

基于神经网络的超精密数控机床误差分析与控制研究

刘安毅 梁亮

(广东省机械技师学院 广东 广州 510450)

摘要: 本文基于BP神经网络,采用多项式插值拟合的方式来获得平台轴向热误差与丝杠实际热变形量间关系复合建模方法,完成对超精密数控机床误差与控制的研究和分析。该试验的主要流程即为该方案有效性的测试流程,在整个试验过程中行程条件均出现了变化,BP的预计热误差与被测平板轴流式热误差之间存在 $-3.6 \sim 2.6\mu\text{m}$ 的误差值。在试验中在分别对实验螺钉的热变形和平台的轴向热误差进行模拟时,由于BP神经网络的参数并不改变它的安装精度,所以其预测精度也更符合标准。

关键词: BP神经网络;数控机床;误差;控制

0 引言

零件在加工过程中会不同程度地受到几何误差和机械热偏差的影响,同时切削力诱导偏差也是不容忽视的因素之一。根据学者实验以及分析得出结论,在机床产业呈现出日益高精度高效率发展趋势下,机床热误差对机床加工精度发挥着不可小觑的影响力。在机床整个构造框架中,主轴既是其核心部件,同时也是热源产生的主要位置。并且由于机械结构和热耦合关系较为复杂,散热条件较差,最终造成主轴场温度差异大,从而产生温度偏差,最终影响到机床加热精密度。针对此问题,关键是要将主轴的加热偏差降低,可采用隔离热源、热对称设计等方法使机床加热时变形降低,以减小加热偏差,但是此方法受硬件条件的限制从而加大了实验的可行性。所以研究者在建模过程中要注重热误差方面的问题,为能对主轴热误差的补偿进行准确预测,对热误差模型进行构建。

针对数控机床的应用,通过分析可以看出,BP神经网络建模成功后,应以数据和数控机床误差数据为建模标准,实现数控机床高质量的运行状态。在数控机床弥补误差方面的神经网络应用上,张毅等提出了预测性误差模型的想法,实施方法是通过将神经网络与灰色模型相互配合进行操作,降低了样本数据的要求。张成新等利用阶段性回归方法和聚类分析,因而可获得热误差建模最优温度测定值,同时可借助粒子群优化算法来二次差分模型参数。朱小龙等学者以反馈神经网络的适应向量量化网络群落法为主,实现对非线性热误差预测模型的建立。以上方法在补偿数控机床误差方面取得了一定的效果。因此,本文以神经网络为基础,对超精密数控机床的误差和控制进行了研究。

1 基于BP神经网络和多项式拟合的两步法

杠副的热变形可以导致驱动运行体系定位出现偏差。

具体可采用公式(1)来表示:

$$x = s(t) - s \quad (1)$$

式中: x —里丝杠轴方向的热变量;

s —杠副某位置一点。

车床启动后,从工作零点移动到预定日程时,以激光干涉计工作台的移动量为初始值,位置误差不予计量的状态。热力学的实现历程中,热误差是一次激光干涉仪的测量数据和其间误差的反映。这一偏差是由供应体系产生的热能引起的,是工作台轴流式位移量的反映,所以叫做平台轴流式热偏差 y 。在一些实验中,系统温度升高影响运动精确度、影响电磁辐射效应是关键。测量过程中由于滚珠丝杠和工作台两者之间存在传动链,并且要求干涉仪器所测误差与丝杠热变形量在数值上需存在差异性,所以,需借助丝杠热变形来实现平台轴向热误差。假设 y 与 x 二者之间不存在线性关系,可采用公式(2)多项式拟合方式对 y 与 x 间代数关系进行表达:

$$y = \lambda_0 + \lambda_1 x + \lambda_2 x^2 + \cdots + \lambda_n x^n \quad (2)$$

式中: y —位于 s 点驱动系统的平台轴向热误差;

$\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \cdots \lambda_n$ —修正系数;

x —处于 s 位置丝杠的热变形。

由公式(2)得出结论,平台轴向热误差与丝杠热变形两者之间存在精密的联系。 $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \cdots \lambda_n$ 可以通过多元回归分析等多种方法进行分析。在本研究中,选择多项式解答方式。此二级接近法基于BP神经网络和多项组装法。首先通过BP神经网络预测主轴向热变型 x ,然后通过多项插值将平台的轴向热误差

y 和主轴向热变型 x 之间的关系拟合, 算出平台的轴向热误差。

2 机床温升、热变形量及平台轴向热误差测量试验

以二阶段法所需的各种数据为基础设计实验并收集结果。在实验过程中, 供应速度、工作负荷、工作时间和工作台日程都将影响螺旋的热变形。设计实验时, 要考虑这些工作条件。在真空状态下形成的实验模式见表 1。

表 1 实验方案

实验	工作台速度/(mm/s)	行程/mm	工作时间/min
实验 I	5	105	185
实验 II	15	155	185

机床从开始运作到出现热平衡, 其运动模式为等速运动和恒定冲程。机器数值的记录要在机床停止运作后, 数值每 10min 进行一次记录, 测量和运动出发点均用 0 表示。系统硬件包括温度转换器、数据获取板、微位移传感器 (W1), 以及激光干涉仪、测量主轴热变形、系统温度上升和平台轴热误差温度传感器 (T1、T2、T3、T4)。末端轴承的温度是固定末端轴承上安装的 T1, T2 是末端轴承的温度, T3 是螺母的温度, T4 是环境温度。W1 测量螺栓末端的热变形。将激光干涉仪设计的反光镜安装在工作台, 固定激光头、干涉仪和测量平台的轴向热误差。

3 神经网络训练与多项式拟合

在形成 BP 神经网络时, 4 个温度点 (4×19) 被排列为输入变量, 输出变量是合成向量 (1×19)。BP 神经网络结构图如图 1 所示。互联网建立了实验 II, 并对其进行了训练。通过神经网络训练和计算方法, 得出了螺旋类热变形的总体分布, 在后来几组实验中, 使 y 和 x 以多项式连接起来。在装配过程中, 确定合适的多项式阶数非常重要。如果订单太少, 装配精度就会低; 如果阶数太高, 则会增加计算和更正错误的难度, 并且可

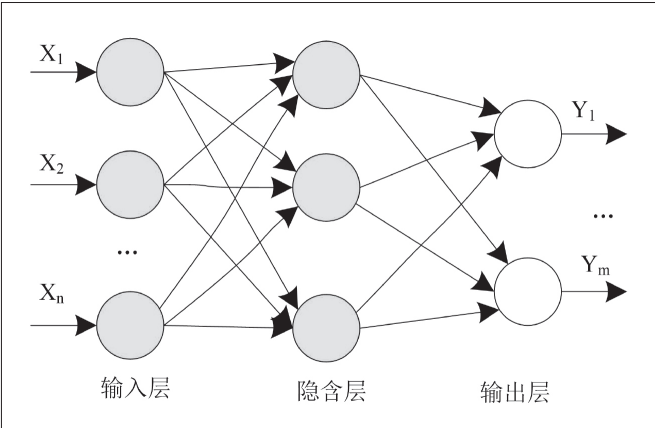


图 1 BP 神经网络结构图

能会发生过度装配, 从而降低模型的稳健性。通过比较实验条件下不同次数的多项式组装精度, 可得出最终组装顺序平均平方根误差为 RMSE, 即原始数据、适应数据、观察时间 M 的平方根。多项式拟合精度进行比较结果见表 2。

表 2 多项式拟合精度对比

评价指标	一次拟合	二次拟合	三次拟合	四次拟合
SSE	4.594	3.785	0.965	0.944
RMSE	0.752	0.696	0.334	0.353

在实际运行条件不同时, 又开展了平台轴流式热偏差检测试验, 并对平台轴流式热偏差、一定时期的丝杠热变化进行了检测, 并得出平台轴流式热偏差、时期丝杠热变化的间数学模型, 见公式 (3):

$$y = \lambda_0 + \lambda_1 x + \lambda_2 x^2 + \lambda_3 x^3 \tag{3}$$

实验数据进行公式 (3) 的参数求解, 平台轴向热误差、丝杠热变形间的具体模型, 见公式 (4):

$$y = 0.0077 + 0.9998x + 6.31e^{-5}x^2 + 8.5574e^{-7}x^3 \tag{4}$$

4 预测结果分析

BP 神经网络直接训练平台预测轴与热误差获得的热误差与两级热误差曲线比较, 对模型进行进一步优化。实验 I 的温升数据、实验 I 平台的蓄热误差 y 如图 2、图 3 所示。

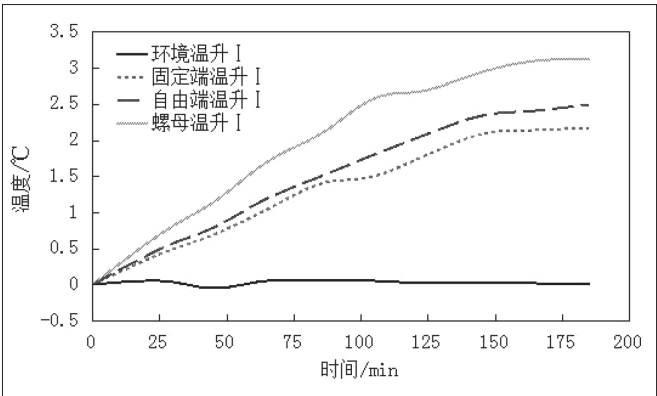


图 2 实验 I 温升曲线

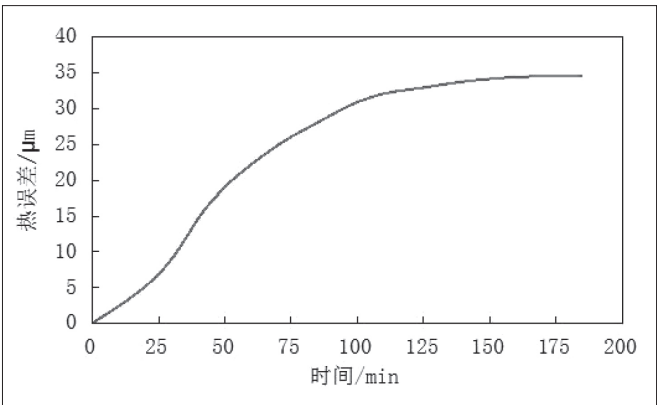


图 3 实验 I 平台轴向热误差曲线

对猜想后的结果展开研究,根据猜想后的结论,平台的热偏差可以通过实测方法表示,设直接方法为 y_1 ,以二阶段方法为 y_2 。以BP方法预计的偏差和实际测量的平台轴线热向偏差之间的差值计算,以二阶段方法预计的偏差和实际测量的平台轴线热向偏差之间的差值,分别以 y_1^* 、 y_2^* 表示。实验II将以上两个数据加以对比,分析实验II温升曲线图形(图4),即在实验II平台轴上的热误差和预测模型曲线(图5)。

由图4、图5可知, y_1^* 在 $-3.6 \sim 2.6 \mu\text{m}$ 范围内波动, y_2^* 在 $-2.6 \sim 2.1 \mu\text{m}$ 范围内波动。数据计算结果表明,单丝杠热变形理论和实验中测得的平台轴向热误差模型在独立构建时,对BP神经网络的预测偏差和BP神经网络的适用性并没有相互构成干扰,所以准确性都很好。

5 结语

本文基于BP神经网络,对超精密数控机床误差与控制进行了研究,得出如下结论:

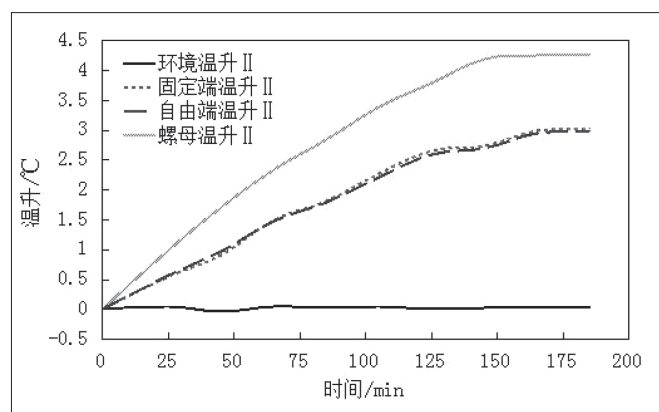


图4 实验II温升曲线

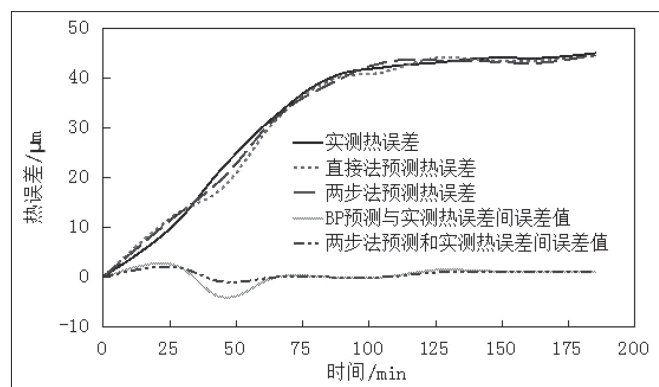


图5 实验II平台轴向热误差及预测模型统计

(1)利用BP神经网络,对铁丝杠的热变化做出预报。采用多步法,获得了平台轴向热误差和单丝杠实际热变化之间关系的复合建模方式。

(2)验证该方法时,AP预测热误差与测量平台轴向热误差之间的误差为 $-3.6 \sim 2.6 \mu\text{m}$ 。二阶段预测热误差与测量平台轴向热误差之间的误差为 $-2.6 \sim 2.1 \mu\text{m}$ 。

(3)丝杠热变形和轴向热误差建模后,多项平差的精度与BP神经网络预测误差互不干涉,所以预测精度符合标准。

参考文献:

- [1] 魏效玲,张宝刚,杨富贵,等.基于GA-BP网络的数控机床热误差优化建模研究[J].组合机床与自动化加工技术,2016(12):100-102.
- [2] 张思忠.多轴精密数控机床误差测量、综合建模及补偿技术的研究[D].长春:吉林大学,2017.
- [3] 伍伟敏,文建平,孙慧,等.基于BP神经网络的五轴数控机床热误差补偿建模[J].内燃机与配件,2020(02):69-71.
- [4] 谭峰,殷鸣,彭骥,等.基于集成BP神经网络的数控机床主轴热误差建模[J].计算机集成制造系统,2018,24(06):1383-1390.
- [5] LI YANG, ZHAO WANHUA, LAN SHUHUAI, et al. A review on spindle thermal error compensation in machine tools[J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2015(95):20-38.
- [6] 王洪乐,王家序,周青华,等.基于BP神经网络的数控机床综合误差补偿方法[J].西安交通大学学报,2017,51(06):138-146.
- [7] 张毅,杨建国.基于灰色神经网络的机床热误差建模[J].上海交通大学学报,2011,45(11):1581-1586.
- [8] 张成新,高峰,李艳,等.基于分段拟合的机床大尺寸工作台热误差补偿模型[J].机械工程学报,2015,51(03):146-152.

作者简介:刘安毅(1985.04-),女,汉族,广东兴宁人,本科,讲师,研究方向:机械专业及数控技术教学;梁亮(1987.06-),女,汉族,广东罗定人,本科,讲师,研究方向:机械专业及数控技术教学。