

基于有限元分析的三轴重叠立式加工中心结构优化探讨

彭勃 张萌 黄润芸

(河南牧业经济学院 河南 郑州 450008)

摘要:新时期,机械制造业随着社会迅速发展得到较大进步,向我国多个部门提供相应的装备。高档数控机床发展过程中逐渐实现高精度、高效率 and 稳定性,需要机床结构具有较好的静态特性和动态性能。本文主要针对三轴重叠立式加工中心结构优化进行探究。

关键词:三轴重叠;立式加工中心;结构优化

三轴重叠立式加工中心主要以 3C 产品的金属零件加工,全面提升加工中心的加工速度,采用循序交换式工作台,在立柱位置重叠各轴向运动结构配置方法,提高该结构的滑鞍负载。三轴重叠立式加工中心高度增加,减少其抗震颤性能和动刚度。我们对该结构进行优化,同时做好相应的应用验证,改善其动态和静态刚度不足等现象。

1 有限元分析阐述

有限元法属于计算机力学中关键的方法,在计算机辅助工程中被广泛应用,成为计算机技术、现代力学、计算数学等多门学科交叉形成,在机械系统的分析和计算中得到了大规模的应用。高数值分析方法和以往设计方法比较,能够有效解决现场实验时间,减少分析成本,全面提升运算效率,有利于科学技术的创新发展,进一步促进我国社会建设发展。

有限元法能够在多种物理问题解决中高效应用,同时针对繁杂结合模型呈现出较高的适应性,计算机达到良好的有效性和安全可靠。有限元分析具有自身独特的特点,①有限元法适用多种类型物理问题,采用单元方程能够分块展示模型的未知函数,同时能够借助多种不同方式表现单元方程。所以,有限元法不会受到模型未知函数的制约,具有较强的适用性,高效解决各个不同类型的物理问题。②有限元法能够发挥计算机最大化的计算能力,在详细计算过程中,采用相同的矩阵有效表示出每个计算步骤,有利于计算机采用相同的对矩阵有效求解,最大程度的减少计算机资源的损耗,加快计算和编程时间。同时,我国计算机技术不断进步和创新发展,促进有限元分析速度加快,全面提升其适应性,解决大型工程相关问题的过程中,更加全面的展现出有限元法的重要优势。③有限元法能够更加详细直观的表达出多种繁杂的几何模型。各种繁杂机械结构普遍都是通过单元排列组合形成的,由于这些单元呈现出多种不同类型的形状,同时单元特性存在一定差异性,多样化的单元连接形式,有效实现了有限元法适应于各种复杂几何模型。④有限元法呈现出较高的可靠性。通常情况下,人们认为单元模型的转变和实体单元的变化相似,或者部分学者认为数学模型的解和实体模型的精确解相似。所以,有限元求解方法是有效结构数学模型,能够适

当增加有限元单元数目或者精准描述单元自由度,全面提升有限元方程求解的近似度。

2 加工中心有限元模型创建

三轴重叠立式加工中心进行正式有限元建模之前,考虑到忽略加工中心各部件表面倒角、小孔、油槽、圆角等部分小的细节,对加工中心的结构不会产生相应的影响,同时对加工中心的质量没有较大影响,同时能够降低分析计算的繁杂程度。因此,加工中心有限元模型创建的过程中忽略这些特征,同时认为结构中焊接位置和部件强度保持一致,认为焊接呈现出最理想的焊接。我们结合工程的实际情况和要求,将加工中心支撑材料设定灰铸铁,保持 7200kg/m^3 的密度,呈现为 0.28 泊松比、弹性模量 $1.1\text{E}+11\text{Pa}$ 。另外,以不锈钢材料当作主轴、导轨和滑块材料。

有限元分析过程中,科学合理的划分网络能够获得更加精准的分析结果,减少单元数目,节省计算机分析计算时间。工作人员选择相应的单元类型之后,采用少的单元解决问题,当单元数较多的额情况系,计算精度越高。单元数较少的条件下,计算时间较少,对计算机的要求下降。所以,工作人员需要确保精度的前提条件下,最大程度的采用较少的单元数。同时,工作人员需要遵守相关规则,合理有效的划分网格。网格划分数量和大小对计算机分析精度和计算时间产生较大影响。三轴重叠立式加工中心整体结构相对比较繁杂,各个部件的形状和特性具有较大差异性。因此,工作人员划分网格的过程中,不能按照相同尺寸进行划分,可以应用六面体网格的网格划分方法,同时结合应力集中实际情况进行智能分布网格密度,选择自由划分方式,对紧接着的接触和非线性分析进行综合考虑,网格数量适当增加一点就会造成计算机显著增加了资源损耗现象,甚至造成计算机资源不足不能实行后续的分析计算。因此,工作人员需要最大限度的减少网格数量,最终获得整机模型的节点数为 1170661,单元数为 246586。

3 探析三轴重叠立式加工中心整机动、静力学

该新型结构,主要在立柱位置重叠不同方向进行运动,具有较大滑鞍负载,需要保证加工中心整机呈现出较强的刚度,进一步确保机床加工精度。工作人员针对该结构进

行优化的过程中,需要全面分析其动静力学,发现机床结构存在薄弱的部分,详细观察在外加静态力影响下的实际变形状况、在不同频率下的节点动位移方向和大小,同时分析机床动柔度频率相应特征。机床自身的重力和刀具上的切削力是机床承受力的主要来源,工作人员结合机床在钻削工况下钻削力、扭矩计算公式, $F=CF \cdot d_0 X_F \cdot F_{YF} \cdot KF$; $M=CM \cdot d_0 X_M \cdot f_{YM} \cdot KM$ 公式中, CF 为切削力系数; X_F 、 Y_F 为指数; KF 为修正系数; d_0 为刀具直径; f 为背吃刀量; CM 为扭矩系数; X_M 、 Y_M 为指数; KM 为修正系数。三轴重叠立式加工中心材料为 45 钢、高速钢为刀具材料,直径为 30 毫米,将具体参数分别代入到两个公式中,获得 $F=11078N$; $M=160.5N \cdot m$ 。

三轴重叠立式加工中心床身底部针对地脚螺栓面进行加固稳定,同时加载钻削力和扭矩,同时对螺栓连接位置的结合面和导轨结合面进行有效模拟,控制滑块和导轨的结合面 0.02 的摩擦系数。同时弹簧单元模拟导轨和滑块结合位置接触刚度,通过计算机计算获得三轴重叠立式加工中心整机的位移和应力云图。工作人员结合位移云图进行分析,三轴重叠立式加工中心的变形主要展现在主轴箱、立柱上部,最大的节点位移具有 0.57 毫米。XYZ 三个不同轴向上的运动进行重叠的过程中,立柱、主轴箱和滑鞍的质量在 z 轴上集中。

工作人员针对机床模态分析的过程中,立柱和主轴箱导轨滑块结合面特性应用弹簧-阻尼单位进行等效,弹簧刚度和阻尼值的静力学分析过程中,弹簧单元相同,经过求解获得三轴重叠立式加工中心前六阶固有振型和频率。三轴重叠立式加工中心动、静态分析过程,充分表明了整机的刚度不足,具有较差的抗震能力,同时在主轴箱上出现变形和震动现象,呈现出较大振幅,对加工中心的安全稳定性和加工精度产生不良影响。因此,工作人员需要对三轴重叠立式加工中心的各个支撑件进行不断优化和改进,保持整机轮廓的基础上,提升整机的动态和静态刚度,降低一阶固有频率振动幅值。

4 三轴重叠立式加工中心结构优化

4.1 结构尺寸优化

加工中心整机优化变量相对较多,需要在整机状态下,全面分析全部尺寸参数,选择出针对加工中心位移和固有频率陈献出较高敏感性和相连性的筋板,确定最佳尺寸,做好优化分析。工作人员经过尺寸相关性矩阵图、整机质量、位移和固有频率灵敏图的分析,同时相关性不小于 5% 的全部尺寸,明确了相应筋板元结构尺寸参数和机床分布位置,发现了在机床相应位置的筋板尺寸参数对整机的动静态性能具有较大影响。工作人员针对尺寸优化过程中,整机质量和位移变形减少,一阶模态的固有频率增加。但

是,现实工程中,多个相关设计目标的转变存在一定的矛盾冲突,相应目标的好坏受到其他相关目标的影响。工作人员在 ANSYS Workbench 中选择相适应的优化目标,主要为整机质量、一阶变形、模态,采用迭代计算,获得最佳的设计尺寸,同时进行圆整。工作人员针对尺寸参数进行优化改进之后,重新创新三轴重叠立式加工中心整机的有限元模型,在相同的工况下全面分析整机的动、静态力学和模态,获得相应的位移云图。

4.2 响应面

响应面法主要在科学实验设计的基础上,采用多项式拟合的方法,求解实验设计变量和响应值之间的函数关系,属于数学统计方法。工作人员针对整机质量、一阶位置和静态相关性不小于 5% 的尺寸当作设计目标,实行谐响应分析,充分表明了相关性不小于 5% 的各元结构尺寸样本空间中,尺寸阐述的变化对加工中心整机的质量没有产生较大影响,变形和一阶模态在尺寸增大的影响下,呈现出收敛的趋势。

三轴重叠立式加工中心结构优化之后,整机质量增加了 0.2%,增重相对较少,同时减少了 0.11 毫米的变形,全面提升了整机刚度。同时,一阶模态的固有频率增加了 8.808Hz,振动幅值从加工中心结构优化之前的 79.48 有效下降至 2.473 毫米,并且前六阶模态的固有频率在一定程度上全面有所提升,尤其五、六阶模态的固有频率都达到 200Hz 之上,进而全面提升了整机抗震能力,实现预期的理想优化设计目标,获得良好的加工中心结构优化效果。

5 结语

本文主要阐述有限元分析方法和具体特点,同时提出三轴中重叠结构加工中心整机有限元模型创建,结合实际情况对其进行全面综合性分析,获得三轴重叠立式加工中心的模态和位移云图,发现整机的薄弱环节。另外,以加工中心参数化模型和动静力学分析结果,进行响应面分析和结构尺寸优化,保持整机轮廓的基础上,优化各个支撑件结构,有效提升整机刚度和 6 阶固有频率,减少振动幅值,获得显著的优化成效。

参考文献:

- [1] 李海滨,彭晋民,胡高尚,等.三轴重叠立式加工中心结构优化研究[J].制造业自动化,2020,42(01):103-107+126.
 - [2] 谢军,廖映华,廖川.立式加工中心主轴箱静态特性分析及拓扑优化[J].机床与液压,2020,52(23):171-175.
 - [3] 潘石群,陈攀,张小明.VMC1000L 立式加工中心整机结构优化与验证[J].中国新技术新产品,2019,000(019):54-56.
- 作者简介:彭勃(1989.08-),男,汉族,河南郑州人,硕士研究生,助教,研究方向:机械加工,检测,机器人等。