

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2015.05.020

基于热变形临界点的数控机床光栅系统优化

赵从容¹, 郭伟刚^{1,2}

(1. 杭州职业技术学院 友嘉机电学院, 浙江 杭州 310018;
2. 浙江工业大学 超精密加工研究中心, 浙江 杭州 310014)

摘要:为了研究引起机床热变形误差的各种热误差之间的相互影响,应用热变形临界点原理,对环境温度变化作用下的机床机座热变形进行有限元数值模拟,确定机床机座的热变形临界点。利用有限元分析得到的机床机座热变形临界点对光栅在机床机座上的固定方式进行优化分析,结果显示:光栅系统零点漂移量从0.138 28 mm减小到0.065 50 mm,而且机床机座的热变形将减小对整体光栅测量系统产生的影响,确定了固定方式的优化方向。同时应用形体热变形理论,对优化固定方式后的光栅系统零点热误差和示值热误差位置进行精确建模,用于后续的数控机床综合误差补偿。文中的研究为优化光栅在机床座上的固定方式提供一种新的方法。

关键词:数控机床;热变形临界点;附加热漂移;固定方式优化

中图分类号:TH161.21 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2015)05-0085-04

Optimization of CNC Grating Fixed System Based on Thermal Deformation Critical Point Theory

ZHAO Congrong¹, GUO Weigang^{1,2}

(1. Fair Friend Institute of Electromechanics, Hangzhou Vocational and Technical College, Hangzhou 310018, China;
2. Ultra-precision Machining Research Centre, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: In order to study the interaction between the thermal deformation error caused by the thermal error of machine tool, and by using thermal deformation critical point theory, the finite element numerical simulation of the thermal deformation was carried out under the effect of variable ambient temperature. The thermal deformation of the machine was calculated. The fixed manner of the grating on the machine was optimized by using the finite element analysis to obtain the thermal deformation critical point. The results show that zero drift value of grating system reduces from 0.138 28 mm to 0.065 50 mm, and the thermal deformation of the machine base has not an impact on the overall grating measurement system. Meanwhile with the application of thermal deformation form theory, the precise modeling of zero thermal error and indication position error of the grating measurement systems was rebuilt for subsequent comprehensive error compensation of CNC machine. It provides a new method to optimize the grating fixed manner on the machine base.

Key words: computer numerical control (CNC); critical point of thermal deformation; additional thermal drift; fixed manner optimization

热变形误差是影响机床精度最主要的误差之一,机床热变形误差是由机床工作时复杂的温度场造成机床各部件变形引起的^[1]。多年来所进行的热变形引起的数控机床误差研究主要集中于主轴系统、标准量测量系统本体热误差以及机床结构热变形误差等方

面,而对各种热误差之间相互影响的研究有所欠缺,因此有必要进行进一步研究^[2]。本文拟以某数控机床机座为研究对象,依据热变形临界点的原理,获得机床热变形临界点,并依此探讨光栅测量系统固定方法,目的在于减小附加变形误差,最后建立误差预测模型为

收稿日期:2015-03-31;修回日期:2015-07-07

基金项目:浙江省教育厅科研项目(Y201430786);浙江省自然科学基金项目(LQ13E050002)

作者简介:赵从容(1969),女,湖南邵东人,讲师,主要研究方向为先进制造技术、模具CAD/CAM技术。E-mail:hzzcr68@126.com;通信作者:郭伟刚。E-mail:guoweigang2004@126.com

后续研究提供基础。本研究的意义在于减少数控机床加工误差,提高其加工精度。

1 热变形临界点

在形体热变形过程中,形体任何一点位置均发生相应位移,形体上任意 2 点间距离将随之变化。但对于空间绝对坐标系,形体热变形时存在其位置相对不发生位移的确定点,即所谓热变形临界点^[3]。机床机座是一个具有堆栈结构的三维复杂形体,其热变形在各个方向均不相同,各组成部件在其三维光栅安装线方向上存在热变形临界点^[4]。在某一标准量系统定位方向的热变形及临界点是确定标准量系统热变形误差的依据。当该方向热变形误差临界点确定后,以该点为原来自来固定测量标准的壳体座,消除标准量系统产生附加的零点热漂移误差和示值热误差,精确掌握标准量零位到临界点距离的热误差。由于机床体积较大且结构复杂,目前无法直接通过实验测试的方法确定机床机座热变形临界点位置^[5],本文通过有限元分析软件的热变形分析功能,通过数控机床机座三维模型热变形进行研究,确定热变形临界点;基于此临界点探索了优化光栅测量系统的研究方法,目的在于减少附加热变形误差,最后建立光栅测量系统零点热误差和示值误差的精确预测模型^[6]。

2 机座热特性分析

2.1 机座及光栅系统三维模型建立

1) 机座三维模型建立及简化

本文选择最为常见的平机座数控机床进行研究。机座的实际结构很复杂,几何形状具有较多的变化。使用 SolidWorks2013 软件建立机座的三维模型,然后将所建立的模型导入 ANSYSWorkbench 有限元分析软件中,进行下一步的有限元分析。为了适应有限元计算,减少计算量,提高计算速度,本文对所建立的机座模型进行了简化处理,即将倒角、圆角等压缩处理,全部以实体代替。以某车床机座为例,机座简化模型如图 1 所示,材料为灰铸铁^[7]。

2) 光栅系统三维模型建立及简化

本文光栅测量系统采用数控机床常用的海德汉直线光栅尺作为研究对象^[8-9],光栅尺型号为 LC183,长度为 1 140 mm。光栅测量系统结构主要由外壳、光栅尺 2 部分组成,使用 SolidWorks 2013 软件建立光栅尺的三维模型,然后将所建立的模型导入 ANSYSWorkbench 有限元分析软件中,如图 1 所示,外壳材料为铝合金,光栅测量系统外壳与机座采用螺栓固定。光栅尺材料为微晶玻璃。光栅尺与光栅外壳连接方式为胶结^[10]。

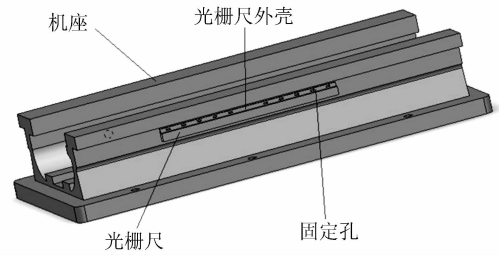


图 1 机座及光栅系统实体模型

Figure 1 Entity model of frame and grating system

2.2 材料选择

在本文所涉及的热变形分析中,必须定义热传导系数、密度和比热容,所选用材料的具体参数见表 1。

表 1 机座及光栅尺所用材料参数

Table 1 Material parameters of frame and grating ruler

材料	密度 $\times 10^{-6} / (\text{kg} \cdot \text{mm}^{-3})$	线膨胀系数 $\times 10^{-2} / \text{K}^{-1}$	泊松比	弹性模量 / MPa	热导率 / $(\text{W} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$
灰铸铁	7.20	1.100	0.280	11 000	52.00
微晶玻璃	2.50	0.015	0.243	9 030	1.46
铝合金	2.77	2.300	0.330	7 100	237.00

2.3 划分网格

网格划分直接影响到精度,收敛性和解决方案的速度,使用 ANSYS 软件中的 Slice 命令对机座及光栅尺进行切割,并用 Sizing 命令对网格细节进行优化,整个模型共生成 15 906 个单元。

2.4 机座模型边界条件

在有限元计算中对机座和光栅尺所处的环境条件进行模拟,确定它们的边界条件。

1) 热源

数控机床热源主要有切屑热、电机热、传动摩擦热和环境温度等,文中设置机床温度变化为 10 ~ 30 ℃。

2) 约束面

数控机床机座与光栅尺外壳接触面采用不分离 (no seperation) 的连接方式,光栅尺外壳与光栅尺接触面均不存在法向和切向运动,采用绑定 (bonded) 的连接方式。

2.5 机座热变形临界点确定

本文采用 ANSYSWorkbench 对数控机床机座热变形进行仿真分析,进而确定机座在光栅尺安装线方向上的热变形临界点。图 2 为机座总体热变形云图,从图中可明显看出,在位置 $x, y (872 \text{ mm}, 185 \text{ mm})$ 处变形量极小值为 0.023 772 mm。因此可考虑在这个坐标附近固定光栅测量系统,本文选取光栅测量系统安

装在 $y = 200$ mm 的横向线上,从图 2 中可以看出在光栅安装线上的热变形量最小位置为 $x, y(872$ mm, 200 mm),可以近似认为该点为机座侧面光栅安装线上的热变形临界点。

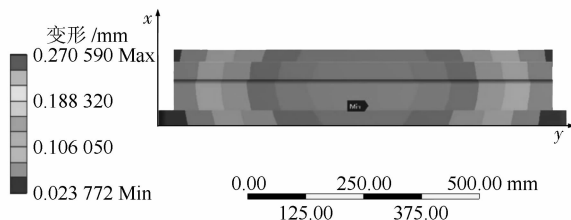


图 2 机座热变形情况

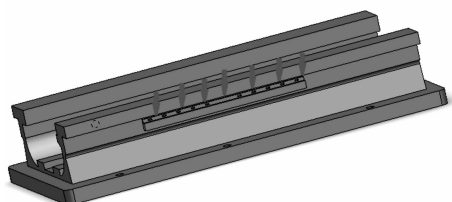
Figure 2 Thermal deformation of frame

3 光栅测量系统固定优化

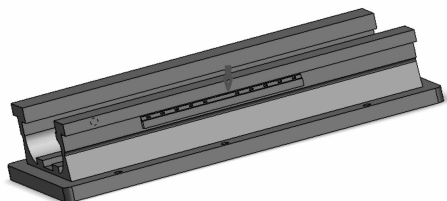
3.1 光栅尺固定方法优化

目前 x 向光栅测量系统主要通过螺钉(如图 3(a)中箭头所示)把光栅测量系统固定在数控机床机座侧面上。该固定方式会使机座热变形通过固定螺钉传递至光栅测量系统,引起光栅测量系统产生附加的零点热漂移误差和示值热误差,同时引起其他几何误差并产生附加变化。

为了减少上述附加热漂移误差,采用上述确定的机座热变形临界点,对光栅测量系统在机座上的固定方式进行改进。假设改良的固定方式中,测量系统只需通过一个螺钉即可固定在基座上,如图 3(b)箭头所示,把光栅尺固定在机座的热变形临界点处。



(a) 一般的固定方式



(b) 改良后的方式

图 3 光栅尺固定位置

Figure 3 Fixed position

3.2 优化结果分析比较

通过有限元数值仿真的方法对上述改进前后的固定方式进行比较分析,图 4(a)为目前常规方式固定光

栅尺时光栅尺的热变形情况。从图中可以看出,光栅尺受到温度变化及外壳不规则变形的影响,零点位置漂移,最大漂移量为 0.138 280 mm。光栅尺的热变形产生了附加的零点热漂移误差和示值热误差,而且会引起其他几何误差产生附加变化。而附加热误差受到机床实际结构和工作条件的影响,变化规律复杂,而且与原有的机床误差耦合在一块,无法单独建立误差修正模型加以修正。

图 4(b)为优化后光栅尺变形情况, x 方向上产生规则热变形。光栅尺零点同样发生漂移,最大漂移量为 0.065 502 mm,比目前常用固定方式下的零点漂移量明显降低。由于改进光栅测量系统固定方式,使得机座热变形不能传递到光栅测量系统上,因此光栅系统本身的热变形误差不受其他误差的影响,其零点热漂移误差和示值热漂移误差可以建立误差修正模型加以预测修正。因此可以肯定该假设可以改善光栅测量系统的受热变形程度,为以后改善方案提供了基础。

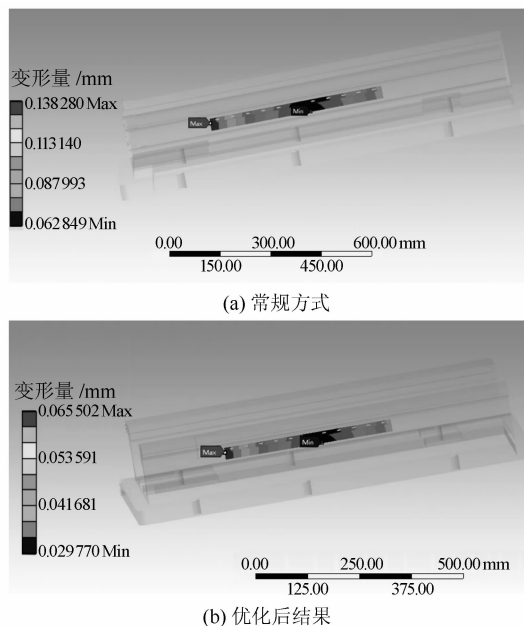


图 4 不同固定方式的光栅尺热变形

Figure 4 Thermal deformation of grating ruler in different fixed methods

4 光栅系统热变形误差建模

从上述分析可知,利用机座热变形临界点位置固定的光栅测量系统的热变形误差不受其他误差的影响,可以根据形体热变形理论建立误差预测与修正模型。如图 5 所示, L_{01} 为光栅测量系统固定点距离零位的长度, L_0 为光栅测量系统的长度, L_{02} 为光栅测量系统固定点距离光栅测量系统测量终点的长度;则光栅

零点热漂移误差的预测模型可以表示为

$$\Delta L_{02} = \alpha L_{01} \Delta T。$$

式中： α —光栅尺材料热膨胀系数；

ΔT —温度变化量。

在光栅尺零点至热变形临界点位置之间距离上任意一测量点 L_{x1} 的示值误差可以表示为

$$\Delta L_{x1T} = \alpha(L_{01} - L_{x1}) \Delta T + \alpha L_{01} \Delta T。$$

热变形临界点至光栅测量系统测量终点之间任意一测量的 L_{x2} 的示值误差可以表示为

$$\Delta L_{x2T} = \alpha L_{01} \Delta T - \alpha L_{x2} \Delta T。$$

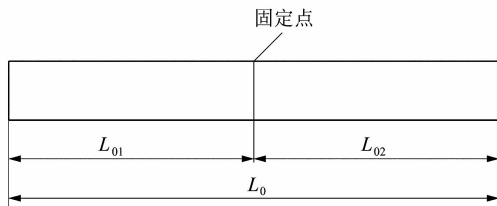


图 5 x 向光栅尺误差建模

Figure 5 Established error model along with x direction

5 结语

光栅测量系统在机床上的固定方式,很大程度上决定了机床热变形误差对光栅测量系统热误差的附加影响程度,但目前光栅的固定方式,在一定程度上是根据经验来确定的,有很强的盲目性。运用有限元热变

形仿真分析方法,应用热变形临界点优化光栅测量系统固定方式,从分析结果中看出,优化光栅测量系统固定方式可以减小机座热变形误差对光栅测量系统热误差的附加影响。此后建立优化固定方式后的光栅测量系统零点和测量示值热误差的预测模型,可以运用到数控机床综合误差补偿中。

参考文献:

[1] 邵善敏,周小帅,陈海东,等. 利用原点偏移进行数控热误差补偿研究[J]. 安徽职业技术学院学报,2013,12(2):11-13.

[2] 赵瑞月. 大型龙门数控机床温度测点优化与热误差建模技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2012:65-70.

[3] 高建民,史晓军,许艾明. 高速高精度机床热分析与热设计技术[J]. 中国工程科学,2013,15(1):28-32.

[4] 章婷,刘世豪. 数控机床热误差补偿建模综述[J]. 机床与液压,2011,39(1):122-127.

[5] 金超. 基于工况的数控加工热误差与切削振动预测方法研究[D]. 武汉:华中科技大学,2011:20-30.

[6] 闫占辉,于俊一. 机床热变形的研究现状[J]. 吉林工业大学学报:自然科学版,2001,31(3):95-97.

[7] 王金生. XK717 数控铣床的热特性研究[D]. 杭州:浙江工业大学,2001:22-24.

[8] 王世军,黄玉美. 机床整机特性的有限元分析方法[J]. 机床与液压,2005(3):65-68.

[9] 展晓璐,蒋立正,潘柏松. 多轴数控专用机床床身动态特性的可靠性优化研究[J]. 机电工程,2014,31(3):334-337.

[10] 梁允奇. 机械制造中的传热与变形基础[M]. 北京:机械工业出版社,1982:15-25.

(上接第 84 页)

3 结语

双红光聚焦定位的射频激光标刻系统的研制关键之一就是控制系统,要求该系统不仅要稳定可靠输出激光,而且整机要外形小巧、方便实用。本设计采用支持 Windows 环境的触摸屏控制系统,该系统很好地解决了这一问题。关键之二是实现在加工过程中的准确定位,提高加工的精度和速度,方案中采用的红光定位系统也很好地解决了此问题。

上述设计经过反复测试和用户使用,可很好地满足设计要求,激光输出稳定可靠,设备使用界面友好,整机外形小,使用寿命长、维护少,适合于连续性的工业化生产应用。

参考文献:

[1] 袁根福. 激光加工技术的应用与发展现状[J]. 安徽建筑工业学院学报,2004,12(1):30-33.

[2] 梅遂生. 激光加工在电子工业中的应用[J]. 激光与红,1999,24(1):5-8.

[3] CHEN Yihong. Review of laser processing systems in China[J]. LIA Today: the official newsletter of the Laser Institute of America, 2007, 15(4):8-9.

[4] 关振中. 激光加工工艺手册[M]. 北京:中国计量出版社,1998:1-30.

[5] 郑启光. 激光先进制造技术[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2002:1-40.

[6] 猛永刚. 激光加工技术[M]. 北京:国防工业出版社,2008.

[7] 宋威廉. 激光加工技术的发展[M]. 北京:机械工业出版社,2008.

[8] 张永康. 激光加工技术[M]. 北京:化学工业出版社,2001.

[9] 金岡优. 激光加工[M]. 北京:机器工业出版社,2004.

[10] 陈义红. 高频激励二氧化碳激光器[J]. 激光技术,1992,16(3):164-166.

[11] 陈义红,李万容,丘军林. TEA 二氧化碳激光器及激光标记进展[J]. 激光技术,1993,17(6):30.

[12] 陈义红,唐宗化,丘军林. CO₂ 激光标记中光学参数的计算[J]. 激光技术,1994,18(1):38-41.

[13] 武玉松,李建美,路长厚,等. 激光参数对铝合金表面标条码质量的影响研究[J]. 机电工程,2014,31(7):865-869.

[14] 季铁群,沈为民. 大工作面 F-Theta 镜头的光学设计[J]. 光学学报,2005,25(11):1539-1542.