

电价预测模型发展及综述

黄健柏, 周赛美, 邵留国

(中南大学商学院, 湖南 长沙 410083)

摘要: 随着电力市场化和竞争电力市场的出现, 准确进行电价预测与电力供应商和用电消费者直接利益相关。国内外学者主要采纳各种先进数学思想, 建立对应的模型来进行电价预测。从电价预测模型的建模机理的角度, 分析了结构模型、计量经济模型、神经网络模型、动态仿真模型建模机理、运用及优缺点, 发现多种方法相组合进行电价预测的趋势, 且结果更为精确。

关键词: 电价; 预测模型; 计量经济模型; 神经网络; 动态仿真模型

Review and development of power price forecasting models

HUANG Jian-bo, ZHOU Sai-mei, SHAO Liu-guo

(Business School, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: With the competition electric market coming into being, forecasting the power price nicety affects power supplier and cosumer's benefit. Scholars forecast the price mostly by adopting advanced mathematic ideology and building corresponding models. From the point of the modeling mechanism, this paper analyzes common forecasting models, including structural model, econometrical model, neutral networks model, and dynamic simulation model and compares the forecasting principles, advantages and disadvantages. It finds that several modes are combined together to forecast price will be more exactly.

Key words: electric price; forecasting model; econometrical model; neutral networks; dynamic simulation model

中图分类号: F123.9 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)19-0081-04

0 引言

电价作为电力市场竞争效率的核心评价指标, 随着全球电力市场化的不断发展和电力竞争市场的出现, 电价预测变得越来越重要。电价预测与发电商和购电商都是直接利益相关, 根据预测的结果调整自己的报价策略牵涉到各方实际利益。精确的电价预测能够给电力供应商带来利润最大化, 并实现消费者效用最大化。

电力不同于一般商品, 电力需求弹性低, 难存储, 易受到发电容量、输电阻塞等电力系统特有约束的影响。因此, 对电价的预测带来了许多不确定因素。不同电力市场由于所处的气候、经济环境以及市场体制等外在因素的不同, 其价格表现出不同的特征。对电价预测的研究尚不完全, 还没有一种通用方法适用于整个电力市场。

国内外学者一般认为电价预测是指: 在考虑市场供求关系、市场参与者的市场力、电力成本以及电力市场体制结构、社会经济形势等重要因素影响条件下, 通过利用数学工具对历史数据进行分析

和研究, 探求事物之间的内在联系和发展变化规律, 在满足一定精度和速度的情况下, 对未来电力市场中的电力交易价格进行预测。由于电力价格复杂的特性, 不能直接运用传统的金融模型对其进行建模, 学者们在传统的模型基础上进行创新。

1 结构模型

结构模型考虑供需平衡机制以及影响供给和需求的燃料价格、水文、气温以及当地经济环境等外在因素的影响, 通过阐述电价与用电需求或者系统负荷之间的关系, 研究外在因素与电价的内在联系规律, 从而构建电力价格模型。

Pindyck(1998)指出结构方程模型通常由需求方程、供给方程和平衡方程三部分组成, 能够较全面地考虑影响电价的各个相关因素。Skantz et al(2004)假设负荷和供给过程服从均值回复随机过程, 把价格描述为对需求的指数函数, 重新构建模型。Thompson et al(2004)用结构模型和改进的跳扩散模型预测水力发电的最优策略, 表明结构模型能以一种更简单的方法提供一种更现实的最优策略。

Kanamura(2007)通过结合改进的供给函数和清晰描述的需求季节特性,在供给需求的基础上构建一个更简单实用的电价结构模型。

Johnsen(2001)针对以水电为主的挪威电力市场,建立了一个供需均衡模型,用水流、雪以及气温条件等因素的影响来解释电力市场供需关系和市场电价的形成。James(2004)在模型中引入春夏秋冬四季的水流量值,利用它求解价格确定成分。Baldick(2005)根据气温对需求负荷的影响,以及需求负荷和电力供给两者共同行为决定价格行为特征的规律,分别构建了气温模型和需求负荷模型,然后在前两个模型的基础上构建了电价模型。

结构模型中还引入动态回归模型的思想,运用转移函数对预测变数与解释变数之间的关系进行建模,综合考虑电力现货价格的行为特征以及影响电价的外在因素。强调自变量对因变量的连锁反应,其结果被认为更可信。F. J Nogales(2006)基于历史电价和需求,构建了一个转移函数模型预测日前市场电价,重点讨论了市场需求信息和数据的重要作用。

结构模型注重电价外生变量研究,考虑较全面;可以在各个电力市场进行,对电力市场运行模式没有太多限制。但引入水文、气温等外在因素需要充分的数据支持,这往往给研究带来一定的难度,国内对于结构模型的研究相对来说就比较少。

2 计量经济模型

计量经济模型就是用数理统计中的回归分析方法,即通过对变量的观测数据进行统计分析,确定变量之间的相关关系,从价格序列内生变量角度来构建电力价格模型,把整个交易日作为预测实体。

1) 均值回复模型

电价具有显著的均值回复性,对其间断跳空性可以采用跳扩散模型来进行描述。该模型用布朗运动来刻画电价“正常”波动,用泊松(Poisson)过程来刻画不连续的过程反映电价发生的大波动:

$dX_t = ad_t + dw_t; S_t = eX_t$ 。但这个模型中 w 是标准一维布朗运动,没有体现均值回复特性,没有抓住电价的行为特征。Schwartz(1997)扩展了最简单的均值回复模型OU(λ, α, σ)过程,构建随机微分方程:
 $dX_t = -\lambda(X_t - \alpha)d_t + \sigma dw_t; S_t = X_t$,但是该模型没有很好的利用历史数据。Johnson(1999)和Deng(2000)在电价模型中引入均值-复原(BM)模型来反映电价的均值-复原和有界方差的特性,但他只集中考虑历史价格变化而往往忽视了供需关系和价格的关系,没有抓住在夏季和冬季电力需求高峰期

出现的价格尖峰特性。

Barlow(2002)从简单供需模型入手扩展了跳扩散模型, $F(t, T) = e^{(r-u)(T-t)} E(X_T | F_t)$, 其中 r 表示利率, μ 表示可用区域。但是该实时电价价格钉的模型是静态的,不能很好解释实时和期货电价的关系,难以处理多变量的问题,还有待进一步研究多因素模型。曹毅刚、沈如刚(2006)提出了基于仿射跳跃-扩散过程的具有2个和3个跳跃分量的电价随机模型,提出的近似参数标定方法可利用历史电价数据快速求解模型参数,大幅度降低了误差。

2) 时间序列模型

时间序列模型包括自回归模型、移动平均模型、自回归移动平均模型、累积式自回归移动平均模型和GARCH族模型,这些模型已被广泛应用于短期负荷预测中。Contreras(2003)认为当前比较常用的主要是ARMA模型和GARCH模型。

ARMA(1,1)模型为: $P_t = \alpha_t + \phi_1 P_{t-1} + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \varepsilon_t$; 式中 θ_1 为滑动平均系数, P_t 为 t 时刻的电价, α 为均值, ϕ_1 为电价序列的自回归系数, ε_t 是期望值为0、方差为 σ^2 的正态分布随机数。GARCH(1,1)模型中 ε_t 的分布函数为 $\varepsilon_t = \alpha_0 + \alpha_1 P_{t-1}^2 + \beta_1 \varepsilon_{t-1}$ 。Knittel(2001)扩展了GARCH模型,针对电力现货价格波动非对称性,构建了EGARCH模型。

Deng(2000)引入马尔科夫状态转换模型,建立现货价格状态转换均值回复跳扩散模型。Lucia(2000)结合电力现货价格的特征,把具有高波动性、均值回复性、尖峰跳跃性等行为特征的模型合成为一个模型,分别建立了综合现货价格周内、年内周期性以及均值回复性特征的单因子和双因子模型:单因子模型: $P_t = f(t)X_t$; 双因子模型: $P_t = f(t)X_t + \varepsilon_t$; 但是Lucia只假设综合模型中 X_t 仅服从均值回复过程,许多学者后来便在此基础上假设随机成分 X_t 服从均值回复跳扩散程,更全面的描述出电价的各特性。Hadsell(2004)考虑电价波动的周期性特征,构建了TGARCH模型。

Contreras(2003)最先采用ARIMA模型进行电价预测,周明、严正、倪以信(2004)等通过误差修正模型对该模型的结果进行修正,进一步提高预测精度。Derk J(2006)在ARMA模型的基础上,结合GARCH模型、高斯矩阵和制度转换方法,利用德国实时市场和两个电力储备市场的历史电价数据进行检验,发现该模型可以很好地用于电价动态预测。张粒子(2006)采用协整模型和误差修正模型,较好实现了价格序列的平稳化。

基于小波变换良好的局部化特性,一些学者将

其与ARIMA模型简捷实用的特点相结合,如周明等(2005)将小波变换和ARIMA相结合建立电价预测模型。相对于单一的ARIMA方法,基于小波变换的ARIMA方法在预测精度有一定的提高。

计量经济模型主要用于预测中短期现货价格,以整个交易日作为预测主体;所需历史数据少;工作量少;计算速度快。但局限于无法处理多变量问题;难以处理时间序列数据的非平稳过程;单纯时间序列方法精度不高。

3 神经网络模型

D.E.Rumelhart和J.L.McClelland(1986)提出了多层前馈网的反向传播算法(Back Propagation),简称BP网络。神经网络对大量非结构性、非精确性规律具有自适应功能,能够有效处理多变量和非线性问题,从而成为目前国内外专家学者研究得比较多的一种电价预测方法。Ram Say B(1997)在电价单变量时间序列重构的相空间上,提取了吸引子的分形维数和Lyapunov指数,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。

近年来国外学者对神经网络预测方法进行了积极的探索,Hsiao Chuan-y(2002)利用了回归神经网络方法;Guo Jau-ia(2003)采用径向基函数(RBF)神经网络;Yamin H Y(2004)建立了自适应神经网络模型。国内学者杨莉等(2001)采用模块神经网络;李彩华等(2002)提出以动态聚类和BP网络来预测短期边际电价;陈建华、周浩(2003)采用小脑模型关节控制器(CMAC)神经网络等尝试进行日前电价预测;杨洪明、段献忠(2004)采用递归神经网络方法;朱宏伟、陈立东等(2006)提出了一种基于神经网络和相似搜索技术的价格钉预测方法,采用BP神经网络建立价格钉识别模型。林志玲等(2007)用遗传算法优化得到神经网络结构及对应权值,用优化结构后的动态神经网络来预测电力市场的系统边际电价,取得了良好的效果。

鉴于小波变换具有良好的时频局部化性质和变焦性质,而神经网络具有自学习、自组织性和推广能力,有些学者将小波变换与神经网络相结合建立电价预测模型。魏平(2004)和张显等(2005)以一种辅助式相结合的方法,利用小波变换对信号进行预处理,然后用神经网络进行学习与判别;董福贵(2005)直接以小波函数代替常规神经网络的Sigmoid或辐射基函数作为神经网络的隐节点激励函数,以小波的尺度和平移参数作为神经网络的参数,构建一种前馈神经网络。

一般情况下构建神经网络模型应用于短期的电价预测中,一方面,短期电价预测对模型的要求较高,而当前计量经济模型一般通过实现设定的经过拟和之后的数学模型,难以精确的反映电价变化的趋势。另一方面,神经网络模型预测可以映射任意难以用数学模型描述的函数,对电价平均序列有良好的预测结果,可以得到较为满意的结果。但是这类方法需要大量历史数据的支持,这对于当前的许多电力市场而言是难以满足的,因此在实际运用中还是受到一定约束。

4 动态仿真模型

动态仿真模型通过建立电价与负荷的时变指数关系间接描述系统的报价供给曲线,并按不同市场间的电价差来对报价供给曲线的移位(shift)因子进行调节,从而实现多市场环境下电价的预测。目前国内外电力市场仿真模型的研究主要集中于基于主体的计算经济学(ACE)和系统动力学两种方法。Derek Bunn通过ACE将电力系统模型转变为一种由规制机构和策略互动的市场参与者组成的商业网络,该网络通过确保能得到回报的输电网进行运营,但ACE仿真模型的缺点在于不能完成复杂系统的构建。Andrew Ford(1996)总结了系统动力学在电力产业中的应用,被实际应用的模型主要有Naiil开发的The national model, George Backus and Jeff Amlin开发的Energy 2020, Andrew Ford开发的CPAM and RPSM。Rafal Weron(2003)构建了一个关于电力市场即时电价的MRJD模型。国内学者利用动态仿真模型详细预测各节点的电价,黄健柏(2005)构建了两部制电价及发电容量投资模型。

动态仿真模型需要考虑多个事项,该建模方法需要处理很多的事项,还需要收集大量的数据,而且还要将发电和输电系统间复杂的交互过程用公式表达出来。因此,对一般市场成员很难使用如此复杂的程序。

5 总结

计量经济模型以整个交易日作为实体进行预测,理论相对较浅显,以简单易懂的低阶数模型预测电价趋势,考虑的解释变量往往较少。且难以克服时间序列的非平稳过程,且外生变量的因子难以确定,预测结果相对精确度不是很高。结构模型建立精确的模型往往需要考虑的变量较多,不确定性强,模型复杂。因此可以适用于各种电力市场的长期电价预测,很少用于短期电价预测。

对于较复杂的电力市场,电价变化频率高,采

用神经网络模型,能够提高预测精度。神经网络模型能够较好地处理多变量问题,克服时间序列数据处理的非平稳性,但是往往需要处理大量的历史数据,给模型的实际应用带来挑战。动态仿真模型把系统动力学的思想引入到电价预测,侧重于考虑市场供需要素以及经济、环境等多重要素的影响,详细预测各节点电价,一般较复杂,普通的市场成员一般不采用这样的模型进行电价预测。

从整体上来看,这些模型一般都用于平均电价预测并能够取得良好的效果,不过还存在单点预测误差大的问题。鉴于单一使用某模型来预测电价往往有一定的范围局限性和精度误差,国内外学者充分吸纳不同数学模型的优点,开始尝试多种方法相组合进行预测,在预测速度和精度方面都有了明显的提高。小波分析和神经网络模型的结合,时间序列模型和神经网络模型组合预测具有更有效的实用价值,提高预测精度,成为进一步研究的重点。

参考文献

- [1] Bastian J, ZHU Jinxiang, Banunarayanan V. Forecasting Energy Prices in a Competitive Market [J]. IEEE Computer Applications in Power, 1999, 12 (3): 40-45.
- [2] Nogales F J, Contreras J, Conejo A J. Forecasting Next-day Electricity Prices by Time Series Models [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2002, 17(2).
- [3] Cuaresma J C, Hlouskova J, Kossmeier S. Forecasting Electricity Spot-prices Using Linear Univariate Timeseries Models[J]. Applied Energy, 2004, 77 (1): 87-106.
- [4] Contreras J, Espinola R, Francisco J. ARIMA Models to Predict Next-day Electricity Prices[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2003, 18(3): 1014-1020.
- [5] Ford A. System Dynamics and the Electric Power Industry [J]. System Dynamics Review, 1996, (13).
- [6] Nogales F J, Conejo A J. Electricity Price Forecasting Through Transfer Function Models[J]. The Journal of the Operational Research Society, 2006, 57:350.
- [7] Contreras J, Espinola R, Nogales F J, et al. ARIMA Models to Predict Next-day Electricity Prices[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2003, 18 (3): 1014-1020.
- [8] Barlow M T. A Diffusion Model for Electricity Prices[J]. Mathematical Finance, 2002, (12): 287-298.
- [9] Thompson M, Davidson M, Rasmussen H. Valuation and Optimal Operation of Electrical Power Plants in Deregulated Markets [J]. Operations Research, 2004, 52: 546-562.
- [10] 周佃民, 赖菲, 刘亚安. 电力系统负荷预测与电价预测[J]. 继电器, 2000, 28(10): 31-33.
ZHOU Dian-min, LAI Fei, LIU Ya-an. Electric Power System Load Forecast and Electricity Price Forecast[J]. Relay, 2000, 28 (10): 31-33.
- [11] 黄日星, 康重庆, 夏清. 电力市场中的边际电价预测[J]. 电力系统自动, 2001, 24(22): 9-10.
HUANG Ri-xing, KANG Chong-qing, XIA Qing. Systems Marginal Price Forecasting in Electricity Market[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 24(22): 9-10.
- [12] 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): 60-64.
YANG Hong-ming, DUAN Xian-zhong. Research on Chaotic Characteristics of Electricity Price and Its Forecasting Model[J]. Power System Technology, 2004, 28(3): 59-64.
- [13] 周明, 聂艳丽, 李庚银, 等. 基于小波分析的短期电价 ARIMA 预测方法[J]. 电网技术, 2005, 29(9): 50-55.
ZHOU Ming, NIE Yan-li, LI Geng-yin, et al. Analysis Based ARIMA Hourly Electricity Prices Forecasting Approach[J]. Power System Technology, 2005, 29(9): 50-55.
- [14] 张显, 王锡凡. 短期电价预测综述[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(3): 92-101.
ZHANG Xian, WANG Xi-fan. Review of the Short-term Electricity Price Forecasting[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(3): 92-101.
- [15] 黄健柏, 黄向宇, 邵留国, 等. 基于系统动力学的峰谷分时电价模型与仿真[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(11): 18-23.
HUANG Jian-bai, HUANG Xiang-yu, SHAO Liu-guo, et al. Peak and Valley Time Price Model and Simulation Based on System Dynamics[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30 (11): 18-23.
- [16] 林志玲, 高立群, 张大鹏, 等. 基于动态神经网络的系统边际电价预测[J]. 东北大学学报, 2006, 27(10).
LIN Zhi-ling, GAO Li-qun, ZHANG Da-peng, et al. Forecasting System Marginal Price of Electricity by Dynamic Neural Network[J]. Journal of Northeastern University, 2006, 27(10).
- [17] 杨波, 赵遵廉, 陈允平, 等. 基于小波变换的边际电价神经网络预测新模型[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(12): 40-44.
YANG Bo, ZHAO Zun-lian, CHEN Yun-ping, et al. A Novel MCP Forecasting Model Based on Wavelet Transformation and Neural Network Ensemble in Day-ahead Electricity Market[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(12): 40-44.

收稿日期: 2007-12-11; 修回日期: 2008-03-12

作者简介:

黄健柏(1954-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为企业理论、电力市场和系统仿真;

周赛美(1983-), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力市场和产业组织理论; E-mail: zsm19840503@hotmail.com

邵留国(1979-), 男, 博士研究生, 研究方向为电力市场和系统仿真。