Mechanical Engineering and Technology 机械工程与技术, 2025, 14(5), 612-622
Published Online October 2025 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/met
https://doi.org/10.12677/met.2025.145063

Hans汉斯

细支卷烟跑条高效回收装置的研制

普　宁[1,2]

[1]红塔集团玉溪卷烟厂，云南　玉溪
[2]云南大学工商管理与旅游管理学院，云南　昆明

收稿日期：2025年9月27日；录用日期：2025年10月20日；发布日期：2025年10月27日

摘　要

针对细支卷烟生产过程中跑条处理效率低、劳动强度大、烟丝损耗高等问题，研制一种自动化跑条回收装置。该装置通过双轮直驱输送单元、固定式钨钢刀片切割单元和感应式智能控制单元的集成创新，实现了跑条处理速度从6.6 m/min到21.8 m/min的提升，切割失效率 ≤1%，刀片寿命 ≥300 min。应用表明，单台设备年节约烟丝成本达216万元，获国家专利并形成企业标准。本文系统阐述装置设计原理、关键技术突破及产业化价值，为烟草行业降本增效提供技术范例。

关键词

细支卷烟，跑条回收，自动切割，降本增效

Development of an Efficient Recovery Device for Stray Slender Cigarette Strands

Ning Pu[1,2]

[1]Yuxi Cigarette Factory, Hongta Group, Yuxi Yunnan
[2]School of Business Administration and Tourism Management, Yunnan University, Kunming Yunnan

Received: September 27, 2025; accepted: October 20, 2025; published: October 27, 2025

Abstract

To address the issues of low handling efficiency, high labor intensity, and significant tobacco loss during the production of slender cigarettes, an automated runaway tobacco recovery device was developed. Through integrated innovations—including a dual-wheel direct-drive conveying unit, a fixed tungsten steel blade cutting unit, and an inductive intelligent control unit—the device increased the processing speed of runaway tobacco from 6.6 m/min to 20 m/min, achieving a cutting failure rate of ≤1% and a blade service life of ≥300 minutes. Application results demonstrate that a single device can

文章引用: 普宁. 细支卷烟跑条高效回收装置的研制[J]. 机械工程与技术, 2025, 14(5): 612-622.
DOI: 10.12677/met.2025.145063

save up to RMB 2,160,000 in tobacco material costs annually. The invention has been granted a national patent and established as an enterprise standard. This paper systematically elaborates on the design principles, key technological breakthroughs, and industrial value of the device, providing a technical reference for reducing costs and improving efficiency in the tobacco industry.

Keywords

Slender Cigarettes, Runaway Tobacco Recovery, Automatic Cutting, Cost Reduction and Efficiency Improvement

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

Y 卷烟厂积极响应国家烟草总局“高质量发展”理念[1]，聚焦“提质增效、控本降耗”的核心任务，针对 2018 年引进的 GD121A 型细支高速卷烟机[2]生产过程中暴露的跑条处理难题展开技术攻关。该机型每分钟产能达 10,000 支，但因故障率较高，单班次产生的跑条量平均达 2347.8 米。

传统处理方式依赖人工使用划烟刀切割跑条以分离烟丝与卷烟纸，然而细支烟仅 5.4 毫米的圆周直径导致操作时频繁出现“划不开、划断”现象，处理效率低至 6.6 米/分钟，工人劳动强度极大。更严峻的是，88.9%的操作工因无法及时处理被迫将跑条掰断作残次烟回收，造成显著的烟丝损耗。目前烟草行业内外相关装置的研究相对不足，暂时没有一款较好的解决跑条回收的设备，面对这一双重困境——效率瓶颈与资源浪费，Y 卷烟厂决定成立研究小组研制一种细支卷烟跑条处理装置。

2. 查新与借鉴

通过文献检索，发现使用刀片对跑条进行切割；废品烟支经过废品烟支剥离导管时，直接通过伸入废品烟支剥离导管内部且通过驱动电机带动的高速旋转的圆形切割刀片进行切割剥离，实现废品烟支的自动剥离。

论文《残次细支烟自动分离输送剥离机的研制》使用电机驱动传送轮；人工将残烟支放入烟支料斗内，然后由转动的嵌烟支辊逐个分离后通过输送装置送入烟支剥离机，烟支在剥离机内通过高速旋转的切纸圆刀片被剥离成烟丝落入回收箱内，实现了残烟支的自动分离和剥离[3]。论文《切割间隙随动式剥离机》两夹持轮间隙可调，可适应多种粗细不均匀的跑条[4]。

文献总结：通过广泛的查阅与分析，《残次细支烟自动分离输送剥离机的研制》中设备结构简单，制造成本低，可借鉴圆形切割刀片切割；《切割间隙随动式剥离机》的设计实现了烟支自动分离和自动剥离，一人可以独立完成，安全可靠。借鉴其驱动方式使用电机驱动传送轮；论文《切割间隙随动式剥离机》设备设计简单，可借鉴两夹持轮结构。

研究思路：小组成员对当前跑条的处理方案进行剖析，现有的划烟刀是使用钩子将卷烟纸撕破以达到分离烟丝地目的，该结构使跑条受力大，细支跑条容易出现断裂的情况。因此切割方式可使用薄刀片进行切割，以减少切割过程中的断裂情况；而且人工使用划烟刀时，存在用力不均匀导致跑条断裂的问题，极大的影响跑条的处理效率。经过研究，确定以使用刀片进行切割，从撕裂卷烟纸变为切开卷烟纸；改进跑条驱动方式，使跑条在切割过程中受力均匀。

小组提炼核心创新方向：以刀片切割替代传统撕裂，减少跑条受力；采用电机驱动输送轮替代人工牵引，确保力度均匀；引入夹持轮结构增强驱动力适应性。模拟实验验证了可行性：使用刀片式划烟刀并施加 7.8 N 恒定拉力时，效率跃升至 18.59 米/分钟，断裂次数趋近于零，证明技术路线具备实现 20 米/分钟目标的潜力(图 1)。

Figure 1. Blade-type cigarette cutting experiment
图 1. 刀片式划烟刀切割实验

3. 研究课题

由于细支烟跑条较多，且与标准支烟支相比直径较小，若使用划烟刀进行处理，操作过程中极易断裂，效率低下，劳动强度大；若将其作为残次烟进行处理，则存在一定的烟丝损耗。亟需一种装置针对细支卷烟跑条进行高效处理。确定研究课题为：《细支卷烟跑条回收装置的研制》。

4. 研究内容

根据研究内容，提出设计构想，对跑条处理流程进行分析，确定装置的功能结构：

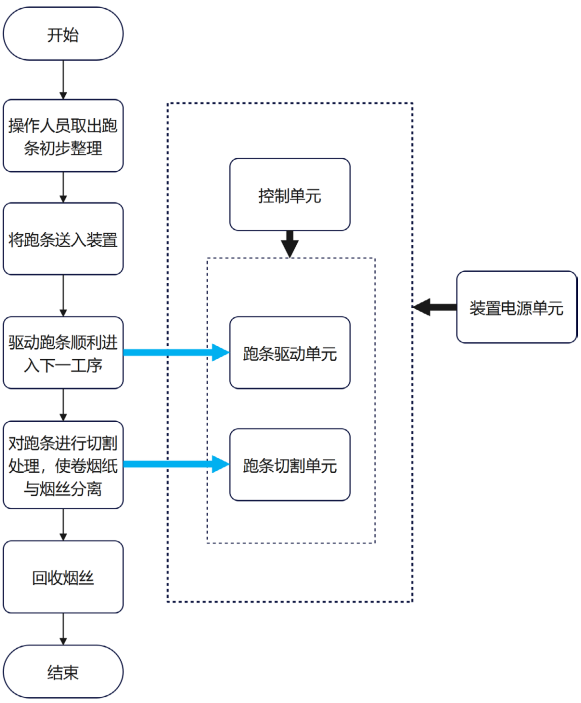


Figure 2. Device functional structure diagram
图 2. 装置功能结构图

根据方案确定流程图(图 2)，小组对整体方案进行逐级分解设计。

4.1. 跑条进料口方案

跑条进料口方案选择表如下表 1。

Table 1. Strip feeding port selection table
表 1. 跑条进料口方案选择表

跑条进料口方案选择表

选择依据

1. 功能性：跑条通过率 ≥99%
2. 效率：20 根 1 m 长跑条人工操作通过时间 ≤60 s
3. 有效性：通过后轴线重合率 ≥99%

备选方案

管状

锥状

喇叭状

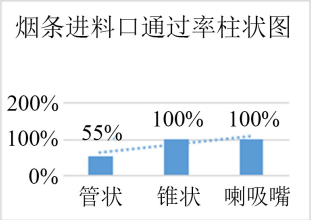
功能性实验

实验目的：确定跑条通过跑条进料口的通过率

实验过程：选取 20 根长 500 mm 的跑条分别通过管状、锥状和喇叭状的进料口，分别记录顺利通过或阻的次数。

实验数据

	管状	锥状	喇叭状
通过次数	11	20	20
阻塞次数	9	0	0
通过率	55%	100%	100%



实验结果

跑条通过率 <99% (不满足)　　跑条通过率 ≥99% (满足)　　跑条通过率 ≥99% (满足)

效率实验

实验目的：确定跑条通过跑条进料口所需时间

实验过程：选取 20 根长 1 m 的跑条分别以手工方式通过管状、锥状和喇叭状的进料口，各实验 10 次，分别记录通过总时间。

实验数据

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均时间(s)
管状	62	59	65	58	62	67	61	64	63	61	62.2
锥状	44	49	47	42	46	50	48	41	47	45	45.9
喇叭状	42	45	46	44	49	49	44	48	44	42	45.3

实验结果

通过时间 >60 s (不满足)　　通过时间 ≤60 s (满足)　　通过时间 ≤60 s (满足)

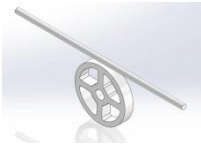
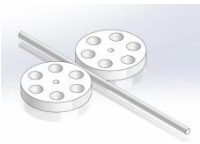
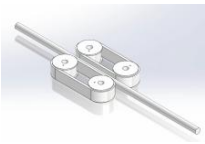
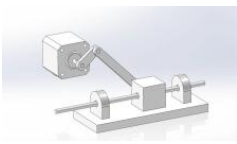
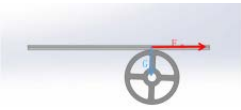
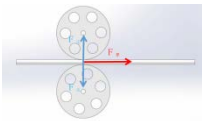
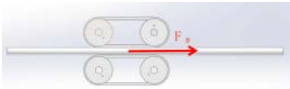
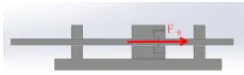
续表

有效性实验	实验目的：验证跑条通过跑条进料口后是否与进料口的轴线重合 实验过程：选取 20 根长 1 m 的跑条分别以手工方式通过管状、锥状和喇叭状的进料口，分别记录通过后是否与轴线重合。 		
	实验数据		
		管状	锥状	喇叭状
	实验次数	20	20	20
	重合次数	20	13	20
	重合率	100%	65%	100%
	实验结果			
	重合率 ≥99%	重合率 ＜99%		重合率 ≥99%
结论	不采用	不采用		采用

4.2. 跑条输送方案

跑条输送方案如下表 2。

Table 2. Strip conveying solution selection table
表 2. 跑条输送方案选择表

跑条输送方案选择表				
选择依据	1. 功能性：能对跑条施加的驱动力 ≥7.8 N 2. 效率性：跑条的输送速度 ≥20 m/min			
备选方案	单轮输送	双轮输送	皮带输送	滑块输送
				
方案分析	单轮输送 受力分析	双轮输送 受力分析	皮带输送 受力分析	滑块输送 受力分析
				
	通过跑条与驱动轮之间的摩擦力驱动跑条连续输送	可通过挤压增大摩擦力，以产生驱动跑条输送的力	通过皮带与跑条之间的摩擦力来驱动跑条进行连续输送	通过曲柄滑块机构来驱动跑条作间接输送

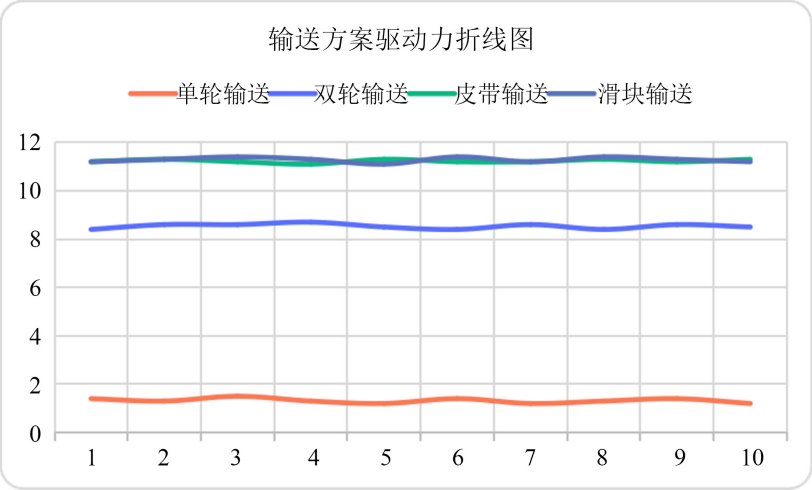
续表

功能性实验

实验目的：确定各方案对跑条施加力的大小

实验过程：根据各方案制作实验模型，并用其驱动跑条，在跑条后方连接弹簧测力计，在跑条出现断裂或者停止移动时读取弹簧测力计的大小，各实验 10 次，分别记录弹簧测力计的数值大小。

实验数据



实验结果

平均驱动力 < 7.8 N (不满足)	平均驱动力 ≥ 7.8 N (满足)	平均驱动力 ≥ 7.8 N (满足)	平均驱动力 ≥ 7.8 N (满足)

效率实验

实验目的：确定各方案输送跑条的速度

实验过程：分别在各个方案模型基础上加装电机，使其能以适当的速度运行，以 10 根 1 m 长的跑条为一组，分别测出驱动这一组跑条所需时间，各实验 10 次。

实验数据

序号 驱动时间(s) 方案	单轮输送	双轮输送	皮带输送	滑块输送
1		27	38	47
2~9		.....	.....	.....
10		29	39	47
平均时间(s)		26.9	38.2	47.4
平均速度(m/min)		22.30	15.71	12.66

实验结果

无法输送 (不满足)	输送速度 ≥ 20 m/min (满足)	输送速度 < 20 m/min (满足)	输送速度< 20 m/min (不满足)

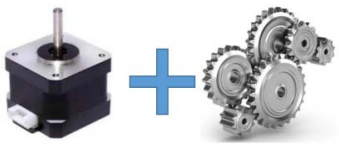
结论

不采用	采用	不采用	不采用

4.3. 驱动结构方案

驱动结构方案如下表 3。

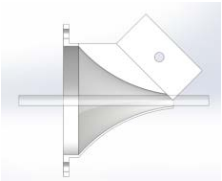
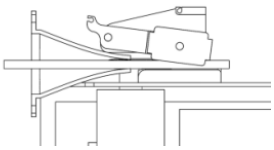
Table 3. Drive structure selection table
表 3. 驱动结构方案选择表

驱动结构方案选择表			
选择依据	1. 稳定性：跑条输送时断条率 ≤ 1% 2. 功能性：双轮中心距可调		
备选方案	双电机直驱	电机 + 齿轮	电机 + 皮带
			
稳定性实验	实验目的：确定各方案输送时跑条的断条率 实验过程：分别使用三种驱动方案输送跑条，每种方案输送 100 根长 1 m 的跑条，观察记录是否有断条现象发生。		
	实验数据		
		双电机直驱	电机 + 齿轮	电机 + 皮带
	驱动跑条数量(根)	100	100	100
	断条数量(根)	0	0	7
	断条率	0%	0%	7%
	实验结果			
	跑条输送时断条率 ≤ 1% (满足)	跑条输送时断条率 ≤ 1% (满足)	跑条输送时断条率 > 1% (不满足)	
功能性分析	双电机驱动可通过调整两电机的间距调整两轮中心距 满足	经过查询，齿轮传动中心距不可调 不满足	经过查询，皮带传动中心距可调 满足	
结论	采用	不采用	不采用	

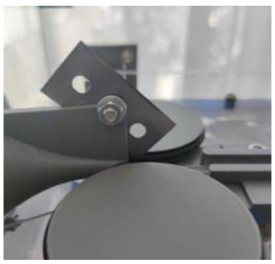
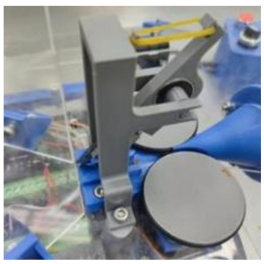
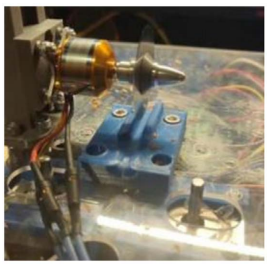
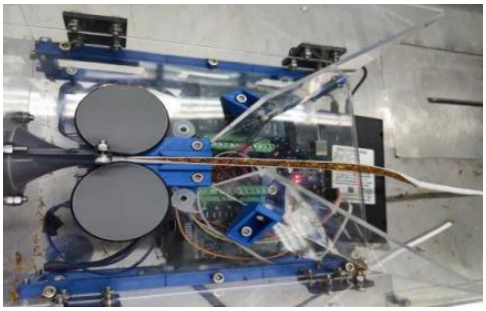
4.4. 跑条切割方案

跑条切割方案如下表 4。

Table 4. Strip cutting scheme selection table
表 4. 跑条切割方案选择表

跑条切割方案选择表			
选择依据	1. 有效性：切割失效(切不开、切不全)率 ≤ 1% 2. 续航性：10000 毫安 24 v 直流电源驱动切割跑条量 ≥ 500 m		
备选方案	方案一：固定式刀片切割	方案二：可移动式刀片切割	方案三：旋转式刀片切割
			

续表

方案分析			
	固定式刀片切割是将刀片固定，调整一定的切割角度和深度，对通过的跑条进行切割	可移动式刀片切割刀片是可以上下移动的，通过给刀片施加持续向下的切割力，使刀片紧贴着跑条进行切割	旋转式刀片切割是使用圆盘状的刀片进行切割，通过驱动刀片快速转动对通过的跑条进行切割
功能性实验	实验目的：确定三种方案切割跑条时的切割失效率 实验过程：用输送机构以恒定的速度输送 500 mm 跑条进行切割，每种方案开展 100 次实验，观察记录是否出现切割失效现象。 		

实验数据

方案序号	方案一：固定式刀片切割	方案二：可移动式刀片切割	方案三：旋转式刀片切割
实验切割次数(次)	100	100	100
切割失效次数(次)	0	3	0
切割失效率	0%	3%	0%
实验结果			
	切割失效率 ≤1% (满足)	切割失效率 >1% (不满足)	切割失效率 ≤1% (满足)

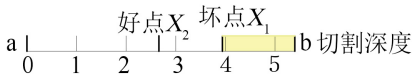
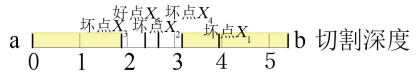
4.5. 切割深度确定

切割深度确定如下表 5。

Table 5. Cutting depth determination table
表 5. 切割深度确定表

切割深度确定表	
确定依据	1. 功能性：刀片单边使用寿命 ≥300 min
烟条的切割深度对烟条切割质量和刀片使用寿命均有较大的影响。当切割深度过浅，可能会导致烟条划不开的现象，影响烟丝与卷烟纸的分离；当切割过深，会造成切割刀片磨损较大，使用寿命急剧下滑。因此合理的切割深度选择是很重要的，小组采用“黄金分割法”来寻找最佳的切割深度。	

续表

设计试验方案				
切割深度试验设计表				
试验项目	烟条的切割深度取值			
试验范围	细支卷烟的直径为 5.4 mm，因此小组试验范围取 0~5.4 mm			
试验方法	用 0.618 法计算切割深度取值，为减少试验工作量，切割刀片使用寿命相对较短的剃须刀片。首先对 100 根长 1 m 的跑条进行切割，观察顺利切割次数并记录切割失效率，然后记录刀片单边的使用寿命(至不能稳定切开烟条为止)，共试验 10 次。			
考察标准	切割失效率 $\le 1\%$；钨钢刀片使用寿命大约为剃须刀片的 10 倍，因此根据目标设定剃须刀片的使用寿命 ≥ 30 min			
试验目标	寻找烟条的最佳切割深度(mm)			
试验测试及结果				
第一次实验及结果				
试验点	$X_1 = a + 0.618(b-a)$ $X_1 = 0.6 + 0.618(6-0.6)$ $X_1 = 3.94$mm		$X_2 = a + b - X_1$ $X_2 = 0.6 + 6 - 3.94$ $X_2 = 2.66$mm	
	限位值	试验次数	切割失效率	刀片使用寿命
试验依据	$X_1 = 3.94$ mm	10	0%	$\bar{t}_1 = 12.3$min
	$X_2 = 2.66$ mm	10	0%	$\bar{t}_2 = 27.4$min
试验结果分析	 刀片使用寿命未达到考察指标，但 $\bar{t}_2$ 更接近 30 min 的要求，所以 X_2 优于 X_1，(X_1, b)坏点去掉，留下(a, X_2)好点范围 0 mm~2.06 mm 继续选取新的试验点。			
第二次实验及结果(省略)				
第三次实验及结果(省略)				
第四次实验及结果				
试验点	$X_5 = X_3 + X_4 - X_2 = 1.88 + 3.16 - 2.66 = 2.38$mm			
	限位值	试验次数	切割失效率	刀片使用寿命
试验依据	$X_5 = 2.38$ mm	10	0%	$\bar{t}_5 = 30.2$min
试验结果分析	 试验目标实现，切割失效率 $\le 1\%$且使用寿命达到额定值 30 min，X_5 优于 X_2，切割深度 2.38 mm。			
验证试验结果 用试验得出的切割深度值 X_5，使用钨钢刀片测试 10 次。				

切割深度验证试验表

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
切割失效率	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
刀片使用寿命	305	306	311	307	305	301	302	307	305	306	305.5
试验结果	切割失效率 $\le 1\%$，切割刀片使用寿命平均值为 305.5 min										
结论	切割深度取 2.38 mm 时，刀片单边使用寿命 ≥ 300 min										

4.6. 确定最佳方案

输送单元创新采用喇叭状进料口，通过正交试验优化关键参数，实现跑条 100%通过率与进料轴线 99%重合率。驱动部分选用双轮结构，经力学分析确定 3.8 mm 轮间距可提供 8.17 N 驱动力，满足细支跑条输送需求。驱动电机摒弃成本高昂的伺服方案，选用 42 步进电机，配合直驱架构实现 22.4 米/分钟稳定输送速度，断条率控制在 1%以下。

切割单元突破性地采用固定式钨钢刀片方案。通过黄金分割法反复试验，锁定 2.38 mm 切割深度——过浅导致切割失效，过深加速刀片磨损。该深度下钨钢刀片单边寿命达 305 分钟，可连续处理超 500 米跑条。刀片位置设置于驱动轮前方，避免跑条阻塞(阻塞率 0%)，并创新设计可调式刀架，通过开槽固定板实现切割角度微调，确保 100%有效分离烟纸与烟丝。

控制单元首创感应式点动模式。光电传感器实时检测跑条存在，信号传输至 Arduino Mega 2560 单片机，触发步进电机启停。相比按键式与遥控式方案，该设计接收准确率 100%，且功耗降低 16.3%，单次充电(10000 mAh/24V 电源)可处理 514 米跑条，满足全天作业需求。

供电单元选用便携式 24 V 直流电源，输出电压稳定在±1 V 误差范围内，摆脱对车间固定插座的依赖，适配所有细支机台灵活部署。装置最终设计方案如下图 3 所示：

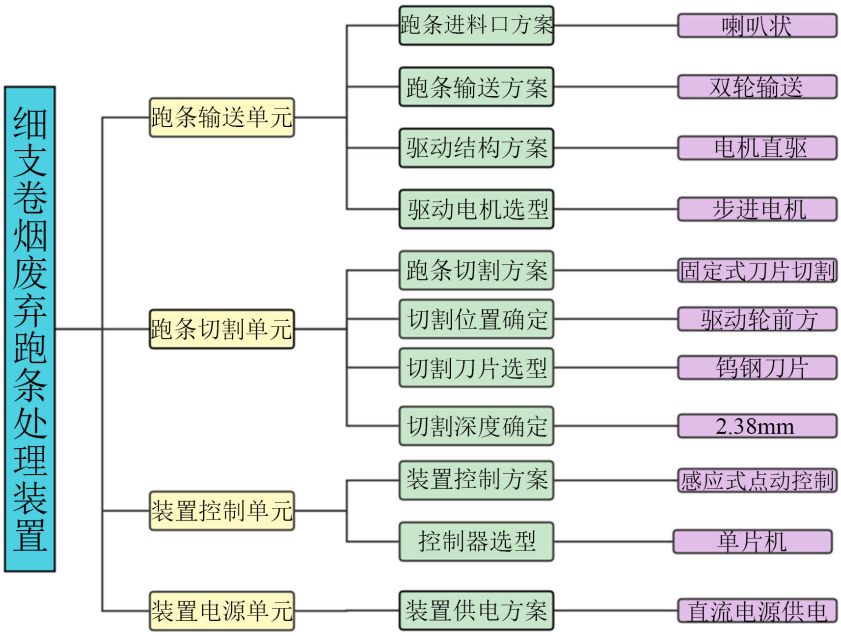


Figure 3. Optimal solution tree
图 3. 最佳方案树图

装置集成阶段，小组运用 SolidWorks 完成三维建模，采用轻量化铝合金框架支撑核心组件。整机尺寸经人机工程学优化，操作界面仅设电源开关与紧急制动按钮。2022 年 7 月试制样机在车间进行效能验证：以 10 组 1 米长细支跑条为对象，平均处理速度达 22.4 米/分钟，较传统方式提升 239%，切割失效率为零。

5. 效益分析

效益分析如下表 6。

Table 6. Benefit analysis table
表 6. 效益分析表

<table>
<tr><th colspan="3">效益分析表</th></tr>
<tr><td rowspan="7">经济效益</td><td colspan="2">在使用该装置之前，细支卷烟跑条基本作残次烟处理，在回收烟丝时存在一定损耗，小组成员经过查询相关文献，在《提高 S200 型废烟回收机回收细长烟支残烟效率》中查得出丝率约为 55%，损耗率约为 45%，在使用该装置后，处理细支卷烟跑条时烟丝基本无损耗，为企业节约烟丝成本如下：</td></tr>
<tr><td colspan="2">细支卷烟跑条处理装置节约烟丝成本(一年)</td></tr>
<tr><td>每天产生细支卷烟跑条均值</td><td>96 kg</td></tr>
<tr><td>年工作日</td><td>250 天</td></tr>
<tr><td>损耗率</td><td>45%</td></tr>
<tr><td>烟丝成本均值</td><td>200 元(不同烟丝成本有差异)</td></tr>
<tr><td>年节约烟丝成本</td><td>96 × 45% × 250 × 200 = 216 万元</td></tr>
<tr><td>无形效益</td><td colspan="2">a. 该装置研制成功，提高了细支卷烟跑条处理效率，降低了操作人员处理跑条的劳动强度；
b. 使用装置，提升了操作人员对卷烟质量的关注度。</td></tr>
<tr><td>效率</td><td colspan="2">使用该装置后，对细支卷烟跑条处理速度提升效率为：
$$\text{提升效率} = \frac{\text{活动后处理速度} - \text{活动前处理速度}}{\text{活动前处理速度}} = \frac{21.8\,\text{m/min} - 6.6\,\text{m/min}}{6.6\,\text{m/min}} \times 100\% = 230.3\%$$</td></tr>
</table>

项目成果获国家实用新型专利授权，并形成企业标准《细支卷烟跑条自动处理装置操作规程》。截至 2023 年 5 月，该装置已在 Y 卷烟厂 12 台 GD121A 机组全面推广，同步输出至 K 卷烟厂。

6. 局限性与展望

该装置主要针对细支卷烟跑条处理设计使用，在现如今卷烟品规越来越多的情况下，设备的适用性还需改进，同时在设备的控制及整体结构的优化上仍存在改进的空间，未来小组计划进一步优化装置便携性，开发适用于不同直径跑条的快速换型模块，并探索技术授权至行业设备制造商的合作路径。这项创新不仅破解了细支烟生产的损耗困局，更以“最优制造”实践诠释了烟草工业精益管理的核心价值——在毫米级的精进中，实现质量、效率与人文关怀的共生共赢。

参考文献

[1] 国家烟草专卖局. 烟草行业高质量发展实施意见[Z]. 2020.

[2] 云南中烟. GD121A 型卷烟机维修手册[K]. 2019.

[3] 王建军, 等. 残次细支烟自动分离输送剥离机的研制[J]. 烟草科技, 2020(5): 45-49.

[4] 张华. 切割间隙随动式剥离机[P]. 中国专利, CN2105527U. 2021-08-20.