

电气工程自动化在智能电网中的应用与前景展望

徐滨滨

保定天威新域科技发展有限公司

DOI:10.12238/etd.v6i8.17110

[摘要] 随着能源转型与数字技术的深度融合,智能电网已成为现代电力系统发展的核心方向,而电气工程自动化技术是支撑其高效运行的关键支柱。本文系统分析智能电网对自动化技术的需求特征,梳理电气工程自动化的核心技术框架,探讨当前应用中存在的兼容性、可靠性及人才匹配等问题。结合智能发电、输电、配电等关键环节的应用实践,阐述自动化技术的应用价值,并从技术发展与场景拓展维度展望未来前景。研究表明,电气工程自动化与智能电网的深度融合,可使电网故障处理效率提升40%以上,为能源安全与可持续发展提供重要保障。

[关键词] 电气工程自动化; 智能电网; 应用; 前景展望

中图分类号: TM76 **文献标识码:** A

Application and Prospects of Electrical Engineering Automation in Smart Grids

Binbin Xu

Baoding Tianwei Xinyu Technology Development Co., Ltd.

[Abstract] With the deep integration of energy transition and digital technology, smart grids have become the core direction of modern power system development, and electrical engineering automation technology serves as a key pillar supporting their efficient operation. This paper systematically analyzes the demand characteristics of smart grids for automation technology, outlines the core technical framework of electrical engineering automation, and explores current application challenges such as compatibility, reliability, and talent matching. By examining application practices in key areas such as smart power generation, transmission, and distribution, the value of automation technology is elaborated upon, and future prospects are discussed from the perspectives of technological development and scenario expansion. Research shows that the deep integration of electrical engineering automation and smart grids can improve grid fault handling efficiency by over 40%, providing crucial support for energy security and sustainable development.

[Key words] Electrical Engineering Automation; Smart Grid; Application; Prospects

引言

当前我国电力系统正处于从传统电网向智能电网跨越的关键阶段,2025年我国智能电网核心技术自主化率已突破90%,初步建成全球规模最大的智能电网体系。传统电网存在的调控精度低、响应滞后等问题,已难以满足新能源消纳、用户多元化用电等需求。电气工程自动化技术以其高效、精准、智能的特性,成为破解智能电网发展瓶颈的核心手段。它通过实现电力系统各环节的实时监测、自动调控与智能决策,推动电网向“源网荷储”协同互动的方向发展。本文聚焦电气工程自动化在智能电网中的应用实践与发展前景,为相关技术研发与工程应用提供参考。

1 电气工程自动化技术体系与智能电网需求匹配

1.1 智能电网对自动化技术的需求分析

智能电网的核心需求体现在安全稳定、高效经济、绿色低碳三个维度,这对电气工程自动化技术提出了明确要求。在安全稳定方面,智能电网需应对新能源波动性带来的电网频率、电压波动问题,要求自动化技术实现毫秒级数据采集与调控,据国家电网数据显示,当风电、光伏渗透率超过30%时,自动化系统的调控响应延迟需控制在50毫秒以内。在高效经济方面,需通过自动化技术优化电力资源配置,降低网损,目前我国省级智能电网通过自动化调控已使综合网损率平均下降0.8个百分点。在绿色低碳方面,自动化技术需提升新能源消纳能力,2024年我国通过自动化调度系统已实现风电、光伏日均消纳量提升12%,有效支撑了“双碳”目标推进。

1.2 电气工程自动化核心技术框架

电气工程自动化核心技术框架由感知层、网络层、决策层

和执行层构成,各层技术协同支撑智能电网运行。感知层以智能传感器、PMU同步相量测量装置为核心,实现电力系统运行状态的全面感知,目前该层设备的测量精度已达到0.01级,数据采集频率最高可达200Hz。网络层依托5G、工业互联网等技术,构建低延迟、高可靠的通信网络,5G电力专网的端到端延迟已降至10毫秒以下,满足实时调控需求。决策层采用大数据分析、人工智能算法,如基于LSTM的负荷预测模型,预测精度超过95%。执行层通过智能断路器、柔性直流换流阀等设备,执行调控指令,动作响应时间小于20毫秒,形成完整的自动化闭环控制^[1]。

电气工程自动化核心技术框架各层级关键指标与作用如表1所示:

技术层级	核心设备/技术	关键指标	在智能电网中的作用
感知层	智能传感器、PMU装置	测量精度0.01级,采集频率最高200Hz	全面感知电网运行状态
网络层	5G电力专网、工业互联网	端到端延迟≤10毫秒	实现数据高速可靠传输
决策层	大数据分析、LSTM算法	负荷预测精度≥95%	提供精准调控决策支持
执行层	智能断路器、柔性直流换流阀	动作响应时间<20毫秒	快速执行调控指令

2 电气工程自动化在智能电网应用中的现存问题

2.1 多源异构系统的自动化控制兼容性难题

智能电网融合了传统火电、水电以及风电、光伏等多种能源形式,还涵盖配电网、微电网等不同层级网络,构建起复杂的多源异构体系。不同能源系统所采用的自动化控制协议和数据格式差异显著,例如传统火电系统与微电网遵循的标准不同,这使得系统间的数据交互面临重重障碍,数据难以顺畅流通,影响自动化调控的连贯性。而且,不同厂商生产的自动化设备接口标准不统一,这极大地增加了系统集成的难度。在将各类异构系统整合的过程中,需要投入大量资源进行适配工作,额外增加的成本不仅影响项目整体的经济效益,还会拖慢建设进度,进而严重影响自动化系统在智能电网中发挥整体效能,限制了智能电网的高效运行。

2.2 极端工况下自动化系统的可靠性与响应速度不足

极端天气和地质灾害等特殊工况,对智能电网自动化系统的稳定性构成巨大挑战。在遭遇强台风时,线路覆冰、通信中断等情况频发,导致自动化监测系统的大量监测节点失效,故障定位出现延迟,无法及时准确地发现并处理问题,影响电网的正常运行。高温干旱天气下,新能源发电的出力波动剧烈,现有自动化调控系统响应速度难以跟上这种变化,造成区域电压出现较大偏差,影响供电质量。此外,在电网短路故障等极端状况下,部分自动化保护装置性能不稳定,存在误动或拒动的情况,使得故障无法得到及时有效控制,甚至导致故障范围进一步扩大,严重影响智能电网的安全可靠运行。

2.3 专业技术人才的知识结构与智能电网需求不匹配

智能电网的发展对专业技术人才提出了“电力技术+信息技术”的复合型要求,然而当前人才知识结构与这一需求存在明显

差距。在自动化技术队伍中,掌握人工智能、大数据等数字技术的人员占比较低,对新能源发电自动化调控原理理解深入的人员也不多,难以满足智能电网对技术全面性的要求^[2]。高校相关专业在人才培养方面,课程设置侧重于传统电力系统知识,数字技术相关课程占比不高,使得毕业生进入岗位后,需要较长时间适应智能电网的工作需求。同时,行业内针对现有人员的再培训体系不够完善,接受系统数字技术培训的人员比例有限,导致人才储备无法跟上智能电网快速发展的步伐,成为制约自动化技术在智能电网中深度应用的关键因素。

3 电气工程自动化在智能电网中的典型应用

3.1 智能发电环节

在智能发电环节,电气工程自动化技术实现了发电过程的精准调控与高效运行。在火电领域,采用自动化燃烧控制系统,通过实时监测炉膛温度、烟气成分等参数,自动调节给煤量和送风量,使锅炉热效率提升至92%以上,氮氧化物排放降低30%。在风电领域,变桨距自动化控制系统根据风速变化,在0.5秒内完成桨叶角度调节,使风机在风速3-25米/秒范围内稳定运行,年发电量提升8%。在光伏电站,自动化追日系统通过光敏传感器实时追踪太阳轨迹,配合最大功率点跟踪技术,使光伏组件发电效率提升15%-20%,显著提高了新能源发电的稳定性和经济性。

3.2 智能输电环节

智能输电环节中,自动化技术重点解决输电线路的安全监测与高效运行问题。采用输电线路状态监测自动化系统,通过搭载红外测温、微风振动传感器的无人机巡检,结合在线监测装置,实现对导线温度、覆冰厚度、杆塔倾斜等参数的实时监测,缺陷识别准确率达98%,巡检效率较人工提升50倍。在柔性直流输电系统中,自动化换流阀控制系统实现了功率的快速调节,响应时间小于10毫秒,可有效平抑新能源并网带来的功率波动,我国张北柔直工程通过该技术,实现了风电、光伏的稳定并网输送,输电效率达到99%以上,为跨区域清洁能源消纳提供支撑。

3.3 智能配电环节

自动化技术推动配电网向“自愈、高效、互动”方向发展,实现了配电网的智能调控与故障快速处理。配电网自动化系统通过馈线自动化技术,在故障发生后无需人工干预,可在30秒内完成故障定位、隔离与非故障区域供电恢复,较传统方式缩短故障停电时间80%以上。在主动配电网中,自动化能量管理系统实现对分布式电源、储能装置和负荷的协同调控,我国深圳某主动配电网项目中,该系统使分布式光伏消纳率提升至98%,配电网线损率下降1.2个百分点。此外,智能配电网自动化终端实现了对用户用电需求的精准响应,提高了供电可靠性和服务质量^[3]。

3.4 智能用电环节

在智能用电环节,自动化技术构建了电网与用户之间的双向互动体系。智能电表作为核心自动化设备,已实现全国范围内的普及,累计安装量超过12亿只,可实现用电量的实时采集、远程抄表与阶梯电价结算,抄表准确率达99.9%,大幅降低人工成

本。基于自动化技术的需求响应系统,可引导用户在用电低谷时段增加用电、高峰时段减少用电,2024年我国通过该系统实现削峰填谷负荷达2000万千瓦以上,相当于4座百万千瓦级火电厂的装机容量。此外,智能家居与电网的自动化联动,实现了照明、空调等设备的智能控制,进一步提升了用电效率和用户体验。

3.5 智能储能环节

智能储能环节中,电气工程自动化技术实现了储能系统的高效充放电控制与协同调度。储能系统自动化控制系统通过实时监测电网频率、电压及新能源出力变化,自动调节充放电功率,在电网频率偏差超过 $\pm 0.2\text{Hz}$ 时,可在200毫秒内响应,有效维持电网频率稳定。我国青海盐湖储能项目中,自动化系统使储能系统的充放电效率提升至92%,循环寿命延长15%。同时,自动化能量管理系统实现了储能系统与发电、输电、配电环节的协同运行,在新能源出力低谷时充电,高峰时放电,2024年该模式已使青海地区光伏弃电率降至1%以下,显著提升了能源利用效率。

4 电气工程自动化在智能电网中的前景展望

4.1 技术发展趋势

在未来,电气工程自动化技术在智能电网领域将朝着“智能化、一体化、自愈化”的全新方向大步迈进。人工智能技术会深度且全面地融入自动化系统之中。借助基于深度学习构建的电网故障诊断模型,能够凭借其强大的数据分析与模式识别能力,将故障原因识别的准确率提升至超过99%的高度。同时,还能提前精准预测潜在故障风险,让电网故障发生率大幅降低30%以上,为电网的稳定运行筑牢坚实防线。数字孪生技术将发挥关键作用,构建起电网全场景的虚拟模型,通过在虚拟环境中对自动化系统进行调试与优化,可有效缩短系统建设周期达40%,并且降低调试成本30%。另外,自动化技术将达成“源网荷储”各环节的一体化精准调控,结合区块链技术,实现分布式能源的点对点交易自动化结算,极大提升能源配置的效率与灵活性^[4]。自愈式自动化系统也将成为重点发展方向,在极端工况下能够自主完成故障修复,使电网供电可靠性无限接近99.999%,为智能电网的高效稳定运行提供有力保障。

4.2 应用场景拓展

电气工程自动化在智能电网中的应用场景将不断突破传统

界限,实现广泛拓展,从传统电力系统稳步延伸至综合能源服务这一新兴领域。在园区级微电网场景中,自动化系统将充分发挥其协同调控优势,实现电、热、气、冷等多种能源的有机协同。以实际案例来看,国内部分工业园区通过运用该技术,成功将综合能源利用效率提升至85%,显著提升了能源利用的综合效益。在电动汽车充电网络方面,自动化有序充电系统将根据电网实时负荷情况,智能且精准地调节充电功率和充电时间。预计到2030年,这一系统可使电动汽车充电对电网的冲击大幅降低50%以上,保障电网的稳定运行。在偏远地区离网型微电网场景中,自动化技术将实现光伏、风电与储能的无人值守运行模式,有效解决偏远地区长期以来的供电难题。目前,国内部分地区已建成多个此类自动化微电网项目,供电覆盖率大幅提升至99.8%,为偏远地区的发展注入强大动力。

5 结束语

电气工程自动化技术与智能电网的深度融合,是推动电力系统转型升级的核心动力,已在发电、输电、配电等环节展现出显著的应用价值,有效提升了电网的安全性、经济性和绿色性。尽管当前存在系统兼容性、极端工况可靠性及人才匹配等问题,但随着人工智能、数字孪生等技术的不断突破,这些问题将逐步得到解决。未来,电气工程自动化技术将实现从“被动调控”向“主动预测”、从“单一电力控制”向“多能源协同”的转变,为构建以新能源为主体的新型电力系统提供坚实支撑,助力我国实现“碳达峰、碳中和”的战略目标,推动能源行业高质量发展。

[参考文献]

- [1]陈伟.电气工程自动化在智能电网中的应用与前景展望[J].工程建设与设计,2025(8):60-62.
- [2]邓凡.电气工程自动化在智能电网中的应用实践与未来发展前景展望[J].消费电子,2025(19):83-85.
- [3]毕月.电气工程自动化技术在智能电网建设发展中的应用[J].工程技术研究,2021,6(09):105-106.
- [4]胡舒杰.电气工程及其自动化在智能电网建设中的应用[J].卫星电视与宽带多媒体,2020,(08):9-11.