

# AI 技术发展将加速推进城市电力管网智慧化

贾晓刚

浙江图维科技股份有限公司，浙江杭州，311121；

**摘要：**随着城市规模的持续扩大和电力需求的不断攀升，传统城市电力管网在运营管理方面面临着前所未有的挑战。人工智能技术的迅猛发展，为城市电力管网的智慧化转型提供了强劲的技术支撑。文章深入剖析了 AI 技术在城市电力管网智慧化进程中的广泛应用，探讨了其如何助力提升电力管网的运营效率和管理水平。旨在为推动城市电力管网的智慧化建设提供全面、深入的理论指导和实践参考。

**关键词：**AI 技术；城市电力管网；智慧化

**DOI：**10.69979/3060-8767.25.01.033

## 引言

在城市化快速发展的今天，城市电力需求呈现出多样化、复杂化的趋势，电力负荷波动频繁，电力设备数量不断增加且老化加速，传统的依靠人工经验和常规技术手段的电力管网管理模式已难以满足城市发展的需求。通过引入 AI 技术，城市电力管网能够对海量运行数据的深度挖掘与分析，提前预测电力负荷变化和故障，优化电力调度和设备运维策略，从而显著提高电力管网的运行效率、可靠性和安全性，降低运营成本，更好地服务于城市的可持续发展。

## 1 电力负荷预测

### 1.1 机器学习算法的应用

机器学习算法如支持向量机（SVM）、随机森林、神经网络等在电力负荷预测中得到了广泛应用。这些算法能够自动学习历史电力负荷数据与相关影响因素（如时间、温度、湿度、节假日等）之间的复杂非线性关系，构建负荷预测模型。

基于多层感知器（MLP）的神经网络模型可以通过对大量历史数据的训练，准确捕捉电力负荷在不同时间尺度（如日、周、月、季）上的变化规律。在实际应用中，将当前的时间信息、实时气象数据等作为模型输入，即可预测未来一段时间内的电力负荷。

### 1.2 深度学习技术的优势

深度学习模型如循环神经网络（RNN）及其变体长短时记忆网络（LSTM）、门控循环单元（GRU）等，能够更好地处理时间序列数据，捕捉数据中的长期依赖关系。LSTM 网络通过引入记忆单元和门控机制，可以有效解决传统 RNN 在处理长序列数据时出现的梯度消失和梯度爆炸问题，从而更准确地预测电力负荷的长期变化趋

势，它能够提前一周甚至一个月对电力负荷进行较为准确的预测，为电力部门合理安排发电资源、优化电网运行提供了有力支持（见图 1）。

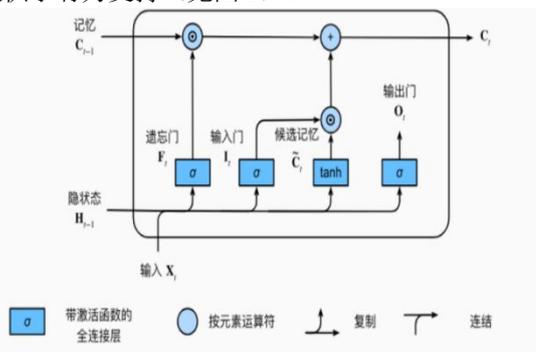


图 1 变体长短时记忆网络示意图

### 1.3 负荷预测模型的优化与集成

负荷预测模型优化包括对模型参数的调优、特征选择与提取等。通过遗传算法、粒子群优化算法等智能优化算法对机器学习模型的参数进行寻优，以提高模型的性能。模型集成则是将多个不同的负荷预测模型进行组合，综合利用各个模型的优势。常见的集成方法有投票法、平均法、堆叠法等。将基于 SVM、随机森林和神经网络的负荷预测模型进行堆叠集成，首先由这三个基础模型分别进行负荷预测，然后将它们的预测结果作为输入，通过另一个模型（如逻辑回归模型）进行二次学习和预测，最终得到更准确的负荷预测值。

## 2 故障诊断与预警

### 2.1 基于数据分析的故障诊断

AI 技术能够对电力设备运行过程中产生的大量数据进行实时分析，提取与故障相关的特征信息，从而实现对设备故障的准确诊断。通过对变压器的油温、油中溶解气体成分、绕组温度、局部放电等数据进行综合分

析,利用机器学习算法构建变压器故障诊断模型。当设备运行数据出现异常时,模型能够快速判断故障类型和故障位置。以油中溶解气体分析为例,不同类型的变压器故障会导致油中产生不同成分和比例的气体,如过热故障会使甲烷、乙烯等气体含量增加,而放电故障则会使氢气、乙炔等气体含量升高。通过对这些气体数据的分析,并结合机器学习模型的训练结果,能够准确判断变压器是否存在故障以及故障的性质。

## 2.2 智能预警系统的构建

利用AI技术构建电力设备智能预警系统,可以提前发现设备潜在的故障隐患,为设备维护和检修提供充足的时间。智能预警系统能实时监测设备的运行参数,与正常运行状态下的参数范围进行对比分析,当参数偏离正常范围达到一定程度时,系统自动发出预警信号。通过安装在绝缘子上的传感器实时监测其泄漏电流、表面温度等参数。利用深度学习算法对这些参数进行分析,建立绝缘子状态评估模型。当模型预测到绝缘子状态可能出现异常时,提前发出预警,提醒运维人员及时进行检查和维护,避免因绝缘子故障导致输电线路停电事故。

## 2.3 故障预测模型的发展

AI技术还能够对电力设备的故障进行预测,即通过对设备历史运行数据和当前状态数据的分析,预测设备在未来一段时间内发生故障的概率。如基于深度信念网络(DBN)的电力设备故障预测模型,通过对设备的多种运行数据(如振动信号、电气参数、环境温度等)进行深度特征提取和学习,能够准确预测设备的剩余使用寿命和故障发生时间。在实际应用中,电力部门可以根据故障预测结果,提前制定设备维修计划,合理安排维修资源,降低设备故障带来的损失。

## 3 设备运维优化

### 3.1 智能巡检机器人的应用

在巡检过程中,机器人可以实时采集设备的运行图像、温度、气体浓度等数据,并通过无线通信技术将数据传输到监控中心。在变电站中,智能巡检机器人可以按照预设的路径自动行走,对变压器、开关柜、母线等设备进行巡检。通过摄像头拍摄设备的外观图像,利用图像识别技术检测设备是否存在异常放电、发热、破损等情况;利用红外热像仪测量设备的温度,及时发现设备过热故障;利用气体传感器检测设备周围环境中的有害气体浓度,防止发生气体泄漏事故。这些应用大大提高了巡检效率和准确性,减少了人工巡检的工作量和安

全风险。

### 3.2 基于AI的设备维护决策支持

通过建立设备维护决策模型,综合考虑设备的重要性、故障风险、维护成本等因素,为不同设备制定个性化的维护策略。对于一些关键的电力设备,如大型变压器、高压断路器等,当设备运行状态接近故障阈值时,模型会建议采取及时的维修措施,以避免设备故障对电力系统造成严重影响;而对于一些非关键设备,且故障风险较低时,模型可能会建议适当延长维护周期,以降低维护成本。基于AI的设备维护决策支持系统能够帮助电力运维人员更加科学合理地安排设备维护工作,提高设备的可靠性和可用性,同时降低运维成本。

### 3.3 设备全生命周期管理

从设备的采购、安装、运行、维护到退役,AI技术可以对设备的整个生命周期进行数字化管理和优化。在设备采购阶段,通过对不同品牌、型号设备的性能数据和历史故障率进行分析,为采购决策提供参考,选择性价比高、可靠性强的设备。在设备运行阶段,利用AI技术实时监测设备的运行状态,预测设备的剩余使用寿命,合理安排设备的维护和更新计划。在设备退役阶段,通过对设备的运行数据和历史维修记录进行分析,评估设备的剩余价值,为设备的处置提供决策依据。通过AI技术实现设备全生命周期管理的智能化,能够有效提高设备的管理效率和经济效益。

## 4 电网规划

### 4.1 基于AI的负荷预测在电网规划中的应用

在电网规划过程中,根据基于AI的负荷预测结果,合理确定变电站的容量、位置以及输电线路的走向和规格。通过对城市不同区域未来电力负荷增长趋势的预测,确定在负荷增长较快的区域新建或扩建变电站,以满足未来的电力需求。同时,根据负荷分布情况,优化输电线路的布局,减少输电损耗,提高电网的供电能力和可靠性。

### 4.2 AI辅助电网规划方案评估与优化

AI技术可以通过构建电网规划评估模型,对不同方案的技术指标(如电压合格率、短路电流水平、电网可靠性等)和经济指标(如建设投资、运行成本等)进行综合评估。利用遗传算法、模拟退火算法等智能优化算法,以电网建设投资最小、运行成本最低、可靠性最高等为目标函数,对电网规划方案进行优化。在优化过程中,AI算法能够自动搜索解空间,快速找到接近最优解

的规划方案,大大提高了电网规划方案的制定效率和质量。

### 4.3 考虑分布式能源接入的电网规划

随着分布式能源在城市电力系统中的广泛应用,其对电网规划产生了重要影响。分布式能源的发电具有间歇性和波动性,接入电网后可能会对电网的电压稳定性、电能质量和继电保护等方面带来挑战。AI 技术可以通过对分布式能源发电数据和电网运行数据的分析,建立分布式能源接入电网的优化模型。如利用机器学习算法预测分布式能源的发电功率,结合电网的负荷需求和运行约束条件,优化分布式能源的接入位置和容量,使分布式能源能够更好地与电网融合,提高电网对分布式能源的接纳能力,同时保障电网的安全稳定运行。

## 5 电力调度

### 5.1 AI 优化电力调度策略

通过建立电力调度优化模型,利用智能优化算法求解最优的发电计划和电力分配方案,实现电力系统的安全、稳定和经济运行。基于强化学习的电力调度算法,通过让智能体在电力系统环境中不断进行试错学习,根据环境反馈的奖励信号调整自身的行为策略,最终找到最优的电力调度策略。在实际应用中,强化学习算法可以实时根据电网的运行状态动态调整发电出力和电力潮流分布,提高电力系统的运行效率和应对突发情况的能力。

### 5.2 实时电力系统运行态势感知

利用 AI 技术中的图像识别、数据挖掘等技术,实现对实时电力系统运行态势的全面感知。对电力系统监控画面、各类运行数据的分析,能快速准确地识别电力系统的运行状态,如正常运行、过载、故障等,并对潜在的风险进行预警。通过对电力系统 SCADA 数据和电网拓扑结构的分析,利用深度学习算法构建电力系统运行态势感知模型。该模型能够实时监测电网中各节点的电压、电流、功率等参数的变化情况,当发现参数异常或出现潜在的故障风险时,及时发出警报,为电力调度人员提供决策支持,帮助他们快速做出正确的调度决策。

### 5.3 应对分布式能源接入的电力调度

对分布式能源发电功率的实时预测和电网负荷的动态监测,利用 AI 算法优化分布式能源与传统电源的协调调度。采用模型预测控制(MPC)算法,结合分布式能源的发电预测数据和电网的实时运行状态,提前制

定未来一段时间内的发电计划和电力调度策略,使分布式能源能够在满足自身用户需求的同时,合理参与电网的电力平衡调节,减少对电网的负面影响,提高电力系统的整体稳定性和可靠性(见图2)。

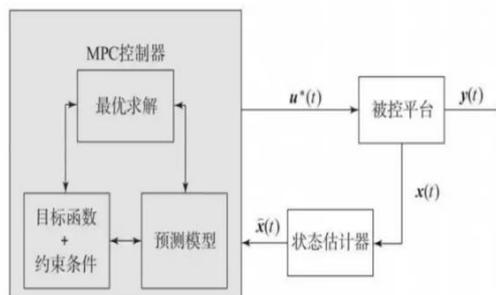


图2 模型预测控制原理示意图

## 6 结语

通过各个环节的应用,AI 技术能够有效解决城市电力管网面临的诸多问题,显著提高电力管网的运行效率、可靠性和安全性,带来巨大的经济和社会效益。随着技术的不断进步和创新,AI 技术在城市电力管网智能化领域将发挥更加重要的作用,推动城市电力管网向更加智能、高效、可靠的方向发展,为智慧城市建设提供坚实的电力保障。

### 参考文献

- [1] 张志军. 城市管网建设的智能化发展路径[J]. 张江科技评论, 2024 (6): 50-52.
- [2] 李涛, 常琳, 宋占钰, 等. 智慧管网监管系统: 城市脉络的智能守护者[J]. 中国建设信息化, 2024(16): 4-6.
- [3] 高莉, 付荣, 张伟, 等. 基于物联网的智慧城市电力沟道管控平台[J]. 电子元器件与信息技术, 2021(8): 3-4.
- [4] 康建伟, 许云龙, 吉阳, 等. 基于 GIS 的城市地下电力管网信息系统设计[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2016(2): 219.
- [5] 李凌. 地下电力管网精细化管理现场实施方案[J]. 湖南城市学院学报: 自然科学版, 2016(4): 7-8.
- [6] 沈莎莎, 刘曙光. 加强城市管网规划建设管理推进城市电网廊道建设[J]. 大科技, 2017(31): 51.

作者简介: 贾晓刚(1970.12—), 男, 汉族, 浙江省杭州市人, 本科, 高级经济师, 研究方向: 电缆监测设备的设计开发。