

卷烟包装机非停机式手动装箱平台研究与应用

杨利 尹洪禹 王焜 郑凯泽 杜波

红云红河烟草(集团)有限责任公司乌兰浩特卷烟厂 内蒙古 乌兰浩特 137400

摘要: 本文针对卷烟生产过程中, 后线设备(如条烟提升机)突发故障导致前端包装机被迫频繁启停, 严重制约“净效率”指标提升的行业痛点, 开展了一项QC攻关活动。通过深入分析传统手动接烟流程中存在的烟条易损、劳动强度大、操作繁琐及二维码朝向合格率低等核心问题, 创新性地提出并研制了一套“变轨式固定装箱平台”。该平台以“柔性连锁”控制逻辑为核心, 融合了基于火车道岔原理的气动路径切换单元、利用重力势能驱动的弧形烟条翻转单元、以及高效稳定的气动缓冲排烟单元。实践应用表明, 该平台成功实现了后线故障时包装机的“非停机”运行, 将单次平均停机时间由111.3秒降至0秒, 烟条翻转合格率提升至99.98%, 显著降低了操作工劳动强度, 并为工厂创造了可观的经济效益。本研究成果具有结构简单、成本可控、可靠性高的特点, 具备在烟草行业内广泛推广应用的价值。

关键词: 卷烟包装机; 非停机; 手动装箱; 净效率; 柔性连锁; 重力翻转

引言

当前制造业向高质量发展转型, 生产效率精细化管理成为企业核心竞争力关键。2025年, 红云红河集团以“净效率”为核心考核指标, 剔除非生产性时间, 聚焦设备有效产出率, 这对卷烟生产流程连续性和稳定性提出高要求。然而, 实际生产中存在一个长期制约“净效率”提升的瓶颈。前端卷烟包装机正常运行时, 若下游条烟输送系统突发故障, 生产线刚性连锁逻辑会强制包装机立即停机。待故障排除, 操作工需完成一系列复杂复位操作才能重启包装机。2024年12月卷包车间生产数据显示, 后线设备月均故障达50.36次, 包装机月均停机1.58小时, 每月损失烟条产量超3500条。传统应急处理采用临时手动接烟方式, 存在三大痛点: 一是无固定装箱平台, 烟条直接落地易造成外观损伤; 二是操作工需在包装机与提升机间(单程约35米)频繁往返复位, 日均路程超半公里, 劳动强度极大; 三是手动装箱时, 烟条二维码朝上合格率仅82%, 严重影响产品追溯与信息关联效率^[1]。为打破效率瓶颈, 本QC小组以研发“非停机式手动装箱平台”为课题, 在后线故障时让包装机不停机, 自动引导烟条至专用装箱区域, 实现生产“无感”切换与快速恢复, 提升“净效率”。

1 创新思路与总体方案设计

1.1 需求分析与目标设定

基于上述生产痛点与现场测试数据(模拟故障场景下, 现有手动装箱流程平均耗时28.8秒), 本次QC活动明确了四大核心需求: (1)解耦运行: 实现包装机与后线故障的物理与逻辑分离, 确保后线故障时包装机持续

运行。(2)自动翻转: 设计烟条自动翻转机构, 确保烟条到达装箱平台时二维码朝上, 提升追溯合格率。(3)固定平台: 构建一个符合人机工程学的固定装箱平台, 保障烟条安全, 降低操作难度。(4)简化流程: 将操作工单次故障复位的总时间缩短至28.8秒以内。围绕这些需求, 小组设定了明确的量化目标: 将包装机因后线故障导致的平均单次停机时间从111.3秒降低至25秒以内。

1.2 创新思路借鉴

为解决“手自一体无缝切换、烟条自动翻转、稳定缓冲”三大技术难题, 小组通过跨领域借鉴, 形成了初步的创新构想: (1)路径切换: 借鉴《火车轨道道岔切换原理》, 利用可移动的导向装置(翻板), 在不中断列车(烟条流)运行的前提下, 实现行驶路径(输送通道)的切换。(2)动力传输: 借鉴《儿童游乐场滑梯原理》, 利用包装机出口与装箱台之间的高度差, 通过设计特定倾角的弧形滑道, 将烟条的重力势能转化为动能, 实现无动力、低摩擦的顺畅下滑与姿态调整。(3)缓冲排列: 借鉴《条烟输送系统应急烟条收集平台》中的气缸推送理念, 通过定时或到位触发的气缸动作, 将滑落至平台的烟条自动推齐、排列, 形成有序的缓冲区。

1.3 总体方案整合

综合以上借鉴点, 小组提出了“变轨式固定装箱平台”的总体设计方案。该方案的核心在于重构原有的“刚性连锁”为“柔性连锁”, 其工作机制如下: (1)智能检测: 系统实时监控后线条烟输送系统的运行状态。(2)不停机响应: 一旦检测到后线停机或故障信号, 控制系统立即向美容器(位于包装机出口)发出指

令。(3) 流向切换: 美容器内的气动翻板迅速动作, 将原本流向提升机的烟条流, 自动切换到通往手动装箱平台的重力滑道^[2]。(4) 自动翻转与缓冲: 烟条沿滑道下滑, 在弧形约束下完成90°翻转, 确保二维码朝上, 并落入装箱平台。平台上的气缸随即动作, 将烟条推齐排列, 形成缓冲。(5) 无缝恢复: 后线故障排除后, 操作工只需一键操作, 翻板复位, 烟条流即刻切回自动输送线, 包装机全程保持连续运行。该方案被分解为四个功能模块协同工作: 路径切换单元、烟条翻转单元、缓冲排烟单元和电气控制单元。

2 方案论证与最佳方案确定

为确保方案的可行性与先进性, 小组对各模块进行了详尽的理论计算、模拟实验与多方案对比。

2.1 目标可行性论证

(1) 控制逻辑可行性: 通过重构PLC程序, 将“提升机停→包装机停”的硬连锁, 改为“提升机停→美容器切换通道→包装机持续运行”的软连锁。理论分析表明, PLC信号响应时间 ≤ 1 秒, 气动翻板动作时间 ≤ 2 秒, 总切换响应时间 ≤ 3 秒, 远优于25秒的目标。(2) 烟条翻转可行性: 基于烟条尺寸(275×88×48mm)和0.75m的高度差, 设计曲率半径 $R = 150$ mm的弧形滑道。力学计算显示, 烟条下滑合力 $F \approx 0.86N > 0$, 可顺利下滑并完成翻转。5000条烟的模拟实验证实, 翻转合格率达99.96%。(3) 缓冲容量可行性: 设计装箱台尺寸为1500×700×1050mm, 理论最大可容纳约166条烟, 远超 ≥ 25 条的目标要求。

2.2 最佳方案选择

通过多轮方案比选, 最终确定了各模块的最佳技术路径:(1) 路径切换单元: 在“水平翻转式”与“水平推出式”两种结构中, 前者凭借100%的成功率和更高的外观合格率胜出。在气缸选型上, 综合考虑响应时间、故障率、成本及维护便利性, 最终选定费斯托DSNU-12-30-P-A型气缸。(2) 烟条翻转单元: 对比“重力槽型滑道”与“重力弧形滑道”, 后者能可靠实现90°翻转, 满足二维码朝上的核心需求。通过黄金分割法优化支撑架高度, 最终确定在距条烟始端面33.05mm处设置支撑点, 以确保翻转的稳定性和成功率^[3]。(3) 缓冲排烟单元: “气动水平推烟”方案在倾倒次数、成功率和外观合格率上均显著优于“皮带输送排烟”方案。在具体参数上, 选用CNKYT SE80X70S型带缓冲气缸, 搭配1500×700×1050mm的装箱台, 可实现28条的缓冲容量和99.8%的排列合格率。(4) 电气控制单元: 在条烟堵塞检测上, 非接触式光电开关(欧姆龙E3Z-D81)因其高准确率和快速响应被采用。在

预警方式上, 声光预警的发现准确率远高于画面预警。在控制核心上, 通过对“新增PLC”与“原机程序改写”两种方案的评估, 后者因成本为零、无需额外布线且稳定性良好而被确定为最佳方案。

3 平台实施与对策

根据确定的最佳方案, 小组制定了详细的“5W1H”对策表, 并分阶段完成了平台的研制与安装。(1) 路径切换单元实施: 加工了300×100×3mm的不锈钢翻板, 安装了费斯托SC63×50气缸。经100次切换测试, 平均响应时间为2.1秒, 翻板角度精准, 完全满足 ≤ 3 秒的目标。

(2) 烟条翻转单元实施: 加工了曲率半径150mm、长500mm的45#钢镀铬弧形滑道, 并精确调整倾角至30°。5000条烟的测试结果显示, 翻转合格率达99.96%, 烟条无任何损伤。(3) 缓冲排烟单元实施: 制作了主体为镀锌方通、台面为304不锈钢的装箱台, 并安装了亚德客SC80×600排烟气缸。调试结果表明, 平台最大缓冲容量达32条, 1000条烟的排列合格率为99.8%^[4]。(4) 电气控制单元实施: 在保留原机PLC的基础上, 编写了新的控制子程序, 集成了手自动转换开关、光电传感器和声光报警器。调试结果显示, PLC平均响应时间为0.8秒, 通道堵塞检测率和报警触发率均为100%。最后, 通过整体联动调试, 解决了滑道导向筋微调、PLC控制逻辑优化等细节问题, 确保了平台各项指标全面达标。

4 效果检查与效益分析

该平台于2025年8月在9号和11号包装机上正式投入试运行, 其实际表现远超预期。

4.1 功能与安全目标达成

在为期一个月的试运行期间, 平台展现了卓越的可靠性与高效性。核心指标方面, 因后线故障导致的包装机停机时间奇迹般地降为0秒, 这不仅是对25秒目标的超额完成, 更是对传统生产模式的一次颠覆。烟条翻转合格率稳定在99.98%的高水平, 装箱平台的平均缓冲容量也达到了29条, 所有预设的功能目标均得到圆满实现。在安全与可靠性方面, 平台同样表现出色。通道堵塞检测的平均响应时间仅为0.4秒, 声光报警触发率保持100%, 确保了任何异常都能被第一时间发现和处理。设备的月度运行故障率更是低至0.15%, 显著优于0.2%的预定目标, 充分证明了其设计的稳健性。

4.2 经济与社会效益显著

平台的成功应用带来了立竿见影的经济效益。以单台包装机为例, 每月可减少1.58小时的无效停机, 按7000条/小时的生产速度计算, 单台月均可挽回烟条损失约11,060条。参照每条烟0.5元的利润估算, 单台设备每年

可创造超过6.6万元的直接经济效益。一旦在全车间乃至全厂推广,其累积效益将极为可观。更重要的是,该平台极大地改善了操作工的工作环境与体验。数据显示,操作工的日均往返路程从原先的0.52公里锐减至0.08公里,降幅高达84.6%;日均弯腰次数从120次降至30次,减轻了75%的体力消耗;用于手动调整烟条二维码方向的时间更是从每天0.5小时缩短至几乎可以忽略不计的0.02小时,效率提升86.7%。这些改变不仅显著降低了员工的劳动强度,提升了工作幸福感,也从源头上减少了因疲劳和重复性动作可能引发的职业健康风险,同时使现场的5S管理水平得到了同步提升。

5 推广应用与标准化

鉴于平台在试运行中展现出的巨大价值,其推广应用前景获得了内外部专家的高度评价。乌兰浩特卷烟厂技术部门经过全面评估后认为,该平台具有极强的适配性,仅需进行微小的参数调整即可应用于车间全部10台包装机,且其运行可靠性远超行业平均水平,强烈建议在卷包车间进行全面推广,并预测此举可将车间整体净效率提升至92%以上。红云红河集团技术中心则从更宏观的视角指出,该平台所采用的“柔性连锁+重力翻转”设计理念,精准地击中了困扰卷烟行业的共性难题,其技术水平处于行业领先地位。尤为可贵的是,该方案结构简洁、成本低廉,使其具备了在集团下属六家卷烟厂大规模复制推广的坚实基础,预计年创造的综合经济效益将超过2亿元。为了确保这一宝贵的技术成果能够有效固化、传承并实现标准化复制,QC小组同步编制了四项关键的标准文件。这些文件涵盖了从《详细设计图纸》、《标准化安装规范》,到《日常维护保养手册》

和《安全操作规程》的全生命周期管理,为后续的批量生产和日常运维提供了清晰、权威的指导依据。

6 结语

本QC活动成功研制的“卷烟包装机非停机式手动装箱平台”,通过技术创新,有效破解了后线故障导致前端停机的效率瓶颈。平台以“柔性连锁”为核心,巧妙融合了机械、气动与电气控制技术,实现了“手自无缝切换、烟条自动翻转、稳定缓冲排烟”的一体化功能。实践证明,该平台不仅能将停机时间归零,大幅提升“净效率”,还能显著改善人机工程,降低劳动强度,经济效益与社会效益双丰收。本次活动的经验表明,立足于生产一线的真实痛点,运用科学的QC工具和方法,并敢于进行跨领域的创新借鉴,是解决复杂工程问题的有效途径。未来,小组将进一步关注工业物联网(IIoT)和人工智能(AI)等新兴技术,探索将该平台接入工厂的数字化管理系统,实现故障预警、效能分析等功能的智能化升级,为卷烟制造业的高质量发展贡献更多智慧与力量。

参考文献

- [1]吴铸峰. G.D卷烟包装机装箱台系统的研制[J]. 机械管理开发,2008,23(2):63-64.
- [2]张红,黄慧鸿,谢伟,等. 新型柔性装封箱工艺布局剖析[J]. 物流技术与应用,2021(3):146-148.
- [3]唐明,张红,黄慧鸿,等. 新型装封箱车间柔性生产解决方案[J]. 设备管理与维修,2021(21):130-131.
- [4]赵淑华. 封箱机全自动条包储存装置技术改进研究[J]. 中国设备工程,2020(13):19-20.