

# Power Grid Reactive Power Compensation under Artificial Intelligence Monitoring

Xiangrong Guo

Guo Xiangrong, Hetao University, Bayannur, Inner Mongolia, 015000, China

## Abstract

In modern power systems, reactive power imbalance exacerbates line losses and degrades voltage quality, necessitating intelligent reactive power compensation solutions powered by artificial intelligence (AI). This study first examines fundamental theories of grid reactive power compensation and AI applications, analyzing compensation principles, core AI algorithms, and monitoring data characteristics with processing workflows. Subsequently, it explores practical implementations including reactive power demand forecasting models, equipment condition monitoring, fault diagnosis systems, and optimization control strategies, validated through engineering case studies. The research achieves precise and intelligent reactive power control, effectively reducing line losses and operational costs while enhancing grid stability and economic efficiency. These findings provide theoretical foundations and practical references for advancing intelligent reactive power compensation in next-generation power systems.

## Keywords

grid reactive power compensation; artificial intelligence; reactive power demand forecasting; equipment fault diagnosis; optimization control

# 人工智能监测下电网无功功率补偿

郭向嵘

河套学院, 中国·内蒙古 巴彦淖尔 015000

## 摘要

在新型电力系统当中, 无功出现失衡的状况会使得线路损耗加剧、让电压质量降低, 迫切需要凭借人工智能技术达成无功补偿智能化的升级。本文首先对电网无功补偿以及人工智能的基础理论开展研究, 对无功补偿的原理以及方法、人工智能的核心算法还有电力系统监测数据的特征以及处理流程加以分析, 接着对人工智能在无功补偿监测当中的具体应用进行探讨, 其中涵盖无功需求预测的模型、设备状态的监测与故障的诊断以及优化控制的策略, 并且结合工程的案例对效果予以验证。研究达成了无功补偿精准化、智能化的控制, 有效地让线路损耗以及运维成本降低, 使电网运行的稳定性与经济性得到提升, 为新型电力系统无功补偿智能化的发展提供理论方面的支撑与工程方面的参考。

## 关键词

电网无功功率补偿; 人工智能; 无功需求预测; 设备故障诊断; 优化控制

## 1 引言

在新型电力系统正处于快速发展的这种情形的状况之下, 新能源实施并网以及负荷呈现出多元化的具体态势, 这种情况使得无功负荷的波动出现加剧的状况, 传统所采用的补偿方式难以达成满足电网精准开展调控的实际需求。人工智能因为具备有着强大的数据处理以及非线性寻优的相关能力, 从而为无功补偿实现智能化的升级给予提供了新的路径途径。本文围绕着电网无功补偿和人工智能进行融合的相关应用来展开研究, 立足于工程实际的情况去探索探寻智能化监测与控制的具体方法, 从而助力有助于提升电网运

行的稳定性与经济性。

## 2 电网无功功率补偿与人工智能基础理论

### 2.1 无功功率补偿原理与主要方法

能核心的原理是基于电磁感应以及电路能量交换所具有的特性, 可通过接入补偿装置去把电网当中感性或者容性负荷所产生出来的无功损耗给抵消掉, 能维持有功和无功率达成平衡, 可减小功率因数角从而降低线路损耗、让电压质量稳定下来, 会避免因为无功失衡而导致出现电压跌落、设备运行低效等方面的问题。在实际应用的过程之中, 主要的方法能够分成传统与新型这两个类别。以往所采用的方法主要是并联电容器组以及同步调相机, 其中前者具备结构呈现简单状态、成本处于较低水平的特点, 适合应用于负荷处于稳定状态的场景之中, 不过其响应表现迟缓、调节呈现不

【作者简介】郭向嵘(2003-), 男, 中国山西省平顺人, 在读本科, 从事电气工程研究。

连续状况；而新型的方法则是以静止无功发生器（SVG）和静止无功补偿器（SVC）作为核心部分。

## 2.2 人工智能核心算法简介

能适用于电网做无功补偿的人工智能方面的核心算法，以数据驱动和知识融合当作核心要点，主要涵盖神经网络、模糊逻辑、遗传算法以及混合智能技术这些内容。人所构建的神经网络（包含像 CNN、LSTM 这类）依靠着数量巨大的样本去开展训练，能够达成无功负荷的预测、故障的识别等属于非线性映射的任务；模糊的逻辑能够去处理“电压有轻微偏高状况”等这类经验方面的知识，可适配于无功电压的协调控制；遗传的算法能够高效地求解无功优化等 NP-hard 问题，从而避免陷入局部最优的情况；混合的智能技术（例如 ANN-GA、Fuzzy-ANN）融合了各类算法所具有的优势，可平衡模型的精度与可解释性，能够适配电力系统复杂的运行场景。

## 2.3 电力系统监测数据特征与处理

电力方面的系统所进行监测得到的数据是来自 SCADA 系统、PMU 装置、智能电表等多种源头的设备，其具备多源异构、高维时序、强非线性、随机波动这些核心方面的特征，所涵盖的内容有电压、电流、功率因数等稳态量以及暂态量，时间的尺度从秒级一直到年级，空间上覆盖了输配用电全部的环节。数据的处理这件事情是保障算法具备有效性的关键所在，需要经过数据的清洗、数据的融合、数据的特征提取这样三个步骤来完成：采用小波变换以及卡尔曼滤波的方式来抑制噪声，通过线性插值以及生成对抗网络的手段来填补存在缺失的数据，借助动态时间规整的方法来实现多源数据的时序对齐，结合主成分分析以及自编码器的途径来提取关键的特征，与此同时嵌入基尔霍夫定律等相关的电力先验知识，以此来提升数据的质量以及后续建模的泛化能力。

# 3 人工智能在无功补偿监测中的应用方法

## 3.1 基于人工智能的无功需求预测模型

无功需求的预测属于无功补偿系统精准调控方面的前置核心环节，其核心的逻辑是依靠人工智能算法所具备的非线性映射能力，去挖掘电力系统多源运行数据和无功负荷之间的内在关联，从而实现不同时间尺度之下无功需求的精准预判，为补偿装置的合理配置以及提前调度提供科学方面的依据，以此规避传统方法所存在的局限。这个模型把电力系统的历史监测数据当作核心方面的输入，这里面包含了负荷方面的数据、电压电流方面的数据、气象方面的数据、电网拓扑参数以及负荷特性方面的数据等多个维度的特征。在经过数据清洗、特征筛选以及归一化处理之后，结合场景的需求来构建适配的模型。短期预测着重于捕捉分钟级别、小时级别无功负荷的瞬时波动特征，优先去采用长短期记忆网络算法，利用它的门控机制有效地记忆历史负荷的时序依赖关

系，解决传统时间序列预测没办法处理长周期关联的痛点问题；中长期预测聚焦于日级别、周级别无功需求的变化情况，结合季节更替、工业生产规律、气象变化等影响因素，采用卷积神经网络和随机森林的混合模型，通过卷积层提取数据的深层特征，借助随机森林降低特征的冗余情况、提升模型的泛化能力，预测精度以平均绝对误差、均方根误差作为核心的评价指标，确保能够满足工程实际调控的需求。

某工业园区的配电网承担着为 18 家属于高耗能类型的制造企业以及周边的居民进行供电的任务，该配电网的无功负荷受到企业的生产调度情况、居民的用电高峰状况以及季节的温度情况等方面的影响，其波动是比较大的。为了把这个问题解决掉，可以去搭建一个基于长短期记忆网络的无功需求预测方面的模型，去采集该配电网在近 3 年的监测相关的数据，这些数据包含每 15 分钟的无功负荷数据、电压电流数据、环境温湿度数据以及企业的生产排班表、居民的用电时段分布等辅助性的数据。经过小波变换去噪、线性插值填补缺失值之后，可划分 70% 的数据作为训练集、30% 的数据作为测试集，对模型进行训练并且优化，能引入 dropout 层来抑制过拟合，调整网络隐藏层节点数以及学习率到最优参数。模型投入运行之后，短期 1 小时无功需求预测的平均绝对误差能够控制在 3.1% 以内，均方根误差是 2.7%，和传统方法相比，误差降低了 80% 以上。基于这个预测结果，补偿装置能够提前 15 分钟精准地进行投切操作，园区配电网的功率因数从 0.83 提升到 0.96，线路损耗降低了 12.5%，彻底把电压波动问题给解决掉，保障了工业生产的连续性以及居民用电的稳定性，每年能减少大概 58 万元的电费损耗。

## 3.2 人工智能驱动的无功补偿设备状态监测与故障诊断

由人工智能来驱动的那种关于状态监测以及故障诊断的方法，此方法借助实时地去采集设备在全生命周期当中的运行数据，运用智能算法达成设备健康状态的动态评估、故障的早期识别以及精准定位任务，打破传统定期检修所存在的盲目性状况，降低设备出现故障的概率以及检修成本，提升电网运行时的可靠性，这是保障电网无功能够平衡的关键支撑因素。该方法的核心之处在于构建设备的多维度监测体系，采集补偿装置各种各样的运行参数，其中包含静止无功发生器的 IGBT 模块的温度、输出的电流电压、触发信号，并联电容器组的介质损耗、泄漏电流、外壳温度，还有静止无功补偿器的晶闸管导通状态、电抗器温度等情况，通过多源数据的融合实现对设备运行状态的全面感知。在故障诊断这一环节，采用深度学习和故障树分析相结合的方式，先通过深度置信网络提取设备运行数据里的深层故障特征，接着结合故障树模型梳理故障传播的路径，实现对故障类型、位置和严重程度的精准判断。

有某一个地区的 220kV 变电站配置了 3 组那种静止无

功发生器以及9组并联电容器组,该变电站投运已经超过了10年。传统的定期检修由于其检修周期是固定的、故障漏判率比较高,曾经因为静止无功发生器的IGBT模块出现了老化情况而没有及时发现,从而导致装置突然发生故障,造成周边的10kV线路停电达到2.5小时,影响到2000余户居民以及多家企业的用电,产生了比较大的经济损失。为了提升设备的运维水平,专门引入了人工智能状态监测与故障诊断系统,在静止无功发生器的IGBT模块、电容器组的外壳以及接线端子处安装温度、电流传感器,实时地采集数据并且经过光纤传输到后台。后台系统采用深度置信网络与故障树相结合的模式,首先对数据进行归一化处理,通过深度置信网络玻尔兹曼机逐层地提取故障特征,然后用故障树关联特征与故障类型,建立起完善的故障诊断知识库。

### 3.3 智能算法在无功补偿优化控制策略中的应用

无功补偿优化控制方面的核心目标是在对电网电压质量予以保障、让无功平衡需求得到满足这样的前提之下,将线路损耗做到最小化、把补偿装置运行成本以及磨损予以降低,从而实现电网经济且高效地运行。智能算法依靠着强大的非线性寻优能力,对传统优化控制依靠人工经验、寻优精度比较低、适配性较差这样的局限予以突破,能够结合电网实时运行状态,对补偿装置的投切数量、时机以及输出无功功率进行动态优化,进而实现无功补偿精准化以及智能化控制。较为常用的智能优化算法包含遗传算法、粒子群优化算法、灰狼优化算法以及混合优化算法,其中遗传算法适合用于多变量、多约束的无功优化问题,通过对生物进化进行模拟来实现全局寻优,避免出现局部最优;粒子群优化算法收敛速度快、计算效率比较高,适合用于实时性要求比较高的场景;混合优化算法将各类优势进行结合(例如遗传算法和粒子群优化算法相结合),既对全局寻优能力予以保障,又使收敛速度得到提升,能够适配电网负荷波动、新能源出力变化等复杂工况,优化目标包含线路损耗最小、电压偏差最小、补偿成本最低等多个维度,同时对电网运行安全性以及经济性予以兼顾。

某市级地方,其配电网进行覆盖的面积达到了820平方公里,其中包含有13条110kV的线路、48条35kV的线路以及35组各种各样的无功补偿装置,这里存在着负荷分布方面不均衡的这样一个问题,在不同的时段以及区域之中,无功需求的差异呈现出显著的状况。传统的无功补偿控

制策略所采用的是固定投切的模式,没有办法依据电网实时的运行状态来进行动态的调整,从而导致线路损耗处于较高的水平、部分区域电压偏差出现超标的情况,每一年线路损耗所产生的成本超过了300万元。为了把这一问题解决掉,可采用将遗传算法和粒子群优化算法结合起来的混合智能优化控制策略,能够构建配电网无功补偿优化模型,让线路总损耗达到最小、电压偏差绝对值之和达到最小作为优化目标,把补偿装置投切状态、输出无功功率当作决策变量,充分去考虑变压器容量、线路载流量、电压允许偏差等边界条件。能通过采集配电网实时运行数据,这里面包括各节点电压、电流、负荷功率等,可将其输入到优化模型之中,能利用混合智能算法开展寻优计算,可输出最优的补偿装置投切方案以及无功功率调节参数,从而实现补偿策略的动态更新。

## 4 结语

本文围绕着电网无功功率补偿和人工智能的融合运用开展系统性探究。能把无功功率补偿的原理、人工智能的核心算法以及监测数据的处理办法进行梳理。会深入地研讨人工智能在无功需求预测、设备状态监测还有故障诊断、优化控制策略当中的具体运用情况,并且通过工程案例来验证应用的可行程度与有效程度。该研究能够有效处理传统无功补偿精准程度低、运维效率差等方面的问题,达成无功补偿的智能化升级。总体来说,人工智能技术可明显提高电网运行的稳定程度与经济程度,不过还存在算法泛化能力不够等方面的局限。未来可围绕多场景适配、算法优化等方向深入开展研究工作,为新型电力系统高质量的发展给予更为有力的支撑保障。

### 参考文献

- [1] 朱士嘉.粒子群算法在电网无功功率补偿中的应用[D].华北电力大学,2013.
- [2] 李晓东,吴辉.无功功率补偿专家系统的研究[J].信息技术,2000(4):2.
- [3] 盛谏.具有人工智能功率因数补偿控制器:CN85107890[P].CN85107890[2026-04-01].
- [4] 张志文.基于ICPSO算法含风电场随机出力的电网无功优化研究[D].江苏大学,2017.
- [5] 邵晨旭.基于人工智能的新型配电网电能质量问题研究[D].东南大学[2026-04-01].