

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2020 年 8 月 6 日 (06.08.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/155230 A1

(51) 国际专利分类号:
B23Q 17/00 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2019/075715

(22) 国际申请日: 2019 年 2 月 21 日 (21.02.2019)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

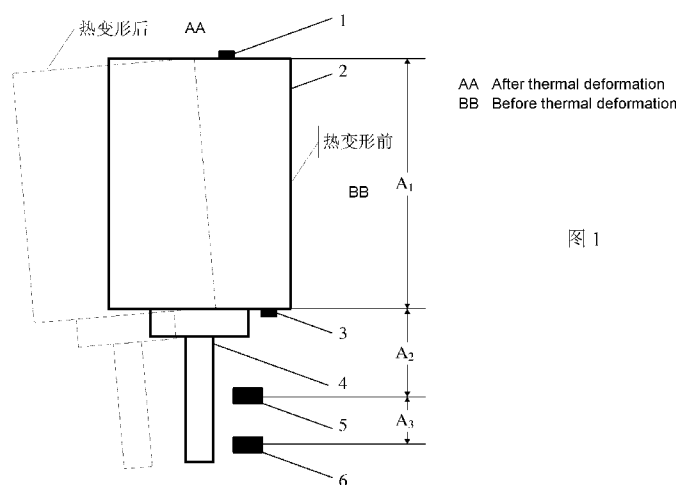
(30) 优先权:
201910100942.X 2019 年 1 月 31 日 (31.01.2019) CN

(71) 申请人: 大连理工大学 (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学专利中心, Liaoning 116024 (CN)。

(72) 发明人: 刘阔(LIU, Kuo); 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学专利中心, Liaoning 116024 (CN)。 刘海波(LIU, Haibo); 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学专利中心, Liaoning 116024 (CN)。 韩灵生(HAN, Lingsheng); 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学专利中心, Liaoning 116024 (CN)。 甘涌泉(GAN, Yongquan); 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学专利中心, Liaoning 116024 (CN)。 韩伟(HAN, Wei); 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学专利中心, Liaoning 116024 (CN)。 李特(LI, Te); 中国辽宁省大连市凌工路 2 号大连理工大学专利中心, Liaoning 116024 (CN)。 王永青(WANG,

(54) Title: METHOD FOR DETERMINING REAL-TIME THERMAL DEFORMATION ATTITUDE OF SPINDLE

(54) 发明名称: 一种判定主轴实时热变形姿态的方法



(57) Abstract: Disclosed is a method for determining a real-time thermal deformation attitude of a spindle, the method comprising: firstly, respectively applying temperature sensors (1, 3) and displacement sensors (5, 6) to testing the temperatures of upper and lower surfaces of a spindle box (2) and a radial thermal error of a spindle during the operation of the spindle; secondly, calculating, according to the radial thermal error of the spindle, the amounts of thermal variation of the upper and lower surfaces of the spindle box, and establishing a model between the amounts of thermal variation and the temperatures of the upper and lower surfaces of the spindle box; and finally, determining a real-time thermal deformation attitude of the spindle according to the temperatures, collected in real time, of the upper and lower surfaces of the spindle box. The method can achieve real-time monitoring of the thermal deformation attitude of the spindle during a machining process.

(57) 摘要: 一种判定主轴实时热变形姿态的方法, 先分别应用温度传感器 (1,3) 和位移传感器 (5,6) 测试主轴运行时主轴箱 (2) 上下表面的温度和主轴径向热误差; 然后根据主轴径向热误差计算主轴箱上下表面的热变化量, 并建立热变化量与主轴箱上下表面温度的模型; 最后根据实时采集的主轴箱上下表面温度判定主轴实时热变形姿态。该方法可实现加工过程中主轴热变形姿态的实时监测。

Yongqing); 中国辽宁省大连市凌工路2号大连理工大学专利中心, Liaoning 116024 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

一种判定主轴实时热变形姿态的方法

技术领域

本发明属于数控机床误差测试技术领域，具体为一种判定主轴实时热变形姿态的方法。

背景技术

在数控机床的加工过程中，热变形是影响加工精度的主要因素之一。由于主轴在运行过程中发热量较大，因此其热变形也较大。主轴的热变形不仅会引起轴向热伸长误差，还会引起径向的热漂移误差和热倾斜误差。这些误差不仅会影响刀具与工件的相对位置，还会影响刀具与工件的相对姿态。对主轴热变形的检测有助于了解机床的加工精度，降低废品率以及为主轴热变形的分析和控制提供数据基础，因此是十分必要的。目前已有学者对主轴热变形的检测方法进行了大量研究。

目前数控机床主轴热误差检测主要分为两类：

（1）基于位移传感器的主轴热误差检测：使用激光、电容、电涡流等类型的位移传感器检测主轴运行过程中的轴向热伸长误差和径向的热漂移误差。在专利《机床主轴热误差监测系统》，专利号：CN201410064187.1 中应用激光位移传感器检测主轴热误差；在专利《模拟工况载荷条件下机床主轴热误差测试试验方法》，专利号：CN201010292286.7 中应用电涡流传感器检测主轴热误差。

（2）基于工件的主轴热误差检测：利用工件的加工特征估计主轴热误差。在专利《基于铣削小孔的数控机床切削热误差测试和评价方法》，专利号：CN201310562312.7 中，在立方体工件上表面加工一组小孔，根据孔径和孔深检测主轴热误差。

可以看出，目前主轴热误差检测的问题在于：基于位移传感器的主轴热误

差检测方法虽然可以检测出主轴热漂移误差和热倾斜误差，但是只能在空载状态下进行检测，与实际加工存在差别。基于工件的主轴热误差检测方法虽然在实际加工工况下进行测试，但只能检测主轴轴向热漂移误差，无法得出主轴热变形姿态。可以看出，目前的主轴热误差检测方法均无法在机床加工状态下实现对主轴热变形姿态的实时监测。

发明内容

本发明针对现有检测方法无法在机床加工状态下对主轴热变形姿态实时监测的现状，提供一种判定主轴实时热变形姿态的方法，实现在实际加工过程中主轴热变形姿态的实时监测。

本发明的技术方案：

一种判定主轴实时热变形姿态的方法，首先，分别应用温度传感器和位移传感器测试主轴运行时主轴箱上下表面的温度和主轴径向热误差；然后，根据主轴径向热误差计算主轴箱上下表面的热变化量，并建立热变化量与主轴箱上下表面温度的模型；最后，基于该模型，根据实时采集的主轴箱上下表面温度判定主轴实时热变形姿态；具体步骤如下：

第一步，温度和热误差测试

第一温度传感器 1 布置在主轴箱 2 的上表面，第二温度传感器 3 布置在主轴箱 2 的下表面；检棒 4 通过刀柄接口固定在主轴上；第一位移传感器 6 和第二位移传感器 5 布置在检棒 4 侧面，其中第二位移传感器 5 靠近主轴鼻端；

测试过程为：首先主轴以转速 R （不高于主轴最高转速）持续运行 M 小时（如 4 小时）进行升温，之后主轴停止转动降温 N 小时（如 3 小时）；在此过程中，以一定周期（如 10 秒）采集第一温度传感器 1、第二温度传感器 3、第一位移传感器 6 和第二位移传感器 5 的数据；

第二步，建立热变化量与主轴箱上下表面温度的模型

设第一温度传感器 1 采集的数据为 t_1 ，第二温度传感器 3 采集的数据为 t_2 ，第一位移传感器 6 采集的数据为 p_1 ，第二位移传感器 5 采集的数据为 p_2 ；按照式(1)得出 t_1 的增量 Δt_1 、 t_2 的增量 Δt_2 、 p_1 的增量 Δp_1 和 p_2 的增量 Δp_2 ；

$$\begin{cases} \Delta t_1(i) = t_1(i) - t_1(1) \\ \Delta t_2(i) = t_2(i) - t_2(1) \\ \Delta p_1(i) = p_1(i) - p_1(1) \\ \Delta p_2(i) = p_2(i) - p_2(1) \end{cases} \quad (1)$$

设主轴箱 2 上表面到下表面的距离为 A_1 ，主轴箱 2 下表面到第二位移传感器 5 的距离为 A_2 ，第二位移传感器 5 到第一位移传感器 6 的距离为 A_3 ；

(1) 计算主轴箱上下表面的热膨胀量

根据主轴结构及数据 Δp_1 和 Δp_2 ，基于以下方法计算主轴箱 2 上表面热变化量 e_{upper} 和下表面热变化量 e_{lower} ；

设中间变量 α 和 β 的计算公式为：

$$\begin{cases} \alpha(i) = \Delta t_1(i) - \Delta t_2(i) \\ \beta(i) = \left| \frac{A_3 \times \Delta t_2(i)}{\alpha(i)} \right| \end{cases} \quad (2)$$

根据当前时刻 α 、 β 、 Δp_1 和 Δp_2 的关系，分为以下情况计算当前时刻的主轴箱上下表面的热变化量；

a) 当 $\Delta p_1(i) \geq 0$ ， $\Delta p_2(i) \geq 0$ ， $\Delta p_1(i) > \Delta p_2(i)$ ， $\beta(i) \leq A_2$ 时：

$$\begin{cases} e_{upper}(i) = \left| \frac{(A_1 + A_2) \times \alpha(i) - A_3 \times \Delta p_2(i)}{A_3} \right| \\ e_{lower}(i) = \left| \frac{A_2 \times \alpha(i) - A_3 \times \Delta p_2(i)}{A_3} \right| \end{cases} \quad (3)$$

b) 当 $\Delta p_1(i) \geq 0$ ， $\Delta p_2(i) \geq 0$ ， $\Delta p_1(i) > \Delta p_2(i)$ ， $\beta(i) > A_2$ ， $\beta(i) \leq (A_1 + A_2)$ 时：

$$\begin{cases} e_{upper}(i) = \left| \frac{(A_1 + A_2) \times \alpha(i) - A_3 \times \Delta p_2(i)}{A_3} \right| \\ e_{lower}(i) = - \left| \frac{A_3 \times \Delta p_2(i) - A_2 \times \alpha(i)}{A_3} \right| \end{cases} \quad (4)$$

c) 当 $\Delta p_1(i) \geq 0$, $\Delta p_2(i) \geq 0$, $\Delta p_1(i) > \Delta p_2(i)$, $\beta(i) > (A_1 + A_2)$ 时:

$$\begin{cases} e_{upper}(i) = - \left| \frac{A_3 \times \Delta p_2(i) - (A_1 + A_2) \times \alpha(i)}{A_3} \right| \\ e_{lower}(i) = - \left| \frac{A_3 \times \Delta p_2(i) - A_2 \times \alpha(i)}{A_3} \right| \end{cases} \quad (5)$$

d) 当 $\Delta p_1(i) \geq 0$, $\Delta p_2(i) \geq 0$, $\Delta p_1(i) \leq \Delta p_2(i)$ 时:

$$\begin{cases} e_{upper}(i) = - \left| \frac{A_3 \times \Delta p_2(i) + (A_1 + A_2) \times \alpha(i)}{A_3} \right| \\ e_{lower}(i) = - \left| \frac{A_3 \times \Delta p_2(i) + A_2 \times \alpha(i)}{A_3} \right| \end{cases} \quad (6)$$

e) 当 $\Delta p_1(i) > 0$, $\Delta p_2(i) < 0$ 时:

$$\begin{cases} e_{upper}(i) = \left| \frac{A_3 \times |\Delta p_2(i)| + (A_1 + A_2) \times \alpha(i)}{A_3} \right| \\ e_{lower}(i) = \left| \frac{A_3 \times |\Delta p_2(i)| + A_2 \times \alpha(i)}{A_3} \right| \end{cases} \quad (7)$$

f) 当 $\Delta p_1(i) < 0$, $\Delta p_2(i) > 0$ 时:

$$\begin{cases} e_{upper}(i) = - \left| \frac{A_3 \times \Delta p_2(i) + (A_1 + A_2) \times \alpha(i)}{A_3} \right| \\ e_{lower}(i) = - \left| \frac{A_3 \times \Delta p_2(i) + A_2 \times \alpha(i)}{A_3} \right| \end{cases} \quad (8)$$

g) 当 $\Delta p_1(i) < 0$, $\Delta p_2(i) < 0$, $\Delta p_1(i) \geq \Delta p_2(i)$ 时:

$$\begin{cases} e_{upper}(i) = \left| \frac{A_3 \times |\Delta p_2(i)| + (A_1 + A_2) \times \alpha(i)}{A_3} \right| \\ e_{lower}(i) = \left| \frac{A_3 \times |\Delta p_2(i)| + A_2 \times \alpha(i)}{A_3} \right| \end{cases} \quad (9)$$

h) 当 $\Delta p_1(i) < 0$, $\Delta p_2(i) < 0$, $\Delta p_1(i) < \Delta p_2(i)$, $\beta(i) > (A_1 + A_2)$ 时:

$$\begin{cases} e_{upper}(i) = \left| \frac{A_3 \times |\Delta p_2(i)| - (A_1 + A_2) \times \alpha(i)}{A_3} \right| \\ e_{lower}(i) = \left| \frac{A_3 \times |\Delta p_2(i)| - A_2 \times \alpha(i)}{A_3} \right| \end{cases} \quad (10)$$

i) 当 $\Delta p_1(i) < 0$, $\Delta p_2(i) < 0$, $\Delta p_1(i) < \Delta p_2(i)$, $\beta(i) < (A_1 + A_2)$, $\beta(i) > A_2$ 时:

$$\begin{cases} e_{upper}(i) = - \left| \frac{(A_1 + A_2) \times \alpha(i) - A_3 \times |\Delta p_2(i)|}{A_3} \right| \\ e_{lower}(i) = \left| \frac{A_3 \times |\Delta p_2(i)| - A_2 \times \alpha(i)}{A_3} \right| \end{cases} \quad (11)$$

j) 当 $\Delta p_1(i) < 0$, $\Delta p_2(i) < 0$, $\Delta p_1(i) < \Delta p_2(i)$, $\beta(i) \leq A_2$ 时:

$$\begin{cases} e_{upper}(i) = - \left| \frac{(A_1 + A_2) \times \alpha(i) - A_3 \times |\Delta p_2(i)|}{A_3} \right| \\ e_{lower}(i) = - \left| \frac{A_2 \times \alpha(i) - A_3 \times |\Delta p_2(i)|}{A_3} \right| \end{cases} \quad (12)$$

(2) 建立主轴箱上下表面热变化量与温度的模型

主轴箱上下表面热变化量与上下表面温度的关系模型如式 (13) 所示:

$$\begin{cases} e_{upper}(i) = a_1 \times \Delta t_1(i) + a_2 \\ e_{lower}(i) = b_1 \times \Delta t_2(i) + b_2 \end{cases} \quad (13)$$

式中 a_1 、 a_2 、 b_1 和 b_2 为系数;

应用最小二乘法, 根据数据 e_{upper} 、 e_{lower} 、 Δt_1 和 Δt_2 计算得出 a_1 、 a_2 、 b_1 和 b_2 ;

第三步, 主轴实时热变形姿态的判定

主轴运行过程中, 以一定周期 (如 10 秒) 采集第一温度传感器 1 和第二温度传感器 3 的数据; 基于式 (13), 根据当前时刻的温度数据计算主轴箱上下表面热变化量 e_{upper} 和 e_{lower} ; 按照如下方法, 在不使用位移传感器的情况下判定当前时刻主轴热变形姿态;

设中间变量 γ 的计算如式 (14) 所示:

$$\gamma(i) = \left| \frac{e_{\text{lower}}(i) \times A_1}{e_{\text{upper}}(i)} - e_{\text{lower}}(i) \right| \quad (14)$$

根据当前时刻 e_{upper} 、 e_{lower} 和 γ 的关系, 按以下情况分别计算当前时刻的主轴在第一位移传感器 6 和第二位移传感器 5 位置的径向热误差 Δp_{c1} 和 Δp_{c2} :

a) 当 $e_{\text{upper}}(i) \geq 0$ 、 $e_{\text{lower}}(i) \geq 0$, $e_{\text{upper}}(i) \geq e_{\text{lower}}(i)$, $\gamma(i) \leq A_2$ 时:

$$\begin{cases} \Delta p_{c1}(i) = \left| \frac{(A_1 + A_2 + A_3) \times (e_{\text{upper}}(i) - e_{\text{lower}}(i)) - A_1 \times e_{\text{upper}}(i)}{A_1} \right| \\ \Delta p_{c2}(i) = \left| \frac{(A_1 + A_2) \times (e_{\text{upper}}(i) - e_{\text{lower}}(i)) - A_1 \times e_{\text{upper}}(i)}{A_1} \right| \end{cases} \quad (15)$$

b) 当 $e_{\text{upper}}(i) > 0$ 、 $e_{\text{lower}}(i) < 0$ 时:

$$\begin{cases} \Delta p_{c1}(i) = \left| \frac{(A_1 + A_2 + A_3) \times (e_{\text{upper}}(i) + |e_{\text{lower}}(i)|) - A_1 \times e_{\text{upper}}(i)}{A_1} \right| \\ \Delta p_{c2}(i) = \left| \frac{(A_1 + A_2) \times (e_{\text{upper}}(i) + |e_{\text{lower}}(i)|) - A_1 \times e_{\text{upper}}(i)}{A_1} \right| \end{cases} \quad (16)$$

c) 当 $e_{\text{upper}}(i) < 0$ 、 $e_{\text{lower}}(i) < 0$, $e_{\text{upper}}(i) \geq e_{\text{lower}}(i)$ 时:

$$\begin{cases} \Delta p_{c1}(i) = \left| \frac{(A_1 + A_2 + A_3) \times (|e_{\text{upper}}(i)| - |e_{\text{lower}}(i)|) + A_1 \times |e_{\text{upper}}(i)|}{A_1} \right| \\ \Delta p_{c2}(i) = \left| \frac{(A_1 + A_2) \times (|e_{\text{upper}}(i)| - |e_{\text{lower}}(i)|) + A_1 \times |e_{\text{upper}}(i)|}{A_1} \right| \end{cases} \quad (17)$$

d) 当 $e_{\text{upper}}(i) < 0$ 、 $e_{\text{lower}}(i) < 0$, $e_{\text{upper}}(i) < e_{\text{lower}}(i)$, $\gamma(i) > (A_2 + A_3)$ 时:

$$\begin{cases} \Delta p_{c1}(i) = \left| \frac{A_1 \times |e_{\text{upper}}(i)| - (A_1 + A_2 + A_3) \times (|e_{\text{upper}}(i)| - |e_{\text{lower}}(i)|)}{A_1} \right| \\ \Delta p_{c2}(i) = \left| \frac{A_1 \times |e_{\text{upper}}(i)| - (A_1 + A_2) \times (|e_{\text{upper}}(i)| - |e_{\text{lower}}(i)|)}{A_1} \right| \end{cases} \quad (18)$$

e) 当 $e_{\text{upper}}(i) \geq 0$ 、 $e_{\text{lower}}(i) \geq 0$, $e_{\text{upper}}(i) > e_{\text{lower}}(i)$, $\gamma(i) \leq (A_2 + A_3)$, $\gamma(i) > A_2$ 时:

$$\begin{cases} \Delta p_{c1}(i) = \left| \frac{(A_1 + A_2 + A_3) \times (e_{upper}(i) - e_{lower}(i)) - A_1 \times e_{upper}(i)}{A_1} \right| \\ \Delta p_{c2}(i) = - \left| \frac{A_1 \times e_{upper}(i) - (A_1 + A_2) \times (e_{upper}(i) - e_{lower}(i))}{A_1} \right| \end{cases} \quad (19)$$

f) 当 $e_{upper}(i) < 0$ 、 $e_{lower}(i) < 0$ 、 $e_{upper}(i) < e_{lower}(i)$ 、 $\gamma(i) \leq (A_2 + A_3)$ 、 $\gamma(i) > A_2$ 时:

$$\begin{cases} \Delta p_{c1}(i) = - \left| \frac{(A_1 + A_2 + A_3) \times (|e_{upper}(i)| - |e_{lower}(i)|) - A_1 \times |e_{upper}(i)|}{A_1} \right| \\ \Delta p_{c2}(i) = \left| \frac{A_1 \times |e_{upper}(i)| - (A_1 + A_2) \times (|e_{upper}(i)| - |e_{lower}(i)|)}{A_1} \right| \end{cases} \quad (20)$$

g) 当 $e_{upper}(i) \geq 0$ 、 $e_{lower}(i) \geq 0$ 、 $e_{upper}(i) > e_{lower}(i)$ 、 $\gamma(i) > (A_2 + A_3)$ 时:

$$\begin{cases} \Delta p_{c1}(i) = - \left| \frac{A_1 \times e_{upper}(i) - (A_1 + A_2 + A_3) \times (e_{upper}(i) - e_{lower}(i))}{A_1} \right| \\ \Delta p_{c2}(i) = - \left| \frac{A_1 \times e_{upper}(i) - (A_1 + A_2) \times (e_{upper}(i) - e_{lower}(i))}{A_1} \right| \end{cases} \quad (21)$$

h) 当 $e_{upper}(i) \geq 0$ 、 $e_{lower}(i) \geq 0$ 、 $e_{upper}(i) \leq e_{lower}(i)$ 时:

$$\begin{cases} \Delta p_{c1}(i) = - \left| \frac{A_1 \times e_{upper}(i) - (A_1 + A_2 + A_3) \times (e_{upper}(i) - e_{lower}(i))}{A_1} \right| \\ \Delta p_{c2}(i) = - \left| \frac{A_1 \times e_{upper}(i) - (A_1 + A_2) \times (e_{upper}(i) - e_{lower}(i))}{A_1} \right| \end{cases} \quad (22)$$

i) 当 $e_{upper}(i) < 0$ 、 $e_{lower}(i) > 0$ 时:

$$\begin{cases} \Delta p_{c1}(i) = - \left| \frac{(A_1 + A_2 + A_3) \times (|e_{upper}(i)| + e_{lower}(i)) - A_1 \times |e_{upper}(i)|}{A_1} \right| \\ \Delta p_{c2}(i) = - \left| \frac{(A_1 + A_2) \times (|e_{upper}(i)| + e_{lower}(i)) - A_1 \times |e_{upper}(i)|}{A_1} \right| \end{cases} \quad (23)$$

j) 当 $e_{upper}(i) < 0$ 、 $e_{lower}(i) < 0$ 、 $e_{upper}(i) \leq e_{lower}(i)$ 、 $\gamma(i) \leq A_2$ 时:

$$\begin{cases} \Delta p_{c1}(i) = - \left| \frac{(A_1 + A_2 + A_3) \times (|e_{upper}(i)| - |e_{lower}(i)|) - A_1 \times |e_{upper}(i)|}{A_1} \right| \\ \Delta p_{c2}(i) = - \left| \frac{(A_1 + A_2) \times (|e_{upper}(i)| - |e_{lower}(i)|) - A_1 \times |e_{upper}(i)|}{A_1} \right| \end{cases} \quad (24)$$

根据 Δp_{c1} 和 Δp_{c2} ，按照式（25）计算主轴的热变形姿态，即主轴径向热误差 $E_{thermal}$ 和热倾斜误差 $\varphi_{thermal}$ ；这样，即判定出主轴的实时热变形姿态：

$$\begin{cases} E_{thermal}(i) = \Delta p_{c2}(i) \\ \varphi_{thermal}(i) = \arctan\left(\frac{\Delta p_{c1}(i) - \Delta p_{c2}(i)}{A_3}\right) \end{cases} \quad (25)。$$

本发明的有益效果为：本发明可实现加工过程中主轴热变形姿态的实时监测。目前尚无加工过程中主轴热变形姿态的实时监测方法。本发明可实现在机床加工过程中对主轴热变形姿态的实时监测，以此判断主轴当前状态能否满足工件加工精度要求，避免加工精度超差，提高产品合格率。该实时监测方法还可以为主轴热变形机理分析、建模和补偿提供依据。

附图说明

图 1 为温度传感器布置及主轴热变形姿态测试示意图。

图 2 为主轴实时热变形姿态判定流程图。

图 3 为第一和第二温度传感器采集的温度。

图 4 为第一和第二位移传感器采集的位移。

图 5(a)为预测的主轴径向热误差。

图 5(b)为预测的主轴热倾斜误差。

图中：1 第一温度传感器；2 主轴箱；3 第二温度传感器；4 检棒；5 第二位移传感器；6 第一位移传感器。

具体实施方式

为了使本发明的目的、技术方案和优点更加清晰明了，下面结合附图对本

发明作详细说明。

以某型三轴立式加工中心为例，详细说明本发明的实施方式。该加工中心主轴最高转速 15000r/min，主轴电机与主轴采用联轴器连接，主轴不带冷却装置。

第一步，温度和热误差测试

第一温度传感器（1）布置在主轴箱（2）的上表面，第二温度传感器（3）布置在主轴箱（2）的下表面。检棒（4）通过刀柄接口固定在主轴上。第一位移传感器（6）和第二位移传感器（5）布置在检棒侧面，其中第二位移传感器（5）靠近主轴鼻端。具体布置方式如图 1 所示。

测试过程为：首先主轴以转速 8000r/min 持续运行 4 小时进行升温，之后主轴静止降温 3 小时。在此过程中，以 10s 周期采集第一温度传感器（1）、第二温度传感器（3）、第一位移传感器（6）和第二位移传感器（5）的数据。

第二步，建立热变化量与主轴箱上下表面温度的模型

设第一温度传感器（1）采集的数据为 t_1 ，第二温度传感器（3）采集的数据为 t_2 ，第一位移传感器（6）采集的数据为 p_1 ，第二位移传感器（5）采集的数据为 p_2 。按照式(1)得出 t_1 的增量 Δt_1 、 t_2 的增量 Δt_2 、 p_1 的增量 Δp_1 和 p_2 的增量 Δp_2 。 Δt_1 和 Δt_2 的曲线如图 3 所示， Δp_1 和 Δp_2 的曲线如图 4 所示。

主轴箱（2）上表面到下表面的距离为 210mm，主轴箱（2）下表面到第二位移传感器（5）的距离为 280mm，第二位移传感器（5）到第一位移传感器（6）的距离为 76.2mm。

根据主轴结构及数据 Δp_1 和 Δp_2 ，基于式（2）~式（12）计算主轴箱（2）上表面热变化量 e_{upper} 和下表面热变化量 e_{lower} 。基于式（13），应用最小二乘法计算出系数 a_1 、 a_2 、 b_1 和 b_2 分别为 5.76、0.37、4.85 和 -0.08。

第三步，主轴实时热变形姿态的判定

令主轴以 10000r/min 持续运行 4 小时升温，之后静止降温 3 小时。主轴运行过程中，以 10s 的周期实时采集第一温度传感器（1）和第二温度传感器（3）的数值。基于式（13），根据当前时刻的温度数据计算主轴箱上下表面热变化量 e_{upper} 和 e_{lower} 。

根据式（14）~式（25）计算出当前时刻的主轴热变形姿态，即主轴热漂移误差（如图 5（a）所示）和热倾斜误差（如图 5（b）所示），从而实现对主轴实时热变形姿态的判定。

权利要求书

1.一种判定主轴实时热变形姿态的方法，首先，分别应用温度传感器和位移传感器测试主轴运行时主轴箱上下表面的温度和主轴径向热误差；然后，根据主轴径向热误差计算主轴箱上下表面的热变化量，并建立热变化量与主轴箱上下表面温度的模型；最后，基于该模型，根据实时采集的主轴箱上下表面温度判定主轴实时热变形姿态；其特征在于，步骤如下：

第一步，温度和热误差测试

第一温度传感器（1）布置在主轴箱（2）的上表面，第二温度传感器（3）布置在主轴箱（2）的下表面；检棒（4）通过刀柄接口固定在主轴上；第一位移传感器（6）和第二位移传感器（5）布置在检棒（4）侧面，其中第二位移传感器（5）靠近主轴鼻端；

测试过程为：首先主轴以转速 R 持续运行 M 小时进行升温，转速 R 不高于主轴最高转速，之后主轴停止转动降温 N 小时；在此过程中，以一定周期采集第一温度传感器（1）、第二温度传感器（3）、第一位移传感器（6）和第二位移传感器（5）的数据；

第二步，建立热变化量与主轴箱上下表面温度的模型

设第一温度传感器（1）采集的数据为 t_1 ，第二温度传感器（3）采集的数据为 t_2 ，第一位移传感器（6）采集的数据为 p_1 ，第二位移传感器（5）采集的数据为 p_2 ；按照式(1)得出 t_1 的增量 Δt_1 、 t_2 的增量 Δt_2 、 p_1 的增量 Δp_1 和 p_2 的增量 Δp_2 ；

$$\begin{cases} \Delta t_1(i) = t_1(i) - t_1(1) \\ \Delta t_2(i) = t_2(i) - t_2(1) \\ \Delta p_1(i) = p_1(i) - p_1(1) \\ \Delta p_2(i) = p_2(i) - p_2(1) \end{cases} \quad (1)$$

设主轴箱（2）上表面到下表面的距离为 A_1 ，主轴箱（2）下表面到第二位移传感器（5）的距离为 A_2 ，第二位移传感器（5）到第一位移传感器（6）的距

离为 A_3 ;

(1) 计算主轴箱上下表面的热膨胀量

根据主轴结构及数据 Δp_1 和 Δp_2 , 基于以下方法计算主轴箱 (2) 上表面热变化量 e_{upper} 和下表面热变化量 e_{lower} ;

设中间变量 α 和 β 的计算公式为:

$$\begin{cases} \alpha(i) = \Delta t_1(i) - \Delta t_2(i) \\ \beta(i) = \left| \frac{A_3 \times \Delta t_2(i)}{\alpha(i)} \right| \end{cases} \quad (2)$$

根据当前时刻 α 、 β 、 Δp_1 和 Δp_2 的关系, 分为以下情况计算当前时刻的主轴箱上下表面的热变化量;

a) 当 $\Delta p_1(i) \geq 0$, $\Delta p_2(i) \geq 0$, $\Delta p_1(i) > \Delta p_2(i)$, $\beta(i) \leq A_2$ 时:

$$\begin{cases} e_{upper}(i) = \left| \frac{(A_1 + A_2) \times \alpha(i) - A_3 \times \Delta p_2(i)}{A_3} \right| \\ e_{lower}(i) = \left| \frac{A_2 \times \alpha(i) - A_3 \times \Delta p_2(i)}{A_3} \right| \end{cases} \quad (3)$$

b) 当 $\Delta p_1(i) \geq 0$, $\Delta p_2(i) \geq 0$, $\Delta p_1(i) > \Delta p_2(i)$, $\beta(i) > A_2$, $\beta(i) \leq (A_1 + A_2)$ 时:

$$\begin{cases} e_{upper}(i) = \left| \frac{(A_1 + A_2) \times \alpha(i) - A_3 \times \Delta p_2(i)}{A_3} \right| \\ e_{lower}(i) = - \left| \frac{A_3 \times \Delta p_2(i) - A_2 \times \alpha(i)}{A_3} \right| \end{cases} \quad (4)$$

c) 当 $\Delta p_1(i) \geq 0$, $\Delta p_2(i) \geq 0$, $\Delta p_1(i) > \Delta p_2(i)$, $\beta(i) > (A_1 + A_2)$ 时:

$$\begin{cases} e_{upper}(i) = - \left| \frac{A_3 \times \Delta p_2(i) - (A_1 + A_2) \times \alpha(i)}{A_3} \right| \\ e_{lower}(i) = - \left| \frac{A_3 \times \Delta p_2(i) - A_2 \times \alpha(i)}{A_3} \right| \end{cases} \quad (5)$$

d) 当 $\Delta p_1(i) \geq 0$, $\Delta p_2(i) \geq 0$, $\Delta p_1(i) \leq \Delta p_2(i)$ 时:

$$\begin{cases} e_{upper}(i) = - \left| \frac{A_3 \times \Delta p_2(i) + (A_1 + A_2) \times \alpha(i)}{A_3} \right| \\ e_{lower}(i) = - \left| \frac{A_3 \times \Delta p_2(i) + A_2 \times \alpha(i)}{A_3} \right| \end{cases} \quad (6)$$

e) 当 $\Delta p_1(i) > 0$, $\Delta p_2(i) < 0$ 时:

$$\begin{cases} e_{upper}(i) = \left| \frac{A_3 \times |\Delta p_2(i)| + (A_1 + A_2) \times \alpha(i)}{A_3} \right| \\ e_{lower}(i) = \left| \frac{A_3 \times |\Delta p_2(i)| + A_2 \times \alpha(i)}{A_3} \right| \end{cases} \quad (7)$$

f) 当 $\Delta p_1(i) < 0$, $\Delta p_2(i) > 0$ 时:

$$\begin{cases} e_{upper}(i) = - \left| \frac{A_3 \times \Delta p_2(i) + (A_1 + A_2) \times \alpha(i)}{A_3} \right| \\ e_{lower}(i) = - \left| \frac{A_3 \times \Delta p_2(i) + A_2 \times \alpha(i)}{A_3} \right| \end{cases} \quad (8)$$

g) 当 $\Delta p_1(i) < 0$, $\Delta p_2(i) < 0$, $\Delta p_1(i) \geq \Delta p_2(i)$ 时:

$$\begin{cases} e_{upper}(i) = \left| \frac{A_3 \times |\Delta p_2(i)| + (A_1 + A_2) \times \alpha(i)}{A_3} \right| \\ e_{lower}(i) = \left| \frac{A_3 \times |\Delta p_2(i)| + A_2 \times \alpha(i)}{A_3} \right| \end{cases} \quad (9)$$

h) 当 $\Delta p_1(i) < 0$, $\Delta p_2(i) < 0$, $\Delta p_1(i) < \Delta p_2(i)$, $\beta(i) > (A_1 + A_2)$ 时:

$$\begin{cases} e_{upper}(i) = \left| \frac{A_3 \times |\Delta p_2(i)| - (A_1 + A_2) \times \alpha(i)}{A_3} \right| \\ e_{lower}(i) = \left| \frac{A_3 \times |\Delta p_2(i)| - A_2 \times \alpha(i)}{A_3} \right| \end{cases} \quad (10)$$

i) 当 $\Delta p_1(i) < 0$, $\Delta p_2(i) < 0$, $\Delta p_1(i) < \Delta p_2(i)$, $\beta(i) < (A_1 + A_2)$, $\beta(i) > A_2$ 时:

$$\begin{cases} e_{upper}(i) = - \left| \frac{(A_1 + A_2) \times \alpha(i) - A_3 \times |\Delta p_2(i)|}{A_3} \right| \\ e_{lower}(i) = \left| \frac{A_3 \times |\Delta p_2(i)| - A_2 \times \alpha(i)}{A_3} \right| \end{cases} \quad (11)$$

j) 当 $\Delta p_1(i) < 0$, $\Delta p_2(i) < 0$, $\Delta p_1(i) < \Delta p_2(i)$, $\beta(i) \leq A_2$ 时:

$$\begin{cases} e_{upper}(i) = -\left| \frac{(A_1 + A_2) \times \alpha(i) - A_3 \times |\Delta p_2(i)|}{A_3} \right| \\ e_{lower}(i) = -\left| \frac{A_2 \times \alpha(i) - A_3 \times |\Delta p_2(i)|}{A_3} \right| \end{cases} \quad (12)$$

(2) 建立主轴箱上下表面热变化量与温度的模型

主轴箱上下表面热变化量与上下表面温度的关系模型如式 (13) 所示:

$$\begin{cases} e_{upper}(i) = a_1 \times \Delta t_1(i) + a_2 \\ e_{lower}(i) = b_1 \times \Delta t_2(i) + b_2 \end{cases} \quad (13)$$

式中 a_1 、 a_2 、 b_1 和 b_2 为系数;

应用最小二乘法, 根据数据 e_{upper} 、 e_{lower} 、 Δt_1 和 Δt_2 计算得出 a_1 、 a_2 、 b_1 和 b_2 ;

第三步, 主轴实时热变形姿态的判定

主轴运行过程中, 以一定周期 (如 10 秒) 采集第一温度传感器 1 和第二温度传感器 3 的数据; 基于式 (13), 根据当前时刻的温度数据计算主轴箱上下表面热变化量 e_{upper} 和 e_{lower} ; 按照如下方法, 在不使用位移传感器的情况下判定当前时刻主轴热变形姿态;

设中间变量 γ 的计算如式 (14) 所示:

$$\gamma(i) = \left| \frac{e_{lower}(i) \times A_1}{e_{upper}(i)} - e_{lower}(i) \right| \quad (14)$$

根据当前时刻 e_{upper} 、 e_{lower} 和 γ 的关系, 按以下情况分别计算当前时刻的主轴在第一位移传感器 (6) 和第二位移传感器 (5) 位置的径向热误差 Δp_{c1} 和 Δp_{c2} ;

a) 当 $e_{upper}(i) \geq 0$ 、 $e_{lower}(i) \geq 0$, $e_{upper}(i) \geq e_{lower}(i)$, $\gamma(i) \leq A_2$ 时:

$$\begin{cases} \Delta p_{c1}(i) = \left| \frac{(A_1 + A_2 + A_3) \times (e_{upper}(i) - e_{lower}(i)) - A_1 \times e_{upper}(i)}{A_1} \right| \\ \Delta p_{c2}(i) = \left| \frac{(A_1 + A_2) \times (e_{upper}(i) - e_{lower}(i)) - A_1 \times e_{upper}(i)}{A_1} \right| \end{cases} \quad (15)$$

b) 当 $e_{upper}(i) > 0$ 、 $e_{lower}(i) < 0$ 时:

$$\begin{cases} \Delta p_{c1}(i) = \left| \frac{(A_1 + A_2 + A_3) \times (e_{upper}(i) + |e_{lower}(i)|) - A_1 \times e_{upper}(i)}{A_1} \right| \\ \Delta p_{c2}(i) = \left| \frac{(A_1 + A_2) \times (e_{upper}(i) + |e_{lower}(i)|) - A_1 \times e_{upper}(i)}{A_1} \right| \end{cases} \quad (16)$$

c) 当 $e_{upper}(i) < 0$ 、 $e_{lower}(i) < 0$ ， $e_{upper}(i) \geq e_{lower}(i)$ 时:

$$\begin{cases} \Delta p_{c1}(i) = \left| \frac{(A_1 + A_2 + A_3) \times (|e_{upper}(i)| - |e_{lower}(i)|) + A_1 \times |e_{upper}(i)|}{A_1} \right| \\ \Delta p_{c2}(i) = \left| \frac{(A_1 + A_2) \times (|e_{upper}(i)| - |e_{lower}(i)|) + A_1 \times |e_{upper}(i)|}{A_1} \right| \end{cases} \quad (17)$$

d) 当 $e_{upper}(i) < 0$ 、 $e_{lower}(i) < 0$ ， $e_{upper}(i) < e_{lower}(i)$ ， $\gamma(i) > (A_2 + A_3)$ 时:

$$\begin{cases} \Delta p_{c1}(i) = \left| \frac{A_1 \times |e_{upper}(i)| - (A_1 + A_2 + A_3) \times (|e_{upper}(i)| - |e_{lower}(i)|)}{A_1} \right| \\ \Delta p_{c2}(i) = \left| \frac{A_1 \times |e_{upper}(i)| - (A_1 + A_2) \times (|e_{upper}(i)| - |e_{lower}(i)|)}{A_1} \right| \end{cases} \quad (18)$$

e) 当 $e_{upper}(i) \geq 0$ 、 $e_{lower}(i) \geq 0$ ， $e_{upper}(i) > e_{lower}(i)$ ， $\gamma(i) \leq (A_2 + A_3)$ ， $\gamma(i) > A_2$ 时:

$$\begin{cases} \Delta p_{c1}(i) = \left| \frac{(A_1 + A_2 + A_3) \times (e_{upper}(i) - e_{lower}(i)) - A_1 \times e_{upper}(i)}{A_1} \right| \\ \Delta p_{c2}(i) = - \left| \frac{A_1 \times e_{upper}(i) - (A_1 + A_2) \times (e_{upper}(i) - e_{lower}(i))}{A_1} \right| \end{cases} \quad (19)$$

f) 当 $e_{upper}(i) < 0$ 、 $e_{lower}(i) < 0$ ， $e_{upper}(i) < e_{lower}(i)$ ， $\gamma(i) \leq (A_2 + A_3)$ ， $\gamma(i) > A_2$ 时:

$$\begin{cases} \Delta p_{c1}(i) = - \left| \frac{(A_1 + A_2 + A_3) \times (|e_{upper}(i)| - |e_{lower}(i)|) - A_1 \times |e_{upper}(i)|}{A_1} \right| \\ \Delta p_{c2}(i) = - \left| \frac{A_1 \times |e_{upper}(i)| - (A_1 + A_2) \times (|e_{upper}(i)| - |e_{lower}(i)|)}{A_1} \right| \end{cases} \quad (20)$$

g) 当 $e_{upper}(i) \geq 0$ 、 $e_{lower}(i) \geq 0$ ， $e_{upper}(i) > e_{lower}(i)$ ， $\gamma(i) > (A_2 + A_3)$ 时：

$$\begin{cases} \Delta p_{c1}(i) = - \left| \frac{A_1 \times e_{upper}(i) - (A_1 + A_2 + A_3) \times (e_{upper}(i) - e_{lower}(i))}{A_1} \right| \\ \Delta p_{c2}(i) = - \left| \frac{A_1 \times e_{upper}(i) - (A_1 + A_2) \times (e_{upper}(i) - e_{lower}(i))}{A_1} \right| \end{cases} \quad (21)$$

h) 当 $e_{upper}(i) \geq 0$ 、 $e_{lower}(i) \geq 0$ ， $e_{upper}(i) \leq e_{lower}(i)$ 时：

$$\begin{cases} \Delta p_{c1}(i) = - \left| \frac{A_1 \times e_{upper}(i) - (A_1 + A_2 + A_3) \times (e_{upper}(i) - e_{lower}(i))}{A_1} \right| \\ \Delta p_{c2}(i) = - \left| \frac{A_1 \times e_{upper}(i) - (A_1 + A_2) \times (e_{upper}(i) - e_{lower}(i))}{A_1} \right| \end{cases} \quad (22)$$

i) 当 $e_{upper}(i) < 0$ 、 $e_{lower}(i) > 0$ 时：

$$\begin{cases} \Delta p_{c1}(i) = - \left| \frac{(A_1 + A_2 + A_3) \times (|e_{upper}(i)| + e_{lower}(i)) - A_1 \times |e_{upper}(i)|}{A_1} \right| \\ \Delta p_{c2}(i) = - \left| \frac{(A_1 + A_2) \times (|e_{upper}(i)| + e_{lower}(i)) - A_1 \times |e_{upper}(i)|}{A_1} \right| \end{cases} \quad (23)$$

j) 当 $e_{upper}(i) < 0$ 、 $e_{lower}(i) < 0$ ， $e_{upper}(i) \leq e_{lower}(i)$ ， $\gamma(i) \leq A_2$ 时：

$$\begin{cases} \Delta p_{c1}(i) = - \left| \frac{(A_1 + A_2 + A_3) \times (|e_{upper}(i)| - |e_{lower}(i)|) - A_1 \times |e_{upper}(i)|}{A_1} \right| \\ \Delta p_{c2}(i) = - \left| \frac{(A_1 + A_2) \times (|e_{upper}(i)| - |e_{lower}(i)|) - A_1 \times |e_{upper}(i)|}{A_1} \right| \end{cases} \quad (24)$$

根据 Δp_{c1} 和 Δp_{c2} ，按照式 (25) 计算主轴的热变形姿态，即主轴径向热误差

$E_{thermal}$ 和热倾斜误差 $\varphi_{thermal}$ ；这样，即判定出主轴的实时热变形姿态：

$$\begin{cases} E_{thermal}(i) = \Delta p_{c2}(i) \\ \varphi_{thermal}(i) = \arctan(\frac{\Delta p_{c1}(i) - \Delta p_{c2}(i)}{A_3}) \end{cases} \quad (25)。$$

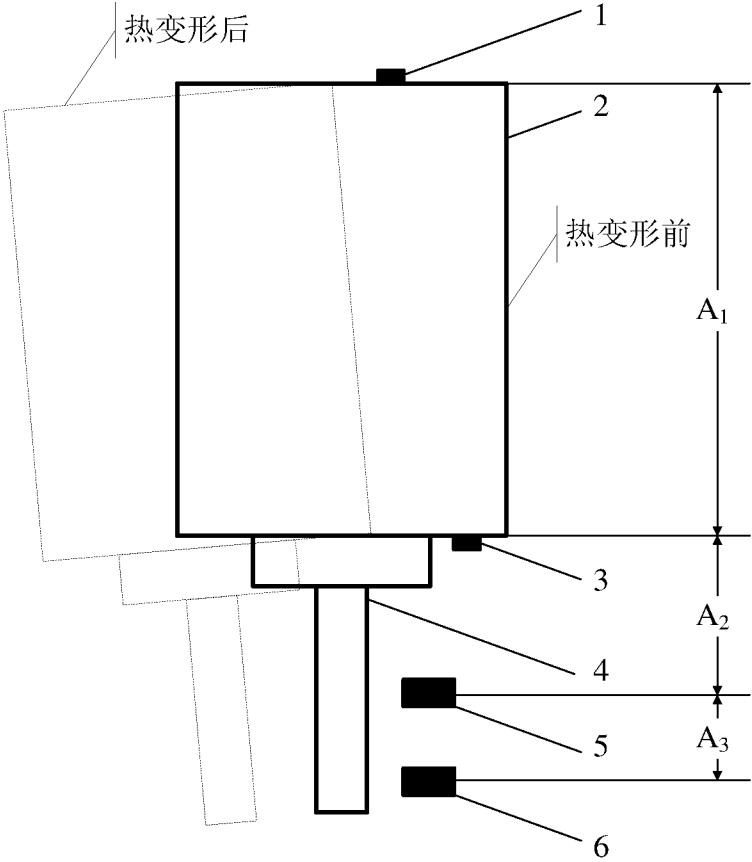


图 1

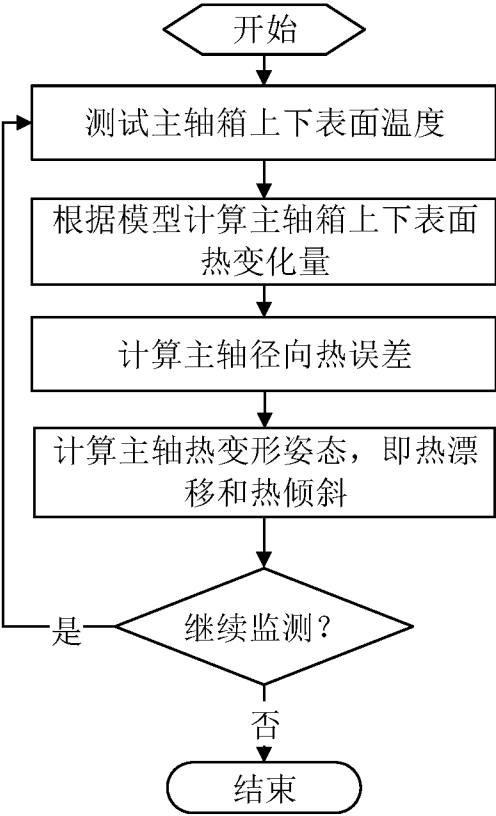


图 2

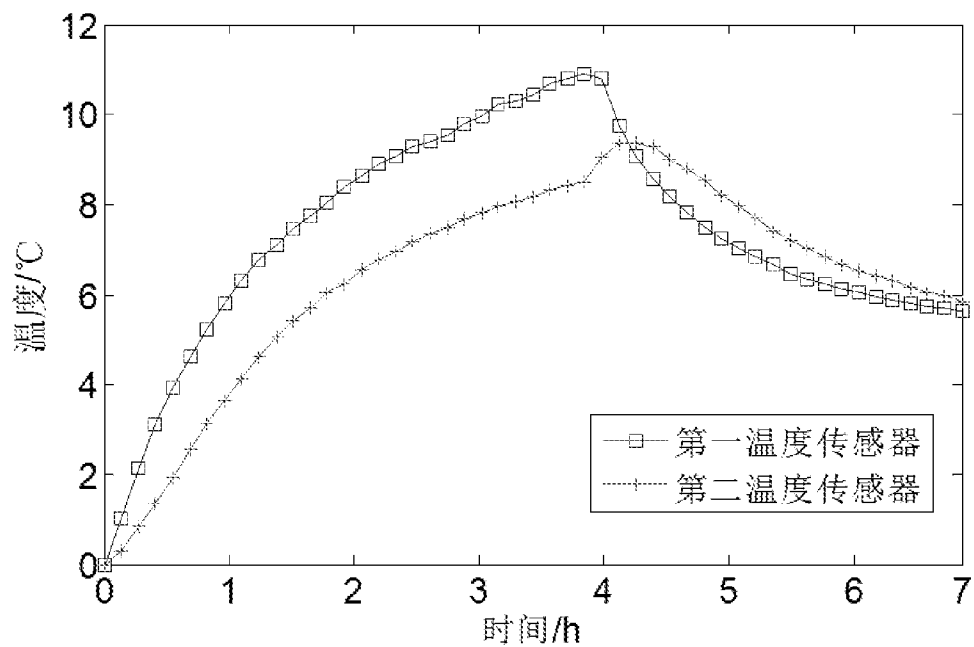


图 3

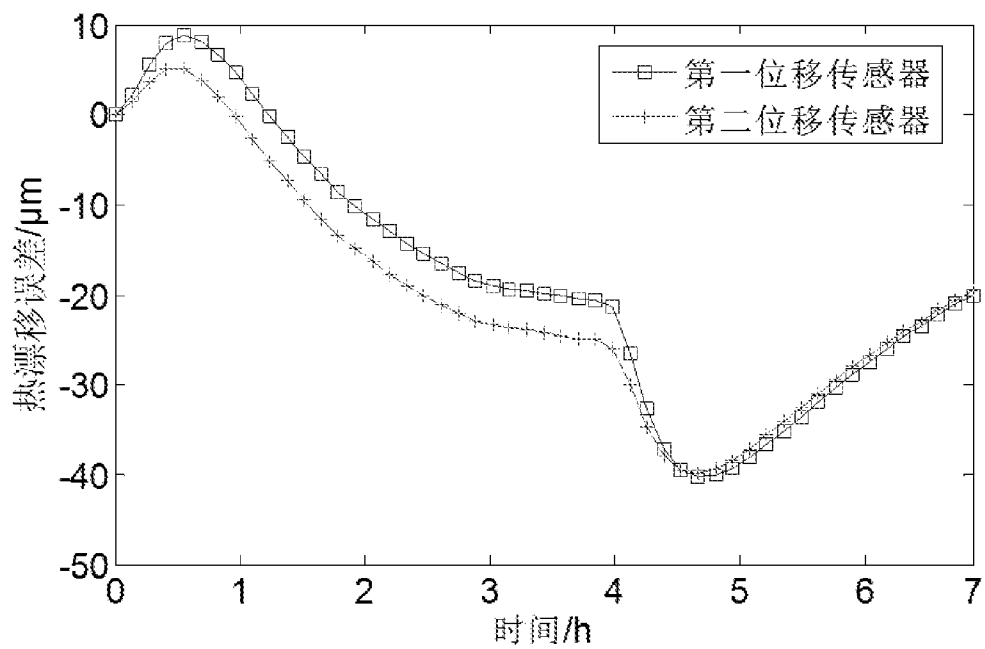
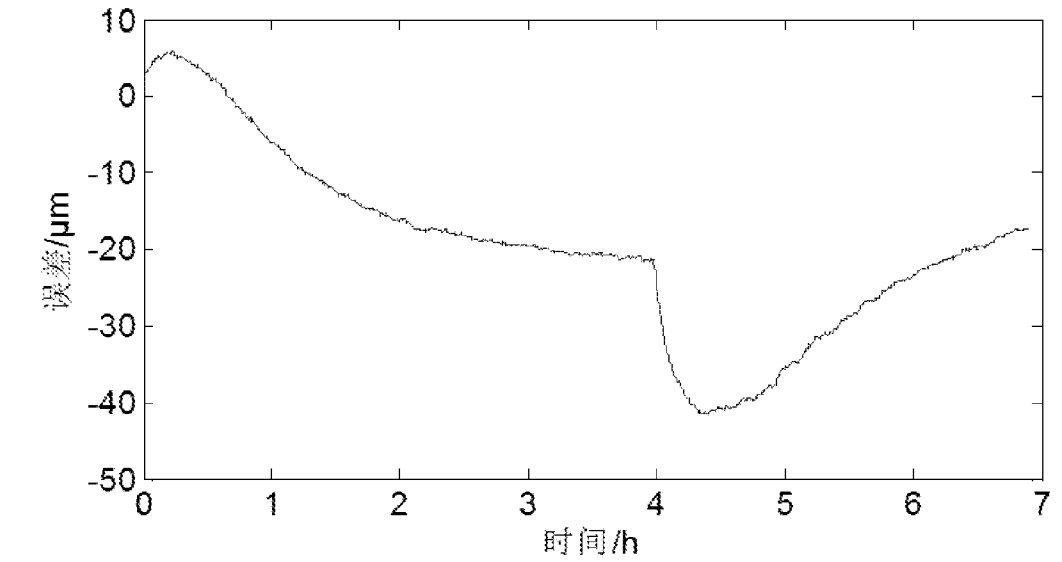
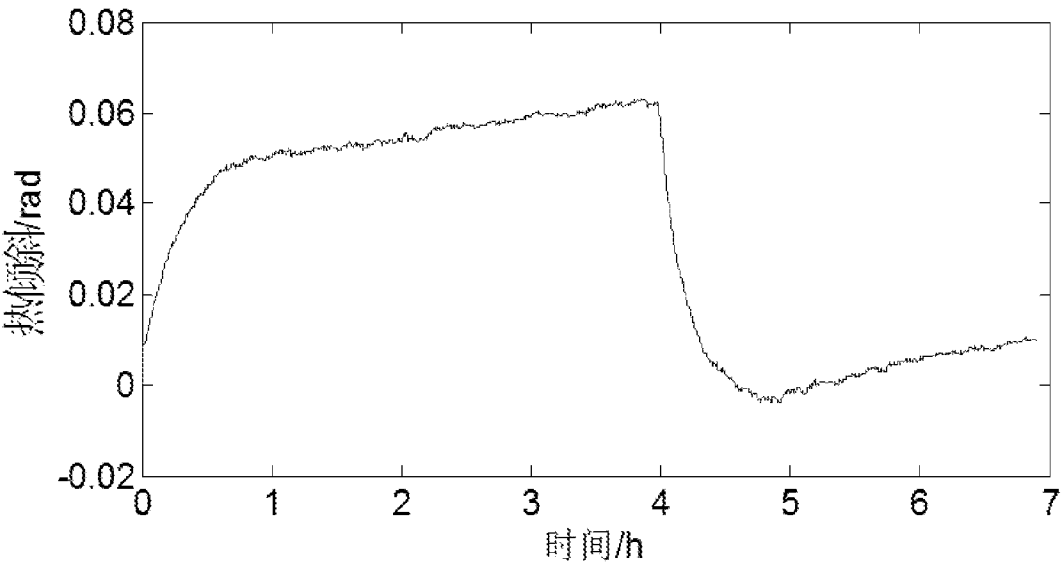


图 4



(a)



(b)

图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/075715

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B23Q 17/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B23Q

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNKI; CNTXT; DWPI; SIPOABS: 判定, 主轴, 热变形, 热误差, 姿态, 传感器, 温度, 位移, determining, headstock, main, shaft, spindle, thermal, deformation, sensor, temperature, displacement

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 108857574 A (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 23 November 2018 (2018-11-23) see description, paragraphs [0008]-[0039], and figures 1 -3	1
A	CN 102759900 A (SHANGHAI SANY PRECISION MACHINERY CO., LTD.) 31 October 2012 (2012-10-31) see entire document	1
A	CN 104227503 A (SHENJI GROUP KUNMING MACHINE TOOL CO., LTD.) 24 December 2014 (2014-12-24) see entire document	1
A	CN 104197887 A (SHAOXING SHAOLI ELECTRICAL AND MECHANICAL TECHNOLOGY CO., LTD.) 10 December 2014 (2014-12-10) see entire document	1
A	CN 107942934 A (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 20 April 2018 (2018-04-20) see entire document	1
A	CN 101628396 A (UNIVERSITY OF SHANGHAI FOR SCIENCE AND TECHNOLOGY et al.) 20 January 2010 (2010-01-20) see entire document	1



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

13 August 2019

Date of mailing of the international search report

29 August 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/075715**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 101290266 A (UNIVERSITY OF SHANGHAI FOR SCIENCE AND TECHNOLOGY et al.) 22 October 2008 (2008-10-22) see entire document	1
A	JP 2010120150 A (MORI SEIKI SEISAKUSHO K. K.) 03 June 2010 (2010-06-03) see entire document	1
A	JP H11104901 A (OKUMA MACHINERY WORKS LTD.) 20 April 1999 (1999-04-20) see entire document	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/075715

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)
CN	108857574	A	23 November 2018	None		
CN	102759900	A	31 October 2012	CN	102759900	B 05 November 2014
CN	104227503	A	24 December 2014	None		
CN	104197887	A	10 December 2014	CN	104197887	B 25 January 2017
CN	107942934	A	20 April 2018	None		
CN	101628396	A	20 January 2010	CN	101628396	B 03 October 2012
CN	101290266	A	22 October 2008	CN	101290266	B 03 November 2010
JP	2010120150	A	03 June 2010	None		
JP	H11104901	A	20 April 1999	None		

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/075715

A. 主题的分类 B23Q 17/00 (2006.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类																										
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) B23Q 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) CNKI; CNTXT; DWPI; SIPOABS: 判定, 主轴, 热变形, 热误差, 姿态, 传感器, 温度, 位移, determining, headstock, main, shaft, spindle, thermal, deformation, sensor, temperature, displacement																										
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>CN 108857574 A (大连理工大学) 2018年 11月 23日 (2018 - 11 - 23) 参见说明书第[0008]-[0039]段, 附图1-3</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102759900 A (上海三一精机有限公司) 2012年 10月 31日 (2012 - 10 - 31) 参见全文</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104227503 A (沈机集团昆明机床股份有限公司) 2014年 12月 24日 (2014 - 12 - 24) 参见全文</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104197887 A (绍兴绍力机电科技有限公司) 2014年 12月 10日 (2014 - 12 - 10) 参见全文</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 107942934 A (大连理工大学) 2018年 4月 20日 (2018 - 04 - 20) 参见全文</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 101628396 A (上海理工大学等) 2010年 1月 20日 (2010 - 01 - 20) 参见全文</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 101290266 A (上海理工大学等) 2008年 10月 22日 (2008 - 10 - 22) 参见全文</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	A	CN 108857574 A (大连理工大学) 2018年 11月 23日 (2018 - 11 - 23) 参见说明书第[0008]-[0039]段, 附图1-3	1	A	CN 102759900 A (上海三一精机有限公司) 2012年 10月 31日 (2012 - 10 - 31) 参见全文	1	A	CN 104227503 A (沈机集团昆明机床股份有限公司) 2014年 12月 24日 (2014 - 12 - 24) 参见全文	1	A	CN 104197887 A (绍兴绍力机电科技有限公司) 2014年 12月 10日 (2014 - 12 - 10) 参见全文	1	A	CN 107942934 A (大连理工大学) 2018年 4月 20日 (2018 - 04 - 20) 参见全文	1	A	CN 101628396 A (上海理工大学等) 2010年 1月 20日 (2010 - 01 - 20) 参见全文	1	A	CN 101290266 A (上海理工大学等) 2008年 10月 22日 (2008 - 10 - 22) 参见全文	1
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																								
A	CN 108857574 A (大连理工大学) 2018年 11月 23日 (2018 - 11 - 23) 参见说明书第[0008]-[0039]段, 附图1-3	1																								
A	CN 102759900 A (上海三一精机有限公司) 2012年 10月 31日 (2012 - 10 - 31) 参见全文	1																								
A	CN 104227503 A (沈机集团昆明机床股份有限公司) 2014年 12月 24日 (2014 - 12 - 24) 参见全文	1																								
A	CN 104197887 A (绍兴绍力机电科技有限公司) 2014年 12月 10日 (2014 - 12 - 10) 参见全文	1																								
A	CN 107942934 A (大连理工大学) 2018年 4月 20日 (2018 - 04 - 20) 参见全文	1																								
A	CN 101628396 A (上海理工大学等) 2010年 1月 20日 (2010 - 01 - 20) 参见全文	1																								
A	CN 101290266 A (上海理工大学等) 2008年 10月 22日 (2008 - 10 - 22) 参见全文	1																								
☒ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																										
<table border="0"> <tr> <td style="vertical-align: top;"> * 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 </td> <td style="vertical-align: top;"> “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件 </td> </tr> </table>			* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																						
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																									
国际检索实际完成的日期		国际检索报告邮寄日期																								
2019年 8月 13日		2019年 8月 29日																								
ISA/CN的名称和邮寄地址		授权官员																								
中国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		安丽娜 电话号码 86-010-62085397																								

C. 相关文件		
类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	JP 2010120150 A (MORI SEIKI SEISAKUSHO KK) 2010年 6月 3日 (2010 - 06 - 03) 参见全文	1
A	JP H11104901 A (OKUMA MACHINERY WORKS LTD) 1999年 4月 20日 (1999 - 04 - 20) 参见全文	1

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/075715

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	108857574	A	2018年 11月 23日	无	
CN	102759900	A	2012年 10月 31日	CN 102759900	B 2014年 11月 5日
CN	104227503	A	2014年 12月 24日	无	
CN	104197887	A	2014年 12月 10日	CN 104197887	B 2017年 1月 25日
CN	107942934	A	2018年 4月 20日	无	
CN	101628396	A	2010年 1月 20日	CN 101628396	B 2012年 10月 3日
CN	101290266	A	2008年 10月 22日	CN 101290266	B 2010年 11月 3日
JP	2010120150	A	2010年 6月 3日	无	
JP	H11104901	A	1999年 4月 20日	无	