

高效电机改造助力发电厂碳减排的技术路径

林小凯

福建大唐国际宁德发电有限责任公司，福建宁德，355000；

摘要：在双碳目标的引领下，发电厂作为能源消耗和碳排放的主要主体，推进节能降碳改造是必然的选择。高效电机改造依靠明显的能耗削减潜力，变成发电厂碳减排的重要突破口。本文以高效电机改造助力发电厂碳减排为主题，对相关技术路线进行系统梳理和阐述。从高效电机本体升级、传动与控制环节优化、系统协同适配改造、智能运维保障体系构建等多方面来剖析各个技术路径的核心原理、实施要点以及碳减排作用机制。通过整合电机技术、控制技术、系统工程、智能管理等多领域成果，形成覆盖设备升级、控制优化、系统协同、运维保障的全链条技术体系，为发电厂利用高效电机改造达到碳减排目标提供全面、可行的技术参考，为电力行业绿色低碳转型提供有力支持。

关键词：高效电机；发电厂；碳减排

DOI：10.69979/3060-8767.26.02.007

引言

电力行业是达成碳达峰、碳中和的重要领域，发电厂的碳减排对社会绿色转型有影响。电机是发电厂的主要动力设备，电机耗电比重高，电机系统能效提升是碳减排的重点。高效率电机改造是一项包括许多环节的系统工程，可以减少能耗，降低碳排放。目前有关技术的发展使改造路径越来越丰富。本文意在整理出改造助力发电厂碳减排的关键技术途径，分析其要点，为改造工作提供指导，促进电力行业高效低碳发展。

1 高效电机本体升级改造技术路径

1.1 高效电机选型与替代改造

高效电机选型与替代改造是高效电机改造的基础途径，关键之处在于挑选出符合高阶能效标准的电机来取代传统的低效电机，从电机运行能耗的源头入手，达成碳减排的目的。在选型时要根据发电厂各个场所的负载特性、运行工况和安装条件，有针对性地选择适合的高效电机，比如在风机、水泵等恒转矩负载场所，选用 IE3 及以上等级的异步高效电机，通过改进电磁设计、使用高导磁硅钢片等措施，可以大幅削减空载损耗和负载损耗，在需要高精度控制和节能效果的给水泵、压缩机等设备上，可采用永磁同步电机，依靠永磁材料的高磁能积特性，不需要励磁电流，可以减少励磁损耗，提高电机运行效率。替代改造不是简单的型号替换，还要对电机和负载设备进行适配性校核，保证电机额定功率、转速等参数和负载需求精准匹配，防止出现“大马拉小车”或者负载过载造成能效下降的情况，还要考虑电机

安装尺寸、接口标准等兼容性要求，保证改造后的系统稳定运行，通过提升电机本体能效直接减少能源消耗，降低碳排放。

1.2 电机核心部件优化改造

改造是在现有的电机上升级关键部件来提高效率，属于低成本、易实施的减排途径。定子绕组采用高效绝缘材料、优化结构，减小电阻和漏抗，减小铜损，用真空压力浸渍工艺提高绝缘和散热性能。提高负荷能够改善效率的稳定性。电机转子采用铸铜转子代替传统的铸铝转子，利用铜的高导电性来降低转子损耗、提高电机效率，在中低负载工况下节能效果明显；改进转子冲片结构，改善磁路利用情况，缩减磁滞、涡流损耗。改善电机通风系统，采用高效风扇，设计合理的通风结构，降低通风损耗，加强散热，防止电机过热造成能效下降、寿命缩短。对电机核心部件进行精准优化，不需要更换整个电机就能提高能效，降低发电厂的改造成本和碳排放。

1.3 特殊工况电机定制化改造

发电厂内有些电机工作于特别的工况，常规高效电机更换很难达到要求，定制化改造便是关键的技术手段。对高温工况电机，使用耐高温绝缘材料和高效的散热结构，提高耐高温性，防止绝缘老化和能效衰减；对高粉尘工况电机，改进电机密封结构，采用防尘轴承和防护涂层，减小粉尘磨损，保证运行精度和能效。根据变负载工况的电机，定制磁路和绕组结构，提高宽负载范围能效稳定性，防止轻载能效下降；对发电厂间歇运行设

备定制高效的轻载运行电机,根据不同的负载工况动态调整内部结构参数,达到不同负载工况下能效最优。根据工况需求做定制化改造,保证电机在复杂的环境下高效工作,给发电厂特殊场景的碳减排提供支持。

2 高效电机传动与控制优化技术路径

2.1 变频调速系统集成改造

变频调速系统集成改造通过改变电机供电频率来实现转速动态调节,使电机转速和负载需求相匹配,是发电厂电机系统节能降碳的主要控制技术途径。该技术路径核心就是把高压变频装置和高能效电机集成在一起,取代传统的节流调节或者液力耦合器调速方式,完全消除传统调速方式中存在的能量损耗。根据电机类型和运行工况选择合适的变频技术,大功率风机、水泵等设备采用高压变频调速系统,通过优化变频控制算法实现电机转速平滑调节与精确控制;中小型变负载电机采用低压变频装置,降低改造成本的同时保证节能效果。变频调速系统集成改造不仅可以降低电机非额定负载下的能耗,还能实现电机软启动,减小启动电流对电网的冲击,降低启动过程中的能量损耗和设备磨损;同时结合负载预测技术,提前调节电机转速,进一步提高能效和碳减排效果,尤其适合于发电厂中负载波动大的电机设备,如引风机、送风机、给水泵等。

2.2 高效传动装置配套改造

高效传动装置配套改造,用低效传动部件替换传统传动部件,减小电机与负载设备间能量传递损耗,提高传动系统能效,助力发电厂碳减排。传统的电机传动大多采用皮带传动或者液力耦合器传动,传动效率低、能量损耗大,因此高效传动装置的替换成为重要的改造方向。对于皮带传动系统,可用同步带代替V带,用同步带的非滑动传动特性提高传动效率、减少能量损耗;优化皮带轮设计提高传动精度、稳定性。对于采用液力耦合器传动的电机系统,可采用永磁耦合器代替传统的液力耦合器,利用磁场耦合来传递转矩,消除机械接触造成的能量损失,具有过载保护功能,提高系统运行的安全性;对于大功率设备,可以采用高速电机直驱改造,直接去掉中间传动环节,彻底消除传动损耗,大大提高传动系统效率。高效传动装置配套改造是在电机本体升级改造的基础上,从减少能量传递过程中损耗的角度入手,提高电机系统整体能效的一种措施,与电机本体升级改造相辅相成,增强发电厂的碳减排效果。

2.3 无功补偿技术协同应用

无功补偿技术协同使用,可以改善电机运行时的功率因数,降低无功功率传输过程中所消耗的能量,是高能效电机改造中帮助碳减排的重要辅助技术途径。电机在运行过程中要消耗一部分无功功率来建立磁场,从而造成功率因数下降,增大线路损耗和变压器损耗,降低整个电力系统的能效。因此,高能效电机的改造关键技术就是协同集成无功补偿装置。根据电机的运行特性及负载变化情况选择合适的无功补偿方式,对于连续运行的恒定负载电机采用固定电容补偿装置,对于变负载电机采用智能无功自动补偿装置,根据电机运行时功率因数的变化自动调整补偿电容的容量,及时补偿电机运行所需的无功功率。同时将无功补偿装置就近安装在电机侧,减少无功功率在线路中传输的距离,降低线路损耗。无功补偿技术和高能效电机配合使用,可以改善电机工作时的功率因数,削减无用的能量浪费,提升电力系统运作效能,进而缩减发电厂的碳排放量。

3 发电厂电机系统协同适配改造技术路径

3.1 电机与负载设备协同适配改造

电机与负载设备协同适配改造,属于高能效电机改造帮助发电厂实现碳减排的系统性技术途径,通过改善二者的匹配情况来提高系统运行能效。电机的能效发挥与负载设备的运行特性有关,要从系统入手进行改造。对于流体机械负载,改造高能效电机时优化负载设备设计、调整运行参数,使系统达到最佳能效;对于机械负载,优化传动比和运行节奏、联动调试,使电机高效运转,不降低能效,达到碳减排的目的。

3.2 多电机系统联动控制改造

多电机系统联动控制改造属于重要的碳减排技术途径,依靠改善多电机运行协调机制来优化系统总体能效。核心就是建立联动控制体系,依靠智能控制器加通信网络对电机实施实时监测并协同控制。根据负载情况来动态分配负荷,保证电机高效率工作;使用负荷预测技术提高系统的响应速度和能效稳定性;合理控制电机启停以及备用切换,减少损耗和冲击,提高碳减排效果。

3.3 电机系统与能源回收协同改造

电机系统与能源回收协同改造就是回收电机运行产生的余热、余能,实现能源梯级利用,提高能源利用效率,增强碳减排效果。该技术把高效率电机改造和能源回收技术结合起来,形成了节能与回收相结合的模式,

对高负荷电机采用高效散热系统收集余热。利用余热换热器把余热用来加热锅炉凝结水、厂房供暖等其他生产环节，减少额外能源消耗；对有再生制动功能的电机系统，如发电厂电梯、起重设备等，安装能量回馈装置，把电机制动能回馈到电网，实现能量回收再利用。同时改进电机系统运行参数，提高余能产生和回收效率，采用变频调速使电机制动产生更多的可回收能量，采用高效换热使余热回收利用率更高。电机系统同能源回收协同改造，达成能源循环利用的目标，从而缩减发电厂的能源耗费和碳排放量，拓宽高效电机改造的碳减排途径。

4 高效电机智能运维保障技术路径

4.1 电机运行状态智能监测改造

电机运行状态智能监测改造搭建智能监测系统，实时掌握电机运行参数和状态，为电机高效运行和碳减排提供保障，是高效电机改造的重要支撑技术路径。在电机的关键部位装设传感器来采集运行数据，然后通过无线通信将数据传送到智能监测平台；平台采用算法对电机的状态进行评价，发现异常后发出预警。对不同类型的电机定制监测指标体系，利用历史数据建立建能效基准模型，对比分析定位能效下降的原因。该改造可防止电机异常造成能效降低、碳排放上升，保证电机一直高效运行。

4.2 基于 AI 的电机能效优化调控

基于 AI 的电机能效优化调控用人工智能技术对电机的运行参数进行动态优化、精准控制，提高电机的能效和碳减排效果，是高效电机改造前沿技术路径。以电机历史、实时监测和负载需求数据为基础构建 AI 能效优化模型，用机器学习算法挖掘参数与能效、负载的关系；根据模型预测负载的变化情况，动态调整运行参数，使不同负载工况下能效最优。如用 PatchTST 模型预判负载变化，提前调整变频调速系统参数；用 AI 算法协同优化多电机运行参数。并且 AI 模型具有自学习功能，会依照电机的状态以及负载的特性来调节策略，从而保证能效优化的效果不会下降。该调控精准、智能，发挥高效电机节能潜力，提升发电厂碳减排成效。

4.3 电机全生命周期运维管理改造

电机全生命周期运维管理改造，创建全生命周期运维体系，保证电机从安装到报废的全过程高效运转，为

高效电机改造助力碳减排赋予长久保障。该技术路径包含安装调试、日常维护等各个环节，用标准化的流程和智能化的手段来提高运维质量。在安装调试阶段，根据能效优化的要求进行安装校准，保证电机与工作流：准确的匹配负载设备和控制系统；日常维护按照智能监测数据来进行预防性维护，定期对电机的主要部件进行清洁、润滑、检测，避免电机的能效降低；故障检修采用精准诊断技术找到原因，用高效的修复方案来减少停机和能效损失；根据电机技术和发电厂碳减排的需求，定期对电机系统进行技术改造，采用新的技术、新的设备。电机全生命周期运维管理改造创建长效保障体系，保证高效电机改造的碳减排成果稳固。

5 结语

高效电机改造给发电厂碳减排提供了多种系统技术路径，包括电机本体升级、传动和控制优化、系统协同适配、智能运维保障，各个路径互相配合，形成碳减排技术体系。在“双碳”目标下，发电厂要根据自身情况选择适配路径，实现精准改造和效益最大化。未来电机方面的技术革新会充实完善改造技术途径，超导电机技术，前沿的 AI 算法等会被应用于碳减排当中。另外需要加强技术融合创新，构建高效智能的节能降碳体系，推动发电厂绿色低碳转型，助力电力行业实现“双碳”目标。

参考文献

- [1] 国网江苏省电力有限公司电力科学研究院；江苏省电力试验研究院有限公司；周勤勇；何泽家. “双碳”目标下新型电力系统技术与实践[M]. 机械工业出版社：202211. 294.
- [2] 姚宏. 工业企业碳中和与绿色发展[M]. 化学工业出版社：202204. 311.
- [3] 谭旭. 电力转型发展趋势下基于市场均衡模型的跨区输电影响评估[D]. 天津大学，2022.
- [4] 薛兆军，王军龙，毕可伟，武金玉，乔月平，常建杰. 碳减排背景下对生活垃圾焚烧发电厂扩容改造的技术分析[J]. 锅炉技术，2021，52(06)：65-68+80.
- [5] 马彦伟. 火力发电厂循环水泵节能改造[D]. 大连理工大学，2019.
- [7] 王磊. 发电厂高压电机的节能变频改造[J]. 电子技术与软件工程，2018，(14)：215.