

# 龙门加工中心横梁部件静态特性分析

刘学文, 刘康, 刘光磊, 张志鹏

(四川理工学院机械工程学院, 四川 自贡 643000)

**摘要:**横梁部件是龙门加工中心的关键部件,横梁上悬挂着主轴系统,横梁部件的变形对整机的性能有直接的影响。在建立横梁部件实体模型和有限元模型的基础上,通过 ANSYS Workbench 进行横梁部件的静态分析,为横梁部件的结构改进提理论指导,从而提高龙门加工中心的静态特性。

**关键词:**龙门加工中心;横梁部件;静态特性分析

**中图分类号:**TE88

**文献标志码:**A

## 引言

有限单元法是 20 世纪 50 年代初期根据变分原理发展起来的一种强有力的数值近似解法<sup>[1]</sup>。龙门加工中心机床具有加工跨距大、效率高、刚度高等特点,适合于大型零件的加工,在航空、航天、汽车、模具等制造行业中得到广泛的应用<sup>[2]</sup>。机床的性能直接影响到零件的加工精度<sup>[3]</sup>,横梁部件是龙门加工中心机床的运动部件,因此横梁部件的静动态特性将直接影响到机床的加工性能。文献[4]对 XK1020 龙门上加工中心横梁部件做了静变形计算、模态分析和动力响应分析,找出影响整机动态性能的薄弱环节并提出结构设计修改方向;文献[5]对 GMC3000 机床各主要部件及整机做了静动态特性分析;文献[6]利用现代设计方法对某型号龙门镗铣床横梁结构静动态特性分析并通过参数优化方法对横梁结构进行的优化;文献[7]对国产的龙门加工中心横梁关键部件用 ANSYS 软件进行了多体动静态分析,通过动态测式和参数辨识方法获得结合面参数,用于有限元建模,分析了结合面参数对系统的影响。但对机床静态特性分析只是作了简单的分析,分析了在切削加工状态下龙门加工中心机床总体的变形。

本文根据四川某企业提供的 GMC1600A 型机床技

术资料,利用 SolidWorks 软件建立横梁部件的实体模型,用有限元软件 ANSYS Workbench 建立有限元模型,对其滑枕部件位于横梁的不同位置进行静力学特性作了详细的分析。得到龙门加工中心横梁部件在重力作用、重力和切削力共同作用下多种工况下的位移、应力等结果参数。并对静力分析结果做了详细分析和评价,找出横梁部件结构薄弱的部分及影响加工精度的因素,为结构设计改进提供理论依据和参考。

## 1 横梁部件的建模

### 1.1 横梁部件的实体模型建立

龙门加工中心横梁部件主要由横梁、十字滑座、滑枕、主轴等部件等组成,由于横梁结构内部有许多加强筋,结构复杂,用有限元软件建模非常复杂,因此用 Solidworks 软件建立出横梁的三维模型,如图 1 所示。

### 1.2 模型简化

因为横梁部件结构复杂,为了提高网格质量,提高分析计算效率,在将实体模型导入有限元软件之前需进行适当的简化,采取以下简化措施:

(1) 去除较小的圆角和倒角。

(2) 省去非关键部分,如丝杠在系统中起传动作用等,在静力分析中,可以将其去掉。

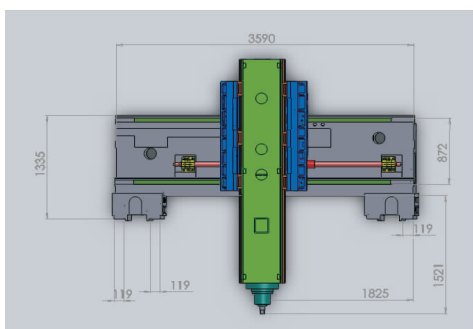


图 1 横梁三维实体模型

### 1.3 横梁部件有限元模型建立

将简化后的模型文件保存为 \*. sat 格式文件,然后导入 ANSYS Workbench 中,设置材料属性<sup>[8]</sup>见表 1、用自动网格划分的方式,得到横梁部件的有限元模型,如图 2 所示。

表 1 横梁组件材料属性

材料名称	HT300	结构钢	硬质合金
弹性模量(Pa)	1.57E11	2E11	2E11
泊松比	0.27	0.3	0.3
密度(kg/m <sup>3</sup> )	7340	7850	14800
分布位置	横梁等支承件	导轨副、丝杠副	刀具

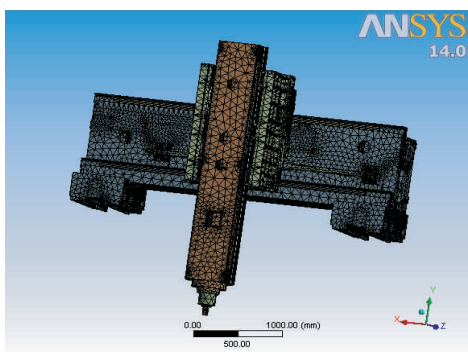


图 2 横梁部件有限元模型

### 1.4 载荷的确定

根据龙门加工中心在加工时,刀具沿机床的 X 向(软件系统的 X 向)铣平面,因此切削力只考虑主轴系统的 X 向,主轴轴向切削力在铣削平面时可以忽略不计。主轴最高转速为 3000 r/min,选择刀具的直径为 63 mm,得出其切削力的最大值约为 1600 N,作用在刀具处沿软件系统的 X 向,重力均布在整个横梁部件上。

## 2 横梁部件的静态性分析

### 2.1 结构静力分析理论<sup>[8]</sup>

结构静力分析用于完成结构线性和非线性的静力

分析和动态静力分析。静力分析的方程为:

$$[K]\{u\} = \{F\} \quad (1)$$

其中,  $[K]$  为刚度矩阵,  $\{u\}$  为位移矩阵,  $\{F\}$  为静力载荷矩阵。静力分析中不考虑随时间变化的载荷,忽略惯性力和阻尼。如果假设材料为线弹性,结构小变形,则  $[K]$  为常数。通过(1)式,可以计算出结构件的位移。

### 2.2 静力学分析求解

机床的静力学分析是用来计算机床结构在固定载荷下的效应,即稳态载荷引起的系统或部件的位移、应力和应变等。横梁部件同时承担着 X、Y、Z 三轴方向的进给运动,在加工过程中,随着十字滑座、滑枕和主轴系统所在的位置不同,机床受力发生变化,横梁部件的变形也随之变化。横梁上悬挂着主轴系统,横梁部件的变形直接影响机床的加工精度。因此,横梁部件成为了龙门加工中心的关键部件,同时也是同类型机床部件刚性相对薄弱的部件。

机床的性能很大程度上由其动静态性能所决定的。当十字滑座位于横梁的不同位置、滑枕位于最下端时,滑枕伸出量最大,计算此时的横梁以及横梁部件刀具处的变形量,此时横梁受到弯扭组合变形。机床在加工时,沿机床 X 向(软件系统的 X 向)进给进行铣削,将梁两端的底面施加固定约束,分别计算出横梁部件刀具处在重力作用、重力和切削力(切削力加载在刀具处沿软件系统中的 X 向)共同作用下的位移和单个零件的变形量以及横梁的应力分布等。如图 3-图 5 所示。从不同工况下静力分析结果提取出滑枕位于横梁中部时横梁部件刀具处的变形量(表 2)。

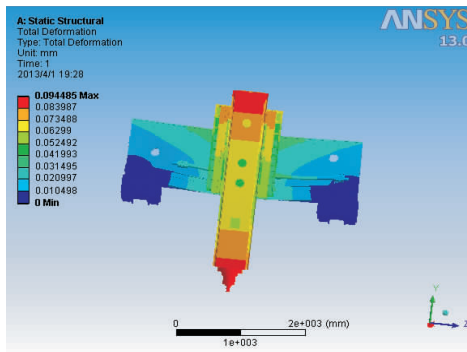


图 3 横梁部件重力作用下总变形

表 2 横梁部件最大变形量(μm)

变形方向	重力单独作用	重力、切削力共同作用
X 向变形	66	106
Y 向变形	63	60
总变形	88	126

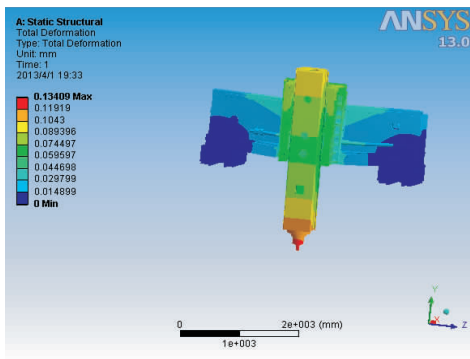


图 4 横梁部件重力切削力下总变形

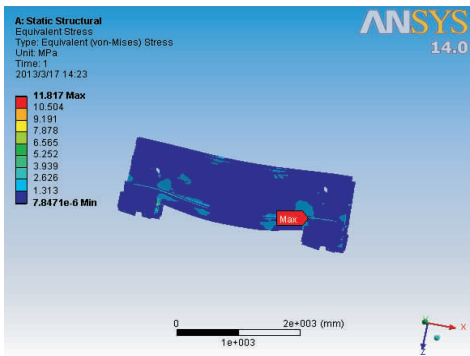


图 5 横梁部件的应力分布

从对滑枕位于横梁上不同位置静力学分析结果中提取出横梁部件刀具处的变形量和横梁的变形量,绘制成变形曲线如图 6、图 7 所示。

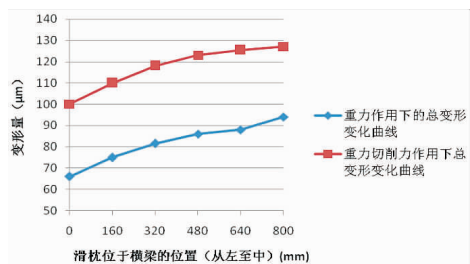


图 6 横梁部件刀具处变形量变化曲线

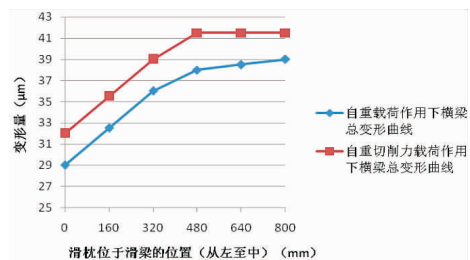


图 7 横梁总变形曲线

### 3 结果分析

龙门加工中心中横梁部件是移动部件,横梁的变形

通过十字滑座、滑枕、主轴再传到刀具,在刀具处产生的变形对龙门加工中心的加工精度有很大的影响。因此,对加工精度影响最大的地方位于刀具部分。

根据表 2 数据可知,在自重载荷下,横梁部件刀具处的变形量偏大,可能原因是横梁的抗弯刚度和抗扭刚度不足。因此,在结构设计时必须考虑提高横梁的自身刚度。可以通过设计过程中减轻横梁部件的质量、通过加工过程中采用预拱结构等方法来减少加工中心关键部件自身的变形,从而提高定位精度。横梁部件在重力和切削力共同作用下在 X 向, Y 向的静刚度不足,因此在设计横梁部件是要多考虑提高关键部件系统在 X 向, Y 向的静刚度,提高横梁部件的整体刚度,从而提高整机的加工精度。

由图 5 可知,最大应力分布在横梁两端处,根据圣维南原理,横梁两固定端处的集中应力可以不计,而且最大应力为 11.6 MPa,远小于 HT300 的屈服极限。说明材料完全能满足机械结构部件的强度。同时,对于钢材的弹性模量 E 一般差别不是太大,通常在 196 GPa ~ 210 GPa 之间,因此,可以选择成本较低的材料来设计龙门加工中心的关键部件。

根据图 6、图 7 可知,当滑枕从横梁左端移到横梁中间的过程中,横梁部件刀具处的总变形量和横梁的总变形量呈增加趋势,且接近于抛物线分布。说明龙门加工中心机床在加工过程中,滑枕在移动产生的不稳定变形会严重影响加工精度。在设计横梁部件的结构时,可以依据图 6、图 7 变形曲线采用事先预弯的形式提高机床加工定位时精度。

### 4 结束语

本文利用有限元软件 ANSYS workbench 强大的结构静力学分析模块,对复杂的龙门加工中心横梁部件进行了在自重作用和极限工况下的仿真分析,得出了横梁结构在这多种情况下的变形,得出了横梁部件的薄弱环节,为后续的结构设计改进,结构优化等提供了理论依据,为类似部件的结构设计提供参考。

### 参考文献:

[1] 廖伯瑜,周新民,尹志宏.现代机械动力学及其工程应用[M].北京:机械工业出版社,2003.  
 [2] 张振,余跃庆,杨建新,等.高速龙门加工中心模态分析[J].机械设计与制造,2011(2):201-203.  
 [3] 李庆余,孟广耀.机械制造装备设计[M].北京:机械工业出版社,2008.

- [4] 周华,石彦华.XK1020高速龙门加工中心机床动态分析[J].现代制造工程,2008(6):114-116.
- [5] 刘芳,杨庆东.高速龙门加工中心GMC3000动态特性的有限元分析[J].现代制造工程,2007(3):113-116.
- [6] 李晓园,尹志宏,张明旭,等.数控龙门镗铣床横梁结构特性分析及优化[J].中国制造业信息化,2012(7):69-72.
- [7] 许丹,刘强.一种龙门加工中心横梁的动力学仿真研究[J].振动与冲击,2008(2):168-171.
- [8] 成大先.机械设计手册[M].北京:化学工业出版社,2007.
- [9] 许京荆.ANSYS 13.0 Workbench数值模拟技术[M].北京:中国水利水电出版社,2012.

## Static Characteristics Analysis of the Beam Component of Gantry Machining Center

*LIU Xue-wen, LIU Kang, LIU Guang-lei, ZHANG Zhi-peng*

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

**Abstract:** As a key component to hang spindle system in the gantry machining center, the static performance of beam component impacts directly on the characteristics of a gantry machining center. Based on the establishment of a solid model and a finite element model, static characteristics of beam component are analyzed on the ANSYS Workbench. The analysis results provide theoretical guidance of structure improvement of beam component, and thus enhance the static characteristics of gantry machining center.

**Key words:** gantry machining center; beam parts; static characteristics analysis