

电气及其自动化在智能电网中的关键技术与应用研究

何明辉

赣州康晋电气设备有限公司, 江西赣州, 341100;

摘要: 随着能源转型和信息技术的快速发展, 智能电网成为现代电力系统的重要发展方向。电气及其自动化技术在智能电网中发挥着关键作用, 推动了电力系统的智能化、高效化和可持续发展。本文详细探讨了电气及其自动化在智能电网中的关键技术, 包括智能变电站技术、智能调度与控制技术、分布式能源接入技术、智能电表与需求响应技术以及电网信息安全技术。同时, 分析了这些技术在智能电网中的具体应用, 展示了其在提升电网运行效率、优化资源配置、增强系统可靠性等方面的重要作用。通过系统研究, 为智能电网的发展提供了技术参考和应用思路, 助力电力行业的数字化转型。

关键词: 电气自动化; 智能电网; 关键技术; 智能变电站; 分布式能源接入

DOI: 10.64216/3104-9664.25.02.023

引言

智能电网是现代电力系统的重要发展方向, 它融合了先进的电气技术、通信技术和信息技术, 旨在实现电力系统的高效、可靠、清洁和智能化运行。电气及其自动化技术作为智能电网的核心支撑, 为电网的智能化升级提供了关键技术支持。近年来, 随着新能源的快速发展和用户对电力服务质量要求的不断提高, 智能电网建设在全球范围内加速推进。电气及其自动化技术在智能电网中的应用不仅提升了电网的运行效率和可靠性, 还促进了能源资源的优化配置和可持续发展。因此, 深入研究电气及其自动化在智能电网中的关键技术与应用具有重要的理论和现实意义, 能够为电力行业的数字化转型提供有力支持。

1 智能电网概述与电气自动化技术的重要性

1.1 智能电网的定义与特征

智能电网是融合先进电气技术、通信技术与信息技术, 对电力发、输、配、用全流程进行智能化管控的现代电力系统。其核心特征体现在自愈性、互动性、高效性与清洁性四个方面。自愈性依靠实时监测与智能决策, 可快速识别故障并自动隔离修复, 减少停电影响; 互动性实现电网与用户、分布式能源的双向信息交互, 支撑需求侧管理; 高效性通过自动化调度与优化配置, 降低能源损耗与运营成本; 清洁性则为风能、太阳能等新能源提供灵活接入通道, 推动能源结构转型, 适配低碳发展需求。

1.2 电气自动化技术在智能电网中的作用

电气自动化技术是智能电网实现智能化升级的核心支撑, 贯穿电网运行全环节。在数据采集层面, 通过传感器、智能终端等自动化设备, 实现电网运行状态的实时、精准监测, 为决策提供数据基础; 在控制执行层面, 依托 PLC、SCADA 等自动化控制系统, 完成对发电、输电、配电设备的远程精准调控, 保障电网稳定运行; 在协同调度层面, 自动化技术整合多源信息, 实现源网荷储各环节的协同联动, 提升电网对新能源的消纳能力与供需平衡调节能力, 是实现电网高效、可靠运行的关键保障。

1.3 智能电网的发展趋势与挑战

智能电网当前呈现数字化、去中心化与协同化的发展趋势, 数字化依托大数据、人工智能技术实现电网运行的精准预测与优化; 去中心化伴随分布式能源普及, 形成多微网协同的电网结构; 协同化强调电网与交通、建筑等领域的跨行业融合。同时面临多重挑战: 新能源波动性导致电网调度难度增加, 对自动化调控精度要求更高; 多源异构数据传输与安全防护压力凸显; 老旧电网设备升级与新技术兼容成本较高, 需平衡技术创新与实用性。

2 智能变电站技术及其在智能电网中的应用

2.1 智能变电站的架构与关键技术

智能变电站采用“一次设备智能化、二次设备网络化”的架构, 分为过程层、间隔层与站控层。过程层通过智能传感器、合并单元等设备, 实现一次设备状态监测与数据采集; 间隔层负责本间隔设备的保护、控制与计量, 实现间隔内协同; 站控层承担全站监控、调度与

管理,实现与上级电网的信息交互。关键技术包括电子式互感器技术,解决传统互感器绝缘与精度问题;IEC61850通信标准,实现设备间信息互联互通;智能容错技术,通过冗余配置提升系统可靠性,为变电站智能化运行奠定基础。

2.2 智能变电站在智能电网中的应用

智能变电站作为智能电网的关键节点,在电网运行中发挥核心作用。在输电环节,通过实时监测输电线路与设备状态,结合自动化保护装置,快速隔离故障,缩短停电时间,提升输电可靠性;在配电环节,依托网络化二次设备,实现对配电线路的精准调控,优化配电网潮流分布,降低线损;在新能源接入方面,通过灵活的接口设计与自动化调控,适配风电、光伏等新能源的波动性输出,保障新能源高效并网;同时,通过与上级调度系统联动,提升电网整体调度的精准性与协同性。

2.3 智能变电站的发展趋势与挑战

智能变电站正朝着智慧化、模块化与绿色化方向发展,智慧化融入人工智能技术实现设备故障预测与自愈;模块化采用预制舱式设计,缩短建设周期与占地;绿色化通过节能设备与智能通风系统降低能耗。面临的挑战包括:设备兼容性问题,不同厂家设备基于IEC61850标准的互通仍存在差异,影响系统协同;状态检修技术尚不成熟,设备状态评估的准确性需提升,依赖更精准的传感与数据分析技术;网络安全风险突出,二次系统网络化使黑客攻击风险增加,对安全防护体系要求更高;老旧变电站改造中,新老设备融合难度大,需兼顾性能与成本。

3 智能调度与控制技术及其在智能电网中的应用

3.1 智能调度与控制技术的体系与方法

智能调度与控制技术以“全局优化、实时响应”为核心,构建“分层分级、协同管控”的体系,分为国家级、区域级、省级与县级调度中心,各级调度既独立管控又协同联动。关键方法包括电网状态估计技术,通过多源数据融合修正量测误差,精准掌握电网运行状态;优化调度算法,结合线性规划、人工智能等方法,实现发电计划与潮流分布的优化;实时控制技术,依托SCADA/EMS系统,实现对电网频率、电压等关键参数的实时调节。同时,采用数字孪生技术构建电网虚拟模型,为调度决策提供模拟验证支撑。

3.2 智能调度与控制技术在智能电网中的应用

智能调度与控制技术是保障智能电网安全高效运行的核心手段。在发电侧,通过对火电机组、水电厂及新能源电站的协同调度,平衡新能源波动性,优化发电资源配置,提升能源利用效率;在输配电侧,通过实时潮流计算与自动化调控,避免线路过载与电压越限,保障输配电网稳定运行;在需求侧,结合需求响应技术,引导用户错峰用电,实现供需平衡,缓解电网峰荷压力;在应急处置中,通过快速故障定位与调度指令下发,协调备用电源与负荷转移,缩短故障影响范围与恢复时间,提升电网抗干扰能力。

3.3 智能调度与控制技术的发展趋势与挑战

智能调度与控制技术正朝着全域协同、智能决策与跨域融合方向发展,全域协同实现源网荷储全要素统一调度;智能决策依托大数据与人工智能,实现从“被动响应”到“主动预测”的转变;跨域融合推动电网调度与能源、交通等领域的协同。挑战主要包括:高比例新能源接入使电网运行状态更复杂,传统调度算法难以适应多变量波动场景;多主体参与下,调度指令需兼顾电网安全与各主体利益,协调难度增加;跨域数据共享存在壁垒,影响调度决策的全面性;极端天气等突发场景下,调度系统的应急响应能力需进一步提升。

4 分布式能源接入技术及其在智能电网中的应用

4.1 分布式能源接入技术的类型与特点

分布式能源接入技术是智能电网的重要组成部分,其类型包括太阳能光伏发电接入技术、风力发电接入技术和储能系统接入技术等。太阳能光伏发电接入技术通过逆变器和并网控制装置,将太阳能光伏发电接入电网,实现清洁能源的高效利用;风力发电接入技术通过变流器和并网控制装置,将风力发电接入电网,提高电网的可再生能源占比;储能系统接入技术则通过储能装置和智能控制装置,实现电网的调峰填谷和频率调节。分布式能源接入技术的特点包括灵活性、可扩展性和兼容性。

4.2 分布式能源接入技术在智能电网中的应用

分布式能源接入技术在智能电网中的应用主要体现在以下几个方面:首先,分布式能源接入技术通过优化可再生能源的接入方式,提高了电网的可再生能源占比,促进了能源结构的多元化。通过智能控制装置和并网技术,分布式能源能够实现稳定输出,减少对电网的冲击;其次,分布式能源接入技术通过储能系统的应用,实现了电网的调峰填谷和频率调节。储能系统能够在电

网负荷低谷时储存电能,在负荷高峰时释放电能,提高电网的运行效率和可靠性;此外,分布式能源接入技术通过智能监测和控制装置,实现了分布式能源的实时监测和智能管理。

4.3 分布式能源接入技术的发展趋势与挑战

分布式能源接入技术的发展呈现出智能化、集成化和协同化的趋势。随着智能电网技术的不断发展,分布式能源接入技术将具备更强的智能控制能力和协同运行能力,能够实现分布式能源与电网的深度融合。同时,分布式能源接入技术将与其他技术(如智能变电站、智能调度与控制)协同工作,实现电网的智能化升级。

5 智能电表与需求响应技术及其在智能电网中的应用

5.1 智能电表与需求响应技术的原理与功能

智能电表与需求响应技术是智能电网的重要组成部分,其原理基于先进的计量技术和通信技术,实现了用户与电网的双向互动。智能电表通过集成传感器和通信模块,实现了对用户用电行为的实时监测和数据采集;需求响应技术则通过电价信号和激励机制,引导用户调整用电行为,实现电网的负荷平衡。智能电表与需求响应技术的功能包括实时计量、数据采集、负荷控制和用户互动。实时计量功能能够精确测量用户的用电量,为电费结算提供准确依据;数据采集功能则通过采集用户的用电数据,为电网的运行分析和优化提供数据支持;负荷控制功能通过智能电表的远程控制功能,实现对用户负荷的实时控制,提高电网的运行效率;用户互动功能则通过智能电表的双向通信功能,实现用户与电网的实时互动,引导用户调整用电行为,实现需求响应。

5.2 智能电表与需求响应技术在智能电网中的应用

智能电表与需求响应技术在智能电网中的应用主要体现在以下几个方面:首先,智能电表通过实时计量和数据采集功能,实现了对用户用电行为的精确监测和数据分析。通过大数据分析和人工智能技术,智能电表能够预测用户的用电需求,为电网的优化运行提供数据支持;其次,需求响应技术通过电价信号和激励机制,引导用户调整用电行为,实现电网的负荷平衡。通过智能电表的双向通信功能,用户可以根据电价信号调整用电时间,减少高峰时段的用电负荷。

5.3 智能电表与需求响应技术的发展趋势与挑战

智能电表与需求响应技术的发展呈现出智能化、集成化和协同化的趋势。随着物联网和人工智能技术的不断发展,智能电表与需求响应技术将具备更强的感知能力和智能决策能力,能够实现用户与电网的深度互动。同时,智能电表与需求响应技术将与其他技术(如智能变电站、智能调度与控制)协同工作,实现电网的智能化升级。然而,智能电表与需求响应技术的发展也面临着诸多挑战,如用户接受度、数据安全和标准规范的不完善等问题。用户接受度问题可能导致用户对智能电表和需求响应技术的抵触,影响其推广和应用;数据安全问题则涉及用户用电数据的保密性和完整性,一旦受到攻击,可能导致用户隐私泄露和电网运行事故;标准规范的不完善则影响智能电表与需求响应技术的推广和应用。

6 总结

电气及其自动化技术在智能电网中发挥着关键作用,推动了电力系统的智能化、高效化和可持续发展。通过深入研究智能变电站技术、智能调度与控制技术、分布式能源接入技术、智能电表与需求响应技术以及电网信息安全技术,本文展示了这些技术在提升电网运行效率、优化资源配置、增强系统可靠性等方面的重要作用。智能电网的发展呈现出多维度的趋势,包括能源结构的多元化、电网运行的智能化和用户互动的增强化,但也面临着诸多挑战,如信息安全、设备兼容性和标准规范的不完善等问题。通过技术创新和政策支持,这些挑战可以得到有效解决,从而推动智能电网的健康发展。

参考文献

- [1]彭浩哲.智能电网中电气工程自动化技术研究[J].电力设备管理,2025,(16):205-207.
- [2]曹旭.电气工程自动化中人工智能运用[J].智慧中国,2025,(08):58-59.
- [3]宰德城.人工智能与电气自动化技术创新[J].智慧中国,2025,(08):60-61.
- [4]陈彬琦,刘钊,张杰.智能电网中电气自动化技术的实时监控与故障诊断技术[J].自动化博览,2025,42(03):70-73.
- [5]张宸睿.智能电网环境下的电气自动化设备协调控制研究[J].自动化应用,2025,66(02):147-149.