

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.04.017

# 气动张力控制系统在放卷装置中的应用

张亚锋

(常州工学院 光电工程学院, 江苏 常州 213002)

**摘要:**为解决纸张放卷过程中断纸、跑偏等问题,将气动技术应用到纸张放卷装置中,开展了纸张恒张力控制过程分析,提出了采用气缸浮辊位移的变化来检测纸张中的张力变化的方法,结合变速积分PID控制算法,完成了对纸张的恒张力控制。设计了以MCS-51单片机为主控芯片,位移传感器为反馈环节,电控气动比例阀为执行机构的气动张力控制系统。系统运行结果表明,气缸浮辊位移变化能快速响应张力变化,具有稳定性好、位移偏差低、控制精度高、鲁棒性强等优点,对收放卷系统恒张力控制具有重要的借鉴意义。

**关键词:** 单片机; 减压阀; 电控气动比例阀; 恒张力

**中图分类号:** TH138; TH39; TP206 **文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-4551(2014)04-0482-04

## Application of pneumatic tension control system for unreeling

ZHANG Ya-feng

(School of Optoelectronic Engineering, Changzhou Institute of Technology, Changzhou 213002, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of the broken paper and paper yaw, the pneumatic technology was investigated for unreeling. After the analysis of the control process of constant tension for the paper land, a method was presented to test the paper land tension through floating roll displacement variety for air cylinder, and achieve constant tension of the paper land with gearshift integral PID algorithm. Pneumatic tension control system was designed with MCS-51 single-chip microcomputer for main control chip, displacement sensor for feedback device and electricity-controlled pneumatic ratio valve for actuator. The running result of system shows that, the cylinder floating roll displacement can respond quickly to changes in tension, and it has good stability, low displacement deviation, high control precision, and strong robustness, so it has important reference meaning on constant tension control for reeling or unreeling.

**Key words:** single-chip microcomputer; pressure-relief valve; electricity-controlled pneumatic ratio valve; constant tension

## 0 引 言

在纸张放卷过程中,都不同程度地存在着断纸问题,一旦出现断纸,需要立即停止生产,重新接纸,既降低了生产效率,又加大了生产成本。断纸的根本原因是因为放卷装置是通过手工操作进行调节,张力控制完全是凭经验进行,通过配重块进行张力估计,当原纸所受到的张力超过其本身抗拉强度的极限值而手工又没有调节时,原纸就会发生断裂,因此设备上通常需要配置恒张力控制系统。气压传动具有防火、节能、高效、无污染等优点<sup>[1-2]</sup>,因此气压传动是实现张

力控制的理想方法之一,气缸常被作为执行元件来使用。在目前的一些放卷或收卷系统中多采用“减压阀+节流阀”,气缸的排气口径极小,易使纸张被拉断,为了解决这个问题,有的系统还配上张力传感器,但在实际使用过程中,收效甚微,主要体现在:①增加了系统的复杂性;②传感器所测压力信号只是局部,不能真实反映全幅纸张压力,不利于系统的稳定运行;③调试不方便,对不同的材料,压力设定值不同,给调试带来一定的难度。另外传统系统的控制器算法不合理,对张力的调节只是通过对设定值进行简单地比较获取控制信号,而且控制信号为一定值,当纸卷直径变化时,无法满足刹车制动力相应变化的要求。而

收稿日期: 2013-11-13

作者简介: 张亚锋(1976-),男,江苏泰兴人,讲师,主要从事光机电一体化方面的研究. E-mail:yafeng6911@126.com

且又多以 PLC 为主控制器,控制参数调节复杂,系统调试费时。

因此,本研究以 51 单片机为核心,气动控制为主要手段,采用变速积分 PID 控制算法,设计一套智能放卷气动张力控制系统。

## 1 系统设计

### 1.1 系统工作原理

系统工作原理如图 1 所示。由显示器设定目标位置值传输给单片机,该值即为 FESTO DNC 气缸 4 的中位,此时张力为气缸中的恒压力。当受到收卷装置速度变化和放卷辊子速度变化二者的影响时,滚轮 5 DNC 气缸 4 向左推离中位,此时位移传感器的反馈信号大于设定的目标值,单片机系统会输出信号,调节比例流量阀 MPYE 出口气压使气动刹车制动力降低,放卷辊子转速增加,从而滚轮 5 上纸张拉力降低,使 DNC 气缸往右移向中位;同理如果张力变小,DNC 气缸 4 向右偏离中位,此时位移传感器的反馈信号小于设定的目标值,单片机会输出信号,调节比例流量阀 MPYE 出口气压使气动刹车制动力增大,从而滚轮 5 上纸张拉力增加,使 DNC 气缸向左方向移回中位。这样,在纸张放卷过程中,DNC 气缸 4 根据外界的速度干扰在中位附近移动,保证了张力的恒定。系统原理实质是通过控制放卷的速度来间接控制纸张的张力。

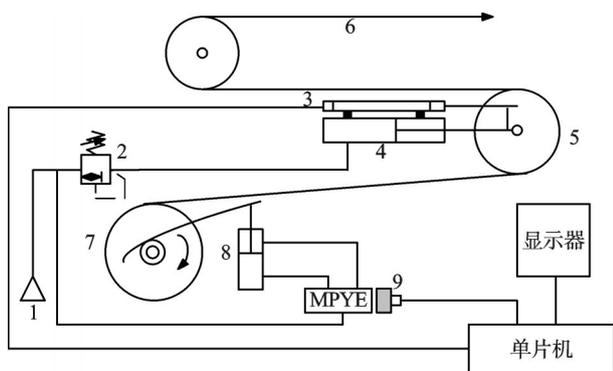


图1 放卷气动张力控制系统原理

1—气源;2—精密减压阀;3—位移传感器;4—DNC 气缸;5—浮动辊子;6—纸张或布匹;7—放卷辊子;8—气动抱闸;9—气动比例流量阀 MPYE

### 1.2 张力恒定

系统的目标张力通过 DNC 气缸 4 和精密减压阀 2 组合得到。系统工作前,应首先调节精密减压阀 2 使 DNC 气缸 4 的后腔中的压力达到相应值,DNC 气缸 4 的前腔排空。一旦系统工作,由于外界的扰动,导致纸张或布匹的张力变化,就会打破初始状态时的力学平衡,导致 DNC 气缸移动。当 DNC 气缸 4 后退时,为

了确保后腔气压维持在设定压力,后腔气体必须快速排出;同样,DNC 气缸 1 前进时,后腔中必须迅速充气,以维持后腔中压力恒定,即输出张力恒定。因此,在选择减压阀 2 时,其通气口径要远大于普通减压阀,以保证快速充排气,提高系统动态性能和响应频率,使执行元件的压力调节迅速,有效避免出现张力长时间过大或过小的不稳定现象。

### 1.3 硬件设计

放卷装置在线原纸张力智能测控装置的硬件框图如图 2 所示。它能对原纸所受到的张力进行自动调节,且安装容易,使用方便。气动刹车<sup>[3]</sup>系统现多用于轧钢、造纸、纺织等行业,是针对卷绕轴实现制动的执行机构(调节张力的执行机构)。由电控气动比例阀控制输出气压的大小来控制调节制动气刹的松紧程度,从而调节放卷辊轴的制动力,以实现张力的自动控制。为了让气动刹车系统能够快速动态响应变送器传输至 MCS-51 的浮辊中位的偏移量信号,应采用响应频率高的比例流量阀,比例流量阀在方向、速度、流量及压力控制中得到了广泛的应用<sup>[4-5]</sup>。该设计采用了响应频率达 100 Hz 的 MPYE 比例流量阀,其快速动态性能和单片机控制算法保证了不管外界干扰如何变化,DNC 气缸都能够将浮辊控制在中位附近小范围内活动。这就要求气动方向比例流量阀能灵活控制气刹的松紧度,防止控制过程中的过松或过紧的大波动现象。由于比例阀在其零位附近存在流量不敏感区域,导致系统反应滞后、动态响应过程长等问题,编程时常采用在输出控制量上预加常值信号以避免不灵敏区,即对阀的输入输出特性进行补偿<sup>[6]</sup>。

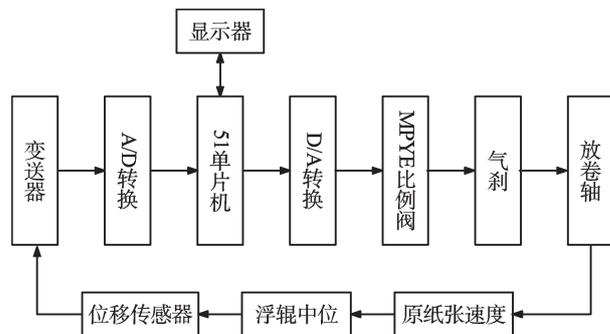


图2 硬件框图

根据 Festo 公司提供的 MPYE-5-1/8HF-420-B 流量特性的样本,在阀中位(电流为 12 mA)附近,流量出现不敏感区域,即不灵敏带,大约为 11.8 mA~12.2 mA;在实际应用时,研究者对阀的输入/输出特性要进行补偿,即在程序中的比例阀输入信号中加入相应的常值电流(气缸左移加负 0.2 mA,气缸右移加 0.2 mA),这样阀的实际电流不会落入 11.8 mA~12.2 mA 之间,避

开阀的不灵敏区。

单片机系统组成框图如图 3 所示,本研究采用了通用键盘/显示器接口芯片 8279,用于参数的整定和参数的显示。A/D 转换器是 12 位逐次比较型 AD574,用于转换位移传感器模拟量信号 4 mA~20 mA,D/A 转换器是 12 位的 DAC1208 芯片,用于将数字量转换成模拟量控制 MPYE 比例流量阀。

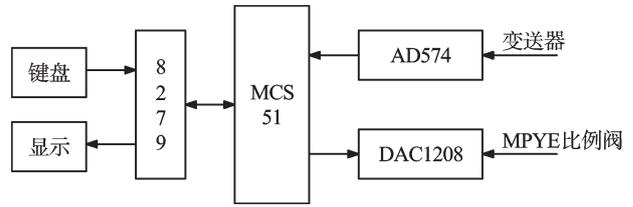


图 3 单片机系统组成框图

## 2 控制算法及程序设计

当一卷原纸刚开始时(称为上纸阶段),由人工调节张力的大小,此时选择开关位于手动档,并相应打开减压阀、比例阀和位移传感器,在显示器上设置减压阀压力值和比例阀输出压力值,控制系统只在其上

检测、显示张力、比例阀流量及压力和位移传感器反馈电信号,系统并不放卷运行,也不调节张力。比例阀输出压力值由放卷速度决定,减压阀压力值由所需张力决定。这些初始设置值在程序中以指定的数据存储单元保存,这是系统投入实际运行的一个重要条件。上纸结束后,人工按“自动/手动”转换键和控制选择键,系统控制方框图模型如图 4 所示。

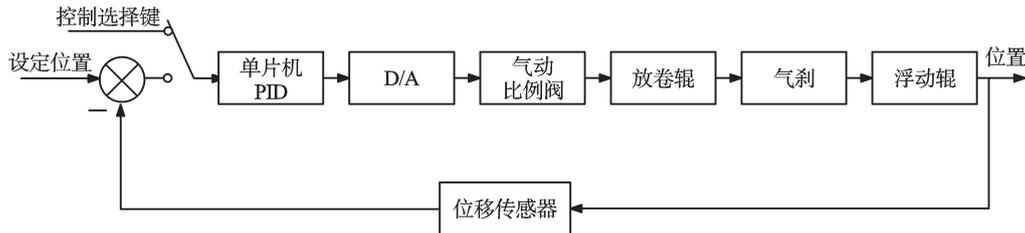


图 4 系统控制框图

由于系统启动运行时或其他外界冲击性干扰因素出现时,系统偏差往往较大,此时 PID 控制中的积分项应减弱甚至是不起作用,当偏差小时则加强积分作用。另外为了避免 PID 输出的积分饱和作用,本研究采用变积分 PID 算法。尽管有很多的先进 PID 算法,如模糊自适应 PID 控制<sup>[7-9]</sup>得到了广泛的应用,但考虑到采用了普通的 51 单片机及系统实际的运行特点,采用变积分 PID 算法完全满足要求,其算法表达式<sup>[10]</sup>为:

$$u(k) = k_p e(k) + k_i \left\{ \sum_{i=0}^{k-1} e(i) + f[e(k)]e(k) \right\} \cdot T + k_d [e(k) - e(k-1)] \quad (1)$$

式中:参数  $k_p, k_i, k_d$  —PID 比例项系数、积分项系数和微分项系数。

系数  $f[e(k)]$  在区间  $[0, 1]$  内变化,其表达式为:

$$f[e(k)] = \begin{cases} 1, & |e(k)| \leq B \\ \frac{A - |e(k)| + B}{A}, & B < |e(k)| \leq A + B \\ 0, & |e(k)| > A + B \end{cases} \quad (2)$$

其中,积分隔离区参数  $A, B$  通过显示器设定,当偏差  $|e(k)|$  小于  $B$  时,积分项变为  $k_i \sum_{i=0}^k e(i)T$ ,回归到普通 PID 积分,当偏差超过最大偏差  $A + B, f[e(k)] = 0$ ,表明积分项不再对当前值  $e(k)$  进行累加,当偏差在  $B$  与

$A + B$  之间时,积分项只是对部分当前值进行累加。该系统运行前,取  $B$  值 3 mm,  $A$  值 7 mm。

由于系统中部分未知的数学模型,本研究在参数整定时,将图 5 中的控制选择键选择整定档,脱离反馈系统,采用现场凑试法<sup>[11]</sup>确定 PID 比例项系数  $k_p$  和积分项系数  $k_i$ ,微分项系数系统中设为 0。

软件流程图如图 5 所示。手动设置比例阀输出压力值时,在显示器上由人工按“加 1”、“减 1”标识对减压阀进行微调,即微调张力。按下启动按钮,系统开始运行,并自动检测、自动显示浮辊在中位附近波动大小,开始自动调节张力的大小。当一卷原纸运行结束时,由人工按一下“自动/手动”转换按钮,又会回到“上纸”的阶段。为了区别“上纸”和“运行”两个不同的阶段,在“运行”阶段时显示器上显示一个特定的标志。程序中 A/D、D/A 转换分别指减压阀、比例阀反馈信号、位移传感器反馈信号采集和减压阀、比例阀压力电信号数/模转换。

## 3 结束语

在纸张放卷过程中,只有保持纸张的张力恒定才能保证放卷的顺利进行,而要张力恒定,就必须使得放卷装置的放卷线速度和收卷装置的收卷线速度等速匹配。但系统实际运行过程中,放卷辊和收卷辊都

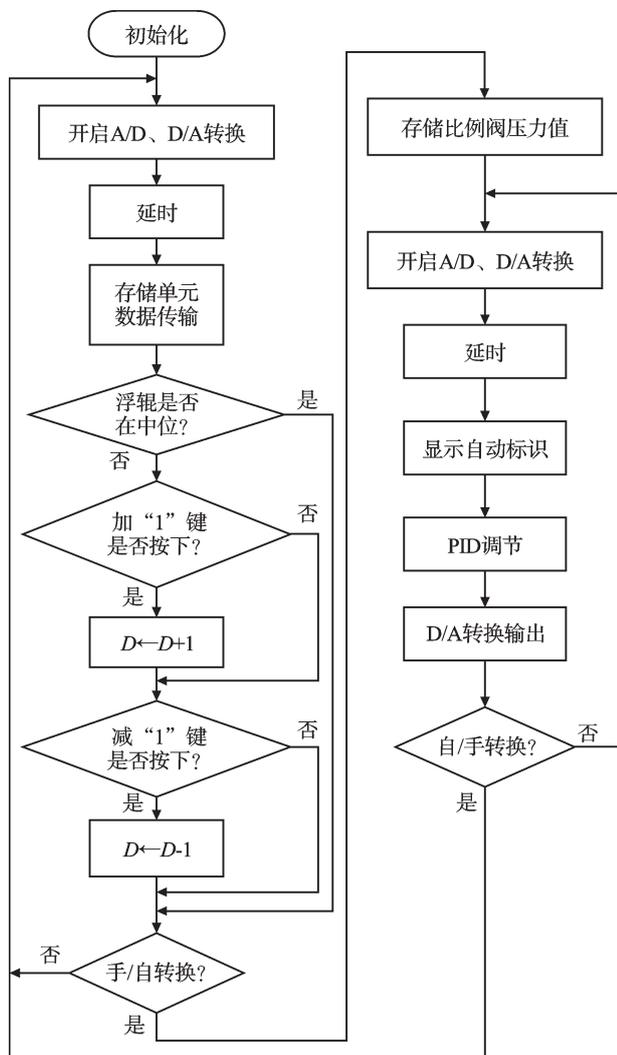


图5 程序流程图

会因纸张卷径的变化而导致载荷的变化,使得收放卷的线速度产生差异,或其他外界不可知因素造成线速度差异。传统的测速、测张力难以控制,以气动装置、单片机、位移传感器为硬件支撑,采用安装于气缸上面的浮动辊位移的变化来间接检测纸张中的张力变化,则变得简单易行。通过现场的运行及数据记录,系统在反复启动运行时,浮辊绝对值偏差达到 12 mm,但系统很快平稳运行,在平稳运行的过程中,浮辊绝对值偏差稳定在 4 mm 之内。

系统的成功运行需要注意以下几点:①减压阀须

采用通气孔径远大于普通减压阀的精密减压阀;②电控气动比例阀须采用比例流量阀,且线性度及灵敏度高;③气缸往复回程灵敏,摩擦系数小;④纸张放卷过程中,在上纸阶段和纸张放卷快结束时,张力波动较大,导致浮辊位移偏差较大,综合考虑积分饱和现象,应采用变速积分PID控制算法。

系统现场运行结果表明,在对纸张放卷运行时,稳定可靠,张力易调试设定,动态性能好,张力稳定,克服了纸张放卷过程中的断裂、跑偏等现象,尤其是气刹能适时跟踪浮辊位置偏移量信号,灵敏度高,控制性能好,浮辊的位置偏移量只在较小的范围内波动,其控制过程表现为很好的智能性,可以在多种型号的接纸机上使用,大大提高了生产效益。

参考文献 (References):

- [1] 吴乘波,徐志农,周晓军,等. 智能PID控制在超精密抛光机气动系统中的应用[J]. 机床与液压,2005(10):101-103.
- [2] 李建国. 基于PLC的气动分拣装置控制系统设计[J]. 液压与气动,2011(6):83-85.
- [3] 岑耀东,陈林. 热镀锌张力辊电机气动抱闸系统的改造[J]. 轧钢,2012,29(1):50-52.
- [4] 张建成. 气动比例阀[J]. 机床与液压,1994(6):325-327.
- [5] 宋非非,曲涵,董云峰. 一种压电式气动比例阀的研究[J]. 液压与传动,2010(8):31-33.
- [6] 李志. 消除气动比例阀不灵敏区的方法探讨及软件补偿方法的应用[J]. 机床与液压,2005(1):212-214.
- [7] 沈斌,张宪,赵章凤,等. 基于模糊PID的双闭环茶叶杀青控制系统研究[J]. 机电工程,2013,30(10):1218-1221.
- [8] 李聪,尹文庆,冯学斌,等. 基于模糊自适应PI控制的无刷直流电机无级调速系统[J]. 机电工程,2012,29(1):49-52.
- [9] 丁鹏,姚平喜. 基于Matlab的无刷直流电机Fuzzy-PID控制研究及其建模仿真[J]. 机电工程技术,2012,41(2):10-13.
- [10] 刘金琨. 先进PID控制Matlab仿真[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
- [11] 孟飞,潘雪涛,张亚锋. 基于PLC和组态软件的橡胶硫化设备控制系统开发[J]. 电气应用,2011,30(4):28-30.

[编辑:张翔]

本文引用格式:

张亚锋. 气动张力控制系统在放卷装置中的应用[J]. 机电工程,2014,31(4):482-485.

ZHANG Ya-feng. Application of pneumatic tension control system for unreeling[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering,2014,31(4):482-485. <http://www.meem.com.cn>