

细支废弃跑条切割处理装置的研制与应用

彭金辉, 丁文有, 何诗瑶, 邓涵丹, 张玉彬, 施应文

红塔集团玉溪卷烟厂, 云南 玉溪

收稿日期: 2025年8月7日; 录用日期: 2025年9月4日; 发布日期: 2025年9月15日

摘 要

GD121A型高速卷烟机在生产过程中单次启动产生的跑条较多, 且停机频次较高, 目前废弃跑条依赖人工按照烟丝与纸剥离的方式处理, 效率不高且容易造成烟丝损耗。基于此, 本文选用单片机控制设备的启停, 设计并加工出跑条的输送单元以及切割单元, 最终设计了一套废弃跑条处理装置, 跑条处理的平均速度提升至20.9 m/min, 大大提升了废弃跑条的处理效率, 减少了烟丝的损耗。

关键词

GD121A卷烟机, 跑条, 正交试验, 结构设计

Development and Application of a Device for Cutting and Processing Slim Waste Runaway Cigarettes

Jinhui Peng, Wenyong Ding, Shiyao He, Handan Deng, Yubin Zhang, Yingwen Shi

Hongta Group Yuxi Cigarette Factory, Yuxi Yunnan

Received: Aug. 7th, 2025; accepted: Sep. 4th, 2025; published: Sep. 15th, 2025

Abstract

The GD121A high-speed cigarette machine generates a large number of running strips during a single start-up in the production process, and has a high frequency of shutdowns. Currently, discarded running strips rely on manual processing of tobacco and paper, which is inefficient and prone to tobacco loss. Based on this, this article selects a microcontroller to control the start and stop of the equipment, designs and processes the conveying unit and cutting unit of the running strips, and finally designs a set of waste running strips processing device. The average speed of running strips processing is increased to 20.9 m/min, greatly improving the processing efficiency of waste running strips and reducing the loss of tobacco.

文章引用: 彭金辉, 丁文有, 何诗瑶, 邓涵丹, 张玉彬, 施应文. 细支废弃跑条切割处理装置的研制与应用[J]. 仪器与设备, 2025, 13(3): 468-477. DOI: 10.12677/iae.2025.133057

Keywords

GD121A Cigarette Machine, Running Strips, Orthogonal Experiment, Structure Design

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. 研究背景及存在问题

近几年,按照,云南中烟红塔集团玉溪卷烟厂积极响应国家烟草总局提出的高质量发展理念,做好“提质增效,控本降耗”工作。玉溪卷烟厂 GD121A 型细支高速卷烟机,其生产能力为 10,000 支/分,该机型在生产过程中单次启动产生的跑条较多,停机频次较高,因此该机型每个班次均产生大量的废弃跑条。对于跑条的处理工人通常是使用划烟刀将其切割,使卷烟纸与烟丝分离,最后对烟丝进行回收,但期间存在用划烟刀处理时易出现划不开、划断等现象,导致处理效率较低,耗时较长,工人劳动强度大等问题,当操作人员无法及时处理时,只能将其作为残次烟处理回收烟丝,该方式存在一定的损耗。

为了降低烟丝损耗,减轻操作人员劳动强度,国内不少学者也对废弃跑条的处理与回收做了相关研究工作,孟庆里[1]等通过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,使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,实现残烟支的自动分离和剥离;祁磊等[2]将废品烟支直接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。然而目前的废弃烟支处理装置普遍存在跑条易出现阻塞、结构复杂、切割效果差等问题;在柔性输送系统方面,佟松贞[3]等尝试建立了物料搬运系统自动化水平的测量分析方法框架,并基于该方法框架在实际生产线上实现了物料搬运系统自动化水平(机械和认知)的测量和分析;通过仿真实证的方法,研究了物料搬运系统自动化水平,尤其是认知自动化水平对制造柔性的影响,结果显示,物料搬运系统自动化水平的提高使制造柔性得到了明显改善;王世勇[4]等设计了一种模块化传送带,并且提出基于协商的智能控制方法,利用传送带模块能够灵活构造多种输送路径,处理设备、传送带、智能工件之间能够通过协商进行自组织以实现柔性高效的动态重构。而柔性输送系统在卷烟烟支输送方面的研究应用还较少。

2. 细支废弃跑条切割处理装置的探索

为设计出能稳定、能连续运行、高效地对细支跑条进行处理的装置,对目前车间细支废弃跑条处理装置进行需求分析,将装置分解为跑条输送单元、跑条切割单元、控制单元、电源单元四部分(如图 1)。

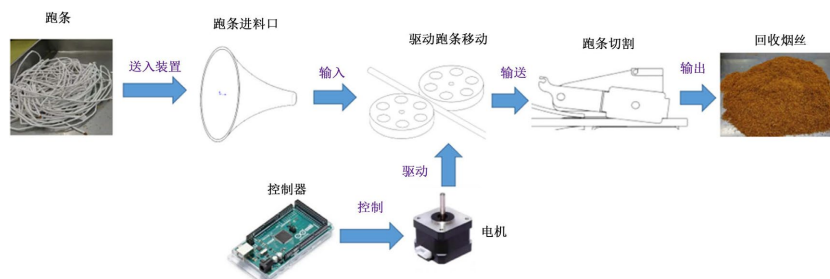


Figure 1. Model diagram
图 1. 模型示意图

在跑条输送单元，跑条应顺利通过跑条进料口，尽量避免阻塞现象的发生，跑条通过速度设置为 20 m/min，为保证对跑条后续输送、切割的准确性，确保跑条与进料口轴线重合，进料口选用喇叭状机构；同时改进跑条驱动方式，使用双步进电机驱动传送轮输送跑条从喇叭状入口进入，对跑条施加连续且稳定的驱动力，借鉴横置夹持轮组结构，通过调整夹持轮的间距以增大预紧力来达到增大驱动力的目的。

在跑条切割单元，通过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的目的，我们改进切割方式，使用刀片进行切割，从撕裂卷烟纸变为切开卷烟纸，减小跑条剥离受力；采用固定式钨钢刀片切割，调整一定的切割角度和深度(细支烟直径 5.4 mm，切割深度一般设置为 2~3 mm)，对通过的跑条进行切割(图 2)。



Figure 2. Schematic diagram of the trumpet-shaped inlet (left) and cutting blade (right)
图 2. 喇叭状入口(左)与切割刀片(右)示意图

控制单元采用感应式点动控制，在设备上加装相应的传感器检测跑条，当检测到跑条时启动装置，未检测到跑条时则关闭装置。控制器选用 Arduino mega2560 单片机，供电电源选用 24 V 的直流电源。综合对跑条处理流程进行分析，确定出装置的机械、控制功能结构如图 3。

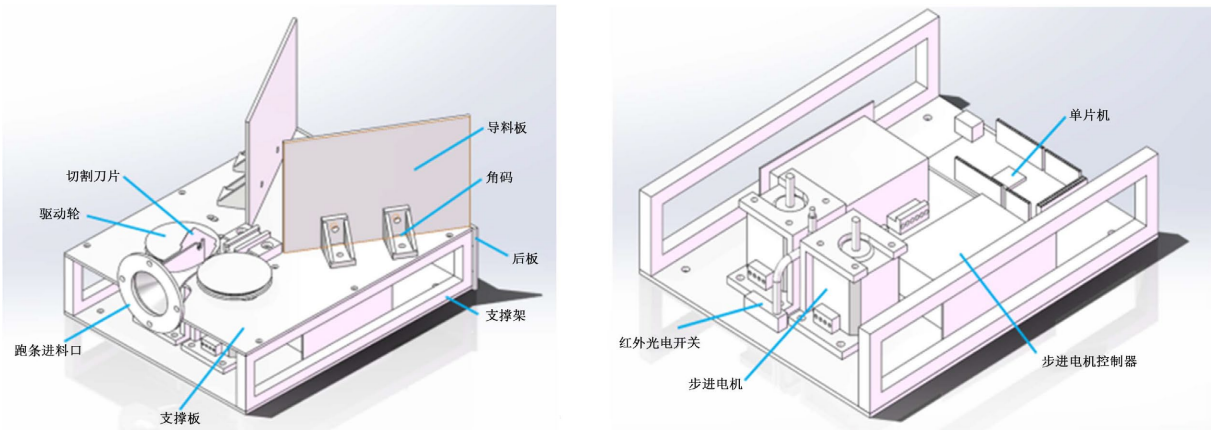


Figure 3. Schematic diagram of the device's mechanical functional structure (left) and control functional structure (right)
图 3. 装置的机械功能结构(左)和控制功能结构(右)示意图

3. 核心技术创新

3.1. 烟条进料口结构尺寸设计

跑条进料口尺寸分为两个部分，烟条进料口工作尺寸和烟条进料口其他尺寸，如图 4，根据烟条进料

口主要尺寸参数，小组设计正交实验，来寻找烟条进料口工作尺寸最佳尺寸。

1) 实验目的：找出烟条进料口进口尺寸 d_1 、出口尺寸 d_2 、高度 h 和圆弧半径 R 的最佳组合参数。

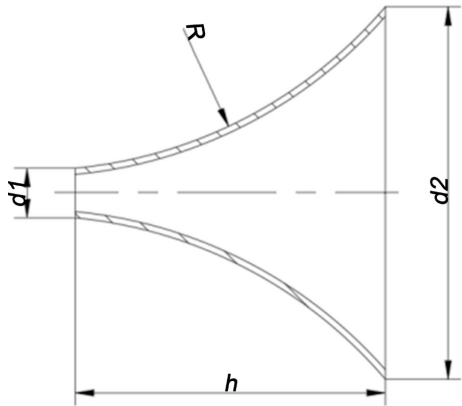


Figure 4. Trumpet-shaped feed port design
图 4. 喇叭状进料口设计图

- 2) 考察指标：平均通过时间(实验通过 10 根长 1 m 跑条所用时间的平均值)。
3) 选位级(如表 1)。

Table 1. Factor level table
表 1. 因素位级表

位级因素	A: 进口尺寸	B: 出口尺寸	C: 高度	D: 圆弧半径
1	30	5.6	40	70
2	40	5.8	50	75
3	50	6.0	60	80
位级选择说明	进口尺寸过小，不利于烟条的进入，而进口尺寸过大，则整体不协调且占用空间较大。故折中选择 30 mm、40 mm 和 50 mm。	细支跑条的直径约为 5.4 mm，小于 5.4 mm 可能出现阻塞，而过大可能使跑条与进料口轴线不重合，故在 5.4 mm 基础上逐级扩大。	高度过低将导致进口到出口过渡较少，引导跑条能力较弱；高度过高将导致通过时间变长，根据进口与出口尺寸进行选择。	圆弧半径决定跑条进入曲率的大小，经初略计算，圆弧半径取 70~80 mm 较好，因此圆弧半径位级选择 70 mm，75 mm，80 mm。

4) 根据因素位级表选用 L9(3⁴)正交表安排正交实验，数据如下表 2。

Table 2. Orthogonal test table
表 2. 正交试验表

试验号	因素				实验结果
	进口尺寸(A)	出口尺寸(B)	高度(C)	圆弧半径(D)	平均通过时间(s)
1	1 (30)	1 (5.6)	3 (60)	2 (75)	41
2	2 (40)	1	1 (40)	1 (70)	37
3	3 (50)	1	2 (50)	3 (80)	37

续表

4	1	2 (5.8)	2	1	39
5	2	2	3	3	37
6	3	2	1	2	35
7	1	3 (6.0)	1	3	39
8	2	3	2	2	32
9	3	3	3	1	36
K1	36.67	38.33	37.00	37.33	$\Sigma = 111$
K2	35.33	37.00	36.00	36.00	
K3	36.00	35.67	38.00	37.67	
极差 R	4.33	2.67	2	1.67	

5) 实验结果分析

a) 通过极差分析, 各因素对实验结果的影响程度为: $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$;

b) 分析: 直观分析 A_3 、 B_1 、 C_2 最好; 算一算是 A_3 、 B_1 、 C_2 最好;

c) 为了确定 A_3 、 B_1 、 C_2 为最佳组合, 小组成员用此组合做了 5 次跑条通过实验, 实验结果如表 3 所示。

Table 3. Optimal combination verification table
表 3. 最优组合验证表

实验号	1	2	3	4	5
测试次数	20	20	20	20	20
平均通过时间(s)	31	32	33	32	32

通过以上实验最终确定烟条进料口工作尺寸: 进口尺寸 d_1 : 40 mm, 出口尺寸 d_2 : 6 mm, 高度 h : 50 mm, 圆弧半径 R : 75 mm。

3.2. 驱动结构尺寸设计

双轮恒力驱动结构是通过两个轮子挤压烟条产生摩擦力, 通过摩擦力驱动烟条向前运动并进入切割单元。驱动轮结构尺寸要求有: 1) 能安装于驱动电机上, 并进行固定; 2) 能够提供足够的摩擦力以驱动烟条; 3) 能够提供足够的驱动力。

按要求对双轮恒力驱动结构尺寸进行设计(图 5):

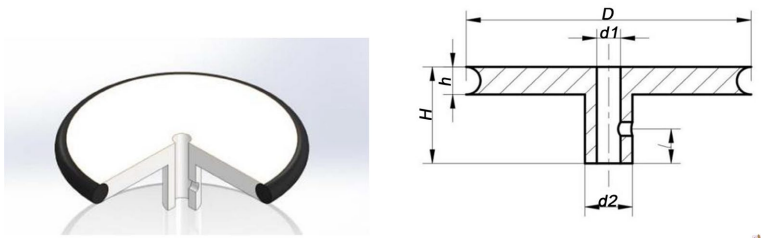


Figure 5. Schematic diagram of the driving wheel
图 5. 驱动轮示意图

经查询,所选驱动电机的电机轴直径为 $\varphi 5$ mm,因此基本尺寸为 $\varphi 5$ mm,选用基轴制,间隙配合,电机轴的公差等级为 IT10,查询基轴制配合,于是取孔的公差等级为 IT10,轴的基本偏差代号为 h10;因此处需要配合间隙较大,经查询后选用孔的基本偏差代号为 D10,查表知:

$$d1 = \varphi 5_{-0.048}^{+0.03} \text{ mm}$$

选用的 M3 紧定螺丝长度 $L = 3$ mm,因此 $d2 = d1 + L \times 2 = \varphi 5 + 3 \times 2 = \varphi 12$ mm;经查询,选用的驱动电机长、宽均为 42 mm,为保证驱动轮正常使用,因此 $D \geq 42$ mm;经查询选用的驱动电机保持转矩为: 48 N*cm,因此:

$$D \leq \frac{48}{7.8} \times 10 \text{ mm} \leq 61.5 \text{ mm}$$

由上可知 $42 \text{ mm} \leq D \leq 61.5 \text{ mm}$, D 值越大,线速度越大,因此 D 值取最大值进行取整, $D = 60$ mm。为增大摩擦力,在驱动轮上开槽,安装相应尺寸的橡胶圈。驱动轮的厚度 h 为满足使用要求,应大于或等于烟条的直径,即 $h \geq 17/\pi = 5.41$ mm,进行取整后得: $h = 6$ mm;用的电机轴长度为 20 mm,因此 H 取 16 mm 即可,紧定螺丝孔的位置进行取中原则得:

$$l = \frac{H - h}{2} = 5 \text{ mm}$$

跑条的直径为 5.4 mm,因此驱动轮间距 $c \leq 5.4$ mm,取 10 根烟支,将压实端压扁后使用游标卡尺进行测量其厚度,以确定驱动轮间距最小值。检测室,该值为 2.86 mm,故 $2.86 \text{ mm} \leq c \leq 5.4 \text{ mm}$ 。

3.3. 切割单元设计

3.3.1. 切割方式

在设计阶段提出了固定式刀片切割、可移动式刀片切割和旋转式刀片切割三种切割方式,通过进行相应的切割试验,从切割的有效性和续航性两个方面进行分析,最终选用固定式刀片切割作为该装置的切割方式。

3.3.2. 切割刀片材料

通过分析,目前在售的适合使用的刀片材料主要有:陶瓷刀片和钨钢刀片两种,刀片材料主要影响的是使用寿命,分别使用两种刀片进行切割实验,持续切割跑条至无法将跑条划开,记录使用时间,各实验 5 次,实验数据如下表 4 所示。

Table 4. Service life statistics table of cutting knives for different materials
表 4. 不同材料切刀的寿命统计表

刀片使用寿命 序号	陶瓷刀片	钨钢刀片
1	214	322
2	216	325
3	213	328
4	215	325
5	216	324
平均使用寿命(min)	214.8	324.8

通过实验,选择使用寿命更长的钨钢刀片。

3.3.3. 切割深度的确定

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，采用“黄金分割法”来寻找最佳的切割深度(表 5)。

Table 5. Experimental results
表 5. 实验结果

第一次实验及结果				
试验点	$X_1 = a + 0.618(b - a)$ $X_1 = 0.6 + 0.618(6 - 0.6)$ $X_1 = 3.94 \text{ mm}$		$X_2 = a + b - X_1$ $X_2 = 0.6 + 6 - 3.94$ $X_2 = 2.66 \text{ mm}$	
试验依据	限位值 $X_1 = 3.94 \text{ mm}$ $X_2 = 2.66 \text{ mm}$	试验次数 10 10	切割失效率 0% 0%	刀片使用寿命 $\bar{t}_1 = 12.3 \text{ min}$ $\bar{t}_2 = 27.4 \text{ min}$
试验结果分析	a 0 1 2 3 4 5 b 好点X_2 坏点X_1 切割深度 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				
试验点	$X_3 = a + X_1 - X_2 = 0.6 + 3.94 - 2.66 = 1.88 \text{ mm}$			
试验依据	限位值 $X_3 = 1.88 \text{ mm}$	试验次数 10	切割失效率 6%	刀片使用寿命
试验结果分析	a 0 1 2 3 4 5 b 坏点X_3 好点X_2 坏点X_1 切割深度 切割失效率 > 1%，未达到考察指标，所以 X_2 优于 X_3，(a, X_3)坏点去掉，留下(X_3, X_1)好点范围 1.88 mm~3.94 mm 继续选取新的试验点。			
第三次实验及结果				
试验点	$X_4 = X_3 + X_1 - X_2 = 1.88 + 3.94 - 2.66 = 3.16 \text{ mm}$			
试验依据	限位值 $X_4 = 3.16 \text{ mm}$	试验次数 10	切割失效率 0%	刀片使用寿命 $\bar{t}_4 = 22.7 \text{ min}$
试验结果分析	a 0 1 2 3 4 5 b 坏点X_3 好点X_2 坏点X_4 坏点X_1 切割深度 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_4，(X_4, X_1)坏点去掉，留下(X_3, X_4)好点范围 1.88 mm~3.16 mm 继续选取新的试验点。			
第四次实验及结果				
试验点	$X_5 = X_3 + X_4 - X_2 = 1.88 + 3.16 - 2.66 = 2.38 \text{ mm}$			
试验依据	限位值 $X_5 = 2.38 \text{ mm}$	试验次数 10	切割失效率 0%	刀片使用寿命 $\bar{t}_5 = 30.2 \text{ min}$

续表

试验结果分析	a 坏点X₃ 好点X₃ 坏点X₂ 坏点X₄ 坏点X₁ b 切割深度									
	0	1	2	3	4	5				
	试验目标实现，切割失效率 $\leq 1\%$ 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。									

通过实验，确定最佳切割深度为 2.38 mm。

3.4. 控制系统设计

在控制器的选型中，通过对安装性和经济性两个方面的分析，最终确定选择单片机作为该装置控制器。

根据相关功能进行控制系统的设计，控制单元架构图(图 6)和程序控制流程图(图 7)如下：

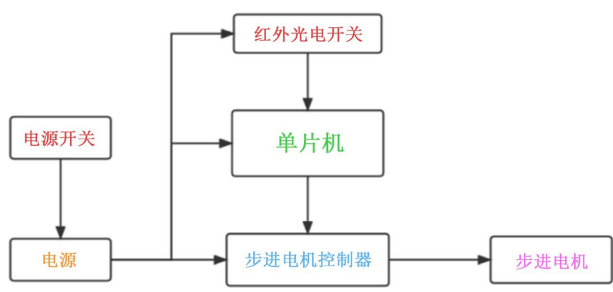


Figure 6. Control unit architecture
图 6. 控制单元架构图

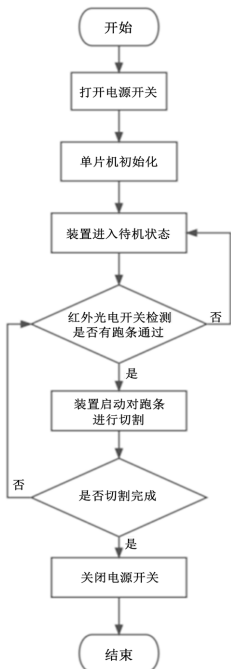


Figure 7. Program control flow chart
图 7. 程序控制流程图

4. 效果验证

如图 8 所示，按照尺寸加工相应零部件进行装配，编写、烧录启停功能程序并测试，购置电源设备，使用分层式结构将各个单元进行集成，总共分为三层，下层放置电源，中间层放置驱动电机及控制单元，上层放置切割单元。

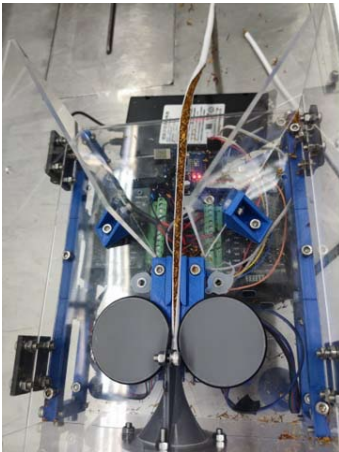


Figure 8. Actual picture of the strip processing device
图 8. 跑条处理装置实物图

在车间收集细支跑条，以 20 m 为一组，共 10 组，分别使用跑条处理装置和人工进行处理，记录处理时间以及回收烟丝中的纸屑含量。

Table 6. Statistics of strip processing time and speed of strip processing device
表 6. 跑条处理装置跑条处理时间与速度统计表

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
处理时间(s)	58	57	58	59	56	58	59	57	57	56
处理速度 (m/min)	20.7	21.1	20.7	20.3	21.4	20.7	20.3	21.1	21.1	21.4
平均处理速度 (m/min)	20.9									
回收烟丝中的纸 屑含量(个)	2									

Table 7. Statistics of manual strip processing time and speed
表 7. 人工跑条处理时间与速度统计表

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
处理时间(s)	176	182	186	179	177	185	182	179	191	189
处理速度 (m/min)	6.82	6.59	6.45	6.70	6.78	6.49	6.59	6.71	6.28	6.35
平均处理速度 (m/min)	6.58									
回收烟丝中的纸 屑含量(个)	16									

经过试验(表 6、表 7), 使用该装置对细支跑条处理平均效率为 20.9 m/min, 而人工对细支跑条处理平均效率为 6.58 m/min, 极大地提高了细支烟跑条切割处理的效率。另外, 回收烟丝中的纸屑含量也远少于人工处理。

5. 结论

本文设计了一种细支烟跑条切割处理装置, 实现了机械化进行跑条的切割以及烟、纸分离功能, 显著提升了卷包车间跑条处理效率。

参考文献

- [1] 孟庆里, 解建兵, 杨文辉, 等. 残次细支烟自动分离输送剥离机的研制[J]. 设备管理与维修, 2020(20): 132-133.
- [2] 陕西中烟工业有限责任公司. 用于废品烟支的自动剥离机[P]. 中国专利, CN202021122283.4. 2021-02-23.
- [3] 佟松贞. 基于物料搬运系统认知自动化水平的制造柔性研究[D]. [硕士学位论文]. 北京: 清华大学, 2013.
- [4] 王世勇, 万加富, 张春华, 张舞杰. 面向智能产线的柔性输送系统结构设计 with 智能控制[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2016, 44(12): 30-35.