

基于 PLC 控制的豆干压制设备自动化改造实践

王华平

浙江中禾机械有限公司 浙江台州 318000

【摘要】豆干压制设备的自动化改造借助引入PLC控制系统及配套机电硬件,实现生产工艺的全方位升级。在改造过程中,采用伺服电机、液压缸、高精度压力传感器等关键机电组件,成功构建起完整的自动化生产线。通过各机电硬件间的协同控制,不仅大幅提升了压制效率与产品一致性,还优化了设备能耗与维护成本。关键机电设备的精确选型与高效集成,确保了温度、压力等重要工艺参数的实时精准调控,为传统豆干生产向智能制造转型筑牢了硬件根基。

【关键词】PLC控制;机电一体化;伺服电机;液压系统;质量一致性

Automatic transformation practice of bean dry pressing equipment based on PLC control

Wang Huaping

Zhejiang Zhonghe Machinery Co., LTD., Zhejiang Taizhou 318000

【Abstract】 With the help of introducing PLC control system and supporting electromechanical hardware, the automatic transformation of bean dry pressing equipment realizes the comprehensive upgrade of the production process. In the process of transformation, the servo motor, hydraulic cylinder and other key electromechanical components such as high-precision pressure sensor are used to successfully build a complete automatic production line. Through the collaborative control between the mechanical and electrical hardware, not only the suppression efficiency and product consistency are greatly improved, but also the equipment energy consumption and maintenance cost are also optimized. The precise selection and efficient integration of key mechanical and electrical equipment ensure the real-time and accurate control of important process parameters such as temperature and pressure, and build a solid hardware foundation for the transformation of traditional dried bean production to intelligent manufacturing.

【Key words】 PLC control; electromechanical integration; servo motor; hydraulic system; quality consistency

引言

在当下的现代食品加工领域,机电一体化技术的广泛应用已成为提升生产效率与产品质量的核心推动力。传统豆干压制工艺主要依赖人工操作,其机械结构陈旧落后,传动效率低下,参数控制也极为粗放。本次改造以机电硬件的升级作为基础,结合先进的 PLC 控制技术,对豆干压制设备的机械传动系统与执行机构进行了全面重构。采用伺服电机驱动的液压缸、线性导轨定位装置以及模块化机械框架,实现了对压板运动的高精度控制。同时,集成温度传感器与加热板等机电组件,进一步优化了热压工艺的稳定性。机电硬件的深度融合,有效突破了传统设备的效率瓶颈,为智能化生产奠定了坚实的物理基础。

一、基于 PLC 控制的豆干压制设备自动化改造背景与意义

(一) 传统豆干压制工艺的机电短板分析

传统豆干压制设备运用手动螺旋压杆搭配简易机械连杆结构,在机电性能上存在明显缺陷^[1]。其齿轮箱与链条传动系统在长期运转中磨损加剧,因齿轮啮合不够精准,链条

传动时易打滑,致使能量损耗高达 30%,传动效率极为低下。压力调节依赖纯人工经验操作机械式装置,误差范围超 $\pm 10\%$,不同操作人员手法和力度的差异,使得压力控制准确性大打折扣。在热压环节,电阻丝加热板依靠电流生热,热量传递到加热板表面耗时久,且加热过程中温度分布不均,导致温控明显滞后,温度波动可达 $\pm 8^{\circ}\text{C}$,严重影响豆干的成型质量。

(二) 机电一体化改造的技术优势

机电一体化改造为豆干压制设备选用额定功率 1.5kW、分辨率达 0.01mm 的松下 A6 系列伺服电机,配合 C7 级滚珠丝杠,伺服电机依据 PLC 精确脉冲信号精准调控转速与位置,滚珠丝杠以滚珠滚动传动,摩擦系数小、传动效率高、定位精度高,二者协同实现压板位移精度达 $\pm 0.1\text{mm}$ 。液压系统采用最大压力 10MPa 的力士乐液压缸并配置比例阀,通过 PLC 闭环控制实时采集压力信号,依据预设值精准调整,比例阀按输入电信号连续控制液压油流量和压力,使压力调节精度提升至 $\pm 0.5\%$ 。在机械结构上,采用质量轻、强度高、耐腐蚀的铝型材框架与快换模具结构,通过标准化接口设计,让模具更换更便捷迅速,设备调试时间相较于传统结构缩短了 40%。

二、自动化改造方案设计与关键技术选择

(一) 机电硬件架构设计与选型

驱动系统方面,选用三菱 HG-KR 系列伺服电机,其额定扭矩 $4.77\text{N}\cdot\text{m}$,编码器分辨率达 17bit,凭借响应速度快、运行平稳以及控制精度高的显著特点,能够对 PLC 发出的脉冲信号迅速做出反应^[2]。高分辨率编码器如同设备的“精准导航”,可以实时、精确地反馈电机的位置和速度信息,为后续的精确定位筑牢根基。与之搭配的新宝 XBL 系列行星减速机,减速比为 10:1,传动效率高达 95%,其具备体积小、传动效率高、精度高以及承载能力大的优势,能有效降低伺服电机的转速,同时大幅提高输出扭矩,完美契合豆干压制设备对动力的需求,保障压制过程稳定有力。

执行机构关乎设备,采用行程 500mm 的双作用液压缸,内置磁致伸缩位移传感器^[3]。双作用液压缸的独特设计使其能够在两个方向上灵活运动,精准实现压板的上升与下降动作。而磁致伸缩位移传感器则利用磁致伸缩原理,基于磁场与机械应变之间的相互作用,能够极其精确地测量活塞位置,进而实现对压板位置的精准把控,确保压制过程的位置精度。压板组件选用 304 不锈钢材质并进行表面镀铬处理,304 不锈钢优良的耐腐蚀性和机械性能,保证了压板在长期高频使用过程中的稳定性,而镀铬处理则显著提高了压板表面的硬度和耐磨性,经测试,其耐磨寿命提升 3 倍,大大延长了设备关键部件的使用寿命。

传感部分作为设备的“感知触角”,对整个生产过程起着至关重要的监测作用。采用霍尼韦尔 TJE 系列压力传感器,量程为 0-20kN,精度可达 $\pm 0.2\%FS$,该系列传感器以高精度、高可靠性和强抗干扰能力著称,在豆干压制过程中,能够实时、准确地采集压力信号,并迅速传输给 PLC 进行后续处理,为压力控制提供精确的数据支持。温度传感器选用 PT100 铂电阻,测量范围为 0-200℃,响应时间 $< 1\text{s}$,其凭借精度高、稳定性好、线性度好的优点,能够快速捕捉加热板的温度变化,并及时将温度信号反馈给 PLC,为热压温度的精确控制提供可靠依据。

(二) 机电与 PLC 的协同控制策略

在运动控制上通过 PLC 发出的脉冲信号驱动伺服电机,并结合电子齿轮功能,可依据实际生产需求对伺服电机的转速和旋转角度进行精确调整^[4]。在压制初期,为提高生产效率,压板需要快速下降到一定位置,此时 PLC 控制伺服电机以较高速度运转;而当接近压制目标位置时,为确保压制精度,伺服电机则降低速度,实现精准定位,这种精准的速度与位置匹配极大地提升了生产质量和效率。

压力闭环控制中,液压缸的压力信号经由压力传感器采集后传输给 PLC 进行 PID 运算。PLC 将预设的压力值与实际采集到的压力值进行对比分析,然后根据分析结果动态调节比例阀的开度,以此控制液压油的流量和压力,确保压制力始终稳定在设定范围内,有效避免了因压力波动导致的产品质量问题。

热管理模块采用 PID 温控算法搭配 SSR 固态继电器。PLC 根据温度传感器反馈的温度信号,通过 PID 算法精确计算出加热板所需的加热功率,然后控制 SSR 固态继电器的通断,从而实现对加热板温度的精确控制,将温度波动严格控制控制在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内,为豆干的热压成型提供了稳定的温度环境,保障了产品的一致性和品质。

三、实施过程中的技术难题与解决方案探索

(一) 机电硬件适配性问题

在豆干压制设备自动化改造的实施过程中,机电硬件适配性问题成为影响设备稳定运行的关键挑战^[5]。其中,伺服电机与液压系统响应时序不匹配的问题较为突出,严重时会导致压板抖动,极大地影响豆干的压制质量与设备运行稳定性。其根源在于伺服电机和液压系统分别接收不同的控制信号,在信号传输与执行过程中存在时间差,导致二者协同工作出现紊乱。为解决这一难题,在 PLC 中增加运动平滑算法。该算法对伺服电机和液压系统的控制信号进行深度分析与优化处理,通过调整信号的发送时机、频率等参数,使两者的响应时序更加协调一致。同时,为进一步减少压板抖动,加装机械缓冲器,选用聚氨酯材质的缓冲器,其独特的分子结构使其具备高达 80% 的减震效率。在压板运动过程中,机械缓冲器能够有效吸收冲击力,避免因冲击导致的位置偏移与抖动,确保压板稳定运行。

另一个棘手的问题是高湿度环境对电机驱动器的影响,极易导致短路故障。豆干生产环境中水分含量较高,尤其是在夏季或潮湿地区,电机驱动器长期处于这样的环境下,内部电子元件容易受潮,引发短路。为应对这一问题,采用 IP67 防护等级电机。该等级的电机具备良好的防水、防尘性能,其外壳采用特殊密封设计,能够有效抵御高湿度环境的侵蚀。同时,在驱动器柜内安装除湿模块,通过冷凝除湿或吸附除湿等技术,将柜内湿度维持在 $< 60\%RH$,确保电机驱动器工作环境始终保持干燥,从根本上杜绝短路故障的发生。

(二) 机电系统能效优化

机电系统的能效优化是本次改造的重要目标之一,直接关系到企业的生产成本与可持续发展^[6]。改造后,液压系统功率由 3kW 降至 1.8kW,实现了显著的节能效果。这主要得益于采用了更高效的液压泵和比例阀。新型液压泵采用先进的设计理念,优化了内部流道结构,减少了液压油在流动过程中的阻力,降低了能量损耗。比例阀则具备更高的控制精度,能够根据实际工作需求精确调节液压油的流量和压力,避免了因过度供压导致的能量浪费。对于伺服电机,通过优化控制策略,使其在待机状态下能够进入低功耗模式,待机功耗 $< 50\text{W}$ 。在实际生产中,豆干压制设备并非持续运行,通过这种优化,有效减少了设备在非工作时间的能耗。

引入再生制动技术进一步提升了机电系统的能效。伺服电机在反向制动时,会产生大量的电能,如果不加以利用,

将白白浪费。通过在伺服驱动器中增加能量回收模块，当电机反向制动时，将产生的能量回收至直流母线。该模块能够将制动过程中产生的交流电转换为直流电，并反馈回直流电源，实现能量的再利用。经实际测试，采用再生制动技术后，综合节电率可达 15%，为企业节省了可观的电费支出。

表 1: 机电硬件改造前后性能对比

参数	改造前	改造后	提升幅度
传动效率	65%	92%	+27%
压力控制精度	±10%	±0.5%	+95%
温控响应时间	60s	5s	-91.7%
设备维护周期	1 个月	3 个月	+200%

从表 1 中可以清晰地看出，经过机电硬件改造与适配性优化，以及能效提升措施的实施，豆干压制设备在传动效率、压力控制精度、温控响应时间和设备维护周期等关键性能指标上都取得了显著的提升，为豆干生产的高效、稳定、节能运行奠定了坚实基础。

四、提升生产效率与产品质量的机电路径

(一) 机电硬件的标准化生产支持

模块化设计理念贯穿于压板、导轨等关键部件。这些部件采用标准化接口，其优势体现在多方面。从生产灵活性角度来看，不同规格的部件能够快速更换和组装^[7]。在豆干生产过程中，根据不同的产品需求，需要更换不同尺寸的压板或调整导轨的间距。以往，这样的换型操作由于部件之间缺乏统一标准，往往需要耗费大量的时间和人力，换型时间长达 2 小时。而如今，凭借标准化接口设计，工作人员可以快速将旧部件拆卸并安装上新部件，整个换型时间缩短至 20 分钟，极大地提高了生产的灵活性，使企业能够迅速响应市场多样化的需求。

冗余设计则为设备的稳定运行提供了可靠保障。以伺服驱动器为例，作为控制伺服电机运转的核心部件，其重要性不言而喻。采用双备份配置后，当主伺服驱动器在长时间高强度运行或因突发电气故障等原因出现异常时，备用驱动器能够在 < 10s 的极短时间内自动完成切换并投入工作。这一过程通过精密的电路检测与自动切换装置实现，确保设备的动力供应不间断，有效避免了因伺服驱动器故障导致的设备

停机，从而减少了因故障造成的生产中断时间，保证了豆干生产的连续性，进而提高了生产效率和产品质量的稳定性。

(二) 机电系统的智能化扩展

预测性维护是智能化扩展，通过安装 SKF IMx 系列振动传感器，能够实时监测轴承的运行状态。轴承作为机电设备中频繁运转的部件，其运行状况直接影响设备的整体性能。SKF IMx 系列振动传感器利用先进的微机电系统 (MEMS) 技术，能够高精度地采集轴承在运转过程中的振动信号。这些信号包含了丰富的信息，如轴承的磨损程度、润滑状态以及是否存在潜在的故障隐患等。通过对振动信号进行深入分析处理，运用大数据分析和机器学习算法，建立轴承运行状态的预测模型。当模型预测到轴承可能出现故障时，系统会及时发出预警，工作人员可以提前安排维护更换工作，避免因轴承故障导致设备突然停机，减少设备维修成本和生产延误损失。

物联网集成进一步提升了生产管理的智能化水平，通过 RS485 总线将机电设备的数据上传至 MES (制造执行系统) 系统，实现了设备运行数据的互联互通。操作人员可以在远程通过 MES 系统实时了解设备的运行状态，如电机的转速、液压缸的压力、加热板的温度等关键参数，以及生产数据，如豆干的产量、次品率等。基于这些实时数据，利用数据分析工具进行深入挖掘，能够发现设备运行中的潜在问题和生产流程中的优化点。通过分析不同时间段的设备运行数据和产品质量数据，找出影响豆干质量的关键因素，进而对设备参数进行优化调整，提高产品质量，同时也提升了生产管理的智能化和精细化程度。

结语

本次改造通过机电硬件与 PLC 技术的深度融合，成功构建了高精度、高可靠性的豆干压制自动化系统。伺服电机、液压缸等核心机电组件的精准控制，显著提升了生产效能与产品品质，为企业降本增效提供了坚实的硬件保障。未来，机电系统的进一步智能化，如 AI 驱动故障诊断，将推动豆干生产向全面数字化迈进。

参考文献

- [1]李志强. 伺服电机在食品机械中的应用研究[J]. 机电工程, 2023, 40 (5): 78-82.
- [2]王振华. 液压系统闭环控制技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2022.
- [3]霍尼韦尔传感器技术手册[Z]. 2021 版.
- [4]周阳. 基于 PLC 的加热炉炉温控制系统研究[J]. 工业加热, 2024, 53 (12): 21-24.
- [5]胡一博, 杨耿煌, 耿丽清, 等. 基于 PLC 的预制舱式储能电站消防控制系统设计[J]. 天津职业技术师范大学学报, 2024, 34 (04): 13-17.
- [6]张敏. 基于 PLC 的带式输送机智能控制系统的改造设计[J]. 石化技术, 2024, 31 (12): 312-313.
- [7]刘巧珍. PLC 在焦炉推焦车控制系统的应用研究[J]. 石化技术, 2024, 31 (12): 304-305.