

基于拓扑优化的高速加工中心主轴箱动态特性优化设计

■ 深圳市捷甬达实业有限公司 (广东 518111) 石云 韩涛

摘要：本文针对我公司高速加工中心H86主轴箱动态特性优化设计过程，进行方法探究。在SolidWorks中建立主轴箱三维模型，借助大型通用有限元分析软件Ansys Workbench进行优化分析。结果表明在保证主轴箱质量减轻7.23%的情况下，主轴箱的动态特性有明显提高，达到了预期优化目标。

主轴箱是数控机床的重要组成部分，是振动的主要承受者，主轴箱的动态特性的优劣对机床的整体刚性起着重要作用，所以探究主轴箱的优化设计方案就显得至关重要。

1. 主轴箱拓扑优化

结构拓扑优化的基本思想是在给定的设计区域内寻求最优材料分布，其最大优点是在未知结构拓扑形状的前提下，根据已知工况条件及设定的优化目标和约束条件来优化部件结构的形式，从而获得更轻且性能更佳优化方案。在此基础上，依据实际情况来确定结构的具体特征。

(1) 优化过程。通过查阅资料得知，主轴箱铸件材料为灰口铸铁，其弹性模量为 $1.57 \times 10^{11} \text{Pa}$ ，泊松比为0.27，密度为 7250kg/m^3 ；在滑块接触处采用位移完全约束，丝杠轴承座内面X和Z方向位移约束，在主轴箱前部施加集中力模拟主轴电动机和主轴质量，主轴箱下端施加

作用力模拟切削过程。优化目标是质量减轻20%，优化结果如图1所示。

图1中灰色部位是建议保留部位，金色部位是不能确定的，红色部位是建议切除的。拓扑优化得出的结构较为怪异且不美观，往往在实际中无法加工，所以需要依据实际情况和经验对模型进行优化处理，尽可能满足结构对称。在此基础上对主轴箱进行了静力学分析，得知原有设计在主轴箱内部垂直截面过渡处、两侧加强筋及内部主加强筋等部位存在相对薄弱环节。而主轴箱丝杠螺母座的左右两侧、主轴箱上下滑块之间部位及主轴箱前端外侧

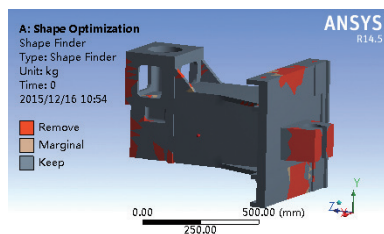


图1 主轴箱在特定工况下拓扑优化

等部位结构富余，通过增加主轴箱横竖截面之间的过渡圆角特征，增加加强筋的尺寸，挖空富余处结构，减小相应部位尺寸和特征。优化处理后的模型如图2所示。

2. 优化前后主轴箱模态分析对比

(1) 模态分析。模态分析是研究结构动力特性的一种近代方法，是系统辨别方法在振动领域的应用。模态是机械结构的固有振动特性，每一个模态具有特定的固有频率、阻尼比和模态振型。模态分析是机床动态性能分析的主要方法和内容。模态振型揭示了机床主要结构在不同频

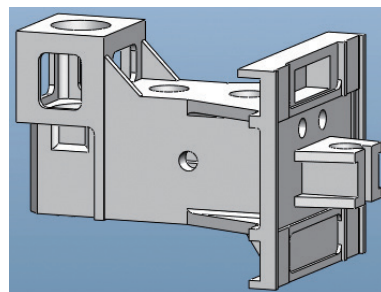


图2 主轴箱拓扑优化后的模型

率下的动位移（变形）方向和大小，描绘了机床动柔度的频率响应特性。

(2) 主轴箱优化前后模态对比。去除优化前后主轴箱上的细小特征，利用Ansys Workbench软件进行模态分析，输入材料密度、弹性模量和泊松比等参数，借助软件实体单元模块对模型进行网格自动划分，模拟边界条件，进行模态分析。分析结果如图3和图4所示。限于篇幅主轴箱其他阶模态振型图不再列出，相关数据如表1所示。

通过模态振型云图可以形象直观地看到优化前后机床主轴箱抗振性能的增加。红色（位移较大）区域范围减小，蓝色（位移较小）部位增多。通过最初设计的模态分析结果，在主轴箱质量减小的情况下，提高了主轴箱的动态特性，达到了预期优化的目的。

3. 优化前后主轴箱谐响应分析对比

(1) 谐响应分析。任何持续的周期载荷在结构系统中产生持

续的周期响应（谐响应）。谐响应分析是用于确定线性结构在承受随时间按正弦（简谐）规律变化的载荷时的稳态响应。谐响应分析使设计者能预测结构的持续动力特性，从而能够验证其设计能否克服共振、疲劳及其他的受迫振动等现象。

(2) 优化前后谐响应分析对比。对主轴箱主轴孔分别沿X、Y、Z三个方向施加力，大小分别是2 000N、2 000N、3 000N，来模拟主轴箱在切削时主轴对主轴箱的谐响应。首先将频率范围设置为10~1 500Hz，追踪主轴箱下端位移随振动频率的变化曲线，结果发现位移的较大频率集中在

200~750Hz之间，现减小频率范围，在频率范围内求解100次，分析主轴箱在优化前后，轴箱下端的位移随频率的变化曲线。从数据可以看出，在优化前位移的峰值总共出现两次。具体如图5、图6和表2所示。

通过对比分析，可以看到主轴箱的抗争性能明显提高，第一个峰值的对应频率由293.5Hz增加到326.5Hz，第二个峰值对应频率由579.5Hz增加到607Hz，第一个峰值的位移由0.352mm减小到0.263mm，减小较为明显，说明了设计优化后的合理性。第二峰值虽有所提高，但是对应频率有较大提高。相对而言机床主轴箱在优化后提高。

表1 主轴箱优化前后6阶固有频率对比

	固有频率/Hz						质量/kg
	1阶	2阶	3阶	4阶	5阶	6阶	
原设计	290.87	291.44	577.43	779.84	951.33	1 019	271.13
优化设计	323.17	328.85	608.43	866.17	1 059.8	1 081.1	251.54
变化量百分比 (%)	15.06	11.28	10.54	11.11	11.14	6.09	-7.23

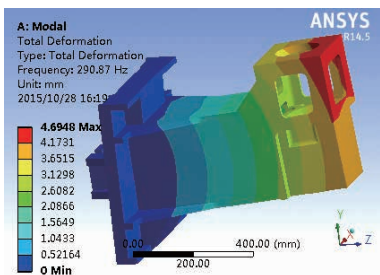


图3 原设计第一阶模态振型
(主轴箱上下摆动)

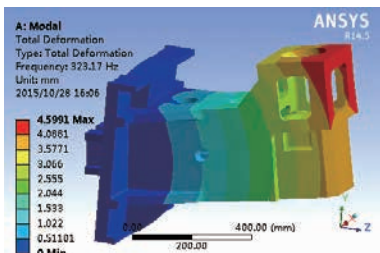


图4 优化设计第一阶模态振型
(主轴箱上下摆动)

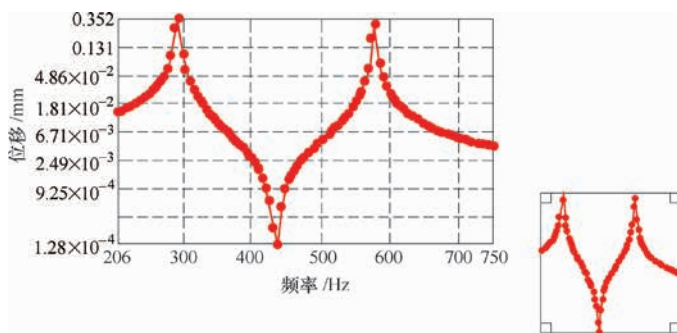


图5 原设计模拟主轴切削谐响应分析

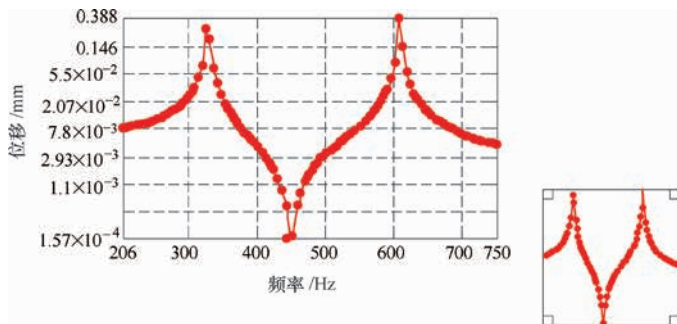


图6 优化后设计模拟主轴切削谐响应分析

当前数控职业教育转型升级的几点思考

■ 山东工业技师学院 （潍坊 261053） 路士超

摘要：本文就职业院校如何培养满足“中国制造2025”需求的高技能人才，提出一些建议。

制造业是国民经济的主体，是立国之本、兴国之器、强国之基。当前全球产业竞争格局正在发生重大调整，我国在新一轮发展中面临巨大挑战。为此，2015年国务院印发了《中国制造2025》国家战略规划，这是我国实施制造强国战略第一个十年的行动纲领。纲领中提出了十大重点突破领域，那么职业院校如何培育培养更多合格的高技能人才，为中国制造提供人才支撑，是值得每一位职业教育工作者认真思考的问题，为此笔者不揣浅陋，

谈一下对这个问题的几点思考。

1. 以经济新常态促进职业院校转型升级

当前中国经济正在进行深刻调整，要实现创新驱动和中国创造都离不开大量的高素质技能人才。支撑经济发展新常态至少需要三个体系的良性互动：现代产业体系、现代劳动就业体系和现代职业教育体系。为此，我们认识到要解决好三个导向，第一个导向是高技能人才培养要适应国家发展新阶段、新常态；第二个

导向是高技能人才培养一定要坚持以企业需求为导向，没有企业需求的人才培养就没有方向；第三个导向是坚持高技能人才培养过程中的问题导向，解决好企业与高技能人才培养的新问题。

作为高技能人才培养的主渠道，经济新常态对职业院校高技能人才培养提出了新要求，这既给技工教育工作带来新的发展机遇，也提出了更高的要求：第一，职业教育要由一般技术工人向应用型高技能人才培养转

表2 主轴箱优化前后谐响应分析对比

	峰值一位移/mm	峰值一对应频率/Hz	峰值二位移/mm	峰值二对应频率/Hz
原设计	0.352	293.5	0.272	579.5
优化设计	0.263	326.5	0.388	607

4. 结语

通过Ansys Workbench14.5大型通用商业化有限元分析软件对我公司高速高精加工中心H86主轴箱进行拓扑优化、模态分析和谐响应分析，设计出了一种新的主轴箱结构。优化后的主轴箱在质量减轻7.23%的情况下，一阶固有频率由290.87Hz增

加到323.17Hz，在特定工况条件下，谐响应分析共振频率分别由293.5Hz和579.5Hz提高到326.5Hz和326.5Hz。提供了一种机床主轴箱设计新途径，为今后机床主轴箱设计提供了参考。

参考文献：

[1] 杨晓京，陈子辰. 基于ANSYS静刚度分析的XK640数控机床关

键零件优化设计[J]. 机床与液压，2007（9）：42-45.

[2] 张胜兰，郑冬黎，郝琪，等. 基于HyperWorks结构优化设计技术[M].北京：机械工业出版社，2007.

[3] 程耿东. 机构优化新方法及计算机实现[J]. 力学与实践，1992（1）：1-6.

[4] 张曙，等. 机床产品创新设计[M]. 南京：东南大学出版社，2014.

MW（收稿日期：20160323）