

带钢热轧粗轧机跑偏控制仿真

代晓莉, 赵宪明, 王国栋

(东北大学 轧制技术与连轧自动化国家重点实验室, 辽宁 沈阳 110004)

摘 要: 带钢在粗轧机轧制过程中, 由于一些因素的影响使带钢轧机左右两侧轧辊受力不对称, 导致产生带钢跑偏现象。轧件的跑偏不仅妨碍生产作业, 还将导致产品出现质量问题。为了研究跑偏现象的特征, 以便精确地调整粗轧机, 使其在最优工况下工作, 本文应用 Matlab 软件对带钢热轧粗轧机跑偏过程的控制进行了仿真, 得到了经过粗轧机控制后的跑偏量、出口厚度、轧制力的调节过程。

关键词: 带钢热轧; 粗轧机; 跑偏控制; 仿真

中图分类号: TG 333.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-6620(2003)01-0045-06

Simulation of camber control for rough mill of hot strip rolling

DAI Xiao-li, ZHAO Xian-ming, WANG Guo-dong

(The State Key Laboratory of Rolling and Automation, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract: There are some factors that cause the mill roll unbalance between the left and right side in hot strip rolling, so that the camber takes place in rolling process. The camber not only holds back the working process, but also results in degraded products. In this paper, camber control in rough mill was simulated dynamically with Matlab software in order to study the camber and adjust the rough mill to the best condition. The adjusting process of camber value, exit thickness and rolling force after control of hot strip rolling were attained.

Key words: hot strip rolling; rough mill; camber control; simulation

轧制生产作业时, 轧件经常快速向一侧跑偏, 导致板带拉断或工作辊损伤。造成这种不稳定现象主要是由于轧制条件在水平方向上的不对称因素, 如, 来料厚度左右不对称、带钢偏离轧制中心等。轧件的跑偏不仅妨碍生产作业, 还将导致产品出现质量缺陷, 是粗轧机板带轧制中经常遇到的问题, 常见于平整轧机、中厚板轧机和热带钢轧机等。尤其在为提高板带的成材率而采用减小板凸度的轧制生产中, 问题更为严重。

为了研究粗轧机轧制过程中的跑偏现象, 精确地调整粗轧机, 使其在最优工况下工作, 或为了设计新的粗轧机及自动控制系统, 就必须综合分析各种参数之间的定量关系, 研究机组的力能参数、运动学参数和变形参数的变化规律, 特别是研究在外扰量和调节量的作用下粗轧机运行状态的变化规律。用计算机仿真粗轧机跑偏控制动态过

程可以对跑偏过程中的各个变量进行分析研究, 并可以设计粗轧机的控制系统、对各种控制手段进行评价、增删控制环节以达到最佳控制效果, 进而对连轧过程的综合特性进行研究开发。本文采用 MATLAB 软件对热轧粗轧机带钢跑偏控制进行仿真。

在国外, 从事关于热轧板带跑偏控制方面工作的人为数很少, 主要有木村智明、桑野博明、久保多贞夫等人, 对带钢热轧跑偏检测器的开发、跑偏控制的特性等方面进行了较深入的研究^[1]。而国内对热轧板带跑偏过程进行动态仿真的工作尚未见相关文献报道。

1 轧制过程跑偏控制仿真模型

粗轧机轧制过程跑偏控制仿真以工艺模型为

基础,计算出动态过程每一瞬间参数随时间变化的数值,从而获得各参数在动态过程中的变化规律,然后对轧机进行跑偏控制.数学模型是轧制控制和设定的基础,本文中跑偏控制仿真所采用的主要模型如下:

1.1 轧制力模型^[2,3]

变形抗力模型:

$$\begin{cases} dk = \exp(k' + A/T)^{0.21 \cdot 0.13} \\ k' = 0.126 - 1.75c + 0.594c \\ A = 2851 + 2968c - 1120c^2 \end{cases} \quad (1)$$

式中 $T = \frac{t^0 + 273}{1000}$, t^0 为变形温度, °C; c 为碳的质量分数, $c = 0 \sim 1.2\%$; k' 为变形程度; $\dot{\epsilon}$ 为变形速度, s^{-1} .

单位宽度上轧制力模型:

$$p = dk \cdot l' \cdot n_f \cdot n_g \quad (2)$$

式中 l' 为变形区弧长, mm; n_f 为摩擦影响系数; n_g 为张力影响系数.

1.2 前滑模型(Bland-Ford 公式)

$$\begin{cases} S_b = \frac{R'}{h} \\ = \sqrt{\frac{h}{R}} \cdot \operatorname{tg}\left(\sqrt{\frac{h}{R}} \cdot \frac{H_b}{2}\right) \\ H_b = \frac{H_b}{2} - \frac{1}{2f} \ln\left(\frac{H}{h} \frac{1 - t_f/k_h}{1 - t_b/k_h}\right) \\ H_b = 2 \sqrt{\frac{R'}{h}} \operatorname{arctg}\left(\sqrt{\frac{R'}{h}}\right) \end{cases} \quad (3)$$

式中 t_f 、 t_b 为前、后张力, MPa; k_h 、 k_b 为入口、出口变形抗力, MPa; f 为摩擦系数; α 为咬入角; R' 为轧辊变形区半径, mm; h 为带钢出口厚度, mm.

1.3 跑偏模型^[4,5]

如果轧件的跑偏是由于在开始咬入过程中轧件的中心与轧机的中心没有重合,即轧件存在初始跑偏量,那么,初始跑偏量和跑偏的模型如图1所示.

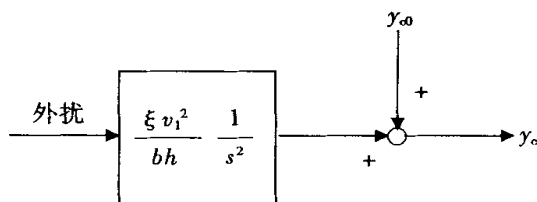


图1 初始跑偏量和跑偏的关系

Fig.1 Relation of initial camber value and camber process

图1中 y_c 为跑偏量, y_{c0} 为初始跑偏量, s 为拉普拉斯算子, b 为板宽, h 为板带出口厚度, v_1 为板带出口速度, 为常数.

1.4 厚度模型^[4,5]

轧件在粗轧机轧制过程中跑偏,产生左右不对称的情况,因此不能象传统那样计算轧辊弹跳来计算出口厚度.在这里分别考虑操作侧和驱动侧来计算左右两侧的出口厚度.

(1) 辊颈支承部位的位移

$$S_d = S_{d0} + \frac{2P_d}{K_H}, S_w = S_{w0} + \frac{2P_w}{K_H}$$

式中 S_d 、 S_w 为辊颈支承部位的位移, mm; S_{d0} 、 S_{w0} 为辊颈支承部位的初位移, mm; P_d 、 P_w 为辊颈的负载变化量, kN; K_H 为牌坊、轴承座等的挠曲弹性常数, kN/mm.

由此得板边处的位移 X_{d1} 、 X_{w1} :

$$X_{d1} = \left(\frac{S_w - S_d}{l_s}\right) \left(-\frac{b}{2} + y_c\right) + \frac{S_d + S_w}{2}$$

$$X_{w1} = \left(\frac{S_w - S_d}{l_s}\right) \left(\frac{b}{2} + y_c\right) + \frac{S_d + S_w}{2}$$

式中 b 为板宽, mm; l_s 为左右负荷点间距离, mm; y_c 为跑偏量, mm.

(2) 支撑辊和工作辊之间的变形

$$Z_d = \frac{q_d l_R}{K_F}, Z_w = \frac{q_w l_R}{K_F}$$

式中 Z_d 、 Z_w 为辊肩处位移, mm; K_F 为辊间压扁弹性常数, kN/mm; q_d 、 q_w 为辊边部单位宽接触压力, kN/mm; l_R 为辊身长, mm.

在板边处的位移 X_{d2} 、 X_{w2} 是:

$$X_{d2} = \left(\frac{Z_w - Z_d}{l_R}\right) \left(-\frac{b}{2} + y_c\right) + \frac{Z_d + Z_w}{2}$$

$$X_{w2} = \left(\frac{Z_w - Z_d}{l_R}\right) \left(\frac{b}{2} + y_c\right) + \frac{Z_d + Z_w}{2}$$

(3) 工作辊的弹性变形

有工作辊弹性变形引起的板边处的位移 X_{d3} 、 X_{w3} 为:

$$X_{d3} = \frac{p_d b}{K_f}, X_{w3} = \frac{p_w b}{K_f}$$

式中 p_d 、 p_w 为板边处单位宽接触压力, kN/mm; K_f 为辊缝内工作辊压扁弹性常数, kN/mm.

(4) 辊缝变化与轧制力的关系

$$p_d b = \frac{\partial P}{\partial h} h_d + \frac{\partial P}{\partial H} H_d$$

$$p_w b = \frac{\partial P}{\partial h} h_w + \frac{\partial P}{\partial H} H_w$$

式中 h_d 、 h_w 为出口板厚变化量, mm; H_d 、 H_w 为入口板厚变化量, mm; $\frac{\partial P}{\partial h}$ 、 $\frac{\partial P}{\partial H}$ 为影响系数.

这里 $h_d = X_{d1} + X_{d2} + X_{d3}$, $h_w = X_{w1} + X_{w2} + X_{w3}$

2 联解热轧板带跑偏模型及控制模型的动态仿真

在粗轧机轧制仿真过程中,系统模型分两部分:一是工艺模型,包括轧制力、前滑等数学模型,另一部分是控制模型,主要为了防止跑偏的继续发展.对轧制过程仅考虑工艺模型的纯工艺仿真研究时,未引入实际控制系统,无法得到跑偏随时间的变化,与实际生产差距较大;只对粗轧机的自动控制系统进行数字模拟与分析时,仿真工作建立在简化处理的轧制工艺模型基础上,例如对出入辊缝的带钢厚度仅进行了简单的比例放大.为了在不对称轧制条件下真正实现轧制过程的仿真,本文采用联解轧制工艺模型和控制模型的仿真方法.在这里主要是利用调节辊缝来实现对跑

偏的控制.因此,本文给出了调节辊缝的控制系统.根据下式对此轧机开口度偏差进行补偿控制,以进行跑偏控制^[1,6].

$$\alpha_1 \cdot P_{dw} / K_L + S_{dw} = 0$$

式中 α_1 为控制常数; S_{dw} 为开口度控制量,mm; K_L 为轧辊平行刚性系数,kN/mm.

由式可知, $\alpha_1 < 1$ 时为控制不足,此时,不能防止跑偏; $\alpha_1 = 1$ 时,即使板带跑偏也不会自然将其返回轧制中心.当 $\alpha_1 > 1$ 时,板带一旦出现跑偏,则跑偏侧的压下率增加,板带返回轧辊中心处,可实现具有向心性的控制.在这里 $\alpha_1 = 1.4$.

图 2 给出轧机上使用的跑偏控制的控制回路.该控制回路中除了前面介绍的控制平行刚性系数的 α_1 / K_L 之外,还追加了利用微分的相位超前回路(T 、 S),提高系统的稳定性.

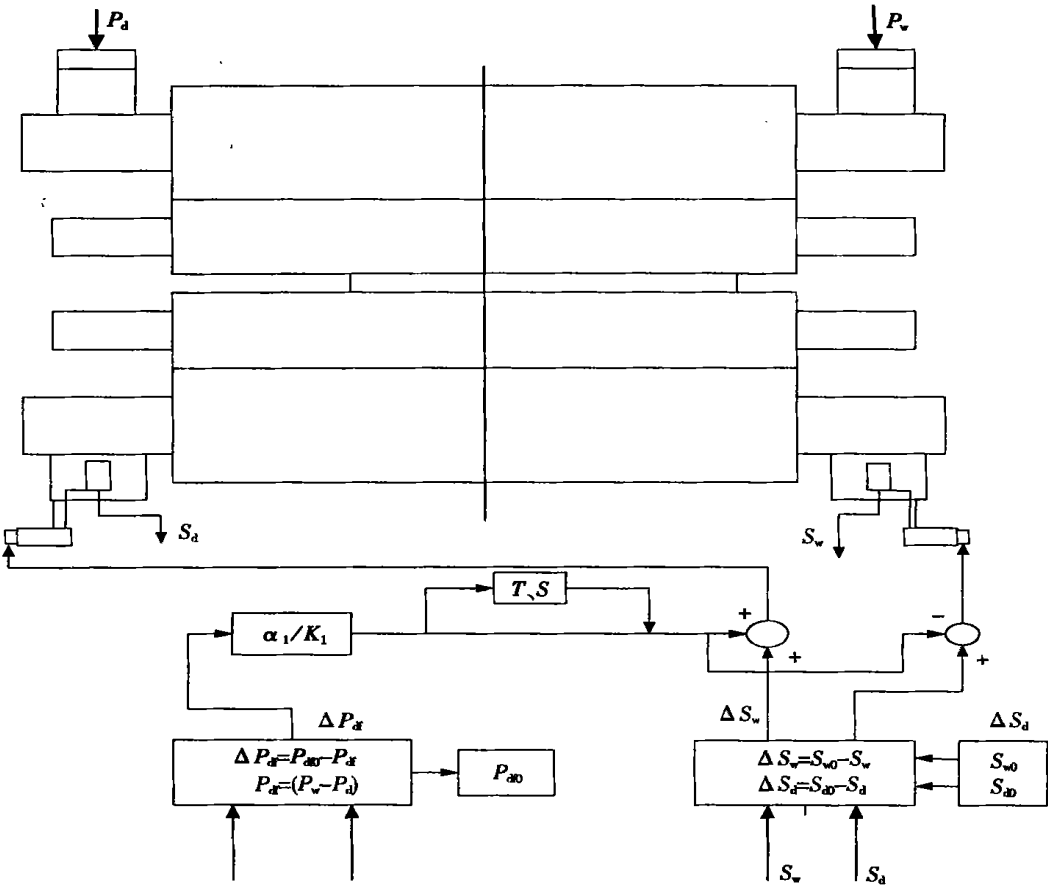


图 2 跑偏控制回路

Fig. 2 Model of camber control

3 仿真实例

以 MATLAB 为软件平台编制热轧粗轧机跑偏控制仿真软件,轧制工艺及设备参数如表 1 所示.

轧件产生跑偏的原因有很多,如轧件初始厚度不对称、咬入时轧件中心与轧辊中心不重合、轧件左右存在温差等等.在这里主要考虑轧件初始厚度不对称的情况,其它情况与此类似.假设轧件初始厚度差为 $H = 0.2 \text{ mm}$. (即 $H_a = 40\text{mm}$, $H_b =$

40.2mm)

图 3、图 4、图 5 为粗轧机轧制过程调节曲线。从图中可以看出跑偏量、轧制力、出口厚度等轧制参数一开始因为板带为左右厚度不对称的楔型产生了跑偏,在前 10s 的时间里比较大的波动。由于投入了控制手段,这些轧制参数的变化量逐渐减小,迅速收敛到目标值,达到稳定状态,实现了控制的目的。

通过这几组曲线变化分析可知,粗轧机轧制过程与控制过程的仿真结果与木村智明等人所做的实验结果相吻合^[1]。

表 1 轧制工艺及设备参数

Table 1 Main technical parameters of rolling process	
入口厚度 H/mm	40
工作辊半径 R/mm	450
轧辊弹性模量 $E/t \text{ mm}^{-2}$	2100
牌坊、轴承坐等的挠曲弹性常数 $K_H/\text{kN mm}^{-1}$	600000
辊缝内工作辊压扁弹性常数 $K_t/\text{kN mm}^{-1}$	1600
出口厚度 h/mm	28
带钢宽度 B/mm	1000
轧辊转速 $n/\text{r min}^{-1}$	30
辊间压扁弹性常数 $K_F/\text{kN mm}^{-1}$	3160

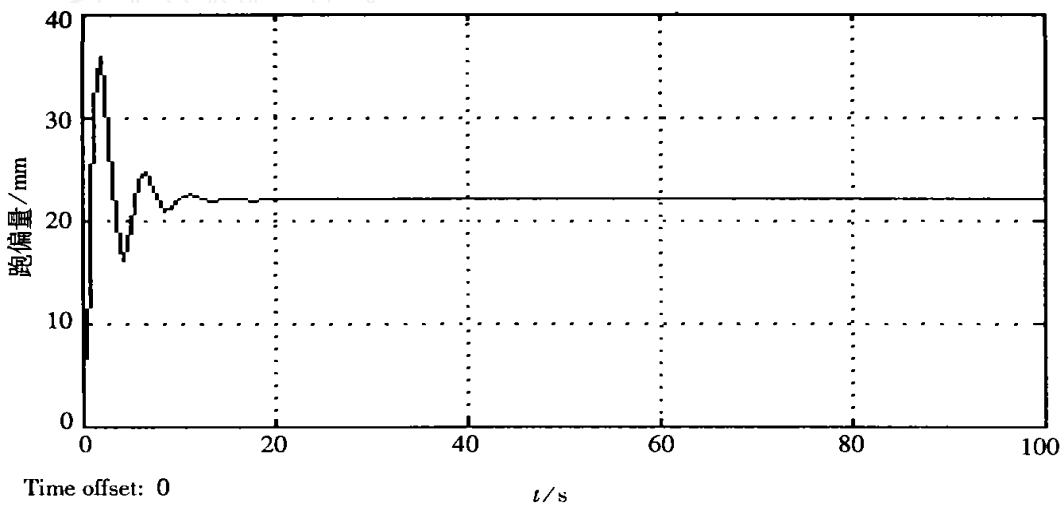


图 3 跑偏量调节过程

Fig.3 Control process of camber value

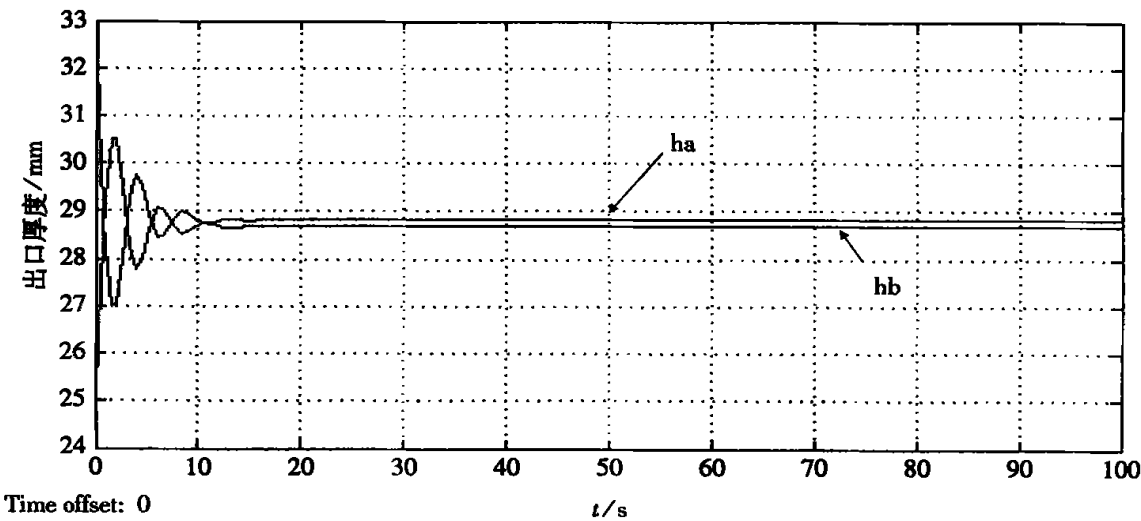


图 4 出口厚度调节过程

Fig.4 Control process of exyt thickness

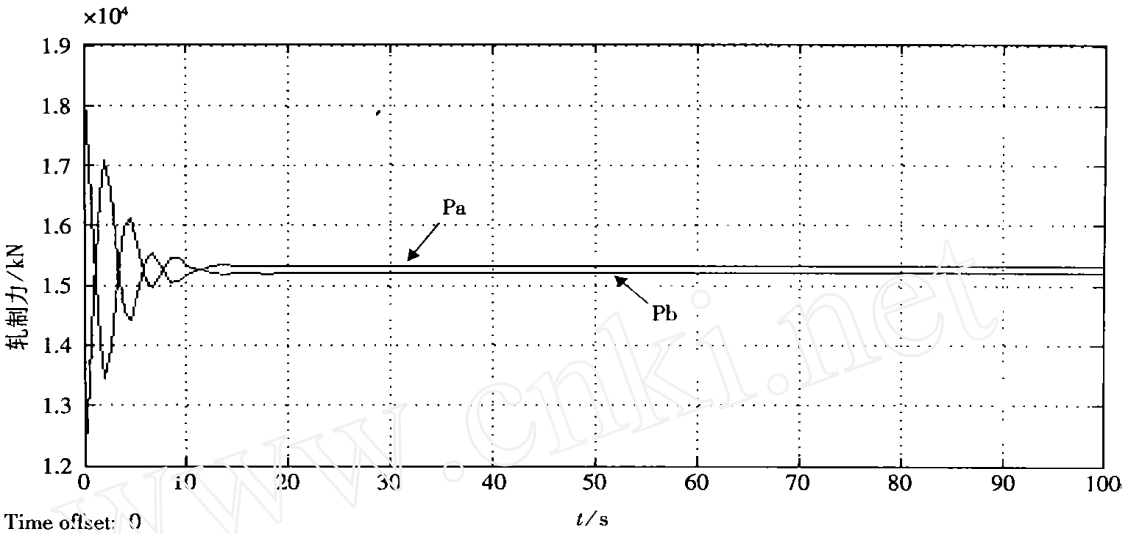


图 5 轧制力调节过程

Fig. 5 Control process of rolling force

4 结 语

应用 Matlab 软件对粗轧机跑偏控制过程进行仿真,建立了不对称轧制条件下跑偏过程的数学模型;对热轧带钢存在初始楔形情况下的控制过程进行了仿真模拟,得到了跑偏量,板带两侧厚度及轧制力在控制过程中随时间的变化规律.

参考文献:

[1] 木村智明. 板带轧制的蛇行控制[A]. 现代热轧带钢生产技

术[C]. 沈阳: 东北大学出版社, 1993. 226 - 236.

[2] 孙一康. 带钢热连轧数学模型基础[M]. 北京:冶金工业出版社,1979.

[3] 杨节. 轧制过程数学模型[M]. 北京:冶金工业出版社,1993.

[4] 王国栋. 带钢轧制理论与实践[M]. 北京:中国铁道出版社, 1986.

[5] 范影乐,杨胜天,李铁. Matlab 仿真应用详解[M]. 北京:人民邮电出版社,2001.

[6] 杨自厚. 自动控制原理[M]. 北京:冶金工业出版社,1998.