工业机器人在包装码垛自动化中的应用研究

doi:10.20269/j.cnki.1674-7100.2026.3013

杨　晟

川崎机器人（天津）有限公司
天津　300457

摘　要：当前包装自动化系统的集成与应用仍面临诸多技术瓶颈。例如，在应对多品种、小批量产品的柔性包装时，系统的快速重构与智能决策能力尚显不足，特别是在工业机器人的自动化应用场景中尤为显著。因此，提出以川崎 CP180L 码垛机器人为中心的全自动化包装纸箱码垛系统，并通过离线仿真分析码垛作业流程，进而修正码垛算法存在的问题，以降低现场调试的试错成本，同时大幅缩短现场调试所需日程。在实际的生产应用中，本系统能够让机器人在一个要求快速且多变的包装码垛应用场景中自主完成智能决策。

关键词：码垛机器人；包装自动化；柔性包装；机器人离线编程

中图分类号：TP241.2；TB486　　**文献标志码：**A

文章编号：1674-7100(2026)03-0126-06

引文格式：杨　晟. 工业机器人在包装码垛自动化中的应用研究 [J]. 包装学报，2026，18(3)：126-131.

1　研究背景

20 世纪 60 年代，世界第一台工业机器人问世。此后，工业机器人逐渐得到各国的关注 [1]。工业机器人集机械、电子、控制、计算机、传感器、人工智能（AI）等多学科先进技术于一体 [2]，适用于劳动强度较大且长时间重复性作业场景。因此，工业机器人生产相较人工生产具备显著的成本优势，其对劳动力的替代趋势将不可逆转 [3-4]。据统计，2023 年全球工业机器人保有量超过 400 万台，比 2022 年增长 10%[5]。近年来，随着传感器技术、AI 的发展，工业机器人能够自适应包含更多变化因素的场景要求，实现真正意义上的柔性制造。在全球制造业加速向智能化、数字化转型的背景下，工业自动化已成为提升生产效率、保障产品质量、降低运营成本的核心驱动力。

包装作为产品出厂前的最后一道关键工序，其自动化、智能化水平直接决定企业的市场响应速度与综合竞争力 [6]。工业机器人承担了搬运、分拣、装箱、码垛等诸多应用角色。调研显示，成熟的自动化码垛系统可有效减少物料破损与浪费，进而帮助企业降低生产成本 [7]。然而，我国除了少数行业头部企业外，绝大多数工厂的包装工序处于中低等自动化集成水平。因此，如何实现包装线上各独立设备之间的高效协同与数据互通，构建一个集成的“智慧包装”生态系统，仍是业界亟待解决的关键问题。

《关于加快我国包装产业转型发展的指导意见》将我国包装产业定位为“服务型制造业”，不仅解决了长期以来因产业定位不准确导致的发展方向模糊问题，也与国家整体发展战略相契合 [8]。因此，本研究提出以川崎 CP180L 码垛机器人（以下简称机器人）为中心的全自动化包装纸箱码垛系统，旨在推进包装自动化技术向更智能、更高效、更柔性

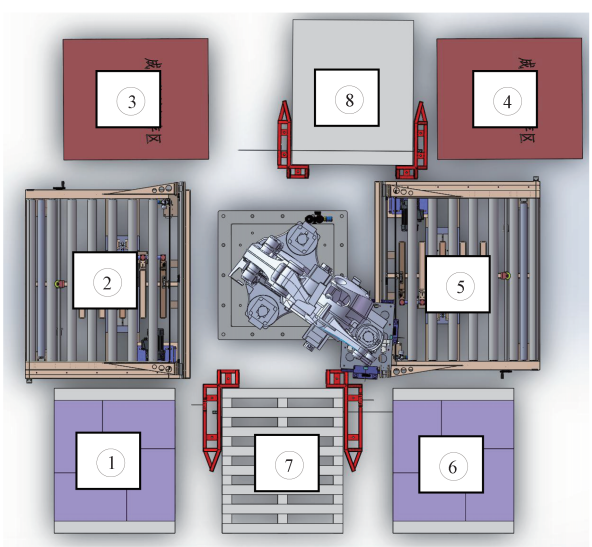
收稿日期：2025-10-29
作者简介：杨　晟，男，工程师，主要研究方向为工业机器人自动化应用，E-mail：45766716@qq.com

的方向发展。

2　系统设计

2.1　系统布局

图 1 为以川崎 CP180L 码垛机器人为中心的全自动化包装纸箱码垛系统的工位布局，其包含两个上料线、两个下料码垛工位、两个码垛缓存工位、一个隔板放置工位、一个码垛栈板缓存工位。机器人凭借 3255 mm 臂展范围，可实现 1800 mm × 1600 mm × 2200 mm（长 × 宽 × 高）范围内的绝大多数垛型，更适用于大型包装码垛场景。此外，机器人使用真空海绵吸盘式末端执行器，故而能够抓取各类尺寸纸箱。西门子 1210 型可编程逻辑控制器（PLC）+ 人机界面（HMI）操控中心能实现操作者与单元设备间的信息交互。



①、⑥：下料码垛工位；②、⑤：上料线；③、④：码垛缓存工位；⑦：码垛栈板缓存工位；⑧：隔板放置工位。

图 1　机器人自动码垛系统的工位布局

Fig. 1　Robot automatic palletizing layout

2.2　功能要求

机器人自动码垛系统在计算能力、码垛垛型数量、冲突检测、异常情况处理及码垛算法等方面的具体要求如下。

因纸箱品种多达数千种，并且很多品种的具体规格数据尚不确定，如此庞大的数据量及未来可能存在的不确定性，导致无法在机器人系统内建立纸箱规格数据库，机器人需要动态应对随时上线的新品种作业。同时，每天生产的纸箱可能会多次切换为新品种。因此，新增的品种需要机器人在 1 min 内自动完成新增规格的数据运算，且此间不再安排人工介入进行其他辅助性操作。

预定的码垛垛型至少有 8 种，如图 2 所示。机器人需根据作业人员提供的纸箱外形尺寸数据自动完成所有垛型的码垛总数量计算及对比，并将可码垛最大数量对应的垛型编号通过 PLC+HMI 操控中心反馈给作业人员，再由作业人员选定作业垛型，并通知机器人执行码垛作业。

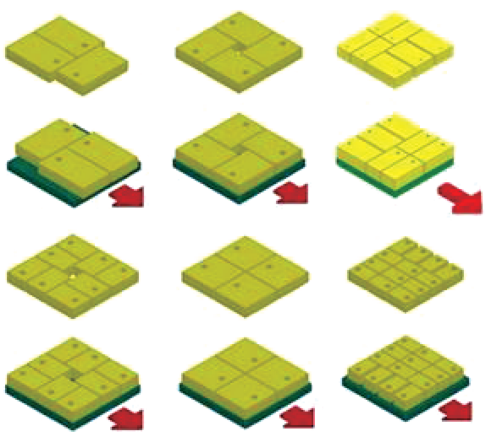


图 2　纸箱的部分码垛垛型

Fig. 2　Partial palletizing pallet pattern of cartons

鉴于纸箱尺寸存在误差，在码垛过程中，机器人需实时监测真空海绵式末端执行器对纸箱的压力，以避免因纸箱过压变形而导致内部产品损坏的情况。此外，来料纸箱的长宽相邻两个方向上各有一张标签纸，需保证码垛后有任意一张标签纸朝外。

机器人在作业过程中不可避免地会出现各类异常情况，因此需提供简易化操作界面。作业人员可依据现场实际发生的具体情形，决定是否对当前数据进行一键保存，以便后续对数据开展追溯分析并持续完善系统。

码垛完成后若栈板未被取走，而生产线又有纸箱进来，则机器人需将纸箱临时码放至③或④缓存工位。同样，在缓存工位，机器人也需根据产品长、宽、高及设定的码垛高度，自动计算码垛作业所需的相关数据。当生产线上没有纸箱时，再将缓存工位的纸箱码回①或⑥位置。若人工取走码垛完成的栈板后，机器人要自动补充空的栈板至码垛工位，准备新一轮的码垛作业。此外，机器人左右两侧生产线同时启动，纸箱来料没有先后顺序，先到达的纸箱优先取走进行码垛。

2.3 作业流程

以机器人左侧区域（见图 1）码垛为例，其具体作业流程如下：作业人员按照不同的纸箱尺寸，在控制系统中选取不同的码垛方式，并设定每种纸箱的牛皮纸放置方式（栈板上必须要放牛皮纸，每层码垛之间的牛皮纸可以放或不放），设定好的数据被传送至机器人，机器人从⑦位置取栈板，将栈板摆放到⑥位置上，然后从⑧位置取一张牛皮纸摆放在栈板上，然后将⑤位置纸箱搬运至⑥位置进行码垛，栈板上码满一层后，机器人从⑧位置再次抓取一张牛皮纸叠放于⑥位置纸箱上，重复码垛操作，直至码垛完成，码垛最高为 1500 mm。当栈板上产品码垛完成时，系统会报警提示作业人员将码满纸箱的栈板拖走。如果码满纸箱的栈板被拖走后，机器人从⑦位置重新抓取空栈板并搬运补充至⑥位置，继续重复前面码垛动作；如果作业人员未及时将码满纸箱的栈板拖走，机器人将纸箱从⑤位置搬运至④位置暂存，待机器人抓料有空闲或停线或换线时，再将④位置暂存的纸箱搬运回⑥位置。

机器人左侧码垛方式与右侧码垛方式一致。当左右两侧双线同时开启时，通过上料线设备给来料信号，机器人再进行物料的抓取和搬运，采用先到先码原则进行码垛作业。

2.4 技术架构

1）人机交互前端由操作人员负责，将需要生产作业的数据，如码垛垛型编号、纸箱外形尺寸等，录入至 HMI，同时 HMI 也会将各设备的状态及机器人需反馈的数据信息展现给操作人员 [9]。

2）中央控制器采用西门子 1210 PLC，负责将 HMI 录入的数据信息通过 TCPIP 通信协议传递至机器人，同时负责协调监控整个系统的感应光电、设备状态等信号的交互传递 [10]。

3）机器人作为整个系统的智能化执行端，其程序架构至关重要，分为 4 个执行层级，总计 40 余段，如表 1 所示。

4）在机器人上构建坐标系及示教参考点，摒弃传统的数据库配方 + 示教参考点模式。依据图 1，在机器人左右侧的 4 个码垛工位①、③、④、⑥及两个上料线②、⑤上，分别各示教 3 个参考点，机器人即可通过程序换算得到 6 个工位的基准直角坐标系；剩余的码垛栈板缓存工位⑦及隔板放置工位⑧，可直接示教抓取及放置的参考作业点。

表 1 程序架构一览

Table 1 Overview of program architecture

层级	程序名称	功 能 说 明
1	pc1	后台 1# 程序，有 同步处理信号交互、数据自动保存等功能
1	pc2	后台 2# 程序， 负责作业数据信息接收、垛型验算及信息反馈
1	pc3	后台 3# 程序，将机器人作业参数信息反馈回前端控制台
1	main	前台执行主程序
1	go_home	前台执行自动原点复归程序
2	init	参数初始化
2	count	坐标系计算、码垛算法分配
2	mat.pk	牛皮纸抓取
2	mat.pt	牛皮纸码放
2	pallet.pk	栈板抓取
2	pallet.pt	栈板码放
2	com_open	开启以太网通信端口
2	com_close	关闭以太网通信端口
2	recv	以太网接收信息
2	send	以太网发送信息
2	decode	以太网接收信息转码
2	pk	纸箱上料抓取
2	pt	奇数层纸箱码垛
2	pt_ev	偶数层纸箱码垛
2	tmp_pk	在码垛缓存工位，抓取纸箱
2	tmp_pt	在码垛缓存工位，码垛纸箱
3	p.count_(*n*)	依据垛型，负责机器人码垛点位生成
4	pal_chk_(*n*)	依据垛型，负责纸箱排列阵型计算
4	count_(*n*)	依据垛型，负责各方向间距计算

注：*n* 为第 *n* 种垛型程序，共 8 种。

3 仿真分析

仿真工作站能够在不占用物理设备的前提下完成运动路径预演、碰撞及参数整定，有效避免“现场试错”的资源消耗，显著缩短系统搭载的周期 [11]。因此，在机器人自动码垛系统运行前，运用专用的机器人离线仿真软件对系统码垛作业进行验证，以确保在 PC 上修正码垛算法存在的问题，降低现场调试的试错成本，同时大幅缩短现场调试所需日程。

1）根据机器人自动码垛系统的布局，在专用的机器人离线仿真软件中完成系统布局构建，如图 3 所示。

2）编写机器人作业程序代码。该程序能根据用户要求的垛型和已有的纸箱规格数据，完成码垛模

拟，并检验码垛完成的效果（垛型、尺寸及纸箱标签朝向等），为在 PC 上修正码垛算法存在的问题提供依据。两种不同垛型的仿真验证如图 4 所示。

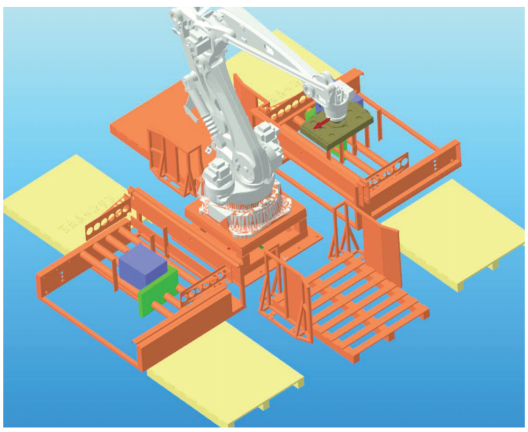
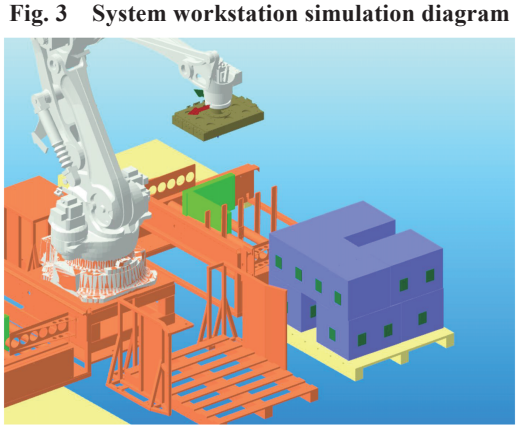
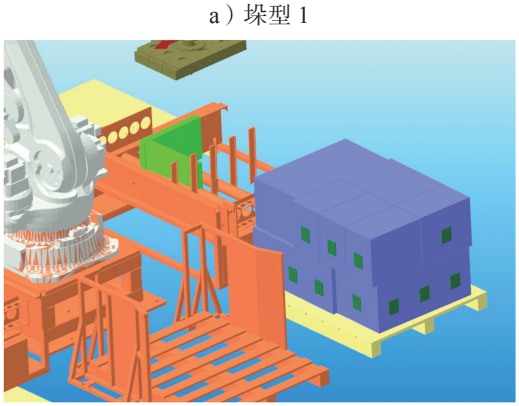


图 3　系统工位仿真图

Fig. 3　System workstation simulation diagram



a）垛型 1



b）垛型 2

图 4　垛型仿真验证

Fig. 4　Pallet pattern simulation & verification

4　系统运行实例

1）验算垛型。在 HMI 的垛型验算界面，输入纸箱外形规格，执行垛型验算，将码放纸箱数量最多的垛型编号反馈回 HMI，如图 5 所示。



图 5　HMI 的垛型验算界面

Fig. 5　Pallet pattern verification interface of HMI

2）在图 6 机器人手动界面对作业过程中的特殊动作速度、动作停顿时长、码垛的位置微调及工艺参数等进行设置。随后回到 HMI 主界面（见图 7），设置左右两侧生产线对应的纸箱外形尺寸，选择码垛垛型编号，即可启动机器人执行作业。

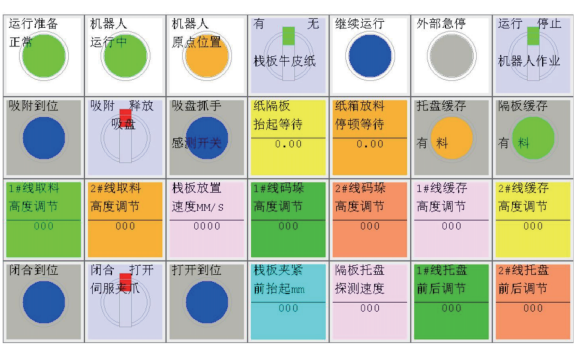


图 6　机器人手动界面

Fig. 6　Robot manual interface

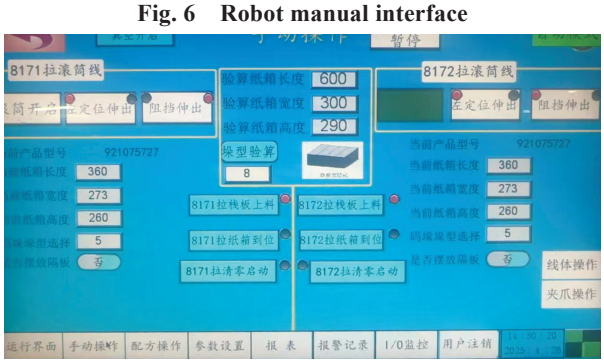


图 7　HMI 主界面

Fig. 7　Main control interface of HMI

3）机器人在作业过程中可实现暂停操作，能够对单侧或双侧生产线的纸箱品种及垛型进行切换。重启后，机器人会自动完成初始化并更新作业参数，动态适配新增品种物料，此过程无需人工再次干预操作。两侧生产线可同时开启不同品种纸箱的交叉码垛作业，以最大程度减少机器人待机时间，提高生产效

率与灵活性。在两侧生产线码垛监控界面（见图 8），可根据实际作业效果进行参数微调，以达到最佳作业状态。同时，当作业过程发生异常时，此界面能够更全面地反映工位的整体状况，便于操作者排查处理。

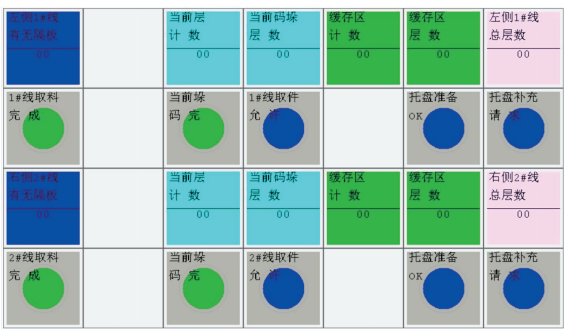


图 8　码垛监控界面

Fig. 8　Stacking monitoring interface

4）机器人利用其冲突检测功能来调整手臂对应关节的冲击灵敏度，在 10 ms 级响应内阻止真空海绵式末端执行器对纸箱造成的过压变形。当完成纸箱正常抓取后，将手臂关节自动恢复至默认状态，以避免高速移动中由于惯性带来的错误识别。与此同时，机器人从抓取纸箱至码放完成期间，通过抓手上的感应器，自动监测抓手上纸箱的状态。当纸箱意外脱落时，机器人则自动停止运行，同时发出警报，呼叫操作人员介入排查异常原因。异常排除后，操作人员方可继续启动机器人作业。

5）当码垛完成后，机器人自动发出提示音通知操作者将码垛完成品转移至仓储。在此期间，机器人继续将上料线的纸箱临时码放至码垛缓存区，以降低上料生产线停机等待时长，进一步提高生产线稼动率。

6）人工将码垛成品移走后，机器人自动从栈板缓存位抓取空栈板补充到码垛位上。重复上述码垛作业。

本系统已实现以往多数机器人码垛单元中所不具备的多工位交叉作业、根据物料规格自主调整码垛轨迹点、垛型验算、主动响应异常状况并进行报警提示等功能。各个相对独立的单元系统在安装与使用方面具备更高的灵活性，整体占地面积可缩减 30% 以上。同时，无需进行上位机软件开发，综合成本投入能够降低 20% 以上，整体施工工期亦可减少 50%。因此，本系统适合当下国内绝大多数生产企业包装工序的现状，特别是已正式投产时间较长，且设备布局及场地规划早已定型，很难实现大规模改造的工厂。

5　结语

当前，中国已成为全球规模最大的工业机器人市场，且工业机器人的应用必将更为广泛。针对包装工序，本研究设计了以川崎 CP180L 码垛机器人为中心的全自动化包装纸箱码垛系统，并通过离线仿真分析验证码垛作业的合理性，再应用于实际生产中。基于川崎机器人强大的 AS 语言系统，通过半开发型编程平台，编写机器人作业流程程序，以应对逻辑复杂、灵活多变的应用场景。在实际生产应用中，本系统全程极少人工介入操作，自动化程度极高，符合包装行业内的普遍需求。

工业机器人逐渐迈向智能化与人机协同的发展阶段。先进的传感器、机器学习和人工智能技术的融合使机器人更加适应复杂的工作环境，实现了高度自主的决策和灵活的协同作业。随着人工智能、大数据、物联网等新兴技术的发展，未来智能包装系统将朝着更高程度的自主决策、更灵活的柔性生产、更全面的绿色低碳方向演进。

参考文献：

[1] 朱岳刚 . 工业机器人在机械制造自动化产线上的应用 [J]. 中国机械，2024(30)：79-82.
[2] 王　璐 . 基于 Robot Studio 的 ABB 工业机器人码垛工作站教学设计 [J]. 集成电路应用，2019，36(8)：82-83.
[3] GREVE B. Welfare States and Labour Market Change: What Is the Possible Relation?[J]. Social Policy & Administration，2017，51(2)：389-403.
[4] 王耀南，刘学兵，张　辉，等 . 机器视觉技术在包装行业研究进展与应用综述 [J]. 包装学报，2022，14(2)：1-14.
[5] 苟桂枝 . 国际机器人联合会发布 2024 年世界机器人报告 [J]. 机器人技术与应用，2024(6)：1-4，19.
[6] KRUG R，STOYANOV T，TINCANI V，et al. The Next Step in Robot Commissioning: Autonomous Picking and Palletizing[J]. IEEE Robotics and Automation Letters，2016，1(1)：546-553.
[7] 王亭岭，王彩玲，马景义，等 . 码垛机器人在饲料工业的研究及应用 [J]. 饲料工业，2013，34(11)：11-14.
[8] 魏风军，陆秋杏，邓晓霞，等 . 用德国“工业 4.0”变革国内纸包装行业 [J]. 今日印刷，2015(11)：39-42.
[9] 张　飞，邓海娜，李庆山，等 . 基于机器视觉技术的化肥袋智能码垛系统 [J]. 包装学报，2025，17(5)：68-72.

[10] 杨桂华，卫嘉乐 . 基于改进 A* 与 DWA 算法的物流机器人路径规划 [J]. 科学技术与工程，2022(34)：15213−15220.
[11] 庞党锋，崔世钢，田丽萍 . 包装生产线码垛机器人工作站虚拟仿真研究 [J]. 包装与食品机械，2022，40(4)：68−72.

（责任编辑：邓光辉）

Research on the Application of Industrial Robots in Automatic Packaging and Palletizing

YANG Sheng

（Kawasaki Robotics (Tianjin) Co., Ltd.，Tianjin 300457，China）

Abstract：At present, the integration and application of packaging automation systems still face many technical bottlenecks. For example, when dealing with the flexible packaging for multi-variety and small-batch products, the system's rapid reconfiguration and intelligent decision-making capabilities are still insufficient, especially in the automated application scenarios of industrial robots. Therefore, a fully automatic packaging carton palletizing system centered on the Kawasaki CP180L palletizing robot is proposed. The palletizing operation process is analyzed through offline simulation, and the problems existing in the palletizing algorithm are revised, so as to reduce the trial-and-error cost of on-site debugging and significantly shorten the time required for on-site commissioning. The application in actual production shows that the system enables robots to independently complete intelligent decision-making in a fast and changeable packaging and palletizing application scenario.

Keywords：palletizing robot；packaging automation；flexible packaging；robot off-line programming