

全闭环经编送经系统PID控制算法设计

夏风林,肖超杰,张琦,蒋高明

(江南大学 经编技术教育部工程研究中心,江苏 无锡 214122)

摘要:针对先进经编机用电子送经系统精度高、响应速度快的要求,设计了一种全闭环控制的电子送经系统,它主要由控制单元、送经驱动装置、测速反馈装置和主轴信号装置4个部分组成。阐述了该全闭环送经系统的控制过程,并对其控制算法进行了研究。为了提高系统的快速响应性能,设计了修正PID(比例-积分-微分)控制算法,即当经编机正常运转时,则采用PID控制以提高系统的控制精度;而当开停车时,采用PD(比例-微分)控制以减少超调量,增强系统的快速响应能力。

关键词:经编;电子送经系统;全闭环控制;PID控制;控制算法;停车横条

中图分类号:TS 183.1

文献标志码:A

文章编号:1000-4033(2012)07-0056-04

随着经编生产技术的发展,小批量、多品种已成为经编生产的基本要求,经编行业对电子送经系统的性能要求也越来越高^[1]。电子送经系统可使得经编生产更便捷、品种更丰富、品质更优化,已成为高性能经编机不可或缺的部分。目前国内外已有许多关于电子送经系统结构的研究^[2-4],以及对电子送经系统控制的研究^[4-5],但是对采用PID控制技术并分析其对经编停车横条影响的研究较少。本文通过引入PID控制技术开发了一种全闭环的经编送经系统,设计了基于PID控制的送经系统的控制算法,着重分析了经编机编织过程中的送经控制,以减小全闭环反馈信号的滞后,提高送经系统的送经精度和跟踪响应特性,从而优化经编电

子送经系统的整体性能。

1 经编送经系统控制要求

1.1 精度高

送经量是由坯布的组织结构确定的。随着经编生产的进行,经轴上经纱逐步消耗,经轴的即时外周长逐渐减小,因而送经系统必须随着经轴的减小而不断调整经轴的转速,以使送经量保持恒定、精确。送经量控制不精确,即经轴送出的经纱量与编织需要的纱线量不一致,造成经纱张力变大或变小,引起经纱的相互缠结甚至断纱,影响生产的顺利进行,导致生产效率下降^[6];同时引起所加工产品的线圈长度变化,导致坯布密度和克质量产生差异,影响产品质量。实践证明,送经量的精度应控制在2%以内^[7]。

1.2 跟随响应快

经编机主轴每转一转编织一个线圈横列,要求送经系统送出与坯布线圈结构相应的经纱长度。在经编机启动与停车时,经编机主轴的转速是变化的,送经系统必须随着主轴转速的变化而调整经轴电动机的转速,以保证经编机开停车过程中的经纱张力平稳,减轻甚至消除停车横条疵点。为此,送经系统必须跟随主轴速度的变化而实时调整经轴电动机的转速,这就要求送经系统具有较高的跟随响应性能。

2 全闭环送经系统结构设计

2.1 系统控制结构

全闭环经编送经系统主要由控制单元、送经驱动装置、测速反馈装置和主轴信号装置4个部

基金项目:江苏省产学研联合创新资金项目(BY2010119);中国纺织工业协会科技指导性项目(2011067);中央高校基本科研业务费专项资金资助(JUSRP211A04)。

作者简介:夏风林(1966—),男,副教授,博士。主要从事针织工艺理论与数控装备技术方面的研究工作。

分组成,其控制结构如图1所示。

全闭环经编送经系统中,控制单元主要包括工控机和送经运动控制卡等,送经驱动装置包括送经伺服驱动器和经轴电动机等,测速反馈装置主要包括经轴电动机反馈系统和测速压辊反馈系统,而主轴信号装置采用与主轴同步转动的光电编码器。

2.2 系统控制过程

全闭环经编送经系统根据主轴的转速驱动经轴转动送纱。经编机运行前,应先将送经工艺参数如送经量、经轴初始外周长和经纱总圈数等通过数据输入器件输入给控制单元。经编机运转时,控制单元通过主轴编码器连续地采集主轴位置信号,并根据每个扫描周期内的主轴编码器脉冲数获得主轴的转速;同时,控制单元根据设定的送经量、经轴初始外周长和主轴转速等数据计算出当前周期的经轴电动机转速,向送经驱动装置发出送经指令。送经驱动装置的伺服驱动器接收到控制单元的指令速度,控制经轴电动机按指令速度运转,同时经轴电动机通过其内置的编码器将电动机实际转速反馈给伺服驱动器,实现送经伺服驱动装置的内环控制。经轴电动机通过减速器等传动机件传动经轴运转,经轴运转时,紧压在经轴经纱表面并通过摩擦传动的测速压辊将经轴表面经纱的实际线速度反馈给控制单元,实现送经系统的全闭环控制。测速压辊的转速代表经纱实际送经速度,控制单元通过测速压辊反馈数据可获得当前周期的经轴即时外周长和实际的即时送经量等参数,并由此计算出下一周期的经轴电动机的指令速度。如此循环计算,以使实际送经量与设定送经

量始终保持一致,从而确保了经轴的送经精度。

经编机运转时常会因断纱、坏针等而停车。在开停车过程中每个扫描周期内主轴编码器输出脉冲数变化很大,控制单元的即时输出指令与反馈信号之间偏差较大,当采用PID积分补偿控制时补偿值不稳定而导致送经量偏差大,出现通常所称的停车横条。因而全闭环经编送经系统采用了如图2所示的控制流程图,在系统控制中控制

单元的输出指令值和测速压辊反馈信号之间的偏差量过大时采用PD控制,去掉积分校正环节;当这个偏差量较小即经编机正常运转时,采用PID控制,重新恢复积分校正环节。

3 全闭环送经系统控制算法

3.1 设计基础

3.1.1 主轴转一转,经轴送出一个线圈横列的纱线长度。主轴角速度的变化速度与经轴送出的纱线速度相等。

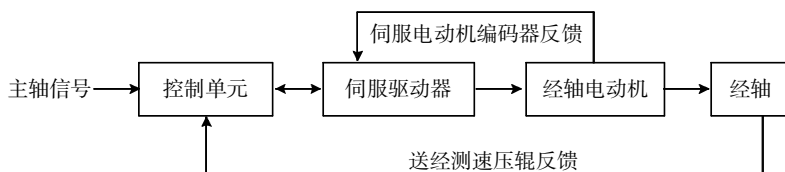


图1 全闭环经编送经控制结构图

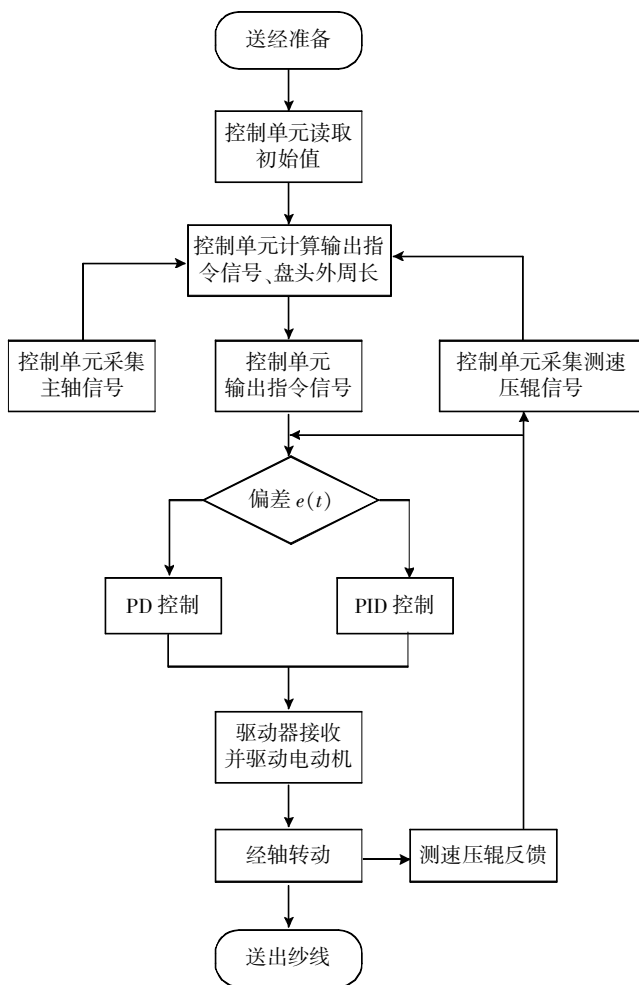


图2 送经系统控制流程图

3.1.2 测速压辊与经轴表面接触,测速压辊编码器反馈经轴输出的经纱线速度。

3.2 系统控制算法

3.2.1 经轴即时外周长

假设理想情况下,测速压辊与经轴表面纱线之间没有相对滑动,即测速压辊与经轴表面纱线的线速度一致,即有式(1):

$$\frac{\omega_{ji} \times C_i}{P} = \omega_{yi} \times C_Y \quad (1)$$

式中: C_i 为经轴即时外周长, mm; C_Y 为测速压辊外周长, mm; ω_{yi} 为测速压辊即时转速, r/min; ω_{ji} 为经轴伺服电动机即时转速, r/min; P 为送经装置中经轴电动机至经轴的机械传动比。

测速压辊内部的组成部分也是编码器,所以单位时间测出编码器发出的脉冲数可以计算出测速压辊的速度。

由式(1)可知,经轴即时外周长可用式(2)计算:

$$C_i = \frac{\omega_{yi} \times C_Y \times P}{\omega_{ji}} \quad (2)$$

如此获得的经轴即时外周长 C_i , 可避免半闭环控制系统中由经轴整经质量不佳、原始外周长参数错误等引起的误差^[6]。在起始时刻 C_i 即为经轴原始外周长 C_0 。

3.2.2 经轴电动机指令速度

控制单元读取当前送经量 F_Z (mm·rack⁻¹) 和经轴即时外周长 C_i , 由编织耗用纱长与经轴送出经纱长相等可得式(3):

$$\frac{\omega_{zi} \times F_Z}{480} = \frac{\omega_{ji} \times C_i}{P} \quad (3)$$

式中: ω_{zi} 为经编机主轴当前转速, r/min。

控制单元根据主轴编码器采样周期 t (ms)、该采样周期内主轴编码器发出的脉冲数 X_i 和主轴编码器每转脉冲数 K , 即可用式(4)

获得当前主轴转速 ω_{zi} 。

$$\omega_{zi} = \frac{1.2 \times 10^5 \pi X_i}{t \times K} \quad (4)$$

经轴电动机转速可用式(5)计算:

$$\omega_{ji} = \frac{250 \pi X_i \times F_Z \times P}{C_i \times t \times K} \quad (5)$$

3.2.3 经轴测速压辊反馈比较的差值

经轴测速压辊反馈的实际送经速度与控制单元指令的送经线速度进行比较,其差值 M (mm·min⁻¹) 用式(6)计算:

$$M = \frac{\omega_{zi} \times F_Z}{480} - \omega_{yi} \times C_Y \quad (6)$$

在送经系统的控制中,差值用于调整下一周期的经轴电动机指令转速,消除送纱偏差,保证了送经控制的精确性。

3.3 送经 PID 控制

3.3.1 PID 控制算法

系统的 PID 控制是根据控制单元的送经输出指令值和测速压辊的反馈实际值之间的偏差 $e(t)$ 来控制的,将偏差的比例(P)、积分(I)、微分(D)线性组合后,对被控对象进行控制,其模糊 PID 控制算法如式(7)所示:

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (7)$$

式中: K_p 为比例放大倍数; T_i 为时间积分常数, $T_i = \frac{K_p}{K_I}$; T_d 为时间微分常数, $T_d = \frac{K_p}{K_D}$ 。

$u(n)$ 是 n 时刻 PID 算法控制器输出的值,它是用数字积分和向后差分代替式(7)中的积分和微分项,进行离散处理得到的。设采样周期为 T , 得到位置型算法如式(8):

$$u(n) = K_p \left[e(n) + \frac{T}{T_i} \sum_{k=0}^n e(k) + T_d \frac{e(n) - e(n-1)}{T} \right] + u_0 \quad (8)$$

采用位置型 PID 控制算法时,控制单元的送经输出指令值与当前时刻之前的所有状态有关,且占用大量的系统资源,不利于提高系统性能。一旦系统存储资源出现丢失之前的送经输出指令值的现象,易出现送经量输出不稳定。采用递推法可算出 $n-1$ 时刻和 n 时刻的差值如式(9)所示:

$$\Delta u(n) = K_p \left[\frac{[e(n) - e(n-1)] + \frac{T}{T_i} e(n) + T_d \frac{e(n) - 2e(n-1) + e(n-2)}{T}}{1} \right] \quad (9)$$

这即为增量型 PID 算法,与位置型算法相比可见:增量型算法不需要从一开始的偏差值相累加,而送经输出指令量的增量只与最近几次的采样偏差值有关,不易产生误差累积,且计算误差和计算精度对其影响较小^[8]。采用增量型 PID 控制算法有利于提高全闭环送经系统的控制精度。

3.3.2 修正 PID 控制算法

在经编机正常运转过程中,控制单元的送经控制输出值和测速压辊反馈信号处于均匀的变化之中,即送经控制输出值和测速压辊反馈信号之间的偏差量较小,按式(9)所示的控制算法执行 PID 控制,可提高系统的控制精度。但当经编机开停车过程中,控制单元的送经控制输出值和测速压辊反馈信号之间的偏差 $e(t)$ 较大时,会造成送经伺服系统的响应速度跟不上输入信号的变化,在积分项作用下会产生大的超调和震荡,这对经轴电动机的运行不利,直接导致停车横条疵点。为此采用积分分离的方法进行修正 PID 控制,以提高控制系统的响应特性,将式(9)修正为式(10):

$$\Delta u(n) = K_p \left[\frac{[e(n) - e(n-1)] + \beta \frac{T}{T_i} e(n) + T_v \frac{e(n) - 2e(n-1) + e(n-2)}{T}}{T} \right] \quad (10)$$

式中: $\beta = \begin{cases} 1 & |e(n)| \leq \xi \\ 0 & |e(n)| > \xi \end{cases}$; ξ 为积分分离 PID 控制的阈值。当偏差大于 ξ (即开停车) 时, 采用 PD 控制, 减少超调量, 可增强系统的快速响应能力; 当偏差小于 ξ (即正常运转) 时, 采用 PID 控制, 以提高系统的控制精度。采用修正 PID 控制算法后, 控制系统可获得高响应速度, 从而改善停车横条疵点。

4 结论

4.1 在全闭环经编送经控制系统中可采用高运算速度的 DSP 控制器, 从而提高送经系统的快速响应性能。

4.2 经编送经控制系统中宜采用不易产生误差累积、且计算误差和精度对送经效果影响较小的增量式 PID 控制算法。

4.3 经编送经控制系统中可以引入修正 PID 控制算法, 即只有当控制输出量和反馈量之间的偏差较小时才进行积分校正, 可以大大提高送经伺服对主轴速度变化的跟随响应性能, 有效地降低经编机开停车过程中的送经张力波动, 为改善经编停车横条疵点提供了新的思路。

参考文献

- [1] 殷明跃, 夏凤林, 张琦, 等. 基于前馈控制的经编机横移系统高速定位[J]. 纺织学报, 2011(11): 126-130.
- [2] YUKHIN S S, KOROKHIN K A. Analysis of the changed loom warp let-off work [J]. Izvestia-vysshie Uchebnye

Zavedeniia Tekhnologiiia Tekstil'noi Promyshlennosti, 2001(1): 28-31.

- [3] 张琦, 汤友章. 经编机电子送经反馈控制及误差分析[J]. 针织工业, 2008(8): 34-36.
- [4] 杨薇, 史伟民, 张立朝. 基于 PLC 的高速经编机电子送经控制系统[J]. 机电工程, 2009, 26(9): 87-89.
- [5] 夏凤林. 伺服控制电子送经测速压辊的作用分析[J]. 纺织学报, 2008, 29(7): 95-99.
- [6] 王道兴. 电子送经系统经轴线速度计算公式的探讨 [J]. 纺织学报, 2007, 28(12): 110-112.
- [7] 蒋高明. 针织学[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2008: 110-112.
- [8] 杨殿龙, 谢明红. 基于速度模式的数控系统高速高精度控制研究[J]. 机床与液压, 2008, 36(10): 208-210.

收稿日期 2012 年 4 月 5 日

链接

电子送经与机械式送经系统的比较

在现代高速特里科和拉舍尔经编机中, 线性送经场合最常用的机械式送经机构是 FAG 送经装置, 该装置能使经轴一直到经纱用完都保证连续、恒定的送经。FAG 送经装置由经编机主轴通过传动装置驱动经轴回转进行送经, 由测长装置及无极变速调整装置组成。测长装置由机械式链轮链条组成, 当调整感应杆及控制涡轮之间产生速度差时, 棘爪离开中间位置撑动棘轮, 并且当速度差积累到一定程度时, 棘爪才撑动棘轮转动一齿。同时带动丝杆回转, 使处于两个椎体(圆锥轮)之间的摩擦(传动)环改变工作位置, 从而改变传动比。在这些调整装置的前面, 各经轴按照织物组织要求与相应的送经变换齿轮连接, 使各经轴按不同的送经比送出经纱。

FAG 送经装置的缺陷是在高速情况下, 经轴转速控制不准确, 不能满足送经量变化的要求。由于机械式送经机构存在着许多传动间歇, 致使控制作用滞后于实际转速的变化, 因而机械式送经机构反馈性能不足, 不能满足更高速度的送经要求。特别在停车与开车时易造成明显的停车横条。而且随着车速的提高, 差动齿轮磨损严重, 不仅能量损耗很大, 而且带来噪音。此外由于技术上的原因, 停车换轴时, 人工传动经轴非常困难, 因此操作舒适程度不高。

电子送经系统各经轴分别单独控制, 通过电动机减速器带动经轴转动。因为经轴的转动惯量很大, 而转动角速度较低, 所以必须选择合适的减速器, 以保证经轴获得较大的启动转矩。电子送经系统与传统的机械式送经相比具有如下优点: 能实现更高的车速, 提高了生产效率; 更改送经量方便、迅速, 无需更换送经变换齿轮; 更换经轴时不需要人工转动经轴, 只需简单按键即可; 不需要通过主轴电动机经齿轮传动经轴, 各经轴采用单独控制, 减少了摩擦和能量损耗; 减少了噪音, 提高了操作的舒适性。