

文章编号: 1001-0920(2010)02-0185-06

基于组合灰色预测模型的焦炉火道温度模糊专家控制

王伟, 吴敏, 曹卫华, 雷琪

(中南大学 信息科学与工程学院, 长沙 410083)

摘要: 针对具有强非线性、大时滞、多扰动特点的焦炉火道温度控制问题, 提出一种基于组合灰色预测模型的改进模糊专家控制方法. 采用基于黄金分割优选法寻优的解析式类型三维模糊控制器, 同时并联专家规则补偿模块, 对模糊控制器输出进行补偿. 利用组合灰色预测方法获得未来时刻的火道温度, 根据预测值采取相应的控制策略. 实验运行结果表明, 该方法具有较好的控制品质, 有效地削弱了大时滞的影响, 为解决焦炉火道温度控制问题提供了新思路.

关键词: 组合灰色预测模型; 三维模糊控制器; 专家规则补偿模块; 黄金分割优选法

中图分类号: TP273.4

文献标识码: A

Fuzzy-expert control based on combination grey prediction model for flue temperature in coke oven

WANG Wei, WU Min, CAO Wei-hua, LEI Qi

(School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China, Correspondent: WU Min, E-mail: min@csu.edu.cn)

Abstract: A modified fuzzy-expert control algorithm based on combination grey prediction model is proposed to solve the control problems of the flue temperature in coke oven, which usually has the property of high nonlinearity, large time-delay and multiple disturbance. Based on the analytic expression optimized by using golden section optimization algorithm, a three-dimensional fuzzy controller is designed and its result is compensated by using expert rules compensation module. Meanwhile, in order to make future control strategies, combination grey prediction model is applied to predict the flue temperature. Verification results show that the algorithm has good control quality and weakens the influence of time delay. This work may give a new method for solving the control problems in the coke oven flue temperature system.

Key words: Combination grey prediction model; Three-dimensional fuzzy controller; Expert rules compensation module; Golden section optimization algorithm

1 引言

焦炉加热燃烧过程分为干燥、热解、熔融、粘结、固化、收缩等阶段, 是一个复杂的物理化学反应过程. 焦炉炉体结构复杂, 操作环境恶劣, 检测手段少, 具有强非线性、大时滞、多扰动的特点^[1]. 焦炉加热燃烧过程使用的煤气量约占炼焦厂总能耗的 70%. 实现焦炉火道温度的优化控制, 对于降低炼焦能耗、提高焦炭质量、延长炉体寿命、减少有害气体排放等具有重要意义.

针对焦炉火道温度控制问题, 人们通过基于 PID 控制、模糊控制、专家控制等方法的自学习和复

合控制策略, 试图实现火道温度的优化控制^[2-6], 取得了较好的控制效果; 不足之处是对于具有大时滞的焦炉对象, 上述方法并未有效解决时滞问题. 焦炉加热燃烧过程复杂, 难以建立精确的过程模型, 一些解决时滞问题的有效方法(如 Smith 预测控制、模型预测控制等)难以应用于实际. 由于大时滞的存在, 当前时刻检测到的火道温度, 为若干时刻前设定值所对应的控制量作用于焦炉对象后的输出, 使得控制成为事后控制, 并且理想情况下设定值是变化的, 进一步加剧了大时滞的影响.

目前, 在国内炼焦企业实际生产中, 火道温度主

收稿日期: 2009-03-13; 修回日期: 2009-05-25.

基金项目: 国家 863 计划重点项目(2008AA04290); 国家杰出青年科学基金项目(60425310).

作者简介: 王伟(1982—), 男, 山西运城人, 博士生, 从事工业过程建模、优化控制的研究; 吴敏(1963—), 男, 广东化州人, 教授, 博士生导师, 从事智能控制、鲁棒控制等研究.

要根据领域专家和操作人员的经验设定为固定值,以牺牲能耗来削弱焦炉大时滞带来的负面影响.随着炼焦优化控制技术的发展,从全流程节能降耗的角度出发,根据炼焦生产过程相关参数对火道温度设定值进行在线优化调整,使焦炉火道温度控制中的大时滞问题更加突出.因此,迫切需要提出新的控制方法,以解决焦炉加热燃烧过程控制中的大时滞问题.

模糊控制是针对复杂控制对象的一种较好的控制方法,目前已在多个领域获得广泛的应用.然而,模糊控制是根据当前可测定的被控量信息来确定控制量,根据已发生的行为特征进行控制,也属于事后控制.对于具有大时滞的复杂对象,被控量的变化不能及时反映控制量的变化,因此模糊控制的实际效果有时还不能令人满意.

邓聚龙创立的灰色系统理论是研究少数据、贫信息不确定性问题的一种方法,能实现对系统运行行为、演化规律的正确描述和有效监控^[7].灰色预测控制以灰色系统理论为基础,根据系统的行为数据预测系统未来的行为,进而由预测值采取相应的控制策略.其本质是一种事前控制,可作到防患于未然,克服系统时滞的影响,达到较好的控制效果^[8].

本文针对焦炉火道温度控制问题的特点,提出一种基于组合灰色预测模型的改进模糊专家控制方法.首先引入三维模糊控制器,它是一种性能良好的控制器,但存在规则难以确定并呈指数增长的缺点,因此提出一种基于黄金分割优选法寻优的解析式三维模糊控制器,并采用专家规则补偿模块,对模糊控制器输出进行补偿,使系统在消除稳态误差的同时具有较快的响应速度;然后基于现场数据的灰色关联分析,确定出预测模型的步长,为提高预测模型的精度,采用加权组合预测方法计算出预测结果;最后基于现场实际运行数据对该方法进行验证,以说明

其有效性和实用性.

2 工艺过程分析及其控制结构

焦炉由多个炭化室和燃烧室交替配置而成,是一种结构独特的工业炉窑.焦炉煤气和高炉煤气通过煤气管道进入燃烧室,空气由自然抽风得到.煤气在燃烧室内燃烧产生热量,以辐射传热为主、对流传热为辅,将热量通过炉墙传导给炭化室中的煤料,煤料依次经过结焦过程的各阶段而生成焦炭.在焦炉加热燃烧过程中,煤气流量的变化直接影响火道温度.焦炉火道温度的变化是一个慢过程,每调节一次焦炉煤气流量,需要数小时才能反映出火道温度的变化,成为大时滞控制的难点.

本文对文献[5]提出的控制结构进行改进,采用基于黄金分割优选法寻优的解析式三维模糊控制器替代多模态模糊控制器,以降低系统的复杂度;同时增加了专家规则补偿模块.当被控对象出现较大偏差时,对模糊控制器输出进行补偿,以提高系统的响应速度;增加的灰色预测模块,用于改善系统的大时滞特性.改进后的焦炉加热燃烧过程控制结构如图1所示.

3 煤气供应量优化控制

针对焦炉加热燃烧过程的特性,采用模糊专家控制方法实现煤气供应量的在线智能调节,使系统在消除稳态误差的同时具有较快的响应速度.

3.1 改进公式法模糊决策的模糊控制

目前常用的模糊控制器为双输入单输出模糊控制器.文献[9]指出,在控制过程的后期阶段,该模糊控制器存在明显的稳态误差,并且稳态误差的大小与控制规则峰值点之间的距离有关.事实上,三输入单输出模糊控制器在控制过程的前期具有模糊控制器的全部优点,在后期又有PID调节器的所有优点,自动具备模糊控制器和PID调节器关于前期与

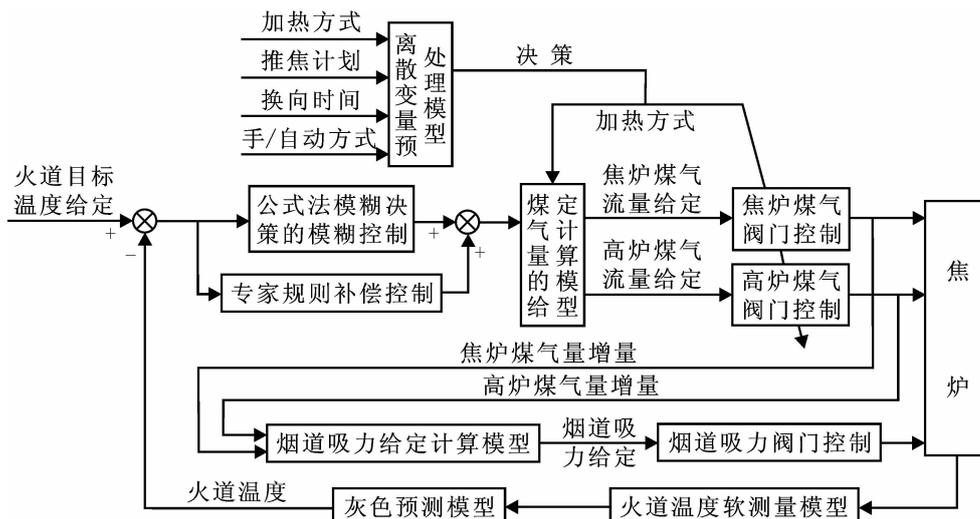


图1 焦炉加热燃烧过程控制结构

后期的切换功能,是一种性能良好的控制器。

三输入单输出模糊控制器结构比较复杂,控制规则数量呈几何指数增加,模糊控制器的模糊逻辑运算十分复杂,推理运算时间长,一般较少使用。模糊控制器的控制规则通常是现场操作人员或专家的经验总结出来的,其语言规则和合成推理往往是固定的,难以适应系统的变化情况,存在一定的局限性。模糊控制器性能的好坏在于能否建立一张满意的控制规则表,这也是改进其控制品质的关键所在。为了简化推理过程,龙升照等开拓了一条新途径,在模糊控制领域引用了简单解析式的控制规则^[10],如下式所示:

$$U = \langle \alpha E + (1 - \alpha)E_c \rangle, \alpha \in [0, 1]. \quad (1)$$

其中: E 和 E_c 分别为控制量的偏差和偏差变化率, U 为控制量, α 为权重因子。通过调整参数 α 进而调整控制规则,可改变模糊控制系统的性能,使系统运行处于最佳或近似最佳状态。在理想方案中,权系数 α 应随对象变化,即 α 既随偏差而变,又随偏差变化率而变。

本文提出一种基于黄金分割优选法寻优的解析式三维模糊控制器,它可抛开控制规则表,直接根据系统偏差、偏差变化率和偏差积分的量化值,求得控制量论域的量化值。采用优选法进行权重因子的在线自修正,计算量小,实时性好。该方法不但处理方便,而且能克服常规模糊控制器存在稳态误差的缺点。

在输入变量的量化过程中,量化曲线可以是线性的,也可以是非线性的,而非线性关系更能体现出控制特性。设控制量的偏差为 e ,非线性量化方法可使模糊控制器在 e 较大时对被控过程进行粗调,在 e 较小时对其进行细调,从而防止出现过大的超调,提高系统的控制性能。

当偏差 e ,偏差变化率 e_c 和偏差积分 e_d 较大时,采用斜率较小、分辨率较低的模糊集;当偏差 e ,偏差变化率 e_c 和偏差积分 e_d 较小时,采用斜率较大、分辨率较高的模糊集。若以 x 轴表示基本论域, y 轴表示模糊论域,则量化曲线函数可表示为 $y = E_{\max} \tan(x \times a)$ 。其中: E_{\max} 为模糊论域的最大值, $\tan(\cdot)$ 表示双曲正切曲线, a 为待定常数。

模糊控制器的输入为火道温度的偏差 e ,偏差变化率 e_c 和偏差积分 e_d ,输出为煤气量的变化量 Δu 。 e 的基本论域为 $[-20, 20]$, e_c 和 e_d 的基本论域为 $[-15, 15]$, Δu 的基本论域为 $[-40, 40]$ 。偏差 E 模糊变量的词集选择 7 个,为{NB,NM,NS,ZO,PS,PM,PB},其论域为 $\{-8, -7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$ 。偏差变化率 E_c

和偏差积分 E_d 模糊变量的词集选择 5 个,为{NB,NM,ZO,PM,PB},其论域为 $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 。输出 ΔU 的模糊变量词集选择 7 个,为{NB,NM,NS,ZO,PS,PM,PB},其论域为 $\{-7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ 。

根据调试过程中的经验,在火道温度偏差 e 的量化中, α 值取为 0.12;在火道温度偏差变化率 e_c 和偏差积分 e_d 的量化中, α 值取为 0.14。

当偏差较大时,控制系统的主要任务是消除偏差。为加快系统的响应速度,要求控制规则中偏差的权重应大些;为防止系统出现较大超调,应去掉积分作用。因此采用具有偏差和偏差变化率的二维模糊控制器。当偏差较小时,系统已接近稳态,控制系统的主要任务是使系统尽快稳定并没有稳态误差。这就要求控制规则中偏差变化率的权重应大些,同时需要增加偏差积分的作用。因此采用具有偏差、偏差变化率和偏差积分的三维模糊控制器。

根据上述分析,形成了基于黄金分割优选法寻优的解析式控制规则。具体如下:

$$\alpha(k+1) = \begin{cases} \alpha(k) + 0.618[1 - \alpha(k)], & |E| \geq 4; \\ 0.618\alpha(k), & |E| < 4; \end{cases} \\ 0.2 \leq \alpha(K) \leq 0.8, \alpha(0) = 0.5. \quad (2a)$$

$$\beta(k+1) = \begin{cases} \beta(k) + 0.618[1 - \beta(k)], & |E_c| \geq 2; \\ 0.618\beta(k), & |E_c| < 2; \end{cases} \\ 0.3 \leq \beta(K) \leq 0.7, \beta(0) = 0.5. \quad (2b)$$

$$\Delta U = \begin{cases} \alpha E + (1 - \alpha)E_c, & |E| \geq 4; \\ \alpha E + (1 - \alpha)E_c + \beta E_d, & |E| < 4. \end{cases} \quad (2c)$$

其中: E , E_c 和 E_d 分别为火道温度的偏差、偏差变化率和偏差积分; ΔU 为煤气量的变化量; α 和 β 为权重因子。

3.2 基于专家规则的补偿控制

当被控对象出现较大偏差时,控制系统的主要任务是尽快消除偏差。为提高系统的响应速度,需要对控制量进行补偿,以优化控制效果。

在实际炼焦生产过程中,只能检测到焦炉煤气流量、高炉煤气流量及混合煤气压力。因此在进行专家补偿控制时,以煤气流量作为控制输出。通过对现场操作人员经验的总结 and 实际调试分析,形成了以下控制规则:

Rule 1: If $e(k) \geq 15$ Then

$$\Delta u(k) = \begin{cases} \Delta u(k) + 300, & \text{调高炉煤气,} \\ \Delta u(k) + 50, & \text{调焦炉煤气;} \end{cases}$$

Rule 2: If $5 \leq e(k) < 15$ Then

$$\Delta u(k) = \begin{cases} \Delta u(k) + 150 \frac{e(k) - 5}{10}, & \text{调高炉煤气,} \\ \Delta u(k) + 25 \frac{e(k) - 5}{10}, & \text{调焦炉煤气;} \end{cases}$$

Rule 3: If $|e(k)| < 5$ Then

$$\Delta u(k) = \Delta u(k);$$

Rule 4: If $-15 < e(k) \leq -5$ Then

$$\Delta u(k) = \begin{cases} \Delta u(k) - 150 \frac{-5 - e(k)}{10}, & \text{调高炉煤气,} \\ \Delta u(k) - 25 \frac{-5 - e(k)}{10}, & \text{调焦炉煤气;} \end{cases}$$

Rule 5: If $e(k) \leq -15$ Then

$$\Delta u(k) = \begin{cases} \Delta u(k) - 300, & \text{调高炉煤气,} \\ \Delta u(k) - 50, & \text{调焦炉煤气.} \end{cases}$$

4 改进的组合灰色预测模型

为使火道温度预测模型具有较高的预测精度,针对焦炉加热燃烧过程数据的特点,基于改进的 GM(1,1) 灰色预测模型,采用加权组合预测方法计算最终的预测结果.

4.1 改进 GM(1,1) 灰色预测模型

灰色模型用于预测时,最常用的是 GM(1,1) 模型.然而,该模型是一种指数增长模型,对于历史记录零散分布的数据序列,往往会产生欠拟合或过拟合现象,导致预测精度降低.焦炉加热燃烧过程扰动因素较多,实际火道温度数据具有波动性,很难严格按指数增长规律变化.若采用此方法,则使预测误差较大,不能满足实际炼焦生产的情况.

本文提出一种改进的灰色预测模型,在保留传统灰色预测模型优点的基础上,采用方根法的数据预处理,通过选取合适的方根次数来弱化数据变化的幅度.

设某钢铁企业焦化厂火道温度原始数据序列为

$$y^{(0)} = (y^{(0)}(1), y^{(0)}(2), \dots, y^{(0)}(n)), \quad (3)$$

作一阶累加后,生成序列

$$y^{(1)} = (y^{(1)}(1), y^{(1)}(2), \dots, y^{(1)}(n)), \quad (4)$$

其中

$$y^{(1)}(n) = \left(\sum_{i=1}^n y^{(0)}(i) \right)^{1/m}, \quad m = 3. \quad (5)$$

对火道温度原始数据序列进行上述操作,弱化了原始数列中数据波动的影响,使 $y^{(1)}$ 与指数增长规律基本保持一致,从而提高了预测精度. GM(1,1) 灰微分方程化的白化方程为

$$dy^{(1)}/dt + ay^{(1)} = u. \quad (6)$$

其中: a 为模型的发展系数, u 为模型的协调系数.对 $y^{(1)}$ 作邻均值处理,得到式(4)中的背景值序列

$$z^{(1)} = (z^{(1)}(2), z^{(1)}(3), \dots, z^{(1)}(n)), \quad (7)$$

其中

$$z^{(1)}(n) = 0.5y^{(1)}(n-1) + 0.5y^{(1)}(n). \quad (8)$$

记 $A = [a, u]^T$, 用最小二乘法按下式确定参数:

$$A = (B^T B)^{-1} B^T P. \quad (9)$$

其中

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

将求得的 a 和 u 代入式(6),通过求解微分方程得到 GM(1,1) 预测模型的解

$$\hat{y}^{(1)}(k+1) = [y^{(0)}(1) - \frac{u}{a}]e^{-ak} + \frac{u}{a}. \quad (10)$$

对该预测值 m 次方,再作累减生成,便可得到原始数据对 $k+1$ 时刻的预测值 $\hat{y}^{(0)}(k+1)$.采用等维新息灰色数列预测方法,可得到原始数据对 $k+p$ 时刻的预测值 $\hat{y}^{(0)}(k+p)$.

4.2 预测步长的确定

设 $r(t)$ 为当前时刻火道温度的给定值, $e(t)$ 为当前时刻火道温度的偏差, $u(t+t_1)$ 为 $e(t)$ 作用于控制器后的控制器输出, t_1 为由控制器引入的时延时间, $y(t+t_1+t_2)$ 为 $u(t+t_1)$ 作用于焦炉对象后的火道温度实际值, t_2 为由焦炉对象引入的时延时间.根据当前时刻和历史时刻检测到的火道温度来预测 t_1+t_2 时刻后的火道温度 $y(t+t_1+t_2)$,根据该预测值采取相应的控制策略,以克服焦炉大时滞的影响,达到较好的控制效果.

根据对焦炉加热燃烧过程的现场调研,其时延时间通常为几小时,因此控制器的时延时间可以忽略,即认为 $t_1 = 0$.需要确定由焦炉对象引入的时延时间 t_2 ,以确定相应的预测步长.

以采集的现场历史数据为基础,通过分析加热煤气流量与焦炉火道温度之间的关联度,大致确定出焦炉对象的时延时间.由于生产工艺的限制,火道温度数据采用软测量的方法获得.取 200 组现场历史数据进行分析,数据的采样周期为 1h.采用灰色关联分析方法,得到 k 时刻火道温度 $y(k)$ 与不同时刻焦炉煤气流量 Q_{JML} 和高炉煤气流量 Q_{GML} 之间的相关系数,结果如表 1 所示.

从表 1 可以看出, k 时刻火道温度 $y(k)$ 与 $k-1$ 时刻焦炉煤气流量 $Q_{JML}(k-1)$ 和 $k-2$ 时刻焦炉煤气流量 $Q_{JML}(k-2)$ 的相关性较大; k 时刻火道温度 $y(k)$ 与 $k-5$ 时刻高炉煤气流量 $Q_{GML}(k-5)$ 和 $k-6$ 时刻高炉煤气流量 $Q_{GML}(k-6)$ 的相关性较大.因

表 1 加热煤气与火道温度的相关系数

焦炉煤气流量	与 $y(k)$ 的相关系数	高炉煤气流量	与 $y(k)$ 的相关系数
$Q_{JML}(k-1)$	0.5934	$Q_{GML}(k-1)$	0.3017
$Q_{JML}(k-2)$	0.6820	$Q_{GML}(k-2)$	0.3538
$Q_{JML}(k-3)$	0.4916	$Q_{GML}(k-3)$	0.4137
$Q_{JML}(k-4)$	0.4012	$Q_{GML}(k-4)$	0.4876
$Q_{JML}(k-5)$	0.3445	$Q_{GML}(k-5)$	0.6084
$Q_{JML}(k-6)$	0.3006	$Q_{GML}(k-6)$	0.6935
$Q_{JML}(k-7)$	0.2743	$Q_{GML}(k-7)$	0.5003

此,在选用固定高炉煤气流量、调节焦炉煤气流量时,采用预测步长分别为 1 和 2 的两个灰色预测模型;在选用固定焦炉煤气流量、调节高炉煤气流量时,采用预测步长分别为 5 和 6 的两个灰色预测模型。

4.3 组合预测模型的建立

组合预测方法针对不同的影响因素,从不同的角度进行建模预测,能充分利用相关信息,其难点在于如何确定组合权值.等权平均组合预测法简单易行,但要求各种预测模型的精度必须较高,如果部分模型预测精度不高,就会导致整个组合模型预测精度下降.方差-协方差优选组合预测方法通过最小化组合预测历史误差的方差来确定.由统计方差最小理论可证,该方法优于各种单一方法,可取得较好的预测效果。

以固定高炉煤气流量、调节焦炉煤气流量为例,预测模型的预测值分别为 $\hat{y}^{(0)}(k+1)$ 和 $\hat{y}^{(0)}(k+2)$,组合预测模型的输出为 \hat{y}_1 ,预测误差分别为 e_1 及

$$\begin{cases} e_{11} = y^{(0)}(k+1) - \hat{y}^{(0)}(k+1), \\ e_{12} = y^{(0)}(k+2) - \hat{y}^{(0)}(k+2). \end{cases} \quad (11)$$

取 w_{11} 和 w_{12} 为相关权系数,则组合预测模型输出为 $\hat{y}_1 = w_{11}\hat{y}^{(0)}(k+1) + w_{12}\hat{y}^{(0)}(k+2)$, (12) 误差及其方差为

$$e_1 = w_{11}e_{11} + w_{12}e_{12}, \quad (13)$$

$$\text{var}(e_1) = w_{11}^2 \text{var}(e_{11}) + w_{12}^2 \text{var}(e_{12}) + 2w_{11}w_{12} \text{cov}(e_{11}, e_{12}). \quad (14)$$

关于 w_{11} 对 $\text{var}(e_1)$ 求极小值,可得

$$w_{11} = \frac{\text{var}(e_{12}) - \text{cov}(e_{11}, e_{12})}{\text{var}(e_{11}) + \text{var}(e_{12}) - 2\text{cov}(e_{11}, e_{12})}. \quad (15)$$

$\hat{y}^{(0)}(k+1)$ 和 $\hat{y}^{(0)}(k+2)$ 是通过两个相互独立的火道温度灰色预测模型得到的,可近似认为 $\text{cov}(e_{11}, e_{12}) = 0$,且 $w_{11} + w_{12} = 1$. 则有

$$w_{11} = \frac{\text{var}(e_{12})}{\text{var}(e_{11}) + \text{var}(e_{12})}, w_{12} = 1 - w_{11}. \quad (16)$$

在选用固定焦炉煤气流量、调节高炉煤气流量时,预测模型的预测值分别为 $\hat{y}^{(0)}(k+5)$ 和 $\hat{y}^{(0)}(k+6)$.采用相同的方法,可获得组合预测模型的输出 \hat{y}_2 .

5 基于仿真实验平台的验证

在实验室建立了炼焦生产全流程智能集成优化控制仿真实验平台^[11],焦炉火道温度模型采用文献^[12]中的模型,在该平台上对本文方法进行验证.机侧、焦侧火道温度的设定值,主要受煤质性状、炼焦工艺指标等因素的影响.此外,还要考虑结焦时间、集气管压力等过程参数的影响.因此机侧、焦侧火道温度的优化设定值分别在基准值 1260℃ 和 1320℃ 附近小幅波动.其设定值通过基于炼焦生产过程综合生产目标全流程优化的方法^[13]获得。

采用本文方法后的火道温度优化结果如图 2 所示.图中上部曲线表示焦侧火道温度,实线为目标值,虚线为预测值;下部曲线表示机侧火道温度,实线为目标值,虚线为预测值。

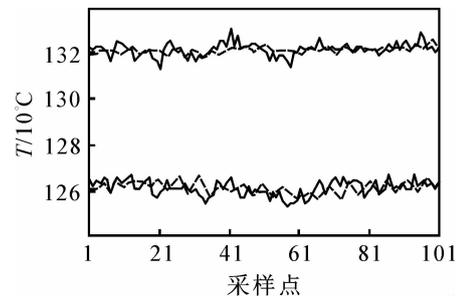


图 2 火道温度优化效果

从图中曲线可以看出,实测火道温度与目标火道温度的变化趋势基本一致,整体跟踪性能较好.据统计,机侧和焦侧火道温度的预报误差在 $\pm 5^\circ\text{C}$ 以内的分别达到 83.64% 和 88.18%,优化效果能满足工业生产的实际要求.本文方法在很大程度上减小了火道温度的波动,进一步保证了焦炉的平稳顺畅运行。

6 结 论

本文针对具有强非线性、大时滞、多扰动特点的焦炉火道温度控制问题,提出一种基于组合灰色预测模型的改进模糊专家控制方法.采用基于黄金分割优选法寻优的解析式三维模糊控制器,克服了常规二维模糊控制器存在稳态误差及三维模糊控制器控制规则难以确定的局限.利用专家规则补偿模块对模糊控制器输出进行补偿,使系统具有较高的响应速度.利用组合灰色预测方法获得未来时刻的火道温度,据此预测值采取相应的控制策略,克服焦炉对象大时滞特性的负面影响。

基于仿真实验平台的验证分析表明,基于组合

灰色预测模型的改进模糊专家控制方法,对大时滞变参数非线性的焦炉对象具有较高的控制品质,能有效提高焦炭质量,减少煤气消耗,可应用于实际工业生产过程.

参考文献 (References)

- [1] 马竹梧. 冶金原燃料生产自动化技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2005.
(Ma Z W. Automation technology of metallurgical raw material and fuel production[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2005.)
- [2] 高军伟, 叶阳东, 史天运, 等. 焦炉加热智能控制系统的研究与应用[J]. 信息与控制, 2003, 32(1): 86-90.
(Gao J W, Ye Y D, Shi T Y, et al. Research and application on coke oven heating intelligent control system[J]. Information and Control, 2003, 32(1): 86-90.)
- [3] Guo Y N, Gong D W, Cheng J. Coke oven heating temperature fuzzy control system[C]. Proc of the 2004 IEEE Int Conf on Control Applications. Taipei: IEEE Press, 2004, 1: 195-198.
- [4] 高宪文, 刘浩, 赵亚平. 模糊复合控制方法在焦炉控制系统中的应用研究[J]. 控制与决策, 2005, 20(4): 434-438.
(Gao X W, Liu H, Zhao Y P. Application and research of the fuzzy compound control method in coke oven control system[J]. Control and Decision, 2005, 20(4): 434-438.)
- [5] 雷琪. 焦炉加热燃烧过程的智能集成优化控制策略及其应用研究[D]. 长沙: 中南大学, 2007.
(Lei Q. Intelligent optimization control technique and its application for the combustion process in coke oven[D]. Changsha: Central South University, 2007.)
- [6] Li G F, Kong J Y, Jiang G Z. Research and application on hybrid intelligent control for coke oven heating process [C]. Proc of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation. Piscataway: IEEE Press, 2008: 4357-4360.
- [7] 刘思峰. 灰色系统理论的产生与发展[J]. 南京航空航天大学学报, 2004, 36(2): 267-272.
(Liu S F. Emergence and development of grey system theory and its forward trends [J]. J of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2004, 36(2): 267-272.)
- [8] 刘红军, 韩璞, 王东风, 等. 灰色预测模糊 PID 控制在汽温控制系统中的应用[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(8): 1839-1841.
(Liu H J, Han P, Wang D F, et al. Fuzzy PID control with grey prediction and its application in temperature control system[J]. J of System Simulation, 2004, 16(8): 1839-1841.)
- [9] 李洪兴. 模糊控制器与 PID 调解器的关系[J]. 中国科学(E 辑), 1999, 29(2): 136-145.
(Li H X. The relationship between fuzzy control and PID control[J]. Science in China(Series E), 1999, 29(2): 136-145.)
- [10] 龙升照, 汪培庄. Fuzzy 模糊控制的自调整问题[J]. 模糊数学, 1982, 2(3): 105-112.
(Long S Z, Wang P Z. The self-tuning problem of fuzzy control[J]. Fuzzy Mathematics, 1982, 2(3): 105-112.)
- [11] 李可夫, 吴敏, 雷琪. 炼焦生产全流程优化控制实验平台设计与开发[J]. 计算技术与自动化, 2008, 27(4): 48-53.
(Li K F, Wu M, Lei Q. Design on simulation platform aimed to the intelligent integrated optimizing control for whole coking process[J]. Computing Technology and Automation, 2008, 27(4): 48-53.)
- [12] 刘永霞. 具有不确定性的焦炉火道温度控制方法研究与应用[D]. 长沙: 中南大学, 2007.
(Liu Y X. The flue temperature control method for coke oven with uncertainty and its applications[D]. Changsha: Central South University, 2007.)
- [13] 王伟, 吴敏, 雷琪, 等. 炼焦生产过程质量产量能耗的集成优化控制[J]. 化工学报, 2008, 59(7): 1749-1754.
(Wang W, Wu M, Lei Q, et al. Integrated optimal control of coke quality, coke yield and energy consumption for coking process [J]. J of Chemical Industry and Engineering, 2008, 59(7): 1749-1754.)