

电气工程自动化技术与新能源开发的融合探索

崔猛

220882*****4517

摘要: 随着全球能源结构向清洁化、低碳化转型加速,新能源的大规模开发与高效利用已成为世界性课题。电气工程自动化技术作为现代工业与能源系统的核心支撑,其与新能源领域的深度融合,正成为破解新能源间歇性、波动性并网难题,提升能源系统智能化水平与运行效率的关键路径。本文旨在系统性探讨电气工程自动化技术与新能源开发融合的内在逻辑、关键技术、应用场景及未来趋势。文章首先分析了融合的背景与必要性,继而深入剖析了自动化技术在新能源发电侧、输配电侧、用户侧及储能环节的具体应用与创新,包括智能控制、状态监测、能量管理、微电网运行等方面。最后,文章展望了在人工智能、数字孪生、物联网等新一代信息技术驱动下,构建“源-网-荷-储”高度协同的智慧能源生态系统的前景与挑战。

关键词: 电气工程自动化; 新能源开发; 智能电网; 储能技术; 能源管理系统; 融合创新

DOI: 10.69979/3029-2727.26.04.062

引言

能源是人类社会发展的基石。然而,传统化石能源的过度依赖引发了严峻的资源枯竭、环境污染与气候变化问题。在此背景下,以风能、太阳能、生物质能、地热能等为代表的新能源因其清洁、可再生特性,迎来了历史性发展机遇。世界各国纷纷制定雄心勃勃的碳达峰、碳中和目标,大力推动新能源装机容量的跃升。然而,新能源,尤其是风电和光伏,具有显著的间歇性、随机性和波动性,其大规模、高比例接入传统电力系统,对电网的稳定性、安全性与电能质量构成了前所未有的挑战。

电气工程自动化技术,是综合运用计算机技术、网络通信技术、自动控制理论、电力电子技术及信息处理技术,实现对电气设备、电力生产过程及系统运行状态的自动监测、保护、控制、管理与优化的技术集合。其核心目标在于提升系统的可靠性、经济性与运行效率。将电气工程自动化技术与新能源开发进行深度融合,不仅能够有效平抑新能源出力的不确定性,优化其发电效能,更能推动整个电力系统从传统的单向输电模式向灵活互动、智能高效的现代能源互联网演进。这种融合不仅是技术发展的必然,更是实现能源可持续发展的战略需求。本文将从多个维度系统论述这一融合进程,以期对相关领域的研究与实践提供参考。

1 自动化技术在新能源发电侧的核心应用

新能源发电侧是自动化技术应用的首要环节,其目

标是实现发电单元的最大功率跟踪、安全稳定运行以及集群的协同优化。

风力发电系统的自动化控制: 现代大型风电机组已发展成为高度自动化的复杂系统。自动化技术贯穿于风能捕获、机械传动、电能转换的全过程。在控制层面,采用基于智能算法的变桨距控制和变速恒频控制,根据风速变化实时调整桨叶角度与发电机转速,确保在额定风速以下实现最大风能捕获,在额定风速以上维持额定功率输出,保护机组安全。在状态监测与故障诊断方面,通过部署大量的振动、温度、电流、电压等传感器,结合数据采集与监控系统(SCADA),实时监测齿轮箱、发电机、叶片等关键部件的运行状态。利用机器学习、专家系统等智能诊断算法,对海量运行数据进行分析,能够提前识别潜在的故障模式,实现预测性维护,极大减少非计划停机时间,降低运维成本^[1]。

光伏发电系统的智能化提升: 光伏发电系统的自动化与智能化主要体现在最大功率点跟踪(MPPT)、阵列监控与运维管理。先进的MPPT算法(如扰动观察法、电导增量法及其智能优化改进型)能够快速、准确地追踪因光照强度、温度变化及局部阴影导致的最大功率点,提升发电效率。自动化监控系统实时采集每串、每块组件的电流、电压、功率及环境数据,精准定位低效或故障组件,并通过无人机自动巡检结合图像识别技术,高效检测面板污垢、热斑等问题。此外,自动化清洁机器人也逐渐应用于大型光伏电站,实现面板清洁的智能化、节水化。

其他新能源发电的自动化集成：对于光热发电、生物质发电、小型水电等，自动化技术同样不可或缺。光热发电通过自动化聚光跟踪系统和蓄热/换热控制系统，实现稳定发电；生物质电厂通过自动化上料、燃烧控制与尾气处理系统，确保高效环保运行。自动化技术使这些新能源发电形式能够更好地适应电网调度需求。

2 自动化技术在新能源并网与输配电中的关键作用

新能源电力需经电网输送至用户，其并网过程及对电网的影响是融合探索的重点。自动化技术在此承担着“稳定器”和“优化器”的角色。

柔性交流输电与智能变电：为了增强电网对新能源波动的接纳能力，柔性交流输电系统（FACTS）装置如静止无功补偿器（SVC）、静止同步补偿器（STATCOM）等被广泛应用。这些装置基于电力电子技术和自动化控制策略，能够动态、快速地调节线路电压和无功功率，抑制电压闪变和波动，提高输电线路的稳定极限和输送容量。在变电站层面，智能变电站通过集成智能电子设备（IED）、遵循 IEC 61850 通信标准，实现了信息采集数字化、控制决策网络化、设备状态可视化，为新能源并网点提供了更精准的保护、测量与控制功能^[2]。

广域监测与稳定控制：随着新能源渗透率提高，系统的动态特性愈发复杂。基于同步相量测量单元（PMU）的广域测量系统（WAMS）构成了电网的“全景显微镜”。PMU 以高采样率同步测量电网关键节点的电压相角、幅值等动态数据，通过高速通信网络传至控制中心。自动化分析系统利用这些广域信息，可以实时评估系统稳定状态，快速识别低频振荡、功角失稳等风险，并实施自动发电控制（AGC）或紧急切机、切负荷等稳定控制措施，有效防范大电网事故。

配电网自动化与分布式能源管理：大量分布式光伏、小型风电接入配电网，使其从无源网络转变为有源网络。配电网自动化系统通过部署智能配电终端、馈线自动化（FA）设备，结合高级配电自动化（ADA）应用软件，能够实现故障的快速定位、隔离与非故障区域恢复供电，显著提升供电可靠性。同时，该系统需集成分布式能源管理系统（DERMS），对辖区内众多分布式电源、储能、可控负荷进行协调优化控制，实现就地平衡，减轻主网压力，并为用户提供电压支撑。

3 用户侧互动与综合能源系统的自动化管理

融合的深度体现在供需两侧的互动。自动化技术是激活用户侧资源、构建综合能源系统的使能技术。

需求侧响应与智能用电：自动化技术使得传统的刚性负荷转变为可调节的柔性资源。通过安装智能电表、智能家居网关及可编程控制器，用户侧的空调、热水器、电动汽车充电桩等设备可以根据电网频率、电价信号或直接控制指令，在自动化系统的管理下进行错峰、填谷或紧急削减。家庭能源管理系统（HEMS）和建筑能源管理系统（BEMS）作为本地“大脑”，自动优化内部用能策略，在保障舒适度的前提下降低用电成本，并积极参与电网辅助服务^[3]。

电动汽车与电网互动：规模化电动汽车既是负载，也是移动的分布式储能单元。自动化充电管理技术可以实现有序充电，避免对配网造成冲击。更进一步的车网互动（V2G）技术，通过双向充电桩和自动化控制平台，在电网负荷高峰时由电动汽车向电网放电，低谷时充电，从而起到削峰填谷、提供备用容量的作用。这需要一个高度自动化的聚合商平台来协调成千上万辆电动汽车的充放电行为。

区域综合能源系统优化：在园区、社区等区域范围内，自动化技术是实现电、热、冷、气多能互补与梯级利用的核心。综合能源系统通过自动化控制系统，统一调度光伏、风电、燃气轮机、热泵、储能、蓄冷罐等多种能源设备。基于模型预测控制（MPC）等先进算法，系统能够根据能源价格、天气预测、负荷预测等信息，滚动优化未来一段时期内的设备启停和出力计划，实现系统整体能效最高、运行成本最低、碳排放最小。

4 储能系统的自动化集成与控制

储能是平抑新能源波动、实现能量时移的关键环节，其高效、安全运行极度依赖自动化技术。

电池储能系统的智能管理：电池管理系统（BMS）是电池储能系统的“神经中枢”，负责实时监测每个电芯的电压、电流和温度，进行精确的荷电状态（SOC）和健康状态（SOH）估算，并实施均衡控制，防止过充过放，保障安全与寿命。在系统层面，能量管理系统（EMS）根据电网调度指令或本地优化目标，制定储能系统的充放电策略。对于由多个储能单元构成的大型电站，自动化控制系统还需协调各单元间的功率分配，实现集群优化运行。

多元化储能的协调控制：除电化学储能外，抽水蓄

能、压缩空气储能、飞轮储能等也各具优势。在电网侧或区域能源系统中，往往需要配置多种形式的储能。自动化调度平台可以根据不同储能的响应速度、容量规模、成本特性，进行协同优化^[4]。例如，利用飞轮、超级电容响应快的特点应对秒级、分钟级的功率波动，用电池储能应对小时级的能量平衡，用抽水蓄能应对日间或季度的调节需求，形成多时间尺度的互补体系。

储能与新能源发电的联合运行：自动化技术实现了“风光储”一体化。通过预测风电、光伏的短期出力，自动化控制系统可以提前制定储能的充放电计划，使得联合出力的曲线尽可能平滑、可预测，满足并网要求。在离网型微电网中，储能与柴油发电机、新能源的组合，更需要精密的自动化控制来维持系统的电压和频率稳定。

5 微电网与能源互联网：自动化技术的集成示范

微电网与能源互联网是电气工程自动化技术与新能源开发融合的最高级形态和终极试验场。

微电网的自治运行：微电网是一个包含分布式电源、储能、负荷和监控保护装置的小型发电系统，既可并网运行，也可孤岛运行。其核心是微电网中央控制器（MGCC）。MGCC集成了功率预测、负荷预测、经济调度、实时控制等多重自动化功能。在并网模式下，优化与主网的交换功率；在孤岛模式下，作为主电源，通过快速调节储能和可控分布式电源的出力，自动维持系统内的功率平衡和电压频率稳定，实现“即插即用”和“无缝切换”。

能源互联网的智慧生态：能源互联网是信息互联网与能源系统深度耦合的产物。它依托物联网、大数据、云计算和人工智能等新一代信息技术，将数以亿计的可再生能源设备、储能系统、智能用电终端连接起来。在这个庞大而复杂的生态中，自动化技术演变为高度自主的智能体^[5]。基于数字孪生技术，可以在虚拟空间对物理能源系统进行高保真模拟和超前推演；基于人工智能算法，可以实现超短期精准预测、全网协同优化调度、市场交易自动化决策；基于区块链技术，可以实现点对

点能源交易的自动化执行与结算。最终形成一个信息对称、开放互联、多源协同、智慧高效的能源共享网络。

6 结语

电气工程自动化技术与新能源开发的融合，是一场深刻而广泛的产业变革与技术革命。从单一发电设备的精准控制，到庞大电网的智能调度，再到用户侧资源的深度挖掘，自动化技术如同“神经系统”和“智慧大脑”，赋予新能源系统以灵活性、鲁棒性和经济性。当前，融合已从早期的单点技术应用，发展到系统级集成与协同优化的新阶段。

展望未来，这一融合进程将在新一代信息技术的催化下持续深化。人工智能将推动控制与决策从“自动化”迈向“自主化”；数字孪生将实现能源系统的全生命周期透明化管理与超前仿真；物联网与5G通信将保障海量设备数据的安全、实时传输。然而，挑战依然存在：多源异构系统的标准化与互操作性、网络安全风险、跨领域复合人才的匮乏、市场机制与监管政策的滞后等，都是亟待解决的课题。

可以预见，通过持续深化电气工程自动化技术与新能源的融合创新，必将加速构建清洁低碳、安全充裕、经济高效、供需协同、灵活智能的新型电力系统，为全球能源转型与人类社会的可持续发展提供坚实的技术基石与解决方案。这条融合探索之路，任重道远，但其前景无限光明。

参考文献

- [1]周岩. 新能源系统中的自动化节能策略分析[J]. 电子技术, 2025, 54(07): 204-205.
- [2]武新伟. 电气工程自动化技术与新能源开发的融合探索[J]. 仪器仪表用户, 2025, 32(07): 141-142+145.
- [3]徐阳. 新能源开发进程中电气工程自动化控制策略探析[J]. 科技与创新, 2025, (09): 219-221+225.
- [4]杨哲. 新能源开发中电气工程自动化节能技术分析[J]. 中国仪器仪表, 2025, (04): 45-47.
- [5]杨臻. 新能源开发中电气工程自动化节能措施应用分析[J]. 中国设备工程, 2024, (05): 250-252.