

模型参考自适应在轧机两侧压下特性一致控制中的应用

王洪瑞 苏 飞 王守宇 宋维公

(燕山大学电气工程学院·秦皇岛, 066004)

摘要: 冷轧机两侧液压压下系统的不一致性导致了带材横向厚差分布不均匀, 直接影响带材的板形质量. 针对此问题, 本文应用模型参考自适应方法, 提出了两侧压下系统共用同一参考模型的系统结构, 对系统进行了综合和控制, 收到了良好的实际应用效果.

关键词: 模型参考自适应; 轧机计算机控制; 板形控制

The Application of Model Reference Adaptive Control to Keeping Identical Pressing Character of Both Sides of Rolling Mill

WANG Hongrui, SU Fei, WANG Shouyu and SONG Weigong

(Institute of Electrical Engineering, Yanshan University·Qinhuangdao, 066004, P. R. China)

Abstract: The vary character of both sides of cold rolling mill hydraulic pressing system leads to an unequal horizontal thickness difference distribution of strip which affects strip shape directly. In order to solve this problem, we apply a kind of MRAC method which makes both sides of pressing system share a single model. By synthesizing and controlling the system, we get a very good actual effect.

Key words: MRAC; rolling mill computer control; shape control

1 引言 (Introduction)

目前, 由于市场对板带材的质量要求越来越高, 国内已经开始全面应用液压技术来装备、改造新老轧机的厚调系统. 高速响应的液压厚调系统的投入, 大大地提高了生产效率, 改善了产品质量, 轧制速度从过去的 2 米/秒提高到 8 米/秒以上, 带材的成品厚度可达 0.1 毫米以下, 纵向厚差不超过 ± 5 微米. 相应地对带材的横向厚差精度, 即板形, 要求也越来越高, 因为板形与板厚是板材质量的两项最关键的指标. 影响带材横向厚差因素是多方面的, 其中本文研究的, 轧机两侧液压压下系统动态特性的不一致, 就是一个重要因素. 本文采用了一种模型参考自适应方法, 成功地解决了用常规控制方法难以解决的保持轧机两侧液压压下系统动态特性一致的控制问题.

2 问题分析 (Problem analysis)

如图 1 所示, 液压压下系统两侧的压下缸及伺服系统是完全独立的, 以往在低速轧制系统中, 控制系统对两侧伺服系统的给定压下信号是同一量, 并简单地认为两侧的压下系统的动态特性是一致的, 不考虑其在轧制过程中对带材质量的影响. 随着市场对板带材需求量和质量要求的越来越高, 轧机的现代化水平

也在不断地提高, 高速度, 高精度既是现代化轧机不断进取的目标, 又是一对不可回避的矛盾. 冷轧高速特薄板轧机两侧压下系统动态特性的不一致性, 对板材质量的影响就是这对矛盾突出表现. 这种不一致性主要有, 电磁伺服阀及其它部件的特性的离散性, 安装位置的不同及安装质量和工作条件存在差异等. 另外, 轧机两侧压下系统的负荷也存在差异, 一侧有传动系统, 另一侧没有传动系统, 这也是造成轧机两侧压下系统动态特性不一致的一个主要因素. 两侧压下系统动态特性的不一致, 会导致带材横向厚差调节的不均匀, 直接影响到带材的板形质量, 如高速轧制时, 两侧压下系统特性的不一致, 带材会产生单边浪, 严

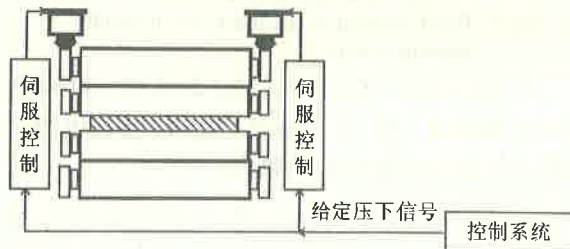


图 1 轧机液压压下原理示意图

Fig. 1 Theory sketch of the hydraulic pressing system of the rolling mill

重时会导致带材跑偏、断带等事故。

3 液压压下系统结构与模型 (Configuration and Model of the hydraulic pressing system)



图2 一侧压下系统

Fig. 2 One side of the hydraulic pressing system

两侧液压压下系统之一的结构框图如图2所示,其中轧机伺服放大器可视为比例环节:

$$I(s) = k_a u_r(s). \quad (1)$$

式中: $u_r(s)$ ——伺服放大器输入控制电压; $I(s)$ ——伺服放大器输出电流; k_a ——伺服放大器增益。

电液伺服阀的传递方程可写为

$$Q_L(s) = k_s I(s) - k_c P_L(s). \quad (2)$$

式中: $Q_L(s)$ ——伺服阀流量; k_s ——伺服阀静态流量放大系数; k_c ——伺服阀零位流量; $P_L(s)$ ——伺服阀负载压力。

油缸的运动方程为

$$AP_L(s) = (Ms^2 + Bs)X(s). \quad (3)$$

油液连续性方程为

$$Q_L(s) = AsX(s) + C_t P_L(s) + \frac{V_t}{4\beta_e} s P_L(s). \quad (4)$$

式(3)、(4)中: A ——油缸有效工作面积; M ——可动部分的等效惯性质量; B ——油缸运动的粘性摩擦系数; $X(s)$ ——工作辊辊缝输出位移; C_t ——液压缸的总泄漏系数; V_t ——油缸的压缩容积; β_e ——系统有效体积弹性模量。

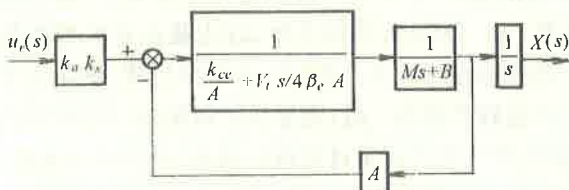


图3 单侧压下系统方块图

Fig. 3 Block diagram of one side of the hydraulic pressing system

令 $k_{ce} = k_c + C_t$, 由式(1)、(2)、(3)、(4)可得系统方块图如图3所示. 因 $k_{ce}/A^2 \ll 1$, 所以由图3可近似得系统的开环传递函数为:

$$G(s) = \frac{k}{s \left(\frac{s^2}{\omega_h^2} + \frac{2\delta_h}{\omega_h} s + 1 \right)}. \quad (5)$$

式(5)中

$$\omega_h = \sqrt{\frac{4\beta_e A^2}{MV_t}},$$

$$\delta_h = \frac{k_{ce}}{A} \sqrt{\frac{\beta_e M}{V_t}} + \frac{B}{4A} \sqrt{\frac{V_t}{\beta_e M}},$$

$$k = k_a k_s / A.$$

式(4)中参数 B, C_t, β_e 等参数受环境因素的影响而相对缓慢地在较大范围内波动,若按定常值确定并综合系统,显然很难获得良好的并使两侧保持一致的动态品质,因此式(5)的分母多项式的系数应看成是未知定常或慢时变的. 在本系统中,对象的状态无法直接测量,又因为开环增益 k 是一个大于0的定值,所以本系统满足设计模型参考自适应(MRAC)系统需作的几点假定^[1],可以采用MRAC方法对本系统进行综合与设计。

4 MRAC 液压压下系统的设计与综合 (MRAC design and synthesis of the hydraulic pressing system)

为了减小轧机两侧液压压下系统动态特性的不一致,首先我们提出并采用了如图4所示的结构来研究该系统的MRAC设计,即让两个被控对象同时跟踪一个参考模型,一是在选择参考模型中,力图通过使系统的各项性能指标优于常规控制方法下的系统性能指标,二是两侧压下系统跟踪同一参考模型以使两系统获得一致的动态特性。

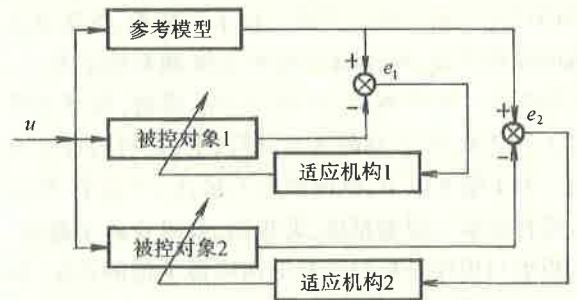


图4 MRAC设计结构图

Fig. 4 Configuration diagram of MRAC design

由于本系统采用计算机控制,所以选用了离散形式的MRAC控制算法^[2]. 由式(5)可得两液压压下系统的输入输出方程为:

$$\begin{aligned} A_1(z^{-1})Y_1(k) &= z^{-\tau-1}B_1(z^{-1})u_1(k), \\ A_2(z^{-1})Y_2(k) &= z^{-\tau-1}B_2(z^{-1})u_2(k). \end{aligned} \quad (6)$$

$$A_1(z^{-1}) = 1 - \sum_{i=1}^3 \hat{a}_{1i} z^{-i}, \quad B_1(z^{-1}) = \sum_{i=0}^1 \hat{b}_{1i} z^{-i},$$

$$A_2(z^{-1}) = 1 - \sum_{i=1}^3 \hat{a}_{2i} z^{-i}, \quad B_2(z^{-1}) = \sum_{i=0}^1 \hat{b}_{2i} z^{-i}.$$

$\tau = 1$ 为固有采样延迟时间, $Y_1(k), Y_2(k)$ 为两系统

$$V_l^0(k) = \sum_{i=1}^3 \hat{a}_{li} z^{-i} e_l(k) + \sum_{i=1}^3 [\hat{a}_{li} - a_i - h_{li}(k)] Y_m(k-i) + \sum_{i=0}^1 [\hat{b}_{li} - g_{li}(k-1)] u(k-2-i) + \sum_{i=1}^3 d_{li} z^{-i} e_l(k), \quad l = 1, 2. \quad (10)$$

本系统的计算步骤如下:

- 1) 每次上原料卷前利用 Walsh 函数离线辨识^[4]出 $A_1(z^{-1})$, $A_2(z^{-1})$, $B_1(z^{-1})$, $B_2(z^{-1})$;
- 2) $k = 1$;
- 3) 采集数据 $Y_1(k)$, $Y_2(k)$, $u_1(k)$, $u_2(k)$;
- 4) 求 $\hat{Y}_{1m}(k)$, $\hat{Y}_{2m}(k)$, $V_1^0(k)$, $V_2^0(k)$;
- 5) 根据式 (8)(9) 求新参数 $H_1(k)$, $H_2(k)$, $G_1(k)$, $G_2(k)$;
- 6) 计算新控制量 $u_1(k)$, $u_2(k)$;
- 7) $k = k + 1$;
- 8) 转至第 3 步。

5 冷轧机液压厚调系统的实现 (Realization of the hydraulic thickness adjustment system of the cold rolling mill)

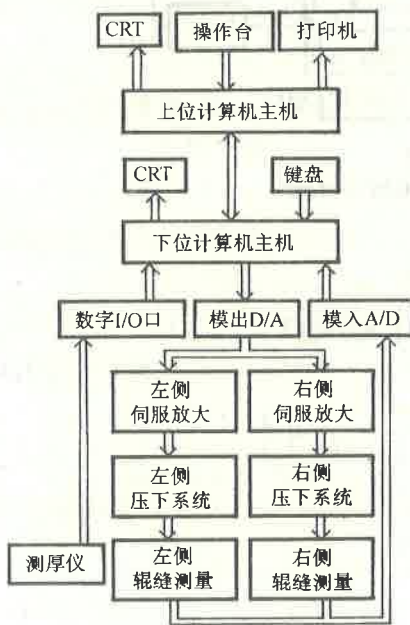


图 6 辊缝闭环计算机控制系统结构图

Fig. 6 Configuration diagram of the roller spacing closed loop computer control system

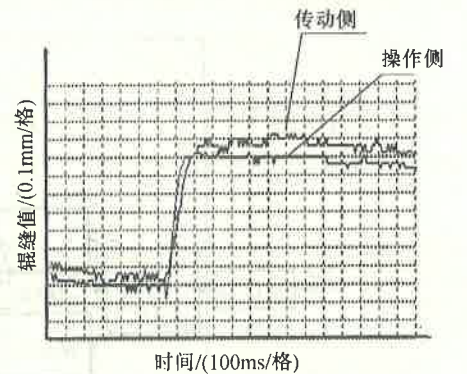
本文研究的系统是在西南精密带钢厂的 HCW650 精密冷轧带钢轧机上实现的. 系统采用了两级式计算机控制结构, 如图 6 所示, 上位机采用

80386 台式计算机, 承担最优轧制规程的设定和系统的人机联系, 即状态管理及工况监视. 下位机采用研华 386 工控机, 承担两侧压下辊缝的闭环控制和带材厚度闭环控制. A/D 功能、D/A 功能和 I/O 功能分别由 HY-6040, HY-6050 和 HY-6110 光电隔离集成电路板完成. 系统的软、硬件配置充分考虑了控制的实时性和可靠性.

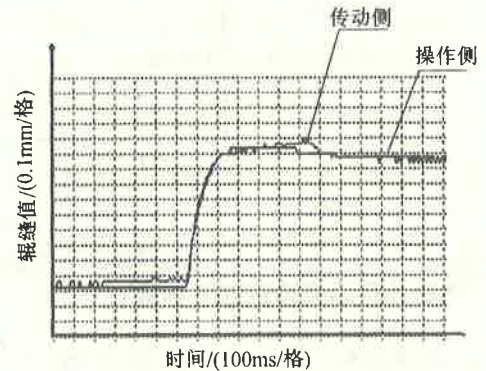
6 结论 (Conclusion)

本系统采用的参考模型为

$$\frac{Y_m(k)}{r(k)} = \frac{z^{-2}(1 - 0.08z^{-1})}{1 - 0.7z^{-1} + 0.14z^{-2} - 0.008z^{-3}}$$



(a)



(b)

图 7 实测响应曲线

Fig. 7 Actual response curve

采用轧机两侧压下系统跟随同一参考模型的 MRAC 控制方法之后, 系统特性得到大大改善. 图 7 是现场实测曲线, 图中横坐标为时间, 单位是 100ms/格, 纵坐标是辊缝仪测量值, 单位是 0.1mm/格. 图 7(a) 是没有采用本方法时系统的输出响应曲线, 因传动侧所受的机械上扰动比较大, 所以不仅两侧液压压下系统的过渡过程存在差异, 并且达到稳态后二者也存在很大偏差. 图 7(b) 是采用了本方法时系统的输出响应曲线, 不仅达到了消除两侧动态调节过程不一致的目的, 并且在稳态中传动侧的抗扰动能力也得到相应改善, 使两侧系统输出的一致性得到保证.

实际运行结果表明,对于轧机两侧液压压下系统这种基本结构相同,但特性差异较大的系统,在跟随同一参考模型的 MRAC 控制方法下,可以获得使二者动态特性比较一致的良好控制效果。

参考文献(References)

- 1 吴士昌,臧瀛芝.自适应控制.北京:机械工业出版社,1990
- 2 吴士昌,臧瀛芝.自适应控制.北京:机械工业出版社,1990,119 - 127
- 3 王洪瑞等.集辨识与综合为一体的系统设计方法.自动化仪器仪表,1993,(4):40 - 42
- 4 吴士昌,臧瀛芝.自适应控制.北京:机械工业出版社,1990,48 - 51

本文作者简介

王洪瑞 1956 年生.1981 年获工学硕士学位,现为燕山大学教授.一直从事现代控制理论在轧机的板厚与板形控制中的应用研究,共发表论文近 50 篇.1995 年在加拿大 SFU 进修一年,回国后继续从事该项研究.

苏 飞 1972 年生.1994 年获得学士学位,现为燕山大学硕士研究生.研究方向为自适应控制理论和板形板厚综合控制.

王守宇 1940 年生.1962 年毕业于哈尔滨工业大学,现为燕山大学副教授.主要研究方向为现代控制理论在轧机自动化中的应用.

宋维公 1934 年生.1960 年毕业于哈尔滨工业大学,现为燕山大学教授.目前主要研究方向为最优控制,神经网络控制和板形板厚综合控制.

(上接第 56 页)

- 14 Yang Jianmei, et al. Analysis of negotiation with SSM. Proc. IEEE SMC'97, Orlando, 1997
- 15 Gerald Midgley and Isaac Munlo. The theory and practice of boundary critique. Proc. the Second UK-China-Japan Workshop on Systems Methodology, Hull, UK: The University of Hull, 1996
- 16 Flood R L and Jackson M C. Creative Problem Solving: Total systems

Intervention, Chichester: Wiley, 1991

本文作者简介

杨建梅 女,1946 年生.教授,博士生导师.本科毕业于哈尔滨工业大学,博士研究生毕业于华南理工大学,曾赴加拿大多伦多大学作访问学者.广东省丁颖科技奖获得者.目前感兴趣的研究领域有软系统方法论,多准则决策理论,博弈论,社会选择理论等.

