

# 基于神经网络的风功率预测问题研究

张涛, 张新燕, 王维庆

(新疆大学电气工程学院, 新疆乌鲁木齐 830047)

**摘要:** 为了更准确地预报风力发电机出力, 给出了一种基于神经网络的风功率预测方法。介绍了风功率预测的现状和相关标准, 基于一般预测方法准确率、合格率低等因素的考虑, 尝试采用BP神经网络对其进行优化。计算数据和仿真结果表明优化后的预测数据准确率、合格率更高, 对风电场出力预测有一定的帮助。

**关键词:** 风力发电; 功率预测; 神经网络; 优化; Matlab; 仿真

**Abstract:** In order to forecast the output power of wind turbines more accurately, a wind power forecasting method based on the neural network is presented. The present situation of wind power forecasting and the relevant standards are introduced. Based on the consideration for the low accuracy and qualification rate of the general forecasting methods, the BP neural network is adopted to optimize it. The calculation data and simulation results show that the prediction data after the optimization are more accurate and qualified, and it is helpful for the output prediction of wind power.

**Key words:** wind power generation; power forecasting; neural network; optimization; Matlab; simulation

中图分类号: TM714 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2013)01-0016-03

## 0 引言

全球性的能源危机和气候变暖, 驱动了新能源在世界范围内的迅速发展。风能作为一种可再生、洁净的能源, 已得到世界各国的高度重视。风力发电以其储藏量巨大、转换形式简单、可大规模开采以及零污染等特点成为未来经济、科技发展中最有代表性和最有潜力的新能源之一。2003年, 中国风力发电累计总装机容量为567 MW, 而到了2008年已达到了12 210 MW。但是风力发电也有其缺点, 其中波动性和间歇性最明显。随着风电在电网中所占比例增大, 大电网的不确定性增大, 电力调度的难度也随之增大。为此, 对风功率的预测就显得尤为重要。目前相关的研究很多, 文献[1]介绍了一种运用神经网络对风电功率进行短期预测的方法, 证明了神经网络对研究风功率预测的有效性; 文献[2]从物理和统计方法, 给出了SVM(支持向量机)预测方法, 其对风功率预测有很大应用空间; 文献[3]分别将EMD和EEMD方法与时间序列的方法相结合应用于风功率预测中, 实验证明该方法的正确性; 文献[4]归纳了目前风功率预测的方法模型, 提出了

基金项目: 新疆大学博士基金项目(BS100122); 国家自然科学基金项目(50867004); 国家“十一五”863项目(2009AA05Z445)

改进方向。还有很多文章也都从各个角度对风功率预测进行了研究<sup>[5-9]</sup>, 都有各自见解。

## 1 风功率预测

### 1.1 风功率预测概念

风功率预测是指风电场风力发电机发电功率预测, 其原理是根据风电场气象信息有关数据, 利用物理模型计算和科学统计方法, 对风电场的风力风速进行短期预报, 并预测出风电场的功率, 从而也可实现电力调度部门对风电调度的要求。

### 1.2 风功率预测相关要求

国家颁布的《风电场功率预报管理暂行办法的通知》给出了一系列预测预报要求: 风电场功率预测系统提供的日预测曲线最大误差不超过25%; 实时预测误差不超过15%。全天预测结果的均方差跟误差应小于20%。

风电场发电预测预报考核指标为风电场发电预测预报准确率、合格率和上报率。

准确率为

$$r_1 = \left( 1 - \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \left( \frac{P_{Mk} - P_{Pk}}{Cap} \right)^2} \right) \times 100\%$$

其中  $r_1$  为预测计划曲线准确率;  $P_{Mk}$  为  $k$  时段的实际平均功率;  $P_{Pk}$  为  $k$  时段的预测平均功率;  $N$  为日

考核总时段数;  $Cap$  为风电场开机容量。

合格率为

$$r_2 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N B_k \times 100\%$$

其中  $(1 - \frac{P_{Mk} - P_{Pk}}{Cap}) \times 100\% \geq 75\%$   $B_k = 1$

$$(1 - \frac{P_{Mk} - P_{Pk}}{Cap}) \times 100\% \leq 75\% \quad B_k = 0$$

上报率为

月风电功率预测数据传输率(%) = (月成功传输数据天数 / 月日历天数) × 100%。

## 2 BP神经网络优化

### 2.1 BP神经网络简介

BP神经网络是常见的三层(输入层、承接层和输出层)网络,网络通过学习自动校正各层之间的参数,以此来记忆前面的训练结果使系统具有适应时变特性的能力而不产生泛化, BP网络结构如图1所示。

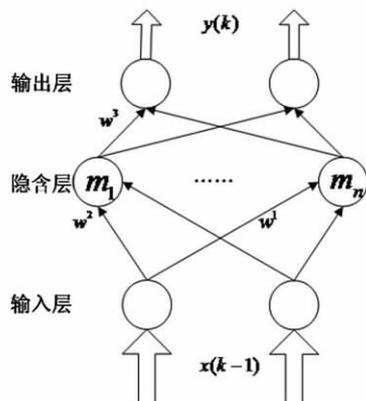


图1 BP网络结构图

### 2.2 基于BP神经网络的风功率预测

通过如下非线性空间状态方程对网络进行建模。

$$\begin{cases} y(k) = G(w^3 m(k)) \\ m(k) = F(w^1 J(k)) + w^2(x(k-1)) \\ J(k) = m(k-1) \end{cases}$$

上式中  $y$ 、 $m$ 、 $x$ 、 $J$  分别表示 1 个输出向量  $n$  个神经元节点,  $k$  维输入向量和  $n$  维反馈状态向量;  $w^1$ 、 $w^2$ 、 $w^3$  分别代表承接层与隐含层、输入层与中间层、隐含层和输出层之间的连接权值;  $G$  为输出神经元传递函数;  $F$  为隐含层神经元传递函数。网络采用 BP 算法进行权值修正,学习指标函数采用误差平方和函数,训练误差为

$$E_{rr}(w) = \sum_{k=1}^n [y_k(w) - O_k(w)]^2$$

基于 BP 神经网络的风功率预测方法还有两个必备部分,即输入样本和对应的输出样本。将风电场给出的风功率预测曲线作为输入样本,这里取短期预测曲线。

## 3 仿真与结果

在 Matlab 中建立 BP 神经网络的数学模型,对样本进行训练和测试。

图2中各曲线的意义为: Train——训练误差曲线; Validation——验证误差曲线; Test——测试误差曲线; Best——理想误差曲线; Goal——预设误差限。

由图2可以看出经过6步训练后神经网络的训练误差已满足误差允许的限制,达到了预设的误差限;且验证误差曲线和测试误差曲线的下降趋势与训练误差曲线的下降趋势相同。

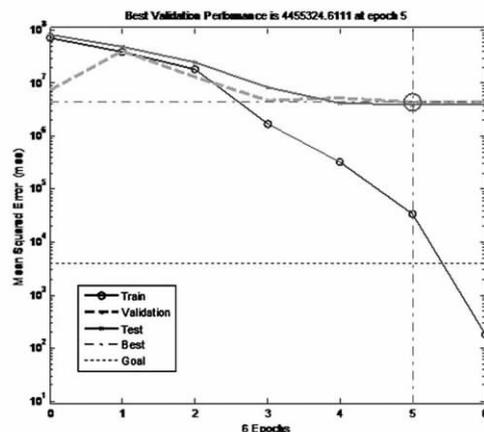


图2 网络训练误差曲线

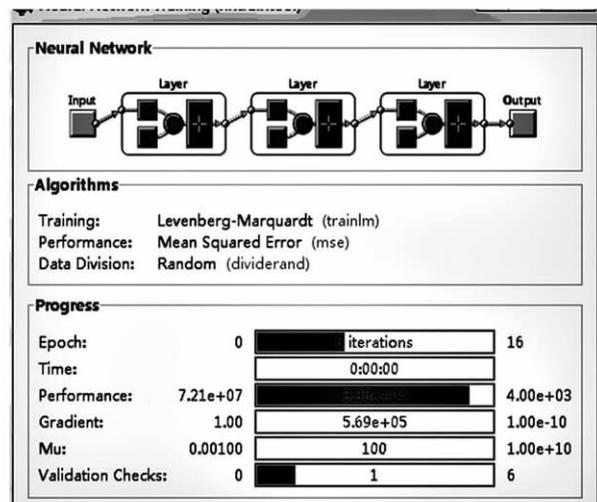


图3 神经网络训练过程

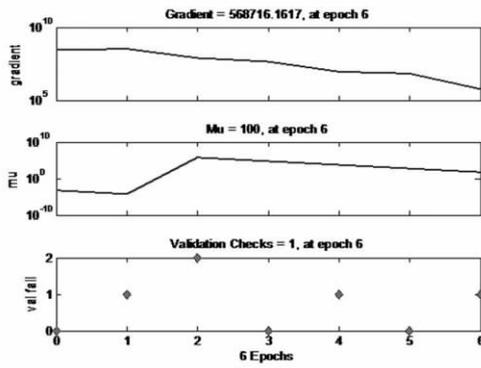


图4 训练状态曲线

由图3和图4可以看出,通过6步训练,训练误差已达到预设误差限; Gradient(逼近梯度)和参数mu曲线的整体趋势是下降的,神经网络处于一个逼近最佳状态的趋势,由图5可以看出曲线的回归特性。

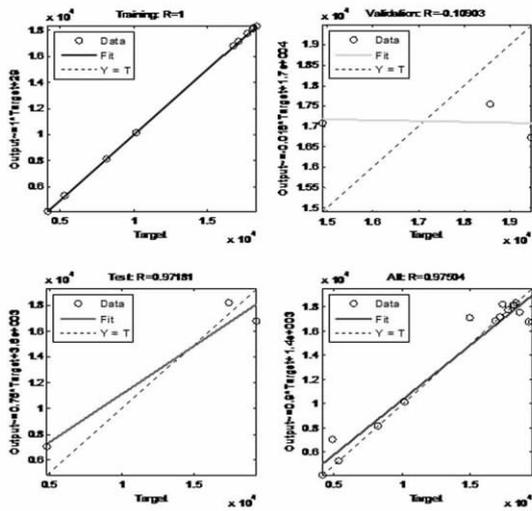


图5 回归特性曲线

图6为神经网络的优化输出与预测输出及实际输出的对比图,由图可以看出经过优化的输出曲线近似于实际输出曲线,而原始预测曲线则存在着较大的偏差。

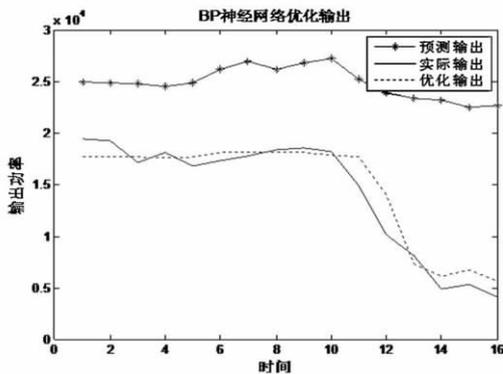


图6 优化输出对比曲线

表1 优化数据对比

优化输出	未优化输出	实际输出
17 918	29 935.78	19 472.87
17 905	29 891.21	19 245.12
17 855	29 750.12	17 155.76
17 220	29 533.16	24 128.75
17 902	29 863.30	16 802.07
16 823	31 199.18	17 348.64
17 773	31 932.91	17 752.22
16 950	31 148.47	18 333.95
17 011	31 767.36	18 570.24
18 498	32 269.56	18 164.22
16 689	31 248.28	14 895.04
12 211	28 888.62	10 171.21
7 743	28 386.97	8 157.89
7 406	28 238.50	4 854.66
6 165	27 513.38	5 298.11
5 847	27 713.31	4 095.49

将表1中的数据,带入到准确率和合格率公式中计算。

准确率为

$$r_1 = (1 - \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (\frac{P_{Mk} - P_{Pk}}{Cap})^2}) \times 100\% = 88.78\%$$

合格率为

$$r_2 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N B_k \times 100\% = 93.75\%$$

优化后的数据准确率为 88.75%,合格率为 93.75%,符合国家颁布的《风电场功率预报管理暂行办法的通知》中的相关要求。

## 4 结 语

通过运用 BP 神经网络的方法,对风电场风功率预测数据进行优化,计算数据和仿真结果表明,优化后的风功率数据准确率为 88.75%,合格率为 93.75%,符合国家颁布的《风电场功率预报管理暂行办法的通知》中的相关要求,证明该方法的有效性。

### 参考文献

- [1] 黄金花,彭晖.风电场短期风功率的神经网络方法预测研究[J].电工电气,2009(9):57-60.
- [2] 戚双斌,王维庆,张新燕.基于支持向量机的风速与风功率预测方法研究[J].华东电力,2009(9):1600-1603.

(下转第47页)

扩大,交流输电受到同步运行稳定的限制。对比分析交流输电方式与柔性轻型直流输电方式的优缺点,电网系统的稳定性及输电的可靠性以及故障时对风机的影响,表1的对比结果表明,采用柔性轻型直流输电有较好的经济效益和优越的运行特性。

## 5 结 论

通过对交流与直流输电方式的比较,得出以下结论。

(1) 由于建设换流站的造价过高,考虑到风力发电场地处偏僻,人烟稀少,若线路出现故障,维护不方便,不能及时排除故障,在风机容量较大、风力发电集中地方,将多台风力发电机组接至汇流母线处,采取柔性轻型直流输电。

(2) 现在海上风电也采取柔性轻型直流输电,由于海上风电场受地理环境的影响,不能建造高压输电线路,远距离输电时,应考虑要尽可能降低损耗,故只能采用海底电缆输送直流电。

(3) 由于大容量的风电场对电网系统的影响是很大的,大规模风电并网除了对系统带来电压、稳定和调度影响外,还将对电网短路电流水平和电能质量带来较大的影响<sup>[4]</sup>,故采用直流输电技术。对于小容量风电场,由于对电网的影响较小,故采用交流

输电。故对于分散式的风力发电机,采取交流输电较适宜。

(4) 前面提出了大型风电场接入电网方式的相关建议,为大力发展风电清洁能源、大型风电场的并网安全稳定运行、减小系统影响提供了借鉴,同时也为风电接入系统设计提供了参考。

### 参考文献

- [1] 王新志. 现代风力发电技术以工程应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [2] 任清晨. 风力发电机组工作原理和技术基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [3] 傅旭, 李海伟, 李冰寒. 大规模风电场并网对电网的影响及对策综述[J]. 陕西电力, 2010(1): 53-57.
- [4] 迟永宁, 刘燕华, 王伟胜, 等. 风电接入对电力系统的影响[J]. 电网技术, 2007, 31(3): 77-81.

作者简介:

史亚娟(1989),女,硕士研究生,研究方向为风力机控制与电力系统继电保护;

王海云(1974),女,教授,硕士生导师,研究方向为风力机控制与电力系统继电保护;

常喜强(1976),男,高级工程师,研究方向为电力系统稳定与控制及风力发电技术。

(收稿日期:2012-08-30)

(上接第18页)

- [3] 常鹏, 高亚静, 张琳, 等. 基于 EEMD 与时间序列法的短期风电场功率预测[J]. 电力科学与工程, 2012, 28(3): 33-39.
- [4] 王丽婕, 廖晓钟, 高阳, 等. 风电场发电功率的建模和预测研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(13): 118-121.
- [5] 陆宁, 周建中, 何耀耀. 粒子群优化的神经网络模型在短期负荷预测中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(12): 65-68.
- [6] 王凤霞. 风功率预测技术[J]. 云南电力技术, 2011, 39(5): 58-59.
- [7] 冯双磊, 王伟胜, 刘纯, 等. 风电场功率预测物理方法研究[J]. 中国电机工程学报, 2010(2): 1-6.

- [8] 潘迪夫, 刘辉, 李燕飞. 基于时间序列分析和卡尔曼滤波算法的风电场风速预测优化模型[J]. 2008, 32(7): 82-86.
- [9] 杜颖, 卢继平, 李青, 等. 基于最小二乘法支持向量机的风电场短期风速预测[J]. 电网技术, 2008, 32(15): 62-66.

作者简介:

张涛(1979),男,硕士研究生,助理工程师,主要研究方向为电气系统优化与设计;

张新燕(1964),女,博士研究生,教授,硕士生导师,主要研究方向为风力机控制与电气系统优化设计;

王维庆(1959),男,硕士研究生,教授,博士生导师,主要研究方向为风能利用技术的研究和应用。

(收稿日期:2012-09-18)