

电力远期价格预测的灰色动态模型研究

马歆¹, 侯志俭¹, 蒋传文¹, 邵能灵¹, 潘力强²

(1. 上海交通大学电力学院, 上海 200240; 2. 湖南电力调度通信中心, 湖南 长沙 410007)

摘要: 电力远期价格受实时电价、利率、负荷需求等多种因素影响, 变化趋势复杂, 很难建立一个准确的数学模型进行全面描述。针对这一特点, 用灰色动态预测模型对电力远期价格进行了预测, 并对不同模型的预测结果进行了研究。

关键词: 电力远期价格; 灰色动态模型; 预测

中图分类号: TM73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2003)06-0023-03

1 引言

随着电力工业的市场化改革, 电力金融合约市场逐步建立起来, 远期合约是该市场中一种重要的场外交易金融衍生产品。它能比较有效地抑制电力现货市场中的电价冲击。短时期内准确地预测电力远期价格, 可以使电力市场的参与者更好的规避市场风险。电力远期价格受实时电价、利率、负荷需求等多种因素影响, 变化趋势复杂, 很难建立一个准确的数学模型进行全面描述。针对这一特点, 本文用灰色动态预测模型对电力远期价格进行了预测, 并对不同模型的预测结果进行了研究。

2 远期合约

远期合约(Forward Contracts)是远期交易的法律协议, 交易双方在合约中规定在未来某一确定时间以约定价格购买或出售一定数量的某种资产^[1]。该资产称为基础资产, 约定价格称为交割价格, 确定时间称为交割日, 远期合约的价值是某一时刻合约本身所具有的价值, 取决于基础资产的价格, 而远期价格是远期合约的基础资产在未来某一时间的价格。在合约生效的初始时刻 t , 在约定的价格 K 下, 合约价值 f 为 0, 此时的远期价格就是合约的交割价格。随着时间的推移, 在时刻 t_1 , 合约交割价格是固定不变的, 而远期价格却发生变化, 两者一般不再相等, 合约价值 f 不再为 0, 合约的持有者就会获得收益或亏损。交易双方既可以通过合约锁定购买或出售基础资产的价格, 回避价格波动所带来的风险, 也可以利用远期价格的波动获得套利。因此, 短时期

内准确的预测远期价格具有重要意义。目前, 电力远期合约已经成为重要的场外交易工具。

3 灰色预测模型

灰色预测系统的研究对象是“小样本”、“贫信息”的不确定系统^[2]。灰色系统理论和方法的核心是灰色模型, 灰色模型是以灰色生成函数概念为基础, 以微分拟合为核心的建模方法。认为一切随机量都是在一定范围内、一定时间段上变化的灰色量和灰过程, 对于灰色量的处理不是寻求它的统计规律和概率分布, 而是将杂乱无章的原始数据列, 通过一定的处理方法弱化波动性, 使之变为比较有规律的时间序列数据, 再建立用微分方程描述的模型。根据预测的超前时间选择适当长度的原始序列的子序列来建模和预测, 但是建模的数据序列必须等距, 不能有跳跃。本文分别通过 GM(1, 1)^[2]、DGM(2, 1)和 Verhulst 模型^[3]对电力远期价格进行预测。

3.1 GM(1, 1)模型

GM(1, 1)是单序列一阶线性动态模型, 通过对原始数据作一次累加处理, 用微分方程来逼近拟合。设原始序列为:

$$X^{(0)} = [x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(m)], 4 \leq m \leq n$$

作一次累加生成(AGO):

$$X^{(1)} = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), k = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

得生成数据列:

$$X^{(1)} = [x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(m)]$$

$$\text{建立微分方程: } \frac{dX^{(1)}}{dt} + a_{GM} X^{(1)} = u_{GM} \quad (2)$$

用最小二乘法求解系数向量:

$$\lambda_{GM} = [a_{GM}, u_{GM}]^T = (B_{GM}^T B_{GM})^{-1} B_{GM}^T Y_{GM} \quad (3)$$

基金项目: 国家自然科学基金(50079006)资助项目, 中国博士后基金资助项目

$$\text{式中 } B_{\text{GM}} = \begin{bmatrix} -[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(1)]/2 & 1 \\ -[x^{(1)}(3) + x^{(1)}(2)]/2 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -[x^{(1)}(m) + x^{(1)}(m-1)]/2 & 1 \end{bmatrix},$$

$$Y_{\text{GM}} = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(m) \end{bmatrix}$$

解式(2)得离散形式解为:

$$\hat{x}_{\text{GM}}^{(1)}(k) = \left[x_{\text{GM}}^{(0)}(k) - \frac{u_{\text{GM}}}{a_{\text{GM}}} \right] \exp[-a_{\text{GM}}(k-1)] + \frac{u_{\text{GM}}}{a_{\text{GM}}} \quad k=1,2,\dots,m$$

$$\hat{x}_{\text{GM}}^{(0)}(k+1) = \hat{x}_{\text{GM}}^{(1)}(k+1) - \hat{x}_{\text{GM}}^{(1)}(k) \quad k=1,2,\dots,m \quad (4)$$

预测序列为:

$$\hat{X}_{\text{GM}}^{(0)} = [\hat{x}_{\text{GM}}^{(0)}(2), \hat{x}_{\text{GM}}^{(0)}(3), \dots, \hat{x}_{\text{GM}}^{(0)}(m)] \quad (5)$$

3.2 Verhulst 模型

Verhulst 灰色模型是在德国数学家 Verhulst 所建立的模型上发展而来的一个非线性微分模型。

设原始序列为:

$$X^{(0)} = [x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(m)], \quad 4 \leq m \leq n$$

由式(1)做一阶累加生成,得到序列:

$$X^{(1)} = [x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(m)]$$

直接建立 $X^{(0)}$ 的 Verhulst 模型:

$$\frac{dX^{(0)}}{dt} = a_{\text{Verhulst}} X^{(0)} - u_{\text{Verhulst}} (X^{(0)})^2 \quad (6)$$

$\lambda_{\text{Verhulst}} = [a_{\text{Verhulst}}, u_{\text{Verhulst}}]^T$ 为系数向量,

$u_{\text{Verhulst}} (X^{(0)})^2$ 为竞争项, $\lambda_{\text{Verhulst}}$ 通过下述算式求取:

$$\lambda_{\text{Verhulst}} = [(A_{\text{Verhulst}} : B_{\text{Verhulst}})^T (A_{\text{Verhulst}} : B_{\text{Verhulst}})]^{-1} \cdot (A_{\text{Verhulst}} : B_{\text{Verhulst}})^T Y_{\text{Verhulst}} \quad (7)$$

$$\text{式中 } A_{\text{Verhulst}} = \begin{bmatrix} -[x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)]/2 \\ -[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)]/2 \\ \vdots \\ -[x^{(1)}(m-1) + x^{(1)}(m)]/2 \end{bmatrix},$$

$$B_{\text{Verhulst}} = \begin{bmatrix} [(x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2))/2]^2 \\ [(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3))/2]^2 \\ \vdots \\ [(x^{(1)}(m-1) + x^{(1)}(m))/2]^2 \end{bmatrix}$$

$$Y_{\text{Verhulst}} = [x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(m)]^T$$

解式(6)得到离散形式的预测解序列:

$$\hat{X}_{\text{Verhulst}}^{(0)} = [\hat{x}_{\text{Verhulst}}^{(0)}(2), \hat{x}_{\text{Verhulst}}^{(0)}(3), \dots, \hat{x}_{\text{Verhulst}}^{(0)}(m)]$$

$$\text{其中: } \hat{x}_{\text{Verhulst}}^{(0)}(k) =$$

$$\frac{a_{\text{Verhulst}}/u_{\text{Verhulst}}}{1 + \left(\frac{a_{\text{Verhulst}}}{u_{\text{Verhulst}}} \times \frac{1}{x^{(0)}(1)} - 1 \right) \exp[-a_{\text{Verhulst}}(k-1)]}$$

$$k=2,3,\dots,m$$

3.3 DGM(2,1)模型

DGM(2,1)是单序列二阶线性动态模型,用微分方程来逼近拟合。设原始序列为:

$$X^{(0)} = [x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(m)], \quad 4 \leq m \leq n$$

由式(1)做一阶累加生成,得到序列:

$$X^{(1)} = [x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(m)]$$

建立微分方程:

$$\frac{d^2 X^{(1)}}{dt^2} + a_{\text{DGM}} \frac{dX^{(1)}}{dt} = u_{\text{DGM}} \quad (8)$$

用最小二乘法求解系数向量:

$$\lambda_{\text{DGM}} = [a_{\text{DGM}}, u_{\text{DGM}}]^T = (E_{\text{DGM}} : B_{\text{DGM}})^{-1} B_{\text{DGM}}^T Y_{\text{DGM}}$$

$$\text{式中: } E_{\text{DGM}} = \begin{bmatrix} -x^{(0)}(2) & 1 \\ -x^{(0)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -x^{(0)}(m) & 1 \end{bmatrix},$$

$$Y_{\text{DGM}} = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) - x^{(0)}(1) \\ x^{(0)}(3) - x^{(0)}(2) \\ \vdots \\ x^{(0)}(m) - x^{(0)}(m-1) \end{bmatrix}$$

解式(8)得到离散形式的解序列:

$$\hat{X}_{\text{DGM}}^{(1)} = [\hat{x}_{\text{DGM}}^{(1)}(1), \hat{x}_{\text{DGM}}^{(1)}(2), \dots, \hat{x}_{\text{DGM}}^{(1)}(m)],$$

其中:

$$\hat{x}_{\text{DGM}}^{(1)}(k+1) = \left(\frac{u_{\text{DGM}}}{a_{\text{DGM}}^2} - \frac{x^{(0)}(1)}{a_{\text{DGM}}} \right) \exp(-a_{\text{DGM}}k) +$$

$$\frac{u_{\text{DGM}}}{a_{\text{DGM}}}(k+1) + \left(x^{(0)}(1) - \frac{u_{\text{DGM}}}{a_{\text{DGM}}} \right) \frac{(1+a_{\text{DGM}})}{a_{\text{DGM}}}$$

作一阶累减还原

$$\hat{x}_{\text{DGM}}^{(0)}(k+1) = \hat{x}_{\text{DGM}}^{(1)}(k+1) - \hat{x}_{\text{DGM}}^{(1)}(k),$$

$$k=1,2,\dots,m-1$$

预测序列为:

$$\hat{X}_{\text{DGM}}^{(0)} = [\hat{x}_{\text{DGM}}^{(0)}(2), \hat{x}_{\text{DGM}}^{(0)}(3), \dots, \hat{x}_{\text{DGM}}^{(0)}(m)] \quad (9)$$

4 电力远期价格预测

我们对 Nordpool 交易所 2002 年 6 月 7 日到 6 月 14 日共 6 个交易日(周六、日不交易)的远期价格作为原始序列,分别用上述的三种模型建模,并对 6 月 17 日到 6 月 21 日的远期价格进行预测,结果见表 1。其中,平均预测值 = $\frac{1}{10} \sum_{k=1}^{10} |x_i^{(0)}(k)|$, 平均相

$$\text{对误差} = \frac{1}{10} \sum_{k=1}^{10} \left| \frac{x_i(k) - x_i^{(0)}(k)}{x_i(k)} \right|。$$

表 1 不同灰色预测模型的预测值和相对误差

Tab.1 Forecasted value and relative error for different gray models

日期	实际远期价格/(Nok/MWh)	预测值			相对误差/%		
		GM(1,1)	DGM(2,1)	Verhulst	GM(1,1)	DGM(2,1)	Verhulst
02/6/7	173.75	—	—	—	—	—	—
02/6/10	168.55	168.3730	171.3985	169.2389	0.11	-1.69	-0.41
02/6/11	166.50	167.2274	167.8347	166.7358	-0.42	-0.80	-0.13
02/6/12	166.40	166.0896	165.5204	165.3278	0.19	0.53	0.64
02/6/13	165.77	164.9596	164.0174	164.5239	0.49	1.06	0.75
02/6/14	163.25	163.8372	163.0414	164.0631	-0.36	0.13	-0.50
02/6/17	162.50	162.7225	162.4075	163.7981	-0.14	0.06	-0.80
02/6/18	163.50	161.6154	161.9959	163.6455	1.15	0.92	-0.09
02/6/19	165.0	160.5157	161.7286	163.5574	2.72	1.98	0.87
02/6/20	163.75	159.4236	161.5550	163.5066	2.64	1.34	0.15
02/6/21	162.25	158.3389	161.4423	163.4773	2.41	0.50	-0.76
平均值 (绝对值)	164.747	162.8103	164.0942	164.7877	1.063	0.90	0.513

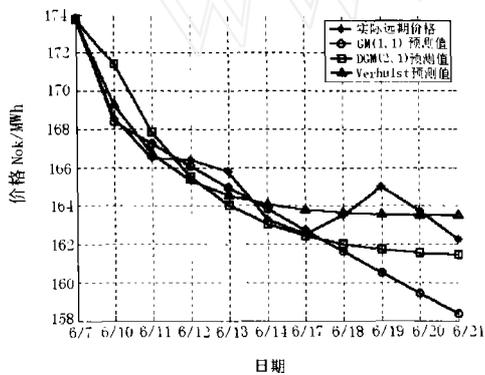


图 1 实际远期价格和预测值

Fig.1 Actual forward price and forecasting value

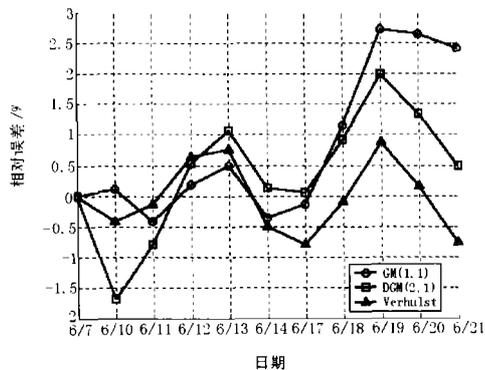


图 2 不同预测模型的相对误差

Fig.2 Relative error of different forecasting model

由表中可以看出, Verhulst 模型的平均相对误差最小, GM(1,1) 模型的平均相对误差最大。这是由

于 GM(1,1) 模型对原始数据光滑离散度较好的序列才能比较有效的描述其单调变化过程。但是电力远期价格的变化是非单调的摆动, 因此, 随着时间的增长, 用 GM(1,1) 模型进行预测的精度明显下降, 如图 2 所示, 相对误差的波动幅度逐步增大。而 Verhulst 模型和 DGM(2,1) 模型的相对误差的波动幅度比较稳定, 从图 1 可以看出, 电力远期价格序列接近于 S 形的饱和发展序列, 因此, 用 Verhulst 模型所得到的预测值变动的更平稳, 与实际值的拟合程度最好。

5 结论

针对电力远期价格变动随机性强, 受外界影响因素多, 难以准确地用非线性函数加以描述等特点, 本文首次提出采用灰色预测模型对电力远期价格在短时期内的变动进行预测, 并对不同预测模型的预测值进行了比较, 结果表明, 采用灰色预测模型能在小样本、贫信息的条件下对远期价格作出比较准确的预测, 并且不需要确定非线性函数。这为电力市场的参与者更好地利用电力远期合约这一金融衍生工具进行套期保值提供便利。

参考文献:

[1] John C Cox, Mark Rubinstein. Options Market[M]. New Jersey: Prentice Hall, 1985.
 [2] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990. (下转第 61 页)

容应选小些。

图2的电路中,为了简单实用^[3],A相的电感采用30W日光灯的镇流器。其参数 $R_L \approx 50 \Omega$, L 从0.7~1.7H。从图6中我们发现,在 L 小于4H时,C相电压大于320V,灯泡不能正常工作。在 L 大于4H时,A相的电感大于镇流器的上限电压320V。也就是说,当电阻 R 是一个灯泡时,图2电路不实用。而当电阻 R 是两个灯泡串联时, L 小于4H情况下是可以正常工作并指示相序的。这是由于镇流器的 L 在1H左右,其电压在200V上下,C相电压在400V以下,低于灯泡的额定电压之和440V,B相电压在260V上下,高于灯泡正常发光的电压之和80V。对以上的分析结果可用表1归纳。

(3)以上的模拟过程是对电路模型进行的计算。我们也按照上面的仿真过程对图1和图2在不同参数下进行了实验测试。实验与仿真的变化趋势是吻合的,只是电压有效值有些偏差但这些偏差对干上述结论没有影响。

表1 图1与图2的实用最佳参数

Tab.1 The applied optima parameter of fig.1 and fig.2

灯泡功率/W	图1电路	图2电路
	电容 $C/\mu\text{F}$	电感 L/H
15	0.2	—
25	0.35	—
40	0.5	—
60	1	—
两灯泡串联	0.5~5	0.5~4

参考文献:

- [1] 邱关源. 电路[M].北京:高等教育出版社,1999.
- [2] 罗飞. 简易相序指示器的安全性与实用性[J]. 电气电子教学学报,1998,(2):59-61.
- [3] 李建新. 简易相序指示器. 电工技术,1997,(11):60.

收稿日期: 2002-07-11; 修回日期: 2002-09-19

作者简介:

杨育霞(1956-),女,副教授,主要从事电气工程和电气自动化方面的科研和教学工作;

章玉政(1957-),男,主要从事电气工程专业基础课的实验教学和科研工作。

Optimum parametric design to phase sequence indicator

YANG Yu-xia,ZHANG Yu-zheng

(School of Electric Engineering of Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In this paper, scan and analyze all-sidedly every component parameter of the bulb phase sequence indicator with PSpice. In terms of the scanning curve, theoretically and practically give the optimal selection scope. The analytic results will be the guidance for grasping the essence of the phase sequence indicator and how to use it correctly.

Key words: phase sequence indicator; circuit simulation; parameter scanning

(上接第25页)

- [3] 刘思峰,郭天榜,党耀国. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学出版社,2000.

收稿日期: 2002-10-21

作者简介:

马 歆(1972-),男,工程师,博士研究生,研究方向电力市场;

侯志俭(1942-),男,教授,博士生导师,上海交通大学电力学院院长,研究方向电力市场、最优潮流;

蒋传文(1966-),男,博士后,研究方向电力市场、混沌理论。

Study on gray dynamic model for electricity forward price forecasting

MA Xin¹, HOU Zhi-jian¹, JIANG Chuan-wen¹, TAI Neng-ling¹, PAN Li-qiang²

(1. Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;

2. Hunan Power Dispatching & Communication Centre, Changsha 410007, China)

Abstract: Electricity forward price is affected by many factors such as spot price, interest rate and load request. It is difficult to set up an accurate math model to describe its movement which varies in complex tendency. A gray dynamic model is present to forecast electricity forward price and results of different models are studied.

Key words: electricity forward price; gray dynamic model; forecasting