

小型储能系统配合软启动器的节能分析

孟 宇

安阳钢铁股份有限公司 河南 安阳 455000

摘 要：本文针对中小型电机设备能耗浪费突出的问题，提出小型储能系统与软启动器协同配合的组合节能方案。该方案基于软启动器的晶闸管调压限流技术与小型储能系统的双向功率调节能力，在启动阶段协同降低电网瞬时供电负荷，在稳态运行阶段动态补偿无功功率、提升功率因数，在负荷波动阶段毫秒级响应平抑功率变化，形成全工况能耗管控体系。分析表明，在频繁启停工况下组合系统节能率可达25%—30%，轻载运行工况下无功损耗占比可控制在5%以内，负荷波动工况下综合节能率达16%—20%。该组合方案兼具节能降耗与设备养护双重效益，适配性强、性价比突出，适用于各类小型动力设备的节能优化改造。

关键词：小型储能系统；软启动器；电机设备；能耗损耗；节能优化

引言：中小型电机设备是工业生产与民用设施的核心用电单元，其能耗问题长期受到关注。电机启动冲击电流大、稳态轻载无功损耗高、运行负荷波动频繁，是导致设备能效偏低的三大典型工况。传统软启动器仅能优化启动阶段能耗，小型储能系统虽具备持续调节能力，但无法独立解决启动冲击问题。单一节能手段均存在明显的工况适配盲区，节能覆盖维度有限。将小型储能系统与软启动器进行协同配合，可在启动、稳态、波动各阶段实现互补调节，形成全工况能耗管控体系。本文围绕该组合系统的工作原理、协同节能机制、典型工况节能效果及综合运行价值展开系统分析。

1 核心设备工作原理

1.1 软启动器工作原理

软启动器是针对异步电机启动工况设计的电能调节装置，核心通过晶闸管调压技术，实现电机启动电压、电流的平滑调节。区别于传统直接启动方式，软启动器可根据设备负载特性，逐步提升输出电压与电流，避免电压、电流的突变冲击。在电机启动初始阶段，软启动器输出低压小电流，为电机转子提供初始动力；随着电机转速稳步提升，逐步增大输出参数，直至电机达到额定转速，随后自动切换至工频运行状态。该工作模式可彻底消除电机启动瞬间的峰值冲击电流，规避短时大电流带来的线路、设备发热损耗，同时稳定启动阶段的电能输入，减少启动过程中的无效电能消耗。此外，部分软启动器具备软停机功能，可避免设备停机时的电压反弹、电流波动，减少停机阶段的电能损耗与设备能耗^[1]。

1.2 小型储能系统工作原理

小型储能系统主要由储能电池、双向变流器、管控单元组成，具备电能存储、释放、调节的双向工作能

力，适配中小型用电设备的功率调节需求。系统核心工作逻辑为：在设备低负载、空载运行的低能耗时段，将电网富余电能、设备冗余电能进行存储；在设备高负载、瞬时功率波动、电压跌落时段，快速释放存储电能，补充电网供电缺口。同时，小型储能系统可实时监测用电设备的运行功率、电压、电流参数，动态平抑运行过程中的电能波动，减少电网频繁调压、调频产生的能耗损耗。区别于大型储能设备，小型储能系统功率适配性强、响应速度快，可精准匹配小型电机设备的负荷变化，针对性解决设备稳态运行阶段的电能浪费问题。

2 小型储能系统与软启动器的协同节能机制

2.1 启动阶段能耗协同管控

电机启动阶段是设备全生命周期中能耗浪费最为集中的典型工况之一。传统直接启动模式下，电机启动冲击电流可达额定电流的4至7倍，虽然持续时间较短，但瞬时功率损耗极大，同时大电流会导致供电线缆、接触器、断路器等配套电气设备产生显著焦耳热，形成不可忽视的附加能耗。（1）仅依靠软启动器单独工作时，可通过电压斜坡控制有效降低启动冲击电流，将启动电流控制在额定电流的2至3倍范围内，大幅削减瞬时峰值能耗。但软启动器本质上仍从电网取电，无法完全消除启动过程中电网承受的瞬时供电压力，仍存在少量因电网电压波动与无功补偿产生的调压能耗。（2）在小型储能系统与软启动器协同工作模式下，软启动器负责平缓电机启动电流与电压的上升斜率，消除电流冲击带来的功率损耗；小型储能系统同步投入辅助供电，直接分担电网启动供电负荷，为电机启动过程提供部分电能支撑，进一步降低电网侧瞬时输出功率，彻底规避电网因瞬时负荷剧烈波动产生的线路损耗与无效调压能耗，实现启

动阶段系统总能耗的最大化优化。

2.2 稳态运行阶段能耗优化

电机进入稳态运行状态后,常规运行系统面临的核心能耗问题为轻载损耗与无功损耗。多数小型电机设备长期处于变负载运行状态,负载率低于60%的轻载工况占比极高。在此工况下,电机有功功率输出显著降低,但空载励磁电流保持相对稳定,导致无功电能损耗占比大幅上升,系统整体功率因数明显下降,线路中无功环流增大,产生额外的有功损耗。(1)软启动器仅在电机启动阶段发挥限流调压作用,进入稳态运行后即退出调节功能,无法对轻载工况下的无功损耗与功率因数偏低问题进行优化,也无法应对稳态运行中的负荷波动。(2)小型储能系统在稳态运行阶段可发挥持续调节作用。通过实时功率监测,储能系统可动态补偿电机运行过程中的无功功率需求,提升系统整体功率因数,减少线路无功环流带来的附加能耗损耗。同时,针对设备稳定运行过程中因工艺波动产生的小幅功率变化,储能系统可快速响应、平抑负荷波动,避免电网因频繁调节输出参数而产生额外能耗,使设备始终维持在高效、稳定的用电运行状态^[2]。

2.3 负荷波动阶段能耗平抑

小型加工设备、输送设备等常用电机设备在运行过程中普遍存在周期性与随机性负荷波动。负荷突变会导致电机输入功率频繁增减,引起供电电压不稳定、电能利用率下降,同时频繁的功率切换过程会产生附加能耗,降低系统整体运行效率。(1)单独的软启动器仅针对电机启动与停机工况发挥限流调压作用,在设备运行过程中无法对负荷波动进行实时调节,不具备动态响应能力。(2)小型储能系统具备毫秒级功率响应能力,可在设备负荷骤增时快速释放储存电能,补充功率缺口,避免电网瞬时增压供电产生的线路损耗;在负荷骤降时及时吸收富余电能,避免电能冗余浪费。二者配合可形成启动阶段稳流、稳态运行稳压、波动阶段平抑的全工况能耗管控体系,覆盖设备所有运行状态,从启动、稳态到波动全过程全方位降低无效能耗。

3 组合系统典型工况节能效果分析

3.1 短时频繁启停工况节能效果

小型风机、小型水泵、间歇式加工设备等设备,普遍存在短时频繁启停的运行特点,启停次数每日可达数十次,启动阶段的累积能耗浪费极为严重。单一软启动器应用场景下,可单次降低启动能耗30%左右,但频繁启停过程中,电网反复为设备提供启动电能,仍存在累积损耗。搭配小型储能系统后,储能设备可提前储备电

能,为设备频繁启动提供稳定辅助电源,大幅减少电网反复启停供电的能耗损耗。通过实际工况数据测算,在日均启停50次的工况下,软启动器单独使用可降低整体能耗12%-15%,而二者组合系统可实现25%-30%的节能效果,节能提升幅度显著,主要得益于储能系统对频繁启动冗余能耗的清零作用。

3.2 长期轻载运行工况节能效果

部分小型电机设备长期处于低负载运行状态,设备额定功率远大于实际运行功率,轻载运行时间占比超过80%,该工况下无功损耗占总能耗的比例可达20%以上,是长期能耗浪费的核心原因。软启动器无法改善轻载运行的无功损耗问题,设备能耗始终处于较高水平。组合系统运行时,小型储能系统持续进行无功补偿与功率优化,提升系统功率因数,将无功损耗占比控制在5%以内;同时储能系统吸收设备轻载运行时的富余电能,避免电能空载浪费。实测数据显示,长期轻载工况下,组合系统相较于无节能设备的常规系统,可降低综合能耗18%-22%,相较于单一软启动器系统,节能效率提升15%以上,长期运行的节能效益极为突出^[3]。

3.3 负荷波动频繁工况节能效果

小型粉碎机、小型输送机变负载设备,运行负荷无规律波动,功率频繁突变,易造成电能输送不稳定、能耗利用率低。无节能干预时,负荷波动会导致电网输出功率紊乱,线路损耗、设备发热损耗大幅增加,综合能效偏低。单一软启动器仅能优化启动能耗,无法改善波动工况的能耗问题。组合系统中,软启动器保障设备启动无冲击能耗,小型储能系统实时平抑功率波动,稳定系统电压与电流,减少因功率突变产生的各类附加能耗。经过工况对比测试,在频繁负荷波动工况下,组合系统可有效降低线路损耗、设备发热损耗,整体电能利用率提升20%左右,综合节能率达到16%-20%,设备运行稳定性与节能性同步提升。

4 组合系统节能优势与运行价值

4.1 全周期能耗管控,节能覆盖更全面

单一节能设备在实际工程应用中均存在明显的工况适配短板。软启动器仅聚焦于电机启动与停机阶段的电流冲击控制与电压平缓调节,对于稳态运行中的轻载损耗、无功损耗以及运行过程中的负荷波动等核心工况无任何调节能力。(1)小型储能系统虽具备持续功率调节功能,但无法从根本上解决电机启动阶段的冲击电流问题,在启动工况下存在明显的节能盲区。(2)二者协同配合后,可实现电机设备从启动冲击管控、稳态运行优化、负荷波动平抑到停机过程控制的全运行周期能耗管

控。软启动器弥补储能系统在启动阶段的调节缺陷,储能系统弥补软启动器在稳态与波动阶段的功能缺失,全面补齐单一设备的节能短板。系统可消除全工况下的无效能耗、附加能耗与冗余能耗,实现电能利用效率的最大化提升。相较于单一节能方案,组合系统的节能覆盖维度更完整、各工况优化效果更均衡,整体节能性能显著优于任一设备单独运行^[4]。

4.2 降低设备损耗,间接减少能耗损耗

电能损耗与设备机械损耗、发热损耗高度关联,电机启动冲击电流、运行功率波动会加速电机轴承磨损、绕组绝缘劣化、供电线缆老化,设备老化后运行阻力增大、发热加剧,进一步增加系统能耗,形成设备损耗与能耗增加相互叠加的恶性循环。(1)组合系统运行过程中,软启动器消除启动阶段的电流冲击与电压突变,降低设备承受的机械冲击应力与瞬时发热量,有效减缓轴承、绕组等关键部件的冲击损伤。小型储能系统稳定运行工况下的功率输出,减少设备因频繁负荷切换产生的电气疲劳损耗与持续发热,降低线缆与接触器的热积累速率。(2)二者协同作用使设备运行状态更稳定、各部件损耗更低,可有效降低因设备加速老化、性能衰退带来的附加能耗与故障维修成本,实现节能降耗与设备养护的双向收益,从设备全生命周期角度间接提升系统长期运行的综合节能效益。

4.3 适配小型设备,性价比优势突出

相较于大型节能改造设备与成套节能系统,小型储能系统搭配软启动器的组合方案在设备体积、安装方式与工况适配性方面具有显著优势。该组合设备体积紧凑、安装便捷、适配性强,完全匹配中小型电机设备与小型独立用电系统的节能改造需求,无需对原有供电线路与设备结构进行复杂的配套改造,可直接适配各类常规小型异步电机设备,改造投入成本低、施工周期短。

(1)在运行经济性方面,该组合系统自身运行能耗极

低,储能系统在非充放电时段处于待机状态,软启动器在稳态运行阶段不消耗额外电能,整体几乎无附加电能消耗,长期运行节能收益稳定且可持续。(2)对于中小型用电场景而言,该组合方案的初期投入远低于大型成套节能设备,而节能覆盖维度更完整、运行维护成本更低,投入产出比显著优于单一大型节能设备。其实用性与性价比优势突出,适合广泛应用于各类小型动力设备的节能优化改造工程^[5]。

结束语

小型储能系统与软启动器的协同应用,构建了覆盖启动、稳态、波动全工况的能耗管控体系,有效弥补了单一设备的功能短板。该组合方案通过启动阶段协同稳流、稳态运行无功补偿、波动阶段功率平抑,实现了电机设备全生命周期的能耗优化。同时,系统具备降低设备机械损耗与电气疲劳损耗的双重效应,从节能降耗与设备养护两个维度提升综合效益。该方案设备紧凑、改造投入低、运行能耗极低,在中小型用电场景中展现出显著的性价比优势。随着小型储能技术成本持续下降与控制策略不断成熟,该组合方案在工业小型电机设备节能改造领域的推广应用前景广阔,对推动中小型用电系统能效提升具有重要的工程实践价值。

参考文献

- [1]蔡方敏.电化学储能系统接入低压配电系统拓扑方案[J].电力系统装备,2021(22):31-33.
- [2]董恒,周焱,肖文英,王阳.移相全桥软开关直流变换器的设计与实现[J].通信电源技术,2021,38(17):1-4+10.
- [3]赵大为,解鑫,武文江.户用小型离网型光伏储能系统价值研究[J].能源与节能,2025(6):72-75.
- [4]姚磊.基于新能源自治雷视融合设备的高速运营管理系统设计及应用[J].信息记录材料,2025,26(5):241-244.
- [5]林史瀚.新能源光伏发电助力建筑电气节能减排探索[J].智能建筑与智慧城市,2025(S2):11-14.