

试验研究

模糊史密斯控制在冶金加热系统中的应用

行耿顺¹, 要趁红²

(1 西安市建设工程质量安全监督站, 陕西 西安 710061; 2 西安建筑科技大学 信息与控制工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要:通过理论分析、计算机仿真及实际应用相结合的方法, 针对冶金加热系统中温度控制的非线性、不确定性和实时性要求等问题进行了研究。首先, 通过对温度控制问题进行理论分析, 全面系统地归纳了温度控制的特点及其重要性。其次, 采用史密斯模糊控制方案, 对温度控制系统进行动态设定仿真。仿真研究表明, 提出的算法对于具有遗传性的扰动有很好的抑制作用, 同时也解决了控制系统中稳定性与功能性的矛盾, 增强了系统的鲁棒性。史密斯模糊控制系统结构简单, 易于实现, 具有良好的抗干扰性, 其控制策略达到了较高的工艺水平。

关键词:温度控制; 史密斯预估; 模糊控制

中图分类号: TP273.4

文献标识码: A

文章编号: 1004-4620(2011)06-0038-03

1 引言

温度是冶金加热系统中常见的工艺参数之一, 任何物理变化和化学反应过程都与温度密切相关, 因此温度控制是冶金生产自动化的重要任务。但是由于温度控制的滞后性, 严重影响了冶金加热过程中温度控制的精确性, 同时也影响到了工业生产的质量。鉴于温度在冶金加热系统中的重要性, 有必要研究冶金加热领域对温度的控制方法。冶金加热过程是一个大惯性、大滞后、大时间常数的非线性、遗传性的复杂工业控制对象, 很难获得精确的数学模型或仅能得到非常粗糙的工业控制系统数学模型^[1-2]。利用传统的控制理论方法, 很难精确地控制其温度的变化。为此, 作者提出一种新的控制方式——史密斯预估模糊控制。

2 史密斯(Smith)控制算法

在工业过程控制中, 许多被控对象具有纯滞后的性质。史密斯(Smith)提出了一种纯滞后补偿模型, 其原理为与PID控制器并接一个补偿环节, 该补偿环节称为史密斯(Smith)预估器^[3]。

史密斯(Smith)提出采用人造模型的方法, 构造如图1所示的控制系统。

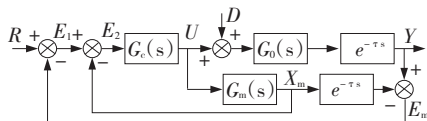


图1 史密斯(Smith)预估控制系统

如果模型是精确的, 即 $G_0(s) = G_m(s)$, $\tau = \tau_m$, 且不存在负荷扰动 ($D=0$), 则 $Y = Y_m$, $E_m = Y - Y_m = 0$, $X = X_m$, 则

收稿日期: 2011-09-29

作者简介: 行耿顺, 男, 1982年生, 2008年毕业于西安建筑科技大学控制理论与控制工程专业, 硕士。现为西安市建设工程质量安全监督站电气工程师, 从事电气工程技术工作。

可以用 X_m 代替 X 作第1条反馈回路, 实现将纯延迟环节移到控制回路的外面。空是模型是不精确的或是出现负荷扰动, 则 X 就不等于 X_m , $E_m = Y - Y_m \neq 0$, 控制精度也就不能令人满意。为此, 采用第2条反馈回路, 即史密斯(Smith)预估器控制策略。

实际上预估模型不是并联在过程中, 而是反向并联在控制器上。因此, 将图1变换得到史密斯(Smith)预估控制系统等效图, 如图2所示。

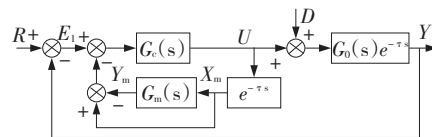


图2 史密斯(Smith)预估控制系统等效控制

显然, 史密斯(Smith)控制方法的前提是必须确切地知道被控对象的数学模拟型, 在此基础上才能建立精确的预估模型。

3 模糊控制(Fuzzy Control)算法

模糊控制是以模糊集合论、模糊语言变量及模糊逻辑推理为基础的计算机智能控制。模糊控制的基本原理如图3所示^[4], 其核心部分为模糊控制器, 如图中点划线框中所示, 模糊控制器的控制规律由计算机的程序实现。实现一步模糊控制算法的过程描述如下: 微机经中断采样获取被控量的精确值, 然后将此量与给定值比较得到误差信号 E , 一般选误差信号 E 作为模糊控制器的一个输入量。把 E 的精确量进行模糊化变成模糊量。 E 的模糊量可用相应的模糊语言表示, 得到 E 的模糊语言集合的一个子集 \tilde{e} (\tilde{e} 是一个模糊矢量), 再由 \tilde{e} 和模糊控制规则 \tilde{R} (模糊算子), 根据推理的合成规则进行模糊决策, 得到模糊控制量 (\tilde{u}): $\tilde{u} = \tilde{e} \cdot \tilde{R}$ 。

模糊控制系统与通常的计算机数字控制系统的主要差别是采用了模糊控制器。模糊控制器是

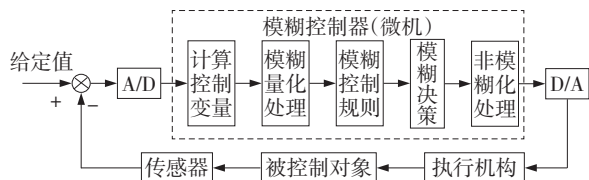


图3 模糊控制的基本原理框图

模糊控制系统的核心,一个模糊控制系统的性能优劣主要取决于模糊控制器的结构,所以采用的模糊规则、合成推理算法以及模糊决策的方法等因素对模糊控制系统的性能起着关键作用。

模糊控制器(Fuzzy Controller, FC)也称为模糊逻辑控制器(Fuzzy Logic Controller, FLC),由于所采用的模糊控制规则是由模糊理论中的模糊条件语句描述的,因此模糊控制器是一种语言型控制器,故也称为模糊语言控制器(Fuzzy Language Controller, FLC)。模糊控制器组成如图4所示。

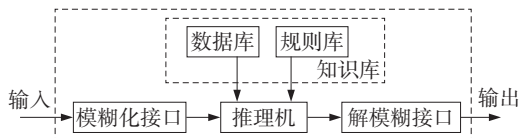


图4 模糊控制器的组成框图

4 带有预估器的模糊控制器系统建立

温度过程控制系统具有纯滞后和遗传等特性,由于建立了粗糙模型,因此对于要求控制对象具有精确模型的传统史密斯(Smith)预估控制方法来说,不能对本系统进行有效的控制。本温度控制系统采用粗糙模型,建立一个参考预估模型,然后进行预估控制就能取得良好的控制效果^[5]。根据温度控制系统的粗糙模型,可确定其预估模型为:

$$G(s) = \frac{K}{T_0s + 1},$$

其中: K 为被控制对象的放大系数,可由试验得出; T_0 为预估模型的时间常数,取被控制对象模型时间常数 T 的 $1/3 \sim 1/4$,则预估模型为:

$$G(s) = \frac{K}{\frac{T}{3 \sim 4}s + 1}.$$

基于模糊控制器的预估控制系统见图5。

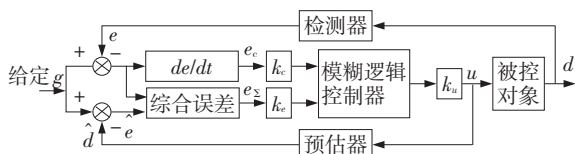


图5 基于模糊控制器的预估控制系统框图

由图5可以看出,与通常的模糊控制系统相比,带有预估的模糊控制系统增加的误差综合环节以及参数预估模型环节,模糊控制器的输入为综合误差 e_s 及实际误差变化率 e_c ,模糊控制器的输出为控

制量 u 。 u 一路送往被控制对象,另一路送往预估模型,被控制对象的输出经检测器检测与给定值比较,计算出系统实际误差 e (=给定值-测量值);预估模型的输出 \hat{d} 为被控参数的预估值, \hat{d} 与给定值比较,计算出预估误差 \hat{e} (=给定值-预估值),实际误差 e 和预估误差 \hat{e} 同时送往误差综合环节,该环节计算出模糊控制器的输入之一综合误差 e_s :

$$e_s = (1-\alpha) \times e + \alpha \hat{e},$$

式中 α 为误差权系数,取值为 $[0, 1]$ 。由上式可以看出,权系数 α 的值越大,综合误差 e_s 中预估误差所占的比例越大,即预估数据在控制系统中所起的作用越大。

模糊控制器的输出采用两步骤设计:1)首先按模糊推理计算出控制量的增量 Δu , Δu 的论域设定为 $[-10, 10]$;2)为了消除系统的静态误差,设计控制量 u 为控制量 Δu 的积分环节:

$$u(k) = u(k-1) + k_u \cdot \Delta u.$$

其中 k_u 为积分系数。

5 对模糊-预估控制系统的仿真

系统仿真是在MATLAB语言环境下进行的。在仿真过程中, α 取为0.3,图6表示了预估模糊控制系统的仿真输出曲线。

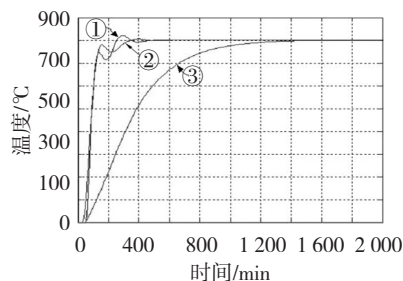


图6 系统仿真输出曲线

仿真时,通过计算得出了模糊控制器的各参数,并固定各参数,只变动被控制对象的传递函数:①被控制对象的传递函数为带纯滞后的二阶环节:

$$G(s) = \frac{10}{900s^2 + 30s + 1} e^{-30s},$$

时间常数 $T=30$ s,滞后时间为 $\tau=30$ s;②被控制对象的传递函数为:

$$G(s) = \frac{10}{400s^2 + 20s + 1} e^{-50s},$$

时间常数为 $T=20$ s,滞后时间为 $\tau=50$ s, $\tau/T=2.5$,为大的滞后被控制对象;③被控制对象为具有滞后的一阶环节:

$$G(s) = \frac{10}{400s + 1} e^{-50s},$$

时间常数为 $T=400$ s,滞后时间为 $\tau=50$ s。

由图6,为阶跃输入时,可以看出在①、②、③3

种不同情况下的系统输出响应曲线。在预估模型不变、模糊控制器参数不变的情况下,尽管控制对象参数有了大的变化,但是系统的输出仍然能够取得比较满意的效果。值得注意的是,系统的输出过渡平稳,有效地克服了被控对象滞后的不利影响。

6 结 论

在温度加热这样被控对象变化比较大的控制系统中,运用带有预估器的模糊控制方式可以很好地满足系统的设计要求,并且不会因被控对象有变化而重新改变控制参数。对于带有预估器的模糊控制系统,非常适合运用在这种不能精确地描述被控对象模型,只能得到近似或大概模型的系统。仿

真结果表明,史密斯模糊控制系统结构简单,易于实现,其控制策略达到了较高的工艺水平要求,具有良好的鲁棒性和抗干扰性。

参考文献:

- [1] 仪怀亮.模糊控制器在电炉温度控制系统中的应用[J].机械工程与自动化,2006(6):111-114.
- [2] 尹明,董振银,宋利君.模糊PID在电炉温度控制中的应用[J].齐齐哈尔大学学报,2003,19(2):33-35.
- [3] 郑荣,黎建锋,行耿顺,等.预估模糊控制在温度控制中的应用[J].工业控制与应用,2007,26(6):35-38.
- [4] 诸静.模糊控制原理与应用[M].北京:机械工业出版社,2005.
- [5] 于军琪,席爱民,傅景海.模糊自适应学习控制(FALCON)在磨矿分级系统中的应用[J].西安建筑科技大学学报,2000,32(2):175-178.

Application of Metallurgy Heating System Based on Fuzzy-Smith Control

XING Geng-shun¹, YAO Chen-hong²

(1 Xi'an Construction Quality and Safety Supervision Station, Xi'an 710061, China;

2 Information and Control Engineering School, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: The article studies the non-linearity, uncertainty and real-time requirements of temperature control in metallurgy heating system, with the combination of theoretical research, computer simulation and realistic application. Through the theoretical analysis of temperature control, characteristics and importance of temperature control are summarized comprehensively and systematically. And then, Smith predictive and fuzzy control method is raised and applied in temperature control. The article adopts this method and makes dynamic setting simulation. The simulation results show that the control strategy proposed in this paper is not only very effective in the elimination of some genetic disturbances, but also solves the contradictions of stability and functionality and enhances the robustness of the system. Fuzzy-Smith control system is simple and easy to implement, the control strategy of which reaches a higher technological level and has good robustness and anti-interference.

Key words: temperature control; Smith predictive; fuzzy control

(上接第37页)

4.3 增大冷轧压下量,配合连续退火工艺,可使贝氏体基体的TRIP钢具有优良的综合力学性能:抗拉强度1 030 MPa,强塑积达到22 660 MPa·%。

参考文献:

- [1] Lee C G, Kim S J, Lee T H, et al. Effects of Volume Fraction and Stability of Retained Austenite on Formability in a 0.1C-1.5Si-1.5Mn-0.5Cu TRIP-aided Cold-rolled Steel Sheet [J]. Materials Science and Engineering A, 2004, 371: 16-23.
- [2] Shi W, Li L, Yang C X, et al. Strain-induced Transformation of Retained Austenite in Low-carbon Low-silicon TRIP Steel con-

taining Aluminum and Vanadium [J]. Materials Science and Engineering A, 2006, 429: 247-251.

- [3] Sugimoto K I, Nakano K, Song S M, et al. Retained Austenite Characteristics and Stretch-flangeability of High-strength Low-alloy TRIP Type Bainitic Sheet Steels [J]. ISIJ International, 2002, 42(4): 450-455.
- [4] Jimenez M E, Dijk N H, Zhao L, et al. The Effect of Aluminium and Phosphorus on the Stability of Individual Austenite Grains in TRIP Steels [J]. Acta Materialia, 2009, 57: 533-543.
- [5] Petrov R, Kestens L, Houbaert Y. Recrystallization of a Cold Rolled Trip-assisted Steel during Reheating for Intercritical Annealing [J]. ISIJ International, 2001, 41(8): 883-890.

Study on the Microstructure and Mechanical Properties of New Ultra High-strength TRIP Steel

WANG Ye-qin

(The Production Department of Laiwu Iron and Steel Co., Ltd., Laiwu 271104, China)

Abstract: By increasing the cold rolling reduction and reasonable continuous annealing process, a new ultra high-strength TRIP steel with bainitic ferrite matrix, mach stable residual austenite and suitable for hot-dip galvanizing was developed. The silicon content in the steel was reduced to 0.28%. The addition of phosphorus by 0.08% made up the strength loss caused by the silicon decrease, at the same time, arrested the cementite separation and made room temperature microstructure have lumpy or lamellar residual austenite of 17.6%. The addition of micro-alloying element vanadium strengthened further the matrix. The tested steel had excellent mechanical properties: tensile strength 1 030 MPa and the product of strength and plasticity 22 660 MPa·%.

Key words: TRIP steel; bainitic matrix; continuous annealing; microstructure; mechanical properties