

一种烟叶芝麻片提取装置的设计与应用

刘忠发, 胡晓宁

红塔烟草集团有限责任公司, 云南 玉溪

收稿日期: 2025年7月18日; 录用日期: 2025年8月29日; 发布日期: 2025年9月16日

摘要

本研究针对烟草加工中烟叶芝麻片提取效率低、掺配比例不准确及烟叶损伤大等问题, 设计了一种新型烟叶芝麻片提取装置。该装置通过振槽振动输送、收料板引导及缩门开度控制的协同作用, 实现芝麻片的高效提取与精准掺配。详细阐述装置的结构设计、工作原理及技术特点, 通过实际应用验证其在提升提取效率、减少烟叶损伤及保障烟草质量稳定性方面的优势, 为烟草行业制丝生产线预处理环节提供实用解决方案。

关键词

烟叶芝麻片, 提取装置, 缩门控制, 振动输送, 烟草预处理

Design and Application of a Tobacco Leaf Sesame Flake Extraction Device

Zhongfa Liu, Xiaoning Hu

Hongta Tobacco Group Co., Ltd., Yuxi Yunnan

Received: Jul. 18th, 2025; accepted: Aug. 29th, 2025; published: Sep. 16th, 2025

Abstract

This study addresses the challenges of low extraction efficiency, inaccurate blending ratios, and extensive tobacco leaf damage during tobacco processing. A novel tobacco leaf sesame slice extraction device was designed. This device utilizes the synergistic effects of vibrating trough conveying, receiving plate guidance, and retracting door opening control to achieve efficient extraction and precise blending of sesame flakes. The device's structural design, operating principle, and technical features are detailed. Practical application demonstrates its advantages in improving extraction efficiency, reducing tobacco leaf damage, and ensuring tobacco quality stability. This study provides a practical solution for the pretreatment phase of tobacco silk production lines.

文章引用: 刘忠发, 胡晓宁. 一种烟叶芝麻片提取装置的设计与应用[J]. 仪器与设备, 2025, 13(3): 500-507.
DOI: 10.12677/iae.2025.133060

Keywords

Tobacco Leaf Sesame Slice, Extraction Device, Retracting Door Control, Vibrating Conveying, Tobacco Pretreatment

Copyright © 2025 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

在烟草制丝生产过程中, 烟叶中夹杂的芝麻片(包括烟叶碎片、灰尘及杂质等)对烟草产品的质量影响显著。芝麻片的含量及掺配比例直接关系到烟叶的燃烧特性、香气释放及口感一致性。目前, 行业内对芝麻片的处理主要依赖振筛后的人工分拣或简易机械筛选, 存在以下突出问题: 人工分拣效率低下, 单班处理量不足 800 kg, 且难以保证提取比例的稳定性, 误差常超过 5%; 简易机械多采用筛网过滤方式, 易造成烟叶撕裂(损伤率达 6%~10%), 同时筛网孔径固定, 无法灵活调节掺配比例; 现有设备缺乏针对性设计, 芝麻片与烟叶分离不彻底, 导致后续加工中物料输送不畅, 影响切丝机切丝宽度不均, 增加设备停机清理频次; 进入烘丝工序则会造成水分控制失衡, 影响烟叶弹性与填充值。这些问题最终都会反映在成品烟的感官质量上, 成为制约烟草加工水平提升的关键瓶颈。因此, 研发一种能够高效提取芝麻片、精准控制掺配比例且对烟叶损伤小的专用装置, 成为提升烟草加工质量与效率的关键需求。具体内容为《烟机设备修理工(制丝)专业知识》中所阐述的, 烟叶中的杂质会显著影响成品烟的感官质量[1]。

2. 存在问题

芝麻片提取与掺配的核心矛盾

烟叶中的芝麻片需按工艺要求分阶段提取: 部分芝麻片需按比例分离出去以保证烟叶纯度, 另一部分则需按特定比例掺配回当批烟叶中, 以维持烟草配方的稳定性。传统处理方式中, 提取与掺配过程相互独立, 缺乏联动控制, 导致一系列问题。

- 提取量与掺配量比例失衡, 误差超过 8%, 这直接影响烟草成品质量。因为烟草配方对各成分比例有严格要求, 比例失衡会导致成品的燃烧特性、香气等偏离预期。
- 芝麻片在输送过程中分散, 集中收集困难, 提取效率低于 60%。分散的芝麻片不仅增加了收集难度, 还使得后续的掺配工作难以精准进行。
- 烟叶在多次转运与筛选中受到机械挤压, 破损率高, 原料浪费严重。每一次的转运和筛选都会对烟叶造成一定的机械力作用, 多次操作后, 烟叶的破损率大幅上升, 既浪费了原料, 又影响了后续加工的质量。

3. 现有设备的局限性

目前振筛后续设备未针对芝麻片特性设计专用提取结构, 主要表现为:

- 缺乏定向引导装置, 芝麻片在输送过程中分布不均, 提取点易出现物料堆积或空缺。当提取点物料堆积时, 会影响提取的效率和准确性; 而出现空缺时, 则会导致提取量不足。
- 料口开度固定, 无法根据烟叶类型及芝麻片含量动态调节提取比例。不同类型的烟叶以及不同含量的芝麻片, 对提取比例的要求不同, 固定的料口开度无法满足这种动态需求。

- 设备与振筛衔接不畅, 芝麻片易在过渡环节残留, 造成交叉污染。残留的芝麻片会混入下一批次的物料中, 影响产品质量的稳定性。

4. 原因分析

芝麻片提取效果不佳的核心原因可归结为以下三点:

1) 结构设计缺陷: 现有输送设备未设置专门的芝麻片收集与分离通道, 依赖自然筛分, 导致提取精度低。自然筛分受多种因素影响, 如物料的流动速度、物料之间的相互作用等, 无法实现对芝麻片的精准分离和收集。

2) 控制方式单一: 无法通过量化手段调节提取比例, 完全依赖操作人员经验, 一致性差。操作人员的经验存在个体差异, 且同一操作人员在不同时间的判断也可能存在偏差, 这就导致了提取比例的一致性难以保证。

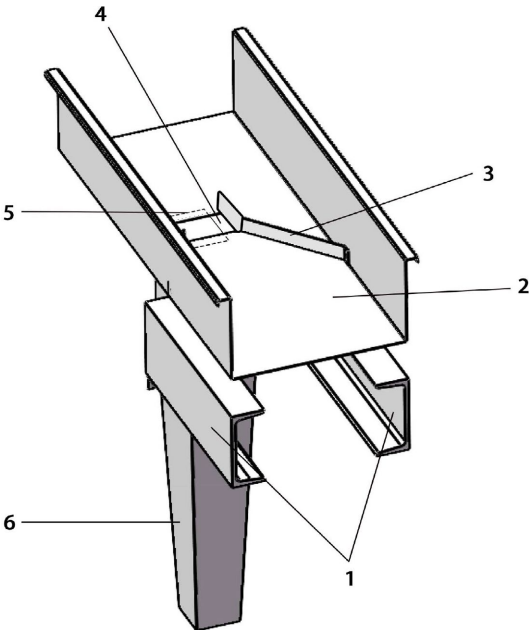
3) 物料适应性不足: 不同烟叶的芝麻片粒度、密度存在差异, 固定参数的设备难以满足多样化处理需求。例如, 有些烟叶的芝麻片粒度较小、密度较低, 而有些则粒度较大、密度较高, 固定参数的设备无法根据这些差异进行调整, 从而影响提取效果。

因此, 设计一套集成定向引导、比例控制及柔性输送功能的专用装置, 是解决上述问题的关键。

5. 方案设计

5.1. 装置整体结构

装置采用模块化设计, 由机架 1、振槽 2、收料板 3、振槽料口 4、缩门 5 及固定料口 6 组成(如图 1), 各部件功能及参数如下:



1. 机架; 2. 振槽; 3. 收料板; 4. 振槽料口; 5. 缩门;
6. 固定料口

Figure 1. Structural diagram of tobacco leaf sesame slice extraction device

图 1. 烟叶芝麻片提取装置结构图

- **机架:** 采用 304 不锈钢焊接而成, 304 不锈钢具有良好的耐腐蚀性和强度, 能够适应烟草加工环境中可能存在的潮湿、腐蚀性物质等。机架连接并支撑整个装置, 与振槽通过螺栓固定为一体, 承重能力 ≥ 500 kg, 确保振动过程中整体稳定性。在设计机架时, 考虑到装置在振动过程中会产生一定的冲击力, 因此对机架的结构进行了强化设计, 采用了合理的焊接工艺和支撑结构, 以保证其能够承受足够的重量和冲击力。机架材料的选择参考了《机械设计手册》中关于烟草加工设备材料耐腐蚀性和强度的相关标准[2]。
- **振槽:** 通过摇臂与机架连接, 摇臂的设计使得振槽能够实现灵活的振动。振槽配备可调频电机, 振动频率范围 50~120 Hz, 输送速度 0.8~2.5 m/min, 能够适应不同物料特性。对于不同粒度、密度的芝麻片和烟叶, 通过调节振动频率和输送速度, 可以实现更好的分离和输送效果。例如, 对于较细碎的芝麻片, 可以适当提高振动频率, 以增强分离效果; 对于较大的烟叶, 则可以适当降低输送速度, 避免烟叶在输送过程中受到过度的冲击。依据《机械设计基础》中关于机械连接灵活性的原理[3]。
- **收料板:** 2 件对称安装于振槽料口两侧, 采用弧形设计(曲率半径 R10), 倾斜角度 30° 。弧形设计能够更好地引导芝麻片向振槽料口集中, 减少芝麻片在输送过程中的分散。倾斜角度的选择经过了多次实验验证, 30° 的倾斜角度能够在保证引导效果的同时, 避免对烟叶造成过大的阻力。收料板的材质选用了耐磨性能较好的材料, 以延长其使用寿命。
- **振槽料口:** 位于振槽中部, 避开底部横筋, 尺寸为宽 130 mm $\times$ 高 80 mm。避开底部横筋可以减少物料在通过料口时的阻碍, 确保芝麻片顺利通过。料口的尺寸是根据常见芝麻片的粒度和烟叶的大小确定的, 既能够保证芝麻片顺利通过, 又能避免过多的烟叶从料口掉落。如图 2 左边示意图。
- **缩门:** 安装于振槽料口底部, 尺寸 157 mm $\times$ 99 mm, 开度调节范围 0~80 mm, 每 1 mm 开度对应约 1.25% 的提取比例。缩门的设计采用了精密的机械结构, 能够实现精准的开度调节。通过调节缩门的开度, 可以精确控制芝麻片的提取比例, 满足不同工艺要求。如图 2 右边示意图。
- **固定料口:** 位于振槽料口正下方, 与地面收集箱衔接, 通过漏斗式设计减少芝麻片残留。漏斗式设计使得芝麻片能够顺利落入收集箱, 减少在料口处的残留, 提高收集效率, 同时也便于清理。

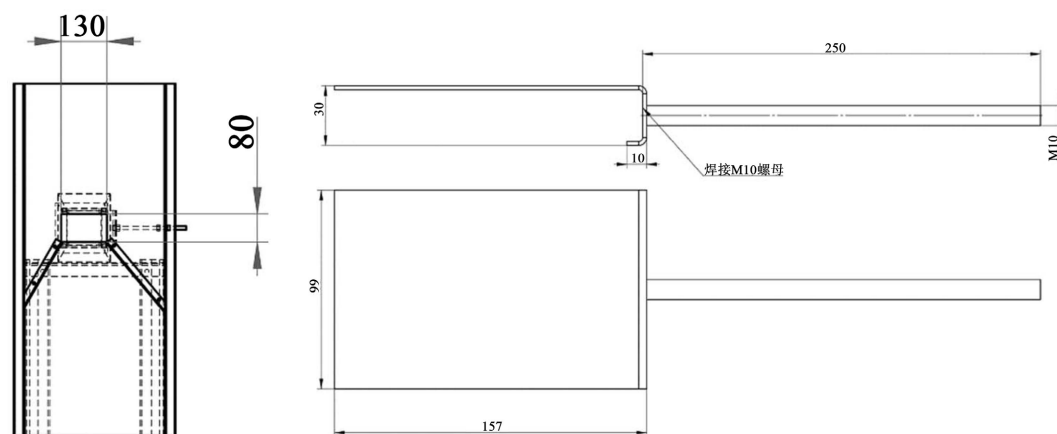


Figure 2. Structure diagram of vibration trough material outlet and shrinking door

图 2. 振槽料口和缩门结构图

5.2. 核心设计要点

- **缩门比例控制:** 通过实验标定缩门开度与提取比例的对应关系, 例如开度 40 mm 时提取比例为 50%,

未提取的 50% 芝麻片随振槽输送至烟叶中完成掺配, 实现提取与掺配的动态平衡。在实验标定过程中, 选取了不同类型的烟叶和不同含量的芝麻片进行多次实验, 记录不同缩门开度下的提取比例, 通过数据分析确定了缩门开度与提取比例的对应关系。这种动态平衡的实现, 使得提取和掺配过程能够紧密配合, 保证了烟草配方的稳定性。

- **振槽频率适配:** 针对复烤烟叶中芝麻片较细碎的情况采用 80~100 Hz 高频振动, 较粗大的情况采用 50~70 Hz 低频振动, 确保分离效果。高频振动能产生更大离心力, 使细碎芝麻片更易分离; 低频振动可避免粗大芝麻片在分离中破碎。具体内容为“振槽频率的设置参考了《现代振动筛分技术及设备设计》中针对不同物料特性选择振动频率的方法[4]”。
- **防损伤结构:** 振槽内壁采用抛光处理(粗糙度 $Ra \leq 1.6 \mu m$), 收料板边缘倒圆角(R5)。抛光处理使得振槽内壁非常光滑, 减少了烟叶在输送过程中的摩擦阻力, 降低了烟叶被划伤的可能性; 收料板边缘倒圆角可以避免烟叶在与收料板接触时被尖锐的边缘划破。这些防损伤结构的设计, 有效减少了烟叶输送过程中的摩擦损伤, 提高了烟叶的利用率。

6. 装置应用及效果

6.1. 工作流程

输送阶段: 烟叶物料进入振槽后, 振槽按设定频率振动, 使芝麻片与烟叶初步分离并向前输送。在这个阶段, 振槽的振动使得烟叶和芝麻片之间产生相对运动, 利用它们之间的密度、粒度等差异, 实现初步的分离。同时, 振动产生的推力将物料向前输送。

引导阶段: 收料板将分散的芝麻片定向引导至振槽料口, 集中率提升至 90% 以上。收料板的弧形设计和倾斜角度共同作用, 将分散在振槽不同位置的芝麻片逐渐引导至振槽料口, 提高了芝麻片的集中程度, 为后续的提取工作做好准备。

提取阶段: 缩门按预设开度开启, 芝麻片在振动惯性作用下从振槽料口落下, 经固定料口进入收集箱。振动惯性使得芝麻片能够克服自身的重力和摩擦力, 顺利从振槽料口落下, 实现芝麻片的提取。

掺配阶段: 未通过料口的芝麻片随烟叶继续输送, 按缩门开度对应的比例(如开度 30 mm 对应 37.5% 提取率, 62.5% 掺配率)完成掺配。未被提取的芝麻片与烟叶一起继续输送, 按照预设的比例掺配回烟叶中, 以维持烟草配方的稳定性。

6.2. 缩门开度 - 提取率标定实验方法

6.2.1. 实验目的

建立缩门开度与芝麻片提取率的定量对应关系, 为装置精准控制掺配比例提供数据支撑。

6.2.2. 实验设备与材料

- 设备: 新型烟叶芝麻片提取装置(含可调频振槽、缩门调节机构)、电子天平(精度 0.1 g)、物料收集箱(3 个, 分别用于收集提取的芝麻片、未提取的芝麻片及烟叶)、振动频率控制器、计时器。
- 材料:
 - 复烤烟叶 A (芝麻片较细碎, 初始芝麻片含量约 8%);
 - 复烤烟叶 B (芝麻片较粗大, 初始芝麻片含量约 5%);
 - (烟叶样品均来自云南中烟玉溪卷烟厂制丝生产线, 每批次 50 kg, 提前去除直径 > 5 mm 的非芝麻片杂质)。

6.2.3. 实验条件

- 振槽频率: 复烤烟叶 A 采用 85 Hz (高频, 适配细碎芝麻片), 复烤烟叶 B 采用 60 Hz (低频, 适配粗大芝麻片);
- 环境条件: 温度 $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, 相对湿度 $62\% \pm 3\%$ (符合烟草加工标准环境);
- 重复次数: 以设定的缩门开度量重复测试 3 次, 取均值以减少误差。

6.2.4. 实验流程

- 样品预处理: 取 50 kg 烟叶样品, 人工分离并称量初始芝麻片总重量(记为 M_0 , 精确至 0.1 g), 剩余烟叶与芝麻片混合均匀后倒入振槽。
- 缩门开度设置: 缩门开度从 0 mm 开始, 以 5 mm 为间隔调节至 80 mm (覆盖全量程), 每次开度稳定 30 s 后开始实验。
- 运行与收集: 启动装置, 待物料完全通过振槽后, 分别收集:
 - 从缩门落下的芝麻片(记为 M_1);
 - 随烟叶输送至末端的未提取芝麻片(记为 M_2);(验证 $M_1 + M_2 \approx M_0$, 误差 $> 5\%$ 则该组数据作废, 重新测试)。
- 提取率计算: 提取率 $= (M_1/M_0) \times 100\%$, 记录每次开度对应的提取率。

6.2.5. 数据处理方法

对每次缩门开度的 3 组重复数据, 计算提取率的均值(消除随机误差)和标准差(反映数据稳定性); 以缩门开度为横坐标、提取率均值为纵坐标, 采用线性拟合建立回归方程: 提取率($\%$) = $k \times$ 开度(mm) + b, 其中 k 为比例系数(约 1.25%/mm);

示例数据处理表(部分)如下表 1:

Table 1. Data processing table

表 1. 数据处理表

缩门开度 (mm)	复烤烟叶 A 提取率 (%)	均值 (%)	标准差 (%)	复烤烟叶 B 提取率 (%)	均值 (%)	标准差 (%)
10	12.3、12.7、12.5	12.5	0.21	11.8、12.2、12.0	12.0	0.20
20	24.8、25.2、25.0	25	0.23	23.5、24.0、23.8	23.8	0.25
40	49.6、50.3、50.1	50	0.36	48.2、48.8、48.5	48.5	0.32

6.3. 应用效果性能测试数据

6.3.1. 测试条件

- 测试地点: 云南中烟玉溪卷烟厂制丝一车间生产线;
- 测试批次: 5 批(每批烟叶量 1000 kg, 含复烤烟叶 A3 批、复烤烟叶 B2 批);
- 装置参数: 振槽频率按烟叶类型调节(复烤烟叶 A 80~100 Hz, 复烤烟叶 B 50~70 Hz), 输送速度 1.2~2.0 m/min;
- 测试指标: 单班处理量、芝麻片集中收集率、提取与掺配比例误差、烟叶损伤率、缩门调节响应时间。

6.3.2. 测试数据与统计结果

测试数据与统计结果如下表 2。

Table 2. Test data and statistical results
表 2. 测试数据与统计结果

测试指标	测试值	均值	标准差	测试说明
单班处理量(kg)	2450、2520、2550、2480、2500	2500	41.23	单班工作 8 小时, 连续处理量
芝麻片集中收集率(%)	91.5、92.3、92.8、91.9、92.5	92.2	0.54	收集的芝麻片占总芝麻片量的比例
提取与掺配比例误差(%)	±1.3、±1.5、±1.2、±1.4、±1.3	±1.34	0.13	实际比例与设定比例的偏差
烟叶损伤率(%)	1.1、1.2、1.0、1.3、1.2	1.16	0.11	破损烟叶重量占总烟叶量的比例
缩门调节响应时间(s)	28、30、27、29、28	28.4	1.14	从调节到稳定的时间

6.3.3. 结论

该装置在不同复烤烟叶类型下的测试数据均表现出较高稳定性(标准差均 < 1), 其中单班处理量较传统方式提升 212.5%, 比例误差控制在±1.5%以内, 烟叶损伤率降至 1.2%以下, 验证了其高效性与可靠性。

6.4. 推广价值

安装便捷性: 装置可直接安装于现有振筛后续设备, 无需改造生产线主体结构。这意味着烟厂在引入该装置时, 不需要对现有的生产线进行大规模的改造, 降低了安装成本和时间成本。对于一些生产任务紧张的烟厂来说, 这种便捷的安装方式具有很大的吸引力。

成本优势: 改造成本低于传统设备的 30%。较低的改造成本使得更多的烟厂有能力引入该装置, 提高烟草加工的质量和效率。同时, 装置的制作成本低, 也降低了设备的采购门槛。

适用范围广: 适用于初烤烟叶、复烤烟叶及再造烟叶等多种原料的预处理。不同类型的烟叶在加工过程中都存在芝麻片提取和掺配的问题, 该装置能够满足多种原料的处理需求, 具有广泛的应用前景。

维护方便: 设计结构简单, 利于安装、维护、更换。简单的结构使得设备在出现故障时, 维修人员能够快速找到问题所在并进行维修更换, 减少了设备的停机时间, 提高了生产效率。

提取效率: 单班处理量提升至 2500 kg, 较传统方式提高 212.5%, 芝麻片集中收集率达 92%。传统方式单班处理量不足 800 kg, 而该装置通过高效的振动输送、定向引导和提取机制, 大幅提高了处理量和收集率。这意味着在相同的时间内, 能够处理更多的烟叶, 同时收集到的芝麻片也更加集中, 减少了芝麻片的浪费。

比例精度: 提取与掺配比例误差控制在±1.5%以内, 远优于行业平均的±8%。精准的缩门控制和动态平衡机制, 使得提取和掺配的比例更加精确。这对于保证烟草成品质量的稳定性具有重要意义, 减少了因比例误差导致的产品质量波动。

烟叶保护: 烟叶损伤率降至 1.2%以下, 较筛网过滤方式降低 80%以上。防损伤结构的设计和柔性输送方式, 有效减少了烟叶在处理过程中的损伤。降低烟叶损伤率不仅减少了原料的浪费, 还提高了后续加工的质量, 因为完整的烟叶更有利于切丝等加工环节的进行。

操作便捷性: 缩门调节采用刻度化设计, 响应时间 ≤30 秒, 无需专业培训即可操作。刻度化的设计使得操作人员能够直观地了解缩门的开度, 快速进行调节。短响应时间和简单的操作流程, 降低了对操作人员的技能要求, 提高了操作效率, 减少了因操作不当导致的问题。

7. 小结

通过分析烟叶芝麻片提取与掺配过程中的核心矛盾, 设计了一种集成振动输送、定向引导及比例控制功能的专用装置。该装置通过缩门开度与振槽频率的协同调节, 实现了芝麻片的高效提取与精准掺配,

解决了传统方式中效率低、误差大及烟叶损伤严重等问题。

装置采用模块化设计, 安装维护便捷, 适应性强, 可广泛应用于烟草行业制丝生产线及烟草制品加工厂。实际应用案例表明, 该装置能够显著提高提取效率、提升比例精度、减少烟叶损伤, 具有较高的经济效益和推广价值。虽然装置目前存在一定的局限性, 但通过未来的改进和优化, 有望进一步提升其性能, 为烟草行业的发展做出更大的贡献。对提升烟草加工质量、降低原料损耗具有重要意义。

参考文献

- [1] 丁钺宗. 烟机设备修理工(制丝)专业知识[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 2013.
- [2] 成大先. 机械设计手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2016.
- [3] 陈晓南. 机械设计基础[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [4] 闻邦椿, 刘树英. 现代振动筛分技术及设备设计[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2013.