



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104482849 B

(45)授权公告日 2017. 05. 17

(21)申请号 201410778724.9

(22)申请日 2014.12.15

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104482849 A

(43)申请公布日 2015.04.01

(73)专利权人 天津大学

地址 300072 天津市南开区卫津路92号

(72)发明人 陈野 赵相松 张大卫

(74)专利代理机构 天津市北洋有限责任专利代

理事务所 12201

代理人 杜文茹

(51)Int.Cl.

G01B 7/00(2006.01)

审查员 徐雅

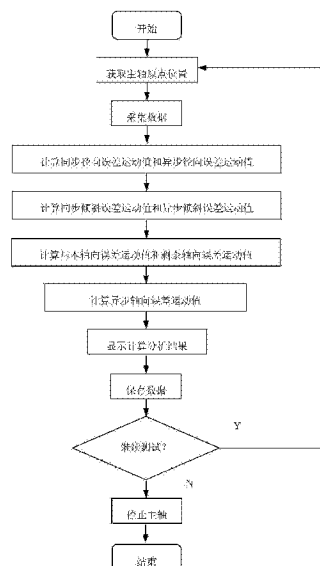
权利要求书3页 说明书8页 附图2页

(54)发明名称

一种主轴动态回转精度测试系统及测试方法

(57)摘要

一种主轴动态回转精度测试及测试方法,系统是在工作台上设置有数据采集机构,其通过夹具连接主轴的旋转输出轴,数据采集机构数据输出端通过传感器驱动单元连接工控机,主轴上设置有与旋转输出轴的上端相连的编码器。方法:对被测轴进行预热;获取并记录对待测轴进行数据处理的初始位置;采集被测轴在旋转过程中相对径向电容位移传感器的位移数据和轴向的电容位移传感器测得的位移数据并保存;计算同步径向误差运动值和异步径向误差运动值;计算同步倾斜误差运动值和异步倾斜误差运动值;计算基本轴向误差运动值、剩余轴向误差运动值和异步轴向误差运动值;并保存数据。本发明利用高性能的模块化硬件实现全方位的系统集成,完成主轴动态回转精度的测试。



1. 一种用于主轴动态回转精度测试系统的测试方法, 主轴动态回转精度测试系统, 包括有工作台 (11), 所述工作台 (11) 上设置有用以对加工机床的主轴 (2) 进行测试的数据采集机构, 所述的数据采集机构通过夹具 (4) 连接所述主轴 (2) 的旋转输出轴 (15), 所述的数据采集机构数据输出端通过传感器驱动单元 (12) 连接用于接收数据的带有数据采集卡的工控机 (13), 所述的主轴 (2) 上设置有与所述的旋转输出轴 (15) 的上端相连的编码器 (1); 其特征在于, 方法包括旋转敏感方向的主轴动态回转精度的测试和固定敏感方向的主轴动态回转精度的测试, 具体包括如下步骤:

1) 驱动被测轴旋转, 首先对被测轴进行预热;

2) 通过编码器获取并记录对待测轴进行数据处理的初始位置;

3) 通过设置在工控机内的数据采集卡采集被测轴在旋转 n 圈的过程中相对四个径向电容位移传感器的位移数据 ΔX_1 、 ΔY_1 、 ΔY_2 、 ΔX_2 , 和轴向的电容位移传感器测得的位移数据 $\Delta A(\theta)$, 并保存, 其中 $n \geq 20$, θ 为旋转角度;

4) 计算同步径向误差运动值和异步径向误差运动值;

5) 计算同步倾斜误差运动值和异步倾斜误差运动值;

6) 计算基本轴向误差运动值、剩余轴向误差运动值和异步轴向误差运动值;

7) 显示计算分析结果, 并保存数据;

8) 判断是否继续测试, 是则返回步骤 2), 否则结束测试。

2. 根据权利要求 1 所述的用于主轴动态回转精度测试系统的测试方法, 其特征在于, 步骤 1) 所述的预热是以最大转速的一半的速度预热 9~15 分钟。

3. 根据权利要求 1 所述的用于主轴动态回转精度测试系统的测试方法, 其特征在于, 对于旋转敏感方向的主轴动态回转精度的测试时, 步骤 4) 所述的计算同步径向误差运动值和异步径向误差运动值包括:

(1) 首先计算径向误差运动: $r(\theta) = r_0 + \Delta X \cdot \cos(\theta) + \Delta Y \cdot \sin(\theta)$, 将步骤 3) 所采集位移数据 ΔX_1 、 ΔY_1 、 ΔY_2 、 ΔX_2 , 代入公式, 计算得到对应轴向位置的径向误差运动, r_0 为选取的基圆半径, θ 为旋转角度;

(2) 根据径向误差运动的计算结果, 计算同步径向误差运动值: 首先计算同步径向误差运动: $R(\theta)_{\text{sync}} = \Sigma r(\theta) / n$, 其中 $\Sigma r(\theta)$ 为对应角度位置的所有 $r(\theta)$ 的和, n 为测试的总圈数, $n \geq 20$, 根据这个公式画出同步径向误差运动图; 然后, 计算同步径向误差运动值: $\delta_{\text{sync}} = R_{\text{csc}} - R_{\text{isc}}$, 其中 R_{csc} 和 R_{isc} 分别为以同步径向误差运动图的最小二乘圆的圆心为圆心做的最小外接圆和最大内切圆的半径;

(3) 根据径向误差运动的计算结果, 计算异步径向误差运动值:

首先计算异步径向误差运动: $R(\theta)_{\text{asyn}} = r(\theta) - \Sigma r(\theta) / n$, 其中 $\Sigma r(\theta)$ 为对应角度位置的所有 $r(\theta)$ 的和, n 为测试的总圈数, $n \geq 20$, 根据这个公式画出异步径向误差运动图; 然后, 计算异步径向误差运动值: $\delta_{\text{asyn}} = (R(\theta)_{\text{max}} - R(\theta)_{\text{min}})_{\text{max}}$, 所述的异步径向误差运动值是以异步径向误差运动图的坐标原点为中心, 在半径方向的异步径向误差运动图的最大宽度, 其中 $R(\theta)_{\text{max}}$ 和 $R(\theta)_{\text{min}}$ 分别为异步径向误差运动图中沿径向方向距离坐标原点的最大距离和最小距离。

4. 根据权利要求 1 所述的用于主轴动态回转精度测试系统的测试方法, 其特征在于, 对于固定敏感方向的主轴动态回转精度的测试时, 步骤 4) 所述的计算同步径向误差运动值和

异步径向误差运动值包括:

(1) 首先计算径向误差运动: $r(\theta) = r_0 + \Delta R(\theta)$, 将步骤3) 所采集位移数据 ΔX_1 或 ΔX_2 或 ΔY_1 或 ΔY_2 , 代入公式中的 $\Delta R(\theta)$, 计算得到对应轴向位置的径向误差运动, r_0 为选取的基圆半径, θ 为旋转角度;

(2) 根据径向误差运动的计算结果, 计算同步径向误差运动值: 首先计算同步径向误差运动: $R(\theta)_{\text{sync}} = \Sigma r(\theta) / n$, 其中 $\Sigma r(\theta)$ 为对应角度位置的所有 $r(\theta)$ 的和, n 为测试的总圈数, $n \geq 20$, 根据这个公式画出同步径向误差运动图; 然后, 计算同步径向误差运动值: $\delta_{\text{sync}} = R_{\text{csc}} - R_{\text{isc}}$, 其中 R_{csc} 和 R_{isc} 分别为以同步径向误差运动图的最小二乘圆的圆心为圆心做的最小外接圆和最大内切圆的半径;

(3) 根据径向误差运动的计算结果, 计算异步径向误差运动值:

首先计算异步径向误差运动: $R(\theta)_{\text{asyn}} = r(\theta) - \Sigma r(\theta) / n$, 其中 $\Sigma r(\theta)$ 为对应角度位置的所有 $r(\theta)$ 的和, n 为测试的总圈数, $n \geq 20$, 根据这个公式画出异步径向误差运动图; 然后, 计算异步径向误差运动值: $\delta_{\text{asyn}} = (R(\theta)_{\text{max}} - R(\theta)_{\text{min}})_{\text{max}}$, 所述的异步径向误差运动值是以异步径向误差运动图的坐标原点为中心, 在半径方向的异步径向误差运动图的最大宽度, 其中 $R(\theta)_{\text{max}}$ 和 $R(\theta)_{\text{min}}$ 分别为异步径向误差运动图中沿径向方向距离坐标原点的最大距离和最小距离。

5. 根据权利要求1所述的用于主轴动态回转精度测试系统的测试方法, 其特征在于, 对于旋转敏感方向的主轴动态回转精度的测试时, 步骤5) 所述的计算同步倾斜误差运动值和异步倾斜误差运动值包括:

(1) 计算倾斜误差运动: $r_t(\theta) = \Delta X \cdot \cos(\theta) + \Delta Y \cdot \sin(\theta)$, 其中 ΔX 为数据采集卡所采集到位于支架一侧面上的两个电容位移传感器位移数据的差值, ΔY 为数据采集卡所采集到位于支架另一侧面上的两电容位移传感器位移数据的差值;

(2) 根据倾斜误差运动的计算结果, 计算同步倾斜误差运动值,

首先计算同步倾斜误差运动: $T(\theta)_{\text{sync}} = \Sigma r_t(\theta) / nL_d$, 其中 L_d 为两个位移传感器的中心距; 然后, 计算同步倾斜误差运动值: $\delta_{\text{sync}} = R_{\text{csc}} - R_{\text{isc}}$, 其中 R_{csc} 和 R_{isc} 分别为以同步径向误差运动图的最小二乘圆(LSC)的圆心为圆心做的最小外接圆和最大内切圆的半径;

(3) 根据倾斜误差运动的计算结果, 计算异步倾斜误差运动值:

首先计算异步倾斜误差运动: $T(\theta)_{\text{asyn}} = (r(\theta) - \Sigma r(\theta) / n) / L_d$, 然后, 计算异步倾斜误差运动值: $\delta_{\text{asyn}} = (R(\theta)_{\text{max}} - R(\theta)_{\text{min}})_{\text{max}}$, 所述的异步倾斜误差运动值是以异步径向误差运动图的坐标原点为中心, 在半径方向的异步倾斜误差运动图的最大宽度, 其中 $R(\theta)_{\text{max}}$ 和 $R(\theta)_{\text{min}}$ 分别为异步倾斜误差运动图中沿径向方向距离坐标原点的最大距离和最小距离, $r(\theta)$ 为径向误差运动, θ 为旋转角度。

6. 根据权利要求1所述的用于主轴动态回转精度测试系统的测试方法, 其特征在于, 对于固定敏感方向的主轴动态回转精度的测试时, 步骤5) 所述的计算同步倾斜误差运动值和异步倾斜误差运动值包括:

(1) 计算倾斜误差运动: $\beta(\theta) = [r_2(\theta) - r_1(\theta)] / L_d$, 其中, L_d 为两个位移传感器的中心距, $r_1(\theta)$ 和 $r_2(\theta)$ 为数据采集卡所采集到位于支架一侧面上的两个电容位移传感器位移数据的差值;

(2) 根据倾斜误差运动的计算结果, 计算同步倾斜误差运动值,

首先计算同步倾斜误差运动： $T(\theta)_{\text{sync}} = \Sigma \beta(\theta) / n$ ，其中 $\Sigma \beta(\theta)$ 为对应角度位置的所有 $\beta(\theta)$ 的和；然后，计算同步倾斜误差运动值： $\delta_{\text{sync}} = R_{\text{CSC}} - R_{\text{ISC}}$ ，其中 R_{CSC} 和 R_{ISC} 分别为以同步径向误差运动图的最小二乘圆 (LSC) 的圆心为圆心做的最小外接圆和最大内切圆的半径；

(3) 根据倾斜误差运动的计算结果，计算异步倾斜误差运动值：

首先计算异步倾斜误差运动： $T(\theta)_{\text{asyn}} = \beta(\theta) - \Sigma \beta(\theta) / n$ ，然后，计算异步倾斜误差运动值： $\delta_{\text{asyn}} = (R(\theta)_{\text{max}} - R(\theta)_{\text{min}})_{\text{max}}$ ，所述的异步倾斜误差运动值是以异步径向误差运动图的坐标原点为中心，在半径方向的异步倾斜误差运动图的最大宽度，其中 $R(\theta)_{\text{max}}$ 和 $R(\theta)_{\text{min}}$ 分别为异步倾斜误差运动图中沿径向方向距离坐标原点的最大距离和最小距离。

7. 根据权利要求1所述的用于主轴动态回转精度测试系统的测试方法，其特征在于，步骤6) 所述的计算基本轴向误差运动值、剩余轴向误差运动值和异步轴向误差运动值包括：

(1) 计算轴向误差运动： $a(\theta) = r_0 + \Delta A(\theta)$ ，其中 $\Delta A(\theta)$ 为数据采集卡采集的位于轴向的电容位移传感器测得的位移数据， r_0 为选取的基圆半径，根据上述公式画出轴向误差运动图；

(2) 计算同步轴向误差运动： $A(\theta)_{\text{sync}} = \Sigma a(\theta) / n$ ；

(3) 计算基本轴向误差运动值： $\delta_{\text{fund}} = 2 \cdot D_{\text{LP}}$ ，其中 D_{LP} 为轴向误差运动图中坐标中心到同步轴向误差运动图的最小二乘圆的圆心的距离；

(4) 计算剩余轴向误差运动值： $\delta_{\text{resd}} = R_{\text{CSC}} - R_{\text{ISC}}$ ，其中 R_{CSC} 和 R_{ISC} 分别为以同步轴向误差运动图的最小二乘圆的圆心为圆心做的最小外接圆和最大内切圆的半径；

(5) 计算异步轴向误差运动： $A(\theta)_{\text{asyn}} = a(\theta) - \Sigma a(\theta) / n$ ；

(6) 计算异步轴向误差运动值： $\delta_{\text{asyn}} = (R(\theta)_{\text{max}} - R(\theta)_{\text{min}})_{\text{max}}$ ，所述的异步轴向误差运动值是以异步径向误差运动图的坐标原点为中心，在半径方向的异步轴向误差运动图的最大宽度，其中 $R(\theta)_{\text{max}}$ 和 $R(\theta)_{\text{min}}$ 分别为异步轴向误差运动图中沿径向方向距离坐标原点的最大距离和最小距离。

一种主轴动态回转精度测试系统及测试方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种测试系统。特别是涉及一种主轴动态回转精度测试系统及测试方法。

背景技术

[0002] 随着现代制造业的不断发展,机床作为具有高科技含量的现代化“工作母机”,是实现制造技术和装备制造业现代化的重要基础装备,其质量、性能和拥有量是衡量一个国家工业现代化水平、综合国力的重要标志,因此在国民经济现代化的建设中起着重大作用。主轴单元是现代金属切削机床的重要组成部分,机床制造领域中对高速高精度主轴的性能要求越来越高。由于主轴的回转精度是影响机床加工的几何精度和表面光洁度的重要因素之一,因此对主轴的回转精度的分析和研究显得尤为重要。

[0003] 在加工零件之前或者装配主轴之前,工程师或者操作者可以使用测试装置来判定主轴的性能。由于受传统测试棒的外形轮廓误差及安装偏心的影响,传统上打表法测量径向跳动和端面跳动的方法不能够准确地反应出主轴真正的回转精度,尤其是动态回转精度,因此传统的测试方法已经无法满足实际测试的需求。在电子计算机技术高速发展的今天,我们可以借助计算机强大的数据处理能力,凭借特定的算法来编制相关软件,搭配高精度的传感器,来研究主轴的性能。目前市场上的主轴动态回转精度测试产品较少,主要有美国的Lion Precision,MTI Instruments和德国的Micro-Epsilon,他们的精度可以达到微米甚至纳米水平,但是价格极其昂贵,一般主轴生产厂家或者科研单位很难承受,而国内与其相比的产品很少,精度方面相差甚远,因此自主研发高精度的主轴动态回转精度检测系统有着重大的意义。

发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题是,提供一种利用高性能的模块化硬件实现全方位的系统集成的主轴动态回转精度测试系统及测试方法。

[0005] 本发明所采用的技术方案是:一种主轴动态回转精度测试系统,包括有工作台,所述工作台上设置有用对加工机床的主轴进行测试的数据采集机构,所述的数据采集机构通过夹具连接所述主轴的旋转输出轴,所述的数据采集机构数据输出端通过传感器驱动单元连接用于接收数据的带有数据采集卡的工控机,所述的主轴上设置有与所述的旋转输出轴的上端相连的编码器。

[0006] 所述的数据采集机构包括有底部固定在所述工作台上的支架,位于所述支架内侧的球杆,其中,所述球杆的顶端固定连接所述的夹具,所述球杆的杆部设置有上球环,底端设置有下列球体,所述支架上对应所述的球杆上的上球环的两侧分别设置有位于同一水平面的第一电容位移传感器和第二电容位移传感器,所述支架上对应所述的球杆底端的下球体的两侧分别设置有位于同一水平面的第三电容位移传感器和第四电容位移传感器,所述支架上对应所述的球杆底端的下球体的底部设置有第五电容位移传感器,所述的第一电容位

移传感器、第二电容位移传感器、第三电容位移传感器、第四电容位移传感器和第五电容位移传感器分别电连接所述传感器驱动单元。

[0007] 一种用于主轴动态回转精度测试系统的测试方法,包括旋转敏感方向的主轴动态回转精度的测试和固定敏感方向的主轴动态回转精度的测试,具体包括如下步骤:

[0008] 1) 驱动被测轴旋转,首先对被测轴进行预热;

[0009] 2) 通过编码器获取并记录对待测轴进行数据处理的初始位置;

[0010] 3) 通过设置在工控机内的数据采集卡采集被测轴在旋转 n 圈的过程中相对四个径向电容位移传感器的位移数据 ΔX_1 、 ΔY_1 、 ΔY_2 、 ΔX_2 ,和轴向的电容位移传感器测得的位移数据 $\Delta A(\theta)$,并保存,其中 $n \geq 20$;

[0011] 4) 计算同步径向误差运动值和异步径向误差运动值;

[0012] 5) 计算同步倾斜误差运动值和异步倾斜误差运动值;

[0013] 6) 计算基本轴向误差运动值、剩余轴向误差运动值和异步轴向误差运动值;

[0014] 7) 显示计算分析结果,并保存数据;

[0015] 8) 判断是否继续测试,是则返回步骤2),否则结束测试。

[0016] 步骤1)所述的预热是以最大转速的一半的速度预热9~15分钟。

[0017] 对于旋转敏感方向的主轴动态回转精度的测试时,步骤4)所述的计算同步径向误差运动值和异步径向误差运动值包括:

[0018] (1) 首先计算径向误差运动: $r(\theta) = r_0 + \Delta X \cdot \cos(\theta) + \Delta Y \cdot \sin(\theta)$,将步骤3)所采集位移数据 ΔX_1 、 ΔY_1 、 ΔY_2 、 ΔX_2 ,代入公式,计算得到对应轴向位置的径向误差运动, r_0 为选取的基圆半径, θ 为旋转角度;

[0019] (2) 根据径向误差运动的计算结果,计算同步径向误差运动值:首先计算同步径向误差运动: $R(\theta)_{\text{sync}} = \Sigma r(\theta) / n$,其中 $\Sigma r(\theta)$ 为对应角度位置的所有 $r(\theta)$ 的和, n 为测试的总圈数, $n \geq 20$,根据这个公式画出同步径向误差运动图;然后,计算同步径向误差运动值: $\delta_{\text{sync}} = R_{\text{csc}} - R_{\text{isc}}$,其中 R_{csc} 和 R_{isc} 分别为以同步径向误差运动图的最小二乘圆的圆心为圆心做的最小外接圆和最大内切圆的半径;

[0020] (3) 根据径向误差运动的计算结果,计算异步径向误差运动值:

[0021] 首先计算异步径向误差运动: $R(\theta)_{\text{asyn}} = r(\theta) - \Sigma r(\theta) / n$,其中 $\Sigma r(\theta)$ 为对应角度位置的所有 $r(\theta)$ 的和, n 为测试的总圈数, $n \geq 20$,根据这个公式画出异步径向误差运动图;然后,计算异步径向误差运动值: $\delta_{\text{asyn}} = (R(\theta)_{\text{max}} - R(\theta)_{\text{min}})_{\text{max}}$,所述的异步径向误差运动值是以异步径向误差运动图的坐标原点为中心,在半径方向的异步径向误差运动图的最大宽度,其中 $R(\theta)_{\text{max}}$ 和 $R(\theta)_{\text{min}}$ 分别为异步径向误差运动图中沿径向方向距离坐标原点的最大距离和最小距离。

[0022] 对于固定敏感方向的主轴动态回转精度的测试时,步骤4)所述的计算同步径向误差运动值和异步径向误差运动值包括:

[0023] (1) 首先计算径向误差运动: $r(\theta) = r_0 + \Delta R(\theta)$,将步骤3)所采集位移数据 ΔX_1 或 ΔX_2 或 ΔY_1 或 ΔY_2 ,代入公式中的 $\Delta R(\theta)$,计算得到对应轴向位置的径向误差运动, r_0 为选取的基圆半径, θ 为旋转角度;

[0024] (2) 根据径向误差运动的计算结果,计算同步径向误差运动值:首先计算同步径向误差运动: $R(\theta)_{\text{sync}} = \Sigma r(\theta) / n$,其中 $\Sigma r(\theta)$ 为对应角度位置的所有 $r(\theta)$ 的和, n 为测试的总

圈数, $n \geq 20$, 根据这个公式画出同步径向误差运动图; 然后, 计算同步径向误差运动值: $\delta_{\text{sync}} = R_{\text{CSC}} - R_{\text{ISC}}$, 其中 R_{CSC} 和 R_{ISC} 分别为以同步径向误差运动图的最小二乘圆的圆心为圆心做的最小外接圆和最大内切圆的半径;

[0025] (3) 根据径向误差运动的计算结果, 计算异步径向误差运动值:

[0026] 首先计算异步径向误差运动: $R(\theta)_{\text{asyn}} = r(\theta) - \Sigma r(\theta) / n$, 其中 $\Sigma r(\theta)$ 为对应角度位置的所有 $r(\theta)$ 的和, n 为测试的总圈数, $n \geq 20$, 根据这个公式画出异步径向误差运动图; 然后, 计算异步径向误差运动值: $\delta_{\text{asyn}} = (R(\theta)_{\text{max}} - R(\theta)_{\text{min}})_{\text{max}}$, 所述的异步径向误差运动值是以异步径向误差运动图的坐标原点为中心, 在半径方向的异步径向误差运动图的最大宽度, 其中 $R(\theta)_{\text{max}}$ 和 $R(\theta)_{\text{min}}$ 分别为异步径向误差运动图中沿径向方向距离坐标原点的最大距离和最小距离。

[0027] 对于旋转敏感方向的主轴动态回转精度的测试时, 步骤5) 所述的计算同步倾斜误差运动值和异步倾斜误差运动值包括:

[0028] (1) 计算倾斜误差运动: $r_t(\theta) = \Delta X \cdot \cos(\theta) + \Delta Y \cdot \sin(\theta)$, 其中 ΔX 为数据采集卡所采集到位于支架一侧面上的两个电容位移传感器位移数据的差值, ΔY 为数据采集卡所采集到位于支架另一侧面上的两电容位移传感器位移数据的差值;

[0029] (2) 根据倾斜误差运动的计算结果, 计算同步倾斜误差运动值,

[0030] 首先计算同步倾斜误差运动: $T(\theta)_{\text{sync}} = \Sigma r_t(\theta) / nL_d$, 其中 L_d 为两个位移传感器的中心距; 然后, 计算同步倾斜误差运动值: $\delta_{\text{sync}} = R_{\text{CSC}} - R_{\text{ISC}}$, 其中 R_{CSC} 和 R_{ISC} 分别为以同步径向误差运动图的最小二乘圆 (LSC) 的圆心为圆心做的最小外接圆和最大内切圆的半径;

[0031] (3) 根据倾斜误差运动的计算结果, 计算异步倾斜误差运动值:

[0032] 首先计算异步倾斜误差运动: $T(\theta)_{\text{asyn}} = (r(\theta) - \Sigma r(\theta) / n) / L_d$, 然后, 计算异步倾斜误差运动值: $\delta_{\text{asyn}} = (R(\theta)_{\text{max}} - R(\theta)_{\text{min}})_{\text{max}}$, 所述的异步倾斜误差运动值是以异步径向误差运动图的坐标原点为中心, 在半径方向的异步倾斜误差运动图的最大宽度, 其中 $R(\theta)_{\text{max}}$ 和 $R(\theta)_{\text{min}}$ 分别为异步倾斜误差运动图中沿径向方向距离坐标原点的最大距离和最小距离。

[0033] 对于固定敏感方向的主轴动态回转精度的测试时, 步骤5) 所述的计算同步倾斜误差运动值和异步倾斜误差运动值包括:

[0034] (1) 计算倾斜误差运动: $\beta(\theta) = [r_2(\theta) - r_1(\theta)] / L_d$, 其中, L_d 为两个位移传感器的中心距, $r_1(\theta)$ 和 $r_2(\theta)$ 为数据采集卡所采集到位于支架一侧面上的两个电容位移传感器位移数据的差值;

[0035] (2) 根据倾斜误差运动的计算结果, 计算同步倾斜误差运动值,

[0036] 首先计算同步倾斜误差运动: $T(\theta)_{\text{sync}} = \Sigma \beta(\theta) / n$, 其中 $\Sigma \beta(\theta)$ 为对应角度位置的所有 $\beta(\theta)$ 的和; 然后, 计算同步倾斜误差运动值: $\delta_{\text{sync}} = R_{\text{CSC}} - R_{\text{ISC}}$, 其中 R_{CSC} 和 R_{ISC} 分别为以同步径向误差运动图的最小二乘圆 (LSC) 的圆心为圆心做的最小外接圆和最大内切圆的半径;

[0037] (3) 根据倾斜误差运动的计算结果, 计算异步倾斜误差运动值:

[0038] 首先计算异步倾斜误差运动: $T(\theta)_{\text{asyn}} = \beta(\theta) - \Sigma \beta(\theta) / n$, 然后, 计算异步倾斜误差运动值: $\delta_{\text{asyn}} = (R(\theta)_{\text{max}} - R(\theta)_{\text{min}})_{\text{max}}$, 所述的异步倾斜误差运动值是以异步径向误差运动图的坐标原点为中心, 在半径方向的异步倾斜误差运动图的最大宽度, 其中 $R(\theta)_{\text{max}}$ 和 $R(\theta)_{\text{min}}$ 分别为异步倾斜误差运动图中沿径向方向距离坐标原点的最大距离和最小距离。

[0039] 步骤6)所述的计算基本轴向误差运动值、剩余轴向误差运动值和异步轴向误差运动值包括:

[0040] (1) 计算轴向误差运动: $a(\theta) = r_0 + \Delta A(\theta)$, 其中 $\Delta A(\theta)$ 为数据采集卡采集的位于轴向的电容位移传感器测得的位移数据, 根据上述公式画出轴向误差运动图;

[0041] (2) 计算同步轴向误差运动: $A(\theta)_{\text{sync}} = \Sigma a(\theta) / n$;

[0042] (3) 计算基本轴向误差运动值: $\delta_{\text{fund}} = 2 \cdot D_{LP}$, 其中 D_{LP} 为轴向误差运动图中坐标中心到同步轴向误差运动图的最小二乘圆的圆心的距离;

[0043] (4) 计算剩余轴向误差运动值: $\delta_{\text{resd}} = R_{\text{CSC}} - R_{\text{ISC}}$, 其中 R_{CSC} 和 R_{ISC} 分别为以同步轴向误差运动图的最小二乘圆的圆心为圆心做的最小外接圆和最大内切圆的半径;

[0044] (5) 计算异步轴向误差运动: $A(\theta)_{\text{asyn}} = a(\theta) - \Sigma a(\theta) / n$;

[0045] (6) 计算异步轴向误差运动值: $\delta_{\text{asyn}} = (R(\theta)_{\text{max}} - R(\theta)_{\text{min}})_{\text{max}}$, 所述的异步轴向误差运动值是以异步径向误差运动图的坐标原点为中心, 在半径方向的异步轴向误差运动图的最大宽度, 其中 $R(\theta)_{\text{max}}$ 和 $R(\theta)_{\text{min}}$ 分别为异步轴向误差运动图中沿径向方向距离坐标原点的最大距离和最小距离。

[0046] 本发明的一种主轴动态回转精度测试系统及测试方法, 利用高性能的模块化硬件实现全方位的系统集成, 结合高效灵活的软件来完成主轴动态回转精度的测试, 使用灵活高效的软件创建自定义的界面, 将信号分析、显示、存储、打印和其他管理集中交由计算机来处理, 充分利用了计算机强大的数据处理、传输和发布能力, 使得组建系统变得更加灵活简单。本发明具有的优点和积极效果是:

[0047] 1) 利用计算机的显示器来代替传统仪器的显示器和控制面板, 采用人机交互界面, 智能化集成化程度高, 由采集卡等I/O接口设备实现数据的采集和调理, 利用计算机强大的软件功能实现信号数据的运算、分析、处理、显示和存储等, 较传统的仪器更加灵活高效;

[0048] 2) 采用高精度的测试球杆, 测试球轮廓的误差对测试结果的影响可忽略, 测试时只需尽量减小偏心即可, 大大提高了测试精度和测试效率;

[0049] 3) 应用一种新的测试方法, 并开发出一套数据分析处理软件, 根据不同主轴的测试需求完成径向误差运动、轴向误差运动以及倾斜误差运动的测试, 操作流程简单, 较传统的跳动测试能更准确地反应出主轴的动态特性。

附图说明

[0050] 图1是本发明的整体结构示意图;

[0051] 图2是图1中局部放大的结构示意图;

[0052] 图3是本发明方法的流程图。

[0053] 图中

[0054] 1: 编码器

2: 主轴

[0055] 3: 球杆

4: 夹具

[0056] 5: 第一电容位移传感器

6: 第二电容位移传感器

[0057] 7: 第三电容位移传感器

8: 第四电容位移传感器

[0058] 9: 第五电容位移传感器

10: 支架

[0059]	11:工作台	12:传感器驱动单元
[0060]	13:工控机	14:上球环
[0061]	15:旋转输出轴	16:下球体

具体实施方式

[0062] 下面结合实施例和附图对本发明的一种主轴动态回转精度测试系统及测试方法做出详细说明。

[0063] 如图1所示,本发明的主轴动态回转精度测试系统,包括有工作台11,所述工作台11上设置有用以对加工机床的主轴2进行测试的数据采集机构,所述的数据采集机构通过夹具4连接所述主轴2的旋转输出轴15,所述的数据采集机构数据输出端通过传感器驱动单元12连接用于接收数据的带有数据采集卡的工控机13,所述的主轴2上设置有与所述的旋转输出轴15的上端相连的编码器1。

[0064] 如图1、图2所示,所述的数据采集机构包括有底部固定在所述工作台11上的支架10,位于所述支架10内侧的球杆3,其中,所述球杆3的顶端固定连接所述的夹具4,所述球杆3的杆部设置有上球环14,底端设置有下列球体16,所述支架10上对应所述的球杆3上的上球环14的两侧分别设置有位于同一水平面的第一电容位移传感器5和第二电容位移传感器6,所述支架10上对应所述的球杆3底端的下球体16的两侧分别设置有位于同一水平面的第三电容位移传感器7和第四电容位移传感器8,所述支架10上对应所述的球杆3底端的下球体16的底部设置有第五电容位移传感器9,所述的第一电容位移传感器5、第二电容位移传感器6、第三电容位移传感器7、第四电容位移传感器8和第五电容位移传感器9分别电连接所述传感器驱动单元12。并且所述的第一电容位移传感器5、第二电容位移传感器6、第三电容位移传感器7、第四电容位移传感器8和第五电容位移传感器9在支架10上的伸缩量均可以调节。

[0065] 工控机13中运行有基于LabVIEW编程的软件,该软件可以实现数据采集、分析和处理等功能,工控机13连接有显示器14,最终将分析结果以数值和图形的方式显示在显示器14中的指定界面。

[0066] 如图3所示,本发明的一种用于主轴动态回转精度测试系统的测试方法,包括旋转敏感方向的主轴动态回转精度的测试和固定敏感方向的主轴动态回转精度的测试,在测试前,需要注意环境温度的变化,建议在恒温车间内放置至少24小时后再测试,以便得到准确的测试结果。本发明具体包括如下步骤:

[0067] 1) 驱动被测轴旋转,首先对被测轴进行预热,所述的预热是以最大转速的一半的速度预热9~15分钟;

[0068] 2) 通过编码器获取并记录对待测轴进行数据处理的初始位置;

[0069] 3) 通过设置在工控机内的数据采集卡采集被测轴在旋转 n 圈的过程中相对四个径向电容位移传感器(图1、图2中的第一电容位移传感器~第四电容位移传感器)的位移数据 ΔX_1 、 ΔY_1 、 ΔY_2 、 ΔX_2 ,和轴向的电容位移传感器(图1、图2中的第五电容位移传感器)测得的位移数据 $\Delta A(\theta)$,并保存,其中 $n \geq 20$;

[0070] 4) 计算同步径向误差运动值和异步径向误差运动值,其中,

[0071] 对于旋转敏感方向的主轴动态回转精度的测试时,所述的计算同步径向误差运动

值和异步径向误差运动值包括:

[0072] (1) 首先计算径向误差运动: $r(\theta) = r_0 + \Delta X \cdot \cos(\theta) + \Delta Y \cdot \sin(\theta)$, 将步骤3) 所采集位移数据 ΔX_1 、 ΔY_1 、 ΔY_2 、 ΔX_2 , 代入公式, 计算得到对应轴向位置的径向误差运动, r_0 为选取的基圆半径, θ 为旋转角度;

[0073] (2) 根据径向误差运动的计算结果, 计算同步径向误差运动值: 首先计算同步径向误差运动: $R(\theta)_{\text{sync}} = \Sigma r(\theta) / n$, 其中 $\Sigma r(\theta)$ 为对应角度位置的所有 $r(\theta)$ 的和, n 为测试的总圈数, $n \geq 20$, 根据这个公式画出同步径向误差运动图; 然后, 计算同步径向误差运动值: $\delta_{\text{sync}} = R_{\text{csc}} - R_{\text{isc}}$, 其中 R_{csc} 和 R_{isc} 分别为以同步径向误差运动图的最小二乘圆 (LSC) 的圆心为圆心做的最小外接圆和最大内切圆的半径, 同步径向误差运动值间接反映了实际加工的轮廓形状。最小二乘圆的圆心坐标 $(x_{\text{LSC}}, y_{\text{LSC}})$ 和半径 R_{LSC} 通过公式

$$[0074] \quad \min \sum \left[\sqrt{(R(\theta)_{\text{sync}} \cdot \cos \theta - x_{\text{LSC}})^2 + (R(\theta)_{\text{sync}} \cdot \sin \theta - y_{\text{LSC}})^2} - R_{\text{LSC}} \right]^2 \text{ 拟合计算得到;}$$

[0075] (3) 根据径向误差运动的计算结果, 计算异步径向误差运动值:

[0076] 首先计算异步径向误差运动: $R(\theta)_{\text{asyn}} = r(\theta) - \Sigma r(\theta) / n$, 其中 $\Sigma r(\theta)$ 为对应角度位置的所有 $r(\theta)$ 的和, n 为测试的总圈数, $n \geq 20$, 根据这个公式画出异步径向误差运动图; 然后, 计算异步径向误差运动值: $\delta_{\text{asyn}} = (R(\theta)_{\text{max}} - R(\theta)_{\text{min}})_{\text{max}}$, 所述的异步径向误差运动值是以异步径向误差运动图的坐标原点为中心, 在半径方向的异步径向误差运动图的最大宽度, 其中 $R(\theta)_{\text{max}}$ 和 $R(\theta)_{\text{min}}$ 分别为异步径向误差运动图中沿径向方向距离坐标原点的最大距离和最小距离, 异步径向误差运动间接反映出所加工的表面光洁度情况。

[0077] 对于固定敏感方向的主轴动态回转精度的测试时, 所述的计算同步径向误差运动值和异步径向误差运动值包括:

[0078] (1) 首先计算径向误差运动: $r(\theta) = r_0 + \Delta R(\theta)$, 将步骤3) 所采集位移数据 ΔX_1 或 ΔX_2 或 ΔY_1 或 ΔY_2 , 代入公式中的 $\Delta R(\theta)$, 计算得到对应轴向位置的径向误差运动, r_0 为选取的基圆半径, θ 为旋转角度;

[0079] (2) 根据径向误差运动的计算结果, 计算同步径向误差运动值: 首先计算同步径向误差运动: $R(\theta)_{\text{sync}} = \Sigma r(\theta) / n$, 其中 $\Sigma r(\theta)$ 为对应角度位置的所有 $r(\theta)$ 的和, n 为测试的总圈数, $n \geq 20$, 根据这个公式画出同步径向误差运动图; 然后, 计算同步径向误差运动值: $\delta_{\text{sync}} = R_{\text{csc}} - R_{\text{isc}}$, 其中 R_{csc} 和 R_{isc} 分别为以同步径向误差运动图的最小二乘圆 (LSC) 的圆心为圆心做的最小外接圆和最大内切圆的半径, 同步径向误差运动值间接反映了实际加工的轮廓形状。最小二乘圆的圆心坐标 $(x_{\text{LSC}}, y_{\text{LSC}})$ 和半径 R_{LSC} 通过公式

$$[0080] \quad \min \sum \left[\sqrt{(R(\theta)_{\text{sync}} \cdot \cos \theta - x_{\text{LSC}})^2 + (R(\theta)_{\text{sync}} \cdot \sin \theta - y_{\text{LSC}})^2} - R_{\text{LSC}} \right]^2 \text{ 拟合计算得到;}$$

[0081] (3) 根据径向误差运动的计算结果, 计算异步径向误差运动值:

[0082] 首先计算异步径向误差运动: $R(\theta)_{\text{asyn}} = r(\theta) - \Sigma r(\theta) / n$, 其中 $\Sigma r(\theta)$ 为对应角度位置的所有 $r(\theta)$ 的和, n 为测试的总圈数, $n \geq 20$, 根据这个公式画出异步径向误差运动图; 然后, 计算异步径向误差运动值: $\delta_{\text{asyn}} = (R(\theta)_{\text{max}} - R(\theta)_{\text{min}})_{\text{max}}$, 所述的异步径向误差运动值是以异步径向误差运动图的坐标原点为中心, 在半径方向的异步径向误差运动图的最大宽度, 其中 $R(\theta)_{\text{max}}$ 和 $R(\theta)_{\text{min}}$ 分别为异步径向误差运动图中沿径向方向距离坐标原点的最大距离和最小距离, 异步径向误差运动间接反映出所加工的表面光洁度情况。

[0083] 5) 计算同步倾斜误差运动值和异步倾斜误差运动值,其中,

[0084] 对于旋转敏感方向的主轴动态回转精度的测试时,所述的计算同步倾斜误差运动值和异步倾斜误差运动值包括:

[0085] (1) 计算倾斜误差运动: $r_t(\theta) = \Delta X \cdot \cos(\theta) + \Delta Y \cdot \sin(\theta)$, 其中 ΔX 为数据采集卡所采集到位于支架一侧面上的两个电容位移传感器(如图1、图2中的第二电容位移传感器和第三电容位移传感器)位移数据的差值, ΔY 为数据采集卡所采集到位于支架另一侧面上的两电容位移传感器位移(如图1、图2中的第一电容位移传感器和第四电容位移传感器)数据的差值;

[0086] (2) 根据倾斜误差运动的计算结果,计算同步倾斜误差运动值,

[0087] 首先计算同步倾斜误差运动: $T(\theta)_{\text{sync}} = \sum r_t(\theta) / nL_d$, 其中 L_d 为两个位移传感器(如图1、图2中的第二电容位移传感器和第三电容位移传感器)的中心距;然后,计算同步倾斜误差运动值: $\delta_{\text{sync}} = R_{\text{CSC}} - R_{\text{ISC}}$, 其中 R_{CSC} 和 R_{ISC} 分别为以同步径向误差运动图的最小二乘圆(LSC)的圆心为圆心做的最小外接圆和最大内切圆的半径。最小二乘圆的圆心坐标(x_{LSC} , y_{LSC})和半径 R_{LSC} 通过公式

$$[0088] \quad \min \sum \left[\sqrt{(T(\theta)_{\text{sync}} \cdot \cos \theta - x_{\text{LSC}})^2 + (T(\theta)_{\text{sync}} \cdot \sin \theta - y_{\text{LSC}})^2} - R_{\text{LSC}} \right]^2 \quad \text{拟合计算得到};$$

[0089] (3) 根据倾斜误差运动的计算结果,计算异步倾斜误差运动值:

[0090] 首先计算异步倾斜误差运动: $T(\theta)_{\text{asyn}} = (r(\theta) - \sum r(\theta) / n) / L_d$, 然后,计算异步倾斜误差运动值: $\delta_{\text{asyn}} = (R(\theta)_{\text{max}} - R(\theta)_{\text{min}})_{\text{max}}$, 所述的异步倾斜误差运动值是以异步径向误差运动图的坐标原点为中心,在半径方向的异步倾斜误差运动图的最大宽度,其中 $R(\theta)_{\text{max}}$ 和 $R(\theta)_{\text{min}}$ 分别为异步倾斜误差运动图中沿径向方向距离坐标原点的最大距离和最小距离。

[0091] 对于固定敏感方向的主轴动态回转精度的测试时,步骤5)所述的计算同步倾斜误差运动值和异步倾斜误差运动值包括:

[0092] (1) 计算倾斜误差运动: $\beta(\theta) = [r_2(\theta) - r_1(\theta)] / L_d$, 其中, L_d 为两个位移传感器(如图1、图2中的第二电容位移传感器和第三电容位移传感器)的中心距, $r_1(\theta)$ 和 $r_2(\theta)$ 为数据采集卡所采集到位于支架一侧面上的两个电容位移传感器(如图1、图2中的第二电容位移传感器和第三电容位移传感器)位移数据的差值;

[0093] (2) 根据倾斜误差运动的计算结果,计算同步倾斜误差运动值,

[0094] 首先计算同步倾斜误差运动: $T(\theta)_{\text{sync}} = \sum \beta(\theta) / n$, 其中 $\sum \beta(\theta)$ 为对应角度位置的所有 $\beta(\theta)$ 的和;然后,计算同步倾斜误差运动值: $\delta_{\text{sync}} = R_{\text{CSC}} - R_{\text{ISC}}$, 其中 R_{CSC} 和 R_{ISC} 分别为以同步径向误差运动图的最小二乘圆(LSC)的圆心为圆心做的最小外接圆和最大内切圆的半径。最小二乘圆的圆心坐标(x_{LSC} , y_{LSC})和半径 R_{LSC} 通过公式

$$[0095] \quad \min \sum \left[\sqrt{(T(\theta)_{\text{sync}} \cdot \cos \theta - x_{\text{LSC}})^2 + (T(\theta)_{\text{sync}} \cdot \sin \theta - y_{\text{LSC}})^2} - R_{\text{LSC}} \right]^2 \quad \text{拟合计算得到};$$

[0096] (3) 根据倾斜误差运动的计算结果,计算异步倾斜误差运动值:

[0097] 首先计算异步倾斜误差运动: $T(\theta)_{\text{asyn}} = \beta(\theta) - \sum \beta(\theta) / n$, 然后,计算异步倾斜误差运动值: $\delta_{\text{asyn}} = (R(\theta)_{\text{max}} - R(\theta)_{\text{min}})_{\text{max}}$, 所述的异步倾斜误差运动值是以异步径向误差运动图的坐标原点为中心,在半径方向的异步倾斜误差运动图的最大宽度,其中 $R(\theta)_{\text{max}}$ 和 $R(\theta)_{\text{min}}$ 分别为异步倾斜误差运动图中沿径向方向距离坐标原点的最大距离和最小距离。

[0098] 6) 计算基本轴向误差运动值、剩余轴向误差运动值和异步轴向误差运动值,所述的计算基本轴向误差运动值、剩余轴向误差运动值和异步轴向误差运动值包括:

[0099] (1) 计算轴向误差运动: $a(\theta) = r_0 + \Delta A(\theta)$, 其中 $\Delta A(\theta)$ 为数据采集卡采集的位于轴向的电容位移传感器(如图1、图2中的第五电容位移传感器)测得的位移数据,根据上述公式画出轴向误差运动图;

[0100] (2) 计算同步轴向误差运动: $A(\theta)_{\text{sync}} = \sum a(\theta) / n$;

[0101] (3) 计算基本轴向误差运动值: $\delta_{\text{fund}} = 2 \cdot D_{LP}$, 其中 D_{LP} 为轴向误差运动图中坐标中心到同步轴向误差运动图的最小二乘圆的圆心的距离,最小二乘圆的圆心坐标 (x_{LSC}, y_{LSC}) 和半径 R_{LSC} 通过公式

[0102]
$$\min \sum \left[\sqrt{(A(\theta)_{\text{sync}} \cdot \cos \theta - x_{LSC})^2 + (A(\theta)_{\text{sync}} \cdot \sin \theta - y_{LSC})^2} - R_{LSC} \right]^2$$
 拟合计算得到;

[0103] (4) 计算剩余轴向误差运动值: $\delta_{\text{resd}} = R_{\text{CSC}} - R_{\text{LSC}}$; 其中 R_{CSC} 和 R_{LSC} 分别为以同步轴向误差运动图的最小二乘圆(LSC)的圆心为圆心做的最小外接圆和最大内切圆的半径;

[0104] (5) 计算异步轴向误差运动: $A(\theta)_{\text{asyn}} = a(\theta) - \sum a(\theta) / n$;

[0105] (6) 计算异步轴向误差运动值: $\delta_{\text{asyn}} = (R(\theta)_{\text{max}} - R(\theta)_{\text{min}})_{\text{max}}$ 。所述的异步轴向误差运动值是以异步径向误差运动图的坐标原点为中心,在半径方向的异步轴向误差运动图的最大宽度,其中 $R(\theta)_{\text{max}}$ 和 $R(\theta)_{\text{min}}$ 分别为异步轴向误差运动图中沿径向方向距离坐标原点的最大距离和最小距离。;

[0106] 7) 显示计算分析结果,并保存数据;

[0107] 8) 判断是否继续测试,是则返回步骤2),否则结束测试。

[0108] 尽管上面结合附图对本发明的优选实施例进行了描述,但是本发明并不局限于上述的具体实施方式,上述的具体实施方式仅仅是示意性的,并不是限制性的,本领域的普通技术人员在本发明的启示下,在不脱离本发明宗旨和权利要求所保护的范围情况下,还可以做出很多形式,这些均属于本发明的保护范围之内。

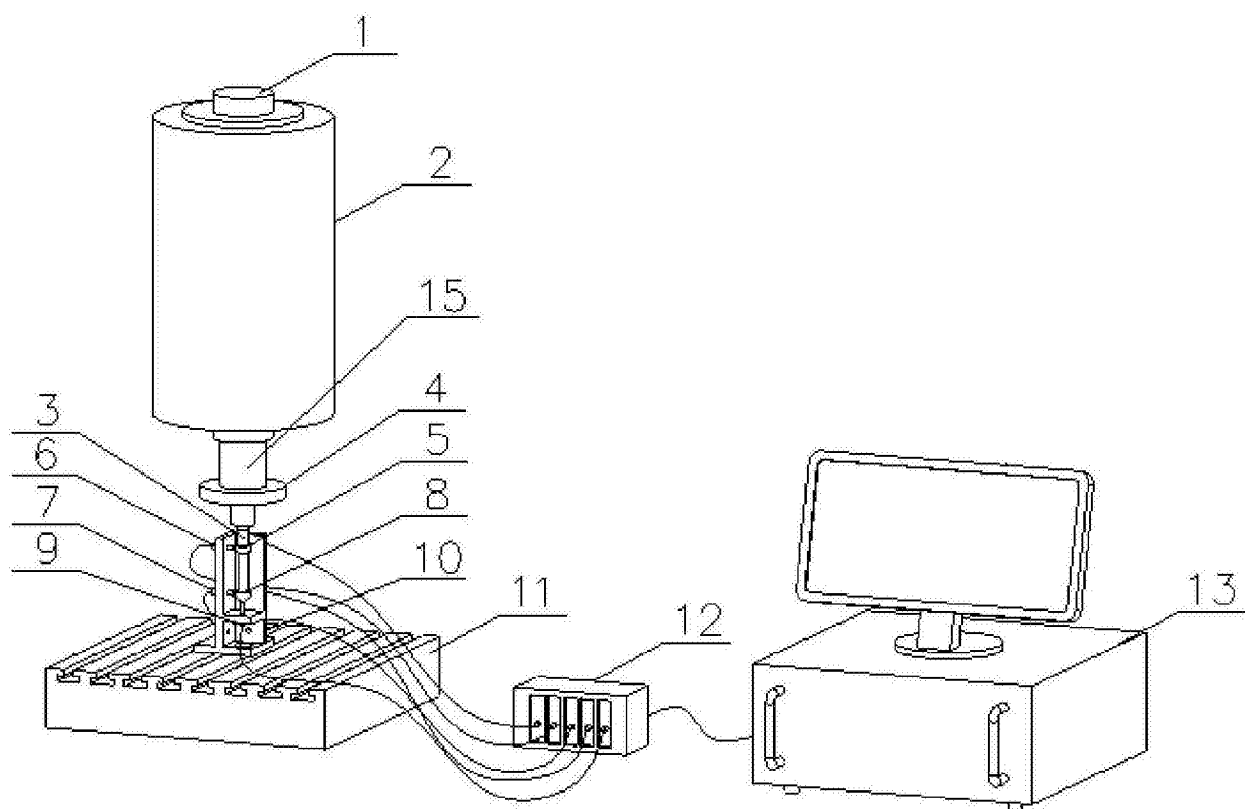


图1

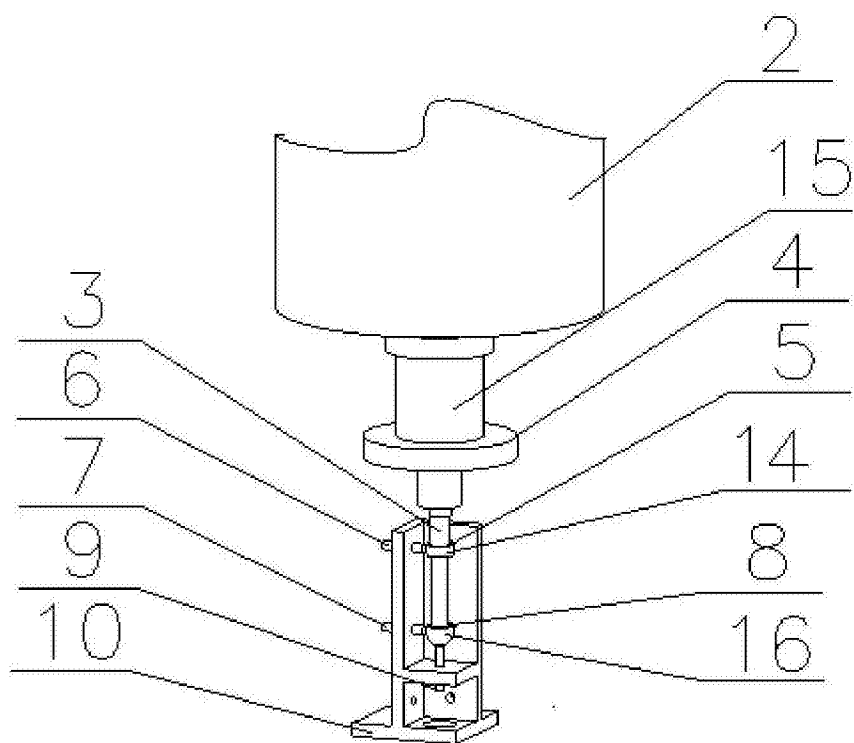


图2

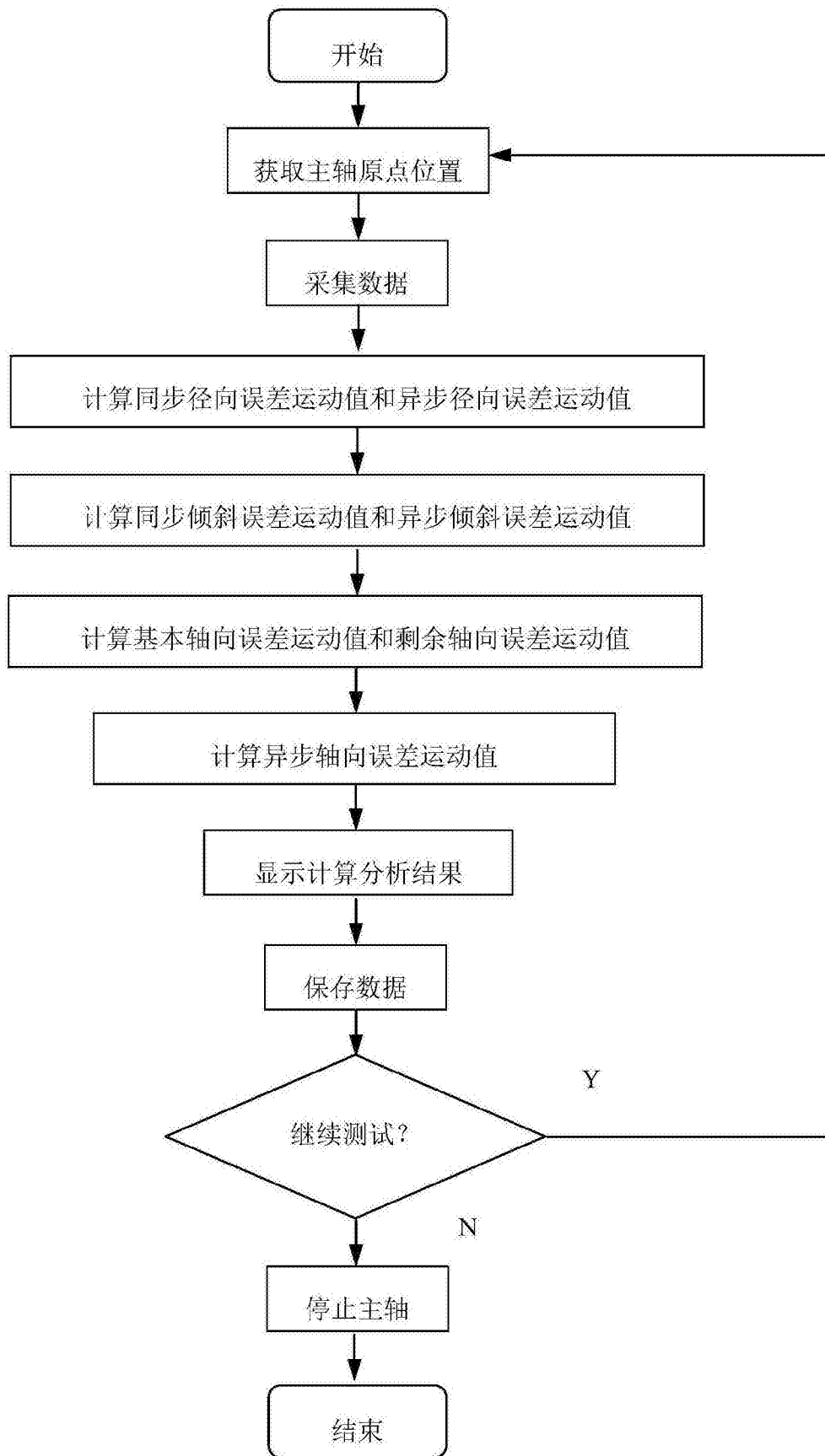


图3