

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2025.06.013

烟草物料移动式掺配装置的设计

方瑞萍¹,程亮¹,普云伟¹,杨露¹,田德兴¹,唐习书¹,唐军²

(1. 红云红河烟草(集团)有限责任公司 会泽卷烟厂,云南 曲靖 654200;

2. 云南中烟工业有限责任公司技术中心,云南 昆明 650224)

摘要:为解决小尺寸烟片、回收烟丝等小流量烟草物料灵活掺配问题,设计一种移动式烟草物料掺配装置。将此装置应用于叶丝冷却工序,对 VAS 梗签剔除物中的可回收烟丝进行掺配。结果表明:主线烟丝流量变异系数平均值为 3.28,说明掺配过程不会对主线烟丝流量产生较大波动;主线烟丝含水率平均值为 12.70%,含水率 CPK 平均值为 2.23,说明掺配过程不会对主线烟丝含水率造成较大的影响;感官质量评价得分平均值为 90.1 分,高于设计值,这说明回收烟丝的掺配不会对卷烟质量造成负面影响。

关键词:烟草物料;掺配装置;电机频率;流量;含水率;感官质量

中图分类号:TS452⁺.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2025)06-0072-06

Design of Mobile Blending Device for Tobacco Materials

FANG Ruiping¹, CHENG Liang¹, PU Yunwei¹, YANG Lu¹, TIAN Dexing¹, TANG Xishu¹, TANG Jun²

(1. Huize Cigarette Factory, Hongyun Honghe Tobacco (Group) Co., Ltd., Qujing 654200, China;

2. Technical Center of Yunnan Tobacco Industry Co., Ltd., Kunming 650224, China)

Abstract:To address the issue of the flexible blending of small-sized tobacco materials such as small tobacco sheets and recovered tobacco, a mobile tobacco material blending device is developed, which is utilized in the leaf cooling process to blend recovered tobacco in the VAS stem removal with the mainline tobacco. The results show that the average coefficient of variation of the mainline tobacco flow rate is 3.28, indicating that blending recovered tobacco does not cause significant fluctuations in the mainline tobacco flow rate. The average moisture content of the mainline tobacco is 12.70%, with a CPK average value of 2.23, suggesting that the blending process of recovered tobacco does not significantly affect the moisture content of the mainline tobacco. The average score for sensory quality evaluation is 90.1 points, higher than the design value, indicating that blending recovered tobacco does not have a negative impact on the cigarette quality.

Keywords:tobacco materials; blending device; motor frequency; flow rate; water content; organoleptic quality

0 引言

在卷烟制丝生产过程中,多工序会产生小尺寸烟片和可回收烟丝,这些物料往往是影响全批次物料消耗的重要因素。根据“提质降耗”的要求,须对造碎产生的小尺寸碎烟片和可回收烟丝进行回掺,且其掺配的均匀性直接影响卷烟的内在品质^[1-2]。根据工艺要求,对制丝过程中产生的小尺寸烟片和可回收烟丝进行收集,然后根据工艺要求,在合适的工序进行掺配,从而达到降低物料消耗的目的^[3]。近几年制丝线防漏料装置及烟丝掺配装置的研究成为关注的焦点,赵梦达^[4]

研发了一种提高气流烟丝掺配均匀性的装置,采用振动松散装置将结团的叶丝进行振动松散,以提高掺配的均匀性;司小山等^[5]研制了一种烟草小尺寸碎烟片自动添加装置,采用振动输送机作为动力源,能够减少员工工作量;郭硕达等^[6]设计了一种基于电子皮带秤的物料掺配控制装置,在传统的机构上增设宽度调控机构和厚度调控机构,从而提高低流量掺配的均匀性。目前大部分生产厂采用的是喂料提升机、电子秤、输送带结构进行物料掺配,但该种设备组合复杂、路线长、占地面积大,带锯齿形部件的喂料提升机带来的造碎和漏料相对较多,且不够柔性化,更适合于在固

基金项目:云南省重大科技专项计划项目(202002AD080001);红云红河烟草(集团)有限责任公司科技计划项目(HYHH2021GY03)

第一作者简介:方瑞萍(1990—),女,云南曲靖人,工程师,一级注册计量师,硕士,研究方向为烟草化学和卷烟工艺,121297066@qq.com。

通信作者简介:程亮(1984—),男,云南曲靖人,工程师,本科,研究方向为卷烟生产及工艺质量管理,68280676@qq.com。

定工序、掺配量稍大的情况下使用。而对于掺配量较少且掺配均匀性要求较高的碎烟片及回收烟丝的掺配,则需要更加柔性化且不易产生漏料和二次造碎的掺配装置,能够便捷地在多个点位灵活使用。如果采用人工掺配到指定的输送带上,往往产生主线流量、水分波动或掺配不均匀的问题,带来产品质量隐患。本文设计一种结构简单、使用灵活、流量可控的掺配装置,以解决小尺寸碎烟片、可回收烟丝、颗粒梗等小流量物料掺配问题。

1 问题分析

某卷烟厂的制丝生产过程采用德国某公司生产的 VAS 流化床式除杂系统来对烘后烟丝进行冷却和梗签剔除。在筛分和剔除烟丝中梗签和烟末的过程中,受来料流量、风量大小、梗签在烟丝中的形态分布等因素的影响,实际生产中 VAS 系统无法将梗签与烟丝彻底分离,导致梗签剔除物中含有一定量的可回收烟丝,造成烟丝浪费。经探究,以每批物料投料量 $8\,000\text{ kg}\pm 50\text{ kg}$ 计算,在剔除强度为 80 kg/批次 的情况下,梗签剔除物中含有可回收烟丝约 10.5 kg 。工厂研发团队设计了一套“集物料分离、风选、烟丝提纯”的装置^[7-10],部分牌号回收烟丝可在线掺配,但根据生产工艺,部分高端牌号产生的回收丝须降级掺配到其他牌号,这就需要将这部分可回收烟丝先收集,后续再添加到其他牌号。因没有可灵活使用的掺配装置,目前采用人工对可回收烟丝在 VAS 系统后主线上进行掺配,但还存在两方面的不足:一是需专门安排一名人员完成掺配工作,占用人力资源;二是人工掺配实际为间歇性掺配,随意性较大,不能保证回收丝掺配的连续性、均匀性,可能导致主线物料水分和生产流量波动。

为有效解决回收丝、颗粒梗、小尺寸烟片等物料掺配问题,本文设计了一种移动式综合掺配装置^[11]。

2 系统设计

2.1 掺配装置设计思路

刘峰波等^[12]设计了一种皮带计量系统,采用三维重建技术,计算输送带上物料的“体积流量”,可有效控制运行成本。本文根据电机变频可调的原理设计了皮带计量掺配装置,装置设计满足以下技术要求:1) 人工输入物料掺配总质量并

设定掺配时长,PLC 自动计算掺配流量;2) 通过变频器控制计量带输送速度,实现掺配流量的调整;3) 通过激振筛分振槽对物料中的烟末、烟灰及碎烟片进行剔除、筛分;4) 取主线输送设备运行信号作为该装置的启停信号,通过航空插头进行硬件连锁,实现与主线同步启停,同时对装置进行供电;5) 装置集成安装于一个移动平台上,可在任意工序对小尺寸烟片或回收的烟丝进行掺配。

根据装置设计技术要求及现场使用的功能需求,其运行流程如图 1 所示。

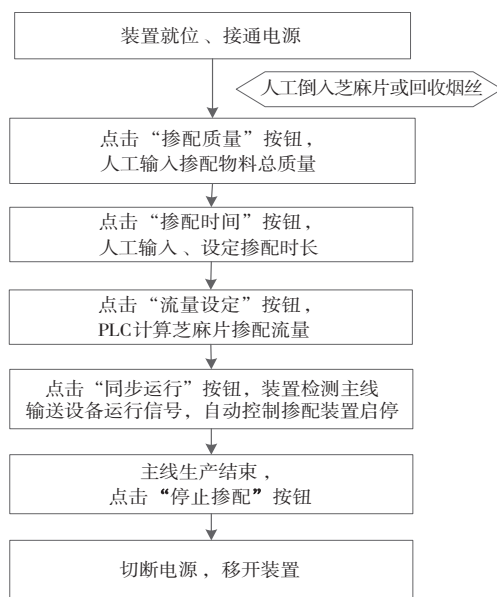
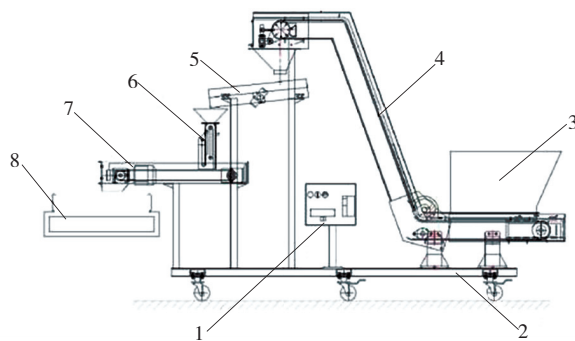


图 1 移动综合掺配装置运行流程图

2.2 装置的整体结构

根据移动式掺配装置需要满足多工位移动、物料筛分及定量掺配的综合需求,该装置主要由电控柜 1、移动底座 2、料斗 3、物料提升机构 4、激振筛分振槽 5、计量管 6、裙边计量带 7 组成,其结构如图 2 所示。



1—电控柜;2—移动底座;3—料斗;4—物料提升机构;
5—激振筛分振槽;6—计量管;7—裙边计量带;8—主线输送带。

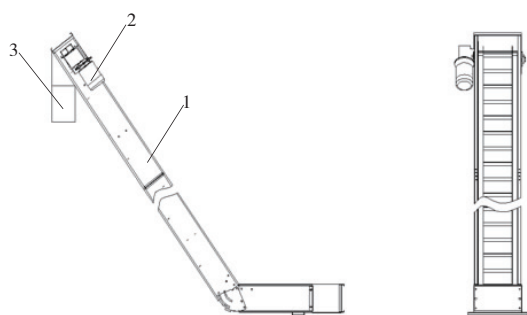
图 2 移动综合掺配装置设计结构示意图

统一收集的小尺寸烟片或可回收烟丝根据工艺掺配要求,由人工集中倾倒至料斗3内;物料提升机构4将物料均匀提升输送至激振筛分振槽5,该激振筛分振槽对物料中的烟灰、烟末进行有效筛分,提高掺配物料的纯净度,筛分产生的烟灰、烟末经下部的溜管进入收集袋统一进行收集处理,无需进入制丝线集中除尘系统。经筛分后的小尺寸烟片或可回收烟丝进入掺配计量管6,起到缓存及提高输送均匀性的作用,同时可根据计量管内物料高度控制前段输送设备的启停。伸缩式裙边计量带7因其结构特性,可确保小尺寸烟片或可回收烟丝在计量带表面不打滑,确保计量带计量的准确性。所需掺配的物料经计量带完成流量控制和输送后,最终进入主线输送设备完成掺配。

为确保该装置能与主线各掺配点位的输送设备有效衔接,并能在车间多数区域顺利移动穿行,在将裙边计量带设计成具有滑轨的伸缩式计量带的同时,结合车间现场实际空间,对装置最大长度、最大宽度及最大高度进行了严格控制。

2.3 物料提升机构

因该装置需实现多点位灵活移动使用,其结构应尽可能紧凑。因此物料提升机构输送带选择裙边式输送带,可增大物料提升角度,降低装置占地面积。同时,该提升机构采用PE板作为提升物料的防滑部件,而未采用传统的锯齿形不锈钢部件,可有效降低烟丝造碎,物料提升机构如图3所示。



1—裙边式输送带;2—减速机;3—落料口。

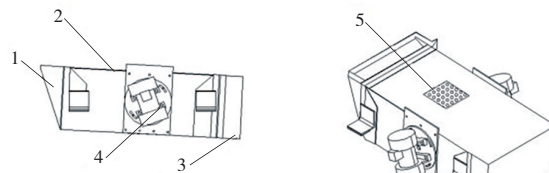
图3 物料提升机构主视图和左视图

2.4 激振筛分装置

行业内常用的振动筛分结构有摇臂式、簧板式、激振式,因该移动装置要求其设计结构较为紧凑,而摇臂式、簧板式设计结构需要偏心传动总成作为槽体驱动单元,整体安装空间要求较大,而激

振电机驱动振筛的方式没有凸轮轴及连杆等组件,结构简单,机械效率高^[13],因此筛分装置采用激振电机作为动力源。

根据卷烟工艺规范,为了满足烟丝纯净度要求,激振筛分装置需将烟丝长度小于1 mm的碎丝剔除,故将振筛筛孔尺寸设计成 $\phi 1.0$ mm,激振筛分装置结构如图4所示。



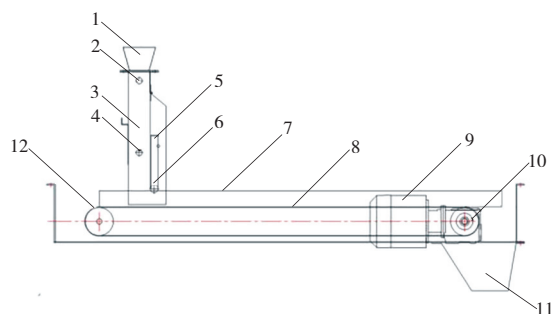
1—进料口;2—振筛槽体;3—物料出口;4—激振电机;5—筛网。

图4 激振筛分装置主视图和轴射图

2.5 掺配计量机构

为满足小尺寸烟片、回收丝等小流量掺配均匀性及多工位移动掺配的需求,掺配计量带未采用传统电子皮带秤所采用的称重传感器进行称重的原理,而是采用“一定条件下物料密度不变,掺配质量与其掺配速率成正比关系”的原理进行流量控制。

掺配计量核心装置主要包括计量管和裙边计量带,其设计结构如图5所示。



1—进料斗;2—高位光电管;3—料筒;4—低位光电管;
5—滑门;6—均料辊;7—挡料板;8—裙边计量带;
9—传动电机;10—主动辊;11—出料斗;12—从动辊。

图5 计量装置设计结构示意图

经激振振筛筛分后的物料由进料斗1进入计量管料筒3。计量管上安装有高度可以手动调节的滑门5和均料辊6,用于对物料进行均匀铺放。计量管上设置高位光电管2和低位光电管4,用于控制在计量管内的物料高度。裙边计量带8两侧设置有挡料板7(左、右各一块),通过均料辊6和挡料板7的共同作用,使物料形成厚

度和宽度一致的料层。主动辊 10 由电机 9 提供动力,主动辊 10 通过裙边计量带 8 带动从动辊 12 旋转。裙边计量带的输送速度由电机的转速进行控制,物料均匀地通过出料斗 11 输送至主线输送设备上,进而完成物料的掺配。

裙边计量带机构由挡料板、裙边计量带、电机、主动辊、从动辊组成。裙边计量带结构如图 6 所示。

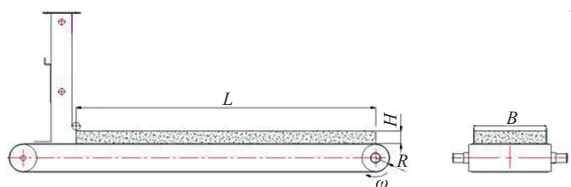


图 6 裙边计量带主视图及左视图

物料通过计量管下至输送带的过程中,由均料辊和挡料板共同作用,将物料均匀地铺放于输送带上。输送带的动力由电机提供,电机带动主动辊,主动辊将动力传递给从动辊,从而带动输送带运行,输送带的运行速度由电机频率决定,运行过程中,一旦滑门位置固定,物料的厚度、高度一定,通过调节电机频率即可控制输送带速度,从而控制物料流量^[14-15]。

2.6 电气控制部分

采用 PLC 作为核心控制部件,通过线路连接将 PLC 和现场设备构成一个有机整体,负责管理整个系统的控制程序和逻辑功能^[16-17]。变频器与计量带输送电机采用闭环控制,通过触控屏输入相应掺配质量、掺配时间、设定流量等参数,由 PLC 依据主线计量秤瞬时流量及掺配流量控制原理编写程序实现计量带变频调速,实现掺配流量的稳定性。计量管低、中、高料位检测信号和料斗料位检测信号及主线设备运行信号通过控制逻辑实现整体装置逆序启动,实现掺配流量的准确性。

3 掺配流量控制原理

3.1 掺配流量控制原理推导

根据机械设计^[18]相关知识,裙边计量带掺配流量控制原理分步推导过程如下。

1) 小尺寸烟片掺配流量 Q 的计算公式为

$$Q = \frac{M}{t} \quad (1)$$

式中: M 为小尺寸烟片物料质量,kg; t 为掺配时间,min。

2) 单位时间内小尺寸烟片掺配质量 M 的计算公式为

$$M = V \cdot \rho = (L \cdot B \cdot H) \cdot \rho \quad (2)$$

式中: L 为单位时间内物料的长度,mm; B 为料层有效宽度,mm; H 为料层高度单位,mm; ρ 为小尺寸烟片密度,kg/m³。

3) 单位时间内计量带的输送长度 L 的初步计算公式为

$$L = v \cdot t = \omega \cdot R \cdot t = \omega \cdot \frac{D}{2} \cdot t \quad (3)$$

式中: v 为计量带线速度,m/s; ω 为主动辊角速度,rad/s; D 为主动辊半径 R 与计量带厚度 δ 之和的 2 倍,mm,即 $D = 2(R + \delta)$ 。

则单位时间内 L 的最终计算公式为

$$L = v \cdot t = \omega \cdot R \cdot t = \omega \cdot \frac{D}{2} \cdot t = \omega(R + \delta) \cdot t \quad (4)$$

4) 将式(2)和式(4)代入式(1)可得 Q 的初步计算公式为

$$Q = \frac{M}{t} = \frac{(L \cdot B \cdot H) \cdot \rho}{t} = \frac{\omega(R + \delta) \cdot B \cdot H \cdot \rho}{t} = \omega \cdot (R + \delta) \cdot B \cdot H \cdot \rho \quad (5)$$

5) 电机减速机输出轴额定转速 N 对应的频率为 50 Hz。设频率为 f 时,电机减速机输出轴转速为 N_f, N_f 的计算式为

$$N_f = \frac{f}{50} N \quad (6)$$

式中: N 为电机减速机输出轴额定转速,r/min; f 为电机运行频率,Hz。

6) 因电机减速机与主动辊采用直连式安装,则减速机输出轴转速 N_f 与主动辊转速 n 相等,即 $N_f = n$ 。

在电机频率为 f 时,主动辊角速度 ω 与其转速 n 的换算关系式为

$$\omega = 2\pi \cdot n = 2\pi N_f \quad (7)$$

由式(6)和式(7)可知, ω 与 f, N 之间的换算关系式为

$$\omega = 2\pi \cdot \frac{f}{50} N = \frac{\pi f N}{25} \quad (8)$$

7) 将式(8)代入式(5)可得

$$Q = \omega \cdot (R + \delta) \cdot B \cdot H \cdot \rho = \frac{\pi f N}{25} \cdot (R + \delta) \cdot B \cdot H \cdot \rho \quad (9)$$

8) 在完成装置的初步设计及部分器件的选型后,上式中的 R, δ, B, H, ρ, N 均为定值,则 Q 与 f 存在以下计算关系:

$$Q = \frac{(R+\delta)BHp\pi N}{25} \cdot f \quad (10)$$

因此,小尺寸烟片掺配流量 Q 仅与电机运行频率 f 有关。设置不同的电机运行频率 f , 即可得到不同的掺配流量。

3.2 掺配系数计算

结合制丝线带式输送设备各部件选型经验及小尺寸烟片物理特性,该裙边计量带机构各部件主要设计参数如下:

1) 主动辊采用包胶辊,确保主动辊与计量带之间不打滑^[19],其半径 $R=50$ mm;

2) 裙边计量带型号为 XY PE0855,食品级 PE (聚乙烯) 材质,其厚度 $\delta=3.00$ mm;

3) 小尺寸烟片料层有效宽度 $B=200$ mm;

4) 小尺寸烟片料层有效高度 $H=20$ mm;

5) 经车间现场实际测算,小尺寸烟片密度 ρ 约为 120 kg/m³;

6) 减速机选用 SEW SA47/TDT80 K4 型减速机,其主要技术参数:额定功率 $P=0.55$ kW,额定输出转速 $N=47$ r/min。

根据 Q 与 f 的计算关系式,将所有确定的参数进行整合计算,并将整合计算结果设为该小尺寸烟片综合装置的掺配系数 K , 则 $K = \frac{(R+\delta)\pi NBHp}{25}$ 。结合上述设计参数,该掺配系数 k 为 0.1502 。

该装置不同电机运行频率 f 与小尺寸烟片掺配流量 Q 的对应如表 1 所示。

表 1 掺配系数对应表

电机频率 f /Hz	掺配流量 Q /(kg/min)
10	1.50
15	2.25
20	3.00
25	3.76
30	4.51
35	5.26
40	6.01
45	6.76
50	7.51

4 应用效果

根据某卷烟厂制丝生产工艺,以云烟某品规

为例,在叶丝冷却段 VAS 梗签剔除物中产生回收烟丝约 10.5 kg,将该部分烟丝采用所设计的掺配装置进行掺配,分析其对主线烟丝流量稳定性、水分稳定性以及卷烟感官质量的影响。

4.1 试验设计

以云烟某品规在叶丝冷却至梗丝掺配段为试验工序,统计回收烟丝掺配后至梗丝掺配前主线电子皮带秤(703)流量变异系数(CP)以及该点水分仪(46-0296SC)含水率过程能力指数(CPK),共做 20 次试验。将试验批次生产的卷烟按照《卷烟产品感官质量评价评审管理规定》进行卷烟感官质量评价^[20]。

4.2 数据分析

20 个批次样品主线电子皮带秤流量变异系数统计如表 2 所示。结果表明,回收烟丝掺配后,主线烟丝流量的变异系数平均值为 3.28 ,说明流量稳定性较好,生产过程能力高^[21]。

表 2 703 电子皮带秤流量及流量变异系数统计

序号	回收烟丝掺配流量平均值/(kg/h)	掺配后主线烟丝流量平均值/(kg/h)	掺配后主线烟丝流量 CP 值
1	5.25	3 840.08	3.08
2	5.17	3 841.42	3.22
3	5.22	3 843.27	3.25
4	5.14	3 840.23	3.11
5	5.16	3 840.08	3.19
6	5.25	3 868.11	3.21
7	5.22	3 879.05	3.18
8	5.27	3 873.28	3.21
9	4.77	3 880.53	3.15
10	5.19	3 861.33	3.15
11	5.21	3 869.82	3.23
12	5.14	3 872.21	3.17
13	5.09	3 871.47	3.17
14	5.15	3 872.05	3.13
15	5.22	3 878.90	3.01
16	5.16	3 874.34	3.27
17	5.11	3 903.69	5.15
18	5.08	3 875.31	3.15
19	5.05	3 878.43	3.58
20	5.15	3 867.53	3.01

20 个批次样品含水率过程能力指数统计如表 3 所示。结果表明,回收烟丝的含水率平均值为 12.47%,掺配后主线烟丝含水率平均值为 12.70%、含水率 CPK 平均值为 2.23,说明掺配装置的使用对烟丝造成的水分散失较小,回收烟丝掺配后,不会对主线烟丝含水率造成较大的影响,过程控制较好^[22]。

表 3 含水率及含水率过程能力指数统计

序号	回收烟丝含水率平均值/%	掺配后主线烟丝含水率平均值/%	掺配后主线烟丝 CPK 值
1	12.51	12.90	2.74
2	12.53	12.92	2.54
3	12.48	12.71	2.08
4	12.39	12.49	2.74
5	12.41	12.56	2.01
6	12.36	12.49	1.94
7	12.47	12.61	1.96
8	12.41	12.53	2.50
9	12.45	12.83	1.93
10	12.45	12.71	2.25
11	12.51	12.80	2.23
12	12.44	12.72	2.12
13	12.46	12.70	2.56
14	12.39	12.61	2.23
15	12.45	12.65	2.16
16	12.46	12.69	2.35
17	12.49	12.71	2.59
18	12.51	12.75	1.91
19	12.56	12.83	2.11
20	12.57	12.88	1.76

云烟某品规试验批次卷烟感官质量评价得分情况如表 4 所示。结果表明,烟支的光泽、香气、谐调、杂气、刺激性、余味的变异系数分别为 0.00、0.01、0.00、0.02、0.01、0.01,说明回收烟丝掺配后,所生产的卷烟烟支感官质量较稳定。感官质量得分平均值为 90.1 分,高于该品规产品感官质量设计值(90.0 分),这表明回收丝的掺配不会对卷烟质量产生负面影响。

表 4 卷烟感官质量评价得分情况统计

序号	光泽	香气	谐调	杂气	刺激性	余味	得分
1	5.00	29.23	5.00	10.45	17.96	22.23	89.9
2	5.00	28.98	5.00	10.46	17.99	21.89	89.3
3	5.00	28.98	5.00	10.46	17.68	22.29	89.4
4	5.00	29.25	5.00	10.69	17.86	22.18	90.0
5	5.00	29.59	5.00	10.95	17.96	22.11	90.6
6	5.00	29.31	5.00	10.75	17.89	22.09	90.0
7	5.00	28.85	5.00	10.64	17.86	22.18	89.5
8	5.00	28.95	5.00	10.58	17.89	22.21	89.6
9	5.00	29.18	5.00	10.92	17.97	22.19	90.3
10	5.00	29.16	5.00	10.75	17.93	22.12	90.0
11	5.00	29.44	5.00	10.96	18.18	22.16	90.7
12	5.00	29.31	5.00	10.91	17.97	22.13	90.3
13	5.00	29.29	5.00	10.89	18.02	22.36	90.6
14	5.00	29.28	5.00	10.98	18.07	22.33	90.7
15	5.00	29.18	5.00	10.89	18.14	22.21	90.4
16	5.00	29.19	5.00	10.94	18.00	22.24	90.4
17	5.00	29.25	5.00	10.92	18.03	22.00	90.2
18	5.00	29.22	5.00	10.94	18.00	22.09	90.3
19	5.00	29.31	5.00	10.92	17.97	22.09	90.3
20	5.00	29.32	5.00	10.91	17.99	22.08	90.3

5 结语

基于电机频率可调原理研制了一种烟草小流量物料掺配装置,通过电机变频器控制计量带输送速度,实现掺配流量的调整,有效解决了小流量物料的灵活掺配问题,与复杂的称重传感器及 PLC 控制程序相比,该装置具有结构简单、移动灵活、造价低、控制简便、便于维护等优点。测试结果表明:采用该装置对回收烟丝进行掺配后,主线烟丝的流量变异系数平均值为 3.28,流量稳定性较好;主线烟丝含水率平均值为 12.70%、含水率 CPK 平均值为 2.23,说明回收烟丝掺配后不会对主线烟丝水分造成较大波动;回收烟丝掺配后,烟支感官质量得分平均值为 90.1 分,说明回收丝的掺配不会对卷烟质量产生负面影响。该技术和设备可以在小尺寸烟片、颗粒梗、轻薄梗丝等物料的掺配过程中推广使用,也可为解决类似问题提供借鉴。

(下转第 84 页)

- [13] 韩秀英,李旭莹,黄杰. 一种新型 3-R(4r)(4r)R 并联机构及运动学分析[J]. 工程与试验, 2024, 64(2):15-18.
- [14] 强红宾,杜亮亮,康绍鹏,等. 具有解析解的 1T2R 重载并联稳定平台运动学及动力学建模[J]. 兵工学报, 2024, 45(11):3959-3969.
- [15] 沈惠平,朱小蓉,尹洪波,等. 并联机构的结构降耦原理及其设计方法[J]. 机械工程学报, 2016, 52(23):102-113.
- [16] 杜中秋,沈惠平,孟庆梅,等. 运动解耦且正解符号化的 8R 两平移空间并联机构的设计与性能分析[J]. 中国机械工程, 2023, 34(12):1425-1435.
- [17] 朱小蓉,赵磊,沈惠平. 3T1R 解耦并联机构动力学与惯量耦合特性分析[J]. 农业机械学报, 2023, 54(9):448-458.
- [18] 杨廷力,刘安心,罗玉峰,等. 机器人机构拓扑结构设计[M]. 北京:科学出版社, 2012.
- [19] YANG T L, LIU A X, SHEN H P, et al. Topology Design of Robot Mechanisms [M]. Singapore: Springer Singapore, 2018.
- [20] 沈惠平,赵一楠,许正晓,等. 低耦合度半对称三平移并联机构拓扑设计与运动学分析[J]. 农业机械学报, 2019, 50(3):404-411, 357.

收稿日期:2024-03-29

(上接第 77 页)

参考文献:

- [1] 国家烟草专卖局颁发. 卷烟工艺规范[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2016.
- [2] 张亚平,郑丰,张晓宇,等. 基于热分析技术的烟丝掺配均匀度测定方法[J]. 烟草科技, 2019, 52(7):83-88.
- [3] 柳雨明. 基于六西格玛的 H 卷烟厂回用烟丝质量提升研究[D]. 杭州:浙江大学, 2021.
- [4] 赵梦达. 研发提高气流烟丝掺配均匀性的装置[J]. 科技创新与应用, 2018, 8(7):7-9.
- [5] 司小山, 刘海龙, 张超锋, 等. 一种烟草小尺寸烟片自动添加装置:中国, CN202022253928.4 [P]. 2021-07-27.
- [6] 郭硕达,韩伟,于振江,等. 一种基于电子皮带秤的物料掺配控制装置:中国, CN212558536U [P]. 2021-02-19.
- [7] 杨露,田德兴,刘兵,等. 基于精细化加工的卷烟叶丝回收装置优化研究[J]. 今日制造与升级, 2022(7):142-144.
- [8] 普云伟,杨露,肖智斌,等. 多级筛分-柔性风选协同的梗签废料烟丝回收系统设计[J]. 烟草科技, 2025, 58(7):60-68.
- [9] 方瑞萍,程亮,杨露,等. 基于 VAS 梗签剔除物结构形态表征的分离装置研制[J]. 农业装备与车辆工程, 2025, 63(4):115-118.
- [10] 唐习书,田德兴,方瑞萍,等. 卷烟制造过程梗签分离工艺及装备研究进展[J]. 轻工学报, 2024, 39(4):109-117.
- [11] 普云伟,方瑞萍,肖智斌,等. 一种制丝线芝麻片或颗粒梗掺配流量控制装置:中国, CN216415996 U [P]. 2022-05-03.
- [12] 刘峰波,李笑笑. 陕西黄陵建庄矿业皮带计量设计应用实践[J]. 内蒙古煤炭经济, 2022(12):139-141.
- [13] 胡安,刘延新,陈武剑,等. 一种激振筛:中国, CN219850703 U [P]. 2023-10-20.
- [14] 邢震,田野新,包建军,等. 带式输送机托辊故障诊断及协同管控研究综述[J]. 工矿自动化, 2025, 51(3):39-53.
- [15] 范国帅,刘初升,娄云利,等. 基于空间六自由度的振动筛完整动力学模型动态特性研究[J]. 中国矿业大学学报, 2024, 53(1):176-185.
- [16] 赵安,马彬彬. 基于 Profinet 通信协议的多电机运行监控系统设计[J]. 机械制造与自动化, 2024, 53(5):239-241.
- [17] 童恩善. 基于变频器与 PLC 的刨床控制系统设计[J]. 电工技术, 2025(4):8-10.
- [18] 濮良贵,纪名刚. 西北工业大学机械原理及机械零件教研室编著. 机械设计[M]. 8 版. 北京:高等教育出版社, 2006.
- [19] 孙希波. 皮带机辊筒辊皮在线包胶的修复工艺[J]. 水泥, 2024(3):75.
- [20] 杨培森,张虹,张文. 烟草检验工(物理)基础知识[M]. 郑州:河南科学技术出版社, 2021.
- [21] 烟草物理检验员(二级)专业知识编写组. 烟草物理检验员(二级)专业知识[M]. 郑州:河南科学技术出版社, 2024.
- [22] 蒋文翔,杨小辉. 叶丝线水分过程控制能力的研究[J]. 中国设备工程, 2024(3):12-16.

收稿日期:2025-02-06