

工厂供配电系统电气自动化改造方案探讨

赵欢

浙江科菲科技股份有限公司 浙江 嘉兴 314000

【摘要】：工业生产对供配电系统的连续性、安全性和能效水平提出更高要求，传统工厂供配电系统在设备老化、监测滞后、故障定位缓慢、能耗管理粗放等方面逐渐暴露不足。针对上述问题，可从配电设备更新、自动化监控平台建设、继电保护优化、能耗数据采集和智能预警配置等方面推进改造。通过分层控制、实时监测、远程调度和数据分析，实现供电状态可视化、故障处理快速化、能源管理精细化。改造后能够降低停电风险，提升运行可靠性，减少人工巡检压力，增强工厂供配电系统的安全性、经济性和自动化水平。

【关键词】：工厂供配电系统；电气自动化；系统改造；智能监控；能耗管理

DOI:10.12417/2705-0998.26.08.018

引言

工厂生产线连续运行高度依赖稳定可靠的供配电系统，任何电压波动、设备故障或保护失灵，都可能造成生产中断、设备损坏甚至安全事故。传统供配电系统多依靠人工巡检和分散控制，运行数据获取不及时，故障判断依赖经验，难以满足现代工厂高负荷、高效率、低能耗的运行需求。电气自动化技术的引入，为供配电系统改造提供了新的路径。通过自动监测、集中控制、智能保护和数据化管理，供配电系统能够从被动维护转向主动预警，从单点控制转向协同运行。针对工厂供配电系统中存在的设备、监测、保护和能耗管理问题，建立针对性改造方案，有助于提升供电质量和生产运行稳定性。

1 工厂供配电系统运行特征

1.1 生产负荷连续性需求

工厂供配电系统承担生产设备、动力装置、照明系统、控制系统等多类负荷的供电任务，其中生产负荷具有运行时间长、启停频率高、负荷波动明显等特点。尤其在自动化生产线运行过程中，电动机、变频器、PLC控制柜和检测设备需要保持稳定供电，一旦出现短时断电或电压骤降，容易引发设备停机、工艺中断和数据丢失。供配电系统改造需要重点考虑负荷连续性需求，通过双电源切换、重要负荷分级供电、备用电源配置和自动切换装置设置，提高关键生产环节的供电保障能力，使供电系统能够适应连续化、智能化、低碳化生产要求。

1.2 供电质量稳定性要求

工厂内部用电设备类型复杂，既包含大功率电机、电焊设备、加热装置等冲击性负荷，也包含自动控制仪表、传感器、信息采集终端等精密设备。不同负荷同时运行时，容易产生电压波动、谐波干扰、功率因数偏低和三相不平衡等问题，影响设备运行精度和系统安全^[1]。供配电系统自动化改造应加强电能质量监测，利用智能仪表、谐波治理装置、无功补偿设备和动态调节系统，对电压、电流、频率、功率因数等参数进行实时采集和分析。通过数据化调控方式减少电能损耗，提升供电

质量稳定性，保障生产设备在合理电气环境下运行。

1.3 电气设备运行安全要求

工厂供配电系统涉及变压器、高低压开关柜、母线、电缆、保护装置等关键设备，长期处于高负荷运行状态，容易受到升温、绝缘老化、接点松动、短路电流和环境湿度等因素影响。传统人工巡检难以及时发现隐蔽性故障，安全风险具有突发性和扩散性。电气自动化改造需要将设备安全运行作为重点，通过在线测温、局部放电监测、智能断路器、继电保护整定和故障录波等技术手段，形成设备状态实时感知机制。对异常升温、过载、漏电、接地故障等情况进行自动预警和快速隔离，减少故障扩大范围，提升供配电系统运行安全水平。

2 传统供配电系统突出问题

2.1 设备老化导致运行风险增加

传统工厂供配电系统中，变压器、开关柜、电缆线路、断路器和继电保护装置长期处于高负荷运行状态，绝缘性能下降、触点氧化、接线端子松动、散热能力减弱等问题较为常见。设备老化会削弱系统承载能力，使过载、短路、接地故障和局部发热的发生概率上升。部分设备缺少状态感知功能，只能依靠定期检修判断运行状况，难以及时识别早期隐患。绿色制造和安全生产要求下，老旧设备不仅增加停电风险，也会造成电能损耗扩大，影响供配电系统的稳定性和经济性。

2.2 监测手段滞后影响故障判断

传统供配电系统多采用人工抄表、现场巡检和单点仪表显示方式获取运行信息，数据采集频率低，监测范围有限，难以形成连续、完整的运行记录。电压波动、负荷突变、温度异常、谐波超标等问题出现后，故障信息往往分散在不同设备和区域，缺少统一平台进行关联分析^[2]。故障判断依赖现场经验，排查时间长，容易错过最佳处置时机。数字化工厂建设要求供配电系统具备实时感知和快速响应能力，滞后的监测方式会削弱故障定位精度，影响自动化改造基础。

2.3 能耗管理粗放造成资源浪费

传统供电系统能耗管理多停留在总量统计层面,缺少对车间、设备、工序和时段的分项计量,难以准确判断高耗能环节和异常用电位置。无功补偿配置不足、功率因数偏低、三相负荷不平衡、线路损耗偏高等问题长期存在,会增加企业用电成本。部分生产设备启停缺少联动控制,空载运行和低效运行现象难以及时发现。节能降碳理念下,粗放式能耗管理无法支撑精细化调度,也不利于建立数据驱动的用电优化机制,限制供电系统节能改造效果。

3 电气自动化改造技术路径

3.1 针对设备老化的配电设备更新方案

配电设备更新应以运行状态评估为基础,对变压器、高低压开关柜、断路器、电缆线路、母线槽和保护装置进行分级诊断,重点识别绝缘下降、温升异常、开断能力不足、机械机构卡涩、接点氧化等问题。改造中可优先更换高损耗变压器和老旧开关设备,配置低损耗节能型变压器、智能断路器、数字化保护装置和耐热阻燃电缆,提高系统承载能力和故障隔离能力。关键回路应增加在线测温、局部放电监测、剩余电流监测和断路器状态采集功能,使设备从定期检修转向状态检修。配电柜内部可优化母排布置、散热通道和接地结构,降低过热、短路和误动作风险。设备更新不宜只追求单体替换,还应结合绿色低碳理念和智能制造需求,统一考虑节能性能、通信接口、数据采集能力和后期扩展空间,为后续自动化监控、远程控制和智能运维奠定硬件基础。

3.2 针对监测滞后的智能监控平台建设

智能监控平台建设应从数据采集、通信传输、集中展示和联动控制四个层面展开。现场端可在变压器、进线柜、馈线柜、重要负荷回路和无功补偿装置处配置智能仪表、温度传感器、电能质量监测终端和保护测控单元,实时采集电压、电流、功率因数、负荷率、温升、谐波含量和开关状态等数据。通信层可采用工业以太网、RS485、光纤环网等方式,提高数据传输稳定性和抗干扰能力^[3]。平台端应建立配电系统一次图、运行曲线、报警记录、故障定位和历史报表模块,实现供电状态可视化。针对监测滞后的问题,报警规则需要细化到不同设备、不同回路和不同运行时段,避免单一阈值造成误报或漏报。平台还可接入边缘计算功能,对异常波动、过载趋势和设备温升变化进行提前识别,使故障处理由事后排查转为事前预警,提升供电系统自动化改造的实用性和响应速度。

3.3 针对能耗粗放的分项计量管理方案

分项计量管理应突破单一总表统计模式,按照厂区、车间、生产线、主要设备和辅助系统建立多层次计量结构,对动力用电、照明用电、空调用电、压缩空气系统用电和重点工艺设备用电进行分类采集。计量终端应具备电量、需量、功率因数、

峰谷用电、三相不平衡和谐波数据采集功能,形成可追溯、可对比、可分析的能耗数据库。针对能耗粗放造成的资源浪费,可通过分时段负荷分析识别高峰用电集中区域,通过设备运行曲线发现空载、轻载和异常耗电问题,通过功率因数监测优化无功补偿投切策略。能耗平台可设置单位产值电耗、单位产品电耗和重点设备电耗指标,将供电运行数据与生产管理数据关联,支撑精细化调度。低碳发展要求下,分项计量不仅用于统计电量,还应服务于节能诊断、费用核算和设备优化运行,使供电系统改造从安全供电延伸到能源效率提升。

4 供电系统自动化改造实施重点

4.1 继电保护参数优化配置

继电保护参数配置应建立在负荷特性、短路容量、设备耐受能力和上下级保护配合关系的基础上,避免整定值长期沿用造成保护拒动、误动或越级跳闸。改造过程中需要对进线、母联、馈线、变压器和电动机回路进行分区校核,分别设置过流、速断、接地、过负荷、欠压和缺相保护参数。重要负荷回路应加强选择性保护设计,使故障切除范围控制在最小区域,减少生产系统非必要停机。数字化保护装置可记录故障电流、动作时间和开关状态,为参数复核提供数据依据。针对新能源接入、变频设备增多和负荷波动加大的运行特点,保护定值应具备动态修正条件,结合运行数据定期校验保护灵敏度和可靠性,提升供电系统安全运行水平。

4.2 远程控制功能分层部署

远程控制功能部署应按照安全等级、负荷重要性和操作风险进行分层设计,不能将所有设备简单接入统一控制端。高压进线、母联开关和重要馈线应设置严格的权限校验、操作闭锁和双重确认机制,防止误操作引发大范围停电。低压配电柜、无功补偿装置、照明配电和辅助动力回路可根据运行需求配置远程分合闸、状态查询和参数调整功能。控制平台应区分监视层、控制层和现场执行层,形成指令下发、设备反馈、操作记录和异常拦截的闭环流程^[4]。工业网络应采用分区隔离、通信加密和访问控制,降低外部干扰和非法操作风险。分层部署能够兼顾自动化效率和电气安全,使供电系统具备远程调度、集中管理和现场应急切换能力。

4.3 故障预警机制细化设计

故障预警机制应从单一报警转向多参数综合判断,对温度、电流、电压、负荷率、绝缘状态、开关动作次数、谐波含量和环境湿度等数据进行关联分析。不同设备应设置差异化预警阈值,变压器重点关注油温、绕组温度和负载率,开关柜重点关注触头温升、局部放电和机构状态,电缆线路重点关注绝缘变化和接地异常。预警等级可划分为提示、关注、告警和紧急处置,分别对应巡检确认、负荷调整、停电检修和自动隔离措施。平台应保留历史趋势曲线,识别缓慢劣化和突发异常之

间的差异。通过边缘计算和智能诊断模型，可提前捕捉设备运行偏离正常区间的信号，缩短故障发现时间，提高供配电系统主动运维能力。

5 电气自动化改造运行成效

5.1 供电可靠性提升

电气自动化改造后，工厂供配电系统由分散运行转向集中感知和协同控制，关键回路的运行状态能够持续记录，电压、电流、负荷率、开关状态和设备温升等数据形成动态监测链条。双电源切换、重要负荷分级供电和保护联动机制提高了供电连续性，局部故障不易扩散为大范围停电。智能断路器和数字化保护装置能够按照设定逻辑快速切除异常回路，使生产线供电稳定性得到增强。设备状态检修减少了无计划停机，绿色制造理念下的低损耗设备配置也降低了长期运行负担，使供配电系统保持更高可靠性。

5.2 故障处理效率提高

自动化监控平台投入运行后，故障信息能够通过报警记录、一次系统图、趋势曲线和故障录波集中呈现，异常位置、发生时间、动作设备和电气参数变化更加清晰。传统依靠逐点排查的处理方式转变为数据定位和分级处置，值班人员可根据平台提示快速判断故障类型、影响范围和隔离路径^[5]。远程分合闸、联锁控制和预案化操作缩短了应急响应时间，减少现场

盲目操作。历史故障数据还能用于保护定值复核和设备隐患分析，使故障处理从单次抢修延伸到持续优化，提升供配电系统运行维护的精准度。

5.3 能源利用水平改善

分项计量和能耗分析系统建立后，工厂用电由总量核算转向精细化管理，车间、生产线、重点设备和辅助系统的用电数据能够按时段、负荷类型和运行状态进行比对。功率因数偏低、三相不平衡、空载运行、峰值负荷集中等问题更容易被识别，便于采取无功补偿优化、负荷错峰调节和设备启停联动等措施。智能监控平台可将电能质量数据、生产负荷数据和能耗指标关联分析，减少无效电耗和线路损耗。低碳发展导向下，供配电系统不再只是供能环节，也成为节能降耗和精细化生产管理的重要支撑。

6 结语

工厂供配电系统电气自动化改造，应立足设备更新、智能监控、继电保护、远程控制和能耗管理等关键环节，形成安全、可靠、节能、可视的运行体系。自动化技术可提升故障识别速度，增强供电连续性，降低人工巡检压力，推动配电运行由经验管理转向数据管理。后续改造需重视系统兼容、分层控制和精细计量，使供配电系统更好服务工厂连续生产和绿色低碳发展。

参考文献:

- [1] 陈楠.电气自动化技术在供配电系统中的应用[J].光源与照明,2025(2):216-218.
- [2] 赵连虎.电气工程及其自动化供配电系统节能控制分析[J].全面腐蚀控制,2025,39(3):118-122.
- [3] 孙凌波,姚俊智,许章茁.电气工程及其自动化供配电系统节能控制策略[J].光源与照明,2025(11):214-216.
- [4] 郭盛涛.数据驱动技术在电气自动化供配电节能系统中的应用[J].自动化应用,2025,66(10):197-199.
- [5] 麦培基.电气自动化技术在供配电系统中应用存在的问题与策略[J].光源与照明,2025(11):211-213.