

内孔珩磨尺寸在线气动测量系统*

于保华 胡小平 叶红仙

【摘要】 在分析内孔珩磨尺寸在线气动测量系统工作原理的基础上,给出了内孔珩磨尺寸在线气动测量系统的总体方案及主要功能模块构成。详细设计了系统的核心模块——气动测量模块,并进行了试验。试验分析结果表明该在线气动测量系统设计是可行的。

关键词: 内孔珩磨 气动测量 测量系统

中图分类号: TH7 **文献标识码:** A

Research on in Process Pneumatic Measurement System for Inner Hole Honing

Yu Baohua^{1,2} Hu Xiaoping² Ye Hongxian¹

(1. Zhejiang University, Hangzhou 310027, China

2. Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract

Based on the analysis of the working principle, the general project and main functional module were presented for in process pneumatic measurement system of inner hole honing dimension. The influence of main parameters in each sector to the gauge during differential pneumatic measurement was analyzed, and the key module——pneumatic measurement module was designed and tested. The result showed that the design of in process pneumatic measurement system is feasible. It could bring a new method for the research on in process pneumatic measurement system for inner hole honing dimension.

Key words Inner hole honing process, Pneumatic measurement, Measurement system

引言

传统内孔珩磨加工采用“加工—退刀测量—再加工”的多次反复过程,其尺寸测量一般采用下线手动测量,测量精度和效率都相对较低。将在线测量技术应用到内孔珩磨孔径的尺寸测量中,可以提高生产效率,方便实现内孔珩磨加工自动化^[1]。内孔珩磨在线测量条件非常恶劣,一般的接触式测量方法均不适用于内孔珩磨加工在线测量^[2]。将非接触式气动测量技术引入到内孔珩磨内孔尺寸的在线测量中,通过气电转换模块实时地将内孔珩磨内孔尺寸变化转换为电信号,再将该信号处理后提供给显示和控制系统用于后续分析及控制,从而有助于数控内孔珩磨机床高精度加工的闭环控制。研究表

明采用在线气动测量系统可使内孔珩磨孔径尺寸精度从 10 μm 级提高到微米级。非接触式气动测量因其测量的源介质采用压缩空气,测量有很强的环境适应能力和抗干扰性,适合内孔珩磨加工在线尺寸测量^[3-4]。在分析珩磨尺寸在线气动测量系统工作原理的基础上,给出珩磨尺寸在线气动测量系统的总体方案及主要功能模块构成。在分析差压式气动测量变换环节各主要参数对量仪影响的基础上,详细设计系统的核心模块——气动测量模块,并进行试验。

1 气动测量原理及测量系统方案

1.1 差压式背压气动测量原理

差压式背压气动测量原理如图 1 所示^[5],这种

收稿日期: 2007-10-29

* 浙江省教育厅科技计划资助项目(项目编号:20060229)

于保华 浙江大学机械与能源工程学院 博士生 工程师(杭州电子科技大学), 310027 杭州市

胡小平 杭州电子科技大学机械工程学院 教授, 310018 杭州市

叶红仙 浙江大学机械与能源工程学院 博士生

差压式背压气路是在直接背压式气路上改进的,可大大改善由于工作压力波动而导致的测量误差。压缩空气从气源经过滤器滤清后由进气阀进入稳压器,稳压器后续气路的压力稳定在 p_c ,经节流阀和喷嘴挡板机构流入大气。通过差压传感器测出测量气路的背压 p_x 与测量气路的工作压力 p_c 之差得

$$\Delta p = p_c - p_x$$

进而获得喷嘴挡板间隙 S 。

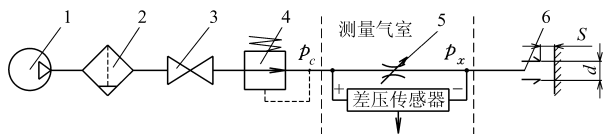


图 1 差压式背压气动测量原理图

Fig. 1 Principle diagram of differential backpressure pneumatic measurement

1. 气源 2. 过滤器 3. 进气阀 4. 稳压器
5. 可调节流阀 6. 喷嘴挡板机构

理论上,测量前调节好测量气路的工作压力 p_c 是不变的,即 p_c 是常数。而测量气路的背压 p_x 与间隙 S 呈一一对应的函数关系,因此压力差 Δp 与 S 也有一一对应的函数关系,当测量头固定不动时, Δp 的变化反映 S 的变化,进而反映被测量工件的尺寸变化。实际上,由于空气稳压器一般达不到理想的状态,其输出压力 p_c 会因为气源压力变化或测量喷嘴流量变化而有所波动,而压力 p_c 的变化又会影响测量气路的背压 p_x 的不稳定,所以直接背压式气动测量的测量精度和稳定性相对较差。差压式测量气路的背压 p_x 正比于测量气路的工作压力 p_c ,工作压力 p_c 波动会导致差压式测量气路两边的压力均有波动,而差压传感器两边的压力波动因为同向并相互抵消从而使其压力差基本不变,因此这种测量方法可以减少稳压器输出压力 p_c 的波动引起的测量误差,从而提高测量精度和稳定性。当工作压力 $p_c = 0.26 \text{ MPa}$ 、节流孔孔径 $d_1 = 2.0 \text{ mm}$ 、测量喷嘴孔径 $d = 2.2 \text{ mm}$ 时,差压间隙理论特性曲线如图 2 所示。

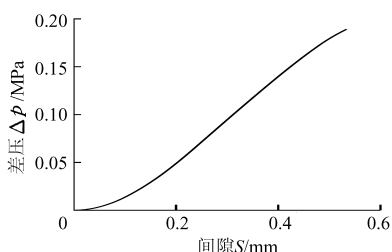


图 2 差压间隙理论特性曲线

Fig. 2 Differential pressure-clearance characteristic curve

与传统背压式气路特性曲线一样,差压式背压气路特性曲线也由粘性部、直线部、过渡部和水平部

4 部分组成。当测量间隙 S 很小时为粘性部,由于空气粘性的影响,其特性曲线呈明显的下凹形非线性,这部分一般不能用来测量;特性曲线中间为直线部,是一段基本呈直线状的曲线,这一段适合用来测量;随测量间隙 S 进一步增大,特性曲线进入一上凸形非线性段,最后特性曲线会趋向水平,这两部分不能用于测量。

1.2 测量方案

采用非接触式背压气动测量原理、差压式测量气路及最新的硅压力测量传感器来实现内孔珩磨在线测量。并采用新型内孔珩磨尺寸在线气动测量模式,将测量系统中最关键的气动尺寸测量模块从内孔珩磨机上转移到内孔珩磨连杆上,将气滑环从压力测量环中转移到供气环路中,这样可以大大减少测量系统不稳定,还可以缩短测量气路的气容,从而改善动态测量性能。采用扩散硅压阻式半导体传感器替代传统的膜盒或波纹管等弹性元件来获取压力信号,极大地改善了测量系统的动态性能。整个测量系统除半导体硅传感器的感应部位外没有可移动部件,不存在摩擦损耗,回程误差不超过 0.05% ^[6],对整个测量系统的精度影响完全可以忽略不计。

内孔珩磨尺寸在线测量系统工作原理如图 3 所示。系统包括:气动尺寸测量模块(传感器)、无线数据传输模块(发送、接收)、能量输入模块、测量供气模块(气源处理、旋转供气滑环)、数据处理显示模块(处理、显示、控制系统接口)。气动尺寸测量模块工作时需要电能的输入和测量气体的供应,它们分别由能量输入模块和测量供气模块来实现。同时,气动尺寸测量模块还通过无线数据传输模块将实时采集的数据传输出来提供给数据处理显示模块,数据处理显示模块将数据处理后显示并为内孔珩磨数控控制系统提供测量信号。

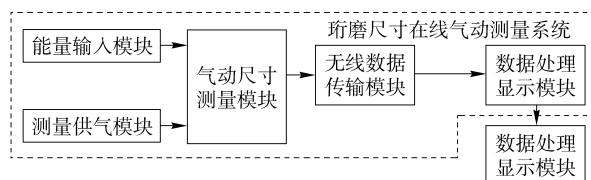


图 3 内孔珩磨尺寸在线测量系统工作原理图

Fig. 3 Principle diagram of in process pneumatic measurement system for inner hole honing dimension

2 测量系统设计

内孔珩磨加工中气动测量主要是实现内孔珩磨孔径的在线尺寸测量和形状精度测量。内孔珩磨尺寸在线气动测量系统如图 4 所示,主要由气源处理部、气电滑环、内孔珩磨气测头、测量发射部、接收显

示部组成。整个测量系统的基本工作原理为压缩空气经气源处理部处理后流入气电滑环,再经过测量发射部后进入内孔珩磨测量头,最后经内孔珩磨头中部径向2个互为180°的测量喷嘴与被加工件孔壁之间的间隙流入大气。测量喷嘴与被加工件的孔壁组成一喷嘴挡板机构,随着工件尺寸增大,测量间隙发生变化,系统背压也会变化,而测量发射部内的气电转换器将背压的变化转换成电信号,再通过无线数传模块传给接收显示部。在内孔珩磨加工整个过程中,喷嘴测量轨迹与内孔珩磨轨迹一样,在孔的内表面呈交叉而不重复的网纹,测量系统把喷嘴连续测量的数据处理后可以很方便地得到内孔珩磨孔径的尺寸、孔径的圆度和圆柱度等形状精度。最后,将测量系统集成到机床控制系统,机床控制系统根据这些参数修正和控制机床加工的状态,以达到精确控制内孔珩磨孔径尺寸精度和形状精度的目的。

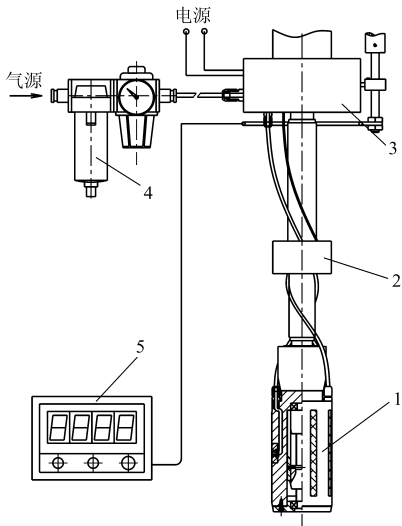


图4 内孔珩磨尺寸在线气动测量示意图

Fig. 4 Sketch of in process pneumatic measurement for inner hole honing dimension

1. 内孔珩磨气测头
2. 测量发射部
3. 气电滑环
4. 气源处理部
5. 接收显示部

2.1 气动尺寸测量采集与数据发送

气动尺寸测量采集及数据发送以微芯公司 PIC16F873 为基础开发,如图 5 所示。主要由 4 部分构成:第 1 部分气动尺寸测量采集部分,主要是气动测量压力传感器信号调理及 PIC 单片机对调理好的信号采集;第 2 部分为数据发送部分,即对采集的数据打包和发送;第 3 部分电源部分,主要为信号调理、单片机及无线发送模块提供合适的电源;第 4 部分数据显示部分,将采集进来的数据数制转换后输出驱动及显示,便于下位机的测量调试。数据显示部分,LED 的位数主要依据测量显示的数值范围,考虑到气动测量范围、最小分辨率等因素,最后

确定为三位半。其 BCD 译码芯片需根据 LED 的位数选择其型号。

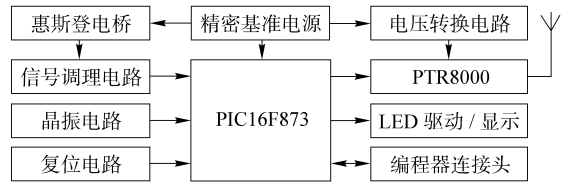


图5 气动尺寸测量采集及数据发送框图

Fig. 5 Diagram of collection and sending of data for pneumatic measurement

气动尺寸测量采用高精度、高灵敏度的半导体差压传感器。将半导体差压传感器安置在背压测量室上与气动测量内孔珩磨头上的双喷嘴配合形成气电式孔径尺寸测量装置。基本原理是通过喷嘴挡板(工件)机构将内孔珩磨孔径尺寸的变化转换成背压测量室的压力变化,再通过安置在背压测量室上的半导体差压传感器将压力变化转换成电信号输出。目前,硅差压传感器一般采用惠斯登电桥形式,需要精密基准电源为其供电。其信号调理电路的主要功能是对微弱的电信号进行放大、偏置和滤波处理,以方便单片机系统采集。系统采用 AD623 芯片来实现信号的放大,调理电路的放大倍数与 AD623 相同,主要由连在 2、8 脚上的倍率电阻决定,压力传感器的信号经调理后可直接连接到单片机的 AD 口,微芯公司 PIC16F873 是一款具有高速、低功耗、超强功能、精简指令等特点的单片机,内置 10 位 AD 模块和 SPI 硬件接口,通过编程器接头可以非常方便地实现在线调试和编程。

数据无线传输采用 PTR8000 工业无线数据传输模块,该模块是以 nRF905 单片无线收发芯片为核心,配以滤波电容、晶振、天线等外围电路制作而成的无线数据传输模块,具有硬件 CRC 校验功能,因此在不采用软件校验的情况下就能实现准确无误的数据传输。其无线数据传输速度可达 1MB/s。PIC16F873 通过 SPI 接口连接到 PTR8000 模块,将 AD 口采集的测量数据传送出来,从而克服了传统导电滑环摩擦发热和由于接触不可靠而引起的信号波动等缺陷。

电源方面,考虑到 PIC16F873 的工作电压为 5V、PTR8000 模块的工作电压为 3V、而硅差压传感器电桥需要精密基准电源为其供电,故系统采用二级调压稳压方式,其电源电路如图 6 所示。输入采用 8V 直流电源,经 AD586 高精度 5V 基准源处理后输出,主要提供给信号调理和 PIC16F873;再经 HT7533 调压处理,将 3V 工作电压输给 PTR8000 模块。

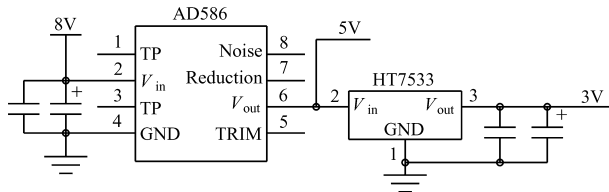


图 6 测量采集系统供电电路

Fig.6 Power supply circuit for measurement data collection

2.2 数据接收与处理显示

数据接收与处理显示采用 PIC16F877 为核心再加上一些外围电路来实现。通过 PTR8000 无线数传模块将下位机的信号接收进来,并作必要的处理,再输出显示和给上位机或控制器提供必要的测量信号,如图 7 所示。主要由 4 部分构成:第 1 部分基于 PTR8000 无线数据接收部分,将下位机 PTR8000 模块发送的数据接收进来便于后续处理;第 2 部分为对数据进行各种处理,包括数字滤波、计算、数制转换等方便显示和后续处理;第 3 部分数据显示部分,其功能和处理方式跟下位机一样;第 4 部分输出接口部分,通过输出通信线路将结果传送到机床控制系统,为机床加工控制提供尺寸数据。

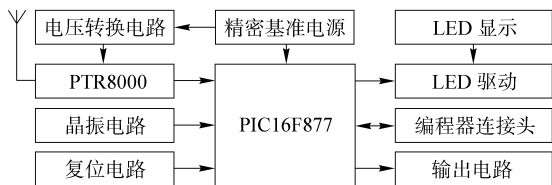


图 7 基于 PIC 数据接收及处理显示框图

Fig.7 Diagram based on PIC data acquisition and procession

3 气动尺寸测量模块试验

以气动尺寸测量模块静态特性试验为例,当喷嘴挡板间隙 S 不随时间变化或作缓慢变化时,气动尺寸测量模块输出量与输入量之间是一一对应的函数关系。为便于灵活调节喷嘴挡板间隙 S ,试验时采用单测量喷嘴,通过高精度位移测量系统对本测

量模块进行标定。以 $p_c=0.26 \text{ MPa}$ 、 $d_1=2.0 \text{ mm}$ 、 $d=2.2 \text{ mm}$ 为例,系统输出(LED 读数)与系统输入(间隙 S)试验曲线如图 8 所示。

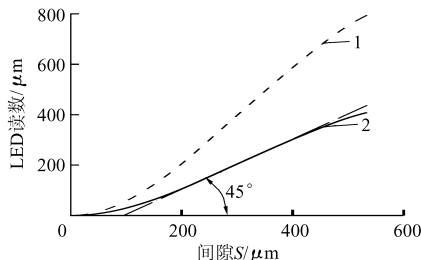


图 8 气动测量模块试验特性曲线

Fig.8 Pneumatic measurement module testing characteristic curves

调整并记录测量间隙 S 和 LED 读数,并用 AUTOCAD 软件绘制出数据点再用样条拟合成曲线。图 8 中的虚线 1 为没有采用软倍率补偿的 LED 读数与测量间隙 S 的曲线,为了达到最后 LED 输出随着测量间隙 S 同比例同步变化,在单片机软件里设置了一个软倍率补偿系数,采集后的数据再乘上该系数后再输出到 LED,使测量系统最后输出变化与输入变化 1:1。图 8 中的实线 2 为采用软倍率补偿后的 LED 读数与测量间隙 S 的曲线。从图 8 可以看出,气动测量系统实际差压气路特性曲线与理论特性曲线一样有粘性部、直线部、过渡部。直线部大致位于特性曲线中间部分,基本呈直线状的曲线,这一段通过单片机软倍率补偿后适合用来测量。

4 结束语

基于气动测量技术和内孔珩磨加工技术,集微电子、计算机、信息处理、无线数据传输等高新技术于一体,结合内孔珩磨尺寸在线测量的特点,以气动测量技术为代表的在线测量技术应用于传统制造产业,为内孔珩磨加工提供了一套完整的尺寸测量解决方案。

参 考 文 献

- 1 Jim Lorincz. CNC honing makes production agile[J]. Tooling & Production, 2003(2): 32~34.
- 2 杨立. 内孔珩磨工艺与内孔珩磨质量的分析与研究[D]. 天津:天津大学, 2002.
Yang Li. Analysis and research of honing processing and quality for inner-hole [D]. Tianjin: Tianjin University, 2002. (in Chinese)
- 3 李学海. 内孔珩磨自动测量系统[J]. 机床,1986(8): 29~31.
Li Xuehai. Automatic measuring system for honing of inner-hole[J]. Tools,1986(8): 29~31. (in Chinese)
- 4 朱正德. 自动测量技术在孔珩磨中的应用[J]. 江苏机械制造与自动化,1998(4):17~22.
Zhu Zhengde. Application of automatic measuring technology in the honing of inner-hole [J]. Jiangsu Mechanical Manufacture and Automation,1998(4):17~22. (in Chinese)
- 5 刘玉初. 气动量仪[M]. 北京:机械工业出版社, 1991.

- 6 Hu Xiaoping, Yu Baohua. Analysis of the characteristic curve in the backpressure gas path based on MATLAB[J]. China Mechanical Engineering, 2006,17(17): 1 790~1 792,1 841.
- 7 Hui Z, Shan C, Shanxi D, et al. Ultra-precision air-pin sensor and its dynamic characteristic research[C]//Proceedings of the 41th SICE Annual Conference, 2002(4): 2 150~2 154.
- 8 Kossel M, Leuchtman P, Rufenacht J. Traceable correction method for complex reflection coefficient using calculable air line impedance standards[J]. Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on, 2004,53(2): 398~405.
- 9 Rucki M. Air gauge adjustment uncertainty reduction[C]//Advanced Methods for Uncertainty Estimation in Measurement, 2007 IEEE International Workshop on, 2006: 16~19.
- 10 Xie Tuqiang, Yang Qingping. Theoretical and experimental studies of a novel cone-jet sensor[J]. Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on,2001, 50(5): 1 081~1 084.
- 11 于保华. 数控内孔珩磨机在线主动测量系统基础研究[D]. 杭州:杭州电子科技大学, 2006.
Yu Baohua. Basic research for on-line active measuring system in numerical-control honing machine for inner-hole[D]. Hangzhou: Hangzhou Dianzi University, 2006. (in Chinese)
- 12 朱庆保. 一种新型智能气动测微仪的研究[J]. 仪器仪表学报,2000, 21(2): 191~193.
Zhu Qingbao. Research of a new intelligent pneumatic micro measuring instrument[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2000, 21(2): 191~193. (in Chinese)
- 13 王广林, 陶崇德. 单片机控制气动数显测量仪[J]. 哈尔滨理工大学学报,1997, 2(3): 13~17.
Wang Guanglin, Tao Chongde. Pneumatic numerical measuring gauge controlled by microcontroller[J]. Journal of Harbin University of Science and Technology,1997, 2(3): 13~17. (in Chinese)
- 14 李治龙, 曾碧. nRF905 模块和 SPI 接口的点对点无线通信系统[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2006(10): 20~22.
Li Zhilong, Zeng Bi. Point to point wireless communication system for nRF905 module and SPI connection [J]. Microcontrollers & Embedded Systems,2006(10): 20~22. (in Chinese)

~~~~~

(上接第 147 页)

- 6 祝诗平. 人工神经网络 NIR 定量分析方法及其软件实现[J]. 农业机械学报,2007,38(1):108~111.  
Zhu Shiping. NIR quantitative analysis method based on artificial neural network and its software implementation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(1): 108~111. (in Chinese)
- 7 高荣强, 范世福, 严衍禄, 等. 近红外光谱的数据预处理研究[J]. 光谱学与光谱分析,2004,24(12):1 563~1 565.  
Gao Rongqiang, Fan Shifu, Yan Yanlu, et al. Preprocessing of near infrared spectroscopic data[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2004, 24(12): 1 563~1 565. (in Chinese)
- 8 谢新华, 肖昕, 李晓方, 等. 单粒糙米蛋白质含量的近红外分析数学模型[J]. 农业机械学报,2006,37(8):120~122.  
Xie Xinhua, Xiao Xin, Li Xiaofang, et al. Mathematic models for analyzing protein content in single brown rice with near infrared spectroscopy[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(8): 120~122. (in Chinese)
- 9 王卫东, 谷运红, 秦广雍, 等. 近红外漫反射光谱法测定整粒小麦单株蛋白质含量[J]. 光谱学与光谱分析,2007, 27(4):697~701.  
Wang Weidong, Gu Yunhong, Qin Guangyong, et al. Prediction of protein content of intact wheat seeds with near infrared reflectance spectroscopy (NIRS)[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2007, 27(4): 697~701. (in Chinese)
- 10 任露泉. 试验优化设计与分析[M]. 北京:高等教育出版社,2003.
- 11 李君霞, 闵顺耕, 张洪亮, 等. 水稻糙米粗蛋白近红外光谱定量分析模型的优化研究[J]. 光谱学与光谱分析,2006, 26(5):833~837.
- 12 苏均和. 试验设计[M]. 上海:上海财经大学出版社,2005.
- 13 朱荣光, 韩鲁佳, 杨增玲, 等. 近红外反射光谱分析技术快速检测复合化学肥料中肉骨粉含量的研究[J]. 红外与毫米波学报,2006,25(4):267~270.