

半自动二维码关联封箱装置的研制与应用

刘 旻, 徐 然, 赵艳妮*, 黄大维, 彭海洲, 郭光荣, 周雪韵, 官 辉

云南中烟工业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9月2日; 录用日期: 2025年11月28日; 发布日期: 2025年12月30日

摘 要

在卷烟工厂数字化转型的关键阶段, “盒条件”关联技术对于生产与物流的透明化至关重要。然而, 工厂技改搬迁后, 产能提升与烟道数量增加导致包装机与封箱机的生产节奏难以匹配, 进而产生大量需人工进行“条件”关联的烟条。现有设备在适应新生产环境时存在处理速度慢、读码准确率低、数据录入错误等问题, 影响生产效率与质量控制。针对上述问题, 本研究设计并研制了一种半自动二维码关联封箱装置, 实现了箱码与条码的精准关联及自动化装箱。实验结果表明, 该装置可实现装箱速度80条/分钟, 相较传统方式显著提升了生产效率和自动化水平。此外, 该装置在保留原有设备基础上, 集成现代自动化技术, 提高了设备利用率, 降低了人工成本, 并优化了质量控制。研究成果可为卷烟行业的智能制造与数字化转型提供有效的技术支撑, 具有较强的推广应用价值。

关键词

数字化转型, 盒条件关联, 半自动装箱装置, 生产效率, 质量控制

Development and Application of a Semi-Automatic QR Code Association Sealing Device

Yang Liu, Ran Xu, Yanni Zhao*, Dawei Huang, Haizhou Peng, Guangrong Guo, Xueyun Zhou, Hui Guan

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

Received: September 2, 2025; accepted: November 28, 2025; published: December 30, 2025

Abstract

Currently, the digital transformation of cigarette factories is at a critical stage. The “pack carton case”

*通讯作者。

文章引用: 刘旻, 徐然, 赵艳妮, 黄大维, 彭海洲, 郭光荣, 周雪韵, 官辉. 半自动二维码关联封箱装置的研制与应用[J]. 仪器与设备, 2025, 13(4): 747-761. DOI: 10.12677/iae.2025.134090

correlation technology has promoted the transparency of production and logistics. However, following factory upgrades and relocations, increased production capacity and the addition of more tobacco channels have led to a temporary mismatch in production speeds between packaging machines and case sealers. This often results in a large number of cigarette sticks requiring manual “pack carton case” correlation. The outdated association equipment cannot meet the high-efficiency production demands of the new workshop, exhibiting issues such as slow speed, code-reading errors, and data entry mistakes, which constrain production efficiency and quality control. To address these issues, this study designed and developed a semi-automatic “pack carton case” correlation packing device, achieving precise association between box codes and stick codes, along with automated packing. Experimental results show that the device achieves a packing speed of 80 sticks per minute, significantly improving production efficiency and automation levels. By integrating outdated equipment with modern automation technology, the project enables effective resource utilization. This solution has strong potential for widespread application, significantly reducing labor costs and enhancing quality control levels, providing a practical and feasible technological pathway for the digital transformation of the cigarette industry.

Keywords

Digital Transformation, Box-to-Stick Association, Semi-Automatic Packing, Production Efficiency, Quality Control

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. 引言

随着信息技术和自动化技术的快速发展，传统制造业正加速向数字化、智能化方向转型，以提升生产效率、优化资源配置并实现可持续发展[1]。作为传统制造业的重要组成部分，卷烟行业面临着数字化转型的迫切需求，尤其是在生产与物流管理环节，需要更加精准高效的信息追溯与控制系统[2]。其中，二维码技术因其高效性、唯一性和可追溯性，被广泛应用于卷烟生产过程，实现“盒-条”关联，以确保产品质量稳定性和物流管理的透明化。

目前，“盒条件”关联技术已在卷烟生产中得到较为广泛的应用，助力生产过程的信息化管理。然而，随着卷烟工厂的技改搬迁、产能提升及烟道数量增加，封箱设备与包装设备的生产节拍不匹配问题日益凸显，导致剔除烟条数量显著增加。由于现有设备难以满足更高效的生产需求，需人工进行“条件”关联装箱。然而，人工关联方式效率较低，且受操作人员熟练度、疲劳程度等因素影响，存在扫码失败率高、数据录入错误等问题，严重制约生产效率和质量控制。

从生产实际统计数据来看，传统人工“盒条件”关联的效率仅为 15.31 条/人·分钟，远低于大规模生产对效率的需求。随着工厂技改升级，车间对人工“盒条件”关联的速度提出了更高要求，最低需达到 60 条/分钟，以保证生产节奏的匹配性。然而，在高强度、快节奏的生产环境下，工人的扫码压力大幅上升，导致操作稳定性下降，进一步加剧了扫码失败、数据录入错误等问题。此外，人工操作的依赖性较强，易受人员流动、培训成本及作业疲劳的影响，长期来看难以支撑现代卷烟工厂的智能化发展需求。

另一方面，现有封箱设备的自动化程度较低，与包装设备难以实现高效联动。当前市面上部分自动扫码与关联设备虽可提升生产效率，但其适应性、兼容性和灵活性仍存在不足，难以完全匹配不同生产环境的需求。因此，如何在不大程度更换原有生产线设备的基础上，实现“盒条件”信息的精准自动关

联, 并提高生产节奏匹配性, 成为当前卷烟行业智能制造升级的关键问题之一。

针对上述问题, 本研究旨在设计并研制一种半自动二维码关联封箱设备, 以实现传统设备的智能化改造, 提升生产效率, 并优化质量控制管理。该装置结合先进的二维码识别技术、高速数据处理算法与自动化执行机构, 确保烟条扫码速度达到 ≥ 60 条/分钟, 并保证扫码准确率和关联准确率达到 100%, 确保烟条与烟箱的缺陷率为零。该系统通过优化扫码算法, 提高设备的稳定性和准确性, 减少因人工操作导致的数据错误, 进一步提升产品全流程的可追溯性。

2. 需求分析与总体设计

2.1. 需求分析

2.1.1. 相关设备应用

现代工业生产中, 难免发生产品因扫描失误、人为干预未完成生产流程离开生产线的产品, 该类产品经检验、加工后仍为合格产品, 需继续完成扫码入库环节。其技术方案主要分为: 手持式扫码录入、半自动台式赋码工作站、在线补打赋码。例如在大型服装行业, 不影响二次销售的退货产品通过专用设备改写 RFID 标签数据录入仓库[3]; 在医药行业同样需要进行产品赋码溯源[4], 当中扫码发生失误的药盒大多会通过关联设备进行多级关联, 而后手工装盒、装箱[5]; 宁德时代检测到手机电池外壳激光打标不完整时用机械臂控制 UV 喷码重打二维码, 同时上传二维码信息关联电芯序列号[6] [7]。

需要特别指出的是: 因生产产品特性和生产工艺存在显著差异, 同种离开生产线产品再关联的方法很难完全移植到不同生产线。且目前大多数生产线中产品的关联系统仅能解决单一流程的信息关联问题。相比之下, 卷烟生产中的剔除烟条重关联涉及“盒-条-件”多级数据绑定, 其技术复杂度显著提升。与卷烟类似的还有药品生产赋码也为多级关联[8], 但药品包装线速度较卷烟厂慢、剔除量少, 需要重关联的数量少。虽然药品生产同样存在多级关联需求, 但其包装线运行速度和剔除量远低于卷烟生产线。若卷烟仅依赖传统人工返工, 不仅无法匹配产线节奏, 更可能因操作延迟引发产线堵塞。因此, 必须通过自动化重关联设备实现烟条高速精准赋码、层级数据绑定及无缝回流入线[9], 确保追溯完整性与生产效率的平衡。

2.1.2. 工厂现状

当前人工进行“条件”关联主要可分为 5 个步骤, 具体作业流程如下图 1 所示:

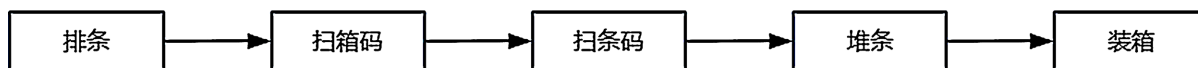


Figure 1. The original manual “carton case” correlation process

图 1. 原人工“条件”关联流程

对各流程耗时进行统计, 结果如表 1:

Table 1. Statistical analysis of time consumption in manual “carton case” correlation

表 1. 人工“条件”关联耗时统计

流程	用时
排条	10 s/箱
扫箱码	3 s/箱
扫条码	50 s/箱
堆条	20 s/箱

续表

装箱	15 s/箱
作业人数	2
工作效率	15.31 条/人·min

根据表 1 的统计数据, 人工“条件”关联的整体效率较低, 平均仅能达到 15.31 条/人·分钟, 远低于车间提出的 60 条/分钟的速率要求, 存在明显的生产瓶颈。从具体流程耗时来看, 最主要的时间消耗集中在扫码(箱码 3 s/箱, 条码 50 s/箱)和堆条(20 s/箱)两个环节, 这两个环节合计占据了整个作业流程的 75% 以上。因此, 提高这些环节的执行效率, 是优化人工“条件”关联流程的关键。

进一步分析人工操作特点可以发现, 当前“条件”关联中的大部分环节, 如扫箱码、扫条码、堆条和装箱, 均属于机械化程度较高、重复性较强的工作, 极易受到操作人员熟练度和作业疲劳度的影响, 导致扫码失败、录入错误等问题频发。此外, 传统人工方式不仅存在效率瓶颈, 还增加了生产管理的复杂性[9], 例如人员调配、培训成本、作业稳定性等问题, 进一步降低了整个生产流程的可靠性。

基于现有设备和工具分析, 可以利用自动化技术替代人工执行高重复性任务, 以减少人工干预, 提高生产效率[10]。采用高精度二维码识别系统, 可大幅缩短扫码时间; 使用自动堆条装置, 可降低人工操作误差, 并提高条码与箱码的匹配准确率。通过优化关键环节的执行方式, 不仅能有效提升“条件”关联的整体效率, 还能确保生产数据的精准录入, 增强产品的可追溯性, 为工厂智能化升级奠定基础。

2.2. 性能指标要求

根据生产需要和行业要求, 该装置需要达到的技术指标需求分析如表 2 所示:

Table 2. Technical specification requirements for the device

表 2. 装置技术指标需求

项目	技术需求
烟条输入装置	1. 最高速度 ≥ 60 条/分钟 2. 造成烟条缺陷率 = 0 3. 造成烟条阻塞率 = 0
扫码装置	1. 扫码准确率 $\geq 99\%$ 2. 扫码装置故障率 $\leq 1\%$ 3. 扫码速度 ≥ 60 条/分钟
取放箱装置	1. 作业速度 ≥ 1.2 箱/分钟 2. 造成烟条质量缺陷率 = 0 3. 造成烟箱缺陷率 = 0 4. 烟箱位置准确率 $\geq 99\%$
成型方式	1. 成型速度 ≥ 1.2 箱/分钟
电器控制系统	1. 信号输出准确率 $\geq 99\%$ 2. 电气故障率 $\leq 1\%$

2.3. 总体设计方案

结合生产需求, 该装置需要满足的工业生产流程为图 2:

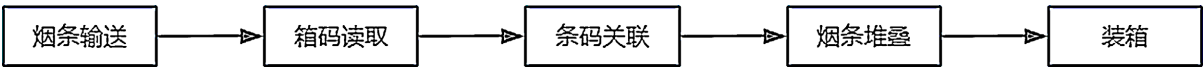


Figure 2. Process design for “carton case” correlation in the device
图 2. 装置“条件”关联流程设计

在本系统中，烟条输送环节由人工将烟条统一方向排放至输送台，并借助滚轮或皮带传送至扫码区域。与此同时，箱码读取环节通过在装箱区域放置空箱，并利用上方相机扫描箱码，将数据录入关联系统。进入条码关联阶段，相机实时监测扫码区域内的烟条，并在其通过时录入条码，以 50 条/箱的方式与对应箱码进行精准匹配。随后，烟条堆叠模块启动，完成扫码的烟条沿输送路径前进，与纸箱侧面保持同一水平后，以 5 条/排的方式依次堆叠，5 排构成一层。当第一层堆满后，推入箱底，同时继续堆叠第二层，待第二层满后同步推入，使整箱装填完成。整个装置各模块协同运行，并通过 PLC 控制系统实现高效自动化，从而提升生产效率和包装质量。

2.4. 核心模块介绍

按生产需求，装置的设计主要应包含烟条输送、条箱扫码、取放箱和成形控制模块。
烟条输送模块主要实现烟条进入扫码区域前的排列，见图 3，需要保证各烟条到扫码区时排列整齐，输送过程应避免烟条受到过重的外力而影响产品质量，同时应匀速输送，不宜过快或过慢导致扫码失误或效率达不到生产要求。

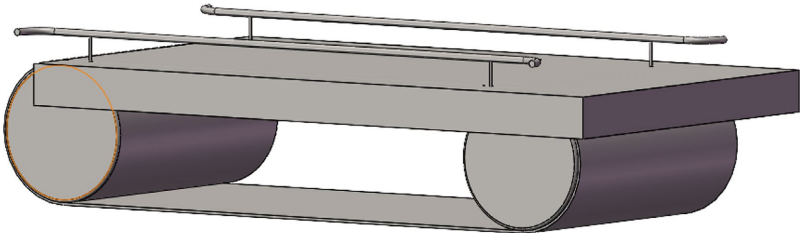


Figure 3. Stick conveyor module
图 3. 烟条输送模块

扫码装置在流程中完成箱码和条码的读取与关联，该模块又可分为箱码扫描和条码扫描两部分，其电路设计见图 4。

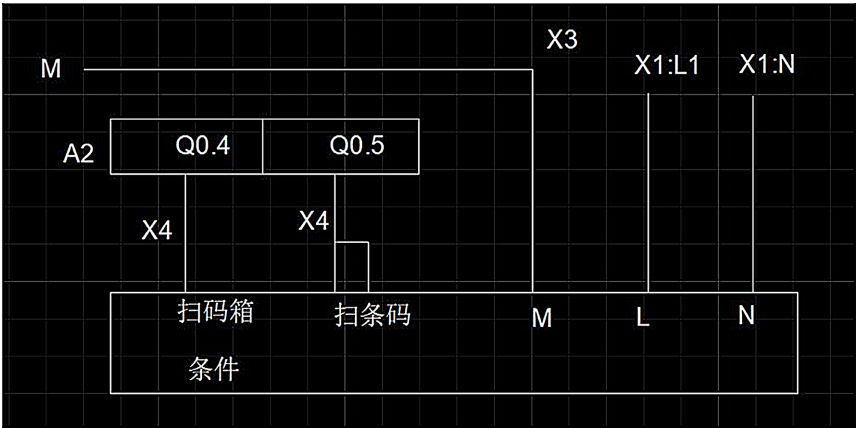


Figure 4. Circuit design of the QR code scanner
图 4. 扫码装置电路设计

取放箱模块主要实现空箱的放入和满箱的取出，为了成功对接堆叠好的烟条，在该过程中应保证烟箱的放入位置的准确度，同时取放箱时不能影响烟条和烟箱的外观质量[11]，取放箱设计见图 5。

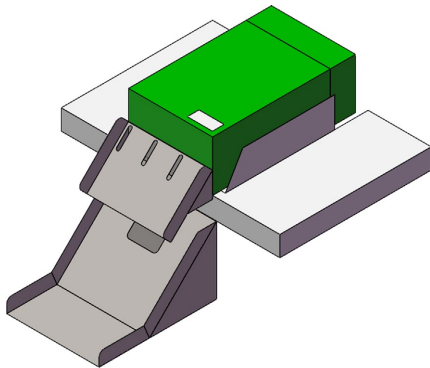


Figure 5. Carton pick-and-place module
图 5. 取放箱模块

成型模块需确保生产流程的持续性，实现箱与箱之间的无缝衔接。在完成当前箱体作业的同时，下一箱的烟条应进入预备位置；当前箱完成封箱后立即启动下一箱的装填流程。

控制系统采用 PLC 为核心控制器，实现烟条自动化装箱的全流程精准控制。在启停控制上应有三态停止控制：正常停止/急停/安全门连锁停止，电机控制配备刹车装置，停止时立即制动。扫码失败需自动判断处理逻辑以 25 条/50 条分界处理，复位时自动清零推杆计数器和程序步序。

3. 设备改造与实现

利用老车间废弃封箱设备，集合以上“条件”关联需求和功能，设计新设备。

3.1. 烟条输送装置

备选方案有皮带输送、落条加推杆输送以及滚筒输送三种。需要满足烟条输送速度 ≥ 60 条/分钟、烟条阻塞率 = 0、烟条平均缺陷率 = 0，对三种输送方案进行测试。

首先搭建实验平台测试烟条通过输送装置的速度，每次通过 100 条烟条，统计通过时间，计算输送速度。

Table 3. Passing the speed test
表 3. 通过速度测试

方案	皮带输送		落条 + 推杆		滚筒输送	
	序号	通过时间(s)	序号	通过时间(s)	序号	通过时间(s)
	1	98	1	117	1	100
	2	97	2	120	2	99
	3	98	3	118	3	98
	4	96	4	116	4	99
	5	100	5	119	5	100
	6	99	6	121	6	98
	7	95	7	118	7	100
	8	99	8	117	8	97

续表

	9	94	9	116	9	98
	10	98	10	119	10	100
平均速度(条/分钟)		61.6		50.8		60.67

测试烟条通过输送装置后的烟条平均阻塞次数，每次通过 100 条烟条，统计阻塞次数。统计结果见表 3。

Table 4. Test for blocking frequency
表 4. 阻塞测试

方案	皮带输送		落条 + 推杆		滚筒输送	
	序号	阻塞次数	序号	阻塞次数	序号	阻塞次数
	1	0	1	0	1	2
	2	0	2	1	2	5
	3	0	3	0	3	3
	4	0	4	2	4	2
	5	0	5	1	5	0
	6	0	6	0	6	5
	7	0	7	1	7	4
	8	0	8	0	8	0
	9	0	9	0	9	3
	10	0	10	1	10	4
平均阻塞次数		0		0.6		2.8

测试烟条通过输送装置后的烟条平均缺陷率，每次通过 100 条烟条，统计质量缺陷条数。统计结果见表 4。

Table 5. Quality defect test
表 5. 质量缺陷测试

方案	皮带输送		落条 + 推杆		滚筒输送	
	序号	阻塞次数	序号	阻塞次数	序号	阻塞次数
	1	0	1	6	1	2
	2	0	2	8	2	1
	3	0	3	3	3	1
	4	0	4	2	4	0
	5	0	5	0	5	0
	6	0	6	5	6	1
	7	0	7	4	7	2
	8	0	8	0	8	0
	9	0	9	6	9	0
	10	0	10	4	10	2
平均阻塞次数		0		3.8		0.9

因为要求烟条输送速度 ≥ 60 条/分钟、烟条阻塞率 = 0、烟条平均缺陷率 = 0，对比以上实验可知，见表 5，仅皮带输送方案满足需求。

3.2. 条码扫码装置

条码扫码主要有动态扫码和静态扫码两种方式，其中动态扫码指烟条输送过程中逐条进行扫码，静态扫码则是烟条进入堆叠装置堆叠后同时扫描五条。在能够完成目标的前提下选择尽可能少的摄像头，以达到控制成本的目的，分别进行 1、2、3 个摄像头的模拟试验，需要实现扫码速度 ≥ 60 条/分钟，扫码平均成功率 $\geq 99\%$ 。

利用已有材料及工具搭建实验平台，测试烟条分别通过装有 1、2、3 个摄像头的条码扫码装置的扫码平均速度，每次通过 100 条烟条，统计扫码时间，计算扫码平均速度。统计如表 6 所示。

Table 6. Stick QR code scanning speed test
表 6. 条扫码速度测试

摄像头数 序号	1 扫码时间(s)	2 扫码时间(s)	3 扫码时间(s)
1	157	96	85
2	159	98	84
3	158	95	88
4	156	99	84
5	159	97	89
6	160	99	85
7	155	96	89
8	154	94	87
9	152	97	90
10	157	94	84
平均速度(条/min)	38.29	62.43	69.36

测试烟条分别通过装有 1、2、3 个摄像头的条码扫码装置后的烟条平均扫码成功率，每次通过 100 条烟条，统计烟条扫码成功条数，计算平均成功率。统计计算结果如表 7 所示。

Table 7. Average scanning success probability test
表 7. 扫码平均成功概率测试

摄像头数 扫码方式 序号	1		2		3	
	动态扫码	静态扫码	动态扫码	静态扫码	动态扫码	静态扫码
	成功条数		成功条数		成功条数	
1	91	98	99	100	100	100
2	92	99	98	100	99	100
3	91	97	99	100	98	100
4	93	100	99	100	98	100
5	90	98	97	100	99	100

续表

6	92	99	98	100	100	100
7	90	98	99	100	100	100
8	91	98	100	100	100	100
9	91	97	99	100	99	100
10	92	96	100	100	99	100
平均成功率	91.3%	98%	98.8%	100%	99.2%	100%

条码扫码装置采用 2 个和 3 个摄像头同时进行静态扫描均满足扫码速度 ≥ 60 条/分钟，扫码平均成功率 $\geq 99\%$ 的生产要求，为控制成本，选择 2 个摄像头同时进行静态扫描。

3.3. 箱扫码装置

箱扫码可使用固定位置扫码和手持扫码来完成，固定扫码指采用机械臂固定扫码位置，箱到位后自动扫码，手持扫码则是利用手持装置，箱到位后手持扫码。需要达到的要求为：每箱平均扫码时间 ≤ 3 s 扫码平均成功率 $\geq 99\%$ 。

测试每箱箱码扫码平均时间和平均成功率，每次扫描 50 箱，统计所需时间，计算每箱平均时间；统计成功箱数，计算平均成功率。统计结果见表 8。

Table 8. Average speed and success rate test for carton code-scanning

表 8. 箱扫码平均速度测试及成功率测试

扫码方式 序号	固定扫码		手持扫码	
	所需时间(s)	成功数量	所需时间(s)	成功数量
1	148.25	50	189.54	50
2	147.55	50	190.32	49
3	149.87	50	188.04	50
4	145.53	50	191.87	50
5	144.32	50	190.71	48
6	148.62	50	189.66	50
7	147.97	50	191.55	49
8	146.71	50	192.42	49
9	149.68	50	190.83	48
10	145.29	50	188.74	50
均值	2.95	100%	3.81	98.60%

由以上测试可见，选择箱固定扫码满足箱平均扫码时间 ≤ 3 s 扫码平均成功率 $\geq 99\%$ 的需求。

3.4. 取放箱装置

取放箱装置主要完成待装烟箱的放置，可供选择的有滑槽固定式、翻转固定式和滑槽开箱式三种。滑槽固定式是人工将折叠好的烟箱推入特定位置后固定，翻转固定式指人工将折叠好的烟箱放到斜坡上，有机器翻转斜坡到指定位置后固定，滑槽开箱式为人工将未折叠的烟箱放到指定位置，机器自动折叠并

固定。对于取放箱装置有以下要求：箱缺陷率 = 0；箱位置准确率 $\geq 99\%$ ；取放箱速度 ≥ 1.2 箱/分钟。

测试烟箱通过取放箱装置后烟箱平均缺陷率和平均位置准确率，每次测试 20 箱，统计缺陷箱数和箱位置准确数。结果如表 9。

Table 9. Average defect rate and position accuracy test for carton pick-and-place
表 9. 烟箱取放平均缺陷率测试及位置准确率测试

取放箱方式 序号	滑槽固定式		翻转固定式		滑槽开箱式	
	缺陷箱数	位置准确数	缺陷箱数	位置准确数	缺陷箱数	位置准确数
1	0	20	1	20	2	18
2	0	20	2	19	2	19
3	0	20	0	18	1	19
4	0	20	1	19	3	20
5	0	20	1	20	1	19
6	0	20	0	19	1	18
7	0	20	0	20	0	19
8	0	20	2	19	2	18
9	0	20	3	19	3	19
10	0	20	1	20	2	20
均值	0%	100%	5.50%	96.50%	8.50%	94.50%

测试从放上烟箱到取下烟箱的平均速度，每次测试 10 箱，统计总用时，计算完成取放箱的平均速度。统计计算结果见表 10。

Table 10. Position accuracy test for carton pick-and-place
表 10. 箱取放位置准确率测试

取放箱方式 序号	滑槽固定式 所需时间(s)	翻转固定式 所需时间(s)	滑槽开箱式 所需时间(s)
1	488.23	517.19	532.49
2	491.22	521.29	536.36
3	492.45	523.18	529.38
4	494.56	519.98	532.32
5	487.94	526.69	534.29
6	489.85	528.65	521.84
7	488.91	521.36	533.74
8	492.92	519.17	536.26
9	490.84	518.45	543.36
10	487.77	519.26	540.21
平均速度(箱/min)	1.22	1.15	1.12

由以上测试可知仅滑槽固定式取放箱装置各项指标均满足箱缺陷率 = 0；箱位置准确率 $\geq 99\%$ ；取放箱速度 ≥ 1.2 箱/分钟的要求，故取放箱装置选择滑槽固定式。

3.5. 成型方式

成型方式分为单箱成型与流水成型，单箱成型每次仅能进行 1 箱即 50 条的输送、扫码关联和装箱，完成一箱后才能进行下一箱的作业；流水成型可以一直进行烟条的添加输送，装满一箱后取下，无需停机就可进行下一箱的作业。因条扫码速度 ≥ 60 条/分钟，50 条为 1 箱所以要求成型速度 ≥ 1.2 箱/分钟。

测试成型速度，每次测试 10 箱，统计成型用时，计算成型速度。统计计算结果见表 11。

Table 11. Forming speed test
表 11. 成型速度测试

成型方式 序号	单箱成型 所需时间(s)	流水成型 所需时间(s)
1	549.32	479.23
2	551.23	482.36
3	550.96	481.23
4	552.38	483.36
5	554.74	481.32
6	549.86	478.71
7	548.92	477.79
8	553.38	478.29
9	550.46	476.63
10	553.39	480.81
平均速度	1.09	1.25

由以上测试可知，流水成型方式指标满足生产需求。

4. 实验与结果分析

4.1. 实验设置

对比各选型实验，组装条件关联装箱装置，装置选型如图 6 所示：烟条输入装置选用皮带输送，以

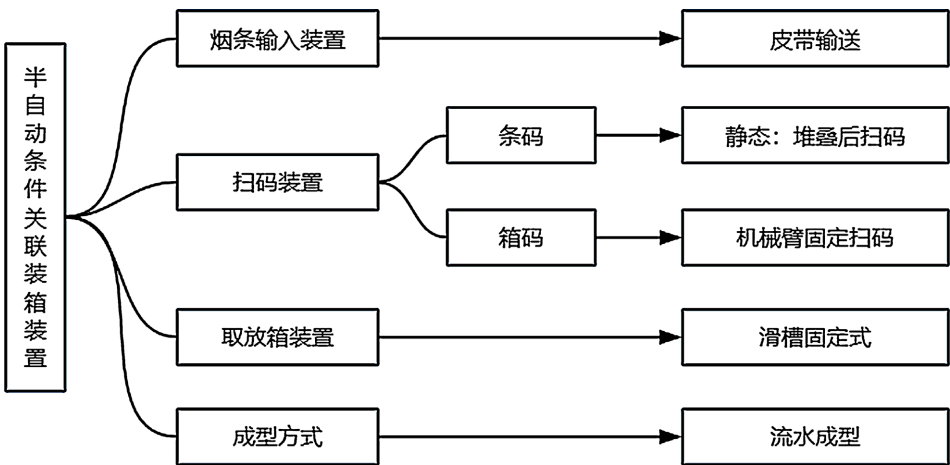


Figure 6. Equipment selection
图 6. 装置选型

低堵塞率快速排条；扫码装置中，条码选用堆叠后固定两个摄像头静态扫码，箱码则是选用固定扫码，在放置空箱后固定相机扫码录入；为减少缺陷箱数量且跟随上堆条装置速度，取放箱采用滑槽固定式；考虑生产的持续性和总体装置速度，成型方式选用流水成型。用该选型组装条件关联装箱装置完成任务。

4.2. 测试结果

测试烟条通过输送装置的速度。每次通过 100 条烟条，统计通过时间，计算输送速度。

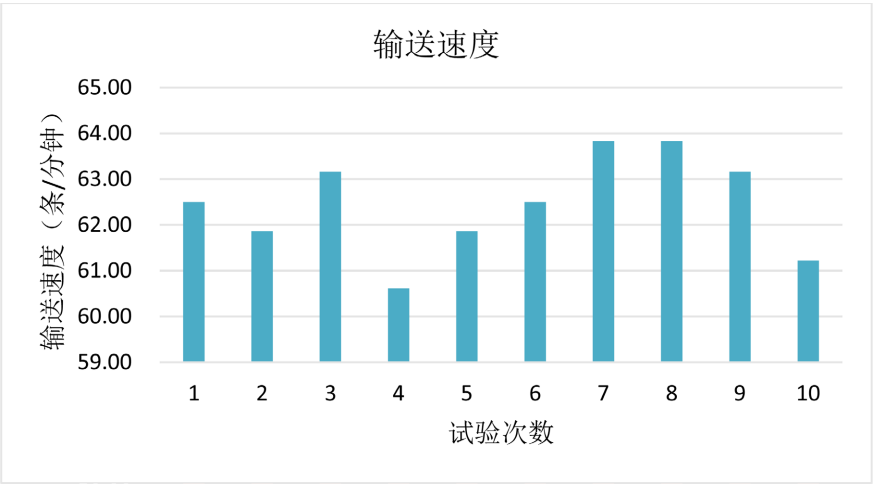


Figure 7. Cigarette sticks conveying speed test
图 7. 烟条输送速度测试

通过试验测试，该条件关联装箱装置展现出优异的性能表现。经数据统计分析，见图 7，装置的平均作业速度达到 62.45 条/分钟，显著超过设计目标值 60 条/分钟的要求。

利用封箱机进行堆叠和装箱模拟实验，测试堆叠和装箱的速度。每次测试 10 箱，统计总用时，计算总计速度。

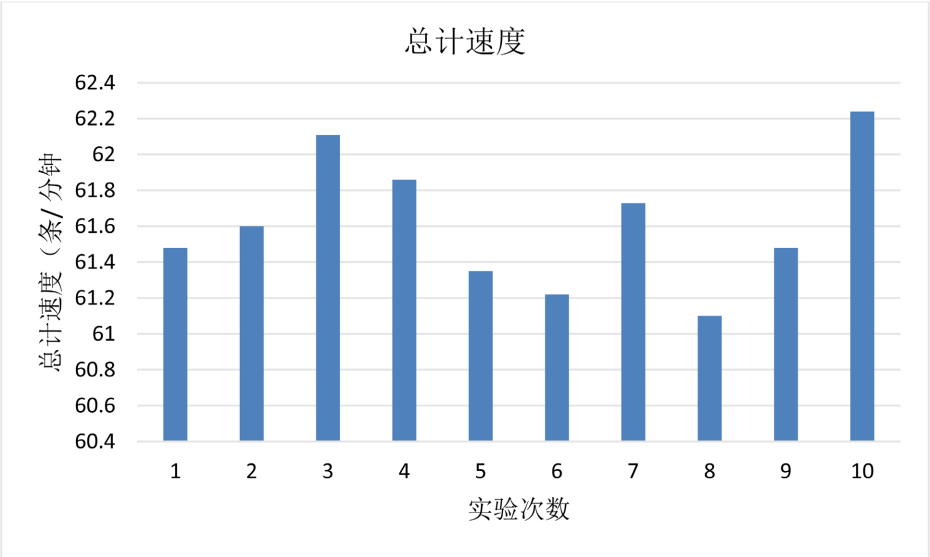


Figure 8. Packing speed test
图 8. 装箱速度测试

通过试验测试，见图 8，计算其总计平均速度为 61.62 条/分钟，高于目标值，速度上能与烟条输送装置相互配合，实验中最低速度 >61 条/分钟，与最快一次测试仅相差 1.14 条/分钟，说明装置运行状态稳定，能够持续匀速堆叠输送到堆叠模块的烟条。

测试扫码的速度和准确率。每次通过 100 条烟条，统计通过时间和成功条数，计算扫码速度和准确率。

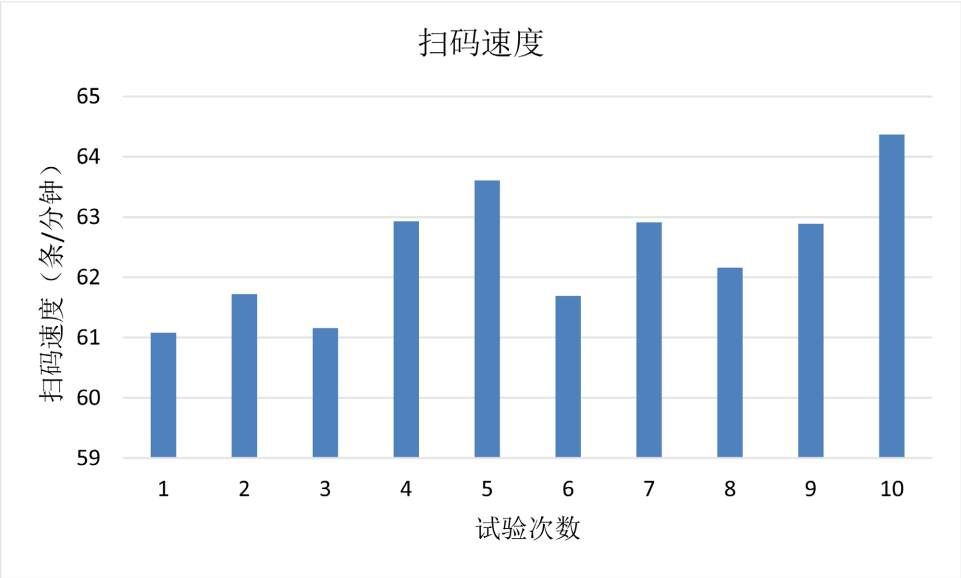


Figure 9. Scanning speed test
图 9. 扫码速度测试

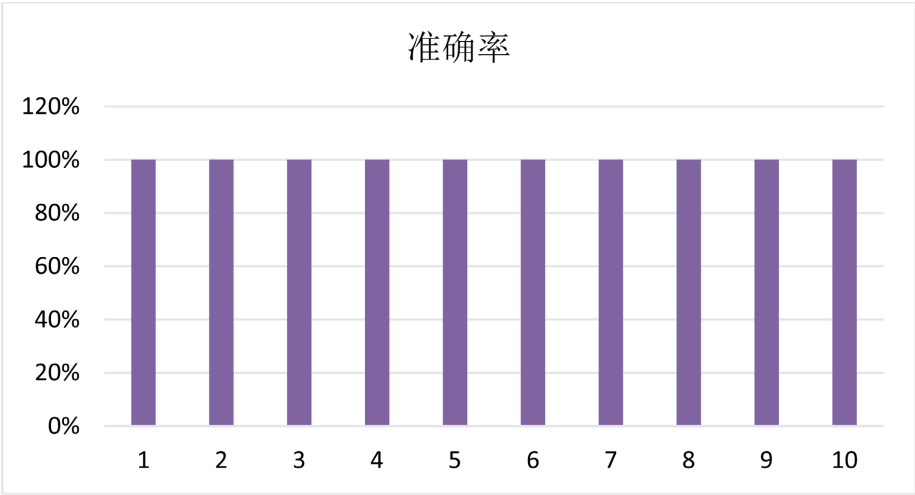


Figure 10. QR code scanning accuracy
图 10. 扫码准确率

该模块下扫码速度受限于堆叠烟条完成速度，实验中机械扫码装置能有效完成堆叠的烟条扫码任务。见图 9，计算可知扫码平均速度为 62.46 条/分钟，高于 60 条/分钟的目标值。如图 10 所示，扫码准确率多次试验下仍为 100%，无扫码失误的烟条产生，证明装置完全满足预设技术指标，更在关键性能参数上实现了显著超越。

4.3. 改造前后对比

改造前，工厂散条和箱关联采用手持扫码方式，两人配合进行工作，先录入箱码，再依次扫描五十个条码，扫码后的条手工装入箱内，速度为 15.31 条/人·分钟。未能满足技改后工厂生产实际情况，且车间扫码枪数量有限，单纯增加人数不能解决扫码关联的效率问题。关联装箱大部分为重复步骤，长时间工作易让工人感到枯燥，使得工作效率更为低下。

改造后扫码装箱，工人仅需将烟条放入输送带，机器能自行将烟条扫码堆叠装箱，大多数步骤被机械完成，减轻了工人工作压力，现作业方式速度最快能达到 80 条/分钟，大大节约了人工成本，机械操作也使作业更为稳定和精确，关联准确率达 100%，显著提高了生产线自动化水平。

计算现作业效率与原作业效率对比，结果如表 12 所示：

Table 12. Efficiency comparison before and after renovation

表 12. 改造前后效率对比

原作业效率	15.31 条/人·分钟
现作业效率(最高速度)	40 条/人·分钟
效率提升	261.27%

5. 结果与展望

本研究通过对旧设备的智能化改造，成功实现了高效精准的“盒-条”关联作业，显著提升了生产效率和质量控制水平。开发的半自动关联装置已稳定接入生产系统，实际运行结果验证了传统设备升级的可行性。测试数据显示，该装置的扫码速度最高可达 80 条/分钟，关联准确率达到 100%，相比人工操作效率提升 261%，同时将缺陷率从 3.2%降至 0%，有效降低了人为误差，提高了生产效能。

在技术创新方面，本研究通过老旧设备改造与现代自动化技术的深度融合，在确保性能大幅提升的同时，实现了 60%的改造成本节约。采用多模块协同控制技术，构建了集成机器视觉、PLC 控制与数据追溯的高效自动化系统。此外，优化设计的 PLC 程序提升了设备间的精准协同能力，为同类自动化装置的研发提供了可借鉴的技术方案。

未来研究将进一步推进设备全生命周期管理系统的建设，强化生产数据的实时监控与智能分析能力，优化设备维护策略，提高系统的稳定性与可扩展性。同时，将持续探索智能化技术在卷烟生产中的深度应用，推动工厂向高度自动化、智能化和数字化方向发展，为行业转型升级提供有力支撑。

参考文献

- [1] 黄国烜, 饶军, 邹辉. 商品二维码全面打开全球贸易新大门[J]. 中国自动识别技术, 2023(5): 31-34.
- [2] 邱江风, 支俊凯. 全球二维码迁移计划概述及发展[J]. 条码与信息系统, 2023(4): 16-18.
- [3] 耿铁凡, 王玲, 俞鑫. RFID 技术在印染服装行业数字化生产与管理中的应用[J]. 中国纤检, 2024(12): 102-105.
- [4] 林紫晓. “一药一码”防控药品回流[N]. 经济日报, 2025-04-13(003).
- [5] 杨李思. 面向药品追溯的自动化赋码关联系统的设计与实现[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学, 2017.
- [6] 中国电子技术标准化研究院. 锂离子电池智能制造白皮书[M]. 北京: 中国电子技术标准化研究院, 2021.
- [7] 宁德时代新能源科技股份有限公司. 喷涂遮蔽方法及喷涂遮蔽装置[P]. 中国专利, 202280091282.3. 2024-09-27.
- [8] 侯可勃. 药品电子监管赋码平台的研究与应用[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
- [9] 宋夏义. 自动化赋码助力企业实现全程数字化管理[J]. 条码与信息系统, 2019(4): 50.

-
- [10] 杨坤华, 马昌祥, 谭兴旺, 等. YP18B 型装封箱机烟箱端盖折叠辅助装置的设计[J]. 南方农机, 2022, 53(9): 160-162.
- [11] 王超, 张红, 黄慧鸿, 等. RFID 信息技术在柔性装封箱系统中的应用[J]. 物流技术与应用, 2021, 26(9): 145-147.