

基于 LabVIEW 的大型轴类零件圆柱度在位测量系统

钟茜, 徐向红

(中国计量学院 机电工程学院, 杭州 310018)

摘要: 由于大型轴类零件 ($d \geq 500$ mm) 本身的特点, 现有的圆柱度测量仪器和装置都无法满足其圆柱度的测量环境和要求, 大型轴类零件的圆柱度测量成为了石油、造纸、铸造等行业发展的制约因素; 文章根据近年来波兰凯尔采科技大学提出的 V 型块法设计了一种大型轴类零件圆柱度的在位测量装置, 将在位测量装置所采集到的信号通过数据采集卡在 LabVIEW 软件平台上进行数据分析和处理, 最终得出被测轴类零件的最小二乘圆柱度, 从而验证了 V 型块法在位测量大型轴类零件圆柱度的可行性。

关键词: LabVIEW; 大型轴类零件; V 型块法; 圆柱度; 在位测量

In Situ Cylindricity Measurement System of Large Shafts Based on LabVIEW

Zhong Qian, Xu Xianghong

(Institute of Mechanical Engineering, China Ji Liang University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Due to the large shafts ($d \geq 500$ mm) own characteristics, the existing cylindricity measuring instruments and measuring devices are Unable to meet its cylindricity measurement environment and requirements. The cylindricity measuring of large shafts parts become constraints growing industry of oil, paper, casting. Based on the recent Polish Kielce University of Technology V-block method proposed by the in situ measuring device for large shafts, the in situ device will collected signal measured by the data acquisition card in Labview software platform on data analysis and processing, the final value of the measured results of least squares cylindricity, and thus validate the V-block method in place to measure large shafts feasibility.

Keywords: LabVIEW; large shafts; V-block method; cylindricity; in situ measurement

0 引言

圆柱度误差是评价轴类零件表面形状误差的重要指标, 直接影响配合表面的性质以及回转表面的定位精度, 从而影响所生产、加工的零件的质量及零件的互换性。因此, 机械行业对轴类零件的圆柱度误差提出了很高的要求。

大型轴类零件在航运、造纸、电力、石油等行业应用中所占比例越来越重, 对其精度的要求也越来越高。由于大型轴类零件本身的特点, 离线测量在实际加工环境和条件下无法实施, 现有的圆柱度测量仪也无法满足其测量要求^[1]。因此, 采用适当的方法, 设计出实用可行的大型轴类零件圆柱度的在位测量装置, 对于我国机械制造行业的发展具有重大意义。

1 基于 V 型块法的大型轴类零件圆柱度在位测量

1.1 V 型块法测量原理

如图 1 所示, 将被测轴类工件放置于加工机床上, 两端由机床本身的顶尖实现中心轴线的定位。两个相互关联的 V 型块相互平行置于被测轴类工件上方, 且与被测轴类工件表面轻度接触。两 V 型块相互连接, 其中的连接构件相当于导轨, 保证导轨的直线度, L 表示两 V 型块之间的距离, 测量传感器通过支撑架固定, 沿导轨做直行运动, 在整个测量机构中, 被测轴类工件的旋转角度 φ 及测量传感器的移动位移 z 都是通过计算机控制, 测量传感器按照特定的轨迹在被测轴类工件表面运动。两 V 型块的夹角 α 及传感器的偏摆角 β 的值作为 V 型

块法的角参数, 该角参数的值决定了被测圆柱度轮廓特定谐波分量的检测。

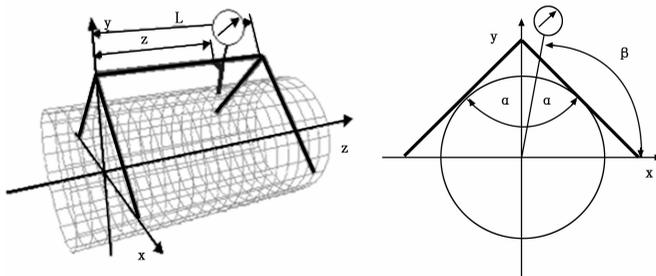


图 1 V 型块法测量原理

为了实现将 V 型块法运用于轴类零件圆柱度的在位测量, 需要通过数学上的一些算法将传感器测量的被测轴类零件表面轮廓误差转换为真实的圆柱面轮廓^[2]。

1.2 V 型块法测量装置

根据波兰凯尔采科技大学所设计的 V 型块法圆柱度测量平台以及该测量机构所存在的问题^[3], 本文提出通过一些机构上的改进, 设计出新的测量机构。

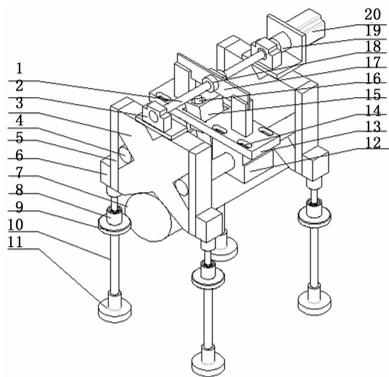
如图 2 所示, 一对相互平行的四口 V 型块垂直架在加工机床上已加工的轴类工件两端, 两个四口 V 型块分别与被测轴类工件表面相切于两点。两 V 型块通过四根螺杆固定调整, 螺杆上安装了弹簧座、调节螺母和固定底座, 通过旋转四个调节螺母可以调整两 V 型块的高低, 保证两 V 型块的 V 型槽都能够与被测轴类工件表面相切, 且与被测轴类工件轻度接触, 不影响被测轴类工件的旋转, 四根螺杆通过其底座固定在一与机床放置平面平行的光滑平台上。根据两个四口

收稿日期: 2014-05-22; 修回日期: 2014-07-02。

作者简介: 钟茜 (1988-), 女, 研究生, 主要从事大型轴类零件圆柱度误差的在位测量方向的研究。

V 型块之间的对称性, 由两根光轴、两个滑块、滑块连接板、丝杆、丝杆螺母连接机构、步进电机、联轴器组成了双导轨执行机构。

本文设计的测量机构中不另外设置传感器支架, 直接将传感器安装块设定在滑块连接板中部, 通过传感器安装块固定测量传感器, 同时传感器安装块具有一定的调整空间, 且滑块连接板设置了移动孔, 使得滑块连接板可以再移动孔孔范围内前后移动, 有利于更好的调整传感器的偏摆角 β 。



1-丝杆；2-丝杆支撑座；3-四口 V 型块；4-连接轴；5-连接板固定板；6-螺杆支撑块；7-被测轴类零件；8-柔性弹簧；9-调节螺母 10-支撑螺杆；11-螺杆底座；12-滑块；13-滑块连接板；14-滑块连接板移动孔；15-传感器安装块；16-测量传感器；17-丝杆螺母连接机构；18-丝杆螺母；19-联轴器；20-步进电机。

图 2 基于 V 型块法的大型轴类零件圆柱度在位测量机构的实验装置

本测量机构具有如下优越性:

- 1) 采用符合国家标准四口 V 型块作为定位元件, 同时也是测量元件, 适用性更广, 且根据四口 V 型块本身的对称性, 更好的保证了导轨直行机构与被测轴类工件主轴之间平行度;
- 2) 双导轨直行机构设计在两 V 型块之间, 合理利用四口 V 型块结构特点, 结构简单, 灵活性强, 更好的保证了导轨的直线度;
- 3) 两 V 型块通过四根螺杆支撑, 通过旋转调节螺母调整 V 型块与被测轴类工件之间的接触, 操作更简便;
- 4) 所设计的测量机构通过调整测量传感器偏摆角 β 的值, 能够检测出全部谐波分量。

2 基于 LabVIEW 的数据采集及处理

2.1 V 型块装置中的测量信号

测量装置中包含如下信号:

- 1) 增量式编码器 A、Z 两相的脉冲信号, 默认被测轴类零件逆时针旋转, 测量被测轴类零件的旋转角度 φ ;
- 2) 测量传感器输出的模拟信号, 测量被测轴类零件表面的形状误差 $F(\varphi, z)$;
- 3) 截面的位置信息 z ;
- 4) 步进电机的控制信号 (脉冲源) 产生。

基于 LabVIEW 性能高、扩展性强、开发时间少、无缝集成等优点, 本文的软件设计选择在 LabVIEW2011 开发平台上进行。选用阿尔泰公司生产的采集卡 USB2833, 该采集卡是

一种基于 USB 总线的数据采集卡, 可直接与计算机的 USB 接口连接, 构成模块的数据采集、波形分析和处理系统。它的主要应用场合包括电子产品的质量检测、信号采集、过程控制和伺服控制。

V 型块法圆柱度在位测量装置的软件设计部分主要包括: 上位机操作前面板的设计、数据采集模块、数据处理模块, 结构框图如图 3 所示。

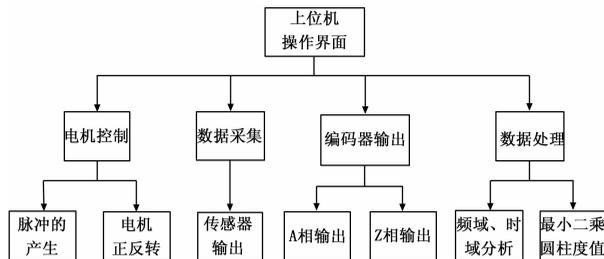


图 3 基于 LabVIEW 的 V 型块测量程序框图

2.2 各功能模块的参数设置

1) 步进电机的控制:

根据 V 型块法圆柱度测量原理, 必须保证传感器所测点的位置 z 和旋转角度 φ 保持一致, 将增量式旋转编码器 A 相中所测得的角度脉冲信号作为步进电机的脉冲源。因为被测轴类零件旋转一圈发出 1 200 个脉冲, 所以每旋转 1° 输出 1 200/360 个脉冲, 将输出的脉冲用来驱动步进电机的旋转, 进而控制测量传感器的轴向位移。

方法的实施: 将 A 相输出接到步进电机的脉冲控制端 CP, 得到传感器输出的被测轴类零件表面上各点坐标为 (φ, z) 的轮廓误差 $F(\varphi, z)$ 。

2) 计数器的设置:

通过 CLK1 连接 A 相脉冲信号, CLK2 连接 Z 相脉冲信号。因编码器 A 相每转固定产生 1 200 个脉冲, 而 Z 相每转一圈产生一个 $1/2T$ 的零位脉冲信号。计数器 1 用于测量被测轴类零件的旋转角度, 采用可编程单次脉冲方式, 初值为 1200; 计数器 2 用于测量被测轴类零件的行程, 采用计数器结束中断方式, 计数器 2 用于测量被测轴类零件的行程, 采用计数器结束中断方式, 初值为 65 535, 其中将 GATE1 与 CLK2 相连, 根据 Z 相每转一圈产生的零位信号作为计数器 1 角度测量的起点及测量的圈数。

3) 传感器的设置:

所选的测量传感器 NS-WY01 量程为 $-0.5 \sim +0.5$ mm, 对应的输出电压范围为 $-5 \sim +5$ V。由于测量信号中夹杂着干扰信号, 所以选用低通滤波适当的去除一些干扰信号, 选用一阶巴特沃兹低通滤波器完成滤波。

4) 数据处理模块:

V 型块法圆柱度在位测量装置的数据处理模块实现的功能包括: 快速傅里叶变换 (FFT)、频谱和相位分析、最小二乘圆柱度值的计算^[4]。

如图 4 所示, 假设理想轴类零件的主轴为 OZ, R_0 为理想轴类零件半径, 实际被测轴类零件表面上的点的坐标为 $P_{ij}(S_{ij}, \theta_{ij}, z_i)$, S_{ij} 为第 i 个测量值, θ_{ij} 为对应于第 i 个被测点的转角, z_i 为轴线方向的位移。设采样截面数为 m , O_i 为最小二乘圆的圆心, 测量点到最小二乘圆的距离为 r_{ij} , 每个截面

的采样点数为 n , 最小二乘圆柱的轴线方向参数为 $(g, l, 0), O$ 到 O_i 的距离为 $e_i, R_0 + \Delta R$ 为最小二乘圆柱半径。

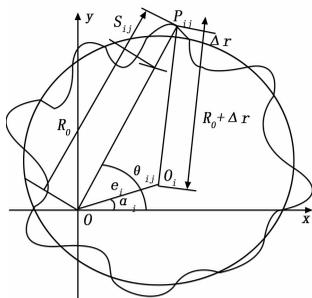


图 4 最小二乘法评定圆柱度的数学模型

理想轴线的方程为:

$$\frac{x-a}{g} = \frac{y-b}{l} = \frac{z}{1} \quad (2)$$

设任意一个截面的最小二乘圆的圆心坐标为 (a_i, b_i, c_i) , 则:

$$\begin{aligned} a_i &= a + gz_i \\ b_i &= b + lz_i \end{aligned} \quad (3)$$

从图 4 中可以看出:

$$\begin{aligned} a_i &= e_i \cos \alpha_i \\ b_i &= e_i \sin \alpha_i \end{aligned} \quad (4)$$

在小偏差的情况下, 得到:

$$R_0 + S_{ij} \approx R_0 + \Delta R + \Delta r_{ij} + e_i \cos(\theta_{ij} - \alpha_i) \quad (5)$$

则可以得出:

$$\begin{aligned} \Delta r_{ij} &= S_{ij} - e_i \cos(\theta_{ij} - \alpha_i) - \Delta R = \\ &= S_{ij} - e_i \cos \theta_{ij} \cos \alpha_i - e_i \sin \theta_{ij} \sin \alpha_i - \Delta R = \\ &= S_{ij} - a_i \cos \theta_{ij} - b_i \sin \theta_{ij} - \Delta R = \\ &= S_{ij} - (a + gz_i) \cos \theta_{ij} - (b + lz_i) \sin \theta_{ij} - \Delta R \end{aligned} \quad (6)$$

根据最小二乘法原理有 $\sum \Delta r_{ij}^2 = \min$, 令 $f = \sum \Delta r_{ij}^2$, 则

$$\frac{\partial f}{\partial a} = 0, \frac{\partial f}{\partial b} = 0, \frac{\partial f}{\partial g} = 0, \frac{\partial f}{\partial \Delta R} = 0 \quad (7)$$

利用以上等式组成方程组可以求得最小二乘理想轴线参数, 分别为:

$$\begin{aligned} a &= \frac{2}{mn} \sum_i^m \sum_j^n S_{ij} \cos \theta_{ij} & b &= \frac{2}{mn} \sum_i^m \sum_j^n S_{ij} \sin \theta_{ij}, \\ l &= \frac{2 \sum_i^m \sum_j^n S_{ij} \sin \theta_{ij}}{\sum_i^m \sum_j^n z_i^2} & g &= \frac{2 \sum_i^m \sum_j^n S_{ij} \cos \theta_{ij}}{\sum_i^m \sum_j^n z_i^2} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\Delta R = \frac{\sum_i^m \sum_j^n S_{ij}}{\sum_i^m \sum_j^n z_i^2} \quad (8)$$

利用最小二乘法评定圆柱度误差为:

$$\Delta = \Delta r_{ij\max} - \Delta r_{ij\min} \quad (9)$$

根据最小二乘圆柱度的数学模型通过 Labview 实现 V 型块法测量圆柱度误差算法是整个软件的关键部分^[5], 其程序框图如图 5 所示。

2.3 测量结果分析

如图 6 所示, 将所得信号进行 Labview 软件进行数据采集和处理得出最小二乘圆柱度值为 $41.2 \mu\text{m}$, 其中实验装置中被

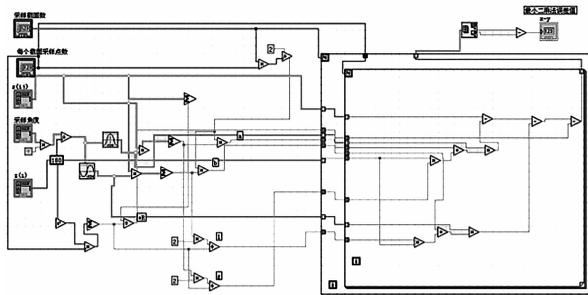


图 5 最小二乘圆柱度值计算程序框

测轴类零件直径为 75 mm , $L=300 \text{ mm}$ 。

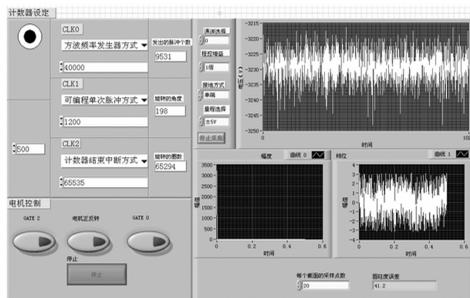


图 6 基于 Labview 的圆柱度在位测量系统

采用专用的圆柱度仪测量同一被测轴类零件, 测得圆柱度的误差为 $61.061 \mu\text{m}$ 。该专用圆柱度仪为东京精密公司生产的小型高精度圆度圆柱度形状测量机, 其型号为 ROND COM 54DX。

波兰凯尔采科技大学的学者对 V 型块法测量圆度这一方面进行了深入的研究, 实践证明了 V 型块法所测得圆度落在由半径变化法所测圆度的 $22\% \sim 63\%$ 内变化^[6]。

3 总结

本文通过 Labview 验证了 V 型块法在位测量大型轴类零件圆柱度的可行性。所设计的测量装置在测量过程中存在的误差也能通过补偿的方式得到修正。尽管 V 型块法存在一定的方法误差, 但是对于实际应用来说, 该方法操作简单、实用性强, 且目前没有更适合于大型轴类零件圆柱度在位测量方法, 这对于航运、造纸业、电力、石油行业来说具有重大的意义。

参考文献:

- [1] Shaway A. M, Elbestawi M. A. In-process evaluation of work-piece geometrical tolerance in bar turning [J]. International of Machine Tools and Manufacture, 1996 (36): 33-46.
- [2] Okuyama E, Goho K, Mitsui K. New analytical method for V-block three-point method [J]. Precision Engineering, 2003, 27 (3): 234-244.
- [3] Adamczak S, Janecki D, Stepien K. Qualitative and quantitative evaluation of the accuracy of the V-block method of cylindricity measurements [J]. Precision Engineering, 2010, 34 (3): 619-626.
- [4] 冯俊萍, 刘海妹, 张卫平. 基于 VC 的轴类零件形状误差评定系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (11): 3014-3016.
- [5] 马德峰, 朱孔敏, 邱敏, 等. 基于 Labview 的圆柱度误差测量软件设计 [J]. 轴承, 2007, 11: 43-46.
- [6] Adamczak S, et al., Concept of Reference Methods for Accurate-Measurements of Roundness of Machine Elements [R]. Science Report KBN No. 7T07D04008, Kielce University of Technology, Kielce, 1997.