

电力系统负荷预测的周期性可调灰色模型

施泉生 杨予红

(上海电力学院) (新疆玛纳斯电厂)

摘 要 本文针对电力系统负荷变化的不可控性和周期性,通过采用 Census II 分解方法分析季节因子,与历史负荷相比较,得到一系列长期趋势项,然后用可调灰色模型对分离出的长期趋势项进行预测,并用二分法调整 u, v 的取值,使得误差最小.将预测出的季节因子与长期趋势项重新组合,就得到日电量的预测结果,实例表明,本系统对于呈周期性变化的电力负荷具有较好的预测效果.

关键词 灰色模型 电力系统 负荷预测

中图法分类号 TM 715; O 241

引 言

随着我国电力事业的发展,电网管理日趋现代化.负荷预报的研究也越来越引起人们的注意,并已成为现代电力科学中一个重要领域.在实践中,无论是制定区域电力系统规划或是实现电力系统运行自动化,进行相应的负荷预报都是必要的.

短期负荷预报是指一年之内,按月地进行负荷预报,或按周或按日来进行负荷预报,本文所讨论的是下一周每日的用电量要求.

电力系统负荷从本质上来说是不可控的,但它同时具有按日,按周以及按年的周期性变化的特点.在进行短期负荷预报过程中必须注意到这两点,才能使负荷预报达到较高的精确度.由于电力系统负荷变化的随机性,人们提出了使用灰色模型预测电力负荷.灰色模型 $GM(1, 1)$ 是一种指数增长模型.当电力负荷呈严格指数持续增长时,此方法预测精度较高^[1].但是由于影响负荷变化的因素很多,所以波动性较大的电力负荷的预测的误差较大,不符合实际需要.为此,文献[2]提出了改进普通灰色模型预测方法,即对灰色模型引进两个可调参数,使对负荷预测结果具有可调性,进一步提高了预测的精度.可调灰色模型的两个引进的可调参数使得可调灰色模型的适用范围增大了,但它仍是一种指数增长模型,它减少了随机性,但对于日负荷周期性变化的因素仍未加以考虑.因此,本文从日负荷的变化规律着手,提出了对可调灰色模型改进的周期性可调灰色模型.

1 问题的提出

当电力负荷呈严格指数持续增长时,普通灰色模型 $GM(1, 1)$ ^[1] 是一种较理想的方法,可

调灰色模型^[2]的提出改进了 $GM(1, 1)$ 的不足, 扩大了 $GM(1, 1)$ 的适用范围. 但它们本质上仍是一种指数增长模型, 对于波动性较大的电力系统负荷来说, 它们的应用受到了一定的限制, 特别对于日负荷周期性变化的因素更感到无能为力.

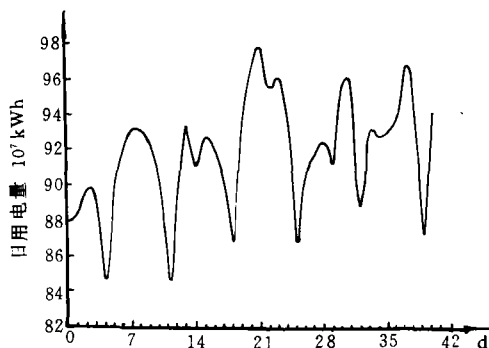


图1 某市 1993 年连续六周日用电量

为了寻找符合实际的模型, 我们分析了某市 1993 年的日用电量资料, 单独对每日的用电量分析, 不难看出日用电量忽上忽下, 杂乱无章, 呈不可控性. 但分析一周内的日用电量就可发现周与周之间的用电负荷具有相同的周期性, 且从总的趋势看呈上升的趋势. 图 1 给出了某市 1993 年连续六周的日用电量. 从图中可看出呈明显的周期性, 且在一周之内在相同的时间达到高峰与低谷. 这样, 我们可以通过建立具有相同周期的可调灰色模型结合上升趋势进行日用电量的负荷预报. 对于改进后的周期性可调灰色模型, 使其更广泛适用于具有周期性的电力系统负荷的特点和要求, 进一步提高精度.

2 周期性可调灰色模型

2.1 灰色模型与可调灰色模型^[1, 2]

灰色系统建立的是微分方程描述的模型, 揭示了电力系统日用电量连续变化的过程. 当电力系统负荷呈严格指数增长时, $GM(1, 1)$ 方法具有预测精度高, 所需样本数据少, 计算简便, 可检验等优点. $GM(1, 1)$ 模型将一系列的随机量看作是在一定范围内变化的灰元. 首先, 对原始数据列 $x^0(k)$ 作累加处理, 生成规律性较强的累加数列, 然后根据累加数列得到函数, 预测电力系统负荷.

$GM(1, 1)$ 模型的表达式是一阶微分方程:

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

$x^{(1)}$ 的灰色预测模型

$$x^{(1)}(k+1) = \left(x^0(1) - \frac{u}{a} \right) e^{-ak} + \frac{u}{a} \quad (k=0, 1, 2, \dots)$$

原始数据序列 $x^{(0)}$ 的灰色预测模型为:

$$x^{(0)}(k+1) = (1 - e^a) \left(x^0(1) - \frac{u}{a} \right) e^{-ak} \quad (k=1, 2, \dots)$$

$x^{(1)}(k)$ 是预测变量的一次累加值.

u, a 微分方程系数.

$GM(1, 1)$ 模型的预测值是呈上升趋势, 这对于非平稳性的电力负荷是不太实际的, 这是因为负荷的本质是不可控的. 当负荷预报的原始数据波动性较大时, $GM(1, 1)$ 模型的预测值产生的误差会较大, 如表 1, 预测一周的日用电量的平均相对误差为 3.48%, 针对 $GM(1, 1)$ 模型呈指数变化趋势递增的特点, 以及由此产生的适用范围小的缺点, 提出了可调 $GM(1, 1)$ 模型^[2].

可调 $GM(1, 1)$ 模型, 将原始数据序列转换成规律性较强的成指数递增变化的序列, 然后用 $GM(1, 1)$ 方法进行预测. 在电力负荷预报过程中, 对预测时间越近的观测值对预测越有价值. 因此, 对随机负荷序列使用指数加权改造成指数递增变化的序列.

电力负荷原始数据序列为:

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

对原始数据列加权, 构造成新的数据序列 $\{y^{(0)}(t)\}$

$$y^{(0)}(t) = ux^{(0)}(t) + (1-u)y^{(0)}(t-1) \quad (t = 1, 2, \dots, n)$$

对新的数据序列按灰色模型方法建立预测模型, 可得到预测序列 $\{\bar{y}^{(0)}(t)\}$

然后根据公式

$$\bar{x}^{(0)}(t) = [\bar{y}^{(0)}(t) - (1-u)\bar{y}^{(0)}(t-1)]/v \quad (t = 1.2, \dots, N, N+1, \dots, N+p)$$

将 $\bar{y}^{(0)}(t)$ 还原成预测序列 $\{\bar{x}^{(0)}(t)\}$.

在计算过程中, 可以先确定 u 的值, 然后调整 v 的值, 使预测结果达到要求的精度, 当 $u=v=1$ 时即为 $GM(1, 1)$ 模型.

可调灰色模型, 主要是可以通过调整参数 u, v , 使得误差调整至最小. 可调 $GM(1, 1)$ 模型的适用范围虽然扩大了, 但它从本质上讲仍是一种指数增长模型, 不能准确地反映电力系统日负荷按周呈周期性变化的特点. 以某市 1993 年日用电量为例, 预测一周的平均相对误差为 3.33%, 如表 2. 为此, 本文进一步改进可调 $GM(1, 1)$ 模型预测方法, 使其更适用于电力系统负荷的特点和要求, 进一步提高精度.

表 1 $GM(1, 1)$ 模型预测结果

日期	实际值	预测值	预测误差
19930524	90 631.000	97 279.890	0.073 4
19930525	93 753.000	97 117.970	0.035 9
19930526	93 276.000	96 697.127	0.036 7
19930527	89 048.000	91 544.219	0.028 0
19930528	94 560.000	98 164.280	0.038 1
19930529	94 744.000	96 744.577	0.021 1
19930530	96 067.000	97 078.149	0.010 5

表 2 可调 $GM(1, 1)$ 模型预测结果

日期	实际值	预测值	预测误差
19930524	90 631.000	92 773.287	0.023 6
19930525	93 753.000	92 559.520	- .012 7
19930526	93 276.000	103 788.715	0.112 7
19930527	89 048.000	87 471.150	- .017 7
19930528	94 560.000	93 929.133	- .006 7
19930529	94 744.000	92 400.885	- .024 7
19930530	96 067.000	92 682.094	- .035 2

2.2 周期性可调灰色模型

周期性可调 $GM(1, 1)$ 模型是针对可调 $GM(1, 1)$ 模型不能较好地反映电力系统负荷呈周期性变化特点提出来的. 周期性可调 $GM(1, 1)$ 模型先从日负荷序列中分离出不含周期性变动的长期趋势项, 即排除按星期变化的季节因子, 得到长期趋势项, 然后运用可调灰色模型

对长期趋势项进行预测.

电力系统日用电量的变化规律,可以用以下模型来描述:

$$Y_t = I_t \cdot T_t$$

Y_t —— 时间序列值

I_t —— t 时期的季节因子

T_t —— t 时期的长期趋势项

这是一种乘法模型,为了从事预测,预测期数的趋势值要乘以相应的季节因子,为此就要计算趋势项,分析季节因子.

电力系统的季节周期数为 7, 对日负荷时间序列数据 Y_t 计算移动平均值,排除季节因子. 中心化移动平均值:

$$Y_{1t} = (Y_{t-3} + Y_{t-2} + Y_{t-1} + Y_t + Y_{t+1} + Y_{t+2} + Y_{t+3})/7$$

非中心化移动平均值:

$$Y_{2t} = (Y_{t-3} + 2Y_{t-2} + 2Y_{t-1} + 2Y_t + 2Y_{t+1} + 2Y_{t+2} + 2Y_{t+3} + Y_{t+4})/14$$

中心化比值:

$$B_{1t} = Y_{1t} / Y_{2t} \times 100\%$$

Y_{1t} —— t 时刻原始数据列 7 天中心化移动平均值

Y_{2t} —— t 时刻原始数据列 8 天非中心化移动平均值

B_{1t} —— t 时刻中心化比值

对中心化比值进行 3×3 移动平均:

$$B_{2t} = (B_{1t-2} + 2B_{1t-1} + 3B_{1t} + 2B_{1t+1} + B_{1t+2})/9$$

B_{2t} —— t 时刻中心化比值 3×3 移动平均值

对移动平均值系列 B_{2t} 进行调整. 若移动平均值大于方差的 2 倍,用前后两数的平均值取代极端值,得到初始季节调整因子,因此可得到初始季节调整数列.

$$Y_{3t} = Y_t / B_{2t}$$

Y_{3t} —— t 时刻初始季节调整数据

Y_t —— t 时刻原始数据

B_{2t} —— t 时刻初始季节调整因子

对初始季节调整数据列计算 $3 \times 3 \times 3 \times 3$ 的移动平均值:

$$Y_{4t} = (Y_{3t-4} + 4Y_{3t-3} + 10Y_{3t-2} + 16Y_{3t-1} + 19Y_{3t} + 16Y_{3t+1} + 10Y_{3t+2} + 4Y_{3t+3} + Y_{3t+4})/81$$

Y_{4t} —— t 时刻初始季节调整数据 9 天的移动平均值

原始数据列与 Y_{4t} 相比,得到的季节因子进行 3×3 移动平均,取代极端值,进行调整后重复 3×3 移动平均,得到最终季节调整因子 B_t ,从而得到一周后的预测值的季节因子.

$$\hat{B}_{t+7} = (B_t \times 3 - B_{t-7})/2$$

$\hat{B}_{t+7}$ —— t 时刻一周后的预测值的季节因子

B_t —— t 时刻最终季节调整因子

B_{t-7} —— t 时刻一周前的最终季节调整因子

从原始数据序列中分离出日用电量序列数列的长期趋势项

$$Y_{0t} = Y_t / B_t$$

Y_{0t} —— t 时刻的长期趋势项

Y_t —— t 时刻负荷的实际值

分离出的长期趋势项不再包含季节因子,即以星期为周期的周期性因素已被排除。这时的长期趋势项波动性变小,用可调 $GM(1, 1)$ 模型对长期趋势项进行预测,在预测过程中,对可调 $GM(1, 1)$ 引进的两个参数 u, v 用运筹学中的二分法进行调整控制,用这种方法,一方面可以实现人机对话,另一方面降低了对预测人员的要求。

按公式 $\hat{Y}_t = \hat{Y}_{0t} \cdot \hat{B}_t$ 将趋势项预测序列 $\hat{Y}_{0t}$ 还原成预测序列 $\hat{Y}_t$ 。

在周期性可调 $GM(1, 1)$ 模型中,多次运用 3×3 移动平均值从原始数据序列中消除季节因子(以周为周期的周期性因素)的影响,得到无周期性变化的波动性较小的长期趋势项。这时运用可调 $GM(1, 1)$ 模型进行预测,将会达到更高的精度,如表 3, 预测一周的日用电量,其平均相对误差为 2.76%。

周期性可调灰色模型对于周期性强,波动性大的用电负荷适用性强,并自动调节灰色模型中 v 的取值,使预测值达到较高的精度。

表 3 周期性可调 $GM(1, 1)$ 模型预测结果

日期	实际值	预测值	预测误差
19930524	90 631.000	91 122.507	0.005 4
19930525	93 753.000	91 714.283	-.021 7
19930526	93 276.000	92 094.617	-.012 7
19930527	89 048.000	85 694.346	-.037 7
19930528	94 560.000	91 959.306	-.027 5
19930529	94 744.000	90 985.365	-.039 7
19930530	96 067.000	91 432.728	-.048 2

3 结 论

本系统采用周期性可调灰色模型进行预测,其预测精度达到了较好的效果,算法以 FoxbasE 2.0 编程,以软件形式在微机上实现,软件具有操作简单,使用方便,界面友好等特点,具有一定的使用价值。

参 考 文 献

- 1 邓聚龙. 灰色控制系统. 华中工学院出版社, 1985
- 2 牛东晓等. 电力系统负荷预测的可调灰色模型及应用. 华北电力学院学报, 1991; (1)
- 3 傅文峰. 电力系统日负荷的季节型周期预测模型. 中国电力, 1993; (3)
- 4 施泉生, 奚辉龙. 灰色自适应模型及其在短期负荷预测中的应用. 电力系统自动化, 1993; 17(2)

Periodical Adjustable Grey Model for Prediction of Electric Loads

Shi Quansheng

Yang Yuhong

(Shanghai Institute of Electric Power) (Xinjiang Manasi Thermal Power Plant)

Abstract

In view of in-controllability and periodicity of electric loads, the authors analyse electric loads by using "census II" decomposition method, and get a series of season factors and terms of load trend. Then the authors apply the adjustable grey model to forecast electric loads. A real example shows that the method is efficient.

Key words grey model; electric system; load prediction