

基于 MSP430 的轴承卷边机控制系统设计

鲍官军, 王志恒, 寿华梁, 高峰, 杨庆华

(浙江工业大学 机械制造及自动化教育部重点实验室, 浙江 杭州 310032)

摘要: 设计了以 MSP430F149 为核心的轴承卷边机的控制系统, 包括硬件结构和系统软件设计. 该控制系统采用光栅尺作为扣压机构位移信号传感器, 同时配套使用专用正交解码/可逆计数芯片 HCTL-2017 倍频解码光栅尺的检测信号, 最大限度减小系统误差, 提高轴承卷边扣压控制精度; 系统通过气动电磁阀控制主轴驱动机构的气动卡盘, 并与扣压机构协调操作. 60 次重复性实验表明: 该控制系统的重复性位移偏差小于 $5.5 \mu\text{m}$.

关键词: 轴承卷边机; MSP430F149 单片机; 光栅尺; HCTL-2017

中图分类号: TP277

文献标识码: A

文章编号: 1006-4303(2009)06-0648-05

Control system for bearing edge-roller based on MSP430

BAO Guan-jun, WANG Zhi-heng, SHOU Hua-liang, GAO Feng, YANG Qing-hua

(The MOE Key Laboratory of Mechanical Manufacture and Automation, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310032, China)

Abstract: The control system of bearing edge-roller, which includes hardware architecture and software program, is designed by using MSP430F149 microchip as the processing core. The control system adopts linear optical encoder as displacement sensor for the withholding mechanism. The orthogonal decoding and reversible chip HCTL-2017 is exploited to detect the multi frequency signal of the linear optical encoder, which can greatly reduce the system error and enhance the withholding control precision. Through pneumatic solenoid valve, the system controls the pneumatic chuck of the main shaft driving mechanism, which is also synchronous with the withholding mechanism. Sixty times repetitive experiments show that the deviation of the designed control system is less than $5.5 \mu\text{m}$.

Key words: bearing edge-roller; MSP430F149 microchip; grating scale; HCTL-2017

0 引言

缩口卷边是推力轴承加工的最后道工序, 用以固定轴承的轴圈位置. 轴承卷边机通过一套有效的装置对推力轴承实施卷边操作, 其自动化程度以及控制精度将直接影响到轴承卷边工艺的生产效率、加工精度等, 从而进一步影响到产品的最终质量

和成本. 目前, 国内许多中小轴承生产企业所使用的轴承卷边机, 存在以下几个缺陷: (1) 自动化程度低, 每一次卷边都是靠工人观察扣压量的多少, 因此加工效率低, 产品质量参差不齐, 且加工精度无法保证; (2) 扣压装置采用液压缸驱动, 从而导致整个机器体积庞大, 液压油液泄露污染环境; (3) 轴承夹具过于简单, 加工同心度无法保证, 从而影响了轴承的加工精度. 相比国外, 比如德国进口轴承卷边机, 其

收稿日期: 2008-11-03

作者简介: 鲍官军(1979—), 男, 安徽寿县人, 副教授, 博士, 研究方向为机器人技术与控制、机电系统控制以及机器视觉等.

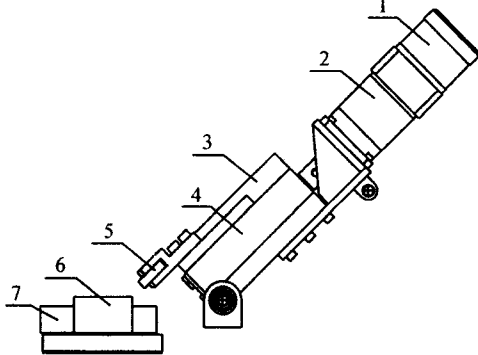
自动化程度高,加工精度可靠,但是价格昂贵,国内大多中小企业难以承受.

笔者研制了基于 MSP430 单片机的轴承卷边机控制系统.该系统采用步进电机驱动扣压装置实施卷边,采用气动三爪卡盘装夹轴承;同时以单片机为核心,光栅尺为位移传感器,配套正交解码专用计数芯片 HCTL-2017 对光栅信号进行处理.该系统具有控制精度高,结构简单,工作稳定,体积小等优点.

1 控制方案概述

轴承类型不同,卷边扣压精度要求也不一样,一般精度要求达到±0.05 mm.工业应用环境往往噪声很大,这样的控制精度要求位移传感器精度高,且抗干扰性强.笔者采用光栅尺作为位移检测传感器,其输出信号为数字量,不受温度、时间的影响,抗干扰性强,测量精度取决于光栅刻线的准确性,能够动态而且高精度地测量直线位移^[1].采用步进电机驱动扣压装置,可以减小整个卷边机的体积.为了保证轴承装夹的同轴度,以及提高机器的生产效率,采用气动三爪卡盘,控制器通过电磁阀对其进行开闭控制.

轴承卷边机的主要被控制对象结构如图 1 所示.推力轴承固定在气动三爪卡盘上,三相异步电机通过减速器带动气动三爪卡盘转动.轴承卷边机卷边过程如下:步进电机经过减速器增大扭矩,通过螺旋传动机构将步进电机的转动转换为压头的直线运动,从而实现轴承卷边扣压动作;光栅尺的动尺和压头固定连接,对压头的位置信号进行实时监测;由于直接对压头位置进行检测,从而可以消除螺纹传动的回程误差、以及由于步进电机的丢步、振动而带来的随机误差,因此控制精度可以得到很大的提高.



1-步进电机;2-减速器;3-光栅尺;4-导轨;5-压头;6-轴承;7-气动三爪卡盘

图 1 被控对象结构简图

Fig.1 Sketch of controlling object

2 控制系统硬件设计

轴承卷边机的控制系统主要包括:压头位置信号的检测模块;步进电机驱动、气动卡盘开闭以及三相异步电机启/停执行模块;压头位移量实时显示以及键盘输入四大模块.控制系统结构框图如图 2 所示.其中,键盘输入与 LCD 显示模块硬件相对简单,这里不再详述.

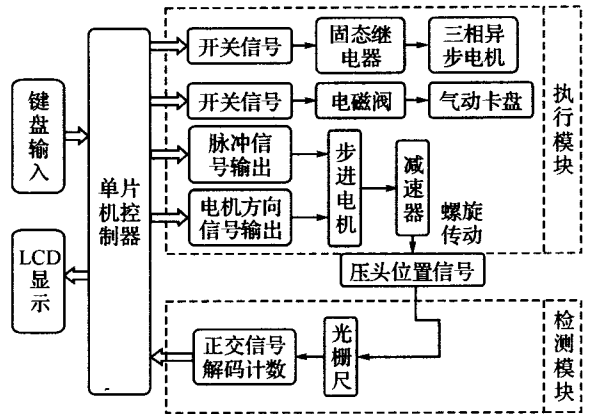


图 2 控制系统结构框图

Fig.2 Diagram of control system

2.1 单片机控制器选择

轴承卷边机控制精度要求很高,因此对控制器的运算速度有较高的要求,根据控制要求以及节省成本考虑,本系统采用德州仪器(TI)公司推出的低功耗系列单片机 MSP430F149 作为控制器,能够较好地满足系统的要求.

MSP430F149 单片机摒弃了传统的数据线地址线访问外设的设计思路,将各种外围资源集成在片上,实现了片上系统,大大简化了系统的设计^[2-3].MSP430F149 单片机主要技术指标如下:工作电压 1.8~3.6 V;指令周期 125 ns;FLASH ROM 容量 60 kB;RAM 容量 2 kB;2 个 16 位定时器 TimerA 和 TimerB,可以直接输出 PWM(脉宽调制)信号,没有软件带来的误差;JTAG 接口可以实现实时在线调试.

MSP430 系列单片机采用 3.3 V 供电,控制系统的其他芯片采用 5 V 供电,因此芯片引脚间不能直接相连接,需要进行电平转换.笔者采用 74LVC4245 作为 5 V 和 3.3 V 转换芯片,74LVC4245 是一种双向电平转换芯片,其他芯片通过 74LVC4245 与 MSP430F149 相连.

2.2 位移信号检测电路

本系统采用光栅尺作为位移传感器. 光栅尺是一种光电编码器, 将位移信号转换为脉冲信号, 其采集的信号具有连续性好, 抗干扰性强, 便于分析处理等优点, 可以满足系统控制精度的要求. 本系统采用的光栅尺, 具体接口参数如下:

(1) 输出两路正交脉冲信号 A 和 B, 如图 3 所示, 两路波相差 90°, 假定 A 波信号超前 B 波信号 90°时, 卷边机压头正向运动时; 反之当 B 波信号超前 A 波信号 90°时, 卷边机压头反向运动.

- (2) 光栅尺有效行程为 150 mm.
- (3) 光栅尺精度为 4 μm, 即 250 个脉冲/mm.

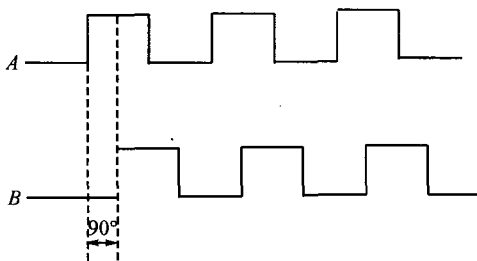


图 3 光栅输出正交脉冲信号波形

Fig. 3 Orthogonal pulse waveform of raster

压头位移量的检测是整个轴承卷边机控制的关键, 其准确性直接影响控制重复精度, 因此笔者采用正交解码与可逆计数专用芯片 HCTL-2017 对光栅

位移信号进行计数. HCTL-2017 具有以下特点^[4-6]: (1) 高抗噪声能力, 内部集成数字滤波器可以消除由于抖动等带来的误差; (2) 可逆计数; (3) 4 倍乘解码器, 输入信号 4 倍频, 分辨率得到改善; (4) 16 位高精度计数; (5) 工作时钟频率高达 14 MHz.

由于工作现场的干扰信号使得光栅尺输出波形失真, 故将脉冲信号通过 74HCT14 施密特触发器以及 RC 滤波整形后再送入解码计数芯片 HCTL-2017. HCTL-2017 可以将光栅尺输出的正交信号转换成数字信号送入单片机控制器处理, 如图 4 所示. 具体的工作过程如下: 光栅尺输出正交信号通过引脚 CHA 和 CHB 送入 HCTL-2017, 经过一个数字滤波器, 将低压噪声(小于 1 V)和噪声尖峰(短于 3 个时钟周期的脉冲)消除, 然后信号送入 4X 解码器进行细分解码, 同时判断是加计数还是减计数, 再将信号送入一个 16 位的二进制计数器进行计数. 由于输出端只有 8 位, 因此必须通过 SEL 和 OE 引脚选择要输出的高 8 位和低 8 位. HCTL-2017 对光栅信号 4 倍频解码计数后, 光栅尺测量精度从 250 个脉冲/mm 增加到 1 000 个脉冲/mm, 从而控制精度提高 4 倍.

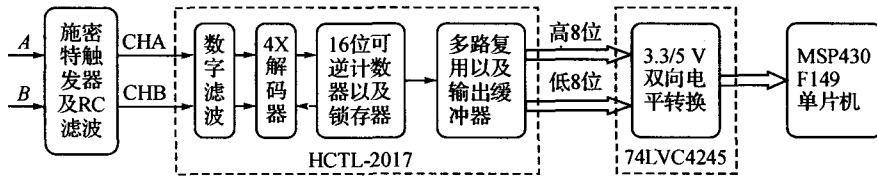


图 4 位移信号检测处理流程

Fig. 4 Displacement detect and process flow

2.3 轴承卷边机执行部分

为了提高轴承装夹的同心度, 选用三爪卡盘. 每一次轴承卷边过程时间很短, 周期大约为 4 s, 传统的卡盘显然不能满足生产效率, 因此本系统中选用气动三爪卡盘, 单片机通过电磁阀控制卡盘的开关, 可以实现轴承装夹自动化. 控制器通过固态继电器 SSR 控制与卡盘相连接的三相异步电机的启停.

本系统卷边扣压的执行电机选用步进电机, 同时配套使用步进电机驱动器. HCTL-2017 通过光栅尺光电编码把压头位置信号转换成数字量, 送入处理器. MSP430F149 根据相应的控制算法, 得到数字控制量, 即给定电机转动方向, 同时产生脉宽调制信号(PWM)控制步进电机转动. 系统 PWM 输出频率可以任意改变, 实现步进电机在转速极限范围内的无级调速.

3 控制系统软件设计

轴承卷边机控制系统软件设计主要采用模块化设计, 按照功能分为若干子程序, 包括位移数据采集及处理子程序、步进电机驱动子程序、键盘输入管理子程序、LCD 显示子程序、电磁阀开关控制子程序以及三相异步电机启/停子程序等. 为了消除由于机械误差、电机抖动以及机器振动等因素带来的系统误差, 系统直接对压头位移信号进行检测. 压头位移数据采集处理子程序决定了其他子程序的调用顺序, 是整个软件设计的基础. 整个软件设计思路如下:

(1) 轴承实际加工时, 轴承的类型不同, 其扣压量也不同, 因此每更换一种类型的轴承就要重新通

过按键设定其扣压量。

(2) 扣压量进行设定时,应采用手动设置,设定完成后,如轴承类型不更换,则采用自动加工。

(3) 为了减小运行时间,压头空行程时,步进电机应快速转动,提高压头运动速度;当压头扣压卷边时,步进电机转速要慢,而且保持平稳。软件设计时,控制器产生的脉宽调制信号(PWM)频率要根据压头运行速度要求设定,尽量避免跳变,保持电机转速的平稳。

整个软件流程图如图 5 所示。图中可以看到系统软件采用柔性设计,当更换轴承类型时,需要手动设定一次位移量;设定完成后,位移数据存入单片机 ROM 中,轴承类型不变时,可以通过自动按钮实现自动化操作,位置以首次设定值为基准。

4 实验数据及分析

单个轴承的卷边加工由人工手动控制,或通过键盘输入卷边参数由控制器自动完成加工任务,由于经过倍频后的光栅尺精度可达 $1\ \mu\text{m}$,故可以满足轴承卷边尺寸精度要求(一般精度要求达到 $\pm 0.05\ \text{mm}$)。

但在进行批量轴承卷边作业过程中,还需要考虑自动加工的重复精度,以保证同一批卷边的轴承尺寸误差满足给定的技术指标要求。用千分表实测轴承卷边机压头顶端在接近轴承时的位移量以考察其重复性运动精度,实验数据如表 1 所示,实验照片如图 6 所示。

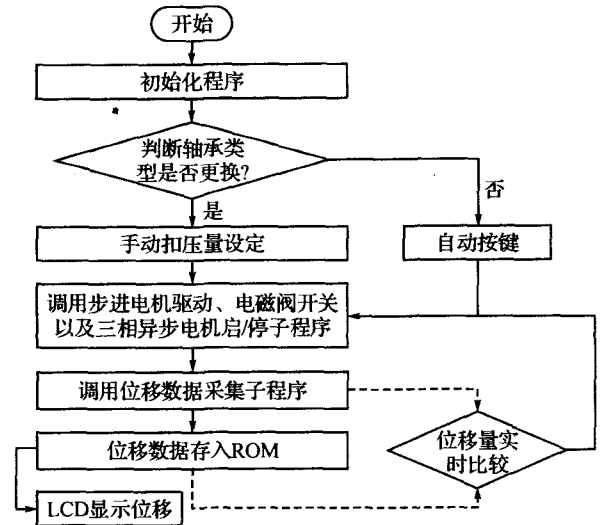


图 5 主程序流程图

Fig. 5 Flow chart of the main program

表 1 轴承卷边机重复性实验数据

Table 1 Repeated experiments data of bearing edge-roller

次数	数值/ μm	次数	数值/ μm	次数	数值/ μm	次数	数值/ μm	次数	数值/ μm	次数	数值/ μm
1	63.0	11	65.5	21	64.0	31	63.0	41	62.5	51	62.0
2	64.0	12	65.0	22	64.0	32	63.0	42	62.5	52	61.5
3	65.5	13	65.0	23	64.0	33	63.0	43	62.5	53	62.0
4	66.0	14	65.0	24	64.0	34	62.0	44	63.0	54	61.5
5	66.0	15	64.5	25	63.5	35	63.0	45	62.5	55	60.5
6	66.0	16	64.5	26	63.5	36	63.0	46	62.0	56	60.5
7	65.5	17	64.5	27	64.0	37	63.0	47	62.0	57	62.0
8	65.0	18	64.0	28	63.5	38	62.0	48	62.0	58	62.0
9	65.0	19	64.5	29	62.5	39	62.5	49	62.0	59	61.5
10	64.5	20	63.5	30	63.0	40	62.5	50	61.5	60	61.0



图 6 重复性实验照片

Fig. 6 Photo of repeated experiments

60 次的重复性实验结果中,轴承卷边机压头行程最大偏差为 $5.5\ \mu\text{m}$;并且压头位移偏差具有随机性,即不会单向累加以至于重复次数达到一定值时超出加工精度的允许误差范围;采用闭环控制,消除了螺旋传动的间隙、电机丢步、振动等引起的误差,不影响整机的重复精度。

5 结 论

(1) 目前,国内轴承加工企业所使用的轴承卷边机存在自动化程度低、加工精度差等缺陷,针对这

一情况,基于 MSP430F149 单片机设计一套轴承卷边机控制系统.该系统成本低、自动化程度较高,提高了轴承加工精度、质量和效率.

(2) 采用光栅尺作为位移传感器,对压头位置信号直接检测,同时使用专用的正交解码/可逆计数芯片 HCTL-2017,消除了由于螺纹间隙、步进电机丢步、抖动以及机器震动带来的系统误差,从而大大提高了系统的控制精度,60 次重复实验位移偏差小于 $5.5 \mu\text{m}$.

(3) 采用了步进电机作为卷边机扣压执行部分,通过调节脉宽调制信号(PWM)输出频率,可以实现压头无极变速,增加扣压平稳性.

(4) 控制器通过电磁阀控制气动卡盘,减少轴承装夹时间,提高轴承加工效率.

参考文献:

- [1] 绳红强,汪世益.基于 AT89S51 的数控机床光栅尺位移测量系统[J].机电工程技术,2006,35(6):47-50.
- [2] 沈建华,杨艳琴,翟晓曙.MSP430 系列 16 位超低功耗单片机原理与应用[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [3] 胡大可.MSP430 系列 FLASH 型 16 位超低功耗 16 位单片机[M].北京:北京航空航天大学出版社,2000.
- [4] 田新诚,于金鹏,马玉梅,等.HCTL-2020 解码器及其在多关节机器人运动控制中的应用[J].机电一体化,2005(1):27-29.
- [5] 谢元平,罗晖.正交解码与可逆计数专用芯片 HCTL-2020 及其应用[J].仪器仪表,2000(3):37-39.
- [6] 马宁,魏廷存,张超,等.一种正交解码/计数接口 IC 的设计[J].科学技术与工程,2007,7(5):848-851.

(责任编辑:翁爱湘)

(上接第 647 页)

中需要多次的人工介入,因而整机非定常算法的实际工作效率高于定常多相位算法.在整机非定常模拟的后处理之中,对一个周期的积分采用 5 个均布时间点平均的计算已足够精确,如无特殊要求,无须选用过多的时间点.

参考文献:

- [1] GONZÁLEZ J, FERNÁNDEZ J, BLANCO E, et al. Numerical simulation of the dynamic effects due to impeller-volute interaction in a centrifugal pump[J]. ASME Journal of Fluids Engineering, 2002, 124(2):348-355.
- [2] SONG Xinwei. Computational fluid dynamics (CFD) study of the 4th generation prototype of a continuous flow ventricular assist device (VAD)[J]. ASME Journal of Biomechanical En-

gineering, 2004, 126(2):180-187.

- [3] LI Xianhua, ZHANG Shujia, ZHU Baolin, et al. The study of the $\kappa-\epsilon$ turbulence model for numerical simulation of centrifugal pump[C]//Modern Industrial Design Institution of Zhejiang University. Digital Techniques · Humanized Design · Regional Autonomous Innovation-CAID&CD' 2006. Beijing: IEEE Beijing Section, 2006:205-209.
- [4] 黄思,吴玉林.离心泵内三维流场非对称性及泵受力的数值分析[J].流体机械,2006,34(2):31-33.
- [5] 王福军.计算流体动力学分析[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [6] 张淑佳,朱保林,林锋,等.基于仿真分析的离心泵特性曲线计算[J].中国机械工程,2006,17(S2):46-48.

(责任编辑:刘岩)