

基于打叶复烤流程优化降低灰末率的研究

杨 阳, 角艺珍

红塔烟草(集团)有限责任公司, 云南 玉溪

收稿日期: 2026年1月21日; 录用日期: 2026年2月20日; 发布日期: 2026年2月26日

摘 要

近年来, 由于集团工业分级模式的转变, 以及烟叶原料自身品质的不断改变, 复烤一车间打叶复烤物理特性指标中的灰末率逐渐在增加, 本烤季灰末率平均值为2.63%, 较车间历史最好水平2.45%, 存在较大差异。此外, 灰末率增加, 造成打叶复烤出片率、大中片率都受到影响, 原料损耗也会随之增加。本文通过对烟叶水分、风分风速和打辊转速的控制实现打叶复烤规程灰末率的降低, 通过实验验证, 改善后的灰末率从之前的2.63%降低为2.42%, 实现了165.64万元的经济收益。

关键词

打叶复烤, 烟叶水分, 风分风速, 打辊转速

Research on Reducing Ash Content Rate in the Leaf Re-Drying Process Based on Process Optimization

Yang Yang, Yizhen Jiao

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

Received: January 21, 2026; accepted: February 20, 2026; published: February 26, 2026

Abstract

In recent years, due to the transformation of the industrial classification model of the group and the continuous change of the quality of tobacco leaf raw materials, the ash content rate in the physical characteristic indicators of the leaf re-drying process in the first re-drying workshop has gradually increased. The average ash content rate of this baking season is 2.63%, which is significantly different from the historical best level of 2.45% in the workshop. Moreover, the increase in ash content

rate has affected the leaf re-drying yield and the rate of large and medium-sized pieces, and also led to an increase in raw material loss. This paper achieves the reduction of the ash content rate in the leaf re-drying process through the control of tobacco leaf moisture, wind separation wind speed, and roller rotation speed. Through experiments, the improved ash content rate has decreased from the previous 2.63% to 2.42%, achieving an economic benefit of 1,656,400 yuan.

Keywords

Leaf Re-Drying, Tobacco Leaf Moisture, Wind Separation Wind Speed, Roller Rotation Speed

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

随着集团“5211”卷烟品牌发展目标及“转方式、提结构”战略任务的不断推进，以及烟叶原料资源的有限与工业企业需求之间矛盾的逐步凸显，这都对卷烟企业的原料保障能力提出了新的、更高的要求[1]。复烤一车间每年承担着集团将近 130 万担烟叶的打叶复烤加工任务，在此过程中，若降低打叶复烤过程的损耗，特别是降低灰末率，这将对打叶复烤大、中片率及烟叶原料利用率的提高产生重大意义。

2. 打叶复烤工艺流程

通过梳理打叶复烤上下游工艺，绘制打叶复烤工艺流程[2]，并总结影响打叶复烤灰末率的因子如图 1 所示。

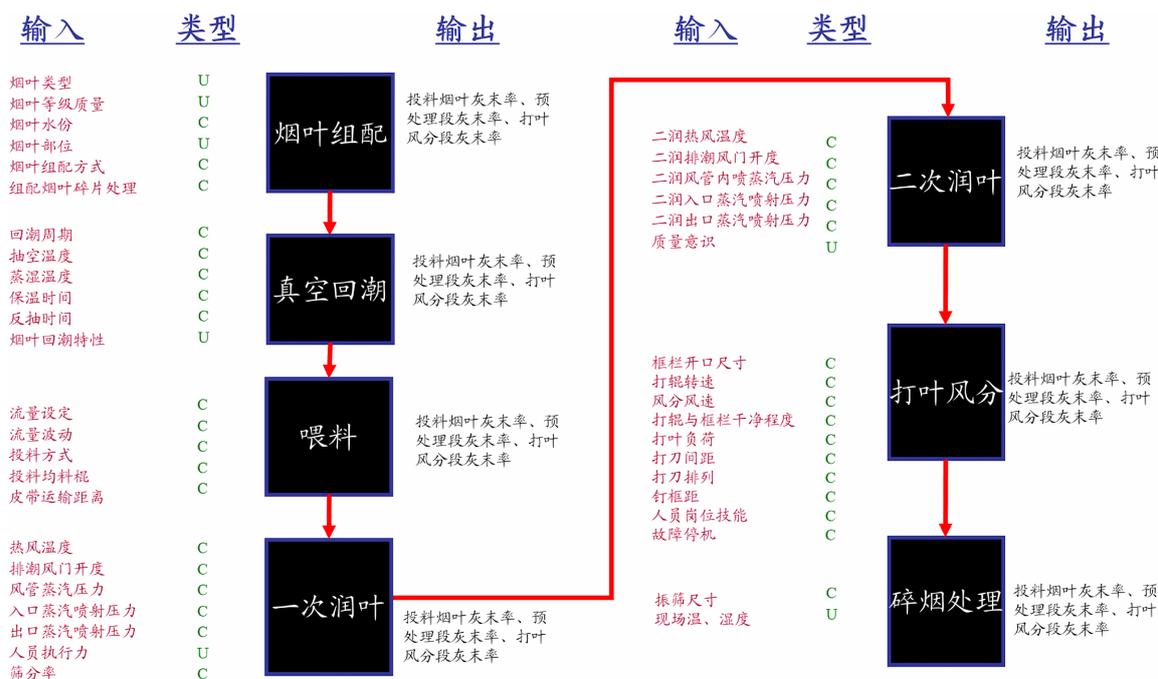


Figure 1. Leaf flushing and re-roasting process flow

图 1. 打叶复烤工艺流程

我们从打叶复烤工艺流程总结出 41 个输入因子, 进而对 41 个输入因子进行降序排列, 从中筛选出了 14 个影响打叶复烤过程灰末率的输入因子, 分别为 X1-组配烟叶碎片处理、X2-烟叶组配方式、X3-风分风速、X4-打辊转速、X5-打辊与框栏干净程度、X6-打刀排列、X7-打刀间距、X8-烟叶水份、X9-投料均料棍、X10-入口蒸汽喷射压力、X11-二润热风温度、X12-烟叶的等级质量、X13-烟叶部位、X14-现场温、湿度下一步将对其再进行 FMEA, 找出最关键的输入因子[3]-[5]。下一步将对其再进行 FMEA, 找出最关键的输入因子。

3. 潜在失效模式及后果分析

对影响打叶复烤过程灰末率的 14 个重要因子进行细化及柏拉图分析, 设置分析表格如表 1 所示。

Table 1. Detailed list of 14 key factors affecting the ash content rate in the leaf drying and re-roasting process

表 1. 影响打叶复烤过程灰末率的 14 个重要因子进行细化表

过程系统 功能要求	潜在失效模式	潜在失效后果	严重度 S	潜在失效起因/ 机理	频度 O	现行控制		探测度 D	R P N
						预防	探测		
组配烟叶碎片处理	碎片进行打叶处理	碎片造碎	8	碎片未进行单独处理	8	碎片不进入打叶工序	检查记录	7	448
烟叶组配方式	多次搬运	灰末增加	8	流程不合理	6	优化、调整	生产记录	8	384
风分风速	风速较低	打叶频率增加	7	参数设置不合理	3	观察、调整	生产记录	8	168
打辊转速	转速较高	灰末增加	8	参数设置不合理	6	降低转速	生产记录	8	384
打辊与框栏干净程度	不干净	摩擦减少	6	清理不及时	5	定期清理	保养记录	4	120
打刀排列	排列不合理	灰末增多	4	设计不合理	3	反馈、调整	维修检查	4	48
打刀间距	间距过小	灰末增多	4	参数设置不合理	3	反馈、调整	维修测量	4	48
烟叶水份	水份偏低	灰末增加	6	回潮处理不到位	3	及时调整	生产记录	7	126
投料均料棍	均分烟叶	造碎增加	2	设置不合理	5	拆除	生产记录	8	80
入口蒸汽喷射压力	压力较小	水份较小	4	参数设置不合理	2	及时调整	水份记录	8	64
二润热风温度	烟叶温度偏低	叶梗分离效果差	4	参数设置不合理	2	及时调整	温度记录	8	64
烟叶等级质量	质量与参数设置不匹配	灰末增加	3	参数不能根据来料等级质量进行及时调整	3	优化、改进	生产记录	4	36
烟叶部位	烟叶部位与参数不匹配	灰末增加	4	参数不能根据来料进行及时调整	3	优化、改进	生产记录	4	48
现场温、湿度	温、湿度偏低或偏高	水份不易控制	3	生产现场呈开放状态	2	调整参数设置	温湿度仪	7	42

通过 FMEA 对上述因子进行细化以及柏拉图分析, 我们找出了其中占 80% 份额的 3 个重要因子, 分别为打辊转速、风分风速和烟叶水分, 我们将采取快速改善措施改善这些因子。

4. 对影响打叶复烤灰末率的关键因素进行分析

在打叶复烤生产过程中, 打叶段主要利用烟叶的物理特性, 即叶梗连接处组织结构强度的差异, 借助打棍的高速转动, 摩擦、撕扯烟叶, 达到叶梗分离的目的, 其中打棍转速是其最重要的参数。其中, 打棍转速越高, 打刀的线速度越高, 对烟叶的作用力越强烈, 对烟叶的破坏作用增强, 可以在一定程度上提高打叶效率, 但会使大片率下降, 造碎迅速增加[6] [7]。但是, 降低打棍转速, 则叶梗分离效果较差, 但大片率较高, 且打叶效率较低, 所以必须选择一个合适的打棍转速。

同样的, 在生产过程中, 风分段将经过叶梗分离处理的叶、梗利用物料比重进行悬浮分离, 正确调整风分风量, 是提高打叶和风分质量, 降低灰末率的重要手段。当风分风量较高时, 导致风分出来的烟叶量增加, 叶中含梗率也增加, 会导致打叶复烤成品的叶中含梗率增加, 不符合打叶复烤成品质量要求。当风分风量较低时, 风分出来的烟叶量较少, 大量的烟叶再次进行打叶处理, 打叶频次增加, 导致烟叶造碎增加[8] [9]。因此, 正确控制风分段的风分风量参数, 对烟叶造碎的控制将有至关重要的作用。

在打叶复烤整个生产过程中, 来料烟叶水份对整个生产过程中的造碎产生, 具有基础的作用。若来料烟叶含水率偏低, 烟叶柔软性差, 会导致烟叶在组配搬运及打叶风分段过程中产生大量造碎。当烟叶含水率偏高时, 烟叶易缠绕在打叶钉或框栏上, 出现堵塞现象, 而且在打叶过程中叶片不易被从烟梗上撕裂下来[10]。即使撕裂下来, 由于含水率较大, 也不易风分出来, 导致烟叶被多次打叶处理, 造成碎末增加。因此, 烟叶含水率过高或过低, 都影响烟叶造碎情况。

(1) 首先对打辊转速和风分风速两个因子进行分析, 设置分析表格如表 2 和表 3 所示。

Table 2. Analysis table of influencing factors of roll rotational speed and air separation speed

表 2. 打辊转速和风分风速影响因子分析表

变量	名称	类型	Low	High
Y	打叶风分段灰末率	计量型		
X1	打辊转速	计量型	450 r/min	550 r/min
X2	风分风量	计量型	85%	95%
分析工具	DOE 试验分析(2 因子 2 水平加 3 个中心点复制 1 次的 DOE 全因子试验分析)			

Table 3. Experimental data table of roll rotational speed and air separation air velocity

表 3. 打辊转速和风分风速实验数据表

标准序	运行序	中心点	区组	打辊转速	风分风速	灰末率
9	1	0	1	500	90	0.024
7	2	1	1	450	95	0.0289
4	3	1	1	550	95	0.0299
1	4	1	1	450	85	0.027

续表

3	5	1	1	450	95	0.0284
6	6	1	1	550	85	0.0336
2	7	1	1	550	85	0.0338
11	8	0	1	500	90	0.0241
10	9	0	1	500	90	0.0242
8	10	1	1	550	95	0.0299
5	11	1	1	450	85	0.027

经过 DOE 实验分析可以得到, 打辊转速和风分风速两个因子影响显著, 分析模型总效果明显, 如图 2 所示。

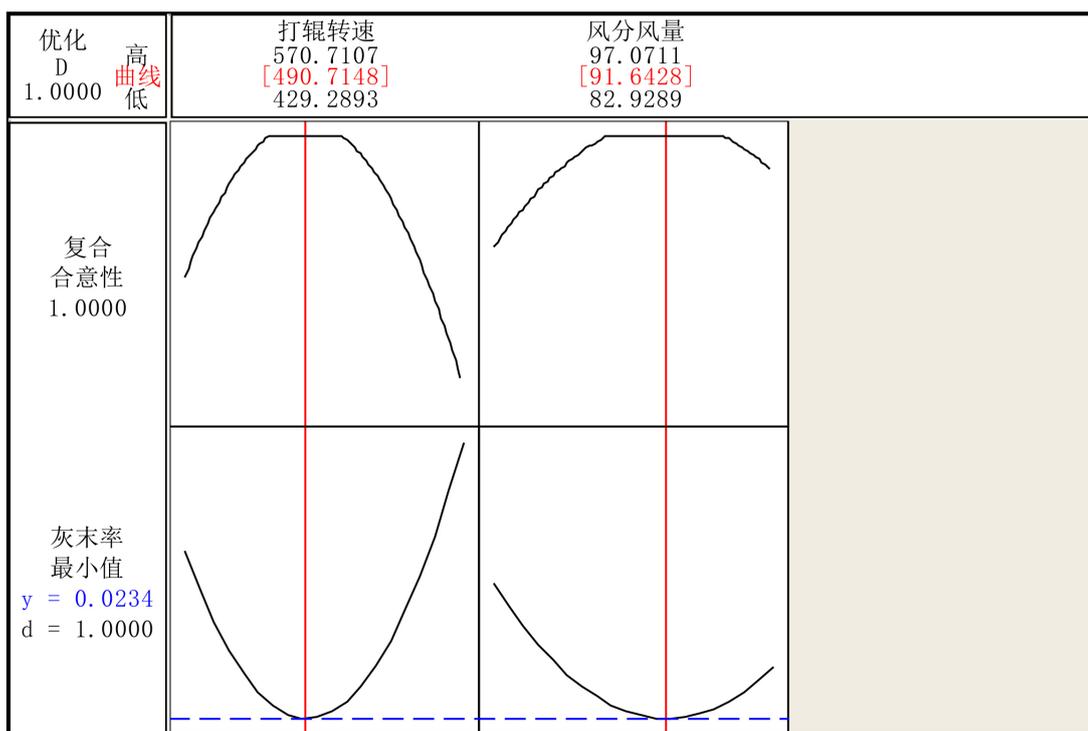


Figure 2. The significance of the influence of the two factors, namely the rotational speed of the drum and the wind separation velocity

图 2. 打辊转速和风分风速两个因子影响显著程度

通过响应曲面设计和工艺参数优化, 我们得到: 打辊转速 490 r/min, 风分风量 91%时, 灰末率达到最小值 2.34%。

如图 3 所示, 通过点预测与区间预测, 我们得到: 打辊转速为 490 ± 10 r/min, 风分风量为 $90 \pm 2.5\%$ 时, 基本满足我们的工艺要求, 可以有效地减少打叶复烤过程灰末率。

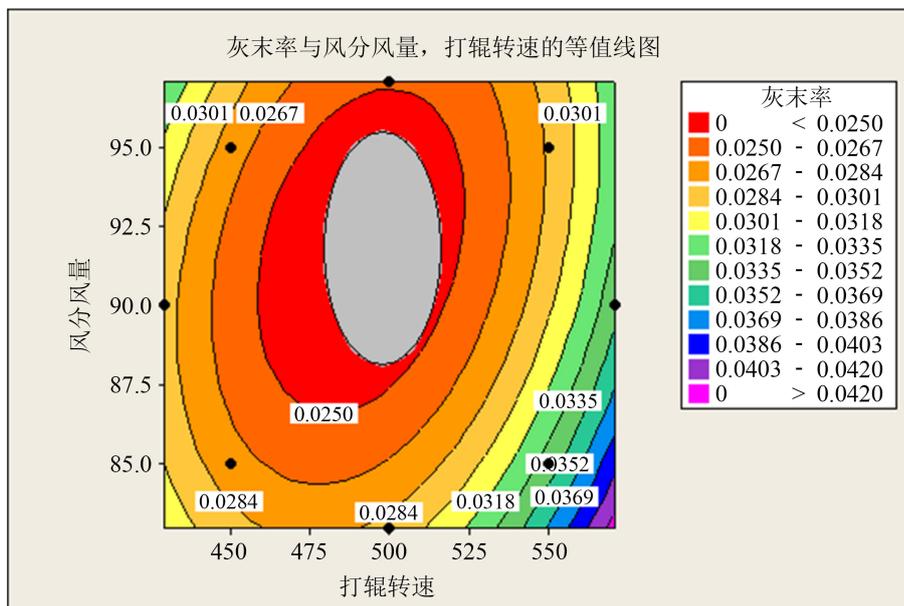


Figure 3. Contour map of the ash content ratio versus the wind separation volume and the rotation speed of the grinding drum

图 3. 灰末率与风分风量、打辊转速的等值线图

(2) 对烟叶水分含量影响因子进行分析

针对 X1 (烟叶水份)因子, 一般要求来料水份要在 16%~18%之间, 若水分过低, 会造成组配过程产生大量造碎, 水份过高, 会大大降低烟叶的使用价值。但是, 由于来料烟叶来自不同的地区, 其水份含量必然呈现出一定的差异, 且经过一定时间的存放, 大部分烟叶水份含量都有所降低。

根据工艺质量科对来料水份连续 5 天, 共计 45 个样品的水份检测, 得到如图 4 所示的烟叶水分含量分布图。

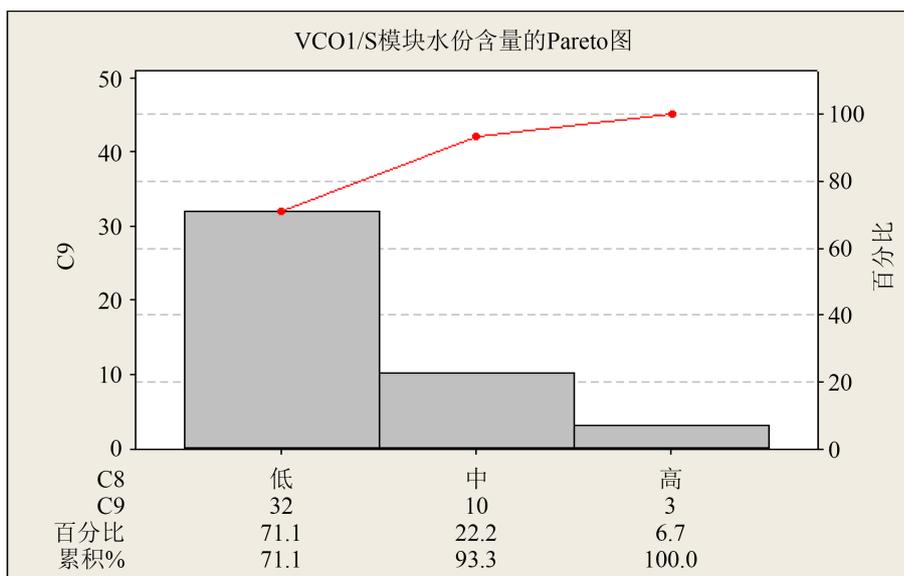


Figure 4. Distribution map of tobacco leaf moisture content

图 4. 烟叶水分含量分布图

水份含量低于 16%~18%的比例达到 71.1%, 对此, 项目组成员结合烟叶组配生产实际及水份含量情况, 决定利用真空回潮工序的前移, 对来料烟叶水份低的情况进行改进[11][12], 改进前后的流程变化如图 5 和图 6 所示。

在烟叶组配过程中, 首先按照配比单中各等级烟叶的重量比例要求, 进行包烟形式的一次配比, 然后进入真空回潮工序, 进行加温加湿, 将烟叶的含水率调整在 16%~18%之间, 减少了二次精细配比中, 烟叶的造碎。



Figure 5. The process of tobacco from blending to re-roasting before improvement

图 5. 改进前烟叶从配比至复烤流程



Figure 6. The process from blending to re-roasting of improved tobacco leaves

图 6. 改进后烟叶从配比至复烤流程

烟叶组配主要分为一次配比、二次配比两个环节, 一次配比主要以包烟形式进行模块等级的初配, 随后在进行二次的精细配比。在现有的二次配比过程中, 生产人员将每包烟打开、拆分, 人工平均拆分为三份, 再将烟叶进行重新堆码, 在此期间造成大量的造碎。对此, 小组成员结合生产实际情况, 利用原有铺把台设备, 调整二次配比方式, 采用人工铺把、运输带传送投料的形式直接投料, 减少由于烟叶拆分、堆码造成的造碎。

5. 实验验证

经过对打辊速度、风分速度和烟叶水分等关键因子的分析优化后, 对打叶复烤的灰末率数据进行跟踪, 玉溪卷烟厂复烤一车间对 2025 年 4 月~6 月份改进前 3 个月以及 2025 年 10 月~2025 年 12 月份改进后的数据进行统计, 得到如表 4 所示的数据。

Table 4. Statistical table of generated ash rate before and after improvement

表 4. 改进前后灰末率的产生数据统计表

	改进前			改进后		
	4 月	5 月	6 月	10 月	11 月	12 月
灰末率	2.64%	2.62%	2.63%	2.44%	2.42%	2.40%
平均		2.63%			2.42%	

通过对改进前后灰末率产生数据的对比分析, 发现改进后打叶复烤灰末率由 2.63%降低为 2.42%, 按照上一年 1382.94 吨灰末计算, 优化后的打叶复烤灰末率降低了 110.42 吨, 产生直接经济效益 165.64 万元。

参考文献

[1] 红塔烟草(集团)有限责任公司. 再造烟叶切丝后碎末率灰末率及纤维毛团率的检测方法[P]. 中国专利,

CN201710493121.8. 2019-01-01.

- [2] 张文军, 金权蓉, 刘静, 等. 改善造纸法再造烟叶制丝工艺过程中造碎率的研究[J]. 纸和造纸, 2022, 41(4): 28-32.
- [3] 吕英敏. 再造烟叶生产线自动控制设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江工业大学, 2018.
- [4] 王满. 烤烟打叶复烤片烟结构稳定性评价[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 河南农业大学, 2011.
- [5] 田冀超. 烟草复烤企业铺叶摆把工段除尘特性研究[D]: [硕士学位论文]. 黑龙江: 哈尔滨理工大学, 2023.
- [6] 张宇, 龙海波. 烟叶复烤机自动控制系统设计[J]. 今日自动化, 2025(11): 25-27.
- [7] 孙勇乾, 汤守国. 基于改进 DBO-BP 神经网络的烟叶复烤出口含水率和温度的预测[J]. 计算机科学, 2025, 52(z1): 309-315.
- [8] 徐帅华, 党霞, 楚晗, 等. 基于感官质量稳定性的河南浓香型烟叶复烤干燥参数控制技术的研究[J]. 中国农学通报, 2025, 41(34): 121-128.
- [9] 朱毓航, 李俊, 李继斌, 等. 遗传算法改进的 BP 神经网络在烟叶复烤参数优化的研究[J]. 价值工程, 2025, 44(14): 50-54.
- [10] 李义鑫, 杨波, 李江, 等. 上部烟叶打叶复烤不同风分单元片烟质量差异[J]. 贵州农业科学, 2025, 53(10): 100-106.
- [11] 咸阳烟叶复烤有限责任公司. 烟叶复烤设备参数的设置值推荐方法、装置、设备及介质[P]. 中国专利, CN202411542627. X. 2025-10-17.
- [12] 张森, 李泓贤, 邹枚易, 等. 提升透风率对打叶复烤风分效率的影响[J]. 农业装备技术, 2025, 51(3): 10-13.