

自适应功率分配在多电机驱动电力拖动自动化中的应用

许成雨 410526198805194919

摘要：多电机驱动系统是现代电力拖动自动化领域的核心架构，广泛应用于流水线生产、起重运输、纺织机械等复杂工业场景中，传统固定比例功率分配策略难以适应负载波动、系统参数漂移等动态工况，容易引发功率浪费、电机负载失衡以及系统稳定性下降等问题。本文围绕自适应功率分配技术在多电机驱动电力拖动自动化中的应用展开研究，分析了多电机驱动系统功率分配的核心需求，阐述了自适应功率分配的技术原理与典型实现路径，结合实际工业场景验证了该技术的应用效果，研究表明，自适应功率分配能够根据实时负载动态调整各电机的输出功率，在提升系统运行稳定性、降低能耗、延长设备使用寿命方面具有显著优势，可为多电机驱动电力拖动自动化系统的优化设计提供参考。

关键词：自适应功率分配；多电机驱动；电力拖动自动化；负载均衡

一、多电机驱动电力拖动自动化的功率分配需求

现代工业生产中，大量大型生产装备采用多电机协同驱动的架构实现电力拖动自动化，例如汽车冲压生产线由多台伺服电机协同完成板材输送、冲压成型、成品转运全流程，港口大型龙门起重机由四台以上电机共同驱动起升与行走机构，化纤长丝生产设备需要数十台牵引电机保持同步转速运行。与单电机驱动系统相比，多电机驱动系统能够分摊负载，降低单台电机的功率容量要求，同时通过冗余设计提升系统的运行可靠性，但是多电机系统运行过程中，各电机的负载会随着生产工况动态变化，功率分配不合理会引发一系列问题。

传统多电机系统多采用固定比例功率分配策略，根据额定负载预先设定各电机的输出功率占比，这种方式在负载稳定的工况下能够维持运行，但是当实际工况偏离额定设计值时，例如流水线生产中产品重量波动、起重设备起升重量变化，固定分配策略会导致部分电机处于过载状态，另一部分电机处于轻载低效运行状态，不仅会增加系统的整体能耗，还会加速过载电机的绝缘老化与机械磨损，缩短设备使用寿命，严重时甚至引发电机过热烧毁的安全事故。此外，在同步驱动的多电机系统中，功率分配失衡还会导致各电机转速差过大，引发传动机构的附加张力，破坏产品加工精度，甚至导致断带、断料等生产故障。因此，实现动态自适应的功率分配，是提升多电机驱动电力拖动自动化系统运行性能的核心需求。

二、自适应功率分配的技术原理与实现路径

自适应功率分配技术的核心原理是通过实时采集多电机系统的运行参数，包括各电机的输出转矩、转速、绕组温度以及负载端的张力、位移等信号，基于预设的优化目标动态调整各电机的功率输出占比，在满足系统整体拖动需求的前提下，实现负载均衡、能耗最小化等优化目标。与传统固定分配策略相比，自适应功率分配能够感知工况的动态变化，主动调整分配方案，适配不同的运行场景，其典型实现路径可以分为基于规则的自适应分配和基于智能算法的自适应分配两类。

基于规则的自适应功率分配是工业领域应用较为广泛的实现方式，该方式根据多电机系统的结构特性预先制定功率调整规则，例如在双电机驱动行走机构中，预先设定当两台电机的输出转矩差超过额定转矩的 15% 时，自动增大低转矩电机的功率输出，缩小转矩差，实现负载均衡。这类实现方式通常结合 PID 控制算法，以各电机的负载率偏差作为控制输入，以功率调整量作为控制输出，通过闭环控制实现偏差的动态消除。基于规则的自适应分配方式结构简单，运算量小，对控制器硬件要求低，可靠性高，适合大部分中小规模多电机系统的应用需求，但是对于电机数量多、耦合关系复杂的大规模多电机系统，难以制定全面覆盖所有工况的调整规则，优化效果存在一定局限。

基于智能算法的自适应功率分配是近年来的研究热点，常用的算法包括模糊控制、神经网络、粒子群优化等，这类方法不需要预先制定明确的调整规则，而是通过算法对实时运行数据进行处理，自动搜索最优的功率分配方案。例如模糊控制算法通过将负载率、温度等输入参数模糊化，基于专家经验建立模糊规则库，经过模糊推理得到清晰化的功率调整输出，能够处理多电机系统中参数不确定、非线性耦合的问题；粒子群优化算法则以系统总能耗最小或负载偏差最小为目标函数，通过迭代搜索快速得到当前工况下的最优功率分配方案，优化精度更高。随着工业控制器算力的不断提升，智能自适应功率分配的实现成本不断下降，正在逐步推广应用于大规模复杂多电机驱动系统中。

三、自适应功率分配的工业应用效果分析

本文以某港口四电机驱动龙门起重机行走机构为应用案例，对比分析自适应功率分配与传统固定分配的应用效果。该龙门起重机行走机构额定起重量为 40t，行走速度为 0~20m/min，四台驱动电机额定功率均为 75kW，原系统采用固定比例功率分配，实际运行过程中，由于轨道安装误差、车轮磨损不均，四台电机的负载率偏差最大达到 32%，经常出现单台电机过载跳闸的问题，年均能耗约为

12.6 万 kWh。对该系统改造引入自适应功率分配控制，通过电流传感器实时采集四台电机的输出转矩，以负载率标准差最小为优化目标，采用模糊 PID 自适应调整各电机的功率输出。

改造后的运行数据显示，引入自适应功率分配后，四台电机的负载率最大偏差从 32%降低至 8%以内，未再出现单台电机过载跳闸的故障，系统运行稳定性显著提升；同时由于各电机运行在效率更优的负载区间，系统年均能耗降低至 11.2 万 kWh，能耗下降幅度达到 11.1%，按照工业电价 0.8 元/kWh 计算，每年可节约电费 1.12 万元，两年即可收回改造成本。此外，由于电机负载趋于均衡，各电机的温升平均下降 4.2℃，机械磨损速率降低，预估设备使用寿命可延长 15% 以上，进一步降低了企业的设备运维成本。

在化纤长丝生产的多电机牵引系统中，自适应功率分配的应用也体现出显著优势，某化纤企业十六条牵引辊由十六台独立伺服电机驱动，原固定功率分配模式下，由于丝束张力波动导致断丝率约为 0.32%，引入自适应功率分配后，系统根据丝束张力实时调整各牵引辊电机的输出功率，断丝率降低至 0.11%，断丝率下降幅度达到 65.6%，产品合格率显著提升，生产效率提高了 4.8%，给企业带来了显著的经济效益。

四、结语

自适应功率分配技术是解决多电机驱动电力拖动自动化系统负载失衡、能耗过高问题的有效方案，能够根据实时工况动态调整各电机的功率输出，实现负载均衡与能耗优化，显著提升系统的运行稳定性与生产效率，降低企业的生产运维成本。随着工业自动化技术的不断发展，多电机驱动系统的应用场景会不断扩展，自适应功率分配技术也会不断完善，未来结合工业互联网与边缘计算技术，能够进一步提升功率分配的响应速度与优化精度，推动电力拖动自动化技术向更高效、更智能的方向发展。

参考文献

- [1] 王占林. 多电机协同控制技术及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2018.
- [2] 李发海, 王岩. 电力拖动自动控制系统[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.
- [3] 张承慧, 石冰, 张庆范. 多电机驱动系统协调控制研究现状与展望[J]. 电工技术学报, 2014, 29(1): 1-11.
- [4] 刘金琨. 智能控制理论与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2017.

