

DOI:10.20033/j.1003-7241.(2026)06-0042-05

# YJ17 吸丝带轮尾轮的系统优化设计

杨亚旭, 谭升军

(红云红河烟草(集团)有限责任公司新疆卷烟厂, 乌鲁木齐 830000)

**摘要:**为解决 ZJ17 卷接机组吸丝带轮尾轮轴承易损坏、易堆积烟丝和更换时间长等问题,对吸丝带轮尾轮进行改进,并对二次风选上出口实行烟丝导流,完成尾轮系统优化设计。为增加吸丝带轮尾轮使用寿命,更换轴承型号,外端面实行 U 型槽迷宫式密封,实现三重防尘机制,内端面实行凸台定位和一体式轮体密封设计;为解决尾轮烟丝堆积问题,在二次风选上出口安装导流块,实现烟丝导流。通过上机对比试验,跟踪安装前后吸丝带轮尾轮维修情况和烟支质量。结果表明,优化后的尾轮系统,尾轮维修频次降低了 88.4%,改造后数据波动明显减小,标准差降低了 88.9%。该系统的优化设计,有效延长轴承使用寿命,提高了设备有效作业率,缩小了空头剔除率波动范围,保证了烟支质量。

**关键词:** ZJ17 卷接机组;吸丝带轮尾轮;烟丝导流;系统优化;使用寿命;烟支质量

**中图分类号:** TP273 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-7241(2026)06-0042-05

## System optimization design of YJ17 ribbon wheel

Yang Yaxu, Tan Shengjun

(Hongyun Honghe Tobacco (Group) Co., Ltd., Xinjiang Cigarette Factory, Urumqi 830000, China)

**Abstract:** To address issues such as frequent damage to the tail pulley bearings of the ZJ17 cigarette winding unit, excessive tobacco accumulation, and prolonged replacement cycles, the tail pulley is optimized with a redesigned secondary air selection outlet featuring a tobacco flow guide, completing the system's comprehensive optimization. To extend service life, the bearing model is upgraded with a U-shaped groove labyrinth seal on the outer end face, implementing a triple dust-proof mechanism, while the inner end face adopted a boss positioning system and integrated wheel seal design. For effective tobacco management, flow guide blocks are installed at the secondary air outlet. Comparative tests before and after installation tracked maintenance frequency and cigarette quality. Results demonstrate that the optimized system can reduce maintenance frequency by 88.4%, significantly decrease data fluctuations, standard deviation reduced by 88.9%, extend bearing lifespan, improve equipment efficiency, narrow the fluctuation range of head clearance rate, and ensured consistent cigarette quality.

**Keywords:** ZJ17 reel and winding machine; suction belt wheel tail wheel; tobacco flow guide; system optimization; service life; cigarette quality

ZJ17 卷烟机已然成为国内各卷烟工厂的主力机型,新疆卷烟厂现有 10 台 ZJ17 卷烟机,其生产能力为 7 000 支/min<sup>[1]</sup>。该机型作为新疆卷烟厂卷包车间主力车型,设备稳定性和烟支产品质量显得尤为重要。依据维修记录,该机型吸丝带轮尾轮使用寿命较短,更换频次高,属于原机型的设计缺陷,基本情况是每台设备不到一个月就需要更换轴承,且更换时间为 60 min 左右,严重影响设备效率。吸丝带轮尾轮轴承损坏和烟丝堆积,尾轮运行不稳定,导致烟支质量和吸阻波动增大,空头烟剔除率增加,甚至出现竹节烟等严重质量事故<sup>[2]</sup>。基于以上情况,总结四种常规解决措施,虽然对于烟支空头和尾轮轴承寿命有着良性作用,但是尾轮维修情况并未得到明显改善。对于导轮改进方面,赵斌等<sup>[3]</sup>设计两段式带轮轴并增大带轮轴承尺寸,延长轴承寿命。逯江等<sup>[4]</sup>改进尾部带轮和轴承的外形

尺寸并添加吹风装置清洁积末。朱永明等<sup>[5]</sup>利用扇叶产生涡旋气流,减少轴承处烟末堆积。殷切等<sup>[6]</sup>使用氟胶骨架油封对轴承内侧做密封,轴承与吸丝带轮体由孔用轴端挡圈进行固定,轴承外侧使用端盖设计。宁功林等<sup>[7]</sup>凭借防尘端盖提升轴承密封性,采用轴端挡圈实现轮端面轴向定位。余浩等<sup>[8]</sup>防尘部的内壁上设有锯齿状的防尘槽。韩永等<sup>[9]</sup>设计三段组合式偏心轴,提高轴承更换效率。张玉鹏等<sup>[10]</sup>增加尾轮密封端盖。印伟等<sup>[11]</sup>吸丝带轮尾轮两侧设置密封环,对轴承进行保护。王明刚等<sup>[12]</sup>采用两体组合式导轮轴,提高维修效率。对于烟丝导流方面,刘炳义等<sup>[13]</sup>设置涂料导流板,实现涂料引流。朱江等<sup>[14]</sup>设计延长铲丝刀,并在二次风分通道处设有三角形导向块。毛龙所等<sup>[15]</sup>设置闭封锁,阻止二次风选烟丝堆积吸丝尾轮。忻惠琴等<sup>[16]</sup>改进定位块外形尺寸,消除空腔,减少

收稿日期:2025-07-25;录用日期:2025-08-30

作者简介:杨亚旭(1973—),男,助理工程师,从事卷烟卷接烟草机械维修工作。

通信作者:谭升军(1995—),男,研究生,助理工程师,从事烟机设备运行与维护工作。

引用本文:杨亚旭,谭升军. YJ17 吸丝带轮尾轮的系统优化设计[J]. 自动化技术与应用, 2026, 45(6):42-46. (Yang Yaxu, Tan Shengjun. System optimization design of YJ17 ribbon wheel[J]. Techniques of Automation and Applications, 2026, 45(6):42-46.)

尾轮烟丝堆积。

位于吸风室最右端的吸丝带轮和二次风选出料口共同组成吸丝带轮尾轮系统,导轮防尘能力和出料口烟丝会直接影响吸丝带轮尾轮的使用寿命。为此,提出 YJ17 吸丝带轮尾轮系统的优化设计,延长尾轮使用寿命,导流二次风选烟丝,以达到提高设备效率和保证烟支产品质量的目的。

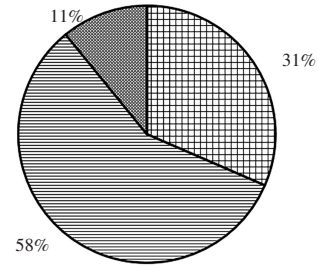
### 1 问题分析

在高尘情况下,6001 轴承防尘性较差,吸丝带轮尾轮位于二次风选出料口,更容易堆积烟丝烟灰,吸丝带轮尾轮易进灰积压,增大轴承摩擦力,吸丝带轮尾轮运行不稳定,导致烟支质量和吸阻波动增大,空头烟剔除率增加。吸丝带轮尾轮安装空间狭小,不便于拆卸和维修,同时破损吸丝带束缠绕堆积在导轮轴上,挤压轴承密封圈,致使密封圈产生塑性变形,进而引发轴承润滑剂泄漏与粉尘沉积现象,最终导致轴承寿命衰减剧烈,吸丝带运行不稳定。

依据维修记录,统计 2024 年 5~11 月份更换吸丝带轮尾轮频次,由统计分析可得:每月维修频次高,车间总体平均每月 13 次,车间 10 台 ZJ17 设备,则机组平均值为 1.3 次/(月·台)。由于吸丝带轮尾轮所处空间狭小,不便于更换,每次平均维修耗时为 61.1 min/次。结合图 1 和实际维修情况,吸丝带轮尾轮维修原因可分为三类:维修空头更换轴承;尾轮损坏;预防维修。其中维修空头更换轴承占比 58%;吸丝带轮尾轮损坏是指轴承抱死或者轴承散架,占比 31%;预防维修占比 11%。参照车间废烟统计数据图 2,通过对 80#卷烟机 2024 年 11 月份整月跟踪,改造前标准差为 0.092 7,改造前波动范围为 0.24,空头废品率波动范围大,严重超出设备空头废品率正常波动范围。基于实际情况分析,设备空头剔除率允许正常波动,当轴承初期磨损时,空头剔除率会逐步上升,但它符合

波动情况,当空头剔除率波动超过正常波动范围,开始维修,导致这段轻微磨损期被忽视,产生大量额外废烟。

2024年5~11月份尾轮维修原因



■ 轴承磨损 ■ 维修空头 ■ 预防维修

图 1 吸丝带轮尾轮维修原因占比

Fig. 1 Maintenance reasons of suction belt pulley tail wheel

2024年11月份80#卷烟机空头波动

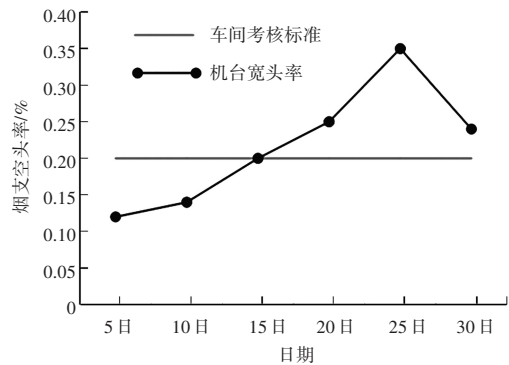


图 2 80#卷烟机空头波动

Fig. 2 The fluctuation of the empty head of cigarette machine 80#

如表 1 所示,常规维护措施(班次保养、吸丝带更换等)虽能短期改善,但无法根治密封失效与导流不足问题,深度清洁频次低(周报 1 次)且无法覆盖高尘工况,轴承本身密封性未得到有效解决。

表 1 常规解决措施

Tab. 1 Conventional solutions

序号	措施	内容	结论
1	班次尾轮保养	通过对机组操作人员进行设备操作规范培训,日保养和班保养重点工作之一就是吸丝带轮积灰进行吹扫清理。	烟丝堆积减少 15%,效果不持久。
2	更换吸丝带	吸丝带多班次长时间使用,会出现磨损,导致部分吸丝带束缠绕到尾轮轴上,影响尾轮使用寿命。	避免堆积丝束挤压坏密封圈。
3	加强巡检力度	修理工通过手动转到吸丝带轮尾轮的方法,检查尾轮损坏情况,检查方法不够精确,无法准确判断。	检查方法不够精确,无法准确判断。
4	深度清理	修理工拆卸吸丝导轨边板,深度清洁吸丝带轮,但是无法做到每天都清理,只能每周进行一次。	高尘环境,轴承密封问题未得到解决。

### 2 改进方法

#### 2.1 改进总体方案

将三角形导流板安装在二次风选出料口最右端,处于

吸丝带轮尾轮正下方,从而达到烟丝导流的目的,为了方便安装与拆卸,设计了调节柱和锥形头,通过带螺纹段的调节柱向下运动,将锥形头顶在出料口两侧,实现导流板的安装。导流板将向上运动的烟丝导向吸丝带,实现了对

烟丝的有效导向和调节,避免尾轮堆积烟丝。

## 2.2 尾轮导流块设计

使用该装置进行烟丝导流时,首先选择合适厚度的导流板(4),沿出料口(2)将导流板(4)放入,通过调节柱(6)的螺纹段(62)与调节孔(441)的内螺纹相配合,向下旋转调节柱(6)使得调节柱(6)的锥形头(61)逐渐下移将与调节柱(6)垂直的活动块(5)沿着安装孔(431)顶出,通过圆柱体状的卡块(51)与出料口(2)内壁顶紧固定安装导流板(4),从风选室(1)来的烟丝受导流板(4)的导流作用,沿着导流板(4)的导流面(41)流向吸丝带,避开了出料口(2)上方的吸丝带导轮(3)。优点:1)结构简单,加工容易;2)通过在出料口增添导流结构,将烟丝全部导向吸丝带,避免烟丝流向吸丝带导轮。如图3、4所示。

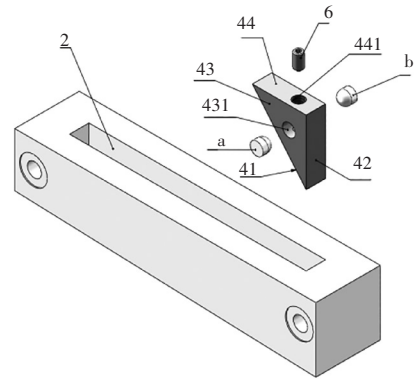
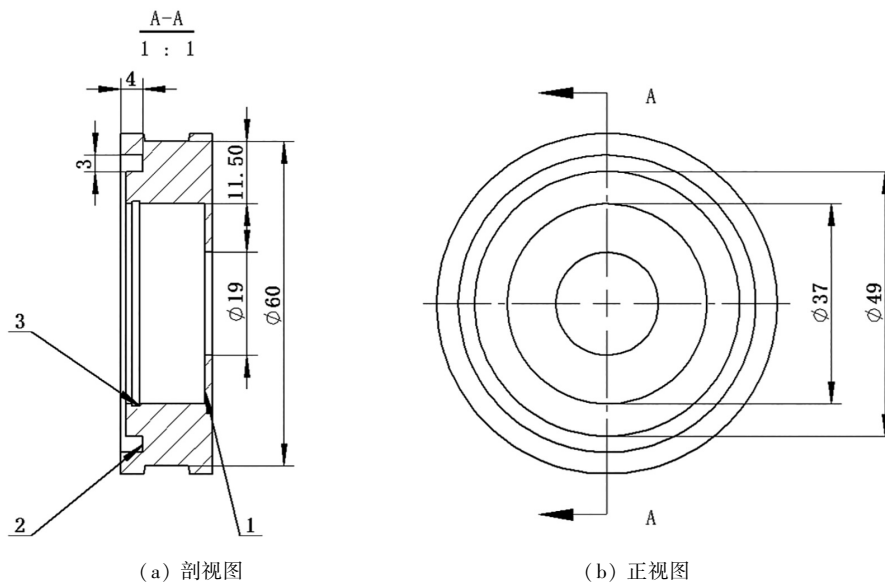


图3 出料口和导流板结构示意图

Fig. 3 A schematic diagram of the discharge port and guide plate structure



(a) 剖视图

(b) 正视图

1—凸台; 2—U型槽; 3—弹性挡圈

图4 改进后带轮结构示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the improved pulley structure

## 2.3 吸丝带尾轮设计

### 2.3.1 尾轮轮体设计

吸丝带尾轮轮体采用一体化设计,不同于原设计方案安装两个轴承,此轮体方案仅可安装一个轴承。内端面采用凸台定位密封和一体化轮体密封,轮体内端面与轴承紧密配合,利用弹性挡圈固定轴承位置,防止轴向跳动,结合尾轮轴的凸台,两者相互配合起到密封效果。如图5所示。外端面加工3×4 mm的“U”型槽,配合端盖,形成“U”型槽迷宫密封<sup>[17]</sup>。U型槽与内端面凸台密封协同作用,形成多级防尘屏障;迷宫结构增加烟尘沉积路径,配合周保养清理,避免长期堆积。对轮体进行强度校核,轮体壁厚:U型槽底部最小壁厚 $\delta_{\min} = 2.5$  mm,满足铝合金(6061-T6)抗弯强度要求为

$$\sigma_{\max} = \frac{3FL}{2\delta_{\min}^2} < \sigma_{\text{yield}} (275 \text{ MPa}) \quad (1)$$

式中,负载 $F = 50$  N,力臂 $L = 4$  mm,计算得 $\delta_{\max} \approx 96$  MPa,安全系数2.86。

### 2.3.2 尾轮轴承选择

相同牌号的深沟球轴承,其承载能力和使用寿命与轴承尺寸正相关。选用较大尺寸轴承时要保证改进前后导向带轮的外径(吸丝带槽直径=60 mm)、宽度( $d = 17.2$  mm)等尺寸一致,SKF6006虽然使用寿命长,但安装后带轮壁较薄( $\delta = 2.5$  mm),支撑性不好,并不适用。如表2所示,转换思路,选取内径相同,外径合适且密封性更好的轴承类型SKF6301,轮壁( $\delta = 11.5$  mm)支撑性更好。

表2 轴承参数对比

Tab. 2 Comparison of bearing parameters mm

轴承型号	内径	外径	厚度
SKF6001	12	28	8
SKF6002	15	32	9
SKF6003	17	35	10
SKF6004	20	42	12
SKF6005	25	47	12
SKF6006	30	55	13
SKF6301	12	37	12

通过 SKF 官网,查询 SKF6001 轴承和 SKF6301 轴承,通过参数对比,SKF6301 轴承的额定使用寿命远远高于 SKF6001 轴承,密封性也比 SKF6001 轴承要好,更适合高尘环境中使用。如表 3 所示。

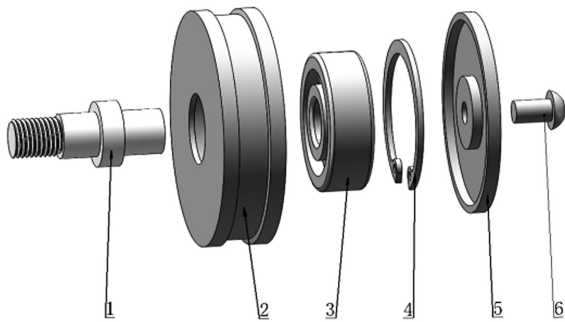
表 3 轴承参数对比表

Tab. 3 Bearing parameter comparison table

轴承型号	黏度	轴承载荷	轴承额定寿命 $L_{10H}/h$
SKF6001	1.03	4.59	1 610
SKF6301	1.15	7.81	7 940

2.3.3 整体设计说明

设计的“U”型槽迷宫密封带轮,导轮轴 1 通过 M8 锁紧螺母安装在吸风室墙板上,导轮轴上的定位销与改造前一致,实现轴定位;SKF6301 轴承安装于轮体,弹性挡圈 4 与轮体配合,完成轴承的轴向定位;导轮轴的凸台实现导轮与吸风室墙板的定位和密封,配合端盖的锁紧螺钉,完成整个导轮的轴向定位;U 型端盖和轮体 U 型槽配合,实现“U”型槽迷宫密封。外端面一体式端盖和内端面凸台可有效防止破损吸丝带丝束缠绕挤压轴承密封圈,从而达到保护轴承密封圈的目的。如图 6 所示。



1—导轮轴; 2—轮体; 3—6301 轴承; 4—弹性挡圈; 5—U 型端盖; 6—锁紧螺钉

图 5 改进尾轮结构示意图

Fig. 5 Schematic diagram of improved tail wheel structure

1) 端盖与 U 型槽协同密封机制

a) 端盖功能:轴向定位,通过锁紧螺钉固定轴承,抑制轴向窜动,减少动态间隙变化;辅助密封,端盖与 U 型槽外缘形成第二道防尘屏障,阻挡残余粉尘侵入。

b) “U”型槽核心作用:节流与湍流耗散,通过 U 型流道设计,增加流体阻力,降低泄漏量;粉尘沉积路径,U 型槽内壁的多次转向迫使粉尘因惯性碰撞沉积,减少进入轴承的概率。

2) 理论模型与计算公式

a) 泄漏量计算(端盖+U 型槽组合)

总泄漏量由 U 型槽和端盖间隙共同决定,即

$$Q_{总} = Q_{U型槽} + Q_{端盖间隙} \quad (2)$$

U 型槽泄漏量为

$$Q_{U型槽} = C_{d1} \cdot A_1 \cdot \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (A_1 = \omega \cdot \delta_1) \quad (3)$$

端盖间隙泄漏量为

$$Q_{端盖间隙} = C_{d2} \cdot A_2 \cdot \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (A_2 = \pi d \cdot \delta_2) \quad (4)$$

式中,  $C_{d1} = 0.5$ ,  $C_{d2} = 0.3$ (端盖间隙因轴向锁紧,流量系数更低);  $\delta_1 = 0.1 \text{ mm}$  (U 型槽径向间隙),  $\delta_2 = 0.05 \text{ mm}$  (端盖轴向间隙);  $D = 60 \text{ mm}$ (带轮外径)。

$$Q_{总} = Q_{U型槽} + Q_{端盖间隙} = 0.006 + 0.002 = 0.008 \quad (5)$$

较单一 U 型槽降低 33%。

b) 湍流动能耗散率(CFD 验证)

通过 ANSYS Fluent 模拟端盖与 U 型槽组合流场如表 4 所示。

表 4 端盖与 U 型槽组合流场

Tab. 4 Flow field of end cover and U-shaped groove combination

区域	湍流动能耗散率/(W · kg <sup>-1</sup> )	说明
U 型槽内	320	弯道诱导强涡流
端盖间隙	150	狭窄间隙加速湍流发展
总均值	235	较单一 U 型槽提升 18%

3) 防尘性能关键参数验证

a) 斯托克斯数 ( $S_t$ )

粉尘颗粒 ( $d_p = 4 \mu\text{m}$ ) 在组合密封中的行为

$$S_t = \frac{\rho_p d_p^2 U}{18\mu L} = \frac{600 \times (4 \times 10^{-6})^2 \times 13}{18 \times 1.8 \times 10^{-5} \times 2 \times 10^{-3}} \approx 0.193 \quad (6)$$

式中,  $S_t$  为斯托克斯数,无量纲参数,是颗粒惯性力与流体黏性力的比值;  $\rho_p$  为颗粒材料的密度;  $d_p$  为颗粒直径,是颗粒的特征尺寸;  $U$  为特征速度,是流体与颗粒的相对运动速度;  $\mu$  为流体动力黏度,是流体抵抗剪切变形的能力,空气动力黏度;  $L$  为特征长度,是密封宽度。

结论:  $S_t < 1$ , 颗粒随密封结构流场引导“绕行”,而非直接侵入轴承区域。

b) 粉尘侵入率实测

由于轮体尺寸限制,U 型槽的  $h/w = 1.33$ ,虽未达理论推荐值,但通过端盖锁紧和多级密封协同,实现了以下优化:泄漏量较单一 U 型槽降低 33%,粉尘侵入量减少 85%;湍流动能耗散率提升 18%,增强粉尘沉积效率。

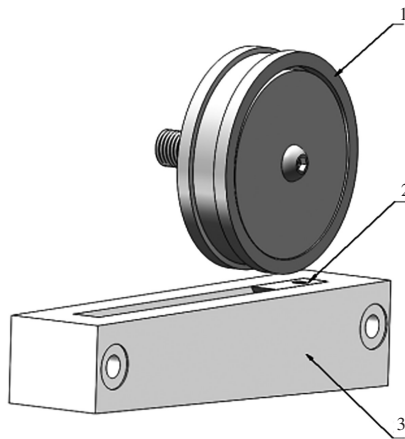
2.4 尾轮系统优化设计

一次风选完成后,较重的烟丝梗丝进入螺旋回梗装置,从螺旋回梗装置出料口进入二次风选装置,在吸风室负压作用下,较轻的烟丝向上运动,较重的梗丝向下落下,进入除梗装置。在导流块的作用下,右侧烟丝改变运动轨迹,流向吸丝带,进而被吸丝带带走,避免了二次风选烟丝进入尾轮的夹缝中。改进带轮在吸风室高尘环境下,密封性比较好,使用寿命长,外端面的 U 型迷宫设计,既增加流体阻力,降低泄漏量,又加长粉尘沉积路径。如图 7 所示。

表 5 粉尘侵入率实测

Tab. 5 Measured dust intrusion rate

设计	粉尘侵入量/(mg · 周 <sup>-1</sup> )
普通端盖+轴承密封	450
优化端盖+U 型槽	65



1—改进尾轮; 2—导流块; 3—二次风选

图6 尾轮系统总装配图

Fig. 6 Overall assembly of tail wheel system

### 3 应用效果

通过吸丝带尾轮系统的优化设计, YJ17 吸丝带尾轮的维修频次得到有效控制, 活动前车间 10 台 ZJ17 卷烟机 13 次/月, 活动后车间 1.5 次/月, 维修频次降低为 11.5%。如图 8 所示。

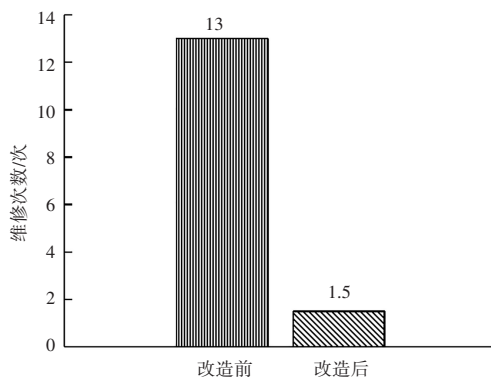


图7 改造前后维修次数

Fig. 7 Number of maintenance before and after modification

从图 8 可得, 标准差对比: 改造前标准差为 0.092 7, 改造后标准差为 0.010 3, 改造后数据波动明显减小, 标准差降低了 88.9%; 波动范围对比: 改造前波动范围为 0.24, 改造后为 0.03, 改造后数据极差缩小了 87.5%, 这对提升设备效率和产品质量有着重要意义。通俗来说, 吸丝带尾轮从以前月月维修周期变成现在 6 个月在左右的维修周期; 尾轮轴承维修周期的延长, 对烟支质量也有正向作用, 基本消除因为轴承积压造成吸丝带运行不稳定, 避免空头废烟量的增多和竹节烟的情况。YJ17 吸丝带尾轮的系统优化设计, 使得吸丝带尾轮的防尘效果明显, 基本消除堆丝现象, 轴承的使用寿命得到显著延长, 减轻点、巡检的压力, 减少维修时间, 降低设备的成本, 提高设备的运行效率, 烟支质量得到保证。

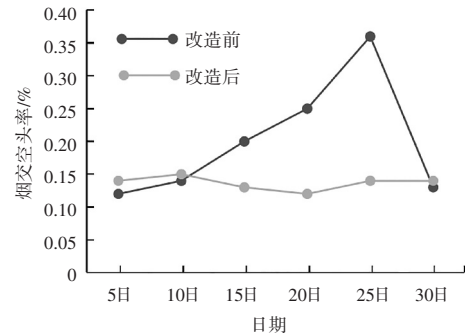


图8 2024年11月份和2025年1月份空头跟踪数据对比

Fig. 8 Comparison of short tracking data in November 2024 and January 2025

### 4 结论

吸丝带尾轮系统的优化设计将尾轮维修频次降低至 11.5%, 既减轻维保尾轮工作量, 又提高了设备的运行效率, 轴承的使用寿命得到显著延长; 改造后数据波动明显减小, 标准差降低了 88.9%, 烟支质量得到保证, 既可避免大空头和竹节烟等质量风险, 又可以降低轻微磨损期产生的额外的空头废烟和质量吸阻不稳定废烟。

### 参考文献

- [1]《YJ17-YJ27 卷接机组》编写组. YJ17-YJ27 卷接机组[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2001.
- [2]《卷烟生产过程工艺质量风险防控手册》编写组. 卷烟生产过程工艺质量风险防控手册[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 2020.
- [3]赵斌, 韩永, 张兴华, 等. ZJ17 卷接机组吸丝带导向带轮的改进[J]. 烟草科技, 2022, 55(3): 103-106.
- [4]逯江, 王宇翔, 琚志博. ZJ17 供料成条机风室尾部带轮的改进[J]. 设备管理与维修, 2022(23): 72-73.
- [5]朱永明, 赵林, 刘广兵, 等. 一种具有防尘结构的卷烟机吸丝带轮: CN210169038U[P]. 2020-03-24.
- [6]殷切. 一种卷烟机组吸丝带防尘导轮: CN208550008U[P]. 2019-03-01.
- [7]宁功林, 谭文昌, 肖荣, 等. 一种卷烟机吸风室尾部吸丝带轮的改进结构: CN204351056U[P]. 2015-05-27.
- [8]余浩, 丁嵩, 刘淑云, 等. 一种防止灰尘直接进入轴承的机械结构: CN204942098U[P]. 2016-01-06.
- [9]韩永, 赵斌, 周岩, 等. ZJ116 型卷接机组吸丝带转向带轮机构的改进[J]. 中国烟草学报, 2024, 30(5): 50-55.
- [10]张玉鹏, 伍元福, 罗易. PROTOS-M5 卷接机组吸丝带滚轮的改进[J]. 现代工业经济和信化, 2021, 11(8): 68-69.
- [11]印伟, 谭贝. 吸丝带尾轮装置及其卷接机: CN201320708091.5[P]. 2014-05-28.
- [12]王明刚, 赵敏, 贾安, 等. 一种卷烟机风室吸丝带导轮轴: CN202122852317.6[P]. 2022-05-24.
- [13]刘炳义. 一种涂料过滤装置的导流机构: CN207591369U[P]. 2018-07-10.
- [14]朱江, 张明亚. 一种用于吸丝成型的后铲丝装置: CN201220553473[P]. 2013-05-01.
- [15]毛龙所, 孙长义, 谭斌昌, 等. 用于卷烟机吸风室吸丝带尾轮闭合的闭环锁: CN202222265336.3[P]. 2023-02-21.
- [16]忻惠琴, 孙盛洲. PROTOS-70 卷烟机吸风室尾部定位块的改进[J]. 科技传播, 2012, (21): 119-120.
- [17]付平, 常德功. 密封设计手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.