

整经纱线的电磁式恒张力控制方法研究

周文聪,张昊,秦浩杰,刘小龙,米心馨
(南京航空航天大学 机电学院,江苏 南京 210016)

摘要:开发一套能够实现多根纱线恒张力调控的张力控制系统。使用电磁力作为张力控制张力输出,使用红外对管作为传感器检测断纱,实现根据走纱速度动态输出张力、多型号纱线工艺参数存取、纱线头份校验以及断纱位置定位。经过试验表明:该系统可控制纱线张力误差在7%以内,使用恒张力控制算法后,纱线张力能够长时间稳定地保持在设定区间内。该方法适用于大部分纱线张力控制场合。

关键词:电磁式;纱线张力控制;断纱监测;张力补偿

中图分类号:TS190.63 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2023)05-0225-03

Design and Development of Electromagnetic Tension Control System for Warping Yarn

ZHOU Wencong,ZHANG Hao,QIN Haojie,LIU Xiaolong,MI Xinxin

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Develops a tension control system governing the tension of multiple yarns. The system uses electromagnetic force as tension control tension output and infrared pair tube as sensor to detect yarn breakage to realize dynamic output tension in the light of yarn running speed, access to multi-type yarn process parameters, yarn end check, and yarn break position position. Experiments show that the system can control the yarn tension error within 7%, and with the constant tension control algorithm, the yarn tension can be stabilized within the set range for a long time. This method is suitable for most yarn tension control occasions.

Keywords: electromagnetic; yarn tension control; yarn break monitoring; tension compensation

0 引言

在整经工序中,为了保证布面平整光洁、粒纹清晰,要求经纱的张力均匀、排列均匀、绕卷均匀,其中张力均匀尤为重要,因为纱线张力的变化往往会降低织物外观质量、增加断头率以及对后续的生产环节会产生重要影响^[1-2]。纱线张力过大容易影响纱线的物理性质,如伸长率、强度等,还易造成断纱,极大影响生产效率;纱线张力过小又会导致卷绕脱圈、断头以及织物表面不平整、结构松散等问题^[3]。为了确保经纱质量,需要在纱线走纱过程中实现恒张力控制^[4-5]。

关于纱线恒张力的研究,国内蒋林军等设计了基于卡尔曼滤波和 MRAC 的卷绕张力控制。通过设定系统目标卷绕张力和运行时的目标线速度,获取收卷纱筒实时半径、收卷电机输出转矩和转速,在控制器中建立收卷系统张力数学模型,求解收卷电机的输出转矩,实现纱线收卷时张力保持稳定状态^[6]。符燕辉等设计了一种基于 DSP 的闭环式恒张力喂送纱线的系统,该系统利用智能 PID 控制方法,实现对一个超低惯量高动态性能伺服电机转速的全数字化控制,以达到纱线恒张力喂送的目的^[7]。意大利知名企业 SAVIO 生产的自动络筒机 ORION 使用压电传感器测量纱线张力,通过电磁式张力盘加压的方式控

制纱线张力^[8-9]。本文面向批量纱线张力控制场景,开发出一款前馈式、低成本、能够实现纱线恒张力控制的纱线张力控制系统。

1 纱线张力控制原理

纱线在走纱时经过张力单元上的两片张力盘,张力盘下的电磁铁通电后磁化产生磁场,吸引极性张力盘,对纱线施加一个正压力。在纱线走纱时会受到一个动摩擦力,通过改变施加在电磁线圈上的电压改变对纱线的正压力,从而控制纱线张力^[10-11]。

本文设计的控制系统如图 1 所示。主控制器通过一个接近开关监测纱辊的转速,推算出纱线走纱速度,根据程序中设定的走纱速度与纱线张力的关系对当前张力单元输出张力进行调节,以实现不同走纱速度下的纱线张力恒定。

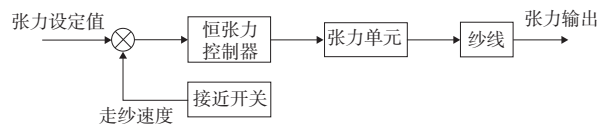


图 1 纱线张力控制系统框图

第一作者简介:周文聪(1997—),男,江苏盐城人,硕士研究生,研究方向为微机系统设计理论与技术,15051956275@163.com。

2 电磁式张力控制系统构成

本文提出的电磁式张力微控制系统主要由主控制器、分控制器、外围传感器和执行单元组成,结构框图如图2所示。

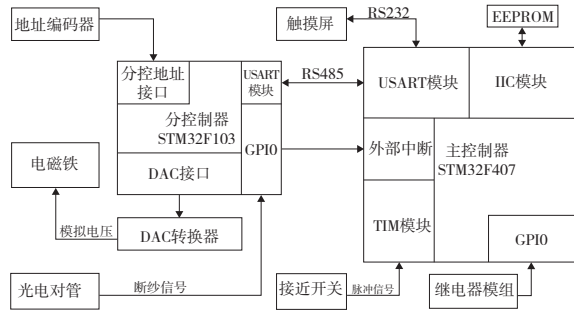


图2 系统硬件设计

系统所有的分控制器都由主控制器统一管理,主控制器与各分控制器之间使用RS-485接口通信。分控制器主要功能包括:控制DAC转换器输出特定电压给电磁线圈,通过光电对管定时查询纱线走纱状态。主控制器负责收集各分控制器上的纱线挂载数据、向各分控制器发送命令、计算纱线走纱速度并向分控制器下达调整纱线张力等功能。

2.1 恒张力控制策略

经纱的张力主要由以下几个部分组成:退绕张力、导纱机件摩擦引起的张力、张力器附加的张力、空气阻力以及纱线自身质量引起的张力,空气阻力在计算时可以忽略^[12-13]。

根据参考文献[14]中的公式,纱线经过单个导纱棒后的张力为

$$T_i = T_0 e^{f\alpha + mv^2} (e^{f\alpha} - 1) \quad (1)$$

式中: T_0 为纱线的初张力,即纱线张力器处的引出张力,可以看作退绕张力 T_0 和张力器张力 T_i 之和; $f\alpha$ 为纱线与导纱棒之间的摩擦因数; m 为与导纱棒接触的纱线质量; v 为纱线走纱速度。纱线张力随 v^2 而增大,且与纱线的质量以及纱线对向导器的包围角 α 有关。

纱线自身质量产生的张力与摩擦因数及纱线质量有关,计算公式为^[15]

$$T_w = f \cdot q \cdot L \quad (2)$$

式中: f 为摩擦因数; q 为单位长度纱线质量; L 为纱线长度。

参考课题组前期的研究成果,张力单元上的张力盘产生的正压力 F_n 大小表达式为

$$F_n = k \frac{U^2 N^2 S_1 S_2}{\delta^2 R^2 (S_1 + S_2)} \quad (3)$$

式中: k 为修正系数; U 为电磁线圈所受的电压; N 为电磁线圈的匝数; S_1 和 S_2 分别为磁座的外圈有效面积和内圈有效面积; δ 为极性张力盘与环形磁路之间的间隙; R 为电磁线圈的磁阻。

从式(3)可以看出,在硬件条件确定的情况下,正压力与线圈电压的平方呈正比关系,与极性张力盘间隙的平方呈反比,在纱线品类确定、张力盘表面摩擦因数一定的情况下,根据滑动摩擦力公式:

$$f = \mu F_n \quad (4)$$

得出张力器的输出张力与电磁线圈电压平方呈正比。

将以上公式中的常量用 k 代换,可以得到纱线的最终张力公式为

$$T = k_\alpha k_0 U^2 + k_1 + k_2 v^2 + k_4 L \quad (5)$$

为方便分析,这里以第一排纱架,即距离整经机最近的一排纱架为基准,在纱线长度 L 为固定常量时,要想实现张力恒定,即 T 值也为常量,上式可以简化为只有变量 v 和变量 U 的椭圆方程:

$$\frac{v^2}{a^2} + \frac{U^2}{b^2} = 1 \quad (6)$$

式中 a 和 b 均为常量。因为速度和电压值均为正值,方程在笛卡儿坐标系上仅在第一象限有效,且电磁线圈的最佳工作电压范围较小,而且对频繁变化的走纱速度进行开方运算对MCU的资源消耗较高,所以这里使用以直代曲的策略,将上式椭圆方程在坐标轴上的有效区间近似拟合为直线,可以得到关于 v 和 U 的线性一次方程:

$$U = kv + c \quad (7)$$

式中 k 和 c 均为常量。实际工作中,需要用户手动输入两组数据,在保证首排纱线张力一致的情况下,分别试出低速和高速走纱状态下电磁线圈的电压值,程序将根据所给值计算出上式中的常数,并以此关系式作为纱线速度与电磁铁输出电压的参考公式,根据当前纱线走纱速度计算出对应的DAC电压,以命令的方式发送给分控制板,实现对纱线张力的动态控制。

除了走纱速度对纱线张力的影响,还需要考虑纱线自身质量产生的张力对最终张力的影响。根据式(5),纱线走纱速度相同的情况下,要保持最终张力恒定,电磁铁电压与纱线长度需要满足以下公式:

$$U^2 = kL + n \quad (8)$$

式中 k 和 n 均为常量,且 $k < 0$ 。为确定上式中的常量,需要在保证纱线最终张力的前提下,试出首排纱架在高速状态下的电磁线圈电压,末排纱架在相同速度下电磁线圈的电压,程序将根据所给值计算出上式中的常数,并以此关系式作为纱线长度与电磁铁输出电压的参考公式,计算出电压作为附加项加在式(7)计算所得的电压之上,从而实现纱架不同距离下,纱线恒张力的控制^[16]。

2.2 软件设计

主控制器主要任务处理时序图如图3所示。

主控制板负责遍历所有的分控制板,下发张力设定命令以及走纱速度进行测定。首先主控制板根据用户设定参数构建走纱速度、纱线长度与电磁铁电压之间的关系公式,根据走纱速度调整系统张力输出,同时以分控制板地址作为纱线长度变量,向不同地址的分控制板发送对应的张力数据;分控制板负责将主控制板上发来的张力数据处理后,写入DAC转换器,转换器输出电压到张力单元,由此实现系统的恒张力控制。

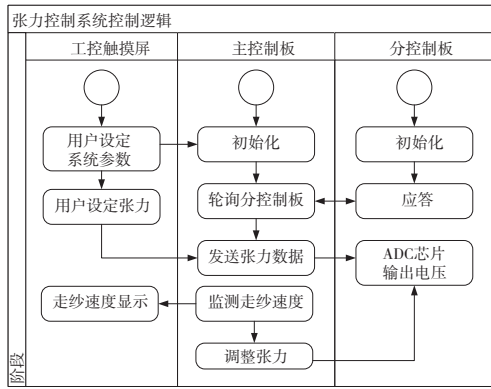


图3 主控板主要任务处理时序图

3 试验

3.1 张力控制精度和一致性测试

试验中,使用4根纱线进行张力检测试验,线型均为本白棉纱,线密度为21S(英支),纱线挂载到张力单元上,由一块分控制器控制,1、2号纱线所在的张力单元安装到左侧立柱上,3、4号安装到右侧相同高度立柱上,4根纱线接触包角基本一致。纱线走纱运动速度为120m/min,试验用到的张力单元均已出厂标定。

设定张力单元对试验纱线施加同等的张力,在相同走纱速度下测量试验纱线的张力值,并比较纱线张力值之间的一致性,然后将系统输出张力作为变量,测量不同张力值下的张力值一致性,测得实际张力值如表1所示。

表1 棉纱在不同电压百分比下的实际张力值
单位:cN

电压百分比/%	纱线序号				相对标准偏差/%
	1	2	3	4	
40	11.9	14.5	13.5	13.3	6.97
50	19.4	22.7	20.4	21.2	5.77
60	28.6	32.5	29.3	31.5	5.20
70	44.0	51.8	45.6	49.4	6.44
80	58.9	68.3	60.1	67.3	6.58

从纱线张力与电磁线圈电压变化的关系角度来看,张力系统输出张力与电磁线圈电压呈现类平方关系。在更换了张力单元位置,排除张力单元位置影响后,同一电压下,根据试验数据计算值的相对标准偏差大多在7%以内,表明纱线张力呈现出良好的一致性。

3.2 走纱速度对纱线张力的影响

设定电磁线圈电压输出满载的60%,对试验纱线施加恒定的张力,以走纱速度作为变量,测量不同速度下的纱线张力值,探究走纱速度对最终纱线张力值的影响。在走纱速度分别为20m/min、40m/min、60m/min、80m/min、100m/min、120m/min情况下,每根纱线测得实际张力值如表2所示。

表2 棉纱在不同走纱速度下的实际张力值
单位:cN

纱线序号	走纱速度/(m/min)					
	20	40	60	80	100	120
1	26.1	26.9	28.4	29.0	30.0	30.4
2	27.5	27.7	30.5	32.5	33.7	34.2
3	27.0	27.3	29.4	30.9	31.4	31.7
4	26.5	27.9	30.4	31.4	32.8	32.9

从表2数据可以看出,排除纱线挂载位置这一影响因素后,纱线之间的张力呈现良好的一致性。随着走纱速度增加,纱线张力也随之增加,且速度越大,纱线张力增长得越缓慢。这是因为在速度比较低时退绕张力也低,退绕张力会随着速度增加而短暂增加,到达一定速度后,退绕张力趋于稳定,纱线总体张力增长放缓。

针对纱线在低速状态下纱线张力偏小于设定张力的情况,根据试验数据,在软件中增加速度与纱线恒张力控制程序,再次试验,在不同走纱速度下,每根纱线测得实际张力值如表3所示。

表3 软件修正后棉纱在不同速度下的张力值
单位:cN

纱线序号	走纱速度/(m/min)					
	20	40	60	80	100	120
1	27.1	27.5	27.3	28.1	28.7	28.7
2	27.8	28.3	28.9	29.1	29.8	30.3
3	28.6	28.9	28.5	28.8	29.3	29.8
4	29.0	29.3	29.6	29.5	30.2	30.6

根据表3的数据可以看出,相较于未使用张力补偿算法的试验结果,本次试验纱线张力趋于稳定,使用软件算法可以有效地对走纱速度引起的纱线张力变化进行补偿。

对纱架位置与线圈电压输出进行试验,试验方法如下:分别设定首排纱架上电磁线圈电压和末排电磁线圈电压,测量中间多排纱架上的电磁线圈电压,验证系统是否如期按照上文公式输出附加张力,试验测得线圈电压值如表4所示。

表4 不同纱架位置下线圈电压值 单位:V

张力单元	1排	2排	3排	4排	5排	6排
1	22.1	19.9	17.6	15.5	13.2	11.2
2	20.0	18.1	16.0	13.9	12.0	10.1
3	16.5	15.4	14.3	13.3	12.1	11.0

根据表4可以看出,纱架位置与电磁线圈电压呈现近似线性关系,这是因为首排和末排纱架之间的距离较近,二次线性不明显,软件可以根据纱架位置分配输出张力,从而实现了对于纱线长度不同引起的纱线张力差异进行恒张力控制。

(下转第247页)

此次控制电路优化主要为:1)在自动列车控制(ATC)的自动模式(AUTO MODE)输出端增加了一个自动模式继电器(AMR2);2)将编码器采集的自动模式信号(AUTO)的ATOMR1一组触点替换为自动模式继电器(AMR2)的一组触点。通过此次控制电路优化,编码器接收到的自动模式(AUTO)信号将与自动列车控制(ATC)的自动模式(AUTO MODE)保持一致。当按下折返按钮后进折返线时,即使司机将模式旋钮(MS)由自动驾驶(ATO)转换成手动(CM)模式驾驶进折返线,编码器所接收判别自动模式的信号将与列车是否自动模式驾驶同步化,从而避免了此种故障现象的再次发生。

4 结语

通过此次自动折返控制电路的优化,同步优化了编码器接收到的自动模式(AUTO)信号与自动列车控制

(ATC)的自动模式(AUTO MODE)。从根本上消除了该种车型由于司机不当操作引起的折返线牵引故障,提高了列车正线运营的稳定性与安全性。

参考文献:

- [1] 中国城市轨道交通协会.城市轨道交通 2015 年度统计和分析报告[R].北京:中国城市轨道交通协会,2016.
- [2] 代继龙,李晓刚,李兆龄,等.新一代 CBTC 系统方案研究与关键技术探索[J].铁路通信信号工程技术,2016,13(6):41-44.
- [3] 张滔,段晨宁,丘庆球.ATO 系统在广州地铁 1 号线的应用[J].地铁与轻轨,2001,14(1):47-50.
- [4] 李英.城市轨道交通折返线相关问题研究[J].城市轨道交通研究,2003,6(1):28-32,37.

收稿日期:2022-03-07

(上接第 227 页)

4 结语

试验数据表明,在多根纱线张力一致性上张力控制系统可以将最大误差控制在 7%以内。在设置为不同张力值时,纱线实际张力表现出良好的一致性,在不同速度下,经过算法矫正,纱线张力能够长时间稳定地保持在设定区间内。更换不同种类的纱线进行同样的测试,同样得到了比较理想的试验结果,系统的性能指标均达到设计目标。

参考文献:

- [1] WU X G, YU C, ZHU L. Reliability analysis of yarn tension control system based on FTA in jacquard loom [C]//2010 International Symposium on Intelligence Information Processing and Trusted Computing. Huanggang, China: IEEE, 2010:29-32.
- [2] 陈人哲. 纱线力学问题[M].北京:纺织工业出版社,1989.
- [3] KOO Y S. Correlation of yarn tension with parameters in the knitting process[J]. Fibers and Polymers, 2002, 3(2):80-84.
- [4] 曹薇. 纱线卷绕系统恒张力模糊控制策略研究[J]. 现代纺织技术, 2018, 26(2):80-84.
- [5] SHANKAM NARAYANA V P. Novel method for dynamic yarn tension measurement and control in direct cabling process[D]. Carolina: North Carolina State University, 2006.

- [6] 蒋林军,张华.基于卡尔曼滤波和 MRAC 的卷绕张力控制[J].轻工机械,2021,39(5):64-68.
- [7] 符燕辉,陈刚,柴明.纱线恒张力喂送系统的设计[J].纺织机械,2014(1):11-14.
- [8] 马厚坤,李兆旗,朱起宏.意大利萨维奥 ORION 自动络筒机浅析[J].纺织机械,2000(2):19-21.
- [9] 李景辉,张宇,张东平,等. AUTOCONER-338 型自动络筒机主要性能及生产实践[J].陕西纺织,2009(4):26-27.
- [10] ZHOU M L, FU Y H, HE Z Q, et al. The design of yarn constant tension feeder system [J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 274:294-298.
- [11] 缪宇轩,孟祥益,夏港东,等.非接触式纱线张力监测系统的研制与开发[J].毛纺科技,2020,48(5):71-76.
- [12] 陈旭初.棉织工艺设计[M].北京:纺织工业出版社,1980.
- [13] 庾在海,吴文英,陈瑞琪.纺织过程中的纱线张力测试方法[J].传感器世界,2004,10(1):27-29.
- [14] 吴震世.整经速度与纱线张力的关系[J].纺织学报,1985,6(3):23-25,2.
- [15] 张楠,景军锋,苏泽斌.纱线张力控制器的设计[J].西安工程大学学报,2016,30(4):446-451.
- [16] 翁鸣,陈济刚.补偿纱线张力控制器[J].国外纺织技术,2001(2):31-32.

收稿日期:2022-03-14