

机械控制在食品包装机械中的应用与改进

张 静¹ 鲁时寒²

1. 宜宾五粮液股份有限公司 四川 宜宾 644000

2. 61902 部队 四川 宜宾 644000

摘 要：为解决食品包装机械传统控制技术精度不足、协同性差、智能性薄弱及适配性低等问题，本文梳理机械控制技术的核心原理与应用特性，分析其在包装各工序的应用现状与现存短板。从控制算法、硬件结构、智能功能三大维度提出针对性优化方案，验证了方案的技术与经济可行性。研究可提升包装设备运行精度与稳定性，助力食品包装行业智能化、高效化、柔性化发展。

关键词：机械控制技术；食品包装机械；应用；改进

引言：食品包装是食品生产的关键收尾环节，包装设备的自动化与精准化水平直接关乎食品质量与安全与生产效益。机械控制技术作为食品包装机械的核心支撑，广泛应用于灌装、封口、贴标等全流程。当前传统控制技术难以适配高速、多元、智能化的现代生产需求，存在精度偏差、联动卡顿、故障响应滞后等诸多问题。基于此，本文探究其应用短板，制定科学的优化改进方案，为食品包装机械技术升级提供参考。

1 食品包装机械与机械控制技术核心理论基础

1.1 食品包装机械核心分类与工作原理

(1) 常见食品包装设备类型：食品包装生产线核心设备涵盖灌装、封口、贴标、分拣、装箱五大类。灌装设备适配液体、粉体、颗粒等各类食品物料，实现定量填充；封口设备用于包装容器密封，保障食品密封性；贴标设备完成产品标签精准粘贴；分拣设备依据规格、重量筛选分级产品；装箱设备实现成品自动化归集装箱，适配规模化生产。(2) 食品包装机械工艺流程与核心作业环节：整体工艺流程以物料输送为基础，依次完成定量包装、密封加工、标识粘贴、质检分拣、成品装箱全流程。核心作业环节包含物料精准计量、包装成型密封、外观标识加工、产品分拣筛选、成品规整收纳，各环节衔接紧密，构成连续化包装作业体系。(3) 食品包装设备对控制技术的特殊要求：基于食品生产安全特性，设备控制需满足四大核心要求。一是卫生性，设备结构与控制程序需适配食品洁净生产标准，无卫生死角；二是稳定性，可长时间连续运行，减少停机故障；三是高精度，保障定量、封口等工序误差可控；四是防污染，控制运行过程不产生粉尘、杂物污染食品^[1]。

1.2 主流机械控制技术核心原理

(1) PLC可编程逻辑控制技术的结构与控制原理：

PLC由CPU、输入输出模块、存储模块组成，通过预先编写的控制程序，接收生产信号并输出操作指令，实现对包装设备启停、工序切换的程序化、自动化控制，适配流水线固定作业流程。(2) 伺服控制与变频调速控制技术运行机制：伺服控制可精准调控设备转速、位移与力矩，实现高精度机械动作；变频调速技术通过改变电源频率调节设备运行速度，可根据生产需求灵活调整包装效率，兼顾节能性与作业适配性。(3) 传感器检测与智能反馈控制技术工作原理：各类传感器实时采集设备运行速度、物料重量、包装精度等生产数据，将物理信号转化为电信号传输至控制系统，系统对比标准参数后完成智能微调，形成闭环反馈控制。

1.3 机械控制技术适配食品包装的技术特性

(1) 自动化联动控制特性，适配流水线连续作业需求：各类控制技术可实现多设备联动协同，让灌装、封口、贴标等工序无缝衔接，无需人工干预，大幅提升生产线连续作业效率，适配规模化食品生产。(2) 高精度调节特性，满足食品定量包装、精准封口要求：依托伺服、PLC精准调控能力，可精准控制物料灌装量、封口压力与位置，有效降低包装误差，保障食品包装规格统一、密封达标。(3) 实时监测与故障预警特性，保障食品生产安全与设备稳定：传感器实时监测设备运行状态与生产参数，可及时识别卡顿、偏差、异常停机等问题，触发预警提示，规避生产隐患，保障生产稳定与食品安全。

2 机械控制在食品包装机械中的应用现状及现存问题

2.1 机械控制在食品包装各工序中的具体应用

(1) 定量灌装环节：当前食品灌装工序普遍采用PLC精准定量控制技术，依托预设程序计量物料容量、重量，适配液体、颗粒、粉体等多种食品物料灌装。同时结合

流量自适应调节技术,可根据物料流速、密度变化实时微调灌装参数,有效解决物料出料不均、灌装过量或不足的问题,保障批量灌装的基础准确性。(2)封口与热封环节:食品包装热封、密封工序依托温度、压力、速度协同控制技术实现自动化作业。控制系统实时采集热封温度、压合压力、设备运行速度参数,实现三者动态匹配,避免温度过高烫损包装材料、温度过低密封不严等问题,适配塑料袋、铝箔袋、复合膜等各类食品包装的封口加工需求。(3)贴标与分拣环节:贴标工序以伺服定位控制技术为核心,精准调控贴标位置与角度,杜绝标签偏移、歪斜、褶皱等问题。分拣环节结合视觉联动控制技术,通过视觉传感器采集产品外观、规格、重量信息,联动控制系统快速筛选残次品、规格不符产品,实现自动化精准分拣,提升产品合格率^[2]。(4)成品装箱环节:成品装箱主要运用自动化时序控制与机械手协同控制技术。通过时序控制规范输送、归位、装箱、封箱各工序的运行节奏,搭配机械手精准抓取、摆放成品,实现流水线无人化装箱作业,替代传统人工装箱模式,适配大批量成品包装收尾作业。

2.2 现有控制技术应用优势

(1)大幅提升食品包装自动化水平与生产效率:机械控制技术实现灌装、封口、贴标、装箱全流程联动自动化,替代大量人工操作,有效缩短单工序作业时间,实现流水线连续不间断生产,大幅提升食品包装的整体生产效率,适配现代化规模化食品生产需求。(2)降低人工误差,提升包装精度与产品标准化程度:依托PLC、伺服控制等高精度技术,设备可稳定执行标准化作业参数,规避人工操作带来的灌装不均、封口不规范、贴标错位等问题,统一产品包装规格与质量标准,提升食品包装的规整度与标准化水平。(3)减少人工接触,提升食品包装环节卫生安全性:全自动化控制作业减少人工直接接触食品及包装设备的频次,有效降低细菌、灰尘等污染物带入风险,规避人工操作造成的食品污染问题,严格契合食品生产的洁净、卫生安全规范要求。

2.3 目前应用中存在的核心问题

(1)传统控制算法响应滞后,高速包装工况下精度偏差较大:多数传统包装设备采用常规控制算法,数据运算与指令响应速度有限。在高速连续包装工况下,系统响应滞后易导致灌装定量、封口定位出现偏差,高速生产状态下产品误差率明显上升,影响包装质量稳定性。(2)设备控制模块化程度低,多工序协同联动性差:现有部分包装设备控制系统集成度、模块化程度不足,各工序控制单元相对独立,数据互通性差。灌装、封口、

贴标等工序无法高效协同,易出现工序衔接卡顿、节奏不匹配等问题,影响整条生产线的运行流畅度。(3)智能监测能力不足,故障排查滞后、废品率偏高:多数设备仅具备基础运行监测功能,无法实现全方位、精细化状态监测。设备轻微故障、参数偏移难以被及时识别,故障预警滞后,无法提前干预生产异常,导致批量废品产生,增加生产损耗与生产成本。(4)部分控制设备适配性差,难以适配多规格食品包装生产:当前多数控制程序与设备参数为固定模式,针对性强、通用性弱。面对大小、规格、材质不同的食品包装产品,设备参数调试繁琐,无法快速适配柔性生产需求,难以满足当下食品多元化、小批量的生产模式。

3 食品包装机械中机械控制技术的优化改进方案

3.1 控制算法优化改进

(1)优化模糊PID控制算法,提升高速包装工况下的动态调节精度。传统PID算法在高速连续包装作业中参数固定,抗干扰能力弱,易出现定量偏差、封口不稳等问题。通过引入模糊控制规则对传统PID参数进行动态整定,可根据设备运行速度、物料特性、环境波动自动调整控制参数,有效弥补高速工况下系统响应滞后的缺陷,提升灌装、封口等核心工序的动态调节精度与运行稳定性。(2)引入自适应预测控制算法,适配多规格食品包装参数切换。针对现有设备难以适配多品类、多规格食品生产的问题,引入自适应预测控制算法。该算法可通过历史运行数据建立参数模型,提前预判不同包装规格的运行参数需求,在更换产品类型时自动完成参数匹配与微调,无需人工反复调试设备,大幅提升设备柔性生产能力,适配食品行业小批量、多元化的生产模式^[3]。(3)优化时序控制逻辑,缩短设备响应延迟,提升流水线协同效率。针对多工序联动卡顿、衔接滞后问题,对生产线时序控制逻辑进行重构优化。精简冗余控制程序,合理分配各工序运行时序,同步校准灌装、贴标、分拣、装箱的启停节奏,消除工序等待时差,降低系统响应延迟问题,有效提升整条包装流水线的联动协同效率与连续作业能力。

3.2 控制系统硬件与结构优化

(1)升级高精度传感器与伺服执行元件,提升设备运行稳定性。替换传统精度低、灵敏度差的检测与执行硬件,搭载高精度压力、流量、视觉传感器与高性能伺服执行元件。高精度传感器可实时采集精细化生产数据,伺服元件可精准执行位移、速度、压力动作,有效减少设备运行误差,降低机械抖动、定位偏移等问题,全面提升设备高速运行状态下的稳定性。(2)采用模块化控制

架构,实现包装设备功能快速适配与迭代。摒弃传统一体式固定控制结构,搭建标准化模块化控制架构,将灌装控制、封口控制、检测控制、预警控制等功能独立模块化设计。各模块可独立运行、单独替换、快速拓展,不仅能够快速适配不同包装工艺的生产需求,还便于设备后期维修保养与技术迭代升级。(3)优化电气控制布局,满足食品车间防潮、防尘、防腐蚀卫生要求。结合食品生产洁净卫生标准,重新规划设备电气控制硬件布局。将电控元件进行密封防护处理,远离物料加工区域,优化线路排布方式,减少积尘、积水隐患,选用耐腐蚀、防水防尘的电气配件,杜绝潮湿、粉尘环境对控制系统的损耗,符合食品车间安全生产与卫生规范^[4]。

3.3 智能控制功能升级改进

(1)集成视觉检测系统,实现包装缺陷实时识别与自动纠错。在包装生产线集成高清机器视觉检测系统,联动控制系统形成闭环控制。可实时识别包装漏封、歪标、灌装缺量、包装破损等各类缺陷,快速定位异常产品,并自动输出纠错指令,完成参数微调与残次品分拣,实现检测、纠错、分拣一体化智能作业。(2)增设备状态实时监测与智能预警功能,降低设备故障率。搭建设备全状态监测体系,对设备运行温度、运行速度、电气参数、机械磨损等核心数据进行全天候采集分析。系统可智能识别异常运行状态,提前发出故障预警,精准定位故障点位,提醒工作人员及时检修,避免小故障演变为设备停机故障,有效降低设备故障率与生产废品率。(3)搭建人机交互优化系统,简化参数调试与设备操作流程。优化设备人机交互界面,简化操作逻辑,将复杂的控制参数进行可视化、模块化展示。针对不同包装产品预设通用参数模板,工作人员可一键调用、快速微调,降低设备操作门槛,解决传统设备操作繁琐、调试耗时久的问题,大幅提升生产调试效率。

3.4 改进方案可行性与应用优势分析

(1)技术可行性:本次优化所采用的模糊PID算法、视觉检测、模块化控制、智能监测等技术均为工业领域

成熟应用技术,技术体系完善、落地经验丰富。现有食品包装机械设备结构与控制系统可兼容本次优化方案,无需大规模更换设备主体,技术改造难度低,具备充分的落地实施条件。(2)经济可行性:本次优化方案可有效提升生产精度、降低产品废品率,减少物料浪费与生产损耗。同时智能预警、自动化调试功能可减少设备停机时间,提升生产产能,降低人工操作与设备维修成本,长期运行可实现良好的降本增效效果,具备较高的经济应用价值^[5]。(3)应用优势:本次从算法、硬件、智能功能多维度优化后,包装设备可实现运行精度、生产效率、设备稳定性、生产通用性的全方位提升。既解决了传统设备高速生产精度差、多规格适配性弱、故障排查滞后等痛点,又满足了食品行业洁净生产、柔性生产、智能化生产的现代化发展需求,应用推广价值显著。

结束语

本文系统分析了机械控制技术在食品包装机械中的应用现状,总结了传统技术存在的各类核心问题,针对性完成算法、硬件、智能功能的全方位优化设计。本次改进方案落地性强、性价比高,可有效解决高速生产精度低、多规格适配性弱、故障率高等行业痛点,全面提升包装生产线综合性能,对推动食品包装机械智能化升级、实现降本增效、适配现代化食品生产模式具有重要实践价值。

参考文献

- [1]李晨,孟庆书.自动化食品包装技术的优势及其发展现状[J].现代食品,2022,3(5):129-131.
- [2]王明友,徐诚信,宋卫东,等.食用菌自动膜式装袋机设计与试验[J].中国农机化学报,2023,41(6):94-98.
- [3]苏小波.生物基可降解食品包装材料关键技术研究[J].科技风,2021,7(19):112-114.
- [4]秦玉霞.食品包装机械的自动化技术[J].食品安全导刊,2021,11(21):146-147.
- [5]袁文婷,吕疆涛.自动化是食品包装机械发展的必然之路[J].中国食品,2024,16(Z1):251-255.