

# 模块化夹具系统研究及仿真分析

文华<sup>1</sup>, 王玲<sup>1</sup>, 殷国富<sup>1</sup>, 黄海基<sup>2</sup>, 白伟<sup>2</sup>

<sup>1</sup>四川大学; <sup>2</sup>成都敏捷制造工程有限公司

**摘要:** 分析国际相关基准系统并结合生产实际,设计了一种有利于清除灰尘和具有快速组合切削等特点的模块化夹具系统。建立振动学方程,利用有限元分析软件 ANSYS Workbench 对试验工件进行模态分析和谐响应分析,获取工件的固有频率、发生共振的频率以及共振的幅值。研究表明:进行铣削加工时,工件不会发生共振现象,设计的模块化夹具系统可行。

**关键词:** 夹具系统;模态分析;谐响应分析;共振

**中图分类号:** TG75;TH162

**文献标志码:** A

## Design and Simulation Analysis of Modular Fixture System

Wen Hua, Wang Ling, Yin Guofu, Huang Haiji, Bai Wei

**Abstract:** Based on the analysis of international benchmark system and production practice, a modular fixture system for dust removal and cutting is designed with the characteristics of rapid assembly. Through the establishment of vibration equation, the modal analysis and harmonic response analysis of the test workpiece are analyzed by using finite element analysis software ANSYS Workbench to capture the natural frequency, resonance frequency and resonance amplitude. The results show that the workpiece did not resonate in the milling process, the modular fixture system is feasible and benefit for engineering practicability.

**Keywords:** fixture system; modal analysis; harmonic response analysis; resonance

## 1 引言

随着制造业的飞速发展,数控机床加工在制造业领域扮演的角色越来越重要,机床夹具是机床加工中必不可少的重要部件,其优劣直接关系到工件加工表面的位置精度<sup>[1]</sup>。机床加工中产生的灰尘、切屑和油污等对夹具的稳定性、精度及使用寿命都有很大的影响,无法解决这个问题就无法真正实现工装夹具的快速更换。

通过对国际相关基准系统的分析研究,结合生产实际,本文设计出一套模块化夹具系统,特有的滚珠夹持系统更有利于清除灰尘和切削。需要加工某个工件时,可直接通过零点定位基准夹具系统安装到机床工作台上,无需调整位置和找正精度,可实现工装夹具与机床之间的快速定位和夹紧,减少机床加工中的辅助时间,把辅助工时变为有用工时,提高机床的工作效率和产品质量。

本文选取了机械加工中常用的模块化夹具系统进行装夹,然后进行铣削加工。通过对试验工件进行模态分析和谐响应分析,得到工件的固有频率、发生共振的频率及共振的幅值,验证工件在模块化夹具系

统装夹下进行铣削加工时是否会发生共振现象,进一步验证此模块化夹具系统的准确性及实用性。

## 2 模块化夹具系统的基本结构

系统主要由 T 型槽工作台、气动卡盘底板、孔系托板以及定位部件组成(见图 1)。

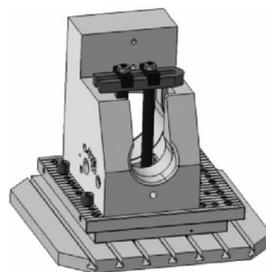


图 1 装夹有工件的模块化夹具系统

作为一种提高设备加工效率的工装系统,模块化夹具系统的主要作用是在保证零件加工精度的前提下,减少零件加工的辅助时间、零件装夹找正的次数和工件找正中的人工误差,提高加工效率,使批量加工工件的质量保持较高的一致性。

## 3 工件的模态分析及谐响应分析

### 3.1 建立振动模态方程

试验工件振动的固有频率和模态振型是其固有

的特性,只与结构的质量和刚度的分布有关。对试验工件进行模态分析和谐响应分析,得到工件的固有频率、发生共振的频率及共振的幅值;观察工件在模块化夹具系统装夹下进行铣削加工时是否会发生共振现象,进一步验证该模块化夹具系统的准确性及实用性。为此,建立试验工件的振动模态微分方程为

$$[M]\{\ddot{X}\} + [C]\{\dot{X}\} + [K]\{X\} = \{F\} \quad (1)$$

式中, $[M]$ 为质量矩阵, $[C]$ 为阻尼矩阵, $[K]$ 为刚度矩阵, $\{F\}$ 为工件载荷列向量, $\{\ddot{X}\}$ 、 $\{\dot{X}\}$ 、 $\{X\}$ 分别表示节点的加速度向量、速度向量和位移向量。

试验工件的振动模态是工件的固有特性,因此在工件进行模态分析时不能施加非零位移约束,所以系统的阻尼 $[C]$ 和载荷 $\{F\}$ 可以忽略,根据式(1)可得

$$[M]\{\ddot{X}\} + [K]\{X\} = \{0\} \quad (2)$$

工件的自由振动为简谐振动,即位移为正弦函数

$$\{X\} = \{x\} \sin(\omega t + \phi) \quad (3)$$

代入(2)可得

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

模态分析实际上就是求解特征值和特征向量的过程。通过式(4)无法求得解析解,只能利用有限元法进行特征值的求解<sup>[2]</sup>。

### 3.2 工件有限元模型的建立及模态分析

由于工件的固有频率只与其质量和刚度的分布有关,因此建模时忽略其模型上的小孔以及圆角等结构的影响,在有限元分析软件 ANSYS Workbench 中建立工件的有限元模型(见图2)。



图2 工件的有限元模型

因为各阶次模态振型下的固有频率均可能引起工件发生共振等形式的破坏,所以模态分析的阶次将扩展到十阶。对工件底面施加固定约束,经过有限元软件的分析计算,可得工件各阶模态下的固有频率(见表1),工件十阶振型下的变形情况见图3。

表1 工件各阶模态下的固有频率

模态阶次	1	2	3	4	5
固有频率(Hz)	414.67	669.51	1157.20	1356.30	1509.1
模态阶次	6	7	8	9	10
固有频率(Hz)	1593.60	1822.00	1856.10	2799.90	2913.20

由表1可知,工件模态的固有频率随着模态振型阶次的升高而逐渐增加。这是因为随着模态阶次的提高,高阶振动的节点数会变多,激发工件高阶振动的载荷能量逐渐减弱,高阶振动的激发愈发困难,故工件在第一阶模态振型处的固有频率最小。同时,在低阶次模态下,工件相邻两模态阶次的固有频率差较大,不易产生共振效应,符合模块化夹具系统的设计要求。

该夹具系统所适用的卧式加工中心的主轴转速范围为20-6000r/min,由此可知刀具加工的激振频率小于100Hz,远低于工件的固有频率范围,因此,工件不会发生共振现象。

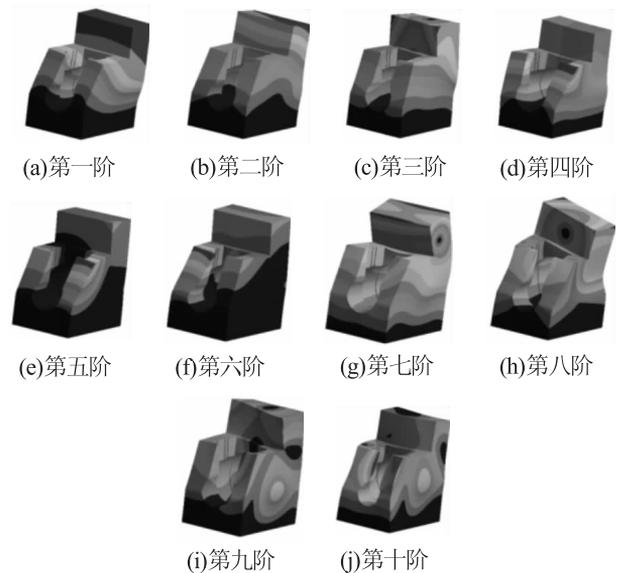


图3 工件的十阶变形图

由图3可知,工件的前十阶振动主要以弯曲振动为主,中间也伴随着扭转振动。在工件前二阶的振型变形图中,工件整体的振动幅度不大,第三阶振型图已出现弯曲和扭转振动现象;随着振型阶次的提高,工件的弯曲和扭转振动更加明显。由于低阶振动模态对工件固有特性的影响较大,所以工件的十阶振型图能满足模块化夹具系统的设计要求。

### 3.3 谐响应振动方程的建立及分析

工件在简谐载荷作用下的振动方程为

$$[M]\{\ddot{X}\} + [C]\{\dot{X}\} + [K]\{X\} = \{F\} \sin(\omega t) \quad (5)$$

式中, $\omega$ 为激振力频率。

假设位移方程为

$$\{X\} = \{A\} \sin(\omega t + \phi) \quad (6)$$

式中,  $\{A\}$  为幅值向量;  $\phi$  为相位角<sup>[2]</sup>。

通过式(5)和式(6)可知,这个方程没有解析解,只能通过有限元方法进行求解。设定激振力频率的范围以及频率间隔,通过 ANSYS workbench 软件进行谐响应分析,得到位移与频率的曲线,从而可知曲线的峰值频率。

由表 1 可知,工件的固有频率为 414.67 - 2913.20Hz。在有限元分析计算时,激振频率的最大值应该比模态计算出来的最大值(即第十阶自振频率)小 1.5 倍。因为计算的最大自振频率为 2913.20Hz,所以输入谐响应最大频段为:  $2913.20 / 1.5 = 1942.13$ ,取 1943 即可。设置步数为 40,取工件的待加工平面 YOZ 进行分析,通过计算得到待加工平面随频率的变化曲线。待加工平面沿 X、Y、Z 方向的位移—频率曲线分别见图 4、图 5 和图 6。

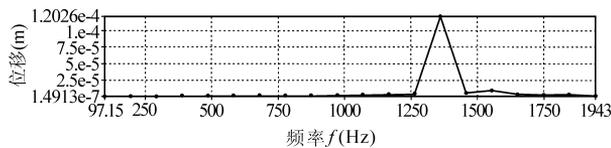


图 4 X 方向的位移—频率曲线

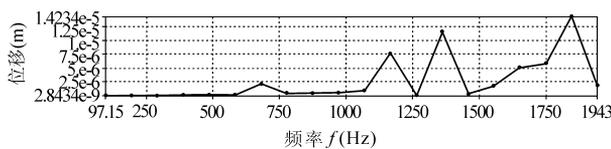


图 5 Y 方向的位移—频率曲线

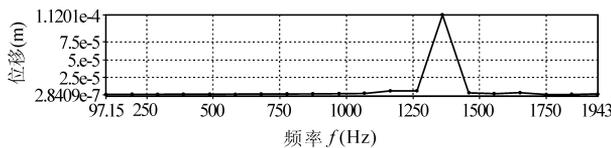


图 6 Z 方向的位移—频率曲线

由图 4 - 图 6 可知,由于工件受到夹紧力方向的影响,待加工平面的 X 方向与 Z 方向的位移要大于 Y 方向的位移。此外,激振频率 = 1356.30Hz 时发生共振现象,对应工件的第四阶模态,说明谐响应分析的共振频率存在于模态分析的固有频率中。因此,工件材料应选用刚度较大的,使激振力的频率远离工件的固有频率,避免共振的发生。

#### 4 结语

(1)通过国际相关基准系统的分析研究,结合生产实际创新设计了一套模块化夹具系统,使之具有更强的通用性、更高的模块化、标准化及系列化,

更加适应我国机械加工行业的实际情况和实际需求。

(2)对工件进行模态分析,得出工件的激振力频率小于工件第一阶振动模态的固有频率,因此工件不会发生共振现象。

(3)对工件进行谐响应分析,可得到工件发生共振的频率以及共振幅值,因此工件材料应选用刚度较大的,使激振力的频率远离工件的固有频率,避免发生共振。

(4)工件进行铣削加工时不会发生共振现象,由此可知,文中设计的模块化夹具系统具有良好的工程实用性,可广泛用于实际生产中。

#### 参考文献

- [1]冯辛安. 机械制造装备设计[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- [2]许进峰. ANSYS Workbench 15.0 完全自学一本通[M]. 北京:电子工业出版社,2014.
- [3]刘昌领,罗晓兰. 基于 ANSYS 的六缸压缩机连杆模态分析及谐响应分析[J]. 机械设计与制造,2013(3):26 - 29.
- [4]丁杰,唐玉兔. 联合被试设备的振动夹具结构仿真分析[J]. 航天器环境工程,2013,30(6):636 - 641.
- [5]徐雷,殷国富,宁芊,等. 基于功能实例推理的敏捷夹具设计[J]. 计算机集成制造系统,2005,11(4):458 - 461.
- [6]胡瑞飞,殷国富,徐雷,等. 基于多层实例库的组合夹具辅助装配研究[J]. 计算机集成制造系统,2006,12(11):1827 - 1831.
- [7]吴卫东,廖文和. 基于特征的夹具设计信息模型及其应用研究[J]. 组合机床与自动化加工技术,2013(5):94 - 97.

第一作者:文华,硕士研究生,四川大学制造科学与工程学院,610065 成都市

First Author: Wen Hua, Postgraduate, School of Manufacturing Science & Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China