

电气工程自动化控制中智能化关键技术及其应用分析

张大柱

经纬纺织机械股份有限公司 北京 大兴 102600

摘要: 本文结合制造企业厂区电气运维实操, 针对传统电气自动化控制适配性不足、故障排查低效、能耗管控粗放等问题开展研究。文章阐述电气自动化控制运行原理, 分析传统电控现存短板, 梳理PLC、神经网络、模糊逻辑、物联网大数据、AI故障诊断五类主流智能化技术架构与应用特性, 结合厂区机组调控、配电调度、闭环自控、线路运维、能耗管控五大现场场景, 剖析技术落地方式。立足纺织机械企业生产工况, 总结智能化电控应用要点, 符合工厂老旧电控改造、机电设备管控需求, 为工业厂区电气自动化提质改造提供实操参考。

关键词: 电气工程; 自动化控制; 智能化关键技术; 专项应用

引言: 现阶段工业机电设备一体化程度不断提升, 传统固定式电气自动化控制依靠预设程序运行, 面对车间电磁干扰、负荷突变、工况波动等情况适配能力不足, 人工巡检运维工作量大, 设备停机、用电损耗问题频发。智能化控制技术逐步普及, 可实现电气系统自主研判、自适应调控, 适配工业复杂生产环境。本文结合经纬纺织机械股份有限公司厂区配电、纺机电气管控工作实际, 围绕智能化电控关键技术展开研究, 结合现场设备运行、安全运维场景分析应用路径, 解决厂区电控运维现存实操问题, 保障车间电气系统稳定运行。

1 电气工程自动化控制与智能化技术核心概述

1.1 电气工程自动化控制基本内涵与运行原理

电气工程自动化控制依托电控硬件、传感设备与程控程序, 实现电力生产、配电传输、机电设备启停全流程无人干预管控, 广泛应用工厂配电、市政供电、工业机电机组等场景。其运行逻辑分为三层, 依托传感器采集电压、电流、负荷、温度等现场电气参数, 传输至中控处理单元; 系统对照预设运行参数完成数据比对分析; 最后下达指令调控继电器、变频器、断路器等执行元件, 完成电路通断、功率调节、负荷调配作业, 保障电气系统稳定闭环运行。

1.2 传统电气自动化控制现存短板

现阶段常规电气自动化控制多为固定程序化控制模式, 适配性较差, 仅能应对标准化工况, 无法适配工况波动、电磁干扰、负荷突变等复杂现场环境。传统电控系统故障排查依靠人工巡检, 故障定位耗时久、误判率高, 设备停机损耗大。同时传统电控能耗管控粗放, 只能维持基础运行, 无法动态优化用电负荷, 能耗浪费明显, 且老旧电控设备兼容性差, 很难对接新型智能电控模块, 升级改造难度较高。

1.3 智能化技术适配电气控制的核心优势

智能化技术依托算法自主运算、数据自主研判能力, 打破固定程序限制, 可自适应调整电气控制参数, 适配多变工业用电工况。一方面可实现电气故障自动识别、点位定位、预警上报, 减少人工运维工作量, 缩短设备故障停机时长; 另一方面能够动态平衡电网负荷, 按需调控机电运行功率, 有效降低配电系统能耗。除此之外, 智能化电控模块兼容性更强, 可对接新旧电气设备, 适配厂区改扩建、电网升级改造工程, 提升电气控制系统整体运行稳定性与管控效率^[1]。

2 电气工程自动化控制主流智能化关键技术解析

2.1 PLC智能控制技术

PLC可编程逻辑控制器是目前工矿配电、机电自控领域普及率最高的基础智能电控技术, 适配工业强电磁、多粉尘复杂作业环境。(1) 硬件组成: 由电源模块、CPU处理模块、数字量IO模块、模拟量采集模块、通讯端口组成, 可外接变频器、互感器、限位开关等电气元件; (2) 运行逻辑: 依托梯形图、功能块完成程序编译, 录入电气启停、联锁保护、时序控制逻辑; (3) 适用场景: 多用于车间电机群组启停、高低压配电柜联锁管控、流水线电气时序闭环控制, 具备断电数据留存、现场就地调试、组网联动运行特性。

2.2 神经网络智能控制技术

该技术属于仿生类自适应智能算法技术, 适配非线性、参数波动大的复杂电气自控系统。(1) 核心架构: 搭建输入层、隐含层、输出层三层运算结构, 输入电压谐波、负荷波动、环境温度等电气变量; (2) 技术特点: 可自主拟合电气运行变量关联规律, 无需人工预设固定控制参数, 自主修正运算误差; (3) 电气应用: 主要用于发电机组稳压调频、变频调速系统动态参数校

准、电网谐波非线性拟合管控。

2.3 模糊逻辑控制技术

针对电气参数无法精准量化、工况边界模糊问题研发,弥补传统精准算法管控局限性。(1)管控原理:将电流过载、电压偏移、负荷高低等精准电气数值,转化为模糊语言量完成分级判定;(2)控制流程:数据模糊化处理→规则推理判定→精准指令输出;(3)落地用途:多用于变电站调压调控、风机水泵变频节能自控、高压电气设备温湿度联动调控,适配无固定数学模型的电气控制系统。

2.4 物联网+大数据智能监测调控技术

属于组网式全域电气管控技术,实现分布式电气设备一体化管控。(1)底层感知层:依托电压传感器、测温传感器、局放采集器采集现场电气运行数据;(2)传输层:依托5G、工业以太网、LoRa专网完成数据双向传输;(3)平台层:依托后台数据库完成数据归集、分类存储、参数比对;(4)管控功能:完成厂区配电房、户外线路、箱变全域数据采集、远程参数下发、集群电气设备联动调控。

2.5 人工智能故障诊断技术

依托图像识别、数据比对模型,替代人工完成电气隐性故障研判。(1)诊断分类:分为在线带电诊断、离线停机诊断两类模式;(2)诊断方式:一是电气波形比对诊断,比对正常、故障电流电压波形判定线路短路、接地故障;二是红外图像AI识别,判定母线发热、线路老化、接头过载隐患;(3)技术特点:可定位隐性、间歇性电气故障,划定故障点位,适配高压输电、厂区高压配电系统运维检测^[2]。

3 智能化技术在电气设备运行控制中的专项应用

3.1 电气机组自动化调速与稳压控制应用

经纬纺织车间梳棉机、除尘风机、生产水泵、自备发电机组负荷波动频繁,依托PLC、模糊控制、神经网络技术,完成机组调速、母线稳压管控,适配厂区连续纺纱作业,实操应用如下:(1)纺机电机变频调速:采用西门子S7-200 SMART PLC,搭配变频器、转速编码器,采集罗拉、风机电机转速、电流、温度数据,编写专用调速程序,区分待机、半载、满载工况自动变频调速,替代人工调速,适配产能负荷变化。(2)备用机组并网稳压:厂区柴油发电机组搭载神经网络模块,采集并网电压、频率参数,外网电压 $\pm 5\%$ 波动、纺机集群启停时,微调励磁电流,稳定380V输出电压,避免机组跳闸停机。(3)车间高压稳压管控:高压配电装置搭载模糊控制器,依托电压偏差分级投切电容组,无需搭建数学模

型,适配车间棉絮粉尘多、变频设备密集的电磁干扰环境,保障高压配电稳定。

3.2 配电系统智能调度与负荷均衡控制应用

依托物联网大数据配电平台,管控厂区配电房、箱变及车间供电线路,解决纺机集群启停负荷失衡、人工配电效率低等问题,应用如下:(1)母线智能调度:搭建工业以太网配电网络,采集高低压进线出线参数,划分三班用电工况,自动控制母联断路器分合,生产时段扩容供电,检修时段分段减耗,优化配电运行模式。(2)三相负荷均衡调控:依托AI终端监测三相负荷,联动无功补偿与智能换相开关,调整纺机支路相序,将三相负荷差值控制在10%以内,杜绝零线发热,保障细纱、织布设备稳定供电。(3)分布式电源调度:联动厂区光伏、储能系统,结合生产负荷调控储能充放电,光伏电量优先供给纺机生产,富余电量储能备用,实现多路电源协同供电^[3]。

3.3 电气闭环系统自适应调节控制应用

纺织厂区电气闭环控制系统多为纺机联动、车间环境联动、消防联锁自控回路,包含纺机电机联动电控回路、车间温湿度除尘联动回路、厂房消防联锁电气回路,依托复合型智能控制技术,实现系统参数自适应修正、故障自适应调节,摆脱固定程序管控局限,具体现场应用如下:(1)纺织车间环境联动闭环自适应调控:纺纱恒温除尘车间电气联动闭环系统,以模糊-PLC复合控制为核心,联动加湿接触器、除尘循环水泵、温湿度传感器。系统根据车间棉絮湿度、室内温度两类变量,自主修正电气执行元件启停时长,自适应调整加湿、除尘回路输出功率,即便车间大门开合、室外四季气温变化,电控闭环依旧可维持纺纱恒温恒湿标准工况,无需运维人员改写控制程序参数。(2)车间配电保护闭环自适应整定:厂区高压继电保护闭环系统搭载AI诊断算法,实时采集纺机集群启停带来的线路短路、漏电、谐波干扰数据,自适应修改继电保护动作阈值。雷雨天气、大批量纺机同步开机产生谐波干扰时,系统自动延时保护规避误跳闸;发生线路接地、相间短路故障时,瞬时加速断路器分闸,自适应区分干扰信号与真实故障信号。(3)纺机冷却水联动闭环调控:厂区纺机主轴冷却水循环电气闭环,依托物联网感知模块采集管路水压、水流参数,自主联动冷却水泵启停组合,水压偏低时并联增泵,水压超标时关停冗余水泵,自主适配不同开机数量纺机冷却用水需求,实现纺机供水全闭环无人自适应电气调控^[4]。

4 智能化技术在电气运维与安全管控中的应用

4.1 电气设备智能化在线故障筛查与预警

依托AI诊断、物联网采集终端,实现纺织厂区配电变压器、纺机专用高压断路器、配电母线、纺机变频驱动器等核心电气设备不停机在线检测,替代传统定期拆机检修模式,适配纺织车间24h连续纺纱生产供电工况,实操应用内容如下:(1)定点参数在线采集:在纺机专用高压柜、干式配电变压器、车间低压无功电容柜加装局放传感器、温度传感模块、电流波形采集模块,24h实时采集设备局部放电量、铁芯温度、三相电流谐波、触头温升四项核心数据,数据实时上传厂区配电后台平台留存归档。(2)分级故障研判筛查:系统内置纺织厂区电气故障比对数据库,区分纺纱开机常态波动数据、异常故障数据。针对棉絮附着导致设备轻微温升、小幅谐波偏移判定为一般隐患,自动生成台账记录;针对放电超标、触头高温、电流畸变数据,直接判定短路、绝缘老化、铁芯损耗故障,锁定故障元器件位置。(3)分级预警推送管控:划分黄色预警、红色停机预警两级机制,黄色预警推送至厂区电气运维移动端,安排停产间隙计划性检修。

4.2 电气线路智能巡检与风险防护管控

纺织厂区室外架空供电线路、车间地下预埋纺机电缆工况复杂,车间粉尘量大、地下电缆沟易受潮腐蚀、生产叉车易剐蹭线路,依托物联网结合模糊控制技术,实现线路智能巡检安防管控:(1)地下电缆巡检:纺机供电地下电缆分段布设湿度、漏电流采集节点,重点监测车间电缆接头、设备弯折接入点位绝缘状态,排查漏电、破皮老化隐患,省去人工开挖电缆沟巡检作业。

(2)架空线路巡检:厂区外围供电架空线路搭载AI云台摄像头,自动识别漂浮棉絮、杂物搭接、绝缘子破损、杆塔倾斜问题,适配雨雪、大风多尘天气常态化巡检。

(3)线路安全防护:纺机配电支路配套智能防误合闸、接地保护模块,判定线路漏电等级,遇棉絮引燃线路、运维人员误触碰,自主闭锁合闸并启动声光报警,保障运维人身与纺机供电设备安全。

4.3 电气能耗智能化节能管控应用

针对纺织厂区纺纱动力、车间照明、除尘辅机电分散,纺机集群启停造成无功损耗偏高问题,依托大数据组网联动PLC系统,实现厂区精细化能耗管控:(1)无功智能补偿:厂区高低压配电侧加装纺机适配智能补偿柜,PLC实时监测电网功率因数,低于0.85时自动投切电容电抗装置,稳定生产电网参数,降低纺机供电线路传输损耗。(2)分时支路管控:依托车间用电时序数据划分生产峰谷时段,夜班低谷、节假日停工时段关停除尘空载风机、备用冷却机组、闲置纺机配电回路,杜绝辅机空载耗电。(3)能耗溯源管理:分类归集纺纱动力负荷、车间照明负荷、除尘辅机负荷能耗数据,锁定高耗能老旧纺机及配电支路,生成月度运维能耗报表,为厂区纺机电控改造、老旧配电设备更换提供数据支撑^[5]。

结束语:本文梳理电气工程自动化五大智能化核心技术,依据经纬纺织厂区纺机设备调控、车间配电管理、厂区线路巡检、生产能耗管控全流程,梳理各项技术实操应用方法,明确智能化技术可有效弥补纺织行业传统电控缺陷,提升车间电气运维管控效率。目前智能化电控落地仍受车间棉絮电磁干扰、老旧纺机电控设备兼容性制约,智能化改造投入成本偏高。后续厂区电气优化可选用纺织专用复合型智能控制模块,优化配电机房防尘抗干扰施工工艺,完善车间电气专项运维管理制度。

参考文献

- [1]马闯,石力玮,张文龙,王洪涛.智能化技术在电气工程自动化控制中的应用[J].能源新观察,2026(1):79-80.
- [2]姜海峰.电气工程自动化控制中智能化关键技术及其应用分析[J].智能物联技术,2026,58(4):127-130.
- [3]周志坤.智能化技术在电气工程自动化控制系统中的应用分析[J].仪器仪表用户,2025,32(1):87-89.
- [4]皮安飞,杨志伟.电气工程自动化中的智能化监测技术及故障诊断应用[J].中国科技期刊数据库 工业C,2026(4):017-020.
- [5]范艺佳.智能化技术在电气工程自动化控制中的运用[J].消费电子,2026(5):236-238.