

# 基于风光混合模型的短期功率预测方法研究

孔波利<sup>1</sup>, 崔丽艳<sup>1</sup>, 丁钊<sup>1</sup>, 李现伟<sup>1</sup>, 王以笑<sup>2</sup>

(1. 许继电气股份有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 微电网系统公司, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 准确地预测风力发电及光伏发电的输出功率对提高风光互补供电系统的调度质量具有重要意义。建立了基于BP神经网络的风光混合预测模型, 将现有技术中分两次预测的风电功率和光伏功率采用同一个预测模型, 同时实现整个区域风电场及光伏电站的输出功率预测, 在简化预测方法的同时提高预测准确度。通过某海岛的风电及光伏电站的实际数据验证, 计算分析了预测误差。结果表明该方法具有较高的预测精度, 对风光混合的功率预测具有一定的学术价值和工程实用价值。

**关键词:** 光伏发电; 风力发电; 神经网络; 功率预测

## Short term power prediction based on hybrid wind-PV forecasting model

KONG Boli<sup>1</sup>, CUI Liyan<sup>1</sup>, DING Zhao<sup>1</sup>, LI Xianwei<sup>1</sup>, WANG Yixiao<sup>2</sup>

(1. XJ Electric Co., Ltd., Xuchang 461000, China; 2. Micro-grid System Company, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** Accurate wind power and photovoltaic power outputs forecasting is important to improve the scheduling quality of wind and solar hybrid generation system. The hybrid wind-PV forecasting model based on BP neural network is established to achieve the forecasting of the entire wind power and photovoltaic power station, using the same forecasting model instead of twice forecasting, it can simplify the prediction and improve the prediction precision effectively. The method is validated by wind farm and photovoltaic system data in a coastal islands and the forecast error is calculated and analyzed. The results show the method has high accuracy, which has good academic value and practical value to forecast power for hybrid wind-PV generation system.

**Key words:** photovoltaic power generation; wind power generation; neural network; power prediction

中图分类号: TM615

文章编号: 1674-3415(2015)18-0062-05

## 0 引言

近年来, 在各国政府的大力支持下, 具有清洁环保、无污染、分布广泛、可再生等优点的风力发电和光伏发电得到了快速的发展。然而, 随着风电、光伏发电大规模的接入电网, 风电、光伏出力的随机性、间歇性和波动性给电网的稳定运行带来了前所未有的压力, 不但影响电能质量, 加剧电网的调峰运行负担, 而且也给电网的调度工作带来很大的困难<sup>[1-3]</sup>。

为了应对大规模风电及光伏发电接入对电网稳定性的影响, 我国各高校及电力企业相继开展了对风电、光伏发电功率预测的研究工作, 目前已有风电、光伏功率预测系统正在运行中。风电、光伏功率预测系统对于减小风电和光伏发电功率波动性对电网稳定运行和经济调度的影响, 具有重要的现

实意义。文献[4]提出的方案中, 风电功率采用 BP 神经网络的学习算法进行预测, 光伏发电功率采用物理方法进行预测; 文献[5]提出了一种采用 BP 神经网络算法进行光伏发电功率预测的方案; 文献[6]基于经验模态分解和神经网络技术分别为风电功率和光伏发电功率构建短期预测模型。与上述的方案一样, 国内现有的功率预测系统大部分都是独立的风电功率预测系统或是独立的光伏发电功率预测系统, 例如中国电力科学研究院开发的光伏发电功率预测系统已在上海、青海等电网调度机构投运, 许继集团开发的 SPF-801 光伏发电功率预测系统在宁夏中卫金阳光伏电站、陕西蒲城拓日 10MWp 金太阳项目等工程中成功投运。随着风光混合供电系统的广泛应用, 研究风光混合的功率预测方法是非常必要的。

本文在常规功率预测方法的基础上, 提出了一

种基于风光混合模型的功率预测方法。将现有技术中分两次预测的风电功率与光伏功率采用同一个BP神经网络预测模型,能够同时实现整个区域风电场及光伏电站的输出功率预测,在简化预测方法的同时提高预测准确度,从而具有更广泛的工程应用价值。

## 1 风电和光伏的短期功率预测方法

目前,国内外学者在风电场及光伏电站的功率预测方面取得了一定的成果,简要介绍如下。

### 1.1 风力发电的短期功率预测方法

风电功率预测的分类方式多样,常用的预测方法主要包括基于数值天气预报的物理预测方法和基于历史数据的统计预测方法<sup>[7]</sup>。

#### (1) 基于数值天气预报的物理预测方法

该方法充分利用数值天气预报数据,将其精化为风电场实际地形、地貌条件下风电机组轮毂高度的风速、风向等信息,然后根据风力机的功率曲线计算得出实际输出功率。考虑的数值天气预报数据主要有风向、风速、气温、气压等,考虑的风电场周围的物理信息主要有等高线、粗糙度、障碍物等,此外还需要考虑风力机本身的轮毂高度、功率曲线、控制和传动等因素<sup>[8]</sup>。

采用此种方法对风电场建立物理模型时,不需要大量的历史数据,但需要有丰富的气象知识。其不足之处在于建模困难,需对风电场所处地理位置的各种条件进行分析研究,且模型的精度对预测结果有很大的影响,通常适用于没有历史观测数据的新建风电场。

#### (2) 基于历史数据的统计预测方法

采用过去一段时间的若干历史观测数据(通常包括功率、风速、风向、温度、气压等)和风电场的风力机输出功率建立映射关系,得出风力机的出力预测。建立这种映射关系的方法主要包括时间序列分析方法<sup>[9]</sup>、卡尔曼滤波法<sup>[10]</sup>及人工神经网络方法<sup>[11-12]</sup>等。风速及风电场功率的预测是一个涉及因素十分复杂的非线性过程,并且具有高度的不确定性,而神经网络正好具有处理非线性和不确定对象的特点,因此,神经网络预测法在风电功率预测中得到了广泛的应用。

使用统计模型进行建模时,需要大量的风力机或测风塔的历史观测数据来训练模型,对数据的完整性和准确性有较高的要求,适用于已经稳定运行的风电场。

### 1.2 光伏发电的短期功率预测方法

与风电的功率预测方法类似,光伏发电的功率

预测方法也大致分为物理预测和统计预测。物理方法是将当地气象数据作为输入,采用物理方程的形式求解,最终结合电站的数据求出光伏电站的输出功率。统计预测主要是对光伏电站历史数据进行统计分析,建立起描述气象因素变量与光伏功率输出间关系的预测模型<sup>[13]</sup>,根据实测数据和数值天气预报数据对光伏电站输出功率进行预测,常用的方法有时间序列法和BP神经网络法。

## 2 风光混合模型的功率预测方法

### 2.1 风光混合模型的功率预测原理

影响风电场的风电机组输出功率的因素主要有:风速、风向、环境温度、湿度、气压等气象因素;风力机位置的经纬度、海拔高度等地理信息;机组类型、单机容量、轮毂高度、叶轮直径、功率曲线等机组信息。而影响光伏发电输出功率的因素主要有:总辐射、直接辐射、散射辐射、环境温度、组件温度、相对湿度、气压、风速、风向、云量等气象因素以及经纬度、海拔高度、入射角、光伏电站容量等基础信息。由此可以看出,由于地球物理环境的复杂性,风力发电涉及的参数条件与光伏发电涉及的参数条件拥有共同的影响因素,它们之间存在着一定的耦合关系,不应该将光伏发电与风力发电作为独立的过程去看,不应该将各自的参数分割开来分别利用学习算法去求解,而可以使用同一个预测模型,将这些参数全部作为输入,直接输出光伏发电功率预测值和风力发电功率预测值,起到提高预测准确度的作用,同时能够简化预测方法。

本文提出的基于风光混合模型的短期功率预测方法就是基于上述思想,采用基于神经网络的统计预测方法,考虑各类气象因素对风电场、光伏电站输出功率的影响,结合风电场及光伏电站的历史运行数据、数值天气预报数据、实时气象采集数据、风电场及光伏电站的物理模型等,建立风光混合功率预测模型,在同一个预测模型中,采用按照每个预测点的输入输出进行功率预测(每15 min一个预测点)的方式,实现未来0~72 h的风电及光伏的短期功率预测。该预测方式不是按日进行预测的,而是按点来预测的,即每次预测只输出未来一个时间点的风电功率和光伏功率的预测结果,可提高预测精度,即使存在缺测数据,对预测结果也不会产生影响。

### 2.2 风光混合功率预测模型的建立

BP神经网络是一种多层前馈型神经网络,其神经元的传递是S型函数,输出量为0到1之间的连续

量, 可以实现从输入到输出的任意非线性映射, 采用最小均方根误差的学习方式, 通过非线性变化实现权值的调整, 最终使误差达到目标范围。而风电功率及光伏发电功率的预测正是一个涉及众多参数的复杂的非线性过程, 因此本文采用BP神经网络来建立风光混合的功率预测模型, 其结构如图1所示。

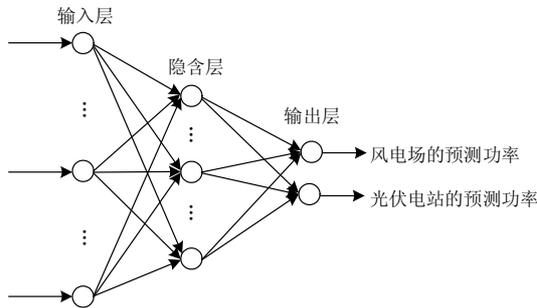


图 1 BP 神经网络预测模型结构

Fig. 1 Structure of BP neural network prediction model

图 1 所示的 BP 神经网络具有三层结构, 考虑影响风电及光伏输出功率的各类气象因素、风电场及光伏电站的基础信息等, 其输入层至少包含风速、风向、环境温度、湿度、云量、气压、法向直射辐照度、散射辐照度、总辐照度、风电机组的容量、轮毂高度、叶轮直径、功率曲线、风力机位置、海拔高度、风速测量的高度、风向测量的高度、经纬度、光伏电站的容量、光伏板温度、组串的开路电压和短路电流、最大功率点电压及电流等; 其输出层为风电场的功率预测结果和光伏电站的功率预测结果; 在输入输出层节点确定的情况下, 隐含层神经元的个数是通过反复测试得到的。

BP 神经网络预测模型建立的步骤大致为: 首先选取设定时间的实际测得的历史气象数据、风电场及光伏电站的输出功率作为用于网络训练的数据, 并对其进行预处理; 然后确定 BP 神经网络的结构, 将预处理过的数据输入到网络中进行训练, 并对预测模型进行验证及修正, 当误差达到要求时即形成训练完成的 BP 神经网络预测模型。

### 3 算例验证

为验证本文所建立预测模型的正确性和有效性, 选择某海岛的风电场及光伏电站现场的实际数据进行模拟, 以 2014-10-12 至 2014-11-11 的实测数据为训练样本, 预测 2014-11-12 的风电及光伏的功率输出, 将预测日光伏/风电的实际发电功率与预测功率进行对比, 同时将预测日天气预报预测的日照强度、风速及实测的日照强度、风速都以曲线的形

式进行展现, 如图 2、图 3 所示。

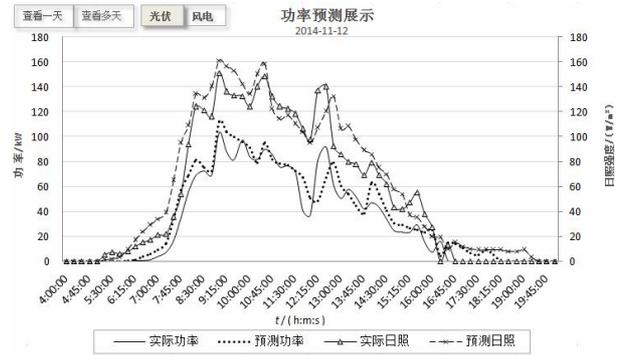


图 2 光伏发电功率预测曲线

Fig. 2 Photovoltaic generation forecasting curves

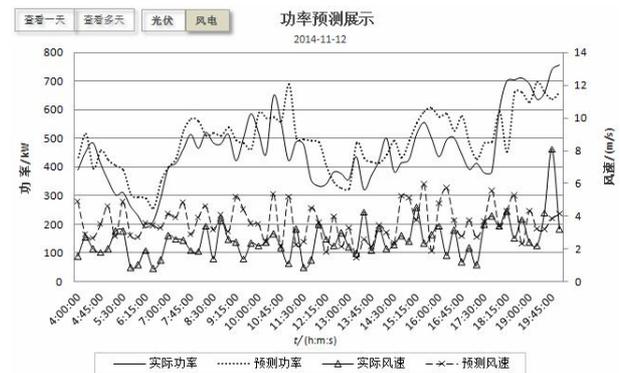


图 3 风电功率预测曲线

Fig. 3 Wind power forecasting curves

由图 2 可以看出: 光伏发电的功率随日照强度的增加而增加, 与实际情况一致; 预测曲线与电站的实际功率曲线变化一致, 基本吻合。

由图 3 可以看出: 在天气预报预测的风速存在很大误差的情况下, 风电的预测功率与实际功率曲线仍具有相同的变化趋势, 是因为本文所采用的风光混合预测模型是按照输出点来预测的, 每次预测只输出一个时间点的风光预测结果, 即使天气预报的数据不准确或存在缺测数据, 也不会对预测结果产生较大的影响。

预测日 2014 年 11 月 12 日 9:00~13:00 时间段内的预测值和实际值见表 1、表 2。

为了定量地判断模型的有效性, 采用均方根误差(RMSE)、平均绝对误差(MAE)、平均相对误差绝对值(MAPE)对预测日全天的数据进行分析, 其结果如表 3 所示。

由表 3 的预测分析结果可知, 光伏及风电的均方根误差和平均绝对误差都比较小, 光伏的预测准确度可达 98%左右, 风电的预测准确度达 92%左右。

表 1 光伏的预测值和实际值

Table 1 Forecast and actual values of photovoltaic

时间	实际功率/ kW	预测功率/ kW	实际光照 强度/(W/m <sup>2</sup> )	预测光照强 度/(W/m <sup>2</sup> )
9:00	103.2	112.116	151	163
9:15	87.6	103.677	136	153
9:30	81.6	99.867	133	153
9:45	97.2	95.549	132.5	141
10:00	83.7	90.733	124	137
10:15	81.9	79.213	140	151
10:30	89.7	95.245	148.5	159
10:45	85.6	81.771	132	127
11:00	75.6	78.681	124	110
11:15	76.6	76.928	122	117
11:30	71.4	72.663	118	110
11:45	60.6	67.277	106	104
12:00	47.4	50.566	98	95
12:15	80.8	58.615	137	107
12:30	91.8	69.76	140	122
12:45	61.2	79.32	92.5	132.5
13:00	50.7	60.485	86	106

表 2 风电的预测值和实际值

Table 2 Forecast and actual values of wind power

时间	实际功率/ kW	预测功率/ kW	实际风速/ (m/s)	预测风速/ (m/s)
9:00	514.5	539.143	2.55	3.04
9:15	421.5	491.162	2.4	5.15
9:30	499.667	482.625	1.4	4.39
9:45	586.5	463.229	2.35	3.53
10:00	520.5	589.726	2.2	3.52
10:15	445	569.568	2.4	2.45
10:30	648	572.904	2.9	5.33
10:45	555.667	561.701	2.05	2.14
11:00	423	689.732	1.1	5.18
11:15	488.333	497.547	3.2	2.24
11:30	478.667	496.138	0.85	2.4
11:45	355	490.909	1.3	4.47
12:00	332.333	485.207	3.5	3.58
12:15	339.667	399.629	2.6	1.77
12:30	381.667	345.056	2.2	3.95
12:45	377.5	326.107	2.95	2.13
13:00	355.5	325.861	2.1	3.27

表 3 预测误差统计

Table 3 Error statistics of prediction

参数	光伏	风电
均方根误差(RMSE)	0.017 1	0.078 6
平均绝对误差(MAE)	0.013 4	0.062 8
平均相对误差绝对值(MAPE)	2.636 4	0.180 6
相关性系数(r)	0.960 5	0.886 4
合格率	100%	100%

因天气变化无常, 阴天、雾霾时预测准确度会有所降低, 经过每个月的统计, 平均准确度也可达 85% 以上, 满足工程应用要求。

## 4 结论

本文提出的预测方法是风电和光伏采用同一个 BP 神经网络预测模型, 同时输出光伏发电的功率预测值和风力发电的功率预测值。其预测方式是按照每个预测点的输入输出进行预测而非按日进行, 即每次预测只输出未来一个时间点的光伏及风电的功率预测结果, 可提高预测精度, 采用这种预测方式即使存在缺测数据, 对预测结果也不会产生影响。

最后采用某海岛的风电场及光伏电站的实际数据及天气预报数据来对模型预测结果进行比较分析, 两者的均方根误差和平均绝对误差都比较小, 在阴天时预测精度也可达 85% 以上, 验证了模型本身的预测精度, 尽管所采用的样本有限, 但本文提出的风光混合预测模型具有一定的工程实用价值。

## 参考文献

- [1] 朱星阳, 张建华, 刘文霞. 风电并网引起电网电压波动的评价方法及应用[J]. 电工技术学报, 2013, 28(5): 88-98.  
ZHU Xingyang, ZHANG Jianhua, LIU Wenxia. Evaluation methodology and its application of voltage fluctuation in power networks caused by interconnected wind power[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(5): 88-98.
- [2] 茆美琴, 周松林, 苏建徽. 基于风光联合概率分布的微电网概率潮流预测[J]. 电工技术学报, 2014, 29(2): 55-63.  
MAO Meiqin, ZHOU Songlin, SU Jianhui. Probabilistic power flow forecasting of microgrid based on joint probability distribution about wind and irradiance[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(2): 55-63.
- [3] 王鹤, 胡志坚, 陈珍. 基于集合经验模态分解和小波神经网络的短期风功率组合预测[J]. 电工技术学报, 2013, 28(9): 137-144.  
WANG He, HU Zhijian, CHEN Zhen. A hybrid model for wind power forecasting based on ensemble empirical model decomposition and wavelet neural networks[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(9): 137-144.
- [4] 施佳锋, 冯双磊, 丁茂生. 宁夏电网风光一体功率预测系统[J]. 宁夏电力, 2011, 41(1): 1-3.  
SHI Jiafeng, FENG Shuanglei, DING Maosheng. The

- power forecast system for the wind and photoelectricity integrated power generation in Ningxia Power Grid[J]. Ningxia Electric Power, 2011, 41(1): 1-3.
- [5] 丁明, 王磊, 毕锐. 基于改进 BP 神经网络的光伏发电系统输出功率短期预测模型[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(11): 93-99.  
DING Ming, WANG Lei, BI Rui. A short-term prediction model to forecast output of photovoltaic system based on improved BP neural network[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(11): 93-99.
- [6] 陈垣毅. 风能及光伏发电功率短期预测方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.  
CHEN Yuanyi. Short-term prediction of wind power and photovoltaic power generation[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013.
- [7] 段彬. 风光互补发电控制系统中的短期功率预测研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2011.  
DUAN Bin. Short-term prediction of wind power and photovoltaic power generation[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2013.
- [8] 陈深, 毛晓明, 房敏. 风力和光伏发电短期功率预测研究进展与展望[J]. 广东电力, 2014, 27(1): 18-21.  
CHEN Shen, MAO Xiaoming, FANG Min. Research progress and prospect of short-time power forecast for wind and solar generating[J]. Guangdong Electric Power, 2014, 27(1): 18-21.
- [9] 蔡凯, 谭伦农, 李春林. 时间序列与神经网络法相结合的短期风速预测[J]. 电网技术, 2008, 32(8): 82-85.  
CAI Kai, TAN Lunnong, LI Chunlin. Short-term wind speed forecasting combing time series and neural network method[J]. Power System Technology, 2008, 32(8): 82-85.
- [10] BOSSANYI E A. Short-term wind prediction using Kalman filters[J]. Wind Engineering, 1985, 9(1): 1-8.
- [11] 武小梅, 白银明, 文福栓. 基于 RBF 神经网络的风电功率短期预测[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(15): 80-83.  
WU Xiaomei, BAI Yinming, WEN Fushuan. Short-term wind power forecast based on the radial basis function neural network[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(15): 80-83.
- [12] 张艳霞, 赵杰. 基于反馈型神经网络的光伏系统发电功率预测[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(15): 96-101.  
ZHANG Yanxia, ZHAO Jie. Application of recurrent neural networks to generated and power forecasting of photovoltaic system[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(15): 96-101.
- [13] 王鸿玺. 光伏发电功率的预测方法[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2013.  
WANG Hongxi. A study on the methodology of generation forecasting for photovoltaic power generation [D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2013.

---

收稿日期: 2014-11-25

作者简介:

孔波利(1978-), 男, 本科, 工程师, 主要从事光伏及微电网产品的研发工作;

崔丽艳(1987-), 女, 硕士, 主要从事光伏及微电网产品的研发工作。E-mail: 2009cuiliyan@163.com

(编辑 魏小丽)