

基于PID算法的气流烘丝出口含水率控制

高 强, 邵春霖, 牛文巍

红云红河烟草(集团)有限责任公司昆明卷烟厂, 云南 昆明

收稿日期: 2023年11月24日; 录用日期: 2023年12月20日; 发布日期: 2023年12月29日

摘 要

昆明卷烟厂制丝线气流烘丝机烟丝出口含水率控制延迟长, 滞后大, 需操作人员频繁干预调整, 烘丝出口含水率偏差大, 并且明显高于集团对标值, 同时与行业标杆企业比较存在一定差距。因此降低制丝线气流烘丝出口含水率偏差迫在眉睫。本文从制造精益、提升制丝产品内在质量方面着手、深入分析影响气流烘丝出口含水率的关键因素及烘丝机脱水控制原理。明确循环热风温度波动的主要症结, 创造性地通过气流烘丝料头料尾分段控制和预估水分恒脱水自适应控制, 实现气流烘丝出口含水率控制波动的减少, 降低了出口含水率偏差。

关键词

烘丝机, 含水率, 分段控制, 自适应控制

Control of Moisture Content at the Outlet of Airflow Drying Based on PID Algorithm

Qiang Gao, Chunlin Shao, Wenwei Niu

Kunming Cigarette Factory, Hongyun Honghe Tobacco (Group) Co., Ltd., Kunming Yunnan

Received: Nov. 24th, 2023; accepted: Dec. 20th, 2023; published: Dec. 29th, 2023

Abstract

Kunming Cigarette Factory silk wire air drying machine tobacco export moisture content control delay is long, lag is large, the operator needs frequent intervention adjustment, drying wire export moisture content deviation is large, and obviously higher than the group's standard value, and there is a certain gap with the industry benchmark enterprises. Therefore, it is urgent to reduce the deviation of moisture content at the outlet of air drying silk. In this paper, the key factors affecting the moisture content at the outlet of air drying wire and the dehydration control principle of the drying machine are analyzed in depth from the aspects of making lean and improving the internal quality of the silk products. The main crux of temperature fluctuation of circulating hot air was identified, and the control fluctuation of water content at the outlet of air drying was re-

duced and the deviation of water content at the outlet was reduced through the creative control of the head and tail of air drying and the adaptive control of the predicted water constant dehydration.

Keywords

Drying Machine, Moisture Content, Sectional Control, Self-Adaptive Control

Copyright © 2023 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

目前气流烘丝出口含水率偏差是烟草行业对标评价的关键质量指标,同时也是行业各企业均在不断关注提升的关键工艺控制点。其稳定性是叶丝加工产品均质化的重要体现,同时影响着叶丝干燥后烟丝的物理、化学指标和成品烟丝卷制后的感光质量。因此气流烘丝出口含水率偏差控制是行业企业面临的关键性核心问题。烘丝出口含水率偏差是每批次根据相同时间点实际出口含水率和设定出口含水率之间差值的绝对值。采集计算固定数据量,并计算平均值,即为每批次烘丝出口含水率偏差。针对降低制丝线气流烘丝出口含水率偏差的控制方法,四川中烟工业有限责任公司成都卷烟厂提出了一种基于融合注意力时间卷积网络(Fused Attention Time Convolution Network, FATCN)的烘丝出口含水率控制方法。借助多元高斯分布检测和降噪自编码器对监测数据进行实时处理、特征衍生与增强,利用 FATCN 模型对监测数据进行实时判别,精准识别控制参数的调整时机和调整量,实现烘丝过程的自动化控制。有效地实现了降低制丝线气流烘丝出口含水率偏差的问题,但该方法控制方法复杂,成本较高[1][2][3][4]。

2. 气流烘丝出口含水率波动原因分析

通过对关键控制点位制丝线气流烘丝出口含水率偏差不达标缺陷进行分类统计,归纳出循环热风温度波动、入口含水率波动、入口电子秤流量波动、前段工序含水率波动、出口水分仪误检测等缺陷原因,统计不同关键控制点位不达标缺陷累计频次和累计百分比,统计数据如下表 1。

Table 1. Statistical data on the cumulative frequency and cumulative percentage of non-compliance defects at critical control points

表 1. 关键控制点位不达标缺陷数累计频次和累计百分比统计数据

不合格项目	频次 (次)	累计频次 (次)	累计百分比 (%)
循环热风温度波动	263	250	74.93%
入口含水率波动	43	306	12.25%
入口电子秤流量波动	17	323	4.84%
前段工序含水率波动	12	335	3.42%
出口水分仪误检测	9	344	2.56%
其它	7	351	1.99%
合计	351		

由上表可知,循环热风温度波动引起出口含水率偏差不达标缺陷数为 263,占合计数的 74.93%。因此循环热风温度波动是主要症结。进一步分析影响循环热风温度波动的原因,绘制原因分析树图如下图 1。

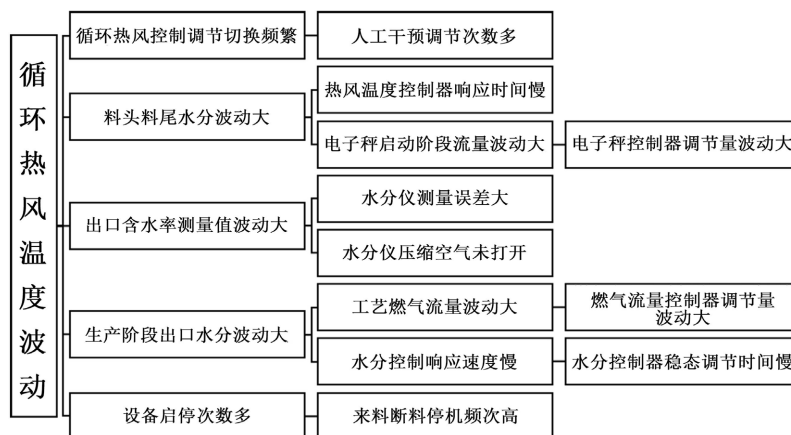


Figure 1. Analysis tree diagram of causes affecting temperature fluctuations of circulating hot air

图 1. 影响循环热风温度波动的原因分析树状图

对影响循环热风温度波动的原因分析树状图上涉及的原因进行逐一确认，排除了人工干预调解次数多、电子秤启动阶段流量波动大、水分仪测量误差大、水分仪压缩空气未打开、工艺燃气流量波动大、水分控制响应速度慢、来料断料停机频次高等原因。

调查分析 30 个批次热风温度控制器响应时间对症结影响程度，热风温度控制器响应时间分组单因素方差分析，P 值 < 0.05，即为显著性差异。

查阅生产制造系统，调查统计 30 批次生产过程热风温度控制器响应时间，确定生产过程热风温度控制器响应时间(s)范围在 145 s~160 s 之间(表 2)。

Table 2. Hot air temperature controller response time grouping

表 2. 热风温度控制器响应时间分组

分组	1 组	2 组	3 组
热风温度控制器响应时间	145~150 s	151~155 s	156~160 s

为验证对症结影响程度，将热风温度控制器响应时间(s)分为 145~150 s、151~155 s、156~160 s 三组，在历史生产数据中，每组随机各抽样 10 批次循环热风温度波动系数 CV (%)数据。

Table 3. Group circulation hot air temperature fluctuation coefficient CV (%) statistics

表 3. 分组循环热风温度波动系数 CV (%)统计

数采值(%)	组 1	组 2	组 3
1	0.441	0.554	0.682
2	0.427	0.522	0.698
3	0.438	0.553	0.668
4	0.468	0.539	0.691
5	0.477	0.589	0.619
6	0.469	0.598	0.597
7	0.469	0.594	0.614
8	0.459	0.581	0.671
9	0.427	0.572	0.627
10	0.472	0.521	0.628

对上表 3 数据进行方差分析得出每组的方差 $P < 0.05$ 在 0.05 水平存在显著差异，热风温度控制器响应时间(s)对循环热风温度波动有显著影响。确定热风温度控制器响应时间慢为的主要原因。

3. 制定对策

针对影响循环热风温度波动的原因制定相应的实施对策如下表 4:

Table 4. Countermeasure implementation table
表 4. 对策实施表

要因	序号	对策方案
热风温度控制器 响应时间慢	1	料头料尾热风温度控制参数试验调整
	2	采用料头料尾和正常生产分段控制
	3	PID 控制器及设备工艺参数试验调整
	4	采用烘丝预估水分恒脱水自适应控制

1) 对策实施一采用料头料尾和正常生产分段控制

a) 措施 1 构建料头料尾和正常生产分段控制切换流程

流程图如下图 2:

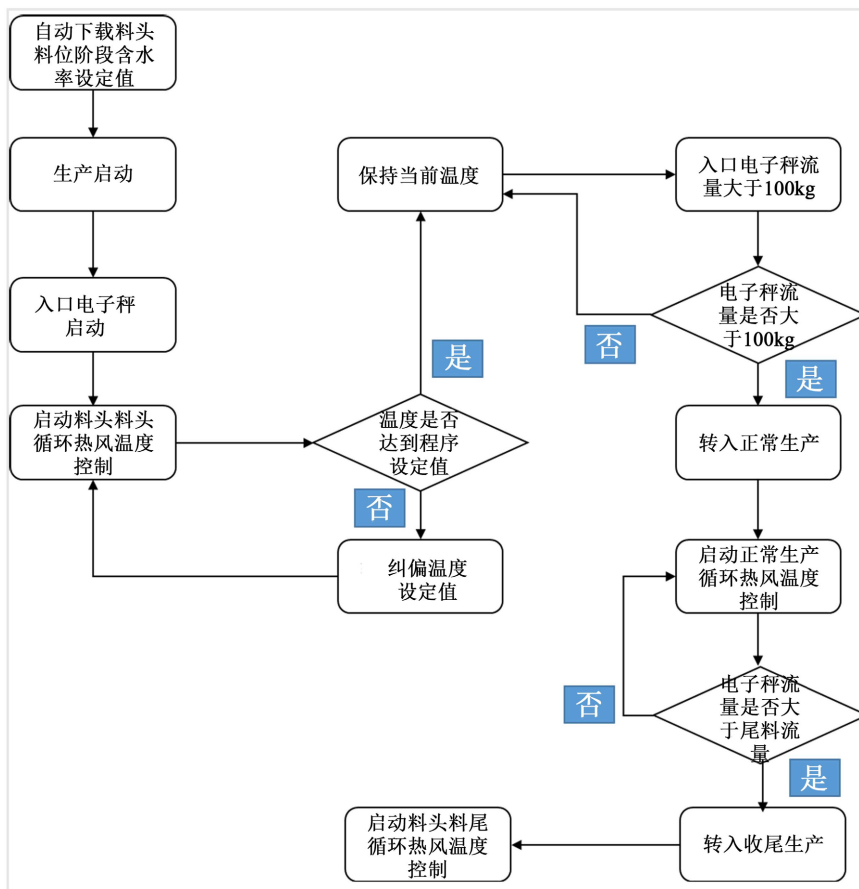


Figure 2. Switching process between head and tail and normal production segment control
图 2. 料头料尾和正常生产分段控制切换流程

b) 措施 2 确定料头料尾水分检测点

分别选取冷床后和烘丝出口振槽两处料头料尾水分检测点位，通过 SET7 仿真验证，并记录水分检测反馈时间。通过分析，冷床后水分检测点位反馈时间为 1.5 s，烘丝出口振槽水分检测点位反馈时间为 1 s，响应速度更快，因此选择烘丝出口振槽水分检测点为料头料尾控制水分检测点。

2) 对策实施二采用烘丝预估水分恒脱水自适应控制

a) 措施 1 优化水分控制系统架构。

系统架构如图 3:

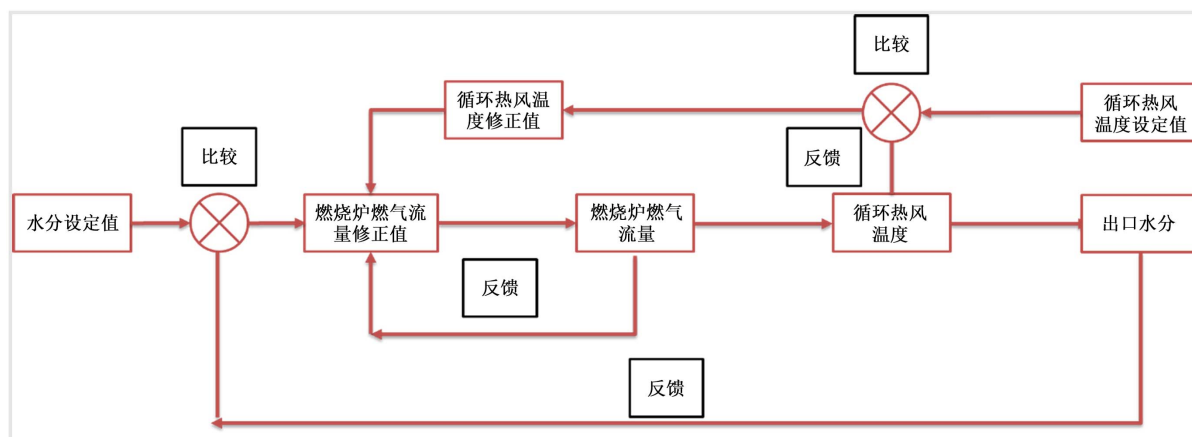


Figure 3. Optimized moisture control system architecture

图 3. 优化水分控制系统架构

b) 措施 2 确定烘丝预估脱水量计算控制模型

根据控制器架构，大数据分析给定烘丝入口含水率设定值(%)SP(in)m、烘丝出口含水率设定值(%)SP(out)m、烘丝入口含水率瞬时值(%)PV(in)m、脱水量系数(0%~100%) K 与脱水修正变量 Temp 1 和 Temp 2 的变化，寻找变量间关系。

Table 5. Analysis of calculation data for estimated dehydration amount of dried yarn

表 5. 烘丝预估脱水量计算数据分析

序号	烘丝入口含水率设定值 (%)SP(in)m	烘丝出口含水率设定值 (%)SP(out)m	烘丝入口含水率瞬时值 (%)PV(in)m	脱水量系数 (0%~100%) K	脱水量修正变量 Temp 1	脱水量修正变量 Temp 2
1	20	13.5	20.4	0.1	-0.4	1.94
2	20.1	13.5	20.5	0.2	-0.4	3.9
3	20.2	13.5	20.2	0.3	0	5.76
4	20.3	13.5	20.7	0.4	-0.4	7.88
5	20.4	13.5	20.1	0.5	0.3	9.55
6	20.5	13.5	20.2	0.6	0.3	11.52
7	20.6	13.5	20.3	0.7	0.3	13.51
8	20.7	13.5	20.1	0.8	0.6	15.28
9	20.8	13.5	20.2	0.9	0.6	17.28

Continued

10	20.9	13.5	21	1	-0.1	20
11	21	13.5	20.4	0.1	0.6	1.94
12	20	13.5	20.5	0.2	-0.5	3.9
13	20.1	13.5	20.6	0.3	-0.5	5.88
14	20.2	13.5	20.7	0.4	-0.5	7.88
15	20.3	13.5	20.3	0.5	0	9.65
16	20.4	13.5	20.9	0.6	-0.5	11.94
17	20.5	13.5	20	0.7	0.5	13.3
18	20.6	13.5	20.5	0.8	0.1	15.6
19	20.7	13.5	20.3	0.9	0.4	17.37
20	20.8	13.5	20.2	1	0.6	19.2

根据表 5 分析, 给定烘丝入口含水率设定值(%)SP(in)m、烘丝出口含水率设定值(%)SP(out)m、测量的烘丝入口含水率瞬时值(%)PV(in)m、脱水量系数(0%~100%) K 与预估脱水修正变量 Temp 1 和 Temp 2 之间的关系为:

$$\begin{aligned} &[(SP(in)m - SP(out)m) - (PV(in)m - SP(out)m)] = \text{Temp 1} \\ &\{[(SP(in)m - SP(out)m) - (\text{Temp 1} - SP(out)m)] - 1.0\} K = \text{Temp 2} \end{aligned}$$

对策实施后, 调查 30 批生产, 观察分析气流烘丝机水分控制器稳态调节时间和设备正常生产阶段循环热风温度波动情况。

Table 6. Moisture controller steady-state adjustment time and circulating hot air temperature fluctuations
表 6. 水分控制器稳态调节时间和循环热风温度波动情况

序号	水分控制器 稳态调节 时间(s)	循环热风温 度波动系数 CV (%)	序号	水分控制器 稳态调节时 间(s)	循环热风温 度波动系数 CV (%)	序号	水分控制器 稳态调节 时间(s)	循环热风温 度波动系数 CV (%)
1	5	0.15	11	5	0.15	21	5	0.15
2	5	0.16	12	5	0.16	22	5	0.16
3	5	0.15	13	5	0.15	23	5	0.15
4	6	0.15	14	6	0.15	24	6	0.15
5	5	0.14	15	5	0.14	25	5	0.14
6	5	0.16	16	5	0.16	26	5	0.16
7	5	0.16	17	5	0.16	27	5	0.16
8	5	0.15	18	5	0.15	28	5	0.15
9	5	0.16	19	5	0.16	29	5	0.16
10	6	0.15	20	6	0.15	30	6	0.15

统计分析(表 6)表明, 水分控制器稳态调节时间 < 8 s, 设备正常生产阶段循环热风温度波动系数 CV (%) ≤ 0.2%, 对策目标实现。

4. 结论

本文从制造精益、提升制丝产品内在质量方面着手、深入分析影响气流烘丝出口含水率的关键因素及烘丝机脱水控制原理。明确循环热风温度波动的主要症结，创造性的通过气流烘丝料头料尾分段控制和预估水分恒脱水自适应控制，实现气流烘丝出口含水率控制波动的减少，降低了出口含水率偏差。

参考文献

- [1] 董祥云. GD_X1 机组[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2001.
- [2] 王栋梁. 机械基础[M]. 北京: 中国劳动出版社, 1993.
- [3] 濮良贵, 纪明刚. 机械设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [4] 孙桓, 陈作模. 机械原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.