

机械与过程控制

基于 STM32 的定长切割控制系统设计

章峰, 蔡锦达

(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: 目的 设计基于 STM32 为控制核心的定长切割控制系统。方法 介绍了该系统的工作原理、硬件设计、外部中断跟踪程序的实现以及 HMI 人机界面的设计。同时, 针对刀架以高速返回时的平稳性问题, 提出了基于 Sigmoid 函数的 S 型算法, 并将返回时的主要参数代入该函数中进行 MATLAB 仿真。结果 经测试, 该控制系统满足工作要求。仿真结果表明, 刀架返回时的频率曲线是连续平滑的。结论 该控制系统采用 STM32 替代 PLC, 成本低, 功能稳定, 实时性高, 操作稳定, 能够满足定长切割的精度要求。

关键词: 定长切割; 跟踪; STM32; 触摸屏; Sigmoid

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)19-0205-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.19.030

Design of Fixed-Length Cutting Control System Based on STM32

ZHANG Feng, CAI Jin-da

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: The work aims to design a fixed-length cutting control system based on STM32 as the control core. The working principle, hardware design, realization of external interrupt tracking program and HMI design were introduced. In the meantime, aiming at the stationarity of tool holder when it returned at high speed, an S-type algorithm based on Sigmoid function was proposed, and the main parameters of tool holder during returning were substituted into the function for Matlab simulation. The test results showed that, the control system met the working requirements. The simulation results indicated that, the frequency curve was continuous and smooth when the tool holder returned. The control system adopting STM32 instead of PLC is featured by low cost, stable function, high real-time performance and stable operation, and can meet the precision requirements of fixed-length cutting.

KEY WORDS: fixed-length cutting; tracking; STM32; touch screen; Sigmoid

定长切割广泛应用于包装制造业, 如制袋机、制管机、护角机等包装机械^[1-5]。在工业领域中, 常见的定长切割系统分为 3 类: 走停送料、静态切割; 连续送料、往复同步动态切割; 连续送料、旋转同步动态切割^[6]。走停静态型切割系统由于刀座固定不动, 进给材料在剪切瞬间需要完全停止, 大大降低了产品生产效率, 切割精度不高。最后 2 种同为

动态剪切, 在运动过程中跟踪剪切, 刀架与送料系统同步运动, 在切割时, 两者保持相对静止, 既保证了切割精度又提高了生产效率, 因此已广泛应用于工业中。

包装生产线往往需要生产不同长度规格的管材, 以便于对相应规格的产品进行包装。传统定长切割控制系统采用 PLC 作为控制器核心^[7]。PLC 具有结构

收稿日期: 2019-04-16

作者简介: 章峰 (1995—), 男, 上海理工大学硕士生, 主攻嵌入式系统开发与机电一体化技术。

通信作者: 蔡锦达 (1963—), 男, 上海理工大学教授, 硕导, 主要研究方向为机械电子及自动化。

简单、抗干扰能力强以及程序直观易懂等一系列优点,但是实时性差^[8],无法实现复杂算法。而基于 STM32 为 CPU 控制核心的定长切割控制系统能满足中小型生产线的需求,具有实时性高、控制精度高等特点。

文中基于 STM32F103VCT6 为核心的控制器,研发了一套定长切割控制系统。操作者通过在人机界面上设定定长位置、切割位置以及返回位置等主要参数,完成管材的自动跟踪切割,并可以生产不同尺寸规格的管材。

1 工作原理及要求

定长切割分为 2 种模式:有色标切割模式与无色标切割模式。有色标切割模式指刀架的开始启动信号由用户通过计算后手动设置,当管材行进到用户设置的长度后,刀架开始跟踪。此模式适用于没有印刷的白管。色标切割模式指管材上印有色标,当色标传感器检测到管材上的色标后,将信号传递给控制器,控制器发送启动指令,此时刀架开始跟踪。色标切割模式不需要操作者进行定长信号设置,提高了生产的自动化程度。

1.1 动态定长切割原理

动态定长切割过程主要包含 5 个阶段:等待阶段、跟踪加速阶段、跟踪同步阶段、跟踪减速阶段以及返回阶段^[9]。等待阶段中,进给系统输送材料,刀架保持静止,此时光电编码器不停地测量管材长度。当管材长度到达预设参数时,刀架开始加速移动,直至刀架与进给系统速度相同。此时进给系统保持相对静止,当刀架前进到预设切割位置时,切割装置进行切割。当切割动作完成以后,刀架进入减速阶段,直至到达预设返回位置,此时刀架速度为 0。刀架立即开始反向移动,经过加速、匀速及减速阶段,回至零点,等待下次循环。工作原理示意图见图 1。

1.2 原理

根据位置-速度同步原则,当刀架加速至与管材同步时,管材前进的位移为 L ,因此,确定了刀架的切割位置 L 。由式(1)可得控制器所发的脉冲数为:

$$P_{MCU} = \frac{L}{P} \times P_{SI} \quad (1)$$

式中: P_{SI} 为伺服电机每转一圈的指令脉冲数; P 为丝杠的螺距。

可得跟踪系数的计算公式为:

$$k = \frac{P_{MCU}}{N} \quad (2)$$

式中: N 为编码器线数。

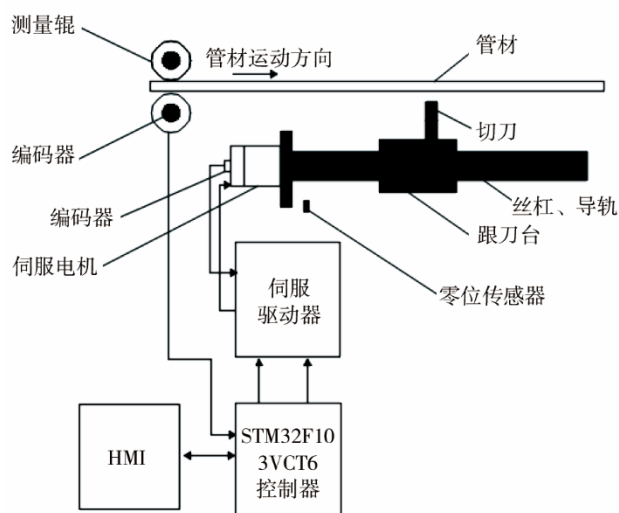


图 1 定长切割系统工作原理

Fig.1 Working principle of fixed-length cutting system

将所计算出的 k 值整型化,方便 CPU 的计算,利用外部中断函数对 k 值进行判断,当 k 值大于设定的比较值后,控制器发出脉冲,实现刀架的跟踪。

1.3 要求

在实际生产过程中,管材定长切割控制系统除要求刀架与管材进给速度同步外,还需满足以下要求^[10]。

1) 人机交互。方便用户更改相关参数,完成不同长度规格管材的切割,并实时显示当前生产件数与切割模式。

2) 手动调试。方便用户进行调试,控制系统可以进行刀架往返点动与切刀点动。

3) 数据的实时保存。确保供电系统在突然断电情况下,重新上电可以保存上次参数的状态。

2 控制系统硬件设计

控制器采用 ST 公司的 STM32F103VCT6 芯片。存储系统为 48KB SRAM 与 256KB NORFLASH。该控制器主要由电源电路、复位电路、时钟电路、JTAG 下载电路、RS232 与 RS485 通信电路以及输入输出等一些外围电路构成。控制器的整体框架见图 2。

定长切割控制系统基本功能见图 3^[11]。

该系统主要由 HMI、STM32F103VCT6 控制器、色标传感器、零位传感器、光电编码器、伺服驱动器、伺服电机等部件组成。STM32 既负责与 HMI 间的通信,又向执行机构发出运动指令。光电编码器用于测量管材进给速度,并通过脉冲的方式将信息传递给 STM32。在信号采集过程中,为防止设备抖动造成控制器接收失误,发出错误的运动指令,需对编码器发出的信号进行消抖处理,保证系统正常运行。

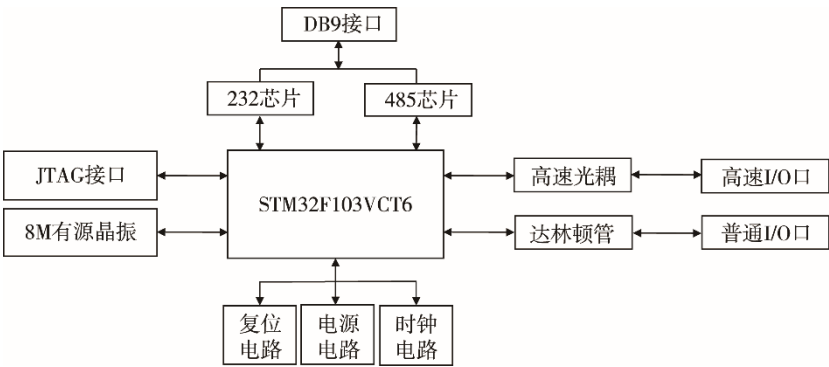


图 2 控制器组成框架
Fig.2 Forming frame of controller

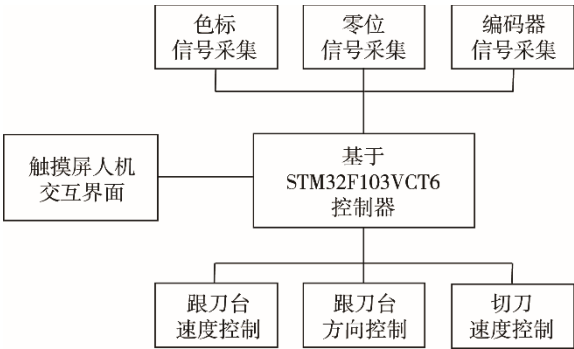


图 3 控制器基本输入输出功能示意
Fig.3 Schematic diagram of basic input and output function of controller

在管材定长切割控制系统中，其输入信号包括检测管材长度前进位移的编码器信号、色标传感器接收信号、零位传感器接受信号；输出信号包括控制刀架运行的脉冲信号与方向信号以及控制切刀的脉冲信号。

3 控制系统软件设计

3.1 HMI 的设计与实现

根据松下 PLC 的通信协议 MEWTOC，采用 RS232 通信，数据传输以 ASCII 码形式，完成 STM32 中通信协议的编写，实现控制器与触摸屏之间的通信。

为了更好地满足用户需求及更高的产品效率，根据控制要求设置了简洁的人机界面^[12]，使用户可以选择切割模式与更改经常需要设置的参数。模式共有 3 种：定长切割、色标切割与点动调试。定长切割控制系统主要包含找零频率、切刀频率、返回频率等速度值设定，以及刀架前进、切割与返回的位置值设定。同时为了更好地记录已生产的产品件数，需要在人机界面上进行实时显示。具体主画面界面见图 4。

该控制系统的使用界面采用上海理工大学自主研发的组态软件编写^[13]。



图 4 触摸屏人机界面
Fig.4 Touch screen human-machine interface

3.2 跟踪程序的设计与实现

增量式编码器常用于角位移测量，计算编码器输出的脉冲信号得到管材进给的长度与速度^[14]。采取 STM32 外部 IO 的输入中断功能对编码器 AB 相信号进行处理，触发方式为 A 相任意电平触发。每次触发，利用全局变量 signal 记录下 B 相当前的电平状态，待下次触发时进行判断。如果下次触发时，B 相电平与前次记录值不同，则正常进入中断函数，反之判断此次信号为抖动。在中断函数中，当刀架为前进方向时，对跟踪系数进行计算，为 $Sum=Sum+k$ ，并判断 Sum 值是否大于设定的比较值 C，若大于 C，则拉高刀架输出信号的电平，并将 Sum 值减去 C，同时记录刀架前进的脉冲数。待下次 A 相电平触发时，拉低刀架输出信号的电平，与上次信号形成一个脉冲信号，完成刀架的跟踪。编码器外部中断处理流程见图 5。

3.3 主功能程序的设计与实现

阐述在无色标切割模式下的程序设计，色标切割模式与之类似。

控制系统上电后，刀架首先自动寻找零点并等待

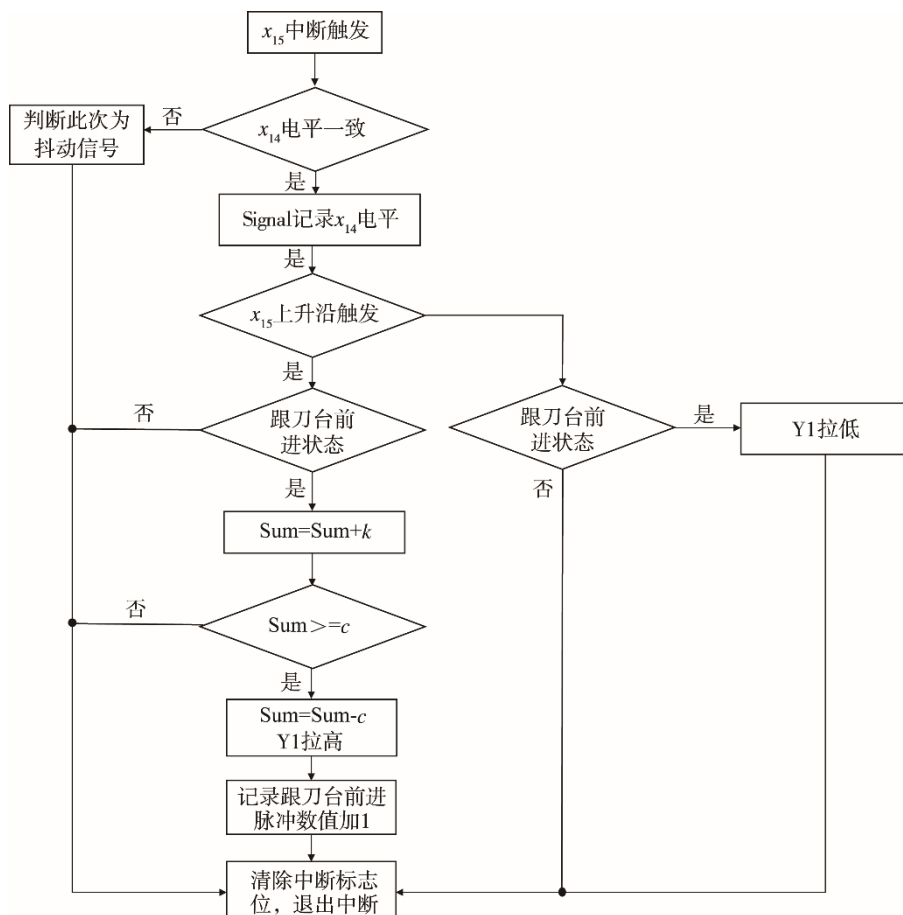


图5 编码器中断处理程序流程

Fig.5 Flow chart of coder interrupt processing program

启动信号。正常启动前,系统会自动判断参数设置的合理性,如果参数设置不合理,则无法启动刀架。在正式启动前,用户可以利用点动调试模式调试设备,检验系统是否正常。正常启动后,管材前进速度由测量辊测得,并由光电编码器以脉冲的形式传递给控制器。当管材到达设定的定长位置后,刀架开始加速跟踪。当管材到达切割位置后,此时刀架已经与管材的速度一致,切刀进行切割。当管材到达返回位置时,刀架停止前进并开始反向运动,经过加速、匀速及减速阶段。当刀架接收到零位信号后,停止运动,等待下次跟踪启动信号。控制系统程序流程图(定长模式)见图6。

4 Sigmoid 函数设计

设备在启停阶段,容易产生抖动,因此需要加减速来减小抖动。常见的加减速曲线有直线型加减速、指数型加减速和 S 型加减速^[15-16]。目前,常用的 S 型算法有多项函数与分段函数。文献[15]提出了基于位移的 7 段加减速算法,采用多项式拟合生成 S 型曲线,计算复杂,运算量大。Sigmoid 函数本身是 S 型曲线,计算简单,容易实现。此外在 $[0, +\infty]$ 上, $\tanh$

函数与 Sigmoid 函数具有相同性质,但在构造函数与计算上比 Sigmoid 函数复杂。因此,针对刀架以最大速率返回容易产生抖动的问题,提出采取基于 Sigmoid 函数的 S 型算法, Sigmoid 函数原型为:

$$y = \frac{1}{1 + e^{-kx}} \quad (3)$$

其导数为:

$$y' = \frac{ke^{-kx}}{1 + e^{-kx}} \quad (4)$$

由式(4)可知, k 值大小决定 S 型曲线的平缓程度。

伺服电机采用位置模式,因此控制器发出的脉冲频率将直接影响到伺服电机的转速。刀架返回时,已知返回的启动频率、停止频率、最大频率以及返回的脉冲数,因此需对该函数进行一定的变化,使之符合返回时的要求,具体函数如下:

$$f = f_{\min} + \frac{(f_{\max} - f_{\min})}{1 + e^{\frac{-k(P_i - \text{num})}{\text{num}}}} \quad (5)$$

式(5)为加速时的函数。式中: f 为脉冲当前频率; $f_{\min}$ 为返回时启动频率与停止频率; $f_{\max}$ 为匀速阶段最大 nvx 频率; P_i 为已返回的脉冲数, k 与 num 决定加减速阶段曲线的平缓程度与时间。由式(4)

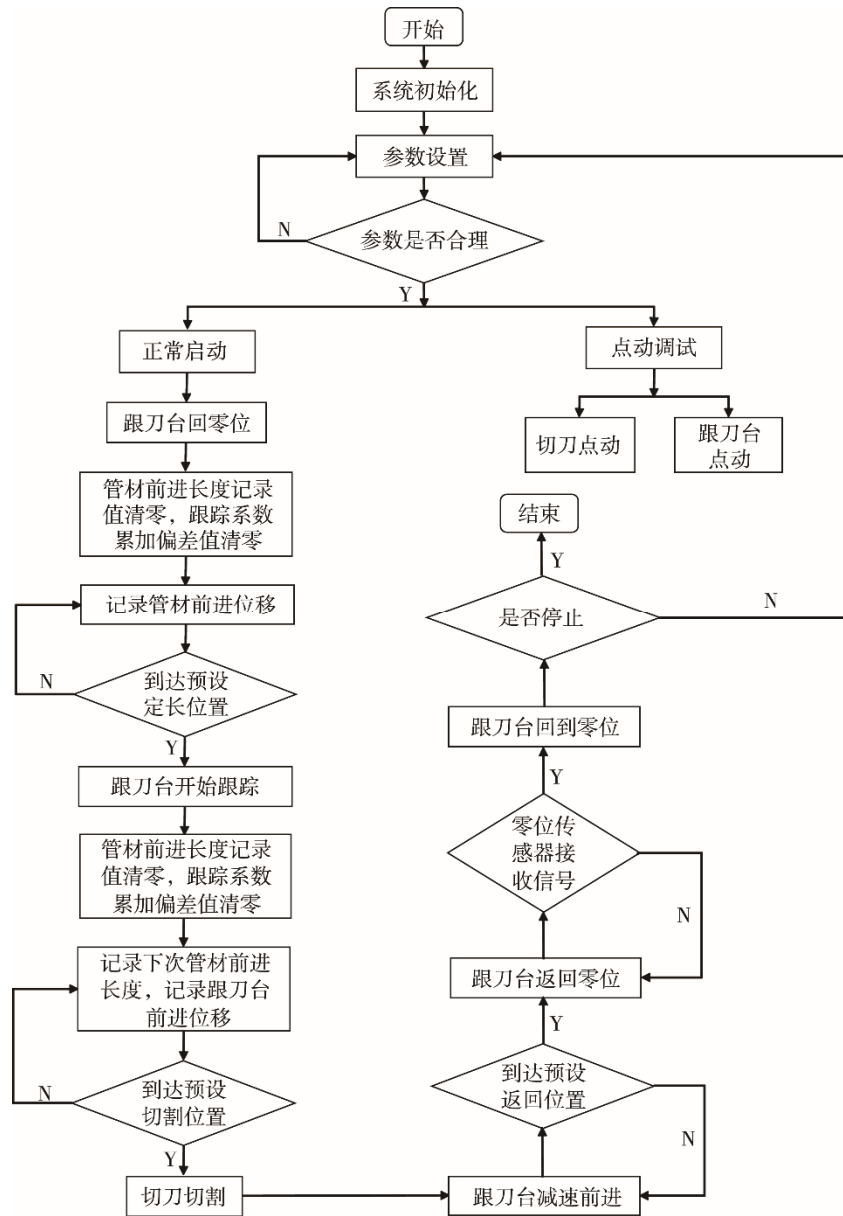


图 6 定长切割控制系统程序流程

Fig.6 Program flow chart of fixed-length cutting control system

知，在 k 值不变的情况下，随着 num 的增大，曲线变缓。减速时采用的函数为：

$$f = f_{\min} + \frac{(f_{\max} - f_{\min})}{1 + e^{\frac{k(P_i - P_j - \text{num})}{\text{num}}}}$$

(6)

式中： P_j 为进入减速阶段已返回的脉冲数，此值可根据实际需要上下浮动，以保证匀速到减速交接处的平缓程度。

5 仿真与实验

5.1 MATLAB 仿真

以实际要求为例，返回脉冲数为 1500，加减速脉冲各为 250，最高频率 9000 Hz，启动与停止频率 450

Hz，使用 Matlab 进行仿真，结果见图 7。

由图 7 可知，基于 sigmoid 函数的 S 曲线能有效

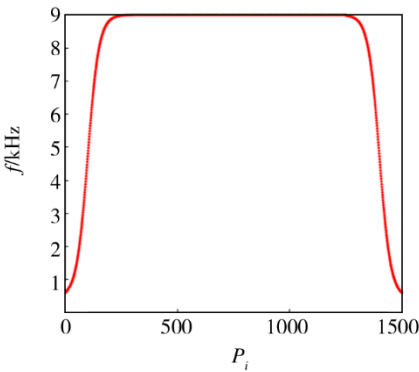


图 7 刀架返回加减速曲线

Fig.7 Tool holder return acceleration and deceleration curve

减少刀架启停时的抖动,减少刀架运动时的刚性冲击,有效提高设备的寿命。

5.2 实验

为减少现场调试的时间,确保功能稳定,在实验室内利用现有设备对控制系统进行功能测试以及刀架的位置测试。主要设备有:变频器、编码器、伺服驱动器、伺服电机、触摸屏以及 STM32 控制板。利用变频器模拟管材速度,控制编码器脉冲的发送频率。利用伺服驱动器的反馈显示得到当前伺服电机的位置与速度。利用控制板的输出口,模拟零位信号与色标信号。上电初始化后,测试找零功能以及检验伺服驱动器显示面板的反馈数值。经测试,该控制系统功能稳定,位置与速度准确。具体测试设备见图 8。



图 8 实验设备

Fig.8 Experimental equipment

实验测试数据见表 1。

表 1 实验数据
Tab.1 Experimental data

切割位置/mm	理论脉冲数	伺服电机反馈脉冲数
10	187	187
33	618	618
90	1686	1686

经现场调试,找零频率为 1.125 kHz,切刀最高频率为 11.25 kHz,返回最高频率为 9 kHz,定长位置为 139 mm,切割位置为 10 mm,返回位置为 55 mm。经 1 h 生产,产品精度均在 1 mm 范围内,尺寸未产生波动。具体产品见图 9。



图 9 现场测试产品

Fig.9 On-site testing products

6 结语

针对包装管材的动态切割过程,研发了一套以 STM32 为核心的控制系统,取代了传统的 PLC,并使用跟踪原理实现了位置-速度同步,完成动态切割。采用基于 Sigmoid 函数的 S 型曲线能有效减少刀架返回时的抖动。经测试,该控制系统功能稳定,实时性高,切割精度符合生产要求,可用于不同长度规格管材的动态切割。

参考文献:

- [1] 彭泽光,陈忠,许美强,等.制袋机薄膜速度传感方法与定长控制[J].测控技术,2014,33(8): 61—64.
PENG Ze-guang, CHEN Zhong, XU Mei-qiang, et al. Film Speed Sensing Method and Fixed Length Control of Bag Making Machine[J]. Measurement and Control Technology, 2014, 33(8): 61—64.
- [2] 刘丽,孙政华.高速制管机上的自动化系统解决方案[J].控制工程,2015,22(S1): 141—144.
LIU Li, SUN Zheng-hua. Automation System Solution on High Speed Pipe Making Machine[J]. Control Engineering, 2015, 22(S1): 141—144.
- [3] WU H Z, LUO N H, WANG C Y. Study on Control Strategy of the Rotary Synchronous Fixed-Length Cutting System[J]. Vibroengineering, 2013, 15(2): 713—725.
- [4] 刘劲阳,蔡锦达,杨宝山.飞剪式纸护角定长剪切机系统的研制[J].包装工程,2014,35(15): 25—28.
LIU Jin-yang, CAI Jin-da, YANG Bao-shan. Development of a Flying Shear Paper Angle Fixed Length Shearing System[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(15): 25—28.
- [5] 陈海宾,苗思忠,张洋凯,等.不同压力下前混合磨料射流切割 CFRP 的试验研究[J].流体机械,2018,46(3): 13—16.
CHEN Hai-bin, MIAO Si-zhong, ZHANG Yang-kai, et al. Experimental Study on Cutting CFRP by Using Premixed Abrasive Water Jet under Different Pressure[J]. Fluid Machinery, 2018, 46(3): 13—16.
- [6] 杨文涛.嵌入式定长剪切控制系统研究及实现[D].大连:大连理工大学,2006.
YANG Wen-tao. Research and Implementation of Embedded Fixed Length Shear Control System[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2006.
- [7] 吴仑.型材定长切割系统研究与设计[D].沈阳:沈阳理工大学,2014.
WU Lun. Research and Design of Profile Cutting System[D]. Shenyang: Shenyang Ligong University, 2014.
- [8] 胡姣,钱晓龙,王策,等.基于运动控制器的飞剪定长切割系统的实现[J].仪器仪表学报,2005,26(8): 247—249.
HU Jiao, QIAN Xiao-long, WANG Ce, et al. Implementation of a Flying Shear Fixed Length Cutting System

- Based on Motion Controller[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2005, 26(8): 247—249.
- [9] 盛强. 基于模糊自适应 PID 的钢管定长切割控制系统[J]. 机电工程, 2011, 28(11): 1354—1357.
SHENG Qiang. Fixed Length Cutting Control System for Steel Pipe Based on Fuzzy Adaptive PID[J]. Mechanical & Electrical Engineering, 2011, 28(11): 1354—1357.
- [10] 杨宝山, 蔡锦达, 刘劲阳. 基于 ARM 的纸护角定长剪切控制系统设计[J]. 包装工程, 2015, 36(11): 118—125.
YANG Bao-shan, CAI Jin-da, LIU Jin-yang. Design of Long-cut Shear Control System Based on ARM[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(11): 118—125.
- [11] 王德铭, 蔡锦达, 金政宇. 基于 ARM9 的可变针织直径小圆机的控制系统[J]. 机电工程, 2017, 34(4): 376—379.
WANG De-ming, CAI Jin-da, JIN Zheng-yu. Control System of Variable Knitting Diameter Small Circular Machine Based on ARM9[J]. Mechanical & Electrical Engineering, 2017, 34(4): 376—379.
- [12] 熊途. 基于 ARM 的电脑圆机控制系统[D]. 天津: 天津工业大学, 2008.
XIONG Tu. ARM-based Computer Circular Machine Control System[D]. Tianjin: Tianjin Polytechnic University, 2008.
- [13] 陟俊杰, 蔡锦达, 唐静. 基于 ARM9 的多功能贴标控制系统研发[J]. 包装工程, 2016, 37(11): 133—139.
ZHI Jun-jie, CAI Jin-da, TANG Jing. Research and Development of Multi-Function Labeling Control System Based on ARM9[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(11): 133—139.
- [14] 蔡锦达, 王亮, 秦绪祥. 基于工业触摸屏的多点数据通信系统的设计[J]. 计算机应用与软件, 2012, 29(11): 299—301.
CAI Jin-da, WANG Liang, QIN Xu-xiang. Design of Multi-point Data Communication System Based on Industrial Touch Screen[J]. Computer Applications and Software, 2012, 29(11): 299—301.
- [15] 蔡锦达, 郭振云, 许智. 基于 Cortex-M3 的 S 型加速控制[J]. 控制工程, 2016, 23(2): 206—210.
CAI Jin-da, GUO Zhen-yun, XU Zhi. S-type Acceleration/Deceleration Control Based on Cortex-M3[J]. Control Engineering, 2016, 23(2): 206—210.
- [16] MU H H, ZHOU Y F. Profile Generation Algorithm and Implementation for High Accuracy Motion[C]. Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 2006: 549—554.