

储柜出料智能控制系统的研究

夏希陶, 杜斌, 李鑫*

红塔烟草(集团)有限责任公司玉溪卷烟厂, 云南 玉溪

收稿日期: 2026年1月27日; 录用日期: 2026年2月20日; 发布日期: 2026年2月27日

摘要

在制丝工艺中, 储柜是十分重要的设备, 其出料控制的效果如何, 直接关系到后续工序的加香及加料比例, 对成品烟丝的吸味及内在质量指标造成严重影响。我车间技术人员采用了超声波测距的方式为系统采集储柜内的物料高度信息, 同时结合储柜后一段工序无储料设备的出料速度, 通过有效的闭环PID控制算法实现储柜出料速度能实时跟随后端工序设备的物料出料速度, 让储柜出料量和后端设备的物料流量实现动态平衡, 保证生产过程中的布料均匀性。在实际控制过程中出料控制系统的优劣直接影响到后端工序加香、加料控制的稳定性, 本文作者在实际工作中通过研究提出了合理的控制方法, 并对相应的控制算法进行了改进完善, 在实际的控制过程中取得了较好的效果。

关键词

储柜, 闭环PID控制, 算法

Study Lockers Discharge Intelligent Control System

Xitao Xia, Bin Du, Xin Li*

Yuxi Cigarette Factory, Hongta Tobacco (Group) Co., Ltd., Yuxi Yunnan

Received: January 27, 2026; accepted: February 20, 2026; published: February 27, 2026

Abstract

In Primary Processing, storage cabinet is a very important equipment, how to control the discharge of its effect is directly related to the proportion of flavoring and the subsequent feeding step, serious impact on the smoke flavor and internal quality indicators of finished tobacco. The plant technicians using ultrasonic ranging system way for collecting material storage cabinet height information, combined with a step-free period after lockers material storage device discharge rate to achieve

*通讯作者。

lockers discharge through effective closed-loop PID control algorithm speed real-time back-end process equipment to follow the material feed rate, so that the quantity of material flow lockers and back-end equipment to achieve the dynamic balance, to ensure the production process of the fabric uniformity. In the actual merits of the discharge control process control system directly affects the back-end process flavoring, feeding stability control, the author in practical work through the study proposes reasonable control methods, and the corresponding control algorithm improved, and achieved good results in the actual control process.

Keywords

Moisture Control, Double Loop PID Control, Algorithm

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

储柜作为制丝生产中的关键设备，其出料流量的控制优劣对后端工序加香、加料控制的稳定性起到至关重要的作用。一旦出料流量波动较大，加香、加料比例就会偏离设定值，精度降低。而加香、加料的精度又直接影响着成品烟丝的吸味和内在品质。原用储柜出料控制系统在实际使用过程中问题已经开始逐渐突显，控制精度低，控制方式单一都限制了出料精度难以得到提高[1] [2]。出料波动大，影响加香、加料精度的情况时有发生。

为了进一步满足新工艺规范和更适应产品加工的要求，制丝车间对储柜的出料控制系统进行了较为完善的改进，以增强出料控制方式，减小出料流量波动，提高加香、加料精度，提升成品烟丝内在品质。

2. 改造前储柜出料控制系统存在的问题

我们车间的混合丝控制段的设备布局如图1所示，物料混丝柜出柜(MB304、MB305(上层柜)-MB306、MB307(下层柜))后，经过运输带的输送带FB343、FB344进入加香前电子秤的计量管中，经过控制电子秤DB306的流量控制，混合烟丝均匀的进入加香滚筒进行后续加工。

在技术改造之前储柜出料控制的基本方式是：储柜底带电机采用固定频率进行出料，然而制丝车间不同牌号的物料密度和蓬松程度不一样，在储柜使用固定频率出料过程中虽然不同牌号物料的出料体积相同，但是不同牌号的物料的出料重量就不同了[3]。在后端工序中对流量的监控是使用电子称对流过物料进行实时称重，并根据重量调整电子称上的皮带速度以此控制流量来达到设定值。

采用固定的出料速度并不能满足不同的牌号生产要求，会使得流量波动较大，这种波动越到后端设备越被放大，对后端工序的加香、加料精度产生严重影响。因为制丝车间为流水线生产模式，其前后端工序的物料流量需要有一个很好的匹配，才能使前后工序紧密的衔接在一起，当前端流量过大，就会出现供过于求，后端设备不能及时运走，前端工序设备不得不停机等待后端工序“消化”一段时间，容易造成后端工序设备阻塞。一旦阻塞就要投入大量的物力人力进行疏通，而且物料要重新进行降级返掺，造成人力、物力、财力的损耗。当前端流量过小，就会出现供不应求，这时后端工序设备不得不停机等待前端工序设备的物料输送，容易造成断料，导致物料在工艺判定要求中批不合格，给制丝的加工工艺和成品质量造成严重影响。

所以储柜的底带出料电机和后端工序设备不得不频繁的启停，才能保证流量不至于过大或过小。原

有的采用固定出料速度是一种粗放式的控制方法，出料均匀性差，物料流量波动大，影响后端工序的加香、加料精度。同时，设备经常的频繁启停，严重的降低了设备部件使用寿命，造成设备故障率较高，故障时间较长，备件更换费用居高不下。给生产连续性和产品的质量特性以及设备运行效率、使用寿命都带来了严重的影响。

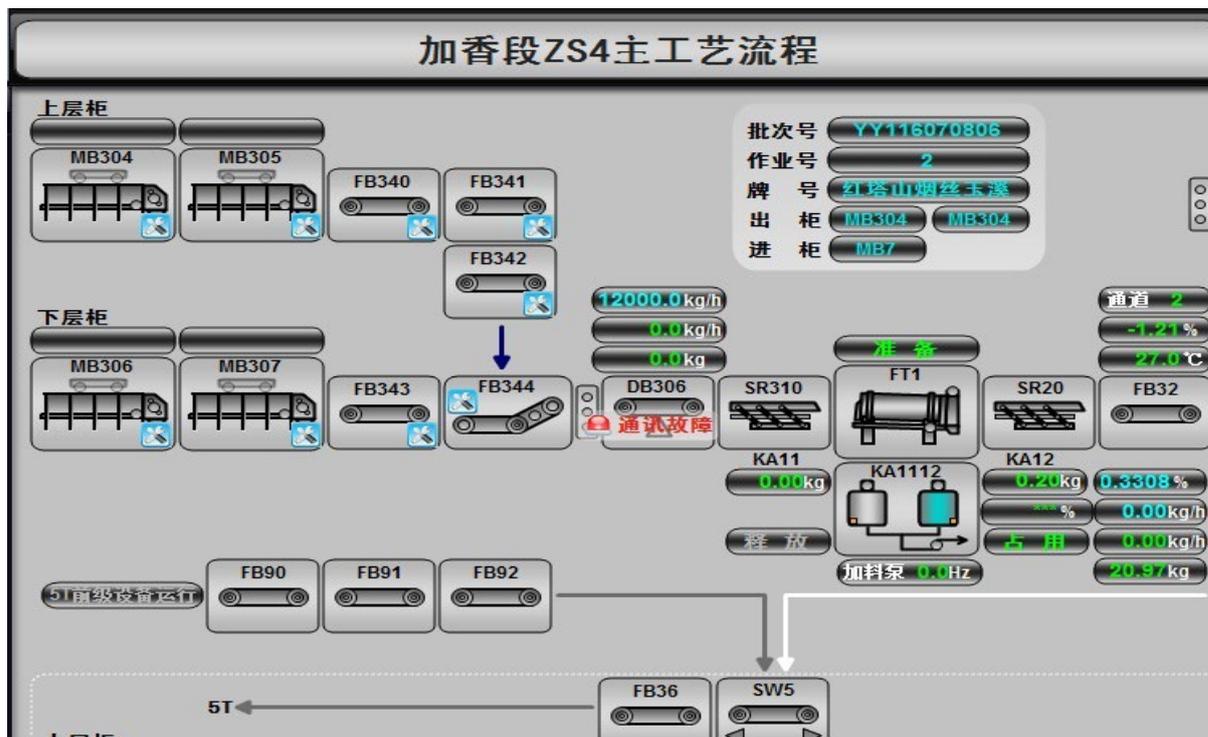


Figure 1. Layout diagram of equipment in the flavoring process section
图 1. 加香工序段设备布局图

3. 改进后的储柜出料控制方案

在综合分析储柜出料控制系统并结合制丝车间湿度大、灰尘大、温度高等特点后，改进方案决定采用带有超声波传感器测距的 PID 闭环控制模式对储柜出料流量进行人工智能化控制[4]，PID 控制流程图如图 2 所示。

从储柜出料过程分析可知，对储柜出料流量有影响的参数较多，包括储柜底带电机频率，储柜内物料高度，不同物料牌号的物料密度，后端工序流量设定值，每 1 Hz 的底带速度等。而储柜宽度，不同牌号的物料密度，后端工序流量设定值，每 1 Hz 的底带速度是已知的常数，储柜底带电机频率是需要进行控制的主要参数。储柜内物料高度是实时变化的，由于储柜进料采用的是寻堆布料方式，柜内料层高度高低不一，因此原有采用固定频率出料的方式往往存在遇到料高的地方出料物料流量较大，料低的地方物料出料流量较小，造成出料流量波动，设备启停频繁。

所以，在改进方案中选用料位高度检测装置来对储柜内的物料高度进行监测，将柜内物料高度作为一个重要的控制参数加入到控制系统中，让系统能够根据储柜出料时刻的物料高度，再以后端工序设定要求流量为基准，自动算出合适的底带运行速度，使储柜底带出料速度实时跟随出料高度变化，在料高处出料速度变慢，料低处出料速度变快，保证出料流量始终稳定在设定流量上，实现动态平衡。根据制丝车间湿度大、灰尘大、温度高等特点，控制系统采用超声波测距的方式为系统采集储柜内的物料高度

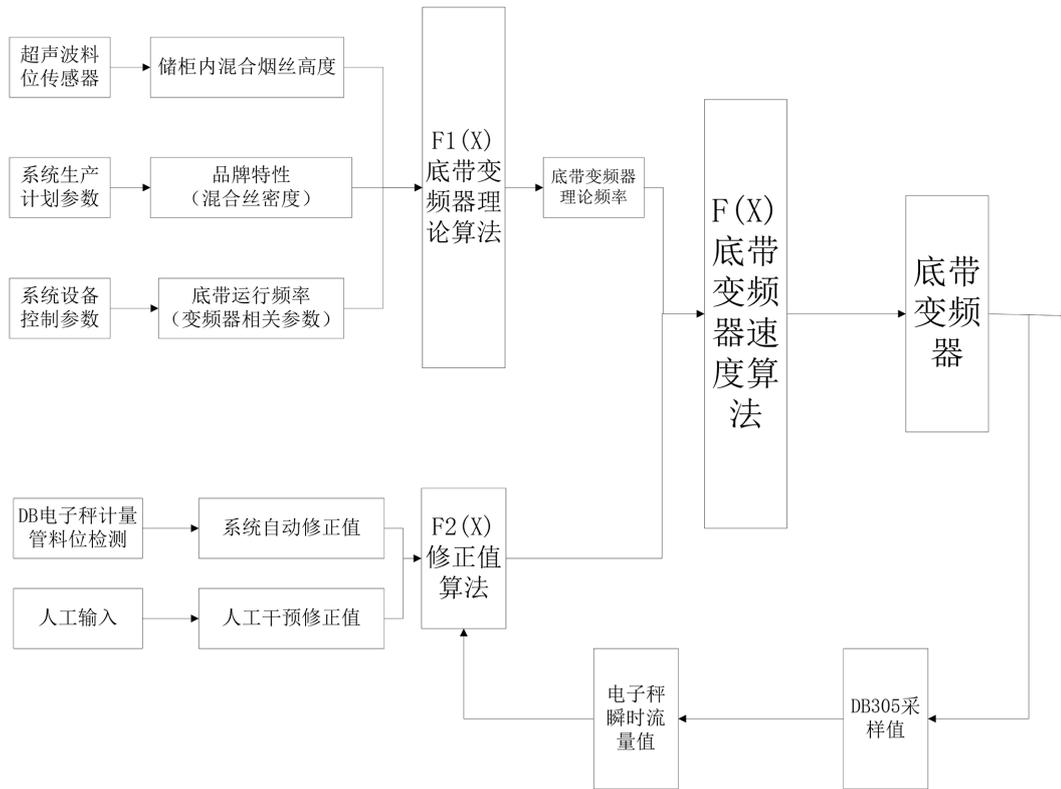


Figure 2. Intelligent control of shelving based on ultrasonic sensors
图 2. 基于超声波传感器的储柜人工智能控制

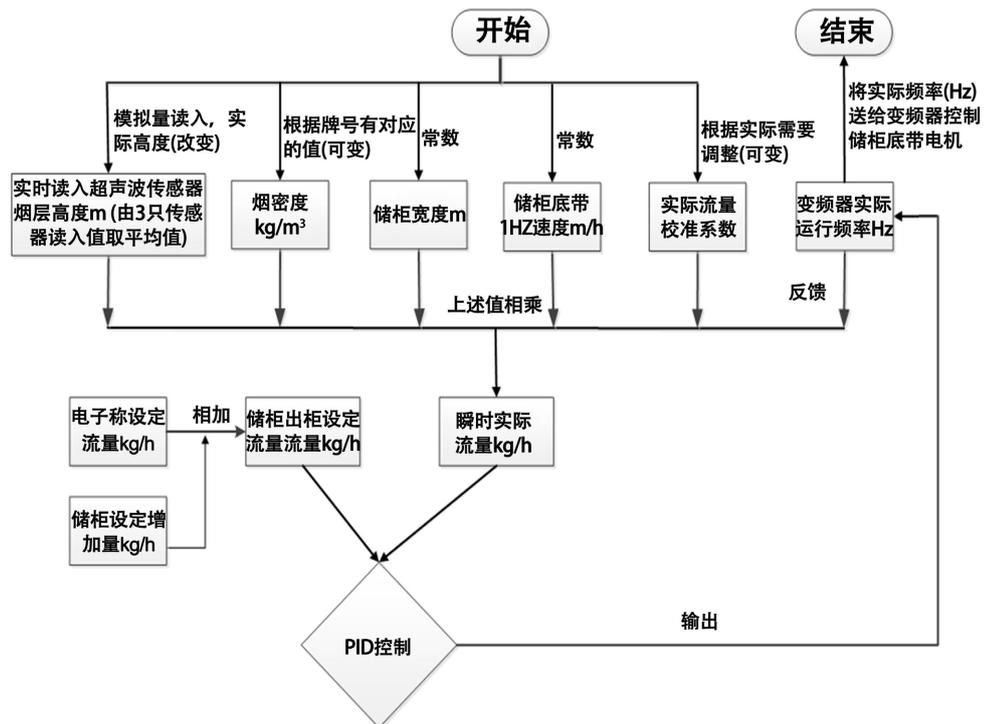


Figure 3. Control schematic diagram of the improved system
图 3. 改进后的系统控制原理图

信息,而且本地 CPU 与远程 CPU 之间通过西门子 I-Device 通讯协议能进行实时数据传输,本地站上装有触摸屏,实现了本地操作和远程操控等多种控制模式。采用本控制系统,可以满足不同的生产任务要求,当生产流量要求增大或减小时,只需通过简单的设置就能达到储柜出料速度与后端工序相匹配,从根本上解决了传统控制过程中储柜底带采用恒定速度时,出柜物料流量与后端物料流量不同步,时而供不应求,时而供过于求,为了保证流量稳定,设备不得不频繁启停的问题[6]。不仅提高了生产过程中的储柜物料出料均匀性,还有效减少了设备因流量波动造成的频繁启停次数,提高设备运行效率,延长了使用寿命。系统控制原理如图 3 所示。

4. 改进控制系统研究

在改进过程中,我们更加关注控制的精度和效率,除了把握主要的控制参数,尽可能把涉及到的参数量化,细化,从而达到精确控制的目的。改进的控制模式是基于流量计算公式(4-1)所示:

$$L(\text{出料流量}) = \frac{M(\text{重量})}{H(\text{时间})} \quad (4-1)$$

把重量计算公式换算后得到公式(4-2):

$$M(\text{重量}) = V(\text{体积}) \times \rho(\text{密度}) \quad (4-2)$$

把时间计算公式换算后得到公式(4-3):

$$H(\text{时间}) = \frac{S(\text{距离})}{V(\text{速度})} \quad (4-3)$$

把速度公式换算后得到公式(4-4):

$$V(\text{速度}) = f(\text{底带电机频率}) \times v(\text{每1 Hz的底带速度}) \quad (4-4)$$

把换算后的参数带入公式(4-1)得到公式(4-5):

$$L(\text{出料流量}) = w(\text{柜宽}) \times h(\text{料高}) \times \rho(\text{密度}) \times f(\text{底带电机频率}) \times v(\text{每1 Hz的底带速度}) \quad (4-5)$$

其中 L : 出料流量(设定为后续工序要求流量: 12 kg/h);

w : 储柜宽度(测量得到实际值: 3.19 m);

h : 物料高度(通过超声波测距传感器测量);

ρ : 各个牌号物料密度(通过工艺参数可得);

f : 底带电机频率(控制变频器输出);

v : 每 1 Hz 的底带速度(通过设备参数可得: 0.865 m/Hz*h);

在这种算法下,储柜底带电机的频率以 12 kg/h 的流量基准,根据柜内料高实时调整,其出料流量的控制效果比起原来有了较大提高,但是还是存在一定的波动,控制趋势如图 4 所示。

为了加强控制性能,提高控制精度,减小干扰噪音,可以适应不同牌号的控制要求,所以在上述算法中,我们进行了优化以增强对整个控制环节的可操作性,其算法如公式(4-6)所示:

$$L(\text{出料流量}) = w(\text{柜宽}) \times h(\text{料高}) \times \rho(\text{密度}) \times f(\text{底带电机频率}) \times v(\text{每1 Hz的底带速度}) \times K \quad (4-6)$$

其中 L : 出料流量(设定为后续工序要求流量: 12 kg/h);

- w : 储柜宽度(测量得到实际值: 3.19 m);
 h : 物料高度(通过超声波测距传感器测量);
 ρ : 各个牌号物料密度(通过工艺参数可得);
 f : 底带电机频率(控制变频器输出);
 v : 每 1 Hz 的底带速度(通过设备参数可得: 0.865 m/Hz*h);
 K : 修正系数(根据系统实际运行情况调节);



Figure 4. Flow control curve under system algorithm control

图 4. 系统算法控制下流量控制曲线图

通过研究,发现从实际的加工环节来说,由于新工艺采用了分模块加工的模式,各品牌的烟叶物料密度、加工的特性不一致,因此牌号间的差异必须考虑,在控制系统应该对不同牌号的物料进行判断识别,以便更好的针对性控制。在综合考虑各方面的因素后,我们决定对控制算法进行优化处理,进一步提高出料控制的精度。

针对不同品牌的物料密度和加工特性,我们在控制算法中加入了修正系数 K ,并对每个牌号中的 K 系数进行了优化设置。使控制系统能对相应的牌号进行最恰当的控制操作。实现方法是我们对每个牌号设定了相应的通道号,当生产系统下达生产任务时,当前的加工物料牌号就会有一个相应的通道号对应,出料控制系统只需要读取生产系统中的通道号,就能识别出当前生产物料是属于哪个牌号的。这样控制系统就可以针对相应的牌号选择对应的牌号密度参数和修正系数 K ,使控制系统能够进行差异化控制,智能化调节[6]。同时,结合 PID 闭环控制算法将控制精度精确到每个物料牌号,每一时刻的出料高度、底带电机频率上。算法优化后的控制趋势图如图 5 所示。

加入修正系数和牌号识别后,系统的可控性更强,能有效的抵消一些干扰噪音,提高系统的鲁棒性,使储柜底带电机频率能更好的跟随柜内料高进行调整,增强出料稳定性。从图中可以看出出料流量与设定流量之间偏差很小,说明出料流量稳定性较好,在实际运行中设备启停次数也明显减少。改进前设备启停频繁,一批物料加工时间大约需要 60 分钟,启停次数会达到 40 次,算下来约 90 秒设备就会启停一次,改进后,每批物料加工完最多启停 5 次。从图中物料重量的波动能够看出系统控制能力较强,以优

化前比较有很大提升，物料重量的波动范围基本稳定。

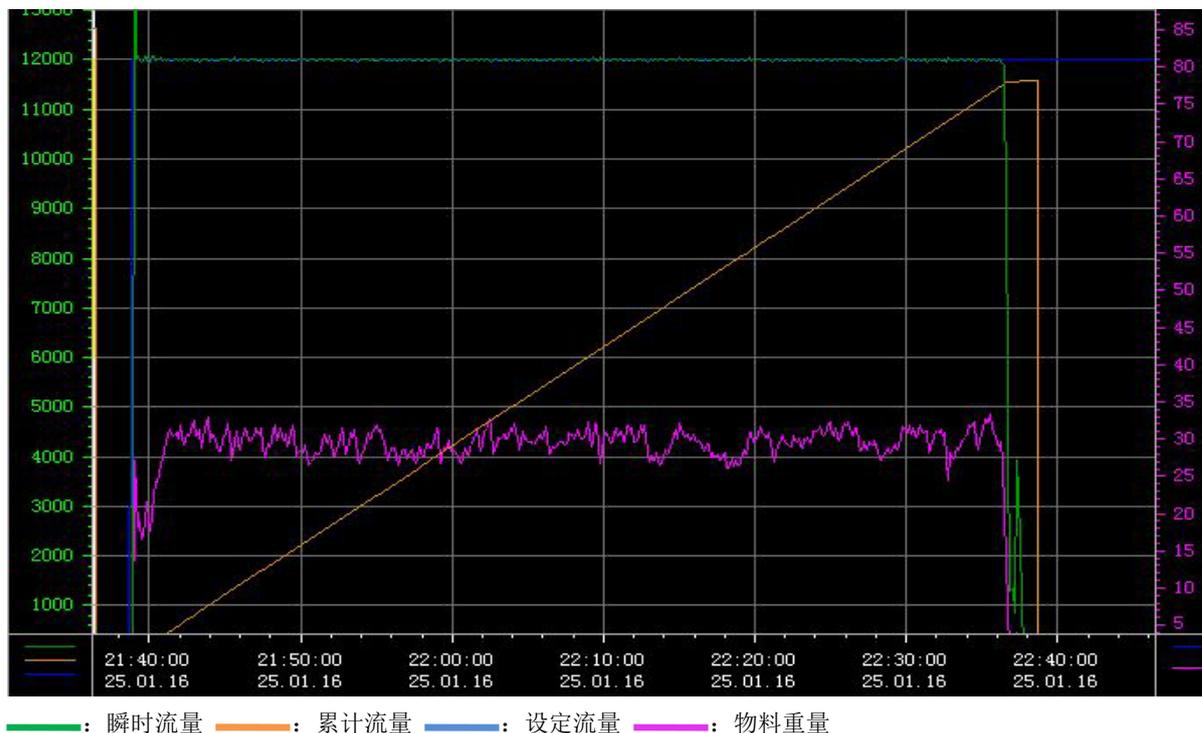


Figure 5. Flow control curve after algorithm optimization

图 5. 算法优化后的流量控制曲线图

5. 结论

带超声波传感器的储柜出料控制系统是制丝生产环节过程中改善和提高出料稳定性，解决出料设备频繁启停问题，提升控制品质的一种极为有效的控制方案，同时对该控制系统的闭环控制算法研究、分析和改进，将所有的影响因素进行精准的量化处理，是提高烟叶加工过程中出料控制精度的重要尝试。通过实际运行的趋势图来看，对控制算法进行优化后的改进算法是比较好的控制算法，控制精度得到较大提高，进一步保证了成品烟丝的质量、成品烟支的品质质量。

参考文献

- [1] 宋永东, 周美丽, 白宗文. 高精度超声波测距系统设计[J]. 现代电子技术, 2008(15): 137-139.
- [2] 贾伯年, 俞朴, 宋爱国. 传感器技术[M]. 南京: 东南大学出版社, 2000.
- [3] 攀峰, 王玉萍, 张健, 等. 带有温度补偿的超声波测距仪的设计[J]. 计算机测量与控制, 2012, 20(6): 1717-1732.
- [4] 时玮, 孟军, 刘波. 温度修正的超声波测距控制设计[J]. 机械工程与自动化, 2005(6): 85-87.
- [5] 贺桂芳. 一种高精度超声波测距系统的设计[J]. 传感器与微系统, 2010, 29(4): 111-113.
- [6] 陶永华, 编, 著. 新型 PID 控制及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.