

电气自动化控制在机电设备中的可靠性提升研究

徐鹏 210221198406107712

摘要：本文系统分析电气自动化控制影响机电设备可靠性的关键因素（算法、硬件与环境），提出从控制算法优化、硬件升级、抗干扰设计及全生命周期管理等多维路径提升可靠性的方法，并探讨标准化、数字孪生与预测性维护支撑下的长效保障策略，为构建智能化、高可靠性的机电控制体系提供参考。

关键词：电气自动化；可靠性提升；自适应控制；硬件冗余；抗干扰设计；数字孪生；预测性维护；标准化；全生命周期管理

一、引言

机电设备作为现代工业生产的核心载体，广泛应用于制造业、能源、交通等关键领域，其运行可靠性直接关系生产效率与作业安全。因此，深入研究电气自动化控制在机电设备中的可靠性提升方法，突破核心技术瓶颈，构建稳定高效的控制体系，对推动机电设备向高端化、智能化发展具有重要的理论与实践意义。

二、电气自动化控制影响机电设备可靠性的核心因素

（一）控制算法的适配性与稳定性

控制算法是电气自动化控制的核心，其适配性与稳定性直接影响机电设备的运行精度与可靠性。传统 PID 控制算法结构简单，但在非线性负载、参数时变等复杂工况下，存在参数整定困难、动态响应滞后等问题，易导致设备运行超调、振荡，降低控制精度与稳定性；缺乏针对复杂工况的自适应调节机制，难以根据设备运行状态动态优化控制参数，导致算法与实际运行需求不匹配，引发控制失效风险。此外，算法逻辑设计缺陷、运算效率低下等问题，也会影响控制系统的实时响应能力，进而降低机电设备的可靠性。

（二）硬件系统的性能与兼容性

硬件系统是电气自动化控制的物理基础，其性能与兼容性对可靠性至关重要。控制器（如 PLC、MCU）的运算速度、存储容量与抗干扰能力，直接决定控制指令的执行效率与稳定性；传感器的检测精度、响应速度与环境适应性，影响反馈信号的准确性，低精度传感器易导致控制决策偏差；执行器（如伺服电机、电磁阀）的动作精度与可靠性，决定控制指令的落地效果，执行器故障会直接导致设备停机；此外，硬件组件间的兼容性不足，如通信接口不匹配、电压等级冲突等，会引发系统运行异常，降低整体可靠性。

（三）外部干扰与环境适应性

机电设备运行环境中的各类干扰是影响电气自动化控制可靠性的重要外部因素。电磁干扰是最主要的干扰类型，包括工业现场的变频器、电焊机等设备产生的电磁辐射，以及电源线、信号线传输过程中的电磁耦合干扰，会导致控制信号失真、数据传输错误，引发控制系统误动作；温度、湿度、振动等环境因素也会影响硬件性能，高温会加速电子元件老化，潮湿易导致电路短路，振动可能造成部件松动，均会降低控制系统的稳定性；此外，电源波动、电压暂降等供电质量问题，也会影响电气自动化控制系统的正常运行。

三、电气自动化控制在机电设备中的可靠性提升路径

（一）优化控制策略与算法设计

控制策略与算法的创新是提升可靠性的核心路径。一方面，基于传统 PID 算法进行改进，引入自适应控制、模糊控制、神经网络控制等智能算法，构建复合型控制策略，实现控制参数的在线自整定，提升系统对非线性负载、参数时变及外部扰动的适应性。另一方面，针对多任务协同、动态负载等场景，设计模型预测控制算法，通过建立机电设备的数学模型，预测系统未来运行状态，提前优化控制策略，减少控制延迟与误差；引入容错控制算法，当系统出现局部故障时，能够自动切换控制路径或重构控制逻辑，保障设备持续运行。

（二）升级硬件系统与优化选型

硬件系统的升级与科学选型是提升可靠性的基础保障。在控制器选型方面，选用运算速度快、存储容量大、抗干扰能力强的工业级控制器，如高性能 PLC、嵌入式控制器，确保复杂控制算法的高效执行；针对关键应用场景，采用双机热备、多冗余设计，提升系统的容错能力。在传感器与执行器选型方面，选择精度高、稳定性好、环境适应性强的产品，优先选用具有抗电磁干扰、防腐蚀、耐高低温等特性的工业级元件；对关键检测参数采用多传感器冗余配置，通过数据融合技术提高检测结果的可靠性。在电路设计方面，优化电路板布局，减少信号线与电源线的交叉干扰；采用多层电路板设计，强化接地系统，设置电磁屏蔽层，提升系统的抗电磁干扰能力；选用高品质的电子元件，如工业级电容、电阻、连接器等，提升硬件系统的耐用性。

（三）强化抗干扰设计与环境适配

通过全方位的抗干扰设计与环境适配措施，提升电气自动化控制系统的稳定性。在电磁抗干扰设计方面，采用屏蔽技术，对控制器、传感器等关键部件进行金属屏蔽封装，对信号线、电源线采用屏蔽电缆，减少电磁辐射与耦合干扰；采用滤波技术，在电源输入端安装电源滤波器，在信号线上串联信号滤波器，抑制干扰信号传导；优化接地设计，采用单点接地、多点接地相结合的方式，降低接地电阻，避免地环路干扰。在环境适配方面，选用宽温、宽湿度范围的工业级硬件，对电子元件进行防潮、防腐蚀处理；针对振动环境，采用减震支架、缓冲垫等部件，减少振动对硬件的影响；在电源设计方面，配置不间断电源（UPS）、电压稳压器等设备，保障供电稳定性，抑制电源波动与电压暂降的影响。

四、可靠性提升的长效保障机制

（一）建立全生命周期可靠性管理体系

构建覆盖设计、生产、运行、维护全生命周期的可靠性管理体系，将可靠性要求贯穿各个环节。在设计阶段，开展可靠性设计评审、故障模式与影响分析（FMEA），提前识别潜在风险；在生产阶段，加强硬件生产过程的质量控制，严格执行出厂检测标准，确保产品质量；在运行阶段，实时监测设备运行状态，建立可靠性数据统计与分析机制，持续优化控制策略；在维护阶段，制定科学的维护计划，实现从“定期维护”向“预测性维护”转型，提升维护效率。

（二）强化标准规范与技术创新

严格遵循工业自动化领域的相关标准与规范，如 IEC、GB/T 等标准，确保电气自动化控制系统的设计、选型、安装、运维等环节的合规性；积极跟踪行业技术发展趋势，引入先进的技术与理念，如工业互联网、数字孪生等，构建数字化、智能化的控制与管理平台，通过虚拟仿真优化设计方案，实现设备运行状态的实时监控与远程运维；加强产学研合作，针对机电设备运行中的关键可靠性问题开展技术攻关，推动控制技术与硬件产品的持续创新。

（三）完善质量监督与风险防控机制

建立多方协同的质量监督机制，包括企业自检、第三方检测、行业监管等，确保电气自动化控制产品与系统的质量达标；建立风险防控机制，定期开展可靠性风险评估，识别潜在的技术风险、环境风险与运维风险，制定相应的防控措施与应急预案；加强供应链管理，选择质量可靠、信誉良好的供应商，建立供应商质量审核制度，确保采购的硬件组件与软件产品符合可靠性要求。

五、结论

电气自动化控制的可靠性是保障机电设备稳定运行的核心，其提升是一项涉及算法、硬件、设计、运维等多维度的系统工程。未来，随着人工智能、工业互联网、数字孪生等技术的持续发展，电气自动化控制的可靠性提升将朝着智能化、精准化、全生命周期化的方向发展。通过深度融合智能算法与数字化技术，构建自适应、自诊断、自修复的智能控制系统，将进一步提升机电设备的可靠性与智能化水平，为现代工业的高质量发展提供有力支撑。

参考文献

- [1]袁西亮.PLC 技术在电气设备自动化控制中的应用研究[J].软件,2019,40(12):97-99.
- [2]钱卓昊.人工智能技术在电气自动化控制中的应用探究[J].中国高新技术企业,2016,(16):51-52.DOI:10.13535/j.cnki.11-4406/n.2016.16.024.
- [3]刘跃峰,陈旭生.电气自动化控制设备可靠性分析[J].中华民居(下旬刊),2012,(10):96-97.

