

文章编号: 1007-6492(1999)01-0079-03

优化灰色模型在中长期电力负荷预测中的应用

王子琦¹, 娄南², 杨丽徙¹, 厉励¹

(1. 郑州工业大学电气信息工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 河南电力职工大学, 河南 郑州 450052)

摘要: 论述了用优化灰色理论进行电力系统中长期负荷预测的建模过程. 通过对原始负荷数据的预处理, 把有起伏特性的原始数据序列变成规律性强的序列, 再利用改进的GM(1, 1)模型进行预测, 可以大大提高预测精度和灰色方法的适用范围, 而且简洁实用. 经实际算例校核证明, 该方法可以作为中长期电力负荷预测的理想工具.

关键词: 中长期电力负荷预测; 优化灰色理论; 局部残差; 等维新息模型

中图分类号: TM 715 **文献标识码:** A

0 引言

中长期电力负荷预测工作是电力系统发展规划、运行等工作的基础, 是电力科学研究的重要课题之一. 由于其时间跨度大, 涉及区域广, 与国民经济发展等多方面因素密切相关, 因此与超短期、短期电力负荷预测工作相比, 预测难度较大.

近年来, 灰色预测理论已在气象、农业等领域得到应用. 从电力系统的实际情况可知, 影响电力系统用电量及负荷的诸多因素中, 一些因素是确定性的, 而另一些因素则不确定, 故可以把它看作是一个灰色系统. 随着国民经济的发展, 用电量和负荷均可构成一个递增数列, 满足了灰色预测的必要条件^[1].

本文在进行中长期电力负荷预测的研究中, 引入优化灰色预测理论, 运用改进的GM(1, 1)模型及等维新息技术, 再加上对原始数据序列的优化, 实现了中长期电力负荷样本资料随时间变化而变化, 新息不断补充, 样本量和计算工作量不增加而预测精度得到很好保证的目标.

经过实例计算, 优化灰色模型用于中长期电力负荷预测, 与传统的预测方法相比较, 具有计算简捷、精度高、实用性好的优点.

1 GM(1, 1) 预测模型及其改进^{2~3]}

1.1 GM(1, 1) 预测模型

GM(1, 1)模型的实质是对原始数据序列作一次累加生成, 使生成序列呈一定规律, 并用典型

曲线拟合, 建立其数学模型. 具体方法如下:

设有 n 个原始负荷样本数据

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

对该数据序列进行一阶累加生成新数据序列(1-AGO)为

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

其中:

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

按新数据序列的变化规律对新数据序列建立白化形式微分方程:

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

式(1)中, a, u 为参数, 记为 $A = [a, u]^T$, 并用最小二乘法确定参数 A , 即

$$A = (B^T B)^{-1} B^T \cdot y_n,$$

$$\text{其中: } B = \begin{bmatrix} -z(2) & 1 \\ -z(3) & 1 \\ \dots & \dots \\ -z(n) & 1 \end{bmatrix},$$

$$y_n = [x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)].$$

定义 $z(k)$ 为背景值

$$z(k) = 0.5x^{(1)}(k) + 0.5x^{(1)}(k-1) \quad (k = 2, 3, \dots, n). \quad (2)$$

由上述式(1)白化形式微分方程的解, 可得到GM(1, 1)预测模型为

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

收稿日期: 1998-11-10; 修订日期: 1998-12-03

作者简介: 王子琦(1974-), 男, 河南省周口市人, 郑州工业大学硕士研究生.

$$(k = 1, 2, \dots, n), \quad (3)$$

对 $\hat{x}^{(1)}(k)$ 进行逆累加生成还原, 得到预测值, 即 $\hat{x}^{(0)}(k) = \hat{x}^{(1)}(k) - \hat{x}^{(1)}(k-1) \quad k = 1, 2, \dots,$ 且残差公式为

$$e(k) = x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k) \quad k = 1, 2, \dots, n.$$

1.2 GM(1, 1) 预测模型的改进

1.2.1 局部残差修正

基于前述的 GM(1, 1) 预测模型, 将 GM(1, 1) 预测模型得到的局部残差 $e(k)$, ($k = i, i+1, \dots, n$; i 为大于 1 的正整数) 加权处理后, 再按上述的处理方法建立新的 GM(1, 1) 预测模型, 并对原始预测模型进行修正, 以提高预测精度. 具体操作方法参见文献 [3] 和文献 [6].

1.2.2 背景值生成方法的修正

根据许多应用 GM(1, 1) 预测模型进行预测比较成功的例子, 发现由最小二乘法计算出的参数 a 较小时, 误差较小, 而当参数 a 较大时, 往往会出现大的偏差. 由参考文献 [7] 可知, 用 GM(1, 1) 模型时, 应按如下式生成背景值

$$z(k) = \gamma x^{(1)}(k) + (1-\gamma)x^{(1)}(k-1),$$

其中 γ 与参数 a 之间的关系为

$$\gamma = \frac{1}{a} - \frac{1}{e^a - 1}.$$

利用罗比塔法则可以证明: 当参数 $a \rightarrow 0$ 时, γ 的极限值为 0.5; 而当 $|a|$ 偏离 0 较大时, γ 也偏离 0.5 较大, 但传统的背景值生成过程中, γ 不随参数 $|a|$ 的变化而变化, 一律取为 0.5, 如式 (2) 所示, 故当参数 $|a|$ 较大时, 预测误差也较大. 基于建模机理的分析, 背景值 $z(k)$ 的生成, 不应在任何情况下 γ 都取 0.5, 应根据参数 a 的值作相应调整. 具体操作方法参考文献 [4].

2 优化改进的 GM(1, 1) 模型

灰色预测模型 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, 用此方法预测时, 具有精度高, 所需样本数少, 计算简便, 可检验等优点. 然而, 影响电力负荷变化的因素较多, 电力负荷有可能不是指数增长, 而是具有波动性变化的负荷, 此时若采用此方法, 其预测误差可能变得较大, 不满足实际需要. 为此, 将二次指数平滑法引入到改进的 GM(1, 1) 模型中, 对原始数据序列进行重新生成. 二次指数平滑公式为

$$\left. \begin{aligned} s^{(1)}(t) &= \beta y(t) + (1-\beta)s^{(1)}(t-1) \\ s^{(2)}(t) &= \beta^2 y(t) + (1-\beta)s^{(2)}(t-1) \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

其中, $y(t)$ 为原始数据序列, $s^{(1)}(t)$, $s^{(2)}(t)$ 分别

为一次和二次平滑后所得到的数据序列.

二次指数平滑公式中, β 定义为信息倾向系数, 若 β 取 0.01~0.5, 这种生成是“重老息, 轻新息”的; 若 β 取 0.5~1, 则这种生成是“重新息, 轻老息”的. 把二次指数平滑公式引入改进的 GM(1, 1) 模型中, 构造出一个新数据序列, 就可以把有起伏性的原始数据序列变换成规律性增强的呈指数递增变化的序列, 可以大大提高精度和灰色方法的使用范围.

可以证明, 用二次指数平滑后得到的新数据序列与原始数据序列的数学期望是相同的, 但新序列的方差却比原始序列的方差小, 即新序列的随机性弱于原始序列的随机性.

引入二次指数平滑公式后的改进 GM(1, 1) 模型的建模预测过程如下:

(1) 电力负荷原始样本序列为

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

(2) 对原始序列 $x^{(0)}$ 按指数平滑公式 (4) 改造成新的样本序列 $s^{(2)}(k)$;

(3) 对新样本序列 $s^{(2)}(k)$ 应用改进的 GM(1, 1) 方法建立预测模型, 得到预测序列 $\hat{s}^{(2)}(k)$;

(4) 再按以下公式将 $\hat{s}^{(2)}$ 还原成预测值 $\hat{x}^{(0)}$

$$\hat{s}^{(1)}(k) = [\hat{s}^{(2)}(k) - (1-\beta)\hat{s}^{(2)}(k-1)] / \beta$$

$$\hat{x}^{(0)}(k) = [\hat{s}^{(1)}(k) - (1-\beta)\hat{s}^{(1)}(k-1)] / \beta$$

3 等维新息模型

新息模型的优点是反映了系统的最新信息, 可是随着时间的推移, 原始数据序列会越来越多, 这样就要求计算机的存储容量相应的增加, 计算工作量也需相应加大. 为此, 常常采用增加新信息同时去掉老信息且维数不变的方式建模.

比如对 $x^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$ 作等维处理, 得到

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

对此数列再利用优化改进的 GM(1, 1) 预测模型建模.

4 应用步骤

(1) 输入原始数据资料;

(2) 对原始序列进行新陈代谢等维处理;

(3) 对处理后得到的新序列进行二次指数平滑;

(4) 对平滑后得到的序列应用改进的 GM(1, 1) 预测模型进行预测, 得到预测序列;

- (5) 还原预测序列,得到原始序列的预测值;
- (6) 输出预测结果.

5 算例

以某省的用电负荷情况为样本,采用了3种模型进行了试算,预测结果及精度比较如表1所示(本算例 β 值取0.85,局部残差权值取0.9).

表1 某省的用电负荷情况、预测结果及精度比较

年份	实际值	一次线性回归模型		GM(1,1)模型		优化改进的GM(1,1)预测模型	
		预测值	误差/%	预测值	误差/%	预测值	误差/%
1987	150.8	142.02	5.82	150.80	0.00	150.80	0.000
1988	161.8	159.87	1.19	157.67	2.27	159.85	1.205
1989	176.4	177.73	-0.75	172.96	1.95	176.73	-0.187
1990	192.9	195.54	-1.37	189.73	1.64	190.26	1.368
1991	205.8	213.54	-3.76	208.12	-1.13	206.83	-0.501
1992	219.9	231.22	-5.15	228.32	-3.83	224.36	-2.028
1993	238.6	249.10	-4.40	250.44	-4.96	243.67	-2.125
1994	289.5	266.89	7.81	274.72	5.11	283.45	2.089

6 结论

建立了优化灰色预测模型,并用该模型进行了试算.从所得到的预测结果看,本文所提出的模型具有预测精度高,适用范围广,对波动负荷的处理预测能力强的优点,是一种行之有效的理想预测工具.

参考文献

- [1] 刘晨辉.电力系统负荷预报理论与方法[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1987.
- [2] 邓聚龙.灰色系统基本方法[M].武汉:华中理工大学出版社,1986.
- [3] 李云贵.灰色预测模型的改进[J].系统工程,1992,8(6):27-31.
- [4] 王文莉.负荷预测的灰色系统方法[J].东北电力学

- 院学报,1997,17(2):37-43.
- [5] Yi Desheng. A model building method of grey model group[J]. The Journal of Grey System, 1989, 1(2): 119-136.
- [6] 罗荣桂.灰色模型的一点改进及应用[J].系统工程理论与实践,1993,15(2):15-19.
- [7] 庄恒扬.建模机理与应用条件分析及其改进方法[J].系统工程理论方法实用,1993,9(2):23-25.

Application of Optimized Grey Model in Long-term Electric Power Load Forecast

WANG Zi-qi¹, LOU Nan², YANG Li-xi¹, LI Li¹

(1.College of Electrical & Information Engineering,Zhengzhou University of Technology,Zhengzhou 450002,China; 2.Henan Electric Power University of Staff and Workers,Zhengzhou 450002,China)

Abstract: This paper discusses a modeling process which is based on optimized grey theory used in long-term electric power load forecast. Through pre-treatment of original load data, we can turn the original data sequence which is undulating into the stronger orderliness sequence. Then processing the forecasting by using the improved GM(1,1) model, we can greatly enhance the forecasting precision and widen the application range of grey method. By analyzing an actual example, we can find that this method is simple, practical and of high precision. This method can be the ideal tool in the electric power load forecasting.

Key words: long-term power load forecast; optimized grey theory; partial error; new information and equal dimensional model