

高压电动机自动化控制原理及电气调试技术

刘祎瑾

国家电投集团山西铝业有限公司，山西 原平 034100

摘要：随着智能制造理念的深入，高压电机的自动化控制呈现出智能化、网络化、绿色化的发展趋势。这对电机故障诊断、节能优化、状态监测等环节提出了更高要求，传统的自动化控制理论和方法亟需创新突破。同时，电气调试作为电机投运前的关键环节，其技术水平也需紧跟自动化控制的发展步伐，通过与现代传感技术、智能算法的深度融合，实现调试过程的自动化和智能化，提升电机运维效率和可靠性。

关键词：高压电动机；自动化控制原理；电气工程；电气调试技术

Principles of Automation Control and Electrical Debugging Technology for High Voltage Electric Motors

Liu Yijin

State Power Investment Corporation Shanxi Aluminum Industry Co., Ltd. Yuanping, Shanxi 034100

Abstract : With the deepening of the concept of intelligent manufacturing, the automation control of high-voltage motors presents a development trend of intelligence, networking, and greening. This poses higher requirements for motor fault diagnosis, energy-saving optimization, and status monitoring, and traditional automation control theories and methods urgently need innovative breakthroughs. At the same time, as a key link before the motor is put into operation, the technical level of electrical debugging also needs to keep up with the development pace of automation control. Through deep integration with modern sensing technology and intelligent algorithms, the automation and intelligence of the debugging process can be achieved, and the efficiency and reliability of motor operation and maintenance can be improved.

Keywords : high voltage electric motor; principles of automation control; electrical engineering; electrical debugging technology

一、高压电动机自动化控制原理

(一) 多模态协同控制的实现机制

高压电动机自动化控制涉及多个物理量的调节，如转速、转矩、磁通、电流等，这些量之间存在着内在耦合关系，传统的单变量控制方式难以同时满足各性能指标^[2]。多模态协同控制的基本思想是综合考虑各物理量的耦合机理，通过合理的解耦算法和协调机制，实现对不同控制模态的统一调度。其中，转速控制和转矩控制是两种最基本的控制模态^[3]。系统根据工况需求，动态切换控制模态，并协调两种模态的平滑过渡，既可保证控制性能，又能兼顾系统稳定性。

(二) 自寻优参数整定的计算方法

PID 控制是高压电动机控制系统中的基本控制环节，其参数整定的优劣直接影响控制品质。传统的 PID 参数整定多采用 Ziegler–Nichols 频率响应法等，难以兼顾调节品质和鲁棒性能。自寻优参数整定是一种智能化的参数优选方法，它以某一性能指标（如积分绝对误差 IAE）为目标函数，利用优化算法（如遗传算法、粒子群算法）在参数空间内搜索最优参数组合^[4]。该方法可在线实时整定 PID 参数，且具有全局寻优能力，能够克服传统整

定方法的局限性，实现控制系统性能的自适应优化。

(三) 故障诊断与容错控制的决策逻辑

由于高压电动机功率大、作用重要，一旦发生故障可能造成严重损失。因此其控制系统必须具备故障诊断与容错控制能力。故障诊断通过对电机电气量和机械量的实时监测，提取故障特征信息，并利用故障树分析、专家系统决策等方法，实现故障类型和严重程度的判别^[5]。容错控制则是在准确诊断的基础上，根据预定的决策逻辑，及时采取相应的容错措施，如降额运行、超限保护、安全停机等，最大限度地减小故障影响。同时还可启动冗余备份或重构控制通道，保证系统的可靠运行。

二、高压电动机电气调试技术

(一) 绝缘诊断技术

高压电动机绕组绝缘性能的优劣直接关系到电机的安全运行和使用寿命。在电气调试过程中，必须采用科学、先进的绝缘诊断技术对电机绕组的绝缘状态进行全面评估。其中，常用的诊断方法包括绝缘电阻测试、交流耐压试验、局部放电测试、极化指数测试和介质损耗测试等。通过绝缘电阻测试，可评估绕组绝缘

作者简介：刘祎瑾（1991.01-），汉族，山西省大同市人，大学本科，助理工程师，研究方向：电气工程及其自动化。

材料的基本电阻水平；交流耐压试验可考核绝缘在工频高压下的耐受能力；局部放电测试可检测绕组内部存在的绝缘缺陷和薄弱点；极化指数测试可判断绝缘受潮气和污秽程度；介质损耗测试可诊断绝缘老化和劣化程度。在实际诊断中，需根据电机绕组的材料特性、绝缘等级、运行工况等因素，合理选用诊断方法和判据，并综合分析各项指标，科学评估绝缘性能。此外，还应关注绝缘缺陷的类型、分布和发展趋势，为制定检修策略提供依据。只有通过先进可靠的绝缘诊断技术，才能及时发现高压电机绕组的绝缘隐患，预防事故发生，确保电机长周期安全运行。

（二）振动分析技术

高压电动机在运行过程中不可避免地会产生机械振动，而振动的大小、频率和形态都蕴含着电机机械状态的重要信息。因此，振动分析技术在高压电机电气调试中占据着至关重要的地位。通过采集电机关键部位的振动信号，并运用先进的信号处理和特征提取方法，可以准确诊断出电机的各种机械故障。例如，通过对振动信号进行时域波形分析，可判断振动的类型和严重程度；通过频谱分析，可根据振动频率成分的分布，确定故障部位和类型；通过阶次分析，可诊断转子不平衡、不对中等问题^[6]；通过包络谱分析，可检测轴承、齿轮的早期微小缺陷。此外，先进的模态分析技术可通过测试电机结构的固有频率和振型，揭示振动产生的内在机理，为优化电机结构设计、消除共振提供依据。在实际振动分析中，需根据电机的类型、速度、功率等参数，合理设置传感器的布点、采样率等，并综合运用多种分析方法，全面解译振动信号所包含的信息。

（三）热态试车技术

热态试车是高压电动机出厂前的全面性能考核，其目的是在额定工况下验证电机的电气和机械性能是否满足设计要求。试车过程涉及无功调压、负载模拟、温升测试、效率测试和振动噪声测试等多种关键技术。其中，无功调压技术通过调节励磁电流实现电机平滑启动和电压调节；负载模拟技术通过变频调速、磁粉制动等方式模拟实际负载特性；温升测试通过热电偶记录关键部位温度，评估散热和绝缘性能；效率测试通过分析输入输出功率和各类损耗，评估电机节能性能；振动噪声测试则用于考察机械安装质量和电磁设计合理性。热态试车综合运用电气、机械、热工、测试等多领域技术，严格依据标准规范，全面考核高压电动机性能指标，是电气调试中的关键环节。

三、高压电动机自动化控制技术应用

（一）绝缘诊断技术在智能状态监测中的应用

传统的定期下线绝缘测试已无法满足现代工业对设备可靠性和运维效率的要求。通过在电机线圈和铁芯的关键部位布置在线局放传感器、泄漏电流传感器等，并将其接入自动化控制系统，可实时获取绝缘状态数据。控制系统采用机器学习算法，对海量监测数据进行特征提取和智能分析，构建绝缘老化趋势预测模型，及时发现潜在绝缘故障，优化检修周期^[7]。这种融合了先进传感技术、数据分析与自动控制的智能监测方法，开辟了高压电机

运维管理的新途径。

例如，在某大型石化企业的高压电机绝缘在线监测项目中，技术人员在每台电机定子绕组的汇线端子和铁芯上安装了高频局放传感器，在引出线和接地端之间接入泄漏电流采集装置，并通过工业以太网将数据传输至监控中心。自动化控制系统采用小波分析和支持向量机算法，对局放和泄漏电流信号进行降噪、特征提取和故障模式识别。同时，系统还结合温度、湿度等环境因素，建立了绝缘老化速率预测模型。当监测数据异常或预测结果超标时，系统自动向值班人员发送警报，生成隔离工单。在试运行期间，系统成功预警了两起潜在绝缘故障，避免了事故发生，为企业节省了大量检修成本。

将绝缘诊断技术纳入高压电机自动化控制体系，通过智能算法赋能，可显著提升设备运维效率和可靠性。这需要电气工程师精通传统的绝缘测试方法，还要熟悉自动化控制系统的集成开发，掌握机器学习等数据分析技能，以适应智能制造时代的新要求。

（二）振动分析技术在设备故障智能诊断中的应用

振动分析技术作为设备故障诊断的利器，其与自动化控制的融合正成为高压电动机智能运维的新趋势。传统的离线振动测试难以全面反映电机的动态特性，而现代振动传感技术与自动化控制系统的完美结合，则为实现电机故障的在线智能诊断提供了新思路。通过在电机关键部位布置高精度加速度传感器、速度传感器等，可连续采集多维度振动信号。自动化控制系统利用信号处理和机器学习算法，对振动大数据进行特征提取、模式识别和趋势预测，构建起电机故障诊断知识库和推理模型，实现从数据到决策的无缝链接，大幅提升故障诊断的精度和效率^[8]。

振动分析技术在智能故障诊断中的应用，可以遵循以下技术路线：首先，根据高压电机的类型和结构特点，优化振动传感器的选型和布点方案，确保信号的完整性和代表性；其次，将采集到的振动信号通过工业总线传输至自动化控制系统，并进行预处理和特征提取，常用的方法包括全波形分析、频谱分析、包络分析等；再次，采用支持向量机、卷积神经网络等智能诊断算法，对振动特征进行分类和回归分析，建立从特征到故障模式的映射关系^[9]；最后，将诊断结果与电机运行工况、历史维修记录等数据相融合，形成故障溯源和预测模型，并及时将诊断信息反馈给控制系统，动态优化运行参数，实现故障的预防控制。

工程师既要精通机械设计、信号处理等基础理论，又要熟练运用自动控制和人工智能技术，构筑起多学科交叉的知识体系，以创新的思维和务实的作风，推动高压电机的智能化运维向纵深发展。

（三）热态试车技术在电机节能优化控制中的应用

热态试车作为高压电动机出厂前的重要检验手段，其获得的宝贵数据若能与自动化控制技术充分融合，传统的电机节能控制多依赖于经验模型和静态参数，难以适应电机实际运行工况的动态变化。而热态试车过程中获得的温升、损耗、效率等数据，则为构建电机能效动态评估模型提供了可靠依据^[10]。将这些数据与自动化控制系统实时交互，运用智能优化算法动态优选控制参

数,可在满足工艺需求的同时最大限度提升系统效率,实现电机节能运行与自动调优的完美结合。

在热态试车阶段,应在电机定子绕组、铁芯、轴承等部位布置高灵敏度温度传感器,同时使用高精度功率分析仪对电机输入输出功率进行测量,并连续记录冷却系统的运行参数。试车结束后,将获得的结构化数据导入自动化控制系统,并结合有限元仿真模型,构建电机效率与温升、负载、转速、冷却效率等变量之间的函数关系。在实际运行中,控制系统可实时采集电机工况参数,代入节能优化模型进行滚动计算,动态确定最佳工况区间,并自动调节电源电压、励磁电流等输入量,使电机始终在高效区运行。同时,系统还可根据负载预测信息,提前优化控制策略,减少频繁调节带来的能量损耗。

电气工程师应转变传统的节能控制理念,充分发掘热态试车数据的价值,运用现代控制理论和智能优化算法,构建自适应、实时的电机节能控制系统。

四、结束语

综上所述,高压电动机自动化控制和电气调试技术的发展,是智能制造时代电气工程创新的重要方向。自动化控制系统正从传统的定型化、刚性化向智能化、灵活化演进,这要求电气工程师不仅要精通电机拖动、电力电子等传统理论,还要熟练运用现代控制、人工智能、大数据分析等前沿技术,构建跨学科的知识体系。同时,电气调试也正经历从经验化、离线化向智能化、在线化的变革,绝缘诊断、振动分析、热态试车等调试数据正成为自动化控制不可或缺的重要输入,为实现高压电机全生命周期的智能运维奠定了数据基础。展望未来,电气工程师应以开放创新的理念,加强产学研用的协同攻关,加快推进电气调试与自动化控制技术的融合应用,为高压电机的安全、高效、节能运行提供坚实保障,助推我国工业高质量发展。

参考文献

- [1] 谢明浩.浅谈高压电机的自动化控制技术原理及电气调试技术[J].中国设备工程,2022(4):3.
- [2] 陈梁昊.采煤机记忆截割自动化控制工作原理[J].机械管理开发,2022(006):037.
- [3] 李建宁.高速空心杯电动机控制技术研究[D].山东理工大学,2023.
- [4] 张玉宇.自动化仪器仪表与控制技术分析[J].集成电路应用,2023,40(4):238-239.
- [5] 胡亭.电力系统自动化控制中的标准化智能技术应用探讨[J].科技资讯,2024,22(15):66-68.
- [6] 刘玉军.高压电器设备的自动化控制及调试要点探究[J].流体测量与控制,2022,3(3):61-64.
- [7] 邵文良.高压电机及开关电气试验自动化系统设计及数据处理[J].科技创新与应用,2023,13(23):124-127.
- [8] 程国栋,王华平,夏晶晶.高压绕线电动机转子变频调速技术研究[J].工矿自动化,2018,44(8):81-86.
- [9] 杨青松,李玉平,张伟,等.高压变频系统电动机保护方案研究[J].华电技术,2016,38(12):6-8.
- [10] 黎明焱.PLC控制技术在工业自动化中的应用[J].通信电源技术,2023,40(3):83-86.