

# 电气工程及其自动化技术下的电力系统自动化发展分析

王钰龙

宁夏宝丰能源集团股份有限公司 宁夏 银川 750000

**摘要：**电力系统作为国民经济的核心基础设施，其自动化水平直接关乎能源安全与社会经济发展。本文围绕电气工程及其自动化技术背景下的电力系统自动化发展展开分析，梳理了其从起步、发展到成熟的历程，探讨了该技术在发电、输电、配电及用电各环节的具体应用，包括自动化控制系统、智能电网、分布式能源接入等关键技术。同时，剖析了当前电力系统自动化面临的成本高、网络复杂、信息传递难等挑战，并展望了智能化、分布式能源与微电网融合、与物联网云计算深度融合及提升安全性可靠性的未来趋势，为推动电力系统自动化升级提供参考。

**关键词：**电气工程；自动化技术；电力系统；自动化发展

引言：随着电气工程及其自动化技术的飞速演进，电力系统正经历从传统人工操作向智能化、信息化的深刻变革。从早期的初步自动化探索，到如今智能电网、新能源并网等技术的广泛应用，电力系统自动化已成为实现能源高效利用、促进清洁能源转型的关键支撑。本文立足电气工程及其自动化技术发展脉络，系统分析其在发电、输电、配电、用电全环节的应用实践，深入探讨当前面临的技术成本、网络结构及信息传递等挑战，并对未来智能化、多技术融合等发展趋势进行展望，旨在为电力系统自动化的持续创新与优化提供理论与实践参考。

## 1 电气工程自动化技术的发展历程

### 1.1 起步阶段

20世纪50-70年代是电气工程自动化技术的起步阶段。这一时期，受限于电子技术和控制理论的发展水平，自动化技术在电力系统中的应用处于探索阶段。主要表现为采用继电器、模拟式仪表等简单设备实现基础控制功能，如发电机的励磁调节、输电线路的简单保护等。控制方式以本地手动操作为主，自动化程度低，依赖人工巡检和经验判断，系统响应速度慢、可靠性较差。尽管技术简陋，但这一阶段为后续发展奠定了基础，初步实现了电力系统部分环节的自动化控制构想，推动了对电力系统运行规律的早期认知。

### 1.2 发展阶段

20世纪80-90年代，随着计算机技术和微电子技术的兴起，电气工程自动化技术进入发展阶段。微处理器、PLC（可编程逻辑控制器）等设备开始应用于电力系统，实现了局部自动化控制的突破。例如，发电厂引入分散控制系统（DCS），实现了机组运行参数的集中监控；输电网络中开始采用数字式保护装置，提升了故障处理

的准确性。这一阶段，自动化控制从单环节扩展到多环节协同，控制精度和响应速度显著提升，但系统间的信息交互仍较有限，尚未形成全局统一的自动化体系。

### 1.3 成熟阶段

21世纪以来，电气工程自动化技术步入成熟阶段。以计算机网络、通信技术和智能算法为核心，电力系统自动化实现了从局部控制到全局协同的跨越。智能电网概念提出并落地，SCADA（Supervisory Control And Data Acquisition，数据采集与监视控制系统）、EMS（能量管理系统）等广泛应用，实现了电力系统运行状态的实时监测、智能调度和优化决策。同时，新能源发电控制、分布式能源接入等技术逐步成熟，推动自动化技术向多元化、智能化方向发展。这一阶段，电力系统形成了覆盖发电、输电、配电、用电的全流程自动化体系，具备较高的灵活性和适应性，为能源转型和高效利用提供了有力支撑<sup>[1]</sup>。

## 2 电气工程及其自动化技术在电力系统中的应用

### 2.1 发电环节的应用

#### 2.1.1 自动化控制系统

在传统火力、水力等发电领域，自动化控制系统已成为保障机组高效稳定运行的核心。该系统通过传感器实时采集锅炉、汽轮机、发电机等关键设备的温度、压力、转速等参数，经PLC或DCS系统分析处理后，自动调节燃料供给、水流速度、励磁电流等关键变量，实现机组的闭环控制。例如，火电厂的燃烧自动化系统可根据负荷需求动态调整煤粉量与风量配比，降低能耗的同时减少污染物排放；水电站的水轮机调速系统能快速响应电网频率变化，确保发电功率稳定。此外，自动化控制系统还具备故障诊断功能，可及时预警设备异常并触发保护机制，大幅提升了发电设备的可靠性和使用寿命，

同时减少人工干预,降低人为操作失误风险。

### 2.1.2 新能源发电控制技术

随着风电、光伏等新能源发电占比提升,新能源发电控制技术成为解决其波动性、间歇性问题的关键。该技术通过最大功率点跟踪(MPPT)算法,实时调节光伏板倾角、风机桨距角,确保新能源设备在光照、风速变化时始终运行在最佳工况,提升能量转换效率。同时,新能源发电控制系统需与电网调度系统联动,通过储能协调控制、功率预测算法等,平抑发电波动,满足电网对有功、无功功率的要求。例如,风电场的集控系统可根据天气预报提前调整机组出力计划,并通过无功补偿装置维持并网点电压稳定,保障新能源电力安全高效并入主网,为清洁能源大规模应用提供了技术支撑,推动能源结构绿色转型。

## 2.2 输电环节的应用

### 2.2.1 智能电网技术

智能电网技术借助先进的传感、通信和信息技术,实现了输电网络的智能化监测与动态调控。通过部署在输电线路、变电站的智能传感器,可实时采集电压、电流、温度等运行数据,经网络传输至调度中心进行大数据分析,精准识别线路损耗、设备老化等潜在问题。同时,智能电网具备自愈能力,当发生线路故障时,能快速定位故障点并自动切换供电路径,缩短停电时间。

### 2.2.2 柔性输电技术

柔性输电技术以电力电子器件为核心,能灵活控制输电系统的电压、电流和功率,有效解决传统输电中稳定性不足的问题。其通过静止同步补偿器(STATCOM)、可控串联补偿装置(TCSC)等设备,快速调节电网无功功率,抑制输电线路的电压波动和潮流震荡。在新能源集中并网的输电场景中,柔性输电技术可平抑风电、光伏并网带来的功率冲击,保障电网频率稳定。

## 2.3 配电环节的应用

### 2.3.1 配电网自动化系统

配电网自动化系统通过集成智能终端、通信网络和监控平台,实现了配电网的实时监控、故障定位与自动恢复。系统在配电线路、开关站等节点部署智能监测设备,实时采集电流、电压及设备状态信息,经数据处理后生成网络运行拓扑图。当发生线路故障时,系统能在几秒内定位故障区段,自动遥控断开故障点两侧开关,恢复非故障区域供电,大幅缩短故障处理时间。

### 2.3.2 分布式能源接入控制

分布式能源接入控制技术为光伏、储能、小型风电

等分布式电源并入配电网提供了关键支撑。通过智能逆变器、能量管理系统等设备,可实现分布式能源的功率调节、并网同步与安全隔离。系统能实时监测分布式电源输出功率与配电网负荷变化,动态平衡有功与无功功率,避免电压波动或频率偏移。例如,在居民社区光伏微电网中,接入控制系统可协调光伏出力与居民用电需求,多余电量优先存储或反向送入主网,提高清洁能源利用率,同时保障配电网的稳定运行,推动分布式能源的规模化应用。

## 2.4 用电环节的应用

### 2.4.1 智能电表与用电信息采集系统

智能电表与用电信息采集系统是用电环节自动化的核心组成部分。智能电表具备双向通信和数据存储功能,能实时记录用户的用电量、电压、电流等信息,并通过电力线载波或无线通信技术将数据上传至采集系统。系统对海量用电数据进行汇总分析,可实现远程抄表、电费自动结算,还能为用户提供用电明细查询服务。同时,供电部门借助该系统掌握区域负荷规律,为负荷预测和电网规划提供数据支持,例如在用电高峰期提前调配电力资源,避免过载停电,提升用电服务质量与管理效率。

### 2.4.2 智能家居与智能用电控制

智能家居与智能用电控制技术通过物联网将家用电器、照明、安防等设备互联,实现用电的智能化管理。用户可通过手机APP或语音指令远程控制家电开关、调节运行模式,如提前开启空调调节室温。系统还能根据用户用电习惯自动优化设备运行,比如在电价低谷时段启动热水器,降低用电成本。此外,智能用电控制系统具备过载保护、漏电报警等功能,能及时发现用电安全隐患并切断电源,保障家庭用电安全,同时减少能源浪费,推动居民生活向节能化、便捷化转型<sup>[2]</sup>。

## 3 电力系统自动化发展面临的挑战

### 3.1 技术应用成本比较高

电力系统自动化技术的大规模应用面临显著的成本压力。智能传感器、电力电子器件、通信设备等核心硬件价格偏高,尤其在老旧电网改造中,需替换大量传统设备并铺设新的通信线路,前期投入巨大。同时,自动化系统的软件开发、调试及后期维护也需要持续资金支持,包括技术人员培训、系统升级等隐性成本。对于经济欠发达地区或中小型电力企业而言,高额的成本投入成为制约技术普及的主要障碍,导致不同区域间电力系统自动化水平差距扩大。

### 3.2 网络结构更复杂

随着分布式能源、微电网的接入及跨区域电网互联,电力系统网络结构日趋复杂。传统放射状或简单环状网络逐渐演变为多源、多端的网状拓扑,节点数量和连接方式大幅增加。不同类型电源(如风电、光伏、传统火电)的特性差异大,运行控制逻辑复杂,易出现潮流分布不均、电压不稳定等问题。此外,用户侧多元化用电设备的接入进一步加剧了网络结构的动态变化,增加了系统规划、调度 and 管理的难度,传统的网络分析模型难以适应复杂网络的运行需求。

### 3.3 信息传递难度大

电力系统自动化依赖海量运行数据的实时传递与共享,但信息传递过程面临多重阻碍。一方面,系统覆盖范围广,部分偏远地区通信基础设施薄弱,存在信号不稳定、传输延迟等问题,影响数据的实时性。另一方面,不同设备和系统的通信协议不统一,数据格式差异大,导致信息孤岛现象严重,难以实现跨平台的数据融合<sup>[3]</sup>。此外,海量数据传输过程中易受电磁干扰、网络攻击等影响,可能出现数据丢失、篡改等情况,威胁信息传递的准确性和安全性。

## 4 电力系统自动化的未来发展趋势

### 4.1 智能化发展

电力系统自动化的智能化发展将成为核心趋势。人工智能、机器学习等技术将深度融入系统运行全过程,使电网具备自主感知、分析决策和自我优化能力。智能调度系统可通过历史数据和实时信息预测负荷变化,动态调整发电计划与输电方案;智能巡检机器人将替代人工完成线路检测,结合图像识别技术精准识别设备缺陷。此外,智能算法能不断优化能源分配策略,实现电力生产、输送与消费的高效匹配,推动电力系统从“被动响应”向“主动预见”转变。

### 4.2 分布式能源与微电网的融合发展

分布式能源与微电网的融合将进一步深化,形成灵活高效的区域能源系统。未来,光伏、风电等分布式电源将与储能设备、微电网控制系统深度协同,实现本地能源的自主平衡与优化利用。微电网可根据主网运行状态灵活切换并网或孤岛模式,在保障区域供电稳定性的同时,减少对主网的依赖。这种融合模式能提高清洁能源消纳率,降低远距离输电损耗,尤其适用于偏远地区

或工业园区,为能源供应多元化提供有力支撑。

### 4.3 与物联网、云计算技术的深度融合

电力系统自动化将与物联网、云计算技术实现深度融合。物联网技术通过海量传感器构建全面的感知网络,实时捕捉设备状态与环境参数,为系统控制提供精细数据支撑;云计算平台凭借强大的算力与存储能力,可集中处理全系统的海量数据,实现跨区域、跨层级的信息共享与协同决策。例如,云端能源管理平台能整合不同区域的用电数据,优化全局能源配置,而物联网设备则确保数据采集的实时性与全面性,二者结合推动电力系统向高度信息化、协同化演进。

### 4.4 提升系统的安全性和可靠性

提升系统的安全性和可靠性将成为电力系统自动化发展的关键方向。针对网络攻击、设备故障等潜在风险,未来系统将构建多层级安全防护体系,包括加密通信技术保障数据传输安全,入侵检测系统实时监测异常访问,以及冗余设计降低单点故障影响。同时,通过数字孪生技术构建虚拟电网模型,可模拟各种极端工况下的系统响应,提前发现薄弱环节并优化防护策略,确保电力系统在复杂环境下稳定运行<sup>[4]</sup>。

## 结束语

综上所述,在电气工程及其自动化技术的驱动下,电力系统自动化历经多阶段发展,已在发电、输电、配电、用电各环节实现深度应用。尽管面临成本、网络结构、信息传递等挑战,但智能化、分布式能源与微电网融合、多技术深度结合及安全性提升等趋势明确。未来,随着技术持续突破,电力系统自动化将更高效、可靠、智能,为能源转型与社会经济发展提供坚实电力保障,也为相关技术创新与产业升级指明方向。

## 参考文献

- [1]王然.电气工程及其自动化技术下的电力系统自动化发展研究[J].科技创新与应用,2021,11(16):160-162.
- [2]高山山.刍议电气工程及其自动化技术下的电力系统自动化发展[J].新型工业化,2021,11(02):238-239.
- [3]夏林.电气工程及其自动化技术下的电力系统自动化发展探讨[J].中国设备工程,2020(23):181-182.
- [4]聂晨浩.电气工程及其自动化技术下的电力系统自动化发展分析[J].大众标准化,2020(06):146-147.