

电力工程中电气自动化技术的应用研究及技术优势分析

王心语

深圳英飞源技术有限公司，广东省深圳市，518000；

摘要：电气自动化技术作为现代电力系统发展的重要支撑，在电力工程的设计、施工与运行各阶段中均发挥着关键作用。随着信息技术与电气控制技术的融合不断加深，电力系统逐步实现了从传统人工操作向智能化、自适应的方向升级。本文围绕电气自动化的核心功能与技术特征展开，探讨其在电力工程中典型的应用模式，并进一步分析自动化技术在提升电力运行效率、保障系统稳定性、降低能耗成本等方面所展现的综合优势。研究发现，电气自动化已不仅仅是电力工程中的辅助工具，更是系统可靠运行与优化调度的关键保障，其在实际工程项目中的集成应用能力，正在深刻重塑电力行业的运维模式与发展路径。通过对典型案例与技术模式的归纳，总结出面向未来的电力自动化发展趋势，为行业转型与工程实践提供理论参考。

关键词：电气自动化技术；电力工程；智能控制；系统效率；安全运行

DOI：10.69979/3060-8767.25.06.074

引言

电力工程作为国家基础设施建设的重要组成，其运行质量与控制能力直接关系到社会经济的正常运转。在复杂庞大的电力系统中，如何实现高效、稳定与安全的运行控制，一直是工程技术研究的核心课题。伴随着现代控制理论、传感器技术和网络通信的发展，电气自动化技术被广泛引入电力工程中，不仅提升了系统响应能力，也改变了传统的工程管理与控制模式。

本文拟以电力工程为核心对象，从电气自动化技术的理论特征、工程应用场景及技术优势展开深入分析，试图明确其在现代电力系统中的地位与功能。同时，通过对典型实践的归纳，探讨其未来发展路径与潜在技术突破，以期为电力工程的自动化转型提供系统性参考。

1 电气自动化技术的基本特征与发展背景

1.1 电气自动化技术的核心内涵与功能作用

电气自动化技术是以电气控制理论为基础，融合传感、通信、计算与控制等多项技术手段，通过软硬件协同，实现对电力系统中各类设备的自动运行与智能调度。其核心功能包括自动监测、实时控制、数据分析与故障响应，广泛应用于变电站自动化、电网调度自动化、电能计量自动化等多个领域^[1]。该技术以其高度集成、高响应性和精准控制等优势，已逐渐取代传统人工干预方式，成为现代电力系统不可或缺的组成部分。

在实际工程中，电气自动化技术通常以控制系统的形式部署，如 SCADA 系统、PLC 装置、DCS 平台等，通过实时采集关键节点的电压、电流、温度、频率等参数，自动判断运行状态并执行预设操作策略。这类系统不仅

能提升运行效率，还能在异常发生前做出提前预警，显著降低设备故障率与人为误差。同时，电气自动化技术的可扩展性也使其具备良好的适配能力，能够快速响应电力系统规模扩大、新能源接入及用户负荷波动等新需求，为系统灵活性与韧性提供技术保障。

1.2 电气自动化技术在电力系统演进中的发展脉络

回顾电力系统的发展历程，从初期依赖人工巡检与机械控制的阶段，逐步演变为以自动控制为主导的现代系统。早期电力工程中，自动化程度较低，调度信息获取依赖人工反馈，运行调整滞后，易引发运行误差。随着继电保护、电子计量与通信技术的发展，电力工程逐步引入半自动控制装置，完成了从机械电气控制向电子控制的转变，为后续全面自动化奠定基础^[2]。

进入信息化阶段后，随着微电子技术与控制系统的成熟，电力工程的自动化开始向系统化、智能化迈进。典型标志是各级变电站开始部署自动化控制系统，调度中心实现远程监控与智能化调度，电能质量管理与负荷调节趋于实时响应。在这一过程中，通信协议标准化、智能终端部署与数据处理能力提升为电气自动化的深入发展提供支撑，使得整个系统更具透明度与协同能力。

当前，随着 5G 通信、物联网、大数据与人工智能等新技术的融合推进，电气自动化正逐步走向“智慧化”阶段。各类设备开始具备数据自感知、智能分析与自主决策能力，从被动控制转向主动优化，在故障识别、电能质量优化与多源协调控制等方面取得明显突破。与此同时，系统的开放性与互联性也日益增强，使得区域电

力工程能够实现数据互通、资源共享与协同控制，为构建新型电力系统提供支撑条件。

从技术发展轨迹来看，电气自动化在电力工程中的应用不仅是一种手段升级，更是电力系统智能化与高效化演进的内在需求。其从设备控制走向系统管理、从单点响应走向全网协同，标志着电力工程正进入以数据驱动、平台协作为核心特征的新阶段。

2 电力工程中电气自动化的典型应用场景

2.1 电网调度系统中的自动化控制与远程监测

在电力系统的日常运行中，电网调度承担着协调发电、输电与用电之间关系的关键角色。面对不断变化的电力负荷和日益复杂的能源结构，传统的人工调度手段已难以胜任全天候、高精度的运行要求。电气自动化技术的引入，使得调度系统具备了实时采集、快速分析和自动响应的能力，从而显著提升了系统的管理效率与可靠性^[3]。

当前，电力系统调度自动化主要依托 SCADA（数据采集与监控）、EMS（能量管理系统）以及调度自动生成指令系统等技术架构。通过对电压、电流、负荷、频率等参数的连续采样，系统能够绘制电网运行状态图，动态追踪负荷变化趋势。当出现偏差或风险信号时，系统将自动识别异常节点，并通过设定策略进行潮流调整或负荷削减，确保全网稳定运行。例如，在电网负荷过载区域，系统可通过远程指令启动备用电源，或通过柔性控制机制进行调峰处理，从而避免设备过热或电压坍塌等风险。

在区域协调层面，自动化系统还实现了不同等级调度中心之间的数据互通与策略协同。市级调度可实时感知下属配电系统运行状况，省级调度则可统筹多市之间的资源调配，实现跨区域电力优化调度。这种分层分区、多级联动的调度机制，不仅提高了电力资源的利用效率，也增强了电网的整体抗风险能力。

远程监测功能是电气自动化在调度系统中的另一核心应用。通过视频、传感器与环境监测终端的集成，系统能够对重要输电通道、变电站设备和环境参数进行全天候监控。特别在山区、海岛等不便人工巡检区域，远程监测系统大幅降低了运维成本，提升了响应速度。在极端天气或突发事件中，远程系统能够迅速捕捉风险变化，辅助调度中心做出快速决策，实现信息闭环与实时处理。

2.2 输配电环节中的智能保护与故障处理系统

输电和配电是电力工程中极为关键的中间环节，连接着发电源头与终端用户。此阶段设备运行量大、路径

复杂、受外部干扰多，是系统故障频发的高风险区域。电气自动化技术在输配电环节的应用，显著改善了传统模式中“发现慢、响应慢、修复慢”的局限性，通过构建高效的智能保护与自动故障处理系统，为整个系统运行安全提供了有力支撑^[4]。

在输电系统中，基于自动化原理设计的线路保护装置具备高速采样和动态分析能力，可对线路电流、阻抗变化、短路类型等进行瞬时判断。一旦发生故障，如接地短路或断线现象，系统会在几十毫秒内完成判断，并自动执行跳闸操作，同时生成报警信息和故障报告发送至调度中心。此举不仅避免了故障扩散，还缩短了停电时间，提升了用户的用电连续性和满意度。

智能开关与重合闸装置的普及也是输配电自动化的重要体现。这类设备具备远程控制、自检与自恢复功能，支持在非故障区域自动重合操作，避免整条线路因单点失效而停运。通过与主站平台的协同运行，系统还能记录每次操作的时间、电流、电压等参数，为后续分析与优化提供数据基础。

在城市配电领域，配电自动化系统（DAS）逐渐成为智能配电网的重要组成部分。通过部署环网柜、柱上开关、馈线终端等自动化设备，配电网具备了自动定位故障、自动隔离故障、自动恢复供电的三大能力。尤其在分布式能源与用户侧储能系统快速发展的背景下，自动化系统能够协调不同电源间的功率分配，保障供电质量的一致性与经济性。

电气自动化在输配电环节的渗透，已由单点设备智能逐步转向系统整体智能，从而形成了“预测—判断—响应—优化”的闭环管理体系，为实现高可靠、高效率的供电服务提供了坚实技术支撑。

3 电气自动化技术在工程效能中的优势体现

3.1 提升系统运行效率与资源配置能力

在传统电力工程运维中，系统调度与运行效率受限于人员经验、管理机制与信息反馈速度，不仅难以及时响应突发事件，也无法有效优化电力资源的调配与分布。而电气自动化技术凭借高速数据采集、算法驱动控制与人机交互一体化能力，改变了以往电力系统“人盯人、点对点”的低效运行模式，构建起统一调控、自动优化、协同响应的运行体系^[5]。

首先，系统运行效率的提升体现于任务执行速度和控制反应能力的增强。电气自动化通过实时信号采集与反馈机制，使得运行状态的更新频率远高于人工方式。系统可在每秒数次的频率内对电压、电流、频率等核心参数进行自我校正，实现微秒级别的动态调度，避免因延时造成负荷偏移或能量损耗。例如在电压控制中，自

动调节设备可根据实时负荷变化动态调整无功补偿,实现电压平稳控制,减少电能浪费和系统震荡。

其次,资源配置效率得以改善,尤其体现在电能分配的科学性和区域间调度的柔性化。借助自动化平台,系统可基于负荷预测、历史运行数据与季节性模型,提前规划电力供需策略。特别是在多元化能源结构背景下,电气自动化可根据新能源波动性强、不可控性大的特征,优化风电、光伏等接入点功率调节路径,确保整体电力系统负荷均衡与电压稳定。同时,对于局部高负荷区域,系统可调配储能设施或备用电源及时介入,提升能源利用率,避免资源闲置。

电气自动化也提升了工程任务执行的协同效率。在大型工程现场,如变电站扩建、新能源并网或长距离输电项目中,不同部门、系统之间需要高频协作。自动化系统提供了统一的调度平台,各施工与运行单位可实时共享工程进度、电气参数与作业状态,减少沟通误差与管理成本,推动“多点作业、集中协调”的高效管理机制落地。

更重要的是,电气自动化为系统升级与持续优化提供了基础支撑。其集成的数据采集模块和智能诊断平台,能够持续积累运行经验与运维规律,为后续算法迭代与系统重构提供决策依据。通过这一闭环流程,电力工程从运行到管理形成了完整的数字化链条,不仅提高了工程效能,也推动了行业整体水平的跃升。

3.2 降低故障率与提升安全稳定性

在电力工程运行中,系统安全稳定始终是核心目标,而故障率则是衡量工程质量与运维能力的重要指标。传统电力系统故障频发、响应迟缓,不仅增加了用户停电时间,也提升了修复成本与安全风险。电气自动化技术通过构建多维感知、高速判断与即时响应机制,显著改善了上述问题,成为现代电力系统实现高可靠运行的关键抓手。

通过部署电流互感器、电压传感器、温度采集模块与光纤监测设备,系统可全面感知线路运行状态与环境变量,形成密集的数据网络。一旦某节点出现短路、过载、温升或机械损伤,系统会在毫秒级别内完成识别与定位,并自动生成预警信息与处置建议,避免事故扩大化。例如在高压输电线路中,当雷击或树枝接触导致电弧短路时,自动保护装置可即时切除故障段,控制事故影响范围。

在传统系统中,设备跳闸往往需要调度人员手动协调开关重合、负载转移与检修操作,过程繁琐且易误操作。而电气自动化通过设定逻辑规则与并行执行路径,可在系统检测到异常的同时,联动执行多项响应操作,

如启用备用电源、重新配置供电路径、通知现场人员等,形成全面立体的处置链条。这种响应机制极大提升了突发事件下的处置效率与工程弹性。

通过与数据分析平台的对接,自动化系统可对过往故障事件进行分类建模,提取共性特征,提前识别隐性故障风险。系统能够自动比对当前运行状态与历史故障样本,在参数波动初期即发出维护预警,引导技术人员主动排查问题,防止设备带病运行。特别是在高寒、高温、高湿等极端气候条件下,系统的实时调控与预测性判断能力为设备提供了全天候保护屏障。

电气自动化的高精度控制机制,也提升了操作过程中的人机安全系数。工程技术人员可通过远程终端进行作业指令下达与数据回读,避免了现场高压接触与强电环境中的人身风险。系统设置有多重权限与指令验证机制,确保操作合规、指令唯一,减少了误触、误操作等人为隐患。

4 结语

电气自动化技术已成为现代电力工程建设与运行管理中不可或缺的关键支撑力量,其在提升系统运行效率、保障安全稳定性与推动智能化发展方面展现出显著优势。通过对实际应用路径的深入分析与技术特性的系统梳理,可以看出该技术不仅改变了传统人工控制模式,也为电力系统构建了更高效、可靠、智能的运行体系。当前在推进过程中仍面临标准不一、系统融合难、技术落地慢等现实挑战,因此需要从政策规范、技术路径与人才储备等多层面协同发力,建立完善的支撑机制。未来,随着人工智能、大数据等新兴技术的不断渗透,电气自动化将在更广领域发挥作用,助力电力行业实现绿色、高效、智能的可持续发展目标。

参考文献

- [1] 刘卫府. 电力工程中电气自动化技术运用分析[C]/重庆市大数据和人工智能产业协会,重庆建筑编辑部,重庆市建筑协会. 智慧建筑与智能经济建设学术研讨会论文集(一). 石家庄通合电子科技股份有限公司; , 2025: 749-751.
- [2] 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.
- [3] 刘冰松. 电气自动化技术在电力工程建设中的运用探析[J]. 仪器仪表用户, 2025, 32(01): 93-95+98.
- [4] 陈菲菲. 电气自动化在电力工程技术中的应用[J]. 中华建设, 2024, (07): 142-144.
- [5] 韦宗春. 电气自动化技术在电力工程中的应用研究[J]. 通讯世界, 2024, 31(06): 118-120.