

# 小盒烟包内框纸拼接误差的视觉检测系统设计

黎 阳, 赵致铭

红塔烟草(集团)有限责任公司玉溪卷烟厂, 云南 玉溪

收稿日期: 2026年3月12日; 录用日期: 2026年5月15日; 发布日期: 2026年6月17日

## 摘 要

卷烟包装中, 内框纸拼接精度直接影响烟包质量与生产线效率, 而现有检测设备存在适配性差、精度不足、抗干扰能力弱等问题, 难以满足卷烟机高速生产需求。文章针对该问题, 围绕拼接误差的机械成因, 设计了一套适配烟机工况的视觉检测系统。研究依次完成了拼接工艺分析、总体机械方案设计及关键部件研发, 并结合SolidWorks仿真与ZJ17型卷烟机现场实验验证了系统性能; 同时引入图像处理算法模块以保障检测精度。结果表明, 该系统检测分辨率达0.01 mm, 漏检率0.08%, 误检率0.04%, 连续无故障运行时间满足设计要求, 可精准检测拼接误差并完成缺陷标记与剔除, 有效提升烟包生产质量, 为卷烟包装机械自动化升级提供技术支撑。

## 关键词

卷烟机, 内框纸拼接, 视觉检测, 机械设计, 图像处理算法

# Design of a Visual Inspection System for Inner Frame Paper Splicing Errors in Small Box Cigarette Packs

Yang Li, Zhiming Zhao

Yuxi Cigarette Factory, Hongta Tobacco (Group) Co., Ltd., Yuxi Yunnan

Received: March 12, 2026; accepted: May 15, 2026; published: June 17, 2026

## Abstract

In cigarette packaging, the splicing accuracy of the inner frame paper directly affects the quality of the cigarette pack and the efficiency of the production line. Existing inspection equipment suffers from poor adaptability, insufficient accuracy, and weak anti-interference capabilities, making it difficult to meet the high-speed production demands of cigarette machines. This paper addresses this problem by designing a visual inspection system adapted to the operating conditions of cigarette

machines, focusing on the mechanical causes of splicing errors. The splicing process analysis, overall mechanical scheme design, and key mechanical component development were completed sequentially. The system performance was verified through SolidWorks simulation and on-site experiments on a ZJ17 cigarette machine. A new image processing algorithm module was added to ensure detection accuracy. Results show that the system achieves a detection resolution of 0.01 mm, a false negative rate of 0.08%, and a false positive rate of 0.04%. The continuous fault-free operation time meets the design requirements. It can accurately detect splicing errors and complete defect marking and removal, effectively improving the quality of cigarette pack production and providing technical support for the automation upgrade of cigarette packaging machinery.

## Keywords

Cigarette Rolling Machine, Inner Frame Paper Splicing, Vision Inspection, Mechanical Design, Image Processing Algorithm

Copyright © 2026 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

在卷烟包装生产中,内框纸拼接是烟包成型的关键机械工序,其拼接精度直接决定烟包外观质量与生产稳定性。当前卷烟机内框纸拼接过程中,受导纸辊磨损、张力控制不均等机械因素影响,易出现拼接偏移、搭口不齐等误差,不仅加剧设备部件磨损,还会导致不合格产品增多、生产效率下降[1]。传统人工检测效率低、误差大,现有检测装置存在漏检误检率高、机械适配性差等问题。

当前工业界与学术界针对卷材在线拼接及缺陷检测的视觉检测技术已开展大量研究,在纸张、薄膜、钢带等领域形成了多种技术方案[2]。工业界中,多数卷材检测系统采用单相机成像结合简单阈值分割算法,虽实现了基础缺陷检测,但存在抗干扰能力弱、适配性差的问题,难以适应卷烟机高速、多粉尘、强振动的特殊工况;部分高端系统引入多相机协同检测,但机械结构复杂、安装调试难度大,且成本较高,难以大规模推广[3]。学术界方面,研究者提出了多种优化方案,如基于机器视觉的薄膜拼接误差检测方法,采用边缘检测算法实现误差定位,但未考虑工业现场振动对成像精度的影响,实际适配性不足[4];针对钢带拼接检测的研究,虽优化了抗干扰算法,但机械结构设计未兼顾高速生产需求,检测响应速度无法匹配卷烟机生产节奏[5]。此外,现有技术多侧重单一维度的优化(或偏重算法精度,或偏重机械结构),未能实现机械结构与图像处理算法的协同适配,导致检测系统在精度、稳定性、适配性上难以同时满足卷烟包装的严苛要求[6]。

因此,针对拼接误差的机械诱因,结合现有技术的不足,设计一套适配烟机工况、具备高稳定性的视觉检测系统,实现机械结构与图像处理算法的协同优化,对优化机械结构、提升检测精度、降低生产成本具有重要现实意义,也是推动卷烟包装机械自动化升级的关键举措。

## 2. 烟机接装纸拼接工艺分析与检测需求

### 2.1. 卷烟机接装纸自动拼接机构原理

卷烟机接装纸自动拼接机构,是烟包内框纸成型过程中的核心机械部件,其核心工作逻辑是实现接装纸的连续输送、精准对接与稳定贴合。该机构的组成部件主要包括放卷辊、导纸机构、张力调节装置、

拼接执行组件以及定位传感器。在实际生产过程中, 两组放卷辊采用交替供纸的方式工作, 当其中一组纸卷即将耗尽时, 定位传感器会及时发出信号, 张力调节装置随之启动, 精准控制两卷接装纸的张力处于平衡状态, 随后拼接执行组件通过压合机构, 将新纸卷的接头与旧纸卷的末端紧密压合, 完成无缝拼接操作[7]。整个拼接过程依赖各机械部件的协调联动, 既保证了接装纸输送的连续性, 也决定了内框纸成型的质量, 其中机械传动的精度, 是控制拼接误差的关键所在。

## 2.2. 误差产生的机械原因

接装纸拼接误差的出现, 主要与机械结构的磨损、部件配合偏差以及参数调节不当等因素相关, 属于典型的机械类误差。具体来看, 导纸辊、压合辊等核心机械部件, 长期处于高速运转状态, 容易出现表面磨损、轴心偏移等问题, 进而导致接装纸在输送过程中发生偏移, 最终引发拼接错位; 其次, 张力调节机构中的弹簧经过长期使用后会出现疲劳老化, 丝杠也可能出现松动现象, 这会造成张力控制不稳定, 使得接装纸在拼接时出现拉伸或褶皱, 形成搭口不齐的误差[8]; 除此之外, 拼接执行组件的定位销磨损、气缸伸缩精度下降, 会导致接头对接时出现偏差, 同时机构安装过程中若存在水平度、同轴度偏差, 也会进一步加剧拼接误差。这些机械因素相互作用, 直接影响拼接精度, 必须通过针对性的机械设计优化来解决。

## 2.3. 检测系统的机械设计要求

结合卷烟机的实际生产工况, 以及接装纸拼接误差的检测需求, 检测系统的机械设计需重点满足稳定性、适配性、精准性这三项核心要求。从适配性来看, 检测系统的机械结构需与卷烟机的高速生产节奏相匹配, 在不干扰设备原有机械传动的前提下, 实现对接装纸拼接处的实时检测, 同时安装空间需与烟机现有结构相兼容, 避免出现机械干涉问题。从稳定性来看, 机械部件需具备良好的隔振、防尘性能, 能够有效抵御烟机运行时产生的振动干扰, 以及生产环境中的粉尘污染, 防止检测精度受影响[9]。此外, 机械结构还需具备可调性, 能够根据不同规格接装纸的拼接要求, 灵活调整检测位置与角度, 且机械响应速度需与烟机生产速度保持一致, 确保拼接误差检测的实时性和准确性, 为后续的缺陷标记、剔除工作提供可靠的机械保障。

## 3. 总体机械方案设计

### 3.1. 系统组成与布局

本视觉检测系统的机械组成包括高速成像模块、隔振安装模块、防尘冷却模块、缺陷标记与剔除模块, 以及辅助支撑与调节模块, 各模块布局遵循“紧凑合理、互不干涉、便于维护”的原则, 与卷烟机接装纸拼接机构协同布置。成像模块安装在拼接机构下游 50 mm 处, 采用对称式布局, 两台高速相机分别安装在接装纸上下两侧, 确保拼接处无视觉盲区; 隔振安装模块直接与烟机机架连接, 通过减震垫与相机支架配合, 减少设备振动对成像精度的影响; 防尘冷却模块包裹在成像模块外部, 与烟机通风系统衔接, 避免粉尘进入和相机过热; 缺陷标记与剔除模块安装在检测模块下游 100 mm 处, 与输送机构同步联动; 辅助调节模块设置在机架侧面, 可手动调节相机高度、角度及检测距离。

如图 1 所示, 系统整体布局紧凑, 占用空间小, 可直接集成到现有卷烟机生产线, 无需对原有机械结构进行大幅改造。

### 3.2. 工作原理与流程

本检测系统依托各模块的协同联动, 实现接装纸拼接误差的实时检测、标记与剔除, 全程与卷烟机生产节奏同步, 不影响原有生产流程。

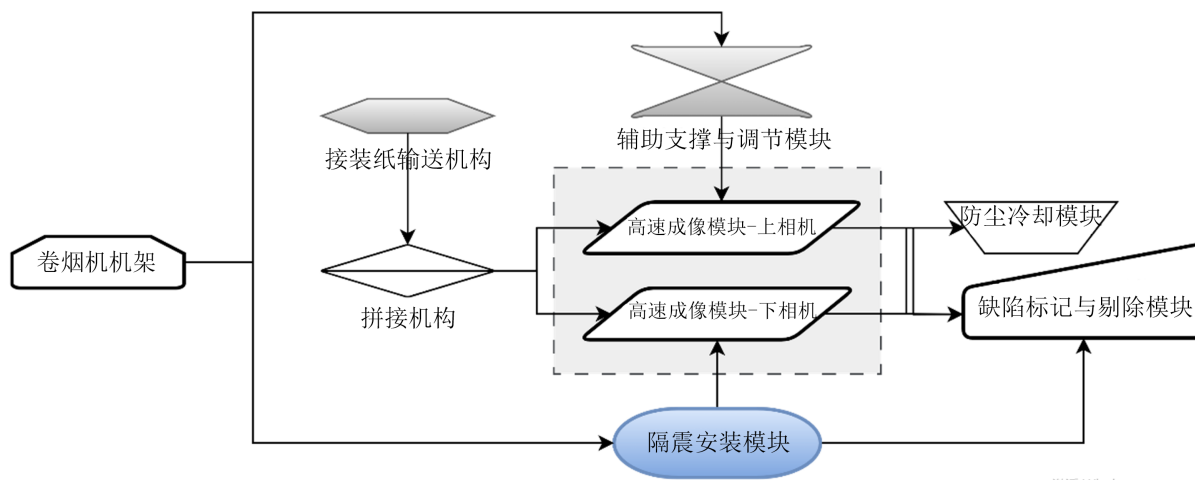


Figure 1. System layout diagram

图 1. 系统布局示意图

系统启动后, 首先通过辅助调节模块校准相机位置、角度及成像参数, 确保拼接处成像清晰; 接装纸经拼接机构完成拼接后, 随输送机构进入检测区域, 上下两台高速相机同步启动, 对拼接处进行高速连续成像, 成像信号实时传输至控制系统(机械部分重点保障成像稳定性); 当检测到拼接误差超过允许范围时, 控制系统发送信号至缺陷标记模块, 标记机构通过机械压印方式在不合格产品表面做标记, 同时触发剔除模块; 剔除模块的气缸快速伸缩, 推动拨料板将不合格产品从输送线上剔除, 完成缺陷处理; 若检测无误差, 接装纸则继续随输送机构进入下一生产工序。

整个工作流程实现自动化闭环, 机械响应速度与烟机生产速度匹配, 每小时可完成 $\geq 8000$ 包烟包的检测, 确保检测与生产同步进行。

### 3.3. 关键技术指标

结合卷烟机高速生产工况及拼接误差检测需求, 本系统关键技术指标如下: 检测精度方面, 拼接误差检测分辨率  $\geq 0.01$  mm, 能够精准识别拼接偏移、搭口不齐等常见误差, 漏检率  $\leq 0.1\%$ , 误检率  $\leq 0.05\%$ , 满足烟包内框纸拼接质量检测的严苛要求; 运行稳定性方面, 系统连续无故障运行时间  $\geq 800$  小时, 机械振动幅值  $\leq 0.02$  mm, 防尘等级达到 IP65, 冷却机构可将相机工作温度控制在  $20^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ , 适应卷烟生产车间的粉尘、振动环境; 适配性方面, 可兼容 30~50 mm 宽度的不同规格接装纸, 机械调节范围  $\geq 10$  mm, 安装调试时间  $\leq 4$  小时, 能够快速适配不同型号的卷烟机; 此外, 机械响应时间  $\leq 10$  ms, 与烟机 8000~10,000 包/小时的生产速度完全匹配, 标记机构印记清晰、无破损, 剔除机构动作准确率  $\geq 99.9\%$ , 确保缺陷产品无遗漏, 为生产质量管控提供可靠支撑。

## 4. 关键机械部件设计

### 4.1. 隔振式相机安装支架设计

隔振式相机安装支架采用“底座 - 减震层 - 支架主体”三层结构, 均选用 45 号钢材质, 经调质处理提升结构刚性, 避免支架自身形变影响检测精度。底座通过 4 个 M12 内六角螺栓与烟机机架固定, 螺栓与底座间加装弹簧垫圈, 防止设备振动导致螺栓松动。减震层选用厚度 10 mm 的丁腈橡胶减震垫, 其邵氏硬度为  $50\text{ HA} \pm 5\text{ HA}$ , 可有效吸收烟机运行时的高频振动, 振动衰减率  $\geq 85\%$ 。支架主体设计为可调节悬臂结构, 悬臂长度 120 mm, 末端设置相机安装座, 安装座预留  $\Phi 50$  mm 通孔, 与相机底座通过锁紧

螺母固定, 可实现 $\pm 15^\circ$ 角度调节和 0~20 mm 高度调节。支架侧面加装加强筋, 厚度 8 mm, 提升悬臂抗变形能力, 整体重量控制在 2.5 kg 以内, 避免对烟机机架造成额外负载, 确保相机安装后无明显晃动, 保障成像稳定性。

#### 4.2. 防尘密封与冷却机构设计

防尘密封机构采用全封闭罩体设计, 罩体材质为 304 不锈钢, 厚度 2 mm, 重量 1.8 kg, 与相机支架通过卡扣式连接, 便于拆卸维护。罩体前端设置高透光学玻璃窗口, 厚度 5 mm, 透光率  $\geq 98\%$ , 窗口与罩体连接处采用氟橡胶密封圈, 截面为 O 型, 直径 3 mm, 实现 IP65 防尘防水等级, 防止卷烟车间粉尘、油污进入罩体污染相机镜头。冷却机构采用风冷 + 导热结合方式, 罩体内部两侧安装微型轴流风机, 型号为 DC12V, 风量  $120 \text{ m}^3/\text{h}$ , 风机出风口朝向相机外壳; 相机底部加装铝制导热片, 厚度 3 mm, 与相机外壳紧密贴合, 将相机工作热量传导至罩体。罩体后端开设通风孔, 与烟机通风系统连通, 形成空气循环, 可将相机工作温度稳定在  $20^\circ\text{C}\sim 35^\circ\text{C}$ , 避免高温导致相机成像精度下降, 风机工作噪音  $\leq 55 \text{ dB}$ , 不影响车间生产环境。

#### 4.3. 高速成像光路设计

高速成像光路采用对称式双光路设计, 上下两台高速相机型号一致, 均选用 130 万像素工业相机, 帧率  $\geq 120 \text{ fps}$ , 镜头选用定焦镜头, 焦距 16 mm, 光圈 F1.8, 确保拼接处成像清晰。光路设计遵循“同轴对准、无遮挡、无反光”原则, 上相机镜头与接装纸上表面呈  $90^\circ$  垂直, 下相机镜头与接装纸下表面呈  $90^\circ$  垂直, 两台相机光轴在同一条竖直线上, 对准拼接处中心位置, 避免成像偏差。镜头前端加装偏振滤光片, 型号为 PL-C, 直径 25 mm, 可过滤接装纸表面反光, 提升图像对比度。光路距离控制在  $80 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ , 即镜头与接装纸表面间距为 80 mm, 可通过相机支架调节, 确保成像视野覆盖拼接处及两侧 10 mm 范围, 视野分辨率达到 0.01 mm/像素, 满足拼接误差检测精度要求, 光路整体无多余遮挡部件, 适配烟机紧凑的安装空间。

#### 4.4. 缺陷标记与剔除机构设计

缺陷标记机构采用机械压印式设计, 主体为小型气缸, 型号为 SC32  $\times$  20, 工作压力 0.4~0.6 MPa, 行程 20 mm, 气缸活塞杆末端连接压印头, 压印头材质为硅胶, 硬度 40 HA, 印模为“ $\times$ ”形, 尺寸 5  $\times$  5 mm, 避免压印时损坏接装纸。标记机构安装在检测区域下游 100 mm 处, 与输送机构同步联动, 响应时间  $\leq 10 \text{ ms}$ , 仅在检测到缺陷时启动, 压印压力控制在 0.3 MPa, 确保印记清晰且不穿透纸张。剔除机构采用拨料式结构, 由气缸、拨料板和导向板组成, 气缸型号为 SC40  $\times$  30, 拨料板选用尼龙材质, 厚度 6 mm, 长度 50 mm, 导向板与输送线呈  $15^\circ$  夹角, 引导不合格产品进入废料箱。剔除机构与标记机构联动, 延迟 0.5 s 启动, 避免误剔除, 拨料动作时间  $\leq 8 \text{ ms}$ , 动作准确率  $\geq 99.9\%$ , 机构整体通过支架与烟机输送线固定, 无机械干涉, 适配高速生产节奏。

### 5. 拼接误差检测的图像处理算法流程

#### 5.1. 图像预处理

图像预处理的核心目标是消除成像过程中的干扰因素, 提升图像质量, 为后续特征提取奠定基础, 主要包括去噪与图像增强两个步骤。针对卷烟车间粉尘、振动导致的图像噪声, 采用自适应中值滤波算法, 通过动态调整滤波窗口大小(3  $\times$  3~7  $\times$  7), 既能有效滤除高斯噪声和椒盐噪声, 又能保留拼接处的边缘细节, 避免滤波过度导致边缘模糊; 针对接装纸表面反光、光照不均导致图像对比度低的问题, 采用

直方图均衡化与伽马校正结合的增强方法, 通过拉伸图像灰度级范围, 提升拼接处与背景的灰度差异, 同时抑制过度增强导致的噪声放大, 确保拼接边缘清晰可辨。预处理后图像的信噪比提升至 35 dB 以上, 为后续特征提取提供高质量图像数据。

## 5.2. 特征提取与定位

特征提取与定位的核心是精准识别接装纸拼接处的边缘, 确定拼接位置, 为误差计算提供依据。首先采用 Canny 边缘检测算法, 通过高斯平滑、梯度计算、非极大值抑制和双阈值分割四个步骤, 精准提取接装纸的上下边缘及拼接处的接头边缘, 有效抑制非目标边缘的干扰; 针对拼接处边缘可能出现的断裂、模糊问题, 引入形态学闭运算, 通过膨胀与腐蚀操作修复边缘断裂, 增强边缘连续性。随后, 采用霍夫变换算法对提取的边缘进行直线拟合, 定位接装纸的基准边缘与拼接接头边缘, 通过计算两条边缘的平行度与偏移量, 初步确定拼接位置是否存在偏差; 同时, 结合区域生长算法, 分割拼接接头区域, 排除背景干扰, 确保拼接边缘定位精度  $\leq 0.005$  mm, 满足检测分辨率要求。

## 5.3. 误差计算模型

基于特征提取与定位的结果, 构建拼接误差计算模型, 重点计算拼接偏移量与搭口不齐量两个核心误差指标, 给出具体计算公式及参数说明如下:

1) 拼接偏移量计算模型: 拼接偏移量采用像素坐标映射法, 将图像像素坐标转换为实际物理坐标(根据相机标定参数, 1 像素对应 0.01 mm), 计算拼接接头边缘与接装纸基准边缘的水平偏移距离, 即为拼接偏移误差, 具体公式为:

$$\Delta x = |x_j - x_b| \times k \quad (1)$$

式中:  $\Delta x$  为拼接偏移误差(单位: mm);  $x_j$  为拼接接头边缘的像素横坐标;  $x_b$  为接装纸基准边缘的像素横坐标;  $k$  为像素 - 物理坐标转换系数(本系统中  $k = 0.01$  mm/像素)。

2) 搭口不齐量计算模型: 搭口不齐量通过计算拼接处上下接头的重叠长度差, 结合边缘拟合结果, 得到搭口不齐的实际尺寸, 具体公式为:

$$\Delta y = |(y_{j1} - y_{j2}) - (y_{b1} - y_{b2})| \times k \quad (2)$$

式中:  $\Delta y$  为搭口不齐误差(单位: mm);  $y_{j1}$ 、 $y_{j2}$  分别为拼接接头上下边缘的像素纵坐标;  $y_{b1}$ 、 $y_{b2}$  分别为接装纸基准上下边缘的像素纵坐标;  $k$  为像素 - 物理坐标转换系数(同前,  $k = 0.01$  mm/像素)。

为提升误差计算的稳定性, 引入加权平均滤波, 对连续 5 帧图像的误差计算结果进行平滑处理, 减少振动导致的成像波动对误差计算的影响, 平滑处理公式为:

$$\Delta x_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^5 w_i \cdot \Delta x_i}{\sum_{i=1}^5 w_i}, \quad \Delta y_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^5 w_i \cdot \Delta y_i}{\sum_{i=1}^5 w_i} \quad (3)$$

式中:  $\Delta x_{avg}$ 、 $\Delta y_{avg}$  分别为平滑后的拼接偏移误差和搭口不齐误差;  $\Delta x_i$ 、 $\Delta y_i$  分别为第  $i$  帧图像的误差计算值;  $w_i$  为加权系数(本系统采用递减加权,  $w_1 = 0.3, w_2 = 0.25, w_3 = 0.2, w_4 = 0.15, w_5 = 0.1$ ), 确保最新帧数据权重最高, 提升响应及时性。

经加权平滑处理后, 误差计算精度  $\leq 0.01$  mm, 当计算出的误差值  $\Delta x_{avg} > 0.05$  mm 或  $\Delta y_{avg} > 0.05$  mm (根据生产标准设定的预设阈值)时, 系统触发缺陷标记与剔除指令, 完成缺陷处理。

## 6. 机械系统仿真与实验验证

### 6.1. 机械系统仿真设计与结果分析

仿真模型以上机械部件设计参数构建, 还原整个检测系统的机械结构及装配关系, 其中隔振支架、防尘冷却机构、标记与剔除机构均按实际尺寸建模, 材料属性与设计一致(45号钢、304不锈钢、丁腈橡胶等), 仿真工况模拟卷烟机高速运行状态(转速 8000 包/小时), 振动参数按实际生产中烟机机架振动幅值(0.05 mm)设置。仿真重点分析三项内容: 一是隔振支架的振动衰减效果, 监测相机安装处的振动幅值; 二是成像光路的同轴度偏差, 验证双光路垂直精度; 三是标记与剔除机构的动作响应时间及协调性, 确保联动顺畅。

仿真结果显示, 隔振支架在烟机高频振动作用下, 经丁腈橡胶减震垫衰减后, 相机安装处的振动幅值稳定在 0.015 mm, 小于设计要求的 0.02 mm, 振动衰减率达到 86%, 满足隔振设计要求; 高速成像双光路的同轴度偏差为 0.003 mm, 远低于允许偏差 0.01 mm, 光路无偏移, 确保成像清晰无偏差; 缺陷标记机构响应时间为 8 ms, 剔除机构动作时间为 7 ms, 两者联动延迟 0.5 s, 无动作干涉, 标记与剔除动作准确率达到 100%, 符合设计预期。仿真结果表明, 系统机械结构设计合理, 各部件协同性良好, 能够满足高速生产工况下的使用要求。

### 6.2. 实验验证设计与结果分析

实验平台搭建在某卷烟厂包装车间, 以 ZJ17 型卷烟机为载体, 将设计的检测系统机械部件与卷烟机原有结构集成, 安装调试完成后, 模拟实际生产节奏(8000 包/小时)开展实验, 实验时长为 100 小时, 分为精度检测、稳定性检测及适配性检测三个组别, 每组实验选取 10,000 包烟包作为样本, 人为设置不同类型、不同程度的拼接误差(拼接偏移 0.01~0.1 mm、搭口不齐 0.02~0.12 mm), 记录检测数据并与仿真结果对比。

实验数据统计如表 1 所示, 由表可知, 系统机械部分的各项性能均满足设计要求: 检测精度方面, 拼接误差检测分辨率达到 0.01 mm, 漏检率为 0.08%, 误检率为 0.04%, 均低于设计指标; 稳定性方面, 100 小时连续运行无故障, 相机工作温度稳定在 28℃~32℃, 防尘效果良好, 镜头无粉尘污染, 隔振支架振动幅值为 0.016 mm, 与仿真结果基本一致; 适配性方面, 更换 3 种不同规格(30 mm, 40 mm, 50 mm)的接装纸, 调节机械结构后均可正常检测, 安装调试时间为 3.5 小时, 符合适配要求; 标记与剔除机构动作准确率为 99.92%, 印记清晰无破损, 无误剔除、漏剔除现象。

Table 1. Experimental verification results data

表 1. 实验验证结果数据

检测项目	设计指标	仿真结果	实验结果	是否达标
检测分辨率	≥0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	是
漏检率	≤0.1%	0.05%	0.08%	是
误检率	≤0.05%	0.03%	0.04%	是
相机振动幅值	≤0.02 mm	0.015 mm	0.016 mm	是
相机工作温度	20℃~35℃	27℃~33℃	28℃~32℃	是
标记剔除准确率	≥99.9%	100%	99.92%	是
安装调试时间	≤4 小时	3.2 小时	3.5 小时	是

针对仿真与实验数据存在的微小差异, 分析其可能原因主要有三点: 一是仿真过程中采用的是理想工况, 未完全模拟卷烟车间的实际粉尘、温度波动等环境干扰, 而实验过程中粉尘附着在光学玻璃窗口表面, 会轻微影响成像精度, 导致漏检率、误检率略高于仿真结果; 二是机械部件的实际加工精度存在微小偏差, 如隔振支架的减震垫安装间隙、相机镜头的同轴度装配误差, 导致相机振动幅值略高于仿真值; 三是实验过程中接装纸的张力存在微小波动, 与仿真中设定的恒定张力存在差异, 进而影响拼接误差的检测精度, 导致标记剔除准确率略低于仿真结果。上述差异均在设计允许范围内, 不影响系统整体性能, 且通过优化光学玻璃窗口的清洁频率、提升机械部件加工精度, 可进一步缩小仿真与实验数据的差距。

## 7. 结语

本文围绕小盒烟包内框纸拼接误差检测需求, 完成了整套视觉检测系统的机械设计、仿真与实验验证, 系统解决了现有检测设备适配性差、抗振防尘能力不足、检测精度低等核心问题。通过优化隔振、防尘冷却、成像光路及缺陷处理等关键部件结构, 确保系统适配卷烟机高速生产工况。仿真与实验结果证实, 系统机械结构合理、运行稳定、性能达标, 可有效识别拼接偏移、搭口不齐等误差。本文设计为卷烟包装拼接误差检测提供了实用的机械解决方案, 后续可进一步优化部件装配精度, 提升系统在复杂工况下的适应性, 推动卷烟包装机械向精细化、智能化发展。

## 参考文献

- [1] 张羽冰, 王聪瑶, 张新林, 等. 烟包用铝基内衬阻隔材料与技术的研究进展[J]. 包装工程, 2026, 47(1): 38-47.
- [2] 刘学伟, 马毅, 王璐琪. RC 烟包底部外形检测装置设计与应用[J]. 设备管理与维修, 2025(21): 34-36.
- [3] 万思远, 李忠华, 刘鹏, 等. 新型 ZB28 包装机 3 号轮烟包折叠干燥装置结构设计[J]. 设备管理与维修, 2025(21): 125-128.
- [4] 柳长红, 杨元元, 张卓, 等. 烟包紫外光照显色防伪油墨在线检测的研究[J]. 印刷技术, 2025(5): 43-46.
- [5] 陈逸佳, 吴罡, 吴永新, 等. YB48 硬盒包装机商标纸预折叠装置的设计[J]. 烟草科技, 2025, 58(10): 89-94.
- [6] 杨建江, 岳帅, 岳延飞, 等. 融合双级机器视觉与纠偏机构的输送线烟箱位姿校正系统[J]. 计算机测量与控制, 2026, 34(1): 181-187.
- [7] 常贤龙, 赵常军. 基于数控技术的机械金属零件精密加工工艺优化设计[J]. 现代制造技术与装备, 2025, 61(9): 149-151.
- [8] 张永仕. 纳米尺度下机械设计的超精密制造技术挑战与解决方案[J]. 现代制造技术与装备, 2025, 61(7): 125-127.
- [9] 邱旭, 赵彬斌, 穆顺, 等. 基于 MATLAB 图像处理技术的烟支刺破缺陷识别研究[J]. 中国机械, 2024(19): 18-25.