

食品制造设备管理视角下的电气技术创新路径

吴朝民

祐康食品（杭州）有限公司，浙江 杭州 310000

DOI:10.61369/EPTSM.2025110004

摘 要： 本文围绕食品制造设备管理阐述电气技术相关内容。介绍设备管理体系特征，包括标准化等方面及电气技术与之关系，分析电气技术应用瓶颈。还涉及预测性维护、绿色化工艺改进、产线协同控制等技术，强调电气安全及一些提升可靠性举措，最后总结成效与提出后续研究方向。

关 键 词： 食品制造设备；电气技术；设备管理

Innovation Pathways for Electrical Technology from the Perspective of Food Manufacturing Equipment Management

Wu Chaomin

Youkang Foods (Hangzhou) Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 310000

Abstract： This paper addresses electrical technology within the framework of food manufacturing equipment management. It introduces characteristics of equipment management systems, including standardization and their relationship with electrical technology, while analyzing application bottlenecks. The study also covers predictive maintenance, green process improvements, and production line collaborative control technologies, emphasizing electrical safety initiatives and reliability enhancement measures. Finally, it summarizes outcomes and proposes future research directions.

Keywords： food manufacturing equipment; electrical technology; equipment management

引言

食品制造设备管理体系涵盖多个方面，其中电气技术是核心组成部分。近年来，随着《中国制造2025》政策的推进，强调制造业的转型升级，食品制造设备管理也需与时俱进。《中国制造2025》明确提出，到2025年，制造业要实现智能化、绿色化和高效化。电气技术在设备管理中起着关键作用，从标准化管理、全生命周期管理到能效控制等方面都不可或缺。然而，在实际应用中，电气技术面临一些瓶颈问题，例如变频驱动技术的不足、过程控制精度的限制以及节能改造的挑战。此外，在不同的工艺环节，如烘焙和杀菌过程中，也需要对电气技术进行改进和优化。这些改进不仅有助于提升设备管理水平，还能保障食品生产的质量、效率和可持续性。例如，某食品制造企业通过引入先进的变频驱动技术，将生产效率提高了15%，同时降低了10%的能耗。

一、食品制造设备电气技术发展现状

（一）食品加工设备管理体系特征

食品加工设备管理体系具有多方面特征。从标准化管理要求来看，其强调设备的规格、性能、操作流程等方面的统一规范，这与电气技术的适配性紧密相关。电气技术需满足设备在不同生产环节的标准要求，如精确控制温度、压力、转速等参数，以确保食品加工的质量和安全性^[1]。在设备全生命周期管理方面，涵盖从设备的选型、采购、安装调试到运行维护、更新改造直至报废的全过程。能效控制指标是其中的关键要素，与设备的电气系统密切相关。合理的电气技术应用能够优化设备的能效，降低能源消耗，提高生产效率，同时也有助于延长设备的使用寿命，实现

设备全生命周期的高效管理。

（二）现有电气技术应用瓶颈

食品制造设备电气技术在发展过程中面临诸多应用瓶颈。在变频驱动系统方面，部分设备存在变频技术不成熟的问题，导致电机控制精度差。例如，在肉制品加工的切片机应用中，变频器无法实现微米级的精准速度调节，导致切片厚度不均，影响产品质量和产量^[2]。在过程控制精度上，由于传感器等关键元件的精度有限，难以实现精细化生产。例如，在乳品巴氏杀菌过程中，传统温度传感器存在0.5℃以上的误差，可能导致杀菌不彻底或营养成分过度流失。此外，根据《中国食品工业发展报告》，我国部分食品企业电气设备能耗占总能耗的30%以上，且节能改造空间巨大。但一些电气设备的能源利用效率较低，且在某些复杂

工艺中，如高温烘焙和低温速冻，节能措施可能会影响设备的正常运行，增加了节能改造的难度。

二、基于设备管理的电气技术创新需求

（一）智能化维保体系构建需求

预测性维护技术对食品生产连续性具有重要保障作用。通过对设备运行数据的实时监测和分析，能够提前发现潜在故障隐患，及时采取措施进行修复，避免设备突然停机对生产造成的中断影响。构建包含电流检测、热成像分析的多维维护模型是实现预测性维护的有效途径。在具体应用中，例如在灌装生产线上，通过电流检测技术，可以持续监测电机电流的微小波动，一旦发现电流异常升高，则可能预示着轴承磨损或机械卡阻，维护人员可据此在故障发生前进行更换或润滑。同时，热成像分析可以对设备的关键连接点、电机绕组和控制柜进行扫描，及时发现局部过热点。例如，某个接触器端子温度异常升高，则表明接触不良，这是电气火灾的潜在风险，可以立即安排检修，从而保障生产安全和连续性^[3]。

（二）绿色化工艺改进技术要求

在食品制造的烘焙、杀菌等典型工艺环节，电气技术的绿色化工艺改进需求显著。烘焙过程中，传统设备的能源消耗较大且效率有待提高。采用变频调速技术，可根据烘焙的不同阶段（如预热、烘烤、冷却）精准调节风机和传送带的速度，据研究，这可使能耗降低15%以上，显著提升能源利用效率^[4]。同时，在杀菌环节，能量回收技术至关重要。例如，在**高温瞬时杀菌（HTST）设备中，出料的高温产品会通过换热器与入料的低温生乳进行热交换，将高达90%**的热能回收用于预热生乳，大大减少了外部加热所需的能源，有效降低了生产成本，实现了绿色化生产，符合可持续发展的要求。

三、电气关键技术突破方向

（一）智能控制系统创新

1.产线协同控制技术

开发基于工业物联网的分布式控制系统，实现灌装-包装多工序联动是产线协同控制技术的关键。通过在设备上安装传感器和控制器，实现对生产过程中各种参数的实时监测和控制。利用工业物联网技术，将各个设备（如灌装机、封口机、贴标机和装箱机）连接起来，实现数据的共享和交互。具体而言，设备控制器通过MQTT或OPC UA协议将实时数据上传至云平台或边缘服务器。在此基础上，开发分布式控制系统，对生产过程进行优化和协调。例如，当灌装机的数据显示物料不足或灌装速度放缓时，系统能自动向包装机发送指令，调整其运行速度，以避免物料堆积或生产线空转。通过智能算法，如遗传算法或深度学习算法，对生产计划进行合理安排，提高生产效率和质量。同时，该系统还可以实现故障诊断和预测，及时发现和解决问题，减少停机时间。通过这种方式，可以实现灌装-包装多工序的联动，提

高整个生产线的协同性和效率^[5]。

2.自适应调节算法

物料特性感知与电机参数自整定技术是解决黏性物料输送系统稳定性问题的关键。通过智能传感器对物料特性进行实时感知，获取如黏度、湿度等关键参数^[6]。基于这些参数，自适应调节算法能够动态调整电机的运行参数，如转速、转矩等。例如，当物料黏度增大时，算法可适当提高电机转速以确保物料的稳定输送，同时避免因过度用力而损坏设备。这种自适应调节机制提高了系统对不同物料特性的适应性，增强了黏性物料输送系统的稳定性和可靠性，为食品制造设备的高效运行提供了有力保障。

（二）可靠性提升技术

1.多重安全防护体系

在食品制造设备管理中，电气安全至关重要。应设计涵盖过载保护、谐波抑制的电气安全方案以满足GMP规范要求。过载保护可防止设备因电流过大而损坏，通过合理设置保护阈值和响应机制，确保设备在安全电流范围内运行。谐波抑制则能减少谐波对电网和设备的不良影响，提高电能质量，降低设备故障风险。同时，该方案要符合GMP规范，注重卫生、安全和可靠性^[7]。例如，在设备布局和布线设计上，要避免灰尘和水分积聚，防止电气故障引发食品安全问题。通过这些措施构建多重安全防护体系，提升电气系统的可靠性，保障食品制造设备的稳定运行。

2.冗余容错控制策略

建立关键设备双电源备份机制是提升可靠性的重要举措。在食品制造设备管理中，通过为关键设备配置双电源，可有效应对突发停电等故障情况。在具体实施中，可以采用自动转换开关（ATS），其设计方案和实施步骤如下：首先，在主电源（市电）和备用电源（发电机或UPS不间断电源）之间安装ATS。其次，设计电源切换逻辑：ATS持续监测主电源电压，当电压低于设定阈值或完全断电时，ATS将自动在毫秒级内切换到备用电源。当主电源恢复正常后，ATS会延时一段时间（如30秒），确认电压稳定后，再平稳地切回主电源，以防止电压波动对设备造成二次伤害。这一机制确保了切换过程平稳、快速且无冲击，为连续化生产提供了强有力的故障恢复能力，为食品制造企业的稳定生产提供有力支持^[8]。

四、技术创新实施路径

（一）技术改造实施路径

1.灭菌设备电气化升级

食品制造中的灭菌设备可通过电磁感应加热实现电气化升级，替代传统蒸汽灭菌方式。电磁感应加热基于电磁感应原理，使被加热物体自身发热，具有加热速度快、效率高的特点。其能够实现精准温控，通过精确控制感应电流的大小和频率，可将温度控制在极小的误差范围内，满足不同食品对灭菌温度的严格要求。在实际操作中，首先需根据待灭菌物料的介电常数和热容特性选择合适的感应线圈和电源。其次，通过高频逆变电源将工频交流电转换为高频高压电流，再通过感应线圈产生高频交变磁

场,对物料进行非接触式加热。同时,安装高精度温度传感器与PID温控模块,可实时反馈温度数据,实现对感应电流的闭环控制,确保温度精准稳定。这种加热方式有利于能源梯级利用,减少能源浪费,提高能源利用效率,符合可持续发展的理念,为食品制造企业在设备管理方面提供了一种有效的电气技术创新路径^[9]。

2.混合设备驱动系统改造

应用永磁同步电机(PMSM)技术对混合设备驱动系统进行改造。永磁同步电机具有高精度的转矩控制能力,能够有效提升搅拌设备的转矩控制精度^[10]。在食品制造过程中,精确的转矩控制可确保搅拌的均匀性和稳定性,从而提高产品质量。同时,该技术有助于降低材料损耗,这是因为精准的转矩控制避免了过度搅拌或搅拌不足导致的材料浪费。在实施改造时,需拆除原有异步电机和减速机,安装永磁同步电机,并配套使用高性能矢量控制变频器。在调试阶段,应进行电机参数自整定,确保变频器与电机特性完全匹配,从而实现精确的转矩控制。通过这种技术改造,混合设备的驱动系统性能得到优化,提高了设备的运行效率和可靠性,为食品制造企业带来更好的经济效益和产品质量保障。

(二)管理优化路径

1.设备健康管理系统构建

整合SCADA系统与振动分析技术,是构建设备健康管理系统的核心。首先,需确保二者数据接口兼容性与传输准确性,通过在SCADA系统中开放OPC UA或Modbus TCP接口,允许振动传感器数据接入。同时,在振动分析软件中配置数据采集频率和格式,确保与SCADA系统的数据时间戳同步。通过融合SCADA获取的温度、压力等实时数据与振动分析监测的频率、振幅等指标,可深入挖掘设备故障的关联特征。在此基础上,运用神经网络或支持向量机等算法,构建设备劣化趋势预测模型。该模型能依据实时数据评估设备健康状态,预测潜在故障,为预防性维护提供有力依据。这不仅提高了设备管理的效率与精准性,也有效减少了意外停机,保障了生产连续性。

2.备件智能调配机制

利用大数据分析技术对备件的使用频率、设备故障模式等数据进行深入挖掘。通过分析不同故障模式下所需备件的种类和数量,建立故障模式与备件关联图谱。这一图谱能够准确反映设备故障与备件需求之间的内在联系。根据图谱,优化备件库存结构,合理确定各类备件的储备数量。对于频繁出现故障且关联紧密的备件,适当增加库存;对于很少用到的备件,则减少库存。

同时,利用智能调配系统,依据设备实时运行数据和故障预测信息,结合关联图谱,快速准确地调配备件,提高设备维修效率,降低停机时间,从而提升食品制造设备的整体运行效率。

(三)技术迭代路径

1.数字孪生技术应用

数字孪生技术可应用于食品制造设备管理的电气技术创新中。通过构建食品制造设备的数字孪生模型,能够实时反映设备的运行状态、性能指标等。在电气系统方面,利用数字孪生可模拟不同电气参数设置下设备的运行效果,优化电气控制策略。同时,数字孪生模型可与实际设备的传感器数据相连,实现对设备电气系统的精准监测和故障预测。这有助于提前发现潜在电气问题,及时采取措施进行维护和修复,减少设备停机时间,提高生产效率。还可利用数字孪生技术对新的电气技术和工艺进行虚拟验证,在虚拟环境中评估其可行性和效果,降低实际应用中的风险,加速电气技术创新在食品制造设备管理中的应用和推广。

2.模块化设计理念推广

在食品制造设备管理中,电气技术创新的模块化设计理念推广至关重要。开发标准化功能模块是关键举措。通过对设备电气系统进行深入分析,将其分解为多个具有特定功能的模块。这些模块应具备标准化的接口和规格,以便于在不同设备之间进行互换和组合。这不仅有利于提高设备的兼容性和可扩展性,还能实现快速重构与升级。当设备需要更新功能或提升性能时,只需替换或增加相应的模块即可,无需对整个电气系统进行大规模改造。同时,标准化模块的开发也有助于提高生产效率,降低生产成本,促进电气技术在食品制造设备管理中的创新应用。

五、总结

从设备管理视角来看,电气技术创新显著提升了食品制造设备的运行效率和稳定性,保障了生产的连续性与产品质量。面向个性化定制生产的智能化路径已逐渐清晰,能够满足多样化的市场需求。然而,未来的研究仍需解决食品制造环境高温高湿带来的挑战。应集中开发耐高温、耐潮湿的电气设备材料,如采用纳米涂层或特种高分子材料提升电气元件的防护等级。同时,需优化设备的散热与防潮设计,可借鉴液冷技术或密封式设计。此外,食品级润滑材料的应用研究也至关重要,建议开展其性能测试,并建立润滑材料数据库,确保设备安全与使用寿命。这些方向将为电气技术在食品设备管理中的创新提供广阔空间。

参考文献

- [1]王坤.智能制造背景下Z企业设备管理系统研究与实现[D].吉林大学,2021.
- [2]于同坡.某军工制造企业设备管理问题及对策分析[D].电子科技大学,2021.
- [3]蔡前程.电瓷智能制造示范工程设备管理子系统的研发[D].济南大学,2021.
- [4]胡蝶.物联网背景下ZT建筑集团设备管理研究[D].北京交通大学,2022.
- [5]马万里.MES环境下D公司设备管理优化研究[D].燕山大学,2023.
- [6]张伟,李亚,刘磊.浅谈智能制造背景下企业设备管理转型升级[J].中国设备工程,2023,(14):44-46.
- [7]苏强,徐高敏,贾登超,等.“互联网+”下的光伏制造设备管理[J].科技资讯,2017,15(06):129-130.
- [8]张勇.全周期管理视角下的烟草设备管理研究[J].今日自动化,2021(10):189-190.
- [9]彭宣霖.港口电气设备管理的制度建设[J].科技风,2021(6):2.
- [10]程智浩,刘志鹏,张振广.汽车制造企业设备管理流程再造分析[J].中国设备工程,2021(12):2.