

分布参数模型连轧过程控制机理研究概述

赵圣焱

(青岛大学自动控制研究室 266071)

摘 要

本文基于分布参数模型,讨论了连轧过程中穿入、加速、镇定、减速、脱出五个子过程的控制机理以及可能采取的控制方式。

关键词: 连轧过程控制机理, 稳态转移, 交变控制, 协调镇定。

一、引 言

连轧过程,从坯料到产品大都经过穿入、加速、镇定、减速、脱出五个子过程。对这些子过程分别加以研究是必要的,但迄今还未见这方面的工作。本文把连轧过程视为点测量点控制的分布参数系统,利用轧件动态参数间的制约关系^[1]讨论了上述子过程的特点及其控制机理。首先把过程控制的目的归结为完成不同稳态之间的转移,给出了为实现这些转移各轧机出、入口参数的理想变化规律以及各子过程可能采取的控制方式。

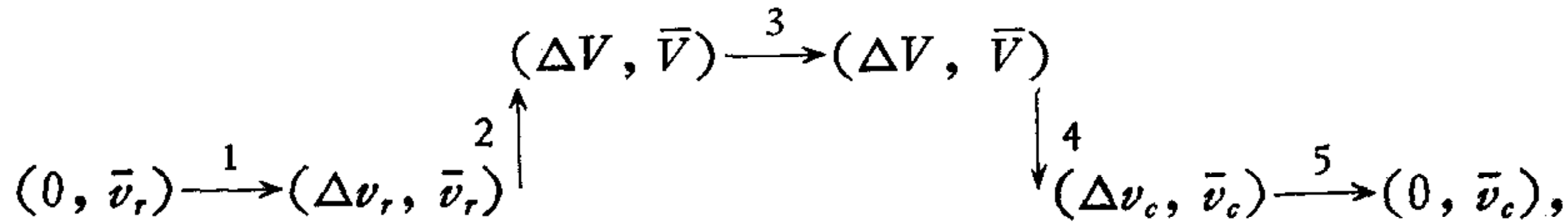
二、子过程的特点与稳态转移

五个子过程各有其特殊性。穿入过程的特点是轧件头部逐架穿越各轧机并逐段建立设定张力差;加速过程的目的是提高轧速使机组达到规程稳态;镇定过程的任务是保持规程工作点不变;减速过程的作用是降低轧速为轧件脱出创造条件;脱出过程的特点是轧件尾部逐架脱出各轧机并逐段消除设定张力差。

有关轧件的规程值应满足 $0 < \Delta V_i < \Delta V_{i+1}$, $\bar{v}_i < \bar{v}_{i+1}$, $h_i^- > h_i^+ > h_{i+1}^-$ ($i = 1, 2, \dots, n$)。此外还需分别给出穿入、脱出过程的稳态设定值 $\Delta v_r, \bar{v}_r$ 以及 $\Delta v_c, \bar{v}_c$, 并满足同样的条件。规程值和设定值之间共同满足

$$\frac{\Delta V}{\bar{V}} = \frac{\Delta v_r}{\bar{v}_r} = \frac{\Delta v_c}{\bar{v}_c} = \alpha \text{ (厚度稳态衰减指数)}.$$

连轧过程可认为是通过对各子过程有效的控制实现如下稳态转移



其中 1—5 按时间顺序分别表示五个子过程；厚度的转移在所有子过程中均为

$$h_i^+ \xrightarrow{DS} h_{i+1}^-, h_i^- \xrightarrow{SS} h_i^+,$$

其中 DS 和 SS 分别表示传动和压下系统。为讨论稳态转移引入下列两个函数：

$$a^+(t, \tau) = \begin{cases} 0 & , \\ (2/\tau)(t - t^2/2\tau) & , \\ 1 & , \end{cases} \quad a^-(t, \tau) = \begin{cases} 1 & , (t < 0) \\ 1 - (t/\tau)^2 & , (0 \leq t < \tau) \\ 0 & , (t \geq \tau) \end{cases}$$

$a^+(t, \tau)$ 和 $a^-(t, \tau)$ 分别称为加速函数和减速函数。

三、子过程的控制机理

1. 穿入过程

轧件头部逐架穿越各轧机时下游轧机加速以便逐段建立张力差。第 i 连轧段的张力差必须恰好在 $i + 1$ 号机咬钢后和 $i + 2$ 号机咬钢前建立起来，以 i 号机咬钢的瞬时为时间的原点则有

$$\begin{aligned}
 v_i^+(t) &= v_{r,i}^+, \\
 v_{i+1}^-(t) &= v_{r,i}^+ + \Delta v_{r,i} \cdot a^+(t, \tau_{r,i}).
 \end{aligned} \tag{1}$$

显然 $t \rightarrow \tau_{r,i}$ 时 $v_{i+1}^-(t) \rightarrow v_{i+1}^-$ 。当 $t < 0$ 时张力差尚未开始建立， $i + 1$ 号机的入口厚差为

$$\delta h_{i+1}^-(t) = h_i^+(t - \tau_i) - h_{i+1}^-, \quad \tau_i = l_i/v_{r,i}^+.$$

当 $0 \leq t < \tau_{r,i}$ 时入口厚度由式(1)和下式给出^[2]：

$$\delta h_{i+1}^-(t) = (\delta h_i(t - \tau_i(t)) - h_i^+(t - \tau_i(t))\delta \alpha_i(t - \tau_i(t)))e^{-\alpha_i(t - \tau_i(t))}. \tag{2}$$

当 $t \geq \tau_{r,i}$ 时第 i 连轧段已趋于稳定，从而有

$$\delta h_{i+1}^-(t) = \delta h_i^+(t - \tau_{r,i} - \tau_i)e^{-\alpha_i}, \quad \tau_i = l_i/\bar{v}_{r,i}.$$

2. 加速过程

把设定值 Δv_r 和 \bar{v}_r 分别增加到规程值 ΔV 和 \bar{V} ，由下式描述：

$$\begin{aligned}
 \Delta v_i(t) &= \Delta v_{r,i} + (\Delta V_i - \Delta v_{r,i}) \cdot a^+(t, \tau_i^+), \\
 \bar{v}_i(t) &= \bar{v}_{r,i} + (\bar{V}_i - \bar{v}_{r,i}) \cdot a^+(t, \tau_i^+).
 \end{aligned} \tag{3}$$

由于 Δv 和 \bar{v} 在变化中互不影响^[2]，加速过程采用交变控制比较适宜，如图 1 所示。在 $\bar{v} - \Delta v$ 平面内如果状态轨线在有效的控制下与理想轨线 \overline{AB} 只有微小的偏离，则当 $t \rightarrow \tau^+$ 时 $A \rightarrow B$ 。那么 $i + 1$ 号机的入口厚差为

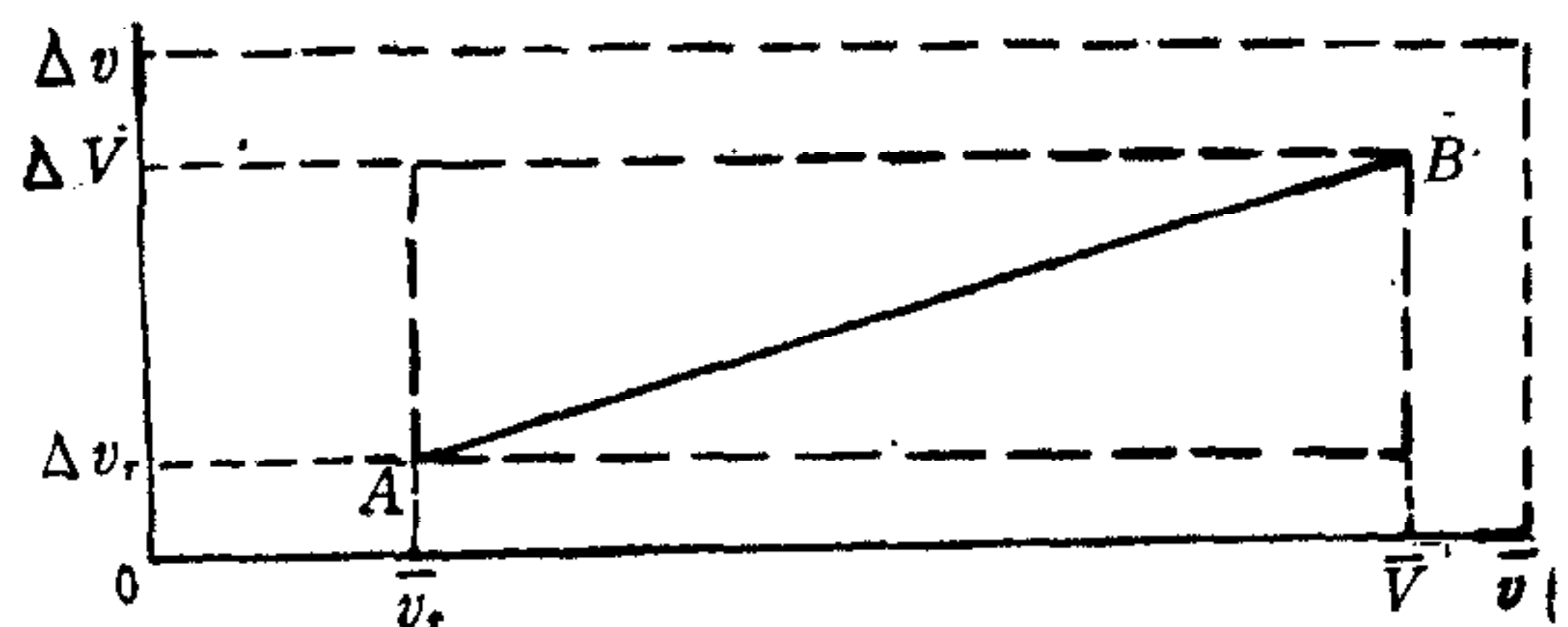


图 1 交变控制示意图

$$\delta h_{i+1}^-(t) = \delta h_i^+(t - \tau_i^+ - \tau_i)e^{-\alpha_i}, \quad \tau_i = l_i/\bar{v}_i.$$

3. 镇定过程

如果把各主电机视为小系统,则整个传动系统可视为一个大系统,因而自然会想到协调控制,即利用反馈

$$\mathbf{c} = (c_1, c_2, \dots, c_n)^T, c_i = -\xi_{i-1} + \xi_i, \xi = \delta\Delta v / 2 \quad (4)$$

构成闭环控制以消除各连轧段内张力差对规程值的偏离,其中 c_i 含有轧机两侧的信息.为使规程工作点保持稳定引入另一反馈

$$\mathbf{d} = (d_1, d_2, \dots, d_n)^T, d_i = -\eta_{i-1} - \eta_i, \eta = \delta\bar{v}. \quad (5)$$

式(4),(5)可改写为

$$\mathbf{c} = C\xi; \mathbf{d} = D\eta, \quad (6)$$

称(6)式为传动系统的协调器.其中 $\xi = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)^T, \eta = (\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n)^T,$

$$C = \begin{pmatrix} -1 & 1 & & & \\ & -1 & 1 & 0 & \\ & & \ddots & \ddots & \\ 0 & & & -1 & 1 \end{pmatrix}, D = \begin{pmatrix} -1 & -1 & & & \\ & -1 & -1 & 0 & \\ & & \ddots & \ddots & \\ 0 & & & -1 & -1 \end{pmatrix}.$$

利用式(6)中两种反馈构成的闭环交变控制称为协调镇定控制,如图2所示.其中 K_c, K_d

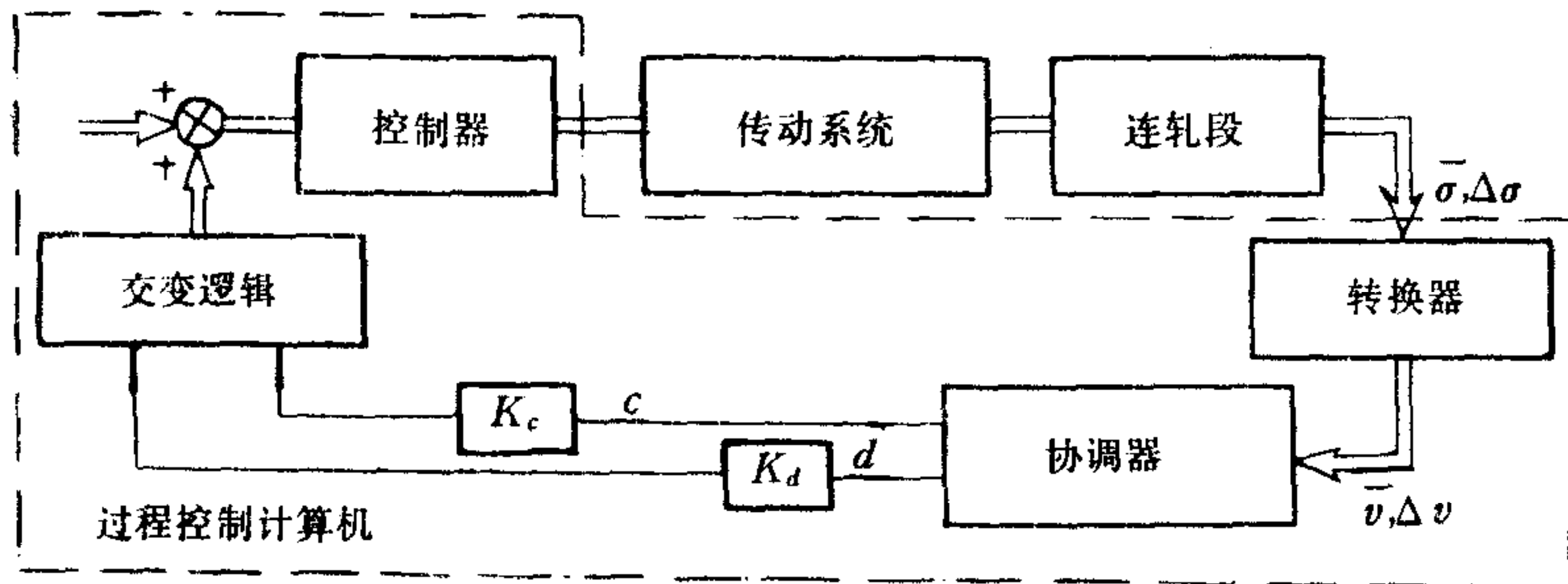


图2 协调镇定控制简图

均为对角阵.当 $\xi \rightarrow 0, \eta \rightarrow 0$ 时传动系统进入稳态,从而各轧机的入口厚差为

$$\delta h_{i+1}^-(t) = \delta h_i^+(t - \tau_i) e^{-\sigma_i}.$$

4. 减速过程

为了使得规程值 ΔV 和 \bar{v} 分别下降到设定值 Δv_c 和 \bar{v}_c ,只需在式(3)中把 $a^+(t, \tau^+)$ 换为 $a^-(t, \tau^-)$,并且把 Δv_r 和 \bar{v}_r 分别换为 Δv_c 和 \bar{v}_c ,即得到减速过程中动态速度差和平均速度的变化规律.减速过程中的入口厚差与加速过程中相似,即

$$\delta h_{i+1}^-(t) = \delta h_i^+(t - \tau_i^- - \tau_i) e^{-\sigma_i}.$$

5. 脱出过程

为了使第 i 连轧段的张力差恰好在 i 号机抛钢的瞬时消失,取 $i - 1$ 号机抛钢的瞬时作为时间的原点,则脱出过程的特点由下式描述

$$v_i^+(t) = v_{c,i+1}^- - \Delta v_{c,i} \cdot a^-(t, \tau_{c,i}), v_{i+1}^-(t) \equiv v_{c,i+1}. \quad (7)$$

显然 $t \rightarrow \tau_{c,i}$ 时 $v_i^+(t) \rightarrow v_{c,i}^+$.当 $0 \leq t < \tau_{c,i}$ 时 $i + 1$ 号机的入口厚差由式(2),式(7)给出;当 $t \geq \tau_{c,i}$ 时 i 号机已抛钢,第 i 连轧段内张力差消失, $i + 1$ 号机的入口厚差为

$$\delta h_{i+1}^-(t) = h_i^+(t - \tau_{c,i} - \tau_i) - h_{i+1}^-, \tau_i = l_i / v_{c,i+1}^-.$$

四、关于过程控制系统

如上所述,抛开环境和内部参数变化的干扰给出了各轧机出、入口参数的理想变化规律,从而可确定理想输出。以穿入过程为例,传动系统以辊速 u 作为输出

$$u_{i+1}(t) = \mu_{i+1}(t)(v_{r,i}^+ + \Delta v_{r,i} \cdot a^+(t, \tau_{r,i})), \quad \mu = (h^+/h^-)/(1+s).$$

由于存在着各种干扰和不确定因素,特别是压下干扰,需要利用入口速度的实测值 $v_{i+1}^-(t)$ 与理想值的偏差 $\varepsilon_{i+1} = v_{i+1}^-(t) - (v_{r,i}^+ + \Delta v_{r,i} \cdot a^+(t - \tau_{r,i}))$ 去调整控制器的结构参数,以消除辊速的偏离。传动系统采用智能、自适应控制比较适宜。

压下系统承受的干扰主要来自油膜、辊径和机架刚度的变化。计及这些干扰,利用变形区的弹、塑性方程和输入-输出等价原理^[3]导出了轧机出、入口厚度,辊缝 ϕ 和辊速 u 的下列约束关系

$$h^+ = \beta_1 \phi + \beta_2 h^- + \beta_3 u + e,$$

其中 e 是噪声。压下系统的控制归结为压下调节量 $\delta\phi$ 复现 $(a_1 \delta h^- + a_2 \delta u)$ 的跟踪问题,因含有待估参数 a_1, a_2 , 控制系统应是自适应系统。

结 束 语

本文关于子过程的讨论是简单的,有待于进一步研究,特别是控制器的研究以及仿真、实验研究。文中涉及到的轧件动态参数的测定问题将在另文讨论。

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),4,379—385.
- [2] Zhao Shengyan, Preliminary Approach of Continuous Rolling Process Control described by Distributed Parameter Model, Proc. of IFAC 10th World Congress, Munich (1987), 2, 194—199.
- [3] 韩志刚,多层递阶辨识方法,自动化学报,14(1988),5,383—386.

AN OUTLINED STUDY OF CONTROL MECHANISMS FOR TANDEM MILL PROCESS GOVERNED BY DISTRIBUTED PARAMETER MODEL

ZHAO SHENGYAN

(Research Section of Automatic Control, Qingdao University, Qingdao 266071)

ABSTRACT

Based on a distributed parameter model, the control mechanisms and adoptable control modes are discussed for five sub-processes, namely, the threading, accelerating, stabilizing, decelerating and extruding, in tandem rolling mill.

Key words: Control mechanisms of tandem mill; transition of steady states; alternate control; coordinated stabilization.