

GM(1,2)短期现货电价灰色预测模型

苏娟,杜松怀

(中国农业大学信息与电气工程学院,北京 100083)

摘要:在电力市场中,电价预测对市场参与者具有非常重要的意义。该文检验了GM(1,2)灰色模型在现货电价预测中的应用效果。在对GM(1,2)模型进行修正的基础上,分别建立了计及负荷因子的预测模型和计及预测时刻前一小时电价的预测模型,并对模型进行了等维新息处理。对美国PJM电力市场的峰荷时段、腰荷时段和低谷时段的LMP实时电价分别进行了预测。预测结果表明,计及预测时刻前一小时电价的预测模型具有较好的预测效果。

关键词:电价预测; 灰色系统; GM(1,2)模型; 电力市场

中图分类号: TM73 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)01-0046-04

0 引言

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。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,提前知道准确的电价信息有着非常重要的意义。

目前电价预测的方法主要是神经网络法、时间序列法以及在此基础上与其他理论相结合的方法。这些方法主要是根据大量的历史数据,找出电价序列的波动规律,从而建立预测模型进行预测。

而灰色模型不需要任何原始序列的概率分布,可实现少数据建模。GM(1,1)灰色预测模型在现货电价预测中已取得了较好的预测效果^[1,2]。本文提出了一种基于GM(1,2)灰色现货电价预测模型,来验证它的预测效果。

在电力市场中,现货电价具有信息的不完全和不确定的性质,符合灰色变量的特征^[3]。因此可采用灰色模型预测短期现货电价。建立现货电价的GM(1,2)模型除了引入电价本身历史数据外,还能够引入一个电价的相关因素序列,理论上比只研究电价历史数据的GM(1,1)模型有更好的预测效果。

因此,本文在对GM(1,1)灰色模型研究的基础上,提出了GM(1,2)模型的短期现货电价预测方法,并对其系数进行了修正,目的在于验证GM(1,2)灰色模型在短期现货电价中的预测效果,寻找简单、精确的预测方法。本模型的特点是:

1)根据灰色理论的数学原理,充分挖掘电价数据的信息资源,实现少数据建模。

2)对GM(1,1)模型无法引入电价影响因素的缺点进行了改进。

3)能适应系统的快速动态行为,模型简单,计算速度快。

4)对GM(1,2)模型系数进行修正,改善了预测结果经常出现无效值(负值)的缺点。

5)历史电价数据采用水平电价序列。

6)采用等维新息处理技术,使得模型充分利用新信息,实现数据的“新陈代谢”。

模型中分别引入了负荷和预测时刻的前一小时电价这两个影响因素,作为相关因素序列。对美国PJM电力市场的峰荷时段、腰荷时段和低谷时段的LMP实时电价分别进行了预测。预测结果表明,计及预测时刻前一小时电价的预测模型具有较好的预测效果。

1 GM(1,2)预测模型

“灰色系统理论是邓聚龙教授于1982年创立的。灰色预测具有所需原始信息少,计算过程简单,预测结果可检验性等优点,因此应用广泛。下面介绍灰色模型的基本方法^[4]。

设 $x_1^{(0)} = \{x_1^{(0)}(1), x_1^{(0)}(2), \dots, x_1^{(0)}(n)\}$ 为系统特征数据序列,

$x_2^{(0)} = \{x_2^{(0)}(1), x_2^{(0)}(2), \dots, x_2^{(0)}(n)\}$ 为相关因素序列。

1)灰生成

灰色系统常用的生成方式有三类:累加生成(AGO);累减生成(IAGO);映射生成。这里只考虑累加生成。

累加生成:记 $x_i^{(1)}$ 为 $x_i^{(0)}$ 的累加生成序列, $i = 1, 2$, 它们满足下述关系,即

$$x_i^{(1)}(k) = \sum_{j=1}^k x_i^{(0)}(j) \quad (1)$$

称为一次累加生成,常记为 1-AGO。

2)建立 GM(1,2)微分方程

$$d \frac{x_1^{(1)}}{dt} + ax_1^{(1)} = bx_2^{(1)} \quad (2)$$

参数列为 $\hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$, 其中 a 称为系统发展系数, b 称为

驱动系数,用最小二乘法求解, $\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y_N$ 。其中

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x_1^{(1)}(1) + x_1^{(1)}(2)) & x_2^{(1)}(2) \\ -\frac{1}{2}(x_1^{(1)}(2) + x_1^{(1)}(3)) & x_2^{(1)}(3) \\ \dots & \dots \\ -\frac{1}{2}(x_1^{(1)}(n-1) + x_1^{(1)}(n)) & x_2^{(1)}(n) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$Y_N = [x_1^{(0)}(2), x_1^{(0)}(3), \dots, x_1^{(0)}(n)]^T \quad (4)$$

白化形式微分方程的解为:

$$\hat{x}_1^{(1)}(k+1) = \left[x_1^{(1)}(1) - \frac{b}{a} x_2^{(1)}(k+1) \right] e^{-a(k)} + \frac{b}{a} x_2^{(1)}(k+1) \quad (5)$$

3)用以上模型预测 AGO 序列

若令 $\{\hat{x}_1^{(1)}\}$ 为 AGO 序列 $\{x_1^{(1)}\}$ 的预测值序列, 则由式 (5) 的灰色预测模型可得:

$$\{\hat{x}_1^{(1)}\} = (\hat{x}_1^{(1)}(1), \hat{x}_1^{(1)}(2), \dots, \hat{x}_1^{(1)}(n)) \quad (6)$$

4)累减还原

若令原始序列 $\{x_1^{(0)}\}$ 的预测值序列为 $\{\hat{x}_1^{(0)}\}$:

$$\{\hat{x}_1^{(0)}\} = (\hat{x}_1^{(0)}(1), \hat{x}_1^{(0)}(2), \dots, \hat{x}_1^{(0)}(n)) \quad (7)$$

则可通过下式描述的灰色预测模型获得原始序列的预测值:

$$\hat{x}_1^{(0)}(k+1) = \hat{x}_1^{(1)}(k+1) - \hat{x}_1^{(1)}(k), \quad k=1, 2, \dots, n-1 \quad (8)$$

采用以上模型进行电价预测,会出现无效的预测结果。经过研究发现,当驱动系数 a 的值为负值时,结果无效(为负值)。因此要将传统的 GM(1,2) 模型的系数进行修正。

修正后的白化微分方程为:

$$\hat{x}_1^{(1)}(k+1) = \left[x_1^{(1)}(1) - \left| \frac{b}{a} \right| x_2^{(1)}(k+1) \right] e^{-|a|(k)} + \left| \frac{b}{a} \right| x_2^{(1)}(k+1) \quad (5)$$

用修正后的模型对电价进行预测,预测效果得到了明显提高。

2 基于 GM(1,2)预测模型的现货电价预测

2.1 历史电价数据的结构形式

本模型的历史电价数据采用水平电价序列。水平电价序列是由不同交易日、同一时段的电价构成的数据序列。一般情况下,每个交易日至少有 24 个交易日,每个交易时段均对应一个水平电价序列^[3]。

2.2 GM(1,2)模型的相关因素序列

模型中的系统特征数据序列 $x_1^{(0)}(k), k=1, 2, \dots, DW$; (DW 为序列长度,即模型的数据窗长度)为原始电价序列。相关因素序列 $x_2^{(0)}(k), k=1, 2, \dots, DW+1$; 本文分别采用负荷序列和预测时刻的前一小时电价序列。

2.3 等维新息处理^[5]

在实时系统中,新的电价数据不断涌现,未来的一些扰动因素将不断地相继侵入系统并产生影响。为了充分利用灰色预测模型少数数据建模的特点以及当前数据中包含的丰富信息,本模型采用等维新息处理,即在预测模型中将每个新得到的信息送入数据序列中,同时去除一个最陈旧的数据,达到数据信息的“新陈代谢”。

2.4 预测误差分析

本文将采用平均绝对百分比误差 (MAPE)^[6] 对预测进行误差分析。

令 V_a 为实际值, V_f 为预测值。这时有误差百分比 (PE) 定义如下:

$$PE = (V_f - V_a) / V_a \times 100\% \quad (9)$$

绝对误差率 (APE) 为:

$$APE = |PE| \quad (10)$$

这时平均绝对误差率公式如下:

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N APE_i \quad (11)$$

3 算例与分析

研究对象:美国 PJM 电力市场 LMP 实时电价 (Eastern hub)。

研究时段:2004 年 1 月 1 日 ~ 12 月 31 日 (362 个数据点),谷荷时段 (2 00 点),腰荷时段 (8 00 点),峰荷时段 (18 00 点)的水平电价。

数据窗长度: $DW = 4$

电价预测模型:

GM(1,1)模型。

引入负荷为相关因素序列的修正 GM (1, 2) 模型 (以下用 GM (1, 2) _bad表示)。

引入前一小时电价为相关因素序列的修正 GM (1, 2)模型 (以下 GM (1, 2) _price表示)。

表 1~表 3 分别示出了谷荷时段、腰荷时段和峰荷时段中各模型的预测精度比较。

表 1 谷荷时段 (2 00点)各模型的精度比较

Tab 1 Comparison of different models' pprecisions at valley load period (2AM)

预测模型	单点最大 误差 / (%)	MAPE / (%)	精度 / (%)
GM (1, 1)模型	124. 6	18. 20	81. 80
GM (1, 2) _bad模型	175. 5	19. 23	80. 77
GM (1, 2) _price模型	104. 4	6. 74	93. 26

表 2 腰荷时段 (8 00点)各模型的精度比较

Tab 2 Comparison of different models' pprecisions at middle load period (8AM)

预测模型	单点最大 误差 / (%)	MAPE / (%)	精度 / (%)
GM (1, 1)模型	125. 1	29. 51	70. 49
GM (1, 2) _bad模型	225. 9	24. 19	75. 81
GM (1, 2) _price模型	218. 2	16. 47	83. 53

表 3 峰荷时段 (18 00点)各模型的精度比较

Tab 3 Comparison of different models' pprecisions at peak load period (6PM)

预测模型	单点最大 误差 / (%)	MAPE / (%)	精度 / (%)
GM (1, 1)模型	100. 3	16. 25	83. 75
GM (1, 2) _bad模型	152. 7	11. 68	88. 32
GM (1, 2) _price模型	79. 2	5. 66	94. 34

从表中可以看出, GM (1, 2) _load模型与 GM (1, 1)模型相比,精度提高不大。这主要是由于,在 PJM 电力市场中负荷并不是电价的主要影响因素,市场中的市场力、负荷拥堵等都对电价有着很大的影响。

但在模型中引入上述因素比较困难,只能间接地在模型中反映这些因素的影响。预测时刻前一小时电价所包含的影响因素,近似等于预测时刻的电价所受到的影响。因此在修正 GM (1, 2)模型中引入了预测时刻的前一小时电价作为相关因素序列。

GM (1, 2) _price模型与 GM (1, 1)模型相比,在谷时段单点最大误差从 124. 6%降低到 104. 4%,预测精度从 81. 80%提高到 93. 26%,提高了 12. 46%。

腰荷时段单点最大误差从 125. 1%升到 218. 2%,有所提高,但是预测精度从 70. 49%提高到 83. 53%,提高了 13. 04%。此时段各模型的预测精度普遍很低,主要是因为该时段的电价波动较为异常,使得模

型适应起来比较困难。

峰荷时段的单点最大误差从 100. 3%降到了 79. 2%,预测精度从 83. 75%提高到 94. 34%,提高了 9. 59%。

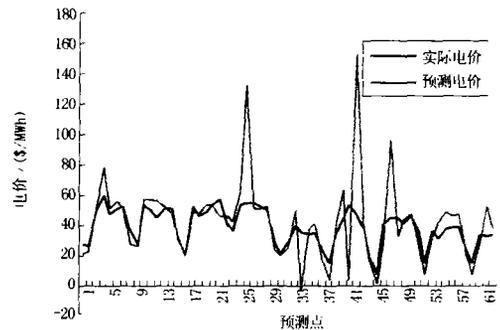


图 1 GM (1, 2) _price模型 2004年 5月 1日~6月 30日 8: 00点的实际电价与预测电价曲线

Fig 1 Actual and forecasted price curves of GM (1, 2) _price model at 8AM from 2/1/03 to 4/1/03

图 1所示的是应用 GM (1, 2) _price模型预测的 2004年 5月 1日到 6月 30日 8 00点的实际电价与预测电价曲线。这一段是应用 GM (1, 2) _price模型预测的 2004年的数据中,预测效果最差的一段。某些单点误差较大,但预测电价与实际电价的整体趋势是基本相同的。

表 4和图 2所示的是 GM (1, 2) _price模型,预测三个时段电价的误差分布情况。其中概率是指落在指定范围内的误差 (MAPE)个数占总预测点个数 (共 362个)的百分比。

从表中和图中可以看出对于全年的预测,大部分的误差都集中在 10%以内,仅有少数的误差超过了 50%。

表 4 GM (1, 2) _price模型在各预测时段的误差 (MAPE)分布概率

Tab 4 Error distribution probabilities of GM (1, 2) _price model in the three periods

误差	概率 (%)		
	2: 00点	8: 00点	18: 00点
0% ~10%	82. 60	51. 52	85. 91
10% ~20%	13. 26	24. 93	11. 05
20% ~30%	1. 66	10. 53	1. 38
30% ~40%	0. 83	5. 26	0. 83
40% ~50%	0. 55	2. 49	0. 28
50% ~60%	0. 55	1. 11	0
60% ~70%	0	0. 83	0. 28
70% ~80%	0	0. 55	0. 28
80% ~90%	0. 28	0. 83	0
90% ~100%	0	0. 28	0
>100%	0. 28	1. 66	0

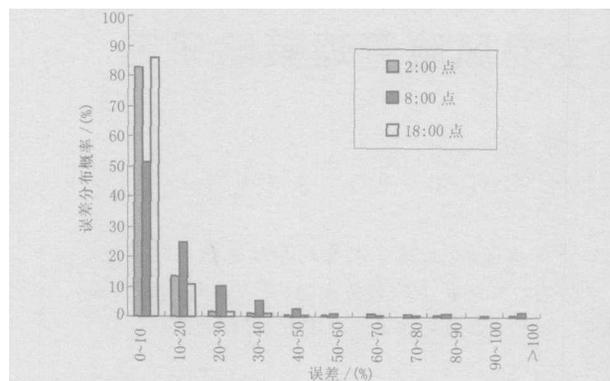


图 2 GM(1,2)_price模型在各时段的误差分布直方图

Fig 2 Error distribution probabilities of GM(1,2)_price model in the three periods

4 结语

本文以美国 PJM 电力市场数据为例对 GM(1,2)灰色模型在短期现货电价中的预测效果进行了验证。结果表明计及预测时刻前一小时电价的修正 GM(1,2)模型的预测精度较为理想,比 GM(1,1)模型的精度有所提高。该模型在谷时段、平时段和峰时段的预测精度都能提高 10%左右,其中谷荷时段和峰荷时段的预测精度高达 90%以上。

腰荷时段的预测精度为 83.53%,主要是由于此时段的实际电价波动异常,导致模型很难适应其规律。在今后的工作中可以对 GM(1,2)模型的参数作进一步的修正,使模型适应数据的波动,提高预测精度。

该模型可用于历史数据很少、电价序列波动较平缓的市场的电价预测。

参考文献:

- [1] DU Song-huai, HOU Zhi-jian, JIANG Chuan-wen A New Short-term Grey Forecasting Procedure of Spot Price[J]. Journal of Grey System, 2002, (4): 351-358
- [2] DU Song-huai, HOU Zhi-jian, JIANG Chuan-wen Grey Forecasting Price Mutation and Its Simulation[J]. Journal of Grey System, 2003, (1): 43-48
- [3] 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.
- [4] 邓聚龙. 灰色控制系统 [M]. 武昌:华中工学院出版社, 1987.
DENG Ju-long Grey Control System [M]. Wuchang: Huazhong Institute of Technology Press, 2004.
- [5] 陈锦涛. 优化灰色模型在负荷预测中的应用 [J]. 南京工程学院学报 (自然科学版), 2003, 12(4): 1-5.
CHEN Jin-tao The Application of Optimized Grey Model in the Load Forecasting of Power System [J]. Journal of Nanjing Institute of Technology, Nat & Sci, 2003, 12(4): 1-5.
- [6] Shahidehpour M, Yam in H, LI Zu-yi Market Operations in Electric Power Systems[M]. A John Wiley & Sons, Inc

收稿日期: 2005-05-24; 修回日期: 2005-07-29

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,教授,博士生导师,研究方向为电力系统自动化和电力市场。

The GM(1,2) short-term spot price forecasting grey model

SU Juan, DU Song-huai

(China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: In powermarket, it is important for market participants to accurately forecast the electricity price. This paper tests the performance of GM(1,2) model on spot price forecasting. The GM(1,2) model is improved to forecast the spot price. The factors of load or the price an hour before forecasted time are introduced in the forecasting model. The equal-dimension and new-information method is also used in this model. It has been used to forecast the LMP at low load period, medium load period and peak load period in American PJM power market. The results show that the improved GM(1,2) model with the price an hour before forecasted time work reasonably well.

Key words: price forecasting; grey system; GM(1,2) model; power market