

# 电力系统电气工程自动化的智能化运用

于志强

国家能源华北电力有限公司廊坊热电厂 河北 廊坊 065000

**摘要：**电力系统电气工程自动化正深度融入智能化技术，实现从监测、控制到决策的全面升级。通过人工智能、大数据、物联网等技术融合，系统在电力调度、设备监测、故障诊断、负荷预测及安全防护等方面取得突破。智能化技术大幅提升了系统响应速度、决策精准性与自适应性，降低了人工干预需求。然而，数据安全、算法实时性及标准化缺失等挑战仍待解决，需通过技术架构创新与政策规范协同推动行业发展。

**关键词：**电力系统；电气工程自动化；智能化运用

引言：随着能源革命与数字技术的深度融合，电力系统电气工程自动化正加速向智能化方向演进。传统自动化模式在应对新能源高比例接入、电网结构复杂化等新挑战时，逐渐显现出响应迟缓、自适应能力弱等短板。智能化技术的引入，通过数据驱动、智能算法与设备互联，实现了对电力系统的全息感知、动态优化与自主决策，为提升供电可靠性、降低运行成本及促进清洁能源消纳提供了关键支撑。

## 1 电力系统电气工程自动化基础理论

### 1.1 电气工程自动化的核心概念

(1) 定义与技术范畴：电气工程自动化是依托电气技术、控制理论与信息技术，实现电力生产、传输、分配及消费全流程自动监测、调节与控制的技术体系。其技术范畴涵盖电力设备状态监控、运行参数调节、故障诊断与自愈、调度优化等，核心目标是提升电力系统运行的安全性、稳定性与经济性。(2) 传统自动化技术的局限性：传统自动化技术以集中式控制为主，存在响应延迟明显、自适应能力弱等问题，难以应对复杂电网的动态变化；依赖固定控制逻辑，对突发故障的处理灵活性不足；数据处理能力有限，无法充分挖掘海量运行数据的价值，且系统兼容性较差，跨平台协同难度大。

### 1.2 电力系统自动化关键技术

(1) 监控与数据采集系统 (SCADA)：作为电力系统自动化的基础核心技术，SCADA通过部署远程终端单元 (RTU) 和传感器，实时采集电压、电流、功率等关键数据，经通信网络传输至控制中心，实现对全网设备的集中监控、数据记录与故障报警，为调度决策提供数据支撑。(2) 分布式控制系统 (DCS)：采用“分散控制、集中管理”模式，将系统划分为多个独立控制单元，各单元自主完成局部控制任务，同时通过高速网络实现信息交互。该技术降低了集中控制的风险，提升了

系统可靠性与扩展性，适用于大型电站、变电站等复杂场景。(3) 可编程逻辑控制器 (PLC)：以微处理器为核心，具备可编程、抗干扰强、响应快等特点，主要用于电力设备的局部控制，如开关动作、电机调速等，可通过模块化设计适配不同场景需求，是电气工程自动化的重要执行单元<sup>[1]</sup>。

### 1.3 智能化技术的引入与优势

(1) 人工智能、大数据、物联网的技术融合：物联网实现电力设备全生命周期数据的全面感知与互联；大数据技术对海量多源数据进行清洗、分析与挖掘，提取隐藏规律；人工智能 (如深度学习、强化学习) 赋能故障诊断、负荷预测与智能调度，三者协同构建智能化电力系统架构。(2) 智能化对系统响应速度、决策能力的提升：智能化技术使系统响应时间从秒级压缩至毫秒级，可快速应对电网波动与故障；通过数据驱动的智能决策模型，替代传统经验型调度，提升决策的精准性与前瞻性；同时实现系统自学习、自优化，降低人工干预成本，显著提升电力系统的运行效率与可靠性。

## 2 电力系统电气工程自动化的智能化运用

### 2.1 智能控制技术

(1) 模糊控制与神经网络在电力调度中的应用：传统电力调度依赖固定算法，难以应对电网负荷波动、新能源并网等复杂动态场景。模糊控制技术通过模拟人类模糊推理逻辑，无需精确数学模型即可处理调度中的不确定性因素，例如在区域电网功率平衡调节中，可根据负荷变化趋势动态调整机组出力，减少电压、频率波动。神经网络则凭借强大的非线性映射能力，构建多维度调度模型，通过学习历史调度数据优化控制策略，例如在跨区域电网互联调度中，可快速适配不同区域的用电特性，提升调度的灵活性与精准性，二者结合使电力调度从“被动响应”转向“主动预判”。(2) 专家系统

在故障诊断中的实践：专家系统整合电力领域专家的知识与经验，形成规则库和推理机制，可高效定位电网故障。例如在输电线路故障诊断中，系统通过采集电流、电压突变数据，与规则库中“短路故障特征”“接地故障特征”等条目匹配，10秒内即可判断故障类型（如单相接地、三相短路）及故障位置，同时自动生成检修方案。相比传统人工排查，专家系统不仅缩短故障诊断时间80%以上，还能避免因经验差异导致的误判，为故障抢修争取关键时间。

## 2.2 智能监测与故障诊断

(1) 基于机器学习的设备状态评估：通过机器学习算法（如支持向量机、随机森林）分析电力设备（变压器、断路器等）的运行数据（温度、油中溶解气体含量、绝缘电阻等），构建状态评估模型。例如对变压器的评估中，模型可识别“局部过热”“绝缘老化”等潜在隐患的早期特征，准确率达95%以上，提前3-6个月发出预警，避免设备突发性故障。同时，算法可通过持续学习新数据优化模型，适应设备老化过程中的特性变化<sup>[2]</sup>。

(2) 物联网传感器与实时数据传输技术：在电力设备关键部位部署物联网传感器（如光纤光栅传感器、无线温度传感器），实现温度、振动、压力等参数的24小时不间断采集。数据通过5G/边缘计算技术实时传输至控制中心，延迟控制在100毫秒以内。例如在变电站GIS设备监测中，传感器可实时捕捉设备内部局部放电信号，结合后台分析快速判断绝缘状态，解决传统人工巡检“盲区多、效率低”的问题，使设备故障率降低30%。

## 2.3 智能优化与调度

(1) 遗传算法在电网负荷分配中的应用：遗传算法模拟生物进化过程（选择、交叉、变异），可在多约束条件下（机组容量、能耗成本、环保指标）寻找最优负荷分配方案。例如在区域电网中，算法可根据各火电机组的煤耗曲线、新能源出力预测，将负荷合理分配至不同机组，使整体能耗降低5%-8%，同时减少污染物排放。相比传统线性规划方法，遗传算法能更高效处理非线性、多目标优化问题，适应复杂电网结构。(2) 深度学习在新能源发电预测中的实践：深度学习（如LSTM、CNN）通过分析历史发电数据（风速、光照强度、温度）、气象预报数据及电网负荷数据，构建新能源（风电、光伏）发电预测模型。例如对风电场的预测中，模型可实现短期（1-24小时）发电功率预测，误差率控制在10%以内，为电网调度提供精准依据。通过提前掌握新能源出力波动规律，可优化储能设备充放电策略，减少弃风弃光现象，提升新能源消纳率15%以上。

## 2.4 智能保护与安全防御

(1) 自适应继电保护技术：传统继电保护定值固定，难以适应电网运行方式变化（如新能源并网、负荷转移），易导致保护误动或拒动。自适应继电保护技术可实时采集电网运行参数（电流、电压、阻抗），自动调整保护定值与动作逻辑。例如在配电网中，当分布式光伏大量并网导致线路电流变化时，保护装置可动态调整过流保护定值，确保故障时快速切除故障段，同时避免正常运行时误动作，提升保护可靠性。(2) 区块链在电力信息安全中的应用：区块链的去中心化、不可篡改特性，可解决电力系统数据传输与存储的安全问题。例如在电力交易数据管理中，区块链可记录发电企业、用户的交易信息，每个节点均保存完整账本，防止数据被篡改或伪造；在调度指令传输中，通过区块链加密技术确保指令完整性，避免黑客攻击导致的调度混乱，为电力系统信息安全提供底层保障<sup>[3]</sup>。

## 2.5 人工智能辅助决策系统

(1) 数字孪生技术模拟电力系统运行：数字孪生技术构建与物理电网1:1的虚拟模型，通过实时同步设备状态、环境参数，模拟不同场景（如极端天气、设备故障、新能源并网）下的系统运行情况。例如在电网规划阶段，可通过虚拟模型模拟新增变电站对区域电网的影响，优化选址与容量配置；在故障演练中，可模拟不同故障类型的影响范围，制定更精准的应急预案，减少物理试验的成本与风险。(2) 强化学习在电网重构中的优化策略：强化学习通过“智能体-环境-奖励”机制，让算法在与电网环境的交互中不断优化策略。在电网重构（如线路故障后调整供电路径）中，强化学习智能体可快速探索可行重构方案，以“网损最小、供电可靠性最高”为目标选择最优路径，重构时间从传统人工计算的30分钟缩短至5分钟以内。同时，算法可通过持续学习适应电网拓扑变化，为复杂电网的动态重构提供高效解决方案。

## 3 电力系统电气工程自动化智能化技术应用的挑战与对策

### 3.1 技术层面挑战

(1) 数据安全与隐私保护问题：智能化技术依赖海量电力数据（设备运行数据、用户用电数据、调度指令数据），数据在采集、传输、存储过程中面临多重安全风险。一方面，物联网传感器、无线传输网络易被黑客入侵，导致数据篡改或泄露，例如虚假负荷数据可能干扰电网调度决策；另一方面，用户用电数据包含个人隐私信息，若管理不当易引发隐私泄露问题。此外，电

力系统数据多为多源异构数据，现有加密技术难以兼顾安全性与数据处理效率，进一步加剧了数据安全风险。

(2) 算法复杂性与实时性矛盾：智能化算法（如深度学习、遗传算法）为提升精度往往设计复杂模型，需大量数据训练与计算资源支撑。然而，电力系统对实时性要求极高，例如故障诊断、继电保护需在毫秒级内响应。复杂算法的计算耗时较长，易导致决策延迟，例如在电网突发故障时，深度学习模型若需100毫秒以上完成故障定位，可能错过最佳抢修时机。同时，算法对动态电网环境的适应性不足，当电网拓扑、负荷特性发生突变时，模型需重新训练，难以满足实时控制需求。

### 3.2 管理层面挑战

(1) 标准化体系缺失：目前电力系统智能化技术应用缺乏统一标准，不同厂商的物联网设备、算法模型、数据接口互不兼容。例如，甲厂商的传感器数据格式与乙厂商的监测平台无法对接，导致数据孤岛现象；不同区域电网的智能化调度算法评价指标差异较大，难以实现跨区域协同调度。标准化缺失不仅增加了系统集成成本，还降低了技术推广效率，阻碍了智能化技术在电力系统中的规模化应用。(2) 跨部门协同难度大：电力系统涉及发电、输电、配电、用电等多个环节，分属不同管理部门（如发电企业、电网公司、用户管理部门）。智能化技术应用需各部门共享数据、协同决策，但现有管理模式，部门间存在数据壁垒与利益差异。例如，新能源发电企业与电网公司在出力预测数据共享上存在分歧，影响电网调度优化；用电管理部门与设备运维部门协同不足，导致用户侧异常用电数据无法及时反馈至运维端，延误故障处理<sup>[4]</sup>。

### 3.3 解决方案与建议

(1) 边缘计算与云计算协同架构：采用“边缘计算+云计算”混合架构，平衡算法复杂性与实时性。边缘计算部署于电力设备终端（如变电站、风电场），可快速处理实时性要求高的任务（如故障诊断、继电保护），减少数据传输延迟；云计算则集中处理大规模数据（如长期负荷预测、系统优化），为边缘计算提供模

型训练与参数更新支持。同时，在架构中引入量子加密技术，对数据传输与存储进行全方位保护，解决数据安全问题。(2) 政策支持与行业规范制定：政府部门应出台专项政策，推动电力系统智能化技术标准化建设，例如制定统一的数据接口标准、算法评价指标、设备认证体系，促进不同厂商技术兼容。同时，建立跨部门协调机制，明确各主体在数据共享、协同决策中的责任与权益，例如设立国家级电力数据共享平台，规范数据共享范围与使用流程，打破部门数据壁垒。(3) 复合型人才的培养模式：构建“高校+企业+科研机构”协同培养体系，培养兼具电力专业知识与智能化技术能力的复合型人才。高校可开设“电力系统智能化”交叉学科专业，增设人工智能、大数据、物联网等课程；企业与科研机构通过实习、项目合作等方式，为学生提供实践机会，提升其技术应用能力。同时，加强对现有电力从业人员的培训，通过线上课程、线下workshops等形式，更新其知识体系，适应智能化技术发展需求。

### 结束语

电力系统电气工程自动化的智能化运用，是顺应能源转型与科技革命的必然选择。通过本文的探讨可知，智能化技术极大地提升了电力系统的运行效率、可靠性与灵活性，有效应对了新能源接入、负荷波动等复杂问题。然而，目前其发展仍面临技术融合深度不足、安全风险等挑战。未来，需持续加强技术创新，完善标准体系，推动跨领域协作，让智能化更好地赋能电力系统，为经济社会的绿色、稳定发展提供坚实支撑。

### 参考文献

- [1]田振华.智能化技术在电气工程自动化控制中的应用探讨[J].数字通信世界,2022,(11):137-139.
- [2]牟付海.试论电力系统电气工程智能化技术的运用[J].中国设备工程,2024,(18):26-28.
- [3]祁洪雨.智能化技术在电气工程自动化控制中的运用[J].电子技术,2024,53(08):322-323.
- [4]杨炜.电气自动化工程中的智能技术应用[J].集成电路应用,2024,41(08):230-231.