

电网监控与操作系统的智能化升级与优化策略

谷聚辉 傲 东 秦 艳 余 晓

国网新疆电力有限公司昌吉供电公司 新疆 昌吉 831100

【摘要】随着可再生能源的接入和电力系统的复杂化，传统电网监控操作系统难以满足实时性和决策科学性的需求。本文探讨其智能化升级路径，提出基于“云-边-端”架构的深度融合大数据、AI和IoT技术框架。通过优化状态感知、风险评估等关键环节，实验验证了智能化策略在提升运行效率、增强安全性和降低网损方面的成效，证明智能化升级是应对未来挑战、实现电网安全高效运行的必要选择。

【关键词】智能电网；监控系统；操作系统；人工智能；优化策略；数字孪生

DOI:10.12417/3083-5526.25.02.005

1 引言

电网是关系国计民生的关键基础设施。其监控与操作系统作为电网的“神经中枢”和“决策大脑”，承担着数据采集、状态监视、运行控制、故障处理等核心职能。传统的监控与操作系统主要基于确定性物理模型和预设规则，在结构相对简单、源荷波动性较小的电网中发挥了重要作用^[1]。

然而，在能源转型的背景下，电网形态和运行特性发生了根本性变化：一方面，风电、光伏等间歇性、波动性强的分布式能源高比例接入，使得电源侧的不确定性急剧增加；另一方面，电动汽车、智能家居等柔性负荷的普及，使负荷侧的预测与控制难度加大。这种“双高”特征导致电网运行状态瞬息万变，传统的基于经验和线性模型的监控与操作模式已难以满足“实时感知、精准预测、智能决策、快速控制”的新要求。

因此，推动电网监控与操作系统的智能化升级，不仅是技术发展的趋势，更是保障新型电力系统安全、经济、高效运行的迫切需求。本文旨在系统性地研究智能化升级的架构、关键技术与优化策略，并通过仿真实验证其有效性，为电网企业的数字化转型提供理论参考和实践路径^[2]。

2 电网监控与操作系统智能化升级的总体框架

智能化升级的核心目标是构建一个“全息感知、全景监控、智能预警、协同控制”的新一代系统。其总体框架应遵循“数据驱动、AI赋能、协同自治”的原则，采用“云-边-端”协同的体系架构。

“端”层：主要由智能传感器、智能电表、PMU、故障指示器等构成。其升级重点在于部署更高精度、更高采样率的

感知设备，实现电气量、环境量以及设备状态量的广域、高频、同步采集，为上层分析提供高质量的数据基础。

“边”层：在变电站、配电房、微电网等网络边缘侧部署边缘计算节点。其核心功能是对本地“端”层采集的海量数据进行就地处理和快速响应，实现区域自治。例如，进行本地无功补偿控制、快速故障隔离等，减轻云端压力，满足毫秒级至秒级的实时控制需求^[3]。

“云”层：即电网调度控制中心的大数据平台和AI分析中心。它汇聚全网“边”层上传的宏观、非实时数据，利用强大的计算能力，进行全网级的态势感知、超短期预测、优化调度、风险评估和策略下发。云计算平台承载了核心的AI算法模型，是系统智能的集中体现。

该框架通过“云-边-端”协同，实现了计算资源的合理分配和任务的优化分解，既保证了局部控制的快速性，又实现了全局优化的经济性，是应对电网分布式、扁平化发展趋势的理想架构。

3 关键环节的智能化优化策略

3.1 状态感知：基于大数据与AI的多源数据融合与态势评估

传统状态估计依赖于有限的SCADA数据，精度和鲁棒性易受不良数据影响。智能化升级策略包括：

多源数据融合：融合SCADA、PMU、AMI乃至气象、地理信息等多维数据，构建更全面的电网全景画像。

AI增强的状态估计：采用深度学习模型，能够有效学习电网拓扑结构和物理规律，对不良数据和数据丢失具有更强的容错能力，显著提升状态估计的精度和计算速度^[4]。

作者简介：谷聚辉（1988--），男，汉族，河南洛阳人，硕士研究生，高级工程师，从事变电站运行维护、继电保护及自控装置运维、故障应急处置、智能电网分析与研究等工作。

3.2 风险评估与预警：基于数字孪生的主动安全防御

构建与物理电网实时交互、虚实映射的电网数字孪生系统。在该系统上，可以：

超实时仿真与预警：基于当前运行状态，利用数字孪生体对未来数分钟至数小时内的运行工况进行快速推演，预判潜在的越限、稳定破坏等风险。

N-1/N-2 安全校验自动化：自动、快速地模拟各种预想故障，评估系统的安全裕度，并将结果以可视化方式呈现给调度员，实现从“事后分析”到“事前预警”的转变。

3.3 调度控制：基于强化学习的自适应优化控制

传统的优化调度模型多为静态、确定性的，难以适应快速变化的环境。

无功电压优化：采用深度强化学习算法。智能体通过与电网环境（数字孪生或仿真模型）不断交互，学习在不同源荷组合下如何调整变压器分接头、投切电容器组、控制逆变器无功输出等，以实现网损最小、电压合格率最高的目标。DRL 能够处理高维、非线性问题，具备在线自学习能力。

经济调度：结合超短期负荷和新能源出力预测，利用 AI 算法求解考虑网络安全约束的经济调度问题，实现发电计划与实时波动的精准匹配。

3.4 故障处理：基于 AI 的故障诊断与自愈控制

智能故障诊断：利用卷积神经网络对故障录波器的波形数据进行特征提取和模式识别，快速、准确地判断故障类型和故障区段。

自适应自愈控制：故障定位后，系统能基于网络实时拓扑，自动生成最优的隔离和非故障区域供电恢复方案，并通过集成的配电自动化系统执行，将故障停电时间和影响范围降至最低。

4 实验设计与结果分析

为验证上述智能化策略的有效性，本文设计了一个基于仿真软件的实验。

4.1 实验环境与模型构建

仿真平台：采用电力系统分析综合程序和 Python 联合仿真。PSASP/PSCAD 用于构建高保真的电网物理模型，Python 用于实现 AI 算法。

测试系统：修改的 IEEE14 节点系统和一个实际区域的 110kV 配电网络模型，其中接入了 2 个风电场和 1 个光伏电站作为分布式电源。

数据生成：通过仿真模拟一年内不同季节、不同天气条件下的电网运行数据，包括负荷曲线、风光出力、线路潮流、节点电压等，共生成约 10 万组样本数据。

4.2 实验方案

设计三组对比实验：

实验一：超短期负荷预测精度对比

对照组：使用传统的时间序列模型。

实验组：使用基于长短期记忆网络的预测模型，输入特征除历史负荷外，还加入温度、日期类型等外部特征。

评价指标：均方根误差和平均绝对百分比误差。

实验二：无功电压优化效果对比

对照组：采用传统的基于灵敏度分析的九区图法进行 AVC 控制。

实验组：采用基于深度确定性策略梯度的 DRL 算法进行 AVC 控制。

场景：模拟一日内风光出力剧烈波动的场景。

评价指标：全天总网损、电压越限节点个数、电压偏差平均值。

实验三：故障处理效率对比

对照组：传统方法，调度员根据报警信息人工分析、判断、下发操作指令。

实验组：基于 CNN 的智能故障诊断与自愈控制系统。

场景：在配电网模型中设置多处单相接地故障。

评价指标：从故障发生到故障隔离的时间、到恢复非故障区域供电的时间。

4.3 实验结果与分析

实验一结果：

模型	RMSE (MW)	MAPE (%)
ARIMA (对照组)	15.8	2.51
LSTM (实验组)	9.2	1.43

分析：LSTM 模型由于能够捕捉负荷的长期依赖关系和外部因素的影响，其预测精度显著高于 ARIMA 模型，MAPE 降低了约 43%。高精度的预测为后续的优化调度提供了可靠的数据输入。

实验二结果：

在一个风光出力剧烈变化的 4 小时仿真时段内，结果对比如下：

控制策略	总网损 (kWh)	电压越限节点数	平均电压偏差 (p.u.)
九区图法 (对照组)	1250	3	0.018
DRL 算法 (实验组)	985	0	0.009

分析：传统的九区图法控制动作相对迟钝，在风光快速波动时容易导致局部电压短暂越限。而 DRL 算法能够实时感知系统状态，通过连续、精细的动作进行控制，不仅完全消

除了电压越限，还将网损降低了 21.2%，表现出更强的自适应性和优化能力。

实验三结果：

处理方式	平均故障隔离时间 (t1)	平均供电恢复时间 (t2)
人工处理 (对照组)	约 5 分钟	约 25 分钟
智能系统 (实验组)	< 30 秒	< 3 分钟

分析：智能化故障处理系统实现了“秒级感知、分钟级恢复”。其效率的提升主要源于 AI 算法的快速诊断和自动化执行，避免了人工判断和操作中的延迟，极大地提高了供电可靠性。

5 结论与展望

本文系统地研究了电网监控与操作系统的智能化升级与优化策略。通过构建“云 - 边 - 端”协同的总体框架，并针对状态感知、风险评估、调度控制和故障处理等关键环节提出了具体的 AI 赋能策略，有效解决了传统系统在面对新型电力系统挑战时的不足。

仿真实验结果表明，所提出的智能化策略相较于传统方法具有显著优势：

感知与预测更精准：AI 模型提升了负荷和新能源出力的预测精度。

运行更经济安全：基于 DRL 的优化控制能有效降低网损，平抑电压波动，提升安全裕度。

故障处理更高效：智能诊断与自愈控制将故障处理时间从“分钟级”缩短至“秒级”，大幅提升供电可靠性。

随着能源革命的深入和智能技术的不断进步，电网的智能化升级已经成为了一种不可逆转的趋势。然而，在这一过

程中，我们仍然面临着一系列挑战，如人工智能模型的可解释性不足、数据安全和隐私保护问题以及跨领域协同标准的缺失等。为了克服这些挑战，未来的研究工作将主要集中在几个关键方向。我们将致力于开发融合物理知识的 AI 模型。通过将电力系统的物理方程和深度学习模型相结合，我们能够提升模型的泛化能力和可靠性，使其在复杂多变的环境中更加稳定和准确。其次，多智能体协同控制将成为研究的热点。在分布式架构下，多个边缘智能体需要通过协同博弈来实现全局最优控制策略，这对于提高电网的运行效率和响应速度至关重要。此外，网络安全的深度融合也是未来的一个重要研究方向。我们需要将网络安全态势感知与电力系统的安全分析紧密结合，构建一个具有主动免疫能力的全方位安全防护体系，以确保电网运行的安全性。智能化升级是电网发展的必然方向，也是实现能源革命和建设安全高效现代化电网监控与操作系统的关键。只有坚定不移地推进技术创新和实践应用，我们才能迎接未来的挑战，推动电网智能化升级迈上新的台阶。通过不断的研究和努力，我们有信心构建一个更加智能、可靠、安全的电网系统，为社会的可持续发展贡献力量。

参考文献：

- [1] 张艺凡. 基于大数据的电网调度运行缺陷预警监控系统 [J]. 电工技术, 2025, (15): 126-131.
- [2] 姜婷婷, 文高翔. 基于 AI 的电网调控运行安全风险在线监控体系探讨 [J]. 光源与照明, 2025, (07): 126-128.
- [3] 卢炜. 铺龙湾煤业井下变电所智能系统技术分析及应用 [J]. 江西煤炭科技, 2025, (03): 202-204+212.
- [4] 隋相华. 智能电网调度监控平台的设计与实现 [J]. 电气时代, 2025, (07): 65-67.