

文章编号:1000-582X(2004)01-0036-04

## 组合灰色预测模型在电力负荷预测中的应用\*

李伟,韩力

(重庆大学电气工程学院,重庆 400030)

**摘要:**基于灰色预测理论,研究了基本灰色预测模型及其几种传统改进模型的原理和它们在电力负荷预测中存在的局限性,提出了电力系统中长期负荷预测的实用新方法——组合灰色预测模型。以实际算例为基础,应用基本灰色预测模型和传统改进模型以及组合灰色预测模型分别对电力负荷进行了预测,并进行了分析比较。结果表明,用灰色理论预测电力负荷,理论可靠、方法简单。对于中长期电力负荷预测这样复杂的问题,组合灰色预测模型具有预测精度高、简捷实用等优点,该方法可作为中长期电力负荷预测的工具之一。

**关键词:**灰色理论;组合灰色模型;电力负荷预测

**中图分类号:**TM714

**文献标识码:**A

电力负荷是电力系统规划决策、经济运行的前提和基础,因此,电力负荷的准确预测对电力生产和电力安全运行以及国民经济都有重要意义<sup>[1-2]</sup>。但由于电力系统负荷变化的复杂性,无法建立一个确定的模型对它进行预测。多年来,国内外专家、学者对电力负荷预测进行了广泛深入的研究,得出了一些有意义的结论<sup>[1-8]</sup>。在这些负荷预测研究中,就预测方法而言,可以分为三大类:时间序列法(如平移法、指数平滑法、季节变动法等),结构分析法(如回归分析、指标分析等)和系统分析法(如人工神经网络法、系统动力方法等)。在预测实践中对于同一个问题,往往可以采用多种不同的预测方法。不同的预测方法能提供不同的有用信息,组合预测方法可以综合利用这些信息,可以更充分地利用原始数据的信息,弥补单模型方法的不足,尽可能地提高预测精度<sup>[2]</sup>。

灰色预测方法是一种不严格的系统方法,它避开系统结构分析环节,直接通过对原始数据的累加构建指数增长模型,寻找系统的整体规律<sup>[3]</sup>。其主要特点为:1)原始数据生成指数型序列建模,而其它模型是直接采用原始数据序列建模;2)所需样本数较少,而其它模型往往需要大量的样本数据;3)采用微分方程模型,能够描述内部变化的本质,而一般系统理论建模是由递推得到差分模型。

笔者在进行中长期电力负荷预测研究中,引入了灰色预测理论,对灰色预测的几种传统改进模型进行了分析:基本灰色预测模型是一种指数型增长模型,当电力负荷呈严格指数规律增长时,此方法具有预测剪度高、所需样本少、计算简便且便于检验等优点。然而电力负荷不一定严格按指数规律增长,对于具有波动性变化的电力负荷,其预测精度往往不能令人满意,适用范围受到很大限制。在此情况下,采用残差灰色预测模型能较准确的预测。但是对于零星分散、历史记录较短的数据序列,残差灰色预测模型将不能进行准确预测,且缺乏对模型数据的动态更新能力。此时可采用动态等维新信息灰色预测模型,该模型除具备基本灰色预测模型的优点外,还能使所建模型具备数据动态更新能力,使预测更趋于合理。但它也同时具有基本模型的缺点,即要求负荷严格按指数型增长,适应范围较小。

综合以上分析,笔者提出了组合灰色预测模型,用残差灰色预测模型和动态等维新信息灰色预测模型两者的组合来建模,实现了中长期电力负荷历史样本资料随时间而变化,使样本量和计算量不增加而预测精度大为提高。经算例分析,组合灰色预测模型用于中长期电力负荷预测,与传统的系统理论方法相比较,该方法计算简捷、精度较好,具有很好的实用性。

\* 收稿日期:2003-09-10

作者简介:李伟(1978-),男,四川南部人,重庆大学硕士研究生,从事电机控制与CAD技术的研究。

### 1 灰色系统理论及有关预测模型<sup>[3]</sup>

灰色系统是部分信息已知、部分信息未知的系统。灰色系统把一般系统理论、信息控制的观点和方法延伸到社会、经济等广义系统,灰色系统理论能更准确地描述社会经济系统的状态和行为。研究基于灰色系统理论的灰色预测模型,对社会经济系统预测具有重要的意义。由于用电负荷增长情况受经济发展、产业结构、气候、居民收入水平等诸多因素的影响,其中有一些因素是确定的;而另外一些因素是不确定的,故可以把它看作一个灰色系统。

#### 1.1 基本灰色预测模型

基本灰色预测模型是最常用的一种灰色预测模型,其建模方法如下:对  $n$  个变量的  $x^{(0)}$  的原始数据序列  $x^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$  进行一次累加生成处理,记生成数列为  $x^{(1)}$ :

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

其中  $x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i)$

则称  $\{x^{(1)}\}$  为  $\{x^{(0)}\}$  的一次累加生成数列,记为 1-AGO (Accumulated Generating Operation)。由于序列  $\{x^{(1)}(k)\}$  具有指数增长规律,对此序列可建立白化形式的微分方程,即:

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

上式称为基本灰色预测模型,其中  $a, u$  为模型参数。用离散形式表示微分项,可得到

$$\frac{\partial x^{(1)}}{\partial t} = \frac{x^{(1)}(k+1) - x^{(1)}(k)}{k+1-k} =$$

$$x^{(1)}(k+1) - x^{(1)}(k) = \beta^{(1)}[x^{(1)}(k+1)] \quad (2)$$

其中  $\beta^{(1)}$  定义为对  $[x^{(1)}(k+1)]$  作一次累减运算,是累加生成的逆运算。而  $x^{(1)}$  取值是  $k$  和  $k+1$  项的平均值,即

$$x^{(1)} = \frac{1}{2}[x^{(1)}(k+1) + x^{(1)}(k)] \quad (3)$$

把式(2)、式(3)代入式(1),得

$$\beta^{(1)}[x^{(1)}(k+1)] + \frac{1}{2}a[x^{(1)}(k+1) + x^{(1)}(k)] = u \quad (4)$$

当  $k = 1, 2, \dots, n-1$  时,式(4)写成矩阵形式为  $X = BA$ , 其中

$$X = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \dots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix}$$

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

按最小二乘法估计参数,可得到

$$\hat{A} = \begin{pmatrix} \hat{a} \\ \hat{u} \end{pmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T X$$

根据微分方程得基本灰色预测模型的解为:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left[ x^{(0)}(1) - \frac{\hat{u}}{\hat{a}} \right] e^{-\hat{a}k} + \frac{\hat{u}}{\hat{a}} \quad (5)$$

再作累减还原,得

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) \quad (6)$$

其中  $k = 0, 1, 2, \dots, n$

式(5)、式(6)为基本灰色预测模型的时间响应函数模型,是基本灰色预测模型的具体函数公式。

#### 1.2 残差灰色预测模型<sup>[4-5]</sup>

在电力负荷时间序列中包含了该系统变化的动态过程,多次利用已知数据,能够挖掘系统更深刻的规律。充分开发利用已知数据序列的显信息和隐信息,能够进一步提高所建模型的精度。基于这样的机理可建立残差灰色预测模型,对原模型进行修正。记残差为:

$$d^{(0)}(k) = x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k) \quad (7)$$

其中  $k = 0, 1, 2, \dots, n$

残差  $d^{(0)}(k)$  建立灰色预测模型:

$$d_1^{(0)}(k+1) = \left[ d_1^{(0)}(1) - \frac{\hat{u}_d}{\hat{a}_d} \right] e^{-\hat{a}_d k} + \frac{\hat{u}_d}{\hat{a}_d} \quad (8)$$

得到残差灰色预测模型如下:

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

$$\eta(t-i) \left[ d_1^{(0)}(1) - \frac{\hat{u}_d}{\hat{a}_d} \right] e^{-\hat{a}_d i} + \frac{\hat{u}_d}{\hat{a}_d}$$

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) \quad (9)$$

式中:  $\eta(t-i) = 1 (t \geq i)$  或  $0 (t < i)$ ,  $i$  为未参加建立模型的残差个数。

#### 1.3 动态等维新信息灰色预测模型<sup>[6]</sup>

对于中长期电力负荷来说,随着时间的推移,未来的一些扰动因素将不断地对系统产生影响。未来时刻越远,预测值的灰色区间越大,真正有实际意义且精度较高的预测值是最近的数据。在电力规划中,常常需要预测未来几年或更长时间的负荷。可能利用的资料仅仅是过去到现在的几个数据。这时可利用现有的不多

的数据建立灰色预测模型预测一个值,然后把这个预测值补充到已知数列中,同时去掉最老的一个数据,使构成的发展序列与原序列等维,经过这样逐步预测,依次递补,一直到预测年限为止。用这种方法建立的灰色预测模型,称为动态等维新信息灰色模型。

## 2 电力负荷组合灰色预测模型

组合预测方法是通过求个体预测值的加权算术平均而得到它们的组合预测值。目前的研究已论证了组合预测的许多优点。例如,组合预测集结了所有单一模型所包含的信息;用最小方差准则得到的组合预测,其误差方差不大于任一分量的误差方差等<sup>[1]</sup>。

笔者提出的组合灰色预测模型是同时采用两种方法(残差灰色预测模型与动态等维新信息灰色预测模型)进行预测,然后对两种预测结果加以组合,提出了组合灰色预测模型。具体思路如下:设  $\hat{x}_1^{(0)}(k)$  是残差灰色预测模型的预测值,  $\hat{x}_2^{(0)}(k)$  是动态等维新信息灰色预测模型的预测值,  $\hat{x}^{(0)}(k)$  是两种方法对原始数列最优组合预测值,预测误差分别为  $e_1, e_2$  和  $e$ 。取  $\rho_1$  和  $\rho_2$  为相应权系数,且  $\rho_1 + \rho_2 = 1$ 。有:

$$\hat{x}^{(0)}(k) = \rho_1 \hat{x}_1^{(0)}(k) + \rho_2 \hat{x}_2^{(0)}(k) \quad (10)$$

$$\text{预测误差为: } e = \rho_1 e_1 + \rho_2 e_2 \quad (11)$$

方差为:

$$\text{var}(e) = \rho_1^2 \text{var}(e_1) + \rho_2^2 \text{var}(e_2) + 2\rho_1\rho_2 \text{cov}(e_1, e_2) \quad (12)$$

其中  $\text{cov}(e_1, e_2)$  为协方差。将  $\rho_1$  对  $\text{var}(e)$  求极小值,可得:

$$\rho_1 = \frac{\text{var}(e_2) - \text{cov}(e_1, e_2)}{\text{var}(e_1) + \text{var}(e_2) - 2\text{cov}(e_1, e_2)} \quad (13)$$

且  $\rho_1 = 1 - \rho_2$ , 显然可取  $\text{cov}(e_1, e_2) = 0$ , 记  $\text{var}(e_1) = \delta_1, \text{var}(e_2) = \delta_2$ , 则组合预测权系数分别为:

$$\rho_1 = \delta_2 / (\delta_1 + \delta_2), \rho_2 = \delta_1 / (\delta_1 + \delta_2) \quad (14)$$

可得最终的组合灰色预测模型。

## 3 应用及算例结果分析

笔者针对某电力系统 1984 ~ 1990 年的年负荷<sup>[7]</sup>, 在分析的基础上对电力系统负荷进行预测, 并以 1989 ~ 1990 年度负荷来校核模型。表 1 是笔者用基本灰色预测模型预测年负荷, 并与实际值进行比较。表 2 列举了分别应用基本灰色预测模型、残差灰色预测模型、动态等维新信息灰色预测模型和组合灰色预

测模型得到的预测值。

表 1 基本灰色预测模型结果比较

年份	实际负荷 / MW	预测负荷 / MW
1984	8 940	8 940
1985	10 480	10 650
1986	11 980	11 685
1987	13 230	12 811
1988	14 210	14 047
1989	15 190	15 405
1990	17 210	16 893

表 2 不同预测模型负荷预测结果比较

项目	(1989年)		(1990年)	
	预测负荷 / MW	误差 / %	预测负荷 / MW	误差 / %
实际负荷	15 190		17 210	
模型 1	15 558	2.40	17 044	-0.90
模型 2	15 405	1.40	16 893	-1.80
模型 3	15 149	-0.30	17 140	-0.40
模型 4	15 757	0.37	17 268	0.30
模型 5	15 392	0.13	17 191	-0.12

说明:表中的百分误差计算公式为(实际负荷 - 预测负荷)/实际负荷;模型 1 为年度分解法;模型 2 为基本灰色预测模型;模型 3 为残差灰色预测模型;模型 4 为动态等维新信息灰色预测模型;模型 5 为组合灰色预测模型。

分析比较:

笔者对电力负荷预测算例建模,在组合模型当中取  $\rho_1 = 0.6, \rho_2 = 0.4$ 。对表 2 分析可得到,灰色改进模型预测结果均好于其它模型预测的结果,预测值比基本模型预测的误差小、精度高。

## 4 结 论

在研究电力系统中长期负荷预测问题过程中,在对灰色系统理论及其有关改进模型分析的基础上,提出了具有较高预测精度的组合灰色预测模型。算例表明:用灰色理论预测电力系统负荷,方法简单可靠。组合灰色预测模型扩大了基本灰色预测模型的实用范围,提高了预测精度。对中长期电力负荷预测这类相关因素多的问题,采用本文方法进行预测是可行且有效的,该方法运算量小,预测方法简捷。

参考文献:

- [1] 牛东晓. 电力负荷预测技术及其应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
- [2] 牛东晓. 具有二重趋势性的季节型电力负荷预测组合优化灰色神经网络模型[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(1): 29 - 32.

- [3] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1990.
- [4] 陈俊珍. 关于灰色系统理论中的累加生成[J]. 系统工程理论与实践,1989,9(5):16-19.
- [5] 朱宝璋. 关于灰色系统基本方法的研究与评论[J]. 系统工程理论与实践,1994,14(4):19-23.
- [6] 陈章潮,熊岗. 应用灰色系统理论进行长期电力需求预测[J]. 系统工程理论与实践,1994,12(2):22-25.
- [7] 谢开贵,周家启. 电力系统短期负荷预测模型研究[J]. 电网技术,1999,23(11):44-46.
- [8] 吉培荣. 电力负荷预测的无偏灰色预测模型[J]. 三峡大学学报,2001,23(1):60-62.

## Application of Combination Grey Model in Power Load Forecasting

LI Wei, HAN Li

(College of Electrical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** Based on the gray forecast theory, this paper studies the principle and deficiency in power load forecasting by the basic grey model and other improved models, and introduces a new method – the combination grey model to forecast the long – medium power load. Based on an example, the basic grey model, other improved models and combination grey model are used to forecast power load and results of all models are analyzed and compared. The calculation results show that forecasting power load by grey theory is credible and simple. For this type of complex problems such as forecasting the long – medium power load, the combination grey model is specially useful because of its high precision and facility. The method can be used as one of the tools of forecasting the long – medium power load.

**Key words:** grey theory; combination grey model; power load forecasting

(编辑 李胜春)

(上接第 27 页)

## The Practice of Two-dimension Rights Control in the Road Transportation Management System

TANG Liang, LU Yong-ping, WANG Tong-qing

(The Key Laboratory for Optoelectronic Technology and Systems under the State Ministry of Education, College of Optoelectronic Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

**Abstract:** Rights control is the central part of MIS (management information system) security management. Common rights control which bases the character and the operator can resolve the One-dimension rights management. Rights control based on the operator leads to the large workloads, the operation becomes unpractical when it is dealing with those units that are big and multiclass. On the other hand, rights control based on the character can release the workloads but it also brings us the confusion of duties and the data operation. The model and the practice of Two-dimension rights control are mentioned. The key property is the rights' self-maintenance of the units and the operators. It strongly supports the least work of the DBA (Database Administrator), insure the security of database and the exclusive DBA in the system. The two-dimension rights control has been used in the road transportation management system for 4 years by 42 units all over the Chongqing City with high praise of the users.

**Key words:** Two-dimension; rights; road transportation management

(编辑 成孝义)