

DOI: 10.3969/j.issn.1006-4729.2013.01.011

短期风电功率的预测方法

范宏, 陈成优, 金义雄

(上海电力学院 电气工程学院 上海 200090)

摘要: 介绍了目前已有的风电功率短期预测方法, 包括物理方法和统计方法, 综述了国内外已有的风电场功率预测系统及其应用情况, 指出了我国风电功率预测系统的研究进程及发展趋向。

关键词: 电力系统; 风电场; 风电功率; 短期预测系统

中图分类号: TK81; TM614

文献标志码: A

文章编号: 1006-4729(2013)01-0044-04

Research on Short-term Wind Power Prediction

FAN Hong, CHEN Chengyou, JIN Yixiong

(School of Electric Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

Abstract: Current wind power short-term prediction methods both at home and abroad including physical and statistical methods are summarized. Foreign wind power prediction systems and their application are reviewed. The wind power prediction research progress in China and development trend are analyzed.

Key words: power system; wind farm; wind power; short-term forecasting system

风能^[1, 2]为间歇性能源, 受众多地理和气象因素的影响, 而且风电场的有功功率和无功功率随风速的变化而变化, 当风电场接入电力系统后, 其波动会对配电网的频率稳定、功角稳定、电压稳定、谐波、电压波动与闪变、网损及潮流分布、备用成本、发电计划、系统可靠性等诸多方面产生影响。在大规模风电接入系统后^[3], 短期风电功率预测对电力系统的调度和安全稳定有重要作用^[4, 5]。

短期风电功率预测^[6, 7]是以“小时”为预测单位, 一般提前 1~48 h 或 72 h 对每小时的功率进行预测, 其目的是供调度部门根据风电场出力曲

线优化常规机组出力及安排备用, 以降低运行成本、保证供电质量。超短期预测是以“分钟”为预测单位, 一般是提前几小时或几十分钟进行预测, 其目的是为风电机组的控制提供数据。风电短期预测和超短期预测对电力调度和风电安全生产运行起重要作用。《国家电网风电场接入电网技术规定》明确要求风电场向调度部门提供短期风电功率预测和超短期风电功率预测, 规定在电力调度部门制定日运行方式时, 风电场应提供该日 24 h 输出功率预测值; 在运行过程中, 风电场提供未来 1~2 h 内风电场的输出功率预测值。因此, 开展风电功率预测研究, 特别是短期和超短期预测

收稿日期: 2011-07-04

通讯作者简介: 范宏(1978-), 女, 博士, 讲师, 湖北恩施人。主要研究方向为电力系统规划。E-mail: fan_hong-hong@126.com.

基金项目: 上海市高校选拔培养优秀青年教师科研专项基金(B01022); 上海市教育委员会重点学科建设项目(J51301)。

研究,对于调度员制定发电计划、安排备用容量、增加系统运行的可靠性、减少对系统稳定的影响、制定更合理的电价,都有十分重要的意义^[8,9]。

1 风电功率的预测方法

目前,国内外用于风电功率预测的方法可以分为两类:一是基于历史数据的风电场功率预测法;二是基于数值天气预报的风电功率预测法^[10,11]。

1.1 基于历史数据的风电功率预测法

基于历史数据的风电场功率预测是指根据历史数据来预测风电场功率的方法,也就是在若干个历史数据(包括功率、风速、风向等参数)和风电场的功率输出之间建立一种映射关系,主要包括:持续法、线性法、人工神经网络法等^[12-14]。

1.1.1 持续法

这是最简单的预测方法,是把最近一点的风速或功率观测值作为下一点的预测值,该法适用于3~6h以下的预测。该法通常采用时间序列模型,其预测误差较大且预测结果不稳定。其改进后的方法为卡尔曼滤波法,这一预测法具有可以动态修改预测权值的优点,且预测精度较高,但是建立卡尔曼状态方程和测量方程较为困难,此算法只适用于在线风力发电功率预测。

采用时间序列法可以对风速进行时间序列分析^[15-17],然后将其转换成风电场输出功率,也可直接对风电场的输出功率进行时间序列分析。输入数据通常包含风速、风向、气温、气压等SCADA实时数据。

1.1.2 线性法

在线性预测法中,应用较为广泛的是ARMA法。ARMA法优于持续法,通常采用一组不同阶数的ARMA的模型组合,对提前1~6h的风速及风电场功率进行研究。该法利用大量的历史数据来建模,经过模型识别、参数估计、模型检验来确定一个能够描述所研究时间序列的数学模型^[18],再由该模型推导出预测模型。该法计算精度较高,其中训练数据和验证数据的选取很重要。

根据Box-Jenkins方法,可将随机时间序列的模型分为4类:自回归模型(AR);滑动平均模型(MA);自回归-滑动平均模型(ARMA);累积式自回归-滑动平均模型(ARIMA)。对于AR模型,

当前时刻的观测值由过去几个历史时刻的观测值和一个当前时刻的随机干扰来表示;对于MA模型,当前时刻的观测值由称作随机干扰的白噪声序列的线性组合来表示;将AR模型与MA模型结合起来,就可以得到ARMA模型。

1.1.3 人工神经网络法

人工神经网络^[19,20]是模仿人脑结构及其功能,由大量简单处理元件以某种拓扑结构大规模连接而成的,对复杂问题的求解比较有效,已有人将其用于风电场风速和发电功率预测。目前广泛应用于风电场风速及功率预测的神经网络为多层前馈神经网络,即BP神经网络^[21],它包括一个输入层、一个或多个隐层和一个输出层,层间的神经元进行单向连接,层内的神经元则相互独立。隐层神经元的映射函数常采用S型函数,输出层采用线性函数。网络的学习训练过程就是权值的调整过程,由信号的正向传播与误差的反向传播两个步骤来实现。经过良好训练的网络,对于不是训练集中的输入也能给出合适的输出,具有泛化能力,这种能力为预测提供了可能性。神经网络法的优点在于能并行计算、有自适应性,可充分逼近复杂的非线性关系。

1.2 基于数值天气预报的风电功率预测法

基于数值天气预报的风电功率预测法是指利用气象部门提供的数值天气预报模型,对风电场或附近某个点的天气情况(如风速^[22,23]、风向、气温、气压等参数)进行预测,并建立预测模型,再结合其他输入,将数值气象预报模型的预测值转换成风电场功率输出的方法。这类方法的短期预测模型有统计模型和物理模型两类。

1.2.1 统计模型

统计模型方法^[24,25]在系统的输入中包含了数值天气预报模型、风电场的测量数据等,并和风电场功率建立了一种映射关系,其中包含线性和非线性函数的关系。其优点是预测具有自适应性,可以自发调节风电场位置,且系统误差自动减小。缺点是需要长期测量数据及进行额外的训练和计算。另外,在极端天气状况下需要进行修正,否则会产生很大的预测误差。

1.2.2 物理模型

物理模型方法^[26]一般采用时间序列模型,其输入数据包含数值天气预报系统的风速、风向、气

温、气压等数据. 该方法可以根据风电场周围的地形数据(如等高线、粗糙度、障碍物、温度分层等)得到风电机组轮毂高度的风速、风向等信息,并根据风电场的功率曲线计算得到风电场的输出功率. 物理模型方法通常采用中尺度或微尺度模型在数值天气预报模型与当地风之间建立映射关系,这一方法包含两个步骤:一是从天气预报点水平外推到风电机组坐标处;二是从气象预报提供的高度转换到轮毂高度. 该方法的优点在于不需要大量的、长期的测量数据,且更适用于复杂地形. 缺点是需要丰富的气象知识,且建立的模型较为复杂.

2 风电功率预测误差

受限于现有系统的预测精度,风电功率预测值与实际值之间存在一定的误差^[27,28]. 该预测误差来源于天气条件的快速变化、测量数据的损害、风电机组的停运、数值天气预测数据误差及预测模型的不准确,其分布特性是风电功率预测精度评估和大规模风电并网电力系统优化调度的重要参考依据. 目前已有的预测方法中大多采用正态分布模型,但是就精确度而言,会在一定程度上偏离预测误差的实际概率分布.

对短期风电功率预测误差进行综合评价是改进预测精度、指导预测结果合理应用的前提. 当前风电功率预测误差评价主要采用均值类指标(如均方根误差 RMSE, 平均绝对误差 MAE, 平均误差 ME 等),无法全面、准确地反映预测系统的运行情况. 风电功率预测误差有很多存在形式,需要提出一套包含纵向误差、横向误差、相关因子与极端误差等在内的综合评价方法,才能对不同预测方法、预测系统的不同误差环节进行较为全面的评价^[29,30].

3 国内外风电预测系统

20世纪90年代初期,欧洲一些国家已开始研发风能预报系统并投入使用^[31],如丹麦的 Prediktor 预报系统就在丹麦、西班牙、爱尔兰、德国等国承担短期风能预报业务,丹麦的 WPPT 预报工具也用于欧洲一些地区. 90年代中后期,美国研发出的 eWind 和 Prediktor 预报系统在加利福尼亚同时用于两大风电场. 目前用于风能业务预报系统的还有丹麦的 WASP,德国的 Previento,

西班牙的 LocalPred 和 RegioPred,以及爱尔兰和丹麦的 HIRPOM^[32,33]. 其中,WASP 应用最为广泛^[34],其核心物理模型是一个微尺度线性风场诊断模式,而近地层风场的形成是一个非线性、多因子影响的过程,因此在复杂地形应用该软件会产生比较大的误差.

由于风能资源分布范围广、能量密度相对较低且具有一定的不稳定性,准确的资源评估是进行风能资源开发利用的关键环节,而进行资源评估的前提是必须掌握风能资源的形成机理与分布特征^[35]. 我国对风电功率预测的研究工作正处于探索阶段,中国电力科学院新能源研究所已研发出风电功率预测系统 WPFS,使用的短期预测方法为时间序列法和人工神经网络法.

4 结 语

由于风的高度的随机波动性和间歇性,使得大容量的风电接入电网会对电力供需平衡、电力系统的安全以及电能质量形成严峻挑战,因此准确的风电短期预测研究对风电并网意义重大. 另外,准确的风电功率预测系统的使用能够有效促进风电的规模化发展,对风电行业的发展有积极的推动作用.

参考文献:

- [1] 吴义纯. 含风电场的电力系统可靠性与规划问题的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2006.
- [2] 罗如意, 林晔, 钱野. 世界风电产业发展综述[J]. 可再生能源, 2010, 28(2): 14-17.
- [3] 雷亚洲. 与风电并网相关的研究课题[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(8): 84-89.
- [4] 魏晓霞. 我国大规模风电接入电网面临的挑战[J]. 研究与探讨, 2010, 32(2): 19-21.
- [5] 王富, 徐学渊. 我国风力发电市场前景及存在的问题[J]. 电站辅机, 2010, 31(1): 1-4.
- [6] 王成山, 郑海峰, 谢莹华, 等. 计及分布式发电的配电系统随机潮流计算[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(24): 39-44.
- [7] 刘永前, 韩爽, 胡永生. 风电场出力短期预报研究综述[J]. 现代电力, 2007, 24(5): 6-11.
- [8] 李俊峰, 高虎, 施鹏飞, 等. 中国风电发展报告[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007: 2-3.
- [9] 吕天文. 中国新能源行业分析与展望[J]. 电源技术应用, 2009, 12(3): 1-3.
- [10] 韩爽. 风电场功率短期预测方法研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2008.
- [11] 洪翠, 林维, 温步瀛. 风电场风速及风电功率预测方法研究

- 综述[J]. 电网与清洁能源, 2011, 27(1): 60-66.
- [12] 王松岩,于继来. 风速与风电功率的联合条件概率预测方法[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(7): 7-14.
- [13] 孙元章,吴俊,李国杰,等. 基于风速预测和随机规划的含风电场电力系统动态经济调度[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(4): 41-47.
- [14] 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]. 电网技术, 2008, 32(7): 82-86.
- [15] BILLINTON R, CHEN H, GHAJAR R. Time-series models for reliability evaluation of power systems including wind energy[J]. *Microelectron. Reliab*, 1996, 36(9): 1 253-1 261.
- [16] CHEN Z, SPOONER E. Grid power quality with variable speed wind turbines[J]. *IEEE Trans on Energy Conversion*, 2001, 16(2): 148-154.
- [17] SAHD Saoud Z, JENKINS N. Models for predicting flicker induced by large wind turbines[J]. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 1999, 14(3): 743-748.
- [18] BOTH R R. Power system simulation model based on probability analysis[J]. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 1972(1): 62-69.
- [19] 范高锋,王伟胜,刘纯,等. 基于神经网络的风电功率预测[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(34): 118-123.
- [20] 师洪涛,杨静玲,丁茂生,等. 基于小波-BP神经网络的短期风电功率预测方法[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(16): 44-48.
- [21] 陈聪聪,王维庆. 基于小波神经网络法的短期风电功率预测方法研究[J]. 工业控制计算机, 2010, 10(2): 15-20.
- [22] FEIJOO A E, CIDRAS J, DOMELAS J L G. Wind speed simulation in wind farms for steady-state security assessment of electrical power systems[J]. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 1999, 14(4): 1 582-1 588.
- [23] FEIJOO A E, CIDRAS J. Modeling of wind farms in the load flow analysis[J]. *IEEE Trans. on Power Systems*, 2000, 15(1): 110-115.
- [24] BLUDSZUWEIT H, DOMINGUEZ Navarro J A. Statistical analysis of wind power forecast error[J]. *IEEE Trans. on Power Systems*, 2008, 23(3): 983-991.
- [25] BOWDEN G J, BARKER P R, SHESTOPAL V O, *et al.* The weibull distribution function and wind power statistics[J]. *Wind Engineering*, 1983, 7(2): 85-98.
- [26] 王丹,孙昶辉. 风电场发电量计算的物理模型[J]. 中国电力, 2011, 44(1): 94-97.
- [27] 王海超,鲁宗相,周双喜. 风电场发电容量可信度研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(10): 103-106.
- [28] MBHAN P, BALASUBRAMANIAN R, RAO K S P. A new fourier method for evaluating generation system reliability indices[J]. *IEEE Transactions on Power Systems*, 1986, 1(3): 88-94.
- [29] 徐曼,乔颖,鲁宗相. 短期风电功率预测误差综合评价方法[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(12): 20-26.
- [30] 刘斌,周京阳,周海明,等. 一种改进的风电功率预测误差分布模型[J]. 华东电力, 2012, 40(2): 286-291.
- [31] Fuerte Esquivel C R, Tovar Hernández J H, Gutierrez Alcaraz G, *et al.* Discussion of "modeling of wind farms in the load flow analysis" [J]. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2001, 16(4): 951.
- [32] 杨秀媛,肖洋,陈树勇. 风电场风速和发电功率预测研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(11): 1-5.
- [33] 谷兴凯,范高锋,王晓蓉,等. 风电功率预测技术综述[J]. 电网技术:增刊, 2007: 335-338.
- [34] 陈兆庆,王峥,陆艳艳,等. 华东沿海风电场出力预测的研究和探讨[J]. 华东电力, 2010, 38(3): 384-387.

(编辑 白林雪)