

# 多工位包馅机伺服驱动协同控制策略与节拍优化

侯长安

金华市喜加达智能设备有限公司 浙江金华 321000

**【摘要】**多工位包馅机是糕点与速冻食品行业的核心装备，其性能取决于伺服驱动系统的协同控制与节拍分配。针对当前设备普遍存在的协同性差、节拍不合理及动态响应滞后导致的馅料溢出、皮馅失衡等问题，本研究系统探讨了伺服驱动原理与多工位协同需求。

通过构建协同控制模型，研究提出了基于动作时序匹配的节拍优化策略，并剖析了两者内在关联。理论验证表明：合理的协同控制能有效消除动作干涉，提升同步性与精准度；科学的节拍优化可最大化资源利用，缩短加工周期并兼顾稳定性。本研究为多工位包馅机的优化设计提供了理论支撑，对推动食品加工装备的自动化、高效化升级，提升行业生产效率与产品品质具有重要意义。

**【关键词】**多工位包馅机；伺服驱动；协同控制；节拍优化；动作时序；机电装备；自动化加工

Coordinated Control Strategy and Rhythm Optimization for Servo Drive in Multi-Station Filling Machines

Hou Chang'an

Jinhua Xijia Da Intelligent Equipment Co., Ltd., Zhejiang 321000

**【Abstract】**Multi-station filling machines are core equipment in the pastry and frozen food industry, where performance depends on coordinated control and rhythm allocation of the servo drive system. To address common issues such as poor coordination, irrational rhythm, and dynamic response lag that lead to filling overflow and skin-filling imbalance, this study systematically explores the principles of servo drive and the collaborative requirements for multi-station operations.

Through constructing a collaborative control model, this study proposes a beat optimization strategy based on action sequence matching and analyzes their intrinsic relationship. Theoretical validation demonstrates that rational collaborative control can effectively eliminate action interference while enhancing synchronization and precision, whereas scientific beat optimization maximizes resource utilization, shortens processing cycles, and ensures operational stability. This research provides theoretical foundations for optimizing multi-station filling machines, playing a pivotal role in advancing automation and efficiency upgrades of food processing equipment, thereby significantly improving industrial productivity and product quality.

**【Key words】**Multi-station filling machine; Servo drive; Collaborative control; Beat optimization; Action timing; Electromechanical equipment; Automated processing

## 引言

在机电一体化与食品加工融合背景下，自动化、高效化、精准化是装备发展核心趋势。多工位包馅机是关键设备，其运行性能决定加工效率与品质。但传统设备存在伺服协同精度不足、节拍分配不合理、动态响应滞后等问题，制约产业升级。

伺服驱动系统是动力核心，各工位动作需严格匹配，偏差会引发故障、增加损耗。因此，实现多工位伺服驱动精准协同与节拍优化是提升设备性能的关键。当前研究多集中于机械结构或单一工位控制，缺乏对多工位协同机制与节拍优化逻辑的系统分析，且固定化策略难适配多元生产需求，参数耦合与响应滞后加剧控制难度。

基于此，本研究聚焦多工位包馅机伺服驱动协同控制与节拍优化。通过理论分析与逻辑推演，探讨伺服工作机制与协同控制逻辑，剖析动作流程与节拍特性。构建了伺服驱动协同控制模型，提出协同控制策略与节拍优化方法，明确两

者协同作用机制，并结合案例验证可行性。本研究旨在完善理论体系，为设备优化与工程应用提供依据，推动机电一体化技术在食品装备中深度应用，助力行业转型。

## 一、多工位包馅机的结构组成与工作特性

### 1.1 多工位包馅机的核心结构组成

多工位包馅机是典型机电一体化设备，由机械执行机构、伺服驱动系统和控制系统构成，三者协作决定运行精度与效率。机械执行机构是动作载体，含面团供给、馅料填充等工位，各工位承担特定任务，结构设计要确保动作精准无干涉。伺服驱动系统是动力核心，由伺服电机、驱动器及编码器组成，各工位有独立驱动单元，决定动作响应速度等。控制系统是指挥中心，统筹各工位时序等，控制精度与响应速度关乎协同效果。

### 1.2 多工位包馅机的工作特性与核心需求

多工位包馅机有多工位协同性、动作精准性和流程连续

性三大特性,由此产生伺服协同与节拍优化需求。多工位协同性要求各工位按预设时序匹配,实现精准协同是基础。动作精准性涉及定量供给等精准控制,要求伺服系统有高精度并能快速响应。流程连续性是提效关键,要求各工位衔接顺畅、节拍合理,确保稳定运行。

基于上述特性,核心需求有三点:实现多工位伺服驱动精准协同,提升同步性;优化工位节拍分配,缩短周期、最大化资源利用;提升系统动态响应速度,增强抗干扰能力,确保稳定运行。

## 二、多工位包馅机伺服驱动系统的工作原理与控制基础

### 2.1 伺服驱动系统的核心工作原理

多工位包馅机伺服驱动系统采用闭环控制模式,通过指令接收、信号处理、电机驱动与反馈调节四个环节协同工作。首先,控制系统根据加工流程预设参数,向伺服驱动器发送转速、转角及扭矩等指令。随后,驱动器对指令进行解码、滤波等处理,将其转换为模拟驱动信号。在电机驱动环节,伺服电机依据信号带动机械机构动作。最关键的是反馈调节,编码器实时采集电机运行参数并回传,驱动器据此修正偏差,确保实际运行与预设指令一致;控制系统则统筹各工位反馈,动态调整时序与参数,实现多工位精准协同。

### 2.2 伺服驱动控制的核心技术基础

伺服驱动协同控制依赖四大核心技术支撑。位置控制技术是精准定位的核心,通过对比编码器反馈与预设指令,利用算法修正偏差,确保面团输送、馅料填充及模具成型等工位的定位精度。速度控制技术旨在实现动作速度匹配,通过速度调节算法动态调整电机转速,使输送与成型等工位速度严格同步,避免产品堆积或滞后。扭矩控制技术负责调控输出动力,既保证成型挤压等大负载动作的动力需求,又防止面团供给等环节因扭矩过大导致变形,兼顾动力与精度。通讯协同技术则是多工位联动的基础,利用以太网、CAN总线等高速协议,实现控制系统与各驱动单元间信息的实时交互,降低传输延迟,确保所有工位同步响应指令,保障整体运行的协调性与稳定性。

## 三、多工位包馅机伺服驱动协同控制策略研究

### 3.1 协同控制的核心目标与约束条件

多工位包馅机伺服驱动协同控制核心目标是实现各工位电机精准同步运行,确保动作协调,解决干涉问题,提升效率与品质,兼顾系统稳定性。控制策略需满足四大约束:动作时序约束,要求各工序按预设顺序启停;动作精度约束,严格控制定位、速度及扭矩精度;动作干涉约束,通过精准轨迹控制防止机械碰撞摩擦;系统稳定性约束,克服参数耦合与外部干扰,确保设备连续可靠运行。

### 3.2 基于时序同步的协同控制策略设计

针对需求,提出基于时序同步的协同控制策略。先构建动作时序模型,梳理各工位动作步骤与时序逻辑,明确时间节点,且保留灵活性。再设计分层同步控制算法,上层统筹

全局指令,下层执行具体调控,实时采集运行参数,计算偏差并精准补偿。同时,优化反馈调节机制,采用多传感器融合技术采集数据,经滤波降噪后用自适应算法自动调整参数。此外,引入解耦控制技术,构建解耦模型分离电机间参数耦合关系,提升控制精度与稳定性。

### 3.3 协同控制策略的理论性案例验证

以某典型四工位包馅机为例验证。未采用新策略前,设备存在速度不匹配、时序衔接不畅、动作偏差大等问题。应用新策略后,构建精确时序模型,利用同步算法补偿偏差,结合多传感器融合与自适应反馈纠偏,借助解耦技术消除干扰。理论分析表明,新策略提升了动作同步性与精准度,解决了多工位协同难题,提升了设备综合性能。

## 四、多工位包馅机加工节拍分析与优化策略

### 4.1 多工位包馅机的加工节拍特性分析

多工位包馅机的加工节拍指完成一个完整周期所需时间,直接决定生产效率。其具备连续性、关联性与可调性三大特征:连续性要求周期稳定以保障效率;关联性意味着任一工位速度变化均影响整体节拍;可调性则支持根据需求灵活调整。影响节拍的关键因素包括各工位动作时间、动作衔接时间及故障停机时间。其中,包制成型环节因复杂度高、精度要求严,通常耗时最长,是制约节拍的核心瓶颈;面团供给与馅料填充需与之严格匹配以防等待,输送环节需协同以防堆积。当前设备普遍存在动作时间分配不均、衔接不当导致等待或干涉、故障频发破坏连续性以及调节灵活性不足等问题,严重制约了产能释放与品质稳定性。

### 4.2 基于动作时序优化的节拍优化策略

针对上述问题,提出基于动作时序优化的策略。首先是优化工位动作时间,在确保精度前提下识别并剔除冗余环节。例如,优化面团输送路径、改进填充机构流程、规划成型模具轨迹,以缩短各环节耗时并实现均衡分配,避免单点瓶颈拖累整体。其次是压缩动作衔接时间,通过重排时序实现“无缝对接”。如在面团输送结束前提前启动填充准备,或在成型完成瞬间立即触发输送,利用伺服协同控制确保动作平滑过渡,消除等待且杜绝干涉。再者是降低故障停机时间,通过优化控制参数增强抗干扰能力,结合定期维保与故障预警技术,变被动维修为主动预防,保障生产连续性。此外,设计自适应节拍调节机制,系统实时监测运行状态与需求,自动动态调整动作速度与时长:高产时加速提效,高质时适度延时保精,实现节拍的智能适配。

### 4.3 节拍优化与协同控制的协同作用机制

伺服驱动协同控制与节拍优化互为表里、相辅相成。协同控制是节拍优化的基石,只有确保多工位动作的精准同步,才能安全实施高速化与紧凑化的节拍策略,避免因提速引发的干涉或错乱。反之,节拍优化为协同控制指明方向,通过分析时序瓶颈可暴露协同短板,推动算法与补偿参数的迭代升级。两者深度融合可实现性能跃升:协同控制解决“稳”的问题,确保动作无干涉;节拍优化解决“快”的问题,最大化压缩周期。例如,在缩短动作时间的同时,依靠

高精度协同维持成型品质,从而在提升效率的同时兼顾精度与稳定性,真正实现设备综合效能的最大化。

## 五、伺服驱动协同控制与节拍优化系统的稳定性分析

### 5.1 系统稳定性的核心评价指标

系统稳定性是多工位包馅机长期高效运行的基础,指系统在内外扰动下保持动作同步、精准及节拍恒定的能力。评价性能聚焦四大核心指标:一是同步误差,涵盖时序、速度及位移偏差,反映多工位协同精度,误差大会引发干涉或品质缺陷;二是动态响应速度,即系统修正偏差至稳态的快慢,响应迟缓会导致调节滞后甚至失控;三是抗干扰能力,衡量系统在复杂环境下维持正常运行的鲁棒性;四是节拍稳定性,通过长期运行中节拍的波动幅度评估,波动越小生产效率与产品一致性越高。

### 5.2 系统稳定性的理论分析与优化措施

影响稳定性的关键因素有参数耦合、外部干扰、算法缺陷及机械偏差,需针对性优化。

针对参数耦合,各伺服单元相互影响会放大同步误差。可深化解耦控制技术,构建高精度解耦模型,分离耦合变量,实现电机独立调控;同时精细化整定驱动器参数,阻断耦合传播。

面对外部干扰,需构建多重防护体系。电气侧加装电源滤波装置、采用屏蔽线缆优化布线;机械侧对执行机构减震,隔离振动源。

对于控制算法缺陷,应迭代升级算法架构。优化同步补偿机制,引入自适应反馈调节算法;改进节拍优化逻辑,融入现代控制理论增强算法鲁棒性。

针对机械结构偏差,采取“设计优化+全生命周期维护”策略。设计上提升结构刚度与耐磨性,选用高性能材料;运行中建立定期校准与维护机制,修正累积误差。通过多维度综合治理,可提升系统稳定性与可靠性。

## 六、多工位包馅机伺服驱动协同控制与节拍优化的应用前景

### 6.1 应用场景拓展

该技术的应用场景正从传统糕点、速冻食品领域向全品类包馅食品加工延伸。通过灵活调整控制参数与节拍,可适

配饺子、包子、汤圆等多元化生产需求,显著提升皮馅匹配精度与成型一致性。此外,其核心价值可复制至其他多工位机电装备,如多工位装配机、加工中心及包装机,解决此类设备的协同性不足与节拍瓶颈,提升整体装配或加工效率。在工业4.0背景下,该技术还将与物联网、大数据及人工智能深度融合,构建云端监控与智能诊断平台,实现设备的远程运维、数据驱动的参数自优化及故障预测,推动装备制造向智能化、网络化转型。

### 6.2 技术发展趋势

未来技术发展将聚焦精准化、智能化与绿色化三大方向。精准化方面,将通过迭代控制算法与解耦技术,进一步压缩同步误差,结合高精度检测手段实现动作偏差的实时毫秒级修正,满足高端食品对品质的极致追求。智能化方面,利用AI构建自适应控制模型,实现从“被动执行”到“主动预测”的跨越,具备故障自诊断、预测性维护及个性化生产参数自动生成的能力;依托大数据挖掘运行规律,持续优化节拍策略。绿色化方面,将贯彻节能降耗理念,优化电机驱动策略以降低能耗,选用环保材料,并通过节拍优化减少原料浪费,同时降低噪音与排放,实现绿色制造。此外,技术体系将向模块化、标准化演进,开发通用控制模块与算法库,降低应用成本,促进跨领域技术融合与产业化推广。

## 结论

本研究探讨多工位包馅机伺服驱动协同控制策略与节拍优化方法。该设备作为典型机电一体化设备,核心是解决多工位协同、动作精准与流程连续问题。伺服驱动系统靠闭环控制及位置、速度、扭矩协同技术奠定精准执行基础。研究构建基于时序同步的协同控制模型,通过动作时序建模等消除动作干涉与时序错乱,提升同步精度与产品品质。同时提出基于动作时序优化的节拍策略,通过均衡动作时间等实现节拍合理化与最优化。协同控制与节拍优化互为支撑,共同提升设备性能。针对系统稳定性,研究识别关键影响因素并提出针对性优化方案,确保设备长期稳定运行。本研究为多工位包馅机优化设计提供理论支撑,应用前景广阔。未来技术将向精准化等方向演进。虽研究在定量关联分析与实验验证方面有局限,但后续将通过开发高精度算法等推动食品加工装备自动化升级与行业高质量发展。

## 参考文献

- [1]郑阳阳,周永乾.基于沉积模拟实验平台的多轴控制系统设计[J].自动化应用,2024,65(4):80-83.
- [2]林雪,黄鹏程,田立权,等.多功能一体包馅机的设计及其参数优化[J].食品与机械,2021,37(3):116-119,161.
- [3]孙继丰,迟晓斌.面向制造和装配的食品机械设计研究[J].黑龙江科学,2019,10(24):150-151.
- [4]王建祖.气动执行机构在食品分拣机械中的精准定位与误差补偿模型[J].食品与机械,2025,41(7):86-94.
- [5]崔崑,袁瑞,孙立涛,等.基于机器视觉和改进BOA的食品分拣机器人轨迹规划方法研究[J].食品与机械,2024,40(10):80-85.