

自动化设备在食品加工行业的质量控制与安全保障

王元博

京粮(天津)粮油工业有限公司 天津 300452

摘要: 随着食品加工行业向现代化升级,质量控制与安全保障的技术需求日益迫切。本文研究了自动化设备在食品加工质量控制与安全保障中的应用。从关键设备类型、核心质量控制技术、安全保障支撑机制三方面展开,分析检测类、加工控制类等设备功能,阐述参数调控、在线检测等技术要点,剖析污染阻断、风险预警等机制。结果表明,自动化设备可实现全流程质量把控与安全防护,推动行业管控标准化、智能化,对提升食品质量安全水平具有重要实践意义。

关键词: 自动化设备;食品加工行业;质量控制技术;安全保障机制

引言:食品加工行业中,质量稳定与安全保障是核心目标,传统人工管控存在误差大、防控难、响应慢等问题,难以适配现代化生产需求。随着自动化技术发展,其成为突破管控瓶颈的关键。本文结合行业实际,系统梳理自动化设备类型与功能,深入解析核心质量控制技术,探究安全保障支撑机制,旨在为食品加工企业优化管控体系提供理论与实践参考,助力行业平衡生产效率与质量安全。

1 食品加工行业中的关键自动化设备类型及其功能

在食品加工行业中,自动化设备是支撑质量稳定与安全防护的核心载体,其类型划分与功能设计均围绕“降风险、提精度”展开,主要可分为四大关键类别。

(1) 检测类自动化设备,核心功能是实现食品加工全环节的指标监测与风险识别。该类设备可实时采集原料、半成品及成品的理化指标(如水分、酸碱度、成分含量)与微生物指标,通过数字化分析判断物料是否符合质量标准,同时快速识别潜在安全隐患(如污染物残留),避免不合格物料进入下一道工序,从源头把控质量与安全底线。

(2) 加工控制类自动化设备,功能聚焦于加工过程的参数精准调控与标准化执行。其通过程序预设与实时反馈机制,对加热温度、压力、搅拌速率、加工时长等关键参数进行闭环控制,减少人为操作误差导致的质量波动,确保每一批次产品的加工条件一致;通过参数阈值预警,防止因参数异常(如过度加热)产生有害物质,保障加工过程的安全性。

(3) 输送存储类自动化设备,功能侧重物料转运与存储的洁净性、稳定性保障。该类设备采用密闭式输送结构与恒温恒湿存储设计,避免物料在转运过程中与外界环境接触产生污染,同时维持存储环境的温湿度、氧气浓度等参数稳定,防止物料变质或滋生微生物,保障物料在流转与存

储阶段的质量安全。

(4) 清洁消毒类自动化设备,功能在于构建加工环境与设备的卫生安全屏障。其按照食品卫生标准,对加工设备内壁、管道、车间地面及空气进行自动化清洁、杀菌与消毒,可精准控制清洁剂量、温度与时间,避免人工清洁不彻底导致的交叉污染,为后续加工环节的质量控制提供基础卫生保障^[1]。

2 自动化设备在食品加工中的核心质量控制技术

2.1 加工过程参数自动化调控技术

加工过程参数的精准稳定是食品质量的基础,该技术通过软硬件协同构建闭环控制体系,实现关键参数动态管控,具体包含三类技术:

(1) 多变量协同控制技术。以可编程逻辑控制器(PLC)为核心,搭配分布式控制系统(DCS)实现多环节数据互通,预设原料配比、加热温度区间、搅拌转速范围、加工时长阈值等参数标准。在设备关键位置安装温度、压力、流量传感器,实时采集动态数据,经模数转换传输至控制单元,内置算法分析实际与标准参数偏差,若超允许范围,立即向加热装置、搅拌电机、流量阀门等执行机构发送调节指令,实现多参数同步修正。

(2) 微米级计量与投料技术。原料预处理环节配置高精度计量系统,由精度0.01g的重量传感器、最小刻度0.1ml的容积计量装置、伺服驱动机构及控制模块组成。投料时,控制模块按预设配比向伺服机构发信号,驱动计量装置按设定剂量释料,速度传感器实时监测输送速率,异常时调整参数确保匀速投放;同时可根据原料颗粒度、流动性、黏性,调整计量装置振动频率、出料口大小,避免计量偏差。

(3) 环境参数恒控技术。针对车间洁净需求,搭建含温湿度、洁净度、压差控制子系统的智能环境系统。温湿度子系统通过多区域传感器采数,与20-25℃、45%-65%标准比对,超范围则启动空调加热、制冷或加湿、除湿功能;

洁净度子系统用空气悬浮粒子计数器监测,超10万级标准(每立方米 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 粒子 ≤ 350 万个)时,提高空气过滤器功率、增加新风量;压差子系统用差压传感器监测,确保车间正压5-10Pa,通过阀门调节新风与排风比例维持稳定。

2.2 全环节在线检测与筛选技术

依托自动化检测设备,实现从原料入厂到成品出厂全流程质量检测与缺陷筛选,及时识别不合格产品,具体技术包括:(1)物理特性无损检测技术。采用机器视觉与多光谱成像融合方案,机器视觉系统由高清工业相机(30帧/秒)、镜头、光源及图像采集卡组成,采集物料外观图像后,AI算法进行边缘检测、颜色识别、尺寸测量,与外观标准比对,识别表面划痕、色泽不均、外形畸形等缺陷;多光谱成像系统用不同波长光谱照射物料,采集光谱图像,光谱分析算法提取水分、蛋白质、脂肪含量等内部成分信息,检测数据实时传至中控系统。(2)安全隐患精准识别技术。集成多设备构建多层筛查体系:第一层金属检测,输送线上安装金属探测器,基于电磁感应原理,物料含金属杂质时改变磁场产生感应电流,系统据电流信号判杂质类型与大小并报警;第二层异物检测,金属检测后设X射线异物检测仪,射线穿透物料及包装,图像传感器捕捉不同物质灰度差异,算法识别玻璃、石子、塑料等非金属异物;第三层微生物检测,加工中间与成品环节设微生物快速检测模块,生物传感器通过特异性抗体与微生物结合产生电/光信号,信号强度与微生物数量成正比,5-10分钟内输出菌落总数、大肠杆菌等指标结果。(3)包装质量闭环检测技术。构建包装检测与剔除一体化系统,含密封性与标签信息检测子系统。密封性子系统用负压法(密封腔体抽负压监测压力变化,升压则泄漏)或超声波法(发射超声波,缝隙导致反射波异常)检测;标签信息子系统用光学字符识别(OCR)技术,工业相机拍标签图像,算法识别生产日期、保质期、批号,与标准比对;不合格产品触发自动剔除装置^[2]。

2.3 设备与环境自动化清洁消毒技术

为避免污染物影响食品质量,通过自动化设备实现加工设备与环境标准化清洁消毒,具体技术如下:(1)CIP原位清洁技术。在储罐、管道、反应釜、换热器等与食品接触设备内部预设清洁回路,含清洗液储罐、输送泵、喷淋装置、过滤器。清洁按预设程序执行:先清水初步冲洗除残留;再据污染程度与物料特性,选酸性(如硝酸)或碱性(如氢氧化钠)清洗液,按设定浓度、50-80℃温度、流速循环清洗,溶解油污与蛋白质残

留;后清水冲净清洗液;最后热风干燥防细菌滋生。浊度传感器监测清洗液浊度,降至预设值以下判定清洁达标。(2)空间立体化消毒技术。采用紫外线与雾化消毒结合方式:紫外线子系统由灯组、自动化轨道、控制模块组成,灯组装轨道上,生产间隙轨道带灯组按预设路径移动,开启254nm波长紫外线灯,照射30-60分钟消毒车间空气及地面、墙面、设备表面;雾化子系统含消毒剂储罐、高压雾化泵(3-5MPa)、雾化喷头、空气循环风机,泵将消毒剂(如次氯酸钠)雾化成5-10 μm 雾滴,风机带动雾滴扩散消毒,可调节消毒剂浓度、雾化量、消毒时间。(3)设备状态自监测与维护技术。在设备电机、轴承、齿轮、加热管等关键部件装振动、温度、电流传感器,实时采集运行数据;数据传至设备管理系统,算法比对实时与正常参数阈值,异常(振动升高、温度超范围、电流波动大)时发预警;系统内置清洁周期管理模块,据设备运行时长、加工物料类型(如高糖高脂易残留)、批次数量,自动算最佳清洁周期,达标时发提醒并提供清洁流程与参数建议。

2.4 质量数据数字化追溯与预警技术

通过数字化手段实现食品加工全流程质量数据采集、存储、分析与应用,为质量控制提供支撑,具体技术包括:(1)全生命周期数据采集技术。搭建工业互联网数据采集平台,通过工业以太网、物联网网关,与加工、检测、计量、环境监测设备互联互通。原料环节采集供应商、批次编号、检验数据(水分、杂质)、入库时间;加工环节采集各工序参数(温度、压力、时间)、设备状态、操作人员信息;检测环节采集原料、半成品、成品指标(物理特性、成分、微生物)、检测设备编号、时间;包装环节采集包装材料、密封与标签参数、成品入库与出库时间、物流信息。平台用分布式数据库存数,每批产品赋唯一追溯码(如二维码),关联全生命周期数据,扫码可查。(2)AI驱动的质量预测技术。基于历史质量与工艺参数数据,用随机森林、神经网络等机器学习算法构建AI预测模型。先预处理数据(去异常、补缺失),划分为训练集与测试集,训练模型并验证优化,直至误差达标。实际生产中,模型实时接收当前参数数据,结合历史数据预测后续质量问题,风险超阈值时向中控室发预警并推调整建议(如调原料配比、降加热温度)。(3)批次一致性分析技术。针对每批成品检测数据构建分析模型,先确定关键指标(水分、蛋白质、色泽、口感),计算每批指标平均值、标准差、变异系数,比对不同批次统计参数。若某批次指标变异系数超预设范围(如 $> 5\%$),判定与其他批次差

异明显,调取该批次原料检测、加工参数、设备运行数据,用相关性算法定位差异因素(如原料批次、温度波动、设备精度);分析结果生成报告,反馈技术与生产部门,用于优化工艺、调整操作,提高批次一致性^[3]。

3 自动化设备对食品加工安全保障的支撑机制

3.1 污染源头阻断与环境净化机制

自动化设备通过物理隔离与智能调控,从源头降低污染风险,构建基础安全防线,核心逻辑包括:(1)人机隔离式操作管控。采用全封闭输送轨道与自动化抓取机构替代人工接触,原料入厂至成品出库全程在密闭系统内流转,通过负压输送、无菌灌装等设备实现物料无暴露处理。同时,设备运行区域与人员操作区设置物理隔断,仅通过中控系统远程操控,减少人体毛发、皮屑及携带微生物的污染可能。(2)动态环境洁净维持。依托智能环境控制系统,通过温湿度传感器、空气悬浮粒子计数器实时监测车间参数,联动空调新风系统与高效空气过滤器,自动调节温湿度至45%-65%、20-25℃的安全区间,将洁净区尘埃粒子浓度控制在10万级标准以内。同时通过压差自动调节,确保加工区正压环境,防止外界污染空气渗入。

3.2 全流程参数管控与质量核验机制

以数据驱动实现加工全环节的精准把控与缺陷拦截,保障安全标准落地,关键机制如下:(1)工艺参数闭环控制。基于PLC与DCS系统搭建参数管控架构,预设加热温度、杀菌时长、原料配比等安全阈值,通过温度、压力等传感器实时采集数据,经算法分析后动态调节执行机构,确保参数波动不超过±1%。同时集成高精度计量设备,将投料误差控制在±0.1g内,避免因配比失衡引发的安全隐患。(2)多维度在线检测核验。融合机器视觉、X射线检测与生物传感技术,形成全链条检测体系:机器视觉系统以30帧/秒速率识别物料外观缺陷,X射线设备穿透包装检测金属、玻璃等异物,生物传感器

模块10分钟内完成微生物指标检测。检测数据实时同步至中控系统,不合格产品触发自动剔除装置,实现缺陷即时拦截。

3.3 风险预警与应急处置机制

通过自动化响应体系实现风险的提前预判与快速处置,降低安全事故影响,核心支撑包括:(1)设备与数据双预警。搭载振动、温度传感器监测设备运行状态,参数异常时自动触发维护预警;同时基于MES与ERP系统构建数据模型,实时分析原料批次、加工参数等数据,挖掘潜在风险并推送预警信息,实现从“事后处理”到“事前预防”的转变。(2)自动化应急响应。当检测到微生物超标、设备故障等风险时,系统立即启动应急程序:自动关停生产线,隔离可疑物料与区域,通过CIP原位清洁系统对设备进行即时消毒。同时生成包含风险点位、影响范围的报告,同步至管理终端,为快速处置提供数据支撑,最大限度降低安全风险扩散可能^[4]。

结束语:自动化设备通过多元类型协同、核心技术落地、保障机制发力,构建了食品加工全周期质量与安全管控体系,有效解决传统模式痛点。未来,需进一步推动AI、物联网与自动化设备融合,完善技术标准,强化企业应用实践。这不仅提升单个企业管控能力,更能推动食品加工行业整体质量安全水平升级,更好地保障消费者权益与行业可持续发展。

参考文献

- [1]廉伟,陈涛,廉士军.食品加工的自动化控制技术[J].食品与机械,2025,41(4):255.
- [2]赵萍.大型食品企业自动化生产设备管理分析[J].现代食品,2022,28(17):47-49.
- [3]程达.智能传感技术在食品机械加工质量控制中的应用研究[J].现代食品,2025(4):10-12.
- [4]殷铭,王筠雅.自动化设备在食品生产中的应用[J].现代食品,2025,31(13):126-129.