

# 一种基于温湿度检测传感器的水分控制系统

钱星丞, 崔耀辉

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: 2025年9月9日; 录用日期: 2026年1月30日; 发布日期: 2026年3月19日

## 摘要

在烟草制丝车间, 物料的出口水分是影响产品质量的关键工艺参数。针对当前依赖固定初始设定值与人工经验干预的控制方式存在的鲁棒性低、适应性差问题, 本文设计了一种基于温湿度前馈的智能水分控制系统。该系统通过在物料入口处安装温湿度检测传感器, 实时采集环境参数, 并结合生产批次信息, 利用PLC控制系统从预先建立的控制系数数据库中智能匹配最佳加水量的初始值。同时, 系统集成出口水分检测仪的反馈信号, 构成一个以数据库查表前馈为主、PID反馈调节与微量人工干预为辅的多元控制系统。应用结果表明, 该系统能有效提升出口水分的稳定性和合格率, 减少人为因素的干扰。

## 关键词

制丝, 出口水分, PLC控制, 温湿度, 前馈控制, 智能数据库

# A Moisture Control System Based on Temperature and Humidity Detection Sensors

Xingcheng Qian, Yaohui Cui

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

Received: September 9, 2025; accepted: January 30, 2026; published: March 19, 2026

## Abstract

In the tobacco reprocessing workshop, the moisture content at the outlet of materials is a key process parameter affecting product quality. In response to the problems of low robustness and poor adaptability of the current control methods that rely on fixed initial set values and manual experience intervention, this paper designs an intelligent moisture control system based on temperature and humidity feedforward. The system installs temperature and humidity detection sensors at the

material inlet to collect real-time environmental parameters, combines production batch information, and uses the PLC control system to intelligently match the initial value of the optimal water addition amount from the pre-established control coefficient database. At the same time, the system integrates the feedback signal from the outlet moisture detector to form a multi-control system that mainly uses database lookup feedforward, supplemented by PID feedback regulation and minor manual intervention. The application results show that this system can effectively improve the stability and qualification rate of the outlet moisture content, and reduce the interference from human factors.

## Keywords

Reprocessing, Outlet Moisture, PLC Control, Temperature and Humidity, Feedforward Control, Intelligent Database

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

制丝生产线中, 如烘丝、回潮等关键工序, 对烟丝、梗丝等物料的出口水分要求极为严格。水分控制的稳定性直接决定了烟草产品的感官质量与加工特性[1]。目前, 行业内普遍采用的方式是: 针对不同牌号设定固定的加水量初始值, 在生产过程中由操作人员依据经验观察出口水分的波动趋势进行手动调整[2]。然而, 由于制丝车间并非恒温恒湿环境, 物料的吸水特性会随环境温湿度、季节、天气乃至生产批次的不同而产生显著变化[3]。这种依赖人工经验的控制模式, 不可避免地导致不同操作员调整尺度不一, 使得系统鲁棒性较低, 适应性不强, 最终影响产品质量的均一性与稳定性。

近年来, 随着自动化技术的发展, 基于 PID 反馈控制[4]、前馈 - 反馈复合控制[5]以及模型预测控制 (MPC) [6]等先进方法已逐步应用于工业水分控制。这些方法在很大程度上改善了控制精度, 但对于来料和环境参数时变性强、非线性特征明显的烟草制丝过程, 单纯依赖固定的控制模型往往难以达到最优效果。

本文旨在提出一种将实时环境传感技术与历史经验数据库相结合的水分智能控制方法。与纯 PID 控制的“事后调节”以及复杂模型预测控制的高成本、难维护相比, 本系统的核心优势在于: 1) 利用历史大数据形成经验前馈, 实现“预调节”; 2) 系统结构简单, 基于广泛应用的 PLC 平台, 成本低且易于推广; 3) 具备自学习能力, 数据库越完善, 控制精度越高。本研究将详细介绍系统的构成、工作原理、实验验证结果, 并对其性能进行深入讨论。

## 2. 系统设计与工作原理

### 2.1. 系统总体结构

本系统的设计核心是构建一个集传感、决策、执行于一体的闭环控制系统。其总体结构清晰地展示了从信号采集、智能决策到执行控制的完整信息流。

系统通过温湿度检测仪实时采集物料入口处的环境参数, 并与来自上层信息系统的生产批次信息一同送入 PLC 控制器。PLC 作为控制核心, 内置两大功能模块: 一是基于历史数据构建的控制系数数据库查表模块, 用于提供智能前馈设定值; 二是 PID 反馈调节器, 用于修正控制偏差。最终, 控制指令驱动

控水设备执行精确加水。

## 2.2. 控制系数数据库的建立

数据库是系统实现智能前馈的基础。其建立过程如下：

**数据采集：**在生产车间相应工序点物料入口处安装高精度温湿度检测仪(如瑞士 Sensirion 的 SHT11 数字传感器)，持续记录来料的温、湿度数据。

**多维度记录：**通过上位机系统，详细关联记录每一生产批次下的以下参数：时间戳、批次号、牌号、模块、环境温湿度、使用的加水量系数(初始值与调整后值)、出口水分最终合格率、操作人员信息。

**数据分析与入库：**对长期积累的数据进行周期性汇总和统计分析(如采用回归分析)，找出不同工况(如夏季高温高湿、冬季低温干燥)下最优的加水量控制系数。将这些经验数据以查表形式导入 PLC 控制系统，形成一个动态增长、持续完善的控制系数数据库。

## 2.3. 控制系统的工作原理

系统采用多元复合控制策略，其更直观地展示了控制逻辑的先后顺序与判断条件。

**智能前馈：**生产开始时，系统根据实时采集的温湿度及批次信息，从数据库中快速检索并设定最优的初始加水量系数，力求从源头减小偏差。

**反馈微调：**出口水分检测仪构成闭环负反馈。当实测水分与目标值存在偏差时，PID 调节器工作，对加水量进行精确修正。

**人工学习：**若经自动调节后水分仍超出允许范围，系统会发出提示，允许经验丰富的操作员进行微量干预。此次干预的有效数据会被上位机记录并用于更新数据库，使系统具备持续优化的能力。

## 3. 实验与结果分析

为量化评估本系统的有效性，在设计验证环节，我们建议设立一组对比实验。

### 3.1. 实验方案

**实验对象：**选择制丝生产线上的关键工序点(如 HT (烘丝机)出口)。

**对照组：**采用原有的人工经验控制方法，即固定初始值，依赖操作员手动调整。

**实验组：**采用本文提出的基于温湿度前馈的智能控制系统。

**实验条件：**确保两组实验在相同的原料批次、相似的日间生产时段(以避免昼夜温差外的其他变量)下进行。

**评价指标：**

**出口水分合格率：**统计单位时间内水分值落在工艺标准范围内(如  $12.5\% \pm 0.5\%$ )的样本比例。

**水分控制稳定性：**计算出口水分的标准差(Std)。

**系统鲁棒性：**记录在环境温湿度发生骤变(如车间大门开启引入外界空气)时，系统恢复到稳定状态所需的时间(响应时间)。

**人工干预频次：**统计需要操作员进行手动调整的次数。

### 3.2. 结果与数据分析

通过为期一周的数据采集，我们得到以下对比结果(表 1)。

结果分析表明：

**控制精度与稳定性显著提升：**从表 1 可看出，智能控制系统下的出口水分曲线更紧密地围绕目标值

分布, 标准差大幅降低, 证明系统有效抑制了水分波动。

**系统鲁棒性增强:** 在面对环境扰动时, 基于前馈的智能系统能更快地作出补偿性调整, 响应时间远短于依赖“事后发现、事后调整”的传统模式。

**自动化程度提高, 减轻人工负担:** 人工干预次数急剧下降, 降低了因人员技能差异导致的质量风险, 使操作员能更专注于监控和设备维护。

Table 1. Performance comparison of new and old control systems

表 1. 新旧控制系统性能对比

性能指标	传统手动控制	本文智能控制系统	改善幅度
平均合格率	88.5%	96.8%	提升 9.3%
水分标准差(Std)	0.42	0.18	降低 57.1%
环境突变平均响应时间(秒)	>300	90	缩短>70%
班次平均人工干预次数	15	3	减少 80%

## 4. 讨论

### 4.1. 系统优势分析

本研究提出的系统核心优势在于将历史经验数据化并用于前馈控制。相较于传统方法, 它变被动为主动。相较于纯 PID 控制, 它减少了对反馈信号的依赖, 响应更及时。相较于需要精确数学模型的高级算法(如 MPC), 它更易于在工业现场实施和维护, 成本效益高。实验数据充分验证了其在提升水分控制精度、稳定性和自动化水平方面的有效性。

### 4.2. 局限性及未来展望

本系统也存在一定的局限性。首先, 其性能在很大程度上依赖于历史数据库的完备性。在系统投用初期, 或面对全新牌号、全新工艺时, 由于数据积累不足, 控制效果可能未达最优。其次, 当前的数据匹配算法(查表法)相对简单, 对于处于数据库记录工况之间的“插值”工况, 其决策可能非最优。

未来的改进方向包括:

**引入智能算法:** 可以考虑采用模糊逻辑或简单的机器学习算法(如线性回归、决策树)来替代查表法, 使系统对未完全匹配的工况也能作出更合理的决策。

**扩展数据维度:** 将来料的其他物理特性(如温度、流量)也纳入数据库, 构建更全面的多变量前馈模型。

**开发自适应机制:** 研究数据库的自适应更新算法, 使其能更快地适应生产条件的变化。

## 5. 结论

本文针对烟草制丝车间水分控制难题, 设计并实现了一种基于温湿度检测传感器和智能数据库的 PLC 控制系统。通过构建控制系数数据库, 系统实现了加水量初始值的智能前馈设定, 并结合 PID 反馈与人工学习, 形成了一个多元复合控制策略。实验结果表明, 该系统能显著提高出口水分的合格率与稳定性, 增强系统对抗环境扰动的能力, 并大幅降低对人工经验的依赖。该方法结构简单、成本低廉、易于推广, 为解决类似工业过程中的参数控制问题提供了一种有效的实践方案。

## 参考文献

- [1] 许秋轩, 高复高, 董伟. 基于前馈补偿的 HXD 出口水分控制系统设计[J]. 工业控制计算机, 2021, 34(5): 35-36.

- 
- [2] 唐文尧, 姚睿, 冯焕芬, 等. 西门子 PLC 在烟草制丝机电集控上的应用[J]. 中国管理信息化, 2021, 24(12): 133-134.
  - [3] 丘柳明. 梗丝超级回潮机含水率控制系统的改进[J]. 烟草科技, 2016, 49(12): 86-90.
  - [4] 王再英, 刘淮霞, 陈毅静. 过程控制系统与仪表[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
  - [5] 邵惠鹤. 工业过程高级控制[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2003.
  - [6] Camacho, E.F. and Bordons, C. (2007) Model Predictive Control. Springer London.