

五支装品吸烟包装成型试验平台的设计与开发

夏睿, 李昂

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2月12日; 录用日期: 2025年3月12日; 发布日期: 2025年3月27日

摘要

随着卷烟市场对卷烟包装的形式要求越来越高, 在卷烟营销过程中对于品吸烟的包装形式提出了更高的要求, 既要便于分发又要经济实惠, 因此五支装抽屉式卷烟产品的需求越来越大。然而目前卷烟工厂针对五支装抽屉式卷烟产品的生产主要还是依靠手工包装, 生产效率低, 产品质量的一致性差。因此本文运用模块化的理念设计一种满足五支装抽屉式卷烟产品生产的实验平台, 针对五支装抽屉式卷烟产品的包装工艺特点, 将五支装抽屉式卷烟产品生产的实验平台设计成四工位结构, 通过凸轮分割器将四工位连接成一个圆形的转台结构。在各工位分别设计内盒下纸模块、烟支推送模块、内盒折叠模块和外盒成型模块, 通过四个工位各功能模块的结构设计、执行机构选型以及组装调试协同作业, 完成五支装抽屉式卷烟产品的包装, 实验论证了设计的可靠性, 五支装抽屉式卷烟产品生产的实验平台包装速度达到10包/min, 可以稳定运行。

关键词

五支装, 抽屉式, 模块化设计, 凸轮分割器, 试验平台

Design and Development of Five Drawer Type Cigarette Product Test Platform

Rui Xia, Ang Li

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

Received: Feb. 12th, 2025; accepted: Mar. 12th, 2025; published: Mar. 27th, 2025

Abstract

As the cigarette market has higher and higher requirements for the form of cigarette packaging, higher requirements have been put forward for the packaging form of cigarette smoking in the process of cigarette marketing, which should be easy to distribute and economical, so the demand for five-drawer cigarette products is increasing. However, at present, the production of five-drawer

cigarette products in cigarette factories mainly relies on manual packaging, with low production efficiency and poor product quality consistency. Therefore, this paper uses the modular concept to design an experimental platform for the production of five-drawer cigarette products. According to the packaging process characteristics of five-drawer cigarette products, the experimental platform for the production of five-drawer cigarette products is designed into a four-station structure, and the four stations are connected into a circular turntable structure through a CAM separator. In each station, the inner box paper module, cigarette push module, inner box folding module and outer box forming module are designed respectively. Through the structural design of each function module in the four stations, the selection of actuator and the assembly and debugging cooperation, the packaging of five drawer cigarette products is completed. The reliability of the design is demonstrated by experiments. The experimental platform for the production of five-drawer cigarette products has a packaging speed of 10 packets/min, which can run stably.

Keywords

Five Pens, Draw-Out Type, Modular Design, Cam Splitter, Test Platform

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. 前言

随着卷烟市场的个性化需求增长,消费者对产品的包装形式要求越来越高,如抽屉式、翻盖式、全开式、对开式、半开式,单内包、双内包、单口味、双口味等各式各样的包装方式层出不穷。卷烟工厂为了更好地满足消费者需求,需要能够对各种异型包装的卷烟产品实现兼容性生产。异型包装的柔性制造对卷烟工厂快速响应市场需求、提升品牌价值、更好地占领市场具有重要意义。

五支装抽屉式卷烟产品试验平台基于卷烟生产车间传统流程的小包成型生产环节,旨在为工厂保有完全自主创新知识产权前提下,开发一套小包成型生产的替代作业装置而研发搭建。功能设定:①能够接纳相关标准原辅材料,稳定有序、持续运作,在末端产出符合相关生产工艺要求的卷烟小包产品;②具有显著的柔性化快速切换产品规格的适应能力——先期配备较少规格替换套件前提下,能够在数个工作日(一般少于4日)完成在两种以上小包规格生产软、硬件环境的更换、调试;③强调对“异型”包装方式的延伸——从而也决定了测试项目的开拓性。

2. 试验平台工作原理

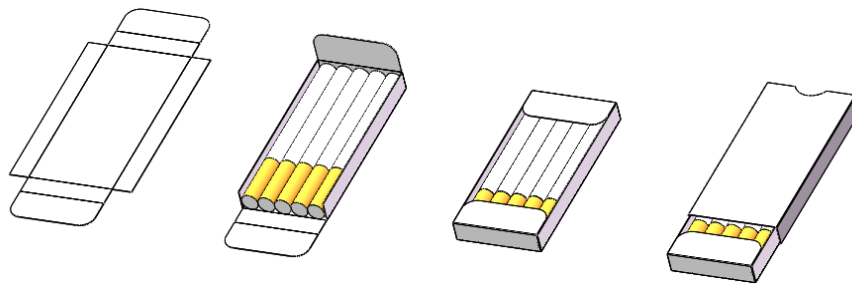


Figure 1. Package process of five drawer type cigarette products

图 1. 五支装抽屉式卷烟产品包装工艺流程

根据五支装抽屉式卷烟产品的包装工艺特点将其工艺流程划分为四个功能模块, 内盒下纸模块、烟支推送模块、内盒折叠模块和外盒成型模块, 如图 1 所示。

多工位抽屉式品吸烟包装成型工艺流程的制定, 参考了传统卷烟包装设备小盒包装工艺流程, 设计下烟机构、商标内盒下纸机构、商标外盒下纸机构、商标内外盒成型机构以及出烟机构[1][2]。工艺路线如图 2 所示。

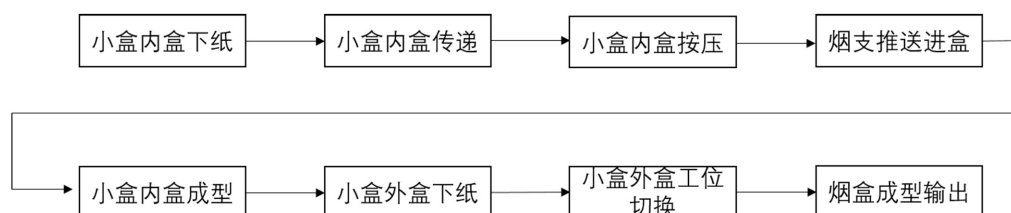


Figure 2. Multi-station drawer type cigarette packaging molding process

图 2. 多工位抽屉式品吸烟包装成型工艺流程

在总体工艺路线指导下, 小盒柔性包装系统的主体研发可以划分为: 下烟部分、商标外盒下纸部分、商标外盒成型部分、出烟部分四个主要功能模块, 再加中间产品传递模块部分, 共五个设计环节技术路线如图 3 所示:

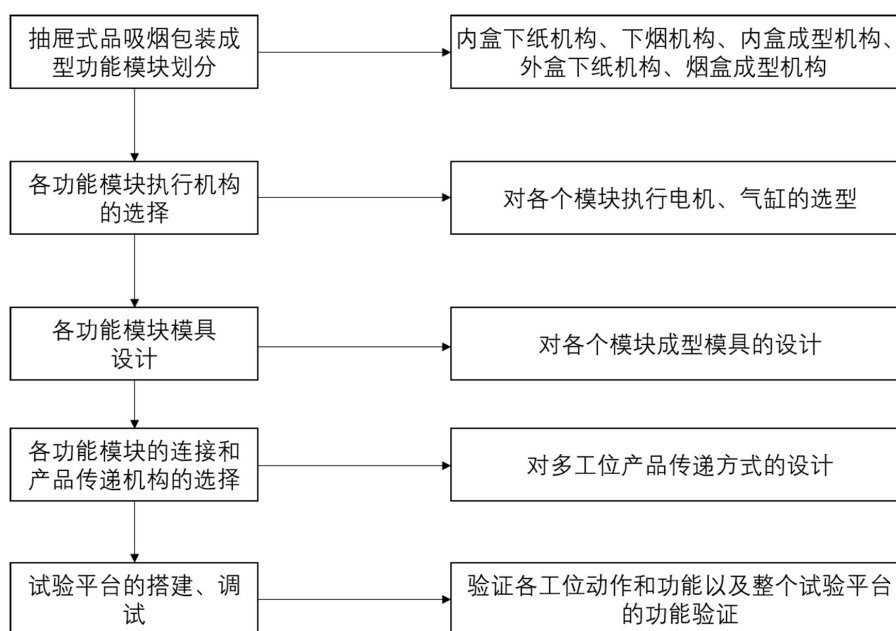


Figure 3. Multi-station drawer tobacco packaging molding process technical roadmap

图 3. 多工位抽屉式品吸烟包装成型工艺流程技术路线图

为了提高结构设计的紧凑性将四个模块进行圆形布置, 选择分割器作为执行机构, 试验平台就设计成四工位的圆形机构[3][4], 如图 4 所示。内盒下纸模块采用高效稳定的负压吸附的方式实现, 以伺服电机作为驱动元件, 利用曲柄连杆机构, 实现往复取纸。烟支推送模块主要包括推送电缸、烟支隔栅和推送板, 采用电缸作为执行元件, 推送精度高, 寿命长稳定性好。烟支隔栅主要是为了更加顺利地实现下烟动作。内盒折叠模块采用紧凑型气缸以按压的方式实现, 动作简单, 折叠轮廓清晰, 同时内盒折叠模盒设计了限位爪, 实现商标内盒在平台上转动时商标纸成型状态的保持。外盒成型模块设计了收缩过渡框, 实现成型

内盒顺利的推送至商标外盒。外盒成型模块的推送机构采用同步带循环推送的方式, 既避免了推送爪与外盒成型模具的干涉, 又提高了对成型内盒的推送效率。抽屉式品吸烟包装成型实验平台的组成如图 5 所示。

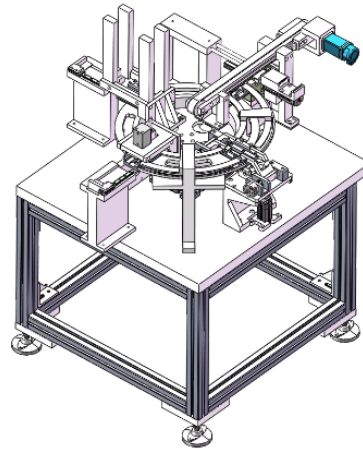


Figure 4. Five drawer type cigarette product test platform
图 4. 五支装抽屉式卷烟产品试验平台

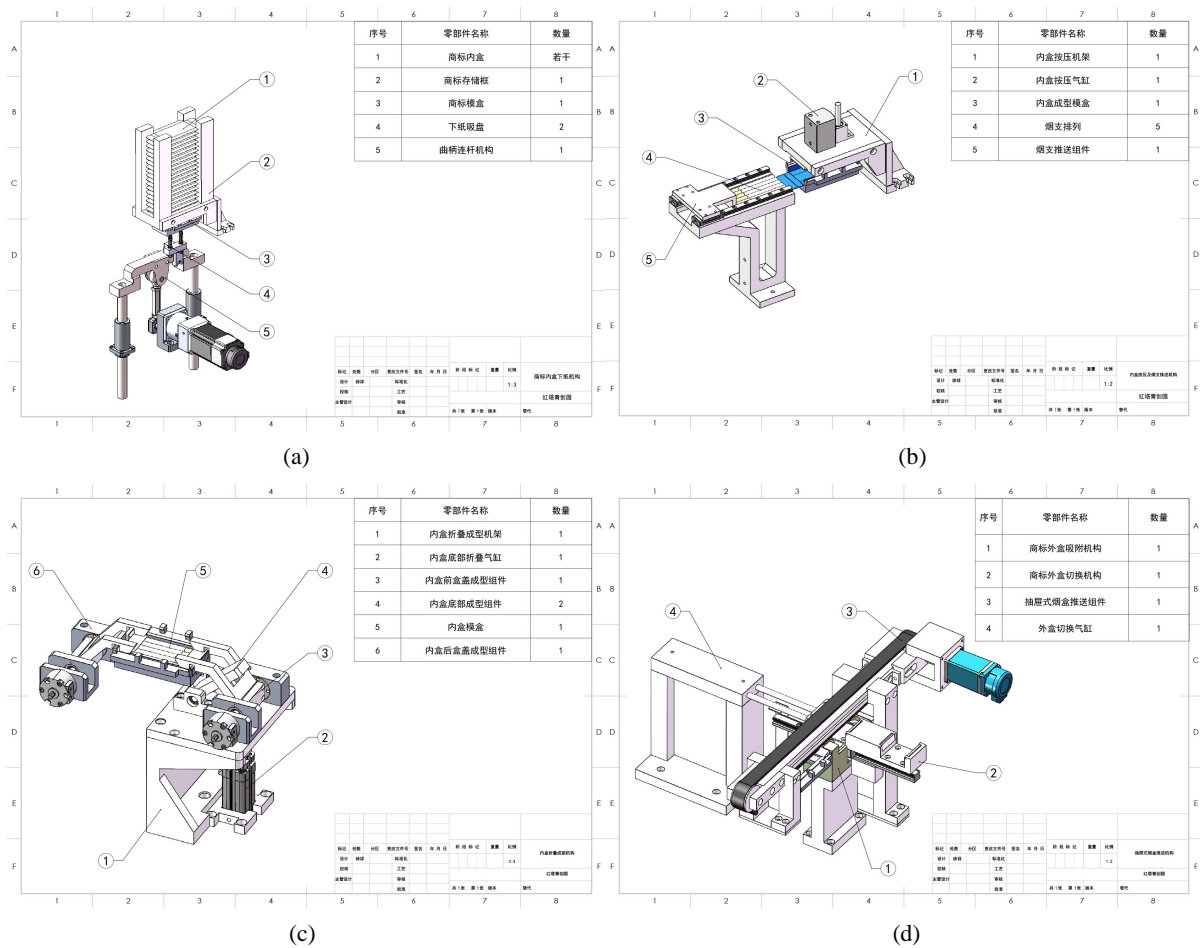


Figure 5. Composition of the experimental platform for drawer type cigarette packaging molding
图 5. 抽屉式品吸烟包装成型实验平台的组成

3. 各功能模块的设计

3.1. 凸轮分割器组件的选型

在凸轮分割器选型时, 我们根据设备要求, 需知道输入轴的工作转速、回转时间与定位时间比、转盘重量、模盒的重量等。

根据实验平台四工位的设计, 凸轮分割器定位等分 $N = 4$, 实验平台的初步设计节拍 3 秒一个节拍, 得知输入轴转速 $n = 5 \text{ r/min}$, 设定转动时间与停顿时间相等, 回转时间与定位时间比 $k = 1$, 由公式

$$k = \frac{\beta}{360 - \beta}$$

得出凸轮分割器的驱动件 $\beta = 180^\circ$ 。

四工位转盘装置结构简图如图 6 所示:

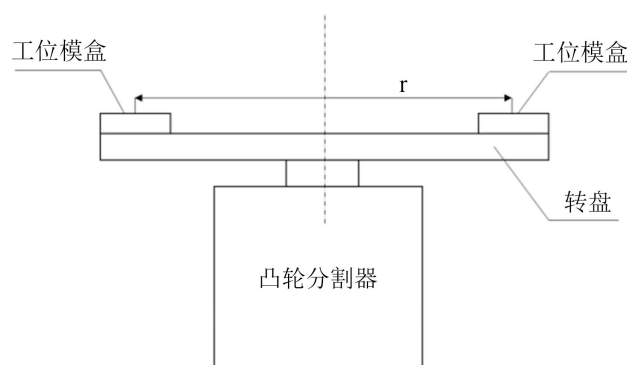


Figure 6. Structure diagram of ultrathin planar CAM indexing mechanism

图 6. 超薄平面型凸轮分度机构结构简图

凸轮曲线选用变形正弦曲线, 最大速度 $V_m = 1.76 \text{ m/s}$, $A_m = 5.53 \text{ m/s}^2$ 最大扭力系数 $Q_m = 0.987$ 。变形正弦曲线平衡圆滑, 能够满足曲线的连续性及较低的最大加速度, 较好的避免了冲击, 延长使用寿命, 相应的速度、加速度曲线如图 7 所示[5] [6]。

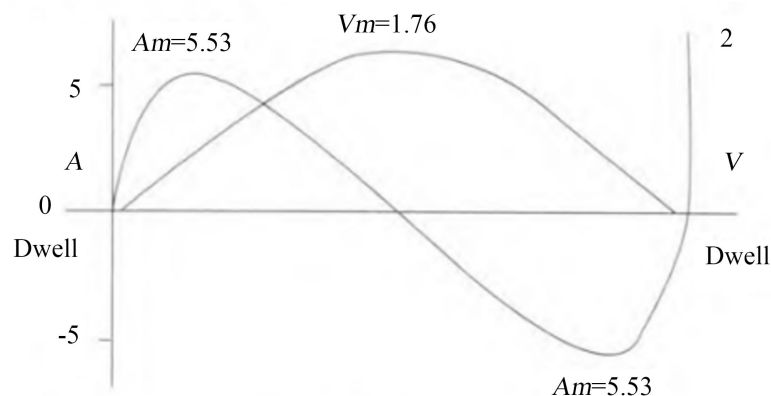


Figure 7. CAM motion curve

图 7. 凸轮运动曲线

转盘质量: $m = 1.2 \text{ kg}$;

旋转半径: $r = 180 \text{ mm}$;

模盒质量: $m_1 = 0.06 \text{ kg}$;

输入轴回转速度: $n = 5 \text{ rpm}$;

安全系数: $f = 4$ 。

根据凸轮曲线系变形正弦曲线, 最大速度 $V_m = 1.76 \text{ m/s}$, $A_m = 5.53 \text{ m/s}^2$ 最大扭力系数 $Q_m = 0.987$ 。

(1) 凸轮分割器的选择

盘面惯性矩: $I_1 = \frac{Mr^2}{2} = 1.2 \times 0.18 \times 0.18 \times 0.5 = 0.0194 \text{ kg.m}^2$;

模盒惯性矩: $T_e = T_1 \times f = 0.0394 \times 4 = 0.158 \text{ N.m}$;

总惯性矩: $I_{\text{总}} = I_1 + I_2 = 0.0272 \text{ kg.m}^2$;

出力轴最大角加速度: $\alpha = A_m \times \frac{2\pi}{N} \times \left(\frac{360}{\beta} \times \frac{n}{60} \right) = 5.53 \times \frac{6.28}{4} \times \left(\frac{360}{180} \times \frac{5}{60} \right) = 1.45 \text{ rad/s}^2$;

惯性扭矩: $T_1 = I_{\text{总}} \times \alpha = 0.0272 \times 1.45 = 0.0394 \text{ N.m}$;

实际负载扭矩: $T_e = T_1 \times f = 0.0394 \times 4 = 0.158 \text{ N.m}$;

根据负载扭矩 T_e 和输入轴回转速度 n , 并结合实验平台尺寸, 查表得到选定 70DA 型凸轮分割器。

(2) 匹配电机的选择

输入轴扭矩: $T_c = \frac{360}{\beta \cdot N} \times Q_m = \frac{360}{180 \times 4} \times 0.987 = 0.494 \text{ N.m}$;

驱动凸轮分割器所需要的功率: $P = \frac{T_c \times n}{975 \times \eta} = 42 \text{ w}$;

根据以上计算选择 100 W 的交流调速电机与凸轮分割器匹配。

3.2. 内盒下纸模块设计

在进行内盒下纸模块的设计时, 考虑到便于后续内盒的添加, 选择从下部进行取纸, 采用常用的负压取纸的方式。在设计上下取纸的往复运动时, 选择利用曲柄连杆机构来实现。同时考虑到商标取纸后在运动过程中对商标的把持效果, 将商标外盒成型模具设计成两层结构, 上层实现对商标纸的把持, 下一层实现商标内盒的成型。商标内盒成型模盒及曲柄连杆机构示意图如图 8-10 所示。

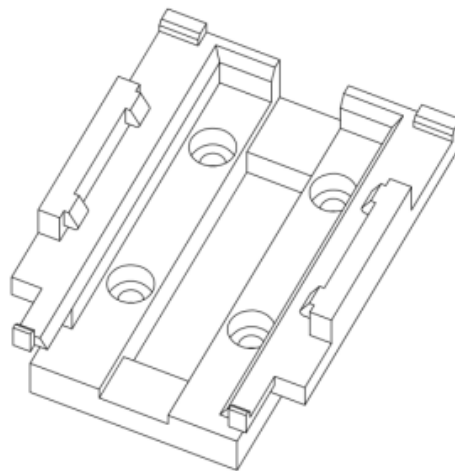


Figure 8. Trademark inner box molding mold box

图 8. 商标内盒成型模盒

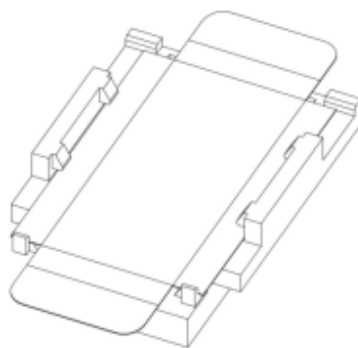


Figure 9. Diagram of trademark inner box pulling down to mold box
图 9. 商标内盒下拉至模盒中示意图

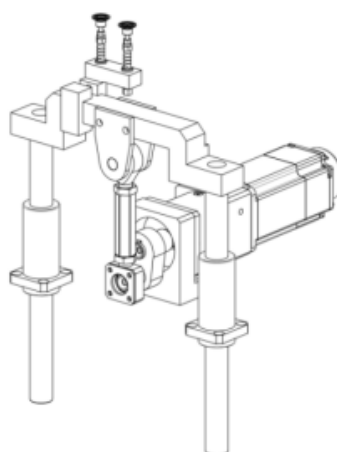


Figure 10. Logo under paper structure diagram
图 10. 商标下纸机构结构示意图

3.3. 商标内盒成型及烟支推送模块设计

商标内盒的成型采用按压的方式实现, 由于行程短, 选用结构紧凑的 ADVC-20-25-I-P 型气缸, 辅助以导向机构完成对商标内盒的按压成型。烟支推送选用精度高、通用性强的直线模组作为执行机构, 下烟机构选择传统的隔栅来实现。短行程气缸 ADVC-20-25-I-P 通过在极限位置上设置阻尼缓冲, 实现平稳推送的效果。如图 4 所示烟支推送模块主要包括推送电缸、烟支隔栅和推送板, 如图 11 所示。机架通过铝型材和角钢组合拼装, 保证烟支推送时各执行元件相对位置的稳定性[7] [8]。

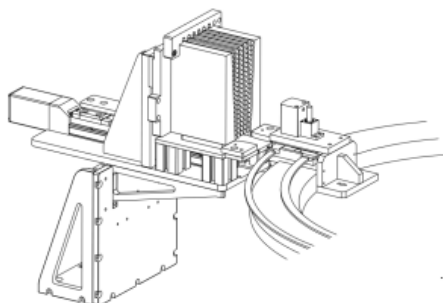


Figure 11. Inner box molding and cigarette push module
图 11 内盒成型和烟支推送模块

3.4. 商标内盒折叠模块设计

商标内盒的折叠模块主要完成商标内盒底部折叠以及两端盒盖的折叠。为了提高商标内盒折叠动作的独立性,增加试验平台的兼容性,商标内盒底部折叠以及两端盒盖的折叠动作分别选择三个独立的气缸完成动作,如图12所示。对于两端盒盖的折叠选用旋转气缸,底部折叠选择带导向的平推气缸完成[9][10]。采用旋转气缸的方式实现商标内盒的折叠主要是为了确保折叠动作的稳定性和折叠棱廓的清晰度。同时三个折叠动作相对独立,分别构成独立的总成,可以有效地实现模块化替换,实现对不同规格的快速切换。

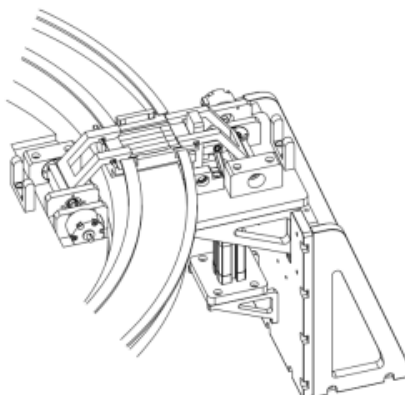
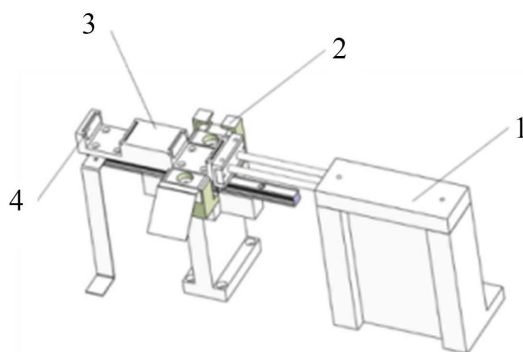


Figure 12. Trademark inner box folding module
图 12. 商标内盒折叠模块

3.5. 内盒下纸模块设计

考虑到五支装抽屉式品吸烟包装成型的效率,在商标外盒成型机构的设计中采用了双工位交替工作的方式,如图13所示。利用切换气缸实现商标外盒下纸工位的切换,这样就可以实现商标内盒推送至商标外盒内的工序与商标外盒下纸工序同时进行,缩短了工序间的等待时间。



1-切换气缸; 2-商标外盒套口; 3-双工位模盒; 4-弹片

Figure 13. Schematic diagram of trademark double-position switching mechanism
图 13. 商标双工位切换机构示意图

在选择商标内盒推送机构时,为了避免执行机构的回程占用五支装抽屉式品吸烟的包装成型的工序时间,选择用带有齿的和压块的同步带实现商标内盒的推送,如图14所示,有效的提到了商标内盒的推送效率。

同时为了保证成型后的商标内盒顺利的推入商标外盒, 设置了夹紧把持机构将商标内盒的两侧面向中间靠拢, 使得商标内盒宽度 A 小于商标外盒的内口宽度 B , 如图 15 所示。

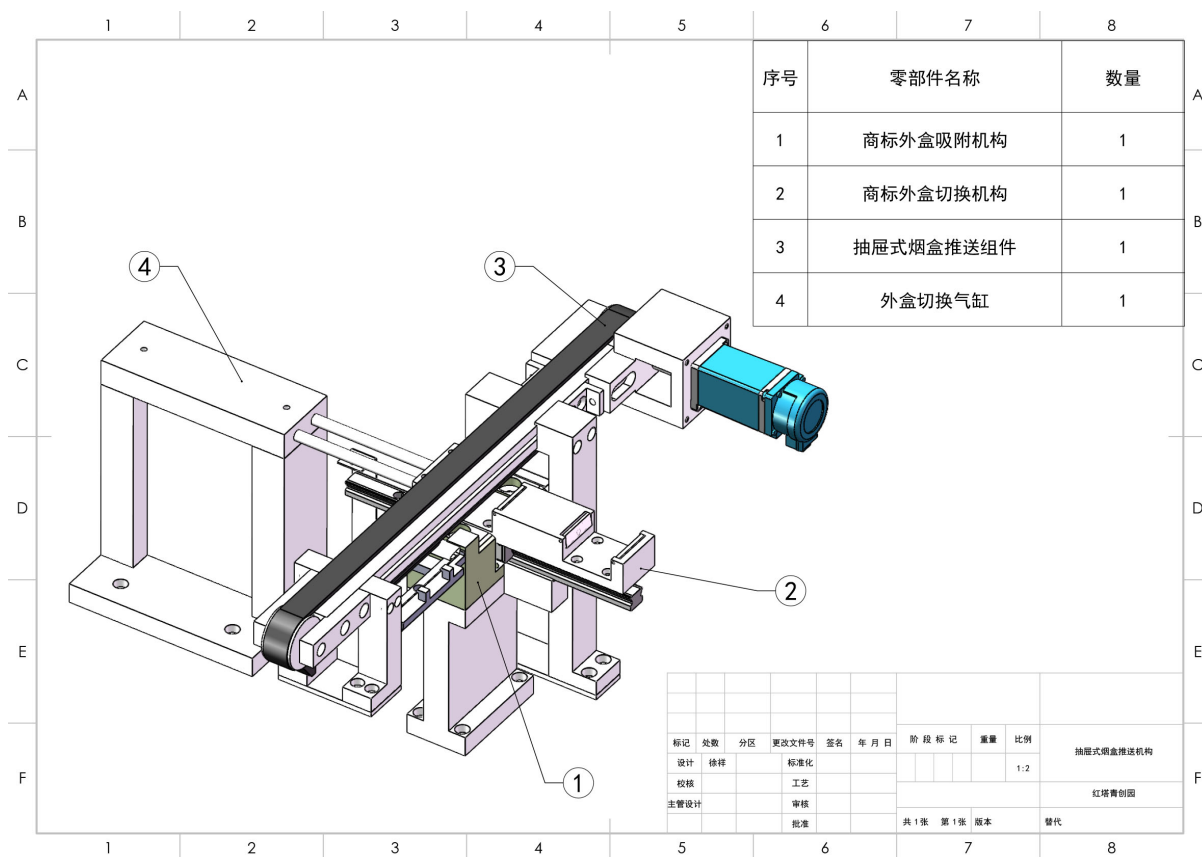


Figure 14. Schematic diagram of clamping control mechanism of trademark inner box
图 14. 商标内盒的推送机构示意图

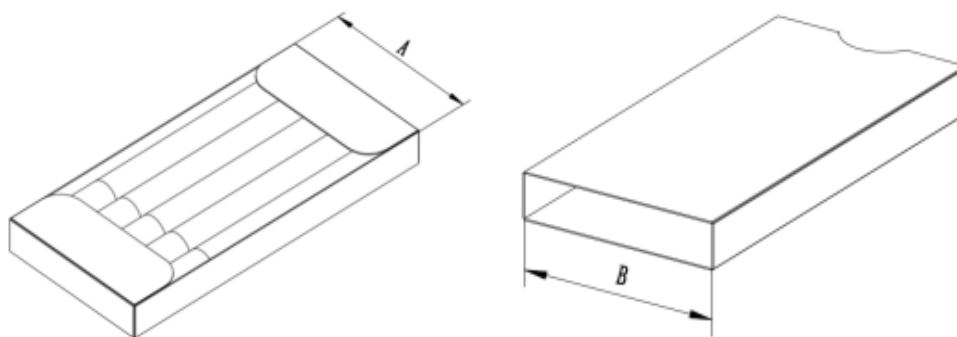


Figure 15. Width dimension of inside and outside box of trademark
图 15. 商标内外盒宽度方向尺寸

3.6. 气路控制的设计

气路控制系统的硬件组成主要包括正压电磁阀、负压电磁阀、正压气源、负压发生器、接线端子、分气排、双作用气缸等[11]。气路控制原理图如图 16 所示。

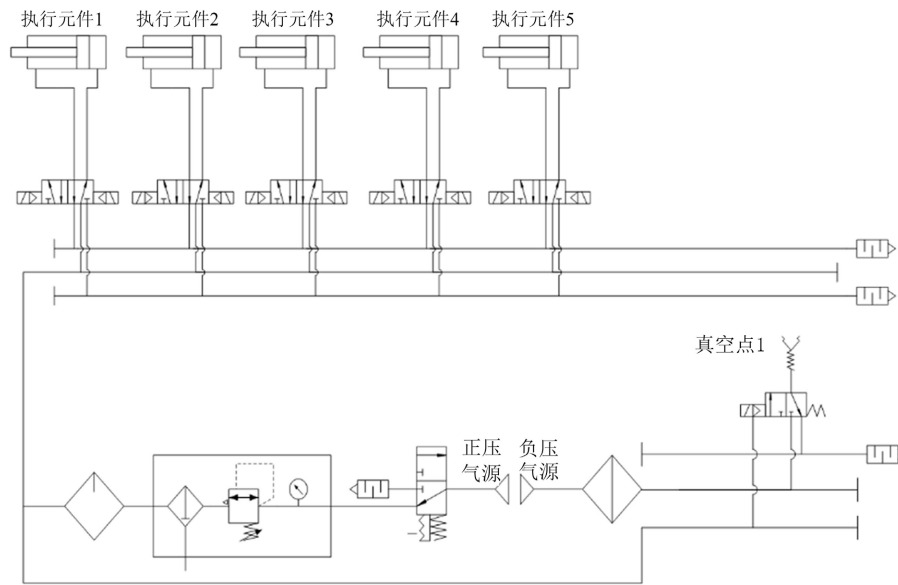


Figure 16. Drawer type cigarette packaging forming test platform gas circuit schematic diagram
图 16. 抽屉式品吸烟包装成型试验平台气路原理图

3.7. 控制逻辑设计

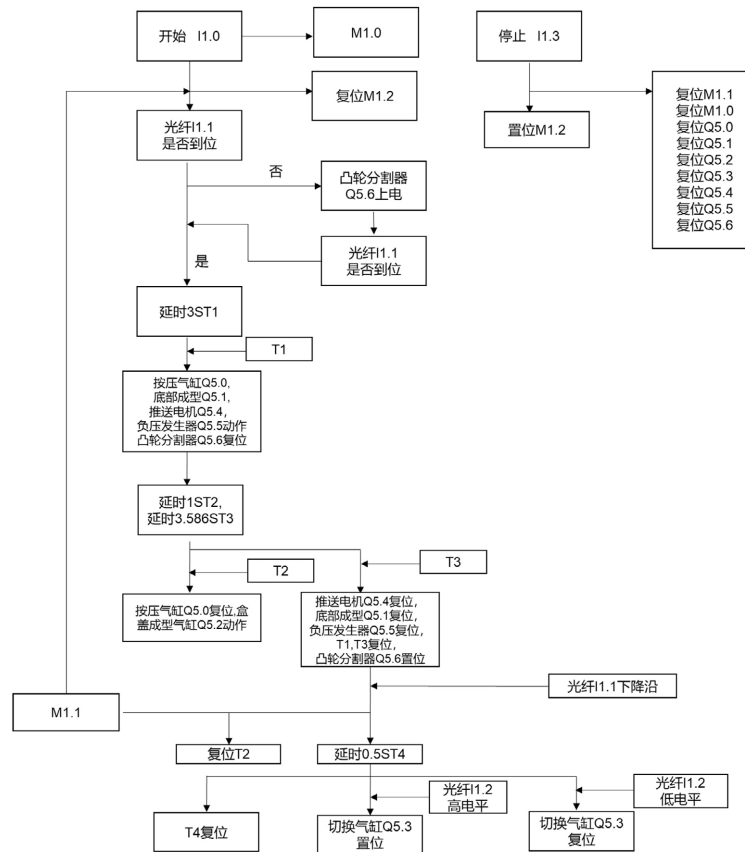


Figure 17. Intention of five-drawer trademark conveying status
图 17. 五支装抽屉式商标输送状态装意图

单元动作逻辑是本系统实现生产功能的最核心技术, 抽屉式品吸烟状态转移图如图 17 所示。

4. 试验平台搭建

完成各个功能模块的设计后, 选择驱动各个功能模块的执行机构, 此处选择分割器作为执行机构, 分割器的内盘固定不动, 外盘按照固定的分度实现工位的切换。通过内外盘将试验平台的四个功能模块连接成一个整体。分割器选用步距角为 180° , 这样圆盘平台在普通三相电机的驱动下即可以实现工作角度和间歇角度对等, 方便对实验平台工作节拍的控制。最后运用 3D 打印技术进行零件加工, 最终搭建实验平台如图 18 所示。

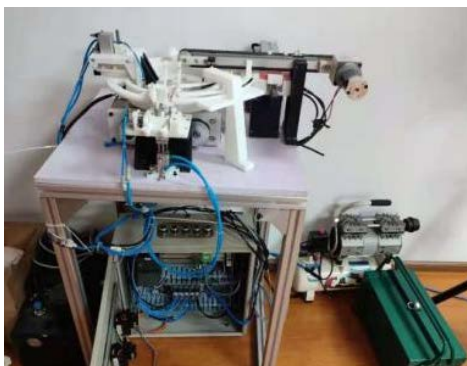


Figure 18. Schematic diagram of overall structure of test platform
图 18. 试验平台整体结构示意图

5. 应用效果

5.1. 实验设计

材料: $\phi 7.7 \times 84$ mm 烟支, $0.3 \times 55 \times 136$ 内盒商标纸, $0.3 \times 9.6 \times 40.8$ 外盒商标纸。

设备: 五支装抽屉式卷烟产品试验平台

方法: 根据模块化的设计理念, 在进行实验验证主要实现各工位分别验证工作的稳定性, 主要是验证内容五支装抽屉式卷烟产品试验平台空运行的稳定性, 确保各工位动作节拍的一致性, 验证时间设定为 3 小时。

5.2. 实验数据

验证五支装抽屉式卷烟产品试验平台运行稳定性, 在设定的 3 小时验证时间内分别在空车运行和带料运行两种情况下跟踪实验平台的稳定性。由表 1 可见, 各部分稳定运行的时间占比均在 90% 以上。根据红塔集团玉溪卷烟厂的设备验收标准, 达到了设计要求。

Table 1. Operation stability test of five-drawer cigarette product test platform

表 1. 五支装抽屉式卷烟产品试验平台运行稳定性测试

项目	设定基准时间(min)	稳定工作时间(min)	稳定工作时间占比(%)
商标内盒取料工位	90	88	97.5
内盒成型工位	90	86	95.6
内盒折叠工位	90	89	98.9
推盒工位	90	85	94.4

6. 结论

基于模块化、多工位的设计原则, 采用模块化设计理念, 根据五支装抽屉式包装品吸烟的折叠工艺特点将实验平台设计成四工位转台结构, 各个工位的接口设计成标准的结构, 便于替换, 有效地实现了对不同规格异型包装的兼容性, 最后对五支装抽屉式卷烟产品试验平台进行实验验证, 以抽屉式品吸烟的 $\phi 7.7 \times 84$ 规格、 1×5 排列的卷烟产品作为测试对象, 连续测试 3 小时, 对实验平台运行的稳定性进行跟踪统计, 实验数据显示五支装抽屉式卷烟产品试验平台稳定运行时间达到 90% 以上, 达到了设备正常运行的设计要求。

参考文献

- [1] 施忠兵, 吴建军, 陆宇桢. ZB45 异型硬盒硬条包装机组的设计[J]. 烟草科技, 2020, 53(11): 97-102.
- [2] 叶恒宇, 卢泉波, 林智华. 异型规格条盒纸自动化包装试验装置的研究与实现[J]. 工业控制计算机, 2020, 33(10): 148-149.
- [3] 祁跃东, 马立, 李存华. 小包和条包异型尺寸在康巴斯包装机上的适应性分析及改造[J]. 郑州轻工业学院学报, 2014(2): 31-34.
- [4] 卢泉波, 林智华, 叶恒宇. 基于 GD 包装技术平台的异型规格透明纸自动化包装试验装置的研究与实现[J]. 工业控制计算机, 2020, 33(9): 142-144.
- [5] 李亚春, 马云参, 桂云峰. 多种尺寸自适应软包装或硬包装卷烟包装成型系统[P]. 中国, CN201610969026.6. 2017-07-11.
- [6] 李亚春, 马云参, 桂云峰. 一种针对烟草捆包的调节装置和卷烟推进运动包装装置[P]. 中国, CN201621160663.0. 2017-04-26.
- [7] 赵建, 张晓丹, 张子强, 等. 模块化机械设备及模块化设计方法综述[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2021, 49(10): 19-29.
- [8] 顾新建, 马步青, 顾福, 等. 产品模块化中的一些智能方法[J]. 机械工程学报, 2021, 57(17): 1-9.
- [9] 陈娇, 顾元庆. 折纸运动学综述[J]. 力学进展, 2023, 53(1): 154-197.
- [10] 朱元. SFC 在西门子 S7-1200 编程教学中的应用[J]. 高等教育学报, 2015(5): 26-27.
- [11] 罗志云, 朱崇阳, 陈军. 基于 PLC 的气动机械手调试与操作控制[J]. 电子测试, 2017(13): 12-13.