

FMXT-2000 落地镗铣床 y 向双驱进给系统静态特性分析

钱忠杰,陈再良,钱文海

(苏州大学 机电工程学院,江苏 苏州 215000)

摘 要:双驱进给系统在各类机床上的应用越来越广泛,系统静态特性对机床该方向的定位精度影响很大。运用 ANSYS Workbench 软件对 FMXT-2000 落地镗铣床的 y 向双驱进给系统进行静态分析,根据所得数据拟合补偿曲线。经试验证明,补偿之后的定位精度可达到 0.008 mm,高于国家标准要求。依据分析结果,考虑切削力、主轴箱质量及滚珠丝杠副刚度对 y 向双驱进给系统的影响,提出了几种优化方案,可供同类镗铣床垂直进给系统的设计和改进行参考。

关键词: y 向双驱进给系统;滚珠丝杠副;静态特性;落地镗铣床

中图分类号:TG536 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2020)03-0040-03

Analysis of Static Characteristics of y -direction Dual-drive Feed System of FMXT-2000 Floor Boring and Milling Machine

QIAN Zhongjie, CHEN Zailiang, QIAN Wenhai

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Soochow University, Suzhou 215000, China)

Abstract:The dual-drive feed system is more and more widely used for various types of machine tools, and the static characteristics of the system have a great influence on the positioning accuracy of the machine tool in this direction. The ANSYS Workbench software is used to statically analyze the y -direction double-drive feed system of the FMXT-2000 floor boring and milling machine, and the compensation curve is fitted according to the obtained data. Test results show that the positioning accuracy after compensation can reach to 0.008 mm, it is over the national standard. According to the analysis results, considering the influence of cutting force, spindle box mass and ball screw stiffness on the y -direction double-drive feed system, several optimization schemes are proposed, which can be used as reference for the design and improvement of the vertical feed system of similar boring and milling machines.

Keywords: y -direction dual-drive feed system; ball screw pair; static characteristics; floor boring and milling machine

0 引言

作为机床整个系统中比较重要的组成部分,进给系统的静态特性对机床加工工件的质量和精度影响很大,不少学者对此展开了相关的研究。ZAEH M F 等^[1]利用有限元法建立滚珠丝杠副的有限元模型,并讨论了滚动结合面的建模方法;张陈灵等^[2]针对进给系统中滚珠丝杠副的载荷分布情况进行了分析;宣贺等^[3]从丝杠振动对机床精度的影响方面,对进给系统中滚珠丝杠副的动态特性进行了相关研究。目前,国内外对于水平方向进给系统的研究不少,但对于竖直方向进给系统的研究相对比较缺乏。

苏州某公司生产的 FMXT-2000 落地镗铣床的 y 轴采用的是双丝杠驱动结构,其受力状况与水平方向的进给系统完全不同。理论上,以驱动工作台作水平方向运动的进给系统为例,工作台以及工件的重力完全施加在导轨上,滚珠丝杠副几乎不承受径向载荷。而对于 FMXT-2000

落地镗铣床的 y 向双驱进给系统而言,主轴箱和滑枕系统的重力几乎完全施加在滚珠丝杠副上,导轨与滑块之间摩擦力极小,所以计算中不予考虑。本文以 FMXT-2000 落地镗铣床的 y 向进给系统为研究对象,用 ANSYS Workbench 对其进行有限元分析。根据分析结果拟合补偿曲线,并对 y 向双驱进给系统提出了几种优化方案。

1 y 向双驱进给系统结构

FMXT-2000 落地镗铣床 y 向双驱进给系统主要包括电机、滚珠丝杠副、支承轴承、主轴箱、导轨滑块及立柱,如图 1 所示。2 台电机驱动 2 根丝杠转动,使得主轴箱沿导轨方向完成 y 向的直线运动。FMXT-2000 落地镗铣床 y 向行程 3 500 mm,丝杠直径 80 mm,跨距 800 mm,导轨跨距 1 410 mm。与单驱进给系统相比,双驱进给系统的轴向静态刚度有很大的提升^[4],在竖直方向采用双丝杠驱动可以使主轴箱的运动更加平稳可靠。

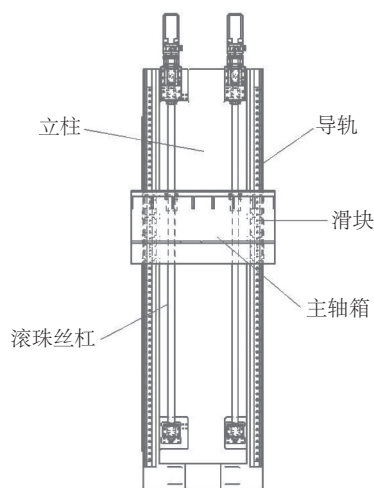


图1 y 向双驱进给系统结构图

2 静力分析

静力分析主要是研究结构在给定载荷作用下的变形。 y 向进给系统除了受自身和主轴箱及滑枕的重力作用外,还受切削力的影响。主轴箱重约 35 000 N,滑枕重约 26 000 N。关于切削力的计算,以直径为 125 mm,齿数为 6 的 YG8 硬质合金端面铣刀为例,计算得出主切削力为 5 190.27 N,进给抗力为 1 816.59 N,吃刀抗力为 4 671.24 N。

2.1 不同工况下静力分析

以 x 方向铣削为例,顺铣和逆铣时,切削力的方向会发生改变,对进给系统的整体变形也会产生影响。在用 ANSYS Workbench 进行静力分析之前,为提高运算效率及仿真结果的准确性,需要先对 y 向双驱进给系统的模型进行简化,图 2 为简化后的结果。

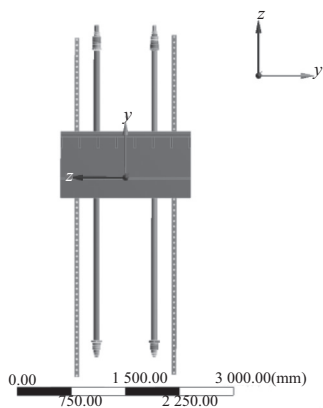


图2 y 向双驱进给系统简化模型

定义完材料以及接触类型后,需要进行模型网格的划分。为了在节省计算时间的同时使分析结果更加准确,规定主轴箱网格单元大小为 100 mm,其他组件为 80 mm。最后添加载荷和约束条件。本节对空载、顺铣和逆铣 3 种情况进行分析,分析结果如图 3 和表 1 所示。

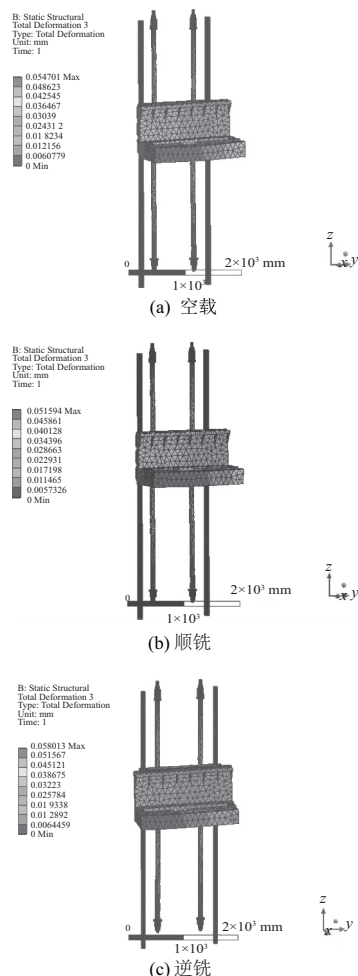


图3 y 向双驱进给系统整体变形图

表1 静力变形结果 单位:mm

工况	整体变形 $\times 10^{-2}$	x 方向变 形 $\times 10^{-2}$	y 方向变 形 $\times 10^{-2}$	z 方向变 形 $\times 10^{-3}$
空载	5.470	1.170	5.393	7.035
顺铣	5.159	1.074	5.090	5.684
逆铣	5.801	1.270	5.713	8.607

由分析结果可见,3 种不同工况下的整体变形较为相近,说明切削力对其的影响相对较小,后续的分析中则可主要考虑空载情况。

2.2 误差分析

FMXT-2000 落地镗铣床 y 向定位误差主要来源有 y 轴双驱进给系统的变形和 z 轴滑枕系统的挠曲变形。陆历历^[5]已针对该公司生产的同类型滑枕挠曲变形的耦合补偿进行了研究,优化之后滑枕的最大变形量不超过 $7\mu\text{m}$,所以可忽略 z 轴滑枕系统的挠曲变形。本节对主轴箱处于不同位置时 y 向双驱进给系统的整体变形进行分析,取主轴箱位置间隔为 200 mm,分析 y 向双驱进给系统如图 4 所示位置的 y 向最大变形量。将所得到的数据绘制成如图 5 所示的曲线,并在 y 轴进给系统装配完成之后

根据数据进行补偿。

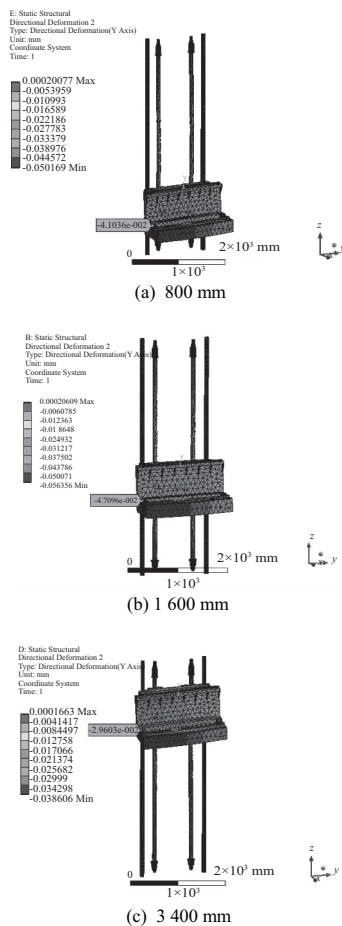


图 4 双驱进给系统 y 向变形图

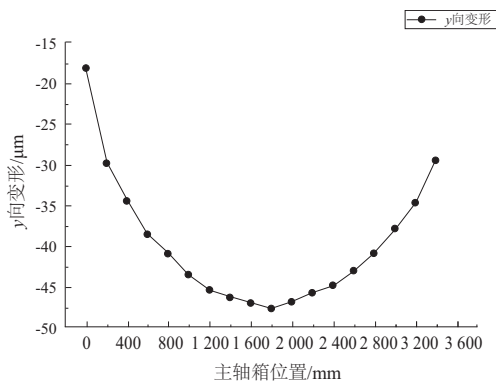


图 5 双驱进给系统 y 向静力变形曲线

2.3 定位精度测量

在定位精度测量试验中,选用的仪器是 RENISHAW XL-80 轻型激光干涉仪,其性能指标如表 2 所示。

表 2 RENISHAW XL-80 测量系统性能指标

性能指标	线性测量距离/m	线性测量精度/ppm	激光稳频精度/ppm	分辨率/nm	最高移动速度/(m/s)
数值	80	±0.5	±0.05	1	4

实验准备工作完成后,控制机床进行 y 轴往返运动共 5 次,每运动 300 mm 停 1 次,进行计数。将所测得的数据按照德国标准 VDI 3441 绘制成图 6 所示曲线。从图 6 的曲线可看出,经过补偿之后的机床 y 向定位精度为 0.008 mm,满足国家标准要求的 0.02 mm/1 000 mm 及全长不超过 0.028 mm。

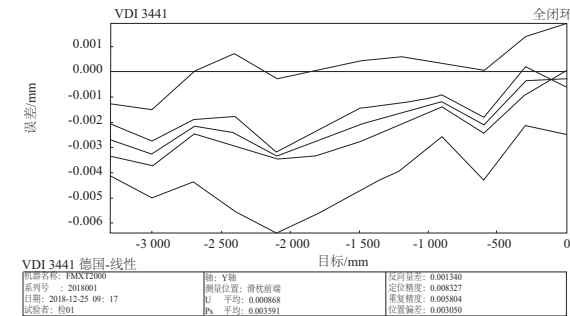


图 6 FMXT-2000 落地镗铣床 y 轴精度曲线

3 优化方案

根据本文静力分析结果,双驱进给系统的变形主要发生在滚珠丝杠副和主轴箱的 y 向,可知主轴箱及滑枕质量和滚珠丝杠副刚度对进给系统静态特性有着很大的影响。从主轴箱方面考虑,可以进行轻量化设计,或者添加平衡装置平衡部分重力,本文对此不作深入研究。而从滚珠丝杠副轴向刚度方面考虑,丝杠直径大小对丝杠轴向的刚度有着很大的影响^[6]。

在相同约束和载荷条件下,本节通过改变丝杠直径的大小,以 80 mm、85 mm、90 mm、95 mm 和 100 mm 的丝杠直径分别建立不同的模型,并用 Workbench 软件进行相应的分析,将分析所得的变形量数据绘制成如图 7 所示曲线。

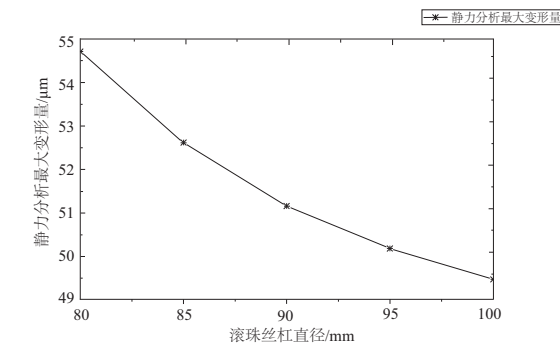


图 7 系统整体变形与丝杠直径关系曲线

从分析结果可以看出,y 向双驱进给系统的整体变形随着滚珠丝杠直径的增大而逐渐减小,并且减小的趋势和幅度也逐渐下降。与此同时,滚珠丝杠直径的增大,除了对安装尺寸及要求的影响,在工作过程中,转动惯量的增大也会引起更大的振动。因此在丝杠选型的过程中,不可为了减小双驱进给系统的整体变形而盲目使用直径过大的丝杠,而应考虑多种因素,确定最合适的直径大小^[7]。

(下转第 50 页)

图8给出了不同总压下沿流动方向,S3流面平均温度分布图,不论高压气源压力如何变化,沿流向相对位置0.9处总是出现一个全流场最高温度区域。此区域对应的就是激波区,随后温度逐渐降低,温度分布在整个流道内较为合理,没有出现温度过高的区域,说明了逆流流场温度不会对离心叶轮叶片造成损坏。

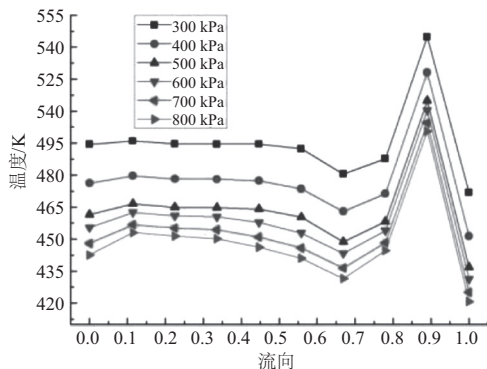


图8 正转逆流工况下离心叶轮沿流动方向温度分布

3 结语

本文对正转逆流条件下离心压气机进行了数值模拟,通过计算不同飞行高度、不同高压气源压力时离心压气机特性,为设计IPU及高压气源携带气体质量提供参考,并对离心压气机正转逆流时内部流场进行初步分析,完成了挡板的设计,得出结论如下:

1) 完成挡板设计,挡板之间的缝隙为条形缝隙,此设计结构简单,挡板之间无干涉。正转逆流工况下,离心压气机扩压器出口缝隙存在临界面积,当扩压器出口缝隙面积大于出口总面积的10%,离心压气机正转逆流流量、功率不变。

2) 出口缝隙小于临界缝隙面积时,正转逆流条件下,气源压力越大,反向空气流量越多,离心压气机耗功越大。相同气源压力,挡板缝隙面积愈大,流量和功耗也越大。挡板缝隙面积占总面积的2.6%~1.9%时,高压气源压力为450~800 kPa。

3) 正转逆流工况下,流场温度分布合理,离心压气机耗功主要是进入工作叶轮出口的气体相对速度较大,在弦长80%位置附近产生激波,造成了较大的流动损失,然后经过激波后速度方向发生改变,气流竟然对工作叶轮做正功,挽回了部分能量损失。

参考文献:

- [1] JEFFREY D. Nelson, BELVIDERE, HAYDEN M. Reeve, et al. Integrated power unit as energy storage device for electrical power system; United States Patent, 8395274B2[P]. 2013-03-12.
- [2] KLAASS R M, MINSHALL B J, SURIANO F J, et al. Integrated power unit control apparatus and method; United States Patent, 5097658[P]. 1992-03-24.
- [3] 李东杰. 大型民机辅助动力装置关键技术[C]//深圳:大型飞机关键技术高层论坛暨中国航空学会2007年学术年会论文集,中国航空学会,2007.
- [4] 唐正府,王进,张新非,等. 国外先进战斗机空中应急功能分析[J]. 燃气涡轮试验与研究,2013,33(9):1-4.
- [5] 王立文,王浩. 飞行模拟机辅助动力装置仿真研究[J]. 计算机工程,2010,36(4):233-235.
- [6] MCKAIN T F, HOLBROOK G J. Coordinates for a high performance 4:1 pressure ratio centrifugal Compressor[R]. Indianapolis, Indiana: NASA Contractor Report 203134, Detroit Diesel Allison, 1997.
- [7] 李培元,顾春伟. 高压比离心压气机设计与分析[J]. 工程热物理学报,2013,34(10):1823-1827.
- [8] 林左鸣. 世界航空发动机手册[M]. 北京:航空工业出版社,2012.

收稿日期:2019-02-13

(上接第42页)

4 结语

本文以FMXT-2000落地镗铣床y向双丝杠驱动进给系统为例,对竖直方向的双驱进给系统进行静态特性分析。利用ANSYS Workbench对其进行有限元分析,并根据主轴箱在y轴不同位置时进给系统的y向变形量进行补偿,使其定位精度符合国家标准要求。同时,分析结果发现,切削力对y向进给系统变形影响很小,而主轴箱及滑枕质量和滚珠丝杠副刚度对进给系统静态特性的影响相对较大,从而影响y向双驱进给系统的定位精度。针对这两点提出了不同的优化方案,并对滚珠丝杠直径对进给系统整体变形的影响进行了分析,为同类机床竖直方向进给系统的设计和改进提供了参考。

参考文献:

- [1] ZAEH M F, OERTLI T, MILBERG J. Finite element modelling

of ball screw feed drive systems[J]. CIRP Annals, 2004, 53(1):289-292.

- [2] 张陈灵,范元勋. 滚珠丝杠副载荷分布情况研究[J]. 机械制造与自动化,2014,43(2):6-9.
- [3] 宣贺,华青松,程联军. 高速高精数控机床进给系统丝杠动态特性分析[J]. 机械制造与自动化,2019,48(1):8-10.
- [4] 丁喜合,袁军堂,汪振华,等. 数控机床双丝杠驱动直线进给系统静态特性分析[J]. 机械设计与制造,2014(3):155-157.
- [5] 陆历历. TH6920滑枕挠曲变形的耦合补偿研究[D]. 苏州:苏州大学,2017.
- [6] 李东君. 滚珠丝杠副轴向静刚度的分析[J]. 机械强度,2015,37(5):930-934.
- [7] 魏效玲,张宝刚,陈华,等. 数控化改造中滚珠丝杠副的选型计算及误差分析[J]. 煤矿机械,2015,36(4):151-153.

收稿日期:2019-03-08