

# 瓦楞纸板同步剪切控制系统的设计与研制\*

任永益 潘孟春 翁飞兵 瞿元新

(国防科技大学机械电子工程与仪器系 长沙 410073)

**摘要** 介绍了微机控制瓦楞纸板同步剪切控制系统的设计研制。该系统由直流电机调速系统和单片微型计算机控制系统两大部分组成。直流调速系统采用线性二次型最优调节器方法设计,计算机控制系统采用单片微机双CPU技术。它是一个大功率高精度机电控制系统,具有响应速度快,剪切精度高,可靠性好,操作方便的特点。

**关键词** 计算机控制,同步剪切,线性二次型调节器

**分类号** TP13

## The Design and Development of Corrugated Paper Synchro Cutting Control System

Ren Yongyi Pan Mengchun Weng Feibing Qu Yuanxin

(Department of Mechatronics Engineering and Instrumentation, NU DT, Changsha, 410073)

**Abstract** This paper presents the design of the corrugated paper synchro cutting control system. This system consists of the DC motor speed control system and the micro-computer control system. The linear quadratic optimum regulator was adopted to design the DC motor speed control system. The double CPU technique of single chip microcomputer was adopted to design the computer control system. So, it's a system of great power and high precision. Rapid response, high precision, high reliability and convenient operation are characteristic of the system.

**Key words** computer control, synchro cutting, linear quadratic regulator

瓦楞纸板是制作包装纸箱的主要原材料,市场需求量很大。瓦楞纸板生产的一道重要工序是把已经压制成形的宽约2m的带状瓦楞纸横切成一定长度的纸板。过去国产瓦楞纸板生产线都采用纯机械式的横切机来完成这一横切任务的。横切工序对瓦楞纸板的生产质量和生产速度都有极大的影响。为了保证切口质量,要求剪切时刀刃的线速度必须和纸板的走纸速度相等,即实现同步剪切。此外,走纸速度应允许在零至120m/min范围内变化,最大切纸速度应达到100张/min,切纸长度应在0.4m至2.4m范围内可调,误差应小于2mm。然而机械式横切机由于机械本身的刚性制约难以同时满足上述要求,特别是切纸长度改变时需进行复杂的机械调节,费工、费时,操作极为不便。为此我们设计研制了微机控制瓦楞纸板同步剪切控制系统。该系统响应速度快,精度高,操作简便,运行可靠。它已成功地运用于生产实践,大大地提高了生产的自动化程度,提高了生产效率和产品质量,受到使用厂家的欢迎。

## 1 系统简介

瓦楞纸板同步剪切控制系统结构如图1所示。图1中M为一台55kW的直流电动机。该电动机经1级齿轮减速后拖动两个直径27cm、长2m的钢质刀辊。刀辊上成对安装长度与刀棍相同的刀片。当两个刀刃相切时,即实施瓦楞纸板的剪切。为保证剪切时刀刃的线速度与走纸速度相等,用一个测速辊轻压在纸板上,与测速辊同轴连接一光栅编码器 $PG_1$ , $PG_1$ 输出的脉冲频率即反映走纸速度。为保证刀辊在切纸后准确地停稳在指定的位置,与上刀辊同轴连接一个光栅编码器 $PG_2$ , $PG_2$ 输出的脉冲数反映刀刃的位置。测纸开关是一个光电反射式接近开关,用来监测是否有纸,以防空切。 $TG$ 是测速发电机,用来检测电动机的转速。直流调速系统对直流电动机M供电,并控制电动机按切纸的要求启动、剪切、制动和

\* 1998年6月12日收稿  
第一作者:任永益,男,1939年生,教授

停稳。由于每分钟切纸张数最高可达100张，因此电机处于不断的启、停工作状态，所以该直流调速系统必须具有极快的响应速度和优良的启、制动性能，还要能在制动过程中将能量返回电网，以节约能源。计算机控制系统用于接受  $PG_1$ 、 $PG_2$  和测纸开关提供的信息，根据这些信息和操作人员输入的有关参数控制直流调速系统运行。操作时，工人只需根据菜单提示的信息，通过键盘输入切纸长度、切纸张数、切纸组数等参数，然后按执行键，系统即自动实施同步剪切，并在切完一组参数的纸板后不停机地自动转入下一组参数的剪切，直到全部切完为止。

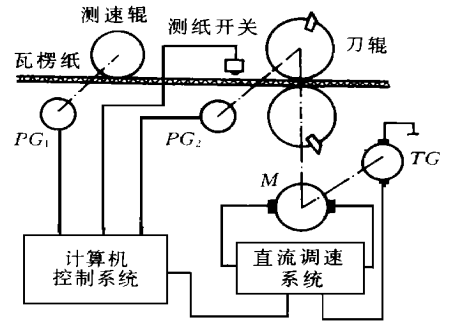


图1 瓦楞纸板同步剪切控制系统结构图  
Fig.1 Constitutional diagram of corrugated paper synchro cutting control system

## 2 系统设计

### 2.1 直流调速系统设计

直流调速系统框图如图2所示。它是一个速度环按最优控制设计的双闭环可逆调速系统。图中  $TR$  是110kw 的三相变压器。它的副边有两组绕组，分别对两个反并联的晶闸管三相全控桥  $THY$  供电。 $TM$  是移相触发器。它由六片  $KC04$  集成触发器和两片  $KC41$  双脉冲形成器组成。 $L$  是环流平波电抗器，它将环流限制在14A 以内。 $IR$  是电流调节器，它是一个比例积分调节器。它与晶闸管、电机电枢电路及电流反馈环节  $\beta$  组成电流闭环。电流调节器的参数按二阶最佳化设计。取其积分时间常数与电机的电磁时间常数相等，取电流反馈系数  $\beta=0.6$ ，经化简后的电流环等效传递函数  $G_I(s)$  示于图3(a) 中。

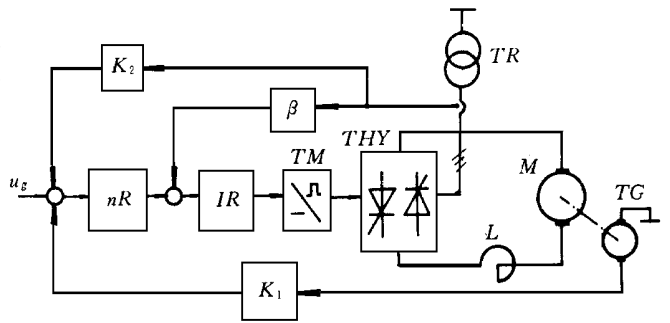


图2 直流调速系统框图  
Fig.2 Block diagram of DC speed regulated system

图2及图3(a) 中  $nR$  是速度调节器，它也是一个比例积分调节器。它与电流环等效传递函数  $G_I(s)$  及电机的机电环节一起组成速度最优控制系统的控制对象，如图3(a) 所示。在图3(a) 中取速度调节器积分时间常数  $\tau$  等于电流环等效时间常数  $T_i$ ，则图3(a) 可简化成图3(b)。图中  $K_n$  和  $T_n$  由电机参数确定，在本系统中  $K_n=0.396$ ， $T_n=0.025$ 。取状态变量  $x_1=n$ ， $x_2=I$ ，则控制对象状态方程可写成

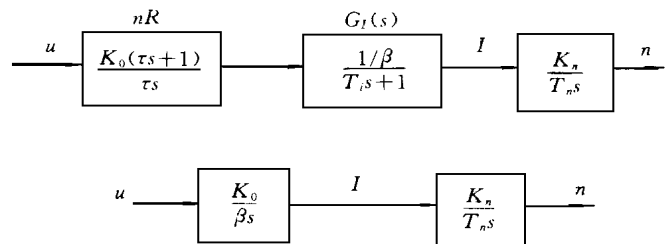


图3 速度最优控制对象框图及简化框图  
Fig.3 Block diagram and Reduced block diagram of speed optimum regulated object

$$\dot{X} = AX + Bu \quad (1)$$

其中  $A = \begin{bmatrix} 0 & K_n/T_n \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ ,  $B = \begin{bmatrix} 0 \\ K_o/\beta \end{bmatrix}$

目标函数  $J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} (X^T Q X + u^T R u) dt \quad (2)$

其中  $Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ ,  $R = \frac{1}{4}$

解 Riccati 方程  $PA + A^T P - PBR^{-1}B^T P + Q = 0 \quad (3)$

可求得最优反馈矩阵

$$K = -R^{-1}B^T P = -[K_1 \ K_2] = -[0.5 \ 1.1] \quad (4)$$

(4) 式中所求得的  $K_1$  及  $K_2$  即为图2中的最优反馈系数。<sup>[1]</sup>

### 2.2 计算机控制系统设计

计算机控制系统硬件框图如图4所示。系统采用双 CPU 结构。主、辅 CPU 分别采用两个8031单片机。主 CPU 的主要任务是对系统运行进行实时控制, 辅助 CPU 的主要任务是完成系统的参数输入、参数显示及系统自检。它们之间的参数传递及状态协调是通过串行通讯进行的。主 CPU 根据辅助 CPU 所提供的切纸参数和光栅编码器  $PG_1$ 、 $PG_2$  输出的脉冲经光隔和四细分后所计的数, 确定控制策略, 然后通过模拟开关输出控制信号  $u_g$ , 控制直流调速系统按预定的控制策略运行。

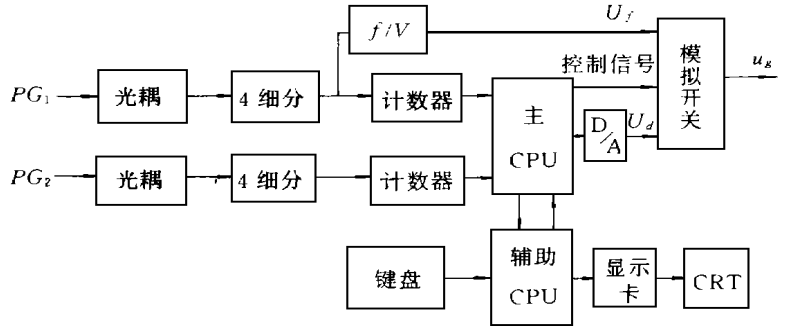
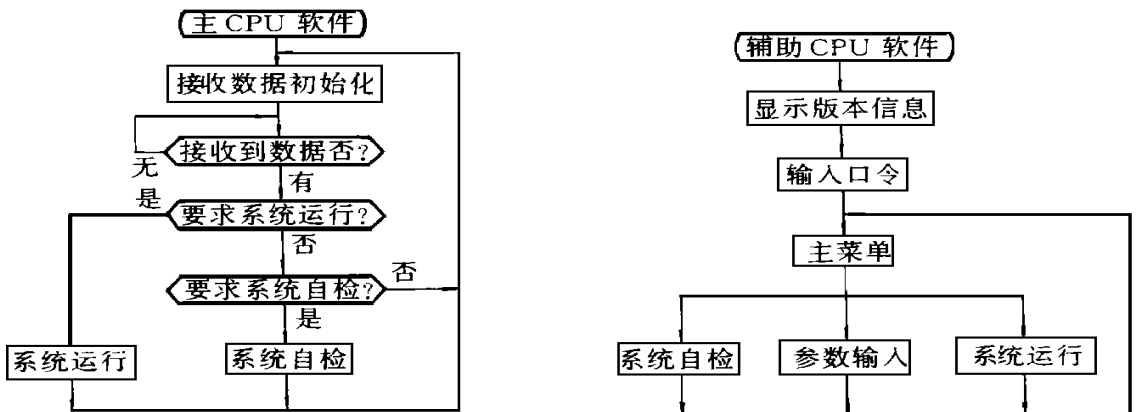


图4 计算机控制系统硬件框图

Fig. 4 Block diagram of computer control system's hardware

同步剪切系统的一个运行周期可分为启动、剪切、减速、停稳四个阶段。启动至剪切阶段主 CPU 控制模拟开关使其输出信号  $u_g$  等于  $f/V$  转换器的输出信号  $u_f$ 。因为  $u_f$  与  $PG_1$  输出脉冲频率成正比, 因此在这一阶段计算机输出的控制信号是与走纸速度成正比的电压信号。在这一给定电压信号的控制下, 直流调速系统启动主电机, 使之在极短的时间内达到同步剪切所要求的速度, 随即实施剪切。剪切动作完成后主 CPU 输出一个减速信号, 通过数模转换器和模拟开关使控制信号  $u_g$  等于  $u_d$ 。在  $u_d$  控制下电机减速, 减速行程由光栅编码器  $PG_2$  所输出的脉冲数决定。当减速到预定行程后系统进入位置环控制, 此时计算机根据  $PG_2$  提供的位置信息, 通过变参数 PID 算法, 输出相应的控制信号, 使刀辊准确地停稳在预定的位置, 为下一次切纸作好准备。

计算机控制系统的主 CPU 软件流程图, 辅助 CPU 软件流程图分别如图5(a)、(b) 所示, 其运行模块流程图如图6所示。



(a) 主 CPU

(b) 辅助 CPU

图5 计算机控制系统 CPU 软件流程图

Fig. 5 Software flow diagram of CPU of computer control system

### 3 结论

本系统研制成功后已在瓦楞纸板生产线上连续运行了近一年时间, 目前仍以十分良好的工作状态完成着生产任务。它不仅完全达到设计所要求的性能指标, 而且操作方便、价格低廉。本系统之所以能获得成功, 关键在于以下四方面的措施:

(1) 同步剪切系统中的大功率直流调速系统具有足够的快速性。这在一定程度上得益于速度环设计时所采用的线性二次型最优控制方式;

(2) 同步剪切系统中的计算机控制系统具有足够的精度。这得益于脉冲信号的四细分及变参数PID 算法。这些措施保证了位置环控制的精度, 使刀棍每次启动前都精确地处于同一位置;

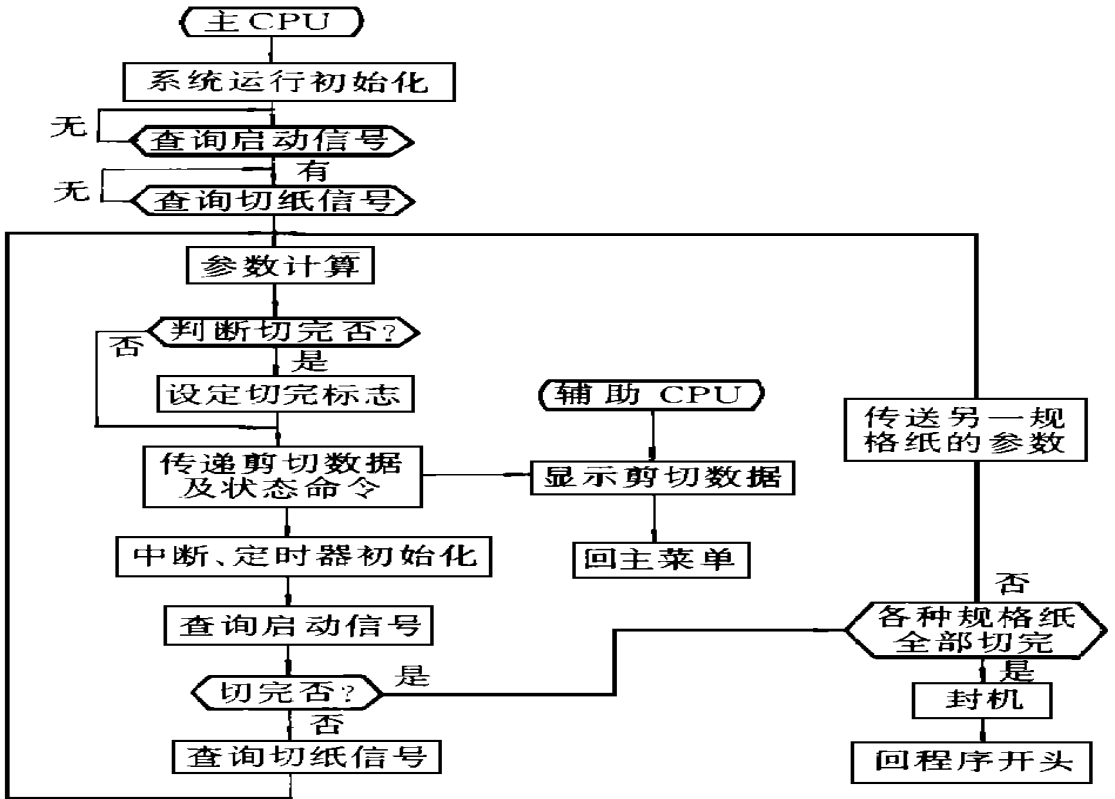


图6 计算机控制系统运行模块流程图

Fig. 6 Operational block flow diagram of computer control system

(3) 计算机控制系统采用双CPU 结构, 主 CPU 控制运行, 辅助 CPU 接受参数输入, 从而可以采用汉字菜单制作良好的人机界面, 使操作十分方便;

(4) 系统在硬件和软件两方面均采取了充分的抗干扰措施, 防止了强电对计算机系统的干扰, 保证了系统运行的可靠性。

### 参考文献

1 童调生. 电气工程最优控制. 北京: 机械工业出版社, 1989. 6