

电气自动化设备节能优化方法

刘妍钰
广东天汇综合能源服务有限公司 广东 湛江 524000

摘要：电气自动化设备能耗受设备特性、运行工况及系统设计等多因素影响。本文剖析了电机、变压器等设备特性及负载变化、环境因素等对能耗的作用机制，提出设备选型、运行控制、能源管理及系统集成优化策略，涵盖高效电机选用、负载匹配控制、能源监测分析等内容，为降低电气自动化设备能耗、提升能源利用效率提供技术参考。
关键词：电气自动化设备；能耗影响因素；节能优化技术；系统集成

引言

在工业自动化快速发展的当下，电气自动化设备广泛应用，其能耗问题日益凸显。设备能耗受多种因素交织影响，从设备自身特性到运行工况，再到系统设计，每个环节都关乎能源利用效率。深入分析这些因素，探索有效的节能优化方法，不仅能降低企业运营成本，还能响应节能减排号召，对推动工业可持续发展具有关键意义。

1 电气自动化设备能耗影响因素分析

1.1 设备自身特性

电机性能直接关系到设备的能耗水平，电机效率决定电能转化为机械能的比例，效率低下意味着更多电能以热能形式损耗。功率因数反映电机对电网电能的利用效率，功率因数偏低会增加无功功率传输，导致电网损耗上升^[1]。不同类型电机的能耗表现存在差异，异步电机在轻载时效率下降明显，而同步电机在稳定负载下效率更高且功率因数可调，更适合长期运行的工况。变压器损耗是电气系统能耗的重要组成部分，空载损耗源于铁芯中的磁滞和涡流效应，即使在无负载时也持续存在，与铁芯材料和制造工艺密切相关。负载损耗则随负载电流变化，由绕组电阻产生，电流越大损耗越高。变压器容量选择不合理会加剧能耗，容量过大导致空载损耗占比上升，容量过小则在满载时负载损耗激增，无法兼顾不同负载条件下的节能需求。控制器效率影响着设备的整体能耗，控制器在信号处理过程中，芯片运算和电路转换会消耗能量，处理速度与能耗之间存在平衡关系。不同控制算法对控制器能耗产生影响，复杂算法虽能提升控制精度，但需更多运算资源，能量损耗相应增加；简化算法能耗较低，却可能在动态响应上存在不足，间接导致设备运行效率下降。

1.2 运行工况

负载变化对设备能耗有着显著影响，轻载状态下设备效率通常较低，输入功率中有效做功比例下降，多余

能量以损耗形式浪费；重载时设备虽接近额定效率，但持续重载可能导致部件过热，额外增加散热能耗。变负载工况下，设备需频繁调整输出，每次调整过程中都会产生过渡损耗，且难以稳定在高效区间运行，整体能耗高于稳定负载条件。运行时间模式影响能耗总量，连续运行的设备若长时间处于非必要工作状态，会造成无效能耗累积；间歇运行虽能减少部分能耗，但频繁启停过程中，启动瞬间的冲击电流和设备预热阶段的低效率，也会增加额外能量消耗。不合理的运行时间安排，如设备空转时间过长或在低负载时段持续运行，都会加剧能源浪费。环境因素通过影响设备性能间接改变能耗，高温环境会降低电机和控制器的散热效率，为维持正常运行温度，散热系统需消耗更多能量，高温可能导致绝缘材料性能下降，增加漏电流损耗。高湿度环境可能引发设备部件锈蚀，增加接触电阻，导致电能传输损耗上升；粉尘积累会堵塞散热通道，降低散热效果，迫使设备在更高能耗状态下运行。

1.3 系统设计

系统架构在能源传输和分配中的能耗表现不同，集中式控制系统需要长距离传输控制信号和电能，线路损耗随距离增加而上升，且集中处理单元的高负荷运行也会产生较多能耗。分布式控制系统将控制功能分散到靠近设备的节点，缩短能源传输路径，减少传输损耗，各节点可根据局部需求动态调整能耗，整体效率更高。系统架构若未考虑能量流动路径优化，会导致能量在传输和转换过程中产生不必要的损耗。线路布局对能耗的影响不可忽视，线路长度增加会使电阻增大，电流通过时的热损耗随之上升；截面积过小的导线无法承载额定电流，不仅会产生较大电压降，还会因过热增加能耗。敷设方式不当也会影响能耗，如线路并行敷设时的电磁感应会增加附加损耗，环境温度过高的敷设路径会进一步加剧导线电阻的上升。设备匹配程度直接影响系统整体效率，电机与负载匹配不当，会使电机长期运行在非额

定工况，轻载时效率骤降，重载时可能超出额定功率导致过热损耗。控制器与执行机构之间的信号延迟或功率不匹配，会使执行机构动作滞后或过度反应，增加无效能耗。设备之间的参数不匹配还会引发连锁反应，导致整个系统运行效率下降，形成恶性循环的能源浪费。

2 电气自动化设备节能优化技术策略

2.1 设备选型优化

高效电机选择需结合其技术特点与应用场景，高效电机通过优化铁芯材料、改进绕组设计提升电能转化效率，在额定负载下效率明显高于普通电机。高功率因数特性减少无功功率消耗，降低电网传输损耗。根据设备负载特性选择电机，长期稳定负载宜选用同步电机，变负载工况可考虑变频调速电机，轻载频繁的场景则适合永磁同步电机，确保电机在主要运行区间保持高效。节能型变压器选用需了解不同类型的节能原理，非晶合金变压器采用非晶态合金材料制作铁芯，磁滞损耗显著低于传统硅钢片变压器，空载损耗大幅降低^[2]。干式变压器无需绝缘油，散热效率高且负载损耗控制优良，适合潮湿或洁净环境。选用时需结合负载波动情况，长期轻载场景优先考虑非晶合金变压器，负载变化大的场合则需平衡空载与负载损耗，避免单一指标优化导致整体能耗上升。低功耗控制器选择依赖其技术设计，低功耗控制器采用新型芯片架构，运算过程中能量消耗更低，通过优化电路布局减少待机损耗。部分控制器集成休眠模式，闲置时自动降低功耗却不影响快速唤醒。不同场景对控制器要求不同，连续运行的设备需兼顾低功耗与处理速度，间歇工作的设备可侧重深度休眠功能，确保在满足控制需求的前提下能耗最低。

2.2 运行控制优化

负载匹配控制通过动态调整设备输出适应负载变化，变频调速技术改变电机供电频率，使转速随负载需求变化，轻载时降低转速减少输入功率，避免能量浪费。该技术能让电机在较宽的负载范围内保持较高效率，尤其适合风机、水泵等变负载设备。控制过程中需实时监测负载变化，快速响应调整输出，减少过渡过程中的能耗波动。智能启停控制基于多条件判断实现精准操作，结合时间设定与负载检测，设备在预设时段或负载低于阈值时自动停机，负载恢复时平稳启动。启动过程采用软启动方式，降低冲击电流，减少启动瞬间的能量损耗。针对间歇运行设备，通过分析工作周期优化启停间隔，避免短时间内频繁启停，平衡停机节能与启动损耗。多设备协同控制通过统筹调度提升系统效率，根据各设备的运行需求和能耗特性，优化工作顺序，避免高峰时段集中运行导致的能源紧张。设备间通过信息交互协调工作节奏，如上游设备完成工序后下游设备再启动，减少

中间环节的等待能耗。协同模式需适应生产流程变化，在保证生产连续性的前提下，使系统整体运行在高效能耗区间。

2.3 能源管理优化

能源监测与分析系统由传感器、传输网络和分析模块组成，传感器采集各设备的实时能耗数据，传输网络将数据稳定传送至分析模块。分析模块梳理能耗变化规律，识别异常能耗时段和设备，为针对性优化提供方向。系统需覆盖设备运行全流程，确保数据完整反映能耗状况，同时具备数据可视化功能，直观呈现能耗分布和变化趋势。能源调度与优化基于监测数据动态分配能源，根据设备优先级和能耗需求，调整能源供应比例，高优先级设备在能源紧张时优先保障，低优先级设备适当限制能耗。结合能源供应波动情况，在供应充足时为高能耗设备安排工作，供应紧张时切换至低能耗运行模式。调度过程需保持响应速度，避免因调整滞后导致能源浪费或影响生产。能源存储技术为能源高效利用提供支持，电池储能适合存储中长时间的多余能源，在用电高峰或断电时释放，维持设备稳定运行。超级电容储能则擅长应对短时功率波动，快速吸收或释放能量，减少电网冲击。存储系统需与设备运行节奏匹配，在设备低负载时存储能源，高负载时补充供电，形成能源动态平衡，提升整体利用效率。

3 电气自动化设备节能优化系统集成方法

3.1 系统集成架构设计

分层架构设计构建多层次节能优化体系，感知层部署传感器，采集设备能耗参数、运行状态和环境数据，为节能分析提供原始信息。控制层接收数据，通过算法生成控制指令，调节设备参数实现动态节能。管理层整合信息，分析整体能耗趋势，制定长期策略。各层通过标准化接口传递数据，感知层为控制层提供依据，控制层向管理层反馈结果，形成闭环协作，确保节能指令高效传递。分布式架构设计将节能功能分散到设备节点，每个节点具备独立感知、分析和控制能力，可自主调节能耗^[3]。节点间通过网络协同，共享信息但不依赖中心节点，单个节点故障不影响整体，提升容错能力，便于新增设备接入，随规模扩大保持稳定节能效果。混合架构设计融合分层与分布式优势，核心设备用分层架构确保集中管控，边缘设备用分布式架构增强局部响应。复杂场景中，关键设备通过控制层和管理层统一调度，小型设备自主调节，通过网关互通数据。此模式保障核心系统精度，适应边缘设备灵活部署，按设备特点选择架构。

3.2 节能优化软件模块集成

数据采集与预处理模块对接设备接口，采集电流、电压等能耗数据及运行状态信息。处理不同格式数据，

转换后标准化存储。预处理剔除异常和重复数据，对缺失数据插值，确保分析基于完整数据集。按数据重要性设采集频率，平衡质量与系统负荷。节能算法实现模块将策略转化为代码，负载匹配算法比对输出功率与负载需求，调整电机转速等参数，使设备在高效区间运行。智能启停算法分析生产节奏，工序间隙触发休眠，降低待机能耗，同时预留唤醒时间保障响应。算法具备自学习能力，通过数据积累优化参数，适应设备老化或工况变化。能源管理与决策模块整合数据和算法结果，生成能耗报表，展示设备和时段能耗分布。分析趋势预测变化，结合生产计划制定能源方案，减少冗余。识别高能耗环节，提出改造建议，为决策提供依据，推动从被动节能向主动优化转变。

3.3 通信协议与接口设计

通信协议选择需适配传输需求，Modbus结构简单，适合中小系统低速传输，广泛用于电机等设备监测。Profibus支持高速交换，适用于实时性要求高的场景，实现参数快速调节。EtherCAT同步性能好，协调多设备时序，减少生产线因不同步导致的能耗浪费。选择时考虑系统规模、实时性和兼容性，确保传输效率与稳定。接口标准化设计统一通信规范，定义传输格式、速率和校验方式，使不同设备无缝对接。传感器与控制器用标准化接口，减少转换损耗。设备与管理层通过网络接口通信，实现跨平台共享。规范预留扩展空间，适应新设备接入，避免升级障碍。数据传输安全设计保障数据完整与保密，用加密算法处理敏感数据，防止篡改窃取。访问控制限制节点权限，感知层仅上传数据，控制层仅接收授权指令，避免干扰。监测异常传输，出现频繁重试等情况时切断连接，确保系统安全运行。

3.4 系统集成实现步骤

需求分析与规划阶段明确节能目标，结合生产流程梳理设备规律和能耗特点。制定功能清单，确定采集参

数、控制范围和管理结构，形成规划方案，明确任务和节点，为实施提供指引。设备选型与采购依据方案选择传感器、控制器等，传感器范围和精度匹配能耗特性，控制器能力满足算法需求，通信设备适应现场环境^[4]。验证兼容性，确保设备协同工作，安装时校准参数，保证数据准确和指令有效。系统开发与集成阶段搭建平台，实现模块对接，数据采集与设备联通，算法与控制逻辑关联，管理模块与存储系统对接。布置线路连接设备，测试传输稳定性。进行联调，验证数据从采集到执行的流程，确保功能达标和设备协同响应。系统测试与验收阶段模拟工况验证性能，在不同负载下测试调节准确性，在故障时测试容错能力。对比能耗数据评估效果，检查界面操作和数据展示。确认功能完整、运行稳定、文档齐全后交付，进入日常维护阶段。

结束语

电气自动化设备节能优化是一项系统且长期的工作，涉及设备选型、运行控制、能源管理及系统集成等多个层面。通过全面分析能耗影响因素，针对性地实施节能优化技术策略与系统集成方法，可显著降低设备能耗，提升能源利用效率。未来，随着技术的不断进步，需持续探索创新节能手段，推动电气自动化设备向更高效、更节能方向发展。

参考文献

[1]杨程喆.电气设备自动化调试系统的节能设计[J].电子技术,2024,53(10):192-193.

[2]刘若男.电气设备自动化的节能技术应用[J].集成电路应用,2023,40(12):286-287.

[3]黄亮.建筑电气设备自动化的节能技术研究与应用[J].中国设备工程,2023,(08):223-225.

[4]张弛.建筑电气设备自动化节能技术的研究与应用[J].工程与建设,2023,37(01):340-342+404.