

卷烟纸搭口胶施胶量在线检测方法研究

刘颖¹, 李军平¹, 谢滨¹, 刘海峰¹, 王惠君², 刘穗君^{1*}, 胡佳成², 蔡晋辉²

(1.河南中烟工业有限责任公司南阳卷烟厂, 河南 南阳 473000;

2.中国计量大学 计量测试与仪器学院, 杭州 310018)

摘要: **目的** 解决目前卷烟纸搭口胶施胶量检测方法为离线检测、施胶量小、检测难度大、效率不高的问题。**方法** 设计2种搭口胶施胶量在线检测方法, 分别为激光传感器法和外夹式超声波流量计法, 均通过测量某段时间内消耗的胶液质量以及生产的产品总数, 得出单个产品的搭口胶施胶量。其中, 激光传感器法主要通过测量皮带轮的转动圈数, 结合皮带轮转动一圈输出的胶液质量计算总的胶液质量; 外夹式超声波流量计法主要通过测量胶管内搭口胶的累积流量, 进而计算胶液质量。**结果** 为验证2种方法的可行性, 同时采用传统胶枪出胶量法、激光传感器法、超声波流量计法测量1.0、1.5、2.0 mg/支的搭口胶施胶量。由检测结果可知, 在不同搭口胶施胶量下, 激光传感器法的最大相对误差均小于外夹式超声波流量计法。**结论** 激光传感器法、超声波流量计法均满足1.0~2.0 mg/支的产品搭口胶施胶量在线检测需求, 激光传感器法的测量准确度更高, 外夹式超声波流量计法更便于安装使用。

关键词: 搭口胶; 施胶量; 在线检测; 激光传感器; 外夹式超声波; 胶枪出胶量法

中图分类号: TB48

文献标志码: A

文章编号: 1001-3563(2025)05-0129-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2025.05.016

On-line Detection Method for Sizing Amount of Cigarette Paper Lap Adhesive

LIU Ying¹, LI Junping¹, XIE Bin¹, LIU Haifeng¹, WANG Huijun²,
LIU Suijun^{1*}, HU Jiacheng², CAI Jinhui²

(1. Nanyang Cigarette Factory China Tobacco Henan Industrial Co., Ltd., Henan Nanyang 473000, China;

2. College of Metrology Measurement Instrument, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

ABSTRACT: The work aims to solve the offline detection, small sizing amount, difficult detection and low efficiency in current test method of cigarette paper overlap sizing amount. Two online detection methods for lap adhesive sizing amount were designed, namely the laser sensor method and the external clamp ultrasonic flowmeter method. Both methods calculated the sizing amount per product by measuring the total mass of glue consumed and the total number of products produced within a certain period of time. Among them, the laser sensor method mainly measured the number of rotations of the pulley and calculate the total sizing amount based on the mass of adhesive output per rotation of the pulley; The external clamp ultrasonic flowmeter method mainly measured the cumulative flow of adhesive in the adhesive pipe and then calculated the sizing amount. To verify the feasibility of the two methods, the traditional glue gun adhesive output method, the laser sensor method, and the ultrasonic flowmeter method were used to measure the lap adhesive sizing amount of 1.0, 1.5, and 2.0 mg per cigarette. The detection results showed that under different lap adhesive sizing amount, the maximum relative error of the laser sensor method was smaller than that of the external clamp ultrasonic flowmeter

收稿日期: 2024-07-02

基金项目: 国家自然科学基金(42007004); 河南中烟工业有限责任公司科技项目(RH202201、A202053)

*通信作者

method. Both the laser sensor method and the ultrasonic flowmeter method meet the online detection requirements for the lap adhesive sizing amount of 1.0 to 2.0 mg per cigarette. The laser sensor method has higher measurement accuracy, while the external clamp ultrasonic flowmeter method is more convenient for installation and use.

KEY WORDS: lap adhesive; sizing amount; online detection; laser sensor; external clamp ultrasonic; glue gun yield method

卷烟纸搭口胶是烟支的重要组成部分,主要用于粘接烟支卷烟纸的纵向搭口^[1-2]。卷烟纸搭口胶施胶量过多或过少时,烟支易产生爆口、翘边、溢胶等质量缺陷,影响烟支的外观质量^[3]。卷烟纸搭口胶直接参与烟支燃烧,燃烧分解产生多种化学成分,影响烟支的感官品质^[4-6]。为保障烟支的最终加工质量,卷烟纸搭口胶施胶量必须保证在工艺规定范围内。

目前,烟草行业大多采用胶枪出胶量法检测卷烟纸搭口胶施胶量,在卷烟机组空转状态下,称量供胶装置喷嘴处溢出的胶液质量,并结合该段时间内生产的烟支总数,计算单支烟支的施胶量。但该方法只能在离线条件下进行,需等到生产结束才能检测搭口胶施胶量,存在检测灵活性差、耗时长、效率低、人工依赖程度高的缺点^[7]。

熊安言等^[8]采用金属标记物法向搭口胶中添加含 Zn 元素的标记物,通过测量卷烟纸上施胶前后标记物的质量分数,计算烟支的搭口胶施胶量。樊亚铃等^[9]采用气相色谱质谱联用法,通过测量卷烟纸和搭口胶中 2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇双异丁酸酯(TXIB)增塑剂的含量,计算搭口胶施胶量。这 2 种方法的测量结果准确度较高,但与胶枪出胶量法相比存在检测成本高、操作复杂、耗时长、效率不高等缺点,目前只能在实验室条件下进行,不便于推广使用。

烟支的卷烟纸搭口胶施胶量一般为 1.0~2.0 mg/支,搭缝为 1 mm 左右,不仅施胶量少,而且施胶区域小。因此,卷烟机组搭口胶供胶装置在供胶时,搭口胶流量属于微小流量范围,导致其检测难度较大。针对目前卷烟纸搭口胶施胶量测量难度高,已有检测方法只能离线检测且效率低的问题,本文以烟草行业各卷烟厂应用较为广泛的 ZJ118 型卷烟机组(额定产能 8 000 支/min,生产状态下根据产量和工艺要求通常设定为 6 000~7 500 支/min)为研究对象,根据其搭口胶供胶装置的结构特点,分别设计了激光传感器法、外夹式超声波流量计法,实现了搭口胶施胶量的在线自动化检测,提高了搭口胶施胶量检测的智能化程度及检测效率,为搭口胶施胶量的实时调控提供支撑。

1 卷烟纸搭口胶供胶装置工作原理

某卷烟厂 ZJ118 型卷烟机组搭口胶供胶装置如图 1 所示,其涂胶原理如下。胶桶内的搭口胶在压缩

空气作用下,依次经过过滤器、胶泵传动机构,最终到达供胶装置喷嘴处,从而将搭口胶涂在卷烟纸搭口规定的位置。其中,胶泵传动机构作为供胶装置的核心组成部分,通过调节皮带轮转速,将与烟支的卷烟纸搭口胶施胶量及生产速度成比例的恒定胶水量送入供胶装置喷嘴处。

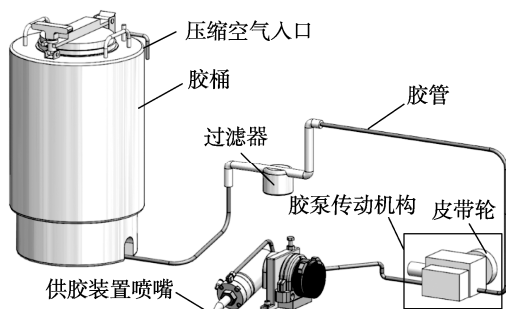


图 1 ZJ118 型卷烟机组搭口胶供胶装置机械结构示意图

Fig.1 Mechanical structure for lap adhesive supply device of ZJ118 type cigarette unit

2 卷烟纸搭口胶施胶量在线检测原理

在进行搭口胶施胶量检测时,激光传感器法、外夹式超声波流量计法的检测原理相同,均通过检测某段时间内消耗的胶液质量 M ,以及该段时间内对应生产的烟支数量 N ,计算单支烟支的搭口胶施胶量 G ,见式(1)。

$$G = \frac{M}{N} \quad (1)$$

卷烟纸搭口胶施胶量在线检测方法原理如图 2 所示。在实际进行搭口胶施胶量检测时,2 种方法对 N 的测量方式相同,均采用光电开关进行在线直接测量。激光传感器法、外夹式超声波流量计法的主要区别是对 M 的测量方式不同,2 种方法分别以激光传感器、外夹式超声波流量计为核心对 M 进行在线间接测量。

2.1 激光传感器法

因 ZJ118 型卷烟机组搭口胶供胶装置的施胶量与皮带轮的转速存在一定比例关系,故激光传感器法在测量 M 时,首先通过激光传感器测量供胶装置核心部件皮带轮转动的圈数,再结合定量标定后皮带轮转

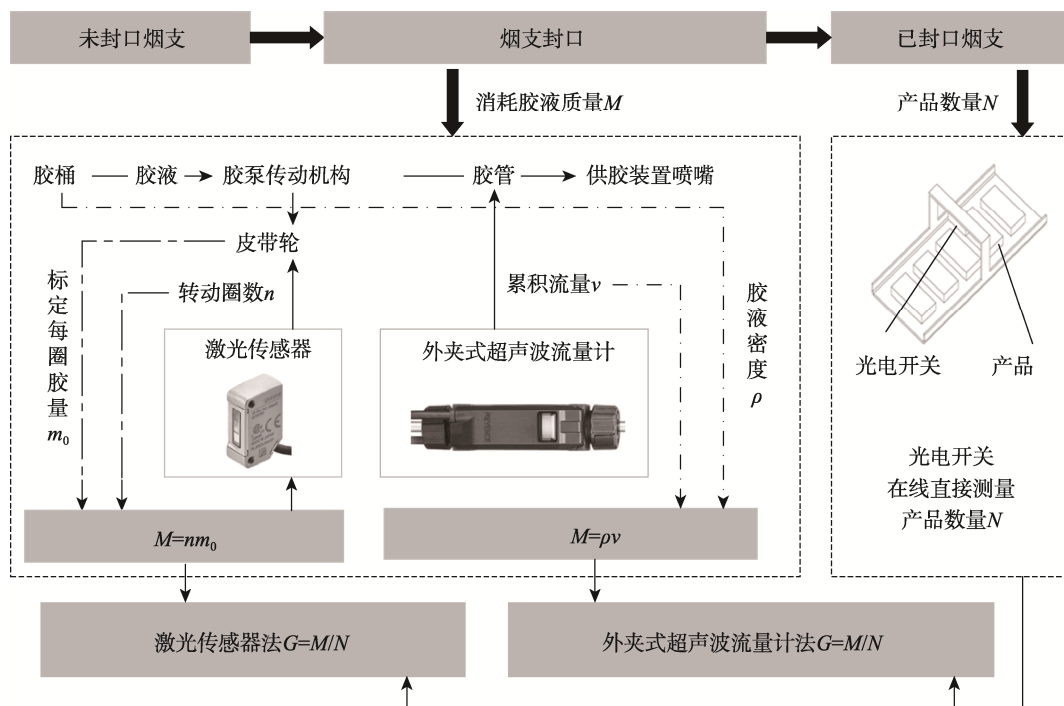


图 2 卷烟纸搭口胶施胶量在线检测方法原理

Fig.2 Principle of on-line detection method for sizing amount of cigarette paper lap adhesive

动一圈输出的搭口胶质量,进而测出该段时间内消耗的胶液总质量。通过激光传感器法检测单支烟支搭口胶施胶量 G 时,可用式(2)计算。

$$G = 1000 \frac{nm_0}{N} \quad (2)$$

式中: G 为单支烟支卷烟纸搭口胶施胶量, mg/支; n 为皮带轮转动圈数; m_0 为皮带轮转动一圈输出胶液质量, g/圈; N 为烟支数量。

2.2 外夹式超声波流量计法

外夹式超声波流量法在测量 M 时,首先通过外夹式超声波流量计测量胶管内搭口胶的累积流量,根据检测起始与结束时刻超声波流量计的累积流量测量值 v_1 、 v_2 ,再结合安东帕 DMA35 密度计测量的搭口胶密度 ρ ,测量出检测期间消耗的胶液质量。通过外夹式超声波流量计法检测 G 时,可用式(3)计算。

$$G = \frac{1000\rho(v_2 - v_1)}{N} \quad (3)$$

式中: ρ 为搭口胶液密度, g/mL; v_1 为检测初始时刻累积流量, mL; v_2 为检测结束时刻累积流量, mL。

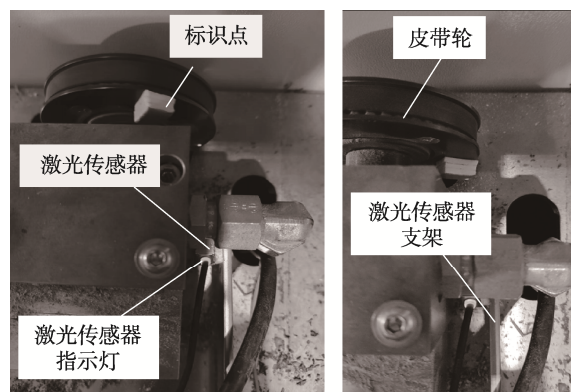
3 搭口胶施胶量测量系统设计

3.1 硬件选型

3.1.1 激光传感器

激光传感器选用基恩士 LR-X100S (图 3), 该传感器体积小, 便于安装在现场的狭窄空间^[10]。当采用

激光传感器法进行搭口胶施胶量检测时,在胶泵传动机构的皮带轮表面粘贴白色胶带,人为制作出皮带轮表面高度差,作为激光传感器的检测标识点。当激光传感器检测到皮带轮上的标识点时,指示灯由绿变橙,并输出 PNP/NPN 型脉冲信号。

图 3 LR-X100S 激光传感器
Fig.3 LR-X100S laser sensor

3.1.2 超声波流量计

外夹式超声波流量计选用基恩士 FD-XS8S (图 4),当采用外夹式超声波流量计法进行搭口胶施胶量检测时,为避免过滤器、胶泵传动机构等中间环节的暂存胶液干扰 M 的测量,将外夹式超声波流量计安装在胶泵传动机构与供胶装置喷嘴之间的一段胶管上,超声波流量计检测到的胶管内搭口胶累积流量直接在显示器上显示,也可通过 PNP/NPN 脉冲信号输出^[11]。

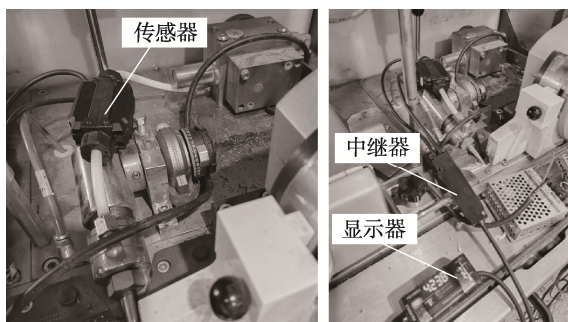


图4 FD-XS8S 外夹式超声波流量计

Fig.4 FD-XS8S external clamp ultrasonic flowmeter

外夹式超声波流量计只要夹在管路上即可使用,不需要拆装或改造生产线原有管路。

3.1.3 脉冲计数器

激光传感器、外夹式超声波流量计、光电开关均输出 PNP/NPN 型脉冲信号,本文选用舟正科技 DAQM-4302 脉冲计数器(图5),同时累加3种仪器输出的脉冲信号,并通过 RS-485 通信传输累加结果,便于上位机软件对仪器测量信号进行采集与处理^[12-14]。

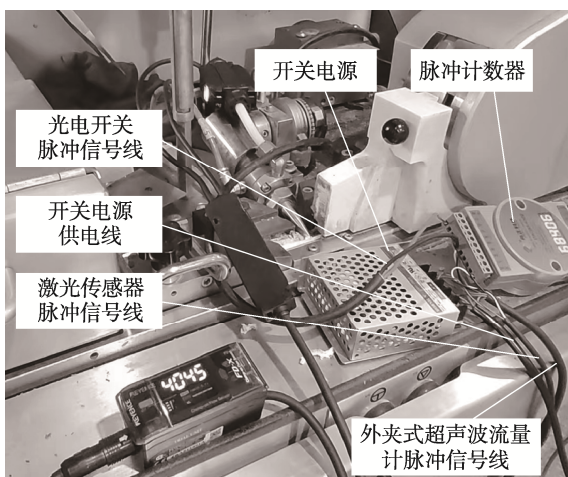


图5 DAQM-4302 脉冲计数器

Fig.5 DAQM-4302 pulse counter

3.2 上位机软件开发

搭口胶施胶量检测的上位机软件主界面如图6所示^[15-16]。

当采用超声波流量计法进行搭口胶施胶量检测时,上位机软件将图6中输入的检测时长作为检测结束信号。当采用激光传感器法时,光电开关连续2次检测到烟支的最长时间间隔为10 ms,激光传感器连续2次检测到皮带轮上标识点的最长时间间隔为4 s。为了削弱搭口胶施胶量检测误差,上位机软件将检测时长和激光传感器的脉冲信号组合作为检测的起始与结束信号,如图7所示。将激光传感器检测到标识点时刻作为检测起始及结束时刻,降低了皮带轮圈数和烟支生产数量采集的同步误差,提高了测量准确度。



图6 搭口胶施胶量检测上位机软件主页面

Fig.6 Main page of host computer software for lap adhesive sizing amount detection

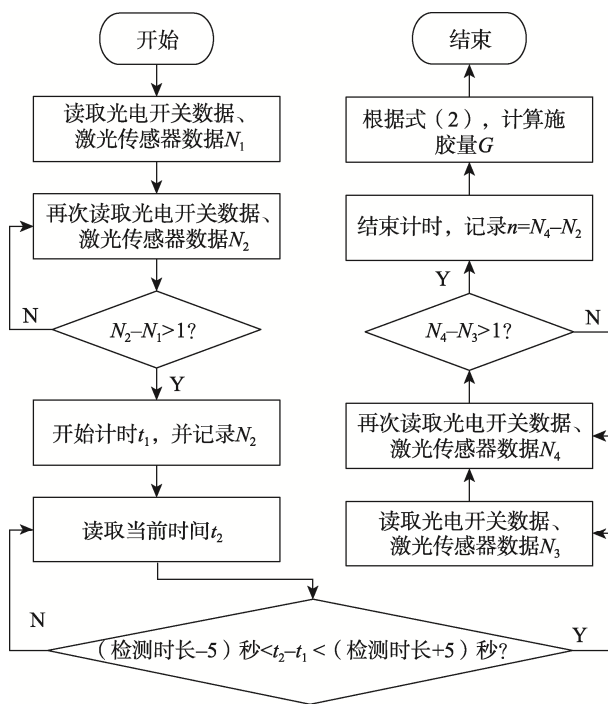


图7 激光传感器法上位机软件处理流程

Fig.7 Host computer software processing flow by laser sensor method

4 搭口胶施胶量测量实验

4.1 激光传感器法的 m_0 标定实验

当采用激光传感器法进行搭口胶施胶量测量时,为确定式(2)中皮带轮转动一圈输出的搭口胶质量 m_0 ,在烟支不同卷烟纸搭口胶施胶量、不同生产速度下进行 m_0 标定实验。

m_0 标定实验的原理为通过梅特勒托利多 MX303N/A 精密天平称量供胶装置喷嘴处溢出的胶液质量 M_b ,并通过 SW-6234C 转速仪测量该段时间内皮带轮转动的圈数 R_b ,从而得出皮带轮转动一圈输出的搭口胶质量 $m_0=M_b/R_b$ 。

m_0 标定实验在 ZJ118 型机组离线状态下进行, 在不同卷烟纸搭口胶施胶量与生产速度下选取 12 个标定点, 每个标定点各进行 10 次重复标定实验, 取实验结果的均值作为该标定点下的 m_0 , 且单次标定时长不少于 5 min。标定实验结果见表 1。

表 1 皮带轮转动一圈输出胶液质量 m_0 标定实验
Tab.1 m_0 calibration experiment for adhesive output in one rotation of belt pulley

施胶量/ (mg·支 ⁻¹)	烟支生产速度/(支·min ⁻¹)			
	7 500	7 000	6 500	6 000
1.0	0.485	0.485	0.486	0.485
1.5	0.484	0.485	0.485	0.484
2.0	0.486	0.485	0.485	0.485

注: m_0 单位为 g/圈。

由表 1 可知, 烟支的卷烟纸搭口胶施胶量和生产速度发生变化时, m_0 基本不变, 即 m_0 与烟支的卷烟纸搭口胶施胶量及生产速度变化无关, 因此 m_0 取 12 个标定点下实验结果的均值 0.485 g/圈。

在产品实际涂胶过程中, 当搭口胶施胶量或生产速度发生变化时, 供胶装置的 m_0 基本不变, 但是皮带轮的转速会改变, 即皮带轮每分钟转动的圈数会发生变化, 每分钟输出的胶液总质量会增加或减少, 从而实现对搭口胶施胶量的调节。

4.2 搭口胶施胶量检测方法性能验证实验

为验证激光传感器法与外夹式超声波流量计法的搭口胶施胶量检测性能, 本文采用传统胶枪出胶量法、激光传感器法、外夹式超声波流量计法同时测量供胶装置 1.0、1.5、2.0 mg/支的搭口胶施胶量, 并将胶枪出胶量法的施胶量检测结果作为供胶装置的真实施胶量, 以验证激光传感器法、外夹式超声波流量计法的准确度, 实验结果分别见表 2~4。

由表 2~4 的性能验证实验结果可得出以下结论。

1) 在检测 1.0~2.0 mg/支的搭口胶施胶量时, 激光传感器法、外夹式超声波流量计法均具有一定的可行性;

表 2 1.0 mg/支搭口胶施胶量检测性能验证实验
Tab.2 Performance validation experiment of lap adhesive sizing amount detection of 1.0 mg per piece

生产速度/ 胶枪出胶量法/激光传感器法/ 外夹式超声波流 (支·min ⁻¹) (mg·支 ⁻¹) (mg·支 ⁻¹) 量计法/(mg·支 ⁻¹)			
6 000	1.000	1.007	1.011
6 500	1.001	1.009	0.991
7 000	1.000	1.008	1.011
7 500	1.002	1.008	0.989
最大相对 误差/%	—	0.90	-1.30

表 3 1.5 mg/支搭口胶施胶量检测性能验证实验
Tab.3 Performance validation experiment of lap adhesive sizing amount detection of 1.5 mg per piece

生产速度/ 胶枪出胶量法 激光传感器法 外夹式超声波流 (支·min ⁻¹) /(mg·支 ⁻¹) /(mg·支 ⁻¹) 量计法/(mg·支 ⁻¹)			
6 000	1.504	1.510	1.514
6 500	1.504	1.511	1.515
7 000	1.504	1.510	1.495
7 500	1.503	1.510	1.512
最大相对 误差/%	—	0.47	0.73

表 4 2.0 mg/支搭口胶施胶量检测性能验证实验
Tab.4 Performance validation experiment of lap adhesive sizing amount detection of 2.0 mg per piece

生产速度/ 胶枪出胶量法/ 激光传感器法/ 外夹式超声波流 (支·min ⁻¹) (mg·支 ⁻¹) (mg·支 ⁻¹) 量计法/(mg·支 ⁻¹)			
6 000	2.000	2.004	2.005
6 500	2.000	2.005	2.006
7 000	2.002	2.006	1.997
7 500	2.001	2.006	2.005
最大相对 误差/%	—	0.25	0.30

2) 随着烟支卷烟纸搭口胶施胶量的增加, 激光传感器法、外夹式超声波流量计法搭口胶施胶量测量结果的最大相对误差均减小, 说明产品搭口胶施胶量越多, 这 2 种方法的测量准确度越高;

3) 在不同烟支卷烟纸搭口胶施胶量下, 激光传感器法搭口胶施胶量测量结果的最大相对误差均小于超声波流量计法, 说明激光传感器法的测量准确度更高。

传统胶枪出胶量法的单次检测时间一般在 15 min 左右, 需要人工进行仪器的搬运、数据记录及处理等, 而激光传感器法、外夹式超声波流量计法的单次搭口胶施胶量检测时间不超过 6 min, 搭口胶施胶量检测的自动化、智能化程度较高, 提高了搭口胶施胶量的检测效率。

5 结论

针对烟草行业卷烟纸搭口胶施胶量小、检测难度大、现有检测方法只能离线测量、效率低等问题, 分别设计 2 种搭口胶施胶量在线检测方法, 即激光传感器法和外夹式超声波流量计法。通过分析, 可以得出以下几点结论。

1) 通过离线条件下的卷烟纸搭口胶施胶量检测性能验证实验, 证明激光传感器法、外夹式超声波流量计法进行搭口胶施胶量检测具有可行性, 同时表明激光传感器法的测量准确度更高。使用外夹式超声波流量计法只需将超声波流量计夹在管路上即可使用, 不需要拆装或改造生产线原有管路; 激光传感器法需

要在狭窄空间的转动部件上安装反光标识,并在附近安装固定激光传感器,调试激光传感器响应阈值等,步骤相对复杂,因此外夹式超声波流量计法更便于安装使用。

2) 激光传感器法、外夹式超声波流量计法通过在线无损检测模式检测卷烟纸搭口胶施胶量,在不改变卷烟机组供胶装置结构的情况下,可在产品生产过程中进行搭口胶施胶量检测。通过在线检测方式,提高检测的灵活度,便于及时发现供胶装置的异常状况,减少不合格产品的出现。通过无损检测方式,便于实际的推广及应用。

3) 激光传感器法、外夹式超声波流量计法提高了搭口胶施胶量的检测效率,为搭口胶施胶量精准调控以及提升产品包装质量提供支撑。

参考文献:

- [1] 韩云辉. 烟用材料生产技术与应用[M]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
HAN Y H. Production Technology and Application of Tobacco Materials[M]. Beijing: Standards Press of China, 2012.
- [2] 裴惠, 蒋建利, 韩志慧, 等. 卷烟用高速包装搭口胶的研究[J]. 包装工程, 2004, 25(6): 61-62.
PEI H, JIANG J L, HAN Z H, et al. Study on Preparation of High Speed Cigarette Adhesive[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(6): 61-62.
- [3] 顾亮, 郜海民, 刘文博, 等. 搭口胶施胶量对卷烟品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(10): 183-188.
GU L, GAO H M, LIU W B, et al. Effect of Different Cigarette Lap Adhesive Glue Quantity on Cigarette Quality[J]. Food & Machinery, 2016, 32(10): 183-188.
- [4] 施丰成, 周建, 黄馨, 等. 烟用搭口胶热裂解成分及挥发性有机化合物含量的分析[J]. 包装工程, 2023, 44(增刊 2): 10-15.
SHI F C, ZHOU J, HUAGN X, et al. Analysis of Pyrolysis Components and Volatile Organic Compounds in Cigarette Adhesive[J]. Packaging Engineering, 2023, 44(Sup.2): 10-15.
- [5] 姚青, 张颖. 卷烟搭口胶的裂解气相色谱-质谱分析[J]. 分析测试学报, 2007(增刊 1): 303-304.
YAO Q, ZHANG Y. Pyrolysis Analysis of Cigarette Bonding Adhesive by Gas Chromatography-Mass Spectrometry[J]. Journal of Analytical and Testing, 2007(Sup.1): 303-304.
- [6] 肖卫强, 李海锋, 曹得坡, 等. 卷烟胶热裂解产物的对比分析[J]. 中国胶粘剂, 2015, 24(2): 10-14.
XIAO W Q, LI H F, CAO D P, et al. Comparative Analysis of Thermal Cracking Products of Cigarette glue[J]. China Adhesives, 2015, 24(2): 10-14.
- [7] 河南中烟工业有限责任公司. 一种卷烟搭口胶施胶量的测定方法: CN201510132418.2[P]. 2018-03-27.
- [8] 熊安言, 王洪波, 赵冰, 等. 标记物法测定卷烟搭口胶的施胶量[J]. 烟草科技, 2018, 51(1): 64-69.
XIONG A Y, WANG H B, ZHAO B, et al. Quantifying the Amount of Seam Glue in Cigarette Tobacco Rod with a Marker Method[J]. Tobacco Science & Technology, 2018, 51(1): 64-69.
- [9] 樊亚玲, 何育萍, 李轩, 等. 基于 TXIB 的卷烟搭口胶涂胶量测定方法[J]. 烟草科技, 2020, 53(4): 69-74.
FAN Y L, HE Y P, LI X, et al. TXIB-Based Method to Quantify Seam Glue in Cigarette Tobacco Rod[J]. Tobacco Science & Technology, 2020, 53(4): 69-74.
- [10] 卢其伦, 张圆明, 马健, 等. 燃气表示值误差检定时数据自动采集存在的问题及改进措施[J]. 中国测试, 2021, 47(增刊 2): 11-14.
LU Q L, ZHANG Y M, MA J, et al. Problems and Improvement Measures in Automatic Collection for Indication Error Verification Item of Gas Meter[J]. China Test, 2021, 47(Sup.2): 11-14.
- [11] 张鹏, 余伟威, 余强. 玛依纳水电站现场水轮机效率试验[J]. 人民长江, 2020, 51(3): 185-188.
ZHANG P, SHE W W, YU Q. Field Tests of Turbine Efficiency in Moinak Hydropower Station[J]. Yangtze River, 2020, 51(3): 185-188.
- [12] 高志宇, 罗庭芳, 包超, 等. 基于功率谱均值的脉冲计数干扰识别技术研究[J]. 核动力工程, 2022, 43(增刊 2): 224-227.
GAO Z Y, LUO T F, BAO C, et al. Research for Pulse Counting Interference Recognition Technique Based on Average Value of Power Spectrum[J]. Nuclear Power Engineering, 2022, 43(Sup.2): 224-227.
- [13] MU X C, DU Y Y, WANG H. Research on Cloud-Edge AC Power Monitoring Systems Based on MODBUS[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2023, 2479(1): 012007.
- [14] 荣亚迪, 吴胜华, 王强. 用于 DCS 远距离通信的 RS485 转光纤模块设计[J]. 仪表技术与传感器, 2023(2): 40-43.
RONG Y D, WU S H, WANG Q. Design of RS485 to Optical Fiber Module for DCS Long-Distance Communication[J]. Instrument Technique and Sensor, 2023(2): 40-43.
- [15] ZHOU Y C, ZHANG T Y, HU J H. System Design and SVM Identification Algorithm for the Ultrasonically Catalyzed Single-Sensor E-Nose[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2022, 71(2): 1.
- [16] 李双成, 宋盈盈, 刘小涵, 等. 基于 VC++ 的颈腰健身器上位机软件系统研究[J]. 国外电子测量技术, 2021, 40(12): 114-119.
LI S C, SONG Y Y, LIU X H, et al. Research on the Upper Computer Software System of Neck and Waist Trainer Based on VC++[J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2021, 40(12): 114-119.