

智能仓储系统中机电一体化分拣设备的优化设计

杨鹏泰

阿克苏纺织工业城（开发区）应急管理局 新疆阿克苏

【摘要】智能仓储系统的发展对机电一体化分拣设备提出了更高要求。本文围绕“如何通过优化设计提升机电一体化分拣设备的效率与智能化水平”这一核心论点，分析了当前分拣设备在结构设计、控制逻辑和信息交互方面存在的问题，提出从机械结构优化、控制系统升级及数据融合三个方面进行改进。通过引入模块化设计理念、采用先进传感与驱动技术，并结合物联网与人工智能算法，实现设备运行效率和分拣准确率的双重提升。研究结果为智能仓储系统的高效运作提供了可行的技术路径。

【关键词】智能仓储；机电一体化；分拣设备；优化设计；自动化控制

【收稿日期】2025 年 3 月 10 日 **【出刊日期】**2025 年 4 月 11 日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20250147

Optimized design of mechatronic sorting equipment in intelligent warehouse systems

Pengtai Yang

Emergency Management Bureau of Aksu Textile Industry City (Development Zone), Aksu, Xinjiang

【Abstract】 The development of intelligent warehouse systems has put forward higher requirements for mechatronic sorting equipment. Focusing on the core argument of "how to improve the efficiency and intelligence level of mechatronic sorting equipment through optimized design," this paper analyzes the existing problems of current sorting equipment in structural design, control logic, and information interaction. It proposes improvements from three aspects: mechanical structure optimization, control system upgrading, and data fusion. By introducing the concept of modular design, adopting advanced sensing and driving technologies, and combining the Internet of Things (IoT) with artificial intelligence algorithms, the dual improvement of equipment operation efficiency and sorting accuracy is achieved. The research results provide a feasible technical path for the efficient operation of intelligent warehouse systems.

【Keywords】 Intelligent warehouse; Mechatronics; Sorting equipment; Optimized design; Automatic control

引言

在现代物流体系中，分拣效率直接影响整体运营速度和服务质量。传统机电一体化分拣设备虽已广泛应用，但在应对复杂订单结构、高并发任务时仍存在响应迟缓、能耗偏高和维护成本大等问题。探索更高效的设备优化方案成为行业关注的重点。本文聚焦于智能仓储背景下机电一体化分拣设备的设计改进，从结构、控制与数据协同三个维度出发，提出具有可实施性的优化策略。该研究不仅有助于提升设备性能，也为构建更具弹性和智能化的仓储系统提供理论支持和技术参考。

1 机电一体化分拣设备现状与问题分析

机电一体化分拣设备作为智能仓储系统中的关

键组成部分，广泛应用于快递物流、电商配送及制造业供应链管理等领域。该类设备通常由机械传动机构、传感识别单元、驱动执行部件以及控制管理系统等多个模块集成，具备自动识别、定向输送、路径规划与分拣操作等功能。当前，主流的分拣设备形式包括交叉带分拣机、滑块式分拣系统、摆轮式分拣装置等，其设计多基于 PLC 控制与工业总线通信技术，实现对物料流的高效组织与调度^[1]。在实际运行过程中，仍存在诸如结构冗余度高、响应速度慢、能耗波动大及维护周期短等问题，尤其在面对订单碎片化、高频次出入库等复杂场景时，传统设备的适应性与稳定性面临严峻挑战。

从机械结构层面分析，现有分拣设备普遍存在

模块化程度不高、标准化接口缺失的问题，导致设备扩展性差、安装调试周期长。部分传动部件采用传统气动或液压驱动方式，不仅增加了系统能耗，也降低了整体运行效率。由于缺乏统一的设计规范，不同厂商之间的设备兼容性较差，限制了系统后期的升级与智能化改造空间。在高速分拣过程中，若导向机构响应延迟或定位精度不足，将直接引发包裹错分、卡堵甚至设备停机故障，影响整个仓储系统的连续作业能力。

控制系统方面，尽管多数设备已引入 PLC+HMI 的人机交互架构，但在数据采集深度、算法决策能力及协同控制水平上仍有待提升。传统的逻辑控制策略难以应对动态任务调度需求，且缺乏对异常工况的自诊断与自适应调节功能。随着物联网、边缘计算和人工智能等新兴技术的发展，传统控制体系在数据融合与智能决策方面的短板日益凸显。如何通过优化控制算法、引入实时数据分析机制，并结合新型传感器网络，构建更高效、智能的分拣执行系统，已成为当前机电一体化设备升级亟需解决的核心问题之一。

2 基于模块化的机械结构优化设计

在智能仓储系统不断向高效化、柔性化方向发展的背景下，机电一体化分拣设备的机械结构设计亟需实现功能集成与灵活配置的统一。模块化设计理念为解决传统设备结构复杂、扩展性差等问题提供了有效路径。通过将分拣设备划分为标准化的功能单元，如驱动模块、导向模块、识别模块和支撑框架等，不仅能够提升设备的可维护性和兼容性，还能根据不同应用场景快速组合装配，适应多品种、小批量的订单处理需求。在滑块式分拣系统中，采用模块化驱动单元后，可根据输送线长度和分拣节点数量灵活增减动力组件，显著降低系统部署周期。

从技术实现角度看，模块化结构优化强调接口标准化与功能解耦，通常采用统一的机械连接方式与通信协议，确保各子系统之间既能独立运行又能高效协同。在材料选择方面，引入高强度轻质合金或工程塑料以减轻运动部件质量，从而降低惯性冲击并提高响应速度；在传动方式上，逐步淘汰能耗较高的气动执行机构，转而采用伺服电机+同步带或滚珠丝杠的精准驱动方案，实现更高的定位精度与动态性能。模块化设计还支持设备状态监测与故障隔离，一旦某功能模块出现异常，可迅速更换而不

影响整体系统的运行稳定性。

实际应用中，模块化机械结构已在部分先进分拣系统中取得良好成效。以某电商自动化仓库为例，其采用基于模块化设计的交叉带分拣机，整机由多个独立驱动的小车单元组成，每个单元均可自主完成包裹抓取与投递操作^[2]。这种分布式架构不仅提升了系统的冗余能力与容错性，也大幅增强了对不规则包裹的适应能力。标准化生产降低了制造成本，便于后期运维与功能拓展。由此可见，模块化不仅是机械结构优化的重要手段，更是推动机电一体化分拣设备向智能化、柔性化演进的关键支撑。

3 智能控制系统的升级与实现路径

智能控制系统的升级是提升机电一体化分拣设备自动化水平与运行效率的核心环节，其关键在于构建一个具备实时响应、多任务协同与自适应调节能力的控制架构。传统分拣设备普遍采用基于 PLC 的集中式控制系统，虽然在逻辑控制和流程调度方面较为成熟，但在面对高并发订单、动态路径调整及异常工况处理时，系统响应滞后、容错能力弱的问题日益突出。当前控制系统优化的重点在于引入分布式控制结构，结合边缘计算技术，实现数据采集、分析与决策的本地化处理，从而减少对中央控制器的依赖，提高整体系统的灵活性与稳定性。

在控制算法层面，传统的 PID 控制已难以满足复杂分拣场景下对精度与速度的双重需求，取而代之的是模糊控制、神经网络控制以及模型预测控制等先进控制策略的应用。这些算法能够根据实时传感器反馈信息动态调整执行机构的动作参数，提升分拣过程中的定位精度与运动平稳性。借助工业以太网与现场总线协议（如 EtherCAT、CANopen）构建高速通信网络，确保各控制节点之间数据传输的低延迟与高可靠性。在交叉带分拣系统中，通过将图像识别模块与运动控制模块联动，可实现包裹的动态识别与精准投递，显著提升分拣准确率。

从实际部署角度看，智能控制系统的升级还需融合物联网平台与云边协同机制，实现设备状态监测、远程调试与故障预警等功能。通过对分拣设备运行过程中振动、温度、电流等多维数据的采集与分析，系统可提前识别潜在故障点，实现预测性维护，降低停机风险^[3-7]。部分企业已在实际项目中应用基于 OPCUA 协议的数据交互架构，并结合工业 AI 平台进行控制逻辑的自学习优化，使系统在长期

运行中不断积累经验并提升性能。这种软硬协同的智能化升级路径,不仅提升了控制系统的自主决策能力,也为未来智能仓储体系的全面数字化奠定了坚实基础。

4 数据驱动下的系统集成与性能提升

在智能仓储系统向高度自动化、信息化与智能化演进的过程中,机电一体化分拣设备的性能提升已不仅依赖于机械结构和控制系统的优化,更需要通过数据驱动的方式实现系统层面的集成与协同。借助工业物联网(IIoT)、大数据分析及人工智能等技术,构建以数据为核心的设备运行管理平台,成为当前提升分拣效率、降低能耗与故障率的重要路径。通过对设备运行过程中的多源异构数据进行采集、融合与建模,能够实现对设备状态的全面感知与实时调控,从而提升整体系统的响应速度与稳定性。在高速分拣过程中,结合视觉识别、重量检测与运动轨迹预测等多维数据,可动态调整分拣策略,避免因包裹堆叠或路径冲突导致的停机问题。

从系统集成的角度来看,数据驱动的核心在于打通设备层、控制层与管理层之间的信息壁垒,实现纵向贯通与横向协同。采用 OPCUA、MQTT 等通用通信协议,将分布在不同节点的传感器、执行器与控制器连接至统一的数据平台,使各类运行参数(如电机转速、输送带张力、识别准确率等)得以集中处理与可视化展示。通过部署边缘计算节点,可在本地完成关键数据的预处理与快速响应,减少对云端的依赖,提高系统实时性。在此基础上,进一步引入数字孪生技术,建立与物理设备相对应的虚拟模型,实现运行仿真、故障模拟与优化验证等功能,为设备调试、运维与升级提供高精度的决策支持。这种虚实融合的集成方式已在多个大型物流中心得到应用,显著提升了系统的运行效率与可维护性。

实际应用中,数据驱动的性能提升效果体现在多个维度。一方面,通过机器学习算法对历史运行数据进行训练,可挖掘出影响分拣效率的关键因素,并据此优化控制逻辑与调度策略;另一方面,基于数据分析的预测性维护系统可提前发现潜在故障隐患,如轴承磨损、皮带偏移或光电传感器失效等问题,从而有效降低非计划停机时间^[8]。在能源管理方面,通过对各模块的功耗数据进行建模分析,可以实现动态节能控制,如在低负荷时段自动进入休眠模式,或根据负载变化调整驱动功率输出,进而达

到绿色低碳的运行目标。随着 5G 通信与 AI 算力的持续下沉,未来机电一体化分拣设备将进一步向“感知-分析-决策-执行”闭环智能系统发展,推动整个智能仓储体系迈向更高水平的自动化与智能化阶段。

5 结语

机电一体化分拣设备作为智能仓储系统的核心执行单元,其性能优劣直接影响整体物流效率与运营成本。本文围绕设备的机械结构优化、控制系统升级与数据集成应用三个方面展开探讨,提出了基于模块化设计、智能控制算法及数据驱动协同的优化路径。通过实际案例分析表明,融合先进传感技术、边缘计算与人工智能算法的分拣设备,不仅在运行效率、稳定性与适应性方面表现出显著优势,也为未来仓储系统向柔性化、智能化方向发展提供了有力支撑。后续研究可进一步探索 5G 通信、数字孪生与自主决策算法在分拣系统中的深度应用,推动智能物流装备迈向更高层次的自动化与智能化水平。

参考文献

- [1] 陈晓宇,江琿世,牟俊杰.机械电气一体化在智能仓储系统中的应用与优化[N].企业家日报,2025-03-22(004).
- [2] 周晓炯,傅涛.物联网技术在智能仓储供应链管理系统中的应用[J].集成电路应用,2024,41(10):212-213.
- [3] 何国强.智能制造系统中的智能仓储设计分析[J].模具制造,2024,24(07):180-182.
- [4] 游江伟.智能仓储系统中多机器人任务分配方法研究[D].中北大学,2024.
- [5] 纪飞.智能仓储系统中货位分配与任务调度研究[D].合肥工业大学,2023.
- [6] 张根林,田琳琳.遗传算法在 RFID 智能仓储系统中的应用研究[J].制造业自动化,2022,44(08):166-168.
- [7] 付晓.智能仓储系统中机器人优化配置及动态路径规划研究[D].西安电子科技大学,2021.
- [8] 王科教.智能仓储系统中作业调度策略研究[D].西安电子科技大学,2021.

版权声明:©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS