



自整定智能控制器及其应用

牛培峰

(东北电力学院能源工程设计研究所 吉林 132012)

摘 要

根据循环流化床锅炉床温对象的动态特性,提出了一种自整定智能控制器。该控制器从对人宏观结构模拟和行为功能模拟的观点出发,通过特征辨识、直觉推理给出了多模态控制策略。将该控制器应用于国产75t/h循环流化床锅炉床温系统获得满意效果。

关键词: 智能控制,特征模型,多模态控制,流化床锅炉。

1 引言

近几十年来,过程控制理论的研究已取得了显著的进展,但其主要是从研究被控过程的特性为着眼点,因此对过程控制实践的影响不大^[1]。

通过对人(控制专家)的宏观控制结构和控制行为功能的研究,文献[2]提出了一种新的仿人智能控制(SHIC)理论。本文在文献[2]的基础上,提出了具有二级一阶产生式系统的自整定仿人智能控制器,并将其应用于国产75t/h循环流化床锅炉床温控制系统。

2 循环流化床锅炉简介

循环流化床作为煤的清洁高效燃烧技术,正日益受到人们越来越大的重视。循环流化床锅炉不仅能实现低温高效燃烧各种劣质燃料,而且还能实现炉内脱硫及较低的SO₂和NO_x排放量满足环境保护的要求。目前世界各国均在致力于循环流化床锅炉的开发研究,我国在“六五”期间已经开始循环流化床燃烧技术的研究。“八五”期间的重点攻关项目之一是完善220t/h循环流化床锅炉及75t/h循环流化床锅炉的研制工作。其中包括提高锅炉热工控制系统的自动化水平,特别是床温系统一定要实现自动控制,以确保锅炉机组的安全连续运行。

3 循环流化床锅炉床温对象动态特性

循环流化床锅炉的床温一般要求控制在 850°C 左右, 因为这是实现炉内脱硫的最佳温度。

当给煤量作阶跃扰动时, 根据现场辨识情况得到床温对象的动态特性为

$$G(s) = \frac{(1 - bS) \cdot K}{(1 + aS)^2} e^{-\tau s}. \quad (1)$$

从上式中可以看出, 床温对象是一个含有纯滞后的非最小相位惯性系统。现场辨识表明, 当锅炉负荷在 25—80% 范围内变化时, 上式各参数的变化范围是: K 为 10—6, a 为 200—130s, τ 为 60—40s, b 值在 12s 左右, 基本保持不变。由此可知, 床温对象还是一个变参数系统。

4 自整定仿人智能控制器

根据床温被控对象的动态特性, 本文提出了二级一阶产生式系统的自整定仿人智能控制器。

4.1 运行控制级 MC 的特征模型与控制模态集

1) 特征模型

特征模型为全体特征状态的集合。这里选取如下特征状态:

$$\left\{ \begin{array}{l} \phi_1 = [|e| > M_1], \\ \phi_2 = [(e \cdot \dot{e} > 0) \cap (|e| \geq M_2)], \\ \phi_3 = [(\dot{e} = 0) \cap (e \neq 0) \cap (|e| < M_2)], \\ \phi_4 = [(e \cdot \dot{e} < 0) \cap (\dot{e} \cdot \dot{e}_{-1} > 0)], \\ \phi_5 = [e = 0], \\ \phi_6 = [(e \cdot \dot{e} < 0) \cap (|e| \geq M_2)], \\ \phi_7 = [(\dot{e} \cdot \dot{e}_{-1} < 0) \cap (|e| < M_2)]. \end{array} \right. \quad (2)$$

其中 M_1 和 M_2 均为阈值, e 为当前误差, \dot{e} 为当前误差对时间的微分, \dot{e}_{-1} 为前一个周期误差对时间的微分。

特征状态确定后, 则特征模型可表示为

$$\Phi = \{\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4, \phi_5, \phi_6, \phi_7\}^T. \quad (3)$$

特征模型还可以用下式表示:

$$\Phi = P \odot Q, \quad (4)$$

其中 P 为模型关系矩阵, $P = [p_{ij}]_{n \times m}$, p_{ij} 可取 $-1, 0, +1$ 三个值, 分别表示取反、取零和取正; Q 为 m 维特征基元向量; 符号 \odot 表示一种“与”的矩阵相乘关系。例如: $\phi_i = [(p_{i1} \cdot q_1) \cap (p_{i2} \cdot q_2) \cap \dots \cap (p_{im} \cdot q_m)]$, 当除 $p_{i1} = 1, p_{i2} = -1$ 之外 P 的第 i 行元素全为零时, $\phi_i = [(e \cdot \dot{e} \geq 0) \cap (\dot{e} \cdot \dot{e}_{-1} \leq \alpha)](q_1: e \cdot \dot{e} \geq 0; q_2: \dot{e} \cdot \dot{e}_{-1} > \alpha)$ 。

根据式(2)可得特征基元向量为

$$Q = [q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6]^T, \quad (5)$$

式中

$$\begin{aligned} q_1: |e| > M_1, \quad q_2: e \cdot \dot{e} > 0, \quad q_3: |e| \geq M_2, \\ q_4: \dot{e} = 0, \quad q_5: e \neq 0, \quad q_6: \dot{e} \cdot \dot{e}_{-1} > 0. \end{aligned}$$

由式(2),(5)可确定模型关系矩阵为

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

2) 控制模态集

控制模态集 Ψ 表示为

$$\Psi: U = L \cdot M, \quad (7)$$

式中 U 为输出向量, L 为输出关系矩阵, M 为模态基元向量。 M 和 L 可分别表示如下:

$$M = [m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6, m_7]^T, \quad (8)$$

$$L = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

在式(8)中, $m_1: \pm u_{\max}$; $m_2: u_H$, 为控制输出保持值, 即前一个控制周期的控制输出值; $m_3: K_1 K_p e$, K_1 为增益放大系数, K_p 为比例增益; $m_4: K_p e$; $m_5: K_1 K_2 K_p e_{mi}$, K_2 为抑制系数, e_{mi} 为第 i 次误差极值; $m_6: K_2 K_p e_{mi}$; $m_7: K' \dot{e}$, K' 为微分增益。

式(7)所表明的系统的各种模态是根据式(3)特征模型的特征状态所划分的, 一种特征状态对应一种控制模态, ϕ_i 对应 ψ_i 。 如果 $\phi_3 = [(e = 0) \cap (e \neq 0) \cap (|e| < M_2)]$, 则 $\psi_3: u_3 = u_H + K_p e - K \dot{e}$, ($\Psi = [\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_7]^T, U = [u_1, u_2, \dots, u_7]^T$), 特征模型 Φ 所包含的各种特征状态将式(7)的各种控制模态划分, 同时也将其联接成整体。 这类控制器的特征模型中必须具有表征系统达到稳定的特征状态, 控制模态集中必须具有控制输出保持值这一控制模态与之对应, 是这类控制系统不在多模态间来往振荡的必要条件, 而且避免产生在多模态间来往振荡是这类控制系统必须解决的问题。

4.2 参数校正级 ST 的特征模型与控制模态集

1) ST 的特征模型

$$\tilde{\Phi} = \tilde{P} \odot \tilde{Q} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \odot \begin{bmatrix} \tilde{q}_1 \\ \tilde{q}_2 \\ \tilde{q}_3 \\ \tilde{q}_4 \\ \tilde{q}_5 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

式中 $\tilde{q}_1: e_{mi} \cdot e_{mi+1} > 0$; $\tilde{q}_2: |e_{mi}/e_{mi+1}| > c + 1$; $\tilde{q}_3: |\dot{e}| \geq \alpha_1$; $\tilde{q}_4: |\dot{e}| \geq \alpha_2$; $\tilde{q}_5: |\dot{e}| < \alpha_3$; α_1, α_2 及 α_3 均为阈值, c 为衰减系数。

2) ST 的控制模态集

$$\tilde{\Psi}: \begin{bmatrix} K_p \\ K_p \\ K_p \\ T \\ T \\ T \end{bmatrix} = \tilde{L} \cdot \tilde{M} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{m}_1 \\ \tilde{m}_2 \\ \tilde{m}_3 \\ \tilde{m}_4 \\ \tilde{m}_5 \\ \tilde{m}_6 \end{bmatrix}, \quad (11)$$

其中 $\tilde{m}_1: K_p, \tilde{m}_2: e_{mi+1}/K_2 K_0 e_{mi}, \tilde{m}_3: c K_p |e_{mi}/e_{mi+1}|, \tilde{m}_4: T_1, \tilde{m}_5: T_2, \tilde{m}_6: T_3, K_0$ 为被控对象平均增益, T_1, T_2 和 T_3 为控制周期的专家推荐经验值, T 为控制周期(上、下两次控制输出的间隔时间)。

式(10)和式(11)协调工作,式(10)根据系统的动态特征及动态行为,从式(11)中选取最佳校正参数,然后供给式(7)使用。这里只对比例增益 K_p 及控制周期 T 进行参数整定,其它参数均为人为设定。

5 自整定智能控制循环流化床锅炉床温系统

循环流化床锅炉具有大范围变动负荷的能力,因此经常担负电网负荷和热网负荷的调峰任务,使得锅炉频繁受到外界负荷变化的影响,给实现锅炉床温系统的自动控制带来困难。

将床温和给煤机转速作为床温控制系统的输出 $y(t)$ 和输入 $u(t)$, 首先采用常规 PID 控制器(采样周期为 50s)来控制床温,锅炉负荷稳定时,床温波动较小,能够接近给

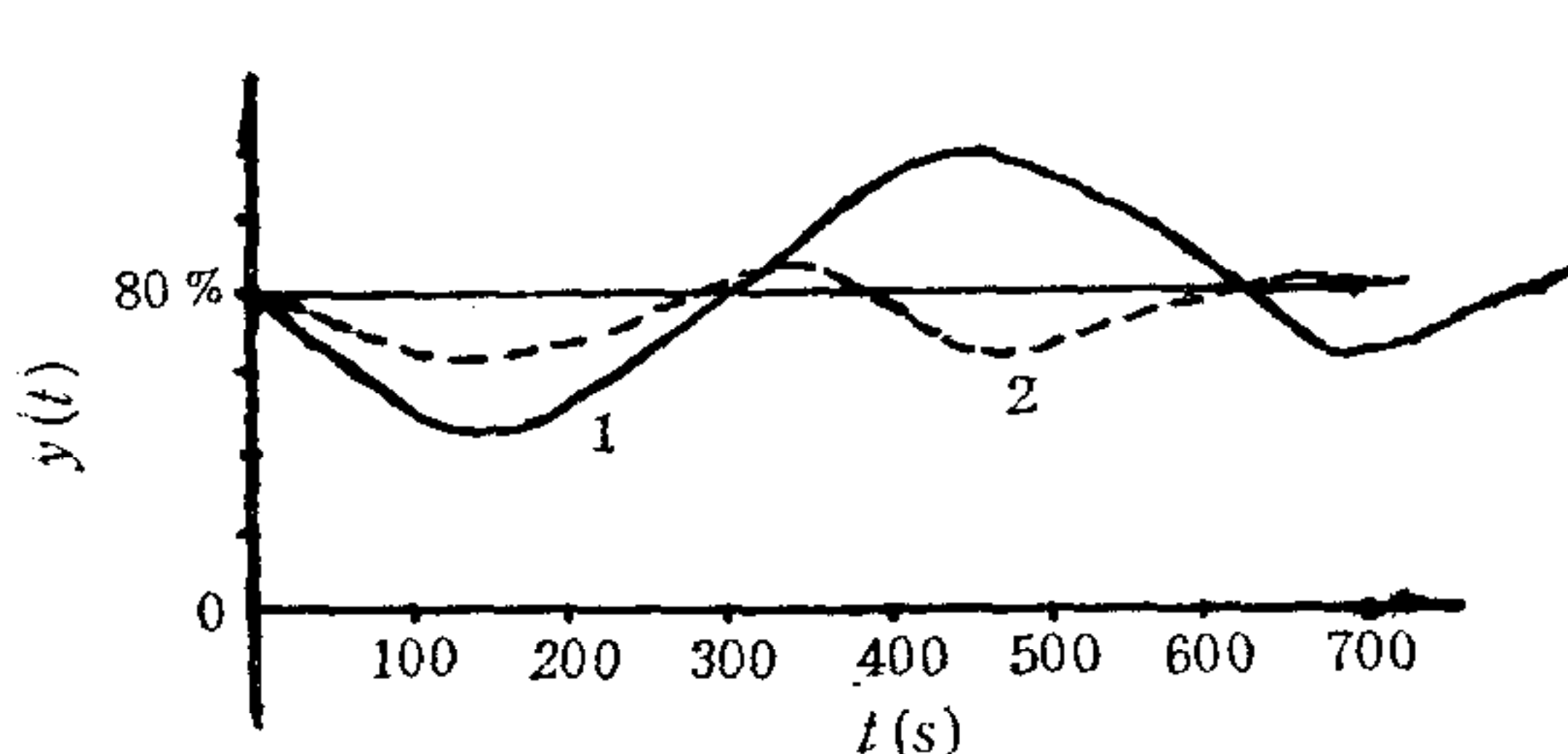


图1 变负荷时采用PID控制器的床温变化曲线

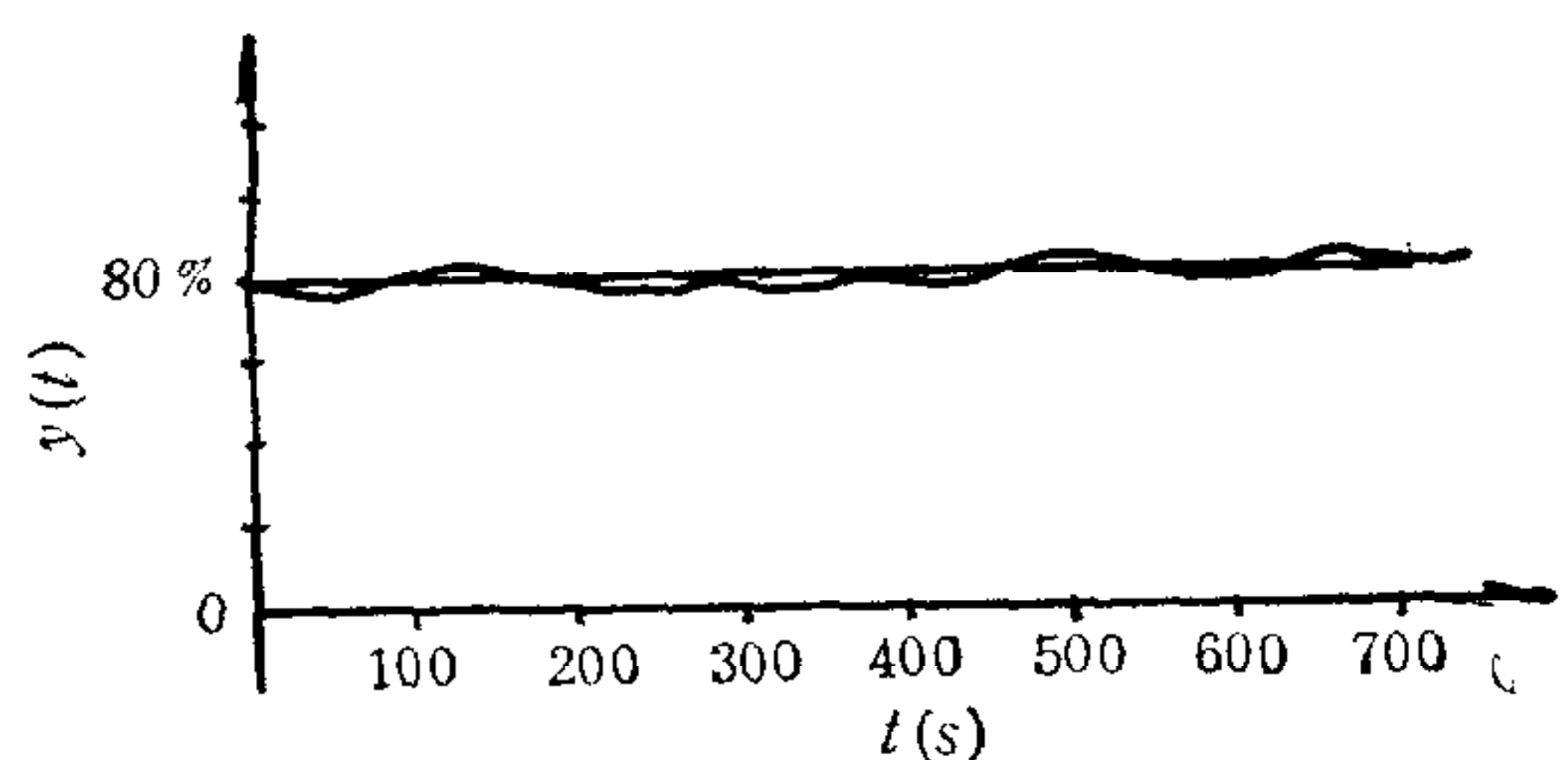


图2 变负荷时采用自整定智能控制器的床温变化曲线

定值。当锅炉负荷频繁变化时(从 25% 逐渐变到 80%, 然后再变回到 25%), 床温波动较大, 甚至最大波动值已达到给定值的 50%。图 1 为采用 PID 控制器时的床温变化曲线, 其中曲线 1 为采用常规 PID 控制器时的床温变化曲线, 曲线 2 为采用自整定(临界比例度法) PID 控制器时的床温变化曲线。采用自整定智能控制器, 实时控制结果如图 2 所示, 虽然锅炉负荷变化频繁, 但是本文的智能控制器有效地克服了锅炉负荷变化对床温的影响, 使床温保持在所要求的范围内。比较图 1 和图 2 可知, 自整定智能控制器优于自整定 PID 控制器。

参 考 文 献

- [1] Åström K J, et al., Expert control. *Automatica*, 1986, 22:277—286.
- [2] 李祖枢, 徐鸣, 周其镒. 一种新型的仿人智能控制器. *自动化学报*, 1990, 16(6): 503—509.

SELF-TUNING INTELLIGENT CONTROLLER AND ITS APPLICATION

NIU PEIFENG

(Energy Engineering Design and Research Section Northeast
Institute of Electric Power Jilin 132012)

ABSTRACT

Based on CFBB dynamic performance, a self-tuning simulating of intelligent controller is presented in this paper. By simulating human macroscopic structure and behavior function, i.e., characteristic identification and intuitive inference, this controller presents a multi-mode control tactics. This controller has been applied to 75t/h CFBB bed temperature system. The results are satisfactory.

Key words: Intelligent control, characteristic model, multimode control, fluidized bed boiler.