

# 基于优化反向传播神经网络模型的光伏发电功率预测

宋芑阳 巩秀中 陈润超 郭政委  
华电电力科学研究院有限公司山东分院  
DOI:10.12238/pe.v3i5.16613

**[摘要]** 随着社会的发展以及科技的进步,光伏发电的市场正逐渐转向并网发电系统,但光伏发电输出功率容易受外界环境的干扰,其波动性以及间歇性等缺点会对主电网造成冲击,因此对于光伏发电功率的预测研究具有很重要的意义。本文以某智能微电网项目的光伏为研究对象,提出一种基于粒子群算法(PSO)和动量法的反向传播神经网络(BP)模型,通过PSO算法和动量法优化BP神经网络的权重和偏置。在前期首先将数据做归一化处理,再通过灰色关联度分析选出重要特征,最后进行光伏发电功率预测实验。结果显示本文的算法模型对光伏发电功率具有更好的预测性能。

**[关键词]** 光伏发电功率; 反向传播神经网络; 粒子群算法; 动量法

**中图分类号:** TM62 **文献标识码:** A

## Photovoltaic Power Prediction Based on Optimized Back Propagation Neural Network Model

Pengyang Song Xiuzhong Gong Runchao Chen Zhengwei Guo  
Shandong Branch of Huadian Electric Power Research Institute Co. LTD.

**[Abstract]** With the advancement of society and technology, the photovoltaic power generation market is increasingly shifting toward grid-connected systems. However, photovoltaic output power remains susceptible to environmental disturbances, with its inherent volatility and intermittency posing challenges to the main power grid. This highlights the critical importance of developing predictive models for photovoltaic power generation. Focusing on a smart microgrid project's PV system, this study proposes an innovative model combining particle swarm optimization (PSO) with momentum-based backpropagation neural networks (BP). The PSO algorithm and momentum method are employed to optimize both weights and biases in the BP network. The methodology involves three key steps: data normalization, identification of critical features through grey relational analysis, and photovoltaic power prediction experiments. Results demonstrate that the proposed model exhibits superior predictive performance compared to conventional methods.

**[Key words]** Photovoltaic power generation, Back propagation neural network, Particle swarm optimization algorithm, Momentum method

## 引言

光伏发电系统安全可靠、不受地域的限制,可利用建筑物顶面的优势,建设周期短<sup>[1]</sup>,光伏发电系统在运行过程中受到气象条件等多种因素的制约,其输出功率表现出显著的波动性。

目前,光伏功率预测方法主要分为三大类。赫卫国等人<sup>[2]</sup>创新性地将自回归积分滑动平均模型与支持向量回归模型相结合,实现了光伏电站超短期功率的预测。Duan等<sup>[3]</sup>采用非线性阻尼最小二乘法对反向传播神经网络进行优化。然而,现有研究基于人工神经网络的方法仍然存在突出局限性。

针对以上问题,本文提出一种基于粒子群算法和动量法优

化的反向传播神经网络。将数据进行归一化处理,通过采用灰色关联度分析方法对关键特征变量进行筛选,实现了计算效率的优化与预测性能的提升。在此基础上,将粒子群算法与动量梯度下降策略相结合,以有效解决传统训练过程中常见的梯度消失问题及收敛速率不足等技术难题。

## 1 数据提取

本研究采用某智能微电网项目光伏数据,从数据库中查询2023年份某一栋楼宇的光伏数据进行分析,数据包括总有功功率、总发电量、风速、气压、温度、湿度和光辐射。根据月总发电量多少将月份进行分类,天气分为晴、阴、雨三种天气类型,

再根据影响光伏实际发电功率的气候因素来提取数据,使数据分类清晰,有利于模型的建立。

### 1.1月份、天气分类

将月份和天气进行分类。首先从数据库中查询到每个月份的总发电量,其中5、7、8、9月份发电量明显高于其他月份,可以将其归为一类,3、4、6、10月份发电量次之,为二类,1、2、11、12月份为三类。

### 1.2气象因素

对光伏发电功率影响最大的是光辐射,光辐射的强弱受大气质量、地区海拔高度、日照时间等影响<sup>[4]</sup>。而环境温度、湿度、风速、气压、光辐射之间也相互影响。因此在提取数据时,每一天的数据应该包括总有功功率、风速、气压、温度、湿度和光辐射。

## 2 数据预处理

从数据库中提取的数据量比较庞大,所以对提取的一部分数据进行舍弃,即一天24小时中每隔15分钟取一个数据。然后再将数据进行标准化处理,最后通过灰色关联度分析,选出对光伏实际发电功率影响比较大的气象因素,减少数据量,有利于模型的搭建,也有利于提高模型的精度。

### 2.1数据标准化

本文采取数据标准化中常用的归一化与反归一化方法来对数据进行处理。由于神经网络输出层的激活函数的值域是有限制的,因此需要将网络训练的目标数据映射到激活函数的值域<sup>[5]</sup>。归一化可以将数据全部限制在(0, 1)区间内,通过归一化处理,可以加快模型的收敛速度,减少训练时长。

### 2.2灰色关联度分析

通常运用此方法来分析各个因素对于结果的影响程度,灰色关联度分析具体步骤如下<sup>[6]</sup>:

步骤1对数据进行归一化处理;

步骤2计算数据集中的差值绝对值X;

步骤3计算数据集中的最大值MAX和最小值MIN;

步骤4计算每个对应的关联系数Y;

步骤5对所计算出的所有关联系数Y做平均计算,得出结果,结果越接近1,表示影响程度越高。

计算结果如表1所列,从表中可以看出光辐射对光伏发电功率的影响程度最高,而风速和压强对光伏发电功率的影响程度很低。所以本文选出光辐射、温度和湿度三个气象因素来进行研究。这样的选择有利于减少搭建模型的复杂度,也有利于提高模型的精度。

## 3 算法模型

本文采用粒子群算法(PSO)优化后的反向传播神经网络(BP)算法模型。首先通过PSO算法来对BP神经网络的权值和阈值进行优化,然后再通过动量法来更新BP神经网络的误差量,有效解决

了BP神经网络自身存在的局部极小化和梯度下降问题,预测数据也更加精确。

表1 灰色关联度系数值

关联系数	光辐射	温度	湿度	风速	压强
Y	0.95	0.68	0.57	0.25	0.08

### 3.1反向传播神经网络(BP)

BP神经网络是一种典型的多层前馈网络结构,其核心学习机制运用梯度下降优化方法,通过逆向误差传播过程不断对网络权值与阈值参数加以修正,以此达成网络输出误差最小化的目标<sup>[7]</sup>。

本文将光辐射、温度、湿度和历史光伏发电功率作为输入值,首先通过输入层传递到隐含层,在隐含层内部进行处理后,最后通过输出层输出预测光伏发电功率值。在BP神经网络的前向传播过程中,若输出层的实际结果与期望值之间存在偏差,系统将自动启动误差反向传播机制。在该过程中,输出误差信号会经由隐含层逐级传递至输入层,并将整体误差分配至网络各层的神经元单元,从而获得各层单元的误差梯度信息。这些梯度数据将作为网络权重参数调整的核心依据<sup>[8]</sup>。

### 3.2粒子群算法(PSO)

粒子群算法是一种基于群体智能的数值优化算法。其核心思想是在群体个体之间进行协作与信息交流,从而不断逼近全局最优解<sup>[9]</sup>。在本研究中,PSO用于BP神经网络的权重和偏置进行优化更新,从而有效缓解传统BP神经网络在训练过程中易出现的梯度下降停滞问题以及过拟合现象。计算公式如(1)、(2)式所示。

$$V_{id}^{k+1} = \omega V_{id}^k + c_1 r_1 (P_{id}^k - X_{id}^k) + c_2 r_2 (G_{gd}^k - X_{id}^k) \quad (1)$$

$$X_{id}^{k+1} = X_{id}^k + V_{id}^{k+1} \quad (2)$$

### 3.3动量法

BP神经网络存在梯度下降问题,如果优化的函数比较复杂,收敛速度会很慢,降低效率,还会导致权重误差改变小,训练过程停顿。而动量法可以解决梯度下降的上述问题,动量法使用了指数加权移动平均的思想<sup>[10]</sup>。下面是使用动量法后的权重和偏置的更新计算公式。

$$W_{ij} = W_{ij} + mE_i O_p + \lambda E_j O_i \quad (3)$$

$$\theta_j = \theta_j + mE_j + \lambda E \quad (4)$$

其中m表示动量因子。

## 4 结果与讨论

对本文提出的粒子群算法与动量法优化的反向传播神经网络模型进行测试实验。测试实验内容为三种月份分别在晴天、阴天、雨天的光伏发电功率预测,同时与未经优化的反向传播神经

网络模型的结果进行比较。

#### 4.1 光伏发电功率预测结果

实验对优化的BP神经网络和未优化的BP神经网络分别在一类、二类和三类月份下的晴、阴、雨天的光伏发电功率进行预测。实验结果如图1、图2所示。实验结果选取发电量最高的一类月份。本研究对两种模型在一周预测数据中的时序与发电功率关系进行了可视化分析。通过对预测曲线与实际曲线拟合程度的评估可以看出, PSO-BP模型的预测精度显著优于传统BP模型。在晴朗天气条件下, 由于太阳辐射强度波动较小, 光伏系统发电量保持在较高水平, 并呈现出稳定的规律性特征, 因此两种模型的预测误差均处于较低范围。阴天和雨天, 气候因素曲线变化波动更大, 无规律可循, 发电量也比较低, 所以两模型预测精度远小于晴天的预测效果, 预测误差也都比较大。

#### 4.2 实验误差

本文误差选取预测效果较好的晴天时的数据, 预测误差指标如表2所列。在MAE和MAPE指标下, PSO-BP模型比BP模型分别减少了9.261%和0.84%的误差。在MSE和RMSE指标下, PSO-BP模型呈现的性能也是最好的, 特别是在RMSE指标下, 减少了10.026%的误差, 体现了优化的结果, 避免了训练过拟合以及防止梯度消失和爆炸等情况的发生。

表2 预测误差指标

模型	BP	PSO-BP
MAE	0.45415	0.36154
MSE	0.76854	0.68245
RMSE	0.95487	0.85461
MAPE	0.07815	0.06975

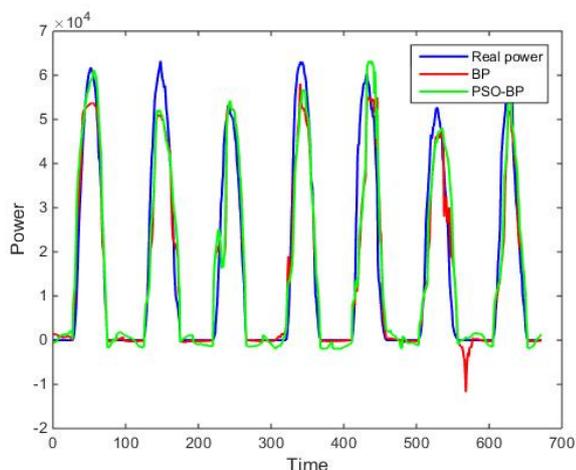


图1 一类月份晴天光伏发电功率

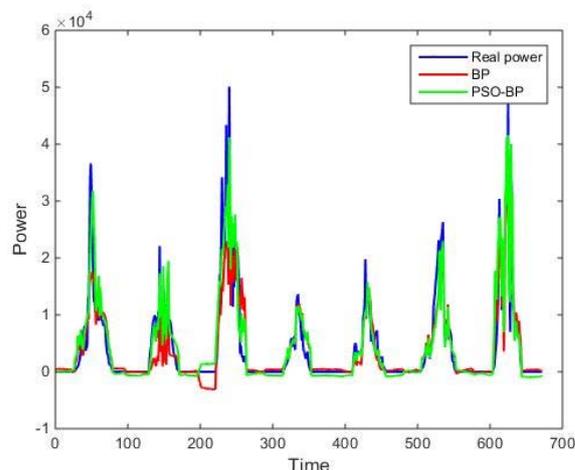


图2 一类月份雨天光伏发电功率

### 5 结论

为保证光伏发电与电网供需的平衡, 并进一步提升光伏功率预测的精度, 本文提出了一种结合粒子群算法与动量法优化的反向传播神经网络模型。在模型训练中引入归一化处理与灰色关联度分析, 以为后续精度提升提供支持。经PSO和动量法优化的BP神经网络, 解决了梯度下降和过拟合的问题。综合预测曲线及误差分析结果表明, 该优化后的BP神经网络模型在光伏功率预测及光伏电站运行维护中具有较高的应用价值。未来研究可进一步结合天空云图图像与气象数据, 以实现光伏发电输出功率的更高精度预测。

#### [参考文献]

[1]李艳坤,周荣斌.光伏发电的现状与发展前景[J].现代工业经济和信信息化,2021,11(01):53-54.

[2]赫卫国,郝向军,郭雅娟,等.基于ARIMA和SVR的光伏电站超短期功率预测[J].广东电力,2017,30(8):32-37.

[3]Duan X, Fan L. Based on improved BP neural network model generating power predicting for PV system[C].//World Automation Congress 2012.IEEE,2012:1-4.

[4]Mellit A, Pavan A M. 24-h Forecast of Solar Irradiance Using Artificial Neural Network: Application for Performance Prediction of a Grid-Connected PV Plant at Trieste, Italy[J]. Solar Energy,2010,84(5):807-821.

[5]李硕.神经网络介绍[J].科技传播,2011,(7):111+175.

[6]Wei G W 2011 Expert Syst.App1.384824.

[7]齐琦,陈芳芳,赵辉,赵玉.基于优化BP神经网络光伏出力短期预测研究[J].计算机测量与控制,2021,29(04):70-75.

[8]李力,徐勇.基于BP神经网络的建筑能耗预测[J].电脑编程技巧与维护,2021(04):10-12.

[9]关书怀,沈艳霞.基于粒子群优化径向基函数神经网络的电力负荷预测[J].传感器与微系统,2021,40(05):128-131.

[10]刘晓楠,王胜辉,金月新.基于附加动量法的小波神经网络  
风电功率短期预测[J].沈阳工程学院学报,2015,11(2):101-106.

宋芄阳(1995--),男,汉族,山东枣庄人,硕士研究生,职称:技  
术专责;研究方向:新能源。

作者简介: