

工业低压配电系统中三相异步电动机节能改造技术应用研究

王瑞丰

大唐七台河发电有限责任公司

DOI: 10.32629/jpm.v7i1.8669

[摘要] 在工业低压配电网中,三相感应电机是一种广泛应用的电能转换设备,在整个工厂用电中所占的比重很大。由于早期设计裕量过大,负荷率波动大,控制方法粗放,导致大量电机长期处于低效区,导致系统电能浪费和配电网损耗增加。通过对现有低压配电网中三相感应电机进行节能改造,可以在不停产的情况下减少有功损耗,释放变压器容量余量,为工业企业实现碳排放控制和用能成本双降提供直接的手段。

[关键词] 工业低压配电系统;三相异步电动机;节能改造;技术应用

Application Research on Energy saving Transformation Technology of Three phase Asynchronous Motors in Industrial Low voltage Distribution System

Wang Ruifeng

Datang Qitaihe Power Generation Co., Ltd.

[Abstract] In industrial low-voltage distribution networks, three-phase induction motors are widely used as electrical energy conversion equipment, accounting for a large proportion of the entire factory's electricity consumption. Due to excessive margin in early design, large fluctuations in load rates, and extensive control methods, a large number of motors have been in the low efficiency zone for a long time, resulting in system energy waste and increased losses in the distribution network. By energy-saving transformation of three-phase induction motors in existing low-voltage distribution networks, active power losses can be reduced without stopping production, transformer capacity surplus can be released, and direct means can be provided for industrial enterprises to achieve carbon emission control and energy cost reduction.

[Key words] Industrial low-voltage distribution system; Three phase asynchronous motor; Energy saving renovation; technology application

电机节能改造不是简单的设备置换,而是要从整体角度对供电电压等级、电缆截面、保护整定、谐波抑制和无功补偿等方面进行综合评价。改造途径包括高效电机替代、变频调速、相控节电器、智能启停和就地无功补偿等技术模块,每一个模块都与配电开关柜、控制系统和计量系统存在多种耦合。因此,应综合考虑短路容量、选择性保护及电能质量等多个约束条件,实现电机群在全工况条件下的高效、稳定、可靠运行,避免给电网带来新的电能质量风险。

1.核心节能改造技术体系构建

1.1 高效电机替换技术

高效电机替代是节能改造的基础性核心技术,其核心是选择符合 GB 18613-2020 能效等级的高效率二次及以上三相感应电机,以取代传统低效电机。通过电磁设计优化、高磁导率、低损耗硅钢片和改进转子结构等技术,降低电机的铁损、铜损和机械损耗,提高电机运行效率。

在技术参数方面,高效率电机的额定效率比普通电机高3%-8%,额定负载下每千瓦功率每运行一小时可节省200-600度电。针对工业低压配电网的应用场景,更换电机时需精确匹

配电机功率、转速、安装尺寸等参数，保证与原设备，如泵、风机、压缩机等的兼容性^[1]。在变载工况下，优先选择高效率的永磁同步电机，其在低负载率下仍能保持高效率，比传统异步电机节能效果更明显。

置换流程要按照“评估—选择—安装—调试”这一标准化流程来进行。首先综合评估原电机的工作负载，工况特征，确定最佳替代机型。在安装时，注意对电机和负载进行同轴度校正，降低机械损耗，在调试阶段，对电动机进行负荷试验，验证电动机的工作效率和节能效果，保证改造达到标准。

1.2 变频调速与系统匹配技术

变频调速技术通过改变电机的供电频率和转速来适应负载变化，避免电机轻载时出现的“大马拉小车”现象，是实现变载节能的关键技术。其核心思想是采用变频调速技术，把工频交流电（50 Hz）转换为频率可调的交流电，通过变频调速实现电机同步转速的动态匹配。

变频器的选型要综合考虑电动机的功率，负荷特点和工作条件，如风机和水泵等扭矩为平方的负载，选择一般类型的变频器即可满足要求。对于机床和压缩机等恒转矩负载，为保证低速稳定转矩，需选用矢量控制变频器^[2]。矢量控制变频器见下图1。安装时需进行电磁兼容处理，增加滤波器和电抗器，以降低谐波对电网的干扰，同时加装散热装置，防止变频器因过热而造成故障。

系统匹配技术主要研究电机、负荷和配电网之间的协调匹配问题。在功率匹配上，根据实际负荷需求，选用额定功率和负载率相匹配的电机，使电机工作在高效率范围内（负载率60%~80%），降低轻载运行损失。在传动方式的优化方面，把传统的带式传动改为耦合式直接传动，降低5~10%的传动损失。定期做好传动部件零件的润滑和保养，减少摩擦损失。提高供电质量，通过加装无功补偿设备，将功率因数（0.7~0.8提高到0.95以上），配置三相平衡器补偿三相不平衡，安装谐波滤波器抑制谐波污染，保证电机稳定运行。



图1 矢量控制变频器 SKIV100A-5D5G/7D5P

1.3 智能监测与运维技术

通过对电机运行数据的实时采集，对电机运行状态进行预

警和精确维护，防止因设备故障或运行不当而导致的能耗上升，是保证节能改造成效的一项长效技术。可以物联网和大数据分析为核心，构建“感知—传输—分析—决策”的智能运维系统。

该系统包括传感器、数据采集器和云平台三部分，安装温度、振动、电流、电压等传感器，对电机的关键部位进行实时测量。数据采集器将传感器采集到的数据转换成数字信号，并通过工业以太网或者无线通讯方式传送到云端。通过云平台分析、处理数据，生成电机运行状态报告，识别异常工况，并及时发出预警信息。

在监测数据的基础上，进行精细化维修，制定个性化维修方案，根据电机的工作时间，负载率，振动数据，做好保养工作，如润滑、清洗、维修等，防止过度保养或不足。针对已知的隐患，及时采取维护措施，避免因事故扩大而造成的能源消耗激增和设备损伤。结合大数据分析，挖掘电机运行规律，优化运行参数和维修策略，持续提升电机系统节能水平。

2. 节能改造的应用适配与实施规范

2.1 不同工况下的技术适配策略

在工业低压配电网中，三相感应电机运行工况复杂多变，需要根据其负载特点和运行方式选择合适的节能改造技术。

针对机床主轴、输送机恒载连续运行工况，如机床主轴、输送机等，优先采用高效率替代技术，并结合供电质量改善措施，从提高电机自身效率和供电稳定性两个方面，减少持续性运行能耗^[3]。在该工况下，电机负载率稳定于高效区间，可充分发挥高效电机的节能效果，缩短投资回收期（1~2年）。

变频调速技术在变负荷工况下，如风机、水泵、压缩机等，是最佳选择。这类负载的功耗随转速立方成比例，调速时有很大的节能空间，如果采用高效率的电机替代，可以达到20~50%的节能率。风机和水泵采用V/F控制，压缩机和机床采用矢量控制，保证调速精度和节能效果。

针对间歇工况提出“高效率电机+智能监控与维护”一体化技术，高效率电机降低运行能耗，智能监控系统实现电机闲置状态下的低功耗控制和故障预警，避免空载损失和失效能耗。同时，还可以加装储能装置，对电机制动时的能量进行回收，进一步提高节能效果。

2.2 标准化实施流程与质量控制

节能改造的基础是前期评估，其核心是对电机系统运行状况和节能潜力的全面把握。组织专家评审小组，采取现场测试、资料收集、仿真分析等方法进行评审。现场监测电动机运行参数，如电流、电压、功率、温度、振动等，负荷率变化及供电质量，收集电机的基本资料，如型号、使用年限、维修记录等。利用专用软件对不同节能技术的使用效果进行仿真，对节能潜力和投资回收期进行量化分析。

在方案设计阶段，要根据企业的生产需要和预算情况，制定个性化的节能改造计划。明确技术选型、设备参数、安装要

求,施工进度和质量控制标准。技术选择要从节能效果、投资费用和运行稳定性三个方面综合考虑,设备参数要与原系统精确匹配,保证兼容性。在安装要求中要详细说明设备的安装地点,配线规范,保护措施等,合理安排施工进度,以免影响公司正常生产。

在施工过程中,要严格按照施工方案的要求,做好施工前的技术培训和交底工作。设备、材料、工具都要准备好。按照“先断电,后施工”的原则,规范进行设备的拆除、安装和接线^[4]。高效率电机更换注重同轴度校正,安装变频器时要做好电磁兼容处理和散热设计,安装监控系统以保证传感器的准确位置和稳定的数据传输。在施工过程中,安排专人对施工质量进行监督,及时发现和解决存在的问题。

3.改造效果评估与长效保障

3.1 节能改造效果量化评估

表1 不同节能技术应用效果对比表

节能技术类型	适用工况	节能率范围 (%)	投资回报周期 (年)	系统效率提升 (%)
高效电机替换	恒负载连续运行	10-20	1.5-3.0	8-12
变频调速技术	变负载运行	20-50	1.0-2.5	15-25
系统匹配优化	多工况通用	8-15	2.0-3.5	6-10
智能监测与运维	间歇 / 连续运行	5-12	2.5-4.0	4-8
组合技术应用	复杂变负载运行	30-60	1.0-2.0	20-30

3.2 长效保障机制构建

建立技术支持机制,定期对改造后的设备进行技术改造和维修,与设备供应商签定长期的技术服务协议,保证设备在发生故障时能够及时得到专业的技术支持,根据节能技术的最新动向,适时引进新技术和新设备,不断优化电动机系统的节能效果。

健全管理和保障机制,制订电机系统节能管理办法,对设备操作、维修、监控等各个环节的管理要求进行明确。加强对操作人员与维护人员的培训,提高他们的节能作业意识和技能,保证节能设备的正确使用和维护。把节能指标纳入企业绩效评价体系,表彰和奖励节能工作成效显著的单位和个人,以激励员工的节能热情。

以智能监控平台为依托,建立电机运行数据库,不断积累运行数据和节能效果数据。通过大数据分析,对运行参数和维修策略进行持续优化,及时发现和解决节能改造中存在的问题。同时,根据数据变化趋势,对设备运行状况进行预测,提前采取防范措施,保证节能改造的长期有效性和稳定性。

结束语

综上所述,在工业低压配电网中,三相感应电机的节能改造,在降低铁、铜和杂散损耗的基础上,可以直接减少配电网的有功和无功潮流,释放变压器的容量,延缓新增投装机的需要。可通过对已有电机运行数据的高精度采集,多目标优化算

对节能改造效果进行定量评价,需要建立一套科学的评价指标体系,节能指标主要包括节能率、年用电量和年度节电率,节能率=(改造前能耗-改造后能耗)/改造前能耗×100%。年用电是根据电网改造前、后的平均电量和年运行时长来计算的;年节电费=年用电量×电价,直观地反映改造后的经济效益。

工作效率指标主要包括电动机的工作效率和系统的工作效率。根据电机输入功率和输出功率计算出电机的工作效率,高效率电机的工作效率不低于 GB 18613-2020 中二级能效标准。系统的运行效率是指电动机与负荷及配电系统的协调工作,改造后的效率提升幅度应大于 10%。经济指标有投资成本、投资回报周期和生命周期成本,其中投资回报周期=投资成本/年度电费节省率,一般控制在 1-3 年以内。以下为不同节能技术应用效果对比表 1,直观呈现各类技术的应用价值:

法,谐波频率域下电机-变频协同抑制策略等方面的研究,建立配电网全寿命周期能效基准,推动节能改造由单台设备向回路级和系统级深度扩展,形成兼顾能效、电能质量和投资回收期的标准化改造体系,为实现“双碳”目标提供持续可复制的电机系统节能路径。

[参考文献]

- [1]李成良,程晖.基于组态技术的三相异步电动机变频调速方法[J].计算机仿真,2021,38(10):128-132.
- [2]郭宇.三相异步电动机节能技术[J].电子技术与软件工程,2021,(19):226-227.
- [3]亢旭辉,刘焯,徐赟,付焕森,许胜.基于 PLC 模糊控制的异步电动机变频调速改造研究[J].工业控制计算机,2021,34(08):81-82.
- [4]张飞,陈全文,孙昕.132kW 异步起动永磁同步电机设计与研究[J].电机技术,2021,(03):1-4.
- [5]姜雪菲,曾政霖.三相异步电动机的启动分析[J].内燃机与配件,2021,(12):65-66.
- [6]潘春玲.基于 CADe SIMU 的三相异步电动机仿真分析[J].河北软件职业技术学院学报,2021,23(01):19-22+43.