

异步电机变频调速系统优化及节能控制策略研究

方昌义

岳阳长炼机电工程技术有限公司 湖南 岳阳 414000

摘要: 异步电机变频调速系统运行中面临动态性能不足、损耗偏高、负载适配性差及控制方式固化等问题,制约了节能水平的进一步提升。本文围绕变频调速系统的优化设计与节能控制策略展开研究,从系统结构调整、控制算法迭代、动态响应改善及稳定性增强等层面提出优化路径,并从损耗抑制、变负载调控、电压频率协同及全过程管控等维度构建节能策略。系统优化与节能控制的协同推进,有助于改善异步电机全工况下的运行能效。

关键词: 异步电机; 变频调速; 系统优化; 节能控制; 损耗抑制

引言: 异步电机作为工业传动领域应用广泛的动力设备,其运行能耗在电力系统总负荷中占据较大比重。变频调速技术凭借宽调速范围、高动态响应等优势,已全面替代传统调速方式。然而,现有变频调速系统在动态调节精度、运行损耗控制、负载适配能力及控制算法灵活性等方面仍存在明显短板,轻载工况下励磁参数匹配不合理、调速区间开关损耗累积等问题较为突出。深入研究变频调速系统的优化设计与节能控制策略,对降低工业传动能耗具有迫切的现实需求。

1 异步电机与变频调速系统基础理论

1.1 异步电机基本结构与运行原理

异步电机是工业生产领域应用广泛的交流传动设备,整体结构依托固定装配的静止部件与旋转部件组成^[1]。定子作为固定部件核心,内侧均匀布设绕组结构,接入交流电源后可生成空间旋转磁场。转子为转动结构,依靠电磁感应作用获取感应电流,进而产生电磁转矩带动机械负载运转。端盖、轴承及外壳等辅助结构可以保障整体设备装配的稳固性,维持转子持续平稳转动。旋转磁场切割转子导体的过程中,磁场与导体形成相对运动,促使电磁能量完成电能向机械能的转化。磁场转速与转子运转转速存在固定差值,转速差值的存在让电磁感应过程持续推进,支撑电机保持持续性的机械运转状态。

1.2 变频调速系统基本构成

变频调速系统依托多类电气单元协同配合,实现对异步电机运转状态的灵活调控。系统核心组成包含整流单元、逆变单元、控制单元以及检测反馈单元。整流单元负责对接工频交流电源,完成交流电向直流电的转换,为后续电能调控提供稳定电源基础。逆变单元承接直流电能,按照调控需求输出频率与电压可调的交流电能,适配电机不同运转工况。控制单元接收运行指令与

实时运行数据,完成调控逻辑运算,输出对应驱动信号。检测反馈单元实时采集电机转速、电流及电压运行信息,为调控逻辑迭代优化提供数据支撑,形成完整的闭环调控体系。

1.3 变频调速控制基本原理

异步电机运转转速和供电频率存在直接关联,频率变化可以直接改变电机机械运转速度。变频调速技术通过改变电机定子侧供电频率,搭配电压协同调节模式,实现转速的平滑调控。供电频率发生变动时,电机内部旋转磁场转速随之改变,电磁转矩输出状态产生对应变化,最终调整转子运转速率。调控过程维持磁通处于合理区间,规避磁通异常波动引发的运转不稳问题。依托连续可调的频率与电压输出,电机可以适配不同负载工况的转速需求,实现宽范围、高精度的无级调速运行。相较于传统变极调速、串电阻调速方式,变频调速的调节区间更广、过渡过程更为平稳,能够满足精细化、连续性的转速调控作业要求。

1.4 变频调速运行能耗特性

异步电机工频恒速运行模式难以适配动态变化的负载需求,固定转速运行容易造成多余能量损耗。变频调速模式可根据负载实时运转需求匹配供电参数,动态调整电机输出功率,减少无用功率消耗。负载工况处于轻载状态时,合理下调供电频率与输出电压,降低电机励磁损耗与铜损、铁损。负载工况处于重载状态时,适配性调整供电参数,保障动力输出充足的同时规避过度能耗问题。参数动态匹配的运行模式,能够有效优化电机能量转化效率,改善不同工况下的能耗浪费问题,凸显变频调速模式的节能运行优势。

2 异步电机变频调速系统现存问题

2.1 调速控制动态性能缺陷

变频调速系统应对工况突变的调节能力存在明显不

足,动态运行阶段的控制精度难以保持稳定^[2]。电机负载状态出现波动时,调速调控逻辑响应速度偏慢,转速波动幅度无法快速收敛。运行过程中动态偏差持续存在,转速难以快速贴合实际工况所需的运行数值。系统动态调节过程中容易产生超调现象,电磁转矩输出状态出现频繁震荡,造成电机运转平稳性下降。负载切换瞬间的参数适配存在滞后性,动态过渡阶段的运行稳定性不足,难以适配高精度、高动态响应的工业传动运行场景。

2.2 系统运行损耗偏高问题

变频调速系统实际运行过程中会产生多类型能量损耗,制约电能转化效率的提升。电机常规运转状态下会产生固定的铜损与铁损,调速区间频繁切换会进一步加剧内部器件发热损耗。变频调速过程中功率器件开关动作频繁,会滋生一定程度的开关损耗与导通损耗。工况处于低速轻载区间时,励磁参数匹配不合理,无效励磁能耗占比大幅提升。电能传输与信号调控环节存在隐性能耗消耗,多类型损耗叠加累积,降低变频调速系统整体节能运行水平。

2.3 负载适配性不足问题

多数变频调速调控逻辑采用固定参数调控模式,难以适配复杂多变的工业负载工况。不同生产场景下的负载波动幅度、波动频率存在明显差异,固定调控参数无法适配多样化的负载运行需求。重载启动或负载突变工况下,调速参数匹配度不足,电机输出动力与实际负载需求存在偏差。轻载稳态运行阶段,调控逻辑无法精准优化励磁配比,难以实现能耗与动力输出的最优平衡。单一化的调控模式适配场景较为局限,复杂工况下运行性能会出现明显下滑。

2.4 传统控制方式存在局限

传统变频调速控制逻辑依托经典调控算法搭建,运行调控存在明显短板。调控参数多为人工固定整定,参数更新调整灵活性较差,无法跟随工况变化完成自主优化。调控逻辑对运行过程中的外界干扰抑制能力较弱,外界工况波动容易影响调速精度。参数整定工作依赖传统调试经验,动态自适应调整能力缺失,复杂运行环境下调控精准度持续降低。老旧控制架构的运算逻辑较为固化,难以适配现阶段高精度、低能耗的电机调速运行管控需求。

3 异步电机变频调速系统优化设计

3.1 调速系统结构优化思路

调速系统整体结构的合理调整是改善运行性能的基础途径,依托原有系统框架开展精细化调整,提升整体运行适配能力。结合变频调速系统各单元运行特性,梳

理结构内部存在的性能制约点,对电能转换与信号传输环节开展结构性调整^[3]。优化系统内部单元排布逻辑,理顺电能传输与信号交互流程,弱化结构布局不合理带来的运行滞后问题。针对功率变换单元的运行特性优化硬件匹配形式,缩减电能传输过程中的无用损耗。调整信号采集与反馈单元的布设逻辑,提升运行数据采集的实时性与完整度,为控制算法运算提供精准的数据支撑。结构化优化能够从硬件层面改善系统运行基底,为后续性能优化提供稳固基础条件。

3.2 调速控制算法优化改进

传统调控算法运算逻辑固化,难以适配动态多变的电机运行工况,需要针对性开展算法迭代优化。结合电机调速运行的动态特性,调整算法参数整定逻辑,摆脱固定参数运行的局限模式。优化算法运算流程,精简冗余运算步骤,提升控制指令生成的运算效率。引入自适应调控逻辑,让运算规则可以跟随负载工况变化完成自主适配调整。优化转矩与磁通调控逻辑,弱化工况波动对调速精度的干扰,让电机转速调控更加平滑精准。完善算法抗干扰运算机制,提升系统对外界扰动的自适应调节能力,改善各类复杂工况下的调速控制效果。

3.3 动态响应性能优化方式

动态响应性能的提升聚焦工况切换阶段的调速适配能力,改善负载波动带来的运行偏差。优化系统指令响应机制,缩短工况变化后的调控响应时长,减少转速波动的持续周期。调整转矩输出调控逻辑,弱化动态调节阶段的超调现象,抑制电磁转矩震荡问题。适配负载突变工况优化调速梯度,合理规划转速升降的调节节奏,避免调节幅度过大引发的运行不稳。优化动态过渡阶段的参数匹配模式,让励磁参数与负载需求保持动态适配,缩小工况切换过程中的运行偏差,提升电机调速系统动态过渡阶段的平稳性。通过多维度动态调控优化,能够大幅弱化工况切换过程中的运行波动,让电机调速过渡过程更加平缓稳定,适配高精度传动作业要求。

3.4 系统稳定性优化方案

系统长期持续运行的稳定性需要从调控逻辑与运行防护多个角度完善。优化系统闭环调控机制,细化转速、电流、电压多维度调控逻辑,弱化单一参数波动对整体运行状态的影响。完善系统抗干扰调控逻辑,屏蔽外界环境与电网波动带来的运行干扰,维持调速参数的稳定输出。优化器件运行负荷分配方式,均衡功率器件运行强度,减少器件频繁波动引发的运行故障。规范系统参数自适应修正逻辑,依托实时运行数据微调调控参数,规避长期运行产生的参数偏移问题,持续维持变频调速系统平稳可靠的运

行状态。稳定性优化贯穿系统全运行周期,能够有效抵御各类内外干扰因素,规避长期运行产生的参数偏移与器件疲劳问题,延长设备服役周期。

4 异步电机变频调速节能控制策略

4.1 电机运行损耗抑制策略

异步电机运行过程中的各类能耗损耗,是造成电能利用率偏低的主要诱因,针对性的损耗抑制手段可以有效压缩无效能耗^[4]。电机内部运转产生的铜损、铁损会随运行工况变化出现动态波动,调速区间参数匹配不合理会进一步加剧损耗累积。结合电机能耗产生的内在机理,优化励磁调控逻辑,合理弱化不必要的励磁输出,降低稳态运行阶段的铁损消耗。细化电流调控标准,规范绕组内部电流运行状态,减少绕组发热带来的铜损增量。针对变频器件工作特性优化开关频次,弱化功率器件频繁启停产生的开关损耗。依托精细化的损耗管控思路,从电磁损耗与器件损耗多个维度完成能耗抑制,提升电机能量转化的整体效率。

4.2 变负载工况节能调控方式

工业生产场景下的电机负载状态始终处于动态变化,固定化调控模式无法适配多变负载的节能运行需求。重载运行阶段侧重动力输出稳定性,保障机械作业所需转矩功率,杜绝能耗浪费的同时满足生产运行标准。轻载运行阶段重新匹配电机输出参数,适当降低励磁水平与运行功率,削减轻载工况下过剩的功率输出。针对负载频繁波动的运行场景,建立动态适配的调控逻辑,根据负载实时变化幅度微调运行参数。弱化负载切换过程中的参数突变问题,让功率输出与负载需求保持高度适配,改善变负载工况下能耗配比失衡的问题。

4.3 电压与频率协同控制策略

电压与频率参数的合理配比,是变频调速系统实现节能运行的核心调控路径。单一参数调整容易造成磁通失衡、转矩不足等问题,依托双参数协同调控可以优化整体运行状态。结合不同转速区间的运行特性,建立电压频率联动调控机制,根据运行转速自适应匹配最优电压输出数值。低速运行区间适度调整电压配比,规避电压过高引发的励磁能耗超标问题。高速运行区间稳定参

数配比关系,保障动力输出效率的同时控制多余能耗产生。联动调控模式可以打破单一参数调控的局限,让电气参数始终贴合调速运行的节能需求。

4.4 全过程节能运行管控模式

节能控制需要贯穿电机启动、调速、稳态运行及工况切换的完整流程,搭建全维度的节能管控体系。启动阶段优化低速升速逻辑,平缓提升运行参数,减少启动瞬间的冲击能耗与器件损耗。调速过渡阶段细化参数调节梯度,平稳完成工况切换,规避大幅度参数波动带来的瞬时能耗激增。稳态运行阶段维持最优参数配比,持续压缩各类隐性能耗消耗^[5]。结合设备长期运行状态更新节能调控标准,适配器件老化、工况变动带来的运行状态改变。全流程的节能管控模式能够覆盖各类运行场景,持续维持变频调速系统的高效节能运行状态。

结束语

异步电机变频调速系统的优化涉及结构调整、算法改进、动态响应提升及稳定性增强等多个层面。控制算法的自适应迭代与系统结构的精细化调整相互配合,改善了调速系统面对工况波动时的调节精度与平稳性。损耗抑制策略与变负载节能调控从电磁损耗和器件损耗两个维度压缩了无效能耗,电压频率协同控制打破了单一参数调控的局限。全过程节能管控模式将节能理念贯穿电机运行各阶段,持续维持系统的高效运转状态,为工业传动领域的深度节能提供了系统性的技术路径。

参考文献

- [1]张瑞宽.基于PLC的三相异步电机变频调速系统[J].电工技术,2024(18):10-12.
- [2]程玮,杨智玲.永磁同步电机变频调速系统动态解耦控制方法[J].绵阳师范学院学报,2024,43(2):34-41.
- [3]易山,卢子广,袁凯南,等.中低频轻载工况下引入虚拟电抗的感应电机变频调速系统稳定控制[J].电工技术学报,2022,37(8):1959-1971.
- [4]王冬.基于PLC的三相异步电机变频调速系统的设计与实践研究[J].通信电源技术,2022,39(23):83-85.
- [5]张弛.面向电机节能的自动化变频调速系统设计与验证[J].造纸装备及材料,2026,55(1):23-25.