

文章编号: 1001-0920(2006)01-0046-05

## 活套高度和张力系统的神经网络自适应解耦控制

李伯群, 张克君, 傅剑, 孙一康  
(北京科技大学 信息工程学院, 北京 100083)

**摘要:** 通过对活套系统动态耦合过程的分析, 在工作点附近, 以实际热轧现场数据为依据, 建立控制对象的动态数学模型, 提出了BP-RBF神经网络自适应控制策略以减弱系统的耦合影响, 证明了所设计的控制器能确保闭环系统渐近稳定。最后的仿真结果验证了本算法的有效性, 表明解耦后的活套控制系统可获得更好的控制效果。

**关键词:** 活套系统; 建模; 解耦; 渐近稳定性

**中图分类号:** TP273 **文献标识码:** A

## Adaptive Neural Network Decoupling Control for the Loopers' Height and Tension System

LI Bo-qun, ZHANG Ke-jun, FU Jian, SUN Yi-kang

(Information Engineering College, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China  
Correspondent: LI Bo-qun, E-mail: lbqhylyxab@163.com)

**Abstract:** By using practical data and analyzing the coupling process of the looper system, a dynamic mathematical model of the controlled object is given. The control strategy based on BP-RBF is introduced to complete decoupling control of the loopers' height and tension system. The controller designed guarantees the asymptotic stability of the closed-loop system. Simulation results show the effectiveness of this algorithm.

**Key words:** Looper system; Building model; Decoupling; Asymptotic stability

### 1 引言

恒定活套量和小张力轧制是现代热连轧机精轧机组的一个基本特点。在轧制过程中, 由于主传动总是存在着动态咬钢速降, 在稳定轧制阶段又总是存在着各种外部干扰, 因而不可能始终保持各机架之间的速度配比关系。设置活套器机构的主要目的, 就在于检测到这些偏差, 检测得机架之间轧件的活套量进而吸收这些活套量, 使得生产正常稳定。活套装置进行活套量控制, 即活套高度控制的同时, 还将进行恒定小张力控制<sup>[1]</sup>, 以避免拉钢、堆钢现象。

传统的活套控制是通过调整上游机架轧辊速度使活套高度维持在设定值附近, 通过控制活套电机力矩使机架间张力恒定。在这种控制策略中, 活套高度控制与张力控制是完全独立进行的, 没有考虑

二者之间存在的耦合关系<sup>[2]</sup>。而实际情况是活套高度变化时, 机架间张力也发生变化, 反之亦然。即活套高度与张力系统是一个典型的双输入/双输出耦合系统。此外, 活套控制系统还与其他控制系统(如AGC系统、机架间的喷水系统)之间存在着相互作用, 使得活套的控制比较复杂<sup>[3]</sup>。到目前为止, 已发展了多种活套控制方式, 如NIC(无相互作用控制)和模糊控制等。本文提出了一种新的控制方式, 仿真结果证明了其有效性。

### 2 系统动态分析

活套机构如图1所示。在轧制规程下, 对F3和F4机架间活套系统进行动态分析。实际活套系统的检测信号为 $\delta Q$ , 其控制目标为: 1) 保持套高不变; 2) 张力波动尽可能小。控制律为: 1) 主速度 $\delta v_1$ 、 $\delta v_{03}$ ;

收稿日期: 2004-12-07; 修回日期: 2005-05-10

基金项目: 国家经贸委“九五”攻关项目(97-316-02-02)。

作者简介: 李伯群(1970—), 男, 辽宁鞍山人, 博士生, 从事轧钢自动化、智能解耦等研究; 孙一康(1932—), 男, 北京人, 教授, 博士生导师, 从事复杂过程计算机轧钢自动化、工业过程的先进控制技术等研究。

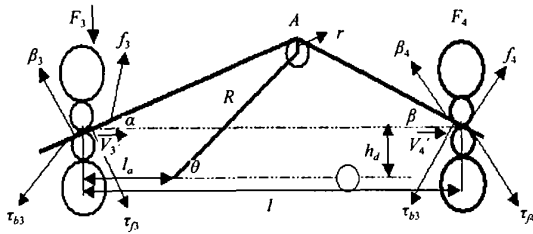


图 1 活套机构参数示意图

2) 活套电机力矩  $\delta M$ 。这里  $B, Q, R_1, H_0, h_7, FT_0, FC$  分别为轧件设定宽度、钢种号、轧辊半径、精轧入口厚度、出口厚度、入口温度、出口温度, 分别取为  $B = 1\ 200\text{ mm}, Q = 235, R_1 = 380\text{ mm}, H_0 = 32\text{ mm}, h_7 = 2\ 0\text{ mm}, FT_0 = 1\ 020, FC = 870$ 。  $r, h_d, \theta$  分别为活套辊半径、活套臂交点离轧制线的距离和活套臂升角;  $f_3, \beta_3, \tau_3, \tau_{b3}$  为  $F_3$  的前后滑、前后张应力;  $l, l_a$  为机架间的距离、活套器支点与  $F_3$  的距离

对于  $F_3$  机架, 如来料厚度波动或硬度波动, AGC 需给出  $\delta_3$  的辊缝调节量送入 APC 以消除厚度。这里只考虑  $F_3$  压下,  $F_4$  不动作时对系统的分析。由于前滑是来料入口厚度、出口厚度、前后张应力的函数, 当有  $\delta_3$  压下时, 通过前滑  $f_3$  影响轧件出口速度, 形成套量。控制系统根据检测到的  $\delta\theta$  一方面给出控制率去调整上游机架的轧辊速度以保持套量不变; 另一方面给出活套电机电流以维持恒定小张力轧制<sup>[4,5]</sup>。在活套臂摆动的过程中, 存在角加速度而形成的动力矩。此动力矩大小与活套系统转动惯量成正比, 其使得张力矩发生变化, 进而影响张力, 张力的变化又通过后滑  $\beta_4$  形成  $\delta v_4$ , 影响着套量。

### 3 活套系统建模

#### 3.1 活套张力系统建模

张力增量方程为

$$\frac{d\Delta\tau_3}{dt} = \frac{E}{l} (\Delta V_4 - \Delta V_3), \quad (1)$$

$$V_3 = V_{03} (1 + f_3), \quad (2)$$

$$V_4 = V_{04} (1 - \beta_4). \quad (3)$$

其中:  $V_{03}$  和  $V_{04}$  为  $F_3$  和  $F_4$  机架轧辊线速度,  $E$  为弹性模量,  $V_3$  和  $V_4$  为轧件的出口和入口速度。由于  $F_4$  机架 AGC 无压下, 主速度不调节, 即轧辊速度不变。由式(1)可得

$$\frac{d\Delta\tau_3}{dt} = \frac{E}{l} \left[ -\frac{\partial V_4}{\partial \tau_3} \Delta\tau_3 - \Delta V_{03} (1 + f_3) - V_{03} \frac{\partial f_3}{\partial \tau_3} \Delta\tau_3 \right] \quad (4)$$

对式(4)取拉氏变换得

$$s\Delta\tau_3(s) = -\frac{E}{l} V_{04} \frac{\partial \beta_4}{\partial \tau_4} \Delta\tau_3(s) -$$

$$\frac{E}{l} \Delta V_{03}(s) (1 + f_3) - \frac{E}{l} V_{03} \frac{\partial f_3}{\partial \tau_3} \Delta\tau_3(s). \quad (5)$$

套量的增量方程为

$$\Delta L_{\text{loop}} = (\Delta V_4 - \Delta V_3) dt \quad (6)$$

由式(1)和式(6)得

$$\Delta\tau_3 = \frac{E}{l} \Delta L_{\text{loop}} = \frac{E}{l} \frac{dL_{\text{loop}}}{d\theta} \Delta\theta \quad (7)$$

取拉氏变换有

$$\Delta\tau_3(s) = \frac{E}{l} \frac{dL_{\text{loop}}}{d\theta} \Delta\theta(s). \quad (8)$$

#### 3.2 活套高度系统建模

由于活套臂的动作, 产生了角加速度, 即当活套处于动作过程中, 除了承受张力矩  $M_T$  和重力矩  $M_w$  外, 活套电机实际上还将承受一个动力矩。该动力矩打破了原有的平衡关系, 使张力矩发生变化。由于实际的活套机构有减速装置, 传动比为  $G_R$ , 电机转速为  $n$ , 则整个活套电机输出力矩为

$$M = \frac{1}{G_R} (M_T + M_w) + M_D, \quad M_D = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \quad (9)$$

忽视重力矩, 其增量形式为

$$\Delta M = \frac{1}{G_R} (\Delta M_T + \Delta M_w) + \Delta M_D = \frac{1}{G_R} \Delta M_T + \frac{GD^2}{375} \frac{d\Delta n}{dt} \quad (10)$$

在量纲单位选为 MPa, 度和  $N \cdot m$  下有

$$\frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{\pi}{180} \frac{d^2\Delta\theta}{dt^2} = \frac{2\pi}{60} \frac{1}{G_R} \frac{d\Delta n}{dt}, \quad \omega = 2\pi n / 60 \quad (11)$$

$$\text{令 } J = \frac{60 * GD^2}{375 * 2\pi}$$

有

$$\frac{d^2\Delta\theta}{dt^2} = \Delta M - \frac{1}{G_R} \Delta M_T - \frac{1}{G_R} \frac{1}{J} \frac{180}{\pi} = \left( \Delta M - \frac{1}{G_R} \frac{\partial M_T}{\partial \theta} \Delta\theta - \frac{1}{G_R} \frac{\partial M_T}{\partial \tau_3} \Delta\tau_3 \right) \frac{1}{G_R} \frac{1}{J} \frac{180}{\pi} \quad (12)$$

将上式拉氏变换得

$$s^2\Delta\theta(s) = \left( \Delta M(s) - \frac{1}{G_R} \frac{\partial M_T}{\partial \theta} \Delta\theta(s) - \frac{1}{G_R} \frac{\partial M_T}{\partial \tau_3} \Delta\tau_3(s) \right) \frac{1}{J} \frac{1}{G_R} \frac{180}{\pi} \quad (13)$$

将主电机与活套电机近似为一阶惯性环节, 由式(5)和(13)得到系统的线性化模型如图 2 所示

在上面的轧制规程下, 活套高度和张力的工作点取为: 角度  $\theta = 21^\circ$ ; 张应力  $\tau_3 = 4.8\text{ MPa}$ ; 弹性模量  $E = 150\text{ MPa}$ ;  $l, l_a, h_d, R, r$  为  $6\text{ m}, 2.2\text{ m}, 0.18\text{ m}, 0.796\text{ m}, 0.11\text{ m}$ ; 传动比  $G_R = 14$ ;  $f_3, \tau_{b3}, \tau_4, T_i, T_v, K_i$  为  $0.082, 3.0, 5.5, 0.18, 0.09,$

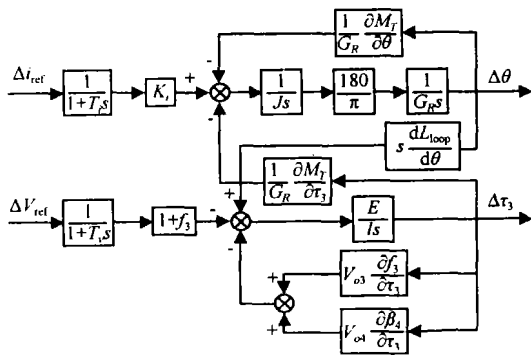


图2 活套系统线性化模型

8.25;  $J = 7.85 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ .  $V_{03}$  和  $V_{04}$  取为 3.246 m/s 和 4.786 m/s,  $F_3$  机架入口厚度为  $H = 9.44 \text{ mm}$ , 出口厚度为  $h = 5.69 \text{ mm}$ .  $K, \epsilon$  为金属变形阻力、相对压下量, 在线性工作点  $\theta, \tau_3$  处线性化处理, 相应的非线性函数为<sup>[6]</sup>

$$M_T = R B h \tau_3 [\sin(\theta + \beta) - \sin(\theta - \alpha)],$$

$$\theta = \arctg \frac{R \sin \theta + r}{R \cos \theta},$$

$$R = \sqrt{R^2 + 2R r \sin \theta + r^2}, \quad (14)$$

$$L_{loop} = \frac{\sqrt{(l_a + R \cos \theta)^2 + (R \sin \theta - h_d + r)^2} + \sqrt{(l - l_a - R \cos \theta)^2 + (R \sin \theta - h_d + r)^2} - l}{2}, \quad (15)$$

$$f_i = \frac{R_1}{h} \gamma^2,$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{h}{R_1} \tan \left[ \frac{1}{2} \arctan \sqrt{\frac{\epsilon}{1 - \epsilon}} \right] + \frac{\pi}{8} \ln(1 - \epsilon) \sqrt{\frac{h}{R_1} + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{h}{R_1} \left( \frac{\tau_{li}}{K} - \frac{\tau_{bi}}{K} \right)}}$$

$$(16)$$

可得到

$$V_{03} \frac{df_3}{d\tau_3} + V_{04} \frac{d\beta_4}{d\tau_3} = 0.012,$$

$$s \frac{dL_{loop}}{d\theta} = 0.1066s,$$

$$\frac{1}{G_R} \frac{\partial M_T}{\partial \tau_3} = 45.86, \quad \frac{1}{G_R} \frac{\partial M_T}{\partial \theta} = 12.2$$

以  $\Delta i_{ref}, \Delta V_{ref}$  为系统输入,  $\Delta \theta, \Delta \tau_3$  为系统输出, 可得其耦合传递函数为

$$\Delta \theta(s) = G_{11}(s) \Delta V_{ref}(s) + G_{12}(s) \Delta i_{ref}(s),$$

$$\Delta \tau_3(s) = G_{22}(s) \Delta i_{ref}(s) - G_{21}(s) \Delta V_{ref}(s), \quad (17)$$

$$G_{11}(s) = \frac{646.5}{0.09s^4 + 1.03s^3 + 6.61s^2 + 70.3s + 1.9'}$$

$$G_{12}(s) = \frac{0.52s^3 + 0.156s^2 + 3.3s + 0.99}{0.18s^6 + 1.1s^5 + 14.1s^4 + 77s^3 + 84s^2 + 447s + 12'}$$

$$G_{21}(s) = \frac{27.1s^3 + 8.12s^2 + 171.5s + 51.4}{0.09s^5 + 1.1s^4 + 6.92s^3 + 72.3s^2 + 23s + 0.57'}$$

$$G_{22}(s) = \frac{1.5s}{0.18s^4 + 1.054s^3 + 12.92s^2 + 70.44s + 1.9'}$$

$$(18)$$

应该指出, 线性化后所得到的传函是被控对象的近似数学模型, 对于绝大多数情况来说, 解耦器的增益不应该是常数。如果要达到最优化, 则解耦器必须是非线性的, 甚至是适应性的。如果解耦器是线性和定常的, 那么可以预料解耦将是不完善的。在某些情况下解耦器的误差可能引起不稳定<sup>[7]</sup>。文中采用基于 BP-RBF 神经网络解耦控制器, 进行了仿真研究

#### 4 BP-RBF 神经网络解耦控制

目前, 在非线性系统的神经网络控制中, 一般采用双神经网络结构, 其中一个 (RBF) 作为被控对象的辨识模型, 学习系统的正向动力学特性; 另一个 (BP) 作为控制器, 学习系统的逆动力学。RBF 网络是一种 3 层前向网络, 由于输入到输出的映射是非线性的, 而隐含层空间到输出空间的映射是线性的, 从而大大加快了学习速度并避免局部极小问题。BP 网络的结构选为 3-3-1, 其中输入为  $\{y(k), r(k), u(k-1)\}$ , 隐含层取正负对称的 Sigmoid 函数, 输出层为线性输出。RBF 网络结构选为 3-5-1, 网络辨识的 3 个输入为  $\{u(k), y(k), y(k-1)\}$ 。其控制框图如图 3 所示。

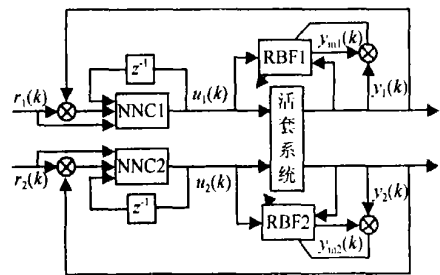


图3 活套系统神经网络解耦控制

##### 4.1 NNC1 的设计

NNC1 的设计思想是: 构造一个神经网络模型, 通过对输入-输出数据对的学习, 不断逼近对象的逆动力学, 然后根据系统的理想输出, 产生相应的理想控制输入, 使系统的输出跟踪误差为零。其作用就相当于对象的逆模型。

假定  $N_{cl}^i$  和  $N_{cl}^h$  分别表示控制网络输入层和隐

含层节点数,  $x_{cl-j}^I$  表示控制网络输入层第  $j$  节点的输入,  $x_{cl-i}^H$  和  $y_{cl-i}^H$  表示隐层第  $i$  节点的输入和输出,  $w_{cl-i}^{OH}$  和  $w_{cl-ij}^{HI}$  分别表示隐层到输出层和输入层到隐层的权值 则NNC1 的输入 - 输出映射关系为

$$x_{cl-i}^H = \sum_{j=1}^{N_{cl}^I} (w_{cl-ij}^{HI} x_{cl-j}^I), \quad y_{cl-i}^H = f(x_{cl-i}^H),$$

$$u_n = \sum_{i=1}^{N_{cl}^H} (w_{cl-i}^{OH} y_{cl-i}^H),$$

$$f(x) = \tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (19)$$

NNC2 与上相同, 取性能指标函数为

$$E(k) = \frac{1}{2} (r(k) - y(k))^2 \quad (20)$$

按照梯度下降法修正网络的权系数, 具体的学习算法见文献[8]

### 4.2 RBF 的辨识算法

RBF 网络是一种局部逼近网络, 已证明它能以任意精度逼近任意连续函数 根据梯度下降法, 输出权、节点中心及节点基宽的迭代算法如下:

$$w_j(k) = w_j(k-1) + \eta(y(k) - y_m(k))h_j + \alpha(w_j(k-1) - w_j(k-2)), \quad (21)$$

$$\Delta b_j = (y(k) - y_m(k))w_j h_j \frac{x_j - C_j}{b_j^3}, \quad (22)$$

$$b_j(k) = b_j(k-1) + \eta \Delta b_j + \alpha(b_j(k-1) - b_j(k-2)), \quad (23)$$

$$\Delta c_{ji} = (y(k) - y_m(k))w_j \frac{x_j - c_{ji}}{b_j^2}, \quad (24)$$

$$c_{ji}(k) = c_{ji}(k-1) + \eta \Delta c_{ji} + \alpha(c_{ji}(k-1) - c_{ji}(k-2)). \quad (25)$$

式中:  $\eta$  为学习速率,  $\alpha$  为动量因子

Jacobian 阵 (即为对象的输出对控制输入的灵敏度信息) 算法为

$$\frac{\partial y(k)}{\partial u(k)} = \sum_{j=1}^m w_j h_j \frac{c_{ji} - u(k)}{b_j^2} \quad (26)$$

### 4.3 系统的渐进稳定性

稳定性是控制系统最基本和最重要的性质之一. 在基于数学模型的常规控制中, 系统的稳定性分析已有较成熟的理论和方法 但对于神经网络控制系统而言, 由于神经网络结构结构的复杂非线性, 以及控制对象、控制环境的不确定性, 使得这类系统的稳定性分析变得很困难<sup>[9]</sup>.

对于活套系统, 系统的参考输入  $r(k)$  是有界的, 即  $|r(k)| < M, k \in [0, +\infty)$ ; 利用神经网络自适应学习规则训练NNC 的权值, 使系统输出  $y(k)$  渐近逼近其期望输出  $r(k)$ , 即  $\forall \epsilon > 0, \exists N > 0$ , 使  $\lim_{k \rightarrow N} y(k) - r(k) < \epsilon$  在上述条件下, 欲证系统

在控制过程中是渐近稳定性的, 只需证明控制器的输出有界即可.

**引理 1** 对正负对称 Sigmoid 神经元激活函数,  $\forall x \in R, \exists C > 0$ , 使得  $|f(x)| \leq C|x|$

**证明** 由于  $f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$  是 Lipschitz 的, 故有  $\forall x_1, x_2 \in R$ , 必存在一常数  $C > 0$ , 使得

$$|f(x_1) - f(x_2)| \leq C|x_1 - x_2| \quad (27)$$

即

$$\begin{aligned} |f(x_1)| &\leq |f(x_2)| \\ |f(x_1) - f(x_2)| &\leq C|x_1 - x_2| \end{aligned} \quad (28)$$

令  $x_2 = 0$ , 并注意到  $f(0) = 0$ , 则  $|f(x_1)| \leq C|x_1|$  引理得证

**引理 2** 对式(19) 定义的NNC1 模型, 存在一常数  $A(k)$ , 使得  $\forall X_u(k) \in R^{n+m}$ , 有下式成立:

$$|u_1(k)| \leq A(k) \|X_u(k)\|$$

**证明** 由引理 1, NNC1 方程(19) 和 Cauchy 不等式, 可得

$$\begin{aligned} |u_1(k)| &\leq \sum_{i=1}^{N_{cl}^H} |w_{cl-i}^{OH}(k)| \cdot \left| f\left(\sum_{j=1}^{N_{cl}^I} w_{cl-ij}^{HI}(k) x_{cl-j}^I(k)\right) \right| \\ &\leq \sum_{i=1}^{N_{cl}^H} |w_{cl-i}^{OH}(k)| \cdot C \left| \sum_{j=1}^{N_{cl}^I} w_{cl-ij}^{HI}(k) x_{cl-j}^I(k) \right| \\ &\leq \sum_{i=1}^{N_{cl}^H} |w_{cl-i}^{OH}(k)| \cdot C \cdot \sum_{j=1}^{N_{cl}^I} |w_{cl-ij}^{HI}(k)| \cdot \|X_u(k)\| \\ &= A(k) \cdot \|X_u(k)\| \end{aligned} \quad (29)$$

其中

$$W_{cl-i}^{HI} = [w_{cl-i1}^{HI}(k), w_{cl-i2}^{HI}(k), \dots, w_{cl-iN_{cl}^I}(k)],$$

$$A(k) = \sum_{i=1}^{N_{cl}^H} |w_{cl-i}^{OH}(k)| \cdot C \cdot \sum_{j=1}^{N_{cl}^I} |w_{cl-ij}^{HI}(k)|$$

故系统是输入输出有界的, 在控制过程中是渐近稳定的

### 5 仿真结果

采用最优 Hankel 最小阶逼近降阶方法, 将式(17) 离散化, 采样周期为 20 ms, 实际的活套臂长度为 796 mm, 在线性工作点处对应的套高为 285 mm, 对活套高度附加 10% 左右, 即角度为 0.05 rad (3°) 的阶跃扰动信号. 加权系数初始值取区间  $[-0.5, 0.5]$  上的随机数, 学习速率  $\eta = 0.36$ , 惯性系数  $\alpha = 0.06$ . 解耦后的带钢张应力增量的变化曲线如图 4 所示, 而基于传统的控制即不考虑两者之间的耦合关系, 其张应力的变化较大, 如图 5 所示. 张应力的变化量达到  $-0.98$  MPa 左右, 这不但影响 AGC 系统的厚控效果, 还直接影响板带宽度.

仿真结果表明, 基于上述的控制策略, 系统在满

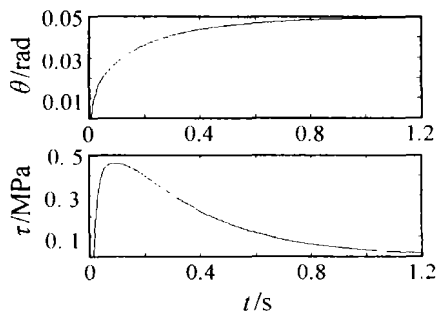


图4 活套系统解耦响应曲线

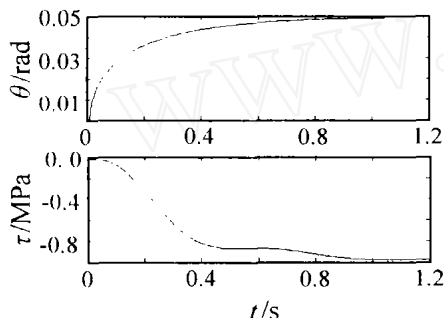


图5 传统控制响应曲线

足活套高度增量设定的同时,活套张力波动较小。在0.6 s时,张应力的变化小于0.2 MPa;在1 s后,系统达到稳态,精度小于0.04 MPa,从而实现了活套高度与张力耦合系统的解耦控制。

## 6 结 语

本文针对工业系统模型未知情况,研究了活套高度和张力系统的神经网络自适应解耦控制问题。对NNC的设计与实现进行了深入研究,并证明了设计的闭环系统在其变量一致有界的意义上是全局稳定的。最后结合具有典型非线性和时变特点的活套耦合系统,通过忽略系统中一些非线性因素和外界干扰的影响,并在工作点附近进行增量线性化处理,以此为模型进行了仿真研究,证明了所提出的神经

网络控制结构的有效性。

## 参考文献(References)

- [1] 何虎,孙一康. 热连轧活套系统分析与控制方式比较[J]. *北京科技大学学报*, 2000, 22(5): 482-485.  
(He H, Sun Y K. Looper System Analysis and Control Methods Study in Hot Rolling Processing [J]. *J of University of Science and Technology Beijing*, 2000, 22(5): 482-485.)
- [2] 张殿华,郑芳,王国栋. 板带热连轧活套高度和张力系统的解耦控制[J]. *控制与决策*, 2000, 15(2): 158-161.  
(Zhang D H, Zheng F, Wang G D. Strip Tandem Hot Rolling Loopers' Height and Tension Decoupling Control [J]. *Control and Decision*, 2000, 15(2): 158-161.)
- [3] Park C J, Lee D M, Choi S G. Development of High Performance Looper Control System for Hot Strip Finishing Mill [J]. *Iron and Steel Engineer*, 1997, 14(5): 64-74.
- [4] Clark M T, Versteeg H, Konijn W. Development of New High Performance Loopers for Hot Strip Mills [J]. *Iron and Steel Engineer*, 1997, 74(6): 64-70.
- [5] Asano K, Yamamoto K, Kawase T, et al. Hot Strip Tension-looper Control Based on Decentralization and Coordination [A]. *Proc of Automation in Mining, Mineral and Metal Processing [C]*. Cologne, 1998: 221-226.
- [6] 孙一康. *带钢热连轧的模型与控制* [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2002: 39-81.
- [7] 金以慧,方崇智. *过程控制* [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002: 150-181.
- [8] 刘金琨. *先进PD控制及其MATLAB仿真* [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003: 96-98.
- [9] Yu W, Li X O. Some Stability Properties of Dynamic Neural Networks [J]. *IEEE Trans on Circuits and Systems*, 2001, 48(2): 256-259.

## 《控制与决策》第4次荣获“百种中国杰出学术期刊”称号

本刊讯 2005年12月6日,第13届科技论文统计结果发布会在京举行,公布了2004年度中国科技论文统计结果,并表奖了部分科技期刊。《控制与决策》2004年的影响因子为0.696,在信息科学与系统科学类期刊中排名第1位,并第4次荣获“百种中国杰出学术期刊”称号。

自2001年评选“百种中国杰出学术期刊”以来,本刊已连续4次获此殊荣。编辑部全体同志表示,一定要再接再厉,乘胜前进,把高质量的期刊奉献给社会。同时,我们对一直关心和支持本刊工作的各位编委和审稿人、广大作者和读者表示衷心的感谢!