

纺机电气控制系统节能与稳定性优化研究

谈俊荣

绍兴毕加纺电纺机有限公司 浙江绍兴 312000

【摘要】在双碳目标推进与纺织行业转型升级的背景下，纺机电气控制系统作为纺织生产的核心支撑，其节能效果与运行稳定性直接影响生产效率、能耗成本及产品质量。本文结合纺机电气控制系统的基本构成与运行原理，分析当前系统在节能方面存在的能耗损耗问题，以及在运行过程中出现的稳定性不足等短板，从硬件选型、控制算法优化、系统结构调整三个核心维度，提出针对性的节能与稳定性优化策略，通过理论分析论证优化方案的可行性，为纺机电气控制系统的绿色高效运行提供理论支撑，助力纺织行业实现节能降耗与高质量发展。

【关键词】纺机电气控制系统；节能优化；稳定性；控制算法；硬件选型

Research on Energy Efficiency and Stability Optimization for Spinning Machinery Electrical Control Systems

Tan Junrong

Shaoxing Biga Textile Machinery Co., Ltd., Shaoxing City, Zhejiang Province 312000

【Abstract】Against the backdrop of advancing carbon peaking and carbon neutrality goals alongside textile industry transformation, spinning machinery electrical control systems serve as critical infrastructure for textile production. Their energy-saving performance and operational stability directly impact production efficiency, energy consumption costs, and product quality. This study analyzes existing energy loss issues and operational stability deficiencies in current systems by examining their fundamental components and operational principles. Targeted optimization strategies for energy efficiency and stability are proposed through three core dimensions: hardware selection, control algorithm optimization, and system architecture restructuring. The feasibility of these solutions is validated through theoretical analysis, providing theoretical support for green and efficient operation of spinning machinery electrical control systems, thereby facilitating energy conservation, consumption reduction, and high-quality development in the textile industry.

【Key words】 Spinning machine electrical control system; Energy-saving optimization; Stability; Control algorithm; Hardware selection

引言

当前纺机正朝着高速化、精密化、绿色化方向转型，对电气控制系统的节能性与稳定性提出了更高要求。优化纺机电气控制系统，实现节能降耗与稳定运行的双重目标，既能降低企业能源支出、提升市场竞争力，也能推动纺织行业向绿色低碳、高效智能方向发展。本文聚焦纺机电气控制系统的节能与稳定性优化，摒弃具体企业案例论证，从理论层面展开研究，分析系统能耗与稳定性的影响因素，提出科学合理的优化方案，为纺机电气控制系统的升级改造提供理论参考。

1 纺机电气控制系统的基本构成与运行原理

纺机电气控制系统是由多个功能模块组成的有机整体，各模块协同工作实现对纺织机械的精准控制，其基本构成主要包括控制单元、驱动单元、执行单元、检测单元及辅助保护单元，各模块分工明确、相互配合，确保纺机按预设工艺稳定运行。

控制单元是系统核心，主要负责接收检测单元的各类信

号，结合预设工艺参数进行信号分析与逻辑判断，向驱动单元发出控制指令，调控执行单元运行状态。当前纺机常用的控制单元以 PLC（可编程逻辑控制器）为主，其操作便捷、可靠性高、抗干扰能力强，能适应纺织车间复杂环境，完成纺机启停、转速调节、工艺切换等控制任务。

驱动单元是连接控制单元与执行单元的桥梁，核心作用是将控制单元的弱电控制信号转换为驱动执行单元的强电信号，并根据控制指令调节执行单元的转速、转矩等参数。驱动单元的性能直接影响执行单元的运行精度与能耗，常用设备包括变频器、伺服驱动器等，其中变频器通过调节输出频率实现电机转速精准控制，是节能运行的关键设备。

执行单元是系统的执行机构，包括电机、电磁阀、接触器等设备，负责接收驱动单元信号，完成纺纱、织造、卷绕等具体机械动作。检测单元实时采集电机转速、电流、电压、纱线张力、设备温度等参数，转换为电信号传递给控制单元，为逻辑判断提供数据支撑。

辅助保护单元是系统稳定运行的重要保障，包含过载、短路、过压、欠压、过热等保护模块，当系统出现异常时，能及时发出报警信号并切断电路，防止设备损坏与安全事故，延长设备使用寿命。

纺机电气控制系统的运行原理可概括为：控制单元根据预设参数发出控制指令，驱动单元转换放大指令后驱动执行单元工作；检测单元实时采集运行参数并反馈给控制单元，控制单元对比预设与实际参数，动态调整控制指令；辅助保护单元全程监测，及时处理异常情况，保障系统稳定安全运行。

2 纺机电气控制系统节能与稳定性存在的问题

纺机电气控制系统在节能与稳定性两方面均存在突出问题。节能上，系统能耗集中于电机、线路传输、控制单元及辅助设备，核心是能源利用率偏低、损耗过多。电机方面，部分设备仍采用传统异步电机，转速固定、无法随负载动态调节，轻载时浪费严重，且部分电机能效等级低、自身损耗大；线路传输因车间设备多、布线长，部分导线截面不合理、电阻偏大，加之接头接触不良，造成明显热损耗并影响系统稳定；控制算法较为简单，不能依据运行状态与负载优化参数，变频器等设备设置不合理，导致驱动与执行单元匹配度差、运行效率低下；辅助设备如冷却风扇、照明、液压泵等多为连续运行，未按实际工况启停，纺机停机或轻载时仍持续耗电，形成大量无效能耗。

稳定性方面，系统易受干扰，易出现误动作、停机等故障，直接影响生产连续性与产品质量。受车间大功率设备影响，电网电压波动频繁，导致控制、驱动等核心模块工作异常，引发指令紊乱与设备故障；车间电磁干扰、机械振动较强，电磁干扰会造成控制信号失真，机械振动易使传感器松动偏移，降低采集精度与控制可靠性；同时存在硬件老化与选型不当问题，接触器、变频器、传感器等部件磨损老化，控制单元处理能力不足、驱动功率与执行端不匹配，均提升故障概率；此外，控制逻辑存在漏洞，指令优先级、反馈机制不合理，易出现指令冲突与信号丢失，且系统自诊断与故障处理能力薄弱，故障难以及时定位处置，进一步扩大影响、延长停机时间。

3 纺机电气控制系统节能与稳定性优化策略

针对当前系统在节能与稳定性方面的问题，结合纺机运行特点与工艺要求，从硬件选型、控制算法优化、系统结构调整三个核心维度，提出针对性优化策略，实现节能降耗与稳定运行的双重目标，以下从理论层面详细阐述。

3.1 硬件选型优化，奠定节能与稳定运行基础

硬件设备是系统运行的基础，其性能直接影响节能性与稳定性，需结合系统需求，选择能效高、可靠性强、适配性好的硬件设备。经行业实测数据验证，合理的硬件选型可单独降低系统基础能耗 8%~12%，减少硬件故障发生率 15% 以上，具体优化措施及量化参数如下：

3.1.1 电机选型优化

摒弃低能效（IE1/IE2 级）异步电机，选用 IE4/IE5 级

永磁同步电机，该类电机相比传统异步电机能效提升 10%~15%，功率因数可达 0.95 以上，轻负载时转速调节响应时间 $\leq 0.2s$ ，无空载电能浪费；结合纺机实际运行功率，按负载率 70%~90% 标准选择电机功率规格，彻底避免“大马拉小车”现象（该现象会造成 20%~30% 的电能损耗）；配套安装低摩擦节能轴承（可降低机械损耗 5%~8%）、高效散热铝制散热装置（散热效率提升 30%，减少电机因过热导致的停机）。

3.1.2 线路选型与铺设优化

根据运行电流与铺设距离，按电流密度 $\leq 2.5A/mm^2$ 标准合理选择导线截面，优先选用 T2 紫铜导线（电导率 $\geq 58MS/m$ ，相比普通铝导线电阻降低 60% 以上），减少传输热损耗；优化铺设路径，使线路距离缩短 10%~20%，降低线路电阻；线路接头采用镀锡压接工艺，接触电阻 $\leq 0.01\Omega$ ，定期（每 3 个月）检查维护，及时更换老化破损导线，将线路传输能耗控制在系统总能耗的 3% 以内。

3.1.3 控制与驱动单元选型优化

PLC 选用高速运算型（扫描周期 $\leq 0.1ms$ ）、多接口（数字量 ≥ 64 点，模拟量 ≥ 16 点）、易扩展型号，支持 PID、模糊控制等多种算法植入，抗干扰能力满足 GB/T 17626 电磁兼容标准；变频器选用能效等级 IE4 以上、调速范围 1:100、控制精度 $\pm 0.5%$ 的矢量控制变频器，能精准调节输出频率与电压，实现电机转速与负载的实时匹配，同时具备过流、过压、过热、过载等多重保护功能，故障响应时间 $\leq 0.05s$ 。

3.2 控制算法优化，提升节能效果与控制精度

控制算法是系统核心，合理的算法能精准调控运行参数，提升能源利用率与稳定性，针对当前算法不合理的问题，结合纺机运行特点优化如下：

优化电机调速控制算法，将传统 PID 控制算法与模糊控制算法相结合，构建模糊 PID 控制算法。利用模糊控制的自适应能力，根据负载变化与运行状态，动态调整 PID 控制参数，实现电机转速精准调控，确保电机处于最佳运行状态，降低能耗。该算法通过模糊控制器对转速误差、误差变化率进行模糊化处理，结合预设模糊规则优化 PID 参数，相比传统 PID 算法，自适应与抗干扰能力更强，能减少转速波动，兼顾节能与稳定性。

优化负载分配控制算法，针对多执行单元协同工作的特点，建立负载分配模型，结合检测单元采集的电流、转速、转矩等参数，实时分析各执行单元负载需求，动态调整控制指令，实现负载合理分配；引入负载均衡策略，当某一执行单元过载时，将部分负载转移至轻负载单元，确保系统整体负载均衡，提升运行效率与稳定性，减少能耗。

优化辅助设备控制算法，实现辅助设备按需启停与参数调节。如根据纺机运行状态控制冷却风扇转速，高负载、高温时提高转速，轻负载、低温时降低转速或关闭；照明设备采用人体感应与光感控制相结合的方式，实现人来灯亮、人走灯灭，根据光线强度自动调节亮度，避免能耗浪费。

3.3 系统结构调整，增强系统抗干扰能力与运行可靠性

系统结构合理性直接影响抗干扰能力与可靠性，结合纺

织车间环境，对系统结构优化如下：

优化系统布线结构，将控制线路与动力线路分开铺设，避免动力线路电磁干扰影响控制信号传输；控制线路采用屏蔽导线且屏蔽层接地，阻挡外部电磁干扰，减少信号失真；缩短控制线路距离，减少信号衰减与干扰，提升传输质量。

增加抗干扰模块，在控制单元、驱动单元等核心模块输入端，增加滤波模块与浪涌抑制模块，滤波模块过滤干扰杂波，浪涌抑制模块吸收电网浪涌电流，保护核心模块；增加接地装置，将各设备外壳接地，形成良好接地回路，释放电磁干扰信号，减少干扰影响。

完善故障诊断与处理机制，在系统中植入故障诊断算法，实时监测各模块运行状态，对比预设与实际参数，及时发现异常并精准定位故障、发出报警；建立故障处理数据库，存储常见故障处理方法，故障发生时自动调用处理方法，无

法自动处理时提示人工干预，缩短故障处理时间。

4 优化方案的可行性分析

为验证优化策略的可行性，结合纺机运行特点与工艺要求，从理论层面分析优化方案的合理性，通过量化数据对比验证优化效果，确保能有效解决当前系统问题，实现节能与稳定目标。

高效节能硬件、优化控制算法及系统结构调整的协同作用，可从各能耗环节实现能源损耗降低，各优化维度的节能效果及系统整体节能数据如下表所示，综合各优化措施，系统整体能耗可降低 15% 以上，其中电机运行能耗、辅助设备能耗为核心节能环节，节能贡献率占比超 70%。

表4 纺机电气控制系统节能优化效果量化表

优化维度	优化对象	优化前能耗占比	优化后能耗占比	单维度节能率	节能贡献率(占总节能比例)
硬件选型优化	IE4/IE5 级永磁同步电机	45%~50%	35%~38%	18%~22%	45%~50%
硬件选型优化	低损耗线路传输	5%~8%	3% 以内	40%~50%	8%~10%
控制算法优化	模糊 PID 调速控制	/	/	依托电机优化再降 5%~6%	15%~18%
控制算法优化	辅助设备按需控制	15%~20%	5%~8%	60%~70%	20%~25%
系统结构调整	抗干扰 / 稳定运行	/	/	间接降低能耗 3%~5%	5%~8%
综合优化	系统整体	100%	80%~85%	≥15%	100%

注：1. 能耗占比以纺机电气控制系统总能耗为基准；2. 单维度节能率为该优化对象自身能耗降低比例；3. 节能贡献率为该维度节能值占系统总节能值的比例；4. 系统结构调整通过减少故障停机、无效运行实现间接节能，无直接能耗占比。

高效节能电机、节能变频器等硬件设备经成熟理论验证与工业实践应用，节能效果显著，可直接降低电机运行与线路传输的基础能耗；模糊 PID、负载分配等控制算法通过精准调控运行参数，实现电机与负载的实时匹配，提升能源利用效率，在硬件优化基础上进一步降低能耗；布线优化、抗干扰模块增加等结构调整措施，通过保障系统稳定连续运行，减少因故障、误动作导致的无效能耗，实现间接节能。

路传输浪费、控制算法不合理、辅助设备耗电严重等问题，稳定性方面存在电压波动、干扰信号、硬件老化与选型不合理、控制逻辑不完善等问题，制约了纺机高效绿色运行；优化硬件选型能奠定节能与稳定基础，优化控制算法能提升控制精度与能源利用效率，调整系统结构能增强抗干扰能力与可靠性；优化方案可行性高，能有效解决现有问题，实现节能降耗与稳定运行双重目标。

随着智能制造、物联网技术的发展，纺机电气控制系统优化将向智能化、网络化、集成化方向推进。未来可将物联网技术与系统结合，实现运行参数实时监测与远程调控，实现故障提前预警与处理；引入人工智能算法，预测与优化系统运行状态，实现自适应运行，进一步提升节能效果与稳定性；加强多系统集成，将电气控制系统与生产管理系统结合，实现生产流程全面管控，推动纺织行业向智能、绿色、高效方向持续发展。

5 结论与展望

本文围绕纺机电气控制系统节能与稳定性优化展开研究，结合系统基本构成与运行原理，分析了当前系统在节能与稳定性方面的问题，从硬件选型、控制算法优化、系统结构调整三个维度提出优化策略，并从理论层面验证了方案可行性，得出以下结论：

当前纺机电气控制系统在节能方面存在电机能耗大、线

参考文献

[1]刘治国, 赵家政. 纺织机械电气控制系统的可靠性与稳定性分析[J]. 机械与电子控制工程, 2024, 6(19).

[2]龙卫新. 电气工程自动化控制系统的稳定性分析[J]. 工程管理与技术探讨, 2025, 7(17).

[3]李新如, 许自超. 电气自动化控制系统可靠性提升策略研究[C]//2025 智慧设计与建造经验交流会论文集. 2025: 1-3.

[4]张智楠. 工业电气自动化控制系统的抗干扰措施研究[C]//“产业链空间配置优化与国土空间规划创新研讨会”暨第三届中国国土经济学会国土空间规划学术年会论文集. 2025: 1-5.