

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2024.03.056

## YN30型残废烟支烟丝回收装置的设计与应用

肖文平<sup>1</sup>,唐军<sup>1</sup>,陈然<sup>2</sup>,胡智维<sup>2</sup>,娄本<sup>2</sup>,周冰<sup>1</sup>,李焕威<sup>2</sup>

(1. 云南中烟工业有限责任公司技术中心,云南昆明 650231;

2. 广东中烟工业有限公司,广东广州 510385)

**摘要:**针对传统残废烟支烟丝回收装置存在的烟丝回收率低、纯净度差、整丝率偏低、细支卷烟加工适应性差等问题,研制一种新型残废烟支烟丝回收装置。该装置通过滚筒筛网和搓丝螺杆机构实现了烟丝与卷烟材料的快速分离,通过静电吸附和负压剔除相结合的除杂技术,实现了分离烟丝精选除杂。以常规卷烟牌号云烟(紫)以及细支卷烟牌号云烟(细支珍品)进行应用测试,常规卷烟加工回收烟丝得率 $\geq 80.0\%$ ,细支卷烟加工回收烟丝得率 $\geq 70.0\%$ ;回收烟丝纯净度 $\geq 99.0\%$ ;回收烟丝整丝率 $\geq 60.0\%$ ;回收烟丝碎丝率 $\leq 6.0\%$ ;处理前后烟丝含水率变化 $\leq 0.5\%$ 。该装置同时可以满足常规卷烟和细支卷烟的残废烟支回收。

**关键词:**残废烟支;回收装置;烟丝回收率;纯净度

**中图分类号:**TH122 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2024)03-0264-05

## Design and Application of YN30 Type Cut Tobacco Recycling Device from Disabled Cigarette

XIAO Wenping<sup>1</sup>, TANG Jun<sup>1</sup>, CHEN Ran<sup>2</sup>, HU Zhiwei<sup>2</sup>, LOU Ben<sup>2</sup>, ZHOU Bing<sup>1</sup>, LI Huanwei<sup>2</sup>

(1. Technology Center of China Tobacco Yunnan Industrial Co., Ltd., Kunming 650231, China;

2. China Tobacco Guangdong Industrial Co., Ltd., Guangzhou 510385, China)

**Abstract:** To improve the low recovery rate and poor purity of cut tobacco, the low rate of whole cut tobacco, and poor processing adaptability of thin cigarettes in the traditional recycling device for disabled cigarettes, a new type of waste cigarette shredded tobacco recycling device was designed, which rapidly separated cut tobacco and cigarette material through roller screen and tobacco rubbing mechanical structure, and removed the sundries in cut tobacco by electrostatic adsorption and negative pressure removal. The new device was applied to tests on conventional cigarette brand Yunyan (Zi) and thin cigarette brand Yunyan (Xizhizhenpin), showing that the yield of recycled shredded tobacco in conventional cigarette processing is higher than or equal to 80.0%, while the one in thin cigarette processing is higher than or equal to 70.0%, the purity of recycled shredded tobacco is higher than or equal to 99.0%, the whole recycled tobacco rate is more than or equal to 60.0%, the recycled shredded tobacco rate is 6.0% or less, and the change of moisture content before and after treatment is 0.5% or less. The designed device well suits the disabled cigarette shredded tobacco recycling both for conventional cigarettes and thin cigarettes.

**Keywords:** disabled cigarettes; recycling device; cut recycled tobacco rate; purity

### 0 引言

在卷烟生产制造过程中,不可避免地造成一定量的残废烟支。为了降低烟丝损耗,残废烟支中的烟丝应尽可能地被重新回收利用。如何提高回收效率并确保烟丝工艺品质是烟草行业重要的研究课题之一<sup>[1-3]</sup>。国内烟草生产企业引进较多的回收设备是意大利某公司的 TR1000 系列残废烟支烟丝回收设备。但是实际生产中发现,该设备处理后存在较明显的烟支剥离不充分、烟丝中

掺杂卷烟纸等问题。统计显示,该设备加工传统卷烟残废烟支烟丝回收率只有 74.3%,纯净度只有 94.4%,加工细支卷烟残废烟支烟丝回收率只有 56.1%,纯净度只有 92.7%。针对以上问题,陈平<sup>[4]</sup>采用压空回收方法设计的残废烟支烟丝回收装置处理后的回收烟丝纯净度较好,但对烟丝中的水分和香精损失较严重,而且难以同时满足常规卷烟和细支卷烟的加工需求,加工适应性较差。蔡培良等<sup>[5]</sup>采用破碎回收方法设计卷接机组残废烟支自动回收分类装置,但是混入烟丝的卷烟纸

**基金项目:**广东中烟工业有限责任公司科技项目

**第一作者简介:**肖文平(1964—),男,云南昆明人,工程师,本科,研究方向为卷烟工艺与品牌管理,zln620514@163.com。

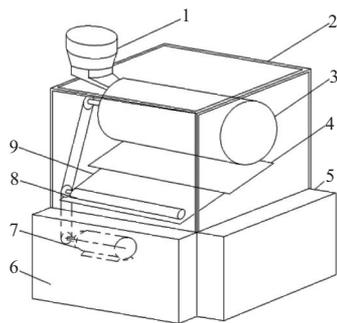
**通信作者:**陈然(1988—),男,河北张家口人,工程师,硕士,研究方向为卷烟工艺。

碎屑难以有效分离,尤其是针对烟支圆周变小的细支和中支卷烟残废烟支,影响回收烟丝的纯净度、烟丝整丝率和使用价值。为此,本文设计了一种新型残废烟支烟丝回收装置,具备较好的烟丝回收率和处理效果,适应于不同规格残废烟支处理,提升了回收烟丝使用价值和经济效益。

## 1 烟丝回收装置结构与工作原理

### 1.1 残废烟支烟丝回收装置结构

图1为YN30型残废烟支烟丝回收装置的结构示意图。该装置主要由喂料机构、烟支搓打分离机构、振动输送机构、静电吸附与负压除杂、主驱动机构、电控装置等部分组成。支架在装置中起支撑作用,由钢板等材料焊接而成,结构简单,便于零部件安装。筛网旋转轴和静电辊共用一个驱动电机,主驱动电机安装在装置底部,采用变频器调节,通过带传动驱动滚筛旋转轴和静电辊。在装置正面设置PLD编程器和触摸显示屏,提高设备操作便捷性。为提升设备操作安全性,在多个门罩上设置断电保护光电开关。



1—喂料机构;2—机架;3—搓打分离机构;4—振动导板;  
5—杂物收集装置;6—烟丝收集装置;7—主驱动机构;  
8—静电负压除尘机构;9—均料带。

图1 YN30型残废烟支烟丝回收装置主体结构示意图

### 1.2 工作原理

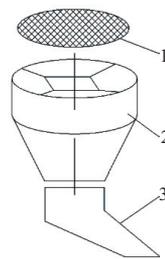
残废烟支经喂料机构1以一定倾斜角度落入到搓打分离机构3中,在搓打分离机构中受搓丝螺杆及轴流风扇叶片的逐级搓打挤压,烟支中的烟丝从搓打分离机构的网孔中分离出来,而卷烟纸和烟嘴等烟草辅料沿着搓打分离机构内的螺旋轨迹向前吹进,最后从末端废料出口排出落入杂物收集装置5中。从搓打分离机构网孔抛压分离出来的烟丝,经振动导板4输送到均料带9上,烟丝中的碎纸片、碎纸屑和丝束等轻杂物及碎烟末均被料带上方的静电负压除尘机构8吸附分离,

通过上方负压吸附装置将杂物输送至废料回收袋中,纯化后的烟丝落入烟丝收集装置6中。

## 2 关键部件设计

### 2.1 喂料机构设计

为了实现残废烟支进料均匀顺畅,提高后续搓打分离效果,在喂料斗前设置圆网盘并设计两级料斗,前级圆料斗作为后级方形料斗的缓冲。前级圆料斗入料口设计成长方形,后级方形斗下料均匀,能够有效防止下料堵塞。考虑到操作安全,后级方形斗呈60°倾斜,防止操作人员清理斗槽时受旋转叶片导致的机械伤害。喂料机构结构示意图如图2所示。

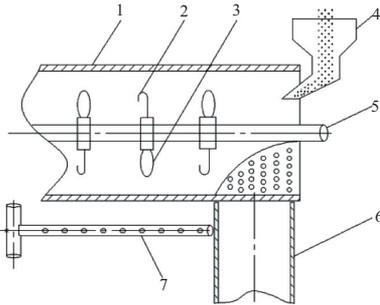


1—匀料网盘;2—前级圆料斗;3—后级方料斗。

图2 喂料机构结构示意图

### 2.2 搓打分离机构设计

图3为搓打分离机构结构示意图。该机构主要由筛网滚筒、旋转轴、安装在旋转轴上的搓丝螺杆、轴流叶片和分室隔离网栏组成,采用旋转筛分原理<sup>[6-7]</sup>,在输送过程中残废烟支受到螺旋轴流叶片和搓丝螺杆的柔性拍打,达到物料分离的目的<sup>[8]</sup>。筛网状筒体尺寸为 $\phi 280\text{ mm} \times 700\text{ mm}$ ,筒体侧壁设有分离烟丝网孔。搓丝螺杆和螺旋轴流叶片呈180°对称布置。相邻两组搓丝螺杆和螺旋轴流叶片错开90°安装,在旋转轴截面均匀布置,每两组间距离 $L_1$ 设计为50 mm,沿轴向共安装12组。搓丝螺杆为杆钩状结构,表面设有外螺纹,远离转轴一端为圆弧形,旋转时能够搓打烟支使之破损,从而使烟支内的烟丝与卷烟材料分离。搓丝螺杆与筛网状筒体内壁的距离 $L_2$ 设计为 $\frac{2}{5}d_1 \leq L_2 \leq \frac{4}{5}d_1$  ( $d_1$ 为废烟烟支直径),可以避免废烟纸的过度破碎,减少碎纸屑等杂物的产生。轴流风叶片与转轴的横截面倾斜角度为10°~15°,使整体形成一条类似大螺距的螺旋线形式,充分利用滚轴转动产生的扰动力,增大叶片的拍打强度,提高了搓打分离效率。



1—筛网滚筒;2—螺旋轴流叶片;3—搓丝螺杆;  
4—喂料机构;5—旋转轴;6—鼓风机;7—吹风管。

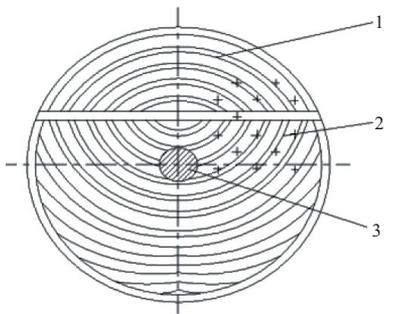
图3 搓打分离机构示意图

为了避免废烟支密集下料造成堵塞和搓打不均,在筛网筒体底部设置鼓风机6,使物料口落入的烟支分散开来,同时使沉积在筛网底部的废烟

支处于悬浮状态,达到废烟支物料被搓丝螺杆和打风叶扇均打分离的目的。考虑到废烟支物料在筛网状筒体中通过时间过短,容易导致残余断支抛丝不净。经测试,在滚筒内设置4个分室隔离网栏,将滚筒内部分为5个部分。分室隔离网栏结构示意图如图4所示。

### 2.3 驱动电机选型

筛网旋转轴由主驱动电机提供动力,其传递方式为带传动。由于安装有搓丝螺杆和螺旋叶片,形状不规则,旋转轴转动惯量的精确理论较为复杂,因此利用 SolidWorks 辅助计算旋转轴的转动惯量<sup>[9]</sup>。通过建立旋转部件简化模型和旋转轴心坐标系,定义材质质量属性,即可计算旋转轴转动惯量  $J = 18\ 571.985\ \text{kg} \cdot \text{mm}^2$ ,如图5所示。



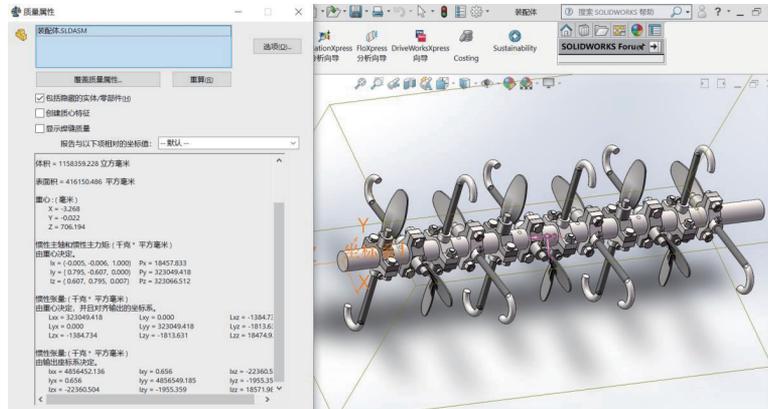
1—上隔离网栏;2—下隔离网栏;3—旋转轴。

图4 分室隔离网栏结构示意图

以理想工况下空载启动进行估算,旋转轴惯性矩  $T = J / (\omega / t)$ , 旋转轴功率  $P_1 = (T \times \omega) / \eta$ , 电机输出功率  $P > K P_1$ 。旋转轴设计最高转速  $n$  为1 000 r/min,即  $\omega = 2\pi n = 104.8\ \text{rad/s}$ ,启动时间  $t$  为0.5 s。 $\eta$  为机械效率,取 0.7, $K$  为系数,取 1.5。经估算,电机功率  $P$  约为 0.87 kW,为保证设备电机的稳定性和可靠性,选择额定功率 1.5 kW 工业变频主电机。上述设计的电机运行情况良好,能满足各类型废烟支处理的需要。

### 2.4 烟丝提纯系统设计

图6为烟丝提纯系统结构示意图,该系统采用静电吸附<sup>[10]</sup>和负压剔除相结合的方式,包括振动导板、运料带、静电辊、刮板、负压吸风道等。其工作原理为:振动导板位于筛网下方,使分离出的烟丝均匀平铺,防止堆叠,保证杂物剔除效果。在振动导板后的匀料带上方设置静电除杂系统,当

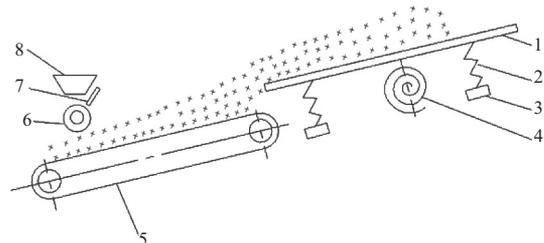


(a)

(b)

图5 搓打分离机构转动惯量计算

混有碎纸屑等杂质烟丝流经高压静电辊时,被极化后产生极性电位差,烟丝中碎纸屑及轻质丝尘等杂物被吸附到旋转的静电辊表面,然后随着静电辊的转动被刮板刮下,通过负压吸风道吸走。



1—振动导板;2—缓冲压簧;3—减延弹簧板;  
4—振动电机;5—均料带;6—静电辊;7—刮板;8—负压吸风道。

图6 烟丝提纯系统结构示意图

上述烟丝提纯系统中静电吸附过程为最关键步骤,为保证上述系统有效工作,需确保静电辊在工作时能够将卷烟纸屑吸附到静电辊表面,同

时不能将烟丝吸附到静电辊表面,则:

$$G_p < F_p \quad (1)$$

$$G_t > F_t \quad (2)$$

式中: $G_p$ 为卷烟纸屑受到的重力; $F_p$ 为卷烟纸屑在静电场中受到的静电力; $G_t$ 为烟丝受到的重力; $F_t$ 为烟丝在静电场中受到的静电力,其中:

$$G_p = \rho_p S g \quad (3)$$

$$G_t = \rho_t S g \quad (4)$$

式中: $\rho_p$ 为卷烟纸的面密度; $\rho_t$ 为烟丝的面密度; $S$ 为电介质面积; $g$ 为重力加速度。

为分析烟丝及卷烟纸屑在静电场中受力,建立静电吸附装置工作原理图如图7所示。在静电辊形成的电场中,卷烟纸屑和烟丝的体积相对于电场体积非常小,所以可以忽略其厚度<sup>[11]</sup>,而等效为只有一定面积的薄片状电介质。设在A点电介质处的电场强度为E,则根据静电场中电介质的受力分析<sup>[12]</sup>,有:

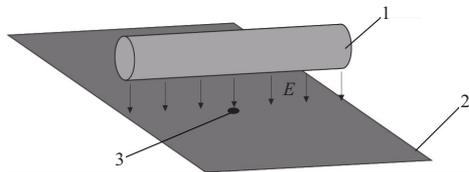
$$F = E \sigma S \quad (5)$$

$$W = \chi_e \epsilon_0 E = \sigma \quad (6)$$

$$\epsilon_r = \chi_e + 1 \quad (7)$$

式中: $F$ 为电介质在静电场中受到的电场力; $E$ 为电场强度, $N \cdot C^{-1}$ ; $\sigma$ 为电介质的极化电荷密度; $W$ 为电极化强度; $\chi_e$ 为电极化率; $\epsilon_0$ 为真空介电常数,取值为 $8.85 \times 10^{-12} C^2 \cdot N^{-1} \cdot m^{-2}$ ; $\epsilon_r$ 为电介质的相对介电常数。综合式(1)~式(7),可得:

$$\sqrt{\frac{\rho_p g}{(\epsilon_{rp} - 1) \epsilon_0}} < E < \sqrt{\frac{\rho_t g}{(\epsilon_{rt} - 1) \epsilon_0}} \quad (8)$$



1—静电辊;2—均料带;3—电介质。

图7 静电吸附装置工作原理图

按照标准方法《GB/T 1409—2006》测量烟丝的相对介电常数 $\epsilon_{rt}$ 和卷烟纸屑的相对介电常数 $\epsilon_{rp}$ <sup>[13-14]</sup>,利用图像法检测烟丝和卷烟纸面积<sup>[15]</sup>,结合天平称质量得到卷烟后卷烟纸面密度、烟丝面密度,测量结果如下: $\epsilon_{rp} = 14.39$ , $\epsilon_{rt} = 23.53$ , $\rho_p = 31.3 \times 10^{-3} kg/m^2$ , $\rho_t = 70.4 \times 10^{-3} kg/m^2$ 。将以上参数带入式(8),计算得出: $39\ 217.34 < E < 76\ 302.03$ 。

根据以上结论选择静电发生器,调整其安装参数如表1所示。

表1 静电发生器选型及参数调优

| 静电发生器<br>型号 | 工作<br>电压/kV | 静电棒与导<br>流板间距/mm | 旋转<br>频率/Hz |
|-------------|-------------|------------------|-------------|
| HS004       | 35          | 1                | 32          |

### 3 效果验证

经测试,YN30残废烟支烟丝回收装置样机废烟处理能力达到46.5 kg/h,高于装置设计处理废烟能力30 kg/h,满足装备处理废烟量的设计要求,其加工效果验证如下。

#### 3.1 材料与方法

材料:云南中烟生产的常规卷烟云烟(紫)和细支卷烟云烟(细支珍品)。

设备与仪器:本文所研发的YN30型残废烟支烟丝回收装备和某卷烟厂生产五部废烟线(下文称“传统废烟线”,Garbuio公司生产,型号TR1000,由蒸汽回潮装置、烟支剥离装置、除杂装置组成)。

方法:分别使用上述设备和卷烟进行烟丝回收加工,对加工后烟丝回收率、烟丝纯净度、烟丝结构(检测标准为YC/T 289—2009)、烟丝含水率(检测标准为YC/T 31—1996)等指标进行检测和对比分析,结果如表2所示。

表2 加工效果验证与对比分析情况

单位:%

| 验证材料     | 传统废烟线 TR1000 |      |      |     |       | YN30型装备 |      |      |     |       |
|----------|--------------|------|------|-----|-------|---------|------|------|-----|-------|
|          | 回收率          | 纯净度  | 整丝率  | 碎丝率 | 含水率变化 | 回收率     | 纯净度  | 整丝率  | 碎丝率 | 含水率变化 |
| 云烟(紫)    | 74.3         | 94.4 | 59.0 | 4.7 | 0.66  | 81.7    | 99.6 | 66.0 | 4.9 | -0.31 |
| 云烟(细支珍品) | 56.1         | 92.7 | 58.7 | 5.0 | 0.61  | 71.6    | 99.0 | 62.0 | 6.0 | -0.32 |

#### 3.2 数据与分析

##### 1) 烟丝回收率对比分析

由表2可知,传统废烟线加工常规卷烟和细

支烟的烟丝回收率分别为74.3%和56.1%,而采用YN30型装备加工的烟丝回收率分别为81.7%和71.6%,均明显高于传统废烟线,这说明采用

YN30型装备加工残废烟支具有较好的烟丝回收效率。

#### 2) 烟丝纯净度对比分析

由表2可知,YN30型装备处理常规和细支卷烟烟丝的烟丝纯净度分别为99.6%和99.0%,显著高于传统废烟线加工效果,说明YN30型装备使用静电吸附和负压剔除的方式对烟丝进行提纯具有较好的可行性和处理效果。

#### 3) 烟丝结构对比分析

由表2可知,YN30型装备处理常规和细支卷烟烟丝的烟丝整丝率分别为66.0%和62.0%,与传统废烟线处理效果相比较,整丝率指标更好,碎丝率基本一致,说明YN30型装备在烟丝结构指标上具有一定的优势。

#### 4) 烟丝含水率对比分析

由表2可知,传统废烟线加工后的烟丝含水率提升幅度达0.60个百分点以上,主要是传统废烟线上在烟丝与辅料分离前设置有蒸汽回潮装置,具有对残废烟支回潮的功能。YN30型残废烟支烟丝回收装备加工后的烟丝含水率会有一定程度的降低,但降低幅度小于0.32个百分点。

综上所述可知,YN30型残废烟支烟丝回收装备具有良好的加工质量保障能力,对常规卷烟和细支卷烟都具有良好的加工适应性,可与在线卷烟机配套进行在线废烟处理烟丝回收,也可应用于离线废烟收集集中处理烟丝回收,具有良好的应用前景和现实意义。

## 4 结语

本文基于搓打挤压、静电吸附和负压剔除相结合原理研制了一种YN30型残废烟支烟丝回收装备,实现了高回收率和较高处理工艺质量的功能。通过与进口设备对比测试分析,结果表明:加工常规卷烟残废烟支烟丝回收率 $\geq 80.0\%$ ,细支卷烟残废烟支烟丝回收率 $\geq 70.0\%$ ,烟丝纯净度 $\geq 99.0\%$ ,烟丝整丝率 $\geq 60.0\%$ ,碎丝率 $\leq 6.0\%$ ,加工前后烟丝含水率变化 $\leq 0.5\%$ ,能够满足常规卷烟和细支卷烟的残废烟支处理要求,在烟丝纯净度、烟丝结构、烟丝含水率等指标方面具有较好

的优势,同时具备结构紧凑、工作稳定可靠、维护方便等特点,并拥有自主知识产权,具有较好的适应性、应用前景和推广价值。

## 参考文献:

- [1] 王轶,曾伟中,李强,等. 适宜细支残烟处理装置的改进[J]. 安徽农业科学,2021,49(8):184-187.
- [2] 王汉岭. 提高S200型废烟回收机回收细长烟支残烟效率[J]. 科技资讯,2012,10(11):100-101.
- [3] 李成刚,许克静,王爱霞,等. 基于S400残烟机的烟丝回收工艺优化[J]. 食品与机械,2018,34(7):215-219.
- [4] 陈平. 气吹式残烟支烟丝回收机的设计研究[J]. 机械工程师,2013(8):38-39.
- [5] 蔡培良,李明,杨剑锋,等. PROTOS-M5型卷接机组残烟自动回收分类装置的设计[J]. 烟草科技,2017,50(4):88-92.
- [6] 刘禹江,金姝彬,张朝晖,等. ZJ17卷接机组烟丝在线回收装置的研制与应用[J]. 烟草科技,2014,47(6):26-28.
- [7] 祝荣壮. 一种烟丝精选装置系统设计[J]. 机械设计与制造工程,2017,46(4):75-78.
- [8] 叶松涛. FY36废烟支处理机柔性分离系统的设计分析[J]. 中国新技术新产品,2012(2):2-3.
- [9] 王爱峰. 用SolidWorks计算零件的转动惯量[J]. 金属加工(冷加工),2012(21):73.
- [10] 秦建,张腾健,彭小冬,等. 打叶复烤二次静电除杂工艺参数仿真与验证[J]. 福建工程学院学报,2023,21(1):14-19.
- [11] 刘浩,戴宁. 基于树干振动原理的核桃采收机设计[J]. 机械制造与自动化,2023,52(1):226-229.
- [12] 胡水. 静电吸附式月壤微量采样器设计研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2021.
- [13] 毛六平,唐艳,谭政华. 静电测量及其程序设计[J]. 仪表技术与传感器,2001(1):21-22,41.
- [14] 秦瑞霞,徐华东,陈能志,等. 基于介电谱的介电常数与木材含水率的相关性[J]. 中南林业科技大学学报,2022,42(3):162-169.
- [15] 余娜,徐大勇,堵劲松,等. 基于图像法和粒度分形模型的打叶过程烟片结构在线检测[J]. 农业工程学报,2012,28(5):173-177.

收稿日期:2024-01-10