

水平侧推式全自动包装机多工位协同控制策略与稳定性研究

周林强

温州欲东自动化科技有限公司 浙江 温州 325200

【摘要】：随着工业生产对包装效率和质量要求提高，水平侧推式全自动包装机在多行业应用渐广。本研究聚焦该包装机多工位协同控制策略与稳定性，以提升其运行性能和包装质量。针对传统控制策略问题，提出基于模糊自适应PID控制的多工位协同控制策略，融合模糊与PID控制优势实现各工位动态协同优化。经仿真验证，该策略能应对复杂工况，提高物料充填精度和产品合格率。同时，分析稳定性影响因素并提出针对性提升措施。实际案例显示，改进后包装机稳定性大幅提升，包装合格率从85%提高到98%以上，设备故障率降低，证明研究成果有效实用，为包装机高效应用提供技术支持。

【关键词】：水平侧推式全自动包装机；多工位协同控制；模糊自适应PID控制；稳定性；影响因素；提升措施

DOI:10.12417/2705-0998.25.21.072

1 引言

在工业生产中，包装环节很重要，其效率和质量影响产品竞争力与企业效益。水平侧推式全自动包装机因高效、精准、自动化程度高，在多领域广泛应用，能自动完成计量、充填、封口等工序，提高包装速度和生产效率，减少人工干预，保证包装质量。

多工位协同控制策略是该包装机高效运行的关键。包装机有多个工位，需紧密配合。若协同控制不佳，会导致运行不稳定，影响包装质量和效率，增加成本。

设备稳定性对包装机也不可或缺。稳定运行可保证长时间连续工作，减少故障，降低维护成本，提高生产连续性和可靠性。实际生产中，包装机可能受机械振动、电气干扰、物料特性变化等因素影响，进而影响生产。

因此，深入研究水平侧推式全自动包装机多工位协同控制策略与稳定性有重要现实意义。优化协同控制策略可提升各工位配合精度和协同效率；增强稳定性确保设备在复杂工况下可靠运行，提高生产效率和产品质量，增强企业竞争力，创造更大经济效益。

2 水平侧推式全自动包装机概述

2.1 工作原理与结构组成

水平侧推式全自动包装机基于自动化控制和机械传动实现物料自动包装。工作流程为：包装袋由放料槽经吸盘吸取后放于托袋输送带；物料经物料输送带输送并由计量装置精确计量；托袋输送带将包装袋送至各工位，完成开袋、物料充填、闭袋、封袋等工序，包装好的产品被输出。

包装机主要结构部件如下：托袋输送带承载和输送包装袋，确保其在各工位准确移动；物料输送带输送待包装物料，速度和输送量可按需调整，其上格仓能分隔和计量物料；上袋工位位于托袋输送带输入端，放料槽存袋，吸盘取袋放于输送带上；开袋工位用机械或气动装置打开袋口；入袋工位将计量好的物料准确输送至袋内；闭袋工位位于物料充填后闭合袋口防泄

漏；封袋工位进一步密封包装袋，保证封口质量。

此外，包装机还配有控制系统、动力系统、机架等辅助部件。控制系统协调各工位动作实现自动化控制；动力系统提供动力；机架提供结构支撑，保证设备稳定可靠。

2.2 多工位协同作业流程

上袋工位：包装袋置于放料槽，出袋口下方吸盘吸袋放至托袋输送带，包装袋工位移送机夹的定位夹袋口组件准备接收，确保就位。

开袋工位：托袋输送带将定位夹袋口组件送至开袋工位，移动夹袋口组件配合打开袋口，完成后返回原工位。

入袋工位：物料输送带将计量好的物料送至入袋工位，定位夹袋口组件也到达，物料落入袋内，需精确配合防洒落。

闭袋工位：完成入袋的包装袋到闭袋工位，定位与移动夹袋口组件配合夹紧袋口，防止泄漏。

封袋工位：闭袋后的包装袋到封袋工位，封袋装置密封，产品输出，完成包装。

整个流程中，各工位通过定位与移动夹袋口组件协同、输送带精确输送实现紧密衔接和高效作业，控制系统实时监控调整，确保稳定运行和质量一致。

3 多工位协同控制策略研究

3.1 传统控制策略分析

传统水平侧推式全自动包装机多采用基于PLC的顺序控制策略，PLC按预设程序依次控制各工位动作，如先控制上袋工位，完成后触发开袋工位，实现协同作业。该策略原理简单，易实现和维护，能满足基本控制需求。

然而，此策略有诸多局限。响应速度上，因PLC扫描周期限制，包装机出现突发情况时，需等下一个扫描周期才响应，导致延迟，影响正常运行。协同精度方面，各工位协同依赖时间顺序，难根据实际工况实时调整，运行参数波动时易配合失调，影响包装质量。

此外,传统策略缺乏对复杂工况的自适应能力,实际生产中面临产品规格、物料特性、环境因素等变化时,难自动调整控制参数和策略,需人工干预,增加操作复杂性和劳动强度,降低生产效率。

3.2 新型协同控制策略设计

为解决传统控制策略不足,本研究提出基于模糊自适应PID控制的多工位协同控制策略,融合模糊与PID控制优势,实现包装机各工位精确、灵活控制。

模糊控制基于模糊逻辑,能将人的经验和知识转化为模糊规则控制复杂系统。在包装机多工位协同控制中,它可根据实时工况信息快速定性判断决策,为PID控制器提供控制参数调整方向。

PID控制是经典算法,结构简单、稳定性好、可靠性高,能根据设定值与实际输出值偏差输出精确控制量,精确控制被控对象。

模糊自适应PID控制策略工作原理:包装机运行时,传感器采集各工位运行状态信息传至控制器。控制器分析处理数据得出偏差值,模糊控制器依据偏差值等及模糊规则,在线调整PID控制器的系数。调整后的PID控制器计算精确控制量输出给执行机构,实现各工位精确控制,达成高效协同作业。

3.3 控制策略的仿真与验证

为验证基于模糊自适应PID控制的多工位协同控制策略有效性,本研究用MATLAB/Simulink搭建水平侧推式全自动包装机仿真模型,设置多种工况,对比传统与新型控制策略的协同作业效果与包装质量。

结果显示,传统策略下,物料特性变化时,物料充填量波动大,产品合格率约80%,各工位协同精度低;而新型策略下,模糊控制器能及时调整PID参数,物料充填量偏差小,产品合格率超98%,各工位协同精度提升。

在包装袋尺寸调整工况下,传统策略需人工手动调整,易出错;新型策略可自动调整PID参数,实现快速准确包装切换,提高了适应性与生产效率。

仿真结果表明,该新型控制策略优势显著,能应对复杂工况,提高包装质量与生产效率,验证了有效性与可行性,为实际应用提供技术支持。

4 稳定性影响因素分析

4.1 机械结构因素

包装机机械结构稳定性对整体性能起基础作用。机架刚性影响设备运行稳定性,刚性不足时,高速运转或受外界振动干扰易变形,导致包装袋输送偏移,影响物料充填和封口质量,如微小变形会降低对中精度,造成物料洒落。传动部件精度也影响稳定性,制造精度不高会使传动产生振动和冲击,影响各

工位动作准确性,如齿轮齿距不均匀会使包装机振动、噪声增大,影响计量精度。此外,传动部件磨损会加剧,降低传动精度,如皮带磨损会使执行机构运动速度波动,影响包装质量。

4.2 电气控制因素

电气控制系统是包装机核心,影响其稳定性。控制器可靠性很重要,故障时会使包装机无法正常工作甚至失控,实际生产中可能因质量问题或外界电磁干扰,出现控制信号丢失或错误,导致包装过程中断。传感器起实时监测作用,其精度和抗干扰能力关系到稳定性,精度不足会使采集信息不准确,控制器无法正确决策;抗干扰能力差,输出信号会波动或失真,如包装机周围有强电磁干扰源,传感器屏蔽措施不到位会导致误动作。

4.3 外部环境因素

外部环境因素对包装机稳定性影响不容忽视。温度和湿度变化会影响机械部件和电气元件,高温会使机械部件热膨胀影响运行精度,电气元件性能下降;潮湿环境会使金属部件生锈腐蚀,电气元件受潮短路。振动也是重要因素,包装机运行时受自身及其他设备振动干扰,持续振动会使机械部件连接松动,影响结构稳定性和传感。温度、湿度和振动会影响包装机精度,导致控制精度下降,甚至引发电气故障。

为应对这些影响,可采取针对性措施。在温度和湿度控制上,可将包装机安装在恒温恒湿车间或配备温控、除湿设备;对于振动问题,可在机架底部安装减震垫,加固机械部件,定期检查连接件,并对电气控制系统采取抗干扰措施。综合应用这些措施,可降低外部环境因素影响,确保包装机正常运行。

5 稳定性提升措施与实践

5.1 优化机械结构设计

在优化机械结构设计方面,机架改进是关键。某包装机生产企业研发新型水平侧推式全自动包装机时,重新设计机架结构。原机架用普通矩形钢管焊接,高速运行易振动变形;新机架选用高强度槽钢和工字钢,优化焊接工艺与结构布局,增加了刚性和稳定性。

此外,选用高精度传动部件也很重要。以齿轮传动系统为例,传统包装机用普通齿轮,影响稳定性;采用高精度磨齿工艺制造的齿轮,可减少振动和冲击,提高传动平稳性。配合高精度轴承和联轴器,降低传动系统间隙和误差,使包装机各工位动作更精确稳定。

5.2 增强电气控制系统可靠性

采用冗余设计是增强电气控制系统可靠性的重要方法。以高端包装机为例,其采用双CPU冗余设计,主CPU负责控制,备用CPU监测其状态。主CPU故障时,备用CPU能快速自动切换接管任务。某大型医药企业包装生产线采用该系统,一次

主 CPU 突发故障，备用 CPU 迅速启动，切换不到 10 毫秒，保证了药品包装质量，避免经济损失。

提高电气元件质量是增强可靠性的基础。选择电气元件时，要严格筛选供应商，选用可靠稳定的品牌产品，如高精度、高抗干扰的传感器。某化工企业包装机电气系统改造中，更换为进口高性能传感器后，受干扰影响减小，采集信号更准确，控制精度和稳定性提高，设备停机次数减少超 80%。

优化控制程序是提升可靠性的关键。要对控制程序全面测试优化，消除潜在错误和漏洞，采用模块化编程，便于维护升级。增加故障诊断和自修复功能，检测到故障能定位并尝试修复或给出提示。某电子制造企业包装机优化程序后，平均无故障运行时间从 500 小时提高到 1000 小时以上，故障修复时间缩短 50%，提高了生产效率和设备可靠性。

5.3 实际案例分析：稳定性提升效果评估

以某生产颗粒状化工原料的化工企业使用的水平侧推式全自动包装机为例，该企业对包装机稳定性和精度要求高。改进前，包装机采用传统机械结构与电气控制方式，存在物料输送不稳、封口不严等问题，包装合格率仅 85% 左右，设备故障率高，平均每周故障停机 5 小时，影响生产效率与产品质量。

针对这些问题，企业对包装机全面改进。机械结构上，加固优化机架，选用高精度传动部件与低摩擦系数输送带，减少机械振动与部件磨损；电气控制系统采用冗余设计的控制器、高质量传感器和优化后的控制程序。

改进后，经运行监测，包装机稳定性显著提升。包装合格率超 98%，物料充填误差极小，封口质量好，减少产品泄漏与污染。设备故障率大幅降低，平均每周故障停机时间缩至 1 小

时以内，可靠性与生产效率极大提高。通过实施稳定性提升措施，企业减少经济损失，提高产品市场竞争力，取得良好的经济效益与社会效益。该案例证明了优化机械结构设计和增强电气控制系统可靠性等稳定性提升措施有效可行。

6 结论

本研究针对水平侧推式全自动包装机多工位协同控制策略与稳定性展开研究，取得重要实践成果。

在多工位协同控制策略上，分析传统控制策略在响应速度、协同精度和自适应能力等方面的局限，提出基于模糊自适应 PID 控制的策略。该策略融合模糊与 PID 控制优点，能根据实时工况自动调整参数，实现动态协同优化。经 MATLAB/Simulink 仿真验证，面对复杂工况，新型策略提升了各工位协同作业效果，控制了物料充填量偏差，提高了产品合格率，证明其有效性和优越性。

在稳定性研究方面，分析了机械结构、电气控制和外部环境等影响因素。从优化机械结构设计入手，选用高强度材料、优化机架结构和采用高精度传动部件，增强了机械稳定性；在电气控制系统可靠性提升上，采用冗余设计的控制器、高质量电气元件和优化控制程序，降低了电气故障概率，提高了抗干扰能力和运行可靠性。实际案例显示，某化工企业实施稳定性提升措施后，包装合格率从 85% 提高到 98% 以上，设备故障率大幅降低，证明措施能有效提高包装机稳定性，保障生产和产品质量。

这些成果对提升包装机性能有重要价值，优化后的策略和措施能提高包装效率、精度和可靠性，降低成本，增强企业竞争力，为包装机在多行业应用提供技术支持。

参考文献：

- [1] 张利平,曹巨江.新型自动包装机控制系统研究[J].机械设计与制造,2007(4):126-127.
- [2] 刘成.多工位卷筒包装机折边臂控制系统设计与研究[D].湖南:长沙理工大学,2012.
- [3] 黄浩.多工位全自动纸卷包装机的创新设计[C]//首届中国造纸装备发展论坛论文集.2010:537-542.
- [4] 单晴岚,朱信宇,文迪,等.一种快捷式多工位气柱袋包装机的设计[J].现代工业经济和信息化,2018,8(11):27-28.