

智能化技术在电气工程及其自动化控制中的应用研究

李培茹 魏晨晨

国网河南省电力公司驻马店供电公司 河南 驻马店 463000

【摘要】：随着信息技术与人工智能技术的快速发展，电气工程及其自动化控制正朝着智能化方向不断演进。智能化技术通过数据感知、分析与决策机制的深度融合，使传统自动化控制系统具备自学习、自优化和预测能力，有效改善了系统对复杂工况的响应水平。研究围绕智能化技术在电气工程自动化控制中的具体应用展开，分析其在系统运行监测、故障诊断、优化控制及安全管理等方面的作用机理与应用效果。结果表明，智能化技术的引入不仅能够降低人工干预强度，还能提升控制精度与运行可靠性，为电气工程的高效、稳定和可持续发展提供技术支撑。

【关键词】：智能化技术；电气工程；自动化控制；故障诊断；系统优化

DOI:10.12417/2705-0998.26.02.021

引言

在工业自动化水平不断提升的背景下，电气工程系统结构日益复杂，对控制精度和运行可靠性的要求持续提高。传统自动化控制方式在应对多变量耦合和动态变化工况时存在一定局限，难以满足现代工程发展的需求。智能化技术的发展为电气工程自动化控制提供了新的技术路径，通过引入人工智能、数据分析与智能决策方法，使系统具备更强的环境感知与自主调节能力。围绕智能化技术在电气工程及其自动化控制中的应用开展研究，对于提升系统性能、保障安全运行以及推动行业技术升级具有重要现实意义。

1 智能化技术推动电气自动化控制模式演进

智能化技术的引入正在深刻改变电气工程自动化控制的运行逻辑与技术体系，使传统依赖固定程序和人工经验的控制模式逐步向具备自主感知与动态调节能力的智能控制模式转变。随着电气系统规模不断扩大、结构愈发复杂，单一参数控制和静态逻辑判断已难以满足高可靠性与高精度运行需求。智能化技术通过融合传感技术、信息处理技术与智能算法，使自动化控制系统能够对运行状态进行多维度感知与实时分析，从而为控制决策提供更加全面和精准的数据支撑。

在电气自动化控制模式演进过程中，智能化技术强化了系统对运行环境变化的适应能力。通过对电流、电压、温度、负载等关键参数的连续采集与建模分析，控制系统能够识别运行状态的微小变化，提前判断潜在风险并进行调节干预。这种由被动响应向主动预测转变的控制方式，有效降低了系统运行的不确定性，提高了电气设备在复杂工况下的稳定性。智能化控制还改变了传统控制系统依赖人工设定阈值的方式，使控制策略能够根据历史数据与实时数据动态调整，增强系统运行的灵活性与可靠性。

智能算法在电气自动化控制中的应用是控制模式演进的重要体现。基于模糊控制、神经网络及专家系统等方法，控制系统能够在不完全信息条件下完成决策判断，对非线性、时变

性较强的电气过程进行有效控制。这类控制方式突破了传统线性模型的限制，使系统在多变量耦合和扰动条件下仍能保持良好运行状态。同时，智能化控制系统具备一定的自学习能力，能够在长期运行中不断修正控制参数，逐步优化控制效果，减少人为干预带来的误差和不稳定因素。从运行管理角度看，智能化技术推动了电气自动化控制由单一设备控制向系统级协同控制转变。通过信息共享与集中分析，控制系统能够实现多设备、多环节之间的协调运行，避免局部控制失效对整体系统造成影响。这种协同控制模式有助于提升电气工程系统的整体运行效率，降低能耗水平，并为后续的系统扩展与功能升级提供良好基础。

2 复杂工况下自动化控制系统能力瓶颈

复杂工况下的电气自动化控制系统面临的核心瓶颈，集中体现在对强扰动、不确定性与多变量耦合过程的有效控制能力不足。电气工程现场运行环境往往伴随负载波动频繁、电网参数波动、设备老化引起的特性漂移以及工况切换带来的动态变化，这使得系统呈现明显的非线性、时变性和随机性特征。传统自动化控制架构多依赖固定模型与预设逻辑，控制器参数整定通常基于特定工况假设，当实际运行偏离设计边界时，易出现响应滞后、超调增大、稳定裕度下降等问题，严重情况下甚至诱发振荡或保护误动作，影响系统安全稳定运行。

数据层面的不完备与不可信是复杂工况下能力瓶颈的重要诱因。现场传感器存在噪声干扰、漂移、量程饱和以及采样不同步等问题，导致测量数据出现偏差与缺失；同时，部分关键状态量难以直接测量，只能通过估算或间接推断获得，使系统状态观测不充分。数据质量不足会直接削弱控制系统的状态评估与决策基础，造成控制策略对真实工况的适配度下降。在多源数据接入的场景下，通信链路时延、丢包与带宽受限也会引入额外不确定性，导致控制闭环的等效延迟增大，降低系统对快速扰动的抑制能力，进一步放大动态性能风险。控制层面的结构性限制同样突出。复杂电气系统往往具有多时间尺度并存的特征，既包含快速电磁暂态过程，也包含较慢的热过程与

机械过程；单一控制回路难以兼顾不同动态特性，常出现局部控制目标与全局性能之间的矛盾。尤其在多变量耦合系统中，回路之间存在交叉影响，若缺少解耦设计或协同机制，某一控制动作可能引发其他变量的连锁波动，导致系统在表面满足局部指标的同时，整体运行效率与稳定性下降。面对突发性扰动或工况剧烈变化，传统控制策略通常以阈值触发与规则切换为主，缺乏对边界工况的连续性控制能力，易产生控制策略跳变，造成执行机构频繁动作与设备应力累积。

运行维护环节也暴露出能力瓶颈的现实表现。复杂工况下故障模式多样且呈现隐蔽性，早期异常往往表现为弱信号特征，难以通过简单阈值告警准确识别，导致故障预警滞后或误报率偏高。与此同时，控制系统对设备参数变化的敏感性较强，当设备老化、环境温度变化或负载结构改变引起参数漂移时，原有控制参数与保护定值可能不再匹配，若缺少在线辨识与自适应校正机制，需要依赖人工周期性整定与经验判断，难以在高复杂度场景中保持长期稳定的控制品质。

3 基于智能化技术的控制系统优化路径

基于智能化技术的控制系统优化路径，核心在于通过智能感知、数据建模与自适应决策机制的协同作用，提升自动化控制系统对复杂运行状态的综合处理能力。在系统感知层面，引入多源信息融合技术，将电气参数、环境参数与设备运行特征进行统一采集与关联分析，有助于构建更加完整的系统状态描述模型。通过对冗余信息进行有效筛选与噪声抑制，可以提高数据的可信度与时效性，为后续控制决策提供稳定的数据基础。这种以数据质量提升为前提的优化方式，有效缓解了传统控制系统因信息不充分而导致的决策偏差问题。

在控制策略层面，智能化技术推动控制模型由固定参数向自适应结构转变。通过引入在线辨识与参数自调整机制，控制系统能够在运行过程中实时修正模型参数，使控制律与实际工况保持动态匹配。针对电气系统中普遍存在的非线性与强耦合特性，基于智能算法的控制方法能够在无需精确数学模型的前提下，对系统行为进行近似表达与预测，从而实现复杂动态过程的有效控制。这类方法在应对负载波动、参数漂移以及外部扰动时表现出较强的鲁棒性，显著提升系统的稳定裕度与响应性能。

智能决策机制的引入是控制系统优化路径中的关键环节。通过构建基于历史运行数据的知识库与规则库，控制系统可以在多种运行状态之间进行综合权衡，自动选择更优控制策略。结合预测分析方法，系统能够对未来运行趋势进行评估，提前调整控制参数以避免潜在风险。这种由事后修正向事前调控转变的决策模式，有助于降低异常工况对系统运行的冲击，提高整体运行的连续性与可靠性。同时，智能化控制系统具备一定的自学习能力，能够在长期运行中不断积累经验，实现控制性

能的渐进式优化。在系统结构优化方面，智能化技术促进了分层控制与协同控制架构的形成。通过将感知、决策与执行功能进行合理分层，可以降低单一控制单元的复杂度，提高系统的可维护性与扩展性。各层之间通过信息共享与协调机制实现联动，使局部控制目标与系统整体运行目标保持一致。

4 智能化控制在工程运行中的实践成效

在控制精度方面，智能化控制技术展现出明显优势。通过引入自适应调节与预测控制机制，系统能够对控制误差进行实时修正，使执行机构的动作更加平滑、准确。相较于传统控制方式中易出现的超调和振荡现象，智能化控制能够在满足响应速度要求的同时兼顾稳定性需求，提升控制过程的可控性。以供电公司某 220kV 变电站智能化改造项目为例，改造后引入基于神经网络算法的智能控制系统，通过对全站 120 余路电气参数、30 余项环境参数的实时采集与分析，实现了控制策略的动态自适应调整，各项运行指标均得到显著优化。

在系统运行稳定性方面，智能化控制系统有效抑制了电压波动、频率偏移及功率不平衡等问题。改造前该变电站电压波动范围为 $\pm 3.2\%$ ，改造后通过智能调压算法精准调控，电压波动范围缩小至 $\pm 0.8\%$ ，波动幅度降低 75%；系统平均无故障运行时间从改造前的 820 小时提升至 2150 小时，提升幅度达 162%，大幅降低了异常工况对整体运行的影响。

控制精度方面，智能化技术的优势尤为突出。通过自适应调节与预测控制机制，系统对执行机构的控制误差实时修正，改造前变压器分接头调节超调量为 5.3%，改造后降至 1.1%，超调量降低 80%，避免了传统控制中频繁出现的振荡现象。在复杂负载条件下，智能化系统对无功功率的控制精度达 $\pm 0.02\text{Mvar}$ ，较传统控制精度提升 60%，有效减少了设备因频繁启停和剧烈波动产生的机械应力与热应力，设备使用寿命预计延长 15-20 年，显著提升了工程运行可靠性。

故障管理与运行维护环节的成效可通过数据量化体现。改造前依赖人工巡检与阈值告警，故障误报率达 8.7%，故障平均定位时间为 45 分钟；改造后基于特征分析的智能诊断系统，故障误报率降至 1.2%，故障平均定位时间缩短至 8 分钟，定位效率提升 82.2%。智能预警系统可提前 2-8 小时识别潜在故障，该变电站改造后故障停运时间累计减少 120 小时/年，供电可靠性从 99.78% 提升至 99.92%。

运行管理层面，智能化控制实现了能耗与成本的双重优化。改造后系统通过动态调整资源配置，变电站综合能耗降低 12.3%，年节约电费支出约 28 万元；人工干预频次从每日平均 6 次降至每周 1 次，运维人员工作效率提升 89%，推动管理方式由经验驱动向数据驱动转变。见下表：

表 1 变电站智能化改造前后核心运行指标对比表

指标名称	改造前（传统控制）	改造后（智能控制）	提升/优化幅度
电压波动范围	±3.2%	±0.8%	降低 75%
平均无故障运行时间	820 小时	2150 小时	提升 162%
系统响应时间	200ms	50ms	缩短 75%
变压器分接头调节超调量	5.3%	1.1%	降低 80%
故障误报率	8.7%	1.2%	降低 86.2%
故障平均定位时间	45 分钟	8 分钟	提升 82.2%
供电可靠性	99.78%	99.92%	提升 0.14 个百分点
综合能耗	基准值 100%	87.7%	降低 12.3%

5 电气工程自动化控制的智能化发展趋势

电气工程自动化控制的智能化发展趋势，正在由单一功能智能向系统级综合智能不断深化。随着电气系统规模持续扩大与运行场景日趋复杂，控制系统对实时性、可靠性与自适应能力的要求不断提高，智能化不再局限于局部控制算法的改进，而是向全流程、全生命周期管理延伸。未来的自动化控制系统将更加注重对运行数据价值的深度挖掘，通过构建高精度状态评估模型，实现对系统运行状态的持续感知与动态评估，为控

参考文献：

- [1] 楼永鑫.智能化技术在电气工程自动化控制中的应用[J].数字技术与应用,2025,43(11):229-231.
- [2] 李松林,李明.电气工程自动化控制现状及智能化技术的有效应用分析[J].中国设备工程,2025,(22):28-30.
- [3] 朱志新.智能化工程技术在电气工程自动化控制及安全管理中的应用[J].信息与电脑,2025,37(23):33-35.
- [4] 高文俊.电气工程及其自动化的质量控制与安全管理[J].中国战略新兴产业,2025,(32):131-133.
- [5] 李英.智能化技术在电气工程自动化控制中的应用分析[J].模具制造,2025,25(08):183-185.

制决策提供更加全面的依据。

在控制架构层面，智能化发展趋势表现为分布式与协同化程度的不断提升。控制单元将具备更强的独立决策能力，同时通过信息交互实现全局协调，使系统在面对复杂扰动和突发工况时具备更高的灵活性与容错能力。随着边缘计算与实时分析技术的应用，部分控制决策能够在现场层完成，减少信息传输延迟对控制性能的影响，提高系统响应速度。

智能化控制系统的学习与进化能力将成为未来发展的重要特征。通过对长期运行数据的持续积累与分析，系统能够不断修正自身模型参数和控制策略，使控制性能随运行时间逐步提升。这种自学习机制有助于系统适应设备老化、运行环境变化及负载结构调整等因素带来的影响，减少对人工经验和频繁参数整定的依赖。在安全性方面，智能化发展趋势更加注重风险预测与主动防控，通过对异常行为的提前识别与趋势判断，实现对潜在风险的有效抑制。从工程应用角度看，电气工程自动化控制的智能化发展将更加注重系统整体效益与可持续运行能力。

6 结语

智能化技术的持续应用为电气工程及其自动化控制的发展提供了新的技术支撑和实现路径。通过引入智能感知、数据分析与自适应控制机制，电气自动化系统在复杂工况下的运行稳定性、控制精度和管理效率得到有效提升。实践表明，智能化控制不仅改善了系统对不确定因素的应对能力，也为设备安全运行和资源优化配置创造了有利条件。随着相关技术的不断深化，智能化将在推动电气工程自动化控制向高可靠、高效率方向发展发挥更加重要的作用。