

# 电气自动化技术在电力工业工程中的应用

卢立娜<sup>1</sup> 王绍金<sup>2</sup>

1.山东万鸿能源集团有限公司 山东 日照 276800

2.山东智合电力有限公司 山东 日照 276800

**【摘要】**：随着我国信息技术的不断发展，自动化技术和智能技术在各行各业崭露头角，因具备高稳定性、高效率、低人力成本等特点而广受青睐。电力工程行业作为我国的重要基础行业之一，其发展水平和自动化程度对我国经济发展的影响重大。电力自动化主要是指使用自动化技术逐渐取代人力操作，这不仅能够提高工作效率，而且能降低安全事故发生的可能性，同时，自动化技术附带的全过程实时监控也能降低企业的错误率，提高企业的生产质量。本文深入剖析电气自动化技术在发电、输电、变电及配电环节的技术实现路径，重点探讨分布式能源协同控制、广域测量系统（WAMS）动态响应、智能变电站一体化监控等前沿应用场景。研究揭示，电气自动化技术通过构建多层次协同控制架构，可显著提升电力系统对新能源波动的适应性，降低全生命周期运营成本。进一步提出基于数字孪生的动态优化策略、多源异构数据融合分析方法及自适应安全防护体系，为电力工业工程智能化升级提供理论支撑与实践路径。

**【关键词】**：电气自动化；电力工业工程；智能电网；分布式能源；数字孪生

DOI:10.12417/2811-0536.26.05.090

## 引言

随着我国社会经济的快速发展，电力工业工程也在发生着重大变化。电气自动化技术正逐步引入电力工业工程中，扮演着重要的角色。现今，电力需求日益增大，能源结构也在逐步调整，传统电力运行模式已不适应当前电力工程的现代化需求。电气自动化技术凭借其独特优势，如控制精准性、高效运行及智能决策等方面，正不断融入电力工业各环节，为电力供应的稳定性、可靠性及经济性注入强大动力。

## 1 电气自动化技术理论体系构建

电气自动化技术以控制论为核心，融合电力电子、计算机科学及通信技术成果，技术体系分三个层级：基础控制层依托 PLC 与 DCS，实现电力设备高精度闭环控制；信息交互层借助工业以太网与 5G 技术，构建低时延、高可靠数据传输通道；智能决策层基于大数据与机器学习算法，实现电力系统动态优化调度。控制理论层面，模型预测控制（MPC）与自适应控制结合，解决了传统 PID 控制在非线性系统中的不足。MPC 通过滚动优化实时调整参数，适应新能源波动；自适应控制通过在线参数辨识，增强系统鲁棒性。多智能体系统（MAS）理论使分布式发电单元自主分配功率，提升微电网效率。电力电子技术突破为电气自动化提供硬件支撑。高压直流输电中的模块化多电平换流器（MMC），通过子模块冗余设计，实现高电压低损耗传输。碳化硅（SiC）与氮化镓（GaN）等宽禁带半导体器件，将开关频率提升至 MHz 级，降低无源

元件体积与重量，为紧凑型智能变电站设计创造条件。

## 2 发电环节的自动化控制创新

发电环节的自动化控制正经历从单机自动化向系统协同控制的转变。在传统火电领域，超临界机组协调控制系统（CCS）通过引入前馈补偿与状态反馈，将负荷响应速度提升至每分钟 5% 额定功率，同时将锅炉与汽轮机的耦合效应降低 30%。核电领域，数字化仪控系统（DCS）采用三重冗余设计，结合故障安全架构，确保了反应堆控制的安全性及可靠性。新能源发电的自动化控制面临更大挑战。风电场的有功功率控制需兼顾风速预测与电网调度指令，通过变桨距控制与双馈感应发电机的转子侧变流器协同，实现最大功率点跟踪（MPPT）与低电压穿越（LVRT）的双重目标。光伏电站的集群控制则依赖分布式优化算法，将全局功率指令分解至各个逆变器，避免因云层遮挡导致的功率振荡。储能系统的接入进一步丰富了发电环节的自动化手段。电池储能系统（BESS）通过级联 H 桥拓扑结构，实现了直流侧与交流侧的解耦控制，可同时提供调频、调峰与备用服务。液流电池的自动化管理则侧重于电解液流量的精准控制，通过泵速调节与浓度监测，延长了电池的使用寿命。

## 3 输电环节的动态监测与保护

输电环节的自动化技术以广域测量系统（WAMS）为核心，通过同步相量测量单元（PMU）的密集部署，实现了电网动态特性的实时感知。PMU 以每秒 120 帧的采样率捕获电压、电流的相量信息，结合全球定

位系统（GPS）的同步授时，构建了时间与空间双重维度的电网模型。基于 WAMS 数据的在线稳定评估算法，可提前 10-30 秒预测系统失稳风险，为预防控制提供决策依据。柔性输电技术（FACTS）的自动化控制是提升输电能力的关键。静止无功补偿器（SVC）通过晶闸管控制的电抗器与电容器组，实现了动态无功功率的快速调节，将输电线路的功率因数提升至 0.95 以上。统一潮流控制器（UPFC）则集成了串联补偿与并联补偿功能，通过双变流器结构，可同时控制线路的有功与无功潮流，显著提高了电网的输电灵活性。输电线路的故障定位与自愈技术依赖自动化系统的精准判断。行波测距法通过检测故障点产生的电磁波到达两端监测点的时间差，将定位误差控制在 500 米以内。分布式光纤传感技术则利用拉曼散射效应，实现了沿线路每米级别的温度与应变监测，可提前发现导线覆冰、舞动等异常状态。结合自动重合闸与自适应保护策略，输电线路的自愈时间已缩短至毫秒级。



#### 4 变电环节的智能集成与运维

智能变电站是变电环节自动化的核心载体，其架构遵循“三层两网”设计原则，即站控层、间隔层与过程层，以及站控层网络与过程层网络。过程层采用合并单元（MU）与智能终端的数字化接口，实现了电流、电压等模拟量的就地采集与开关量的直接控制，消除了传统变电站中大量二次电缆的电磁干扰问题。一体化监控系统是智能变电站的“大脑”，通过 IEC61850 标准的数据模型，实现了不同厂商设备的互操作性。该系统集成了五防闭锁、顺序控制、故障录波等功能，可通过图形化界面完成操作票的自动生成与执行。同时，基于状态监测的设备评估模块，可实时计算变压器、断路器等主设备的健康指数，为预知性维护提供数据支持。变电设备的自动化检修技术正从定期检修向状态检修转型。局部放电在线监测通过特高频（UHF）传感器捕获设备内部的放电脉冲，结合模式识别算法，可区分电晕放电、沿面放电等缺陷类型。红外热成像技术则通过非接触式测温，发现接触不良、过载等热缺陷。机器人巡检系统的应用，进一步提升了巡检效率，激光雷达导航与视觉识别技术的结合，使得机器人能够自主完成设备外观检查与仪

表读数。

#### 5 配电环节的柔性互动与需求响应

配电环节自动化主要是基于主动配电网（ADN）为发展方向，让分布式电源、储能装置与可控负荷等实现协调控制让供需两侧实现柔性互动。软件定义网络（SDN）技术应用于配电通信网中，以逻辑上集中的控制平面构建，让数据流的传输路径实现动态化调整，以更好地满足不同业务对带宽与时延的实际需求。需求响应（DR）技术的自动化则可通过智能电表与家庭能力管理系统（HEMS）的协同来实现。分时电价、实时电价机制的构建，主要是以价格信号来引导用户对用电行为及时调整，而直接负荷控制则将远程切断非关键负荷，以达到紧急情况下的功率平衡。这样的强化学习的需求响应则让算法得以经，可基于用户历史用电数据与舒适度偏好，自动生成个性化用电节能方案。微电网自动化控制则创新了配电环节，相关部门以多能流计算模型，微电网则让多能源联合起来优化调度，如电、热、冷等。孤岛检测、无缝切换技术则让微电网在并网与离网模间实现平稳过渡，而分布式电源的即插即用功能，则让新增设备的接入流程更简化。区块链技术应用于微电网交易中，则可以智能合约的方式来达到点对点的能源交易，让分布式能源的利用效率显著提升。



#### 6 电气自动化技术的未来优化策略

##### 6.1 基于数字孪生的动态优化策略

当前，数字化孪生技术广泛应用于电力系统，在动态优化方面开辟了新的路径，其可构建更真实、形象的电力系统虚拟化镜像，以形成物理实体与数字模型的实时双向交互态势。数字孪生技术应用于发电环节，有着明显的技术优势。该技术可对不同工况下设备的热力学特征精准模拟，可细致呈现诸多方面，如燃料燃烧的微观反应、设备整体的能量转换效率等，系统可基于这些模拟的数据，深度优化燃烧过程，以合理调整相关参数，如燃料供给量、空气配比等，让燃烧总功率更高，最大程度减少污染物排放。同时，相关部门还可制定科学合理的维护计划，对于设备部件的磨损与老化情况进行提前预判，以安排专业人员进行精准维护，防止出现过度维护现象或维护不足问

题。数字孪生应用于仿真线路的电磁暂态过程中,可对新设备接入时对系统稳定性影响可生动呈现,还可对不同时间、不同荷载情况下新设备运行状况生动模拟,并对电压、频率等关键参数作用深入分析,以对潜在风险提前评估,为新设备的有效接入、系统稳定性运行等提供重要的技术支撑和参数依据。不过,数字孪生最大的光战主要体现在“多源异构数据融合、高精度模型构建”等方面。相关技术人员要有效整合不同设备、不同系统的数据,并引入物理模型、数据驱动等方法,让数据模型不断实现迭代更新,以更好地适应电力系统的动态变化。

## 6.2 多源异构数据融合分析方法

电力工业工程可产生的数据有许多明显特征,如多源性、异构性、海量等,这些重要数据包括了电力系统运行的关键信息,但怎样从这些信息中提取重要的、有价值的内容则成为当前技术部门面临的难题,基于此,数据融合技术则应运而生,这一融合式新技术中,边缘计算、云计算的协同架构则发挥了重要作用。这一架构将一些计算任务下沉到现场设备,让设备在本地运行过程中则可实现初步数据处理功能,这样则可降低一些不必要的数据传输,让数据传输延迟现象得以减少,让数据处理实效性得以提升。同时,基于深度学习的特征提取算法也为数据挖掘提供了强大的技术支撑。这一工具的有效运用,可对电力设备运行中的异常特征自动识别,还可对大量正常与异常数据的识别与学习,构建精准化的识别模型。当电力设备运行中出现数据异常,或偏离正常模式时,算法则可快速而精准捕捉到异常情况并发现实时预警信号,让故障在早期则得到及时预警,为技术人员及时维修设备提供帮助。不过,数据融合过程中,相关人员尤其要重视数据安全与隐私保护等关键性问题。当数据共享范围逐步扩大时,会增加泄露敏感信息的风险,相关部门或技术人员则可借助同态加密与联邦学习等先进技术,在确保数据可用的基础上,以对相关数据作加密处理,让数据在传输和使用过程中不出现信息泄露或盗用数据的问题,确保电力系统的数据安

## 参考文献:

- [1] 李巍.电气自动化技术在电力工程中的应用分析[J].光源与照明,2023,(11):216-218.
- [2] 练坚,武亦文.电气自动化技术在电力工程中的应用探索[J].中国品牌与防伪,2023,(10):64-67.
- [3] 李再丽.电力工程中的电气自动化技术应用[J].信息系统工程,2023,(08):56-59.
- [4] 刘鹏飞.电气自动化技术在电力工程中的应用[J].造纸装备及材料,2023,52(07):54-56.
- [5] 司永祥.电气自动化技术在电力工程中的应用[J].无线互联科技,2021,18(13):89-90.

全性及安全运用等。

## 6.3 自适应安全防护体系构建

目前,电气自动化系统在快速发展中,其网络化程度也在提升,也面临着复杂的网络安全问题,因此,电力总该要构建自适应安全防护体系。这一体系有着动态调整安全策略的能力,可基于复杂而多变的攻击方式来将防护措施及时调整或升级,以更好地应对不同安全挑战。它主要是由三个层面来构建密切的防护链条,如威胁感知层、分析决策层与执行响应层等。威胁感知层主要是对网络流量与设备状态实时监测,对系统各类运行数据实时收集,能及时发现潜在的安全风险。分析决定层可深入分析感知层收集到的相关数据,引入先进的算法和模型,精准识别一些高级威胁,如 APT 攻击、零日漏洞等,并精准判定威胁类型、来源和影响范围等,以为后续针对性策略的制定提供重要依据。执行响应层则会基于分析决策层的相应指令来及时采取防火墙规则、入侵检测系统启动等行动,防止威胁的迅速扩散。同时,基于软件定义安全(SDS)技术也具有很大的灵活,可更好地实现系统的防御功能,这一技术可对一些安全组件灵活配置,如防火墙、入侵检测等方面,还可基于不同安全需求和场景,将安全策略快速调整,让系统防御弹性得以提升,以确保电气自动化系统在日渐复杂的网络环境中安全、稳定运行。

## 7 结语

电气自动化技术已成为电力工业工程智能化转型的核心驱动力,其通过控制理论的创新、信息技术的融合与电力电子技术的突破,实现了电力系统从“被动响应”到“主动优化”的跨越。未来,随着数字孪生、多源数据融合与自适应安全防护等技术的深化应用,电气自动化将推动电力工业工程向更高效率、更低排放、更强韧性的方向发展。这一进程不仅需要技术层面的持续创新,更需政策引导、标准制定与人才培养的协同推进,以构建适应新型电力系统需求的自动化技术生态。