

烟支刺破问题的关键影响因素及机理研究

乔彬, 王立治, 黄长斌, 吕道勇, 苟世祥

红塔烟草(集团)有限责任公司昭通卷烟厂卷包车间, 云南 昭通

收稿日期: 2025年9月9日; 录用日期: 2025年10月1日; 发布日期: 2025年10月9日

摘要

为探究卷烟机刺破烟的深层次原因, 本文以7.7 mm直径的红塔山(1956)、红塔山(经典100)卷烟作为研究对象, 以ZJ118卷烟机为试验设备, 通过对比卷烟梗丝分离系统剔除的梗签与烟支刺破中的梗签尺寸特性, 结合烟梗径向硬度与卷烟纸刺破强度的匹配关系展开试验分析。通过分析卷烟机卷烟纸与滤嘴烟支搭接成形过程中鼓轮对烟支的压缩量, 论证烟支中所含有的梗签对卷烟纸的刺破产生的过程以及原因。研究明确了烟支刺破的关键影响因素, 为优化梗丝分离工艺、提升卷烟成形质量提供了理论依据。

关键词

质量, 刺破烟

Study on Key Influencing Factors and Mechanism of Cigarette Piercing Problem

Bin Qiao, Lizhi Wang, Changbin Huang, Daoyong Lyu, Shixiang Gou

Cigarette Rolling and Packaging Workshop, Hongta Tobacco (Group) Co., LTD Zhaotong Cigarette Factory, Zhaotong Yunnan

Received: September 9, 2025; accepted: October 1, 2025; published: October 9, 2025

Abstract

To explore the in-depth causes of cigarette piercing by cigarette making machines, this paper takes Hongtashan (1956) and Hongtashan (Classic 100) cigarettes with a diameter of 7.7 mm as the research objects, and uses the ZJ118 cigarette making machine as the test equipment. The test analysis is carried out by comparing the size characteristics of the stem pieces removed by the cigarette stem separation system and those in the pierced cigarettes, combined with the matching relationship between the radial hardness of tobacco stems and the piercing strength of cigarette paper. By analyzing the compression amount of the drum on the cigarette during the lap forming process of the cigarette paper and the filter cigarette on the cigarette making machine, the process and cause of the piercing of

the cigarette paper by the stem pieces contained in the cigarette are demonstrated. The study clarifies the key influencing factors of cigarette piercing, and provides a theoretical basis for optimizing the stem separation process and improving the cigarette forming quality.

Keywords

Quality, Pierced Cigarette

Copyright © 2025 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/>



1. 引言

烟支卷制成形质量是卷烟生产过程中的核心控制指标之一，直接影响产品外观完整性与消费者吸食体验。其中，烟支刺破作为常见的外观缺陷，主要表现为滤嘴烟支外表面出现刺破孔或者裂口，其破坏了烟支密封性，属于缺陷产品。烟支外观缺陷率高导致缺陷烟支剔除量激增，是卷烟机组一直以来的通病。

本研究以 7.7 mm 直径主流卷烟产品为研究对象，以 ZJ118 卷烟机为试验设备，通过采集刺破烟支的梗签与卷烟机风分剔除的梗签，对比分析两种梗签的尺寸分布差异和卷烟纸的抗刺破性来研究分析烟梗对卷烟纸刺破的规律。再对卷制成形过程中鼓轮对烟支的压缩量进行研究，深度探究烟支中所含有的梗签对烟支的被压缩时刺破强度。对优化卷烟工艺流程、提高卷烟卷接质量、降低废品消耗具有重要意义。

2. 刺破烟支梗签与卷烟机剔除梗签的尺寸特性对比分析

本试验以 7.7 mm 直径卷烟的刺破问题为主要研究对象，选取红塔山(1956)和红塔山(经典 100)两个品规的烟支作为研究对象，以 ZJ118 卷烟机为试验设备，总共收集了刺破烟支 1244 支，确保了样本覆盖不同生产批次。

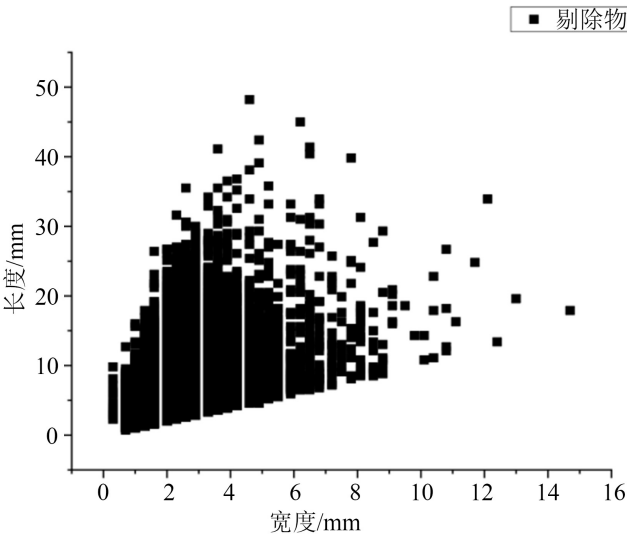


Figure 1. Size distribution of stems removed from cigarette making machines
图 1. 卷烟机剔除梗签的尺寸分布

梗签样本采集分为两类：一是刺破烟支中的梗签。采用裁纸刀划开刺破烟支的破损部位，然后取出导致刺破的梗签，并分类收集；二是卷烟机风分除梗装置剔除的梗签。直接收集卷烟机正常生产过程中通过风分除梗剔除的烟梗[1]。

利用片烟大小及其分布测定系统，采用图像识别法检测每根的长度和宽度，每根梗签重复检测 3 次取平均值，确保尺寸数据的准确性。

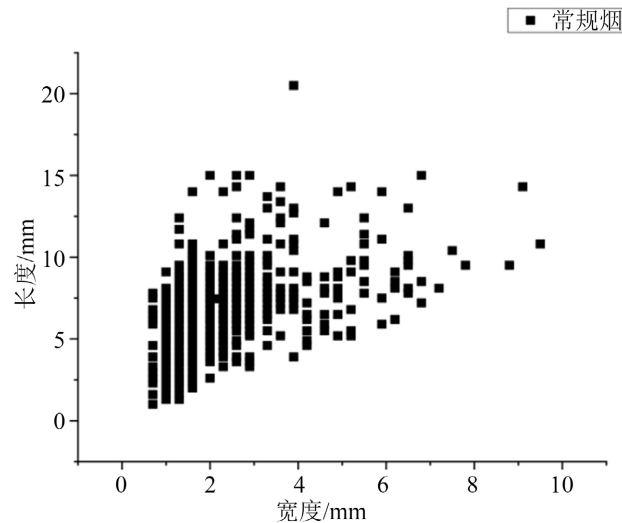


Figure 2. Size distribution of sampled punctured tobacco stems
图 2. 取样刺破烟梗签的尺寸分布

试验结果(如见图 1、图 2)显示，两类梗签的尺寸分布存在显著差异。卷烟机风分除梗所剔除得梗签的尺寸较多，呈现“宽范围、高离散”特征，个别梗签长度达到了 50 mm，最大的宽度达到了 14 mm，远远超过了普通烟丝的规格要求；取样刺破烟梗签在长度和宽度上相对来说就比较小，长度集中在 10 mm 左右宽度集中在 1~4 mm 左右，其中的部分梗签呈现明显的块状结构。说明卷烟机自带的梗丝分离装置能剔除大部分较大的梗签，但对长度 < 10 mm、宽度 < 5 mm 的中小型梗签拦截效果有限，此类梗签就成为了穿透卷烟纸、导致烟支刺破的主要诱因[2]。

3. 烟梗径向硬度与卷烟纸刺破强度的关联性分析

为了探究烟梗硬度特性与卷烟纸刺破现象的内在联系，试验以前期筛选出的“取样刺破烟梗签”为研究对象[3]。

3.1. 烟梗径向硬度检测

采用数显式显微硬度计(型号：HVS-1000，制造商：上海联尔检测仪器有限公司，加载力范围：10 mN~1000 mN，加载速度调节范围：10 $\mu\text{m/s}$ ~100 $\mu\text{m/s}$ ，硬度测量精度： $\pm 2\%$)，参照 GB/T 21782.3-2008 标准进行检测。将梗签沿径向切割为厚度 2 mm 的薄片，选取薄片中心区域作为检测点，避免表皮及缺陷部位影响结果。设定加载力为 100 mN，加载速度为 50 $\mu\text{m/s}$ ，每个样本检测 3 个不同位置，取平均值作为该梗签的径向硬度值，单位以 HV (维氏硬度)表示。

3.2. 卷烟纸刺破强度检测

选用烟支生产所用的同批次卷烟纸(定量 28 g/m²、厚度 25 μm)，采用电子式破裂强度试验机(型号：

XY-01, 制造商: 济南鑫宇仪器设备有限公司, 测量范围: 0~5 N, 力值精度: ± 0.01 N, 穿刺速度调节范围: 5 mm/min~50 mm/min, 按照 GB/T 454-2020 标准进行检测[4]。将卷烟纸裁制成 60 mm $\times$ 60 mm 的试样, 固定于试验台夹具上, 以直径 12.7 mm 的钢球作为穿刺头, 设定穿刺速度为 10 mm/min, 记录钢球穿透卷烟纸瞬间的最大力值, 即为刺破强度, 单位以 N 表示, 每组检测 20 个试样取平均值。

3.3. 理论依据

基于维氏硬度定义与赫兹接触理论, 将梗签视为刚性球体(前提假设 1: 梗签径向截面近似圆形, 且材质均匀, 忽略纤维不均匀性对硬度的影响; 前提假设 2: 压缩过程中梗签与卷烟纸接触为弹性变形, 无塑性损伤; 前提假设 3: 接触区域为圆形, 且接触应力均匀分布), 通过维氏硬度值推导接触力。

维氏硬度(HV)定义为试验力(F, 单位: N)与压痕表面积(S, 单位: mm²)的比值, 公式为:

$$HV = 0.1891 \times \frac{F}{d^2}$$

其中, d 为维氏硬度计压痕对角线平均值(单位: mm), 0.1891 为维氏硬度计算系数(由压头锥角 136° 推导得出)。

结合赫兹接触理论, 当梗签与卷烟纸接触时, 接触力(F_c)与接触应力(σ_c)、接触面积(A_c)满足:

$$F_c = \sigma_c \times A_c$$

由于烟梗维氏硬度(HV)近似等于接触应力(σ_c , 单位: MPa), 且接触面积 $A_c = \pi r^2$ (r 为接触半径, 由试验中梗签宽度的 1/2 近似, 即 $r = \frac{\omega}{2}$, ω 为梗签宽度, 单位: mm), 最终推导接触力公式为:

$$F_c = HV \times \pi \times \left(\frac{\omega}{2}\right)^2 \times 10^{-3}$$

注: 10^{-3} 为单位换算系数, 将 MPa (N/mm²) 与 mm² 换算为 N)。

3.4. 烟梗径向硬度与卷烟纸刺破强度

试验数据显示, 取样刺破烟梗签的径向硬度平均值达 18.6 HV, 且波动范围较小(16.2~20.3 HV); 通过实验数据可知, 取样刺破烟梗签梗芯木质化程度较高、纤维结构较为紧密, 径向抗变形能力强。

实验检测卷烟纸的平均刺破强度为 1.25 N, 标准差为 0.08 N。取样刺破烟梗签的径向硬度(16.2~20.3 HV)对应的接触应力, 超过卷烟纸的刺破强度(1.12~1.38 N), 从而导致梗签与卷烟纸在一定作用力下, 容易将卷烟纸刺破[4]。

4. 水松纸搭接成形过程中的压缩量对烟支刺破的机械力学分析

在卷烟卷制成形过程中, 两支单倍长度烟条与双倍长度滤嘴组成的烟组在切纸鼓轮处与水松纸进行搭接。为了使水松纸与两支单倍长度烟条与双倍长度滤嘴组成的烟组搭接牢固, 不发生偏移, 卷烟机设定靠拢鼓轮与切纸鼓轮交接处间隙为 6.2 mm, 与 7.7 mm 直径的烟支形成了 1.5 mm 的压缩量, 本质上就是通过机械结构施加法向压力实现烟组搭接固定的力学过程[5] [6]。

在卷烟卷制成形过程中, 在滤嘴接装阶段, 需要将经由其他工序加工汇合好的一根双倍滤嘴以及两根单倍长烟条靠拢后与切割涂胶后符合工艺要求的接装纸进行结合, 它们在搓烟轮上汇合形成烟组; 为使烟组在搓烟轮与搓板之间作纯滚动, 搓接形成双倍长烟支, 起始轨在接触烟组时将对烟组进行挤压, 从而将烟组从搓烟轮轮槽内取出。起始轨与搓接鼓轮的间隙为 7.0 mm, 与 7.7 mm 直径的烟支形成了 0.7 mm 的压缩量, 本质上就是通过机械结构施加法向压力实现烟组搭接固定的力学过程[5] [6]。

这个压缩的过程实质是水松纸鼓轮与烟组间、起始轨与搓接鼓轮间的刚性接触行为。而烟支直径大于两部件间的间隙,使两部件对烟组形成强制挤压,此时的烟组表面均匀承受来自两部件的法向压力。但是,对于烟支内含有横向或者斜向分布烟梗的烟支,烟梗作为刚性杂质,在相同法向压力作用下,烟梗的形变量远小于烟丝,根据接触力学中的赫兹接触理论,刚性烟梗会将所受压力集中传递至烟支外包装纸,使接触点处的局部应力急剧升高,就造成了烟梗刺破卷烟纸的现象。

从材料力学来分析,横向及斜向分布于烟支内烟梗改变了烟支在这个压缩过程中的局部受力结构。横向烟梗与烟支轴线垂直,在压缩时会形成“支点效应”,烟梗两端与卷烟纸接触点的应力集中系数远大于纵向烟梗;斜向烟梗则在压缩力作用下产生剪切分力,当剪切应力超过卷烟纸的强度时,会使卷烟纸在剪切力和法向压力的复合作用下更容易被刺破。

综上所述,卷烟设备中切纸鼓轮与靠拢鼓轮 1.5 mm 压缩量和起始轨与搓接鼓轮 7.0 mm 压缩量导致的烟支刺破问题,是烟支结构受力形态、烟梗接触应力集中和材料力学性能差异共同作用的结果。

5. 结论

烟支刺破问题的研究以 7.7 mm 直径的红塔山(1956)、红塔山(经典 100)卷烟为实验对象,通过对比烟支取样刺破烟梗签与卷烟机风分除梗机构剔除梗签的尺寸特性,结合烟梗径向硬度与卷烟纸刺破强度的匹配关系分析,烟支卷制成形过程中鼓轮对烟组的压缩,系统地表述了烟支刺破问题的发生原因,主要结论如下:

(1) 卷烟机组自带的梗丝分离系统能剔除大部分的梗签,但小尺寸的梗签依然是刺破烟产生的关键因素。

(2) 烟梗径向硬度与卷烟纸刺破强度的匹配失衡是刺破发生的底层因素。不同类型梗签的径向硬度存在显著分层:取样刺破烟梗签径向硬度(16.2~20.3 HV, 平均 18.6 HV),因梗芯木质化程度高、纤维结构紧密,径向抗变形能力强。在水松纸搭接 1.5 mm 压缩量作用下,取样刺破烟梗签产生的局部应力(1.32 N)超过卷烟纸平均刺破强度(1.25 N),硬度与强度的不匹配直接导致卷烟纸破裂。

(3) 本文阐述了烟支刺破的关键影响因素和作用机理,为卷烟生产中成形缺陷的控制提供了数据支撑与技术方向,对提升产品质量稳定性、降低生产损耗具有实践指导意义。

6. 未来与展望

未来方向:一是结合机器视觉技术和优化烟丝流结构实现烟梗在线监测和定向梳理,减少横向和斜向分布的烟梗。二是通过对烟丝流在流化床装置中成形的气体力学分析、滤嘴烟支在卷制成形过程中机械力学分析,结合卷烟设备对烟机设备进行改造,减少刺破烟支形成的条件。三是从优化打叶复烤叶中含梗的控制环节、提升制丝环节的风选性能和升级卷烟机的梗签分离系统来减少卷烟中的梗签含量,提高卷烟质量。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 谢崇权,王安宽,梁孝东,等. PROTOS70 卷接机组 VE 空气系统对烟丝成形的影响[J]. 现代工业经济和信息化, 2023, 13(3): 285-287.
- [3] 刘德强,张风光,王乐军,等. 烟梗成丝的研究及应用[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(33): 19052-19054.
- [4] 张鹏,张玲,张晶儒,等. 卷烟纸的性能及功能化概述[J]. 天津造纸, 2024, 46(2): 13-20.
- [5] 崔燕黎. PROTOS70、ZJ112、PROTOSM5 供丝工艺原理及分析比较[J]. 装备制造, 2010(4): 186-187.
- [6] 宋燕宏. 烟支滤嘴接装质量分析与新型搓接方式研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2015.