

文章编号: 1001-2265(2010)07-0040-04

基于双闭环结构的线切割机自动分度加工控制系统研究与设计*

杨继森, 张静, 王文略, 郑方燕

(重庆理工大学机械检测技术与装备教育部工程研究中心, 重庆 400050)

摘要: 针对时栅产品化过程中普通线切割机加工回转分度精度不足, 人工操作效率低的问题, 提出了利用自制的时栅分度转台结合嵌入式系统技术, 研究并开发了1套线切割机自动分度加工控制系统。该系统以双微控制器为基础, 形成双闭环控制结构。局部闭环实现加工系统的自动分度定位, 而系统闭环实现整个系统按工序自动分度和自动加工。实际应用表明, 该控制系统不仅能够完成高精度分度加工, 而且能够实现无人值守自动加工, 大大提高生产效率, 降低生产成本。

关键词: 闭环; 时栅; 分度转台; 线切割机; 嵌入式

中图分类号: TG65 TP393 **文献标识码:** A

Research and Design on Control System of WEDM Automatic Indexing and Machining Based on Structure of Double Closed-loop

YANG Jisen, ZHANG Jing, WAN Wen-lue, ZHENG Fang-yan

(Engineering Research Center of Mechanical Testing Technology and Equipment Ministry of Education, Chongqing University of Technology, Chongqing 400050, China)

Abstract To improve the problem of the low indexing precision of WEDM and inefficiency for hand operation, One control system of WEDM automatic indexing and machining is proposed based on time grating indexing table and embedded technology. Double MCU is used to form double closed-loop structure in the control system. The work of automatic indexing is complemented in the local closed-loop and the work of indexing and machining is complemented in the system closed-loop. The applications confirm that high precision indexing and machining is achieved and the process is unattended. The production efficiency is greatly improved and the cost of production is greatly reduced.

Key words closed-loop; time grating indexing table; WEDM; embedded

0 引言

场式时栅角位移传感器作为一种新型的角位移传感器, 采用类似于交流电机的结构形式^[1], 测量精度高, 具有较强的市场竞争力。为了进行批量生产, 需要加工如图1所示的励磁绕组骨架。对于加工这样一个工件, 普通中走丝电火花线切割机是目前较为通用而经济的一种加工手段, 但普通的中走丝线切割机没有配备专用的高精度回转工作台, 在加工一个需要回转的工件时通常采取在 X 轴与 Y 轴两个方向进行插补算法来完成, 分度精度不高, 通常为几十个角秒, 甚至更低, 达不到生产高精度时栅传感器的要求。而自制的

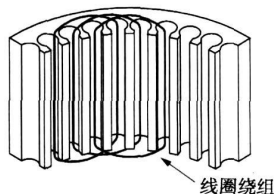


图1 时栅励磁绕组骨架(局部)

高精度时栅分度转台, 将时栅角位移传感器嵌入到分度转台中, 跟随分度转台一起转动, 并实时测量出分度转台转动的角位移, 精度达到 $\pm 1''$, 远远高于普通中走丝线切割机的插补算法回转分度精度。因此, 以普通线切割机为基础, 配以高精度的时栅分度转台, 利用嵌

收稿日期: 2010-03-26

* 基金项目: 国家自然科学基金项目(50575235); 国家自然科学基金项目(50975304)

作者简介: 杨继森(1977-), 男, 四川成都人, 重庆理工大学机械检测技术与装备教育部工程研究中心讲师, 博士, 主要从事计算机辅助测试与智能传感器研究, (E-mail) yw@cqut.edu.cn

入式系统技术来完成一套高精度线切割机自动分度加工系统具有重要的实际应用意义,不仅可以提高时栅角位移传感器的励磁绕组的加工精度,而且可大大降低生产成本,进一步提高其市场竞争力。

1 系统结构

为了构成一个高精度线切割机自动分度加工系统,线切割机选用贵州科邦科技实业有限公司的 DK7763H 型普通电火花线切割机,分度转台选用自制的 $\Phi 600$ 的高精度时栅空芯式分度转台,该分度转台内嵌高精度时栅角位移传感器,可以实时测量分度转台的转动角位移。控制系统采用双控制器双闭环结构的控制模式,主控制器主要负责连接自动分度系统和线切割机工作台,构成一个系统级的闭环控制,完成整个系统按工序自动分度和自动加工任务。而副控制器主要控制步进电机驱动分度转台,并接收嵌入到分度转台中的角位移传感器实测的分度转台的角位移数据,构成一个独立的局部闭环自动分度系统,负责整个加工系统中的分度转台按工序高精度自动分度定位。

主控制器采样线切割机工作台的工作状态信息,并反馈给副控制器,如果工作状态为“加工完成”,则副控制器按预定的分度程序,自动分度到下一个工序位置,分度完成后,并向主控制器反馈分度状态数据“分度完成”。主控制器接收到“分度完成”的信息后,向线切割机工作台发送工作指令,控制线切割机开始加工。加工完成后,重复前面的过程,进行下一个工序位置的分度定位。这样就形成了一个无需人工干预的双闭环结构自动分度加工系统,控制原理如图 2 所示。

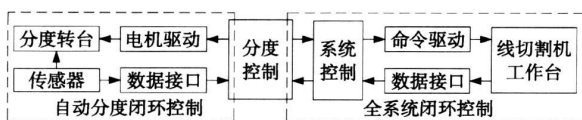


图 2 双闭环系统结构框图

2 硬件电路结构

硬件电路部分主要分为主控制器部分和副控制器部分。为了满足低功耗、智能化的设计要求,主控制器和副控制器都选用 NXP 公司的高性能 32 位嵌入式 ARM 微控制器 LPC2138^[2],整个电路结构如图 3 所示。

(1)副控制器主要构成局部闭环自动分度控制系统,包括电机驱动、LCD 驱动、键盘、存储器和传感器数据接口 5 个模块。电机驱动模块主要采用副控制器的脉宽调制器进行驱动,由于电机驱动属于功率驱动,为了提高系统的抗干扰能力,采用高速光电隔离器 6N137 进行隔离。LCD 驱动模块选用普通 I/O 接口作为地址线、数据线和控制线,由于 LCD 控制器工作电

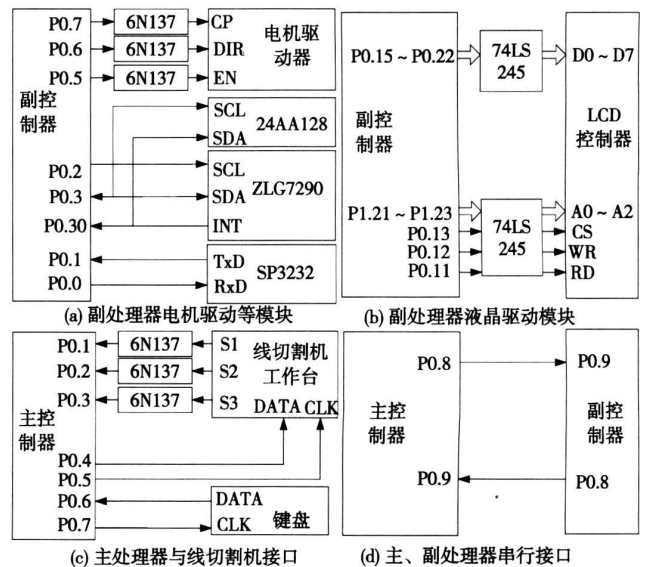


图 3 硬件设计电路

平为 + 5V,而控制器 I/O 接口电平为 + 3.3V,选用 74LS245 作为电平转换。键盘模块采用带 I²C 接口的键盘驱动芯片 ZLG729Q 扫描管理 34 个按键。存储器模块选用带 I²C 接口的 EEPROM 芯片 24AA128 存储容量为 128kb,能够较好地满足系统存储要求。由于时栅角位移传感器的数据输出采用串行接口的方式,传感器数据接口模块主要采用串口通信芯片 SP3232EEA 进行 RS232 电平转换。

(2)主控制器主要构成系统全闭环控制,包括线切割机工作台工作状态接口、线切割机工作台工作指令接口、普通键盘接口和主、副控制器通信接口 4 个模块。线切割机工作台工作状态接口模块由于线切割机工作台输出信号电平为 + 12V,采用光电隔离器 6N137 进行电平转换和光电隔离。线切割机工作台工作指令接口和普通键盘接口都采用 PS/2 接口。主、副控制器通信接口采用普通串行接口。

3 局部闭环

局部闭环利用步进电机作为执行机构,以内嵌到分度转台中的时栅角位移传感器的测量角位移数据作为反馈,构成一个独立的局部闭环自动分度系统,负责整个加工系统中的分度转台按工序高精度自动分度定位。

3.1 电动驱动控制算法

由于步进电机的转动角位移与控制脉冲数成线性比例关系,电机的转速与脉冲频率也成正比。因此,可以利用微控制器的脉宽调制器 (PWM) 产生变频的驱动脉冲进行电机位移和速度的驱动控制。选用步进电机的步距角为 1.8° ^[3],经过驱动器 200 倍细分之后,每个驱动脉冲的当量为 $P_D = 0.009^{\circ}$,分度转台的蜗轮与蜗杆传动比 $Z = 180$ 因此,每个驱动脉冲当量 P 为:

$$\Delta P = \frac{P_D}{Z = 0.00005^\circ (0.18')} \quad (1)$$

足够满足系统 ±2% 的分度精度要求。一次分度控制所需输出的脉冲总数为:

$$N = \frac{S}{\Delta P} \quad (2)$$

式中: S 为本次分度的步进位移量。

由于步进电机具有启动转速较低, 随着转动速度的增加输出转矩下降的特点, 为了避免高速启动时发生堵转和高速突然停机发生惯性过冲的情况。对电机的驱动采用分段式速度控制^[4-5], 主要分为加速段、匀速段和减速段, 为了使电机快速而平稳地达到设定的最大工作转速, 对其中的加速段和减速段又采用三段式进行控制, 总共分为七个速度分段, 控制模型如图 4 所示。

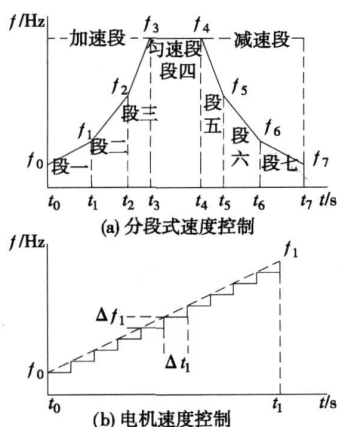


图 4 电机速度控制模型

图 4a 中, f_0 为电机驱动脉冲的起始频率, 也是速度分段一的起始频率, f_1 为速度分段一的结束频率, 也是速度分段二的起始频率。微控制器的脉宽调制器产生的驱动脉冲, 其宽度和占空比可以分别通过寄存器配置进行任意控制。对于三段式加速段或者减速段中的每一个速度分段都可以非常方便地采用阶梯式变频加减速的控制方案。图 4b 是加速分段一的放大效果图, Δt_1 是频率变换的周期, Δf_1 是频率变化的增量。同理其他六个速度分段的参数。

为了简化控制方案, 加快计算速度, 采用对称式控制方案, 可以选取:

$$\begin{cases} f_0 = f_7, f_1 = f_6, f_2 = f_5, f_3 = f_4 \\ \Delta t_1 = \Delta t_7 = \Delta t_2 = \Delta t_6 = \Delta t_3 = \Delta t_5 = \Delta t_4 \\ \Delta f_1 = -\Delta f_7, \Delta f_2 = -\Delta f_6, \Delta f_3 = -\Delta f_5 \end{cases} \quad (3)$$

结合驱动器技术手册和现场调试经验, 控制参数为:

$$\begin{cases} f_0 = 50\text{Hz} \\ \Delta t = 20\text{ms} \\ \Delta f_1 = 50\text{Hz}, \Delta f_2 = 100\text{Hz} \\ \Delta f_3 = 200\text{Hz}, \Delta f_4 = 0\text{Hz} \end{cases} \quad (4)$$

而电机驱动脉冲的最大工作频率为:

$$f_3 = \frac{n_{\max}}{60 \times \Delta P} \times 360 \quad (5)$$

式中: n_{\max} 为用户设定的电机最大工作转速。

为了兼顾电机驱动时间, 将分段驱动频率按 1:2:3 的原则进行分配, 则有:

$$\begin{cases} f_1 = f_0 + \frac{f_3 - f_0}{6} \\ f_2 = f_0 + \frac{(f_3 - f_0)}{3} \end{cases} \quad (6)$$

这样可以利用定时器的定时功能, 将定时器的定时时间设置为频率变换的周期 Δt , 定时改变驱动脉冲的频率, 以达到变频变速的目的。

3.2 闭环控制与分段逼近

电机控制主要采用闭环控制, 根据反馈角位移数据单方向逐步逼近的控制策略。长距离的驱动控制采用加减速的控制方式, 短距离的驱动控制采用低频匀速的控制方式。对于一次步进驱动控制没有能够准确地分度定位的情况, 将根据反馈角位移数据采用“二分法”逼近, 即每次只走剩余步进位移的 50%, 驱动完成后, 再读取当前的反馈角位移值, 计算下一次的步进位移, 重复进行“二分法”逼近, 直至准确地分度定位为止。

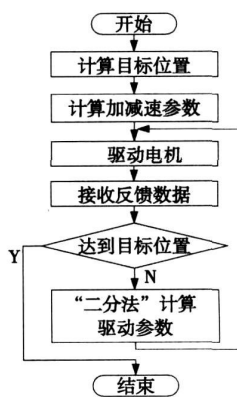


图 5 数据接收流程

4 系统闭环

主控制器系统主要是连接局部闭环自动分度系统和线切割机工作台, 构成一个系统级的闭环控制, 完成整个系统按工序自动分度和自动加工任务。

4.1 线切割机工作台工作指令接口

贵州科邦 DK7763H 型电火花线切割机的工作台控制软件基于 WINDOWS 平台, 没有扩展控制接口, 只能通过鼠标与键盘进行控制操作^[6]。通过何种方式与线切割机工作台软件进行通信成为本项目的重点, 也是能够构成系统闭环的关键。由于线切割机工作台软件为了方便操作, 对于常规操作都同步设置了

键盘快捷键的操作方式,因此,利用高性能嵌入式微控制器模拟普通键盘的 PS/2 通信协议,构建一个多功能的“虚拟键盘”模拟键盘操作是一个简单而有效解决方案。

为了不影响线切割机的正常键盘操作,主控制器需要两个 PS/2 键盘接口,一个连接普通的 PS/2 键盘,另一个连接线切割机工作台上的 PS/2 接口。正常操作时,主控制器接收键盘的按键数据,不经过任何处理原样经过另外一个 PS/2 接口发送给线切割机工作台。在自动加工时,当主控制器接收到副控制器“分度完成”的状态信息后,向线切割机工作台发送工作指令的键盘快捷键,启动新工位的加工任务。键盘的每个按键有两个不同类型的扫描码:接通扫描码和断开扫描码,断开扫描码是由前缀 0xF0 加上接通扫描码组成的。线切割机的启动加工命令的键盘快捷键为“左 CTRL+ w”,“左 CTRL”的接通码为 0x14 而字母“w”的接通码为 0x1D,则通过 PS/2 协议向线切割机工作台发送字节序列 (0x14 0x1D, 0xF0 0x1D, 0xF0 0x14) 就可以达到启动线切割机自动加工的目的,其他工作指令都可基于此原理进行命令发送,以达到控制线切割机的目的。

4.2 主、副控制器通信接口

主、副控制器之间的通信接口主要用于系统闭环控制与局部闭环控制之间传送控制与状态信息。主要采用串行通信接口,通信数据格式采用每帧数据都用两个连续的 0xFF 作为头部,同时也作为数据帧的定界符。当副控制器向主控制器发送状态字节序列 (0xFF, 0xFF, 0x55) 时表示自动分度系统已经完成自动分度任务,等待线切割机完成线切割加工任务,而主控制器向副控制器发送控制命令字节序列 (0xFF, 0xFF, 0xAA) 时表示线切割机已经完成加工任务,控制自动分度系统自动分度到下一个加工位置。

5 软件设计

整个控制软件主要分为主控制器和副控制器两个部分。主控制器部分包括 LCD 显示、键盘、传感器数据接收、存储器管理和电机驱动。副控制器部分包括 PS/2 接收、PS/2 发送、线切割机状态采样和主、副控制器通信。整个控制系统的工作流程如图 6 所示。图 7 为加工系统工作现场和该加工系统完成的加工工件,图中,1 为线切割机工作台;2 为分度转台时的时栅角位移传感器驱动电箱;3 为本系统控制电箱;4 为时栅分度转台;5 为加工完成的时栅角位移传感器励磁绕组骨架。

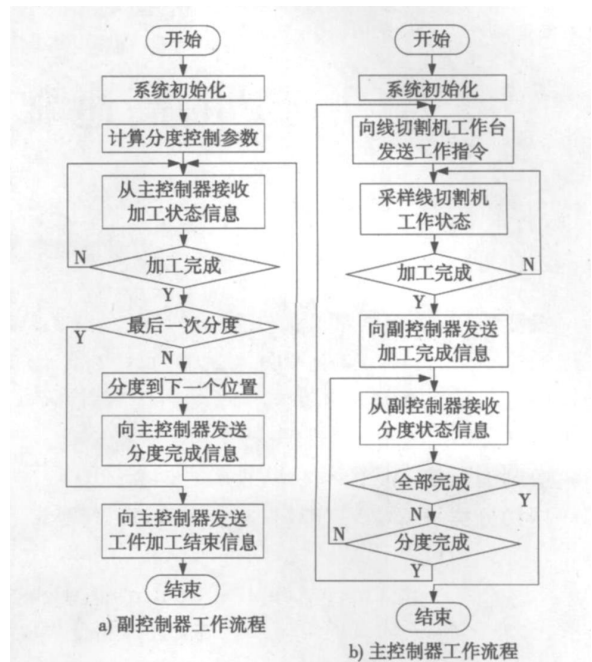


图 6 系统控制流程

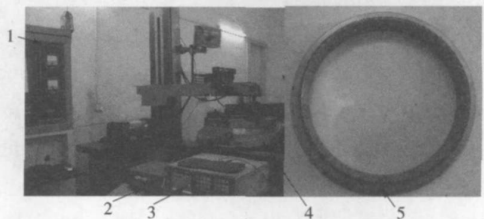


图 7 加工系统工作现场和加工完成工件

6 结束语

时栅技术经过多年的发展,已经进入产品化阶段。高精度时栅自动分度加工系统的研究开发成功,不仅提高了时栅产品的开发进度,也为下一步研发高精度时栅产品打下了坚实的基础。目前已经开发了三台线切割机自动分度加工系统投入到时栅角位移传感器的生产,运行效果良好。

[参考文献]

- [1] 彭东林,张兴红,刘小康,等. 场式时栅位移传感器研究[J]. 仪器仪表学报, 2003 24(3): 329-331.
- [2] 田泽. 嵌入式系统开发与应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2005.
- [3] 北京斯达微步控制技术有限公司. 34HS 系列混合式步进电机技术手册[Z]. 北京:北京斯达微步控制技术有限公司, 2007.
- [4] 周忠辉. 步进电机驱动的实现方法[J]. 仪表技术与传感器, 2004(11): 61-62.
- [5] 王勇,王伟,杨文涛. 步进电机升降速曲线控制系统设计及其应用[J]. 控制工程, 2008 15(5): 576-579.
- [6] 贵州科邦科技实业有限责任公司. DK 7763H 型电火花线切割机技术手册[M]. 贵州:贵州科邦科技实业有限责任公司, 2008.

(编辑 李秀敏)