

基于广义预测控制的松散回潮出口 含水率控制系统

欧阳江子¹, 王东方¹, 戚晓江¹, 李景伟¹, 朱思奇², 秦 扬², 蔡长兵²

(1. 河南中烟工业有限责任公司 黄金叶生产制造中心, 郑州 450016;

2. 杭州安脉盛智能技术有限公司, 杭州 310000)

摘要: 松散回潮作为卷烟生产加工的首道核心工序, 其出口含水率稳定性对后续各工序工艺指标有着直接的影响; 为解决松散回潮工序烟片出口含水率控制精度低、过程控制能力弱等问题, 文章围绕德国虹霓 TB-L (flex) 松散回潮机控制系统进行优化升级, 充分利用厂内现有的工业控制和信息化系统采集制丝实时数据并分析, 而后采用广义预测控制 (generalized predictive control, GPC) 方法, 建立了具备工况自适应能力的加水量动态预测和调整模型, 并编写相应的软件模块对过程进行自动化控制, 实现了工艺过程参数动态优化、智能化的预测性控制系统; 实际应用效果表明, 该系统有效提高了松散回潮工序出口含水率稳定性。

关键词: 松散回潮; 广义预测控制; 参数动态优化; 含水率稳定性

Control System for Moisture Content in Output Strips of Loosening and Conditioning Process Based on Generalized Predictive Control

Ouyang Jiangzi¹, Wang Dongfang¹, Qi Xiaojiang¹, Li Jingwei¹, Zhu Siqu², Qin Yang², Cai Changbing²

(1. Golden Leaf Production and Manufacturing Center, China Tobacco Henan Industrial Co., Ltd., Zhengzhou 450016,

China; 2. Advanced Intelligent Maintenance Systems Co., Ltd., Hangzhou 310000, China)

Abstract: The loosening and conditioning process is at the beginning of a tobacco manufacturing line, and thus the quality of the following processes depends on the accuracy and stability of it. This work investigated on improving output moisture content stability by collecting and analyzing process data and then applying advanced control technologies to the process. Specifically, multi-dimensional process data was collected and analyzed using correlation and regression methods. A generalized predictive control (GPC) algorithm was then adopted and applied to optimize the control of water flow rate in real time. Results of 133 batches of production under the new GPC method showed that CPK of output material moisture content increased by more than 50% after applying the new control method.

Keywords: loosening and conditioning; generalized predictive control; parameter optimization; stability of output moisture content

0 引言

松散回潮是烟叶加工的首道核心工序, 其出口含水率(水分)稳定性对后续各工序工艺指标有着直接的影响。由于片烟物理特性变化、来料流量波动、测量滞后性、环境温湿度等因素影响, 松散回潮工序出口含水率在实际生产中存在波动性较大的现象。为解决松散回潮过程出口含水率控制的诸多问题, 许多学者做了大量研究。董伟等人提

出在滚筒入口处安装水分仪检测来料含水率波动, 并根据斜坡控制原理, 优化料头料尾的加水控制, 使出口含水率的波动大大降低, CPK (过程能力指数) 也有了显著提高^[1]。李秀芳通过改善出口含水率的控制结构, 并对工艺参数进行优化, 减小了出口含水率的波动^[2]。陈晓杜等人基于 Elman 神经网络建立松散回潮出口含水率预测模型, 再由逼近法确定特定生产温湿度下的最佳加水比例, 提高了出口含水率的控制效果^[3]。范勇等人运用回归分析建立了松散回潮过程分类别差异性初始含水率设置控制模式, 并验证了采用分卷烟类别差异化初始加水量控制模式能够有效提高含水率的稳定性^[4]。刘穗君等人通过对历史数据进行统计回归分析, 建立了松散回潮出口含水率精准控制模型, 并采用自学习算法对控制模型进行了自适应优化调整, 出口含水率的控制精度显著提高^[5]。段荣华将专家系统、模糊推理与常规 PID 控制相结合, 实现了松散回潮出口水分的自动控制^[6]。李向阳等人结合松散回潮机自身结构

收稿日期: 2019-07-18; 修回日期: 2019-08-29。

基金项目: 河南中烟黄金叶生产制造中心科技项目 (ZXB201803)。

作者简介: 欧阳江子(1988-), 女, 湖南常德人, 本科, 助理工程师, 主要从事卷烟工业生产制造过程信息化建设及应用方向的研究。

朱思奇(1988-), 男, 吉林长春人, 博士, 高级工程师, 主要从事工业增强智能算法研究、工业质量相关数据分析和工业软件产品管理等工作方向的研究。

表 1 松散回潮过程数据收集表

序号	时间	入口含水率/(%)	加水量修正值/(kg/h)	物料流量/(kg/h)	加水量/(L/h)	滚筒转速/(r/min)	出口含水率/(%)	...
1	18/2/25 6:00	13.96	42.0	5298.9	232	8	17.85	...
2	18/2/25 6:01	14.30	50.0	5299.1	240	8	17.83	...
3	18/2/25 6:02	13.50	42.0	5301.5	280	8	17.31	...
....
518399	18/6/18 5:59	13.80	55.0	5303.6	330	10	18.05	...
518400	18/6/18 6:00	14.70	45.0	5302.7	290	10	18.11	...
518401	18/6/18 6:01	15.50	39.0	5301.4	260	10	18.17	...

与性能,对工艺进行改进,降低了松散回潮出口含水率标准偏差,提高了回潮后烟片含水率的稳定性^[7]。王庆周等人基于 PID 控制并引入队列的概念,使过程避免出现湿料头和干料尾的现象,提高了出口水分的控制精度^[8]。采用前馈控制对提高松散回潮出口含水率的稳定性也有一定作用^[9]。

松散回潮过程本身具有时滞大、不可测干扰多的特点,且入口含水率、热风温度等可测干扰随时间变化剧烈。针对这些特点,本文尝试使用广义预测控制算法对其进行优化控制。Clarke D W 等人提出的广义预测控制算法,对具有大时滞且被控对象特性时变的系统呈现出优良的控制性能和鲁棒性^[10-11],将广义预测控制算法应用于存在时变参数和时滞的系统中,已被证明是一种行之有效的方法^[12-17]。为此,本文通过对某烟厂历史数据进行相关性和回归分析,选出对出口含水率影响较大的可测变量,建立被控对象模型,并为更精确的实时辨识被控对象模型,运用递推最小二乘法实时辨识被控对象模型,最后使用广义预测控制方法,通过有限时域的滚动优化策略,对松散回潮加水流量进行控制,提高出口含水率稳定性。

1 松散回潮出口含水率控制系统组成

本文所建立的松散回潮出口含水率控制系统如图 1 所示,可以看出,此控制系统使用串级控制结构,其主回路控制器为基于广义预测控制算法的控制器,设定值为人为输入的松散回潮出口含水率设定值,操纵变量为加水流量设定值,被控变量为出口含水率测量值。副回路控制器为 PID 控制器,设定值由主回路控制器输出的加水流量设定值,操纵变量为薄膜阀开度,被控变量为出口含水率测量值。

其与设备原厂所用松散回潮出口含水率控制系统不同之处在于,考虑了松散回潮系统中存在的大时滞,被控对象特性时变,不可测干扰与可测干扰较多的情况,用基于广义预测控制算法的控制器代替了原厂加水流量计算模块,当系统运行时,使用递推最小二乘法根据测量得到的出口含水率,加水流量,预测模型的各参数,并运用广义预测控制根据更新后的模型求出最优加水流量,然后副回路中的 PID 控制器根据此最优加水流量调整薄膜阀开度,提高出口含水率的稳定性。

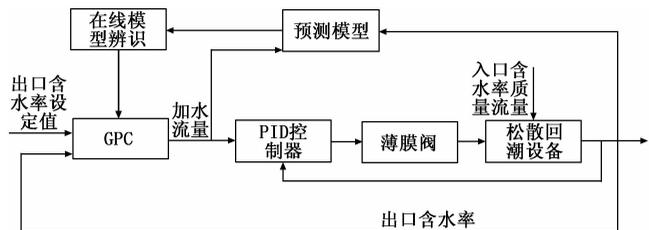


图 1 松散回潮出口含水率控制系统方框图

2 松散回潮出口含水率控制系统设计

2.1 数据分析

围绕松散回潮设备相关数据,使用制丝线信息系统,收集整理为期 4 个月、共计 518 401 条数据,参数包括入口含水率、加水量修正值、加水量、物料流量、加水量累计值、热风温度、滚筒转速、出口含水率、出口物料温度、出口含水率设定值、烟片牌号、烟片批次号等,如表 1 所示。

由于收集到的工艺参数相对较多,对所有参数都同时进行控制难度较大。所以需要在此筛选出与烟片出口含水率相关性较大的参数,剔除与出口含水率相关性较小的参数。针对收集到的数据,从加水量、入口含水率、热风温度、加水量修正值、物料流量、滚筒转速等参数中筛选关键参数。具体来说,使用了统计学中 F-检验的方法,结果如表 2 所示,随后根据结果确定了入口含水率、加水量是系统中与出口含水率相关性最强的两个参数,这也与松散回潮工艺的专家知识相吻合。因此,在后续的建模过程中,将选用入口含水率、加水量和出口含水率为模型的关键参数,通过建立三者之间的定量关系而确定加水量预测控制模型。

表 2 多元线性回归效应检验

参数	参数数目	自由度	平方和	F 比	概率>F
入口含水率	1	1	3.3880198	115.2244	<.0001
加水量	1	1	1.0259957	34.8934	<.0001
实际热风温度	1	1	0.5967842	20.2962	<.0001
出口温度(℃)	1	1	0.5445343	18.5193	<.0001
物料流量瞬时值	1	1	0.1264104	4.2991	0.0385

2.2 广义预测控制

上文中通过数据分析,确定了松散回潮入口含水率、

加水量是与松散回潮出口含水率相关性较大的工艺参数, 通过对历史数据收集、整理、筛选, 分析得到松散回潮出口含水率数学表达式为:

$$b(l) = a(l - delay_a) + k_1(l)u(l - delay_u) + k_2(l) \quad (1)$$

其中: $b(l)$ 为 l 时刻的出口含水率; $a(l - delay_a)$ 为 $(l - delay_a)$ 时刻的入口含水率, $u(l - delay_u)$ 为 $(l - delay_u)$ 时刻的加水量瞬时值, $delay_a$ 为烟片从回潮机入口运行至出口所需时间, $delay_u$ 为烟片从加水喷头处运行至出口所需时间, $k_1(l)$, $k_2(l)$ 为时变模型参数。

由式 (1) 可知, 松散回潮过程中加水喷头至出口水分仪之间存在时延, 由此可知, 简单的通过 PID 控制算法并不能通过此时出口含水率的误差, 得到此时最优加水量。

因此, 为根据实时测量的入口含水率, 出口含水率以及历史变量, 求出此时最优加水量, 运用广义预测控制理论^[10-11,18], 进行松散回潮水分控制。

2.2.1 预测模型构建

为根据实时数据计算得到最优加水量, 首先应求出未来时刻出口含水率预测表达式。将式 (1) 写为受控自回归积分滑动平均 (CARIMA) 模型的形式, 如式 (2) 所示:

$$A(z^{-1})(b(l) - a(l - delay_a)) = B(z^{-1})u(l - delay_u) + k_2(l) + C(z^{-1})d(l)/\Delta \quad (2)$$

将式 (2) 与 Diophantine 方程结合进行多步预测, 得到松散回潮出口含水率预测模型, 如式 (3) 所示。

$$Y = [y(l+1), y(l+2), \dots, y(l+delay_u)]^T = F_1\Delta U + F_2\Delta U(l-j) + GY(l) + EK \quad (3)$$

其中:

$$\begin{cases} E_j(z^{-1}) = 1 + e_{j,1}z^{-1} + \dots + e_{j,n_e}z^{-n_e} \\ G_j(z^{-1}) = g_{j,0} + g_{j,1}z^{-1} + \dots + g_{j,n_g}z^{-n_g} \\ F_j(z^{-1}) = f_{j,0} + f_{j,1}z^{-1} + \dots + f_{j,n_f}z^{-n_f} \\ deg E_j = j - 1, deg G_j = n_a - 1, deg F_j = n_b + j - 1 \\ e_{j+1,i} = e_{j,i} \\ e_{j+1,j} = g_{j,0} \\ g_{j+1,i-1} = g_{j,i} - e_{j+1,i}a_i \\ g_{j+1,n_g-1} = -e_{j+1,i}a_{n_g} \\ (j = 1, 2, \dots, N; i = 0, 1, \dots, n_a - 1) \end{cases}$$

$$F_1 = \begin{bmatrix} f_{1,0} & 0 & \dots & 0 \\ f_{2,1} & f_{2,0} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f_{N,N-1} & f_{N,N-2} & \dots & f_{N,0} \end{bmatrix}_{N \times N}$$

$$F_2 = \begin{bmatrix} f_{1,1} & f_{1,2} & \dots & f_{1,n_f} \\ f_{2,2} & f_{2,3} & \dots & f_{2,n_f} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f_{N,N} & f_{N,N+1} & \dots & f_{N,n_f} \end{bmatrix}_{N \times n_f}$$

$$G = \begin{bmatrix} g_{1,0} & g_{1,1} & \dots & g_{1,n_g} \\ g_{2,0} & g_{2,1} & \dots & g_{2,n_g} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ g_{N,0} & g_{N,1} & \dots & g_{N,n_g} \end{bmatrix}_{N \times (n_g+1)}$$

$$E = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ e_{2,1} & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ e_{N,N-1} & e_{N,N-2} & \dots & 1 \end{bmatrix}_{N \times N}$$

n_a, n_b 分别为多项式 $A(z^{-1}) = 1 + a_1z^{-1} + \dots + a_nz^{-n} = 1$, $B(z^{-1}) = b_0 + b_1z^{-1} + \dots + b_nz^{-n} = k_1(l)$ 的次数, z^{-1} 为后移算子, $y(l) = b(l) - a(l - delay_a)$ 为 l 时刻出口含水率与其对应的入口含水率之差。 N 为最大预测长度, $\Delta U = [\Delta u(l), \Delta u(l+1), \dots, \Delta u(l+delay_u - 1)]^T$, $\Delta U(l-j) = [\Delta u(l-1), \Delta u(l-2), \dots, \Delta u(l-n_b)]^T$, $Y(l) = [y(l), y(l-1), \dots, y(l-n_a)]^T$, $d = [d(l+1), d(l+2), \dots, d(l+delay_u)]^T$, $K = [k_2(l+1) - k_2(l), k_2(l+2) - k_2(l+1), \dots, k_2(l+delay_u) - k_2(l+delay_u - 1)]^T$ 。

2.2.2 滚动优化

在松散回潮的控制实践中, 工艺要求烟片的出口含水率与出口含水率设定值之间相差越小越好, 则根据广义控制理论, 可将此目标表示为式 (4) 的形式。

$$J = E \left\{ \sum_{j=N_1}^N [y(l+j) - y_r(l+j)]^2 + \sum_{j=1}^{N_1} [r_j \Delta u(l+j-1)]^2 \right\} \quad (4)$$

其中: $y(l+j) = b(l+j) - a(l+j - delay_a)$, $y_r(l+j) = b_r(l+j) - a(l+j - delay_a)$, N_1 为最小预测长度, N 为最大预测长度, N_a 为控制长度, Δu 为加水量增量, r 为加权系数, $y_r(l+j)$ 为 $(l+j)$ 时刻松散回潮工序出口含水率设定值与对应的入口含水率差值。而为最小化式 (4), 采用滚动式的有限时域优化策略并结合式 (3) 所示的松散回潮过程预测模型, 对其求 Δu 的偏导, 求出式 (5) 所示的每一时刻的最优加水量增量, 进而计算出最优加水量。

$$\Delta u(l) = [1, 0, \dots, 0](F_1^T F_1 + \tau)^{-1} F_1^T [Y_r - F_2 \Delta U(l-j) - GY(l)] \quad (5)$$

式中, $\Delta u(l-j) = [\Delta u(l-1), \Delta u(l-2), \dots, \Delta u(l-n_b)]^T$, 则此时可根据 $l-1$ 时刻最优加水量 $u(l-1)$ 与 l 时刻最优控制增量 $\Delta u(l)$ 得到 l 时刻最优加水量 $u(l)$:

$$u(l) = u(l-1) + \Delta u(l) \quad (6)$$

2.2.3 在线模型辨识与反馈校正

由前文分析可知, 松散回潮过程中, 由于烟丝物理特性、热风含水率、环境温湿度等生产条件是实时变化的, 所以式 (1) 中的模型参数 $k_1(l)$, $k_2(l)$ 也是实时变化的, 为解决这种模型参数时变的问题, 采用带遗忘因子的递推最小二乘法, 根据采集得到的 l 时刻的出口含水率, 对应的入口含水率与加水量以及 $(l-1)$ 时刻的模型参数, 在线估计 l 时刻模型的参数, 实现模型的在线辨识与反馈校正。其递推公式如式 (7) 所示:

$$\begin{cases} l) = (l-1) + R(l)[y(l) - \varphi^T(l)(l-1)] \\ R(l) = P(l-1)\varphi(l)/(\lambda + \varphi^T(l)P(l-1)\varphi(l)) \\ P(l) = \left(\frac{1}{\lambda}\right) * [I - R(l)\varphi^T(l)] * P(l-1) \end{cases} \quad (7)$$

其中： $\varphi(l) = [u(l - delay_a), 1]$ ， $(l) = [k_1(l - 1), k_2(l - 1)]$ ， λ 为遗忘因子。通过设置式 (7) 中与 P 的初始值并选取合适的遗忘因子最后递推求解式 (7)，实现模型中参数的在线辨识与反馈校正，减小由于模型不准确导致的出口含水率与出口含水率设定值间的误差。

3 过程仿真、工程实现和效果验证

根据文章第二部分对基于广义预测控制算法的控制器设计，可画出控制算法流程图如图 2 所示。

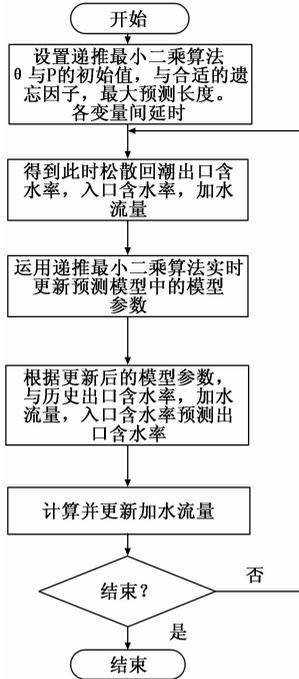


图 2 广义预测控制算法流程图

将上述算法封装后，首先对算法进行仿真验证。验证通过后，使用边缘计算模块承载上述优化控制算法进行工程实现，使用 OPC Server 建立与 PLC 的通讯，进行数据的上传和下发，对松散回潮设备进行实时优化控制。

3.1 系统仿真

利用系统仿真软件，建立仿真程序，对广义预测控制算法进行仿真，初步验证其效果。该仿真程序使用实际数据模拟松散回潮设备的物理特性和随机性，从而验证控制算法对过程的适应程度。

为验证递推最小二乘对松散回潮过程的在线模型辨识效果，将历史数据中的入口含水率，加水量，质量流量等作为输入，令递推最小二乘算法实时辨识模型参数，再将辨识出来的模型参数代入松散回潮过程模型中，求出相应的出口含水率估计值，如图 3 所示为求出的出口含水率估计值与对应的出口含水率实际值对比曲线，出口含水率估计值相对于实际值的均方根误差为 0.108，可知，运用递推最小二乘法能较为有效的对松散回潮出口过程进行在线模型辨识。

在仿真程序中搭建仿真模型，编写 GPC 算法，中各参数初值在 $[0, 1]$ 之间随机取值， λ 取 0.95，最大预测长度

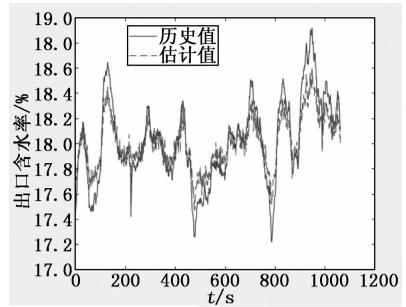


图 3 松散回潮出口含水率估计值与实际值对比图

为 185， $delay_a$ 为 205， $delay_s$ 为 175，以式 (1) 作为被控对象表达式。并通过历史数据逆推出各时刻的变量前的系数，搭建被控对象模型；使用历史入口含水率、质量流量、各时刻模型前参数作为搭建的控制系统输入；使用被控对象输出，即出口含水率作为控制系统输出，搭建的仿真程序结构如图 4 所示。

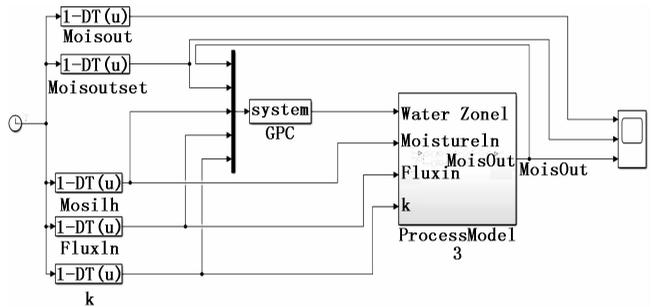


图 4 松散回潮含水率控制系统仿真程序结构图

通过基于广义预测控制算法的控制器计算出的出口含水率与出口含水率设定值误差控制在 $\pm 0.3\%$ 以内，对应的制程能力指数 (process capability index, CPK) 值为 1.548，较历史曲线的 0.912 提升了 69.74%，表明该算法在仿真环境下的控制效果较好，具备实施条件。出口含水率仿真值与历史值对比曲线如图 5 所示。

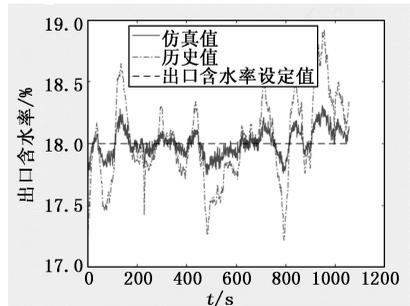


图 5 出口含水率仿真值与历史值对比曲线

3.2 现场实施和效果验证

松散回潮智能优化控制系统以工业软件为形态，装载本文所设计的广义预测控制算法，并以边缘计算模块的形式接入现场 PLC 网络中，通过 OPC Serve 与现场 PLC 通讯，对松散回潮出口含水率进行控制。

3.2.1 关键指标平均值对比

为测试优化控制系统的控制效果，在一台松散回潮设

备上部署实施了松散回潮优化控制系统。自实施以来, 共对五个牌号共 133 批次的烟片生产进行了松散回潮优化控制。使用批次标准偏差 (以下简称“标偏”) 和制程能力指数 (CPK) 作为指标, 将实施后的生产数据与实施前的生产数据进行了环比对比分析。结果如图 6 和图 7 所示。

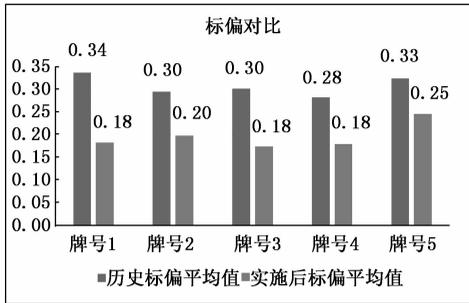


图 6 松散回潮出口含水率标准偏差环比对比图

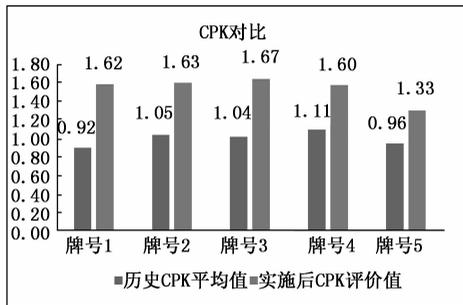


图 7 松散回潮出口含水率 CPK 环比对比图

结果表明, 应用松散回潮优化控制系统之后与应用前的数据相比, 牌号 1 标偏平均值降低 47.06%、牌号 2 标偏平均值降低 33.33%、牌号 3 标偏平均值降低 40.00%、牌号 4 标偏平均值降低 35.71%、牌号 5 标偏平均值降低 24.24%; 牌号 1 的 CPK 平均值提升 76.09%、牌号 2 的 CPK 平均值提升 55.24%、牌号 3 的 CPK 平均值提升 60.58%、牌号 4 的 CPK 平均值提升 44.14%、牌号 5 的 CPK 平均值提升 38.54%, 优化控制效果明显。

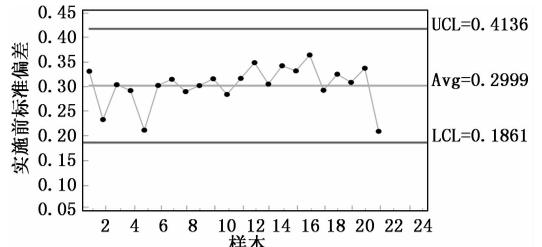
3.2.2 某牌号关键指标对比

使用某牌号在优化控制系统实施前后的批次出口含水率标偏, 绘制单值控制图进行对比。结果如图 8 所示, 可以看出, 优化控制系统实施后, 批次标偏的控制限明显收窄, 平均值也有明显降低, 说明优化控制系统有效降低了批次标偏的波动幅度及其平均值。

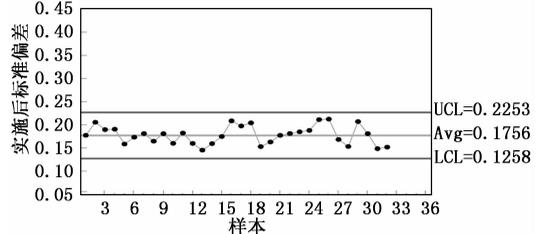
使用某牌号在优化控制系统实施前后的批次 CPK, 绘制单值控制图进行对比, 结果如图 9 所示, 可以看出在优化控制系统实施后, 系统 CPK 平均值有明显升高。

3.2.3 烟片出口含水率趋势对比

随机选取实施后的一批某牌号烟片趋势图与实施前的一批同牌号烟片的出口含水率趋势图进行对比, 结果如图 10 所示, 可以看出, 优化控制系统实施后出口含水率明显变得更加平稳, 反映在指标上, 标偏降低了 50%, 而 CPK 则提升了接近 87%。

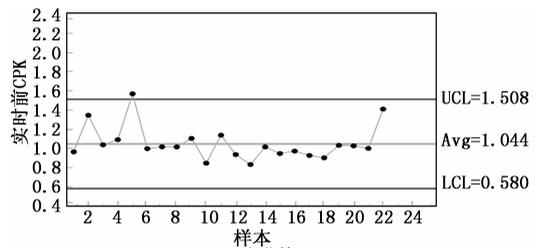


(a)改进前

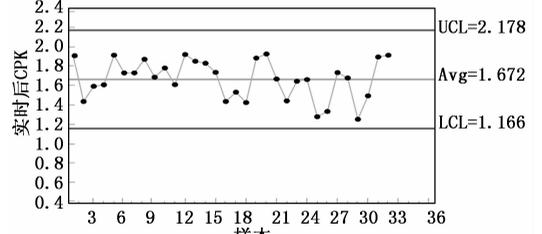


(b)改进后

图 8 优化控制系统实施前后某牌号出口含水率标偏对比

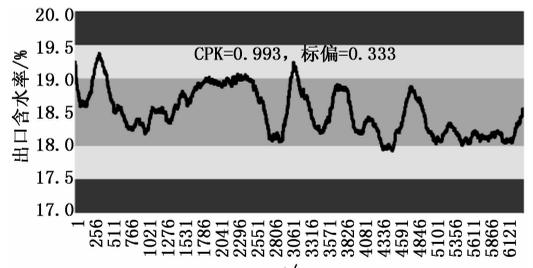


(a)改进前

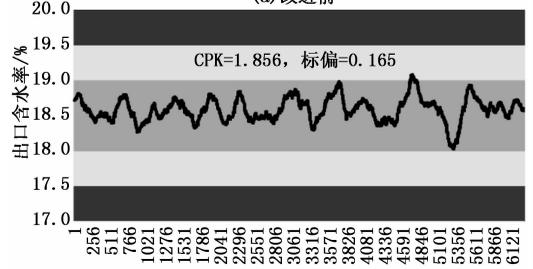


(b)改进后

图 9 优化控制系统实施前后某牌号 CPK 对比



(a)改进前



(b)改进后

图 10 优化控制系统实施前后出口含水率趋势图对比

4 结论

本文针对卷烟工业企业中的松散回潮控制工序出口含水率稳定性,创新性地使用了基于模型的预测控制的思想,采用数据预处理、相关性分析、模型构建、预测控制的路径,实现多参数关联分析,建立了能够在线自适应的含水率修正模型。对某卷烟厂一段时间内生产的 5 个牌号共 133 批次烟片进行松散回潮优化控制测试,结果表明:使用优化控制后,各牌号烟片含水率标偏与 CPK 水平均有显著改善,其中,标偏平均值最多降低 47.06%,CPK 平均值最多提升 76.09%,优化控制效果明显。本文有效地将工业数据采集与分析 and 先进控制技术应用于松散回潮控制系统的优化改造,为解决其他制丝生产工序中的水分控制问题带来了可供借鉴的新思路、新方案。

参考文献:

[1] 董伟,李坤,王健, et al. HAUNI 松散回潮滚筒含水率控制系统的改进 [J]. 烟草科技, 2012 (11): 20-25.

[2] 李秀芳. 烟片松散回潮关键工艺参数过程控制系统的优化设计 [J]. 中国烟草学报, 2015, 21 (3): 34-41.

[3] 陈晓杜,郭天文,曹琦. 基于 Elman 神经网络的卷烟制丝松散回潮出口含水率控制方法 [J]. 安徽农学通报, 2016, 22 (8).

[4] 范勇,郑利锋,庞天航,等. 烟叶松散回潮含水率控制方法的优化 [J]. 轻工科技, 2019 (4): 123-125.

[5] 刘穗君,王玉芳,李超,等. 基于统计回归分析的松散回潮出口含水率精准控制系统 [J]. 烟草科技, 2017 (3): 88-93.

[6] 段荣华. 基于专家一模糊 PID 控制的松散回潮出口水分控制系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2019 (1): 85-91.

[7] 李向阳,王旭锋,刘国栋,等. 降低松散回潮出口含水率标准偏差的研究 [J]. 建筑工程技术与设计, 2016 (5): 1813.

[8] 王庆周. 卷烟生产线松散回潮机出口水分控制方法研究 [J]. 商品与质量, 2016 (13): 24-25.

(上接第 92 页)

及 LAND-LDRTU 款无线远程监测终端 RTU 对系统元件进行改造完善,在系统性能的基础上对监控设备进行性能提升,减少不必要损耗的发生,进而提升整体系统的监控效率,为监控系统提供数据信息。在软件设计中,对数据节点进行传感处理,利用传感节点对物流信息进行追踪,提升追踪点的准确性,并保证数据在流转过程中的实时更新,降低干扰因素的影响,提升监控系统的工作效率,最终实现对无人物流车辆的智能监控。

相较于传统系统,本文系统设计能够对采集信息进行集成处理,整合数据,并优化数据处理内容,降低不必要损耗,提升监控系统的监控性能,符合用户需求,提供更加优质的监控服务,具备更加广阔的应用市场。

参考文献:

[1] 郭键. 基于 GPS 的物流车辆智能监控系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 25 (9): 87-90.

[2] 冯亮,梁工谦. 联网中物流配送车辆调度目标定位设计与仿

[9] 曹正良. 片烟松散回潮含水率控制方式的改进 [A]. 中国烟草学会工业专业委员会烟草工艺学术研讨会 [C]. 2010.

[10] Clarke D W, Mohtadi C, Tuffs P S. Generalized predictive control—Part I. The basic algorithm [J]. Automatica, 1987, 23 (87): 137-148.

[11] Clarke D W, Mohtadi C, Tuffs P S. Generalized Predictive Control—Part II Extensions and interpretations [J]. Automatica, 1987, 23 (2): 137-148.

[12] Hernandez J S, Rivas—Perez R, Moriano J J S. Design of a Generalized Predictive Controller for Temperature Control in a Cement Rotary Kiln [J]. IEEE Latin America Transactions, 2018, 16 (4): 1015-1021.

[13] Krid M, Benamar F, Lenain R. A new explicit dynamic path tracking controller using generalized predictive control [J]. International Journal of Control Automation & Systems, 2017, 15 (1): 303-314.

[14] Claxton J. Simulation and Research for Generalized Predictive Control [J]. Advanced Materials Research, 2017, 694-697 (12): 2205-2210.

[15] Mendoza—Soto J L, Cortés H R. Generalized predictive control for trajectory tracking of a quadcopter vehicle [A]. International Conference on Unmanned Aircraft Systems [C]. 2017.

[16] Draganescu M, Shen G, Wojcik J, et al. Generalized Predictive Control for superheated steam temperature regulation in a supercritical coal-fired power plant [J]. CSEE Journal of Power & Energy Systems, 2015, 1 (1): 69-77.

[17] Han M, Zhang Y. Study on brushless DC motor control based on generalized predictive control [J]. China Science paper, 2015.

[18] 庞中华. 系统辨识与自适应控制 MATLAB 仿真 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2009.

[19] 滕威. 计算机仿真, 2017, 34 (4): 377-381.

[3] 滕威. 基于 GIS 的物流配送车辆调度系统的设计与实现 [J]. 电子设计工程, 2017, 25 (18): 50-53.

[4] 孙希,任晓峰,朱岩. 分布式电源对配网供电电压质量的影响 [J]. 中国电力企业管理, 2018, 548 (35): 16-17.

[5] 何方,张军,常伟. 基于 ATXMEGA 的汽车电流传感器数据采集标定装置的设计 [J]. 电子世界, 2019, 33 (11): 145-145.

[6] 胡轶波,刘柏罕,冯亮. 电压行波传感器的高频传变特性分析 [J]. 电工技术, 2018, 470 (8): 48-50.

[7] 李明,李亚锋,安书董. 多通道 LVDT/RVDT 传感器信号解调与监控方法研究 [J]. 电子测试, 2019, 413 (8): 46-48.

[8] 厉庭华,杨庆华,屠晓伟. 基于仓储物流环境的无人叉车室内定位系统研究 [J]. 自动化仪表, 2019, 40 (2): 43-47+51.

[9] 赵斌. 基于无线 Mesh 网络和 RFID 的定向越野设备的设计 [J]. 电子设计工程, 2017, 25 (18): 185-188.

[10] 龚玉梅,胡金艳. 基于 FRAM 射频标签识别的实验室仪器管理系统设计 [J]. 电子设计工程, 2018, 26 (18): 129-132+137.