

基于 GM(1, 2)的中长期负荷区间预测模型

闫晨光, 阮仁俊, 王海燕

(四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

摘要:根据电力负荷预测中重视负荷成因和区间预测的指导思想,结合传统预测方法的优点,以灰色理论为基础,运用灰色 GM(1, N)模型,分别将三个产业的 GDP 与用电量结合进行预测,并修正模型系数。同时结合二产 GDP 高、中、低三个水平进行区间预测。结果证明结合影响因素的预测效果较好,预测区间范围合理,可作为中长期负荷预测工具之一。

关键词:负荷成因;区间预测;GM(1, N)模型;中长期负荷预测

Abstract: It is important to analyze the components and to predict the interval of power load. According to these ideas and to incorporate the advantage of traditional method, a GM(1, N) model based on gray theory is proposed. The GDP and power consumption of the three industries is used in this model. And the parameters in the model are rectified. The high, medium, and low GDP level of the second industry is analyzed to perform interval prediction. The experiment result shows that the proposed method with impact factor can predict well, and the predicted interval is reasonable. So this method can be used as a medium-long term power load forecasting tool.

Key words: load components; interval forecasting; GM(1, N) model; medium-long term power load forecasting

中图分类号: TM715

文献标识码: A

文章编号: 1003-6954(2008)04-0050-04

中长期电力负荷预测是制定电力系统发展计划的基础,也是电力规划工作的重要组成部分,其目的是为合理安排电源和电网建设进度提供宏观决策的依据,电力负荷的准确预测对电力生产和安全运行有着重要的意义。

在使用数学方法对负荷进行预测时,不能把负荷数据当成“纯粹”的数据来看待,要重视负荷本身内在规律的研究。在预测时充分的考虑到 GDP、人口、人均用电量等对预测结果有着根本性影响的因素才不至于失去电力系统的特色。

传统的预测结果一般都是确定性的。常规的负荷预测就是给定一个数值,其缺点就是无法给出预测结果可能的波动范围,显然这是不合理的。重视负荷的区间预测是负荷预测发展的一个必然方向。

目前,适合中长期电力负荷预测的方法有回归模型法、时间序列法、产值单耗法、弹性系数法、人工神经网络法(ANN)、灰色模型等。其中灰色理论模型具有所需样本数少,计算方便,预测精确,可验性强等优点,常用的 GM(1, 1)模型有比较理想的预测效果,但是该模型仅考虑了单一变量自身的变化,没有考虑其他因素对其变化的影响,因此在应用到电力负荷预测时跟实际情况结合得不够好。而传统的产值单耗

法、弹性系数法对国民经济的影响把握的最准,合理的考虑了 GDP、人口、人均用电量等因素对结果的影响,并且对 GDP 高、中、低水平分开预测,相当于进行区间预测,具有一定的概率预测的思想。但是这些传统方法的数学模型过于简单,一个简单的线形关系显然是无法将要预测模型的内在关系充分地描述出来的。因此将二者结合起来将会在实际应用当中产生重要的作用。

针对这些问题,以灰色理论为基础,在 GM(1, 1)模型的基础上,提出了 GM(1, 2)模型应用于电力负荷预测的方法,并对其系数进行修正。建立的 GM(1, 2)模型除了引入负荷本身历史数据外,还引入了一个影响负荷的相关序列。应用该模型结合各个相关因素进行预测,并用该模型结合二产在高、中、低三个水平下作区间预测。预测结果表明该方法具有较好的预测效果,预测区间范围合理。

本模型的特点:①根据灰色理论的数学原理,充分挖掘负荷数据自身的的信息资源,实现少数据建模。②对 GM(1, 1)模型无法引入相关因素的缺点进行了改进。③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。④区间预测使模型更为合理。

1 传统中长期预测方法

电力弹性系数法和产值单耗法是实际工程当中最常用的一种中长期负荷预测方法,但是其最大的缺点在于仅仅把用电增长率跟 GDP 增长率简化成一种简单的线形函数关系,这与实际有很大的差别,但是这两种方法将 GDP、产业比例、人口、人均电量、负荷利用小时数等相关影响因素按照一定的比例关系去影响预测电量,预测结果更为合理,重视负荷成因是该方法的最大优点。同时该方法在实际应用当中往往分为高、中、低三个方案来进行考虑,其目的就是通过各种可能的发展水平来确定电量可能的波动范围,具有区间预测的特点。

电力弹性系数是全社会用电量的增长率与国内生产总值 GDP 增长率之比:

$$k = X\% / C\% = X / C$$

其中 k 为电力弹性系数; X% 为全社会用电量增长率; C% 为 GDP 增长率。

产值单耗法则是将电力弹性系数分成三个产业,每个产业一个弹性系数,这样做的好处就是将生活用电从中分离出来。以 e_i 、 g_i 、 d_i 分别代表上一年某产业用电量、国内生产总值和单位产值耗电量,用 E_i 、 G_i 、 D_i 分别代表该产业当年对应的各项指标,则有

$$d_i = e_i / g_i \quad D_i = E_i / G_i$$

$$E_i = e_i (1 + X_i\%) \quad G_i = g_i (1 + G_i\%)$$

经运算可得

$$D_i / d_i = (1 + X_i\%) (1 + G_i\%) = (100 + X_i) / (100 + G_i)$$

其中 D_i / d_i 被称作产值单耗比。

经变换可得:

$$k_i = \left(\frac{100}{C_i} + 1\right) \frac{D_i}{d_i} - \frac{100}{C_i}$$

由上式可很容易看出当为一确定值时,产业电力弹性系数随产值单耗比的变化情况。

2 灰色预测建模机理

灰色模型 (Grey Model) 简称 GM 模型,是中国学者邓聚龙教授提出的以灰色模块为基础,用微分拟合法建立的模型。该方法原理简单,所需样本数少,计算方便,用于预测时剪度高且可剪性强。

2.1 GM(1, 1)模型

GM(1, 1)是最常用、最简单的一种灰色模型,它是由一个只包含单变量的微分方程构成的模型。

设已知历史电力负荷的原始数据列:

$$x^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$$

一阶累加生成 1-AGO,生成序列:

$$x^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)\}$$

$$\text{式中 } x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i); k = 1, 2, \dots, n$$

由于序列具有指数增长规律,而一阶微分方程的解正好是指数增长形式的解,因此可以认为新生成的序列满足下面的一阶微分方程模型:

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

式中 a、u 为待求系数。利用最小二乘法求解:

$$A = (a \ u)^T = (B^T B)^{-1} B^T Y_N$$

其中:

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)) & 1 \\ \dots & \dots \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)) & 1 \end{bmatrix}$$
$$Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \dots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}$$

将所求得的系数 a、u 代入微分方程式,并解微分方程。设 $x^{(0)}(0) = x^{(1)}(0)$ 可得灰色预测模型:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = [x^{(0)}(1) - \frac{u}{a}] e^{-ak} + \frac{u}{a}, k = 1, 2, \dots, n$$

再进行一阶累减还原 1-AGO,可得预测序列:

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = (1 - e^{-a}) [x^{(0)}(1) - \frac{u}{a}] e^{-ak}$$

2.2 GM(1, n)模型

设电力系统内有个 n 变量,其原始序列为:

$$x_i^{(0)} = \{x_i^{(0)}(1), x_i^{(0)}(2), \dots, x_i^{(0)}(n)\}$$

称 $x_i^{(0)}$ ($i = 1$) 为系统主行为因素序列,也就是要预测的目标序列; $x_i^{(0)}$ ($i = 2, 3, \dots, N$) 为系统相关因素序列,即影响因数序列。

一阶累加生成 1-AGO:

$$x_i^{(1)} = \{x_i^{(1)}(1), x_i^{(1)}(2), \dots, x_i^{(1)}(n)\}$$

式中 $x_i^{(1)}(t) = \sum_{j=1}^t x_i^{(0)}(j)$ 则 GM (1, n) 模型为

n 个变量的一阶灰色微分方程： $\frac{dx_i^{(1)}}{dt} + ax_i^{(1)} = b_1 x_i^{(1)} + b_2 x_i^{(1)} + L + b_n x_i^{(1)}$ ，则参数列 $\hat{a} = [a, b_1, b_2, L, b_n]^T$ 的最小二乘估计为：

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y$$

其中：

$$B = \begin{pmatrix} -Z(2) & x_i^{(1)}(2)L & x_i^{(1)}(2) \\ -Z(3) & x_i^{(1)}(3)L & x_i^{(1)}(3) \\ M & M & M \\ -Z(n) & x_i^{(1)}(n)L & x_i^{(1)}(n) \end{pmatrix},$$

$$Y = \begin{pmatrix} x_i^{(0)}(2) \\ x_i^{(0)}(3) \\ M \\ x_i^{(0)}(n) \end{pmatrix}$$

式中 $Z(t) = \frac{1}{2} [x_i^{(1)}(t-1) + x_i^{(1)}(t)]$, $t = 2, 3, \dots, n$

微分方程的通解为：

$$\hat{x}_i^{(1)}(k+1) = [x_i^{(0)}(1) - \frac{1}{\hat{a}} \sum_{i=2}^n b_i x_i^{(1)}(k+1)] e^{-ak} + \frac{1}{\hat{a}} \sum_{i=2}^n b_i x_i^{(1)}(k+1)$$

再进行一阶累减还原 1- IAGO, 得到预测模型为：

$$\hat{x}_i^{(0)}(K+1) = \hat{x}_i^{(1)}(K+1) - \hat{x}_i^{(1)}(K)$$

3 应用及算例分析

以四川电网 2000~2005 年数据为例。其中用电量为重庆直辖后将其从川渝电网分离后的新四川用电量数据, 三个产业的 GDP 则是国民生产总值折算到 2000 年的修改价。

首先单独用全社会用电量建立 GM (1, 1) 模型进行预测; 其次将例子中 6 组数据, 前 5 组作为建模之用, 最后一组作为预测结果和实际结果的比较。以全社会用电量为预测序列, 三个产业 GDP 为相关因素序列, 分别建立三个 GM (1, 2) 模型; 最后将最重要的影响因素第二产业 GDP 做高、中、低三个方案的预测得出预测区间范围。

其中在用 GM (1, 2) 模型预测时会出现无效的

预测结果, 经研究发现, 当驱动系数 a 为负值时, 结果无效, 因此要将传统的 GM (1, 2) 模型系数进行修正。修正后的白化微分方程如下：

$$\hat{x}_i^{(1)}(K+1) = [x_i^{(0)}(1) - \frac{1}{|\hat{a}|} \sum_{i=2}^n |b_i| x_i^{(1)}(K+1)] e^{-ak} + \frac{1}{\hat{a}} \sum_{i=2}^n |b_i| x_i^{(1)}(K+1)$$

表 1 四川电网用电量及 GDP 历史数据

年份	全社会用电量 (亿 kWh)	第一产业 GDP (亿元)	第二产业 GDP (亿元)	第三产业 GDP (亿元)
2000	520.42	945.6427	1700.5453	1364.2694
2001	587.15	1015.7156	1872.0872	1527.5375
2002	670.47	1090.7699	2060.4964	1710.0234
2003	761.83	1171.0928	2267.3305	1913.8566
2004	856.12	1257.0355	2494.3410	2141.4837
2005	957.78	1338.9712	2735.4417	2395.6262

经计算并修正后的微分方程参数如表 2。

表 2 模型中微分方程参数

参数	a	u
传统 GM (1, 1)	-0.1249	488.262
一产 GM (1, 2)	1.051	0.723
二产 GM (1, 2)	1.361	0.470
三产 GM (1, 2)	1.667	0.670

用传统 GM (1, 1) 模型、三个产业 GM (1, 2) 模型分别预测出的 2005 年用电量及误差如表 3。

表 3 几种模型预测结果及误差

模型	预测值	实际值	精度
传统 GM (1, 1)	971.203	957.78	-1.40%
一产 GM (1, 2)	947.132	957.78	1.11%
二产 GM (1, 2)	953.256	957.78	0.47%
三产 GM (1, 2)	965.557	957.78	-0.81%

由上面的结果可以看出 GM (1, 1) 模型和三个产业的 GM (1, 2) 模型预测结果基本相近, 误差都在可以接受的精度范围之内。同时可以看出三个产业对预测结果的影响是不一样的, 其中二产对用电量的影响是最大的, 其次是三产, 影响最小的则是一产。与之对应, 由于一产影响最小, 其数据中无关影响部分更大, 使得结果偏离实际值更远, 二产次之, 三产的预测结果更为贴近实际值。

第二产业高、中、低三个水平 GM (1, 2) 模型预测出的 2005 年用电量及误差结果如表 6。

由表 6 可以确定出 2005 年用电量的区间范围为 [950.245, 967.400], 在此区间内的预测结果都是比较合理的。

表 4 第二产业 GDP 高、中、低水平数据

年 份	第二产业 高方案 GDP (亿元)	第二产业 中方案 GDP (亿元)	第二产业 低方案 GDP (亿元)
2000	1 765. 215 8	1 700. 545 3	1 610. 364 0
2001	1 928. 864 6	1 872. 087 2	1 836. 189 8
2002	2 115. 865 1	2 060. 496 4	987. 186 5
2003	2 308. 146 8	2 267. 330 5	2 208. 984 5
2004	2 513. 867 4	2 494. 341 0	2 416. 818 4
2005	2 791. 187 5	2 735. 441 7	2 653. 189 5

表 5 模型中微分方程参数

参 数	a	u
二产高方案 GM (1, 2)	1. 260	0. 431
二产中方案 GM (1, 2)	1. 361	0. 470
二产低方案 GM (1, 2)	1. 396	0. 496

表 6 几种模型预测结果及误差

模 型	预测值	实际值	精 度
二产高方案 GM (1, 2)	967. 400	957. 78	-1. 004%
二产中方案 GM (1, 2)	953. 256	957. 78	0. 47%
二产低方案 GM (1, 2)	950. 245	957. 78	0. 79%

4 结论

以重视负荷成因, 考虑区间预测为出发点, 结合传统负荷预测方法的优点, 对灰色 GM (1, 2) 模型在中长期负荷预测应用中的预测效果进行了验证。结合三个产业影响的 GM (1, 2) 模型预测结果更为合理, 精度也比较理想, 与 GM (1, 1) 模型相比并没有明显的下降。与此同时, 在对二产 GDP 高、中、低三个水平的预测后确定了预测结果的区间范围。

(上接第 26 页)

以上数据表明, LY-18 和 LY-16 水力模型用于循泵改造时可满足节能和水泵安装高程的要求。

4 改造后的实际运行效果

4.1 YJG40-17 型水泵技术改造后的主要运行参数

表 12 主要运行参数

运行季节	冬季	春秋季	夏季
Q (m ³ /s)	3. 1	3. 32	4. 12
H (m)	43	41	32
N (kW)	1 460	1 476	1 503
η (%)	89	89. 5	86

电机电流: 176 A; 电机线圈最高温度: 70℃; 电机推力轴承温度: 52℃; 电机上导轴承温度: 53℃;

该模型考虑了相关因素对预测负荷的影响, 可以用于历史数据少, 序列波动平缓的中长期负荷预测。

参考文献

- [1] 邓聚龙. 灰色系统理论教程 [M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990. 215-244
- [2] 傅立. 灰色系统理论及其应用 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1992. 37-57
- [3] 牛东晓等编著. 电力负荷预测技术及其应用 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
- [4] 康重庆, 夏清, 张伯明. 电力系统负荷预测研究综述与发展方向的探讨 [J]. 电力系统自动化, 2004, 28(17): 1-11.
- [5] 苏娟, 杜松怀. GM (1, 2) 短期现货电价灰色预测模型 [J]. 继电器, 2006, 34(1): 46-49.
- [6] 牛东晓, 张彤彤, 陈立荣, 张博. 基于关联分析的多因素电力负荷预测灰色模型群研究 [J]. 华北电力大学学报, 2006, 33(3): 90-92.
- [7] 樊爱军, 王开. 多因素时间序列资料 GM (1, N) 预测模型及其应用 [J]. 第三军医大学学报, 2003, 25(19): 1774-1775.
- [8] 张龙庭, 罗佑新. 试验数据处理的多因素灰色模型 GM (1, N) 及其应用 [J]. 机械设计, 2003, 20(3): 23-25.
- [9] 康重庆, 夏清, 沈瑜等. 电力系统负荷预测的综合模型 [J]. 清华大学学报, 1999, 39(1): 8-11.
- [10] 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): 125.

作者简介

- 闫晨光 (1987-), 男, 本科生, 电力系统及其自动化方向;
阮仁俊 (1983-), 男, 通信作者, 硕士研究生, 研究方向: 电力系统稳定与控制, 负荷预测;
王海燕 (1983-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 电力系统稳定与控制。

(收稿日期: 2008-06-15)

电机下导轴承温度: 40℃; 泵轴承温度: 38℃; 泵及电机轴承最大振动: 0. 026 mm。

4.2 改造后节能效果分析

目前在冬、春、秋三个季节需开一台大泵和二台小泵, 总循环水量为 $9\ 072 + 2 \times 6\ 372 = 21\ 816\ \text{m}^3/\text{h}$, 改造后一台大泵和一台小泵的总流量为 $11\ 952 + 8\ 928 = 20\ 880\ \text{m}^3/\text{h}$, 两者相差 $936\ \text{m}^3/\text{h}$, 可基本实现在冬、春、秋三个季节少开一台小泵之目的。

在夏季需开二台大泵和两台小泵, 总循环水量为 $2 \times 10\ 584 + 2 \times 9\ 576 = 40\ 320\ \text{m}^3/\text{h}$, 改造后二台大泵和一台小泵的总流量为 $2 \times 14\ 832 + 11\ 520 = 41\ 184\ \text{m}^3/\text{h}$, 也可实现在夏季少开一台小泵之目的, 每年可实现节能:

按电价为 0. 3 元 /kWh 计算, 每年可实现节能效益: $0. 32 \times 2\ 427\ 000 = 72. 81$ 万元。

(收稿日期: 2008-05-15)