

文章编号: 1008-1542(2008)03-0204-04

# XH715 整机结构几种优化设计方案比较

蒋素清

(江苏财经职业技术学院机电系, 江苏淮安 223002)

**摘要:**应用 CAD/CAE 系统建立 XH715 立式铣削加工中心整机模型, 并对整机的静、动态进行分析, 找出危险区域, 提出了几种改进方案, 为机床的机械结构优化设计提供了详实可靠的理论依据。

**关键词:** CAD/CAE; 加工中心; 静、动态分析; 理论依据

**中图分类号:** TH122      **文献标识码:** A

## Comparison of optimization methods of XH715 vertical milling center

JIANG Su-qing

(Department of Mechanical and Electronic Technology, Jiangsu Finance and Economics College of Vocational Technology, Huaian Jiangsu 223002, China)

**Abstract:** The XH715 milling machine was modeled and the dynamic performance was analyzed by using the integration of CAD/CAE system. The dangerous regions were discovered, and improvement programs were proposed, thereby providing optimization design of mechanism with detailed and reliable data.

**Key words:** CAD/CAE; machining center; static and dynamic analysis; theoretical base

现代机械制造业正向高精度、高速度、高效率的方向飞速发展, 因此对机床的设计与生产提出了更高的要求。而机床在加工过程中产生振动是不可避免的, 当振动剧烈时, 就会降低被加工工件的加工精度, 影响生产率的提高。由于加工中心结构复杂、制造费用高, 很有必要进行预先计算, 使设计者对机床的特性有全面的了解, 使整个设计更加完善。本文基于 ANSYS 平台, 通过对 XH715 立式加工中心的静、动态分析, 找出危险区域, 提出了几种改进方案, 为机床的机械结构优化设计提供了详实可靠的理论依据。

### 1 CAD 模型和有限元模型的建立

CAD 和 CAE 这 2 个领域最具有代表性的应用软件分别是 Pro/E 和 ANSYS。Pro/E 拥有强大的实体和曲面造型功能, 而 ANSYS 具有完善的有限元分析功能, 且 Pro/E 和 ANSYS 能够完全接口, 因此, 在这里选用 Pro/E 进行 CAD 建模, 然后导入 ANSYS 建立有限元模型进行有限元分析。

#### 1.1 建立 XH715 立式加工中心 CAD 模型(见图 1)

在用 Pro/E 的造型模块完成 XH715 立式加工中心的三维造型时, 要注意单位设置, ANSYS 中的有限元模型虽然是无量纲的, 但在 Pro/E 中设置材料属性的杨氏模量( $E$ )、截面惯性矩( $I$ )时, 采用的长度单位是 mm, 而 ANSYS 默认的是 m。因此在 Pro/E 中设置杨氏模量、泊松比及密度时一定要注意单位换算。

为了避免导入文件时出错, 在进行 CAD 建模时就要对模型进行适当的简化。例如: 模型中的圆角、倒

收稿日期: 2008-03-13; 修回日期: 2008-04-14; 责任编辑: 冯 民

作者简介: 蒋素清(1976-), 男, 江苏连云港人, 讲师, 硕士研究生, 主要从事结构拓扑优化方面的研究。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

角以及对结构分析结果不造成很大影响的小孔就应该尽量省略。

### 1.2 建立 XH715 立式加工中心有限元模型

采用 solid185 单元进行网格划分 (solid185 单元用于构造三维实体结构, 单元通过 8 个节点来定义, 每个节点有 3 个沿着  $x, y, z$  方向平移的自由度。单元具有超弹性、应力钢化、蠕变、大变形和大应变能力), 结合面处进行节点耦合 (耦合是用于定义一组节点具有相同的自由度, 在耦合自由度上它们相当于是一个完全刚性约束关系, 保证它们在耦合自由度上相对位移为 0), 约束加在床身底面地脚螺栓处 (共 8 处)。

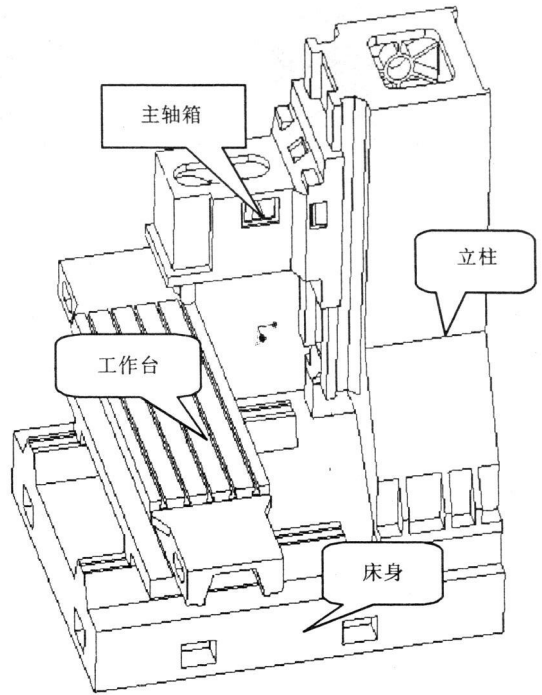


图 1 XH715 CAD 整机模型

Fig. 1 XH715 CAD model

## 2 计算分析

当模型建立完成后, 即可递交给有限元分析软件 ANSYS 进行分析计算。

### 2.1 静力学分析

结构静力学分析主要用来分析由于稳态外载荷所引起的系统或零部件的位移、应力、应变和作用力。现在原机床整机有限元模型的刀具部位  $x, y, z$  3 个方向分别加 10 000 N 的静载荷, 来模拟机床在实际加工时刀具部位受到的静态切削力大小。对该有限元模型进行静力分析, 得到刀具部位在 3 个方向静载下产生的最大位移值  $s_i$ , 以及原机床在这 3 个方向刀具部位的刚度值  $k_i$ , 见表 1。

表 1 刀具部位在静载下的最大位移值  $s_i$  和刚度值  $k_i$

Tab. 1 Maximum displacement  $s_i$  and rigidity  $k_i$  of cutting tool position under static load

项目	$s_i / \text{mm}$	$k_i / (\text{N} \cdot \text{mm}^{-1})$
$x$ 向	0.331 957	$1.69 \times 10^4$
$y$ 向	0.389 249	$1.73 \times 10^4$
$z$ 向	0.158 385	$6.26 \times 10^4$
结构总变形 $u_{\text{SUM}} / \text{mm}$	0.530 893	

从静力学分析结果看出, 原机床在  $x, y$  方向的静刚度相对较弱, 这是因为机床刀具伸出部分刚性较差, 以及受  $x, y$  向载荷时立柱产生弯曲和扭转变形, 并且通过结构的传递, 该变形到刀具部位时被放大所致<sup>[1,2]</sup>。

### 2.2 模态分析

用模态分析可以确定一个结构的固有频率和振型, 固有频率和振型是承受动态载荷结构设计中的重要参数。如果要进行模态叠加法谐响应分析或瞬态动力学分析, 固有频率和振型也是必要的。由于篇幅有限, 只给出前 3 阶的振型图, 见图 2。

从机床主要组成部分模态分析数据可以看出, 立柱、床身、工作台的前几阶模态频率都比较接近, 但是主轴箱前 3 阶模态频率相对较高。从整机振型可以看出, 床身工作台结构对整机振型影响不是很明显, 立柱及主轴箱的影响较大, 尤其立柱结构设计不是很合理。在立柱与床身结合面处刚性较差, 结构有待改进<sup>[3]</sup>。

## 3 优化方案与结果比较

### 3.1 方案设计思路

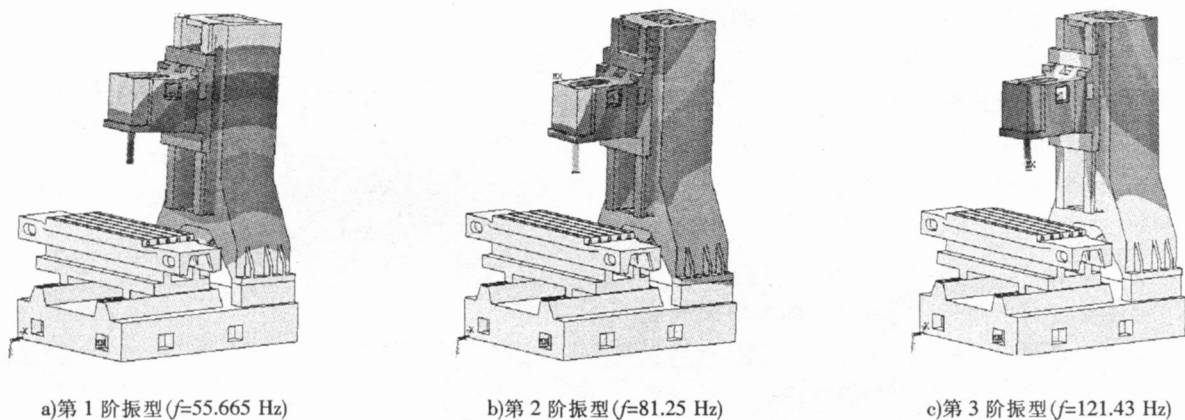


图2 机床前3阶振型图

Fig.2 Mode shape of machine tool

1) 将床身与立柱结合面处结构尺寸放大, 主要是床身结构向  $x$  正向放大, 以免影响加工平台。可以适当加厚结合体侧面板厚度。

2) 立柱结构与床身结合面处加强, 结构以床身改进为准。另外, 立柱侧面筋板尺寸加大, 整体上移一段距离。内部考虑使用交叉筋板。

3) 主轴箱体质量适当降低, 以减少响应的弯扭矩。

4) 考虑刚性的合理分布原则, 由于主轴箱刚度太高而立柱相对较低, 适当合理分布刚度以提高整机模态性能<sup>[3,4]</sup>。

### 3.2 优化方案与结果比较

1) 提高立柱支架高度(分析结果见表2)。

表2 优化方案1

Tab.2 Optimization scheme 1

阶数	固有频率/Hz			结果分析
	原结构	改进后	提高	
1	40.571	41.532	2.4%	单纯的提高支架高度对3阶模态频率提高较大, 对1, 2, 4阶改进较小
2	71.030	71.866	1.2%	
3	95.890	117.26	22.3%	
4	153.72	157.02	2.1%	

2) 降低箱体整体高度及筋板厚度, 以降低主轴箱刚度(分析结果见表3)。

表3 优化方案2

Tab.3 Optimization scheme 2

阶数	固有频率/Hz					结果分析
	原箱体	改进箱体	原结构	改进后	提高	
1	600.03	550.11	40.571	42.444	4.6%	适当降低箱体模态, 使各部件模态值接近可以提高整机模态, 从而表明, 单件的设计应当彼此配合, 不应出现某个部件刚度过高或过低的情况
2	711.69	625.67	71.030	74.853	5.4%	
3	802.80	746.52	95.890	121.47	26.7%	
4	987.95	898.42	153.72	163.34	6.2%	

3) 立柱采用交叉斜筋板, 并适当增加立柱床身结合面面积(分析结果见表4)。

由前2个改进方案可见, 提高立柱支架高度和降低主轴箱刚度都可以提高整机模态, 但是1阶模态提高不明显, 为此立柱采用交叉斜筋板, 并适当增加立柱床身结合面面积, 模型如图3所示。

表 4 优化方案 3  
Tab. 4 Optimization scheme 3

阶数	固有频率/Hz			结果分析
	原结构	改进后	提高	
1	40.571	56.613	40.0%	改进后虽然 2, 3 阶模态频率提高不如前两个方案, 但是 1, 4 阶模态频率提高明显, 符合设计意图, 结果比较理想
2	71.030	69.259	- 2.5%	
3	95.890	109.02	13.7%	
4	153.72	167.80	9.2%	

## 4 结 语

1) 用大型有限元分析软件 ANSYS 既可以节省人力和物力, 又有比较高的模拟精度, 在动态设计中是非常重要的手段。

2) 通过对 XH715 立式加工中心的静、动态分析, 机床立柱的动态摆动和扭转变形是影响机床动态性能的主要因素。它将对机床的加工质量造成很大的影响。

3) 机床的立柱和底座是影响机床动态性能的薄弱环节。通过对立柱和底座结构参数的改进, 可以有效地提高机床的动态性能。

4) 本文在有限元建模时, 结合面特性没有充分考虑, 只是采用了结合面耦合的方式, 进一步分析时可以在结合面处采用其他处理手段, 使模型更接近于实际。

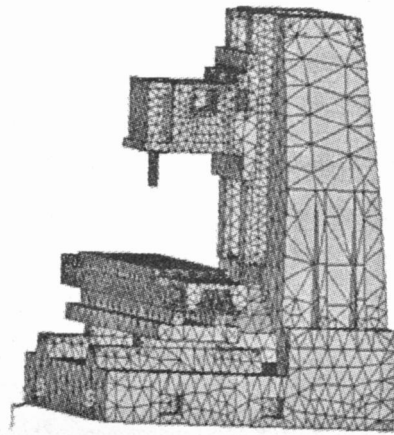


图 3 采用交叉斜筋板立柱的 XH715 立式加工中心  
Fig. 3 Column of XH715 with reinforcing plate

## 参考文献:

- [1] 倪 栋. 有限元分析 ANSYS 7.0 实例精解[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [2] 王伟伟, 翁泽宇, 巫少龙. 大型高效数控铣床有限元模态分析[J]. 机床与液压, 2005, (6): 102-103.
- [3] 卢 熹, 孙庆鸿, 张建润, 等. CK1416 型数控车床床身结构动态优化[J]. 机床与液压, 2003, (2): 124-125.
- [4] 王美娥. 有限元分析在结构设计中的应用[J]. 航天控制, 2004, (2): 85-89.

(上接第 199 页)

- [2] TANG H, WROBEL L C, FAN Z, et al. Numerical analysis of the hydrodynamic behaviour of immiscible metallic alloys in twin-screw rheomixing process[J]. Materials & Design, 2006, 27(10): 1065-1075.
- [3] JEAN-PHILIPPE T, DAVID F F, LASUYE T, et al. An experimental and computational study of the vortex shape in a partially baffled agitated vessel[J]. Chemical Engineering Science, 2006, 62(7): 1915-1926.
- [4] 包雨云. 常温及热态气-液-固三相搅拌反应器流体力学性能研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2005.
- [5] 张国娟, 闵 健, 高正明, 等. 翼形桨搅拌槽内混合过程的数值模拟[J]. 高校化学工程学报, 2005, 19(2): 169-174.
- [6] 洪厚胜, 张庆文, 万红贵, 等. 搅拌生物反应器混合特性的数值模拟与实验研究[J]. 过程工程学报, 2005, 5(2): 131-134.
- [7] 周国忠. 用 CFD 研究搅拌槽内的混合过程[J]. 化工学报, 2003, 54(7): 886-890.
- [8] 梁建术, 刘廷召. 不变流形法对动力系统的混沌控制[J]. 河北科技大学学报, 2003, 24(2): 13-18.