

# 基于嵌入式系统的叉车智能控制器节能控制研究

叶章林

杭州丰乐电子科技有限公司 311305

**【摘要】**随着工业领域对节能减排的需求日益迫切，叉车作为物流搬运的核心设备，其能耗优化成为行业关注焦点。本文聚焦嵌入式系统在叉车智能控制器节能控制中的应用，通过分析叉车运行的动力特性与能耗机理，构建基于嵌入式平台的智能控制架构，整合多源感知数据与自适应控制策略，实现动力输出与作业需求的动态匹配。研究从硬件选型、软件算法优化及控制逻辑重构三个维度切入，探索嵌入式系统在降低无效能耗、提升能量利用效率方面的技术路径。结果表明，嵌入式智能控制器可通过实时工况感知与精准控制指令输出，有效优化叉车动力系统运行状态，为工业车辆节能技术的发展提供理论支撑与实践参考。

**【关键词】**嵌入式系统；叉车；智能控制器；节能控制；动力优化

Research on Energy-Saving Control for Intelligent Forklift Controllers Based on Embedded Systems by

Ye Zhanglin

Hangzhou Fengle Electronic Technology Co., Ltd. 311305

**【Abstract】** With the growing emphasis on energy conservation and emission reduction in industrial sectors, energy efficiency optimization has become a critical focus for forklifts as core logistics handling equipment. This study explores the application of embedded systems in energy-saving control for intelligent forklift controllers. By analyzing operational dynamics and energy consumption mechanisms, we develop an embedded platform-based intelligent control architecture that integrates multi-source sensing data with adaptive control strategies to achieve dynamic alignment between power output and operational demands. The research adopts a three-dimensional approach encompassing hardware selection, software algorithm optimization, and control logic restructuring, investigating technical pathways for reducing unnecessary energy consumption and enhancing energy utilization efficiency through embedded systems. Results demonstrate that embedded intelligent controllers can effectively optimize forklift power system performance through real-time condition monitoring and precise command execution, providing theoretical foundations and practical references for industrial vehicle energy-saving technologies.

**【Key words】** Embedded systems; Forklifts; Intelligent controllers; Energy-saving control; Power optimization

## 引言

在全球能源结构转型、绿色工业发展大背景之下，物流装备节能化升级成了促进产业可持续发展的关键部分。叉车是仓储物流、港口码头、制造业车间不可缺少的搬运设备，叉车长期高频次运行所造成的能耗成本和环境影响越来越受到人们的关注。传统的叉车控制器大多采用固定的参数控制方式，不能根据作业负载、行驶路况、操作习惯等动态变化的工况来做出自适应的调整，造成动力输出与实际需求之间存在错配，从而造成大量的能量浪费。嵌入式系统由于体积小、响应快、功耗低、可定制化程度高，是叉车智能控制器节能优化的最佳技术载体。本文以嵌入式平台为基础，对

叉车动力传输系统和能耗产生的主要环节进行深入分析，通过改进控制策略和系统结构来达到精细化的能耗管理目的，为叉车相关领域技术创新和推广应用提供基础。

## 1 叉车动力系统与能耗机理分析

### 1.1 叉车动力系统构成

叉车动力系统的主要功能就是把能量转化为机械动力，驱动叉车完成行驶、升降、转向等作业动作。其构成要结合作业场景的负载特性以及运行要求，形成一个由多个组件协同工作所组成的有机整体。动力源是能量供给的核心，目前主流的动力源有内燃发动机和动力电池组，前者依靠燃油燃

烧释放能量,后者通过电化学反应实现电能的存储和输出,两类动力源在能量转化效率、使用成本 and 环境影响等各方面存在较大的差别。传动装置是动力传递的重要机构,通过齿轮箱、液压系统或者电机控制器等部件,把动力源输出的能量转化为符合作业要求的转速和扭矩,传动效率影响动力系统整体能耗<sup>[1]</sup>。执行机构包含驱动轮、升降油缸、转向机构等,是动力输出和作业动作转化的终端部件,运行状态及能耗表现相关联。控制系统依靠感知工况信息、下发控制指令来协调各个组件的工作节奏,传统的控制系统大多采用开环控制模式,缺少对动态工况的自适应调节能力。

### 1.2 叉车能耗产生的核心机理

叉车能耗的产生同动力系统运行的全过程有密切联系,主要机理就是能量转化和传递过程中损耗以及动力输出和作业需求的不匹配。动力源上,内燃叉车的燃油燃烧过程存在热效率的限制,部分能量以废气、散热等形式散失掉,动力电池在充放电过程中由于内阻的存在会产生焦耳热损耗,低温环境下电池活性降低也会导致能量利用效率下降。传动环节中机械摩擦、液压油泄漏、流体阻力等都会造成能量损耗,在负载频繁变化的时候,传动系统的动态响应滞后会加重能量浪费。执行机构的无效运行也是造成能耗的原因之一,在叉车空载行驶、等待作业或者升降机构空行程的时候,动力系统仍然保持较高的输出功率,造成能量的浪费。

### 1.3 嵌入式系统适配叉车节能控制的优势

嵌入式系统的技术特性与叉车节能控制的需求具有高度契合性,为能耗优化提供了关键支撑。其紧凑的硬件结构可适应叉车驾驶舱有限的安装空间,核心处理器的低功耗设计能够降低控制器自身能耗,避免因控制设备运行造成额外能量消耗。嵌入式系统具备快速的数据处理能力,可实时采集叉车运行过程中的负载重量、行驶速度、电池状态、液压系统压力等多源工况信息,通过内置算法进行快速分析与决策,为控制指令的精准下发提供保障。相较于传统控制器,嵌入式系统支持软件算法的灵活升级与定制化开发,可根据不同叉车类型、作业场景及能耗目标,优化控制逻辑与参数配置,实现个性化节能方案<sup>[2]</sup>。

## 2 嵌入式智能控制器节能控制体系设计

### 2.1 控制体系的核心设计原则

嵌入式智能控制器节能控制体系的设计要遵循系统性、适应性、实用性三大原则,从而达到能耗优化和作业效率的平衡。系统性原则是从动力系统整体出发,统筹考虑动力源、传动装置、执行机构和控制系统之间的协同工作,防止由于

某个组件的优化而造成系统失衡,通过各环节的联动设计来达到全流程能耗降低的目的。适应性原则要求控制体系要有对动态工况的感知和调节能力,根据负载变化、行驶路况、电池状态等实时信息,自适应地调整控制参数,保证动力输出一直和作业需求相匹配。实用性原则就是设计方案要充分考虑叉车实际作业环境和使用需求,控制逻辑简单高效,硬件选型兼顾成本和性能,防止过度设计造成的应用障碍。

### 2.2 控制体系的整体架构设计

嵌入式智能控制器节能控制体系采用分层架构设计,自上而下分为感知层、决策层和执行层,各个层次之间通过数据交互和指令传递来协同工作<sup>[3]</sup>。感知层是信息采集终端,集成了各种传感器设备,有检测负载重量的压力传感器、检测行驶速度的霍尔传感器、采集电池电压和电流的电量传感器、检测液压系统压力的压力变送器、检测环境温度的温度传感器等。传感器可以实时采集工况数据,经过模数转换模块把模拟信号转换成数字信号,再通过通信接口传送到决策层。决策层是控制体系的中心,采用嵌入式微处理器,内置节能控制算法和逻辑处理模块,接收感知层传来的数据之后,经由算法分析工况特征,判定作业需求,进而制订出改良的控制策略,包含动力输出调节,传动比改善,能量回收控制等。执行层是接收决策层下发的控制指令,驱动模块控制动力源输出、传动系统调节、执行机构动作,从而完成控制策略的执行。

### 2.3 能耗优化的核心控制目标

嵌入式智能控制器节能控制的主要目的就是,在保证叉车作业性能和安全性的基础上,尽可能地减少能耗,提高能量利用率。从本质上讲,就是改善动力源的输出特性,使内燃叉车的燃油燃烧更充分,动力电池的充放电效率更高,从而降低能量转化过程中产生的损耗。实现传动系统动态匹配,根据负载、行驶速度改变传动比或者液压系统压力,减小机械摩擦和流体阻力造成的能量损耗。控制执行机构的运行速度,防止无效动作和空行程,空载行驶时降低动力输出功率,升降机构到达目标位置后立即切断动力。建立能量回收机制,把叉车制动时产生的动能或者液压系统的势能转化为电能储存到电池里,达到能量的循环利用。另外,通过改进控制策略来提高动力系统动态响应速度,减少由于工况变化造成的能量冗余消耗,达到能耗和作业效率的协同优化。

## 3 关键节能控制策略研究

### 3.1 基于工况感知的自适应动力调节策略

基于工况感知的自适应动力调节策略是实现叉车节能

的主要方法,其主要思想就是根据实时工况信息来动态调节动力输出参数。嵌入式控制器依靠感知层采集到的负载重量、行驶速度、电池剩余电量、作业任务类型等数据来创建工况特征模型,从而判定叉车处在空载行驶、重载爬坡、升降作业或者等待作业等不同工作状态当中。根据不同的工况来制定不同的动力输出方案,重载行驶或者爬坡时适当提高动力源的输出功率,保证作业动力充足;空载行驶或者轻载作业时降低动力输出到合理的水平,避免能量浪费;等待作业状态下控制动力系统进入低功耗模式,只维持必要的设备运行。为了实现平滑调节,用模糊控制算法对动力输出参数进行优化,以负载重量和行驶速度为输入变量,动力输出功率为输出变量,建立模糊规则库,实现输入和输出之间的非线性映射,保证动力调节的连续性和稳定性,防止由于参数突变造成能耗增加或者作业性能下降。

### 3.2 传动系统能量损耗抑制策略

传动系统能量损耗是叉车能耗的重要组成部分,根据机械传动和液压传动的不同特点,提出相应的损耗抑制措施。对机械传动系统,用嵌入式控制器实时监测传动齿轮的转速和扭矩,根据负载的变化情况,动态调节传动比,使齿轮始终处于高效啮合状态,减少摩擦损耗<sup>[4]</sup>。同时用传感器检测润滑油温度和油位,当温度过高或者油位过低的时候,及时发出预警信号并调整传动系统运行参数,防止由于润滑不良而造成能量损耗。对于液压传动系统,用变量泵控制策略,嵌入式控制器根据液压系统压力、流量需求来调节变量泵的排量,使液压油输出与执行机构需求相匹配,减少溢流损失。优化液压系统控制逻辑,采用流量再生技术,在升降机构下降过程中,把液压油的势能转化为液压系统动力,实现能量回收和再利用,减小动力源负荷。另外,通过改进液压管路的设计参数来减小管路阻力,降低流体能量损耗。

### 3.3 动力源能量管理优化策略

动力源能量管理是节能控制的重要环节,要根据动力源类型采取不同的优化措施。内燃叉车嵌入式控制器对发动机转速、节气门开度、排气温度等参数进行监测,调节燃油喷射量和点火时机,使发动机一直处在经济工况区,提高燃油燃烧效率。采用怠速启停控制策略,叉车长时间等待作业时,控制器自动切断发动机动力输出,避免怠速运行造成的燃油浪费,作业指令下达后快速启动发动机,保证作业连续性。针对电动叉车,建立电池能量管理系统,利用嵌入式控制器对电池的电压、电流、温度、剩余电量进行实时监测,采用动态均衡充电算法,防止电池单体过充、过放,延长电池使用寿命,提高能量存储容量。优化电池放电策略,根据作业负载需求调节放电电流,防止大电流放电造成能量损耗和电池损伤<sup>[5]</sup>。同时利用嵌入式系统存储和分析功能,记录电池充放电历史数据,建立电池衰减模型,为电池维护和更换提供依据。

## 4 结论

本文围绕嵌入式系统在叉车智能控制器节能控制中的应用展开研究,通过分析叉车动力系统构成与能耗机理,构建了基于嵌入式平台的智能节能控制体系,为叉车能耗优化提供了完整的技术方案。嵌入式系统凭借其小巧、高效、灵活的特性,能够实现工况的实时感知与控制策略的动态调整,有效降低动力源、传动系统及执行机构的能量损耗。控制体系的分层设计与核心算法的优化,确保了节能控制的精准性与稳定性,硬件系统的合理选型与软件的可靠性设计为系统的实际应用提供了保障。该研究成果不仅为叉车节能技术的发展提供了理论与实践参考,也为嵌入式系统在工业车辆领域的应用拓展了新的路径,对推动物流装备的绿色化、智能化升级具有重要意义。

## 参考文献

- [1]万人滔,钱朝明,叶志菁,等.基于嵌入式机器视觉系统的粉煤灰运输定量装车智能化研究与应用[J].能源与环保,2025,47(11):310-314+324.
- [2]王良良.智能变电站工程设计中嵌入式应急管理模块的集成化开发路径[J].湖北应急管理,2025,(22):3-5.
- [3]周鑫卓.基于嵌入式系统的电动叉车助力转向系统的研究[D].浙江工业大学,2015.
- [4]夏光,唐希雯,汪韶杰,等.内燃平衡重叉车横向稳定性控制系统设计[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2014,37(04):385-389.
- [5]夏光,唐希雯,汪韶杰,等.内燃平衡重叉车自动变速控制系统设计[J].工程机械,2011,42(11):38-44+8.

作者简介:叶章林,出生年月:1985年2月13日,男,汉族,籍贯:河南省商城县,学历:本科,研究方向:信息技术。