

薄壳支架的模态分析*

陈波** 杜平安

(电子科技大学机械电子工程学院 成都 610054)

【摘要】利用有限元理论,对某承受动态载荷产品中的关键支撑件——支架建立了有限元模型,并进行模态分析,计算了前六阶模态参数(固有频率和模态振型)。通过与试验模态分析的方法获得的模态参数相比较,证明计算结果是合理的,提出了对结构的修改意见以提高结构的动态特性。

关键词 模态分析; 有限元; 动态性能; 支架

中图分类号 TH113.1

Modal Analysis of Supporting Bracket

Chen Bo Du Pingan

(College of Mechanical and Electronics Engineering, UEST of China Chendu 610054)

Abstract According to the theory of finite element, the finite element model of the bracket, a key supporting part in a product subjected to dynamic load, is established for modal analysis and the first six order modal parameter, including natural frequencies and vibration modes, is calculated. By comparing the calculated result with the experimental result, the calculated result is proved to be reasonable. Finally, some structure modifications are made to improve the dynamic behaviour of the bracket.

Key words modal analysis; finite element method; dynamic behaviour; bracket

在现代结构的设计过程中,不仅要考虑结构的静态特性还要考虑其动态特性。对于高速重载的机械产品,比如飞机、汽车、高速列车等,其支撑结构件的动态性能是决定整个产品质量和寿命的重要因素。产品运行中振动、噪音、动应力和动变形的大小都取决于这些关键结构件动态特性的优劣。

本文讨论的支架是某产品中的重要支撑件,产品在10~170 Hz频率区域内随机振动,功率密度很高。由于支架是薄壳结构,它的抗扭和抗弯刚度都很差,为提高支架动态性能,应先对其进行模态分析,根据分析结果,决定结构改进措施。

1 支架有限元模型的建立

1.1 网格划分

有限元建模的中心任务就是结构的离散^[1],即划分网格。此支架由U形支架和三角形支架构成,他们都是薄壁件,且壁厚均匀,因此可用四边形薄壳单元离散。具体过程是根据支架实体模型提取各个薄板的中面,再将其中面缝合在一起,进行自由边检查,定义壳单元的物理特性和材料特性,最后用壳单元自动分网。有限元模型如图1所示。

2002年6月27日收稿

* 四川省学术与技术带头人培养基金资助项目,编号:2200104

** 男 29岁 硕士

1.2 边界条件的设置

两个支架是用螺钉固定在一起,假设螺钉刚度很大,则在网格划分的时候在连接点定义节点,然后把对相应的节点用刚体单元连接以模拟螺钉连接。在机构中支架绕一根轴旋转,在此忽略了转轴的刚度,因此只释放了支架转轴处节点绕转轴的旋转自由度,而约束住其他自由度。有1根杆顶着三角支架,带动它绕转轴旋转,由于杆的刚度很大,所以把杆与三角形支架接触点看作固定约束。U形口中放了一个刚度很大的装置,故将对应节点用刚体单元连接。

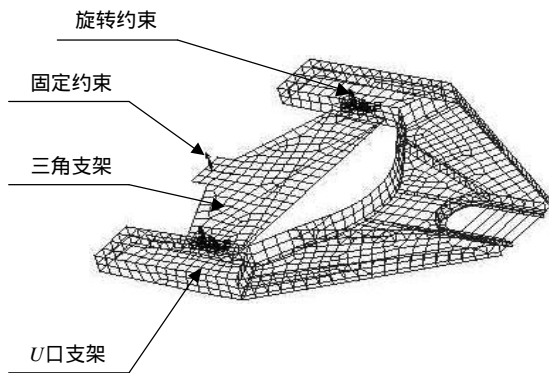


图1 支架有限元模型图

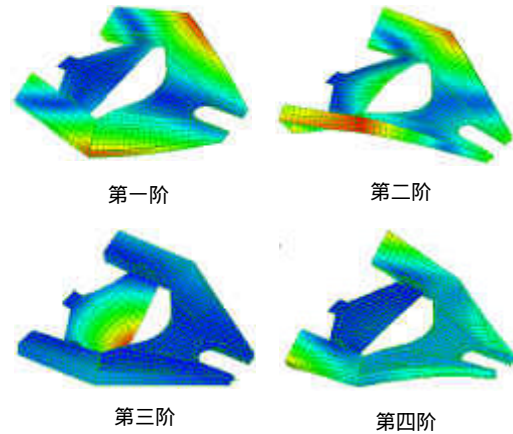


图2 前四阶模态振型位移图

2 计算模态分析

求解模态参数时,选择计算方法很重要。已有的计算方法有SINV法、Givens法、Houcnholder法。SINV法求解多个模态时的费用太大,Givens法、Houcnholder法及它们的变种只适用于较小的结构。如果结构质量矩阵质量不高或病态,比如奇异或近似奇异矩阵,都不便使用givens法或houcnholder法。Lanczos方法是近几年兴起的模态求解方法,它在以上各种方法的基础上,博采众长,又避免了各种算法所存在的缺陷,没有丢根现象,特征值、特征向量求解精度高^[2]。在用户感兴趣的频率范围内,Lanczos在每个漂移点处如果不能找到所有的特征根,也会给出提示信息,避免丢根的缺陷。因此本文选用了Lanczos来计算支架的模态参数。

由于系统的动力响应由结构几项低阶模态决定,因此只取前六阶分析。计算所得各阶固有频率如表1所示,各阶模态振型如图2所示。由于建立的有限元模型和真实的模型差异较大,计算的方法也会带来一定的误差,所以有限元计算的结果还不能保证获得的模态参数的正确性,还必须使用试验模态分析的方法来验证这种模型的可靠性。

表1 用两种分析方法得到支架前六阶模态参数的比较

阶数	试验模态分析固有频率/Hz	计算模态分析固有频率/Hz	相对误差/(%)	模态振型
1	182	165	1.103	一阶扭转
2	208	190	1.095	一阶竖弯
3	273	241	1.133	二阶竖弯
4	288	255	1.129	一阶横弯
5	362	345	1.049	二阶横弯
6	405	388	1.044	二阶扭转

3 试验模态分析

试验模态分析主要采用频域辨识方法^[2]。频域辨识就是对结构某一点激励,同时测得响应点和

激励点的时域信号,经A/D转换和FTT变换,变成频域信号,然后将频域数字信号进行计算,求得频域响应函数,再按参数辨识的方法求出模态参数。

试验时,将支架安装旋转轴的孔处插一根轴,以模拟结构真实的边界约束条件。试验系统由激励及响应测量两部分组成^[3,4],激励部分由工作站提供一个瞬态随机信号,经功放(BK2706)送入激励器(BK4810),再通过柔性顶杆固定三角支架的支点激励试件;力信号通过力传感器(BK8100)输入电荷放大器(BK2635),再通过HP数据采集器送入HP工作站;响应测量部分利用美国PCB公司的加速度传感器在20个检测点同时拾振,然后将信号通过HP3565数据采集器送HP工作站。利用LMS公司的CADA-X软件(专用试验模态分析软件)对响应信号进行处理,并得出支架前六阶的固有频率和响应振型,如表1所示。

4 结构改进

由一阶扭转振型可以看出,三角支架的抗扭刚度较弱,产生的扭转变形很大。一阶竖弯的振型可以看出U形口支架底板的抗弯刚度还较差。一阶横弯的振动频率已远离了共振区,因此不用考虑提高横弯的振动频率。可以通过在这两处增加加强筋或者增加厚度的办法来提高刚度,以达到增加各阶振型固有频率的目的。加强筋可以用梁单元离散,有限元模型如图3所示。改进结构后的计算结果如表2所示。

表2 改进支架结构参数后前六阶模态参数

阶数	增加加强筋后	增加2 mm厚度后
	固有频率/Hz	固有频率/Hz
1	180	168
2	218	202
3	303	256
4	333	275
5	357	346
6	422	389

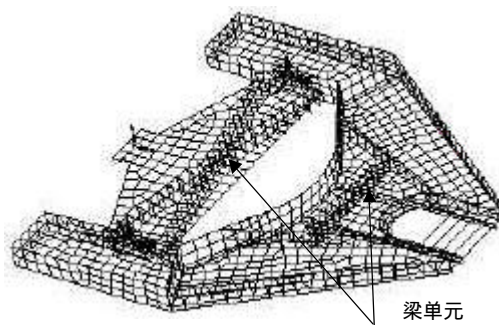


图3 增加加强筋后的有限元模型图

5 结论

由表1可见,计算模态分析所获得的固有频率与试验模态分析所获得的固有频率的相对误差最大只有1.129%,说明所建立的有限元模型是有效和可靠的。而且计算获得的结果偏低,实际上是提高了安全系数,对结构改进后所获得的计算结果更值得信赖。由表2可以看出,增加加强筋使一阶扭转频率增加了15 Hz,而增加厚度只提高了3 Hz。而且加强筋对一阶竖弯频率的提高影响也比增加厚度对它的影响大,所以可以考虑在不影响结构设计的前提下应使用加强筋来提高其固有频率。

参 考 文 献

- 1 杜平安. 结构有限元分析建模方法. 北京: 机械工业出版社, 1985
- 2 郭成壁. 有限元法及其在动力机械中的应用. 北京: 国防工业出版社, 1984
- 3 王红芳, 赵 枚. 基于动态特性的印制板结构改进. 振动与冲击, 2000, 19(1): 49-51
- 4 吴永桥, 顾伯达. 薄板结构的模态分析. 武汉理工大学学报, 2001, 23(4): 99-101