第 20 卷 第 1 期 盐城工学院学报(自然科学版) Vol. 20 No. 1
2007 年 03 月 Journal of Yancheng Institute of Technology Natural Science Edition Mar. 2007

灰色模型在负荷预测中的应用*

郭如昕,吕 林
(四川大学 电气信息学院,四川 成都 610065)

摘 要:电力负荷预测是电力控制及运行方面的最重要的一项任务。介绍了灰色理论的相关概念和原理,以及预测负荷的步骤,通过举例讨论了灰色模型在短期电力负荷预测中的应用,对平常日电力负荷进行预测,其结果令人满意,表明灰色模型是有效的负荷预测方法之一。灰色模型在日常负荷预测中广泛得到运用。

关键词:灰色模型;累加生成;累减生成;负荷预测
中图分类号:TM714 文献标识码:A 文章编号:1671-5322(2007)01-0054-03

负荷预测是供电部门的重要工作之一,准确的负荷预测可以经济合理地安排电网内部发电机组的启停,制订设备检修计划,编制电网建设规划,保证社会正常的生产、生活用电,提高经济效益和社会效益。

电力系统负荷预测包括最大负荷功率、负荷电量及负荷曲线的预测。最大负荷电量预测对于确定电力系统发电设备及输变电设备的容量是非常重要的,对选择适当的机组类型和合理的电源结构以及确定燃料计划有重要的作用。

目前,国内外关于负荷预测的理论及方法很多,大致分为经典预测方法和现代预测方法。经典预测方法包括:指数平滑法、趋势外推法、时间序列法和回归分析法,现代负荷预测方法包括:灰色数学理论、专家系统方法、神经网络理论、模糊负荷预测[1]。

1 灰色模型的基本理论

1.1 灰色理论概述

在灰色系统理论的研究中,将各类系统分为白色、黑色、和灰色系统。“白”指信息完全已知;“黑”指信息完全未知;“灰”指信息部分已知、部分未知,或者说信息不完全,这是“灰”的基本含义。区别白色系统和灰色系统的重要标志是系统中各因素之间是否具有确定的关系,如:映射关系,函数关系等。因素之间具有确定映射关系的系统是白色系统。因此,白色系统要求有明确的作用原理,即有确定的结构或有物理原型。然而许多社会经济系统都没有物理原型,虽然知道影响系统的某些因素,但很难明确全部因素,更不可能确定因素之间的映射关系。这种没有确定的映射关系(函数关系)的系统是灰色系统[2]。

所谓灰色系统理论,就是研究灰色系统的有关建模、控模、预测、决策、优化等问题的理论。

灰色系统理论认为对既含有已知信息又含有未知或非确定信息的系统进行预测,就是对在一定方位内变化的、与时间有关的灰色过程的预测。尽管过程中所显示的现象是随机的、杂乱无章的,但毕竟是有序的、有界的,因此这一数据集合具备潜在的规律,灰色预测就是利用这种规律建立灰色模型对灰色系统进行预测。

1.2 累加生成

如果对一原始数列作如下处理:原始数列中的第一个数据维持不变,作为新数列的第一个数据,新数列的第二个数据是原始的第一个与第二个数据相加,新数列的第一个、第二个与第三个相加,…,依此类推。这样得到的新数列,称为累加生成数列,这种处理方式称为累加生成。大量研

* 收稿日期:2006-12-28
作者简介:郭如昕(1981-):女,江苏镇江市人,硕士研究生,主要研究方向为电力负荷预测。

究证明,对原始非负数列 $\{X^{(0)}\}$ 作一次累加后得到的生成数列 $\{X^{(1)}\}$ 具有近似指数律。记为原始数列为 :$X^{(0)} = [X^{(0)}(k) | k = 1,2\cdots,n]$;记生成数列为 :$X^{(1)} = [X^{(1)}(k) | k = 1,2\cdots,n]$。

如果和之间满足以下关系,则称 $\{X^{(1)}\}$ 为 $\{X^{(0)}\}$ 的一次累加生成数列。$X^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^{N} X^{(0)}(i)$ 累加生成能使任意非负数列、摆动的非摆动的,转化为非减的、递减的数列。换言之,通过累加生成得到的生成数列,其随机性弱化了,规律性增强了。

1.3　累减生成

将原始数据中前后相邻的两个数据相减,这种生成称为累减生成。所得的数据为累减生成值。累减生成使累加生成的逆运算[3]。

1.4　灰色 $GM(1,1)$ 模型的建立

GM(1,1)模型是最常用的一种灰色模型,它是由一个只包含单变量的一阶微分方程构成的模型。

设有变量为 $X^{(0)}$ 的原始数据序列 $X^{(0)} = [X^{(0)}(1),X^{(0)}(2),\cdots,X^{(0)}(n)]$ 生成一阶累加生成序列:

$X^{(1)} = [X^{(1)}(1),X^{(1)}(2),\cdots,X^{(1)}(n)]$,由于序列具有指数增长规律,而一阶微分方程的解也是指数增长形式,因此,我们认为 $X^{(1)}(k)$ 满足:$\frac{dX^{(1)}}{dt} + \alpha X^{(1)}$,由导数定义可知:$\frac{dX^{(1)}}{dt} = \lim_{\triangle t \to 0} \frac{X(t+\triangle t) - X(t)}{\triangle t}$,离散型表示为:

$$\frac{\triangle X^{(1)}}{\triangle t} = \frac{X^{(1)}(k+1) - X^{(1)}(k)}{k+1-k} =$$

$$X^{(1)}(k+1) - X^{(1)}(k) = \alpha^{(1)}[X^{(1)}(k+1)]$$

其中 $\alpha^{(1)}$ 定义为对 $[X^{(1)}(k+1)]$ 作一次累减运算,而 $X^{(1)}$ 取值是 k 和 $k+1$ 项得平均值,即:

$$X^{(1)} = \frac{1}{2}[X^{(1)}(k+1) + X^{(1)}(k)]$$

整理可得:

$$\alpha^{(1)}[X^{(1)}(k+1)] + \frac{1}{2}\alpha[X^{(1)}(k+1) + X^{(1)}(k)] = u$$

当 $k = 1,2,\cdots,n-1$ 时,上式写成矩阵形式:

$$\begin{pmatrix} X^{(0)}(2) \\ X^{(0)}(3) \\ \vdots \\ X^{(0)}(n) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.5\times[X^{(1)}(1)+X^{(1)}(2)] & 1 \\ -0.5\times[X^{(1)}(2)+X^{(1)}(3)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -0.5\times[X^{(1)}(n-1)+X^{(1)}(n)] & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha \\ u \end{pmatrix}$$

简记为 :$Y_n = BA$,其中:

$$Y_n = \begin{pmatrix} X^{(0)}(2) \\ X^{(0)}(3) \\ \vdots \\ X^{(0)}(n) \end{pmatrix}, A = \begin{pmatrix} \alpha \\ u \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} -0.5\times[X^{(1)}(1)+X^{(1)}(2)] & 1 \\ -0.5\times[X^{(1)}(2)+X^{(1)}(3)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -0.5\times[X^{(1)}(n-1)+X^{(1)}(n)] & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha \\ u \end{pmatrix}$$

在此方程中,Y_n 和 B 为已知量,A 为待定参数,由于变量只有 α 和 u 两个,而方程个数却有 $n-1$ 个,而 $n-1>2$,故可用最小二乘法得到最小二乘近似解。解之可得:

$$A = (B^T B)^{-1} B^T Y_n = \begin{pmatrix} \alpha \\ u \end{pmatrix}$$

离散型形式为:

$$X^{(1)}(k+1) = [X^{(1)}(1) - \frac{u}{\alpha}]e^{-\alpha k} + \frac{u}{\alpha},$$

$(k = 0,1,\cdots,n-1)$

对此式再作累减还原,得原始数列 $X^{(0)}$ 得灰色预测模型为:

$$X^{(0)}(k+1) = [X^{(1)}(k+1) - X^{(1)}(k)] =$$

$$(1-e^{\alpha})[X^{(0)}(1) - \frac{u}{\alpha}]e^{-\alpha k}], (k = 0,1,\cdots)$$

2　灰色预测法在负荷预测中的具体应用

2.1　建立灰色模型

以攀枝花市仁和电力局 2006 年 5 月 1 日 ~6 日的实际负荷为例,应用灰色模型预测未来 3 天负荷。数据如表 1。

表 1　负荷原始数据

Table 1　original data of power load

序号	日期	实际负荷/kwh
1	6.1	120.84
2	6.2	126.59
3	6.3	129.66
4	6.4	152.85
5	6.5	143.95
6	6.6	152.74

将原始数 $\{X^{(0)}\}$ 中的数据 $X^{(0)}(k)$ 进行一次累加,生成新数列 $\{X^{(0)}(k)\}$,按照一次累加公式,对原始数据进行处理得:

$X^{(1)} = [(k) | k = 1,2,3,4,\cdots 8] = (120.84, 247.43, 377.09, 529.94, 673.89, 826.63)$

原始生成数列与生成数列的曲线图分别如图 1、图 2 所示：

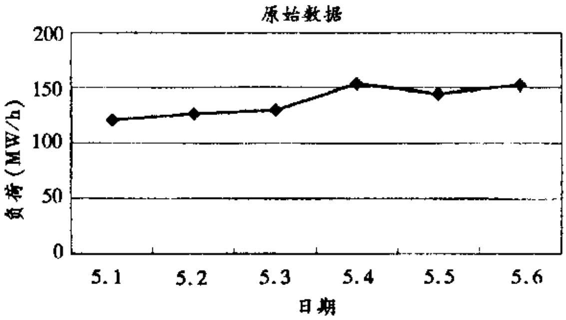

图 1　原始生成数列曲线

Fig. 1　The tendency graph of original generating operation

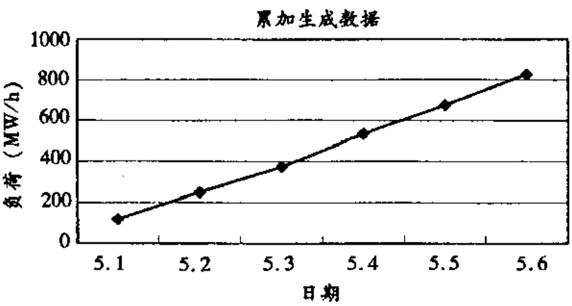

图 2　生成数列曲线

Fig. 2　The tendency graph of accumulated generating operation

从两个数列的图象中可以看出,原始数列无规律可言,而一次累加生成数列有明显地接近指数关系的规律。

解灰色模型微分方程 $Y_n = BA$

将原始数列和一次累加生成数列代入得：

$$B = \begin{pmatrix} -184.135 & 1 \\ -321.26 & 1 \\ -453.515 & 1 \\ -601.915 & 1 \\ -750.26 & 1 \end{pmatrix}, Y_n = \begin{pmatrix} 126.59 \\ 129.66 \\ 152.85 \\ 143.95 \\ 152.74 \end{pmatrix},$$

$$A = \left(\begin{pmatrix} -184.135 & 1 \\ -321.26 & 1 \\ -453.515 & 1 \\ -601.915 & 1 \\ -750.26 & 1 \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} -184.135 & 1 \\ -321.26 & 1 \\ -453.515 & 1 \\ -601.915 & 1 \\ -750.26 & 1 \end{pmatrix} \right)^{-1}$$

$$\begin{pmatrix} -184.135 & 1 \\ -321.26 & 1 \\ -453.515 & 1 \\ -601.915 & 1 \\ -750.26 & 1 \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} 126.59 \\ 129.66 \\ 152.85 \\ 143.95 \\ 152.74 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.03839 \\ 116.3726 \end{pmatrix}$$

即 $\alpha = -0.038\,39$，$u = 116.372\,6$

根据前面推导的灰色预测模型公式：

$$X^{(0)}(k+1) = X^{(1)}(k+1) - X^{(1)}(k) = (1 - e^{\alpha})\left[X^{(0)}(1) - \frac{u}{\alpha}\right]e^{-\alpha k}, (k = 0, 1, \cdots)\ X^{(0)}(1) = 120.84$$

将有关数据代入后得原始数据的灰色预测模型为：

$$X^{(0)} = 118.71 e^{0.03839k}(k = 0, 1, 2, 3\cdots)$$

2.2　预测结果误差分析

应用得到的灰色预测模型,对 5 月 7 日 ~ 9 日负荷进行预测,并与这几日的实际负荷进行比较,所得误差分析见表 2。

表 2　预测负荷误差分析表

Table 2　The analysis of porecasting power load

日期	5.7	5.8	5.9
实际负荷	153.77	157.21	163.68
预测负荷	149.46	155.31	161.39
相对误差	-2.8%	-1.21%	1.4%
精度	97.2%	98.8%	98.6%

由表 2 可见,利用灰色预测模型进行日负荷预测能够取得很高的精度,是一种行之有效的预测技术方法。

3　结论

灰色模型作为一种较新的预测理论,已经在各行各业得到充分的应用。但是,灰色模型也有一定的适用条件,这些条件如果具备,它就可以做为一种精度较高的预测方法。经过分析与比较,发现上述方法有如下特点。

短期预测。灰色模型在负荷预测中只能作为短期预测工具,不能用于长期的预测,这是由灰色模型的原理所决定的。

原始数据量较少。因为其计算过程较复杂,如果原始数据非常多,那么,从计算的角度考虑,就需要编制相应的软件来处理数据。此时一般将其看作是一种长期预测,可以选取与预测目标相近的几个时间段作为预测的原始数据[1]；

电力生产的连续性,在一定程度上可以保证前后条件的相似性,其负荷变化趋势才会呈现一定的规律性,如果经常性地出现突变,此时不宜采用灰色模型。

灰色预测方法具有计算方法简单,计算量小

(下转第 71 页)

[3] 杨林德,杨超,季倩倩,等. 地铁车站的振动台试验与地震响应的计算方法[J]. 同济大学学报,2003,31(10):1136 - 1140.
[4] 史良. 黄土隧道抗震设计研究[D]. 西安:长安大学,2005.
[5] 祝彦知,仲政. 考虑各向异性的层土 - 盾构隧道地震反应数值模拟[J]. 地震工程与工程振动,2004,24(4):90 - 98.

Nonlinear Seismic Response Analysis of Subway Tunnels

LIU Yan - jun, GU Jun, DING Xiang - dong
(Department of Construction Engineering of Hohai University, Jiangsu Nanjing 210091, China)

Abstract: The antiseismic research of subway tunnel is very important in earthquake engineering. In this paper, dynamic finite element method was used to analyze the seismic response in No. 4 line of Guangzhou subway tunnel. Dynamic finite element method was presented for evaluating seismically - induced permanent deformation of subway tunnel. By using dynamic finite element the residual deformation of subway tunnel was estimated. The computed residual displacements of the tunnel for each time increments were accumulated and the accumulative displacements were the permanent deformation of the subway tunnel. By analyzing the permanent deformation of the subway tunnel the stability of the seismic response in the subway tunnel was confirmed. It presents a reference for seismic stability analysis of the subway tunnel.
Keywords: subway tunnel; seismic response analysis; dynamic analytical method; numerical simulation

(上接第 56 页)

等特点,但和其它预测方法相比,也存在一定的局限性,数据离散程度越大,预测精度越差;不太适合进行长期预测;平时的日负荷预测应采用灰色预测法,对于重大节日的负荷预测还应采取其他的预测方法。

参考文献:

[1] 滕福生. 电力系统调度自动化和能量管理系统[M]. 成都:四川大学出版社,2004.
[2] 鞠平,陈谦. 基于日负荷曲线的负荷分类和综合建模[J]. 电力系统自动化,2006,30(16):6 - 9.
[3] 李伟,韩力. 组合灰色预测模型在电力负荷预测中的应用[J]. 重庆大学学报,2004,27(1):36 - 39.

Application of Gray Model in Power Load Forecasting

GUO Ru - xin, LV Lin
(School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu, Sichuan Province 610065)

Abstract: Power load forecasting is the most important task in the power control and running. This article introduces the relative concepts and principles and the process of power load forecasting. By the example, it discusses about the application of gray model in power load short - term forecasting, analyses and forecasts the day load, and the results turns up trumps, which proves that the gray model is one of the effective methods of power load forecasting. The gray model is widely applied in the day power load forecasting.
Keywords: gray model; accumulated generating; inverse accumulated generating; power load forecasting