

电子秤自动堵料装置的设计与应用

马川舒, 谢枫燃, 聂雷梓苾, 杨璐薇, 李家龙

云南中烟有限责任公司红塔集团玉溪卷烟厂, 云南 玉溪

收稿日期: 2025年12月29日; 录用日期: 2026年1月28日; 发布日期: 2026年3月10日

摘要

制丝生产线薄片添加工序中, 电子秤运输带末端薄片受震动和气流影响易发生掉落, 影响生产环境并存在安全隐患。针对该问题, 设计了基于曲柄摇杆机构的自动堵料装置, 采用气缸驱动挡板与电子秤运输带同步动作。当运输带停止时, 挡板关闭封堵末端; 当运输带启动时, 挡板打开恢复物料流动。装置主要由气缸、曲柄与摆动轴以及挡板等关键部件组成, 通过机械传动实现精确控制。应用结果表明, 装置彻底解决了薄片掉落问题, 显著改善了生产环境, 消除了安全隐患, 提升了生产连续性和设备可靠性, 为制丝生产线技术改进提供了有效方案。

关键词

制丝线, 电子秤, 自动堵料装置, 曲柄摇杆机构, 气缸

Design and Application of an Automatic Material Blocking Device for Electronic Scales

Chuanshu Ma, Fengran Xie, Leiziyi Nie, Luwei Yang, Jialong Li

Hongta Group Yuxi Cigarette Factory, Yunnan China Tobacco Industry Co., Ltd., Yuxi Yunnan

Received: December 29, 2025; accepted: January 28, 2026; published: March 10, 2026

Abstract

In the tobacco shred production line during the sheet addition process, sheets at the end of the electronic scale conveyor belt are prone to falling due to vibration and airflow effects, which affects the production environment and poses safety hazards. To address this problem, an automatic material blocking device based on a crank-rocker mechanism was designed, using pneumatic cylinders to drive baffles in synchronous operation with the electronic scale conveyor belt. When the conveyor belt stops,

the baffle closes to block the end; when the conveyor belt starts, the baffle opens to restore material flow. The device mainly consists of key components, including pneumatic cylinders, cranks, swing shafts, and baffles, achieving precise control through mechanical transmission. Application results show that the device completely solves the sheet falling problem, significantly improves the production environment, eliminates safety hazards, enhances production continuity and equipment reliability, and provides an effective solution for the technical improvement of tobacco shred production lines.

Keywords

Tobacco Shred Production Line, Electronic Scale, Automatic Material Blocking Device, Crank-Rocker Mechanism, Pneumatic Cylinder

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

薄片参配在卷烟生产中发挥降焦减害作用, 显著降低生产成本, 制丝线投料工序中, 薄片经电子秤称重后运输至烟箱进行装填, 箱体交替间隙期间, 运输带末端薄片受设备震动和车间气流扰动影响易发生掉落现象, 造成物料浪费与生产环境污染, 增加清洁维护工作量, 产生设备运行隐患和操作人员安全风险。生产自动化程度不断提升, 安全生产标准更加严格, 薄片掉落问题亟需解决, 自动堵料装置设计可实现运输带末端封堵控制, 保障生产环境清洁和设备稳定运行。

2. 薄片掉落问题分析

2.1. 掉落现象及影响

制丝 10t 线在投料环节开展日常作业时, 薄片烟会先通过电子秤进行计量, 接着再经由传送带运送至末端并落入烟箱内, 当一个烟箱装满之后移开, 等待下一个烟箱进入的这个过程中, 即便传送带已经停止运行, 但末端堆积的薄片在轻微震动或者气流扰动下仍会掉落。此时因为后续烟箱还未到位, 致使烟片散落至电子秤下方的设备以及地面, 对作业环境的整洁度造成了影响, 这些掉落的烟片需要清洁人员频繁进行清理, 增加了人力方面的支出。部分烟片掉落在链式运输机上, 有可能影响设备的正常运转, 带来设备运行风险, 地面上的烟片还可能让操作人员滑倒, 构成人身安全方面的威胁[1]。

2.2. 问题成因分析

薄片掉落问题的形成主要是电子秤输送带尾部物料物理特性和外部环境因素共同造成的, 当薄片烟通过输送带输送并经电子秤定量后装入烟箱的时候, 在烟箱更换的间隙当中电子秤与输送带会暂停运行。这时输送带末端的薄片因堆叠高度形成重力势能差, 任何轻微的外部干扰都有可能引发薄片掉落的情况。生产现场中设备振动与空气流动以及人员走动造成的气流扰动都是常见诱因, 烟箱更替时必然存在工艺空隙且环境振动与气流也无法避免, 所以解决该问题需要从阻断薄片掉落路径的技术层面进行改进。

2.3. 技术方案比选

针对薄片掉落问题, 经过调研分析提出三种可行的技术解决方案, 直动式气缸方案结构简单, 但需

要较大安装空间且密封效果一般，旋转气缸直驱方案的密封性能良好，但是设备成本比较高且维护技术要求复杂。连杆驱动式方案是通过曲柄摇杆机构来实现运动转换的，在空间布局与制造成本以及技术可靠性方面达到了最佳平衡。经过综合对比分析之后，连杆驱动方案能够充分利用现有的设备空间，挡板贴合运输带末端的密封效果很理想，传动机构成熟可靠且便于车间技术人员日常维护，所以确定它为最优技术路线。

3. 自动堵料装置设计

3.1. 设计思路与总体方案

为了解决制丝线投料过程中薄片从烟箱缝隙掉落问题，设计重点在于烟箱交替期间封闭电子秤输送带末端防止薄片坠落，由于烟箱更换时不可避免存在间隙，且周边气流和振动是客观环境条件，解决方法应着眼于处理输送带末端残留薄片，为此开发一套可动式挡板装置。当电子秤输送带暂停等待下一箱物料到位时，挡板自动闭合密封住输送带末端阻断薄片掉落，待下一箱物料就绪后挡板随输送带重新启动开启恢复物料正常输送。

装置采用气缸驱动曲柄摇杆机构的传动方案，实现挡板和电子秤输送带的启停同步控制，如图 1 所示，该装置主要是由气缸、曲柄与转动轴以及挡板等核心部件构成的[2]，气缸和电子秤输送带是相互联动的，当输送带启动的时候，气缸活塞杆会上升，通过曲柄带动转动轴，促使挡板顺时针转动进而开启通道。当输送带停止的时候，气缸活塞杆会下降，挡板就逆时针转动并且贴合在输送带端部，从而形成可靠的物料阻隔屏障。这个设计方案紧密结合制丝车间的实际生产环境，具备结构紧凑与运行稳定以及维护便捷等特点，能有效防止薄片烟在等待阶段发生掉落，从源头消除生产环境中的安全隐患。

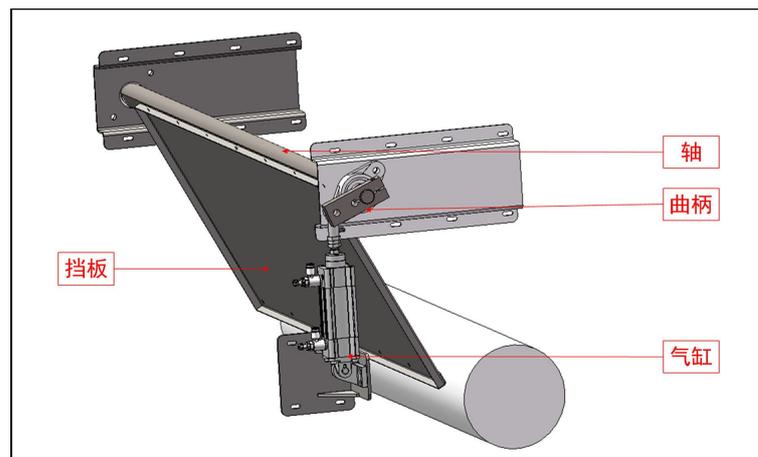


Figure 1. Schematic diagram of overall structure of material blocking device
图 1. 堵料装置总体结构示意图

3.2. 挡板结构设计

挡板是堵料装置中的核心执行部件，它的结构设计会直接影响物料阻断效果和设备运行安全，挡板采用的是矩形平板结构，选用轻质金属材料来减轻传动机构的负载，同时要保证有足够结构强度承受物料冲击。挡板尺寸依据电子秤运输带末端开口尺寸来确定，目的是确保能完全覆盖物料下落的通道，挡板通过螺栓固定在摆动轴上面，其连接位置经过精确计算以保证转动时运动轨迹与运输带末端形成良好贴合状态。

在挡板和运输带接触的部位加装软质橡胶材料, 这种设计具备双重功能, 一方面能提升密封效果防止细小颗粒从缝隙漏出, 另一方面可避免挡板频繁开合时刮伤运输带表面来延长设备使用寿命。软质材料选用耐磨且耐老化的工业橡胶, 将其厚度控制在 3~5 mm 范围内, 这样既能保证有良好缓冲效果又不会影响挡板准确定位, 如图 2 所示, 挡板的结构紧凑又合理且边缘处理得很光滑, 可避免对物料流动造成二次阻碍[3]。对挡板表面进行防腐处理, 让其适应制丝车间的生产环境要求。

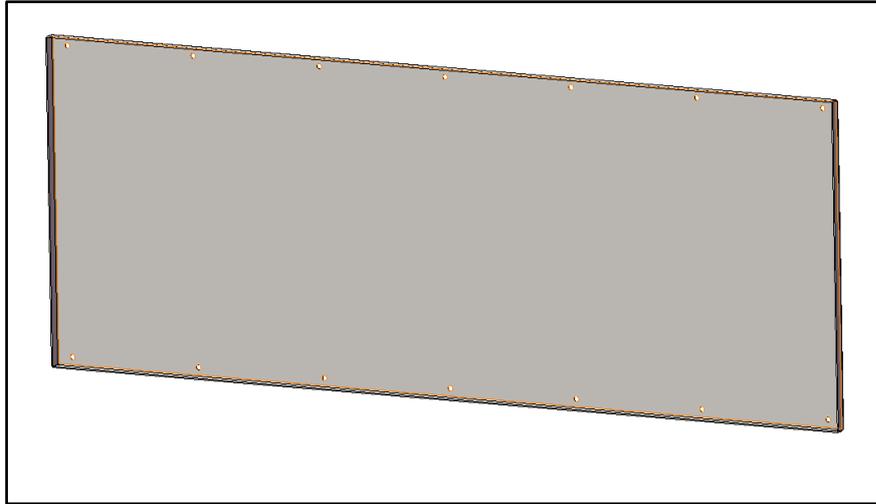


Figure 2. Structural design drawing of baffle plate
图 2. 挡板结构设计图

3.3. 曲柄摇杆机构设计

3.3.1. 机构运动学分析

堵料装置采用曲柄摇杆机构实现气缸直线运动向挡板摆动的转换, 其运动规律直接影响装置工作效果, 根据机构几何关系, 气缸位移 S 与挡板摆角 θ 满足:

$$\theta = \arcsin(S/r) \quad (1)$$

式中, r 为曲柄偏心距 25 mm。当气缸行程达到 50 mm 时, 挡板可实现 90° 完全摆动, 从速度传递角度分析, 挡板角速度:

$$\omega = \left(1 / \left(\sqrt{r^2 - S^2} \right) \right) \times v \quad (2)$$

其中, v 为气缸活塞速度(mm/s), 这种传动特性使挡板在接近封闭位置时角速度显著增大, 有利于快速密封运输带末端, 防止薄片在瞬间空隙中掉落。

3.3.2. 几何参数设计

设计曲柄摇杆机构的几何参数的同时, 兼顾传动效率和结构紧凑性的要求, 曲柄采用偏心轴的结构并且把偏心距设定为 25 mm, 这样能确保 50 mm 气缸行程可驱动挡板完成所需摆角, 摆动轴选用 $\varphi 30$ mm 的实心轴且对其表面进行调质处理来提高耐磨性, 摆动轴两端支承采用密封轴承以防止烟草粉尘侵入。连杆长度经过优化计算后确定为 85 mm, 此举既保证传动刚度又避免与周边设备产生干涉。如图 3 所示, 整套机构布置得很合理, 各连接点采用销轴连接方便进行装配和维护工作, 挡板和摆动轴采用键连接且键槽加工精度要求比较高以确保传动无间隙, 如此便能保证挡板准确定位于运输带末端[4]。

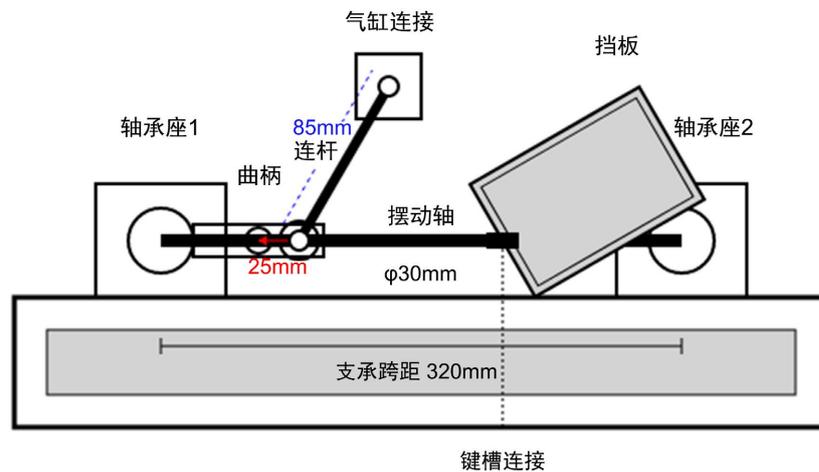


Figure 3. Assembly drawing of crank-rocker mechanism
图 3. 曲柄摇杆机构装配图

3.4. 气缸选型与控制系统

气缸是堵料装置的执行机构，它的选型得综合考虑负载特性、动作频率等工程因素。经过计算和分析之后，选用了 DSBC-40-50-PPVA-N3 型双作用气缸，气缸缸径 40 mm 能提供足够推力来克服挡板转动阻力和物料阻挡力，50 mm 行程和曲柄偏心距精确匹配可确保挡板实现 90° 完全摆动。控制系统采用三位五通电磁换向阀来实现气缸双向驱动，如图 4 所示，进气和排气回路分别设置单向节流阀以调节挡板开合速度从而避免冲击和振动。

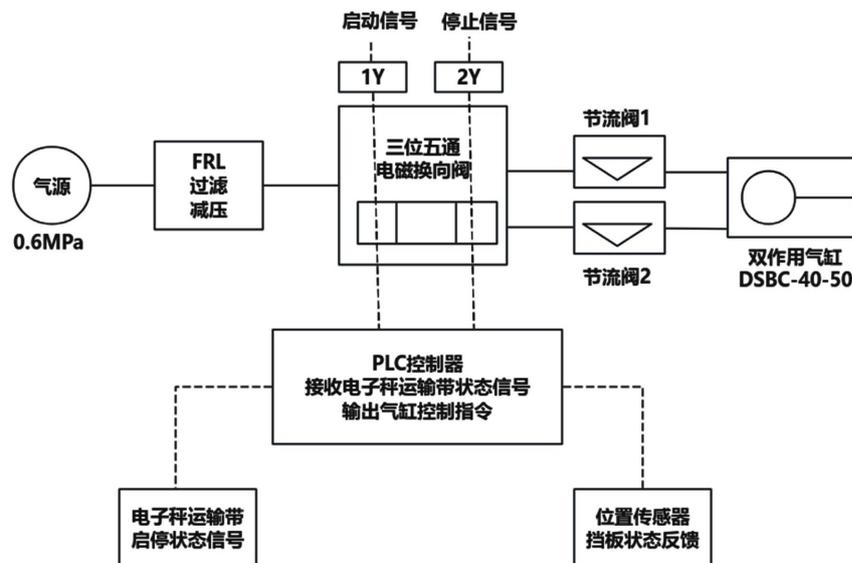


Figure 4. Pneumatic control system schematic diagram
图 4. 气动控制系统原理图

控制逻辑的时序设计对于确保装置可靠运行来说是关键环节，如图 5 所示的控制逻辑流程图详细展现了从接收电子秤运输带状态信号到气缸动作完成的全过程，PLC 接收运输带启停信号之后设置 50 ms 延迟时间来避免误动作，接着输出相应的电磁阀控制指令。当运输带启动的时候，1Y 电磁阀通电让换向

阀切换，气缸活塞杆上升驱动挡板开启；当运输带停止的时候，2Y 电磁阀通电使活塞杆下降让挡板关闭密封运输带末端。系统配置位置传感器实时反馈挡板状态形成闭环控制确保动作可靠性，整套控制方案响应迅速并且运行稳定[5]。

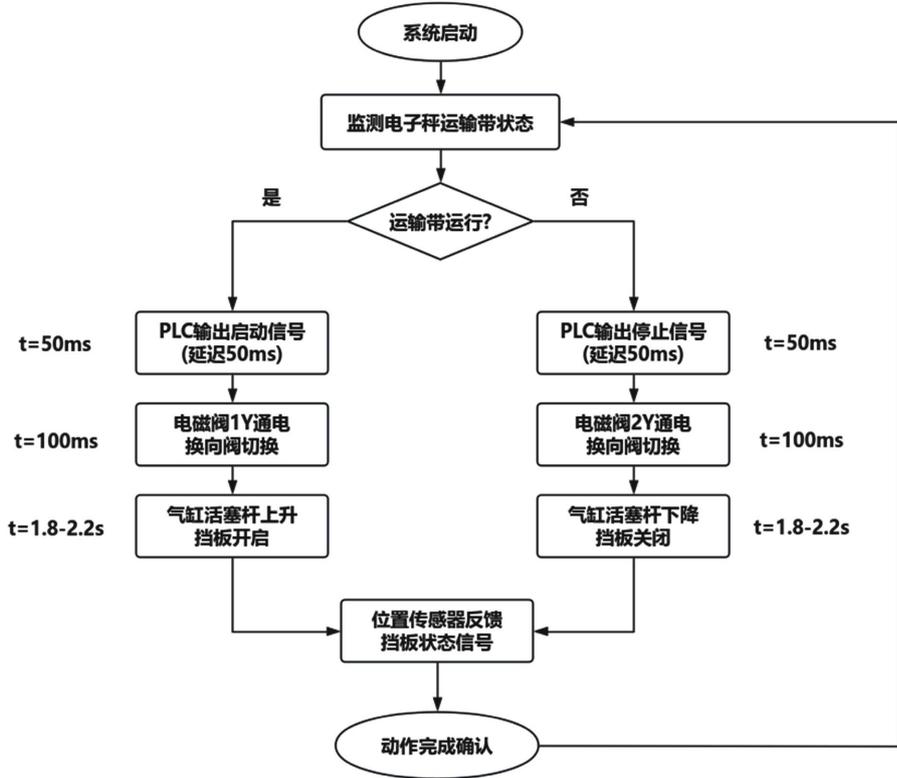


Figure 5. Control logic flow chart
图 5. 控制逻辑流程图

4. 装置应用与效果分析

4.1. 安装实施方案

堵料装置安装实施是按分步骤组装调试的方式来进行，以此确保每个环节精度要求与安全标准能严格执行，安装过程要在原有罩头对应位置开展精确的机械加工作业，其中包含开孔与攻丝等工序，目的是为气缸支架和摆动轴提供可靠的固定基础。开孔的位置要依据装置设计图纸来进行精确的定位，使用划线定位这种方法来确保位置具有准确性。开孔的直径需严格按照螺栓规格的要求去执行，攻丝的规格要和连接螺栓达到完全匹配的程度，螺纹的深度、螺距精度要符合国家规定的标准，以此保证安装连接能具备长期的可靠性和安全性。

摆动轴安装的时候要特别留意对轴承座水平度和同轴度进行控制，采用精密水平仪和百分表来进行测量与调整，要把水平度误差控制在 0.02 mm/m 以内，让同轴度误差不超过 0.05 mm。轴承安装过程中要严格依照技术要求来进行润滑脂填充，需将填充量控制在轴承空腔容积的 1/3 至 1/2 之间。挡板安装是用高强度螺栓来进行固定的，固定位置经过精确计算保证转动轨迹能和运输带末端形成良好贴合效果，挡板跟运输带接触的部位预装了软质橡胶材料，在安装过程当中需要仔细进行调整，既要确保密封效果又得避免过度压紧影响运动灵活性，接触压力要控制在适当的范围之内。

如图 6 所示, 整套装置安装完成之后各个部件布局合理又紧凑, 和原有设备实现了良好的系统集成, 气缸与曲柄以及摆动轴等关键部件依照装配工艺要求依次安装。连接部位采用的是标准紧固件且扭矩按规范要求控制, 安装调试过程当中需要开展多次空载试运行, 以此验证动作时序的准确性和定位精度的稳定性, 从而确保装置投入使用之前的可靠性。



Figure 6. On-site installation and implementation effect diagram of material blocking device
图 6. 堵料装置现场安装实施效果图

4.2. 工作原理及控制逻辑

堵料装置的工作原理是基于气缸和电子秤运输带启停状态的同步联动控制机制, 当电子秤运输带启动的时候, 控制信号会同步触发气缸活塞杆向上运动, 通过曲柄摇杆机构把直线运动转换为旋转运动。驱动挡板朝着顺时针方向摆动到完全开启的位置, 让薄片物料能够正常下落到烟箱内。当电子秤运输带停止等待烟箱交替的过程中气缸活塞杆向下运动, 使挡板逆时针转动贴合在运输带末端, 形成物理屏障来阻断薄片掉落的通道。

控制逻辑设计要保证挡板动作和运输带状态严格同步, 以此避免物料积压或者意外掉落的现象, 气缸采用双作用控制方式, 正反向动作都由控制信号驱动, 响应速度快且定位十分准确, 挡板开合时间控制在 2 秒以内, 能够完全匹配烟箱交替的时间节拍。整套系统集成到现有制丝线控制架构中, 通过 PLC 程序实现自动化控制, 操作人员无需进行额外干预操作, 系统具备故障自诊断功能, 检测到异常信号时能够及时报警提示, 保证生产过程的连续性和稳定性。控制回路设计简洁又可靠, 维护调试很方便, 适应制丝车间连续生产的严苛要求。

4.3. 现场应用测试

现场应用测试包含功能验证与性能评估以及可靠性考核这三个阶段, 以此全面检验堵料装置实际工作效果与适应性, 功能验证阶段主要测试挡板开合动作准确性和响应速度, 通过多次启停电子秤运输带观察挡板能否准确同步动作。测试过程中重点检查挡板闭合时与运输带末端贴合程度, 确保不会出现物料泄漏现象, 性能评估阶段在正常生产条件下进行连续运行, 统计薄片掉落频次和设备故障率变化情况。

在测试期间会模拟不同的工况条件, 涵盖不同薄片流量与不同烟箱交替频率以及不同环境温度等场景, 以此来验证装置在各种生产状态下的适应性和稳定性, 在可靠性考核阶段会连续运行 30 天, 累计开合动作要超过 5000 次, 从而检验装置的耐久性能。测试结果显示, 挡板动作灵敏且可靠, 开合时间能够稳定控制在 1.8~2.2 秒的范围内, 完全可以满足生产节拍的要求。软质橡胶材料能够有效防止运输带被磨

损，其密封效果良好且没有出现泄漏的情况，经过全面的测试验证后得知，装置运行较为稳定，并未出现机械故障或者控制失效的现象，充分证明了设计方案的工程实用性和技术先进性。

4.4. 应用效果评价

堵料装置投入使用以后，制丝线薄片添加工序的生产环境和操作安全性都得到了显著改善。从表 1 的统计数据当中能够看出来，薄片掉落的现象已经完全被消除了，生产现场的清洁度有了明显提升。改进之前每个班次都得安排专门的人员定时去清扫掉落的薄片，这样既增加了人工成本还存在清理作业的安全隐患，改进之后相关的清洁工作量减少了 80%以上，操作人员可以把更多精力投入到关键工艺控制和质量监督环节。

Table 1. Comparison of effects before and after application of material blocking device

表 1. 堵料装置应用前后效果对比

评价指标	改进前	改进后	改善效果
薄片掉落频次(次/班)	8~12	0	完全消除
清洁维护时间(分钟/班)	25~30	5~8	减少 80%
设备故障次数(次/月)	2~3	0	完全消除
安全隐患事件(次/年)	3~5	0	完全消除
生产连续性(%)	92~95	98~99	提升 3%~4%

为深入评估装置运行性能，开展了气缸响应时间测试工作，测试采集 100 次动作数据。如图 7 的分布直方图显示，动作时间主要集中在 1.8~2.0 秒区间，其中 1.9~2.0 秒区间出现频次最高，达到了 40 次，这体现出了良好的动作一致性和重现性，测试结果表明气缸响应时间稳定可靠能满足制丝生产线频繁启停工艺要求，设备运行稳定性有了显著提升，彻底避免了薄片掉落到链式运输机引发设备故障和非计划停机风险。装置运行过程中挡板动作精确可靠与电子秤运输带启停保持完美同步，没有出现物料积压或者意外泄漏的现象，在生产效率方面消除了因清理掉落物料导致临时停机和工艺中断情况，显著提升了整线作业连续性与产能利用率，安全环境得到了根本改善，彻底杜绝了操作人员因地面薄片滑倒的人身安全风险。

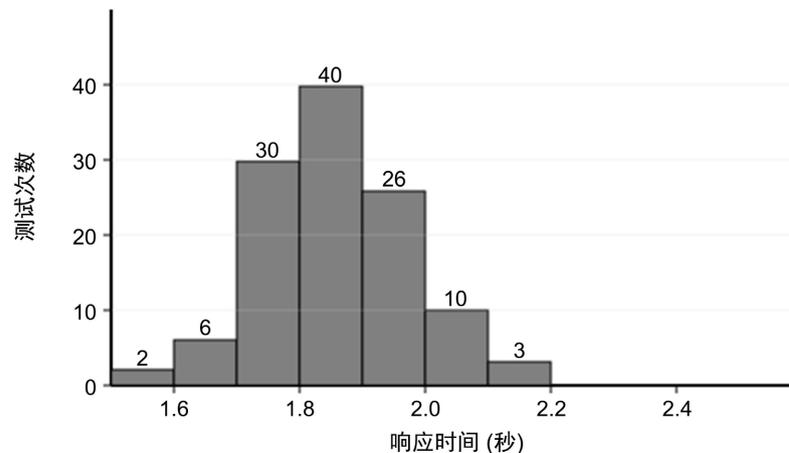


Figure 7. Cylinder response time distribution histogram

图 7. 气缸响应时间分布直方图

4.5. 失效模式分析与预防性维护

装置在运行过程当中可能出现的失效模式主要集中在关键运动部件和密封组件，橡胶密封条因为长期跟运输带接触摩擦容易出现老化开裂现象，所以建议每 6 个月进行检查更换，销轴连接部位在频繁启停的工况之下容易产生磨损。当传动间隙超过 0.2 mm 时要及时更换相关零件，轴承要是缺乏润滑会导致转动不畅甚至出现卡死的情况，所以需每季度补充润滑脂并检查密封状况。气缸内部密封圈磨损会造成内泄漏进而影响动作精度，因此应每年进行一次全面检查，预防性维护计划涵盖日常观察挡板动作流畅性，周检测量贴合间隙以及月检螺栓紧固状态，通过系统化维护管理来确保装置长期稳定运行。

5. 结语

自动堵料装置通过气缸驱动曲柄摇杆机构实现挡板与电子秤运输带的精确同步控制，有效解决了制丝线薄片添加过程中的掉落问题，装置结构设计简单合理，机械传动可靠，安装调试便捷，运行维护方便。应用后彻底消除了薄片散落现象，显著改善了生产环境质量，大幅降低了清洁维护工作量，消除了设备故障风险和人员安全隐患，装置运行稳定可靠，故障率低，使用寿命长，投资回收期短，该技术方案为制丝生产线类似工程问题提供了切实可行的解决思路，对提升烟草制造业装备自动化水平和生产管理效率具有重要的推广应用价值。

参考文献

- [1] 普瑞, 朱恩康, 朱泽迪. 烟草带式输送机堵料预警及处理装置的研制[J]. 今日制造与升级, 2024(7): 115-118+131.
- [2] 张选顺, 侯琪琛, 杨刚, 等. 制丝线掺配限量管优化设计及应用[J]. 科学技术创新, 2022(27): 27-30.
- [3] 张艺辉, 谢枫燃, 施旭东, 等. 烟草制丝运输带智能防堵料控制系统设计[J]. 中国新技术新产品, 2021(22): 42-44.
- [4] 苏鞭, 冯超. 烟草制丝线辅联设备控制技术探讨[J]. 科技创新与应用, 2021, 11(29): 100-102.
- [5] 方瑞萍, 田德兴, 普云伟, 等. 烟草制丝线电子皮带秤的传动装置研究[J]. 新型工业化, 2021, 11(9): 105-106.