

文章编号: 1001-0920(2002)01-0126-03

压力闭环下的轧机变刚度控制

王 君, 李建平, 王国栋

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

摘要: 指出了在压力闭环下进行变刚度控制的必要性, 从轧机变刚度定义出发提出了压力闭环下变刚度控制的基本方程, 给出了压力闭环下 BISRA、厚度计型和动态设定型变刚度控制模型, 并对其相互关系进行了分析讨论。

关键词: 变刚度控制; 压力闭环; BISRA; 厚度计型变刚度; 动态设定型变刚度

中图分类号: TP 29 **文献标识码:** A

Mill modulus control on pressure closed loop

WANG Jun, LI Jian-ping, WANG Guo-dong

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

Abstract: The necessity of using mill modulus control (MMC) on pressure closed loop is pointed out. Based on the definition of MMC, the basic equation of MMC on pressure closed loop is introduced. The BISRA MMC, gagemeter MMC and dynamic set MMC on pressure closed loop are put forward. The relationship between them is analyzed.

Key words: mill modulus control; pressure closed loop; BISRA; gagemeter MMC; dynamic set MMC

1 引言

液压压下系统的应用, 使得通过控制液压系统等效地改变轧机刚度成为可能。目前, 这种变刚度方法已在连轧机上得到广泛应用^[1]。过去, 液压压下辊缝调节一般采用位置控制方式, 已有的轧机变刚度控制理论和模型都是建立在位置闭环基础上的^[2], 现已发成熟并得到了广泛的应用^[3]。近年来, 越来越多的轧机系统采用压力闭环控制方式^[4], 为适应各种轧制情况, 也需要进行变刚度控制, 但压力闭环下的轧机变刚度控制问题尚未进行系统的研究。

本文从轧机变刚度定义出发, 提出了压力闭环下变刚度控制的基本方程, 给出压力闭环下 BISRA、

厚度计型和动态设定型变刚度控制模型, 并对其相互关系进行了分析讨论。这对于变刚度方法的进一步研究与实际应用都是非常有益的。

2 压力闭环下变刚度控制基本方程

轧机刚度 M 的表达式^[3] 为

$$M = \Delta P / \Delta h \Big|_{\Delta S = 0} \quad (1)$$

而轧机等效刚度 M_c 的表达式为

$$M_c = \Delta P / \Delta h \quad (2)$$

式中, Δh 为轧机有载辊缝(轧件出口厚度)增量, ΔS 为空载辊缝增量, ΔP 为轧机力增量。

轧机固有机械刚度 M 和轧机等效刚度 M_c 之间

收稿日期: 2000-06-07; 修回日期: 2000-08-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(59995440)

作者简介: 王君(1965—), 男, 辽宁建平人, 副教授, 硕士, 从事工业过程自动化系统的设计、研究和教学工作; 王国栋(1942—), 男, 辽宁大连人, 教授, 博士生导师, 从事轧制技术及自动化研究。

的数量关系为

$$\frac{1}{M} = \frac{1}{M_c} - \frac{\Delta S}{\Delta P} \quad (3)$$

在位置闭环下, 通过控制 ΔS 使之满足

$$\Delta S = f(\Delta P) \quad (4)$$

便可获得所要求的等效刚度 M_c 。

同理, 在压力闭环下, 通过控制 ΔP 使之满足

$$\Delta P = g(\Delta S) \quad (5)$$

也可获得所要求的等效刚度 M_c 。如果必要, 式(4)和(5)完全可以是非线性关系, 相应的轧机等效刚度是一个变量。

一般在位置闭环下, 取

$$\Delta S = -c\Delta P/M \quad (6)$$

式中 c 为一常数。相应地, 在压力闭环下, 取

$$\Delta P = -M\Delta S/c \quad (7)$$

将式(6)或(7)代入式(3), 可得

$$M_c = M/(1-c) \quad (8)$$

可见, 通过改变 c 值, 便可改变轧机等效刚度。

3 压力闭环下 BISRA 型变刚度控制模型

在压力闭环基础上, 直接应用式(7)作为压力增量设定值, 便构成了 BISRA 型变刚度系统, 如图 1 所示。其基本算法表达式为

$$\Delta P = P - P_0 \quad (9)$$

$$\Delta S = S - S_0 \quad (10)$$

$$\Delta P^* = -M\Delta S/c \quad (11)$$

$$P^* = P_0 + \Delta P + \Delta P^* \quad (12)$$

现对图 1 及文中符号说明如下: $G(s)$ 为压力闭环系统调节器、电液伺服阀和液压缸及轧机系统的

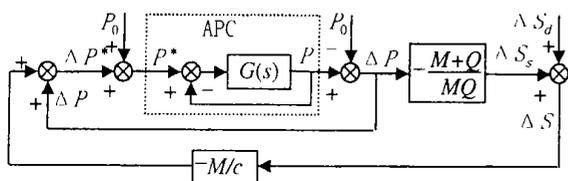


图 1 压力闭环下 BISRA 变刚度系统

综合传递函数; S, P 分别为液压缸位置和轧制力实际值; S_0, P_0 分别为位置和轧制力锁定值; $\Delta S, \Delta P$ 分别为以位置和轧制力锁定值为基准的位置和轧制力增量; $\Delta S_s, \Delta S_d$ 分别为由压力调节量和外扰量引起的位置增量; $\Delta P^*, \Delta P$ 均为实现等效刚度控制所需的压力增量, 但前者以液压缸压力实际值 P 为基准, 后者以液压缸压力锁定值为基准; M 为轧机刚度; Q 为轧件塑性系数。

4 压力闭环下动态设定型变刚度控制模型

动态设定型变刚度系统的基本思想是: 位置增量 ΔS 既包含轧件扰动引起的部分 ΔS_d , 又包含压力调节量 ΔP 引起的部分 ΔS_p , 即

$$\Delta S = \Delta S_p + \Delta S_d \quad (13)$$

$$\Delta S_p = -(M+Q)(\Delta P/M)Q \quad (14)$$

将式(13)和(14)代入式(10), 得到压力调节量 ΔP 与 ΔS_d 之间的对应关系

$$\Delta P = \Delta S_d M Q / (M + Q - cQ) \quad (15)$$

$$P^* = P_0 + \Delta P \quad (16)$$

式(13) ~ (16) 即为压力闭环下动态设定型变刚度系统的基本算法。其对应的控制系统原理如图 2 所示。

5 压力闭环下厚度计型变刚度控制模型

厚度计型变刚度系统的基本思想是: 以锁定工作点 (S_0, P_0) 为基准, 假设某时刻轧制工作点为 $(S_0 + \Delta S, P_0 + \Delta P)$, 此时位置增量和轧制力增量不满足式(7)。定义偏差量

$$\Delta h_c = \Delta P + M\Delta S/c \quad (17)$$

为消除此偏差量, 实现轧机等效刚度控制, 以此工作点为基准, 所需的压力调节量 ΔP^* 及其造成的位置增量 ΔS_p^* 应满足

$$\Delta S_p^* = -\Delta P^* (M + Q) / M Q \quad (18)$$

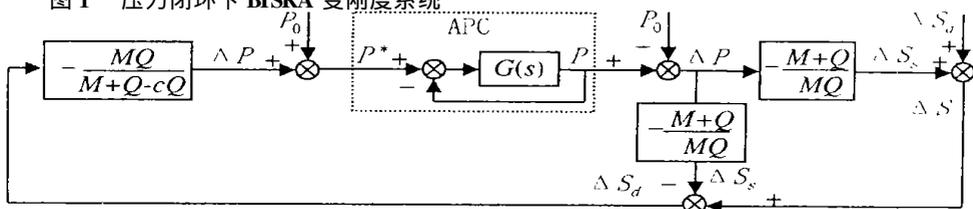


图 2 压力闭环下动态设定型变刚度系统原理

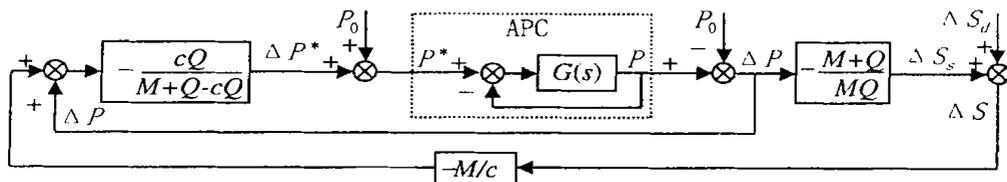


图3 压力闭环下厚度计型变刚度系统

$$-\Delta hc = \Delta P^* + M\Delta S_P^*/c \quad (19)$$

整理式(15), (16) 有

$$\Delta P^* = \Delta hcQ/(M+Q-cQ) \quad (20)$$

$$P^* = P_0 + \Delta P + \Delta P^* \quad (21)$$

式(17), (20) 和(21) 即为采用压力闭环时厚度计型变刚度系统的基本算法。其对应的控制系统原理如图3所示。

6 压力闭环下动态设定型和厚度计型变刚度控制模型之间关系

采用压力闭环时, 变刚度模型控制算法的一般形式为

$$P^* = f(\Delta S, \Delta P, S_0, P_0) \quad (22)$$

对于压力闭环下动态设定型变刚度模型控制算法, 将式(13) ~ (15) 代入(16) 得

$$P^* = P_0 + \Delta P(M+Q)/(M+Q-cQ) + \Delta SMQ/(M+Q-cQ) \quad (23)$$

对于压力闭环下厚度计型变刚度模型控制算法, 将式(17) 和(20) 代入(21) 得

$$P^* = P_0 + \Delta P(M+Q)/(M+Q-cQ) + \Delta SMQ/(M+Q-cQ) \quad (24)$$

可见, 式(23) 与式(24) 完全相同。所以, 从变刚度模

型控制算法上可以证明, 压力闭环下的厚度计型变刚度模型和动态设定型变刚度模型是统一的。

7 结 语

在压力闭环下如何实现轧机变刚度控制, 是一个重要的问题。本文指出了压力闭环下变刚度控制的必要性, 从轧机变刚度定义出发, 提出了压力闭环下变刚度控制的基本方程, 给出了压力闭环下 BIS-RA、厚度计型和动态设定型变刚度控制模型, 并对其相互关系进行了分析讨论。这对于变刚度方法的进一步研究与实际应用都非常有益。

参考文献(References):

- [1] 日本钢铁协会. 板带轧制理论与实践[M]. 王国栋等译. 北京: 中国铁道出版社, 1990.
- [2] 张进之. 压力 AGC 系统参数方程及变刚度轧机分析[J]. 冶金自动化(Metall Ind Automa), 1984, 8(1): 24-31.
- [3] 王君, 牛文勇, 王国栋. 厚度计型和动态设定型变刚度系统的统一性证明[J]. 控制与决策(Control and Decision), 2001, 16(4): 461-464.
- [4] 汪祥能, 丁修堃. 现代带钢连轧机控制[M]. 沈阳: 东北大学出版社, 1996.

(上接第125页)

4 实验结果

实验结果如图3所示。从实验结果可以看出: 二级倒立摆运行平稳, 这表明状态变量合成模糊神经网络对于具有同种类型和性质状态变量的多变量系统的控制是有效的。

5 结 论

本文提出了状态变量合成模糊神经网络控制方法, 对于状态变量可按性质和类型分类的多变量系统, 可以大大减少模糊神经网络控制器的规则数, 有

利于利用专家的控制经验。用加速的进化规划方法优化网络参数, 并用二级倒立摆实验加以证实。实验结果表明, 本文方法的控制效果好且鲁棒性强。

参考文献(References):

- [1] Furuta K, Hiroyuki K, Kosuge K. Digital control of a double inverted pendulum on an inclined rail[J]. Int J of Control, 1980, 32: 907-924.
- [2] 杨振强. 模糊神经网络控制器的设计与应用[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 1999. 58-62.
- [3] 王立新. 自适应模糊系统与控制[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995. 18-34.