工业自动化中电气驱动系统的能效优化方案

张 洁

青岛捷天电气设备有限公司　山东青岛

【摘要】工业自动化蓬勃发展，电气驱动系统能耗却成关键问题。本方案深入探究该系统，综合分析电机、控制、传动与能量回收环节。精准电机选型适配工况，先进控制策略动态调速，优化传动降低损耗，能量回收实现再利用，系统协同保障整体高效。全方位挖掘节能潜力，为工业降本增效，推动绿色可持续发展，增强产业竞争力。

【关键词】工业自动化；电气驱动系统；能效优化；电机选型；能量回收
【收稿日期】2025 年 1 月 18 日　【出刊日期】2025 年 2 月 16 日　【DOI】10.12208/j.jeea.20250038

Energy efficiency optimization scheme of electrical drive system in industrial automation

Jie Zhang

Qingdao JTECH Electrical Equipment Co., Ltd, Qingdao, Shandong

【**Abstract**】Industrial automation is thriving, yet the energy consumption of electrical drive systems remains a critical issue. This solution delves into this system, comprehensively analyzing the motor, control, transmission, and energy recovery stages. Precise motor selection matches the operating conditions, advanced control strategies dynamically adjust speed, optimized transmission reduces losses, and energy recovery enables reuse. System coordination ensures overall efficiency. It fully taps into energy-saving potential to reduce costs and improve efficiency in industry, promoting green and sustainable development and enhancing industrial competitiveness.

【**Keywords**】Industrial automation; Electrical drive system; Energy efficiency optimization; Motor selection; Energy recovery

引言

当今工业自动化浪潮席卷而来，电气驱动系统遍布各类生产线。但高能耗如影随形，不仅使企业运营成本攀升，更给能源供应与环境保护带来巨大压力。在全球倡导节能减排、绿色发展之际，降低电气驱动系统能耗刻不容缓。每一分电能浪费都在挤压企业利润空间，阻碍工业迈向可持续未来。研究如何优化其能效，恰似为工业发展解锁新动力，既能助力企业轻装上阵，又能为生态环境减负，极具现实意义，亟待深入探索。

1 精准电机选型破能耗难题

在工业自动化进程持续推进的当下，电机作为电气驱动系统的核心部件，其地位犹如人体的 “心脏”，源源不断地为整个系统输送动力。不容忽视的是，电机选型不当已然成为导致能耗高企的关键源头之一[1]。在连续重载工况下，若选配的电机功率偏小，电机为满足沉重的负荷需求，将不得不长时间处于超负荷运转状态。电机内部电流会急剧增大，大量的电能在电机内部转化为热能并散失到周围环境中，不仅使得电机的运行效率大幅降低，长期处于这种恶劣工况下，电机的使用寿命也会急剧缩短，频繁的维修与更换更是会增加企业的运营成本。反之，当面对间歇轻载作业场景时，若选用大功率电机，在多数运行时段内，电机将处于轻载运行状态，电机的多余功率无法得到充分利用，白白造成了极大的能源浪费，使得企业的能源成本居高不下。

以注塑机生产这一典型工业场景为例，其工作周期涵盖注射、保压、冷却等多个阶段，各阶段的负载情况变化显著。在传统的单一电机选型模式下，很难做到兼顾注塑机在各个阶段的能效需求。而选

作者简介：张洁，女，汉，山东青岛，本科，研究方向为电气。

用变频调速电机，并配合智能控制系统，则可依据负载的实时变化灵活调整电机的转速与输出功率[2]。在注射高压阶段，电机满功率运行，以满足高压注射所需的强大动力；在冷却低载阶段，电机降速运行，实现节能降耗。经实际案例验证，通过这种优化方式，注塑机的整体能效可提升超过 15%。

再者，电机的类型极为丰富，涵盖了永磁同步电机、异步电机、直流电机等多种品类，且每一种类型都具备独特的性能特点。永磁同步电机，以其高功率因数和高效率的显著特性，在诸多稳定运行工况下优势尽显。在电动汽车领域，永磁同步电机凭借其高效的电能转化能力，能够大幅延长车辆的续航里程，为企业节省大量电能。而异步电机则因其成本相对较低，在部分对能效敏感度稍低、设备结构较为简易的工业场景中表现出良好的适用性，例如在一些小型加工厂的简单机械驱动中，异步电机便能以较低的投入满足生产需求。在实际的电机选型过程中，企业需要综合权衡性能、成本、适配性等多方面因素，进行精细且周全的抉择。企业需依据不同生产环节的负载特性、运行时长、空间布局等条件，仔细评估各类电机的适用性，确保电机在不同的工业生产场景中都能以最优状态运行，将输入的电能高效转化为生产力，助力企业在激烈的市场竞争中赢得成本优势。

2 智能控制策略促电能高效利用

当完成电机的选定工作后，控制策略便成为左右整个电气驱动系统能效表现的关键杠杆。在传统的固定频率控制模式下，电机如同不知疲倦的永动机，以一成不变的转速持续运转。它无法感知外界变化，无论负载如何剧烈波动，都只能遵循既定的运行节奏，无法依据实际工况做出灵活调整。以制造业生产线为例，在生产过程中，由于订单需求不同，生产节奏往往时快时慢。采用固定频率控制的电机，转速却恒定如初[3]。在低负载时段，如产品组装环节，电机本无需输出高功率，却依旧维持满功率运转，大量电能在无意义的空转中被白白浪费，使得能源利用效率大打折扣，无形之中增加了企业的生产成本，也对资源造成了不必要的消耗。

在风机、泵类等广泛应用的工业场景中，流量、扬程与电机转速间的关联极为紧密。采用变频调速控制策略能为这些设备带来显著节能效益。依据流体力学中的相似定律，当工艺需求的流量降低时，通过变频器调低电机转速，电机的功率消耗将以转速三次方的比例急剧下降。以某化工企业的循环水系统改造为例，引入变频调速技术前，风机不论生产负荷高低都全速运转，能耗巨大。改造后，风机转速能随生产负荷灵活调节，当生产负荷降低，风机转速随之降低，功率消耗大幅减少。经过长时间的运行监测，该企业惊喜地发现，系统能耗降低了近40%，节能成效斐然[4]。这不仅大幅削减了企业的电费开支，还为其践行可持续发展目标筑牢根基。

矢量控制技术堪称复杂工况下电机高效运转的关键赋能者。其核心原理在于，运用先进的数学算法，对电机的磁场与转矩进行精准解耦，进而达成对这两个关键参数的独立且精确的调控。以自动化精密加工设备领域为例，在加工进程中，切削力会伴随工序的推进而持续动态变化，而矢量控制技术宛如一位敏锐的 “智能管家”，能够凭借其内置的传感器与算法，实时感知切削力的波动情况，并迅速据此调整电机的输出功率与扭矩。这一过程不仅确保了加工精度始终维持在极高水准，还通过精准适配负载需求，有效地削减了电机的能耗。倘若将矢量控制技术与智能控制系统协同搭配，将加工工艺参数、负载实时反馈等多维度信息进行深度融合与分析，电机的控制模式便得以从传统的被动响应式跃升至主动适应式。在面对复杂多变的工况时，电机宛如拥有了“智慧大脑”，能够快速“智能应变”，迅速调整自身的运行参数，深度挖掘节能潜力，为企业开辟出节能增效的广阔发展空间，助力企业在激烈的市场竞争中凭借更低的能耗成本与更高的生产效率脱颖而出。

3 优化传动装置减能量传输损耗

传动装置作为连接电机与工作负载的关键纽带，其能效水平对整个工业自动化电气驱动系统的性能表现起着决定性作用。以传统的齿轮传动系统为例，当设计制造精度未能达到理想标准，或者在后续使用过程中润滑维护工作有所欠缺时，齿面之间会因相对运动产生摩擦，在齿轮啮合瞬间还会引发冲击现象[5]。这些不利因素不仅会造成大量的能量损耗，还会加速齿轮的磨损，导致系统运行效率大幅降低，进而增加整个驱动系统的运行成本。

在矿山重型机械领域，大功率电机通常用于驱

动破碎机、输送带等大型设备，多级齿轮传动在这类场景中司空见惯。老旧的传动系统由于长期使用，齿轮磨损严重，再加上润滑失效等问题，能量损失可达 15% 以上。为改善这一状况，选用高精度磨齿齿轮，通过优化齿形设计来降低啮合冲击，并配合使用长效优质润滑剂，可有效降低齿轮间的摩擦损耗，经实践验证，能够将传动效率提升超过 10%。这不仅减少了能源浪费，还延长了设备的使用寿命，降低了设备的维护成本。

皮带传动同样存在较大的优化空间。不同型号的皮带，其摩擦系数、弹性模量等物理特性各异，若在选型时适配不当，极易引发皮带打滑、弹性滑动等问题，从而造成能量的白白浪费[6]。例如在纺织印染机械中，长轴传动选用窄 V 带取代普通 V 带，由于窄 V 带具有更大的横向摩擦力与更高的功率传递能力，在保障传动平稳性的同时，能够有效减少滑动损耗，使传动效率提升约 8%。定期对传动部件进行巡检，实时监测部件的磨损情况，并及时调整皮带的张紧度，能够确保能量在传输过程中 “一路畅通”，避免因传动故障而衍生额外的能耗，切实守护好能效提升的成果。

4 能量回收再用辟节能新径

在工业生产这一复杂且动态的过程中，设备于制动、减速阶段所蕴含的能量回收潜力不容小觑。回顾过往的生产模式，令人惋惜的是，这部分本可再利用的能量大多如同细沙从指缝间悄然流逝，被白白浪费掉[7]。以起重机作业场景为例，当重物平稳下放、小车精准回移时，电机状态发生反转，瞬间进入发电模式。但在传统做法的局限下，这部分来之不易的电能通常只能无奈地通过能耗电阻，以转化为热能的方式，毫无保留地耗散到周围环境中，最终导致了严重的能源浪费，这无疑是对资源的极大辜负。

如今，借助超级电容、再生制动模块构建能量回收系统，可将这部分原本被浪费的电能高效存储起来。超级电容凭借其高功率密度、快速充放电的特性，完美适配频繁启停设备的能量回收需求。在城市轨道交通车辆制动过程中，再生制动产生的能量可回馈至电网，或者为相邻车辆的辅助供电系统提供电能，据统计，通过这种方式实现的节能比例可达 20% - 30%。

对于自动化工厂内的电动叉车、AGV 小车等搬运设备，在频繁的加减速操作过程中，能量回收系统能够收集制动能量，并在设备启动、加速时将储存的能量释放利用，减少设备从电网的取电量。这一举措既降低了企业的能耗成本，又减轻了设备频繁启停对电网造成的冲击[8]。进一步将回收的电能进行精准管理，或直接回馈给驱动电机，实现能量的循环利用；或储存起来供厂区照明、控制电路等低功率系统使用，实现能量的梯级利用。这种能量回收再利用的模式为工业节能开拓了全新路径，真正做到让每一度电都能 “物尽其用”，助力企业实现绿色、可持续发展。

5 结语

展望未来，工业自动化电气驱动系统能效优化之路将越走越宽。随着新材料、新技术如超导电机、纳米润滑技术、智能自适应算法等蓬勃兴起，能效提升潜力巨大。企业若能紧跟科技步伐，深度融合创新，持续优化系统各环节，将在降低成本、提升效益上收获硕果。这不仅为自身铸就强大竞争力，更将为全球工业绿色转型注入磅礴动力，推动人类工业文明迈向低碳、智能、高效新纪元，开启可持续发展新篇章。

参考文献

[1] 解增昆.新能源电气驱动系统的优化设计与性能提升[J].时代汽车,2024,(11):112-114.

[2] 《电动式集装箱空箱堆高机电气驱动系统技术要求》团体标准简介[J].港口科技,2024,(05):46.

[3] 高健.一种典型桥面全回转起重机的电气系统设计研究[J].南方农机,2023,54(17):134-137.

[4] 沙伟燕,王博,徐玉华,等.基于 PLC 的高压电气驱动控制可靠性研究[J].微型电脑应用,2023,39(04):55-58.

[5] 张利.机械臂电气驱动和控制系统设计[J].装备制造技术,2023,(04):130-133.

[6] 林新.浅析数控机床电气驱动系统可靠性[J].内燃机与配件,2022,(10):109-111.

[7] 孙叶宁.电动汽车的电气驱动技术及其发展研究[J].内燃机与配件,2022,(03):205-207.

[8] 胡颖华.岸桥电气驱动和控制系统研究[J].造纸装备及材料,2021,50(11):11-13.

版权声明：©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。
https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
OPEN ACCESS