

分布参数模型连轧控制系统研究

赵 圣 焱
(青 岛 大 学)

摘 要

基于分布参数模型^[1]给出连轧系统的基本逻辑保护条件。为保持张力差恒定,克服轧辊偏心等影响,讨论传动与压下系统的最优跟踪控制。计算机仿真表明本文结果是有效的。

一、基本逻辑保护

为确保连轧系统正常运行,主传动系统的控制必须满足

$$\delta\Delta\sigma(t) > -\Delta\sigma, \delta\sigma^-(t) < \sigma^* - \sigma^- \quad (1)$$

其中 $\sigma^* = \min(\sigma_s, E \cdot \delta b^* / \nu)$; σ_s 为轧件的屈服极限; δb^* 为宽度的公差极限; ν 为 Poisson 比。

恒张力差控制: 主电机转速由下式递推设定

$$n_{i+1} = \frac{30\nu_{i+1}}{\pi R_{i+1}} \cdot \frac{\lambda_{i+1}}{1 + s_{i+1}} (u_i(1 + s_i) + \Delta\nu_i), i = 0, 1, \dots, n - 1. \quad (2)$$

其中 ν 为传动比, $\lambda = h^- / h^+$; $u_0 = \nu_0^+$, $s_0 = 0$ 。为保持开卷机的出口速度和卷取机的入口速度不变,拖动电机转速分别为

$$n_0(t) = \frac{30\nu_0}{\pi} \cdot \nu_0^+ \left(R_0^2 - \frac{\nu_0^+ H}{\pi} t \right)^{-\frac{1}{2}}, 0 \leq t \leq \pi(R_0^2 - r_0^2) / \nu_0^+ H, \quad (3)$$

$$n_{n+1}(t) = \frac{30\nu_{n+1}}{\pi} \cdot \nu_{n+1}^- \left(r_{n+1}^2 + \frac{\nu_{n+1}^- h}{\pi} t \right)^{-\frac{1}{2}}. \quad (4)$$

其中 R_0 为钢卷原始半径; r_0, r_{n+1} 为卷轴半径; H 和 h 分别为坯料和成品厚度(包括卷取间隙)。

当各主电机的动态速降满足

$$\frac{|\delta n(t)|_{\max}}{n} < 0.476 * \frac{a}{u} * \frac{TS}{E} \quad (5)$$

时保持条件(1),那么,热轧的活套支撑装置将成为多余。其中 u, n 分别为各连轧段右端轧机辊速和转速的设定值; $TS = \min(\Delta\sigma, \sigma^* - \sigma^-)$ 称为张力储备。由于轧速逐架升高,张力储备应逐段增大,压下负荷应逐架降低。

二、最优跟踪控制

以电枢电流 i_a 为控制量, 直流电机转速跟踪 $n_r(t)$ (图 1(a)), 利用“扫掠法” (sweep method^[2]) 得二次型性能指标最优跟踪控制, 离散化为

$$i_a^0(k) = - \frac{R_a/C_e}{r(\lambda T_m + \text{th}\lambda(l-k))} (\text{th}\lambda(l-k)(n(k) - n_r(k)) - \sum_{j=1}^l \frac{\text{sh}\lambda(l-j)}{\text{ch}\lambda(l-k)} \delta_1 n_r(j)). \quad (6)$$

其中 r 为二次型指标加权; $l = [t_f/\delta t]$, t_f 为终端时间; $k = 0, 1, \dots, l$, 而

$$\lambda = \frac{1}{T_m} (1 + (R_a/C_e)^2/r)^{\frac{1}{2}}.$$

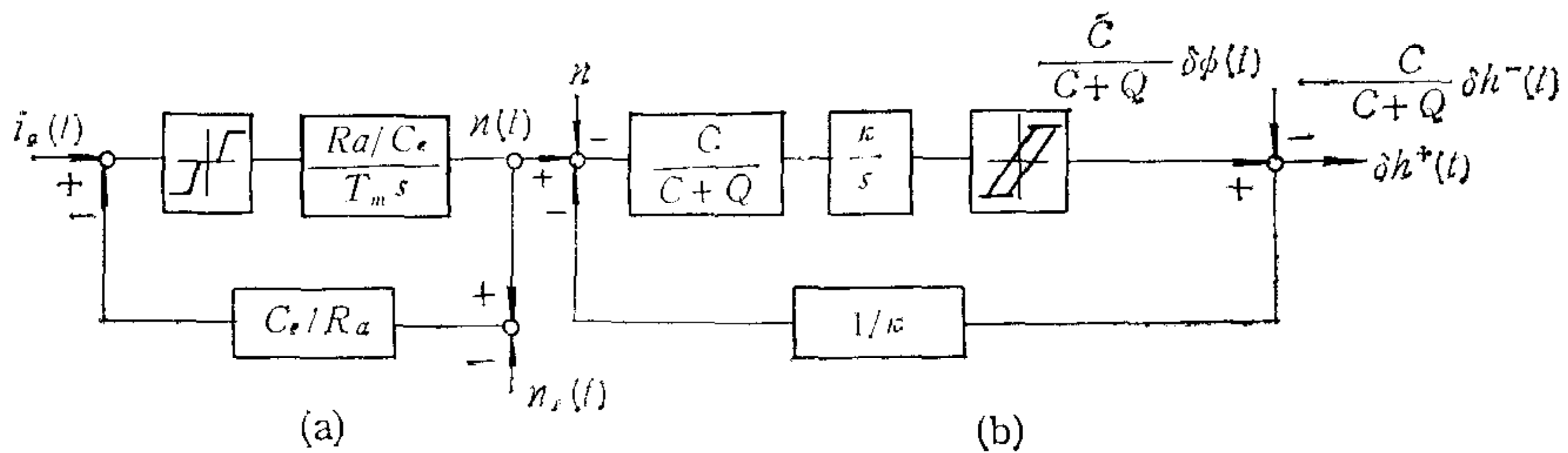


图 1

压下系统采用递阶跟踪控制, 即电机的输出跟踪压下执行机构(图 1(b))的最优跟踪控制, 如图 1(a)(b) 所示

$$\delta n_r^0(k) = - \frac{\kappa/(1+\beta)}{r(\lambda(1+\beta) + \text{th}\lambda(l-k))} \left(\text{th}\lambda(l-k) \cdot (\delta\phi(k) + \beta\delta h^-(k)) + \beta \sum_{j=1}^l \frac{\text{sh}\lambda(l-j)}{\text{ch}\lambda(l-k)} \delta_1 h^-(j) \right). \quad (7)$$

其中 κ 为比例常数; $\beta = Q/C$, Q, C 分别为轧件的塑性刚度和机座总刚度; $k = 0, 1, \dots, l$, 而

$$\lambda = \frac{1}{1+\beta} (1 + \kappa^2/r)^{\frac{1}{2}}.$$

三、数字仿真结果

传动系统以开卷段恒张力差控制为例, 利用跟踪控制(6)作计算机仿真。设定张力差为 $\Delta\sigma_0 = 4.2(\text{kg}/\text{mm}^2)\nu$; 开卷电机跟踪 $n_0(t)$, 一号主电机跟踪设定值 n_1 。仿真结果表明设备参数和原始数据的选择对计算机的输出无明显影响, 只需适当选择权 r 和采样周期 δt 即可获得足够的控制精度。例如 $r = 100, \delta t = 2(\text{ms})$ 时, 张力差的波动小于 0.1%。

为初步考查入口厚度具有突变性和周期性扰动(如焊缝、坯料公差,轧辊偏心,非线性元件等影响)时出口厚度的控制精度,设入口厚度偏差由阶跃、斜坡、正弦三者迭加

$$\delta h^-(t) = S1(t) + Rt + A \sin \omega t (\text{mm}).$$

计算机仿真结果表明最优跟踪控制方案响应速度快(无明显过渡过程),控制精度高。出口厚度偏差的部分仿真结果如表 1 所示。

表 1 出口厚度仿真精度

r	δt	S	R	A	$ \delta h^+ _{\max}$
10	13	0.1	0.2	0.05	$E - 07$
10	2	0.1	0.2	0.05	$E - 08$
10	2	3	1	2	$E - 07$
100	13	1	2	1	$E - 07$

单位: 时间——ms 厚度——mm

入口厚度偏差由下式逐架递推预报^[1]

$$\delta h_i^+ = (C_i \delta \phi_i + Q_i \delta h_i^-) / (C_i + Q_i).$$

$$\delta h_{i+1}^-(k) = (\delta h_i^+(k - k_i) - h_i^+(k - k_i) \delta \alpha_i(k - k_i)) e^{-\alpha_i(k - k_i)},$$

因此,只需实时采样坯料厚度 H 、电机转速 n 、张力 σ^\pm 和辊缝 ϕ 即可实时控制传动和压下系统。

本文结果有助于简化连轧控制的软件系统和硬件结构,提高系统实时应变的能力,但尚需实验研究。

李潼同志为本文的计算机仿真付出了辛勤的劳动,作者在此深致谢忱。

参 考 文 献

- [1] 赵圣焱, 分布参数模型连轧过程状态分析, 自动化学报 11(1985), No. 4.
 [2] Arthur, E. Bryson, Jr., Ho, Yuchi, Applied Optimal Control OPTIMIZATION, ESTIMATION, AND CONTROL, John Wiley and Sons, 1979, 151—152.

A STUDY ON THE CONTROL SYSTEMS FOR CONTINUOUS ROLLING PROCESS DESCRIBED BY DISTRIBUTED-PARAMETER MODEL

• ZHAO SHENGYAN
 (Qingdao University)

ABSTRACT

Based on the distributed-parameter modes^[1], the fundamental conditions of logical protection are presented. The tracking control of the driving and screw-down system is discussed for the purpose of keeping constant tension-difference and overcoming the influences of roll eccentricity, etc. The simulation results by digital computer show that the conclusions in this paper are effective.