

基于ANSYS Workbench的丝杠螺母座优化设计

■ 新誉集团有限公司 (常州 213000) 严 蕾 夏向阳 张秀明

摘要: 基于ANSYS Workbench对丝杠螺母座进行结构优化,采用UG软件建立其三维模型,通过有限元分析得到结构的变形、应力分布,根据相应分析结果,获取其薄弱环节,采用改变材料属性和添加加强筋的方式优化结构,改进后结构的变形、等效应力均显著减小;在此基础上采用参数优化设计方法对改进后结构进行尺寸优化。最终实现轻量化设计,从而使得传动副运动精度得到保证。

大型五轴高速精密龙门加工中心是航空航天和模具制造等行业发展的关键设备,在国内具有广阔的市场需求,尤其是飞机的机翼、机身等大型复杂关键零部件精加工的必备设备,而丝杠传动在精密加工机床中被广泛应用,并影响机床的加工精度,丝杠螺母座作为整个传动部件的主要支撑结构,其机械性能直接影响传动副的运动精度。

本文通过对丝杠螺母座的有限元分析,获取其薄弱环节,对结构进行相应的改进设计,利用Workbench提供了参数化建模的环境,对初步改进后的结构进行优化,得到最优质量下的构形,在保证传动副运动精度的同时,提高精密龙门加工中心的加工精度。

1. 加工特点介绍

五轴高速精密龙门加工中心竖直方向传动采用丝杠传动,如图1所示,丝杠螺母座固定于床

鞍上,支撑整个运动部件。主轴箱底端配置高精度、高刚度五轴头,主轴箱沿床鞍竖直运动。

2. 丝杠螺母座有限元模型的建立

(1) 三维模型建立。丝杠螺

母座在竖直方向传动中起着固定,连接和支撑的作用,其机械性能直接影响五轴头的加工精度。本文采用UG软件建立螺母座的三维模型,建模时忽略倒角、圆角等细小局部特征,如图2所示。

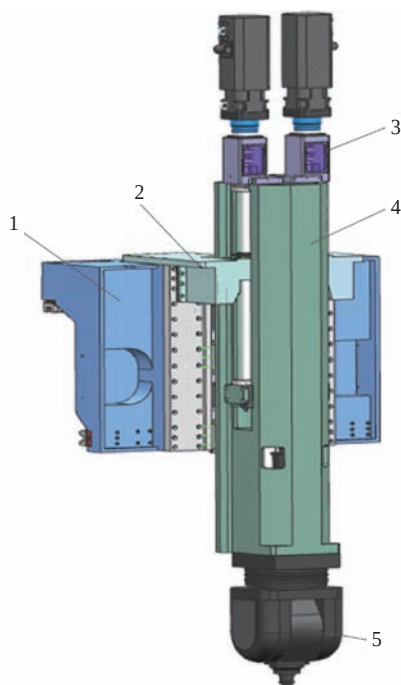


图1 升降部件结构简图

1.床鞍 2.丝杠螺母座 3.电动机座 4.主轴箱 5.五轴头

(2) 网格划分。将建立的三维模型另存为*.x_t形式导入AYSYS Workbench有限元分析软件中, 丝杠螺母座的材料为HT200, 密度 $\rho=7.15 \times 10^3 \text{kg/m}^3$, 弹性模量 $E=1.35 \times 10^5 \text{MPa}$, 泊松比 $\nu=0.27$ 。将实体转化为有限元模型, 对其进行网格划分。

网格质量的好坏直接影响分析结果, 本文采用具有中间节点的高阶单元solid186, 单元尺寸选取10mm, 然后再局部细化, 对可能出现应力集中的区域设置单元尺寸为5mm。网格质量采用畸变度和单元质量来衡量, 单元质量越接近1, 质量越好。上述网格畸变度均值为0.35, 单元质量均值为0.77, 由表1可知总体网格质量划分较好。划分后单元数量28 493, 节点数112 193。

3. 结构静力学分析

对丝杠螺母座进行静力学分析, 是分析结构在给定静力载荷下的变形位移、应力大小。螺母座通过上支撑板上的7个孔和后支撑板上的3个孔固定在横梁托板上, 载荷主要是传动系统各个零部件重力作用, 这些重力直接或间接施加在螺母座与其接触

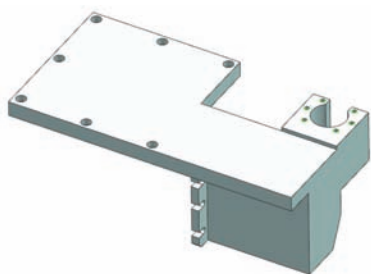


图2 丝杠螺母座三维模型

表1 网格畸变度范围标准

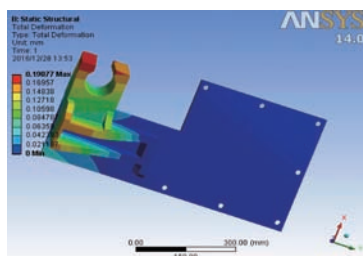
0~0.25	0.25~0.5	0.5~0.75	0.75~0.9
优秀	好	可接受	次等

面上, 重力总成为3 294.7N, 平均分配在两个螺母座上。添加边界约束和载荷后, 求解模型, 模型求解完成后, 利用收敛控制工具, 经过4次关键点处的网格自动加密, 收敛阈值为10%, 得到最终收敛结果。

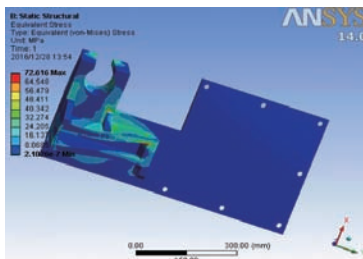
结果如图3所示, 其最大变形位置在螺母与螺母座的结合部位, 总变形量为0.191mm, 最大应力72.6MPa, HT200需用应力为200MPa, 安全系数为2.75, 最大等效应力发生在螺母座的强度安全范围之内。

4. 优化设计与分析

(1) 丝杠螺母座的结构优化。由变形云图可知, 受载荷后丝杠螺母座变形主要在外悬臂螺母与螺母座的结合部位, 最大变形0.191mm, 对于高速精密机床加工精度影响较大。这是由于螺母座结构采用的是外悬支撑方式, 结构本身就不稳定, 由于加工中心其他零部件已经设计完成, 结构的固定、连接以及支撑



(a) 变形分布图



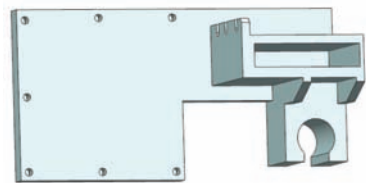
(b) 应力分布图

图3 丝杠螺母座的变形与应力分布图

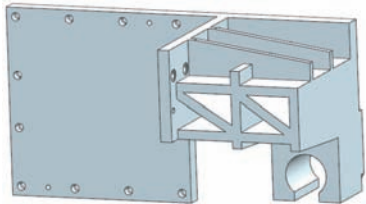
位置不能改变, 若需要在此基础上改变自身强度, 可以通过改变材料属性, 采用强度更高的球墨铸铁QT800-2代替HT200, 其密度 $\rho=7.30 \times 10^3 \text{kg/m}^3$, 弹性模量 $E=1.74 \times 10^5 \text{MPa}$, 泊松比 $\nu=0.27$ 。许用应力为800MPa。根据结构变形以及出现应力集中位置特点, 在薄弱部位添加加强筋, 对丝杠螺母座结构进行初步改进设计, 改进前后结构如图4所示。

将改进后的结构导入Workbench中, 采用上文网格划分的方法进行分析, 结果如图5所示, 结构总的变形量为0.043mm, 降低了77.4%; 等效应力为51.16MPa, 降低了29.4%。改变结构的材料属性, 相应位置增加加强筋后, 整个结构刚度显著提高, 螺母座的支撑能力大大提高。从图5所示的变形、应力分布图还可以发现, 最大等效应力为51.16MPa, 许用应力为800MPa, 最大应力远小于许用应力, 说明该支撑座原设计强度有较大富余, 可以通过参数优化减小质量, 实现轻量化设计。

(2) 丝杠螺母座的轻量化



(a) 改进前结构



(b) 改进后结构

图4 丝杠螺母座改进前后三维模型

设计。由于螺母座的安全系数较高,为了减轻其质量,结合有限元分析的结果,对螺母座进行尺寸参数的优化设计。ANSYS Workbench中Design Explorer作为快速优化工具,通过蒙特卡罗抽样技术,采集设计参数,计算每个样点的响应结果,并利用二次插值函数构造设计空间的响应曲线,从而实现目标优化。参数优化设计三要素包括设计变量、状态变量和目标函数。将质量最小设定为目标函数,最大变形量转换为状态变量,上限值设为0.043,设计变量通过灵敏度分析选择对目标函数影响较为显著的参数作为最终设计变量,有利于优化的收敛以及求解的稳定性。

ANSYS Workbench提供了参数化建模的环境,在Workbench中建立丝杠螺母座改进后筋板结构,对建立的有限元模型进行分析,选取主要板厚以及筋板的截面尺寸作为预选设计变量,根据灵敏度分析,提取4个影响显著的

参数为建模的主要参数,即设计变量,并给出参数的取值范围,如表2所示。

对1 000个样本进行采样,

表2 优化变量及优化结果

设计变量	初始值/mm	最小值/mm	最大值/mm	优化后值/mm
上支撑板厚度	35	31.5	38.5	30.6
外悬筋板高度	30	27	50	43.1
外悬筋板宽度	20	18	70	40.5
外悬臂厚度	125	112.5	137.5	117.9

按照设定的优化目标,Design Explorer将会产生3个候选的优化设计点,将其中最优化的一组优选点作为最终设计点,用优化后的尺寸参数驱动模型。从表2可以看出,上支撑板厚度由35mm减小到30.6mm,筋板高度由30mm增加到43.1mm,筋板宽度由20mm增加到40.5mm,外悬臂厚度由125mm减小到117.9mm,优化前后最大变形、最大等效应力、质量数值对比如表3所示,通过参数优化的方法优化后,结构总的变形量为0.041mm,降低了4.6%。外悬筋板截面积的增大,提高了外悬臂的支撑能力,相应变形减小;等效应力为56.7MPa,增加

了10.8%,远远小于材料的许用应力;质量为126.15kg,减少了10.4%,保证结构机械性能的同时,实现了轻量化设计。

表3 优化前后丝杠螺母座性能参数对比

结构类型	最大变形/mm	最大等效应力/mm	质量/kg
优化前	0.043	51.2	140.86
优化后	0.041	56.7	126.15

5. 结语

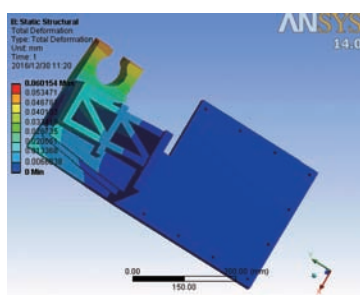
(1) 通过对丝杠螺母座的建模及有限元分析,找到结构薄弱部位,通过改变材料属性、添加加强筋的方式提高结构强度和刚度,实现结构的初步优化。

(2) 针对改进后的结构,利用Workbench中的优化设计模块对丝杠螺母座结构进行参数优化,总变形量降低了4.6%,质量减少了10.4%,在保证丝杠螺母座刚度、强度特性的同时,实现轻量化设计,对提高精密机床加工精度具有重要作用。

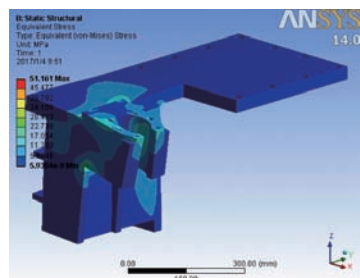
参考文献:

- [1] 倪向阳,张建润,彭文. 高架桥式五坐标龙门加工中心整机动特性分析[J]. 精密制造与自动化, 2005 (1) : 24-26.

MW (收稿日期: 20170708)



(a) 变形分布图



(b) 应力分布图

图5 改进后总体变形、应力分布图

(上接第40页)

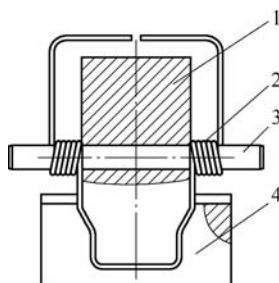


图3 绕簧示意

1.凸模 2.工件 3.芯轴 4.凹模

率高,特别是提高了批量加工效率。且工装结构简单、容易制造,便于推广。

参考文献:

- [1] 吴宗泽. 机械设计实用手册[M]. 3版. 北京: 化学工业出版社, 2010.

MW (收稿日期: 20170702)