

电力工程中电气自动化技术的应用与发展趋势

曾国波

4416231985****5719

摘要: 电气自动化技术作为电力工程高效化、智能化发展的核心动力，其应用深度和广度直接影响着电力系统的运行效率与安全水平。本文聚焦于电力工程中电气自动化技术的应用场景与发展走向，深入分析了技术应用现状、核心应用领域及现存技术瓶颈，并探索了关键技术创新、系统集成优化等发展路径，构建了技术支撑体系与未来发展框架，旨在为提升电力工程自动化水平、推动电力行业转型升级提供科学依据。

关键词: 电力工程；电气自动化技术；技术应用；智能化发展；系统集成

DOI: 10.69979/3029-2727.25.10.058

引言

电力工程作为能源供应的核心载体，其技术升级对保障能源安全与高效利用具有重要意义。电气自动化技术通过融合控制理论、信息技术与电力设备，实现了电力生产、传输、配电等环节的自动化管控，大幅提升了系统运行效率。随着新能源接入比例提升与电网复杂度增加，传统自动化技术在响应速度、协同能力等方面面临挑战。研究电气自动化技术的应用现状与发展趋势，对推动电力工程技术革新具有重要价值。

1 电力工程电气自动化技术的应用现状

1.1 电气自动化技术的应用范围与渗透程度

电气自动化技术在电力工程中的应用范围日益广泛，从发电、输电到配电和用电环节，几乎涵盖了电力系统的全生命周期。在发电环节，自动化技术实现了对发电设备的精准控制与优化调度；在输电环节，自动化系统保障了电力的高效传输与分配；在配电环节，自动化技术提升了配电网络的可靠性和灵活性。然而，尽管自动化技术的渗透程度不断加深，但在一些偏远地区和老旧电网中，自动化技术的应用仍存在不足，导致部分电力系统的运行效率和可靠性受到影响。例如，在一些偏远山区的配电网中，由于缺乏自动化设备和技术支持，电力供应的可靠性和稳定性难以保障，影响了当地居民的用电体验和经济发展。

1.2 现有自动化系统的运行效能与局限

现有的电气自动化系统在提升电力工程运行效率方面发挥了重要作用，但随着电力系统规模的扩大和复杂度的增加，现有系统的局限性也逐渐显现。例如，传统自动化系统在面对新能源接入时，响应速度和协同能

力不足，难以适应快速变化的电力供需环境。此外，现有系统的数据采集和处理能力有限，导致信息传递延迟，影响了决策的及时性和准确性。例如，在分布式能源接入的情况下，传统自动化系统难以实现对分布式能源的有效管理和优化调度，导致电力系统的运行效率和可靠性下降。

1.3 电力工程对自动化技术的需求特征

电力工程对自动化技术的需求主要体现在提高系统运行效率、保障供电安全、降低运维成本等方面。随着新能源的广泛应用和分布式能源的接入，电力系统对自动化技术的实时性、灵活性和智能化水平提出了更高要求。例如，需要自动化系统能够实时监测和调整新能源发电设备的输出功率，以应对新能源的间歇性和波动性。此外，电力工程还需要自动化技术能够实现对电力设备的远程监控和故障诊断，提高运维效率和可靠性。例如，通过智能传感器和远程监控系统，运维人员可以实时掌握设备的运行状态，及时发现并处理潜在故障，减少停电时间和维修成本。

2 电气自动化技术的核心应用领域

2.1 发电环节的自动化控制与优化

在发电环节，电气自动化技术实现了对发电设备的精准控制与优化调度。通过智能传感器和控制算法，自动化系统能够实时监测发电设备的运行状态，自动调整发电功率，提高发电效率。例如，在风电和光伏发电中，自动化技术通过实时监测风速和光照强度，优化风机和光伏板的运行角度，最大限度地提高发电效率。此外，自动化系统还能够实现对发电设备的故障预测和维护管理，减少设备停机时间和维修成本。例如，通过智能

诊断系统，运维人员可以提前发现设备潜在故障，及时进行维护和修复，确保发电设备的稳定运行。

2.2 输电与配电系统的自动化调度

在输电和配电环节，自动化技术保障了电力的高效传输与分配。通过智能电网技术，自动化系统能够实时监测电网的运行状态，自动调整电力传输路径，优化电力分配。例如，在分布式能源接入的情况下，自动化系统能够灵活调度电力资源，确保电网的稳定运行。此外，自动化系统还能够实现对输电线路的实时监测和故障诊断，提高输电线路的可靠性和安全性。例如，通过智能传感器网络，运维人员可以实时掌握输电线路的运行状态，及时发现并处理线路故障，减少停电时间和维修成本。

2.3 电力设备运维的自动化技术应用

在电力设备运维方面，自动化技术提升了运维的效率和可靠性。通过远程监控和故障诊断系统，运维人员可以实时掌握设备的运行状态，及时发现并处理潜在故障。例如，智能传感器能够实时监测设备的温度、压力等关键参数，一旦发现异常，系统会自动报警并提供故障诊断信息。此外，自动化系统还能够实现对电力设备的远程控制和维护管理，提高运维效率和安全性。例如，通过远程控制系统，运维人员可以远程操作设备，进行设备的启动、停止和参数调整，减少现场运维人员的工作量和风险。

3 推动自动化技术升级的关键支撑技术

3.1 智能传感与数据采集技术

智能传感与数据采集技术是自动化升级的基础。光纤传感器、无线传感网络广泛应用，实现温度、压力、振动等参数的全面感知，测量精度达0.1级。智能电表、智能开关等终端设备具备边缘计算能力，可对采集数据进行预处理，减少传输带宽占用。物联网技术实现传感设备互联互通，形成全域感知网络，数据采样频率提升至毫秒级，满足实时控制需求。新型传感材料与微机电系统（MEMS）的应用，使传感器体积更小、功耗更低、可靠性更高，适应电力设备复杂运行环境，支持在高温、高湿等恶劣条件下稳定工作，为自动化控制提供精准数据支撑。

3.2 自动化控制算法与决策系统

自动化控制算法与决策系统提升控制精准度与智能化水平。先进控制算法如模型预测控制（MPC）在发

电过程中应用，实现多变量协调控制，控制精度提升20%以上。人工智能算法与自动化控制融合，通过深度学习建立设备运行模型，实现负荷预测、故障诊断等功能，诊断准确率超90%。决策支持系统整合多源数据，运用优化算法生成运行方案，如机组组合优化、无功电压优化等，降低电网运行成本。自适应控制算法可根据工况变化自动调整控制参数，增强系统鲁棒性，在新能源波动、负荷突变等场景下保持稳定控制效果，适应电力系统动态变化特性。

3.3 网络通信与信息交互技术

网络通信与信息交互技术保障自动化系统高效协同。电力专用通信网络如光纤通信、5G专网实现数据高速传输，带宽达10Gbps以上，端到端时延控制在20ms以内。工业以太网、无线Mesh网络等技术在变电站、电厂内部应用，满足设备间实时通信需求。信息安全技术如加密认证、入侵检测等确保数据传输安全，防止恶意攻击。边缘计算与云计算结合的通信架构，实现数据就近处理与全局优化，提升系统响应速度。标准化通信协议如IEC 61850的推广，促进不同厂商设备信息交互，支持跨系统数据无缝流转，打破系统壁垒。

4 电气自动化技术应用面临的挑战

4.1 多系统兼容与数据互通难题

随着电力系统规模的扩大和复杂度的增加，多系统之间的兼容性与数据互通成为一个重要挑战。不同厂商的设备和系统之间存在技术差异，导致数据格式不一致、通信协议不兼容等问题，影响了系统的整体协同能力。例如，在分布式能源接入的情况下，不同厂商的设备之间难以实现数据共享和协同控制，导致电力系统的运行效率和可靠性下降。此外，多系统之间的数据安全和隐私保护也是一个重要问题，需要采取有效的安全措施，确保数据的安全传输和存储。部分老旧系统采用封闭协议，与新建智能平台的数据交互需额外开发接口，不仅增加成本还可能产生数据延迟。跨区域电网调度时，数据标准不统一还会导致决策分析出现偏差，影响整体调控效率。

4.2 复杂工况下的控制精度不足

在复杂的电力工况下，自动化技术的控制精度面临挑战。例如，在新能源接入的情况下，电力系统的电压和频率波动较大，传统的控制算法难以满足高精度控制的要求。此外，电力系统的运行环境复杂多变，设备的运行状态受到多种因素的影响，传统的控制算法难以实

现对设备的精准控制。例如，在分布式能源接入的情况下，电力系统的运行状态受到分布式能源输出功率波动的影响，传统的控制算法难以实现对电力系统的稳定运行控制，导致电力系统的运行效率和可靠性下降。极端天气下，输电线路负载骤变与新能源出力波动叠加，传统 PID 控制易出现超调现象。

4.3 技术升级与成本平衡的矛盾

技术升级需要大量的资金投入，而电力企业往往面临成本控制的压力。如何在技术升级与成本控制之间找到平衡，是电力工程自动化技术面临的一个重要问题。例如，升级自动化系统需要更换设备和软件，需要大量的资金投入，而电力企业需要在有限的预算内实现技术升级，提高系统的运行效率和可靠性。此外，技术升级还需要考虑设备的兼容性和系统的稳定性，避免因技术升级导致系统运行不稳定，增加运维成本。全面替换老旧设备虽能提升性能，但一次性投入过高，部分企业选择局部改造却可能形成“新旧混搭”的兼容隐患。

5 电气自动化技术的未来发展趋势

5.1 人工智能与自动化技术的深度融合

人工智能技术将与电气自动化技术深度融合。通过机器学习和深度学习算法，自动化系统能够实现更精准的故障预测和优化调度。例如，在智能电网中，人工智能算法能够实时分析电网运行数据，预测潜在故障，优化电力分配，使故障预警准确率提升至 95% 以上。此外，人工智能技术还能够实现对电力设备的智能诊断和维护管理，结合数字孪生技术构建设备虚拟模型，模拟

故障演化过程。运维人员可通过智能诊断系统提前发现设备潜在故障，及时进行维护和修复，减少设备停机时间和维修成本，提升系统整体可靠性。

5.2 泛在电力物联网背景下的自动化创新

在泛在电力物联网背景下，电气自动化技术将实现创新。通过物联网技术，电力设备之间的连接将更加紧密，构建全域感知网络，实现设备之间的实时通信和协同控制。例如，在智能变电站中，物联网技术能够实现设备状态全量采集与数据共享，设备响应速度提升至微秒级，提高变电站的运行效率和可靠性。此外，物联网技术结合边缘计算，实现数据本地处理与快速决策，支持对电力设备的远程监控和控制。运维人员通过无线通信技术远程监控设备运行状态，进行远程控制和维护管理，减少现场作业量，降低高空、高压环境下的运维风险。

5.3 绿色低碳导向的自动化技术发展

在绿色低碳发展的背景下，电气自动化技术将朝着更加环保和高效的方向发展。通过优化电力系统的运行效率，减少能源浪费，实现电力工程的可持续发展。例如，在新能源接入的情况下，自动化技术通过智能调度算法平衡风光出力波动，提高新能源利用率超 10%。此外，自动化技术还能够实现对电力设备的节能控制和优化管理，结合储能系统实现峰谷调节。通过智能控制算法，自动化系统可动态调整变压器负载率、优化线路潮流分布，降低电力系统的能耗，减少碳排放，推动电力工程向绿色低碳转型。



图 1 电力工程电气自动化技术应用体系示意图

6 结论

电气自动化技术在电力工程全环节应用成效显著，支撑了电力系统效率与可靠性提升，但仍面临系统兼容、控制精度、成本平衡等挑战。智能传感、控制算法、网络通信等技术为自动化升级提供关键支撑。未来，人工智能融合、泛在电力物联网创新、绿色低碳导向将成为发展趋势。通过技术创新突破瓶颈，完善系统集成与标准体系，可推动电气自动化技术向更高水平发展，为电力工程智能化、低碳化转型提供有力支撑，保障能源系统安全高效运行。

参考文献

- [1] 赵帅. 自动化技术在电力工程中的应用分析[J]. 灯与照明, 2025, 49(01): 157-159+163.
- [2] 陈战. 电气自动化融合技术在电气工程中的应用[J]. 模具制造, 2025, 25(02): 41-43.
- [3] 闫洪起, 丁保贺. 电气自动化在电力工程技术中的应用[J]. 光源与照明, 2025, (01): 210-212.
- [4] 曾桂平, 卢磊. 电力自动化技术的创新应用[J]. 电子技术, 2024, 53(12): 186-187.
- [5] 史丹. 电气自动化技术在电力工程中的应用[J]. 价值工程, 2024, 43(34): 152-154.