

咖啡机械设备智能化研发与配套配件生产的协同发展

陆浩原

爱趣咖啡科技（宁波）有限公司 浙江 宁波 315100

摘要：咖啡机械设备智能化技术与现代制造业快速发展的背景下，设备智能化升级和配套配件生产协同优化成为行业发展的核心需求。但传统设备普遍存在自动化水平不足、配件兼容性较低的问题，限制了整体生产效率与市场适应能力。本文针对于智能化研发与配件生产一体化设计，探索人工智能、物联网、传感技术及数字孪生在设备控制、模块优化与配件生产中的应用，并采取技术创新提升设备自动化水平和配件生产效率，为推动咖啡机械设备系统化发展提供重要技术支撑。

关键词：咖啡机械设备；智能化研发；配套配件生产；数字孪生；协同优化

1 引言

咖啡机械设备行业在智能化与现代化制造技术快速融合的趋势下，传统设备在自动化水平、运行效率以及配件兼容性方面存在明显不足。基于此，本文从智能技术与配件生产协同发展的角度出发，分析技术创新路径与实践方案，并以实验数据与性能评估为基础，验证其可行性与优势，为咖啡机械设备智能化升级与产业协同提供理论支持与技术参考。

2 咖啡机械设备智能化关键技术研究

2.1 人工智能与物联网在设备控制中的作用

其中， T_{opt} 为调整后的目标温度， T_{ref} 为设定值， $T_{current}$ 为实时温度， K_p 、 K_i 、 K_d 为PID控制系数^[1]。这种方法可将温度偏差控制在 0.1°C 以内以提高萃取品质。物联网在设备控制中提供了实时数据传输与远程管理支持，采取5G通信协议与MQTT协议的结合，构建多设备协同运行的云端控制平台。

2.2 传感技术在设备运行中的监测与优化作用

传感技术在咖啡机械设备智能化运行中的实践覆盖温度、压力和流量监测等多个关键环节，其应用旨在实现实时数据采集、高精度参数调控及设备状态诊断。温度监测技术中，设备采用铂电阻温度计作为核心传感器，铂电阻的电阻随温度变化的非线性特性可能导致监测误差，所以设备采取引入补偿公式实现数据校正。压力监测技术在高负载连续运行测试中表现出卓越的稳定性，证明优化后的控制策略减少了萃取过程中压力波动导致的品质波动。流量监测技术采用涡轮流量计，其基于流体流动带动叶轮转动的原理，采取测量叶轮转速计算液体流速^[2]。

基于人工智能的控制系统采用卷积神经网络（CNN）和长短期记忆网络（LSTM）等深度学习算法，并采取历史数据的训练和实时数据的输入，生成设备控制参数。咖啡设备在运行过程中需要对研磨程度、萃取温度、压力、时间等多种变量进行同步管理，并采取深度学习模型实现实时计算与动态优化。如萃取温度控制，系统采取温度传感器实时获取设备当前状态值，结合环境温度、运行时间等输入参数来预测最优温度调整值，并采用PID控制策略反馈调节，具体计算公式为：

$$T_{opt} = K_p (T_{ref} - T_{current}) + K_i \int (T_{ref} - T_{current}) dt + K_d \frac{d(T_{ref} - T_{current})}{dt}$$

2.3 数字孪生技术在智能化研发中的模拟

数字孪生技术在智能化研发中应用于设备建模、虚拟仿真等环节，采取构建物理设备的数字化副本，提供了高效的研发、运行和维护工具。其核心在于利用多物理场耦合模型，集成机械结构、热力学特性和电磁行为，全面模拟设备运行状态。运行阶段，数字孪生技术采取实时监测设备数据，与虚拟模型交互分析，并在轴承振动监测中，系统采取分析设备振动频率与参考值的偏差，判断轴承的磨损程度。当偏差超出阈值时，虚拟模型生成维护建议，并将诊断信息传递给运维团队以规划维修任务^[3]。而在智能生产线的协同优化中采取模拟设备，使得系统可以动态优化资源分配以平衡多设备间的工作量。

3 配套配件生产的协同设计与优化

3.1 配件模块化与标准化设计策略

模块化设计侧重于将复杂系统分解为独立模块，并保证模块之间采取标准化接口实现高效连接与协同工作。咖啡机械设备中，主要模块包括研磨模块、供水模

块和萃取模块。研磨模块采取分解为刀片单元、电机单元和壳体单元实现模块化设计。刀片单元根据不同使用场景设计为可互换组件，刀片材料可选择不锈钢、陶瓷等物质，根据需求不同，选用高硬度或高韧性材质以满足细腻研磨或粗研磨需求。电机单元设计为通用化功率模块，采用恒功率调节策略，支持高转速和低转速模式切换。设计过程中使用的功率计算模型如下：

$$P = T \cdot \omega$$

其中， P 为功率， T 为扭矩， ω 为转速角速度，采取优化扭矩和转速匹配关系，实现不同研磨条件下的效率最大化。供水模块由水泵、管路和阀门组成，每一部分均按照模块化设计要求分离独立。管路材料选用聚四氟乙烯或不锈钢等物质，保证高温高压环境中的稳定性。

研磨模块中，刀片的厚度、直径和安装孔位置均按照统一规格制造，其表面处理采用电镀或陶瓷涂层技术，以提升抗磨损能力。加工精度由五轴数控机床实现，表面粗糙度控制在Ra 0.8以下以降低长时间运行中的摩擦阻力。供水模块的管路设计遵循统一的流体力学要求，管径和壁厚采取计算流量需求与压力损失确定。压力损失的计算公式如下：

$$\Delta P = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho v^2}{2}$$

其中， ΔP 为管路中的压力损失， f 为摩擦系数， L 为管路长度， D 为管径， ρ 为流体密度， v 为流速。优化设计的实施，使得管路的压力损失得到有效控制，进一步提高了系统的流量稳定性。而刀片与管路的标准化加工由高精度数控设备完成，每批次产品均经过尺寸检测和表面粗糙度测试，且所有生产工艺严格符合ISO质量管理体系标准，避免因尺寸或性能差异引发兼容性问题^[4]。

3.2 配件兼容性优化技术

接口优化设计采取统一接口标准和多功能接口设计，在研磨模块中刀片与电机的连接采用多槽嵌合式设计，多槽的深度和角度经过有限元分析优化，以均匀分布连接处的应力。多槽接口结构能够在高负载运行条件下保持机械强度，并支持不同型号刀片的灵活更换。连接部分的设计还包括螺纹辅助固定，螺纹接口符合ISO 965标准，保证了精确装配和稳定连接。

阀门与管路的连接设计中，快速接头由内嵌密封圈和外部锁扣构成，密封圈可以采用硅橡胶或聚四氟乙烯等物质来增强耐磨性和密封性能，锁扣的材料可选择不锈钢或高强度铝合金等物质来保证在高压条件下仍能保持可靠的机械连接。刀片制造中，接口的加工精度要求达到±0.01mm，加工工艺采用高精度五轴数控机床，生

产过程中采取激光测量仪实时检测接口的尺寸参数。此外，接口表面经过二次精加工处理，并采用电镀或陶瓷涂层技术增强耐磨性。阀门的密封部件加工中密封面的平整度控制在0.005mm以内，并在密封面加工后进行检测，使用非接触式光学测量设备检测平整度参数来与设计值进行比对。

3.3 智能制造在配件生产中的作用

智能制造在配件生产中的作用集中于实现自动化生产、精密加工和实时监控，采取技术手段提高生产效率和产品质量一致性，降低生产成本并适应多样化需求。自动化生产系统采取机器人、自动传输装置和控制软件的协同工作，实现配件生产过程中的自动化操作。刀片加工中，机器人完成从原材料切割到成品装配的全过程操作。原材料切割使用激光切割设备，机器人将切割后的半成品传输至数控加工中心进行研磨处理。

阀门配件的自动化生产中，机器人完成从零件加工到密封件装配的自动化流程。装配过程中，机器人采取视觉识别系统检测零件位置并调整抓取角度，保证组件之间的精确对接。经检测的阀门组件被传输至压力测试装置，测试压力范围设定为8-12bar，检测结果由系统自动记录并反馈至生产管理平台。刀片接口的加工中，使用五轴数控机床进行粗加工和精加工，接口尺寸误差控制在±0.01mm以内。

4 智能化设备与配件协同发展的技术验证

4.1 实验测试方案设计与实施

实验测试方案包括实验设备的选型与配置、实验条件的设定和测试过程的实施。实验内容覆盖性能参数的检测、协同效应的评估以及关键技术指标的验证。测试设备选用智能化咖啡机械及研磨模块、供水模块和萃取模块，配件涵盖刀片、水泵和阀门。

实验环境的温度范围设定为20℃至90℃，以覆盖从冷启动到高温萃取的全周期运行；压力测试设定为6bar至10bar，以模拟低压预湿和高压萃取状态；流量范围控制在1.2mL/s至2.4mL/s来匹配常见咖啡设备的流量需求。实验数据采取物联网监控平台实时采集，并存储于实验数据库进行后续分析。以下为实验条件设定的具体参数，具体见表1所示。

表1 实验条件设定参数

参数类别	设定范围	检测仪器
温度	20℃-90℃	数字温度计
压力	6 bar-10 bar	压力传感器
流量	1.2 mL/s-2.4 mL/s	涡轮流量计

并且，实验分为连续运行测试和负载变化测试两个

阶段,连续运行测试以模拟高峰期设备长时间工作的稳定性,负载变化测试则采取调节研磨量、供水压力和萃取时间,验证设备与配件在动态协同中的适应能力。

4.2 性能对比分析与协同效应评估

性能对比分析主要围绕智能化设备与传统设备在运行效率、参数稳定性和能耗水平等方面的差异展开。协同效应评估则关注配件优化对设备整体性能的提升,以及多模块协同工作的综合效果。研磨模块测试中,刀片的研磨精度采取颗粒分布测量仪检测,颗粒尺寸的均匀性评价公式如下:

$$U = \frac{\sigma}{\mu} \times 100\%$$

其中, U 为均匀性, σ 为颗粒尺寸标准偏差, μ 为颗粒尺寸均值。测试过程以验证智能化设备相较于传统设备在能耗、颗粒均匀性和流量稳定性上的性能提升为目标,采用统一的实验条件和标准化操作流程展开。实验选用同一型号的智能化设备和传统设备,分别搭载相同配件,以确保测试结果的可比性。测试环境控制在20℃至25℃的室温范围内,设备运行条件涵盖连续工作和负载变化两种模式。每项测试重复三次以消除偶然误差,实验数据经统计分析后得出智能化设备相较于传统设备在平均能耗、研磨颗粒均匀性和流量波动幅度上的性能提升。具体数据见表2所示。

表2 智能化设备与传统设备在运行效率和能耗方面的对比

参数类别	智能化设备性能	传统设备性能	性能提升 (%)
平均能耗 (W)	128.6	156.4	17.8
研磨颗粒均匀性 (%)	89.2	69.3	28.7
流量波动幅度 (%)	6.2	7.3	15.3

从表中可知,智能化设备的平均功耗为128.6W,较

传统设备的156.4W降低了17.8%,表明其在运行效率提升的同时具备更高的节能能力。在研磨颗粒均匀性上,智能化设备的颗粒均匀性达到89.2%,比传统设备的69.3%提升了28.7%,反映出智能化设计对研磨精度和颗粒分布一致性的优化效果。在流量波动幅度方面,智能化设备的波动幅度为6.2%,相比传统设备的7.3%降低了15.3%,体现了智能化系统在稳定流量输出和减少运行波动方面的优势。

5 结语

针对咖啡机械设备智能化研发与配件生产协同优化,本文展开研究并提出了一套系统化设计与验证策略。研究采取引入人工智能、传感技术和数字孪生技术,以及配件生产中采取实验测试与性能验证实现了设备运行的精准控制与性能优化,并全面论证了模块优化和技术集成的综合效应,为行业未来智能化发展和跨领域协同提供了技术参考与实践经验。

参考文献

- [1]区诗凯,王红军,黄昌健.梳齿式咖啡豆采收机器人的设计及试验[J].中国农机装备,2024,(08):7-15.
- [2]李平.基于PLC的网带式干燥机智能控制系统研究[D].西华大学,2023.DOI:10.27411/d.cnki.gscgc.2023.000507.
- [3]朱海华,付泰然,李霏,等.基于数字孪生的复杂产品装配物料过程齐套时间预测[J/OL].机械工程学报,1-15[2025-01-02].
- [4]赵春江,李静晨,杨雨森.基于大语言模型推理的数字孪生平台蔬菜作物生长模型研究[J/OL].智慧农业(中英文),1-9[2025-01-02].