

doi:10.3969/j.issn.2095-0411.2020.02.005

## 画笔杆打磨设备自动控制器

史先传,董 冲,史久伟,徐镇东,苏胜辉

(常州大学 机械工程学院,江苏 常州 213164)

**摘要:**为了解决画笔杆生产中存在的人工生产效率低、质量参差不齐以及生产安全等问题,设计一个基于 STM32F103C8 单片机的画笔杆打磨设备自动控制器。重点介绍了控制器的硬件设计和软件设计。在软件设计过程中提出了一种“中断驱动-状态转移”控制方法,简化了控制程序设计的复杂度。在所研制的控制器中,单片机接收固定在气缸壁上的磁性开关信号,经单片机分析处理后,控制电磁阀线圈的通电状态,驱动打磨设备的 3 个气缸伸缩,从而驱动画笔杆打磨设备的送料机构、分离机构、传输机构进行快速、有序地运动。现场实际运行表明,所研制的控制器使用方便、稳定性好,实现了画笔杆打磨设备的自动控制。

**关键词:**画笔杆打磨设备;STM32F103C8;中断驱动;状态转移;自动控制

中图分类号:TP 29

文献标志码:A

文章编号:2095-0411(2020)02-0038-07

## Automatic Controller of Paintbrush Grinding Equipment

SHI Xianchuan, DONG Chong, SHI Jiuwei, XU Zhendong, SU Shenghui

(School of Mechanical Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of low labor efficiency, uneven quality and production safety accident in the enterprises engaged in paintbrush processing, an automatic controller of paintbrush grinding equipment based on STM32F103C8 MCU is designed. The hardware design and software design of the controller are mainly introduced. A control method of “interrupt driven-state transfer” is proposed to simplify the control program design. In the developed controller, the MCU receives the signals of magnetic switches fixed on the cylinder, processes them, and then controls the current states of the electromagnetic valve coils. The electromagnetic valve coils drive three cylinders to stretch out or draw back. Therefore, the feeding mechanism, separation mechanism and transmission mechanism of the paintbrush grinding equipment move quickly and orderly. The field practical operation proves that the developed controller is easy to use and has good stability and the automatic control of the paintbrush grinding equipment is realized.

**Key words:** paintbrush grinding equipment; STM32F103C8; interrupt driven; state transfer; automa-

收稿日期:2019-10-30。

作者简介:史先传(1972—),男,安徽合肥人,博士,副教授。E-mail:00001852@cczu.edu.cn

引用本文:史先传,董冲,史久伟,等.画笔杆打磨设备自动控制器[J].常州大学学报(自然科学版),2020,32(2):38-

tic control

画笔通常由笔头、笔管和笔杆组成<sup>[1]</sup>,笔杆以木质为主。早期笔杆外缘加工采用小型车床车削,然后再用砂纸打磨,这种加工方式需要频繁装卸笔杆,必然导致产量低、成本高。现在普遍采用砂轮直接打磨方式加工笔杆外缘,产量得到显著提高。但是,目前许多的中小型画笔杆加工企业的加工方式还停留在手工加工方式<sup>[2-4]</sup>,在打磨过程中,操作工人手持画笔杆在电动砂轮机上进行打磨,生产效率不高、劳动强度大,产品质量也难以得到保证。随着生活水平提高,人工成本已经明显上升,市场对画笔质量也提出更高要求,采用自动化设备加工画笔杆已成为趋势。文章中画笔杆打磨设备自动控制器主要是帮助中小型画笔杆加工企业的画笔杆打磨设备进行自动化升级<sup>[3]</sup>,在实际的应用中已为企业带来了巨大收益。

## 1 控制系统结构

画笔杆打磨设备的控制系统由自动控制器、电磁阀和磁性开关等几部分组成,实现气缸驱动控制、打磨时间设置、画笔杆数据存储、数据显示和气缸状态显示等功能。气动控制结构示意图如图1所示,固定在气缸壁上的磁性开关检测气缸内活塞杆的位置,并将活塞位置信号传递给控制器,控制器根据活塞位置信号控制3个气动电磁换向阀线圈的通断电状态,进而控制气缸驱动打磨设备下料机构、打磨轮离合机构、画笔坯料传送机构的运动。

画笔杆打磨设备的工作流程如图2所示。3个气缸依次顺序启动后,开始并行执行各自动作,各个气缸都执行了一个往复运动后,一轮加工过程结束,气缸的这种并行工作方式缩短了加工循环周期,提高了加工效率。具体的打磨循环加工过程如下:启动按键按下,落料气缸顶出,画笔坯料盒下端口打开,坯料落入接料槽;落料气缸活塞杆到达磁性开关SQ2的位置(磁性开关位置见图1),电磁阀2得电,打磨离合气缸顶出,将打磨轮分离;落料气缸活塞杆到达磁性开关SQ3的位置,电磁阀1失电,落料气缸返回,返回到磁性开关SQ1的位置时,电磁阀3得电,送料气缸顶出,将接料槽中的画笔坯料推入砂轮打磨区;打磨离合气缸活塞杆达到磁性开关SQ5的位置,定时器1开始延时,延时后电磁阀2失电,控制打磨离合的气缸缩回,返回到磁性开关SQ4的位置;送料气缸活塞杆达到磁性开关SQ7的位置,定时器2开始延时,延时后电磁阀3失电,送料气缸缩回,返回到磁性开关SQ6的位置,画笔杆打磨工序完成一个循环。当一个打磨循环结束后,立即进入下一打磨

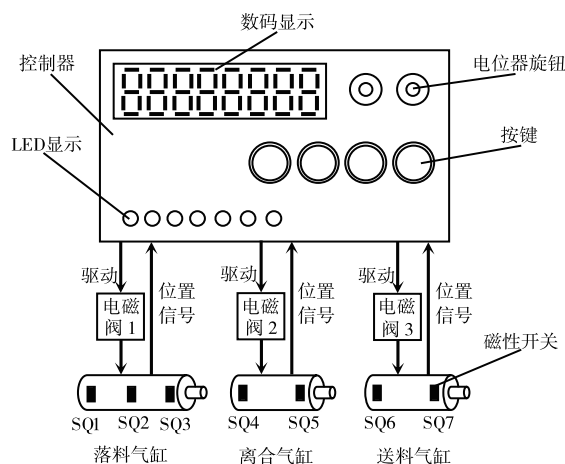


图1 气动控制结构示意图

Fig.1 Pneumatic control structure diagram

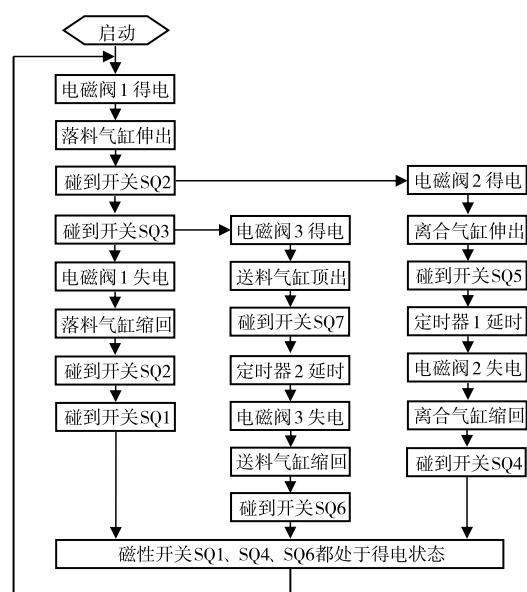


图2 气缸与磁性开关工作流程图

Fig.2 Cylinder and magnetic switch workflow diagram

循环,直至达到设定的加工数量或按下停止按键时才停止打磨工作。

## 2 控制器硬件设计

自动控制器是以 STM32F103C8T6 单片机为核心,集成了电磁阀驱动电路、数模转换、存储器、数码管显示、LED 显示以及电源转换等电路,其硬件结构框图,如图 3 所示。因为电磁阀线圈电压是 12 V 直流电,所以控制器电路板采用 12 V 直流电供电,电路板上电路将 12 V 转换为 5 V 和 3.3 V,分别为 5 V 芯片和 3.3 V 芯片供电;J-Link 仿真器通过 SWD 接口将控制程序写入 STM32 单片机<sup>[5-8]</sup>;具有 I2C 总线接口的 EEPROM 存储芯片保存画笔杆加工数据;数码管驱动芯片 ZLG7290 用于驱动数码管显示;数码管根据按键操作情况显示设定加工数量、已加工数量或剩余加工数量;通过按键选择数据显示模式、设置数据以及控制设备启停;单片机内部模数转换模块将电位器电压转换为数字量,该数字量作为气缸的延时时间;LED 显示气缸活塞位置。在自动控制器的外部器件(电磁阀线圈和磁性开关)与单片机之间,均采用光电耦合器进行电气隔离。

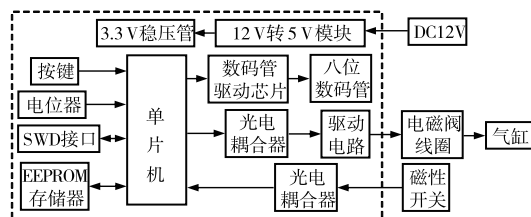


图 3 硬件结构框图

Fig.3 Hardware structure block diagram

### 2.1 电磁阀驱动电路

气缸的换向电磁阀驱动电路主要由光电耦合器 U7、N 型场效应管 Q1、续流二极管 D4 和发光二极管 D21 等元器件组成,如图 4 所示。J5 端子的引脚 1 是 3 个电磁阀线圈的公共端,引脚 1 和引脚 2 之间外接第 1 个电磁阀线圈,引脚 1 和引脚 3 之间外接第 2 个电磁阀线圈,引脚 1 和引脚 4 之间外接第 3 个电磁阀线圈。3 个电磁阀的驱动电路基本相同,图 4 中仅给出了 1 路电磁阀驱动电路。当 STM32 单片机的 PB13 引脚输出低电平时,光耦 U7 的引脚 1 和引脚 2 之间的电流流过,使得 U7 的引脚 15 与引脚 16 导通,12 V 电压经光耦加到场效应管 Q1 的栅极上,场效应管 Q1 的漏极和源极导通,即图 4 中 A 点与 GND1 导通,此时第 1 个电磁阀线圈得电,指示灯 D21 也点亮。当 STM32 单片机 PB13 引脚输出高电平时,光耦 U7 的引脚 1 和引脚 2 之间无电流流过,U7 的引脚 15 和引脚 16 之间处于关断状态,电阻 RQ4 释放场效应管 Q1 的栅极电荷,并将栅极电平下拉到 0 V,场效应管 Q1 的漏极和源极被关断,第 1 个电磁阀线圈失电,指示灯 D21 也熄灭。续流二极管 D4 释放电磁阀线圈中储存的能量,防止高反电动势损坏其他元器件。

### 2.2 数码显示电路

图 5 是基于 ZLG7290B 芯片的数码显示电路。ZLG7290B 是一种具有 I2C 总线接口的数码管显示驱动及键盘控制管理芯片,具有闪烁、段点亮、段熄灭、连击键计数、功能键等功能,能显示 10 种数字和 21 种字母,可以直接驱动 8 位共阴式 8 段数码管,接收多达 64 个按键输入<sup>[9-10]</sup>。单片机将需要显示的内容或控制指令通过 I2C 总线发送给 ZLG7290B,ZLG7290B 管理数码管显示。文章中只使用了 4 个按键输入,如果按键连接到 ZLG7290B,由 ZLG7290B 来接收按键输入,则单片机需要通过 I2C 总线读 ZLG7290B 寄存器获取按键值<sup>[11-12]</sup>,软件运行时间长,故没有通过 ZLG7290B 来接收按键输入,而是将 4 个按键直接与单片机端口连接,单片机 main()函数的 while(1)循环中直接读取按键状态。

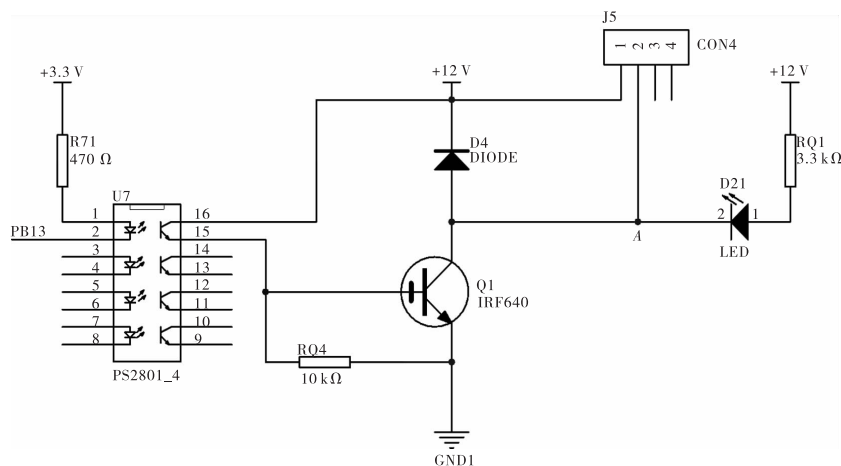


图 4 气动电磁换向阀驱动电路

Fig.4 Pneumatic electromagnetic reversing valve drive circuit

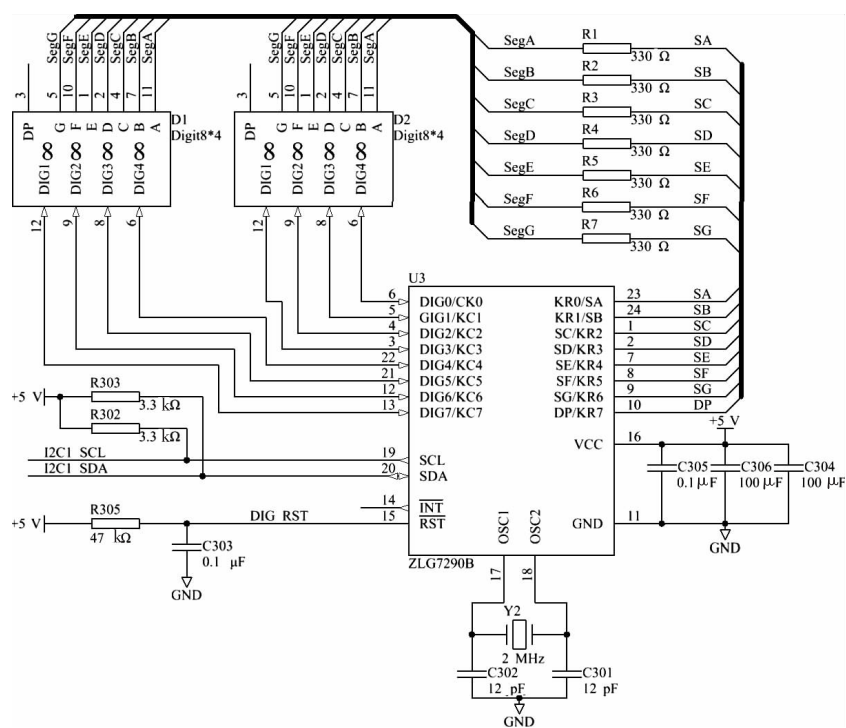


图 5 数码显示电路

Fig.5 Digital display circuit

### 2.3 自动控制器电路实物

自动控制器电路板采用双层 PCB 板、数码管、LED 以及 1 个 2 MHz 晶振放在 PCB 板正面,其他元器件都放在 PCB 板背面,实物照片如图 6 所示。在设计 PCB 图时,为了提高电路板的可靠性和整齐效果,所有布线均采用手工布线,线宽以 0.4 mm 宽度为主,部分线宽适当增大,如电源线的线宽约为 1.5 mm。元器件之间连接尽量避免不必要的过孔,如果板上布线必须用过孔,则采用双过孔以提高可靠性。

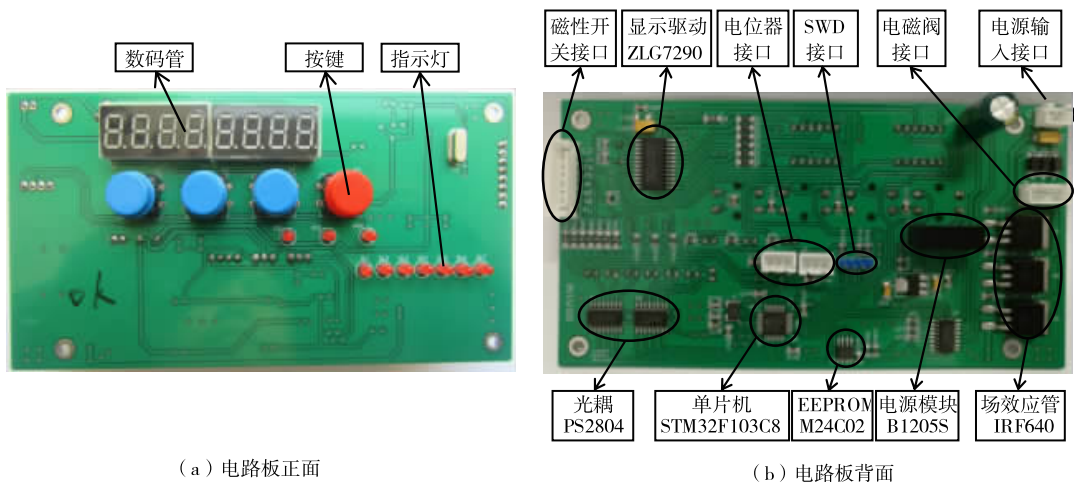


图 6 电路板实物  
Fig.6 Circuit board entity

### 3 软件设计

控制系统软件按实现的功能划分,可以分为主程序、电磁阀控制程序和数模转换程序这 3 个主要部分。

#### 3.1 主程序

图 7 是主程序流程图,主程序实现全局变量初始化、外设初始化、读取上次关机时保存的加工数据、按键处理和数码管显示等功能,其中外设初始化是对通用输入\输出口(GPIO)、I2C、模数转换器(ADC)、直接存储器访问(DMA)、定时器 2(TIM2)、嵌套向量中断控制器(NVIC)和外部中断(EXTI)等外设进行初始化设置。主程序 while(1)循环中依次处理 3 个设置按键和 1 个启停按键输入,根据 3 个设置按键的操作情况,使数码管处于显示\设定加工数量、显示已加工数量或显示剩余加工数量;启停按键是 1 个切换开关,如果设备处在正在加工状态,按下启停按键,主程序停止加工,否则启动加工。如果处于正在加工状态,while(1)循环中也判断是否达到设定加工量,如果达到设定加工量,就停止加工。

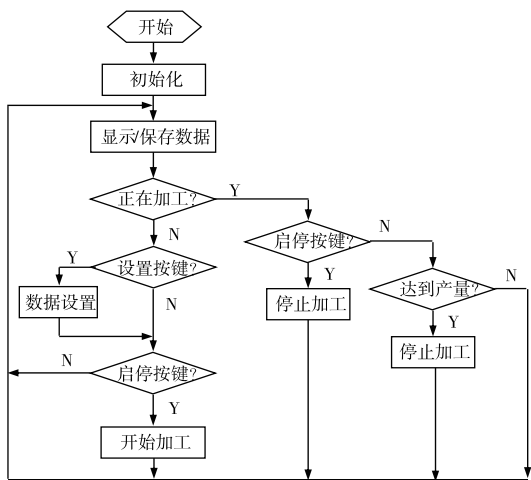


图 7 主程序流程图  
Fig.7 Main program flow diagram

#### 3.2 电磁阀控制程序

电磁阀控制程序实现的功能是根据 7 个磁性开关状态以及 2 个电位器给出的设定值控制 3 个电磁阀线圈的得电/失电状态。为了简化编程,减少占用 CPU 时间,本文提出一种“中断驱动-状态转移”控制方法,并用于电磁阀控制程序设计。电磁阀控制程序由 7 个外部中断程序和 1 个定时中断程序构成,7 个外部中断程序响应 7 个磁性开关输入信号,即每个磁性开关接通都会执行对应的中断服务程序,定

时器中断响应 2 个“延时时间到”事件。

根据电磁阀线圈得电/失电状态以及定时器工作状态,将一个加工循环划分为 11 个独立状态,状态转移(一种状态变换为另一种状态)均由外部中断或定时器中断驱动<sup>[13-16]</sup>,单片机只在执行中断程序时才会根据当前所处的状态来决定是否进行状态转移,状态转移按图 8 中箭头方向转移,并且只在相邻的 2 个状态之间进行。

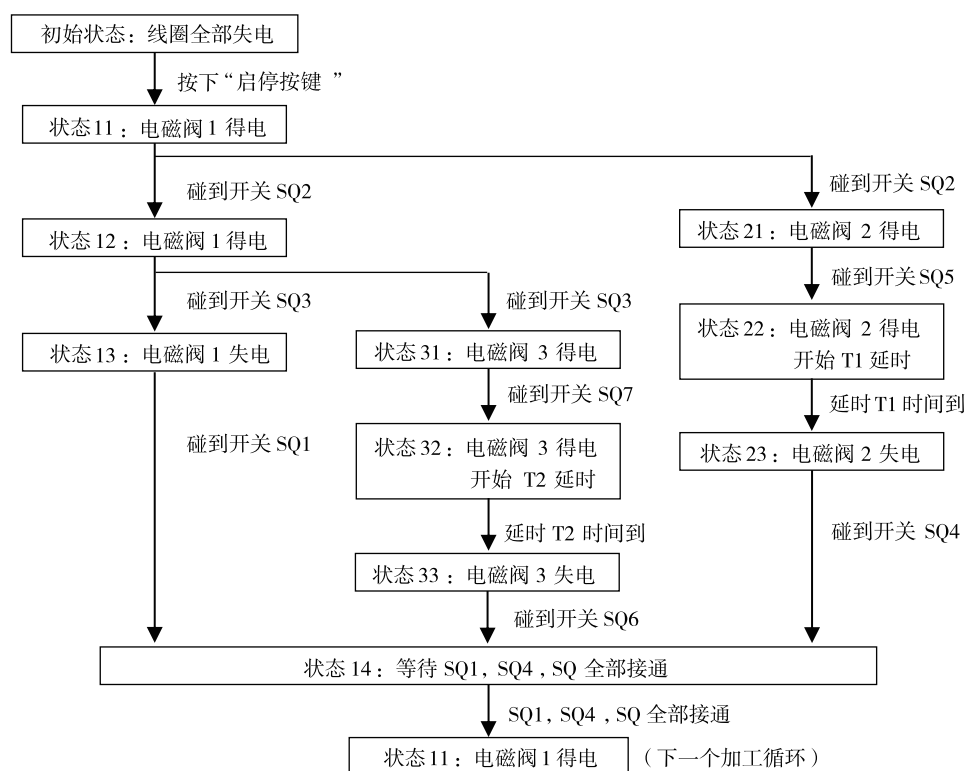


图 8 中断驱动-状态转移图

Fig.8 Interrupt driven-state transfer diagram

### 3.3 数模转换程序

根据画笔杆加工工序要求,不同型号的画笔杆坯料在送入打磨轮内和从打磨轮内输送出来时,需要调节打磨离合气缸,送料气缸延时一段时间,延时时间在 0~2 s 范围内可调,时间长短视画笔杆坯料型号而定,因此控制系统需要有时间设定环节。本控制器采用 2 个多圈精密电位器作为输入设备,通过旋转电位器输出不同电压值,单片机采用 DMA 多通道方式读取这 2 个电位器电压值<sup>[17]</sup>,映射为延时时间,电位器电压、ADC 读数和延时时间之间线性映射关系分别是电位器电压 0~3.3 V,模数转换数值为 0~4 096,延时时间为 0~2 048 ms。

在 main()函数的初始化部分完成 ADC1 和 DMA1 相关设置,2 个模数转换通道各采样 200 次,共 400 个采样值,使能了 DMA1 的传输过半 HT1 中断和传输完成 HC1 中断。在 DMA1 中断服务程序中读取中断标志位,如果传输过半 HT1 标志位<sup>[18]</sup>,则根据前 200 个采样点数值计算出 2 个模拟通道均值;如果传输完成 HC1 标志位置位,则根据后 200 个采样点数值计算出 2 个模拟通道均值;然后将求得的均值线性映射为延时时间。DMA1 中断流程图如图 9 所示。

## 4 现场运行

经过近 1 年时间的现场使用,画笔杆打磨设备控制器运行正常,没有出现硬件故障和软件错误,说明本控制器在电路设计以及元器件选型上是符合实际应用场合。“中断驱动-状态转移”控制方法在软件编程上是切实可行,并取得良好控制效果。根据工厂的生产记录表,8 h 可以自动加工直径 8 mm 的画笔杆数量大约是 12 500 根,相比手工加工的效率提高近 10 倍。加工现场如图 10 所示。

## 5 结 论

提出一种“中断驱动-状态转移”控制方法,并应用到 STM32 单片机软件设计中,使得编程思路清晰、易于编程和理解,避免了程序查询等待,实时性好、占用 CPU 时间少。控制器的数模转换采用 DMA 方式,数模转换程序占用 CPU 时间少,STM32 单片机的 CPU 大部分时间执行主程序的 while(1) 循环内容,使得按键响应可靠,单片机与 EEPROM、显示芯片之间的 I2C 通讯更通畅。画笔杆打磨设备在控制器的控制下,能够自动进行画笔杆坯料上料、打磨、传送的加工工艺过程,提高了画笔杆生产效率和产品一致性。

## 参考文献:

- [1]杨靖.浅议运用现代科技对传统画笔制作工艺的改造[J]. 经济研究导刊,2011,14(7):256-258.
- [2]赵伟静,周奇,吴超群,等.Beckoff 嵌入式控制系统在铸件打磨设备上的应用与实现[J]. 机床与液压,2018,46(14):100-103.
- [3]FUKUHARA Y, SUZUKI S, SASAHARA H, et al. Real-time grinding state discrimination strategy by use of monitor-embedded grinding wheels[J]. Journal of Precision Engineering, 2018,40(1):128-136.
- [4]王伏银,吴来发,尹化保.机器人在铸件自动打磨工艺中的应用[J]. 中国铸造装备与技术, 2018,53(3):93-96.
- [5]高敏. 单片机控制系统的设计与调试方法[J]. 科技视界,2016,24(6):6-7.
- [6]凌松生,伍梓权,杨洪锐,等. 基于 STM32 控制的工业运动控制器研究[J]. 现代制造技术与装备,2018,55(1):50, 52.
- [7]郭艳华,杨海马,李筠,等. 智能流水线运动控制系统的设计与实现[J]. 测控技术,2018,37(2):66-69.
- [8]张静雅,叶兵,朱旗,等. 新型螺母自动检测分选机设计[J]. 合肥工业大学学报,2017,40(8):1088-1091,1098.
- [9]邹宇,王剑平,向凤红,等. 电动汽车双模糊直接转矩控制系统设计[J]. 机械科学与技术,2014,33(10):1568-1573.

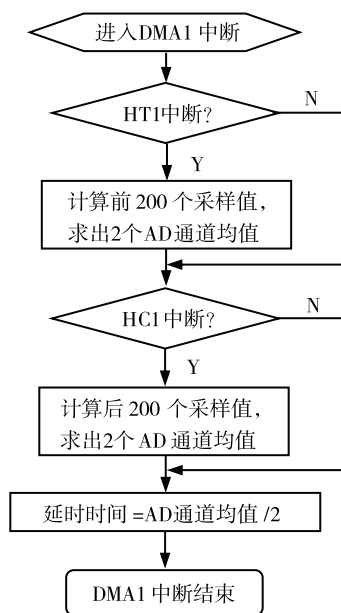


图 9 DMA1 流程图

Fig.9 DMA1 flow diagram

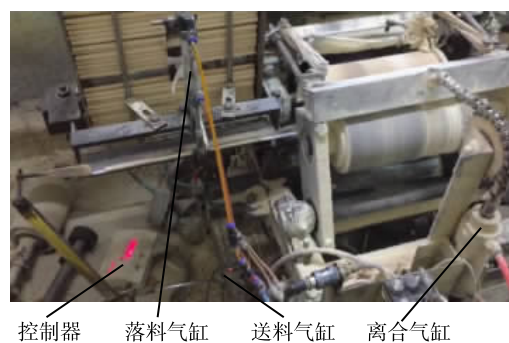


图 10 画笔杆加工现场

Fig.10 Paintbrush processing site

附近蒸发过程减弱,污泥含水量趋于平稳,满足工艺要求。

3)桨叶干燥机圆盘提供了大面积的恒温热源,为蒸发过程提供了动力,能够实现污泥的干化过程。根据蒸发过程的模拟结果,圆盘及刮片的结构尚有很大的优化和提升空间。

## 参考文献:

- [1]单凤君. 城市污水污泥脱水的最新研究进展[J]. 工业水处理,2017,37(2):7-11.
- [2]孙光. 城市污水处理厂污泥的处置与综合利用[J]. 建筑与预算, 2017(1):39-41.
- [3]郝先鹏. 污泥热干化技术的研究进展[J]. 四川化工, 2015, 18(5):11-13.
- [4]李博. 污泥高效干化方法及干化焚烧系统的优化运行研究[D]. 杭州:浙江大学,2014.
- [5]YAMAHATA Y, IZAWA H, HASAMA K. Experimental study on application of paddle dryers for sludge cake drying[M]//Drying'85. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 1985: 479-484.
- [6]IMOTO Y, KASAKURA T, HASATANI M. The state of the art of sludge drying in japan[J]. Drying Technology, 1993, 11(7):1495-1522.
- [7]FERRASSE J H, ARLABOSSE P, LECOMTE D. Heat, momentum, and mass transfer measurements in indirect agitated sludge dryer[J]. Drying Technology, 2002, 20(4/5):749-769.
- [8]LECOMTE D. Method for thermal design of paddle dryers; application to municipal sewage sludge[J]. Drying Technology, 2004, 22(10):2375-2393.
- [9]虞向峰, 王庆海, 曾贤平. 污泥干化技术的现状及发展方向[J]. 轻工科技, 2016(5):106-107.
- [10]夏磊, 程榕, 郑燕萍. MVR 技术用于空心桨叶干燥机干燥污泥恒速段实验研究[J]. 化工时刊, 2015, 29(3):14-17.
- [11]董富荣. 桨叶干燥机污泥干化处理应用[J]. 化工管理, 2015(36):96-97.
- [12]易浩勇. 污泥干燥特性及干燥过程研究[D]. 南京:东南大学, 2006.

(责任编辑:李艳)

\*\*\*\*\*

## 【上接第 44 页】

- [10]李直霖. ZLG7290 扩展键盘在 ARM Linux 系统中的应用[J]. 机电工程, 2011, 41(10):1253-1256.
- [11]陶莉, 陈万培. 多通道 NAND Flash 存储芯片控制器的设计与实现[J]. 无线电工程, 2018, 48(9):810-815.
- [12]李振国, 何洋, 胡毅, 等. 一种 EEPROM 中高压产生电路的设计与实现[J]. 电子技术应用, 2017, 43(10):23-25, 30.
- [13]张晶, 陈垚, 孙俊, 等. 嵌入式控制驱动状态转移事件的预测调度模型[J]. 计算机工程, 2017, 43(8):90-94, 100.
- [14]王剑平, 张云生, 张果, 等. 嵌入式控制状态转移的确定性实时语义[J]. 控制与决策, 2014(1):83-88.
- [15]周立功. ZLG7290I-C 接口键盘及 LED 驱动器数据手册[DB/OL]. (2006-01-10)[2018-10-30]. <http://www.docin.com/p-53666426.html>.
- [16]ZHOU X J, SHI P, LI C C, et al. A dynamic state transition algorithm with application to sensor network localization[J]. Neurocomputing, 2018, 30(2):237-250.
- [17]江自强, 葛亚炬, 张乐年. STM32 的数据采集及存储系统设计[J]. 机械制造与自动化, 2017, 46(4):136-139.
- [18]ZHANG H F, KANG W. Design of the data acquisition system based on STM32[J]. Procedia Computer Science, 2013, 5(17):222-228.

(责任编辑:李艳,谭晓荷)