

数控立式车床关键零件轻量化设计研究

王顺江

齐重数控装备股份有限公司 黑龙江齐齐哈尔 161000

摘要: 数控加工技术是我国机械工业发展的重要组成部分。在当今世界上,科学技术的发展与国际间的竞争日益加剧,为提高我国的工业水平和国防水平,我们就应该提高设备的生产水平,提高其生产效率,提高产品的可靠性,提高产品质量。CNC立式机床是一种以大回转部件为核心的机床,其机床的机械性能和工作性能直接关系到圆柱、横杆等承载结构的动态和静态性能。本论文以有限单元法为基础,采用结构解析与动力学最优的方法,对各主要部件的横向构件进行了减振设计,为其具体的设计提供了理论基础。

关键词: 数控机床; 关键零件; 轻量化

Research on lightweight design of critical parts of CNC vertical turning machine

Shunjiang Wang

Qizhong CNC Equipment Co., LTD. Qiqihar heilongjiang 161000

Abstract: CNC machine technology is a vital part of the development of China's machinery industry. In today's world, the development of science and technology and international competition increasingly intensified. To improve China's industrial level and national defense level, we should improve the production level of equipment, improve its production efficiency, improve the reliability of products, and improve the quality of products. CNC vertical turning machine is a kind of machine tool with large rotary parts as the core, its mechanical performance and working performance are directly related to the dynamic and static performance of the bearing structure such as column and bar. Based on the finite element method, the vibration reduction design of the transverse component of each main part is carried out by using the method of structural analysis and dynamic optimization, which provides a theoretical basis for its specific design.

Keywords: Numerical Control Tools; critical parts; Lightweight

前言:

我国的先进制造企业是我国的基础工业,为国家的发展和国家的安全生产奠定了坚实的基础。从国际上的发展来看,数控设备是发展我国装备制造业的根本。随着科学技术的发展,技术的不断发展,对数控机床的加工性能提出了越来越高的需求。机械设备的静、形、动、振等静力学特征(自振频率、模态等)对机械的机械加工性能产生重要的作用。所以,可以用一些手段来改进机械的上述性质,从而使机床的机械性能得到进一步的提高。分析和优化是当前机械工业新产品开发的必要环节^[1]。

一、应用现状

采用有限单元方法进行机械零件的结构优化,其应

用范围包括:

(a) 最常见的一种是对机械设备的载荷和变形进行静态分析。

(b) 对机床进行了瞬态动力的协调反应分析,并对其进行了动态响应分析。

(c) 可对刀具内的温度和因切割热而产生的热应力进行热应力的分析。

(d) 模态法可以从机械零件的规定阶内抽取出自振频率和振型,并对其进行振荡性能的研究。

(e) 对两个互相联结的部件进行接触分析,并对它们的接触面状况及法向作用力进行了研究^[2]。

将有限单元方法用于机械零件的结构优化,其主要工作程序为:

(1) 采用CAD技术对数控加工设备的整体和零件进行CAD建模。对其进行合理的精简和修正,可以获得整个机械的整体和各部分的有限元建模;

(2) 利用多种实验方法,从机械接触面的参量辨识中获得接触面的特性参数;

(3) 通过对零件和零件进行分析和识别,得出了机床的整体结构有限元分析方法;

(4) 基于机构分析的结论,对机床的整体及零件进行了结构的优选;

(5) 依据最佳方案,对机械设备及零件进行计算机辅助设计,并严格依照设计要求制作。

二、整体结构的有限元静力学分析

静力分析是指在不考虑惯性和减振影响的情况下,对建筑物或构件产生的位移、应力、应变和力的影响。静态荷载和反应是一种假设,假设荷载和构造的反应随着时间的推移而发生很小的改变,因此可以在很长的一段时期之内忽略不计。这个假定是为我们所要解决的问题提供一个便利的说明^[3]。所应用的静力分析负载包含:

- a) 来自外界的力量和压力;
- b) 诸如引力和离心的稳定状态的惯性力;
- c) 移动负载;
- d) 温度负载 (temperature)。

静力分析分为线性和非线性两种类型,静力学计算采用了线性荷载,其中包含了自重和切削力。

在机械设备的加工中,刀具对零件进行切割,由于机械零件与零件的交互作用,使零件产生了机械零件的变形。变形会对机床的加工精度和表面品质产生一定的影响。机械强度是指在负荷下,机器对机械设备的抗变形的性能。如果机械的刚性不够,在切削力、重力等载荷的作用下,机械零件会受到力,使其与工件的相对定位产生偏差,进而降低其加工的准确性。同时,刚性对机械的抗振动性能也有一定的作用。由于数控加工精度高、效率高、自动化程度高,其刚性要求高于一般机床,一般情况下,CNC的刚性要高于一般的机械设备50%”,对机械结构进行静态分析,并确定其具有更好的刚性^[4]。

(一) 建立零件及整机有限元模型

采用有限元计算软件进行结构计算时,采用了直接计算和间接计算的方法。直接法是利用分析系统所给出的模组,从上到下,从下到上,再从下到上,再由专家CAD系统的界面输入到由专家CAD软件产生的三维实体,然后转化为结构的FEM。Workbench具有很好的3D建模能力,可以方便地完成复杂的机械模型的搭建,与

一般的CAD软件相比,其工作量与传统CAD软件相当,而且可以防止在引入模型时造成的数据损失,但是无法对装配体进行建模。为此,本文利用CATIA的3D造型软件对各种零件进行了建模,并将其组装为整体,然后引入Workbench中,利用直接方法对其进行了仿真^[5]。

在建立数学模型的时候,通过对数学模型进行一些简单的简化和修正,去除一些对数值没有太大影响的小节点和节点,其主要原理是:

- (1) 在进行立体实体建模时,要做到准确地体现结构的动态和静态特性;
- (2) 忽视小的特点,如倒角、倒圆、小孔和凸起;
- (3) 对小锥度、小曲率表面等进行了平面化、平面化的三维立体建模;
- (4) 不考那些对整机动、静态性能影响较小的零、零件。

根据以上原理,以下将采用CATIA技术建立立柱,顶梁,中间梁,横梁,连接体,分析了刀架、滑枕等关键零件的动态力学特性,建立了其数学建模方法。

由于平台基体具有更大的体积和复杂的内部构造,与连接体、立柱、顶梁形成封闭的龙门式,平台基体的连接方式可以等同于连接体对端的完全限制,从而减少模型计算工作量,节约了计算时间^[6]。

(二) 数控立式车床的结构组成

CNC立车机是一种适用于大回转体圆盘零件的数控立车,它由左、右立柱、顶梁、中间梁、横梁、左右连接体、左、右立刀架、滑枕、工作台、工作台

三、数控立式车床整体结构的模态分析

机床的工作状态是由机械的静力和动态力共同影响的,这种动态的影响主要是因为切削深度的改变,使工件的硬度发生了改变,而加工裕度的改变和旋转零件的不均衡也会使机床的加工工艺发生间断的改变,此外,齿轮或支承的故障和机械制造中的重复颤振都会使刀具发生间断的改变,进而使机床的振动发生直接或间接的影响。如果机械的振幅超过了规定的幅度,就会导致加工的工件表面品质降低,使切削工具的磨损速率增加,从而降低了加工的精确性,降低了工作的效率,严重影响了机床的工作。

此外,由于机械震动而产生的噪音,极易引起操作人员的疲劳。为减少机械震动所造成的损害,确保其工作平稳,确保其加工的准确性,必须对其进行动态仿真,其中包含模态法。通过对机械设备进行模态分析,可以得到机械设备的总体结构及各构件的自振特征(自振频

率与振型),其目标是对非阻尼器进行自振,尤其是对其进行了计算。本文通过对机床整体结构的静力学研究,对其自振性能进行了深入的研究,并结合静、动态两方面的研究成果,为下一章的结构优化工作打下了坚实的理论依据^[7]。

(一) 机床整体结构的模态分析

基于上述静态分析,对整个机械结构进行了模态化的模态解析,只要开启静态解析文档,将其拖拽到Static Structural中的Solution,其优点在于可以根据静态解析的结果,进行模态解析,从而减少大量的预演过程,从而节约大量的计算过程。但是,通常情况下,模式解析耗时长,对网格的分割不像静态的那样,网格数目对运算速度的影响很大,因此,在简化运算过程中,必须对模型进行重新分割,调整单元尺寸,得出157214单元,314259个结点,其余的设定保持不变,不会对运算结果造成任何的干扰。

(二) 整机结构改进

从整体的振动特性来看,一阶振动模式是龙门架的左、右晃动,如果提升一阶自振,则需要对龙门架的左右摆幅进行约束,因此需要在龙门架的左右两边增设支承。为此,必须对其进行改造。通过对其进行计算,得出了在圆柱外部添加支承板的方案,使其二次模态振动模式由于底部与地板的接触区域的扩大而受限^[8]。

四、数控立式车床横梁结构的轻量化设计研究

从机械结构的静态分析可以看出,整个机械结构的设计较为传统,所以必须对某些部件进行减重。作为CNC立车床的关键部件,它在整体上承载着刀具的重量和切割负荷,其尺寸的精确程度直接关系到机床的加工质量。若横向构件的重量太大引起本身的弯曲,则将影响到直线导向器的平行度和刀座横向进刀的偏差,进而影响到刀具的加工精度。此外,使用质量更低的横向构件,其工作特性也更好。因此,对数控机床的横向构件进行减量设计,以确保机床的精确度,并改善其经济性能。

(一) 基于ANSYS工程分析软件结构优化设计的基本步骤

在ANSYS系统中,可以采用两种不同的方法来进行最优的设计,即批量的和交互的。一般来说,批次模式可以被选中。该算法适用于海量的大型机器时进行最优解,且具有很强的适应性,可以实时地观测到周期的运行,但是使用的次数多,使用起来比较麻烦。在进行结构优化时,需要构建解析文档,并对其进行优化。

ANSYS的最优设计包括以下几个步骤:

(1) 产生在一个分析文档以进行最优周期。该文档包含了整个分析流程,并要求符合以下几点:

- a) 以参数方法来构建该模式档案;
- b) 可以执行解决操作;
- c) 在解决操作之后,可以对所述的状态和所述目的功能进行规定;

- (2) 根据解析文档中的变量设定参数;
- (3) 开始OPT处理程序,对解析文档进行判定;
- (4) 对最优变量进行规定;
- (5) 决定最优的工具或最优的方式,以供利用;
- (6) 对最优周期的控制模式进行选取;
- (7) 开始进行最优的解析处理;
- (8) 检视最佳的结果并执行后的加工。

(二) 横梁的结构优化

在保证其强度与刚性要求的前提下,尽可能地减少构件本身的重量,也就是使构件的重量更轻。通过选择适当的优化设计方案,可以减少横向构件的自重,从而实现减振^[9]。

五、横梁提升机的改造设计

液力传动虽然有着诸多优势,但由于长时间的使用,不能有效地避免润滑油的渗漏。所以中国大部分垂直车床的起重设备都是从原来的机器上拆卸下来,用球取代。在螺钉方面,我将原有的马达更换为步进马达,并更换了对应的螺帽和轴承。在这样的构造中,需要添加一个自动的锁紧机构,而且采用滚珠丝杆的费用也比较高。整修的全部成本上升了。根据工程应用的要求,在实际的航行中,可以直接使用蜗轮式驱动,既能适应各种动作,又能使装置的操作更加简单。其基础是由梁自身的自重和有关部件的自重来进行。该蜗轮具有自动锁定的作用,具有较好的强度性能,具有结构简便、造价低廉等特点。在对横向构件的传递机理进行研究时,应充分地考虑构件自身的重量、滑动支承的自身、刀具支架的自重和运动摩擦等。由于涡轮机的动力状况比较复杂,所以要对其进行适当的动力分析和合理的设计。

通过ANSYS软件的最优设计函数,对该结构进行了减振,并验证了该方法对整个系统的动态和静力学性能的作用。已做了以下一些具体工作:

第一,采用ANSYS Workbench中的支逆力抽取函数,从对左右两个刀片进行应力分析,并进行了数值模拟,从而为进一步确定加工过程中的应力和边界条件提供了依据。

第二,通过引入ANSYS的结构参数化建模,计算出最大应力值,并将其最大变形量和最大应变值作为状态变量,以横梁的质量为指标,编制最优方案,以最轻的质量为目标,进行结构的最小化,得到了明显的优化结果。

第三,通过对优化后的结果进行分析,寻找出最佳的解决办法,根据该方法的设计变数对该构件进行再造型,再将该构件与其它构件装配为一台新型的机床,进行动态和静态的仿真,以验证该优化后的横杆对整个机构。

六、结束语

本文对CNC型双柱直列机床进行有限元建模与分析,并对其主要部件进行了简化,并实现了对其进行优化的目的。但是,还有很多地方还有待于进一步深化:

首先,在结构上,采用了横向构件的减振方法,既要兼顾外侧和内侧的厚度,又不能兼顾间隔。为了使各种不同的设计参数进行轻量化,必须采用APDL编程软件ANSYS,对其进行参数化建模,但其结构比较繁琐,难以实施;

第二,采用轻型梁的设计可以应用到立柱、顶梁、

中间梁、连接件以及其它大型装置的箱形构件上。

参考文献:

[1]孙峨,书运,快速垂直切削机床在结构的间隔结构动力学分析[J].制造技术与机床,2019,(06).

[2]张亮,垂直电解工艺中的主要零件的有限元分析及最佳化[D].合肥:合肥工业大学硕士学位论文.2019,4.

[3]蒋孝煌.无限元法起点[M].北京:清华大学出版社,2017:3-56.

[4]葛云,张立平,王卫兵,王磊.CNC机床的ANSYS动力学分析[J].2018,2.

[5]张海伟,阎勤劳,刘明光,李陇梅CNC机床的动力特性与结构的最优设计[J].设计与研究.2015,9.

[6]杨晓京,傅中裕,刘剑雄.XK640数控铣削加工柱的ANSYS优化[J].机械设计与制造.2018,11.

[7]倪晓宇,易红,汤文成等.基于FEM的机床床体结构优化设计[J].制造技术与机床,2019,2.

[8]康文范,晋伟.CNC机床的ANSYS动力学分析[J].机械设计与制造.2020,7.

[9]张志文,力学结构的有限元计算[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2020:147.