

龙门加工中心整机动静态分析及结构优化

杨海粟, 田建平, 胡勇, 付磊, 黄丹平

(四川理工学院机械工程学院, 四川 自贡 643000)

摘要:以 SolidWorks 三维建模软件与 ANSYS Workbench 有限元分析软件为平台,建立龙门加工中心整机动静态分析模型,由分析得到整机在只受重力、以及重力与切削力同时作用这两种工况下的位移量数据及其相对变化量,得出整机的结构刚性及固有频率值,并综合分析结果提出滑枕及横梁的结构优化方案,通过结构改进减小整机变形量,提高整机加工精度,为加工时的误差补偿提供了理论依据。

关键词:龙门加工中心;整机;静力特性;动力特性;结构优化

中图分类号:TP391

文献标志码:A

引言

龙门加工中心已成为加工制造行业的重要工艺加工设备之一^[1]。鉴于广泛的市场需求,国内外主要机床生产商也开始研发各种高速、高精度的龙门加工中心^[2]。龙门加工中心整体结构复杂,由多个大型零部件组装而成,只针对部件进行研究无法切实得出整机的加工精度值,因此有必要对整机进行动、静态特性分析。

目前,针对龙门加工中心已有许多学者对其开展研究。丁长春^[3]等对龙门加工中的立柱结构进行静力学分析,并最终完成结构优化。王芳^[4]等针对龙门式镗铣床横梁,结合有限元法对其筋板结构等进行了优化设计。张飞^[5]等对大型龙门铣床的滑枕结构进行了模态分析,并采用 ODS 测试法进行试验,通过结果比对,找到其结构薄弱环节。刘兴业^[6]等针对龙门加工中心的丝杠传动系统,通过加载移动热源的方法,研究丝杠温度场及热变形情况。

本文结合四川某机床公司的某型号龙门加工中心,针对其整机加工的实际情况(切削力,机体自重等),通过 SolidWorks 和 ANSYS 软件建立相应的实体模型,并在静力学、模态分析方面加以研究,获取其结构强度、刚度

及整机可靠性,并针对薄弱环节进行结构优化,从而提高整机加工精度,并为加工时的误差补偿提供必要的理论依据。

1 整机实体建模

本文采用 SolidWorks 进行龙门加工中心各零部件的三维建模。其零部件结构较为复杂,且由于加工、安装、定位等工艺需要,其结构存在工艺孔、过渡圆角、小凸台等细小特征。这些结构特征尺寸较小,如果进行精确建模,将会导致网格划分时单元尺寸过小且数目过多,需耗费大量时间进行计算,但对整体的分析结果影响甚小,建模时需对这些特征进行简化或加以忽略。整机模型如图 1 所示。

模型建立完成后,运用 ANSYS Workbench 与 SolidWorks 的无缝连接直接导入 ANSYS 软件中,该方法很好地避免了复杂零件结构细节数据的丢失,保证了零件结构的完整性^[7-8]。

2 有限元模型建立

静力学分析中,网格划分采用 ANSYS Workbench 三维实体单元 Solid186,该单元为三维 6 面体 20 节点的结

收稿日期:2014-05-11

基金项目:人工智能四川省重点实验室科研项目(2013RYY03);四川省教育厅重点项目(14ZA0209);自贡市科技局项目(2013J19)

作者简介:杨海粟(1988-),女,四川成都人,助教,硕士,主要从事结构设计及 CAE 仿真分析研究,(E-mail) yhlsea324@163.com

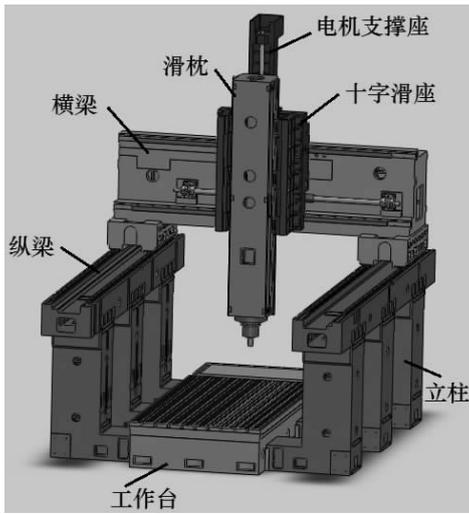


图1 龙门加工中心简化模型

构单元。由于整机结构复杂,故采用自适应网格划分,并在易出现应力集中的部位(如:滑枕表面、十字滑座、横梁表面、导轨、滑块、丝杠及螺母)进行局部网格细化。整机静力分析有限元网格划分情况如图2所示,其单元总数为1 595 414个。

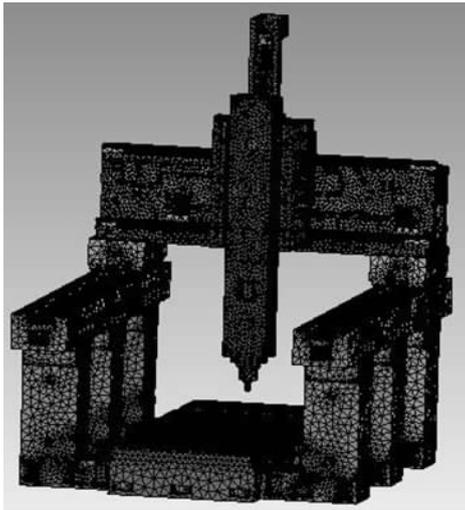


图2 整机静力分析有限元网格模型

模态分析中,采用Solid187,该单元为三维4面体10节点的结构单元,网格划分方式与前静力学分析的方法类似,其单元总个数为1 626 091个。

龙门加工中心整机的铸造零部件均采用HT300,刀具材料为高速钢,导轨、滑块等连接件采用结构钢。各材料属性见表1。

表1 材料属性

材料	密度/(kg/m ²)	弹性模量/GPa	泊松比
HT300	7340	1.54E+11	0.27
高速钢	14800	2E+11	0.3
结构钢	7850	2E+11	0.3

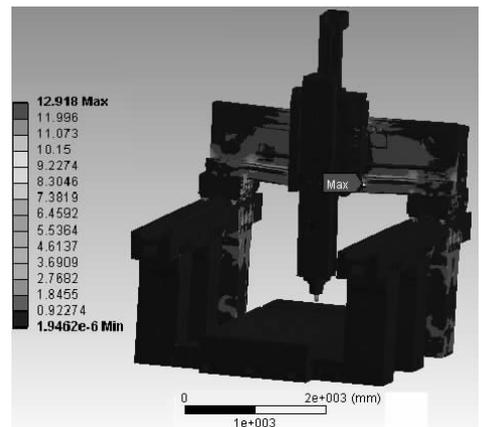
3 龙门整机静力分析

静刚度是金属切削机床中最重要的性能指标之一^[9],本文根据龙门加工中心在实际工作中的受力情况,考虑其自重、垂直于切削速度方向上的切削力分量及滑枕和十字滑座等在不同工位对整机形变的影响,针对滑枕处于最下端、十字滑座处于横梁中部、横梁处于纵梁尾部这一最恶劣的工况进行分析研究。分析时将只受重力及同时受重力和切削力这两种情况进行对比分析。

根据实际安装情况,分析时将整机底部进行全约束,并针对不同情况施加重力及 x 、 y 、 z 三向切削力,该力为机床主轴在3000 rmp下进行切削时所受切削力,各向均为1600 N。其分析结果对比见表2,图3给出了整机受 x 向切削力作用下的应力情况。

表2 整机同时受重力及切削力情况下的分析结果

分析情况及位置图示	总位移及各向最大位移/mm	最大应力/MPa	与只受自重情况相比较的位移增量/mm
受 x 向切削力	总位移	0.1630	0.0090
	x 向	0.1380	0.0010
	y 向	0.0092	0.0004
	z 向	0.1060	0.0058
受 y 向切削力	总位移	0.1360	-0.0180
	x 向	0.0970	-0.040
	y 向	0.0360	0.0272
	z 向	0.0976	0.0026
受 z 向切削力	总位移	0.1250	-0.0290
	x 向	0.1070	0.0300
	y 向	0.0089	0.0001
	z 向	0.0896	-0.0106

图3 整机受 x 向切削力时的应力结果

结合表2及图3可以发现,最大应力值出现在十字滑座与横梁连接处,其值为12.92 MPa,此时刀具受 x 向切削力。由此可见该加工中心 x 向静刚度相对较弱。在该情况下各向位移量也为最大,刀尖处总位移量达

0.163 mm,这是由于刀具部位受该向载荷时横梁产生了较大扭曲变形,并且由结构间的传递至刀具部位时被放大所致。

4 龙门整机模态分析

龙门加工中心的静态特性在一定程度上反应了其静刚度,并能由此判断机床的抗变形能力。为保证加工中心具有很好的加工精度和加工效率,还要求整机结构具有良好的动态特性,而机械结构前几阶模态是机床振动性能的关键^[10],本文通过 ANSYS Workbench 计算前六阶整机固有频率。前两阶固有频率值如图 4 所示,总体前六阶固有频率及振型见表 3。

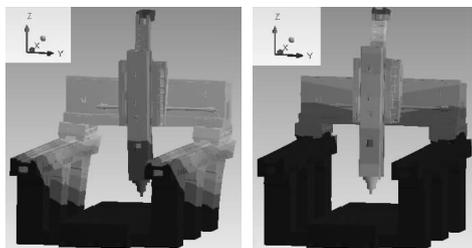


图 4 一、二阶模态

表 3 前 6 阶模态分析数值

阶数	频率/Hz	振型描述
1	30.177	立柱、纵梁、横梁沿 Y 方向左右振动
2	32.515	横梁、滑座、滑枕绕 Y 轴翻转
3	52.335	立柱、横梁、滑座、滑枕绕 Y 轴翻转
4	60.803	支撑座绕 Y 轴前后翻转
5	63.464	整机绕 Z 轴转动
6	66.873	立柱和纵梁在 Y 向左右振动

由表 3 可知,该龙门加工中心的前两阶固有频率偏低,只有 30.177 Hz 和 32.515 Hz,动态特性较差。4、5、6 阶有密频现象。

结合前面静力分析的结果可知:横梁、滑枕是其较为薄弱环节。这是由于该加工中心横梁 x 向的刚度低以及滑枕长度过长,造成整机低阶固有频率偏低及总位移量较大。

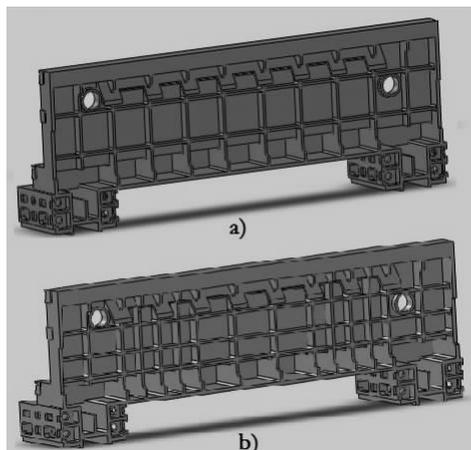
5 横梁及立柱的结构优化

通过前文分析可知,设计中应适当提高横梁的抗扭刚度,并同时调整滑枕至合理长度,最终减小重力及切削力作用下的机床变形。这是该加工中心提高其动、静态性能的关键。

(1) 横梁结构改进

根据整机静力分析可知,十字滑座位于横梁中部时,其应力变化情况左右对称且应力较大处位于横梁两

侧靠近支撑处。因此,改进方案为:在应力较为集中处进行纵向加筋,并调整前端横梁横向筋板密度以改善其中部的弯曲现象。筋板结构调整前后情况,如图 5 所示。



(a) 改进前横梁筋板布置;(b) 改进后横梁筋板布置

图 5 横梁筋板结构调整前后对比图

(2) 滑枕结构改进

由分析结果发现,滑枕的静强度与动态性能都较好,但根据加工中心整体结构,可发现其存在结构过长的现象,这一设计既增加了自身质量,缩短了行程,又加剧了刀尖变形趋势。滑枕结构改进前后对比如图 6 所示。修改前后行程增加 290 mm,质量减轻 126 kg。

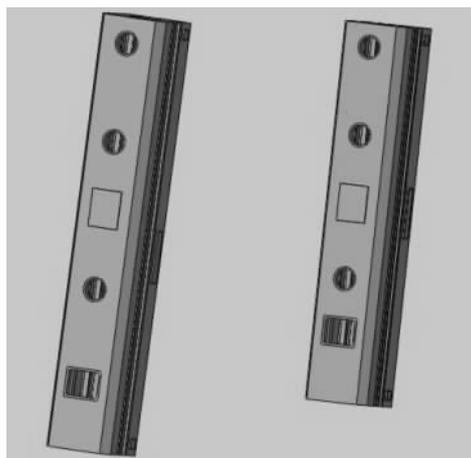


图 6 滑枕结构调整前后对比图

结构改进前后,整机静力及模态分析结构见表 4 与表 5。从静力分析结果比较中可以发现:横梁及滑枕结构的改善不仅使质量有微弱减轻,同时其刀尖位移变形量也减小了 19.6%,这说明对于提高该龙门加工中心的加工精度及工作性能是行之有效地。

模态分析结果中,新整机前五阶固有频率与改进前整机数值相比,都有了小幅提高,这说明通过对滑枕和

横梁结构改进,整机的动态性能有所提高。

表4 整机机构改进前后静力结果分析

	刀尖位 移形变 量/mm	位移形 变差 /mm	质量 /kg	质量变 化量 /kg	变形量 改变 比率/%
改进前 整机	0.127	—	28398	—	减小19.6
新整机	0.102	-0.025	28377.7	-20.3	减小0.0007

表5 整机机构改进前后模态结果分析

频率(Hz)	1阶	2阶	3阶	4阶	5阶
改进前整机	30.177	32.515	52.335	60.803	63.464
新整机	31.206	34.051	53.305	64.603	70.5

6 结论

本文针对某型号龙门加工中心,对其整机进行了动、静态特性分析,并根据分析结果对横梁及滑枕结构进行了优化设计,通过优化前后分析数据对比,可得出以下结论:

(1)通过横梁受力情况改善其内部筋板布置,同时合理滑枕结构,不仅微量减轻了整机质量,而且显著减小了刀尖位移变形量,其结果数据有助于提高整机加工精度及稳定性。

(2)改进后整机低阶固有频率都小幅提高,整机动态性能得到改善。

参考文献:

[1] 关英俊,母德强,赵扬,等.GMCU2060 龙门加工中心

横梁结构有限元分析[J].机床与液压,2011,39(11):131-134.

- [2] 刘士玉,徐树洛.五轴联动龙门加工中心现状与发展探讨[J].世界制造技术与装备市场,2008(6):84-87.
- [3] 丁长春,殷国富,方辉,等.龙门加工中心立柱静力学分析与结构优化设计方法[J].机械设计与制造,2011(3):3-4.
- [4] 王芳,曾晨光,曾晨辉,等.TOM—SP3208B 大型数控龙门铣床横梁的设计分析与制造[J].组合机床与自动化加工技术,2011(12):105-108.
- [5] 张飞,王民,晷涛,等.大型龙门铣床关键件的模态分析[J].机械设计与制造,2010(12):170-171.
- [6] 刘兴业,殷国富,刘立新,等.龙门加工中心滚珠丝杠传动系统的温度场和热变形分析[J].组合机床与自动化加工技术,2011(4):1-5.
- [7] 刘晓东.SolidWorks 与 ANSYS 之间的数据交换方法研究[J].煤矿机械,2012(9):248-250.
- [8] 付磊,付丽娅,唐克伦,等.基于 FLUENT 的管壳式换热器壳程流场数值模拟研究[J].四川理工学院学报:自然科学版,2012,25(3):17-21.
- [9] 张华,李育文,王立平,等.龙门式混联机床的静刚度分析[J].清华大学学报:自然科学版,2004,44(2):183-185.
- [10] 尹玉珍,蒋素清.立式铣削加工中心立柱结构的拓扑优化[J].中国制造业信息化,2008,37(19):34-36.

The Static, Dynamic Analysis and Structure Optimization of Whole Machine in Gantry Type Machining Center

YANG Haili, TIAN Jianping, HU Yong, FU Lei, HUANG Danping

(School of Mechanical Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract: Using SolidWorks 3D modeling software and ANSYS Workbench finite element analysis software as platform, the static, dynamic analysis model of whole machine in gantry type machining center is established. The displacement data and relative variation of whole machine are obtained in two conditions that only by gravity and gravity, cutting force work together, then the structural rigidity and natural frequency of the whole machine are obtained. Finally, the structure optimization program of ram and beam is proposed through the comprehensive analysis of results. Based on this, the deformation is decreased by improving structure and the machining accuracy is improved, which provide a theoretical basis for error compensation system of machining.

Key words: gantry type machining center; whole machine; static characteristic; dynamic characteristic; structure optimization