

催化裂化粗汽油干点的神经网络质量模型

孔金生, 张娓娓, 王爱玲

(郑州大学 电气工程学院, 河南 郑州 450001)

摘要: 在对影响粗汽油干点质量模型的主要因素进行分析的基础上, 利用小波变换对催化裂化生产过程数据进行了预处理, 建立了催化裂化生产过程粗汽油干点的神经网络质量模型, 仿真结果表明了该模型的有效性和可靠性。

关键词: 催化裂化; 粗汽油干点; 神经网络; 质量模型

中图分类号: TP271+.31

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2009)05-0077-04

Neural Network Quality Model of FCC Crude Gasoline End-Boiling-Point

Kong Jinsheng, Zhang Weiwei, Wang Ailing

(School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: On the basis of an analysis of main factors which affecting crude gasoline end-boiling-point quality model, wavelet transform is used to pre-process the data of FCC production process, the neural network quality model of crude gasoline end-boiling-point in fluid catalytic cracking process is established, and the efficiency and reliability of this model are demonstrated through simulations.

Keywords: FCC; crude gasoline end-boiling-point; neural network; quality model

1 背景知识

催化裂化 (fluid catalysis and cracking, FCC) 过程是石油二次加工中的一个复杂工业生产过程, 对其生产过程进行质量建模并实施质量控制, 具有极其重要的意义。催化裂化生产过程由反应再生、分馏、吸收稳定 3 部分组成。催化裂化生产过程中主分馏塔的主要质量指标为粗汽油干点, 它是催化裂化过程中汽油产品质量是否合格的一个重要标志, 因此, 对影响粗汽油干点质量的因素进行分析, 找出影响粗汽油干点的主要因素, 并建立粗汽油干点的产品质量模型, 对提高产品质量是极其重要的。

近年来, 以模型预测控制 (advanced process control, APC) 技术为代表的先进过程控制技术, 在石化企业得到了广泛的应用^[1]。国内外有许多学者对催

化裂化生产过程中粗汽油干点质量模型进行了研究, 并且提出了多种有关建模方法, 如陈云^[2]、马庆春等^[3]通过化工机理分析, 结合参数辨识的有关方法, 建立了粗汽油干点的软测量模型; 杨淑莹等^[4]给出了模糊推理和神经网络相结合的建模方法; 陈云等^[5]通过正交试验设计方法, 对变量选择进行了研究; 王轶卿等^[6]对基于神经网络的油品质量预测进行了研究; 刘红林等^[7]采用动态变量控制技术, 对在保证质量的同时提高汽油等油品产率进行了研究。

多年来, 虽然针对催化裂化建模和控制方法的研究取得了巨大的进展, 但在其质量模型和质量控制研究方面尚不够深入。

本文对影响粗汽油干点质量的主要因素进行了分析, 并通过主成分分析法确定了影响粗汽油干点质量的主要因素, 再将其作为粗汽油干点质量模型的输

收稿日期: 2009-07-12

基金项目: 河南省创新人才杰出青年计划项目 (084100410009)

作者简介: 孔金生 (1963-), 男, 江苏南京人, 郑州大学教授, 硕士生导师, 主要从事复杂系统的优化与控制方面的教学与研究, E-mail: jskong@zzu.edu.cn

入, 利用小波变换对催化裂化生产过程数据进行了预处理分析, 利用弹性下降法优化 BP 神经网络建立了某炼油厂催化裂化生产过程粗汽油干点的质量模型, 仿真结果表明了该质量模型的有效性和可靠性。

2 影响粗汽油干点质量的因素分析

2.1 催化裂化过程工艺简介

本文以某 50 万 t/a 的炼油厂的催化裂化过程为背景, 建立该炼油主分馏塔粗汽油干点的质量模型。

炼油厂分馏塔的分馏过程是: 由沉降器输送来的反应油气进入分馏塔底部, 与循环油浆逆流接触, 洗涤反应油气中的催化剂并脱除过剩热量, 使油气呈“饱和状态”进入分馏塔塔盘进行分馏。分馏塔顶油气经过换热、冷却, 进行气、液相分离。分离出的粗汽油分成 2 路: 一路被作为吸收剂进入吸收塔; 另一路被作为反应终止剂打入提升管反应器一反出口。轻柴油自分馏塔第 17、19 层抽出, 自流至轻柴油汽提塔, 汽提后的轻柴油经换热、冷却, 分成两路: 一路作为产品而被输出装置; 另一路被输送至再吸收塔作再吸收剂。回炼油自分馏塔第一层自流至回炼油罐, 经回炼油泵升压后, 一路作为回炼油与原料油混合后进入提升管反应器, 另一路返回分馏塔第三层。

2.2 影响催化裂化过程粗汽油干点的因素分析

影响粗汽油干点的因素有: 原料油温度、一反上提升管温度、二反上提升管温度、油气出口沉降器温度、再生器稀相温度、密相温度、烟气温度的回炼油流量、原料量、主风入口流量、沉降器压降、再生器压降、T1201 顶温度、顶循抽出温度、顶循返塔温度、轻柴油抽出温度、回炼油抽出温度、油浆上返塔温度、顶循流量、中段流量、原料进反应流量、回炼油流量、T201 底温度和 T201 压力。本文中采用主成分分析 (Principle Component Analysis, PCA) 法对以上 24 个影响因素进行分析。

PCA 是一种将高维数据投影到 1 个包含原空间大部分信息的低维空间的多变量统计技术。经 PCA 处理得到的各主成分实际上是输入参数矩阵中具有极大方差的列向量组合。由于方差很小的主成分通常代表噪声信息, 所以将这些主成分舍弃不会引起数据中有用信息的明显损失。对高度耦合系统而言, 少数几个主成分就可包含原变量的大部分信息, 用保留的主成分代替原变量, 可以达到减少变量个数、简化计算的目的。根据样本数据集的协方差阵的特征值确定各主成分的方差贡献率和累积方差贡献率时, 可用如下 2 公式计算:

$$\eta_i = \lambda_i / \sum_{i=1}^m \lambda_i, \quad (1)$$

$$\eta_k = \left(\sum_{i=1}^k \lambda_i \right) / \sum_{i=1}^m \lambda_i. \quad (2)$$

式中:

η_i 为第 i 个主成分的方差贡献率;

η_k 为前 k 项主成分的累积方差贡献率。

根据主成分的累积方差贡献率, 并根据对催化裂化过程的工艺机理分析, 通过对影响粗汽油干点的 24 个影响因素进行主成分分析, 最终确定选择前 12 项主成分作为影响粗汽油干点的主要因素, 并以此作为粗汽油干点质量模型的输入。

3 基于小波分析的过程数据滤波

在对所选炼油厂的生产过程变量的数据进行测量的过程中, 由于生产环境、生产设备和测量仪器都会引发噪声, 因而会使所测数据受到“污染”, 并且这些噪声信号可能会影响网络建模与预测的精度, 因此, 本文采用小波变换以有效滤除实际生产过程中数据的噪声。

本文采用 Mallat 分解算法和 Mallat 重构算法对所测数据进行滤波, 其算法如下:

$$\begin{cases} c_k^j - \sum_{i \in Z} c_i^{j+1} \bar{h}_{i-2k}, \\ d_k^j - \sum_{i \in Z} c_i^{j+1} \bar{g}_{i-2k}, \end{cases} \quad (3)$$

$$c_k^{j+1} = \sum_{i \in Z} c_i^j h_{i-2k} + \sum_{i \in Z} d_i^j g_{i-2k}, \quad (4)$$

式中:

$\{h_k\}_{k \in Z} \in l^2(Z)$ 表示低通滤波器系数;

$\{g_k\}_{k \in Z} \in l^2(Z)$ 表示高通滤波器系数;

c_k^j 是 c_l^{j+1} 的近似信号;

d_k^j 是 c_l^{j+1} 的细节信号。

Mallat 分解算法是先把输入信号通过滤波器, 再对滤波器输出进行抽样, 取其偶数部分, 此时, 获得信号的分辨率是原始信号的 1/2。

Mallat 重构算法是先对近似信号与细节信号进行插值, 相邻 2 个数值之间插 1 个 0, 再分别通过滤波器, 最后把 2 个滤波器的输出相加。

利用小波分析进行数据滤波的基本原理是: 信号和误差在小波变换下的变化规律不同, 因此, 可以通过小波变换将信号分解为位于不同频带和时段内的成分, 如果误差信号和真实信号位于不同的频带内, 则只要将误差所对应的那一阶小波系数按阈值进行处理, 然后按重构公式对信号进行重构就可以达到信号滤波的目的。

数据滤波时的阈值可以分为软阈值和硬阈值, 软阈值是指把信号的小波变换后的小波系数绝对值与阈值进行比较, 把小于或等于阈值的点变为 0, 大于阈

值的点变为该点与阈值的差值; 硬阈值是指把信号的小波变换后的小波系数绝对值与阈值进行比较, 小于或等于阈值的点变为0, 大于阈值的点保持不变。一般说来, 用硬阈值处理后的信号比用软阈值处理后的信号更为粗糙。

本研究中以 MATLAB7 为平台进行编程, 分别用 harr、db、bior、coif 及 sym 等常用小波函数系列对实际生产过程的数据进行尺度分解, 通过比较其分解结果, 最后确定选用 coif3 作为母小波。采用 coiflets (coif) 小波系进行一维数据预处理, 将数据用 coif3 小波分解到第3层, 对高频系数用 sqtwolog 固定阈值对分解系数进行阈值处理, 以消除噪声信号。研究表明, 采用小波处理技术可以有效地滤除掉现场数据中的非平稳噪声, 从而达到间接地提高网络训练速度和精度的目的。

采用小波处理后的信号和原始信号对比如图1所示, 从图1中可见, 小波处理的去噪效果明显, 曲线较光滑, 比之常规的多项式拟合与样条插值等曲线拟合方法有着明显的优势。

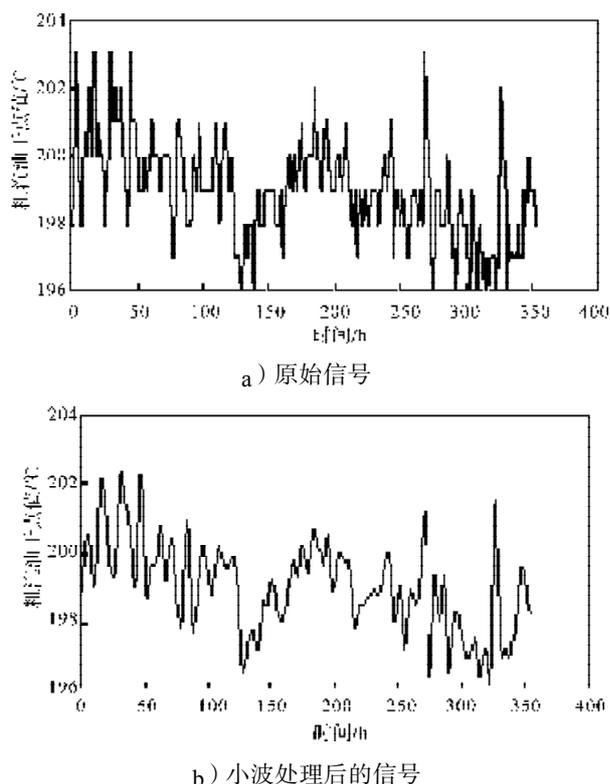


图1 小波处理后的信号和原始信号的对比图
Fig. 1 The comparison diagram of wavelet processed signal and the original signal

4 基于BP神经网络的粗汽油干点质量模型

4.1 粗汽油干点神经网络质量模型

粗汽油干点的现场数据取自某炼油厂催化裂化生

产过程的记录, 共354组数据。经过对催化裂化的工艺机理分析和对影响因素的主成分分析, 确定原料油温度、一反上提升管温度、二反上提升管温度、油气出口沉降器温度、再生器稀相温度、密相温度、烟气温度、回炼油流量、原料量、主风入口流量、沉降器压降和再生器压降12个量作为影响粗汽油干点的主要因素, 并以此作为神经网络质量模型的输入, 输出为粗汽油干点, BP神经网络选为12-25-1的3层结构形式, 网络隐层的节点数选为25, 隐层的传递函数选用S型函数, 输出层的传递函数选用线性函数。模型的目标函数为:

$$E_{\text{min}} = \frac{1}{2} \sum (t - y)^2, \quad (5)$$

式中: t 为粗汽油干点的实际生产数据;

y 为粗汽油干点的模型输出值。

采用弹性梯度下降法对BP神经网络进行训练, 建立催化裂化产品生产过程的神经网络质量模型。

4.2 试验结果与分析比较

本文采用经过小波滤波、归一化预处理后的236组训练样本对神经网络进行训练, 训练结束后, 经统计, 模型学习样本85%的样本误差小于 $\pm 1^\circ\text{C}$ 、98.6%的样本误差小于 $\pm 2^\circ\text{C}$ 、均方差为 0.7331°C 、绝对误差的平均值为 0.5537°C , 模型拟合结果如图2所示, 从图2可知, 所建神经网络质量模型的拟合程度较好, 这表明了神经网络质量模型的有效性。

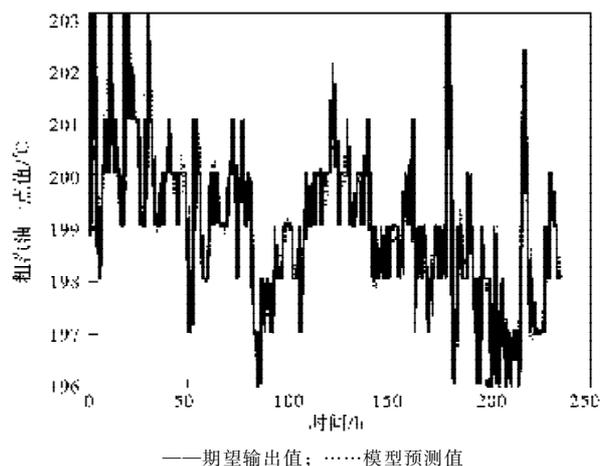


图2 质量模型拟合结果图

Fig. 2 The fitting diagram of quality model

采用同样经小波滤波、归一化预处理后的118组没参加训练的检验样本, 对所建神经网络质量模型进行检验, 模型检验与预测结果如图3所示。在118组检验样本中, 84.7%的样本误差小于 $\pm 1^\circ\text{C}$ 、98.3%的样本误差小于 $\pm 2^\circ\text{C}$ 、样本均方差为 0.7379°C 、绝对误差的平均值为 0.5779°C , 模型检验结果表明所建神经网络质量模型的外推性较好, 模型具有较高的预测性能。

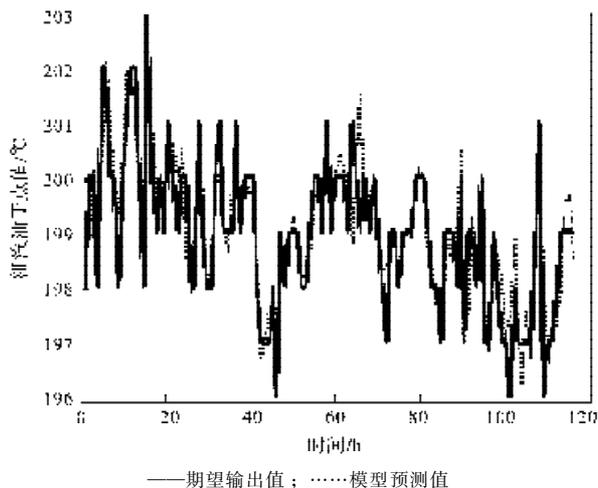


图3 模型检验和预测结果图

Fig. 3 The diagram of model checking and forecasting

5 结语

催化裂化过程是石油二次加工中的一个复杂工业生产过程,通过建立产品生产过程质量模型,对其实施质量控制、提高产品质量具有极其重要的意义。本文通过分析建立了催化裂化粗汽油干点的神经网络质量模型,并对试验结果进行了分析和比较,结果表明本文建立的质量模型是有效的。

参考文献:

- [1] 胡品慧,杜殿林,左信,等.状态反馈预测控制在催化裂化柴油产品质量先进控制中的应用[J].石油炼制与化工, 2003, 34(5): 57-59.
Hu Pinhui, Du Dianlin, Zuo Xin, et al. Advanced Process Control and Plant Implementation for FCC LCO Quality Based on State Feedback Model Predictive Control[J]. Petroleum Processing and Petrochemicals, 2003, 34(5): 57-59.
- [2] 陈云,吕翠英.基于多元逐步回归和反向传播方法的粗汽油干点软测量模型[J].计算机与应用化学, 2003, 20(6): 845-847.

- Chen Yun, Lv Cuiying. Soft-Sensor Model Based on Multiple Stepwise Regression Method and Back Propagation Method [J]. Computers and Applied Chemistry, 2003, 20(6): 845-847.
- [3] 马庆春,左信,许峰.催化裂化装置主分馏塔软测量技术应用与研究[J].石油化工自动化, 2008(1): 55-58.
Ma Qingchun, Zuo Xin, Xu Feng. The Implementation and Study on Soft Sensor Technology of the Main Distillation Tower in FCCU[J]. Automation in Petro-Chemical Industry, 2008(1): 55-58.
- [4] 杨淑莹,郭翠梨.模糊推理与神经网络在催化裂化分馏塔装置中的应用[J].石油化工自动化, 2004(5): 37-41.
Yang Shuying, Guo Cuili. Application of Fuzzy Diagnosis and Neural Network in the FCC Fractional Column[J]. Automation In Petro-Chemical Industry, 2004(5): 37-41.
- [5] 陈云,吕翠英.正交试验设计在粗汽油干点多辅助变量选择中的应用[J].石油学报:石油加工, 2004, 20(6): 46-50.
Chen Yun, Lv Cuiying. Application of Orthogonal Experimental Design in the Selection of Crude Gasoline End-Boiling-Point Secondary Variables[J]. Acta Petrolei Sinica: Petroleum Processing Section, 2004, 20(6): 46-50.
- [6] 王铁卿,赵英凯.基于神经网络的油品质量预测[J].控制工程, 2004, 11(5): 403-406.
Wang Yiqing, Zhao Yingkai. Prediction of Oil Quality Based on Neural Network[J]. Control Engineering of China, 2004, 11(5): 403-406.
- [7] 刘红林,刘艳梅.应用DMCplus技术实现对分馏塔产品质量控制[J].炼油技术, 2006, 17(2): 57-58.
Liu Honglin, Liu Yanmei. Applying DMCplus Technology to Achieve the Product Control of the Fractional Tower[J]. Refining Technologies, 2006, 17(2): 57-58.
- [8] 刘福安,侯栓弟,龙军,等.FCC汽油催化转化动力学模型[J].石油学报:石油加工, 2005, 21(6): 32-39.
Liu Fuan, Hou Shuandi, Long Jun, et al. Kinetic Modeling of FCC Gasoline Catalytic Reaction[J]. Acta Petrolei Sinica: Petroleum Processing Section, 2005, 21(6): 32-39.

(责任编辑:廖友媛)