

试验研究

电力负荷的灰色预测

刘丽华¹, 赵庆民², 侯志平¹

(1 济南南郊热电厂, 山东 济南 250002; 2 山东晨鸣集团齐河板纸厂, 山东 德州 251100)

摘要:利用灰色GM(1,1)模型进行预测时,如果原始序列的变化不够光滑,预测误差很大。因此,对原始序列进行对数平滑处理,同时针对不同时段建模形成预测灰区间的特点,提出了用灰色系统理论进行电力负荷预测的具有对数平滑的灰色关联度加权组合预测方法。该法使影响负荷的各个因素得到削弱或者抵消,提高了预测精度,并扩大了预测范围。

关键词:电力负荷;GM(1,1)模型;灰色系统;对数平滑;加权组合

中图分类号:TM715[·]1

文献标识码:A

文章编号:1004-4620(2012)02-0043-03

1 前言

在电力系统负荷预测中,负荷数据往往不全或者仅有少量的数据,根据少量数据推算后面几个时刻的数据,这样利用数据统计的方法或其他数学方法很难完成,原因是样本数据太少,违背了经典数学概率论中的“大样本”的准则,况且电力负荷分布状态无法直接找出良好的分布规律,因此,用传统的负荷预测理论建立的负荷预测模型很难满足精度要求,到目前为止也没有找到很好的预测方法。在这种情况下,笔者利用灰色模型^[1]进行预测,收到了很好的效果。

2 灰色GM(1,1)模型^[2-4]

定义1:设 $X^{(0)}$ 为原始序列,

$$X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}, \forall x^{(0)}(i) \in R^+, n \in N;$$
$$X^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)\}.$$

其中 $x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), k=1, 2, \dots, n$ 。

称 $X^{(1)}$ 为 $X^{(0)}$ 的一次累加生成,记为1-AGO。

定义2:设 $X^{(0)}$ 为原始序列,

$$X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}, \forall x^{(0)}(i) \in R^+, n \in N;$$
$$\alpha^{(1)}X^{(0)} = \{\alpha^{(1)}x^{(0)}(1), \alpha^{(1)}x^{(0)}(2), \dots, \alpha^{(1)}x^{(0)}(n)\}.$$

其中 $\alpha^{(1)}X^{(0)} = X^{(0)}(k) - X^{(0)}(k-1); k=1, 2, \dots, n$ 。

称 $\alpha^{(1)}X^{(0)}$ 为 $X^{(0)}$ 的一次累减生成。

定义3:设微分方程为

$$dx/dt + ax = b. \quad (1)$$

其中 x 为 dx/dt 的背景值; a, b 为参数。

定义4:设 $X^{(0)}$ 是非负序列, $X^{(1)}$ 是 $X^{(0)}$ 的一次累加序列,

$$Z^{(1)} = \{Z^{(1)}(k) | k=1, 2, \dots, n\},$$

$$Z^{(1)}(k) = 0.5x^{(1)}(k) + 0.5x^{(1)}(k-1),$$

称 $Z^{(1)}$ 是 $X^{(1)}$ 的紧邻均值生成序列。

定义5:设 $X^{(0)}$ 是非负序列, $x^{(1)}$ 是 $X^{(0)}$ 的一次累加序列, $z^{(1)}$ 是紧邻均值生成序列,称方程 $x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b$ 为灰色微分方程。

定义6:设 $X^{(0)}$ 为非负序列, $X^{(1)}$ 是 $X^{(0)}$ 的1-AGO序列, $Z^{(1)}$ 为 $X^{(1)}$ 的紧邻均值生成序列,称

$$dx^{(1)}/dt + ax^{(1)} = b$$

为 $x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b$ 的白化方程,也叫影子方程。

定理1:设 $X^{(0)} = \{x^{(0)}(k) | k=1, 2, \dots, n\}$ 为非负序列; $X^{(1)}$ 为 $X^{(0)}$ 的1-AGO序列; $Z^{(1)}$ 为 $X^{(1)}$ 的紧邻均值生成序列。若 $\bar{a} = (a, b)^T$ 为参数列,则灰色微分方程 $x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b$ 的参数列满足:

$$\bar{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y, \quad (2)$$

$$Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix}.$$

其中

定理2:若 $dx^{(1)}/dt + ax^{(1)} = b$ 是 $x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b$ 的白化方程, $a = [a, b]^T = (B^T B)^{-1} B^T Y$,则:

1) 白化方程 $(B^T B)^{-1} B^T Y$ 的解,也称时间响应函数为:

$$x^{(1)}(t) = (x^{(1)}(0) - b/a)e^{-at} + b/a, k=1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

2) GM(1,1)灰色微分方程 $x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b$ 的时间响应序列:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = (x^{(1)}(0) - b/a)b/a + b/a, k=1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

3) 取 $x^{(1)}(0) = x^{(0)}(1)$,则:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = (x^{(0)}(1) - b/a)b/a + b/a, k=1, 2, \dots, n. \quad (5)$$

4) 还原值:

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k), k=1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

3 具有对数平滑的灰色关联度加权预测法

3.1 预备概念

定义7:设 $X_0 = \{x_0(i) | i=1, 2, \dots, n\}$ 为系统特征序列,且 $X_j = \{x_j(i) | i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, m\}$ 为相关因素

收稿日期:2011-12-01

作者简介:刘丽华,女,1975年生,1998年毕业于上海电力学院电力工程专业。现为济南南郊热电厂电仪车间主任,工程师,从事电气和热工仪表工作。

序列,给定实数 $\gamma(x_0(k), x_i(k))$,而且

$$\gamma(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\min \min |x_0(k) - x_i(k)| + \xi \max \max |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \xi \max \max |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (7)$$

称 $\gamma(x_0(k), x_i(k))$ 为 X_i 对 X_0 在 k 点的关联系数,其中 ξ 称为分辨系数。

定义8: 设 $X_0 = \{x_0(i) | i=1, 2, \dots, n\}$ 为系统特征序列,且 $X_j = \{x_j(i) | i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, m\}$ 为相关因素序列,给定实数 $\gamma(X_0, X_i)$,而且

$$\gamma(X_0, X_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma(x_0(k), x_i(k)) \quad (8)$$

称 $\gamma(X_0, X_i)$ 为 X_i 对 X_0 的灰色关联度, $0 < \gamma(X_0, X_i) < 1$ 。

3.2 具有对数平滑的灰色关联度加权预测法

具有对数平滑的灰色关联度加权预测法^[5],这是一种组合预测方法,首先对数据序列进行对数平滑处理,然后对数据序列分段建立灰色GM(1,1)模型,对各预测数据进行加权计算,得到最终的预测数据。

在灰色系统理论中,定义当 $k > k_0$ 时,数据列 $\{x^{(0)}(k)\}$ 为光滑离散数据列的条件是:

$$\frac{x^{(0)}(k)}{\sum_{l=1}^k x^{(0)}(l)} - \frac{x^{(0)}(k)}{x^{(0)}(k-1)} < \varepsilon$$

如果不是光滑数据列,则GM(1,1)模型的精度会很低。因此,为了扩大预测范围,首先对原始数据进行对数平滑处理,然后对处理后的数据利用灰色关联度加权预测法进行负荷预测。

1) 给出原始数据列,

$$X_0^{(0)} = \{x_0^{(0)}(1), x_0^{(0)}(2), \dots, x_0^{(0)}(n)\}, (n \geq 4+m)$$

对其进行对数处理, $X_{(0)}^{(0)} = \ln X_0^{(0)}$, 得到新的数据列: $X_0^{(0)} = \{x_0^{(0)}(1), x_0^{(0)}(2), \dots, x_0^{(0)}(n)\}, (n \geq 4+m)$ 。

2) 将新数据列分成 m 个含不同样本数的子数列: $X_i^{(0)} = \{x_i^{(0)}(k) | i=1, 2, \dots, m, k=i, i+1, \dots, n\}, m \leq n-4$, 并对子数列 $X_i^{(0)}$ 进行一次累加,生成数列:

$$X_i^{(1)} = \{x_i^{(1)}(k) | i=1, 2, \dots, m, k=i, i+1, \dots, n\}$$

3) 对 $x_i^{(1)}(i=1, 2, \dots, m)$ 分别建立GM(1,1)模型:

$$dx_i^{(1)}/dt + a_i x_i^{(1)} = b_i, (i=1, 2, \dots, m); \quad (9)$$

$$\bar{a}_i = \begin{bmatrix} a_i \\ b_i \end{bmatrix} = (B_i^T B_i)^{-1} B_i^T Y_i; \quad (10)$$

$$B_i = \begin{bmatrix} -z_i^{(1)}(2) & 1 \\ -z_i^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z_i^{(1)}(n-i+1) & 1 \end{bmatrix}, \quad (11)$$

$$z_i^{(1)}(k) = \frac{1}{2} [x_i^{(1)}(k-1) + x_i^{(1)}(k)], (k=2, 3, \dots, n-i+1);$$

$$Y_i = [x_i^{(0)}(2), x_i^{(0)}(3), \dots, x_i^{(0)}(n-i+1)]^T \quad (12)$$

4) 求解上述各子微分方程,得到拟合数据序列:

$$\hat{x}_i^{(0)}(t+1) = (x_i^{(0)}(1) - \frac{b_i}{a_i}) e^{-a_i t} + \frac{b_i}{a_i} \quad (13)$$

还原得到 $x_i^{(0)}$ 的拟合值:

$$\hat{x}_i^{(0)}(t+1) = \hat{x}_i^{(0)}(t+1) - \hat{x}_i^{(0)}(t) \quad (14)$$

对式(13)、(14)分别令 $t=1, 2, \dots, n-i$,得到 $X_i^{(0)}$ 的拟合数列:

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

令 $\bar{x}_i^{(0)}(1) = \bar{x}_i^{(0)}(1)$,对式(13)、(14)分别令 $t=n-i+1, n-i+2, \dots, n-i+k$,得到原始数据列 $\hat{X}_i^{(0)}$ 后的外推值即预测值,记作:

$$\bar{X}_i = \{\bar{x}_i(n-i+2), \bar{x}_i(n-i+3), \dots, \bar{x}_i(n-i+k+1)\}$$

但相对于原始数据列来说, \bar{X}_i 的预测值是 $X_i(n)$ 之后的 k 个数据。因此,可以把它们记作:

$$\bar{X}_i = \{\bar{x}_i(n+1), \bar{x}_i(n+2), \dots, \bar{x}_i(n+k)\}$$

5) 利用定义7、8,对原始数列 $X_i^{(0)}$ 与其拟合数列 $\hat{X}_i^{(0)}$ 分别求取灰色关联度 $\gamma(X_i, \hat{X}_i)$ 。

6) 设第 i 个预测数列 $\hat{X}_i^{(0)}$ 的权重为 w_i ,而且

$$w_i = \gamma(X_i, \hat{X}_i) / \sum_{i=1}^m \gamma(X_i, \hat{X}_i) \quad (15)$$

7) 对原始数列 $X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$ 求取其后 k 个加权组合预测值,得 $\hat{X}_0^{(0)} = \{\hat{x}_0^{(0)}(n), \hat{x}_0^{(0)}(n+1), \dots, \hat{x}_0^{(0)}(n+k)\}$,而且

$$\hat{x}_0^{(0)}(j) = \sum_{i=1}^m w_i \bar{x}_i(j),$$

其中 $j=n+1, n+2, \dots, n+k$ 。

3.3 算法实例

用一个电力系统负荷的实例来验证该法的正确性。给出1997~2003年某省的各年度用电量(见表1),预测出的2004~2007年度用电量(见表2)。

表1 某省1997~2003年度用电量 亿kW·h

年度	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
用电量	454.6	483.2	501.7	559.9	593.6	645.5	746.0

表2 预测出的某省2004~2007年度用电量 亿kW·h

年份	实际值	GM(1,1)	取对数	本方法
2004	822.4	768.8	788.4	793.5
2005	922.7	840.4	862.5	868.2
2006	990.2	903.2	934.5	950.1
2007	1 072.0	1 001.6	1 032.8	1 042.8
平均相对误差/%		7.70	4.98	4.03

4 结语

由于原始数据列不够光滑,直接对原始数据列进行灰色预测,预测数据误差极大,而进行指数平滑后的预测精度大幅度提高。在指数平滑处理的基础上,对数据列分组预测,进行灰关联加权组合,

使影响负荷的无关因素进一步减小,从而使预测精度进一步提高,并扩大了使用范围。

参考文献:

- [1] Chen Yaokai, Xue Rui. Grey Relational Analysis on Serum Markers of Liver Fibrosis[J]. The Journal of Grey System, 1995, 7(1): 63-68.
- [2] 邓聚龙. 灰色系统理论的GM模型[J]. 模糊数学, 1985(2):

23-32.

- [3] Deng Julong. Properties of Multivariable Grey Model GM(1, N), The Journal of Grey System[J]. 1989(1): 25-41.
- [4] Deng Julong. Introduction to Grey System Theory[J]. The Journal of Grey System, 1989(1): 1-24.
- [5] 朱常青, 王秀和, 张鑫, 等. 基于灰关联加权组合模型的电力负荷预测研究[J]. 电力系统及其自动化学报, 2006, 18(2): 79-81.

Gray Forecasting of Power Load

LIU Li-hua¹, ZHAO Qing-min², HOU Zhi-ping¹

(1 Jinan Southern Suburbs Thermal Power Plant, Jinan 250002, China;
2 Shandong Chen Ming Group Qihe Paper Mill, Dezhou 251100, China)

Abstract: If the primitive data sequence is not smooth, the forecasting error will be very big by using GM(1,1) model, so at first the primitive data sequence is processed by logarithm smoothing. At the same time, aim at the characteristic with gray forecasting interval for the model of different period, it presents a novel method of gray related weighted combination forecasting model with logarithm smoothing to forecasting the power load. The method can make a certain factors impacting power load relieve or weaken, which improves the forecasting precision and enlarge the forecasting scope.

Key words: power load; GM(1,1) model; gray system; logarithm smoothing; weighted combination

(上接第35页)

Surface Defects Analysis of GCr15 Shaft

LU Dong, ZHAI Zheng-long, LU Ai-feng

(Laiwu Iron and Steel Group Corporation, Laiwu 271104, China)

Abstract: The surface cracks of GCr15 axis were fully analyzed by means of metallographic and SEM etc. The results showed that the included angle between the crack and the surface is small, iron oxide or inclusions like protecting slag existed in crack and obvious decarburization occurred in the two sides of crack. The laps caused by inclusion and corner crack resulted in the cracks. Adopting appropriate tundish nozzle, reasonable secondary cooling system and the protecting slag with excellent performance and so on are effective ways of reducing lap defects.

Key words: GCr15 shaft; surface crack; folding

(上接第42页) 粉氢氧化铝分解中, 分解原液 A/S 在 200 左右能够保证微粉氢氧化铝指标合格。

参考文献:

- [1] 杨群太, 吕子剑. 烧结法生产氧化铝中粗液两段常压脱硅工艺研究[J]. 轻金属, 2004(4): 10-15.

- [2] 刘连利, 翟玉春. 铝酸钠溶液脱硅的研究现状及进展[J]. 锦州师范学院学报, 2003, 24(2): 1-4.

- [3] 王建方. 铝酸钠粗液常压脱硅新工艺及机理研究[J]. 河南冶金, 2001, 42(1): 24-26.

- [4] 杨长付. 粗液预脱硅技术研究及工业应用[J]. 轻金属, 2003(10): 13-17.

Study on Normal-pressure Desilication Process of Crude Sodium Aluminate Solution for Aluminium Hydroxide Micro-powder

DU Shan-guo, WANG Ke

(Shandong Branch of China Aluminum Co., Ltd., Zibo 255052, China)

Abstract: Desilication process of crude sodium aluminate solution was studied with lime milk and liquid desilication agents. The result showed that caustic ratio and alumina concentration of desilication process with liquid desilication agents kept stability and the A/S was 230 in the maximum. The aluminium hydroxide powder was obtained by decomposing coarse liquid desilication system. The result showed that crude sodium aluminate solution could generate aluminium hydroxide powder when the A/S of system was 200.

Key words: crude sodium aluminate solution; normal-pressure desilication; lime milk; liquid desilication agent

信息园地

济南冶金化工设备有限公司 1 500 万大卡导热油蒸氨装置投入运行

济南冶金化工设备有限公司为莱芜钢铁集团有限公司焦化厂设计、制造的 700 万大卡和 1 500 万大卡两套导热油蒸氨装置, 经过安装和调试于 2012 年 3 月 16 日一次点火成功, 投入正常运行, 各项技术指标都达到和超过了设计要求。

自 2002 年以来济南冶金化工设备有限公司围绕节能减排这个核心, 加大创新力度, 积极推动项目管理, 完成了一系列新产品的开发、市场推广和生产, 申请专利十多项, 极大地提高了企业的竞争力, 使企业发展跃上新的台阶。

(王利)