

机电一体化技术的发展趋势及在包装设备的应用

陈太柏

佛山天玻包装有限公司, 广东 佛山 528000

DOI:10.61369/ETQM.2025080021

摘要： 本文探讨了机电一体化技术在包装设备中的应用及其发展趋势。随着智能制造和工业4.0的推进，机电一体化技术在包装行业得到了广泛应用，并显著提升了设备的自动化和智能化水平。文章概述了机电一体化技术的发展方向，包括人工智能和模糊数学在该领域的应用。分析了包装设备的基本概念和分类，指出传统设备的局限性。介绍了机电一体化技术在包装设备中的具体应用，如自动化与智能化升级、智能传感器与执行器的集成，以及基于AI的故障预测与维护系统。并探讨了包装设备的创新与优化，并通过实例展示了降本增效的显著成果。本文认为，机电一体化技术在包装设备领域具有广阔前景，将推动行业向更高效、智能、绿色的方向发展。

关键词： 机电一体化；智能制造；包装系统；人工智能驱动的自动化；可持续生产

Development Trends of Mechatronic Integration and Its Applications in Packaging Equipment

Chen Taibai

Foshan Tianbo Packaging Co., Ltd. Foshan, Guangdong 528000

Abstract : This paper discusses the application of mechatronics technology in packaging equipment and its development trend. With the promotion of intelligent manufacturing and Industry 4.0, mechatronics technology has been widely used in the packaging industry and has significantly improved the automation and intelligence of equipment. The article outlines the development direction of mechatronics technology, including the application of artificial intelligence and fuzzy mathematics in this field. The basic concept and classification of packaging equipment are analysed, and the limitations of traditional equipment are pointed out. Specific applications of mechatronics technology in packaging equipment, such as automation and intelligent upgrading, integration of intelligent sensors and actuators, and AI-based fault prediction and maintenance system, are introduced. It also discusses the innovation and optimisation of packaging equipment, and demonstrates the remarkable results of cost reduction and efficiency through examples. This paper argues that mechatronics technology has a broad prospect in the field of packaging equipment, which will promote the industry to develop in a more efficient, intelligent and green direction.

Keywords : mechatronic integration; smart manufacturing; packaging systems; AI-driven automation; sustainable production

引言

从行业背景来看，机电一体化技术的发展离不开全球工业自动化的浪潮。随着“中国制造2025”等战略的深入实施，我国制造业正朝着智能制造方向转型升级^[1]。随着机电一体化技术的应用，包装设备在性能方面取得了巨大进步。当代的包装机械利用精准的传感器和控制系统，可以随时调整包装过程中的各项参数，以确保每个包装都符合严格的质量标准。因此，对包装设备的技术应用进行研究是非常重要的。

一、机电一体化技术的发展趋势

(一) 机电一体化技术的整体发展方向

机电一体化技术标志着工业从机械化向信息化、智能化的跃迁，深刻体现了科技对生产力的革新作用。人工智能和模糊数学

的融入赋予机械系统学习优化与模糊决策能力，如具备环境适应性的无人驾驶汽车和自主优化的工业机器人。该技术已渗透制造、医疗、航天等领域，显著提升设备自主决策能力，使机械从程序化工具转变为能分析创新的智能体。未来结合物联网、大数据等技术，将推动更智能、网络化的机电系统发展，持续引发社

会生产与生活方式的变革。其中人工智能赋予了机械设备学习和自我优化的能力，使其能够根据环境和任务的变化进行动态调整，提高工作效率和精度^[2]。

(二) 机电一体化与包装设备相关的技术趋势

机电一体化技术驱动包装设备向自动化、智能化转型，通过融合机械、电子、信息等技术实现性能跃升。其控制系统依托微机电技术精准调控设备动作，提升精度与良品率，如高精度灌装机械可精确控制液体流量^[3]。集成传感与数据分析系统实时监控压力、温度等参数，预判并规避生产异常。模块化设计赋予设备灵活组合能力，支持快速切换产线配置；标准化部件则降低制造成本并简化维护流程。以德国包装机械为例，模块化机电一体化设备已广泛应用于食品、医药等领域，推动全球包装行业技术迭代与产业升级^[4]。

(三) 机电一体化与包装设备提升生产效率

机电一体化包装设备融合机械与电子技术，借助传感器、计算机及通信技术实现智能运作。典型设备包括自动折叠封箱机（适配流水线，高效封箱）、给袋式（自动装袋，多形态兼容）、给罐式（高效密封罐装）和制袋式（灵活可调）包装机。通过精准控制与智能协同，推动行业向高精度、柔性化升级，降低人工干预并提升生产效率^[5]。

二、机电一体化技术在包装设备中的具体应用

(一) 自动化与智能化升级

自动化控制系统能够实现灌装机、封口机、包装机等包装设备的全自动化操作，采用 Siemens 的 S7-1500 PLC（可编程逻辑控制器）作为核心控制器^[6]，通过 Omron 的 E3Z 光电传感器和 Honeywell 的压力传感器，实时监控生产线的状态。

该系统可以根据产品的特性和包装要求，精确地控制物料的重量和体积。对于重量控制，系统的精度可以达到 $\pm 0.5\text{g}$ ；在体积控制方面，系统能够精确到 $\pm 0.1\text{ml}$ ，从而确保每个包装严格符合预设标准^[7]。假设有一个液体充填系统，希望控制每个包装瓶中的液体体积精确到指定的量。可使用以下公式来计算所需的充填时间：

$$T = \frac{V_i + \Delta V}{Q_{\text{avg}}} + \tau_{\text{delay}} + \frac{K_a}{\sqrt{Q_{\text{avg}}}} \quad (1)$$
 式中， T 为充填时间（单位：秒）； V_i 为目标充填体积（单位：毫升或立方厘米）； ΔV 为充填精度要求的额外体积（单位：毫升），用于确保体积的精确性； Q_{avg} 为充填系统的流量率（单位：毫升/秒或立方厘米/秒）， τ_{delay} 为系统延迟时间（单位：秒），包括传感器响应时间和控制系统的反应时间。 K_a 为一个调整系数，用于补偿流速波动和系统误差（单位：秒）。例如，如果目标充填体积 V_i 是 500 毫升，而充填系统的流量率 Q_{avg} 是 100 毫升/秒，那么充填时间 t 将是：

$$t = \frac{500}{100} = 5\text{s} \quad (2)$$
 这意味着系统需要运行 5 秒来充填每个包装瓶到 500 毫升。安装高精度的流量控制器来监测控制充填系统的流量率。采用 PLC（可编程逻辑控制器）来自动化管理充填过程。使用高精度的液位传感器或流量计来实时监测包装瓶中的液

体量。实施一套错误检测纠正机制，以识别处理充填过程中的任何异常。

基于物料的特性，如尺寸、重量和形状，输送带速度 0-10 米/秒。料槽尺寸可适应 50mm x 50mm 至 200mm x 200mm 的物料。气动装置 4 个气缸，每个气缸推力为 100N。10 个光电传感器，2 个电感传感器，1 个颜色识别传感器。运用西门子 S7-1500 PLC，每小时可处理 5000 个物料。分拣准确率： $\geq 99\%$ 。故障率： $\leq 1\%$ 。一旦出现故障或异常情况，PLC 控制系统将立即触发报警程序，并通过人机界面显示故障信息，通过 PLC 控制系统收集生产线运行数据，利用这些数据对生产线进行持续优化，提高生产效率。

(二) 智能传感器与执行器的集成

在包装设备中，智能传感器如光电传感器、电感传感器和颜色识别传感器被广泛应用。光电传感器检测物料的存在与否，确保连续、准确的物料供给。电感传感器用于识别物料的金属特性，如金属异物检测，保证产品质量^[8]。颜色识别传感器则用于识别物料的颜色，确保包装设计的准确性，尤其在处理颜色多样的产品时。

例如，传感器检测产品温度过高时，控制系统可指令执行器提高冷却风扇转速，降低温度，有助于实现包装设备智能化。通过数据分析和优化，控制系统可学习并优化生产参数。假设当前产品温度为 T_D ；目标温度为 T_M ；风扇的转速调整量为 S ，则控制系统指令可以表示为：

$$S = k \times (T_M - T_D) \quad (4)$$
 式中， k 是一个调节系数，目的是为了确保引擎转动频率的调节与温差保持在一个恰当的比例。依据这种调控体系集成了智能传感器与执行器的封装机械，得以进一步增强其智能化与适应性，促成制造流程的提升。

(三) 基于 AI 的故障预测与维护系统

机电一体化包装设备基于 AI 收集设备运行数据，预测可能故障，提前维修，避免意外停机。

包装设备利用机器学习算法对这些数据进行处理和分析。例如，可以使用决策树、随机森林或神经网络等算法来训练模型，以识别设备运行状态的异常模式^[9]。假设有一个数据集，包含了各个传感器采集的温度、湿度、压力等数据特征 (X_1, X_2, X_3, \dots) ，以及每个数据点对应的设备状态标签 $(Y, 0$ 表示正常, 1 表示异常)。可以使用这个数据集训练一个随机森林模型，用于预测设备的运行状态。包装设备的运行状态见表 3。

表 3 包装设备的运行状态

温度 (°C)	湿度 (%)	压力 (kPa)	设备状态标签
25	45	101.3	正常
27	50	101.5	正常
30	55	101.7	正常
35	60	102.0	警告

如果输入包含温度 33°C、湿度 59%、压力 101.9kPa 的数据点至分析模型后，可以获得对应设备的状况预估结果。利用人工智能的设备障碍预见及保养机制能够及时发现潜在故障实施必要的保养策略，以防止故障导致的生产中止和损害。

三、包装设备的创新与优化

(一) 机电一体化技术包装设备创新

机电一体化技术创新在于智能传感器与执行器的集成。在生产线上，需编写 PLC 控制程序并进行测试。系统初始化后，检查传感器、气动阀及输送带状态，集成能量回收装置降低能耗。设计初期，利用机电一体化技术了解用户需求，使用 Siemens TIA Portal PLC 编程软件编写控制程序。将编写好的 PLC 程序下载到实际的 PLC 控制器中。在工业自动化场景中，智能传感器和执行器会被实际部署，并通过与控制系统的连接进行测试。测试会生成大量的实时数据，反映传感器和执行器的性能以及与控制系统的协同工作效率。C++ 可以用于轻松集成传感器和执行器，例如通过 #include 库读取模拟传感器数据或控制 LED 等执行器。在生产线上进行逐步调试，观察传感器信号是否准确，执行器（如气动阀）是否响应及时。

机电一体化技术包装设备创新测试结果见表 4。

表 4 机电一体化技术包装设备创新测试结果

测试项目	测试数据	期望值 / 标准	结果评价
PLC 扫描周期	8ms	<10ms	符合期望
输入响应时间	4ms	<5ms	符合期望
输出响应时间	4.5ms	<5ms	符合期望
传感器精度测试	± 0.3%	± 0.5% 以内	符合期望
气动阀响应时间	80ms	<100ms	符合期望
输送带运行速度稳定性	设定速度的 ± 3%	稳定在设定速度的 ± 5% 以内	符合期望
能量回收效率	12%	>10%	符合期望
连续稳定运行时间	80 小时	连续运行 72 小时以上无故障	符合期望
机械部件运动轨迹误差	± 0.08mm	< ± 0.1mm	符合期望
部件最大应力	材料许用应力的 75%	< 材料许用应力的 80%	符合期望

(二) 包装设备降本增效

包装行业通过分析流水线瓶颈，优化流程并剔除冗余环节，以提升效率、降低成本。建立标准化操作流程图指导执行，结合

定期智能维护确保设备稳定运行。优化包装设计，采用轻量化可回收复合材料，在保障产品防护功能的同时减少用料量，降低材料成本^[10]。

全自动颗粒包装机通过机电一体化技术实现高效精准包装，其速度达 60 袋 / 分钟，适配 5 克 - 1 千克颗粒物料，制袋尺寸长 30-180mm、宽 25-120mm，支持三 / 四边直纹封口，计量精度 ≤ ± 0.8%。采用可回收聚乙烯 / 聚丙烯材料，全自动完成计量、制袋、充填等工序，并集成数据分析系统实时监控生产。某企业应用后，生产线自动化率达 90%，人工干预减少 60%，年产量提升显著。物料浪费率从 5% 降至 1.5%，按年耗千吨原料计算节省 350 吨，年成本节约 175 万元。温控自动化减少操作失误，员工转向高价值工作，实现人力成本优化与产品质量双提升。

机电一体化技术在包装设备降本增效方面的成果见表 5。

表 5 机电一体化技术在包装设备降本增效方面的成果

指标	引入前	引入后	改善幅度
生产线自动化程度	70%	90%	+20%
人工干预率	40%	16%	-60%
物料浪费率	5%	1.5%	-70%
设备故障率	6%	3.6%	-40%
维护成本	100%	70%	-30%

机电一体化技术在包装设备降本增效方面有了明显的效果，从而让企业在激烈的市场竞争中占据更有利的位置。

四、结论

工业 4.0 背景下，机电一体化技术驱动包装设备向智能化升级，通过集成传感器、执行器和 PLC 控制实现精准调控与实时故障预警，提升效率与包装质量。流程优化与数据分析进一步降低人工干预和物料损耗，助力企业降本增效。未来，该技术将深化智能、绿色创新，推动包装行业向高效可持续方向发展。

参考文献

- [1] 巴翠. 浅析机电一体化技术在机械工程中的应用与发展趋势 [J]. 中国设备工程, 2022(3): 181-182.
- [2] 孟凡旭, 李海涛, 李小雷. 机电一体化技术在机械工程中的应用与发展趋势 [J]. 现代工业经济和信息化, 2022, 12(12): 92-93.
- [3] 杨海波, 杨丽. 人工智能驱动的包装设备自动化系统设计与实践 [J]. 中国机械工程, 2023, 34(18): 2205-2211.
- [4] 李晓, 李文雅. 工程机械中机电一体化技术的应用及发展趋势研究 [J]. 中国科技期刊数据库工业 A, 2022(8): 3.
- [5] 李娟, 吴明辉. 柔性化生产视角下包装设备的机电一体化设计优化 [J]. 食品与机械, 2022, 38(12): 112-117.
- [6] 郭磊全. 机电一体化数控技术的应用现状及发展趋势 [J]. 造纸装备及材料, 2023, 52(9): 104-106.
- [7] 任美. 机电一体化数控技术在机械加工中的应用 [J]. 工程技术发展, 2022, 3(1): 36-38.
- [8] 王志强, 刘俊杰. 机电一体化技术在智能包装设备中的传感器集成应用 [J]. 包装工程, 2023, 44(10): 88-93.
- [9] 陈建军, 张宏伟. 基于机器学习的包装设备故障预测模型研究 [J]. 制造业自动化, 2024, 46(2): 75-80.
- [10] 刘畅, 王磊. 工业 4.0 时代机电一体化技术在包装设备中的绿色制造应用 [J]. 机械设计与制造工程, 2024, 53(5): 35-40.