

一种减少靠拢轮产生刺破烟的改进

李 达, 陈文韬, 王立治, 易元鑫

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: 2025年12月15日; 录用日期: 2026年1月6日; 发布日期: 2026年1月19日

摘要

在PROTOS系列ZJ116卷接机组生产中, 因烟丝含梗量较高及供丝机除梗不完全, 卷烟内部易残留烟梗, 而滤嘴接装阶段切纸鼓轮与传统靠拢鼓轮的挤压作用, 易导致烟梗刺破卷烟纸形成不合格刺破烟支。为此, 本文基于滤嘴烟支成型工艺流程, 提出优化靠拢鼓轮结构的改进方案, 通过赫兹接触理论的分析增设挤压形变区增大烟条受压缓冲空间, 在不改变接装纸与烟组压缩量、保证搓接质量的前提下降低烟条所受挤压力, 应用效果验证表明, 该方案可显著降低刺破烟支发生率, 为卷烟生产质量提升提供了技术支撑。

关键词

ZJ116卷接机组, 靠拢鼓轮, 刺破烟, 结构改进, 赫兹接触理论, 烟支质量控制

An Improvement to Reduce Puncture Defects Caused by the Compacting Wheel

Da Li, Wentao Chen, Lizhi Wang, Yuanxin Yi

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

Received: December 15, 2025; accepted: January 6, 2026; published: January 19, 2026

Abstract

In the production of the PROTOS series ZJ116 cigarette making machine, due to the high stem content in the tobacco and incomplete stem removal by the tobacco feeding machine, tobacco stems are easily left inside the cigarettes. During the filter assembly stage, the compression between the paper cutting drum and the traditional converging drum easily causes the tobacco stems to pierce the cigarette paper, resulting in defective cigarettes. Therefore, this paper proposes an improved solution to optimize the structure of the converging drum based on the cigarette filter forming process. By analyzing the Hertz contact theory, a compression deformation zone is added to increase the buffer

space for the tobacco rod under pressure. This reduces the compressive force on the tobacco rod without changing the compression amount between the wrapping paper and the tobacco rod, while ensuring the quality of the joining process. The application results show that this solution can significantly reduce the incidence of pierced cigarettes, providing technical support for improving cigarette production quality.

Keywords

ZJ116 Cigarette Making Machine, Compacting Drum, Punctured Cigarette, Structural Improvement, Hertz Contact Theory, Cigarette Quality Control

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

产品质量控制是烟草行业高效生产与成本控制的核心，滤嘴接装工序作为卷接机组的关键环节，其稳定性直接影响卷烟成品合格率，PROTOS 系列 ZJ116 卷接机组因高效集成优势成为烟草企业主流设备，但实际生产中受烟丝含梗量偏高、供丝机除梗精度有限等因素影响，烟条易残留烟梗等硬质杂质，而滤嘴接装阶段切纸鼓轮与靠拢鼓轮的工艺性挤压(保证接装纸与烟组粘接牢固的必要工序)，易使烟梗产生局部集中压力刺破卷烟纸形成不合格品[1]，传统靠拢鼓轮的整体式凹槽设计导致烟条接触面积大、挤压应力集中，且在烟丝含梗量偏高场景下进一步加剧该问题，既影响生产效率又造成原料浪费，前暂无此问题的良好解决方法，烟梗造成的质量问题和原料浪费已成为制约卷烟质量提升的突出难题。

2. 现有靠拢鼓轮存在的问题分析

现有 ZJ116 卷接机组靠拢鼓轮的核心缺陷在于受力空间设计不合理。其一，靠拢鼓轮槽为一体化凹槽结构，槽口宽度与烟条直径匹配度高，烟条放置后无多余形变空间。当切纸鼓轮与靠拢鼓轮协同挤压时，压力直接作用于烟条整体，若烟条中含有烟梗，局部压力集中易导致烟梗刺破卷烟纸[2]。其二，挤压压力与搓接质量的平衡难以把控。为确保接装纸与烟组粘接牢固，需维持一定的压缩量，但传统结构无法实现压力的柔性分配，导致含梗烟条的刺破风险显著高于无梗烟条。其三，结构设计缺乏针对性，未区分烟条不同区域的受力需求，接装纸搭接区与非搭接区采用统一凹槽结构，既影响限位效果，又无规避关键区域的过度挤压。这些问题导致 ZJ116 卷接机组在实际生产中，刺破烟率长期维持在较高水平，成为制约产品质量提升的主要瓶颈。

3. 靠拢鼓轮改进设计

3.1. 设计思路

本次改进以“空间优化、压力分流、质量保障”为核心思路，在不改变接装纸与烟组预设压缩量、确保搓接质量的前提下[3]，通过改造靠拢鼓轮槽结构增设挤压形变区，为烟条提供充足缓冲空间以分散挤压压力，避免烟梗因局部压力过大刺破卷烟纸。同时保留关键区域的限位结构，保障烟组在搭接、传递过程中的稳定性，最终实现“减压不降质”的改进目标。

3.2. 具体结构设计

改进后的靠拢鼓轮主要由鼓轮本体及外周开设的靠拢鼓轮槽构成, 具体设计如下: 在鼓轮槽分区设计上, 沿槽口宽度方向将其划分为烟条放置区与挤压形变区, 其中烟条放置区与烟条外形相拟合, 用于实现烟组的稳定限位, 挤压形变区则为新增结构, 通过对原鼓轮槽的锉削加工形成, 其宽度等于槽口总宽度与烟条直径的差值, 专门用于吸收挤压时的烟条形变。在尺寸参数选择方面, 针对 ZJ116 卷接机组常用的 7.7 mm 直径烟条, 采用原厂的标准尺寸设计, 即设定切纸鼓轮与靠拢鼓轮槽底的间隙(第二预设宽度)为 6.2 mm(即烟条直径减去 1.5 mm), 确保压缩量满足接装纸与烟组粘接的标准要求。

挤压形变区宽度 W_d 的确定运用材料力学中的赫兹接触理论[4]进行定量分析。烟条在切纸鼓轮作用下主要承受径向(Y 向)压缩, 可将其简化为一个受两侧挤压的圆柱体。当烟条内部存在硬质烟梗(近似为小圆柱体)时, 在径向压缩下, 烟梗会作为一个刚性凸起, 与相对运动的卷烟纸内壁形成局部集中接触, 此接触可建模为两个平行圆柱体的线接触问题。

根据赫兹线接触理论, 此接触区域的最大压应力 σ_{\max} 由下式给出:

$$\sigma_{\max} = \sqrt{FE/(\pi Lr)}$$

其中: F 为作用于烟梗接触线上的法向载荷, L 为接触线长度(近似为烟梗长度), r 为当量接触半径。 E 为当量弹性模量, 满足 $1/E = (1 - \nu_1^2)/E_1 + (1 - \nu_2^2)/E_2$, 其中 E_1 、 ν_1 和 E_2 、 ν_2 分别为烟梗与卷烟纸的弹性模量与泊松比。

在传统刚性凹槽中, 烟条在宽度方向(X 向)的形变被完全约束, 径向压缩(Y 向)位移几乎全部转化为烟梗与卷烟纸之间的“压入”深度, 导致烟梗承受的局部载荷 F 显著增大。同时, 接触半径 r 极小, 致使接触区域的最大压应力 σ_{\max} 极易超过卷烟纸的刺破强度阈值, 从而产生刺破缺陷。

本改进方案的核心在于, 通过在烟条一侧设置挤压形变区, 允许烟条在受到径向(Y 向)压缩时, 能够向宽度方向(X 向)自由膨胀, 从而将部分压缩能量转化为侧向形变, 而非全部传递至烟梗局部。根据弹性力学原理, 对于近似为各向同性线弹性体的烟丝填充柱体, 在单向压缩下, 其垂直压缩方向的应变可通过泊松比 ν 关联。烟条在 Y 向被压缩 $\Delta D = 1.5 \text{ mm}$, 对应的 Y 向名义应变 $\varepsilon_y = -\Delta D/D = -1.5/7.7 \approx -0.1948$ 。若不考虑轴向(Z 向)约束, 则在宽度方向(X 向)产生的自由膨胀应变 $\varepsilon_x = -\nu \cdot \varepsilon_y$ (其中 ν 为烟丝柱体的等效泊松比, 取经验值 0.2)。因此, X 向的理论自由膨胀量 δ_x 为:

$$\delta_x \approx D \cdot \varepsilon_x = D \cdot (\nu \cdot \Delta D/D) = \nu \cdot \Delta D = 0.2 \times 1.5 \text{ mm} = 0.30 \text{ mm}$$

因此形变区在 X 向至少需要提供 0.30 mm 的空间。此外, 必须考虑烟梗自身尺寸(直径 $d_{\text{梗}}$ 约 1.0 mm)以及各种工况下均能有效分散应力, 需要 W_d 满足: $W_d \geq \delta_x + d_{\text{梗}} \approx 1.3 \text{ mm}$ 。所以变区宽度 W_d 最终确定为 2.0 mm。此尺寸不仅完全容纳了理论自由膨胀量, 还为烟梗区域提供了充足的局部形变裕度, 避免了烟条与形变区侧壁的过早接触。

本设计从力学原理上降低了烟梗刺破卷烟纸的风险。在加工原则上, 采用针对性处理方式, 仅对靠拢鼓轮槽中与切纸鼓轮接触的受挤压部分进行锉削加工以形成该形变区, 保留接装纸搭接部分与未挤压部分的完整凹槽结构, 未加工区域与烟条紧密贴合, 既保证了烟组搭接时的限位效果, 又避免了非挤压区域因结构冗余影响烟组传递效率。

3.3. 工作原理

在卷烟机正常运行过程中, 烟条与滤嘴的精准靠拢定位是保障后续搓接质量的基础环节, 该过程在靠拢鼓轮的烟条放置区内有序完成[5]。靠拢鼓轮的槽型结构经过精密设计, 与烟条、滤嘴的规格参数高

度匹配,能够引导两者平稳贴合,确保初始定位的同轴度与贴合度,为后续搭接工序筑牢基础。当靠拢鼓轮按照预设转速自转,直至鼓轮槽与切纸鼓轮的对应工位精准对正时,经裁切后的接装纸便与烟组(烟条+滤嘴组合体)开始精准搭接,此时设备会施加挤压压力,以保障接装纸与烟组的有效粘接。

在此挤压过程中,烟条会在压力作用下向专门设计的挤压形变区发生柔性形变。该形变区采用弹性缓冲结构,通过合理的空间布局与材质选择,为烟条提供了充足的缓冲余量,能够将局部集中的挤压压力均匀分散至更大区域,避免压力集中于烟条某一点——这一设计可有效规避烟条内部烟梗因局部受力过大而刺破卷烟纸的问题,从源头减少不合格品产生。同时,接装纸搭接区域与非挤压区域保留的完整凹槽结构,发挥了关键的限位作用:其与烟组的外形轮廓精准契合,能够在挤压过程中牢牢固定烟组位置,防止出现轴向或径向位移,确保接装纸与烟组的粘接面始终保持完整贴合。这一设计既保障了粘接强度符合生产标准,又实现了挤压压力与形变缓冲的动态平衡,最终在稳定搓接质量、满足卷烟外观与内在品质要求的前提下,显著降低了刺破烟的产生风险,提升了生产效率与成品合格率。

4. 应用效果验证

4.1. 验证方案

为检验改进方案的实际应用效果,本次验证选取本厂 ZJ116-3#至 ZJ116-5#三组卷接机组作为改造对象,以 2024 年 3~5 月为改造前数据采集期,6~9 月为改造后验证期,在验证全程中保持原有机组的运行参数、生产节奏及原材料规格均不改变,仅将原有靠拢鼓轮更换为改进后的版本,通过持续跟踪记录三组机组烟支刺破率的变化情况并进行对比分析,确保验证结果的客观性与准确性。

4.2. 验证结果

改造前后烟支刺破率对比数据如下表 1 所示:

Table 1. Puncture rate of ZJ116 cigarette making machine
表 1. ZJ116 卷接机组刺破烟刺破率

| 项目 | 烟支刺破率对比(单位: %) | | | | | | |
|----------|----------------|------|------|------|------|------|------|
| | 改造前 | | | 改造后 | | | |
| | 3 月 | 4 月 | 5 月 | 6 月 | 7 月 | 8 月 | 9 月 |
| ZJ116-3# | 0.72 | 0.55 | 0.76 | 0.68 | 0.28 | 0.33 | 0.27 |
| ZJ116-4# | 0.83 | 0.46 | 0.66 | 0.64 | 0.30 | 0.31 | 0.39 |
| ZJ116-5# | 0.66 | 0.61 | 0.53 | 0.60 | 0.29 | 0.31 | 0.26 |

数据显示,改造前三组机组的烟支刺破率波动在 0.46%~0.83%之间,均值为 0.60%~0.68%;改造后刺破率快速下降并稳定在 0.26%~0.39%之间,平均降幅超 50%。同时,经工艺质量科与质量监督检测站的持续抽检,改造后烟支的搓接牢固度、外观平整度等关键指标均符合生产工艺标准,未出现烟组位移、接装纸脱落等质量问题,充分验证了该靠拢鼓轮改进方案的有效性与可靠性。

4.3. 应用成效

ZJ116 卷接机组靠拢鼓轮改进装置的应用成效显著。首先,产品质量得到大幅提升,刺破烟数量显著减少,烟支外观完整性与质量稳定性获得有效保障,经工艺质量科与质量监督检测站抽检,所有产品均符合工艺标准。其次,生产成本实现有效控制,因刺破烟导致的原材料浪费与产品返工报废情况大幅减

少,为企业节约了可观的生产成本。同时,生产效率始终保持稳定,改进后的靠拢鼓轮未改变原有机组的运行参数与生产节奏,在显著提升产品质量的同时,有力保障了生产连续性。此外,该装置还具备突出的推广价值,仅需对原有靠拢鼓轮进行局部锉削加工即可完成改造,不仅结构简单、改造成本低,且施工周期短,目前已在车间所有ZJ116卷接机组上全面推广,应用效果获得一致认可。

5. 结语

综上所述,在ZJ116卷烟机组完成靠拢鼓轮改进后,本厂工艺质量科联合质量监督检测站,针对该机组生产的烟支开展了多批次、大样本量的专项抽检工作。抽检范围覆盖烟支外观完整性、卷烟纸破损情况等关键质量维度,检测数据显示,改进后烟支中刺破烟的出现频率较改进前有明显下降,且所有抽检烟支的各项质量指标均稳定符合企业工艺标准与行业质量要求,充分验证了改进方案的有效性。

此次对靠拢鼓轮的改进,在确保接装纸与烟组粘接质量达标,且后续滚搓工序中烟组成型精度不受影响的前提下,通过优化鼓轮槽型结构与挤压受力分布,有效减轻了切纸轮对烟组中烟条的局部挤压强度,从工艺根源降低了刺破烟的产生概率。更重要的是,该改进方案无需对机组进行大规模改造,操作流程简便,改造成本可控,不仅能为本厂降低生产损耗、提升经济效益,其技术思路对烟草行业内同类卷接设备的质量优化也具有重要的参考价值与广泛的推广意义。

需要注意的是,本方案在ZJ116卷接机组生产7.7 mm直径烟支时效果显著,若应用于不同机型如ZJ119、ZJ118,不同直径烟支如细支、中支烟时需要进行适应性改进。需要考虑不同靠拢鼓轮的构造是否适用此方法,以及不同烟支直径对挤压形变区的尺寸影响和计算。

参考文献

- [1] 耿振东,吴名辉,王国峰. ZJ116型卷接机组烟支质量控制系统的改进设计[J]. 机械管理开发, 2022, 37(12): 220-223.
- [2] 徐大勇,邓国栋,刘朝贤,等. 烟支刺破梗签粒度分析[J]. 中国烟草学报, 2021, 27(1): 37-42.
- [3] 白云飞. 烟支滤嘴搓接过程的分析与研究[D]: [博士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2018.
- [4] 纪斌,姚艳萍,周利东,等. 基于赫兹接触理论的输送带压陷滚动阻力研究[J]. 机械传动, 2025, 49(11): 121-127.
- [5] 赵淼,杨雪超,聂坤,等. ZJ17型卷烟机接装纸多形式缺陷故障维修[J]. 今日制造与升级, 2022(10): 181-183.