

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.03.010

圆筒砂轮磨损量自动测量与补偿装置设计

汤漾平, 陈 砚, 冯清秀, 周 灿

(华中科技大学 机械科学与工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 针对龙门立式平面磨床在磨削过程中因其圆筒砂轮磨损导致磨削精度降低的问题,设计了一套新型的磨损量自动测量装置,该装置通过对已加工工件表面的在位测量获得砂轮磨损量并将其传输给数控系统实现了砂轮磨损补偿,在分析砂轮磨损过程和特征基础上,提出了获取砂轮磨损量的分析方法,对该测量装置的工作原理、机械结构、硬件设计、软件功能和使用场合进行了详细的说明。研究结果证明,该装置可以较好地实现圆筒砂轮磨损量的自动测量,并可以对加工平面直线度误差进行精确测量,砂轮磨损量测量精度达到0.009 mm,直线度测量精度达0.008 mm/100 mm,为砂轮磨损补偿和评价加工精度提供了测量数据,显著提高了磨削精度和加工效率。

关键词: 圆筒砂轮; 在位测量; 磨损补偿; 直线度误差

中图分类号: TH39; TH703; TH86

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2013)03-0292-04

Design of automatic measurement and compensation unit of abrasion value for cylindrical grinding wheel

TANG Yang-ping, CHEN Yan, FENG Qing-xiu, ZHOU Can

(School of Mechanical Science & Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Aiming at decreasing the effect of the abrasion value of the cylindrical grinding wheel of the gantry vertical plane grinder acting on the processing accuracy of the large flat, an reign measurement device was developed based on the analysis of the characteristics and process of the wheel wear. The working principle, mechanical structure, hardware design, software functions and the applicable occasions of the measuring device were presented in detail. The experimental results indicate that not only the automatic measurement of the abrasion value of the cylindrical grinding wheel is realized by the reign measurement device, but also the straightness error of the processed plane precisely. Its measurement accuracy for abrasion value achieves 0.009 mm and for straightness error is 0.008 mm/100 mm. It could provide measurement data for wheel wear compensation, improve the process accuracy and efficiency.

Key words: cylindrical grinding wheel; reign measurement; compensation for wheel wear; straightness error

0 引 言

磨床在磨削过程中,砂轮不可避免地会产生磨损。砂轮磨损后,不但会影响加工精度,也会恶化加工条件。为了保证加工精度,研究者需要及时地对砂轮的磨损量进行检测和补偿。但由于砂轮的磨损量小,磨损不均匀,受砂轮表面磨粒的非均匀分布及堵塞的影响,砂轮磨损量的高精度测量困难重重。常用的砂轮磨损量检测方法有滚动复印法、触针法、光截法、光反射法、光电自动测量法、电镜观察法、激光功

率谱测量法、计算机像处理法等^[1-7]。滚动复印法测量效率低,需要人工操作分析,不能用于自动测量;光截法主要用于观察磨粒形状及其变动情况,电镜观察法便于对磨削磨损部位、形式及其机理进行微观研究,光反射法主要用于磨损面积率测量,以上3种方法均用于砂轮磨损特征研究,使用条件要求高,不适合加工现场;激光功率谱法可以用于在线检测砂轮工作表面的磨料棱面磨损宽度、磨耗面积及磨粒切刃数,声检测法主要用于砂轮磨钝判断,均不能检测出砂轮径向或轴向磨损量;光电自动测量法可以用于实现对砂

收稿日期: 2012-09-04

作者简介: 汤漾平(1954-),男,湖南湘潭人,教授,硕士生导师,主要从事机电一体化方面的研究. E-mail:typ2913@163.com

轮工作面后磨粒的跟踪检测,但装置费用高;而且由于立式磨削过程中砂轮工作面与工件表面完全接触,以上方法均不适用。触针法可以用于直接测量砂轮的磨损量,作为一种经济性好、测量精度高的测量方法可应用于磨削现场,但由于触针直接与砂轮接触,磨损快,影响了测量精度和测量装置的使用寿命。

针对这种情况,本研究结合立式圆筒砂轮磨削的研究,基于在位测量原理设计一种精确测量立式圆筒砂轮磨损量装置,采用激光传感器实现非接触式测量。

1 圆筒砂轮磨损量的检测原理

立式磨床在使用圆筒砂轮端面磨削大平面时,为避免磨削烧伤,研究者常选用硬度较低的砂轮^[8],因而圆筒砂轮的磨损较快。圆筒砂轮的轴向磨损是造成磨削加工误差的主要因素,故需对砂轮轴向磨损量及时测量并进行相应的补偿。

在不考虑其他因素对加工精度的影响时,砂轮磨损示意图如图1所示,在圆筒砂轮磨削平面过程中,砂轮的轴向(Z向)磨损会导致工件在Z向的加工误差,砂轮的轴向磨损量 Δ 最终复印到工件上。研究者通过测量装置精确测出工件Z向的加工误差,就可以为砂轮磨损补偿提供数据。

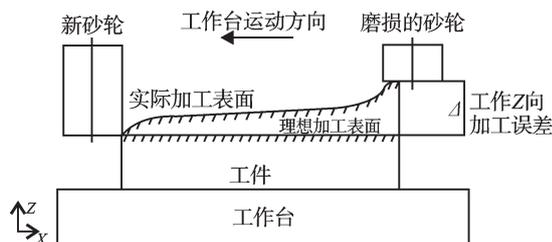


图1 砂轮磨损示意图

工件测量常用的测量方式有离线测量、在位测量和在线测量;离线检测效率低,存在由定位基准变化所带来的误差;由于受磨削过程中磨削热、切削液和磨屑的影响,实现砂轮磨损量的实时在线测量非常困难;而在位测量可免除离线测量时由于定位基准所带来的误差,效率相对较高,不受工件尺寸影响,其结果更接近于实际加工情况。基于以上分析,针对平面磨削(端面磨)的特点,本研究提出一种基于在位测量原理^[9-11]的砂轮磨损量测量方法,即通过检测已加工表面在圆筒砂轮轴向(Z向)上的尺寸变动量,间接实现砂轮磨损量的测量,为砂轮磨损补偿提供数据。同时如果Z向的尺寸变动量超出了加工误差允许的范围,则研究者在完成砂轮磨损补偿后需对工件进行补偿加工,直至加工误差满足要求。

2 数据采集与分析

数据采集时,沿工件移动方向(X向) n 个相等跨

距取得 $n+1$ 个采样点,得到它们相对于测量基准的变动值 (x_i, z_i) , x_i 为采样点在X向的坐标, z_i 为采样点相对测量基准的变动值($i=1,2,3,\dots,n$)。该装置采用已加工表面的直线度误差评定磨削加工误差是否满足要求,由于直线度的测量精度与采样点数有关^[12],研究者需通过实验测得最佳单位距离内的采样点数。

在对测量装置采集到的数据预处理后,数据处理的关键任务是提取砂轮磨损量和加工表面的直线度误差。在金属磨削中,砂轮的磨损过程可分为3个阶段^[2]:初期磨损阶段、第2磨损阶段(正常磨损阶段)和第3磨损阶段(急剧磨损阶段)。初级磨损阶段时间较短,一般磨削在达到急剧磨损阶段之前砂轮就需要重新修整,砂轮主要工作在正常磨损阶段,该阶段主要为磨耗磨损,磨损曲线较平稳,斜率较小,基本为直线。由于工件在砂轮轴向的尺寸变动量主要与砂轮磨损量相关,本研究可采用最小二乘法对采集到的数据进行拟合,最小二乘拟合直线^[13]为:

$$\bar{z}_i = ax_i + b \quad (1)$$

式中: a, b —确定最小二乘直线的系数。

其中:

$$a = \frac{(n+1)\sum x_i z_i - \sum x_i \sum z_i}{(n+1)\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (2)$$

$$b = \frac{\sum z_i \sum x_i^2 - \sum x_i \sum x_i z_i}{(n+1)\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (3)$$

根据最小二乘拟合直线求得的工件在砂轮轴向的最大尺寸变动量 $\Delta \bar{z}_{\max}$ 作为砂轮的磨损量:

$$\Delta \bar{z}_{\max} = \bar{z}_n - \bar{z}_1 = a(x_n - x_1) \quad (4)$$

直线度误差评定的方法有多种^[14],该装置采用最小二乘法拟合的直线作为评定基线,直线度误差计算方法为:求出每个采样点的 z_i 值与对应的最小二乘直线上 \bar{z}_i 值的差值 Δz_i ,找出最小二乘直线上 Δz_i 的绝对值最大的两个点,这两个点的 Δz_i 的绝对值之和即为直线度误差。

3 在位测量装置设计

该测量装置采用非接触测量方式,主要由高精度激光位移传感器、精密伺服定位机构、工控机、数控系统和测量软件组成,系统原理图如图2所示。

测量开始前,在位测量软件根据已加工路径规划测量路径,对已加工表面进行测量。测量时,精密定位装置先驱动传感器到设定位置,然后机床工作台驱动机构驱动工作台带动工件运动,高精度激光位移传感器对工件已加工表面进行数据采集并将采集到的数据通过串口传输至工控机。测量结束后由测量软

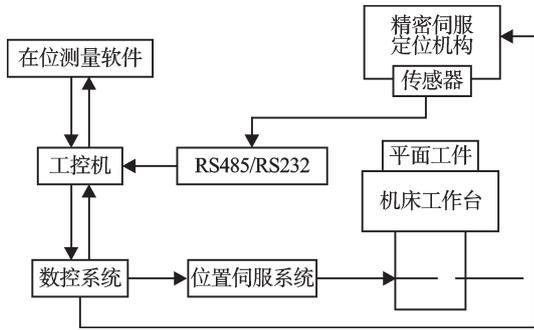


图2 测量系统原理图

件进行数据分析,计算砂轮磨损量和直线度误差,决定是否进行砂轮磨损补偿和补偿加工。

3.1 测量装置机械结构部分

龙门磨床的主运动轴有3个:工作台的运动X轴,磨头的上下进给运动Z轴和磨头在横梁上的运动Y轴,示意图如图3所示,各轴独立运动。磨损量测量装置装在立式龙门磨床的磨头上。为避免加装测量装置后磨头的重心偏置,影响加工精度,本研究在磨头的另一侧(测量装置对立面)添加配重。激光探头位置的微调整由伺服机构实现,伺服机构由AC伺服电机、同步带减速机构、高精度滚珠丝杠螺母副和光栅尺组成,激光探头紧固在直线滚珠轴承的动滑块上,其位置由光栅尺反馈给数控系统完成闭环控制,实现高精度定位。测量时,龙门磨床Z轴位置不变,定位装置驱动激光传感器到达设定位置,然后根据规划轨迹驱动工作台带动工件运动,同时传感器对加工表面进行测量,测量完成后激光探头复位,磨床继续补偿加工或下一步加工。

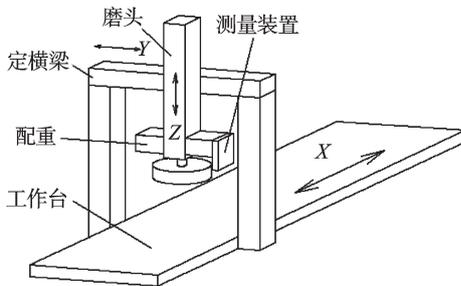


图3 立式龙门磨床示意图

此外,在测量过程中本研究需要对工件上的磨削液和磨屑进行清理,同时为防止加工中的磨削液和磨屑污染测头,在激光探头的前屏板上,开有检测光束和压缩空气的专用孔道。

3.2 测量装置硬件电路设计

立式龙门磨床采用工业PC内藏CNC的开放式数控系统^[15],系统硬件设计是在工业PC机的扩展槽中插入运动控制卡,运动控制卡负责整个系统的实时运动控制。运动控制卡型号为固高GTS-800-PV-PCI型^[16],可以同时进行8个轴的闭环控制,其中一个位置

控制通道用于控制测量装置传感器的精确定位。测量装置控制通道硬件接线图主要部分如图4所示:运动控制卡获得光栅尺反馈的位移脉冲信号,形成全闭环,完成精确的位置控制。

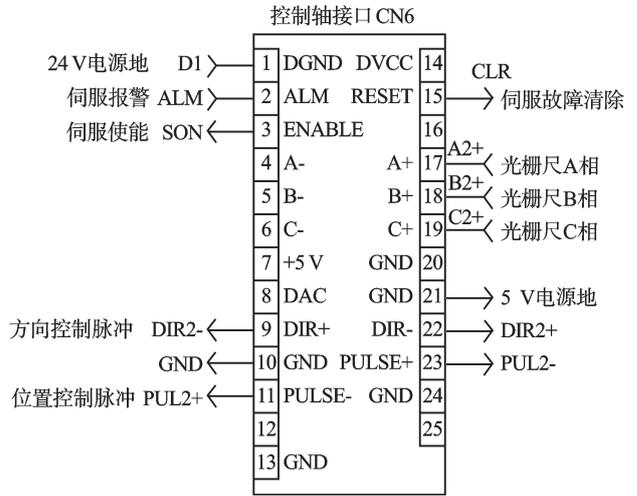


图4 运动控制卡测量装置控制通道硬件电路原理图

本研究选用贝特威PO-10型高精度激光位移传感器^[17],该传感器能在恶劣条件下工作,不受被测物颜色影响。本研究采用了高分辨率的CCD线性相机和DSP数字信号处理器,将测量信号转化为单一的数字信号进行传输和处理,测量范围为51 mm~61 mm,分辨率为0.2 μm,重复精度为4.5 μm,线性度为7 μm,测量频率最大为4 kHz。其输出接口为串口RS485或模拟量输出4 mA~20 mA,采用串口RS485输出时可直接与PC相连。该装置中传感器采用RS485输出,经RS485转RS232模块直接与工控机相连,将采集数据实时传输采集给工控机,由测量软件进行处理。

3.3 测量装置软件功能设计

在位测量装置作为龙门立式平面磨床的一个辅助装置,其功能是对已加工表面进行在位测量,获得磨削平面的尺寸误差和直线度误差,并评价加工结果,为补偿加工提供测量数据支持。因此测量装置软件的功能包括:测量轨迹规划、工件运动控制、传感器精确定位控制、数据采集、采集数据显示、数据处理、输出砂轮磨损量和磨削平面直线度、测量装置状态监测。程序工作流程图如图5所示。

测量轨迹规划功能是指从数控加工代码中获得工件的起始加工位置和终止加工位置;工件运动控制功能是指控制测量时工件的移动速度,以控制单位长度内的采样点数;传感器精确定位控制功能是指使传感器准确进入设定位置;数据采集、数据处理与显示是指输出砂轮磨损量和加工结果,为补偿加工提供数据;状态监控功能包括激光探头的工作状态监测、伺服驱动器的工作状态监测和气阀的工作状态监测。

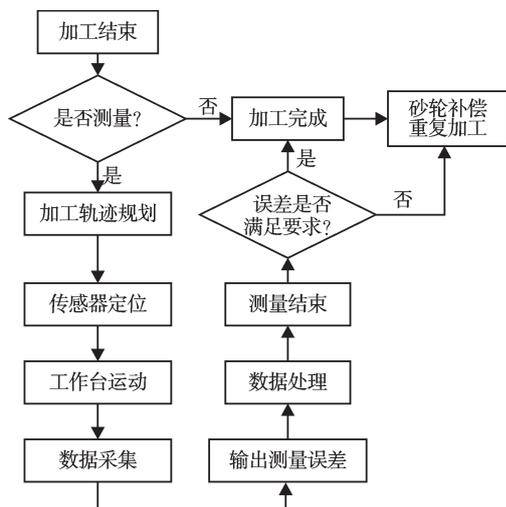


图5 程序工作流程图

4 测量装置误差分析

4.1 测量原理误差

无论采用哪种加工方法,都存在加工误差,如机床运动误差、工具形状误差、加工力和热变形误差等,加工误差是多种原因综合导致的,刀具磨损是导致加工误差的一个因素,因此该装置通过测量加工误差的方法获得砂轮磨损量时存在测量原理误差^[18]。

一方面,在不考虑其他因素时,由于砂轮磨损的增加、砂轮磨削力的变化,砂轮的弹性变形量发生变化^[19]。而初始磨削时砂轮的弹性变形量大于退出磨削时的弹性变形量,导致测得的已加工表面的 Z 向尺寸变动量大于实际砂轮磨损量。另一方面,在位测量多用于超精密加工,不考虑刀具的磨损。而该装置用于测量由刀具磨损导致的加工误差,适用于刀具磨损是产生加工误差的主要因素的情况,对由其他因素导致的加工误差没有识别能力,存在测量盲区。但是测量装置实现了对直线度误差的测量,可以评定加工结果。测量原理误差可以通过实验来测得。

4.2 测量装置误差

该测量装置由机械装置、传感器、硬件电路、软件程序组成。机械装置产生的误差主要包括磨床 X 轴导轨在垂直面上的直线度误差 Δ_1 、测量装置精密定位机构的定位误差 Δ_2 和传感器固定误差 Δ_3 ;传感器本身存在测量误差 Δ_4 ,软件程序存在运算舍入误差 Δ_5 。硬件电路负责传输信号和控制,没有误差;已知 $\Delta_1 = 10 \mu\text{m}/250 \text{mm}$, $\Delta_2 = \pm 1 \mu\text{m}$, $\Delta_3 = \pm 1 \mu\text{m}$, $\Delta_4 = 4.5 \mu\text{m}$, $\Delta_5 = \pm 0.001\%$ 。

5 结束语

本研究在自研的龙门立式导轨磨床上使用了磨削量自动测量装置,该装置使得砂轮磨损量测量精度

达到 0.009mm ,直线度测量精度 $0.008 \text{mm}/100 \text{mm}$ 。基于在位测量原理,该测量装置对已加工表面进行自动测量,在提高精度的同时,保证了加工效率,适用于刀具磨损为加工误差主要因素的情况。该测量装置可以为砂轮磨损补偿提供测量数据,通过获取已加工表面直线度误差评定加工精度,在提高磨削精度和磨削效率上有实际应用价值。

参考文献(References):

- [1] 赵波,李清. 磨料、磨具与磨削技术[M]. 北京:化学工业出版社,2009.
- [2] 杨勇生,王珉. 激光功率谱检测砂轮磨损的若干技术问题[J]. 航空精密制造技术,1997,33(1):39-42.
- [3] 巩亚东,王宛山. 声发射技术在磨削加工监测中的应用[J]. 机械工程师,2001,4(3):4-6.
- [4] WAN D P, HU D J, WU Q. Online grinding wheel wear compensation by image based measuring techniques [J]. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2006, 19(4):509-513.
- [5] 肖德朗. 砂轮磨损的监测[J]. 磨床与磨削,1996(4):49-52.
- [6] 严文浩. 砂轮磨损的测量[J]. 磨料磨具与磨削,1987,39(3):43-47.
- [7] 孔振,冯虎田,陶卫军. 砂轮在线监测技术及发展趋势[J]. 机床与液压,2010,38(24):92-94.
- [8] 李旦,韩荣第. 机械制造技术基础[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2009.
- [9] 郭隐彪,杨炜,王振忠. 磨削加工工艺及应用[M]. 北京:国防工业出版社,2010.
- [10] 陈逢军,尹韶辉. 一种超精密非球面在位测量方法[J]. 激光与光电子学进展,2012,49(7):1-4.
- [11] KOHNO T, MATSUMOTO D, YAZAWA T, et al. Radial shearing interferometer for in-process measurement of diamond turning [J]. *Optical Engineering*, 2000, 39(10):2696-2699.
- [12] 黄富贵,郑育军. 直线度误差测量采样方案的研究[J]. 工具技术,2007,41(10):95-98.
- [13] 解同信. 最小二乘法求拟合直线[J]. 北京工业职业技术学院学报,2006,5(3):5-7.
- [14] 李亚军,郑志刚. 直线度误差的数据处理及程序设计[J]. 中国测试技术,2007,33(3):67-69.
- [15] 赵春红,秦现生,唐虹. 基于PC的开放式数控系统研究[J]. 机械科学与技术,2005,24(9):1108-1113.
- [16] 固高科技. GTS-800-PV-PCI运动控制器用户手册[K]. 固高科技,2001.
- [17] 冯俊艳,冯其波,匡萃方. 高精度激光三角位移传感器的技术现状[J]. 应用光学,2004,25(3):33-36.
- [18] 田钱军,李伟. 化学渗浸砂轮磨削性能的实验研究[J]. 轻工机械,2011,29(5):38-40.
- [19] 陶晓杰. 砂轮弹性变形的研究[J]. 机械设计与制造,2002(3):118-119.