

[人工智能]

新一代人工智能在新能源领域中的典型应用场景分析

文/中国电机工程学会 田晓鹏
国网北京市电力公司检修分公司 邵雅宁
国网天津市电力公司高压公司 张峰
国网北京市电力公司通州供电公司 陈磊

随着能源结构变革，新能源产业得到快速发展，电网的复杂非线性和不确定性大幅提升。人工智能是智慧能源的核心支撑技术，具有应对高维、时变、非线性问题的强优化处理能力和强大的学习能力，可有效解决新能源领域面临的各种挑战。从光伏短期功率预测、光伏板积灰状态识别与分析及可再生能源日前场景生成三个方面对新一代人工智能在新能源领域中的典型应用进行了分析，为未来人工智能在新能源领域的融合应用提供参考。

2021年3月，中央财经委员会第九次会议指出，要深化电力体制改革，构建以新能源为主体的新型电力系统。随着风电、光伏等间歇式新能源的大规模接入，电力系统复杂非线性、不确定性不断加剧。人工智能技术在新能源领域中的应用可以有效规避由于新能源的随机性、间歇性给电网带来的不稳定因素，大大提高了新能源的用能管理效率，促进电力系统生产运营管理实现数字化、信息化和智能化，确保电网系统持续、稳定、安全和经济运行。

人工智能在新能源领域中的应用现状

1. 人工智能在光伏发电中的应用现状

用人工智能预测法进行光伏发电预测是目前的研究重点。以前主要采用数学统计法进行预测，误差在5%~20%之间，目前运用较少。混合预测法也是目前研究的重点，预测误差相比于单个预测模型显著减小，但是模型的复杂程度明显增加。国外学者对间接预测法研究较多，其研究热点是在天气条

件不好的情况下，如何提高太阳辐射量的预测准确度。光伏发电受到太阳辐射周期、地理环境及各种气象因素变化的影响，对其进行准确的建模和特性分析是一个多影响因素的数学难题。准确地预测光伏发电功率，可以使电力调度部门及时调整调度计划，提高电网运行的经济性和稳定性，促进新能源消纳。同时，光伏发电是一个连续不断的过程，光伏发电数据作为一个典型的时间序列，不仅是非线性的，而且具有时间相关性。赵滨滨等建立了基于差分整合移动平均自回归模型与支持向量机的分布式光伏功率预测模型，并在不同天气类型下进行案例分析。阚博文等提出了一种深度时空特征提取的光伏发电功率预测模型，基于邻近区域的光伏电站进行图建模，使用长短期记忆模型进行时间特征提取，使用图卷积神经原理提取电站的空间特征。

2. 人工智能在风力发电中的应用现状

在风力发电厂建设与生产的过程中，将人工智能技术与大数据技术结合，可以将信息物理系统架构作为技术应用的基本框架，并采用分析技术作为

基金项目：国家电网有限公司科技项目“人工智能技术在电力系统的融合应用和战略规划研究”（5100-201999444A-0-0-00）。

核心技术，引用物联网的理念构建数据端与业务端的应用渠道，进一步推动风力发电的人工智能系统实现价值升级。信息-物理系统的构建包含感知层乃至配置层的全部环节，感知层是以人工智能技术为基础，结合大数据技术，实现自动化的数据收集与管理，在完成数据收集之后，通过信息挖掘来进行有效信息的初步提取，并以海量的数据信息为基础进行风机处理。通过认知层来实现系统各个层面之间的协调配合，最终通过配置层加以执行。在“互联网+”的背景下，将大数据技术与人工智能技术应用于风力发电系统中，可以有效预测使用寿命，通过运行维护的优化策略，进一步推动风电系统的智能化水平。

人工智能在新能源领域中的典型应用场景

人工智能技术在新能源领域中的主要应用场景包括光伏短期功率预测、光伏板积灰状态识别与分析 and 可再生能源日前场景生成，常见的应用方式是将被研究的问题转化为分类或者回归问题。人工智能分类技术一般包括系统用户画像、趋势分析、推荐系统、图像分类及文本分类等。分类型范式数据集构建主要根据场景分析确定结果的分类应用范式，包括场景分析、数据处理、网络结构选择和测试评估性能等环节。理解业务问题并收集获取可靠历史信息，确定待求解问题在人工智能技术中属于回归问题。首先进行数据预处理，包括数据清洗、数据转换和数据降维等，并进行训练集与测试集的划分；然后根据不同业务需求，确定合适的算法，搭建网络框架，并通过训练集调整模型参数，以构建最优模型，最后通过测试集进行算例仿真，验证模型性能，并根据业务人员需求，研发相应的可视化界面与反馈模块。综上所述，光伏板积灰状态识别与分析属于分类问题，光伏短期功率预测、可再生能源日前场景生成属于回归问题。

1. 光伏短期功率预测

在复杂天气条件下，光伏出力短时波动较大，确定性预测方法的预测准确度显著降低，影响电网的安全稳定运行。概率预测方法以光伏设备在预测时刻的出力概率分布为输出，即给出预测时刻光伏设备所有可能的出力值及其概率，从而对预测点的不确定性进行描述。调度系统利用预测的区间大小

评估光伏出力的波动情况，进而考虑极端状况下的调度策略，提高电网的安全性。

光伏出力的影响因素复杂且多样。光伏的能量来源于太阳辐射，地球的公转与自转使得光伏出力具有明显的季节特性与日内特性，而地表的天气情况则会进一步影响光伏出力值。因此，来源于光伏设备附近气象站等其他方式的天气预报数据是光伏功率预测的一项重要数据信息，包括天气类型、温度、大气压强、相对湿度、风速、云层高度与云量占比、雾霾指数及能见度等。此外，光伏设备的历史运行数据可作为概率预测的有效数据资源。将上述相关数据作为训练模型的输入时，也可采用神经网络等方法，提高后续模型有效信息的获取能力，有助于提升预测准确度。

利用人工智能技术对配电网中分布式光伏电源与同期环境特征的历史数据进行分析，研究电源与特征在空间和时间上的特性，利用特征提取算法精简间接影响因素，提高数据价值；设计基于贝叶斯神经网络的分布式光伏电源概率预测模型，包括网络结构、训练算法与优化策略；并选取某地实际数据对建立的贝叶斯神经网络模型进行训练学习，实现分布式光伏电源的概率预测。

通常预先假设预测目标服从确定的分布函数，如正态分布、Beta分布或Weibull分布等，从历史数据中学习分布函数的参数，从而得到预测点光伏出力的分布情况与功率区间。然而，在不同天气条件下，光伏出力的分布特性并不完全一致，采用单一分布函数无法准确描述光伏出力的随机特性。因此，应尽量降低预设条件的限制，通过模型直接学习数据随机特性，从而提高模型的泛化性，并使得模型面对环境信息变化时表现出更高的适应性。因此，采用贝叶斯神经网络作为光伏概率预测模型，将神经网络的权重值以概率分布的形式表示，从而在训练过程中直接学习光伏出力的随机性。此外，光伏功率预测模型的输入涉及两种类型数据：一种是具有高度非线性相关性的天气数据；另一种是具有强时序特性的光伏历史出力数据。这两种不同特性的数据为光伏概率预测模型的学习提出了挑战，模型需要能够同时适应这两种类型的输入数据。因此，可以将贝叶斯神经网络输入端进行改进，其结构如图1所示。改进后的网络输入端分为三类，其

中,天气信息作为第一类输入,先输入到全连接神经网络再进入概率层,从而提取其中的非线性信息;历史光伏出力数据是第二类输入,先输入到一维卷积神经网络再进入概率层,从而提取其中时序信息;而预测点前一个已知出力数据与预测点相关性最大,作为第三类直接输入概率层。建立光伏概率预测模型后,以某地区实际的光伏发电设备为例对模型进行测试与评估。改进型贝叶斯神经网络模型示意图如图1所示。采用过去一年内该设备的实际数据训练模型,并将本文方法与传统光伏概率预测方法进行对比,结果如图2所示。可以看出,在保证预测准确率的前提下,本方法的预测区间要显著窄于传统方法,证明了本文方法的预测效果较好。

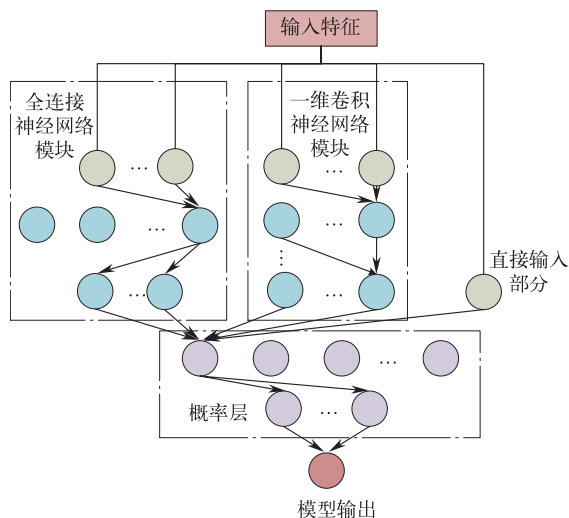


图1 改进型贝叶斯神经网络模型示意图

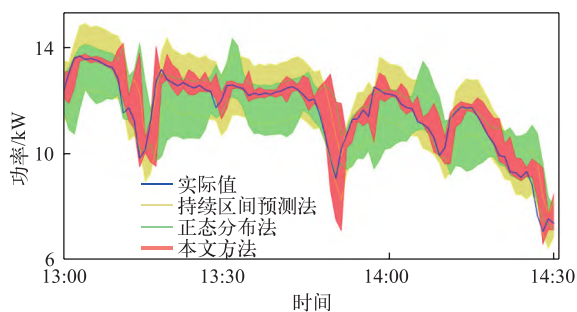


图2 各方法的预测区间对比

由此可见,在光伏处理预测中,概率神经网络能够有效应对模型学习数据的随机特性,并给出精确的预测区间,同时也对光伏功率突变具有良好的适应性。

2. 光伏板积灰状态识别与分析

化石燃料引发的环境问题日益严重,我国越来越重视可再生能源的开发,基于东北、西北地域广阔和太阳能资源丰富的地理优势,建设了大量的地面并网光伏电站。然而这些地域风沙大,扬尘多,水资源短缺,夏冬季节温差较大,复杂多变的环境下长期运行的光伏电站易出现光伏电池板(光伏板)积灰(见图3)、热斑和隐裂破损等部件级故障,以及组件不匹配、电气不匹配与母线故障等系统级故障。光伏板积灰既降低了光伏板发电效率,又会导致板面局部过热而形成热斑,现场普遍依据运维人员的经验和人工观测方法来定性分析积灰状态,但精确性、实时性较差,难以满足光伏板积灰状态实时监测与故障诊断、清洗维护优化及高效安全并网等智能化运维的发展需求。

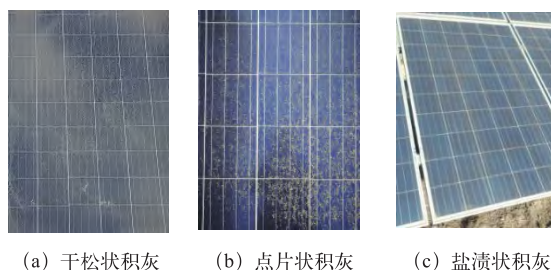


图3 光伏板积灰状态图像

基于人工智能图像识别技术的光伏板积灰状态辨识的流程为:收集光伏板图像信息,主要包括光伏板在可见光图像中显著的颜色和纹理特征;制备光伏板图像训练数据集;通过卷积神经网络模型进行光伏板图像的特征提取及学习;利用训练好的模型进行光伏板积灰图像的分类。以光伏板积灰现场试验系统采集数据为例,包括:光伏板阵列;环境资源监测站,检测系统所在地辐照度、气温等环境气象参数;可见光摄像头,拍摄光伏板积灰状态图像;电力参数测量仪,检测光伏阵列的电压、电流、功率及其他参数;板温传感器,检测光伏板板背温度;图像/数据采集器、图像/数据无线传输装置,采集、存储并无线传输图像、运行参数到监控主机;逆变升压等并网设备等。光伏板积灰状态图像监测系统结构图如图4所示。

结合卷积神经学习算法和图像识别技术,建立基于卷积神经学习的光伏板积灰状态识别与分析模型;直接以可见光摄像头采集的积灰状态图像

为输入，以目标光伏板采集时刻发电效率损失率为输出。首先，模型采用残差网络提取图像特征；而后，采用全连接形式将图像提取的二维图像特征数据一维化；最后，采用Softmax分类器计算图像所处某类别的概率。该方法避免了复杂的气象参数与光伏板运行参数监测设备的安装与维护，以及传统机器学习算法需人工提取显性特征的种种弊端，实现光伏板积灰状态的直接、智能、精确识别与分析。

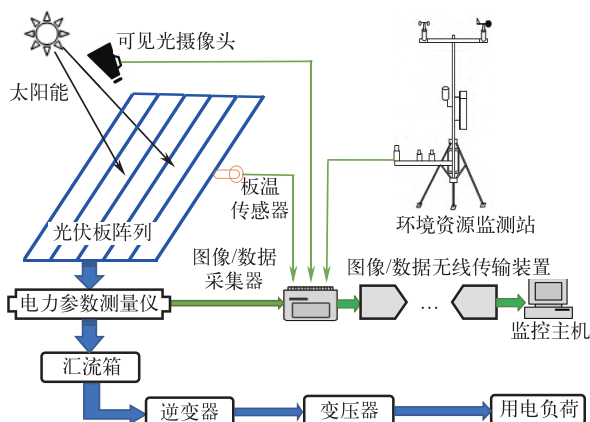


图4 光伏板积灰状态图像监测系统结构图

利用人工智能模型识别分析可见光摄像头采集的图像，能够实现对光伏板积灰状态的智能感知与定量分析。应用人工智能模型可直接从可见光图像识别光伏板积灰状态，省去了以电流、电压和功率等参数计算积灰影响的传统步骤，还避免了传统机器学习算法靠人工提取图像特征的种种不足。

3. 可再生能源日前场景生成

随着可再生能源发电渗透率的不断提高，其出力的间歇性和随机性严重影响着电力系统的稳定运行，如何描述可再生能源出力的不确定性是克服这些挑战的关键问题。现有研究主要通过场景法和区间法对可再生能源出力的不确定性进行描述分析，而使用场景分析法能够带来更稳定的优化方案。在电力系统日前优化调度中使用场景集对可再生能源出力进行描述，可以提高调度计划对可再生能源出力波动的适应性。

可再生能源日前场景的构建问题，可以视为在已知日前预测值的基础上构建次日出力的分布情况，以便描述可再生能源出力不确定性。若使用可再生能源电站历史数据作为训练样本集，其主要包

括出力的历史实测数据与日前预测数据，日前预测数据与实测数据可分别作为条件与真实样本输入条件生成对抗神经网络（CGAN）进行训练。经过训练后，CGAN的生成器可学习到满足预测条件的噪声分布与出力分布之间的映射关系。

CGAN的结构能够较好地适应可再生能源日前场景构建问题，并且卷积网络结构能有效反映可再生能源相关性特征，通过合理的正则化层以及激活函数引入能提升网络的表达能力。

将CGAN日前场景生成方法与传统Markov链方法进行仿真对比，结果表明，CGAN模型能更好地描述对应预测值下的预测误差区间，对实测值有着较高的覆盖率及更小的功率区间宽度，能准确描述可再生能源日前出力不确定性。

结束语

新能源发电作为我国能源转型发展的重要力量，未来还将持续快速发展，并逐步成为主力电源，可再生能源装机容量的快速增长，给电网安全稳定运行和新能源消纳带来了极大挑战。在当前大力发展新能源发电的背景下，可再生能源发电单元、新型电力电子设备装置的接入，以电动汽车为代表的主动负荷的增多都给电力系统注入了更多的不确定性。“大云物移智链”等人工智能技术的应用，可以有效解决新能源领域面临的诸多挑战。本文通过对新一代人工智能在新能源领域中三个典型应用场景的分析与研究，为未来人工智能在新能源领域的进一步应用提供技术指导。EA

（收稿日期：2022-02-11）

参考文献

- [1] 赵滨滨，王莹，王彬，等．基于ARIMA时间序列的分布式光伏系统输出功率预测方法研究[J]．可再生能源，2019，37(6)：820-823．
- [2] 阙博文，刘广一，KHODAYAR Mahdi，等．基于图机器学习的分布式光伏发电预测[J]．供用电，2019，36(11)：20-27．
- [3] 刘永成，李川，曹喆，等．区域综合能源发展评估指标体系[J]．电气应用，2020，39(2)：64-72．