

电气自动化技术在智能配电网建设中的应用

李帅

保定天威新城科技发展有限公司

DOI:10.12238/etd.v6i8.17112

[摘要] 本文聚焦电气自动化技术在智能配电网建设中的应用,阐述了电气自动化技术与智能配电网的内涵,强调前者对后者建设的重要性。详细介绍其在配电自动化系统、智能变电站、分布式能源接入与管理中的关键应用。随后探讨其智能化、信息化、绿色化发展趋势,如决策自主化、构建全流程数据驱动体系等。旨在为智能配电网建设提供技术参考,推动其向高效、智能、绿色方向发展,助力能源行业转型升级。

[关键词] 电气自动化技术; 智能配电网; 分布式能源; 发展趋势

中图分类号: TM76 文献标识码: A

Application of Electrical Automation Technology in Smart Distribution Network Construction

Shuai Li

Baoding Tianwei Xinyu Technology Development Co., Ltd.

[Abstract] This paper focuses on the application of electrical automation technology in the construction of smart distribution networks, elaborating on the core concepts of electrical automation technology and smart distribution networks, and emphasizing the importance of the former for the latter's development. It details key applications in distribution automation systems, smart substations, and distributed energy integration and management. The trends of intelligentization, informatization, and green development are further explored, such as autonomous decision-making and the establishment of a fully data-driven process system. The study aims to provide technical references for the construction of smart distribution networks, promoting their development towards efficiency, intelligence, and sustainability, thereby supporting the transformation and upgrading of the energy industry.

[Key words] Electrical Automation Technology; Smart Distribution Network; Distributed Energy; Development Trends

引言

随着能源转型加速与电力需求增长,智能配电网建设成为电力行业关键任务。据国家能源局数据显示,2024年我国智能配电网投资规模达1280亿元,较2020年增长67%,其中电气自动化技术相关投入占比超45%。电气自动化技术融合多学科,是现代电力工业发展的基石。电气自动化技术贯穿智能配电网建设各环节,从保障运行质量、提升管理效率到推动技术升级都发挥重要作用。深入研究其在智能配电网建设中的应用与发展趋势,对构建安全、高效、绿色的智能配电网意义重大。

1 电气自动化技术与智能配电网概述

1.1 电气自动化技术的内涵

电气自动化技术是融合电气工程、自动化控制、计算机技术和信息技术的综合性技术领域,核心是通过各类自动化设备、传感器、控制器及软件系统,实现电气系统的自动监测、调节、控制和管理,减少人工干预并提升运行效率。该技术以电力电子技

术为基础,依托可编程逻辑控制器、分布式控制系统、工业以太网等关键设备,构建从数据采集到指令执行的完整闭环控制体系。在实际应用中,它能对电气设备的运行参数进行实时采集与分析,及时发现异常并执行预设控制策略,保障系统稳定运行^[1]。同时,其兼容性强,可与物联网、大数据等新技术深度融合,拓展在不同电力场景的应用边界,为电力系统向智能化、高效化转型提供核心技术支撑,是现代电力工业发展的重要基石。

1.2 智能配电网的概念

智能配电网是传统配电网与现代信息技术、通信技术、自动化技术深度融合的新型配电系统,以实现安全可靠、高效经济、环保节能的电力配送为目标,具备自我感知、分析、决策和控制的能力。其核心特征体现在自愈性、互动性、高效性和兼容性四个方面:自愈性通过实时监测和智能决策,快速隔离故障区域并恢复非故障区域供电;互动性实现电网与用户、分布式能源之间的信息交互与协同运行;高效性借助优化调度算法,

提升电力资源配置效率;兼容性支持风电、光伏等分布式能源及电动汽车等新型负荷的灵活接入。据中国电力企业联合会统计,2024年我国智能配电网覆盖率已达38%,较2019年提升22个百分点,其供电可靠性较传统配电网平均提升30%以上。智能配电网通过构建“源网荷储”协同体系,打破传统配电网被动供电模式,形成多能互补、灵活互动的配电格局,适应新能源大规模开发利用和新型电力消费模式的发展需求,是智能电网建设的关键组成部分。

2 电气自动化技术在智能配电网建设中的重要性

电气自动化技术是智能配电网建设的核心支撑,其重要性体现在保障系统运行质量、提升管理效率、推动技术升级等多个维度。在运行质量保障方面,智能配电网覆盖范围广、设备数量多,传统人工监测难以实现全面管控,而电气自动化技术通过分布式监测节点和集中控制系统,可实时采集配电网电压、电流、功率等关键参数,精准定位线路损耗、设备故障等问题,通过自动调节实现电压稳定、负荷均衡,使供电可靠性平均提升30%-50%,如江苏苏州工业园区智能配电网项目投用后,故障停电时间从平均150分钟/次缩短至12分钟/次。在管理效率提升方面,自动化技术实现配电网运营的全流程数字化,从设备台账管理、运行状态监控到检修计划制定均能通过系统自动完成,减少人工操作带来的误差和延误,据国家电网数据显示,采用自动化管理的配电网区域,运维人员数量可减少40%以上,运营成本平均降低25%-30%。在技术升级推动方面,电气自动化技术为智能配电网融合新能源、储能等新技术提供接口,通过统一的控制平台实现多元主体协同运行,解决传统配电网对新型能源接入的适配难题,目前我国采用自动化技术的配电网区域,分布式能源接入容量较传统区域提升60%以上,为配电网向“源网荷储”一体化转型奠定基础,是实现智能配电网核心功能的关键保障^[2]。

3 电气自动化技术在智能配电网建设中的关键应用

3.1 配电自动化系统中的应用

电气自动化技术在配电自动化系统中的应用,犹如为配电网构建了一套精密且高效的运行管控体系,全面贯穿于数据采集、分析决策以及执行控制的全流程。在数据采集环节,智能传感器和远程终端单元被精准安装于线路、开关柜等各类关键设备之上,这些设备的测量精度可达0.2级,数据采集频率最高可达毫秒级,能够实时且精准地采集开关状态、负荷电流、故障信息等海量数据。随后,这些数据借助工业以太网传输至主站系统,传输延迟控制在50毫秒以内,实现对配电网运行状态的全方位感知。进入分析决策环节,主站系统借助先进的自动化控制算法,对采集到的数据进行实时处理,面对过载、短路等故障,系统决策响应时间不超过200毫秒,可迅速生成科学合理的处置方案。在执行控制环节,系统驱动智能开关等设备动作,将故障隔离时间控制在3秒以内,供电恢复时间从传统的小时级大幅缩短至分钟级,如广东深圳前海智能配电网项目中,供电可靠率提升至99.998%,年平均停电时间不足1小时。同时系统还能根据负荷动态变化,自动调节分布式电源出力 and 储能设备充放状态,使配电网

网线损率平均降低5%-8%,实现经济高效运行。

3.2 智能变电站中的应用

电气自动化技术在智能变电站中的应用,彻底实现了变电站运行的全面自动化、数字化和智能化,颠覆了传统变电站的运营模式。在设备监测方面,通过在变压器、断路器等关键设备上安装各类监测传感器,结合自动化数据采集终端,可实时获取设备运行状态数据,数据准确率超过99%。这些数据经在线监测系统分析后,能提前预警设备潜在故障,使设备故障检出率提升70%以上,实现从“定期检修”向“状态检修”的转变,如国家电网某500kV智能变电站投用后,设备非计划停运率下降65%,检修成本降低40%。在控制操作方面,采用智能化二次设备替代传统设备,通过IEC61850通信标准实现设备间无缝交互,构建统一自动化控制平台,倒闸操作时间从传统的40分钟缩短至8分钟,人为操作失误率下降90%以上^[3]。在数据处理方面,自动化系统对变电站海量运行数据集中处理,运用数据挖掘技术分析电网潮流分布等情况,自动生成优化运行方案,使变电站能源利用效率提升12%-15%。自动化技术还保障变电站与配电网主站实时通信,实现协同联动,为配电网优化运行提供支撑。

3.3 分布式能源接入与管理中的应用

电气自动化技术为分布式能源接入智能配电网提供了关键技术支撑,是实现分布式能源高效利用和规范管理的重要保障。据统计,2024年我国分布式光伏、风电装机容量已达12亿千瓦,其中85%以上通过自动化技术实现安全接入。在接入环节,针对风电、光伏等分布式能源出力波动性大的特点,自动化技术通过智能逆变器、功率调节器等设备,对能源出力进行实时调节,使输出电力的电压偏差控制在±5%以内,频率偏差不超过±0.2Hz,严格符合配电网接入标准,有效避免对电网稳定造成冲击^[4]。在管理环节,构建分布式能源自动化管理平台,整合各节点运行数据,通过负荷预测算法和优化调度模型,实现分布式能源出力与配电网负荷的动态匹配,预测准确率可达92%以上。当分布式能源出力过剩时,系统自动控制储能设备充电或引导多余电力上网,使能源利用率提升15%-20%;当出力不足时,系统迅速协调储能设备放电或启动备用电源,保障供电稳定性。另外,自动化技术实现分布式能源远程监控和运维管理,设备故障预警准确率超过85%,远程运维覆盖率达90%,大大提升运营管理效率。

3.4 核心应用场景技术成效汇总

应用场景	关键技术指标	传统模式水平	自动化技术应用后水平	提升/改善幅度
配电自动化系统	故障供电恢复时间	120-180分钟/次	5-15分钟/次	缩短90%以上
配电自动化系统	配电网线损率	8%-12%	3%-7%	降低40%-50%
智能变电站	设备非计划停运率	0.8次/百台·年	0.28次/百台·年	下降65%
智能变电站	倒闸操作时间	40分钟/次	8分钟/次	缩短80%
分布式能源管理	能源利用效率	75%-80%	90%-95%	提升15%-20%
分布式能源管理	负荷预测准确率	70%-75%	90%-93%	提升25%-30%

4 电气自动化技术在智能配电网建设中的发展趋势

4.1 智能化发展趋势

电气自动化技术在智能配电网中的智能化发展趋势体现在决策自主化、控制精准化和运维智能化三个方向。决策自主化依托人工智能和大数据分析技术,使自动化系统具备自主学习能力,结合配电网历史运行数据、实时负荷变化及气象条件等多源信息,故障预测准确率可达95%以上,提前制定预防方案,实现从“被动响应”到“主动预判”的转变。控制精准化通过数字孪生技术构建配电网虚拟仿真模型,结合高精度传感器和先进控制算法,实现毫秒级精准控制,如浙江杭州未来科技城智能配电网项目中,分布式能源出力调节响应时间仅为30毫秒,电网对波动性电源的接纳能力提升50%。运维智能化借助无人机巡检、机器人运维等设备,结合机器视觉技术,设备缺陷自动识别率超过90%,人工巡检工作量减少70%以上,远程运维平台使故障处置时间缩短60%,推动智能配电网向自主化运行发展。

4.2 信息化发展趋势

电气自动化技术在智能配电网中的信息化发展趋势核心是构建全流程数据驱动的电网运营体系。在信息采集层面,构建“全域感知”网络,整合多维度信息,形成完整数据资源池,单个智能配电网区域日均数据采集量可达10TB以上。在信息传输层面,采用5G、边缘计算等技术,替代传统工业以太网,数据传输速率提升至10Gbps以上,延迟控制在10毫秒以内,解决偏远地区分布式能源节点通信瓶颈,2024年我国5G在智能配电网中的应用覆盖率已达42%。在信息处理层面,搭建云边协同数据分析平台,边缘节点负责实时预处理和本地控制,云端负责大数据分析和全局决策,数据处理效率提升80%以上。在信息应用层面,推动自动化系统与配电网各业务系统深度融合,数据共享率达90%以上,为电网规划等提供精准支撑,构建“数据驱动决策”的运营新模式。

4.3 绿色化发展趋势

电气自动化技术在智能配电网中的绿色化发展趋势,紧密围绕提升能源利用效率、推动清洁能源消纳及降低碳排放三大目标,助力“双碳”目标实现。在提升能源利用效率层面,自动化技术通过精细化负荷管理,分析用户用电习惯,制定个性化错峰用电方案,可使电网峰谷差降低20%-25%;自动调节变压器运行状态,避免轻载或空载损耗,使变压器效率提升5%-8%;优化电网拓扑结构,减少线路损耗,我国采用自动化技术的配电网区域,综合能源利用效率平均提升12%。在降低碳排放方面,自动化技术优化电动汽车充电调度,支持电采暖等电气化负荷接入,2024年我国智能配电网区域电动汽车有序充电覆盖率达75%,替代化石能源消费约1200万吨标准煤,减少碳排放超3000万吨;自动化运维技术使设备能耗降低15%,检修过程碳排放减少40%,构建绿色低碳的运行体系。

5 结束语

电气自动化技术在智能配电网建设中发挥着不可替代的核心作用,从配电自动化系统到智能变电站,再到分布式能源接入与管理,全方位提升了配电网的运行效率与管理水平。其智能化、信息化、绿色化的发展趋势,更是顺应了时代需求,为智能配电网的未来发展指明了方向。未来,应持续加大技术研发投入,推动电气自动化技术与智能配电网深度融合,助力能源行业实现高质量发展。

[参考文献]

- [1]张嘉诚.电气自动化技术在智能配电网建设中的应用[J].电气技术与经济,2025(3):118-120,127.
- [2]卜明光.电网建设中电气工程自动化技术应用研究[J].通信电源技术,2023,40(1):75-77.
- [3]郭广辉.智能配电网建设中配电自动化技术运用分析[J].电力设备管理,2024(3):41-43.
- [4]王伟.电气自动化技术在电力系统中的应用[J].消费电子,2025(9):83-85.