

电力市场现货电价预测方法研究状况综述

苏娟, 杜松怀, 周兴华

(中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

摘要: 电力工业从垄断走向市场,使得电价不再由政府确定,而是在市场机制下产生。电价波动会影响市场参与者的经济利益。对电力市场参与者而言,准确地预测电价具有非常重要的意义。详细分析和研究了电力市场现货电价的预测方法及其技术发展,阐述了各种电价预测方法的种类、预测原理、优缺点及其适用范围。

关键词: 电力市场; 现货电价; 电价预测

中图分类号: TM73; F123.9

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2005)16-0078-07

0 引言

随着全球市场化趋势的到来,电力行业逐渐由垄断转变为竞争,作为电力市场的核心因素——电价,其结构和水平发生了较大的变化。电价随需求变化,电价变化也影响需求量,电价调节机制的作用更加明显。

在电力市场中,电能交易的效益最终是通过电价体现的,对市场参与者来说,提前知道电价信息有着非常重要的意义。譬如,发电商可以借助电价预测提前安排生产计划、做出合理的报价策略,在电力交易和竞价中获得更大的经济利益;用户可以根据电价信息确定合理的购电量和购电时段,降低生产成本;政府可以根据电网未来一段时间的电价及其波动情况的预测进行宏观预测、监控电力市场的运营、及时发现和解决市场存在的问题;规划者可以参照长期电价预测决定输电量能否增加、做出调度计划、以及区域间的电力交换;电厂投资者可以正确选择厂址并评估盈利前景;市场运营者还可以根据电价预测进行风险管理。

因此,电价预测已成为电力市场中的一项重要工作,许多学者对此进行了深入的研究和应用。

价格预测是任何商品市场(如股票和期货市场)关注的焦点。近年来,电力作为特殊商品在不同的电力市场中进行交易。由于电能不能经济地存储、输电阻塞会妨碍控制区域的自由交换,从而使得电价预测比其它价格预测更加困难。

与负荷相比,电价有很强的波动性,并且受更多非确定性因素的影响,如系统供需状况、燃料价格的不稳定性、水力发电站的波动性、支路开断、输电阻塞、市场成员行为、发电商报价模式、系统和机组的约束条件等等。许多非确定性因素很难进行检测和

量化,更无法纳入电价的预测模型,使电价预测比负荷预测的难度更大。

本文对电力市场现货电价预测方法及其发展进行了详细的分析和研究,介绍了电价预测的种类,并比较了各种预测方法的基本原理、优缺点及其适用范围。

1 电价预测的分类^[1]

负荷预测一般是按照预测周期、全社会用电或行业类别以及预测负荷的特性进行分类的。而电价预测应该按照预测周期、预测点和服务对象类型进行分类。

1.1 按照预测周期分类

按预测周期,电价预测可分为短期电价预测和长期电价预测。短期电价预测的周期为15 min、30 min、1 h到1周,主要用于发电公司在现货市场中做出竞价策略,或者建立双边交易。

长期电价预测的周期为几个月到几年,用来确定未来发电机的安装地点。精确的长期电价预测将使电力市场经纪商和电力公司在不稳定的环境中做出合理的决策。

与负荷预测相比,长期负荷预测的周期为数年到数十年,这对于电价预测来说是非常困难的。有些超短期负荷预测的周期在几秒之内,以便进行质量控制和安全监视,这对于电价预测来说没有必要。

1.2 按照预测点分类

对于整个系统、一个特定区域和一个特定母线分别有市场清算电价(MCP)预测、区域市场清算电价(ZMCP)预测和区位边际电价(LMP)预测。

1.3 按照服务对象类型分类

ISO和发电公司/发电经纪商是两个主要的市场参与者。对于电价预测有不同的目的。因此,按

照服务对象类型分,电价预测包括 ISO 电价预测和发电公司电价预测。

ISO 电价预测和 MCP 定价相同。ISO 电价预测并不是一个真正的预测过程,因为当 ISO 收到参与者报价时,就可以计算出 MCP 的数值。澳大利亚的国家能源市场(NEM)和阿拉伯、加拿大的电力库就是这种情况。

发电公司电价预测就是在递交报价之前预测出 MCP、ZMCP 或 LMP。一个发电公司可能对其他发电公司了解很少,并且只能使用公共信息,如预测负荷、历史负荷和历史 MCP 等数据。由于信息有限,发电公司电价预测的精度并不高。但是高精度的电价预测可以使发电公司的竞价策略或签订的双边合同更加精确。对于发电公司,报价越接近 MCP,其收入就越高。

2 电价预测方法及技术进展

自一些国家相继实行电力市场以来,各国学者提出了多种电价预测方法。这些方法大致可分为神经网络法、统计学方法、模糊建模法、运行仿真法和市场均衡分析法^[2]。随着预测技术的发展,灰色理论、小波分析等数学方法被应用于电价预测,使电价预测技术有了快速发展。

2.1 人工神经网络法

人工神经网络法是一个经久不衰的电价预测方法。它是由简单的处理单元所组成的大量并行分布的处理机,这种处理机具有存储和应用经验知识的自然特性,它可以通过学习过程从外部获取知识,还能够存储获取的知识信息^[3]。1997 年文献[4]首次将神经网络应用于电价预测,预测了英国电力库下一交易日每个结算时段的 SMP,给电价预测开辟了一条新的道路。目前神经网络法是电价预测中研究最多的一种方法。其中 BP 神经网络倍受青睐,文献[5,6]采用了 BP 神经网络,此后出现了很多改进方法。主要包括以下三种改进的预测方法。第一种是,在输入层增加特殊的输入向量,加强影响因素对电价的作用。第二种是,用各种方法对电价序列进行预处理,突出电价序列的规律性。第三种是,改进神经网络的结构,克服神经网络内部结构的缺陷。

2.1.1 在输入层增加特殊向量

为了提高预测精度,可以在神经网络的输入层增加特殊的输入向量,使网络能够更好地反映电价的波动情况。例如从供需角度出发,把供求指数作为神经网络的输入^[7],或者在输入层引入竞价空间

的概念^[8,9];从市场力角度出发,引入发电容量必须运行率(MRR)^[10];从备用角度出发,在输入向量中增加旋转备用^[11]。

虽然在神经网络模型中引入了新的影响因素,提高了预测精度。但是有些影响因素的量化必须根据具体的市场做出具体的分析,不能普遍适用。而且一些数据在实际中很难获得。

2.1.2 对输入向量进行预处理

为了提高电价预测精度,可以对神经网络的输入向量进行预处理。文献[12]采用数据平滑技术去除电价的增长趋势,引入星期指数去除电价的星期趋势,再把数据输入到 BP 神经网络中。对美国加州电能交易所公布的数据进行仿真,取得了较好的效果。

文献[13~15]通过模糊聚类法把电价根据其相关因素进行分类处理,然后通过神经网络来预测。但是聚类只能根据先验知识进行分类,而且可能会将某几个特殊的样本未归入任何类别,对精度造成一定影响。

文献[16]以浙江电力市场为背景,提出一种基于小波分解和神经网络的 MCP 预测方法。利用小波分解技术去除细节后的重构电价序列作为神经网络的输入,更加突出了电价序列的一般规律,预测精度有所提高。

文献[17]采用混沌法将电价及其相关因素构成的多变量时间序列重构,用递归神经网络(RNN)跟踪相空间相邻相点间的演化行为,从而建立电价预测模型。对新英格兰电力市场的电价进行了成功的预测。但在重构相空间的过程中,延迟时间和嵌入维数需慎重选取。

2.1.3 改进神经网络结构

为了提高预测精度,可以对神经网络的结构作适当改进。如应用递归神经网络(RNN)^[18]、小脑模型关节控制器(CMAC)神经网络^[22]、多元回归神经网络(GRNN)^[23]、模糊神经网络^[25]等模型,改善了传统神经网络模型学习速度慢和容易陷入局部极小点等问题。

也可以提出新的学习算法,改进神经网络结构。如用混沌学习算法优化 BP 神经网络^[2],克服 BP 网络有时收敛于局部极小点的缺点;采用遗传算法优化 BP 神经网络^[21],解决 BP 神经网络拓扑结构确定困难和全局搜索能力弱的问题。

应用人工神经网络预测时,首先要确定网络的结构和参数(如隐含节点的个数),一般用探索法来

确定,比较麻烦。可以采用级联相关神经网络模型^[20],它在训练过程中能够自适应地增加隐含节点,避免了对网络结构的估计。文献[24]应用自适应方案,根据最新获得的数据调整 ANN 的参数,能够自动决定需要多少历史数据才能获得最精确的预测。文献[19]用预测置信度来调节权重系数,把辐基函数网络(RBF)和多层感知器网络(MLP)的预测结果作线性组合,预测了新英格兰电力市场的 MCP。

通过以上研究,神经网络法具有以下优点:

- 1) 可以建立电价的影响因素与电价的非线性映射关系。
- 2) 可以通过训练和学习来获得网络的权值与结构,呈现出很强的自学习能力和对环境的自适应能力。
- 3) 可同时处理多个因子,对电价平均值序列具有较好的预测效果。

但它的缺点是:

- 1) 输入和输出数据量大,运算时间长。如果输入量选择不当,有些输入量自身的波动会掩盖预测量的变化规律,或者使得结果很难收敛。
- 2) 在神经网络级数和隐含节点数的选取上有一定的困难,网络拓扑结构很难确定。数目太少,则模型过于粗糙,网络不能探索出复杂的映射规律。数目太多,映射关系可能被扭曲,网络推理能力下降,而且影响训练速度。
- 3) 电价大幅度波动时,预测效果不稳定,尤其在那些电价突变点处,预测精度普遍较差,单点最大预测误差很大。

2.2 统计学方法

统计学方法主要有时间序列法和回归分析法。由于统计学方法只是对历史数据的统计分析,预测效果不佳,一般多与其他方法结合使用,多用于平均电价的预测。

2.2.1 时间序列法

时间序列法是根据电价本身的变化规律,利用统计学方法建立数学模型,推算出未来电价的一种方法。主要有自回归(AR)、自回归-滑动平均(ARMA)、累积式自回归-滑动平均(ARIMA)模型等。这些方法的优点是:所需历史数据少、工作量少、计算速度快。缺点是:只对历史数据进行建模分析,无法考虑非线性因素对电价变化的影响。时间序列法的原序列是否有效去除了非平稳变化,在很大程度上影响电价预测的效果。电价序列的平稳化

比较困难,因为电价序列不仅包含趋势变化、周期性变化,还有一些不寻常的剧烈变化。这使时间序列法在电价预测领域没有多少优势。当然,如果能使序列较好地平稳化,时间序列方法也能取得比较好的效果。因此,单纯的时间序列法^[7]精度较差,一般都与其他方法结合使用。

文献[9]运用小波分解对浙江电力市场的 MCP 序列进行三层分解,用时间序列法对分解后的序列建立相应的模型进行预测,把预测结果叠加,得到完整的电价预报结果。与神经网络法作了比较,并没有显示出其预测的优势,预测效果有时不理想。

文献[26]用时间序列法的温度关联修正模型对芬兰和挪威电力市场的最高电价和平均电价进行了预测。但是温度关联修正模型各参数的权重很难确定,电价突变点附近的预测误差较大。

文献[27]分时段建立了现货电价的 AR、ARMR 和不可观测分量(unobserved component)时间序列模型,并在模型中引入了基本的极端电价出现概率处理法,对德国莱比锡电力交易所的现货电价进行了预测。

文献[28]用 Bayes 函数将原始序列分类,再用自回归(AR)法对这些类别进行建模,预测了新英格兰电力市场的峰荷和谷荷平均 MCP。

文献[29]用多层感知器(MLP)神经网络来决定自回归(AR)模型的参数,再用模糊自回归(FAR)模型来描绘电价序列的范围。对加州电力交易市场(CalPX)的长期电价波动范围进行了预测。

2.2.2 回归分析法

回归分析法是研究变量与变量之间关系的一种方法。方法简单方便,但是由于受人为因素的影响,收集和统计的历史数据不尽全面和准确;电价变化规律复杂,很难完全反映变量间的关系。并且在回归分析中,选用何种因子和用何种表达式有时只是一种推测,而且影响电价的因子的多样性和某些因子的不可测性,使得回归分析在某些情况下受到限制。因此到目前为止,应用回归分析法预测电价的方法很少。

文献[30]结合模糊集理论与传统回归方法,对长期电价预测做了探索。首先利用模糊隶属函数建立复合回归模型;在复合回归模型基础上,建立了模糊非线性回归模型;通过对模型的求解,获得了电价上下边界的最小分布,从而确定了电价分布的最小区间。

文献[31]对西班牙电力市场和加州电力市场的电价建立了动态回归模型和传递函数模型。从而克服了线性回归模型的缺点,但峰值误差较大。

文献[32]采用数据挖掘中的相似搜索技术,找到与预测日负荷-电价数据相似的相似日,把临近日和相似日的负荷-电价数据加权回归,进行电价预测。方法简单方便,对美国加州电能交易所(CalPX)公布的数据进行了预测。

2.3 模糊建模法

模糊建模法是采用模糊逻辑,由给定的输入到输出的映射过程。一般包括以下几个步骤:输入变量模糊化;根据模糊规则进行模糊推理;输出的模糊集反模糊化。模糊逻辑法容许使用不精确的数据,可以对任意复杂的非线性函数建模。从理论上说,模糊建模法对扰动因素不敏感,其规则有利于处理系统的定性信息,具有与神经网络法相同的功能。

文献[33]对美国加州电力市场的平均市场清算价进行了预测,得到的结论是:最佳规则数目仍未找到;对复杂结构的辨识能力有待提高。

到目前为止,这种方法的效果尚无法令人满意。但是模糊逻辑与其他模型相结合的算法得到了广泛的应用,尤其是模糊聚类法在对电价数据的预处理方面,显示出了很好的效果。

2.4 运行仿真法

运行仿真法应含有一个电力系统的详细模型和一个定价程序,在此基础上建立电价预测的数学模型并求解。目前在商业上两个知名的仿真包是MAPS和UPLAN-E。

MAPS程序可以根据运行条件和系统约束模拟实际调度情况,从而预测各节点的详细电价曲线,评估市场结构和发电投资的经济性,了解市场行为甚至计算输电成本^[34]。但它需要处理很多的事项,如输电模型、机组组合、电约束的输电分配、输电安全分配、实时仿真工具、大规模系统仿真能力等。还需要收集大量的数据,如发电机组数据、输电数据、水力发电数据等。而且还要将发电和输电系统间复杂的交互过程用显式表达出来。因此,对一般市场成员而言,使用如此复杂的程序是难以想象的。

2.5 市场均衡分析法

市场均衡分析法的理论依据是经济学的市场均衡理论。它试图根据预测的发电报价曲线和系统负荷的预测值求解出市场的均衡点,进而导出电价的预测值。所使用的工具通常是“市场平衡分析”和“基于代理的模拟法”。

文献[35,36]建立了报价曲线驱动的电价预测模型。文献[35]的模型是在几种假设的基础上建立的,因此在实际问题中就应具体问题具体分析,并且没有给出应用实例。文献[36]对浙江发电市场数据进行了预测。研究表明,应用该方法有两个难点:一是如何准确预测各个电厂的报价曲线;二是如何模拟市场中潜在市场力的影响。

2.6 小波分析预测技术

小波分析是信号的时间-频率分析法,它具有多分辨率分析的特点,而且在时频两域都具有表征信号局部特征的能力。基本方法是将电价序列进行多尺度分解,各个尺度上的子序列分别代表原序列中不同“频域”的分量,对不同的电价子序列分别预测,最后通过序列重组得到完整的电价预测结果。

文献[37]把给定的SMP信号进行多分辨率分解。为考虑进负荷影响,把小波系数和负荷用传统的多重回归法进行预测或调整。最后把小波变换的高频和低频信号重构,预测出SMP。

研究表明小波变换在对电价这一波动较强、十分不稳定的时间序列的分析上很有应用前景。但是在把电价序列按照各个尺度分解时,如何考虑进负荷、机组状态等影响因素还是一个值得研究的问题。

2.7 价格机制理论预测法

价格机制理论预测法是从供求决定价格、价格引导供求两个角度出发,分析电力市场系统供给、需求与电价的关系,建立电价的预测模型^[38]。目前,这种预测方法在电价预测中还不够成熟。

2.8 灰色理论预测法

灰色理论是1982年邓聚龙教授提出的。优点是所需数据少,计算简单。在电价预测中,主要应用的是GM(1,1)模型。由于单纯应用灰色模型精度有限,多应用改进后的灰色模型进行预测。如灰色混沌预测模型^[2]。这种方法通过校正GM(1,1)模型发展系数的取值空间,使灰色预测模型的预测结果保持在混沌区域之外,提高精度。另外可以采用灰色理论与神经网络相结合的方法预测电价^[39],把GM(1,1)、DGM(2,1)和Verhulst模型所得到的预测值作为BP神经网络的输入,作进一步预测。

3 结语

本文通过对国内外各种电力市场现货电价预测方法的研究,得出以下结论:

1) 运行仿真法功能强大,但所需条件既多又苛刻,难以被一般市场成员掌握。

2) 市场均衡分析法所需的两个主要条件难以准确把握,直接影响预测效果和稳定性。

3) 从数据结构看,已有统计类电价预测方法均以整个交易日作为实体进行预测。

4) 多数方法的平均电价预测效果较好,但都存在单点预测误差过大问题。

5) 基于历史数据的统计类预测方法仍是研究的主流。

6) 小波分析法,因其对序列信号良好的自适应性,将成为今后电价预测研究的一个热点。

7) 如何利用已知数据表达非确定性因子并用于电价预测,仍是一个值得研究的问题。

8) 目前对长期电价预测的研究比较薄弱,今后应当进一步加强研究。

参考文献:

- [1] Shahidehpour M, Yamin H, Li Z Y. Market Operations in Electric Power Systems[M]. A John Wiley & Sons, Inc.
- [2] 杜松怀. 电力市场[M]. 北京:中国电力出版社,2004. DU Song-huai. Electricity Market[M]. Beijing: China Electric Power Press,2004.
- [3] 高隽. 人工神经网络原理及仿真实例[M]. 北京:机械工业出版社,2003. GAO Jun. Principle and Simulation for ANN[M]. Beijing: China Machine Press,2003.
- [4] Wang A, Ramsay B. Prediction of System Marginal Price in the UK Power Pool Using Neural Networks[A]. IEEE International Conference on Neural Networks. 1997. 2116-2120.
- [5] Szkuta B R, Sanabria L A, Dillon T S. Electricity Price Short-term Forecasting Using Artificial Neural Networks[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1999, 14(3):851-857.
- [6] GAO Feng, GUAN Xiao-hong, CAO Xi-ren. Alex Papalexopoulos. Forecasting Power Market Clearing Price and Quantity Using a Neural Network Method[A]. Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference. 2000. 2183-2188.
- [7] 黄日星,康重庆,夏清. 电力市场中边际电价预测[J]. 电力系统自动化,2000, 24(22):9-12. HUANG Ri-xing, KANG Chong-qing, XIA Qing. System Marginal Price Forecasting in Electricity Market[J]. Automation of Electric Power Systems,2000, 24(22):9-12.
- [8] 刘正国,付祥明,高伏英,等. 基于神经网络的浙江发电市场清算电价预测方法[J]. 电力系统自动化,2002, 26(9):49-52. LIU Zheng-guo, FU Xiang-ming, GAO Fu-ying, et al. Forecasting Market-clearing Price in Zhejiang Generating Market Using Neural Network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(9):49-52.
- [9] 魏平,李均利,陈刚. MCP 预测技术在浙江电力市场中的应用[J]. 继电器,2004, 32(11):58-61. WEI Ping, LI Jun-li, CHEN Gang. Application of MCP Forecasting Method in Zhejiang Electricity Market[J]. Relay, 2004, 32(11):58-61.
- [10] 胡朝阳,孙维真,汪震,等. 考虑市场力的短、中、长期电价预测[J]. 电力系统自动化,2003, 27(22):16-22. HU Zhao-yang, SUN Wei-zhen, WANG Zhen, et al. Short-term, Medium-term and Long-term Forecasting of Electricity Price with Consideration to Market Power[J]. Automation of Electric Power Systems,2003, 27(22):16-22.
- [11] 谢培元,曾次玲. 基于神经网络的短期电价预测[J]. 湖南电力,2004, 24(2):9-11. XIE Pei-yuan, ZENG Ci-ling. Short-term Electricity Price Forecast Using Neural Network[J]. Hunan Electric Power, 2004, 24(2):9-11.
- [12] 杨莉,邱家驹,江道灼. 基于 BP 网络的下一交易日无约束市场清算价格预测模型[J]. 电力系统自动化,2001, 25(19):11-14. YANG Li, QIU Jia-ju, JIANG Dao-zhuo. BP Based Day-ahead Unconstrained Market Clearing Price Forecasting Model[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(19):11-14.
- [13] 李彩华,郭志忠,王志伟. 混合式短期边际电价预测模型[J]. 电力系统自动化,2002, 26(21):29-33. LI Cai-hua, GUO Zhi-zhong, WANG Zhi-wei. Short Term Marginal Price Forecasting with Hybrid Model[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(21):29-33.
- [14] Hong Y Y, Hsiao C Y. Locational Marginal Price Forecasting in Deregulated Electricity Markets Using Artificial Intelligence[J]. IEE Proceedings—Gener, Transm and Distrib, 2002, 149(5):621-626.
- [15] 杨莉,黄民翔,邱家驹,等. 基于模块网络的市场清算价格预测模型[J]. 中国电机工程学报,2002, 22(8):44-48. YANG Li, HUANG Min-xiang, QIU Jia-ju, et al. A Market Clearing Price Predictor Based on Modular Networks[J]. Proceedings of the CSEE,2002, 22(8):44-48.
- [16] 魏平,李均利,陈刚,等. 基于小波分解的改进神经网络 MCP 预测方法及应用[J]. 电力系统自动化,2004, 28(11):17-21. WEI Ping, LI Jun-li, CHEN Gang, et al. Forecasting MCP Using a Wavelet-improved Neural Network Method[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28

- (11):17-21.
- [17] 杨洪明,段献忠. 电价的混沌特性分析及其预测模型研究[J]. 电网技术,2004,28(3):59-64.
YANG Hong-ming, DUANG Xian-zhong. Research on Chaotic Characteristics of Electricity Price and Its Forecasting Model[J]. Power System Technology, 2004, 28(3):59-64.
- [18] HONG Ying-yi, Hsiao Chuan-yo. Locational Marginal Price Forecasting in Deregulated Electric Markets Using a Recurrent Neural Network[A]. Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference. 2001. 39-54.
- [19] GUO Jau-jia, Luh P B. Market Clearing Price Prediction Using a Committee Machine with Adaptive Weighting Coefficients[A]. Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference. 2002. 77-82.
- [20] 张春辉,闵勇,丁仁杰,等. 级联相关的神经网络模型在边际电价预测中的应用[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(3):28-30.
ZHANG Chun-hui, MIN Yong, DING Ren-jie, et al. Application of the Cascaded Correlation Network to Forecast the Marginal Clearing Price in Power Market[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(3):28-30.
- [21] 谢培元,游大海,曾次玲,等. 基于遗传算法优化 BP 网络的提前一天市场清算电价预测[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(3):53-56.
XIE Pei-yuan, YOU Da-hai, ZENG Ci-ling, et al. Clearing Price Forecast for Day-ahead Market Based on Genetic-algorithm-optimized BP Network [J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(3):53-56.
- [22] 陈建华,周浩. 基于小脑模型关节控制器神经网络的短期电价预测[J]. 电网技术, 2003, 27(8):16-20.
CHEN Jian-hua, ZHOU Hao. Short-term Electricity Price Forecasting Using Cerebellar Model Articulation Controller Neural Network[J]. Power System Technology, 2003, 27(8):16-20.
- [23] Iyer V, Fung C C, Gedeon T. A Fuzzy-neural Approach to Electricity Load and Spot-price Forecasting in a Deregulated Electricity Market[A]. IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON. 2003. 1479-1482.
- [24] Yamin H Y, Shahidehpour S M, Li Z. Adaptive Short-term Electricity Price Forecasting Using Artificial Neural Networks in the Restructured Power Markets[J]. International Journal of Electrical Power and Energy System, 2004, 26(8):571-581.
- [25] 赵庆波,周原冰,郭荣,等. 模糊神经网络在电力系统边际电价预测中的应用[J]. 电网技术, 2004, 28(7):45-48.
ZHAO Qing-bo, ZHOU Yuan-bing, GUO Rong, et al. Application of Fuzzy Neural Network in Power System Marginal Price Forecasting[J]. Power System Technology, 2004, 28(7):45-48.
- [26] Koreneff G, Seppala A, Lehtonen M, et al. Electricity Spot Price Forecasting as a Part of Energy Management in De-regulated Power Market[J]. Proceedings of EMPD, 1998, 223-228.
- [27] Cuaresma J C, Hlouskova J, Kossmeier S, et al. Forecasting Electricity Spot-prices Using Linear Univariate Time-series Models[J]. Applied Energy, 2004, 77(1):87-106.
- [28] Ni E, Luh P B. Forecasting Power Market Clearing Price and Its Discrete PDF Using a Bayesian-based Classification Method[A]. Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference, Winter Meeting. 2001. 1518-1523.
- [29] Niimura T, Ko Hee-Sang, Ozawa K. A Day-ahead Electricity Prediction Based on a Fuzzy-Neuro Autoregressive Model in a Deregulated Electricity Market[A]. Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks. 2002. 1362-1366.
- [30] 潘昆,纪昌明. 基于模糊回归的电价预测[J]. 水电能源科学, 2003, 21(3):86-88.
PAN Kun, JI Chang-ming. Electricity Price Forecast by Fuzzy Regression[J]. Water Resources and Power, 2003, 21(3):86-88.
- [31] Nogales F J, Contreras J, Conejo A J, et al. Forecasting Next - Day Electricity Prices by Time Series Models[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2002, 17(2):342-349.
- [32] 李邦云,袁贵川,丁晓群. 基于相似搜索和加权回归技术的短期电价预测[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(1):42-45.
LI Bang-yun, YUAN Gui-chuan, DING Xiao-qun. Electricity Price Forecasting Based on Similarity Search & Weighted Regression[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(1):42-45.
- [33] ZHANG Pin-gan, GUAN Xiao-hong. Fuzzy Modeling for Electricity Market Price Forecasting[A]. Proceedings of the World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA). 2000. 2262-2266.
- [34] Bastian J, ZHU Jin-xiang, Banunarayanan V, et al. Forecasting Energy Prices in a Competitive Market[J]. IEEE Applications in Power, 1999, 12(3):40-45.
- [35] Shantze J, Ilic M, Chapman J. Stochastic Modeling of Electric Prices in Multi-market Environment[A]. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. 2000. 1109-1114.

- [36] 黄民翔,赵学顺,倪波,等. 市场电价的实证分析及预测建模[J]. 电力系统自动化,2003,27(19):16-20.
HUANG Min-xiang, ZHAO Xue-shun, NI Bo, et al. Forecasting on Market-clearing Price Base on Bidding Curve Driven Model [J]. Automation of Electric Power Systems,2003,27(19):16-20.
- [37] Kim Chang-il, Yu In-keun, Song Y H. Prediction of System Marginal Price of Electricity Using Wavelet Transform Analysis[J]. Energy Conversion and Management,2002,43(14):1839-1851.
- [38] 张建,马光文,杨东方,等. 边际电价预测的三时点模型[J]. 水电能源科学,2003,21(2):87-88.
ZHANG Jian, MA Guang-wen, YANG Dong-fang, et al. Model Three Time Points for System Marginal Price Forecasting[J]. Water Resources and Power,2003,21(2):87-88.
- [39] 马歆,侯志俭,蒋传文,等. 基于组合灰色神经网络模

型的电力远期价格预测[J]. 上海交通大学学报,2003,37(9):1329-1332.

MA Xin, HOU Zhi-jian, JIANG Chuan-wen, et al. Electricity Forward Price Forecasting Based on Combined Gray Neural Network Model [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University,2003,37(9):1329-1332.

收稿日期: 2004-11-30

作者简介:

苏娟(1980-),女,硕士研究生,主要研究方向为电力系统自动化和电力市场; E-mail: Sujuan@cau.edu.cn

杜松怀(1963-),男,博士,副教授,硕士生导师,研究方向为电力系统自动化和电力市场;

周兴华(1978-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统自动化和电力市场

Review of development of spot price forecasting methods in electricity markets

SU Juan, DU Song-huai, ZHOU Xing-hua

(China Agriculture University, Beijing 100083, China)

Abstract: Electric power industry is undergoing a process of innovation from regulation to market operation. Electricity price was no longer determined directly by government, and was formed under condition of market mechanism. The fluctuation of electricity price will affect the profit of market participants. It is very important for market participants to accurately forecast the price. In this paper, the methods of spot price forecasting and their technical development were detailed. The types, forecasting principle, advantages and disadvantages, and the application of price forecasting methods in electricity markets were summarized.

Key words: electricity market; spot price; price forecasting

(上接第77页 continued from page 77)

Research and problems of low frequency oscillation in interconnected power networks

LIU Jun¹, LI Xing-yuan¹, ZOU Quan-ping², CHEN Shu-heng¹, HE Chao-rong

(1. Sichuan University, Chengdu 610065, China; 2. Shenyang Engineering College, Shenyang 110316, China)

Abstract: This paper reviewed mechanism, analysis methods, control measures of low frequency oscillation and its exiting problems in power system. An online monitoring system of low frequency oscillation based on Wide Area Measurement System (WAMS) was presented. The trends were indicated to combine the spectral algorithm with Prony algorithm for researching the oscillation modes of system, and to apply a novel method-modal series method, for analyzing the mechanism of "the super low frequency oscillation" in interconnected power networks.

Key words: interconnected power networks; low frequency oscillation; super low frequency oscillation; wide area measurement system; modal series method