

适配FOCKE-FXS包装机组的空间微螺旋烟条掉头装置设计与实践

王良浪, 肖祥宏, 王纪贵, 吕道勇, 付昌卫, 张 鸿

红塔烟草(集团)有限责任公司昭通卷烟厂, 云南 昭通

收稿日期: 2026年1月2日; 录用日期: 2026年1月26日; 发布日期: 2026年2月4日

摘要

在烟草行业数字化转型关键阶段, “行业二维码统一应用项目”对卷烟“盒条件”关联准确率提出严苛要求。针对FOCKE-FXS机组烟条“盒条件”关联中读码率与关联率偏低的技术瓶颈, 本文系统阐述了空间微螺旋烟条掉头装置的研发过程。该装置通过模块化设计, 整合烟条导入、微螺旋缓冲、侧滑导向及吸能缓冲功能, 利用烟条自身重力实现180°精准掉头。经实际生产验证, 装置烟条掉头成功率达100%, 损伤率仅0.03‰, 显著提升“盒条件”关联读码率与成功率至99.9%以上, 同时具备易维护、强适配性等优势, 为烟草行业同类设备改造提供技术参考。

关键词

烟草设备, 二维码关联, 烟条掉头, 微螺旋结构, 模块化设计

Design and Implementation of a Spatial Micro-Spiral Cigarette Stick Reversing Device Adapted to FOCKE-FXS Packaging Machines

Lianglang Wang, Xianghong Xiao, Jigui Wang, Daoyong Lyu, Changwei Fu, Hong Zhang

Zhaotong Cigarette Factory, Hongta Tobacco (GROUP) Co., Ltd., Zhaotong Yunnan

Received: January 2, 2026; accepted: January 26, 2026; published: February 4, 2026

Abstract

In the critical stage of digital transformation in the tobacco industry, the “Industry-wide Unified

文章引用: 王良浪, 肖祥宏, 王纪贵, 吕道勇, 付昌卫, 张鸿. 适配 FOCKE-FXS 包装机组的空间微螺旋烟条掉头装置设计与实践[J]. 机械工程与技术, 2026, 15(1): 1-7. DOI: 10.12677/met.2026.151001

Application Project of QR Codes" imposes stringent requirements on the accuracy of the association between cigarette sticks and their corresponding packaging boxes. Addressing the technical bottleneck of low code reading and association rates in the "box condition" association of cigarette sticks in FOCKE-FXS packaging machines, this paper systematically describes the development process of a spatial micro-spiral cigarette stick reversing device. Through modular design, this device integrates cigarette stick feeding, micro-spiral buffering, side-slip guiding, and energy absorption buffering functions, utilizing the cigarette stick's own gravity to achieve precise 180° reversal. Actual production tests show that the device achieves a 100% success rate in cigarette stick reversal, with a damage rate of only 0.03‰, significantly improving the code reading and success rate of "box condition" association to over 99.9%. It also possesses advantages such as easy maintenance and strong adaptability, providing technical reference for the modification of similar equipment in the tobacco industry.

Keywords

Tobacco Equipment, QR Code Association, Cigarette Stick Reversal, Micro-Spiral Structure, Modular Design

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. 研发背景及技术需求

1.1. 行业数字化转型背景

当前烟草行业正推进“全国烟草生产经营管理一体化平台”建设，“行业二维码统一应用项目”作为核心组成部分，需实现工业“盒条件”与商业“条零”数据的全链条贯通，建立卷烟全生命周期“一码管理”体系。这一目标对烟条二维码扫描精度与关联效率提出极高要求，传统生产设备的技术缺陷逐渐凸显。

1.2. 物体姿态调整与无动力输送领域技术现状

物体姿态调整技术在制造业自动化生产中应用广泛，不同行业基于产品特性与生产场景形成了差异化技术路径。在烟草行业，烟条作为典型的长条状柔性包装物体，其姿态调整需兼顾高速稳定性与低损伤率双重需求。目前主流技术方案可分为三类：其一为机械夹持翻转方案，如CN202021568943.2提出的烟条翻转机构，通过气动夹爪抓取烟条并绕固定轴旋转180°，虽能实现精准掉头，但夹爪与烟条表面的刚性接触易导致包装褶皱，且夹爪开合节奏需与输送速度严格同步，在600包/分钟的高速生产场景下易出现卡顿，设备维护频率高达每周2~3次[1]；其二为输送带换向方案，如王俊鹏等设计的烟条翻转下落装置，利用多组倾斜输送带形成转向通道，依赖输送带摩擦力驱动烟条转向，但该方案对输送带张紧度要求极高，运行3个月后输送带磨损易导致烟条偏移，读码率波动幅度超过5%[2]；其三为气流导向方案，通过高压气流喷射烟条实现姿态调整，虽无机械接触，但气流压力难以精准控制，烟条损伤率常高于1‰，且能耗成本较机械方案增加30%以上[3]。

无动力输送技术凭借低能耗、易维护的优势，在轻工制造领域应用逐步拓展。其核心设计思路是利用物体自身重力、惯性或摩擦力完成输送，常见结构包括溜槽、滚轮组、螺旋滑道等。在食品包装行业，螺旋滑道已用于饼干、巧克力等产品的垂直输送，如CN201920876512.8设计的食品级螺旋溜槽，通过优

化滑道曲率半径降低产品破损率,但该类设计针对轻质、刚性包装产品,无法直接适配质量约 150 g、表面易刮擦的烟条[4];在物流分拣领域,无动力螺旋输送装置多采用大螺距设计以提升输送效率,如京东物流研发的快递分拣螺旋滑道,螺距达 500 mm 以上,虽能满足大件货物快速输送,但烟条等小尺寸产品易在大螺距通道内发生姿态紊乱[5]。

综合来看,现有技术在烟草行业烟条姿态调整应用中存在三大核心局限:一是动力依赖与维护矛盾,机械夹持、输送带等动力驱动方案虽能实现精准控制,但复杂的传动结构导致设备故障率高,难以适配烟草生产连续运行需求;二是空间适配性不足,多数翻转装置需独立安装空间,无法集成于 FOCKE-FXS 机组辅联烟条垂降设备的狭窄空间(横向宽度仅 150 mm);三是参数通用性差,现有装置多针对固定规格烟条设计,当烟条长度、直径变化时,需拆解更换核心部件,调整周期长达 4~6 小时,无法满足多品牌卷烟柔性生产需求[6]。

1.3. 生产现场技术瓶颈

在 FOCKE-FXS 机组烟条“盒条件”关联改造中,原动态读码方案因烟条输送速度快、列队稳定性差,导致读码率与关联率偏低。现场统计显示,封箱设备平均读码率仅 88.5%,关联率 84.1%。

进一步分析发现,烟条二维码位于封箱设备推入口内侧,受空间限制无法安装读码器;若将读码器移至外侧,需使烟条掉头以调整二维码朝向。人工掉头虽能使读码率与关联率提升至 99.8% 以上,但无法适配高速生产节奏。因此,研发一款可集成于现有设备、实现烟条自动精准掉头的装置,成为突破技术瓶颈的关键。

基于上述技术现状与现场需求,本研究的核心切入点在于:摒弃传统动力驱动模式,创新采用“空间微螺旋结构 + 自身重力”的无动力姿态调整方案,通过优化螺旋轨迹参数与模块化设计,在满足 FOCKE-FXS 机组空间约束的同时,实现烟条 180°精准掉头、低损伤输送与快速规格切换。相较于现有技术,本方案的创新点体现在三方面:一是在结构设计上,通过微螺旋通道的空间错位设计,同步实现烟条导向、缓冲与掉头功能,解决传统装置功能分散、占用空间大的问题;二是在动力机制上,完全依赖烟条自身重力驱动,无电机、气缸等动力部件,设备故障率降低 90% 以上;三是在参数优化上,通过 Matlab 三维运动仿真与 0.618 法参数优选,建立烟条运动轨迹与结构参数的定量关系,确保装置在高速生产场景下的稳定性与通用性。

2. 技术方案设计

2.1. 核心设计思路

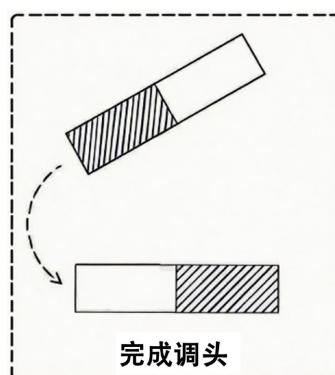


Figure 1. Diagram illustrating a U-turn
图 1. 调头示意图

烟条掉头的本质需求是实现绕窄长边 180° 翻转(如图 1), 同时需满足无损伤、高稳定、适配现有设备空间的要求。基于这一需求, 确定核心设计思路: 利用烟条自身重力作为动力源, 通过特殊通道结构引导烟条完成方向变换与姿态调整, 避免额外动力装置带来的复杂度与维护成本。

具体技术路径为: 烟条从 FOCKE-FXS 机组出口输送后, 经导入模块实现初始姿态倾斜; 进入微螺旋缓冲模块, 通过空间螺旋通道完成 90° 转向与缓冲减速; 再经侧滑模块调整最终姿态, 落入提条设备输入通道; 最后通过吸能装置吸收残余动能, 确保平稳输送。

2.2. 目标参数设定

结合行业标准与生产实际, 设定装置核心性能目标。

功能目标: 烟条掉头成功率 $\geq 99.9\%$, 确保二维码与读码器精准对位;

质量目标: 烟条损伤率 $\leq 2\%$, 避免因装置设计导致产品质量问题;

适配目标: 可集成于 FOCKE-FXS 机组辅联烟条垂降设备, 无需大规模改造现有生产线。

2.3. 总体方案

2.3.1. 总体结构设计

基于创新思路, 结合装置空间需求和设备改动最小原则, 小组将掉头装置设计为烟条导入模块、微螺旋缓冲模块、烟条侧滑模块、吸能装置四个部分。

烟条导入模块使烟条倾斜, 完成方向改变; 微螺旋缓冲模块实现空间错位输送, 兼具导向、输送和缓冲功能, 通过烟条与内壁摩擦减缓下滑速度; 吸能装置吸收烟条动能, 降低速度, 确保顺利下落; 烟条侧滑模块设置倾斜角度, 使烟条落入提条设备输入通道。如下图 2 所示:

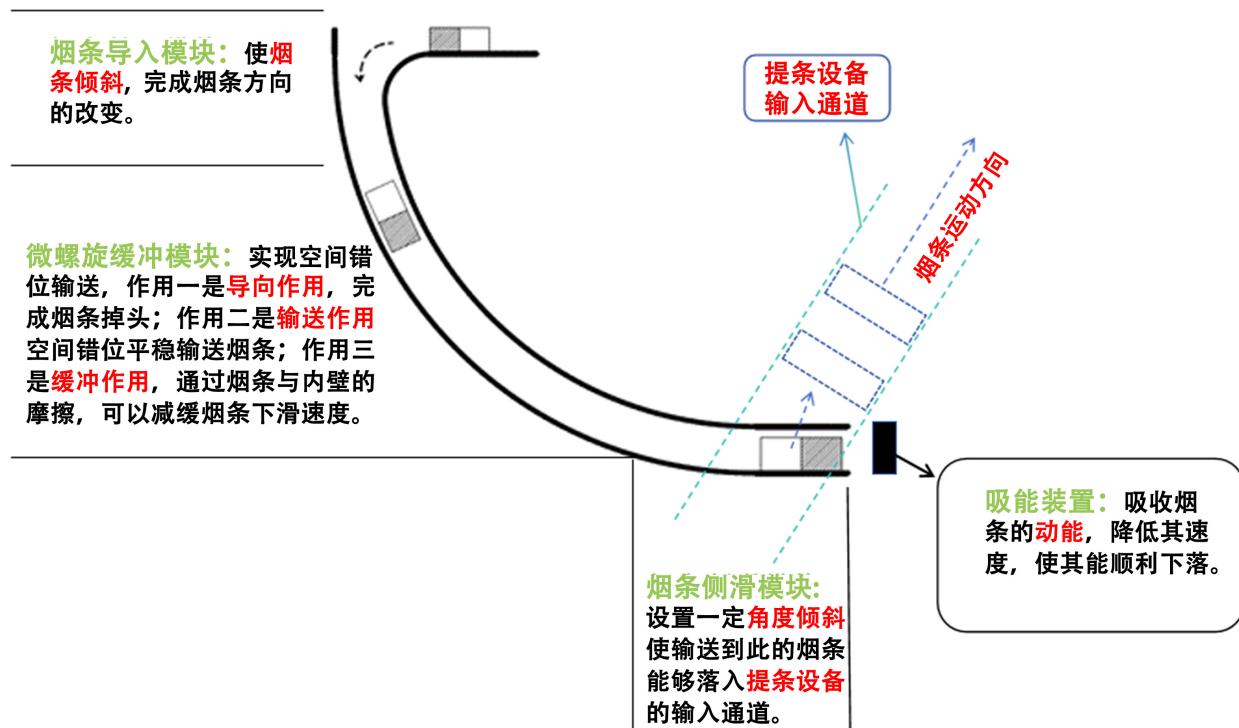


Figure 2. Schematic diagram of the plan

图 2. 方案示意图

通过采用圆弧形的导入口，使得烟条顺利下落，经过弧形通道的引导，完成烟条的掉头，最终通过吸能装置，吸收烟条多余的动能，使其顺利进入到提条设备的输入通道内。

2.3.2. 技术需求制定

根据实际功能需求和模拟实验数据，制定各模块技术需求。如烟条导入模块转向成功率需达 99.9%、过程缺陷率 $\leq 2\%$ ；微螺旋缓冲模块堵塞率 $\leq 1\%$ ；吸能装置回弹距离 5~10 mm；烟条侧滑模块自然下落率 99.9%、烟条停留时间 0.5~1 s，且装置制作材料硬度 60HRC、条烟输送缺陷率 $\leq 2\%$ 。

2.3.3. 各项参数确定

根据现场安装位置确定。

2.3.4. 导入通道横截面尺寸

通过测速仪测得烟条初速度 0.39 m/s，结合离心力与重力关系计算，确定导入面圆弧半径 $r = 280$ mm；根据烟条运动轨迹分析，设定导入管道高度 $H = 80$ mm；测量 FOCKE-FXS-779 出口输送通道宽度，确定导入口宽度 $B = 135$ mm。经验证，该尺寸下烟条无阻塞情况，满足使用要求。

2.3.5. 螺旋参数的确定

为确保空间微螺旋烟条掉头装置满足烟条空间错位输送、导向及缓冲的功能需求，对 FOCKE-FXS 包装机组的相关机械结构与运行数据进行了多轮现场测量，获取烟条运动路径关键尺寸、设备安装空间限制等基础参数。基于测量数据，运用 Matlab 软件构建三维运动仿真模型，通过对螺旋轨迹的曲率、螺距、空间错位距离等核心参数进行多组对比实验与优化迭代。

仿真结果如下图 3：

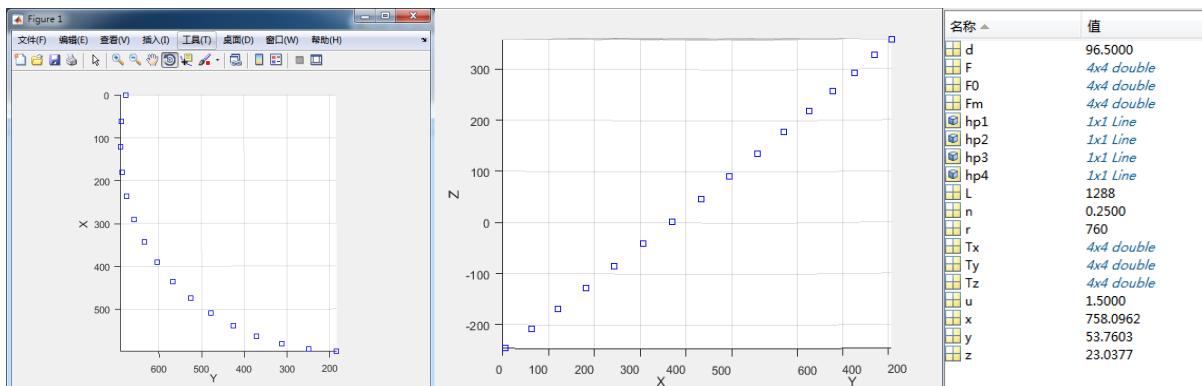


Figure 3. Simulation results

图 3. 仿真结果

中心半径 r ：在模拟烟条沿螺旋轨迹运动过程中，通过调整中心半径数值，观察烟条在空间错位输送时的稳定性与导向效果。当 $r = 760$ mm 时，烟条在螺旋运动中离心力与摩擦力达到最佳平衡状态，既能避免烟条因离心力过大而脱离轨道，又能保证烟条按预设轨迹完成空间转向，实现精准错位输送。

空间错位间距 d ：该参数直接影响烟条掉头后与后续工位的衔接精度。经反复模拟验证，当 $d = 193$ mm 时，烟条完成螺旋运动后，其姿态与位置恰好符合下游设备的抓取与处理要求，有效减少因间距不当导致的烟条卡顿或偏移问题。

螺旋弧长 L ：综合考虑烟条运动速度、缓冲需求及设备安装空间，将螺旋弧长设定为 1288 mm。此长度既能提供充足的运动路径使烟条完成 90°空间转向，又能通过延长运动时间实现烟条的缓冲减速，确

保烟条以稳定速度进入下一工位。

最终确定的螺旋轨迹参数($r = 760 \text{ mm}$, $d = 193 \text{ mm}$, $L = 1288 \text{ mm}$)经实际测试验证, 完全满足装置的功能设计目标。

2.3.6. 吸能装置材料的确定

Eva 泡棉密度多样、回弹性佳, 能有效吸收冲击力。

2.3.7. 烟条侧滑模块

姿态矫正口尺寸: 通过可调节宽度通道实验, 确定 104 mm 宽度时烟条通过率 100%, 且与轨道平行度误差 $\leq 0.5 \text{ mm}$;

止动平台宽度: 采用 0.618 法优选, 28 mm 宽度可使烟条停留时间控制在 1.3~1.8 s, 满足下游设备抓取节奏;

侧滑坡面角度: 结合烟条质量(约 150 g)、动摩擦因数(0.2)及输送带速度(0.2 m/s), 通过斜面下滑公式计算, 确定 35°倾角可确保烟条平稳下滑;

姿态矫正装置: 采用双减速毛刷可使烟条损伤率降至 0.4%。

3. 装置制作与现场应用

3.1. 制作与安装流程

材料采购: 采购 2 mm 厚拉丝不锈钢板, 验收合格后进行裁剪加工;

模块制作: 按设计图纸加工导入模块、微螺旋缓冲模块、侧滑模块, 精度控制在 $\pm 1 \text{ mm}$;

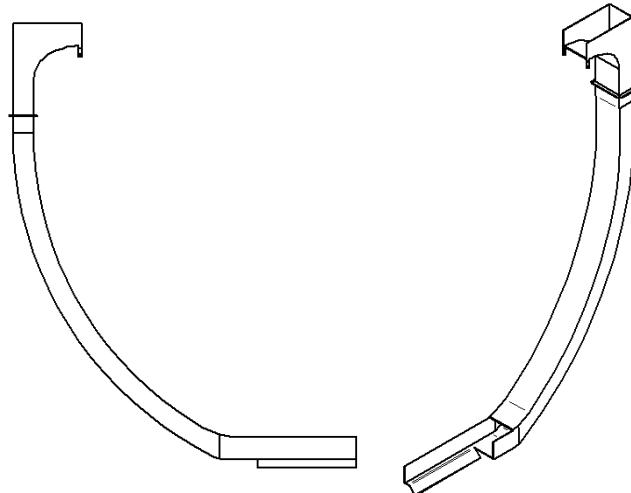


Figure 4. Schematic diagram of the turning device
图 4. 掉头装置示意图

组装调试: 在车间现场进行模块组装(如图 4), 调整各模块对接精度, 确保烟条输送路径顺畅;

联动测试: 与 FOCKE-FXS 机组联动运行, 以 600 包/分钟速度测试半小时, 优化设备参数。

3.2. 应用效果

完成相关的安装与调试后, 进行了 2 个月的跟踪调查(如下表 1 所示)烟条均可以顺利掉头且无损伤, 也无其余负面影响, 极大的提升了烟条的读码率和关联成功率。

Table 1. Follow-up survey results**表 1. 跟踪调查结果**

机组	生产总数	调头成功数	调头成功率	烟条损伤数	烟条损伤率
1#	954,400	954,400	100%	25	0.02‰
2#	1,007,200	1,007,200	100%	45	0.04‰
3#	980,800	980,800	100%	26	0.03‰
平均	980,800	980,800	100%	32	0.03‰

本文的“自身重力下落 + 圆弧导入 + 微螺旋错位输送”集成于一体的烟条调头创新思想，可以有效解决同类型设备烟条调头的痛点，在行业内均可直接推广使用。

4. 总结与展望

综上所述，通过微螺旋通道实现空间错位输送，一方面对烟条起导向作用，完成烟条掉头；另一方面由于微螺旋的作用烟条可以紧贴内壁，保证烟条的下落姿态，避免烟条刮伤、碰伤。我们成功的解决了 FOCKE-FXS 机组“盒条件”关联问题，切实的提升了关联成功率。但装置在不同规格烟条适配性上仍有提升空间，后续可开展以下工作：

第一：优化结构设计，开发通用模块

基于烟条尺寸参数，引入柔性材料与自适应结构，设计可调节参数的通用模块。采用电动推杆等驱动方式实现尺寸动态调整，建立规格 - 参数数据库，自动匹配调节，提升设备通用性与生产效率。

第二：集成物联网，强化状态监测

在关键部件部署物联网传感器，实时采集温度、振动等参数，通过 5G 或工业以太网传输至云端分析。利用大数据构建预测模型，异常时自动触发多渠道预警，减少停机时间。

第三：拓展应用场景

调研食品、药品行业条状物翻转需求，针对性优化装置螺旋结构与传动参数。应用于香肠自动化包装、药板精准翻转，提升技术复用价值，创造效益。

参考文献

- [1] 刘建国, 张明亮, 李岩. 一种高速烟条夹持翻转机构的设计与应用[J]. 烟草科技, 2021, 54(8): 89-94.
- [2] 王俊鹏, 韩辉, 许峰, 等. 一种烟条翻转下落装置[P]. 中国专利, CN201822147324.4, 2019-08-09.
- [3] 赵卫东, 陈明, 王丽. 气流导向式烟条姿态调整装置的研发与测试[J]. 包装工程, 2020, 41(15): 167-172.
- [4] 张莉, 刘强, 周健. 食品级无动力螺旋溜槽的设计与优化[J]. 食品与机械, 2022, 38(3): 112-116.
- [5] 京东物流技术研究院. 物流分拣无动力螺旋输送装置技术白皮书[R]. 2021.
- [6] 中国烟草机械集团有限责任公司. 烟草包装设备柔性生产技术现状与发展报告[R]. 2022.