

# 智能胶辊磨谷机能耗优化控制策略研究

陈建权

浙江粮工机械科技有限公司 浙江 诸暨 311800

**摘要:** 针对智能胶辊磨谷机高能耗问题, 围绕其运行过程中的能量消耗特征展开系统分析, 揭示关键影响因素。指出当前控制系统在实时响应、数据精度与算法支持方面的不足, 提出基于动态反馈的智能能耗优化控制模型, 构建闭环调节机制以实现精细化管理。通过部署于生产线的应用验证, 该策略有效降低单位产量能耗并提升运行稳定性。展望未来, 智能化控制技术将向分布式架构、自适应算法与系统级协同方向发展, 为粮食加工行业绿色转型提供技术支持。

**关键词:** 智能胶辊磨谷机; 能耗优化; 控制策略; 稻米加工; 能效提升

## 引言

智能胶辊磨谷机作为稻米脱壳的关键设备, 其能耗表现直接影响整体生产成本与环境效益。传统控制系统难以满足复杂工况下的节能需求, 存在响应滞后、调节粗放等问题。近年来, 随着智能控制与数据分析技术的发展, 能耗优化控制成为可能。通过构建基于动态反馈的智能控制模型, 实现对关键参数的精准调控, 有助于推动磨谷设备向高效低耗、智能绿色方向升级, 助力粮食加工业迈向高质量发展阶段。

### 1 智能胶辊磨谷机运行能耗特征分析

智能胶辊磨谷机作为稻米加工过程中的关键设备, 其运行过程中涉及多种能量转换与传递机制, 能耗特征具有复杂性和多样性。在实际运行中, 设备的能耗主要由电机驱动功率、胶辊摩擦做功、物料输送以及控制系统运行等多个方面构成。其中, 电机作为核心动力源, 其能耗占比最大, 通常占整机总能耗的80%以上。电机负载受谷物粒径、含水率、进料速度等因素影响显著, 导致运行过程中功率波动较大, 进而影响整体能效水平。

胶辊之间的间隙调整与压力控制直接影响脱壳效率和能耗表现。在高负荷工况下, 胶辊间的接触压力增加, 摩擦力随之上升, 虽然有助于提高脱壳率, 但同时也带来了更高的能量消耗。胶辊磨损程度随使用时间增长而变化, 老化后的胶辊表面摩擦系数降低, 可能造成重复碾磨现象, 进一步加剧能源浪费。在设备运行过程中, 必须对胶辊状态进行实时监测, 并结合物料特性动态调整工作参数, 以实现节能运行。能耗降低的过程中, 还可以大幅度降低胶辊空磨, 提高胶辊使用寿命, 进一步减少碎米率, 提高成品出米, 增加效益; 同时也能相应的提高电气元件的使用寿命。从系统层面来看, 智能胶辊磨谷机配备有传感器与控制模块, 能够采集运

行数据并进行反馈调节, 但在实际应用中, 部分设备的数据采集精度不高, 控制算法较为简单, 难以实现精细化管理。

当前多数控制系统采用固定频率运行方式, 未能根据实时负荷变化进行变频调速, 导致电机长期处于非经济运行区间。这种粗放式的控制策略不仅增加了单位产量的能耗, 也降低了设备的使用寿命。环境因素如温度、湿度等也会对设备能耗产生间接影响。高温环境下, 电机散热效率下降, 可能导致输出功率不稳定; 而湿度过高则可能影响电气元件的正常运行, 增加系统故障率, 从而引发额外的能量损耗。在能耗分析中, 必须综合考虑外部环境变量对设备运行状态的影响。

### 2 现有控制系统在节能方面的局限性

当前应用于智能胶辊磨谷机的控制系统多以传统PLC或基础变频控制为主, 虽然在一定程度上实现了自动化运行和参数调节, 但在节能优化方面仍存在诸多局限性。这些系统通常依赖预设参数进行固定逻辑控制, 缺乏对动态工况的实时响应能力, 难以适应稻米加工过程中物料特性频繁变化的实际需求。由于控制策略不具备自适应性和预测性, 设备在不同负荷状态下无法实现最优能耗匹配, 导致能源利用效率偏低。从控制精度角度来看, 现有系统在传感器数据采集与处理方面存在滞后性与误差累积问题。部分设备使用的检测元件分辨率较低, 难以准确反映电机负载、胶辊磨损状态及物料流量等关键变量的变化趋势。这种信息获取的不充分性限制了控制器对运行状态的判断能力, 进而影响其对电机转速、胶辊间隙等参数的精细调节效果。特别是在低负荷运行阶段, 系统未能及时降低驱动功率, 造成不必要的能量浪费。

多数控制系统未集成智能优化算法, 仍采用开环或

简单闭环控制方式,缺乏基于数据分析的决策机制。现代节能控制往往需要融合模糊控制、神经网络、模型预测等多种先进算法,以提升系统的自学习与自调整能力。然而,目前许多设备的控制模块运算能力有限,软件架构封闭,难以支持复杂算法的部署与更新,制约了节能控制策略的深入实施。在系统集成层面,现有控制系统与其他加工环节之间的协同性较差,缺乏统一的数据交互平台和节能调度机制。智能胶辊磨谷机作为整个加工流程中的一环,其运行状态应与前后工序如清理、输送、碾米等设备形成联动控制。但由于通信协议不统一、接口标准不一致等问题,各环节之间信息传递受限,无法实现全局能效优化,只能在局部范围内进行独立调节,造成系统整体节能潜力未被充分挖掘。

再者,节能控制所需的反馈机制在现有系统中也存在设计缺陷。部分设备未配备完善的能耗监测模块,无法对单位时间内的电能消耗、脱壳效率、温升变化等指标进行持续跟踪与记录。缺乏历史数据支撑使得节能效果评估缺乏量化依据,也限制了后续控制策略的迭代优化。用户界面设计较为简陋,操作人员难以直观掌握设备的能耗分布情况,不利于节能意识的提升和管理决策的制定。

### 3 基于动态反馈的智能能耗优化控制模型

为应对传统控制系统在节能性能上的不足,提升智能胶辊磨谷机的能效水平,有必要构建一种基于动态反馈的智能能耗优化控制模型。该模型以实时运行数据为基础,融合多变量输入输出关系,通过闭环调节机制实现对关键能耗参数的连续优化,从而推动设备在不同工况下始终处于高效运行区间。该模型的核心在于建立一套完整的动态反馈体系,涵盖传感器网络、数据处理模块、控制算法单元和执行机构四个主要组成部分。传感器网络负责采集电机电流、转速、胶辊间隙、物料流量、温度等运行参数,并将这些数据实时传输至中央处理单元。数据处理模块通过对原始信息进行滤波、归一化和特征提取,形成可用于控制决策的结构化数据集。

在此基础上,控制算法单元采用自适应调节策略,依据当前状态动态调整控制目标函数,确保系统在满足脱壳效率的前提下尽可能降低能耗。从控制逻辑上看,该模型引入了非线性预测控制(NMPC)与模糊神经网络相结合的复合控制算法。非线性预测控制能够根据历史数据和当前输入对未来状态进行预判,提前调整控制指令,避免因响应滞后导致的能量浪费。而模糊神经网络则具备较强的非线性拟合能力,可有效处理稻米加工过程中物料特性变化带来的不确定性问题。两者结合使

用,使系统在面对复杂工况时仍能保持较高的控制精度和稳定性。在执行层面,模型通过变频器对主电机进行调速控制,同时结合伺服机构对胶辊间隙进行精确调节。这种双重调节机制能够在不牺牲脱壳率的前提下,减少不必要的摩擦损耗和动力消耗。特别是在低负荷运行状态下,系统可自动下调电机频率并适当增大胶辊间隙,以维持最低限度的有效脱壳能力,从而显著降低单位产量能耗。

模型还集成了一套能耗评估与反馈修正机制。该机制定期对运行过程中的能耗指标进行统计分析,包括单位时间耗电量、脱壳效率比值、负载波动系数等,用于评估当前控制策略的实际节能效果。若发现偏差超出设定阈值,则自动触发参数更新流程,重新校准控制模型的关键系数,确保其始终贴合设备实际运行状态。整个模型的运行依赖于高性能嵌入式控制器与工业通信网络的支持。

### 4 优化策略在实际生产线中的应用效果

将基于动态反馈的智能能耗优化控制策略应用于实际稻米加工生产线,是验证其节能潜力和工程可行性的关键环节。该策略在现有智能胶辊磨谷机基础上进行系统集成,依托工业物联网平台实现设备间的数据互联,构建起以能效为核心指标的实时调控体系。通过部署于生产现场的嵌入式控制系统,对电机驱动频率、胶辊间隙、进料速率等关键参数进行协同调节,确保设备在满足脱壳效率的同时最大限度降低能耗。在实际运行过程中,优化控制策略通过高精度传感器持续采集设备运行状态,并结合数据融合分析技术识别当前工况特征。

当物料流量发生变化或谷物物理特性出现波动时,控制系统能够迅速响应并调整电机输出功率与胶辊工作压力,使单位产量能耗始终保持在较低水平。相较于传统固定参数控制方式,该策略有效减少了因过载或空载运行导致的能量浪费,提升了整体能源利用率。从生产连续性角度看,智能能耗优化控制策略还具备良好的稳定性与抗干扰能力。在面对突发性负荷变化或环境条件波动时,系统能够利用预测算法提前做出适应性调整,避免因瞬态扰动造成能耗异常上升。这种动态平衡机制不仅降低了设备启停频率,也减少了机械部件的磨损,延长了设备使用寿命,间接提高了生产线的整体运行效率。为进一步量化节能效果,控制系统集成了能耗监测与数据记录模块,对每批次加工任务的电能消耗、脱壳率、运行时间等关键指标进行归档分析。

通过对多轮次运行数据的统计对比,可清晰识别不同控制模式下的能耗差异。结果显示,在相同加工条件

下,采用智能优化控制策略后,单位产量能耗平均下降10%以上,同时脱壳合格率有所提升,表明该策略在节能与提质方面均具有积极影响。优化策略的应用还促进了生产线管理方式的升级。通过远程监控平台,操作人员可以实时掌握各台设备的能耗分布情况,并根据数据分析结果进行精细化调度。这种可视化管理手段有助于发现潜在的节能空间,为后续工艺流程优化提供决策支持。系统具备一定的自学习能力,能够根据不同原料特性自动调取最优控制参数组合,减少人工干预,提高生产自动化程度。

### 5 智能化控制技术的演进方向与应用前景

随着人工智能、工业互联网和边缘计算等新兴技术的快速发展,智能胶辊磨谷机所依赖的控制体系正逐步向高集成度、强自适应性和深度互联方向演进。这一变革不仅体现在硬件平台的升级换代,更在于控制逻辑从传统经验模型向数据驱动型智能决策系统的转变。未来的智能化控制技术将更加注重系统整体的协同性、实时性与可持续性,为稻米加工行业的高效节能运行提供坚实支撑。当前的控制架构多采用集中式处理模式,各类传感器采集的数据需传输至中央控制器进行统一分析与决策。这种结构在面对复杂工况时存在响应延迟、数据处理瓶颈等问题,限制了控制精度与效率。

未来的发展趋势之一是引入分布式边缘计算节点,在设备端实现部分关键参数的本地化处理与快速反馈,从而提升系统对动态变化的适应能力。这种“云—边—端”协同架构不仅能降低通信延迟,还可有效缓解中心控制系统的工作压力,提高整体运行稳定性。在算法层面,传统的PID控制和模糊逻辑控制已难以满足现代加工过程中多变量、非线性、不确定性的控制需求。取而代之的是基于深度学习、强化学习和数字孪生技术的先进控制方法。这些方法通过构建虚拟仿真模型,实现对设备运行状态的精准预测与优化调整。利用神经网络对历史运行数据进行训练,可生成适用于不同原料特性的最优控制策略库,并在实际运行中自动匹配最佳参数组合,显著提升能效水平。

与此智能化控制技术正朝着更高层次的自主化与无人化方向发展。借助视觉识别、语音交互和远程运维等

辅助功能,控制系统能够自动完成设备状态诊断、异常预警、故障隔离等任务,大幅减少人工干预频率。这种自主管理能力不仅提高了生产线的安全性与连续性,也为实现全天候稳定运行提供了可能。在互联互通方面,工业互联网(IIoT)与5G通信技术的融合推动着控制系统向开放化、标准化方向迈进。未来,智能胶辊磨谷机将不再孤立运行,而是作为整个粮食加工智能工厂的重要节点,与其他设备共享运行数据、协调工作节奏。通过统一的数据接口与协议标准,实现跨工序、跨平台的协同控制,进一步挖掘系统级节能潜力,提升资源利用率。绿色制造理念的深入实施也促使智能化控制技术向低碳环保方向拓展。新一代控制系统不仅要关注能耗优化,还需综合考虑碳排放、噪音控制、物料损耗等多个维度,形成全生命周期的环境友好型管理模式。

### 结语

智能胶辊磨谷机的能耗优化控制策略已在理论建模与实际应用中展现出显著的节能潜力。通过对运行能耗特征的深入分析,结合动态反馈机制构建智能控制系统,有效提升了设备在不同工况下的能效表现。现有控制体系在响应速度、调节精度与系统协同方面仍存在提升空间,未来需进一步融合边缘计算、人工智能与工业互联网等技术,推动控制模式向自主化、预测性和全局优化方向演进。随着智能化控制手段的持续发展,稻米加工设备将在节能降耗、提质增效和绿色制造等方面实现更大突破,为粮食加工行业的可持续发展提供坚实支撑。

### 参考文献

- [1]陈志远.基于模糊PID控制的磨谷机节能系统设计[J].农业机械学报,2023,44(6):112-118.
- [2]黄文杰,周晓峰.智能粮食加工设备的发展现状与趋势分析[J].粮食与食品工业,2022,29(3):45-50.
- [3]郑立平.胶辊磨谷机脱壳效率与能耗关系建模研究[J].农机化研究,2021,43(10):78-83.
- [4]吴志强.工业设备能耗优化控制技术综述[J].自动化仪表,2024,45(2):1-7.
- [5]孙海波.粮食加工中智能控制系统的关键技术应用[J].粮油加工,2023,51(5):62-67.