

灰色检测技术在火电厂热工控制中的应用

钟 茜¹, 杜继伟²

(1. 四川省电力公司电网电力交易中心, 四川 成都 610041;

2. 四川省电力公司遂宁分公司, 四川 遂宁 629000)

摘 要:提出一种基于灰色预测理论的检测技术。此检测技术核心是基于灰色预测模型以及等维的新陈代谢灰色序列模型。最后,把这种灰色检测技术应用到火电厂热工控制系统中,设计出具有灰色预测检测器的火电厂锅炉过热汽温控制系统,仿真结果表明:在具有灰色预测检测器的过热汽温控制作用下,火电厂锅炉过热汽温控制系统具有更好的动态响应,有效地克服了过热汽温系统“大时滞”缺点。

关键词:灰色理论;检测;热工控制;仿真

Abstract: A novel detection method is proposed which is based on Grey prediction theory. The problems occurred in the applications of typical controller with grey prediction detector to thermal control process are solved. The simulation results show that the controller with the novel detector gives a better dynamic response and overcomes the drawbacks of thermal control process.

Key words: Grey theory; detection; thermal control process; simulation

中图分类号:TK32 文献标识码:B 文章编号:1003-6954(2008)01-0078-03

随着现代工业过程对控制、计量、节能增效和运行可靠性等要求的不断提高,各种检测技术要求也日益增加。现代过程检测的内涵和外延较之以往均有很大的深化和拓展。传统的检测方法中仅获取过程参数的测量信息已不能满足工艺操作和控制的要求。在现代的复杂的大型工业控制中,不仅需要过程参数的检测信息,还要要求反映过程二维/三维的时空分布信息以及信息的准确性、实时性等,这样才能有效地实现有效的过程控制、故障诊断、状态监测等。因此,先进的现代检测技术成为人们研究的热点。

目前,对现代检测技术的研究主要有基于工艺机理分析的检测方法,此法主要对工艺过程的化学反应、物料平衡等原理,通过对过程对象的机理分析,建立机理模型,从而实现某一参数的检测^[1,2];基于人工神经网络的检测技术可在不具备对象的先验知识的条件下,根据对象的输入输出数据直接建模,模型的在线校正能力强,并能使用于高度非线性和严重不确定性系统,很好解决复杂系统过程参数的检测问题^[3-4];基于模糊理论检测技术适用于复杂工业过程中被测对象呈现亦此亦彼的不确定性的参数等情况^[5];还有基于回归分析的检测技术、基于状态估计的检测技术等等,这些检测方法都有一定的局限性,一般只适用某一些工业控制过程。

下面结合火电厂热工控制过程的特点,提出了一种适用于火电厂热工控制过程的新型灰色检测技术,并通过仿真进行验证。

1 灰色预测模型

灰色检测技术的核心是以灰色预测理论为基础。灰色检测系统在接收到外界信息后,首先对采集到受到干扰的灰色数据列进行累加生成,即对原始数据列中各时刻的数据依次累加,累加的结果可大大弱化随机干扰的影响,从而得到新的一次累加生成数据列;再建立G(1,1)模型,最后可以提高预测出下一时刻的信息。其过程如下:

给定量测数据序列

$$X^{(0)}(i) = \{X^{(0)}(1), X^{(0)}(2), \dots, X^{(0)}(N)\} \quad (1)$$

经过一次累加得

$$X^{(1)}(i) = \sum_{j=1}^i X^{(0)}(j) \quad (2)$$

设 $X^{(1)}(i)$ 满足一阶单变量常微分方程

$$\frac{dX^{(1)}}{dt} + aX^{(1)} = U \quad (3)$$

其中: a 为常系数, u 视为对系统的常输入。上述微分方程的解为

$$X^{(1)}(t) = (X^{(1)}(t_0) - \frac{u}{a})e^{-a(t-t_0)} + \frac{u}{a} \quad (4)$$

灰色建模是依靠式(5)的序列值通过最小二乘法来估计 a 和 u 。

$$\begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y_N \quad (5)$$

其中

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

$$Y_N = \begin{bmatrix} X^{(0)}(2) \\ X^{(0)}(3) \\ \dots \\ X^{(0)}(N) \end{bmatrix}$$

基于式(4), GM(1,1)的预测模型为

$$X^{(1)}(k+1) = (X^{(1)}(1) - \frac{\mu}{a})e^{-ak} + \frac{\mu}{a} \quad (6)$$

用后减运算还原(IAGO),得预测值:

$$X^{(0)}(k+1) = (X^{(0)}(1) - \frac{\mu}{a})(e^{-ak} - e^{-a(k-1)}) \quad (7)$$

2 等维新陈代谢灰色数列预测模型

灰色预测模型在应用中常常由于两个因素的干扰使模型预测效果受到影响,一是因为无法合理地确定原始数据的长短,太短或太长均会影响预测的精确度;二是由于外界因素的干扰使原有数据的信息量下降,按时间序列越靠前的信息价值越低,而这些信息在参加灰色预测时是等价的。这两个因素就束缚着预测模型的准确度。有些文献提出了数据加权的方法来解决数据信息非等价现象,但又遇到了权系数的确定问题。因此,下面结合热工过程控制中具有较强的迟滞、大惯性的性质,采用等维新陈代谢灰色数列预测,并有效地提高了原有灰色序列预测的预测性能。

1) 设原始数据

$$X^{(0)}(i) = \{X^{(0)}(1), X^{(0)}(2), \dots, X^{(0)}(N)\} \quad (8)$$

据式(7)得到 $X^{(0)}(k+1)$, 去掉最早时间的数据 $X^{(0)}(1)$, 补充新数据 $X^{(0)}(k+1)$, 原始数据变为二次数据, 记作

$$X^{(0)}(i) = \{X^{(0)}(2), X^{(0)}(3)\}, \dots, X^{(0)}(N), X^{(0)}(k+1)\}$$

2) 按式(1)~(7)得到第二次预测值

$$X^{(1)}(k+2) = [X^{(0)}(1) - \frac{\mu}{a}]e^{-a(k+1)} + \frac{\mu}{a} \quad (9)$$

3) 依次预测第 $h-1, h$ 步, 得到

$$X^{(1)}(k+h-1) = [X^{(0)}(1) - \frac{\mu}{a}]e^{-a(k+h-2)} + \frac{\mu}{a} \quad (10)$$

$$X^{(1)}(k+h) = [X^{(0)}(1) - \frac{\mu}{a}]e^{-a(k+h-1)} + \frac{\mu}{a} \quad (11)$$

还原得到预测第 h 步数据

$$X^{(0)}(k+h) = X^{(1)}(k+h) - X^{(1)}(k+h-1) = [X^{(0)}(1) - \frac{\mu}{a}](e^{-a(k+h-1)} - e^{-a(k+h-2)}) \quad (12)$$

从上所述可以看出,灰色数列预测模型就是进行单步预测,而等维新陈代谢灰色数列预测模型是实质上进行多步的灰色数列预测,步数 h 的确定可以依据控制对象的时滞特征,如果时滞性比较大,如大容器的温度控制,往往需要选取较大值来提高控制精度。但是需要指出的是,随着 h 的增加,当超过一定的程度,不可知因素也增加,预测精度逐渐下降,大量热工过程控制一般取 $h_{\max} < 9$ 为限。

3 具有灰色检测器过热汽温控制系统

3.1 火电厂锅炉过热系统特性分析

火电厂锅炉过热器是由辐射过热器、对流过热器和减温器等组成,其任务是将汽包出来的饱和蒸汽加热到一定数值,然后送至汽轮机去做功。过热器是在高温、高压条件下工作的,锅炉出口的过热汽温是整个汽水行程中工质的最高温度,其正常运行温度已接近过热器构成钢材允许的极限温度,强度方面的安全系数也很小。汽温过高会使过热器和汽轮机高压缸因承受过高的热应力而损坏,汽温偏低会降低机组的热效率,影响经济运行。因此过热汽温是影响安全和经济的重要参数。

过热器受热面主要受蒸汽扰动量、过热器吸热扰动量和过热器入口汽温扰动量这三个扰动量的影响。大型机组过热器、再热器受热面结构的特点,本身决定了汽温对象具有较强的迟滞、大惯性的性质,此时一般的控制系统难于工作或不准确,也即是由于滞后或大惯性系统的关键信息不能得到及时的检测,等到信号测出已是事过境迁。目前,火力发电厂锅炉过热的温度自动控制系统的调节效果还不理想。一是,有的主蒸汽温度自动调节运行不可靠,只好退出自动调节改为手动调节;二是,即使投入了过热的主蒸汽温度自动调节系统,但是锅炉运行中主蒸汽温度还是出现偏高或偏低的情况,锅炉运行人员只好迅速采用手动调整方式来控制主蒸汽温度。若能将此种信息提前估计出(预测),则将大大改善生产操作水平和自动控制的效果。针对此种情况,把基于灰色理论的新型

检测技术应用到火电厂锅炉过热汽温控制系统。

这里研究的对象为 600 MW 超临界直流锅炉的高温过热器,其过热汽温对减温水量扰动的动态特性(传递函数)为:

(1) 100% 负荷时

$$\text{导前区: } G_1(s) = 0.815 / (1 + 18s)^2;$$

$$\text{惰性区: } G_2(s) = 1.276 / (1 + 18.4s)^6。$$

(2) 75% 负荷时

$$\text{导前区: } G_1(s) = 1.657 / (1 + 20s)^2;$$

$$\text{惰性区: } G_2(s) = 1.202 / (1 + 27.1s)^7。$$

上面的式子也说明,超临界机组过热汽温动态特性呈现出大惯性、大延迟的特点,而且在不同的负荷工况下,动态特性和模型参数变化较大。

3.2 具有灰色检测器的控制系统的仿真研究

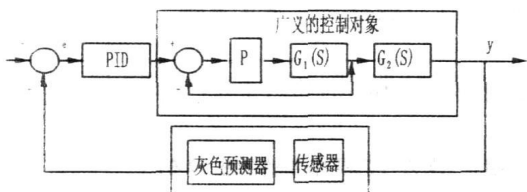


图1 具有灰色检测器的控制系统

主回路的控制算法分别采用普通PID控制方法,整定的参数;副回路的P控制器 $K_P = 25$;主回路的PID控制: $K_P = 1.2$, $K_I = 0.0127$, $K_D = 28.6$ 。

对上述的控制系统采用加灰色检测器与没有加灰色检测器进行比较研究,其单位阶跃响应仿真结果如图2、图3。

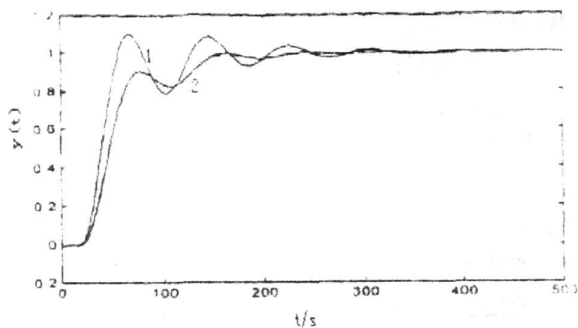


图2 100% 负荷模型有和无灰色检测器时的阶跃响应输出

仿真结果说明,对于火电厂锅炉过热汽温这样的大时滞系统,如果不采用灰色预测模型的检测技术,系统将无法很快稳定,而采用等维新陈代谢灰色数列多步预测模型,很快就进入稳定,超调量很小,可以起到明显的改善作用。同时需要指出,随着预测步数的

增加,控制效果得到改善的效果也逐渐减小,这是由于未知因素也在增加。总的来说,灰色序列预测模型(包括等维新陈代谢灰色数列多步预测模型)在处理大时滞对象的仿真上取得了比较理想的效果。

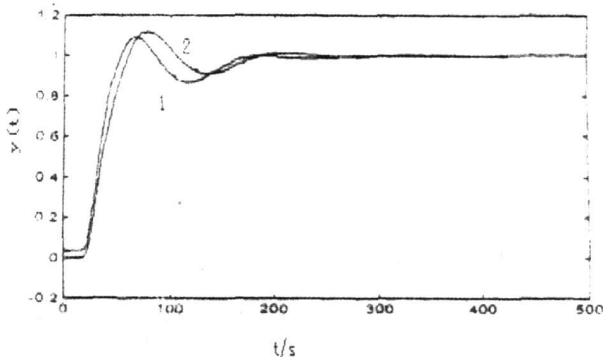


图3 75% 负荷模型有和无灰色检测器时的阶跃响应输出

注:图2、图3中曲线1是没有灰色预测时的响应曲线;曲线2是有灰色预测时的响应曲线。

4 结论

针对现有热工过程控制系统大时滞特点,利用灰色预测理论的检测技术,能够有效预测下一步的信息,提前调节或优化控制系统的参数,使其控制效果达到较佳状态。仿真实验证明,这种方法具有较高的预测性能,可以推广于热工设备控制器的研制或优化,以及其它大时滞系统。

参考文献

- [1] 张明君,皮道应,等. 基于工程观点的软仪表开发策略[J]. 化工自动化及仪表,1996,23(6):34-36.
- [2] 于静江,周春晖. 过程控制中的软测量技术[J]. 控制理论与应用,1996,13(2):137-144.
- [3] Willis M J, Momtague G A, Massimo C D, et al. Artificial neural network in process estimation and control. Automatica [J]. 1992,28(6).
- [4] Johnson M. Neural network in advanced instrument design. Measurement control [J]. 1996,29.
- [5] 董立忠,张荣祥. 模糊信息处理及其应用[J]. 仪器仪表学报[J],1995,16.
- [6] 王学萌,张继忠,王荣. 灰色系统分析及实用计算程序[M]. 华中科技大学出版社,2001.
- [7] 谷俊杰,贾增周,张栗英,等. 调峰机组的过热汽温控制[J]. 动力工程,1996,16(4):43-45.
- [8] 王东风,韩璞. 基于免疫遗传算法优化的汽温系统变参数PID控制[J]. 中国电机工程学报,2003,23(9):212-217.

(收稿日期:2007-12-19)