

电气控制系统在机电设备中的节能降耗研究

曹淑峰 362424199305260637

摘要

随着我国工业领域规模持续扩张，机电设备的能源消耗量占工业总能耗的比例不断攀升，节能降耗已经成为工业生产领域实现绿色转型的核心方向。电气控制系统作为机电设备运行的核心调控单元，其运行效率直接决定了机电设备的能源利用水平。本文首先阐述了电气控制系统在机电设备节能中的应用价值，分析了当前机电设备运行中存在的能源浪费问题，进而从变频调速技术优化、智能负载调控、无功补偿应用、系统运行监测四个维度，探讨了电气控制系统实现节能降耗的具体路径，最后结合实际应用场景总结了节能改造的实施效果。研究表明，通过优化电气控制系统的调控逻辑与技术配置，能够有效降低机电设备的无效能耗，提升能源利用效率，可为工业领域的节能降碳改造提供参考。

关键词

电气控制系统；机电设备；节能降耗；变频调速

一、引言

在双碳目标的推动下，我国工业生产领域对能源利用效率的要求不断提升，机电设备作为工业生产的核心硬件载体，其运行过程中产生的能源浪费问题一直是行业关注的重点。相关统计数据显示，我国工业电动机的总耗电量占全国工业用电量的60%以上，其中超过三成的电动机处于低效运行状态，无效能耗损失超过千亿千瓦时，节能改造的空间十分巨大。电气控制系统承担着机电设备的运行指令发布、运行状态调控、负载匹配调节等核心功能，传统的电气控制系统多采用固定转速、硬启动的调控模式，在负载波动较大的工况下会产生大量的无功损耗与空载损耗，因此通过优化电气控制系统实现机电设备节能降耗，具备极高的实践价值与推广意义。

二、机电设备能耗浪费的核心成因

当前多数传统机电设备的电气控制系统仍沿用早期的调控方案，普遍存在三个方面的问题导致能源浪费。第一，调速方式不合理，大量拖动类机电设备仍然

采用阀门节流、挡风板调负载的方式调整输出功率，这种调控方式虽然能够满足生产需求，但会导致大量电能以热能的形式耗散在电阻或挡板上，造成了严重的能源浪费。例如风机、水泵类设备，采用传统节流方式调节流量时，即便是在 50% 负载的工况下，能耗仍然会达到额定负载的 80% 左右，能源利用率不足 50%。第二，启动冲击带来的额外损耗，传统电气控制系统多采用直接启动的方式，启动电流可以达到额定电流的 5-7 倍，较大的启动冲击不仅会缩短机电设备的使用寿命，还会在启动过程中产生大量的无效能耗，对于频繁启停的机电设备来说，这类损耗累积起来十分可观。第三，无功功率损耗问题突出，传统感性负载的机电设备功率因数普遍较低，多数设备的功率因数仅在 0.6-0.7 之间，大量的无功电流在电网中循环，不仅会占用电网的输电容量，还会增加线路损耗，导致企业的用电成本上升，同时也造成了能源的不必要浪费。

三、电气控制系统实现节能降耗的主要路径

1. 应用变频调速技术实现功率匹配

变频调速技术是当前电气控制系统中应用最广泛的节能技术，其核心原理是通过改变输入电源的频率调整机电设备的运行转速，进而实现输出功率与实际负载需求的精准匹配。根据电机转速公式 $n=60f(1-s)/p$ ，其中 n 为电机转速， f 为电源频率， s 为转差率， p 为电机极对数，电机转速与电源频率呈正比关系，因此通过调整电源频率就可以灵活调整电机的输出功率。相较于传统的节流调控方式，变频调速技术在负载波动的工况下节能效果十分显著，以离心式水泵为例，当实际流量需求下降到额定流量的 80% 时，变频调速方案的能耗仅为传统节流方案的 60% 左右，当流量下降到额定流量的 50% 时，能耗仅为传统方案的 30% 左右，节能率可以达到 40%-60%。在电气控制系统中加入变频器之后，还可以实现软启动，降低启动电流对设备的冲击，减少启动过程中的无效能耗，同时延长机电设备的使用寿命，降低设备维护成本。

2. 智能负载动态调控减少空载损耗

除了变频调速之外，通过智能电气控制系统实现负载的动态调控，也能够有效减少机电设备的空载损耗与轻载损耗。在工业生产场景中，很多机电设备并不是持续满负荷运行，例如加工车间的机床设备、输送设备，在待机或者工件切换的间隙往往处于空载运行状态，传统电气控制系统需要人工操作关停设备，多数情况下为了不影响生产效率，操作人员会保持设备空载运行，产生大量的无效能耗。针对这类问题，现代电气控制系统可以通过加装电流传感器、位置传感器采

集机电设备的实时运行状态，当系统检测到设备连续处于空载状态超过设定阈值后，会自动切断设备的动力电源或者将设备调整到待机低功耗模式，当接收到生产指令后再快速恢复运行状态。这种动态调控方式不需要人工干预，能够在不影响生产效率的前提下，有效消除空载运行带来的能源浪费，对于存在频繁待机间隙的机电设备来说，节能率可以达到 **15%-25%**。此外智能控制系统还可以根据生产任务的需求，自动调整多设备并联运行的投入数量，在总负载较低的情况下关停部分设备，避免多设备轻载运行带来的效率损失，进一步提升整体的能源利用效率。

3. 加装无功补偿装置降低线路损耗

无功功率损耗是机电设备能源浪费的重要组成部分，在电气控制系统中配置合适的无功补偿装置，能够有效提升系统的功率因数，减少电网中的无功电流，进而降低线路与变压器的传输损耗，实现节能降耗的目标。对于容量较大的感性负载机电设备，可以采用就地无功补偿的方式，在电气控制系统的设备输入端并联静止无功补偿装置，根据设备运行过程中的无功需求动态投入补偿电容，将设备的功率因数稳定在 **0.95** 以上。

四、应用效果与案例分析

某化工企业针对厂区内 **12** 台 **110kW** 离心水泵进行了电气控制系统节能改造，原有系统采用阀门节流调节出水流量，改造后更换为变频调速电气控制系统，同时加装就地无功补偿装置。改造完成后的运行数据显示，改造前该水泵机组的平均功率因数为 **0.68**，单位产品电耗为 **12.8kWh/吨**，改造后平均功率因数提升到 **0.96**，单位产品电耗下降到 **6.7kWh/吨**，平均节能率达到 **47.6%**，按照年用水量计算，每年可节约用电量约 **210** 万千瓦时，按照工业电价 **0.6** 元/千瓦时计算，每年可节约电费 **126** 万元，改造总投入约 **180** 万元，不到两年就可以收回改造成本，经济效益与节能效益都十分显著。

五、结论

电气控制系统作为机电设备的核心调控单元，是实现机电设备节能降耗的关键切入点。通过应用变频调速、智能动态调控、无功补偿、在线能耗监测等技术，能够有效解决传统机电设备存在的功率不匹配、空载损耗大、功率因数低等问题，大幅提升机电设备的能源利用效率，降低生产过程中的能源消耗。在双碳目标的背景下，推动工业企业机电设备电气控制系统的节能改造，不仅能够降低企业的生产运行成本，还能够助力工业领域的碳减排目标实现，具备良好的经济效益与

社会效益。未来随着智能控制技术与新能源技术的进一步发展，电气控制系统的节能效率还会进一步提升，为工业绿色转型提供更强有力的支撑。

参考文献

- [1] 张进. 电气自动化控制中的节能降耗技术探究[J]. 中国设备工程, 2021(14): 21-22.
- [2] 王军. 电气控制系统在电力拖动中的节能应用分析[J]. 能源与节能, 2020(05): 64-65+76.
- [3] 李刚. 工业机电设备变频节能技术的应用研究[J]. 机械工程与自动化, 2019(03): 210-212.