

大型数控工作台有限元分析与试验

韩江, 许加凯, 张魁榜, 夏链

(合肥工业大学 机械与汽车工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘要: 数控回转工作台是大型数控镗铣床等机床的直接承载附件, 其结构特性对整机性能有很大影响。针对 HTK200B 回台的工作台部件, 进行了有限元分析, 得到了工作台的前五阶模态频率与静力学变形; 对工作台进行模态试验, 验证了工作台模态仿真分析模型的正确性, 为下一步进行结构优化提供了理论指导。

关键词: 工作台; 静力学分析; 模态分析; 模态试验

中图分类号: TH122

文献标识码: A

文章编号: 1672-4437 (2016) 02-0001-04

0 引言

数控回转工作台是大中型数控镗铣床等机床的承载部件, 作为相对于机床主体相对独立的功能附件, 其主要作用是装夹工件并带动工件实现加工过程中的直线与回转运动。工作台是数控回转工作台整机的直接承载部件, 其主要特点是尺寸大、结构复杂、加工难度大且成本高, 工作台部件的性能直接影响镗铣床的加工性能, 故需要在进行整机设计过程中需要对其进行仿真分析, 以验证结构设计的合理性^[1]。

针对 HTK200B 型大型数控回转工作台 (三维模型如图 1 所示) 的工作台部件, 通过有限元仿真计算和实验分析, 得到了工作台的前五阶模态频率、振型等模态参数, 了解其刚度和抗振性能; 并以此为基础进行了工作台的结构优化设计。

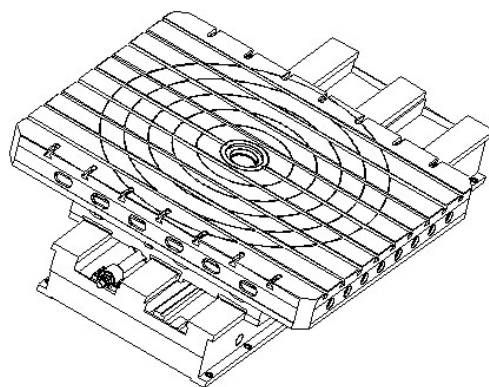


图 1 HTK200 工作台三维模型

1 工作台的有限元仿真分析

1.1 工作台模型的建立

考虑到工作台结构复杂性与有限元软件中直接建模较难, 工作台采用 Solidworks 建立三维模型, 工作台部件尺寸为 3000mm×2500mm×390mm (长

收稿日期: 2016-04-08

基金项目: 国家科技支撑计划 (2015BAF26B01); 安徽省自主创新专项项目 (13Z02026)。

作者简介: 韩江 (1963-), 男, 河南洛阳人, 合肥工业大学教授, 博士生导师。主要研究方向: 现代数控技术与数控机床, 智能制造及装备, 数字化、网络化、柔性制造技术与系统。许加凯 (1990-), 男, 河南固始人, 合肥工业大学机械与汽车工程学院在读硕士。主要研究方向: 数控技术及数控装备。

×宽×高), 材料为 HT300, 其弹性模量为 $1.43 \times 10^{11} \text{Pa}$, 泊松比为 0.27, 密度为 7300Kg/m^3 , 总重量为 5800Kg。为保证计算结果的准确性, 对几何模型进行了必要简化。几何模型是有限元计算准确性的基本保证, 合理的结构模型能节省计算资源并提高分析的效率^[2]。在建立工作台有限元模型之前对工作台上的刻线、油槽和小倒角等工艺特征进行了简化, 然后采用 solid187 单元^[3]对工作台进行网格划分, 该单元是高阶 3 维 10 节点固体结构单元, 具有二次位移模式、塑性、超弹性、应力钢化、蠕变和大变形能力。应用 7 级精度智能网格划分, 得到 134972 个单元和 273452 个节点的有限元模型。工作台的三维和有限元模型如图 2 所示。

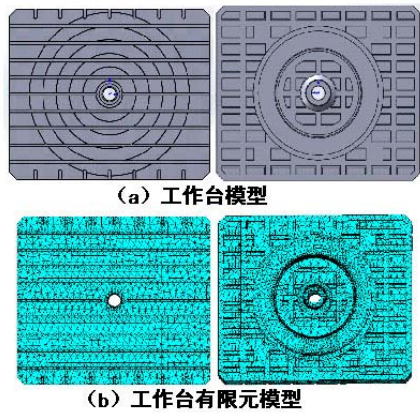


图 2 工作台的三维模型与有限元模型

1.2 有限元分析结果

对于任意一个结构而言其本身存在若干阶固有频率, 它与整个结构的自身特性相关, 根据有限元理论任意一个连续结构体均可以近似认为是由有限个微小单元体组合而成, 假设这些微小单元体的结构自由度为 N , 则该自由度也就决定了这个结构体的固有频率与模态振型阶数^[4]。对于整个工作台结构的固有频率而言, 低阶固有频率对工作台动态特性分析的意义更为重要^[5]。在实际工况下, 工作台的低阶振型对工作台整体振动有很大影响, 直接决定了工作台的动态特性并进一步影响数控回转工作台的加工精度。在实际工作中, 考虑工作台的前几阶固有频率与振型, 便可以评价工作台的振动和刚度情况。利用 ANSYS 有限元仿真软件对工作台进行模态分析得到工作台的前 5 阶阵型如图 3 所示。

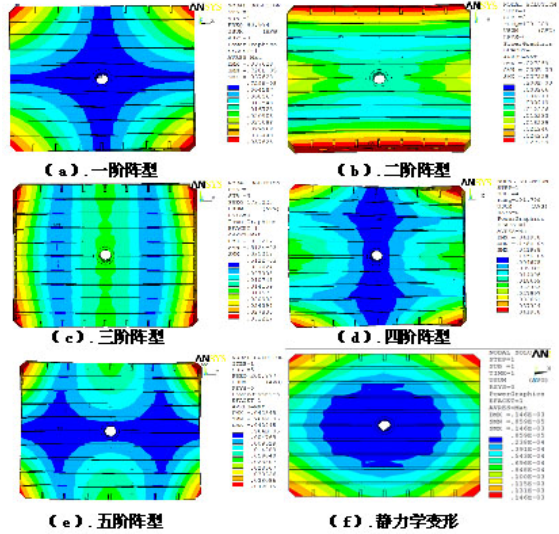


图 3 工作台有限元分析结果

HTK200B 型数控回转工作台在实际工况中所受负载主要包括: (1) 切削载荷 (分为与数控回转工作台相配合的数控铣镗床的镗削载荷、铣削载荷和钻削载荷); (2) 工作台承载的被加工工件重量; (3) 回转工作台自身重量。根据厂方提供的机械加工数据可知在工作台进行钻削加工时所受的力最大, 最大值约为 30000N, 相对于工作台的承重 40t, 这个值可以忽略。故而在对数控回转工作台进行整机静力学分析时只考虑工作台的承受的工件重量和工作台自重, 仿真分析结果如图 3 所示, 工作台的固有频率与振型结果如表 1 所示。

表 1 工作台模态分析的固有频率及振型特征

阶次	固有频率 /Hz	振型特征
1	90.97	四个边角的摆动
2	133.39	平行于 X 轴两边摆动
3	173.03	平行于 Z 轴两边摆动
4	191.71	四角摆动加平行于 X 轴两边摆动
5	200.88	四角摆动加平行于 Z 轴两边摆动

仿真分析结果显示: 工作台的前五阶固有频率均大于落地铣镗床主轴在最大工作转速时所对应的激振频率 (与本工作台相匹配的落地铣镗床的最大主轴转速一般不大于 3000r/min, 其对应的最高激振频率为 50Hz), 表明工作台在工况下不会产生共振, 工作台的动刚度满足基本设计要求。回转工作台整机静力学分析中工作台的最大变形为 0.146mm。

2 工作台的模态试验

2.1 测试方案

根据模态试验步骤,工作台的模态试验主要包括:划分测点,模型建立,设备安装与连接,数据采集和参数识别五个阶段^[6]。根据工作台的表面 T 型槽和底面筋板布置情况,对测点进行等间距的划分,可以得到 48 组共 240 个测点。

根据整个工作台的尺寸大,筋板较多的结构特点,整个测试过程采用单点激励多点拾振的方法采集数据。激励采用 200KN 的力锤,激励方向在垂直于工作台面的方向。现场测试与实物连接图如图 4 所示。



图 4 设备连接实物图

2.2 参数识别

实验模态分析的参数识别是运用整体多项式法,整体多项式拟合法在模态耦合紧密,有较大噪声污染的情况下,仍能获得较好的效果^[7]。算法中通过调整两个纵向光标确定要进行分析的工作台的频率范围,通过移动横向光标确认数据中要参与参数识别计算的峰值点数。通过计算频率阻尼和振型计算得到试件的固有频率、振型和阻尼比数据,为工作台的结构改进提供动力学参数和试验数据支持,为进一步以提高工作台刚度为目标函数的结构优化设计提供依据。

根据整体多项式法调整频响函数的纵横光标选择合理的模态参数计算频率范围(50Hz-200Hz),并计算模态试验中工作台的模态频率。本次工作台模态试验典型的频响函数如图 5 所示。

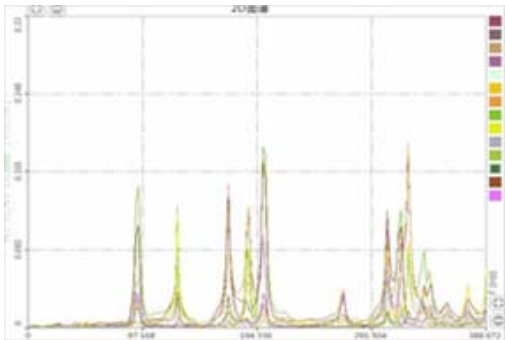


图 5 典型的频响函数

2.3 实验模态分析结果

根据得到的数据和已建立的工作台结构框图,经过 DH5922N 软件的计算分析,得到的工作台前五阶固有频率、阻尼比和振型,并用模态判定准则(MAC 值)验证模态试验分析结果。工作台固有频率、阻尼以及振型特征如表 2 所示,工作台模态试验结果与有限元理论仿真分析的结果对比如表 3 所示,MAC 直方图如图 6 所示。

表 2 工作台前五阶的固有频率、阻尼及振型特征			
阶次	固有频率/Hz	阻尼比	振型特征
1	93.01	0.012	四个边角的摆动
2	127.26	0.012	平行于 X 轴两边摆动
3	170.16	0.009	平行于 Z 轴两边摆动
4	186.85	0.009	四角摆动加平行于 X 轴两边摆动
5	200.40	0.007	四角摆动加平行于 Z 轴两边摆动

表 3 模态试验结果与仿真结果的对比			
固有频率阶数	实验结果 /Hz	仿真结果 /Hz	误差
1 阶	93.01	90.97	2.24%
2 阶	127.26	133.39	4.60%
3 阶	170.16	173.03	1.72%
4 阶	186.85	191.71	2.54%
5 阶	200.40	200.88	0.24%

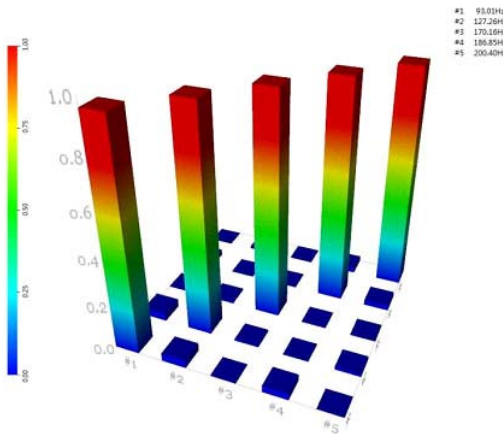


图 6 工作台 MAC 直方图

4 结论

通过模态仿真分析得到了工作台的结构固有

频率和模态振型,通过与模态试验所得的模态固有频率和振型相比可以发现,仿真分析和模态试验所得到的结构振型相同,而仿真分析得到的固有频率与模态试验得到的固有频率最大误差仅为 4.6%,两者相差较小,验证了工作台有限元仿真分析模型的正确性。

参考文献:

- [1] Sharma V S, Dhiman S, Sehgal R, et al. Estimation of cutting forces and surface roughness for hard turning using neural networks [J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2008, 19 (4) : 473 - 483.
- [2] 张明旭,尹志宏,刘晓东,等. 结构几何简化对模态结果的影响[J]. 现代制造工程, 2008 (11): 118-120.
- [3] 王新敏,李义强,许宏伟. ANSYS结构分析单元与应用[M]. 人民交通出版社, 2009.
- [4] 韩江,陈飞,夏铤,等. 大型数控立车横梁动力学仿真分析与实验研究[J]. 制造技术与机床, 2015 (2): 74-77.
- [5] 蔡力钢,马仕明,赵永胜. 多约束状态下重载机械式主轴有限元建模及模态分析[J]. 机械工程学报, 2012, 48 (3): 165 - 173.
- [6] 褚志刚,夏金凤. 机床整机试验模态分析[J]. 机械设计与研究, 2014, 6 (30): 107-108.
- [7] 施建光. 三主轴立式加工中心整机动态性能分析与优化[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2014: 37.

Finite Element Analysis and Experiment of Large-scale CNC working table

Han Jiang, Xu Jia-kai, Zhang Kui-bang, Xia Lian

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: CNC rotary table is the direct bearing member of CNC milling and boring machine tools, whose structural characteristics have a huge influence on CNC rotary table. For the table component of HTK200B CNC rotary table, finite element method was used to obtain table's deformation at the maximum load in this paper. The top five modal frequencies were got too. In order to verify the correctness of modal simulation, modal test was done, which also provided a theoretical guide for next structural optimization .

Key words: working table; static analysis; modal analysis; modal test