

卷烟机卷纸速度控制方法

王俊鹏, 黎良坤, 冯 杨

(湖北中烟红安卷烟厂, 湖北 黄冈 438400)

摘要:针对卷烟机卷纸速度与预设值不符的问题,研究提出一种新的卷烟机卷纸速度控制方法。分析卷烟机的结构,建立卷烟机卷纸动力学模型,得出布带轮区域卷纸最远端与最近端的位置坐标分量。将位置坐标分量作为观测量,计算卷烟机中的卷纸长度。将卷烟机卷纸的实际速度与目标速度差异量作为控制量,将控制量输入到控制器中生成控制指令,通过误差补偿完成卷纸速度的控制。测试结果表明,相较于传统控制方法,应用优化设计控制方法在空载和满载两种卷烟机工作状态下,卷纸速度的控制误差分别降低了8.1支/min和33支/min。

关键词:卷压机控制;卷纸速度控制;控制指令;坐标分量

中图分类号: TP274

文献标志码: A

文章编号: 1003-7241(2025)10-0168-04

Control method for paper rolling speed of cigarette machine

WANG Junpeng, LI Liangkun, FENG Yang

(Hubei China Tobacco Industry Co., Ltd., Hong'an Cigarette Factory, Huanggang 438400, China)

Abstract: This study proposes a new method for controlling the paper winding speed of a cigarette machine in response to the issue of the paper winding speed not matching the preset value. It analyzes the structure of the cigarette machine, establishes a dynamic model for the paper roll of the cigarette machine, and obtain the coordinate components of the farthest and closest positions of the paper roll in the belt wheel area. Using the position coordinate component as an observation, it calculates the length of the paper roll in the cigarette machine. The difference between the actual speed of the cigarette machine's paper roll and the target speed is used as the control variable. The control variable is input into the controller to generate control instructions, and the paper roll speed is controlled through error compensation. The test results show that compared to traditional control methods, the application of optimized design control method reduces the control error of paper roll speed by 8.1 and 33 pieces/min respectively under the two working states of empty and full load cigarette machines.

Keywords: roll press control; paper roll speed control; control instructions; coordinate components

0 引言

卷烟机作为现代化烟草加工生产线中的核心设备之一,其性能和稳定性对于实现高效率的卷烟生产至关重要。卷纸速度是卷烟机运行过程中需要精确控制的一个关键参数。卷烟机是一种重要的卷烟加工设备,它的基本作用是把已切好的烟丝用卷烟纸进行卷制。按照卷烟机的成型方法,可将卷烟机的成型过程分为三个阶段:装填、重力下丝和吸丝成形^[1]。卷烟机的工作精度直接影响卷烟产品质量,而卷烟机的卷纸速度直接决定了产品的生产速度。在保证卷烟产品质量的同时,提高卷烟产量,提出卷烟机卷纸速度控制方法。然而,传统的卷烟机卷纸速度控制方法存在着控制精度不高、反应迟钝等问题,导致实际卷纸速度与预设值之间存在较大的误差。

速度控制是指以速度为被控制量的控制方法,在速度控制中所期望的速度变化形式是由生产过程中对生产机械的工艺要求决定的。现阶段应用到卷烟机中的卷纸速度控制方法主要包括:基于 Solidworks Simulation 仿真分析

的速度控制方法、基于反馈型自适应鲁棒控制的速度控制方法以及基于内模控制器的速度控制方法。上述传统的速度控制方法在实际应用过程中存在控制误差大、响应速度慢等问题^[2-4]。为此引入卷烟机动力学模型对卷烟机的速度实现精准控制。该方法在提高生产效率、纸张质量和系统稳定性方面具有显著优势。

1 卷烟机动力学模型构建

为了满足各类印刷纸张的紧度和规格要求,卷纸机生产的纸卷通常较为松散且边缘不够整齐。为此,可以利用复卷机对纸卷进行切边、分切和接头等复卷操作来改进纸卷的质量和规格。卷烟机的结构组成如图1所示。

通过图1可以观察到,复卷机的转速稳定性对纸卷的复卷质量和效率具有重要影响。传统的控制方法通过调整压纸辊对纸卷的压力来控制纸卷的紧度,但这种方法属于被动式控制,特别对于高速和大直径的纸卷,无法很好地控制纸卷的紧度和均匀性^[5]。在高速复卷过程中,转速波动、机械振动和张力冲击等干扰因素会影响纸卷的制作质量。如果转速不能保持高速稳定性,可能导致纸张断

* 基金项目:湖北省科学研究与技术开发项目(2022JSGY4HA2C045)

收稿日期:2023-11-08

头、盘面不平整和纸卷紧度不符合标准等问题。为了进一步提升复卷机的转速稳定性,提高纸卷的复卷速度和均匀性,需要在原有的提丝主动辊调节基础上进行改进。在改进的方法中,除了对提丝主动辊进行调节外,还提高了对弹提辊和刷丝辊电机转速控制精度和稳定性。根据张力传感器反馈的张力值,调节辊轴的转速差,以保持纸卷张力的稳定,确保纸张以恒定的张力反卷。实现这一目标的关键技术是对两个辊轴转速进行高精度稳定的控制,并通过改进控制器以提高转速的精度和抗干扰能力^[6]。

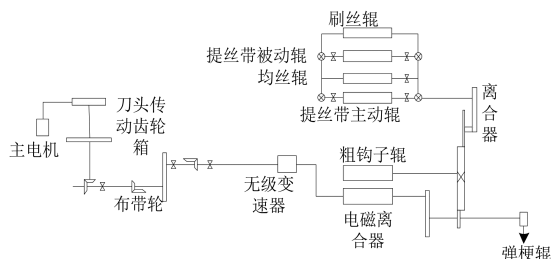


图1 卷烟机组成结构图

为了提高转速控制的精确度,首先需要对控制对象进行运动模型建立。通过控制弹提辊和刷丝辊的速度差,而实现对复卷机张力的调整和稳定控制。

2 卷烟机卷纸速度控制

以上述观测到的数据为基础,计算卷烟机布带轮区域卷纸长度结果为

$$L(t) = x_{\text{far}} - x_{\text{near}} \quad (1)$$

式中, x_{far} 和 x_{near} 分别表示布带轮区域卷纸最远端与最近端的位置坐标分量。

按照上述方式可以得出卷烟机中任意观测点位置上电机速度、转子位置检测信号等参数的观测输出结果,进而对当前卷烟机的卷纸速度进行计算,计算公式为

$$v(t) = \frac{L(t_0) - L(t)}{|t_0 - t|} \quad (2)$$

式中, $L(t_0)$ 表示 t_0 时刻卷烟机中的卷纸长度,也就是卷纸的初始长度,将式(1)的计算结果代入到式(2)中,即可得出 t 时刻卷烟机卷纸速度的观测结果^[7]。在实际的卷纸速度观测过程中,需要保证 t 与 t_0 的差不高于一个卷烟工作周期,即保证 t 与 t_0 时刻观测的卷纸为同一卷纸,避免产生观测误差。

卷烟机卷纸速度的控制量就是当前卷烟机卷纸速度与目标速度之间的差异量,卷纸速度控制量的计算公式为

$$\Delta v = v(t) - v_{\text{target}} \quad (3)$$

式中, v_{target} 为卷烟机卷纸速度的控制目标。将当前卷纸速度的观测结果与控制目标的设定数据代入到公式(3)中,即可得出卷纸速度控制量的计算结果^[8]。根据公式(3)输出值的正负情况下,确定卷纸速度的控制方向,若控制量计算结果为负值,则证明当前卷纸速度低于目标速度,此时需

要执行加速控制操作,否则需执行减速控制操作。通过计算卷烟机速度控制量的结果,实现对卷烟机工作中的两个辊对卷纸速度进行直接控制,完成相应的控制任务^[9-10]。

在实际的控制过程中,由于卷烟机原料数量、工作环境等因素的影响,导致控制指令的执行存在一定偏差,因此需要对速度控制偏差补偿系数进行计算,补偿系数的计算公式为

$$\beta_{\text{compensate}} = \frac{\Delta v \times \alpha \times (Z - I_{\text{mid}})^2}{(I_{\text{min}} - I_{\text{mid}})^2} \quad (4)$$

式中, I_{mid} 和 I_{min} 分别对应的是控制电流的中间值和最小值, α 为纠偏系数。用式(4)的计算结果,对生成的控制指令进行补偿,通过发生器发送补偿后的控制指令,得出更加精准的卷纸速度控制效果^[11-12]。利用控制器中的速度反馈元件对卷烟机的实时卷纸速度进行更新,并调整控制量与控制指令,直至当前卷烟机的卷纸速度与目标速度一致为止。

3 实验分析

为了测试优化设计基于动力学模型的卷烟机卷纸速度控制方法的控制效果,设计效果测试实验。此次实验的基本原理为:设置卷烟机卷纸速度的控制目标,利用优化设计的控制方法完成对卷纸速度的控制,并对控制作用下的卷烟机工作参数进行采集,通过比对卷烟机的实际工作参数和控制目标之间的偏差,得出反映控制效果的测试结果。为适应卷烟机不同的工作状态,此次实验分别从空载和满载两个方面进行测试,通过数据统计与分析,验证优化设计控制方法的执行效果。

3.1 选择卷烟机控制样机

此次效果测试实验选择 YJ13B 型号的卷烟机作为控制对象,该卷烟机的总重量为 300 kg,卷烟机的额定生产能力均为 200 支/分钟,卷烟产品均为 70 mm 的无嘴卷烟,在正常工作状态下,卷烟机的耗电功率为 6 kW。此次实验分别设置空载和满载两种运行状态,空载状态即卷烟机中未添加原料,同时也不会输出卷烟产品,而满载状态则是将卷烟机能够执行的最大工作量对应原料添加到卷烟机中。为保证卷烟机能够在实验环境中正常运行,要求卷烟机的工作环境不高于 30 °C,相对湿度控制在区间 [55%, 65%] 之间^[13]。由于卷烟机中添加原材料的质量不会对控制效果产生影响,因此实验对原料质量无硬性要求。具体的卷烟机实物图如图 2 所示。

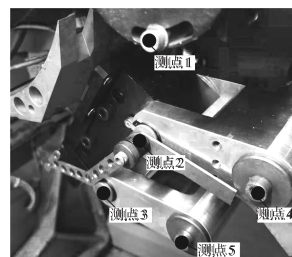


图2 卷烟机实物图

3.2 生成卷烟机卷纸速度控制任务

设置卷烟机的初始卷纸速度,并在不同的运行工况下生成多组控制任务,其中部分控制任务的生成结果见表1。

表1 卷烟机卷纸速度控制任务表

控制任务编号	卷烟机运行工况	初始卷纸速度/ (支/min)	卷纸速度控制目标/ (支/min)
K1	空载	147	180
K2	空载	166	180
K3	空载	175	180
K4	空载	168	180
K5	空载	154	180
M1	满载	162	150
M2	满载	177	150
M3	满载	131	150
M4	满载	149	150
M5	满载	126	150

按照上述方式可以得出不同工况下所有卷纸速度控制任务的生成结果,为保证实验结果的可信度,空载和满载工况下控制任务的生成数量均不小于50,两工况下卷纸速度控制目标分别为180支/min和150支/min,并将速度控制目标作为控制效果的比对标准。

3.3 描述控制效果测试实验过程

利用scratch编程软件作为卷烟机卷纸速度控制方法的开发工具,将控制方法转换成计算机能够直接读取与运行的程序代码,在主测计算机中完成控制方法的开发。将控制器、卷烟机等元件接入到控制方法中,并将卷烟机工作数据与控制目标导入到控制方法中,得出相应的卷纸速度的控制结果。图3表示的是空载工况下1号任务编号的控制结果。

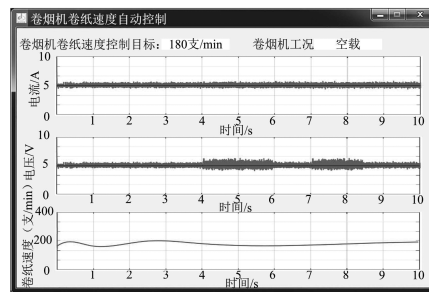


图3 卷烟机卷纸速度控制结果

按照上述方式可以得出空载和满载工况下,所有控制任务的执行结果。实验中设置传统的基于Solidworks Simulation仿真分析的速度控制方法和基于反馈型自适应鲁棒控制的速度控制方法作为实验的对比方法,利用相同的编程工具,完成对比方法的开发,并得出对应的卷纸速度控制结果。

3.4 设置控制效果测试指标

实验中设置卷纸速度控制误差作为验证控制效果的量化测试指标,该指标的数值结果为

$$\varepsilon = |v_{\text{control}} - v_{\text{target}}| \quad (5)$$

式中 v_{control} 为控制方法作用下卷烟机的实际卷纸速度, v_{target} 表示的是卷纸速度的控制目标,根据表1的任务生成情况确定变量 v_{target} 的具体取值。最终计算得出速度控制误差越小,证明对应方法的控制效果越优。

3.5 控制效果测试实验结果与分析

在空载工况下,通过相关数据的统计,得出卷纸速度控制效果的测试结果,见表2。

表2 空载工况下卷烟机卷纸速度控制效果测试数据表

控制任务编号	基于Solidworks Simulation 仿真分析速度控制下的 卷纸速度/(支/min)	基于反馈型自适应鲁棒 控制下的卷纸速度/ (支/min)	基于运动学模型速度 控制下的卷纸速度/ (支/min)
K1	167	174	180
K2	174	177	179
K3	178	179	180
K4	172	175	180
K5	169	171	180
K6	168	170	180
K7	163	172	179
K8	166	171	180

将表2中的数据代入到公式(9)中,计算得出两种传统控制方法作用下,卷烟机卷纸速度的平均控制误差分别为10.4支/min和6.4支/min,而在优化设计方法的控制下,卷烟机卷纸速度控制误差的平均值为0.3支/min。将卷烟机调整至满载状态,按照上述方式对相关数据进行统计与公式(5)的计算,得出满载工况下控制误差的测试结

果,如图4所示。

从图4的结果可以观察到,在满载工况下,通过优化设计基于运动学模型的卷烟机卷纸速度控制方法,相比传统控制方法,可以实现更小的卷纸速度控制误差,表明该优化方法具有更优越的控制效果。具体而言,在满载工况下,卷烟机卷纸的速度控制是非常重要的,过大或过小的

控制误差都会导致生产过程中的问题。传统的控制方法在卷纸速度调整时往往面临困难,因为它们缺乏针对不同工况的精细控制策略,并且无法充分利用卷烟机的物理特性。相比之下,基于运动学模型的控制方法利用了卷烟机运动规律和系统动态特性,充分考虑了生产过程中的变量和限制条件。这样的控制方法能够更准确地预测卷纸速度的变化趋势,并根据运动学模型进行实时调整。通过优化的控制策略,卷纸速度控制误差得到了显著减小,从而提高了生产效率和产品质量。

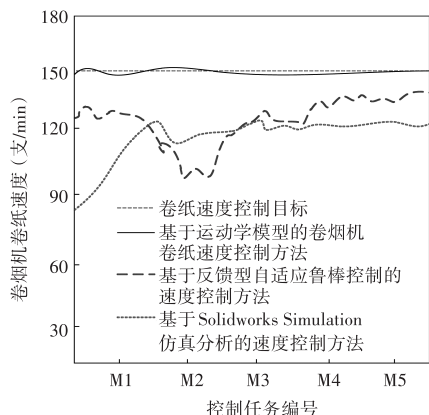


图4 满载工况下卷烟机卷纸速度控制效果测试结果

4 结束语

综上所述,针对卷烟机卷纸速度与预设值不符的问题,本研究提出了一种基于动力学模型的卷烟机卷纸速度控制方法。通过建立卷烟机卷纸速度控制模型,并根据布带轮区域卷纸最远端和最近端的位置坐标分量计算控制量,在控制器的支持下生成相应的速度控制指令。通过分析测试实验结果,得出以下结论:与传统控制方法相比,采用优化设计的控制方法在空载和满载两种卷烟机工作状态下,成功降低了卷纸速度的控制误差,分别降低了8.1支/min和33支/min。这充分证明了基于运动学模型的卷烟机卷纸速度控制方法的有效性。因此,该方法具有良好的实际应用潜力,可提高卷烟机卷纸速度的准确性和稳定性,改善生产效率和产品质量。

参考文献

- [1] 於二军,呼明亮,闫稳. 高安全飞机步进电机驱动伺服控制系统设计[J]. 电力电子技术, 2022, 56(1): 25-27.
- [2] 潘昱亨,蔡培良,黄莉,等. 基于Solidworks Simulation 仿真分析的ZJ118 卷烟机双芯加热搓板装置设计[J]. 包装工程, 2023, 44(3): 268-276.
- [3] 潘洪坤,关薇,田江平. 基于反馈型自适应鲁棒控制的伺服泵直接驱动电液系统精确运动控制研究[J]. 机床与液压, 2021, 49(21): 136-141.
- [4] 徐勇,张智华,龚旭,等. 基于内模控制器的直流伺服电机速度控制方法[J]. 中国工程机械学报, 2021, 19(3): 222-226.
- [5] 王建民,李峰,王晓斌,等. 逐口锥高变化规律及卷烟机参数对其稳定性的影响[J]. 中国烟草学报, 2022, 28(6): 39-47.
- [6] 吴树清,孙勇,杨芳,等. YJ19 卷烟机烟支导板装置改进[J]. 食品与机械, 2021, 37(4): 124-128.
- [7] 孙英俊,汪海莲,秦葉涛,等. ZJ17 卷烟机轻重烟支参数调整优化的方法[J]. 今日制造与升级, 2022(6): 91-94.
- [8] 吴蓉,朱婷婷,赵璐等. 基于VoIP 技术的一体化电力调度自动控制系统设计[J]. 电子设计工程, 2023, 31(1): 69-72, 77.
- [9] 李敏. 基于打叶器框栏设计的烟叶打后叶片结构优化研究[J]. 河北工业科技, 2021, 38(2): 104-108.
- [10] 杨林超,张新峰. 卷烟产品码垛机器人夹紧装置设计与控制研究[J]. 机械设计与制造工程, 2021, 50(11): 61-64.
- [11] 文恒,金洪吉. 烟箱码垛控制系统设计[J]. 自动化技术与应用, 2023, 42(3): 33-35.
- [12] 李钰靓,范礼峰,杨帅,等. 卷接机组烟支质量非对称分段控制方法[J]. 烟草科技, 2023, 56(3): 106-112.
- [13] 石欢,孙乐,李志刚,等. 基于模型预测的双电机驱动系统协调控制方法[J]. 中国电机工程学报, 2022, 42(23): 8740-8750.

作者简介:王俊鹏(1975—),男,大专,工程师,研究方向:机械设计、故障维修。

(上接第105页)

- [7] 李宾,陶秋香,牛冲,等. 全分辨率与多视法 DInSAR 矿区地面沉降监测研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2023, 45(1): 173-182.
- [8] 洪恩雨. 大管径给排水管道径向变形自动检测[J]. 自动化技术与应用, 2023, 42(2): 36-40.
- [9] 刘学增,李振,杨芝璐. 盾构隧道钢板加固黏结面作用机制与参数影响分析[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2023, 54(10): 3987-3999.
- [10] 蒋爽,刘世纪,高礼科,等. 基于神经网络PID 的疏浚管道泥浆流速控制[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(11): 198-203, 220.
- [11] 吕瑞宏,王春云,赵艺伟,等. 基于XGBoost 的管道防腐层裂纹损伤识别算法研究[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(5): 14-20, 27.
- [12] 甘淑清,彭立敏,雷明锋,等. 考虑管土/泥浆接触状态的浅

- 埋大断面矩形顶管隧道摩阻力计算方法研究[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2023, 54(3): 1178-1186.
- [13] 何敏,齐程程,陈家雪,等. 基于检测图像的排水管道缺陷智能辅助分类方法[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(35): 15144-15151.

作者简介:董浩(1969—),男,本科,高级工程师,研究方向:城市道路施工,大管径排水管道顶管施工。