

人工智能在电力负荷预测与调度中的优化应用

郑 敏

杭州国电电气能源科技有限公司 浙江杭州 310000

摘 要：随着电力系统的复杂性不断增加以及数据驱动决策的重要性日益凸显，人工智能（AI）技术在电力负荷预测与调度中的应用受到了广泛关注。AI的引入不仅提高了预测的准确性和调度的效率，还增强了电力系统对于变化的适应能力。本文综述了机器学习、深度学习、强化学习以及智能优化算法在电力系统负荷预测与调度中的优化应用。

关键词：人工智能；电力负荷预测；调度；应用

电力系统作为现代社会的基础设施之一，其稳定、高效运行对经济发展和民众生活至关重要。传统负荷预测与调度方法受限于模型简化和线性假设，难以应对日益复杂的系统动态行为和高维数据环境。人工智能技术的崛起为解决这一难题提供了新的思路。AI能够通过学习和模式识别处理大量非线性和非结构化的数据，从而在多变的环境条件下做出更为精确的预测和高效的调度决策。

一、电力系统负荷预测与调度的重要性

电力系统负荷预测与调度对于确保电力系统的高效运行、提高经济效益以及实现环境目标具有至关重要的作用。准确的负荷预测可以帮助电力公司优化发电计划，合理安排电网运行方式和机组检修计划，从而节约燃料、降低成本并减少排放。通过对未来用电需求的准确预测，可以确保电力供应与需求之间的平衡，避免供电不足或过剩的情况发生，从而提高电力系统的稳定性和可靠性。随着新型电力系统的发展，特别是新能源的大规模接入，负荷预测和调度对于协调传统电源和新能源的融合、确保系统稳定运行具有重要意义。

二、电力负荷预测与调度中人工智能技术

1. 机器学习

在电力系统中，机器学习技术被广泛应用于负荷预测与调度优化。这些技术能够从大量的历史数据中学习模式和关联性，从而对未来的电力需求进行准确预测。常用的机器学习方法包括支持向量机（SVM）、决策树、随机森林、梯度提升机等。通过特征选择和数据预处理，可以提高模型的预测准确性。此外，时间序列分析如自回归移动平均（ARMA）模型和自回归积分滑动平

均（ARIMA）模型也在负荷预测中发挥作用。机器学习模型可以处理复杂的非线性关系，并且适合于发现数据中的长期依赖性。在电力系统调度中，机器学习可以帮助优化发电计划，减少备用容量需求，并提高能源利用效率。

2. 深度学习

深度学习是一种特殊的机器学习方法，它使用多层神经网络来模拟人脑处理信息的方式。在电力负荷预测与调度领域，深度学习显示出强大的数据处理能力和特征提取能力，尤其适用于大数据集。卷积神经网络（CNN）和递归神经网络（RNN），特别是长短时记忆网络（LSTM）在时空数据分析中表现出色。例如，LSTM能够有效捕捉时间序列数据中的长期依赖关系，非常适合于电力负荷的时间序列预测问题。深度学习还可以用于识别和分类电网故障，提高系统的鲁棒性和可靠性。

3. 强化学习

强化学习是一种以决策过程为基础的机器学习范式，其目标是学习一种策略，使得在与环境交互过程中获得的总奖励最大化。在电力系统调度中，强化学习可以用来实时调整发电量、响应动态电价或调节可再生能源的产量以适应需求的波动。通过多臂老虎机（multi-armed bandit）问题、马尔可夫决策过程（MDP）等模型，智能体能够在不断变化的环境中学习最佳行动策略。强化学习特别适用于那些难以建模或者环境变化剧烈的场景^[1]。

4. 智能优化算法

智能优化算法是一类模拟自然界现象或社会行为的元启发式算法，它们在解决复杂的优化问题方面展现出了良好的性能。遗传算法（GA）、粒子群优化（PSO）、

蚁群算法 (ACO) 以及模拟退火 (SA) 等算法在电力系统负荷预测和调度优化中有广泛应用。这些算法不依赖于问题的特定领域知识, 能够在全局范围内搜索最优解, 特别适合于解决具有多变量、多约束和非线性特性的电力系统优化问题。智能优化算法通常用于机组组合、经济调度和多目标优化等问题, 有助于提高计算效率和解的质量。

三、人工智能在电力调度优化中的优化应用

1. 调度问题的复杂性分析

在电力系统中, 调度问题是一个多变量、多约束及时变系统的优化问题。其复杂性主要来源于以下几个方面: 首先, 电网的拓扑结构复杂, 包括发电站、变电站、输电线路和配电网等多种设施, 这些设施之间的相互作用增加了调度的难度。其次, 电力负荷具有显著的时间性和地域性特征, 不同时间和地点的负荷变化大, 需要进行精确预测和实时调整。再次, 可再生能源如风电、太阳能等的并网运行增加了系统的不确定性。此外, 电力系统还需满足一系列操作约束条件, 如功率平衡、设备容量限制、网络安全约束等。这些因素共同构成了电力调度问题的高维数、非线性和动态特性, 使得传统优化方法难以高效求解。因此, 采用人工智能技术对电力调度进行优化成为了解决这一问题的有效途径^[2]。

2. 基于AI的调度策略设计

利用人工智能技术设计电力调度策略, 主要包括应用机器学习、深度学习和强化学习等方法来优化调度决策。机器学习可以通过历史数据训练模型, 实现对未来负荷和发电量的准确预测。深度学习可以处理大量的非线性数据, 用于分析和理解复杂的电网状态。强化学习通过与环境的交互获得最优策略, 能够适应不断变化的电网条件并做出实时响应。基于AI的调度策略设计还需要考虑如何处理大规模数据、如何确保算法的收敛速度以及如何提高算法的鲁棒性等问题。通过智能算法的应用, 可以实现更为灵活和高效的电力资源分配, 提升电网的运行效率和可靠性。

3. 实时调度与动态优化

实时调度是指在电网运行过程中根据实时数据进行调整和优化过程。动态优化则是指系统能够根据外界环境和内部状态的变化自动调整策略以维持或优化性能的能力。人工智能技术在此方面的应用主要体现在对实

时数据的快速处理和对调度策略的即时更新上。例如, 可以使用在线学习算法来跟踪负荷的实时变化, 并通过自适应控制技术来调整发电量和网络流。此外, 异常检测和自愈能力也是实时调度与动态优化中的关键要素, 它们能够帮助系统在出现故障时迅速恢复正常运行状态。

4. 多目标调度优化

多目标调度优化指的是在满足多个目标函数的前提下进行电力资源调度, 这些目标通常包括但不限于成本最小化、排放最小化、能源利用率最大化和系统稳定性最大化等。由于这些目标之间可能存在冲突, 因此需要找到合适的权衡点。人工智能技术可以通过建立多目标优化模型来处理这种复杂情况。例如, 遗传算法、粒子群优化和博弈论等方法可以用来寻找 Pareto 最优解集。此外, 模糊逻辑和决策树等技术也可用于辅助决策者在多个目标间做出最佳选择。多目标优化不仅提高了电力系统的经济性, 还有助于实现可持续发展和环境保护的目标^[3]。

结语

随着人工智能技术的不断发展, 其在电力系统负荷预测与调度中的应用已显示出巨大的潜力和价值。AI 方法通过深入挖掘历史数据中的复杂关系, 不仅提升了预测精度, 还实现了调度策略的实时优化。然而, AI 在此领域的应用仍面临数据质量、模型泛化能力和计算效率等挑战。未来的研究需要关注 AI 模型的解释性、鲁棒性和与其他系统的集成问题。此外, 随着可再生能源的加入和电力市场的演变, AI 在电力系统中的作用将更加多元和关键。综上所述, 人工智能在电力负荷预测与调度中展现了卓越的优化能力, 为构建更智能、更绿色、更可靠的电力系统奠定了坚实的基础。

参考文献

- [1] 高志野. 基于深度神经网络的电力负荷预测方法研究. 电气技术与经济, 2023 (10): 29–31.
- [2] 申洪涛, 李飞, 史轮, 孙胜博, 杨振宁, 杨挺. 基于气象数据降维与混合深度学习的短期电力负荷预测. 电力建设, 2024, 45 (1): 13–21.
- [3] 廖慧惠. 基于改进人工智能的短期电力负荷预测算法研究. 长春工程学院学报 (自然科学版), 2019, 20 (2): 23–26.