

# 基于脉冲控制的残烟烟丝分离方法

王磊, 杜斌

红塔烟草(集团)有限责任公司, 云南 玉溪

收稿日期: 2026年5月8日; 录用日期: 2026年6月9日; 发布日期: 2026年6月24日

## 摘要

针对卷烟工厂卷包车间残次烟支回收处理过程中烟丝与烟管分离困难、人工分拣工作量大的实际生产痛点, 文章设计研发了一款基于鼓轮输送与气动力吹扫的残次烟支自动化分选分离装置。该装置依托双鼓轮同步输送系统完成残次烟支连续上料与工位转运, 结合色差传感器实现烟支正反姿态精准在线识别, 通过编码器脉冲四倍频细分控制技术构建高精度工位时序控制基准, 搭配位移寄存器完成不同姿态残次烟支的实时追踪与同步定位; 针对压缩空气管路传输存在气流延迟、电磁阀通断时序精度直接影响烟丝分离成功率的核心问题, 通过多工况试验标定与线性回归拟合, 建立电磁阀相位提前量与设备处理速度的动态关联函数, 实现电磁阀导通时序自适应动态补偿, 有效消除气流传输滞后带来的吹净效果不佳问题。实际工况测试结果表明, 各类工况烟丝平均吹净率均稳定保持在91%以上。

## 关键词

烟丝分离, 脉冲控制, 配气盘, 电磁阀, 提前相位

# Pulse Control-Based Separation Method for Residual Tobacco

Lei Wang, Bin Du

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

Received: May 8, 2026; accepted: June 9, 2026; published: June 24, 2026

## Abstract

To address the practical production bottlenecks in the recycling and disposal of defective cigarettes in cigarette-making and packaging workshops, including the difficulty in separating tobacco from cigarette tubes and intensive manual sorting workload, an automatic sorting and separation device for defective cigarettes has been developed based on drum conveying and pneumatic blowing principles. The device adopts a dual-drum synchronous conveying system to achieve continuous feeding

文章引用: 王磊, 杜斌. 基于脉冲控制的残烟烟丝分离方法[J]. 仪器与设备, 2026, 14(2): 297-303.

DOI: 10.12677/iae.2026.142035

and station transfer of defective cigarettes. A color difference sensor is applied to realize accurate online recognition of the forward and reverse postures of cigarettes. By utilizing quadruple frequency subdivision control technology for encoder pulses, a high-precision timing reference for station control is established, and shift registers are employed to fulfill real-time tracking and synchronous positioning of defective cigarettes in different postures. Given the airflow delay in compressed air pipeline delivery and the fact that the switching timing accuracy of solenoid valves directly determines the separation efficiency of tobacco shreds, multi-condition calibration tests and linear regression fitting are conducted to construct a dynamic correlation function between the phase advance of solenoid valves and the operating speed of the equipment. Adaptive dynamic compensation for the turn-on timing of solenoid valves is thereby realized, which effectively eliminates the inferior blowing performance caused by airflow transmission lag. Practical industrial tests demonstrate that the average tobacco shred cleaning rate remains steadily above 91% under all operating conditions.

## Keywords

Tobacco Shred Separation, Pulse Control, Gas Distribution Plate, Solenoid Valve, Phase Advance

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

卷包车间生产中产生的残次烟支需进行烟丝与烟管分离, 以实现烟丝回收利用与废弃物合规处理。传统人工分拣与简易气吹装置存在分离效率低、吹净率不稳定、人工成本高、难以适配连续化生产等问题[1]。为解决上述行业痛点, 本文研发一套残次烟支自动化分离装置, 以双鼓轮输送为核心, 结合色差识别、编码器脉冲细分控制与电磁阀动态相位补偿技术, 实现残次烟支高效、稳定、自动化分离, 提升残烟处理精益化水平, 适配卷烟生产智能化、绿色化发展需求[2]。

## 2. 提出问题

采用压缩空气气动力进行烟丝分离时, 电磁阀导通时序是决定吹净效果的核心因素: 导通提前或滞后均会导致烟丝残留、分离成功率大幅下降。实际系统中, 压缩空气经电磁阀、管路、配气盘传输存在固定延迟, 而设备处理速度变化会改变鼓轮角速度, 使固定传输延迟对应的工位偏移量随速度线性变化[3]。若采用固定导通时序, 无法适配不同处理速度, 难以保证全工况稳定吹净。

为此, 本文采用编码器脉冲四倍频细分控制构建高精度时序基准, 通过位移寄存器实现烟支姿态追踪与定位, 并建立电磁阀相位提前量 - 设备速度动态补偿模型, 解决气流延迟导致的控制精度不足问题, 提升全工况烟丝分离稳定性[4]。

本文统一约定: 残次烟支在输送鼓轮上转过一个槽位的运行距离为一个标准工位, 作为脉冲时序分配、动作触发定位与精准剔除的基本控制单元。

## 3. 方案设计

### 3.1. 流程方案

本流程为细支卷烟残次品的自动化处理工艺, 依托双鼓轮输送系统, 实现对残次烟支的定向处理与分类剔除, 具体过程如下:

设备启动后, 主电机按变频器设定速度运行, 通过齿轮驱动第一、第二鼓轮同步转动, 为烟支输送提供稳定动力。细支卷烟残次品由料仓落入第一鼓轮的鼓槽内, 随鼓轮依次经过各功能工位: 首先在正反烟支检测工位完成姿态识别, 筛选出正向放置的残次烟支; 随后, 正向烟支进入吹烟丝工位, 完成烟丝的吹净处理。处理后的烟支进入吹净校验工位, 通过视觉成像检测判定吹净效果: 烟丝未吹净的残次烟支将随鼓槽传送至第二鼓轮的剔除工位被剔除; 而烟丝吹净合格的残次烟支, 则随鼓槽传送至第二鼓轮后, 最终落入筛分振槽内, 完成整个处理流程。具体流程图如图 1 所示:

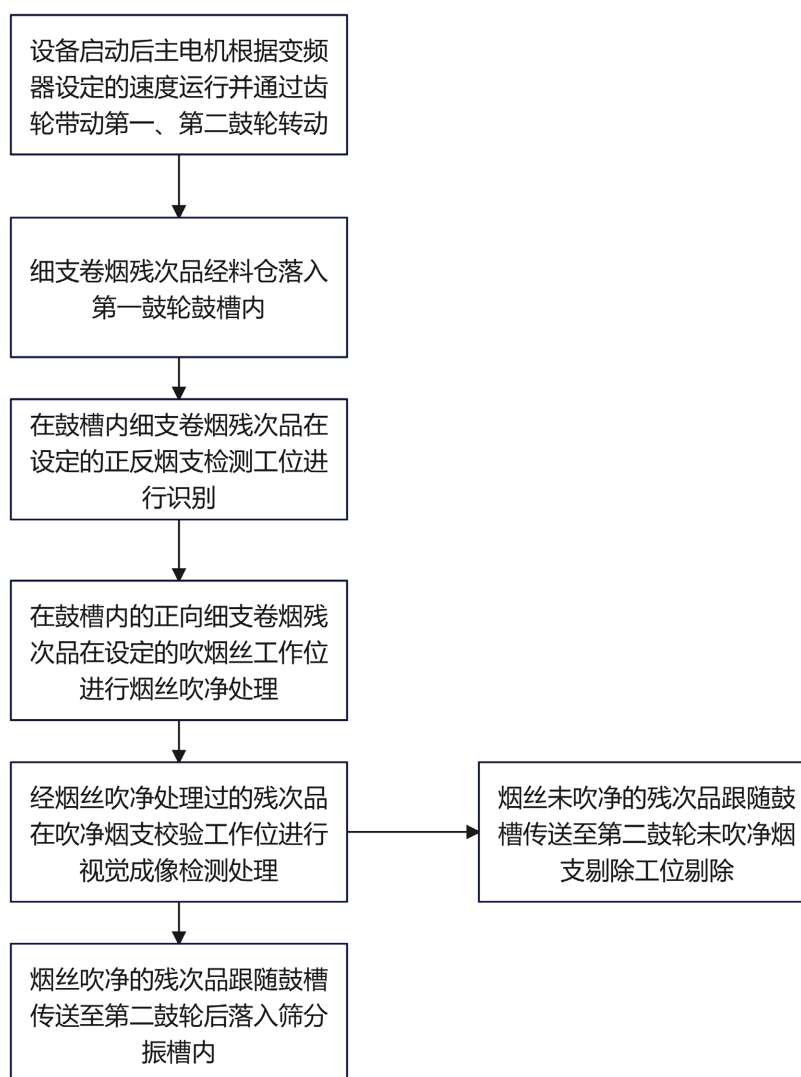


Figure 1. Process flow diagram

图 1. 工艺流程图

### 3.2. 脉冲生产

本方案中, 共使用了两个鼓轮来实现正反向烟支的烟丝分离, 其中第一、第二鼓轮间齿轮传动比为 9:1。为使每个工位上生产更多的脉冲数量, 选择将编码器安装于第二鼓轮上。编码器分辨率为 2048 PPR (脉冲数/转), 即第二鼓轮每转动一周, 编码器可产生 2048 个脉冲信号。第一鼓轮共计有 72 个槽, 故第一鼓轮每个工位产生的脉冲数量  $N$  计算如下:

$$N = \frac{2048 * 9}{72} = 256$$

即烟支在第一鼓轮每经过一个工位, 编码器可产生 256 个脉冲信号。

为获取更高精度的脉冲控制, 在 PLC 控制软件中启用了四倍频功能。即实际编码器每产生一个脉冲信号, 软件层面可将一个脉冲信息变为四个脉冲信号[5]。在开启四倍频功能下, 每个工位可产生的最高数量脉冲数量  $N_1$ :

$$N_1 = N * 4 = 1024$$

### 3.3. 编码器零位定义

在机械设计中, 高速电磁阀的导出气通过开有圆形孔的石墨片输送至鼓轮配气盘上。相应地, 将石墨片圆形孔与配气盘上 1 号导气孔完全重合的位置定义为零位。此时两个出气孔圆心与各自对应的配气盘气孔圆心位置重合, 设定为电气零位与机械零位的耦合位置, 通过 PLC 输出信号给编码器, 标定该位置增量编码器置零。

### 3.4. 正反烟支追踪定位

由于卷烟纸与水松纸的材料组分与光学反射特性存在显著差异, 烟支两端呈现出可被色差传感器识别的颜色特征差异。基于此特性, 本方案选用 SICK 系列色差传感器作为烟支姿态识别装置, 通过对烟支两端的色差信号进行采集与分析, 实现对烟支正向、反向姿态的在线、非接触式检测。

考虑到检测工位与后续吹气处理工位之间存在固定的工位间隔(共 64 个工位), 为实现检测信号与执行动作的精准同步, 本系统设计了一个 64 位的位移寄存器, 作为烟支正反状态的时序存储与传递单元。该寄存器以第 1 位作为计数起点, 将色差传感器检测到的烟支姿态信息写入寄存器对应位, 并随鼓轮的步进转动同步移位, 使状态信息的移位过程与烟支在鼓轮上的工位传递过程保持严格同步。

基于上述移位逻辑, 本方案针对不同姿态的烟支设置了差异化的处理时序: 当正向烟支对应的姿态信息移位至寄存器的第 13 位时, 系统触发对应工位的吹气机构, 完成正向烟支的烟丝吹净; 反向烟支的姿态信息则随移位过程传递至寄存器的第 64 位, 在对应工位触发反向烟支的烟丝分离动作, 实现了不同姿态烟支的精准、有序处理, 显著提升了烟支残次品处理系统的可靠性与处理效率。

### 3.5. 电磁阀导通控制

压缩空气传输存在固定延迟, 电磁阀需提前导通以补偿滞后。经多速度工况试验标定, 通过线性回归拟合得到相位提前量  $N_2$  与处理速度  $S$  的动态函数:

$$N_2 = 150 + 86.7S$$

#### 3.5.1. 拟合原始数据与优度验证

不同速度下最佳相位提前量采集数据见表 1:

Table 1. Original calibration data of phase advance

表 1. 相位提前量标定原始数据

| 设备处理速度 $S$<br>(支/分钟)  | 600    | 800    | 1000   |
|-----------------------|--------|--------|--------|
| 最佳相位提前量 $N_2$<br>(脉冲) | 156.92 | 159.23 | 161.54 |

线性拟合决定系数:

$$R^2 = 0.994$$

$R^2$  接近 1, 表明模型拟合度极高, 速度与提前量呈显著线性相关, 可用于动态补偿, 拟合散点图如图 2 所示。

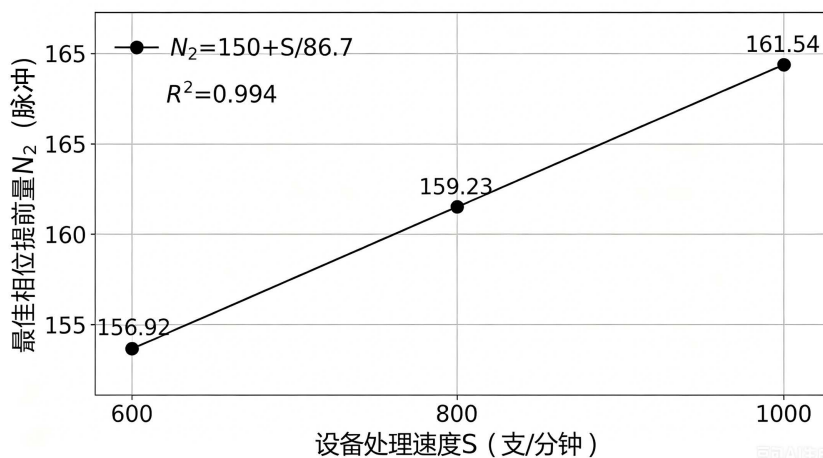


Figure 2. Scatter plot of linear fitting between phase advance  $N_2$  and speed  $S$

图 2. 相位提前量  $N_2$  与设备速度  $S$  间的线性拟合散点图

### 3.5.2. 补偿逻辑

系统实时读取设备速度  $S$ , 按上式计算当前最优提前脉冲数  $N_2$ , 在到达吹气零位前  $N_2$  个脉冲触发电磁阀导通, 使气流峰值与工位重合时刻精准对齐, 消除传输延迟影响[6]。

## 4. 试验与结果分析

### 4.1. 试验条件

- 处理速度: 600、800、1000 支/分钟。
- 工况: 纯正向、纯反向、正反混合(1:1)。
- 评价指标: 烟丝吹净率。
- 对照组: 无动态相位 compensation (固定提前量)。

### 4.2. 试验数据

不同速度下有动态补偿烟丝吹净率试验结果见表 2:

Table 2. Tobacco shred cleaning rate of dynamic compensation group

表 2. 动态补偿组烟丝吹净率

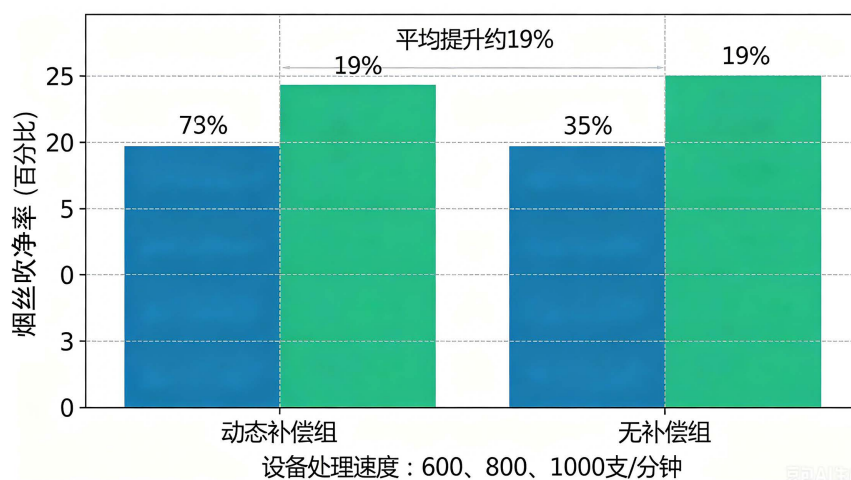
| 处理速度      | 正向烟支   | 反向烟支   | 正反混合(1:1) |
|-----------|--------|--------|-----------|
| 600 支/分钟  | 91.3%  | 92.4%  | 95.6%     |
| 800 支/分钟  | 92.5%  | 93.2%  | 96.1%     |
| 1000 支/分钟 | 91.7%  | 92.2%  | 95.4%     |
| 平均值       | 91.83% | 92.60% | 95.70%    |

不同速度下无动态补偿对照组吹净率试验结果见表 3:

**Table 3.** Cleaning rate of control group without dynamic compensation  
**表 3.** 无动态补偿对照组吹净率

| 处理速度      | 正向烟支   | 反向烟支   | 正反混合(1:1) |
|-----------|--------|--------|-----------|
| 600 支/分钟  | 78.2%  | 79.5%  | 82.3%     |
| 800 支/分钟  | 72.6%  | 73.1%  | 76.8%     |
| 1000 支/分钟 | 67.9%  | 68.5%  | 71.2%     |
| 平均值       | 72.90% | 73.70% | 76.77%    |

有无动态补偿烟丝吹净率对比如图 3 所示:



**Figure 3.** Bar chart of tobacco cleaning rate comparison: dynamic compensation vs. no compensation  
**图 3.** 动态补偿与无补偿吹净率对比柱状图

### 4.3. 结果分析

- 1) 动态补偿组全速度、全工况吹净率均>91%，正反混合工况达 95.7%，系统稳定可靠；
- 2) 无补偿组吹净率随速度升高显著下降，1000 支/分钟时降至 67%~71%，验证动态补偿必要性；
- 3) 正反混合(1:1)吹净率最优，表明姿态识别与差异化触发策略有效适配混合工况。

### 5. 展望

本次研发的残次烟支烟丝与烟管自动分离装置已实现常规工况下残次烟支高效稳定分离，圆满达成基础资源化回收与自动化处理核心目标，有效解决卷包车间残次烟支处理的基础性生产难题，但结合卷烟行业智能化、精益化、绿色化高质量发展的长远趋势，装置仍存在持续优化升级与应用拓展的提升空间。后续可围绕高精度控制优化、设备运维减负、全品类适配、智能化协同管控四大核心方向开展深度研发与迭代升级，持续强化设备综合性能与应用价值。在控制精度优化方面，可进一步引入闭环反馈智能调控算法，结合实时吹净校验视觉检测数据，构建吹净效果实时反馈、脉冲时序自动微调的双向调控机制，替代现有固定线性拟合补偿模型，进一步适配设备长期运行机械磨损、气源压力波动等复杂变量干扰，极致提升烟丝吹净精度与成品合格率。在设备运维适配方面，针对鼓轮传动、编码器配气盘、

石墨吹扫易损部件, 增设运行状态在线监测与故障预警模块, 实时采集设备转速、脉冲信号、气路压力等核心运行参数, 实现易损件损耗提前预判、故障点位精准定位, 降低设备停机检修时长与运维人工成本, 保障设备长周期连续稳定运行。在产品适配拓展方面, 基于现有双鼓轮输送与脉冲控制核心架构, 优化鼓轮槽位结构与吹气工位参数自适应调节程序, 突破当前细支卷烟适配局限, 实现常规烟、中支烟、爆珠烟等多品类卷烟残次品的通用化处理, 拓宽设备适用生产场景, 适配卷烟多规格柔性化生产需求。在智能制造协同方面, 推动装置与卷包车间生产 MES 系统、物料回收管控系统数据互联互通, 实时上传残次烟支处理量、烟丝回收量、吹净合格率等核心生产数据, 搭建残次品回收数字化管控台账, 助力车间实现生产损耗精益化管控、回收资源精细化统计。同时, 持续优化设备结构布局与降噪除尘配套设计, 改善车间生产作业环境, 全力推动卷烟卷包工序残次品回收处理环节从自动化作业向数字化、智能化、绿色化全面升级, 为卷烟工厂全生产链条精益化降本增效、低碳绿色生产筑牢技术根基。

### 参考文献

- [1] 邓光华. 卷烟卷接工专业知识[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 2012.
- [2] 于建军. 卷烟工艺学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009.
- [3] 成雁翔, 陈式刚, 王光瑞. 周期脉冲控制 R(ossler) 系统[J]. 科学通报, 1995, 40(19): 1748-1750.
- [4] 宣财鑫. PLC 脉冲控制步进电机技术[J]. 机车车辆工艺, 2002(1): 31-32.
- [5] 卢宇杰, 郑林杰, 林翌臻, 等. 一种卷烟机多鼓轮伺服同步控制实验平台及控制方法[P]. 中国专利, CN202411628376.7. 2024-11-14.
- [6] 何亚福, 许齐, 姜子鹏. 增量型编码器使用功能扩展[J]. 设备管理与维修, 2013(4): 32-33.