三个方向的拉伸压缩振动及上下振动

不同的固有频率具有不同的振型，但由于结构的对称性，从中选择综合位移较大的振型如图 4、5、6、7。

六、结论

利用大型通用有限元分析软件完成对螺纹连接法兰结构的模态分析，分析了不同固有频率下的振型，找出振动过程中影响最大的部位，对可能会影响螺纹连接状态的情况有了初步认识，为进一步研究螺纹连接状态以及非线性接触分析提供了理论依据。

参考文献

- [1] 邢静忠, 李军. ANSYS 的建模方法和网格划分[J]. 中国水运 (学术版), 2006, (9): 116-118
 [2] 林循泓. 振动模态参数识别及其应用[M]. 南京: 东南大学出

版社, 1994.

- [3] 刘国庆, 杨庆东. ANSYS 工程应用教程—机械篇[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2002.11.

Modal analysis of flange structure connected with screw bolts based on ANSYS

GAO Xu, ZENG Guo-ying, LI Ting-ting

(Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

Abstract: The model of flange structure connected with screw bolts is analyzed by using engineering analysis software ANSYS. Firstly, the model of flange structure connected with screw bolts is made, and then the free frequency and the shape are calculated through ANSYS software, the difference of shapes is compared under difference frequencies, the impact of flange structure exact location for frequency is acquired. This analysis makes theory for model simplification, Depth Kinetic analysis and nonlinear contact analysis.

Keywords: ANSYS; threaded connection; finite element; modal analysis

作者简介

高旭: 西南科技大学研究生, 研究方向为传感与测试技术

通讯地址: 四川省绵阳市西南科技大学东苑 8B-203

邮编: 621010

电邮: gaoxuswust@163.com 电话: 13881175743

曾国英, 西南科技大学副教授, 研究方向: 振动测试

李婷婷, 西南科技大学研究生, 研究方向: 振动测试

读者服务卡编号 008