

纺织后整理设备多轴同步张力控制技术研究^{*}

蒋晓磊¹, 史伟民^{1*}, 彭来湖¹, 倪祖鑫²

(1. 浙江理工大学 现代纺织装备技术教育部工程研究中心, 浙江 杭州 310018; 2. 海宁纺织机械厂, 浙江 海宁 314400)

摘要:针对开环系统张力控制精度低, 受扰动影响大, 以及传统机型多轴运行同步性差, 面料加工效果不理想等问题, 研究了一种基于 PID 算法的闭环张力控制技术, 提高了张力控制精度和系统抗干扰能力, 并在此基础上引入多轴速度调节补偿机制, 解决了设备运行时的同步性问题, 实现了多轴同步张力动态平稳调节。该技术已成功应用于海宁纺织机械厂 ME776ASF 型磨毛机, 在性能上较传统磨毛机有较大的提升。

关键词:张力; 闭环控制; PID; 多轴同步

中图分类号: TH6; TH39; TP273; TS103.7

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)02-0195-03

Study of multi-spindle synchronization tension control technology of textile finishing equipment

JIANG Xiao-lei¹, SHI Wei-min¹, PENG Lai-hu¹, NI Zhu-xin²

(1. Engineering Research Center of Modern Textile and Equipment Technology, Ministry of Education, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. Haining Textile Machinery Factory, Haining 314400, China)

Abstract: In order to solve the problems of low accuracy and low anti-interference of open loop tension control system and poor synchronization and poor processing effect of conventional equipments, a new tension control technology, using close loop policy and PID algorithm, which could improve tension control accuracy and raise anti-interference capability was investigated. On the basis of this technology, compensation mechanism for multi axial velocity adjustment which could solve the problem of synchronization when the machine was running had been introduced. The purpose of synchronously regulating multiple spindle tension dynamically and smoothly was accomplished. The experimental results show that by the application of this new technology, the ME776ASF sanding machine which is made in Haining Textile Machinery Factory achieves better performance than the conventional one.

Key words: tension; close loop control; PID; multi-spindle synchronization

0 引言

纺织后整理设备包括磨毛机、起毛机^[1-2]等设备, 其张力是影响面料后整理效果的一个最重要的因素, 目前, 国内大部分后整理设备主要是采用开环的张力控制, 尽管其控制技术简单, 但往往效果不是太好, 而国外已经有采用闭环张力控制技术的各种后整理设备出现, 如国际知名品牌意大利的 Lafer 公司生产的

产品。

本研究讨论了一种采用闭环张力控制, 以 PID 算法为核心, 实现纺织后整理设备多轴同步张力动态平稳调节的控制。

1 纺织后整理设备导布系统

纺织后整理设备的导布系统由进布辊、前导辊、后导辊、上导辊、出布辊组成。面料首先由进布辊导入,

收稿日期: 2010-08-20

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目 (2009BAF39BD5)

作者简介: 蒋晓磊 (1985-), 男, 浙江嘉兴人, 主要从事机电控制及自动化方面的研究. E-mail: yakamoz1985@163.com

通信联系人: 史伟民, 男, 教授级高工, 硕士生导师. E-mail: swm@zstu.edu.cn

在前导辊和后导辊之间完成后整理处理,最后经上导辊和出布辊导出,导布系统共需 5 台伺服电机控制,每两根导辊间装有张力传感器,如图 1 所示(图中●表示张力传感器)。

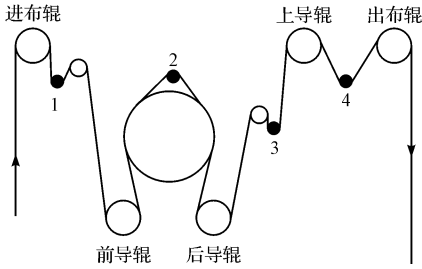


图 1 后整理设备导布系统示意图

各导辊的转速差产生各段张力,例如:当前导辊速度大于进布辊速度时,张力增大;当相对速度逐渐缩小时,张力也相应地减小。张力大小就是根据这个原理来调节的。

2 多轴同步张力控制

2.1 张力的产生

张力产生的根本原因是由于生产线前后存在着速度差,要想控制张力恒定,就要控制速度差恒定。将进布段传动机构简化如图 2 所示,以进布段的织物张力为例,分析张力控制系统的工作原理。

设织物从进布辊进来时的线速度为 v_1 ,经前导辊后线速度变为 v_2 ,进布辊与前导辊之间的距离为 L ,织物的弹性模量为 ε ,织物的截面积为 δ 。

由胡克定律可知,织物所产生的张力^[3]为:

$$F = \frac{\varepsilon \delta}{L} \int_{t_1}^{t_2} (v_2 - v_1) dt \quad (1)$$

式中: t_1 —织物经过进布辊的时刻, t_2 —织物到达前导辊的时刻, $t_2 - t_1$ —织物从进布辊传送到前导辊所需要的时间。

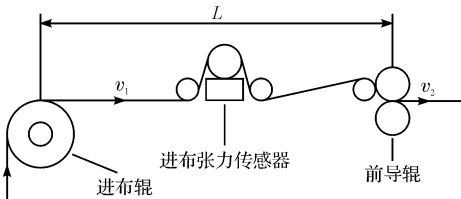


图 2 进布段传动机构图

要保证进布段的张力恒定^[4],就是要保证进布辊与前导辊之间的线速度差恒定即可。进布张力传感器实时采集该点张力值,经 PLC 运算后实时调整前导辊的转速,从而保证恒定的线速度差,即实现恒张力控制。

系统的张力段共分为 4 段,分别为进布、加工、上导和出布。进布段主要起到预紧面料张力作用,其目的是为了使面料张力在整个加工过程中达到近乎相同的状态,使面料受力均匀。上导段和出布段张力也起到了平衡加工段张力的作用。

2.2 单段张力闭环控制

张力调节是通过 PLC 的模拟量输入模块实时采集张力传感器的值,模拟量经 PLC 的 ADC 输入通道转化为数字量,后一导辊的转速以前一导辊转速为基准,经 PID 运算并进行导辊转速补偿后控制伺服电机的输出。现以加工段为例,单段的张力闭环控制流程如图 3 所示。对于图 3 中的前辊补偿,会在 2.4 小节作详述。

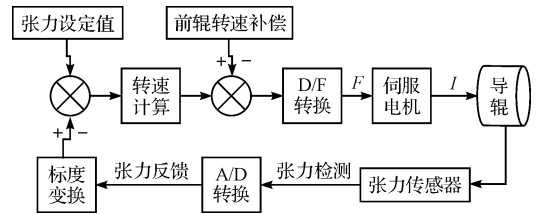


图 3 单段张力闭环控制原理图

2.3 PID 算法

PID 控制器是一种线性控制器^[5],它根据给定值 s (设定的张力值)与实际输出值 r (采样的张力值)形成控制偏差量:

$$e(t) = r(t) - s(t) \quad (2)$$

PID 控制因为算法简单,具有可以改善系统动态特性和稳态特性^[6-7]的优点,只要正确设定参数便可以实现其控制作用,因而被广泛应用于张力控制系统中。

PID 控制基本运算公式如下:

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (3)$$

式中: K_p —比例系数, T_i —积分时间常数, T_d —微分时间常数, K_p/T_i —积分系数 K_i , $K_p \cdot T_d$ —微分系数 K_d , $e(t)$ —本次采样值和上次采样值的差值,积分就是整个控制过程差值的总和。

在计算机控制系统中使用的是 PID 数字调节器^[8],需要对式(3)离散化,令:

$$u(t) = u(KT);$$

$$e(t) = e(KT);$$

$$de(t)/dt = (e(KT) - e(KT - T))/T;$$

$$\int_0^t e(t) dt = T \cdot \sum_{j=0}^k e(jT)$$

所以式(3)变化为:

$$u(KT) = K_p \left[e(KT) + \frac{1}{T_i} \times T \times \sum_{j=0}^k e(jT) + T_d \times \frac{e(KT) - e(KT - T)}{T} \right] \quad (4)$$

PID 控制器设计是基于精确的数学模型^[9],同时,在系统调试时通过经验来确定 PID 控制器的 3 个参数:比例系数 K_p 、积分系数 K_i 、微分系数 K_d 。

如果要求系统要达到动态平稳的运动特性,必须要有合适的比例、积分、微分参数以及系统的采样时间^[10]。PID 闭环调节流程图如图 4 所示。

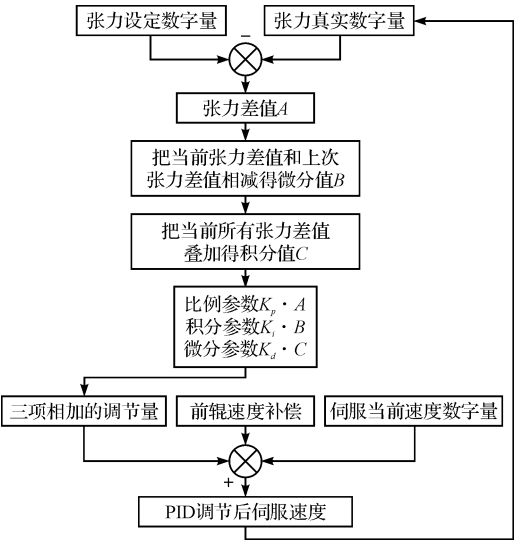


图 4 PID 算法流程

根据不同的面料,PID 参数也会作相应的调整,对于弹性较大的面料,每次 PID 的调节量就要大些,因此,PID 参数要相应调高;而对于弹性较小的面料,PID 参数则要调低。

2.4 多轴同步张力控制

上一小节主要讨论了单段张力闭环控制方法。由于后整理设备导布系统由多轴组成,一般为 5 轴,因此,在调节一根轴转速后,必须考虑到此轴对其他各轴的影响,这部分影响因子就是前辊补偿。多轴同步张力控制原理图如图 5 所示。

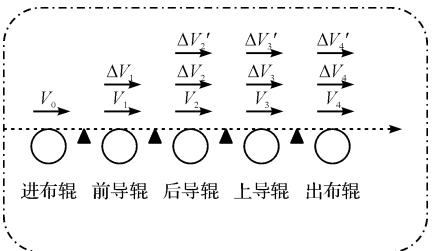


图 5 多轴同步张力控制原理图

设某一时刻,各导辊速度分别为 $V_1、V_2、V_3、V_4、V_5$,以进布辊为基准,经过各自单段张力闭环调节(无前辊补偿)后,前导、后导、上导、出布的调节速度依次为 $\Delta V_1、\Delta V_2、\Delta V_3、\Delta V_4$,为了使多轴张力实现同步,以前导辊为基准,在每根导辊调节速度的基础上,还需叠加上同步影响因子,即前辊补偿速度($\Delta V_2'、\Delta V_3'、\Delta V_4'$):

$$\Delta V_2' = \Delta V_1 \quad (2)$$

$$\Delta V_3' = \Delta V_2 + \Delta V_2' \quad (3)$$

$$\Delta V_4' = \Delta V_3 + \Delta V_3' \quad (4)$$

叠加上这一补偿速度后,就解决了前级张力调节对后面几级张力的影响,以防止前级调速造成后级张力的连续波动。

这是假定每一段的张力值在相同情况下所需叠加的补偿量。在实际应用中,由于工艺要求,每一段张力的设定值是不一样的,张力大小不同,布的伸缩量也会不同,因此,真实补偿量应是在原有补偿量的基础上再乘以补偿系数 a ,所以式(2,3,4)变化为:

$$\Delta V_2' = \Delta V_1 \times a_1 \quad (5)$$

$$\Delta V_3' = (\Delta V_2 + \Delta V_2') \times a_2 \quad (6)$$

$$\Delta V_4' = (\Delta V_3 + \Delta V_3') \times a_3 \quad (7)$$

式中: a_1,a_2,a_3 —补偿系数,其大小跟面料以及各段张力大小有关。

因此,多轴同步工作时,各导辊的实际速度为:

$$V_{\text{进布}} = V_0 \quad (8)$$

$$V_{\text{前导}} = V_1 + \Delta V_1 \quad (9)$$

$$V_{\text{后导}} = V_2 + \Delta V_2 + \Delta V_2' \quad (10)$$

$$V_{\text{上导}} = V_3 + \Delta V_3 + \Delta V_3' \quad (11)$$

$$V_{\text{出布}} = V_4 + \Delta V_4 + \Delta V_4' \quad (12)$$

2.5 实验结果

多轴同步张力调节曲线如图 6 所示。

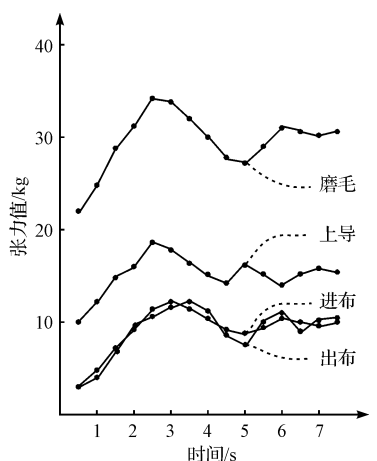


图 6 多轴同步张力调节

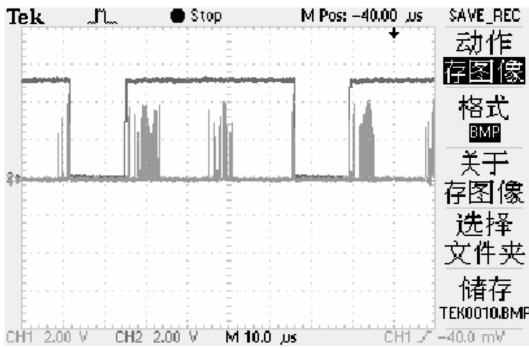


图 7 DE-DATA 波形

5 结束语

本研究采用 Altera 公司的 cycloneII 系列 FPGA 芯片,通过 DVI 接口技术和千兆以太网技术实现同步 LED 显示屏的高速数据采集与实时发送。系统很多功能由 FPGA 实现,外围器件少,所以体积小、处理速度快、可靠性高。该采集发送系统可以应用到同步 LED 大屏幕显示器中,满足其对实时的数字像素信息传输的要求。

[编辑:李 辉]

(上接第 197 页)

这里以 ME776ASF 型磨毛机为例,对磨毛作业进行过程中各段的张力情况进行分析,从图中可以看出,开机运行 6 s 后各段的张力都稳定在设定值,分别为 10 kg, 30 kg, 15 kg, 10 kg, 张力调节快速,各段同步性较好。

3 结束语

笔者主要研究了纺织后整理设备多轴同步张力动态稳定调节的控制方法。为了保证多电机运行的稳定性,在面料的张力控制上采用闭环控制,以面料张力误差值为参考量,经 PID 运算得到调节量反馈到伺服并输出脉冲,达到调节各段张力的目的。在此基础上,为了解决传统机型同步性欠佳的问题,加入了同步补偿量,使后面各轴速度快速跟随前辊速度,从而实现了多轴的同步调节,减小了各段张力波动的范围,提升了系统的同步性能。此多轴张力同步控制技术已在海宁纺织机械厂的 ME776ASF 型磨毛机上应用,对磨毛机运行过程各段张力波动情况进行检测。样机试验表明,该磨毛机张力调节迅速,波动小,5 轴同步性好,在张力调节技术上较之前老机型有较大的改进。

参考文献 (References):

[1] 黄凤根,吴文英,陈瑞琪. 机电一体化在纺织机械中的应

参考文献 (References):

- [1] 王 炜,冯永茂,丁铁夫. 基于 FPGA 高速实时数据传输系统设计方案[J]. 微计算机信息,2008,24(26):134-136.
- [2] 俞彬杰. 基于 FPGA 的全彩色 LED 同步显示屏控制系统的设计[D]. 上海:上海交通大学自动化系,2008.
- [3] Digital Display Working Group. DVI Specification Revision. 0[M]. Digital Display Working Group,1999.
- [4] 王春军,潘昉晟. DVI 接口在嵌入式系统中的应用[J]. 计算机工程,2005(20):207-208.
- [5] 徐秀知,冯永茂,陈 宇,等. DVI 数字视频接口的硬件设计[J]. 电子器件,2006(4):1280-1283.
- [6] Texas Instruments, TI PanelBus™. TFP401A datasheet [M]. Texas Instruments,2003.
- [7] 李政江,陈文彬,何其锐. DVI 接口应用系统的设计[J]. 国外电子元器件,2007(3):31-34.
- [8] 于洪涛,丁铁夫,郑喜凤,等. 基于 FPGA 的千兆以太网光纤转换器的设计[J]. 中国光学与应用光学,2009(4):352-357.
- [9] 詹俊鹏,李 鹏. 基于 Altera FPGA 的千兆以太网实现方案[J]. 电子设计工程,2009(2):50-52.
- [10] Altera Corportion. Triple speed ethernet mega core function user guide [DB/OL]. [2008-01-01]. <http://www.altera.com.cn>.

[编辑:李 辉]

- 用[J]. 国外纺织技术,2002(12):1-7.
- [2] 周奉磊. 纺织机械的机电一体化现状与发展趋势[J]. 中国纺织,2005(3):154-156.
- [3] 陈立秋. 测径及张力控制[J]. 染整技术,2007,29(12):47-48.
- [4] 张水英,麻寿光. 整经机 PLC 恒张力自动控制系统[J]. 纺织学报,2004,25(1):83-84.
- [5] 陶永华,尹怡欣,葛芦生. 新型 PID 控制及其应用[M]. 北京:机械工业出版社,1999:1-5.
- [6] ASTROM K J, HAGGLUND T. PID Controllers: Theory, Design, and Tuning[M]. North Carolina: Research Triangle Park,1995.
- [7] RADEK M. Experimental verification of design methods for conventional PI/PID controllers[J]. WSEAS Transactions on Systems and Control,2010,5(5):269-280.
- [8] YU Gwo-ruey, HWANG Rey-chue. Optimal PID speed control of brush less DC motors using LQR approach[C]//Proceedings-IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. Taiwan: [s,n],2004:173-178.
- [9] SONG Xiao-yan, YANG Qing-jie, ZHANG Xue-ming, et al. Application of compound PID control in the DC servo motor[J]. Applied Mechanics and Materials,2009(16-19):145-149.
- [10] 可编程序控制器模拟量及 PID 算法应用案例[M]. 北京:高等教育出版社,2008:85-110. [编辑:张 翔]