

# 硫化工艺参数调整对静音胎滚动阻力的改善研究

张功杰 刘云良

韩泰轮胎有限公司 浙江 嘉兴 314003

**摘要:** 在全球倡导节能减排, 各行业对机电设备能效要求不断攀升的背景下, 电机驱动系统作为众多机电设备的核心动力源, 其能耗水平直接影响设备整体运行成本与环保效益。本文专注于机电控制参数的精准调整, 深入探究其对电机驱动系统能耗的改善效果, 旨在为机电硬件领域技术升级提供关键参考。

**关键词:** 机电控制参数; 电机驱动系统; 能耗; 改善研究

## 引言

随着工业自动化、智能化发展, 电机驱动系统广泛应用于各类机电设备中。其能耗在工业总能耗中占比颇高, 降低能耗成为行业关注焦点。机电控制参数对电机驱动系统的运行性能和能耗起着决定性作用, 深入研究如何优化这些参数, 对提升机电设备综合能效、推动行业绿色发展意义深远。

## 1 机电控制原理与电机驱动系统能耗理论基础

### 1.1 机电控制原理

机电控制本质上是对电机运行状态进行精确调控的过程。在电机驱动系统中, 控制器接收来自传感器的反馈信号(如转速、位置、电流等), 依据预设的控制算法, 输出相应的控制指令给功率变换器。功率变换器根据指令将电源的电能转换为适合电机运行的电能形式, 驱动电机运转。

以常见的交流电机变频调速控制为例, 控制器通过改变输出电压的频率和幅值来调节电机转速。其中, 脉宽调制(PWM)技术是常用的控制手段之一。PWM通过控制功率开关器件的导通和关断时间比例, 实现对输出电压的精确调节。不同的PWM调制方式(如正弦波PWM、空间矢量PWM等), 其谐波含量和控制精度存在差异, 会影响电机的运行效率和能耗<sup>[1]</sup>。例如, 正弦波PWM在输出波形上更接近正弦波, 谐波含量相对较低, 能减少电机的谐波损耗, 但在直流电压利用率方面可能不如空间矢量PWM; 而空间矢量PWM通过对电压矢量的优化组合, 提高了直流电压利用率, 可使电机在相同功率下获得更好的运行性能, 但算法相对复杂, 对控制器的运算能力要求较高。

此外, 电机的控制模式(如矢量控制、直接转矩控制等)也各有特点。矢量控制通过对电机的磁场和转矩分别进行控制, 能实现高精度的调速和转矩控制, 在需要精确控制电机转速和转矩的场合(如数控机床、机器

人等)应用广泛; 直接转矩控制则直接对电机的转矩和磁链进行控制, 响应速度快, 但控制精度在些情况下有待提高, 常用于对动态响应要求较高的场合, 如电动汽车的驱动电机控制。

### 1.2 电机驱动系统能耗产生机制及影响因素

电机驱动系统的能耗主要源于电机自身损耗和控制系统损耗。电机损耗包括铜损(绕组电阻发热损耗)、铁损(铁芯中的磁滞损耗和涡流损耗)、机械损耗(轴承摩擦、风阻等损耗)以及杂散损耗(由谐波、漏磁等引起的损耗)。

从机电控制角度来看, 控制参数对能耗影响显著。例如, 当电机运行在低频段时, 如果电压频率比(V/F)设置不合理, 会导致电机磁通饱和或不饱和, 进而增加铁损和铜损。当V/F比过大时, 电机磁通饱和, 铁芯中的磁滞损耗和涡流损耗急剧增加; 而V/F比过小时, 电机磁通不饱和, 为了产生足够的转矩, 电机电流会增大, 导致铜损增加。此外, 控制算法的优劣也会影响能耗。传统的PID控制在一些复杂工况下可能出现响应速度慢、超调量大的问题, 导致电机频繁调整运行状态, 增加能耗。例如, 在电机启动和制动过程中, PID控制可能无法快速准确地调节电机转速, 使电机在过渡过程中消耗过多能量。而先进的智能控制算法(如模糊控制、神经网络控制等)能够根据电机实时运行状态, 自适应地调整控制参数, 优化电机运行性能, 降低能耗<sup>[2]</sup>。模糊控制通过模糊规则对电机运行状态进行模糊推理和决策, 能够快速响应电机工况变化; 神经网络控制则利用其强大的学习能力, 自动学习电机运行规律, 实现更精准的控制。同时, 电机的负载特性、运行工况(如启动、制动、恒速运行等)以及电源质量等因素, 也与电机驱动系统能耗密切相关, 这些因素相互作用, 共同决定了电机驱动系统的能耗水平。

## 2 机电控制参数对电机驱动系统能耗影响实验

## 2.1 实验设计

为全面探究机电控制参数对电机驱动系统能耗的影响规律,精心规划了一系列严谨科学的实验。选用了多种具有代表性的电机,涵盖不同类型(交流异步电机、永磁同步电机等)和功率等级(0.5kW、1kW、2kW等),这些电机在结构特点、运行性能和应用场景上存在差异,有助于系统研究不同电机在控制参数变化时的能耗特性。

针对机电控制的三个关键参数——电压频率比(V/F)、开关频率和控制算法,分别设置多个不同水平。V/F比设定为0.8、1.0、1.2三个梯度,模拟不同的电机磁通控制情况;开关频率分别设置为5kHz、10kHz、15kHz,研究其对功率变换器损耗和电机谐波损耗的影响;控制算法选取了传统PID控制、模糊控制和神经网络控制三种,对比不同算法在相同工况下的能耗表现。

实验采用正交实验设计,确保在有限实验次数内,全面考察各因素间相互作用关系,找出其对实验指标(能耗)的影响规律。实验过程中,配备高精度的功率分析仪、转速传感器、电流传感器等设备,实时精准监测电机驱动系统的输入功率、转速、电流等关键参数。利用专业的电机测试平台,模拟不同的负载工况(如恒转矩负载、恒功率负载、变负载等),为后续数据分析提供丰富准确的数据支持。例如,在模拟恒转矩负载工况时,通过调节加载装置,使电机在不同转速下输出恒定转矩;在模拟变负载工况时,利用可编程控制器控制加载装置,按照预设的负载变化曲线对电机进行加载。

## 2.2 实验结果与分析

经过大量实验操作和数据采集,对结果深入分析。实验数据显示,V/F比与电机驱动系统能耗之间呈非线性关系。当V/F比从0.8提高到1.0时,电机磁通逐渐趋于合理,铁损和铜损降低,能耗明显下降。在V/F比为1.0时,能耗达到相对较低水平。但当V/F比继续升高至1.2时,电机磁通饱和,铁损急剧增加,导致能耗上升。例如,对于一台1kW的交流异步电机,在V/F比为0.8时,电机在额定负载下运行的能耗为0.9kW·h;当V/F比提高到1.0时,能耗降低至0.8kW·h;而当V/F比升高到1.2时,能耗增加到0.95kW·h。

开关频率对能耗的影响较为复杂。随着开关频率从5kHz增加到10kHz,功率变换器的谐波含量降低,电机的运行更加平稳,部分损耗减少,能耗有所下降。然而,当开关频率进一步提高到15kHz时,功率开关器件的开关损耗大幅增加,导致系统总能耗上升。以一台2kW的永磁同步电机为例,在开关频率为5kHz时,系统

能耗为1.8kW·h;当开关频率提高到10kHz时,能耗降低至1.7kW·h;但当开关频率升至15kHz时,能耗反而增加到1.85kW·h。

不同控制算法对能耗的影响差异显著。传统PID控制在稳态工况下能较好地维持电机运行,但在动态工况下响应较慢,能耗较高。模糊控制和神经网络控制能够根据电机实时运行状态快速调整控制参数,在动态工况下能耗明显低于PID控制。其中,神经网络控制在复杂变负载工况下表现更为出色,能耗降低幅度最大,相比PID控制可降低15%-20%。在模拟频繁启动、制动和变负载的工况下,采用PID控制的电机驱动系统能耗为2.5kW·h,而采用神经网络控制时,能耗仅为2.0kW·h。

## 3 基于降低能耗的机电控制参数优化策略

### 3.1 参数优化模型建立

为实现机电控制参数的精准优化,降低电机驱动系统能耗,收集大量实验数据,运用先进数据分析方法和算法,建立机电控制参数与能耗之间的数学模型。首先采用多元线性回归初步探索V/F比、开关频率、控制算法等参数与能耗的线性关系,得到初步模型,但发现该模型在复杂工况下预测精度有限。

引入神经网络算法提升模型准确性和适应性。构建包含输入层、隐藏层和输出层的多层神经网络模型。输入层节点对应V/F比、开关频率和控制算法类型(通过编码表示),输出层节点为能耗预测值。利用大量实验数据训练神经网络,不断调整权重和阈值,使模型能准确预测不同控制参数组合下的能耗。经反复训练优化,该神经网络模型预测能耗误差可控制在8%以内,为控制参数优化提供可靠依据<sup>[3]</sup>。在实际应用中,可根据具体电机和工况要求,通过模型快速计算出最佳控制参数组合,提高系统能效。例如,在特定工业生产场景中,需要电机在频繁启动和变负载工况下运行,通过神经网络模型计算得到的最佳V/F比为0.95、开关频率为12kHz、采用神经网络控制算法,经实际测试,相比之前未优化的参数设置,能耗降低了18%。

### 3.2 智能控制策略应用

基于精准的参数优化模型,引入智能控制系统实现对机电控制参数的实时监测和自动调整。该智能控制系统集成先进传感器技术、自动化控制技术和数据分析处理技术。通过安装在电机驱动系统中的各类传感器,实时采集电机的转速、电流、温度等运行数据,并传输至控制系统核心处理器。

控制系统将实时数据与优化模型预设的最优参数对

比分析。当实际参数偏离最优值时,自动启动相应控制策略。例如,当检测到电机转速波动导致 V/F 比偏离最优值时,系统自动调整控制器输出,使 V/F 比恢复到最佳状态;当功率分析仪检测到系统能耗异常升高时,系统判断是开关频率问题,自动调整开关频率至合适值。同时,智能控制系统具备故障诊断和预警功能,监测到设备运行异常或参数异常波动时,及时发出警报并提供故障解决方案,确保系统安全稳定运行,持续降低能耗<sup>[4]</sup>。例如,当系统检测到电机电流突然增大且超过正常范围时,智能控制系统会立即发出警报,并通过分析相关数据判断可能是电机过载或绕组短路等故障,同时提供相应的处理建议,如降低负载或检查电机绕组等。

#### 4 优化策略在机电设备生产中的应用案例

##### 4.1 制造企业应用实例

大型制造企业在其生产线上的机电设备中,积极采用上述基于降低能耗的机电控制参数优化策略。应用前,由于机电控制参数设置不合理,生产线上电机驱动系统能耗较高,部分设备运行不稳定,维修成本增加,影响企业经济效益和生产效率。

采用优化策略后,企业与专业科研团队合作,对生产线上的电机驱动系统进行智能化升级改造,安装先进传感器和智能控制系统。利用建立的控制参数优化模型,针对不同设备的电机进行模拟计算和实验验证,确定最优控制参数组合。

经过一段时间实际运行,企业生产状况显著改善。生产线上电机驱动系统的平均能耗降低了 18%,设备运行稳定性大幅提高,故障发生率降低了 30%。例如,台关键生产设备在优化控制参数后,每月耗电量减少约 1000 度,按当地电价计算,每月节约电费约 600 元,同时减少了设备维护次数,提高了生产效率,增强了企业市场竞争力。在优化前,该设备每月因故障停机维修时间约为 10 小时,影响生产进度;优化后,故障停机维修时间缩短至 7 小时以内,生产效率提高了约 10%。

##### 4.2 应用效果评估

从多个维度全面评估优化策略应用效果。在能耗方面,经实际监测,采用优化策略的机电设备在相同生产

任务下,能耗平均降低 15%-20%,有效减少了企业能源成本支出,符合节能减排要求。在设备性能方面,通过优化控制参数,电机运行更加平稳,转速波动减小,设备加工精度提高,产品质量合格率提升了 5% 左右,满足了高端产品生产需求。例如,在精密加工设备上,优化控制参数后,产品的加工精度从  $\pm 0.05\text{mm}$  提高到  $\pm 0.03\text{mm}$ ,产品质量合格率从 90% 提升至 95%。

在生产效率方面,智能控制系统实现了控制参数自动调整,减少了人工干预和设备调试时间,设备平均生产周期缩短了 12%,提高了企业产能,能够更好地满足市场订单需求。从经济效益来看,能耗降低和设备故障率减少,使企业生产成本降低约 15%,产品质量提升和生产效率提高带来了更多市场订单,企业盈利能力显著增强。综合来看,该优化策略在机电设备生产中具有显著可行性和经济效益,为企业可持续发展提供有力保障。

#### 结语

机电控制参数对电机驱动系统能耗影响重大。通过理论与实验研究,明确了二者关系,提出的优化模型和智能控制策略效果良好。实际应用案例证明了策略的可行性和显著效益。但随着机电技术不断发展,新的电机类型和应用场景不断涌现,未来需结合新材料、新工艺和新控制技术,深入探索优化策略,推动机电硬件领域向高效节能方向发展,助力工业可持续发展。

#### 参考文献

- [1]王跃.基于机器学习的汽车轮胎性能预测与优化方法研究[D].合肥工业大学,2023.DOI:10.27101/d.cnki.ghfgu.2023.000338.
- [2]大陆马牌轮胎四期——自修补及静音胎项目厂房竣工[J].橡塑技术与装备,2020,46(03):34.
- [3]李坤凌.橡胶电磁性能参数及轮胎微波硫化工艺参数的研究[D].青岛科技大学,2018.
- [4]苟金峰,苟增亮,秦增辉,等.基于硫化测温技术的轮胎硫化工艺改善和配方优化[J].橡塑技术与装备,2022,48(09):47-50.DOI:10.13520/j.cnki.rpte.2022.09.010.