

改进无偏 GM(1, 1) 模型及其在中长期电力负荷预测中的应用

郑文琛, 吉培荣, 罗贤举

(三峡大学电气信息学院, 湖北 宜昌 443002)

摘要: 通过对原始数据序列作开次方运算生成新数据序列的方法, 建立了改进无偏 GM(1, 1) 模型。用数值实验研究的方法证明了改进无偏 GM(1, 1) 模型特性优于无偏 GM(1, 1) 模型。将改进无偏 GM(1, 1) 模型用于对太原地区电力负荷进行预测, 实际应用的结果也显示改进模型提高了中长期电力负荷预测精度。

关键词: 电力系统; 中长期负荷预测; 无偏 GM(1, 1) 模型; 灰色系统; 均方根误差

An improved unbiased GM(1,1) model and its application in mid-long term electric load forecasting

ZHENG Wen-chen, JI Pei-rong, LUO Xian-ju

(College of Electric Engineering & Information Science, China Three Gorges University, Yichang 443002, China)

Abstract: An improved unbiased GM(1,1) model is constructed by producing new data sequence with the method of transforming every datum of raw data sequence into its n-th root. It is demonstrated that the property of the improved unbiased GM(1,1) model is superior to the unbiased GM(1,1) model by numerical experiment. Moreover, the improved model is applied to the electric load prediction of Taiyuan district. The actual results also show that the mid-long term load forecasting accuracy can be enhanced by the improved model.

Key words: electric power system; mid-long term load forecasting; unbiased GM(1,1) model; grey system; root-mean-square error

中图分类号: TM715 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)05-0036-04

0 引言

负荷预测有很多具体方法, 灰色系统方法是其中的常用方法, 该方法不仅在长期负荷预测中得到广泛应用^[1~4], 而且也可被应用于短期负荷预测领域^[5]。

灰色系统预测方法的传统模型是 GM(1, 1) 模型, 文献[6]证明了传统 GM(1, 1) 模型实际上是有偏差的指数模型, 文献[7]提出了灰色预测的无偏 GM(1, 1) 模型, 文献[8]将无偏 GM(1, 1) 模型应用于电力系统负荷预测中。

无偏 GM(1, 1) 模型性能优于传统 GM(1, 1) 模型^[7, 8], 但在发展系数增大时, 性能逐渐变差^[9]。本文中, 通过对原始数据进行处理, 作者提出了一种改进无偏 GM(1, 1) 模型。针对有扰动的指数序列, 设立不同的发展系数, 分别用改进无偏 GM(1, 1) 模型与无偏 GM(1, 1) 模型建模进行统计实验, 结果显示改进无偏 GM(1, 1) 模型精度优于无偏 GM(1, 1) 模型, 特别是在发展系数较大时, 精度的改进尤为明

显。以太原地区电力负荷预测为实例将改进无偏 GM(1, 1) 模型用于电力负荷预测中, 得到较好的结果。

1 无偏 GM(1, 1) 模型

设有原始数据序列: $x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)$ 它们满足 $x^{(0)}(k) \geq 0$ $k=1, 2, \dots, n$ 。建立无偏 GM(1, 1) 模型的一般步骤如下:

(1) 做一阶累加形成生成数据序列

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

序列 $x^{(1)}$ 具有近似的指数增长规律, 而一阶微分方程的解恰是指数形式, 因此可认为序列 $x^{(1)}$ 的白化形式的微分方程为:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u$$

式中: a 称为模型的发展系数, 它反映了数据序列

$x^{(1)}$ 及原始数据序列 $x^{(0)}$ 的发展趋势。

根据灰色系统理论, 上述微分方程的离散形式写成矩阵形式有

$$\begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[x^{(1)}(1)+x^{(1)}(2)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(2)+x^{(1)}(3)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ \frac{1}{2}[x^{(1)}(n-1)+x^{(1)}(n)] & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix}$$

简记为 $Y_n = BA$

(2) 确定数据矩阵 B, Y_n

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[x^{(1)}(1)+x^{(1)}(2)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(2)+x^{(1)}(3)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ \frac{1}{2}[x^{(1)}(n-1)+x^{(1)}(n)] & 1 \end{bmatrix}$$

$$Y_n = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}$$

(3) 求参数列

$$A = [\hat{a} \quad \hat{u}]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y_n \quad (2)$$

(4) 求无偏 GM(1,1)模型参数

$$\hat{a}' = \ln \frac{2-\hat{a}}{2+\hat{a}}, \quad \hat{A}' = \frac{2\hat{u}}{2+\hat{a}} \quad (3)$$

(5) 建立原始数据序列模型

$$\hat{x}^{(0)}(1) = x^{(0)}(1)$$

$$\hat{x}^{(0)}(k) = \hat{A}e^{\hat{a}'(k-1)} \quad k=2,3,\dots \quad (4)$$

2 改进无偏 GM(1,1)模型

通过对原始数据序列的每个数据开次方, 重新建立原始数据列, 按照无偏 GM(1,1)模型建模, 然后对求得的预测数据列次方幂还原, 从而得到改进

无偏 GM(1,1)模型的预测数据序列。

设有原始数据序列: $x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)$ 它们满足 $x^{(0)}(k) \geq 0 \quad k=1, 2, \dots, n$ 。改进无偏 GM(1,1)模型的一般步骤如下:

(1) 对原始数据序列 ($x^{(0)}(k)$) 逐个开次方, 建立新数据序列:

$$x'^{(0)}(k) = \sqrt[q]{x^{(0)}(k)} \quad q=2 \text{ 或 } 3, \quad k=1,2, \dots, n \quad (5)$$

(2) 做一阶累加形成生成数据序列

$$x^{(1)}(k) = \sum_{m=1}^k x'^{(0)}(m) \quad k=1,2, \dots, n \quad (6)$$

(3) ~ (5) 同无偏 GM(1,1)模型步骤 (2) ~ (4)

(6) 建立改进原始数据序列模型

$$\hat{x}'^{(0)}(1) = x'^{(0)}(1)$$

$$\hat{x}'^{(0)}(k) = \hat{A}e^{\hat{a}'(k-1)} \quad k=2,3, \dots \quad (7)$$

(7) 还原原始数据序列模型

$$\hat{x}^{(0)}(1) = (x'^{(0)}(1))^q \quad q=2 \text{ 或 } 3$$

$$\hat{x}^{(0)}(k) = (\hat{x}'^{(0)}(k))^q \quad q=2 \text{ 或 } 3, \quad k=2,3, \dots \quad (8)$$

与无偏 GM(1,1)模型比较, 改进无偏 GM(1,1)模型减小了原始数据的增长率, 降低了发展系数。

3 有扰动指数序列建模时两种建模方法特性的比较

在实际的预测工作中, 待预测的序列不会是严格的指数序列, 很多序列可认为是严格指数序列加一定扰动构成。在这里用实验统计的方法加以研究。取原始序列 $x^{(0)}$ 为具有一定偏离度 (即扰动) 的指数序列。偏离度用 R 表示, 在 1%~11% 的范围内变化。即

$$x^{(0)}(k) = Ae^{(k-1)a} (1 + R * \text{unifrnd}(-1,1))$$

$$(k=1,2, \dots, N)$$

其中: 函数 $\text{unifrnd}(-1,1)$ 为 Matlab 语言, 其功能是产生 (-1, 1) 范围内均匀分布的随机数。

对每一个 R 值, 取 2 500 组随机样本, 分别用两种建模方法进行预测。对于改进无偏 GM(1,1)模型中, q 值分别取 2, 3, 4, 5 并对应称其为开二次方改进无偏 GM(1,1)模型, 开三次方改进无偏 GM(1,1)模型, 开四次方改进无偏 GM(1,1)模型, 开五次方改进无偏 GM(1,1)模型。其中在实验中用

RMSE 来衡量模型的精度, 且让 RMSE 取其期望值

$$RMSE = \frac{1}{2500} \sum_{i=1}^{2500} RMSE_i \quad (\text{其中 } RMSE_i =$$

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=2}^n (x_i - \hat{x}_i)^2} \text{ , 而考虑到无偏 GM(1,1)模型建}$$

模时第一个数据没有变化, 因而计算均方根误差从第二项数据开始)。

取 $A=10, a=0.03, N=10$ 。实验结果见表 1。

表 1 实验统计结果 RMSE

Tab.1 Experiment statistics results of RMSE

R	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%	11%
无偏 GM(1,1)	0.055457	0.109885	0.166075	0.222605	0.276617	0.330657	0.385594	0.439790	0.499730	0.555217	0.609685
开二次方改进无偏 GM(1,1)	0.055434	0.109833	0.166009	0.222507	0.276477	0.330525	0.385416	0.439600	0.499500	0.554942	0.609397
开三次方改进无偏 GM(1,1)	0.055442	0.109845	0.166031	0.222534	0.276510	0.330573	0.385471	0.439670	0.499583	0.555036	0.609507
开四次方改进无偏 GM(1,1)	0.055448	0.109856	0.166051	0.222555	0.276542	0.330613	0.385519	0.439729	0.499653	0.555116	0.609599
开五次方改进无偏 GM(1,1)	0.055453	0.109864	0.166065	0.222573	0.276565	0.330643	0.385555	0.439773	0.499704	0.555175	0.609667

取 $A=10, a=0.3, N=10$ 。实验结果见表 2。

表 2 实验统计结果 RMSE

Tab.2 Experiment statistics results of RMSE

R	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%	11%
无偏 GM(1,1)	0.574500	1.126166	1.684438	2.258396	2.854452	3.513713	4.042218	4.612187	5.143895	5.735027	6.511082
开二次方改进无偏 GM(1,1)	0.319516	0.635778	0.956715	1.284607	1.589725	1.945892	2.232756	2.555955	2.873601	3.170968	3.539164
开三次方改进无偏 GM(1,1)	0.311233	0.621636	0.938177	1.257877	1.554751	1.901103	2.181236	2.497204	2.806829	3.098188	3.453747
开四次方改进无偏 GM(1,1)	0.311475	0.621963	0.939627	1.258623	1.556492	1.902037	2.182839	2.498178	2.807655	3.101143	3.455552
开五次方改进无偏 GM(1,1)	0.312534	0.623293	0.943093	1.262423	1.562060	1.908067	2.190241	2.505930	2.816236	3.112239	3.466948

由表 1、表 2 可见无偏 GM(1,1)模型和四种改进无偏 GM(1,1)模型的均方根误差 RMSE 随扰动 R 的增加而增长。当发展系数 a 的值较小时, 无偏 GM(1,1)模型精度令人满意的, 且四种改进无偏 GM(1,1)模型精度都略高于无偏 GM(1,1)模型, 但是四种改进模型精度相差甚微其中以开二次方改进无偏 GM(1,1)模型精度最高 (见表 1); 当发展系数 a 的值较大时, 随着 R 的不断增长, 原始模型与改进模型的 RMSE 值相差越来越大, 四种改进无偏 GM(1,1)模型精度明显优于无偏 GM(1,1)模型, 且它们的相差不大其中以开三次方改进无偏 GM(1,1)模型精度最高 (见表 2)。分析其原因, 可以认为是对原始数据开平方运算降低了原始数据的增长率, 减小了发展系数, 并且随着发展系数的增大, 开次方次数越高(但不是次数越高精度越好), 无偏模型的精度越高。

发展系数 $a=0.03$, 对应年增长率为 3%; 发展

系数 $a=0.3$, 对应年增长率为 35%。由于实际负荷年增长率通常不会超过 35%, 所以实验内容满足实际要求。实验结果显示实际应用中实际数据宜开二次方或三次方。

4 实例

表 3 是太原地区全社会用电量历史数据^[10]。这里, 应用无偏 GM(1,1)模型和改进无偏 GM(1,1)模型分别进行建模, 得出拟合结果, 结果见表 4。此处用均方根误差 RMSE 来衡量模型的精度, 无偏 GM(1,1)模型和改进无偏 GM(1,1)模型精度比较结果见表 5。

由表 5 中的结果可见, 开三次方改进无偏 GM(1,1)模型的精度优于各无偏 GM(1,1)模型。

应用开三次方改进无偏 GM(1,1)模型预测太原地区 2006-2014 年全社会用电量, 预测结果见表 6。

表 3 太原地区全社会用电量/TW · h

Tab.3 The whole society power consumption of Taiyuan district/TW · h

年份	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
用电量	8.3974	8.4247	8.5879	8.6934	9.5948	10.0861	10.9352	11.5075	12.6192

表 4 太原地区全社会用电量的无偏 GM(1,1)模型和改进无偏 GM(1,1)模型的拟合值/TW·h

Tab.4 The fitting results of the unbiased GM(1,1)model and the improved unbiased GM(1,1) model to the whole society power consumption of Taiyuan district /TW·h

年份	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
用电量	8.3974	8.4247	8.5879	8.6934	9.5948	10.0861	10.9352	11.5075	12.6192
无偏 GM(1,1)模型	8.3974	7.9565	8.4640	9.0039	9.5783	10.1892	10.8392	11.5305	12.2660
开二次方改进无偏 GM(1,1)模型	8.3974	8.0200	8.5234	9.0583	9.6268	10.2310	10.8731	11.5556	12.2807
开三次方改进无偏 GM(1,1)模型	8.3974	8.0392	8.5409	9.0740	9.6403	10.2403	10.8813	11.5604	12.2819
开四次方改进无偏 GM(1,1)模型	8.3974	8.0484	8.5494	9.0814	9.6467	10.2470	10.8848	11.5622	12.2818
开五次方改进无偏 GM(1,1)模型	8.3974	8.0539	8.5543	9.0858	9.6503	10.2499	10.8867	11.5632	12.2816

表 5 无偏 GM(1,1)模型和改进无偏 GM(1,1)模型精度的比较/TW·h

Tab.5 The comparison of accuracy between the unbiased GM(1,1)model and the improved unbiased GM(1,1) model/ TW·h

	无偏 GM(1,1)模型	开二次方改进无偏 GM(1,1)模型	开三次方改进无偏 GM(1,1)模型	开四次方改进无偏 GM(1,1)模型	开五次方改进无偏 GM(1,1)模型
RMSE(用电量)	0.244016	0.235531	0.234931	0.234940	0.235034

表 6 太原地区 2006~2014 年全社会用电量的预测值/ TW·h

Tab.6 The prediction results of whole society power consumption of Taiyuan district from year from 2006 to 2014/ TW·h

年份	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
用电量	13.0485	13.8629	14.7281	15.6473	16.6239	17.6614	18.7637	19.9348	21.1790

5 结论

在无偏 GM(1,1)模型基础上,本文提出了对原始数据序列作开次方运算生成新的数据序列的方法对无偏 GM(1,1)模型建模,从而提出了改进 GM(1,1)模型。用数值实验的方法证明了改进无偏 GM(1,1)模型特性优于无偏 GM(1,1)模型,特别是当发展系数较大时,优势更加明显。数值实验结果显示建模时对实际数据以开二次方或三次方效果最佳。实际负荷数据的计算结果也表明改进无偏 GM(1,1)模型可提高负荷预报模型精度。该方法值得在电力负荷预测领域推广。

参考文献

- [1] 汪峰,于尔铿,周京阳.能量管理系统第 4 讲-电力系统负荷预报[J].电力系统自动化,1997, 21 (4): 66-69. WANG Feng, YU Er-keng, ZHOU Jing-yang. Energy Management System (EMS), Part Four-Electric Power Load Forecasting[J].Automation of Electric Power Systems, 1997, 21 (4): 66-69.
- [2] 范鹰,郭建伟.灰色模型在电力负荷预测中的应用与改进[J].电力需求侧管理, 2006, 8 (2): 18-25. FAN Ying, GUO Jian-wei. The Improvement and Application of Grey Model for Electric Power Load Forecasting[J].Power Demand Side Management,2006, 8 (2): 18-25.
- [3] 张宁,韩富春,武天文,等.基于灰色模型的电力系统负荷预测[J].电力学报, 2006, 21 (1): 26-30.

ZHANG Ning, HAN Fu-chun, WU Tian-wen, et al. Power System Load Forecasting Based upon Grey Model[J]. Journal of Electric Power, 2006, 21 (1): 26-30.

- [4] 蔡琼,陈萍.灰色 GM(1,1)模型及其在电力负荷预测中的应用[J].自动化技术与应用, 2006, 25 (3): 24-26. CAI Qiong, CHEN Ping. GM (1, 1) Model and Its Application in the Power Load Prediction[J]. Techniques of Automation and Applications, 2006, 21 (1): 26-30.
- [5] 周平,杨岚,周家启.电力系统负荷灰色预测的新方法[J].电力系统及其自动化学报, 1998, 10 (3): 45-50. ZHOU Ping, YANG Lan, ZHOU Jia-qi. The New Method of Electric Power System Load Grey Forecast[J].Proceedings of the EPSA,1998, 10(3): 45-50.
- [6] 吉培荣,黄巍松,胡翔勇.灰色预测模型的研究[J].系统工程理论与实践, 2001, 21 (9): 105-108. JI Pei-rong, HUANG Wei-song, HU Xiang-yong. A Study on the Properties of Grey Forecasting Model[J].Systems Engineering-theory & Practice, 2001,21 (9): 105-108.
- [7] 吉培荣,黄巍松,胡翔勇.无偏灰色预测模型[J].系统工程与电子技术, 2000, 22 (6): 6-7. JI Pei-rong, HUANG Wei-song, HU Xiang-yong. An Unbiased Grey Forecasting Model[J]. Systems Engineering and Electronics, 2000, 22 (6): 6-7.
- [8] 吉培荣,黄巍松,胡翔勇.电网负荷预测的无偏灰色预测模型[J].三峡大学学报, 2001, 23 (1): 59-62. JI Pei-rong, HUANG Wei-song, HU Xiang-yong. An Unbiased Grey-forecasting Model for Electric Load Forecasting[J]. Journal of University Three Gorges, 2001, 23 (1): 59-62.

(下转第 44 页 continued on page 44)

- Bidding Strategies for Generation Companies in Electricity Markets[J]. Electric Power Systems Research, 2005,73: 305-312.
- [4] Vehrilainen I, Keppo J. Managing Electricity Market Price Risk[J]. Eur J Res, 2003,145(1):136-147.
- [5] LIU Min, Wu F F. Managing Price Risk in a Multimarket Environment[J]. IEEE PWS 2006,21(4):1512-1519.
- [6] CHEN Xiao-ling, He Y, Song Y H, et al. Study of Impacts of Physical Contracts and Financial Contracts on Bidding Strategies of GENCOs[J]. Electrical Power and Energy Systems, 2004,26: 715-723.
- [7] Tanlapco E, Lawarre J, Liu C C. Hedging with Futures Contracts in a Deregulated Electricity Industry[J]. IEEE PWS, 2006,17(3):577-582.
- [8] 刘亚安, 管晓宏. 电力市场中购电商的市场分配问题研究[J]. 中国电机工程学报, 2001,21(10):20-23.
LIU Ya-an, GUAN Xiao-hong. Market Allocation Problem for Energy Demander in Power Market[J]. Proceedings of CSEE, 2001,21(10):20-23.
- [9] 刘亚安, 管晓宏. 考虑风险因素的两市场购电优化分配问题[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(9): 41-44.
LIU Ya-an, GUAN Xiao-hong. Optimization of Purchase Allocation in Dual Electric Power Markets with Risk Management[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(9):41-44.
- [10] 郭金, 江伟, 谭忠富. 风险条件下供电公司最优购电问题研究[J]. 电网技术, 2004,28(11):18-22.
GUO Jin, JIANG Wei, TAN Zhong-fu. Research on Optimized Power Purchasing of Power Suppliers under Risk Condition[J]. Power System Technology, 2004, 28(11): 18-22.
- [11] Woo Chi-Keung, Karimov R I, Ira Horowitz. Managing Electricity Procurement Cost and Risk by a Local Distribution Company[J]. Energy Policy, 2004,32: 635-645.
- [12] Vehrilainen I, Keppo J. Managing Electricity Market Price Risk[J]. Eur J Res, 2003, 145(1):136-147.
- [13] 朱兆霞, 邹斌. 市场环境下配电公司的风险模型及负荷率的影响分析[J]. 继电器, 2007, 35(12): 63-67.
ZHU Zhao-xia, ZOU Bin. The Risk Model of Distribution Utilities and Analyzing the Infection[J]. Relay, 2007, 35(12):63-67.
- [14] 朱兆霞, 邹斌. PJM 日前市场的电价统计分析[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(23): 53-57.
ZHU Zhao-xia, ZOU Bin. Statistical Analysis of Day-ahead Prices in PJM Market[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006,30(23):53-57.
- [15] 王健, 文福栓, 杨仁刚. 基于机会约束规划的发电公司最优检修策略[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(19): 27-31.
WANG Jian, WEN Fu-shuan, YANG Ren-gang. Optimal Maintenance Strategy for Generation Companies Based on Chance-constrained Programming[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004,28(19): 27-31.
- [16] 李益国, 沈炯, 刘西陞. 基于机会约束规划的发电公司竞标策略[J]. 中国电机工程学报, 2006,26(10): 120-123.
LI Yi-guo, SHEN Jiong, LI Xi-chui. A New Bidding Strategy for Power Plants Based on Chance-constrained Programming[J]. Proceedings of CSEE, 2006,26(10): 120-123.
- [17] 刘宝碇, 赵瑞清. 随机规划与模糊规划[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.
LIU Bao-ding, ZHAO Rui-qing. Stochastic Programming and Fuzzy Programming[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2001.
- [18] 周明, 孙树栋. 遗传算法原理及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999.
ZHOU Ming, SUN Shu-dong. Genetic Algorithm Theory and Application[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1999.
- [19] <http://www.pjm-cem.com/markets/energy-market/day-ahead.html>[EB/OL].

收稿日期: 2007-07-09; 修回日期: 2007-11-02

作者简介:

王海欢(1982-), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力市场; E-mail: haihuangirl@yahoo.com.cn

邹斌(1965-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为电力市场和自动化。

(上接第 39 页 continued from page 39)

- [9] 邹红波. 电力负荷预测的无偏灰色预测模型研究[D]. 宜昌: 三峡大学, 2004.
ZOU Hong-bo. Research on Unbiased Grey-forecasting Model of Power Load Forecasting[D]. Yichang: Three Gorges University, 2004.
- [10] 柴学俊. 太原市电力经济价值研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2006.
CHAI Xue-jun. Study on the Economic Value of Electricity in Taiyuan City[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2006.

收稿日期: 2007-05-17; 修回日期: 2007-08-31

作者简介:

郑文琛(1981-), 男, 硕士研究生, 研究领域为电力负荷预测; E-mail: zwc810324@yahoo.com.cn

吉培荣(1962-), 男, 教授, 研究领域为电力负荷预测、系统工程;

罗贤举(1982-), 男, 硕士研究生, 研究领域为电力负荷预测。