

运输带加装主动辊筒自动清洁装置

马川舒, 韩煜, 杨永康, 方一淳

云南中烟工业有限责任公司, 云南 玉溪

收稿日期: 2026年1月20日; 录用日期: 2026年2月23日; 发布日期: 2026年3月18日

摘要

在恒温恒湿的制丝车间那种环境当中, 运输带主动辊筒表面很容易附着烟尘, 这会造成皮带偏移、过度损耗以及服务年限缩短的情况。以往依靠人工清理的方式效率特别低下, 还会让操作人员负担很重, 并且可能对带面造成划痕, 经过对技术方案进行评估之后, 决定采用增设自动化清洁装置这样的改进方案。该装置选用65Mn钢材质的刮片、刮片支架与集尘盒构成, 安装在引导辊与主动辊之间, 能够随着辊筒旋转自动去除积尘, 考虑到现有进料板存在结构方面的限制, 同步配套实施了进料板的改造工程。实际运行数据表明, 该装置性能稳定又可靠, 运输带使用寿命延长到原先的四倍, 维护工作量减少95%以上, 改造投入适中且经济回报十分可观。

关键词

运输带, 主动辊筒, 自动清洁装置, 烟垢清理, 设备改造

The Transport Belt Is Equipped with an Automatic Cleaning Device with Driving Rollers

Chuanshu Ma, Yu Han, Yongkang Yang, Yichun Fang

Yunnan China Tobacco Industry Co., Ltd., Yuxi Yunnan

Received: January 20, 2026; accepted: February 23, 2026; published: March 18, 2026

Abstract

In the constant-temperature and constant-humidity tobacco-making workshop environment, the surface of the transport belt's driving roller is prone to accumulating smoke dust, which can cause belt deviation, excessive wear, and shortened service life. The previous manual cleaning method was extremely inefficient and also placed a heavy burden on the operators. Moreover, it could potentially

cause scratches on the belt surface. After evaluating the technical solution, it was decided to adopt an improvement plan of adding an automated cleaning device. This device is composed of scraper blades, scraper brackets, and dust collection boxes made of 65Mn steel, and is installed between the guide roller and the driving roller. It can automatically remove accumulated dust as the roller rotates. Considering the structural limitations of the existing feed plate, the feed plate renovation project was also implemented simultaneously. The actual operation data show that this device is stable and reliable, extending the service life of the transport belt to four times the original, reducing the maintenance workload by more than 95%, and the renovation investment is moderate with a very attractive economic return.

Keywords

Transport Belt, Driving Roller, Automatic Cleaning Device, Smoke Dirt Removal, Equipment Renovation

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

在烟草制丝的生产线上，运输带承担着物料传送的核心功能。在恒温恒湿的环境当中，烟叶碎料因温湿度较高呈现显著粘性，易在主动滚筒表面堆积固化成硬垢，使得滚筒表面变得不平整，进而引发运输带偏移、带体变形甚至断裂停机。实际监测的情况表明，部分运输带使用周期仅仅只有 3 个月，明显低于预期设定的 12 个月标准。常规人工清理工作需要 3 人协同作业 1 小时，不仅劳动强度非常高，还可能对带面造成损坏，并且高空作业区域因空间狭小难以实施。经过对增设检修口和安装清洁设备方案综合评估，最终选定采用主动滚筒自动清洁装置设计方案。

2. 清洁装置技术方案论证

2.1. 主动辊筒积垢清洁技术需求

制丝车间把环境温度维持在 22℃到 26℃之间，相对湿度设定在 60%至 65%这个范围，这样的环境让烟末吸附水分后呈现较强粘性[1]。在主动辊筒持续不断转动的情况下，带面和辊筒之间的摩擦使夹带的烟末慢慢压实变硬，最终形成厚度为 3 到 5 mm 的烟垢层。烟垢层分布不均匀使得辊筒表面平整度偏差超过 0.5 mm，进而导致运输带受力不均匀，产生 15 到 30 mm 米的横向跑偏现象。跑偏的运输带和边板持续进行摩擦，加速了带面的损耗，同时接头剪切应力增大，很容易发生分层脱开的情况[2]。拿梗线 12 t 梗丝柜出口运输带 FB313 举例，当辊筒烟垢厚度达到 2 mm 时，每班跑偏频次增加到 4 至 6 次，使用寿命从 12 个月降低到 3 个月，每月非计划停机时间累计达到 18 到 24 小时。

2.2. 人工清洁方式技术局限

目前输送机头板采用的是封闭焊接设计，主动滚筒和板壁之间的间距只有 80 到 120 mm，这使得维护人员没办法直接接触到滚筒表面来开展清洁工作。人工清洁的时候必须先把机器停止并且切断电源，接着放松输送带的张紧机构，再拆除机头板处的张紧滚筒以及固定螺栓，把输送带往后移动 300 到 400 mm 之后才能够用铲刀去铲刮滚筒表面。这个工序需要 3 名维修人员相互配合协作，单次清洁平均所花费的时间在 60 到 75 分钟。铲刮的时候铲刀和滚筒的接触角度很难做到精准把控，要是用力过度就会让

滚筒表面出现 0.2 到 0.5 mm 深的划痕，而如果力度不够就没办法把硬化的烟垢完全清除掉[3]。梗线高位输送带的安装高度是 4.5 到 5.2 m，其周边设置有提升机、振动筛等设备，拆卸机头板之后操作空间不足 600 mm，导致铲刀没办法伸到滚筒表面。

2.3. 自动清洁装置方案比选

针对主动辊筒烟垢清理难题，对比四种技术方案。方案一为开设 300 mm × 200 mm 检修口人工清洁，单次耗时 45~50 分钟，但张紧装置、限位开关占据空间导致铲刀无法完全清理辊筒表面。方案二采用聚氨酯刮板清扫器，但在 60%~65%湿度环境下，烟油侵蚀使材料 3 个月内硬度从邵氏 A85 降至 A60，清洁力衰减超 60%。方案三为旋转毛刷清扫器，烟末含水率 12%~15%时湿润烟垢在刷毛间隙板结，需每周拆卸清洗且驱动系统增加故障点。方案四为刚性金属刮刀装置，采用 65Mn 钢固定在导向辊与主动辊之间，随辊筒旋转自动清除烟垢[4]。金属材质耐烟油腐蚀、不吸湿，对硬化烟垢层剪切力是柔性材料的 4~5 倍。该方案需改造现有结构增加安装空间，但可实现免维护运行。综合环境适应性、清洁效率和全周期成本，方案四技术经济指标最优，为后续批量推广奠定基础。

3. 自动清洁装置设计与技术参数

3.1. 装置总体结构设计

自动清洁设备布置在导向辊和主动辊之间的空隙位置，这个位置可用空间长度为 200 mm、高度为 180 mm，完全符合设备装配的基本要求。该设备主要由刮片、支架以及集尘盒这三部分构成，各个组件通过螺栓紧固组装成完整的结构。刮片采用悬臂式安装方式，根部通过 U 型槽与支架相连接，前端和主动辊表面保持 3~5 mm 的压紧距离，以此保证辊体转动时能持续有效刮除污物。支架焊接在改造后的机头支撑板上，采用 L 型钢制结构确保具备足够刚性，防止刮片受力时出现晃动或者偏移的情况[5]。集尘盒设置在刮片下方 150 mm 的地方，与刮片尾端相距 50 mm 的水平距离，用于承接刮落的烟灰颗粒。整套装置外形尺寸是 1100 × 200 × 180 mm，总重量大约为 15 公斤。装置总体结构如图 1 所示，刮刀、支架与集尘盒通过螺栓连接组成完整结构。

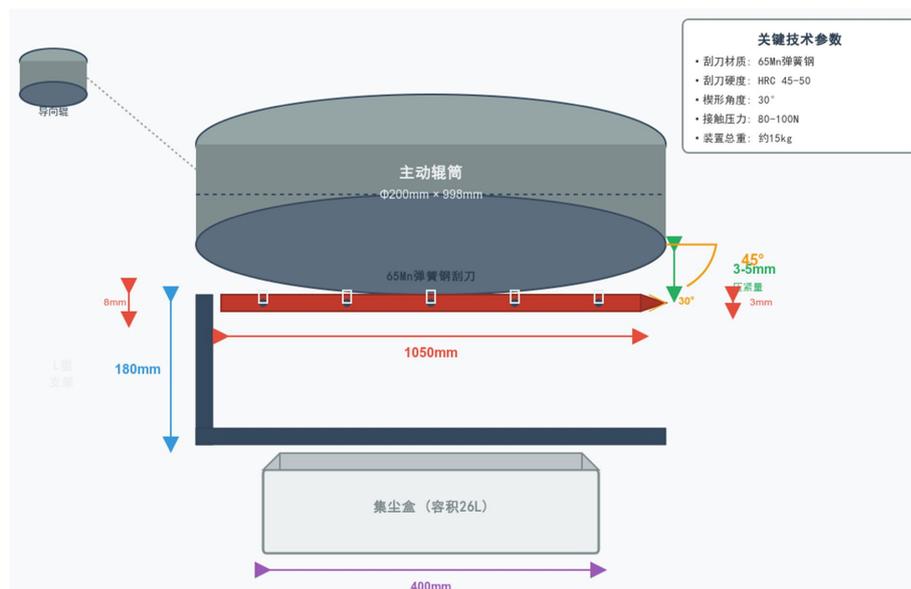


Figure 1. Two-dimensional assembly drawing of the device

图 1. 装置二维装配图

3.2. 刮刀组件设计技术要点

刮刀是用 65Mn 弹簧钢制造而成的, 经过了淬火与回火的工艺处理, 其硬度维持在 HRC 45~50 这个区间范围, 比主动辊筒表面硬度(HRC52~55)稍微低一些。清洁过程是典型的“刮刀 - 烟垢 - 辊筒”三体磨损系统, 刮刀充当磨损工具体, 烟垢层包含碳纤维颗粒且硬度在 HRC 35~40 为磨粒介质, 辊筒作为被保护的基体。按照 Archard 磨损理论, 当刮刀硬度比辊筒低 5~7 HRC 时磨损主要发生于刮刀表面, 烟垢层半塑性特征使其在剪切力下容易剥离且能分散接触应力, 将直接金属接触转化为三体半流体磨损以此保护辊筒免受划伤。刮刀的横截面尺寸设计成宽 8 mm、厚 3 mm 的规格, 长度设定为 1050 mm, 比主动辊筒实际长度多出 50 mm 的余量部分, 以此来保证可以全面覆盖辊筒的工作面区域。沿着刮刀长度方向均匀布置有 10 个 U 型调节槽, 槽宽为 12 mm、深度达到 30 mm、槽心距是 90 mm, 通过螺栓穿过 U 型槽和刮刀架相互连接起来, 从而形成了可调固定的结构形式。刮刀作业端被磨削成 30° 的楔形角度, 刃口圆角半径不超过 0.5 mm, 这便于有效切入并且清除烟垢层。刮刀与辊筒表面的接触角度设置为 45°, 其接触压力的计算公式为:

$$F = \frac{E \times b \times \delta^3}{4L^2} \quad (1)$$

式中: F 为刮刀接触压力, N; E 为刮刀材料弹性模量, 取 210 GPa; b 为刮刀宽度, 取 8 mm; δ 为刮刀压紧量, 取 3~5 mm; L 为刮刀悬臂长度, 取 200 mm。根据该公式计算, 当压紧量为 4 mm 时, 刮刀中部接触压力约为 90 N, 该压力范围能够保证有效铲刮且不损伤辊筒表面。刮刀磨损后通过松开固定螺栓向前移动 20~30 mm 即可恢复清洁能力。

3.3. 配套部件设计

刮刀架是选用 6 mm 厚 Q235 钢板经折弯焊接制作而成, 其主体结构呈现为 L 型样式, 竖板规格为 1100 mm × 150 mm 用于安装刮刀, 横板尺寸是 1100 mm × 80 mm 与机头板支撑板焊接固定。竖板沿着刮刀长度方向开有 10 个直径 13 mm 的螺栓孔, 孔距和刮刀 U 型槽相匹配通过 M12 螺栓配合弹簧垫圈实现刮刀稳固安装与位置调节。横板底部焊接两根 40 mm × 40 mm × 4 mm 的角钢加强筋并与竖板垂直连接, 可将刮刀承受的铲刮力有效传递至机头板支撑结构。接灰盒采用 3 mm 厚不锈钢板折弯制成, 内部尺寸长 1100 mm、宽 200 mm、高 120 mm, 容积约 26 升, 能容纳连续运行 7~10 天的烟垢产出量, 接灰盒顶部开口为 1100 mm × 180 mm, 底部四角焊接 M8 螺纹吊耳, 利用吊装螺栓固定在刮刀架下方的支撑架上。机头板改造方案在导向辊位置将原有封闭式结构延伸 200 mm, 新增支撑板为清洁装置提供安装基础。装置整体三维结构如图 2 所示, 各部件装配关系清晰, 便于现场安装与维护。

4. 装置加工制造与现场安装

4.1. 关键零部件加工工艺

刮刀原材料选用 65Mn 弹簧钢板, 按长 1050 mm、宽 8 mm、厚 3 mm 规格剪切下料, 剪切面用砂轮机打磨清除毛刺及氧化层。U 型调节槽采用铣床进行加工, 选用直径 10 mm 的铣刀且铣削深度设定为 30 mm。刮刀工作端部在磨床上加工出 30° 楔角, 刃口圆角半径经精密磨削控制在 0.3~0.5 mm 范围。热处理工艺是盐浴炉加热至 860℃ 保温 20 分钟后油冷淬火, 再经 450℃ 回火 2 小时, 硬度检测达到 HRC 45~50 符合设计要求。刮刀架钢板由剪板机按展开尺寸下料, 经折弯机形成 L 型断面。螺栓孔由数控钻床加工确保孔距精度, 角钢加强筋与刮刀架竖板采用 CO₂ 气体保护焊焊接, 焊缝高度为 6 mm 且焊接后对变形部位火焰校正。接灰盒不锈钢板通过折弯机一次成型, 四个直角边缘采用氩弧焊焊接, 焊缝打磨平整后进行酸洗钝化处理。

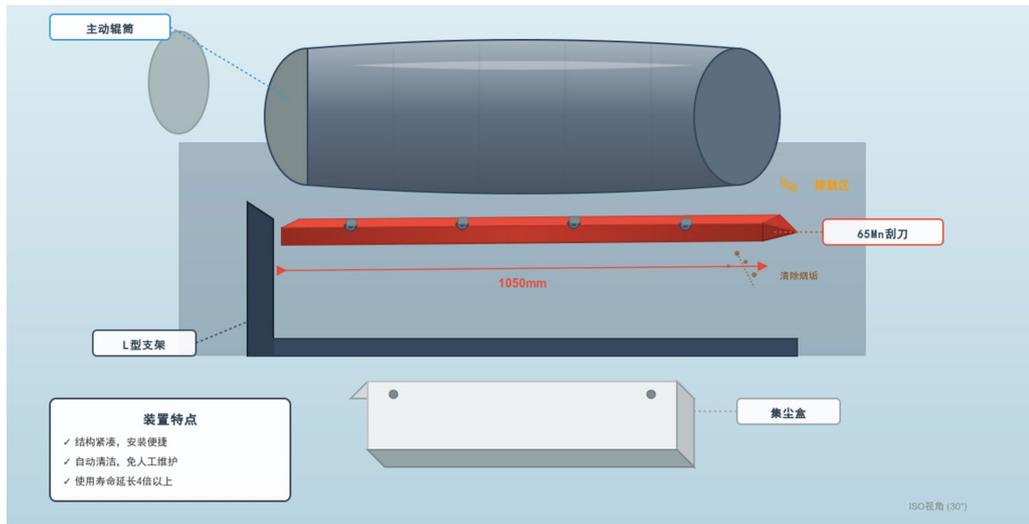


Figure 2. Three-dimensional rendering diagram of the device
图 2. 装置三维渲染图

4.2. 现场安装技术流程

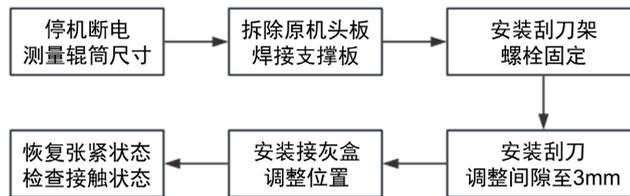


Figure 3. On-site installation flow chart of the device
图 3. 装置现场安装流程图

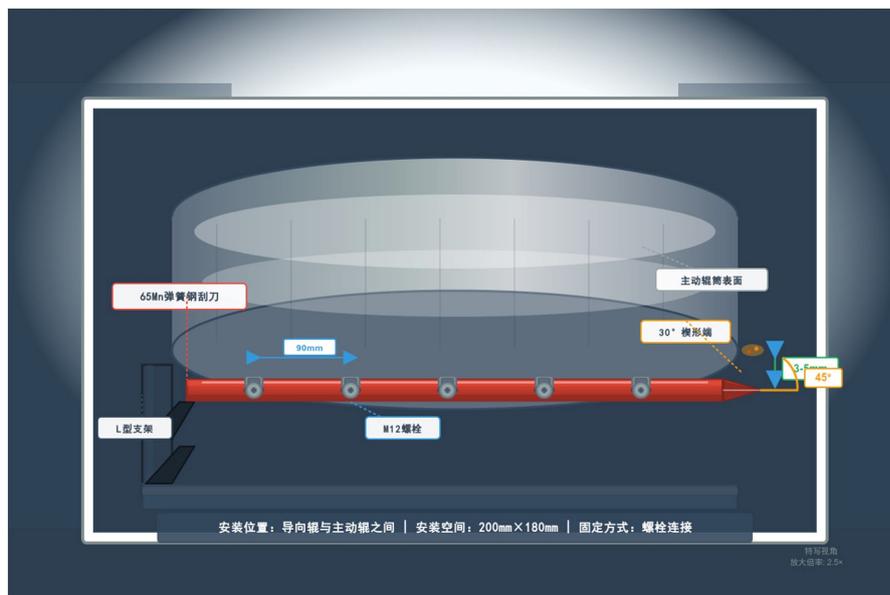


Figure 4. Close-up of the installation position of the scissors
图 4. 刮刀安装位置特写

在开展安装作业之前, 需要把梗丝柜出口运输带 FB313 停机并且断电, 测量得出主动辊筒实际长度是 998 mm, 此长度和选用长度为 1050 mm 的刮刀相匹配。拆除原机头板导向辊处的封闭板之后, 按照改造图纸在该位置焊接支撑板与扩展板, 焊接时借助直角尺和水平仪保证支撑板的垂直度和水平度。待支撑板焊接工作完成后进行刮刀架安装, 其横板通过 M10 螺栓与支撑板连接起来, 螺栓间距设定为 200 mm, 拧紧力矩设置成 45 N·m。把刮刀插入刮刀架竖板的 U 型槽之中, 将刮刀前端与主动辊筒表面间距调整到 3 mm, 用塞尺检测各点间隙保持一致后, 依次拧紧 10 个 M12 固定螺栓, 拧紧力矩达到 60 N·m。接灰盒通过吊装螺栓固定在刮刀架下方的支撑架上, 调整其开口中心线与刮刀末端水平距离为 50 mm、垂直距离为 150 mm。安装工作完成之后恢复运输带张紧状态, 检查刮刀与辊筒接触情况以及各部件固定的可靠性。装置现场安装流程如图 3 所示。刮刀与辊筒接触区域安装细节如图 4 所示, 关键尺寸标注清晰。

4.3. 装置调试与参数设定

装置安装完毕之后启动运输带进行空转, 以此查看刮刀和主动辊筒两者的贴合状态, 通过调整固定螺栓来确保压紧量维持在 3~5 mm 之间。使用弹簧测力计检测刮刀中部的法向压力, 并且将其设定在 80~100 N 的范围, 刮刀和辊筒的接触角度可借助刮刀架竖板倾斜来调节, 使用角度尺校准并保持 45° 的设计数值。运输带负载运行的时候观察烟垢清理的实际效果, 检查接灰盒能否完整收集烟垢而不会出现外溢情况。连续运行 8 小时之后停机检查刮刀的磨损具体状况, 要求刃口圆角半径增量不超过 0.2 mm, 辊筒表面残留烟垢厚度小于 0.5 mm 且清洁度达到标准。设备调试工作全部结束之后需要编写操作保养指南, 要详细规定好日常检查内容以及相应保养周期。与此同时, 创建设备运行记录, 要涵盖刮刀更换日期以及磨损程度等关键信息, 以此为后续改进决策提供重要的数据支持。

5. 装置应用效果与推广价值

5.1. 清洁效果技术指标

自动清洁系统启用以后, 主动辊筒表面的烟垢层一直维持在 0.5 mm 以内, 和改造前 3~5 mm 的堆积水平相比减少了 85% 以上。改造前后辊筒表面状态对比如图 5 所示, 烟垢清除效果显著, 辊筒表面的平整度误差从原先的 0.5 mm 以上减小到 0.1 mm 以下, 达到了输送带稳定运行的标准要求。输送带偏移情况从每班 4~6 次降低到每周 1~2 次, 偏移幅度控制在 5 mm 以内, 有效防止了输送带与侧板之间的磨损。输送带接缝处的分层剥离问题已经得到彻底解决, 带面磨损均匀性有了大幅提高, 磨损速率下降了 60%。梗线 12 t 梗丝柜出口处的 FB313 输送带持续运行 12 个月后, 带面厚度从初始的 6 mm 减少到 5.2 mm, 磨损量仅为 0.8 mm, 而改造前 3 个月的磨损量就已达到 1.5 mm。设备意外停机时间从每月 18~24 小时缩短到每月 2~3 小时, 设备综合效率提高了 15%。装置改造前后主要技术指标对比见表 1。

Table 1. Comparison of main technical indicators before and after device renovation

表 1. 装置改造前后主要技术指标对比

技术指标	改造前	改造后	改善幅度
辊筒表面烟垢厚度/mm	3~5	≤0.5	降低 85% 以上
运输带跑偏频次	4~6 次/班	1~2 次/周	降低 90% 以上
运输带使用寿命/月	3	≥12	延长 4 倍
带面磨损速率	1.5 mm/3 个月	0.8 mm/12 个月	降低 60%
非计划停机时间/(小时·月 ⁻¹)	18~24	2~3	降低 87%

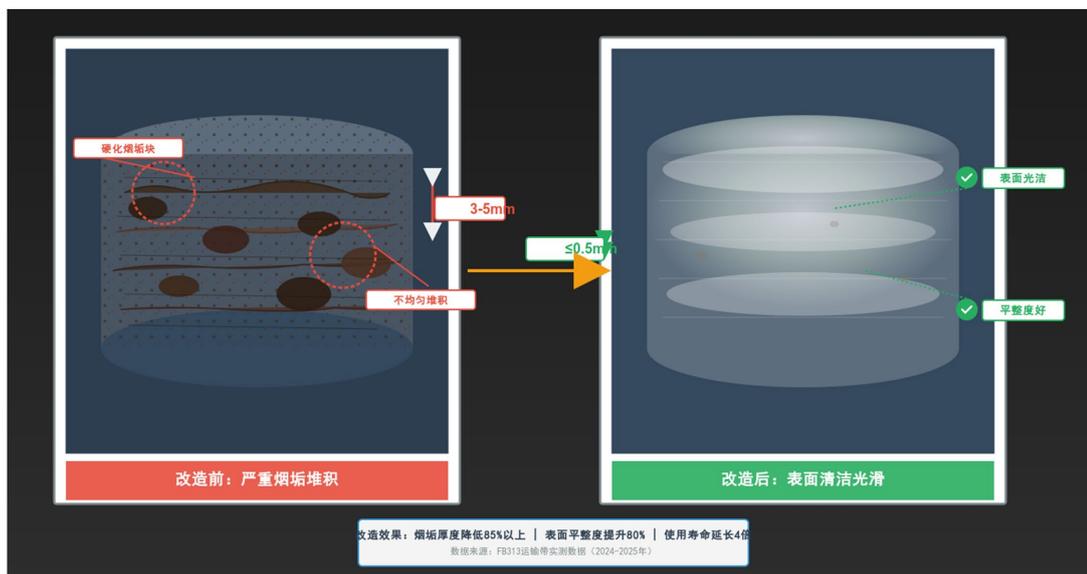


Figure 5. Comparison of the surface of the rollers before and after renovation

图 5. 改造前后辊筒表面对比

5.2. 经济效益量化评估

经过优化升级之后，运输带运行周期从原先 3 个月延长到 12 个月以上，这不仅显著降低了运输带的更换频率，同时也有效控制住了运输带的采购开支。在人工维护这个环节，以往每周都要安排 3 名维修人员投入 1 小时进行人工铲刮，年度维护任务显得十分繁重，优化之后改成每季度更换一次刮刀，单次作业仅仅只需半小时，这让年度人工维护需求减少了 95% 以上。在设备停机方面，改造之前因为烟垢清理和运输带更换造成的非计划停机时间年均达到 240 小时，改造之后已经降低到 30 小时，生产效率由此得到显著提高。此次装置改造成本投入较为合理，综合考虑运输带更换、人工维护以及停机损失等因素的节约情况，整体经济效益表现得非常优异。

5.3. 推广应用技术建议

这个自动清洁装置主要用来处理烟丝、烟末、梗丝等粘性物料输送带清洁需求，特别适合那种安装高度超过 3 米、周边设备密集导致人工难以清洁的输送带系统。在推广使用的时候，需要依据辊筒尺寸来调整刮刀的长度，对于辊筒长度在 800~1200 mm 之间的设备，刮刀长度要比辊筒长 50 mm。当输送带辊筒直径小于 150 mm 时，要把刮刀与辊筒的接触角度设置为 40°，并且将压紧量维持在 2~3 mm 之间。要是输送物料含水率超过 15% 而且粘性比较高，那么刮刀材料硬度要达到 HRC 48~52，同时接灰盒容量要比设计值增加 30%。车间内 38 条输送带中有 22 条存在辊筒积垢问题，建议按照梗线高位输送带、叶丝线主输送带、配丝线关键输送带的优先顺序逐步进行改造。批量改造可以采用标准化设计，刮刀长度统一为 900 mm、1050 mm、1200 mm 这三种规格，刮刀架与接灰盒采用模块化结构。

6. 结语

主动辊筒自动清洁装置的开发，为解决运输带辊筒结垢问题提供新的技术途径，该装置基于机械刮除原理，凭借辊筒自身旋转动力来完成自动清理工作，具备构造简单且运行稳定的优势。实际工程应用情况证实，运输带使用周期得以有效延长、日常维护需求明显减少，还使设备故障发生率显著降低，带来了较为可观的经济效益。该技术方案因结构设计合理、制作工艺简便并且成本适中，不仅适用于烟草

行业的运输设备，对于食品、化工及制药等领域粉状物料输送与辊筒清洁问题同样有参考意义。建议把该装置在其他运输带系统中推广，并依据不同规格辊筒和物料特性对装置参数进行调整优化以拓宽应用范围。

参考文献

- [1] 王禹辉, 荣志国, 李明远, 等. 带式输送机自动清扫装置的设计与应用[J]. 机械管理开发, 2025, 40(6): 94-96.
- [2] 谭潇玲, 刘克俭, 温荣耀, 等. 多效耦合智能皮带清洁机设计与试验研究[J]. 烧结球团, 2023, 48(5): 59-66.
- [3] 高正元, 王亚坤, 张斌. 主运带式输送机底部积煤清理装置及控制系统设计[J]. 科技创新与应用, 2023, 13(28): 121-124.
- [4] 张红锁. 矿用带式输送机清扫装置优化改进[J]. 山东煤炭科技, 2023, 41(6): 135-137.
- [5] 李秀芳, 郑智毅, 江豪. 制丝生产线防滑带式输送机自动清洁装置设计[J]. 轻工学报, 2021, 36(6): 86-90.