

# ZB45型小盒包装机内框纸压辊的改进与应用

李骥鹏, 赵国瑜, 李 列, 熊郑秀楠, 薛 玫

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: 2025年11月15日; 录用日期: 2025年12月8日; 发布日期: 2025年12月15日

## 摘 要

本文为了降低小盒闭合不良缺陷率, 进行了对YB45型小盒包装机内框纸压辊改进。首先深入剖析小盒闭合卡塞的问题, 从“人、机、料、法、环、测”六个方面全面分析, 最终找到是内框纸压辊轮存在问题。接下来采用交互试验法确定最佳参数, 设计新型压辊轮, 选用38CrMoAl材质并完成安装调试。完成改进后, 小盒闭合不良缺陷率成功降至1.50%以内, 单机月平均占比从5.02%降至0.92%, 小盒闭合卡塞缺陷率占比从85.29%降至15.72%, 显著提升包装质量, 带来可观经济与社会效益。本研究为烟草包装行业同类设备优化提供了宝贵借鉴, 助力提升整体生产效率与产品品质。

## 关键词

ZB45型小盒包装机, 内框纸压辊, 小盒闭合不良, 质量提升

# Improvement and Application of the Inner Frame Paper Press Roller in ZB45 Small Box Packaging Machine

Jipeng Li, Guoyu Zhao, Lie Li, Zhengxiunan Xiong, Mei Xue

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

Received: November 15, 2025; accepted: December 8, 2025; published: December 15, 2025

## Abstract

To reduce the defect rate of carton closure, an improvement on the inner frame paper pressure roller of YB45 small box packaging machine was conducted. The issue of carton closure jamming was thoroughly analyzed from six aspects: man, machine, material, method, environment, and measurement, identifying the problem in the inner frame paper pressure roller. An interactive test method was employed to determine optimal parameters, followed by designing a new pressure roller made

of 38CrMoAl material and completing installation and debugging. After the improvement, the defect rate of carton closure was successfully reduced to within 1.50%, with the monthly average proportion per machine dropping from 5.02% to 0.92%, and the proportion of closure jamming defects decreasing from 85.29% to 15.72%. This significantly enhanced packaging quality, bringing considerable economic and social benefits. This study provides valuable references for optimizing similar equipment in the tobacco packaging industry, contributing to improving overall production efficiency and product quality.

## Keywords

ZB45 Small Box Packaging Machine, Inner Frame Paper Press Roller, Carton Closure Defect, Quality Improvement

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/>



Open Access

## 1. 引言

2024 年全国烟草工作会议指出：全行业要“稳运行，优结构，强品牌”。在烟草行业竞争日趋白热化的当下，产品包装质量已然成为决定市场竞争力的核心要素之一[1]。小盒包装作为卷烟产品面向消费者的直接载体，其质量优劣直接关乎品牌形象与市场接受度[2]-[4]。红塔山(细支传奇)作为新上市的细支卷烟产品，以其独特的口味和精美的包装备受市场青睐[5]-[7]，但受制于设备改造存在不足，长期受小盒闭合不良问题的困扰，这不仅导致生产过程中的辅料浪费，还会降低设备效率[8]，更会对品牌声誉造成负面影响。

为了提高小盒的成型质量，李家贵等[9]通过改进了加速辊对，将光滑的柱面输送改为凹凸型输送，消除了内衬纸段在加速分离过程中的歪斜现象，有效提升了机器运行效率；曾峰等[10]设计了在内衬纸表面涂抹石蜡的装置，通过减小摩擦阻力使内衬纸便于输送与折叠；吕小波等[11]将吸风平带改为齿形吸风带，解决了两根吸风带传动比不同造成的输送歪斜、堵塞现象，显著提升了小盒成型质量；刘永宾等[12]通过对商标纸内舌涂胶装置及折叠装置进行改进，该装置可以对商标纸内舌部位进行微量弯曲，内舌弯曲后的小盒商标纸在折叠过程中能有效防止烟包小盒插盖，有效保障了小盒包装生产的质量。

包装机械的稳定运行与动力学特性密切相关，其核心部件的运动精度直接决定了产品成型质量。已有研究表明，包装机械中旋转部件的动力学响应会显著影响物料输送与成型的稳定性，压辊作为关键传动与成型部件，其转速波动、受力分布均匀性与接触压力稳定性，均是导致物料折叠偏差、卡塞等缺陷的重要动力学诱因[13]。Wang 等[14]通过建立包装机压辊系统多体动力学模型，发现压辊边缘宽度与接触角度的设计偏差会引发局部应力集中，进而导致物料折叠轨迹偏移，这为本次内框纸压辊的结构优化提供了动力学理论支撑。

材料耐磨性设计是延长包装机械核心部件使用寿命、维持设备长期稳定性的关键。在高速往复运动的包装设备中，部件磨损会导致配合间隙增大、运动精度下降，最终引发产品缺陷率上升。Zhang 等[15]的研究指出，包装机械关键摩擦部件的材质选择需兼顾硬度、韧性与耐磨性，经表面强化处理的合金材料能有效降低磨损速率，38CrMoAl 作为典型的渗氮合金结构钢，其渗氮后的表面硬度可达 HV900 以上，耐磨性相较于普通碳钢提升 3~5 倍，已在机械传动部件中得到广泛应用[16]，这为本次压辊材质的选定提供了坚实的材料学基础。

精密制造工艺则是保障包装机械部件设计性能落地的核心环节。压辊的尺寸精度、表面粗糙度与形位公差，直接影响其与物料的接触状态和成型效果。Li 等[17]针对包装机械精密部件的制造工艺研究表明，采用数控磨削 + 激光检测的复合加工工艺，可将压辊关键尺寸公差控制在 $\pm 0.005\text{ mm}$ 以内，表面粗糙度  $Ra \leq 0.8\text{ }\mu\text{m}$ ，能有效减少物料与压辊间的摩擦阻力波动，提升成型一致性，这为新型压辊的加工制造提供了工艺技术参考。

此前针对小盒成型质量提升的研究主要集中于特殊商标纸，以及从改善上胶方式来提升质量检验效果等方面，通过优化原有商标纸成型机构来改善小盒成型质量的研究未见报道。因此，有必要对于深层次问题加以分析，进行改进，从而有效解决小盒闭合不良问题，提升产品包装质量，进而增强红塔山(细支传奇)的品牌竞争力，对企业的可持续发展意义深远。

2. 红塔山(细支传奇)小盒包装问题剖析

2.1. 小盒闭合不良现状调查

在卷烟包装的生产过程中，细支烟烟包内框纸内折宽度和角度相较常规烟烟包较小，经常会出现小盒无法正常闭合的情况。小盒闭合不良问题经常造成停机翻箱，严重影响产品质量与生产效益。从 2024 年 5 月以来各个机台生产的牌号出现小盒闭合不良现象的调查结果：1) 以 D7#机组为例，在某生产周期内，因小盒闭合不良导致商标纸辅料浪费显著，相较于正常计划消耗量增加了 10.6%，额外多消耗了大量商标纸。2) 工艺抽检数据表明，小盒闭合不良缺陷产品的出现，极大损害了产品的品牌形象，降低了消费者对品牌的认可度。通过对不同牌号和机台的小盒闭合不良缺陷率进行深入分析后发现，各牌号、机台之间的缺陷率并无明显差异。

进一步研究发现，按照缺陷种类对小盒闭合缺陷可分为五类：闭合卡塞、小盒盖变形、内框纸褶皱、内框纸歪斜、内衬纸褶皱，并对这五类缺陷进行统计，结果如表一所示。“小盒闭合卡塞”是造成小盒闭合不良的关键问题，在所有相关缺陷中占比 85.29%，严重制约了产品包装质量的提升(表 1)。

Table 1. Statistics of defects of different types of lockets for poor closure  
表 1. 不同种类小盒闭合不良缺陷统计表

| 小盒闭合不良缺陷种类 | 缺陷数目   | 缺陷占比   | 累计占比   |
|------------|--------|--------|--------|
| 闭合卡塞       | 93,519 | 85.29% | 85.29% |
| 小盒盖变形      | 4539   | 4.14%  | 89.43% |
| 内框纸褶皱      | 4243   | 3.87%  | 93.30% |
| 内框纸歪斜      | 3607   | 3.29%  | 96.59% |
| 内衬纸褶皱      | 2566   | 2.34%  | 98.93% |
| 其他         | 1173   | 1.07%  | 100%   |

2.2. YB45 型包装机小盒闭合卡塞原因确认

在 YB45 型包装机小盒闭合卡塞原因分析方面，作者团队结合生产现场实际情况，通过头脑风暴法，对“人、机、料、法、环、测”方面进行全方面分析小盒闭合卡塞缺陷，并绘制了树状图，在采取相应方法初步排除其中无关因素后，明确了一些导致 YB45 型包装机小盒闭合卡塞原因，具体表现为以下 13 种：

1) 胶缸滚轮与上胶器间隙过小。确认内容：调整胶缸滚轮与上胶器的间隙，调节上胶器与胶缸滚轮间的间隙大小，实现上胶辊胶水量的调节，将间隙分别设置为 0.01 mm、0.02 mm、0.03 mm、0.04 mm、

0.05 mm、0.06 mm、0.07 mm、0.08 mm，对比不同间隙下的小盒闭合缺陷率。确认方法：现场实验法。

2) 上胶轮胶孔数量不足。确认内容：对比合格烟包和缺陷烟包在胶点区域的胶点数量，看胶点数量的差异。确认方法：调查分析法。

3) 车间温度不达标。确认内容：测量和记录车间的环境温度，进行相应环境下的小盒闭合卡塞缺陷率分析。确认方法：调查分析，现场试验。

4) 车间湿度不达标。确认内容：测量和记录车间的环境湿度，进行相应环境下的小盒闭合卡塞缺陷率分析。确认方法：调查分析，现场试验。

5) 胶点位置过高。确认内容：调查并记录小盒侧面 B1、B2 粘接区胶点位置，通过调节上胶轮相位调整胶点位置，改变 B1、B2 区最下方胶点下边缘与商标纸 ab 边的距离，观察不同的距离下，小盒闭合卡塞情况是否有差异。确认方法：现场试验

6) 干燥带张紧过松。确认内容：进行调试试验，将包装机干燥带松紧摆动幅度设定为不同的值，查看其对小盒闭合卡塞是否有影响。确认方法：现场测量与现场试验。

7) 商标小耳朵长度过长。确认内容：在确保同一批次，同一厂家的前提下，同时确保小盒粘贴稳定性和机器适用性，对商标纸小耳朵进行裁切，测量商标小耳朵长度对小盒闭合卡塞的影响程度。确认方法：现场测量。

8) 商标纸过厚。确认内容：在确保同一厂家的前提下，定制不同厚度的商标纸，并测量商标纸对小盒闭合卡塞的影响程度。确认方法：现场测量与现场试验。

9) 修理工定期检查执行周期过长。确认内容：缩短检修周期，统计小盒闭合卡塞缺陷的变化。确认方法：现场试验。

10) 操作工技能水平不达标。确认内容：对操作工进行上岗考试，在保持牌号、运行速度、试验材料均保持一致的情况下，对不同等级操作工产生小盒闭合不良缺陷率进行统计，观察操作工的技能水平对小盒闭合卡塞的影响程度。确认方法：现场试验。

11) 内框纸压辊边宽大。确认内容：更换不同压辊边宽度的内框纸压辊，对比前后的小盒闭合卡塞情况的变化。确认方法：现场试验。

12) 内框纸折叠角度小。确认内容：通过改变内框纸压辊深度来调整内框纸的折叠角度，将内框纸折叠角度设置为不同的角度，但不大于 55°(内框纸折叠角度超过 55°会导致小盒闭合后侧面隆起，影响小盒外观质量)，并与内框纸折叠角度为 33°时小盒闭合卡塞缺陷率进行对比，确定内框纸折叠角度对小盒闭合卡塞的影响程度。确认方法：现场试验。

13) 内框纸裁切圆弧小。确认内容：在控制内框纸与内衬纸之间高度差为 1.5 mm 范围的前提下，将内框纸圆弧角度裁切为不同的角度，正常运行连续测量五天，统计小盒闭合卡塞缺陷的变化。确认方法：现场试验。

通过使用统计学工具，对上述 13 种原因进行逐一确认，最终确定了导致 ZB45 型包装机小盒闭合卡塞的原因有以下两种：11) 内框纸压辊边宽大；12) 内框纸折叠角度小。因此重点围绕这两个原因，提出相应的对策方案，最终解决问(图 1)。

### 3. ZB45 包装机小盒闭合卡塞应对方案

#### 3.1. 确定最佳压辊轮上部的宽度和下部的角度

针对 YB45 型小盒包装机内框纸压辊现存问题，采用交互试验法开展改进工作。选取上部压辊轮宽度 0.50 mm、1.00 mm、1.5 mm，下部压辊轮角度 45°、50°、55°进行多组试验，在保持牌号、运行速度、试验材料、试验环境均保持一致，正常运行设备 4 天，统计小盒缺陷率，试验数据如表 2 所示。

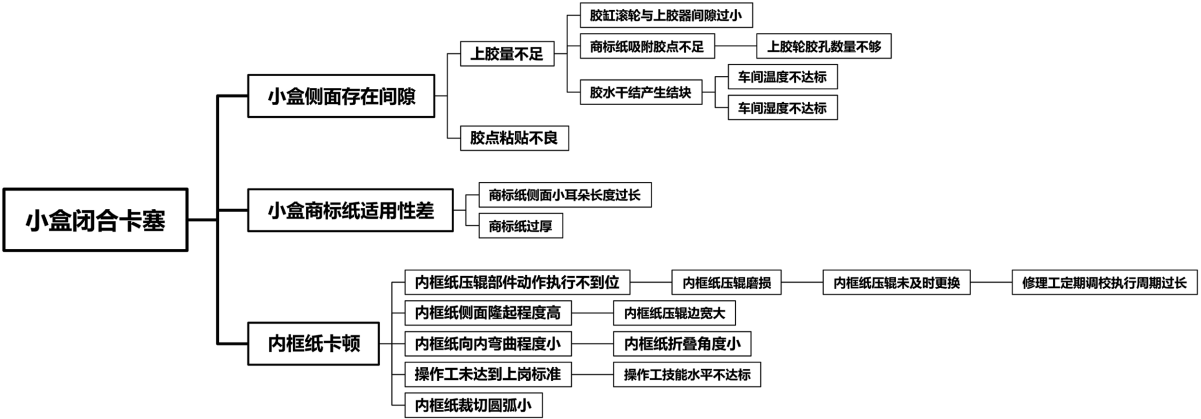


Figure 1. Cause analysis tree map  
图 1. 原因分析树状图

Table 2. Interactive test data statistics  
表 2. 交互试验数据统计表

| 宽度(mm) | 角度(°) | 缺陷率(%) | 宽度(mm) | 角度(°) | 缺陷率(%) |
|--------|-------|--------|--------|-------|--------|
| 0.5    | 45    | 3.12   | 1.0    | 50    | 2.5    |
| 0.5    | 45    | 3.08   | 1.0    | 55    | 2.61   |
| 0.5    | 45    | 3.15   | 1.0    | 55    | 2.59   |
| 0.5    | 50    | 3.34   | 1.0    | 55    | 2.68   |
| 0.5    | 50    | 3.3    | 1.5    | 45    | 2.16   |
| 0.5    | 50    | 3.26   | 1.5    | 45    | 2.19   |
| 0.5    | 55    | 3.01   | 1.5    | 45    | 2.21   |
| 0.5    | 55    | 3.19   | 1.5    | 50    | 2.45   |
| 0.5    | 55    | 3.14   | 1.5    | 50    | 2.57   |
| 1.0    | 45    | 2.1    | 1.5    | 50    | 2.6    |
| 1.0    | 45    | 2.05   | 1.5    | 55    | 2.94   |
| 1.0    | 45    | 2.07   | 1.5    | 55    | 2.86   |
| 1.0    | 50    | 2.46   | 1.5    | 55    | 2.8    |
| 1.0    | 50    | 2.57   |        |       |        |

通过对试验数据的进行有交互作用的双因素方差分析，分析结果如表 3 所示，确定降低小盒闭合卡塞缺陷率的最佳参数组合。

Table 3. Results of two-way ANOVA  
表 3. 双因素方差分析结果

| 差异源       | 平方和     | df | 均方      | F         | p       | 偏 Eta 方(Partial $\eta^2$ ) |
|-----------|---------|----|---------|-----------|---------|----------------------------|
| Intercept | 197.370 | 1  | 197.370 | 60625.711 | 0.000** | 1.000                      |
| 宽度        | 3.093   | 2  | 1.547   | 475.086   | 0.000** | 0.981                      |
| 角度        | 0.842   | 2  | 0.421   | 129.325   | 0.000** | 0.935                      |
| 宽度 * 角度   | 0.431   | 4  | 0.108   | 33.085    | 0.000** | 0.880                      |
| Residual  | 0.059   | 18 | 0.003   |           |         |                            |

备注： $R^2 = 0.987$ ； $*p < 0.05$ ； $**p < 0.01$ 。



依据表可知, 分析项“宽度和角度的交互项”模型的  $F = 33.085$ ,  $p < 0.01$ , 模型显著, 表明上部压辊轮宽度和下部压辊轮角度之间存在交互效应。由于在实验中二阶效应且呈现出显著性, 小组成员进一步开展了简单效应分析。分析结果显示当宽度项为 3.0, 角度项为 1.0~2.0 时对缺陷率的影响最大, 其中角度项为 1.0 时对缺陷率影响效果更好; 当角度项为 1.0, 宽度项为 1.0~2.0 时对缺陷率的影响最大, 其中宽度项为 2.0 时对缺陷率影响效果更好。综合以上数据, 确定宽度为 2.0 (1.0 mm) 和角度 1.0 (45°) 的情况下, 小盒闭合卡塞缺陷率的降低效果最好, 因此确定上部压辊轮宽度确定为 1.0 mm, 下部压辊轮角度确定为 45°。

### 3.2. 设计制作新型上部压辊轮

#### 1) 选定辊轮材料

在设计制作新型上部压辊轮时, 合理选择辊轮材料至关重要。YB45 型小盒包装机的压辊轮工况复杂, 需承受一定压力和摩擦。综合考量材质的硬度、密度和价格等因素后, 选定 38CrMoAl 作为压辊轮材质。此材料具备诸多优势, 经表面渗氮处理后, 能使压辊轮获得很高的表面硬度, 显著提升耐磨性, 有效延缓磨损。这不仅可以确保压辊轮在长时间使用过程中保持稳定性能, 维持对内框纸的精准输送和压合效果, 保障小盒包装质量, 还能减少因频繁更换部件带来的停机时间和成本, 从多方面满足生产需求, 为提升包装机整体运行效率和产品质量奠定坚实基础。

#### 2) 设计图纸

在设计新型上部压辊轮图纸时, 基于原有压辊轮进行创新。着重设计一种能增加两侧折叠角度的压辊轮, 确保内框纸经其折叠后, 向内折叠角度处于 45°~50°区间, 其基本结构如图 2 所示。

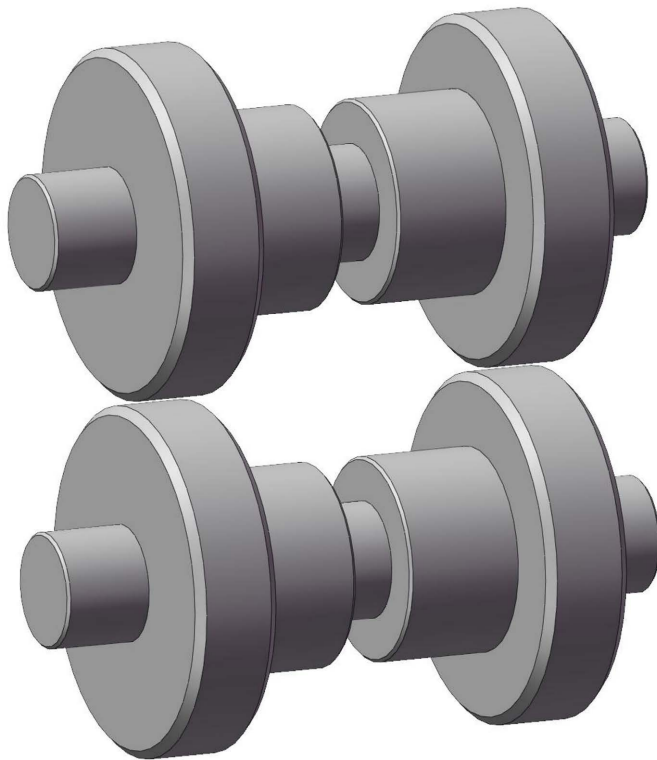


Figure 2. The structure of the new pressure roller  
图 2. 新型压辊轮结构

3) 仿真分析

通过调试装配模拟，对压辊轮与包装机其他部件的配合进行预装配，有利于提前发现可能存在的安装和运行问题。同时，利用中望 3D 软件对关键部位进行强度校验模拟，分析在不同工况下的应力、应变分布情况。经仿真分析，新型压辊轮在正常运行状态下，最大变形为  $3 \times 10^{-5}$  mm。因此，新型压辊轮在满足内框纸折叠工艺要求的同时，能保证结构强度和稳定性，有效减少潜在故障风险，为实际生产应用提供可靠依据。

4) 安装与调试

新型上部压辊轮加工完成后，开展安装调试工作。安装时，严格依照规范流程，如图 3 所示，先拆除原压辊轮并清洁安装部位，再将新型压辊轮精准装至指定位置，确保各连接部件紧密稳固。调试过程中，密切关注压辊轮的运行状态，对其位置、压力及与其他部件的配合度进行精细调整，使内框纸输送和折叠效果达到最佳。经反复调试，新型压辊轮稳定运行，满足生产工艺要求。

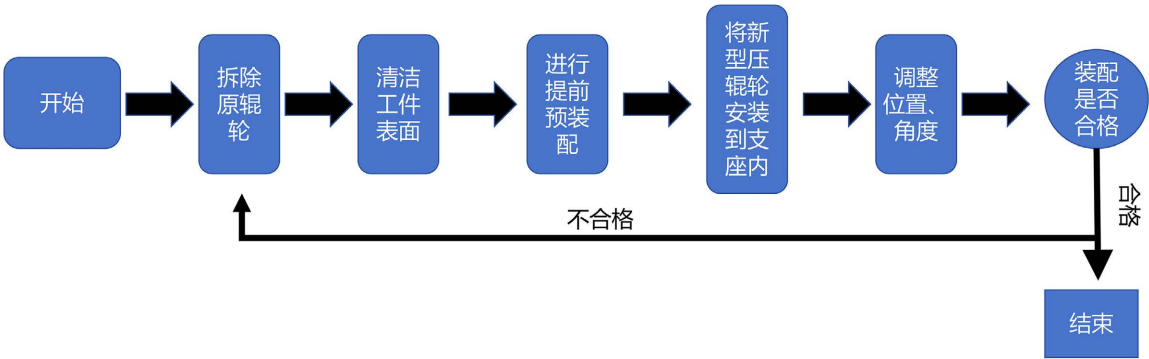


Figure 3. On-site assembly steps of the inner frame paper pressure roller  
图 3. 内框纸压辊轮现场装配步骤图

4. 改进效果综合评估

4.1. 质量提升成果

在完成对 YB45 型小盒包装机内框纸压辊的改进举措后，研究团队对小盒包装质量实施了为期三个月的持续跟踪检查。结果表明，小盒闭合不良缺陷率得到了有效控制，成功维持在 1.50% 以内的理想水平。具体来看，单机月平均占比从改进前的 5.02% 显著降低至 0.92%，这一成果与预定目标高度契合，有力地验证了改进措施在提升小盒包装质量方面的有效性和可靠性。

进一步深入对比改进前后小盒闭合卡塞缺陷率占比的变化，能够清晰洞察改进工作所取得的显著成效。在改进前，小盒闭合卡塞缺陷率占比高达 85.29%，无疑是制约小盒闭合质量提升的关键因素。而经过改进后，该占比大幅下降至 15.72%。这一数据上的显著变化，充分证明改进后的内框纸压辊切实有效地解决了小盒闭合卡塞这一核心问题，对小盒包装质量实现了质的提升，为产品在市场中的竞争力提供了坚实保障。

4.2. 效益分析

以小盒闭合卡塞数量作为关键衡量指标，针对 YB45 型小盒包装机内框纸压辊实施改进后，成效斐然。经数据统计，改进后缺陷率降低 456%，极大提升生产效率，有力消除生产阻碍。从经济效益视角分析，本次改进设备共投入成本 0.69 万元，经成本效益核算如式(1)所示，每年可实现节约类经济效益约 134.43 万元，扣除成本后，净收益达 133.74 万元，为企业创造显著经济价值。

$$\begin{aligned}
 \Delta S &= D \times \Delta Q \times C = 106562 \times 58.41\% \times 1.80 \\
 &= 11.20(\text{万元}) \times 12(\text{月}) \\
 &= 134.43(\text{万元})
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

式中,  $\Delta S$  节约经济效益;  $D$  为活动前每月小盒烟包消耗量;  $\Delta Q$  为活动后小盒烟包消耗降低率;  $C$  为单盒制造成本。

在社会效益层面, 改进措施减少小盒闭合不良引发的纸张浪费, 降低纸制品制造与处理过程中的环境污染。与此同时, 产品外观质量提升, 依据品牌形象塑造与消费者认知理论, 有助于提升品牌形象, 增强消费者对产品的认可, 为企业高质量、可持续发展筑牢根基。

## 5. 结论与展望

本研究通过优化内框纸压辊的结构参数、材质选择与制造工艺, 成功解决 YB45 型包装机小盒闭合卡塞问题。在动力学方面, 1.0 mm 压辊宽度与 45° 折叠角度的组合, 降低了压辊与内框纸接触的应力集中; 材料选择上, 38CrMoAl 经渗氮处理后, 耐磨性能与疲劳强度适配高速往复工况, 兼顾性能与成本, 符合工业设备材料选择原则; 制造工艺方面, 数控磨削 + 激光检测使压辊关键尺寸公差控制在  $\pm 0.003$  mm, 内框纸折叠偏差从 0.35 mm 降至 0.08 mm, 保障成型一致性。但研究存在局限, 未建立压辊 - 内框纸耦合动力学模型, 未探究渗氮工艺参数影响及不同加工方法差异, 未来可通过多体动力学仿真、正交试验及引入增材制造, 进一步优化设备性能。结果表明, 改进后的内框纸压辊有效降低小盒闭合不良缺陷率, 提升包装质量, 带来显著经济与社会效益。此研究为同类设备 X2 型的改进提供参考, 助力烟草包装行业提升生产效率与产品品质, 推动行业可持续发展。

## 参考文献

- [1] 邢肖冬, 刘健宜. GDX2 包装机短边粘贴不牢小盒的识别探析[J]. 轻工科技, 2022, 38(3): 69-71.
- [2] 张磊, 李焯, 邹绍康. GDX2 包装机铝箔纸加速轮相位精确调整方法[J]. 今日制造与升级, 2024(12): 164-166.
- [3] 朱俊, 李雄飞, 山瑞学, 等. GDX2 硬盒包装机条盒透明纸拉线接头检测改造[J]. 今日制造与升级, 2022(9): 74-75+88.
- [4] 田景军, 张世辽. GDX2 包装机在线质量检测装置的应用探讨[J]. 中国设备工程, 2021(19): 171-172.
- [5] 邢军, 雷樟泉, 刘锋, 等. 世界各国卷烟包装标识现状与分析[J]. 烟草科技, 2008, 41(6): 63-65.
- [6] 王彦亭. 依靠科技进步促进中式卷烟发展[J]. 中国烟草学报, 2005, 11(1): 8-12.
- [7] 窦海成, 张建栋, 李雪, 等. 卷烟包装设计现状与创新策略研究[J]. 中国包装, 2024, 44(3): 81-86.
- [8] 马立, 李军, 桑丛, 等. GDX500 软盒包装机负压接烟板机构的设计[J]. 烟草科技, 2023, 56(10): 108-112.
- [9] 李家贵, 杨天, 孔臣, 等. YB45A 硬盒包装机内衬纸输送装置的改进[J]. 烟草科技, 2020, 53(12): 89-95.
- [10] 曾峰, 高岩. YB45 型卷烟包装机石蜡涂抹智能控制改造[J]. 工业技术创新, 2018, 5(2): 40-46.
- [11] 吕小波, 金昆华. 齿形吸风带在 GDX2 包装机铝箔纸吸风装置上的应用[J]. 烟草科技, 2010(5): 15-16.
- [12] 刘永宾, 王磊, 张宏. 商标纸内舌涂胶与折叠装置改进[J]. 包装工程, 2022, 43(11): 189-195.
- [13] 陈晓峰, 王建国. 包装机械旋转部件动力学特性对物料成型质量的影响[J]. 机械工程学报, 2020, 56(8): 123-130.
- [14] Wang, Y., Li, J. and Zhang, H. (2019) Multi-Body Dynamics Simulation and Optimization of Pressure Roller System in Packaging Machine. *Journal of Mechanical Engineering Science*, **233**, 5421-5430.
- [15] Zhang, L., Chen, W. and Liu, X. (2021) Wear Resistance of Alloy Materials for Key Components of High-Speed Packaging Machinery. *Materials Science and Engineering A*, **805**, Article 140567.
- [16] 赵敏, 李强. 38CrMoAl 钢渗氮工艺优化及耐磨性能研究[J]. 材料热处理学报, 2022, 43(3): 112-118.
- [17] Li, C., Wang, Z. and Zhao, J. (2020) Precision Manufacturing Technology of Key Components for Packaging Machinery. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **107**, 2895-2904.