

500mm四辊液压带材冷轧机控制过程设计

张宗欣

(电子工程系)

摘 要

现代液压轧机具有响应速度快,控制精度高,实现轧机负荷保护,简化设计,成本低,轧制产品精度高,产量高等优点,本文介绍了500mm四辊液压带材轧机控制过程设计,它对设计新轧机和改造现有旧轧机都具有现实意义。

关键词 液压轧机,厚度,自动控制

一、概 述

液压压下轧机的快速响应,为恒辊缝轧制、刚性补偿,偏心补偿以及厚度预控等新技术提供了实现的可能性。它不仅保证了液压轧机轧制产品的高精度和高速度,而且改变了传统的电动压下轧机的手动控制过程和方式,大大减轻轧钢工人的劳动强度。合理的控制过程对轧制产品精度的提高和轧机功能的发挥同样具有重要意义。

500mm四辊液压轧机AGC(厚度自动控制)系统包括控制过程系统、厚度监测预控系统、位置检测装置、轧制力装置,辊缝数字给定装置和楔铁调整装置等部份。本文介绍500mm四辊液压轧机的控制过程设计。该轧机是国家科委科技专项合同课题的应用和考核项目,1987年已投入运行,产品精度达到合同规定的指标($0.3 \pm 0.0075\text{mm}$)。该轧机结构示意图如图1所示。

由于轧辊的磨损,轧机最大开口度是变化的,如果从油缸活塞推至顶部为起点,根据油缸活塞下移量来计算辊缝大小是不准确的,只有将轧辊相压靠于某个压力时的辊缝做为辊缝计算的起点(称零辊缝)。在此基础上,油缸活塞上升的距离就是轧制辊缝的大小,因此控制过程可以分为三个部份:(1)空程过程;(2)恒压靠力过程;(3)轧制过程。由于下辊系的磨损,将使轧制线下移,影响轧制,一般采用在下支承辊轴承座上加垫铁的方法抬高轧制线。本轧机设计有楔铁调整装置,根据下辊系磨损量 $\Delta d + (1/2)\Delta D$ (Δd 为下工作辊直径磨损量, ΔD 为下支承辊直径磨损量),调整楔铁使轧制线上升到机组中心线^[3]。

在工作辊轴承座之间安装有四只差动变压品,检测辊缝的大小,每侧两只取其平均值,以补偿工作辊轴承座转动造成位置误差。因此,本轧机的控制过程:将主油缸活塞推至项

本文1988年8月3日收到。

部, 调下楔铁使下辊系达到轧制中心线, 手动机械调整差动变压器到 +10mm 处 (图 2 中 A 点); , 进行空程调零, 即加入约 +5V 左右的电压, 使四只差动变压器输出电压和两侧平均电压分别为零, 作为空程自动闭环零点; 将油缸投入闭环系统, 建立起空程自动闭环, 由空程给定电压 (-V) 使油缸压下, 而由差动变压器空程输出产生相反极性的电压 (+V) 进行反馈, 实现空程闭环。在空程压下过程中, 当上下辊相靠且其压靠力等于或大于预定的某压靠力时, 由轧制力控制装置自动将空程闭环切换为恒压力闭环过程。在轧机旋转恒压力状态下, 对差动变压器进行轧制工作零位调整, 使其以 B 点为坐标原点 (图 2)。

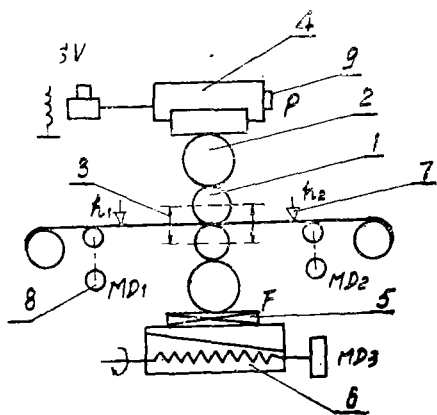


图1 500mm四辊液压轧机结构示意图

- 1—工作辊；2—支承辊；3—差动变压器；
4—油缸；5—测力计；6—楔铁；7—测厚
仪；8—光电脉冲发生器；9—压力传感器

工作零位调整完毕后, 由轧制闭环的给定装置中拨码盘给出最大辊缝值 (设计为 4.99 mm)。然后, 手动将过程转向“轧制”, 建立起恒辊缝轧制闭环过程, 进行穿带; 根据轧制工艺要求, 进行可逆轧制。本轧机还具有平正轧制功能, 为此, 必须将轧制方式转向平正位置, 建立起平正轧制闭环过程。

由上述可见, 控制过程分为辅助控制过程和轧制控制过程两部分。

二、辅助控制过程

辅助过程包括楔铁调整、空程闭环和恒压力闭环, 是轧制的准备阶段 (楔铁调整部分略)。空程闭环功能是保证油缸活塞及上辊系两侧 (操作侧和传动侧) 能同步均匀地压下, 以免卡住。压下速度由操作者控制, 当轧辊接近压靠时, 减缓压下速度, 避免轧辊冲击过大, 损伤轧辊, 其闭环原理如图 3 所示。本系统规定电流同服伐 SV 输入负电流使油缸充油, 进行压下, 通以正电流, 则放油, 轧辊抬起。当紧急开关按下时, SV 输入正电流, 油缸活塞推至顶部, 开口度最大、差动变压器处于 A 点。在位移变换装置中加入平衡电压使 A 点为空程零点, 此时轧辊脱开, 轧制力为零, 轧制力装置中 $FB = "O"$, 则当紧急开关松开后, 组成了空程闭环, 其辊缝大小由给定量 S_0 (空) 大小决定。

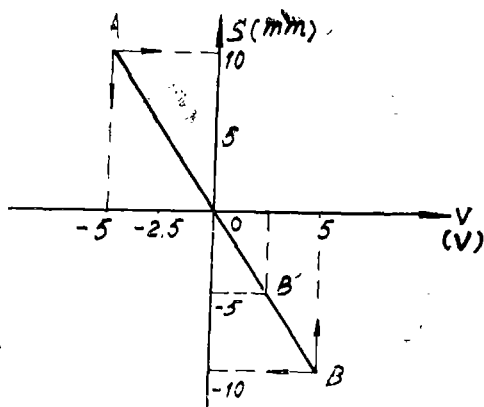


图2 差动变压器工作点安排

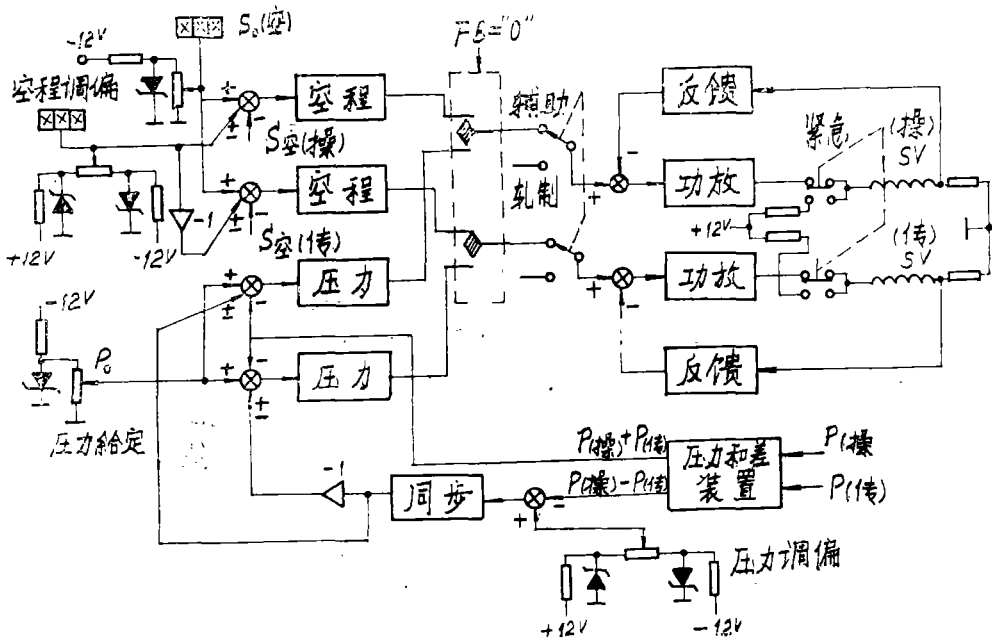


图3 辅助系统闭环框图

由于两侧油缸、电液伺服阀、差动变压器等参数可能不一致，在相同的给定量下，两侧实际辊缝可能不同，影响同步压下，系统设计有调偏信号提供给操作侧输入端，而其反相输出提供给传动侧，使两侧最大可调偏差位移 $\Delta S_{\max} = 2\text{mm}$ 。空程闭环性能要求不高，只要不产生振荡且能正确同步即可，而功放级中的串联校正和反馈校正主要为轧制闭环而设计。

恒压力闭环功能是保持在轧辊旋转下压靠力恒定不变，以便对差动变压器进行轧制工作点调零，当轧机任何一侧轧制力大于预定的 P_0 值后，FB信号由“0”→“1”，由空程闭环转入恒压力闭环，轧制力信号可以由测力计上取出（F），也可以由压力传感器上取出。考虑测力计响应速度慢，本系统设计为FB信号由F信号决定，而闭环反馈信号则由压力传感器取出，闭环系统如图3所示。图中 $P_0(-)$ 为给定量，反馈量取两侧压力和（ $P_{\text{操}} + P_{\text{传}}$ ），恒压力闭环也具有调偏和同步功能。调偏信号为正负电压，与压力装置输出的（ $P_{\text{操}} - P_{\text{传}}$ ）值相比较后输入同步调节器，其输出及反相后的信号分别送入操作侧和传动侧压力调节器输入端，修正压力给定值。当调偏信号为零时，可保持两侧压力相等。

在恒压力状态下对轧制工作位置进行调零，可采用微电脑进行自动调零。其硬件原理图和软件程序框图如图4所示。图中只画出一侧的两只差动变压器调零原理图，其中 S_1, S_2 为恒压力下一侧两只差动变压器的输出电压。由图2可知，新旧轧辊压靠时差动变压器可能处于 $-5 \sim -10\text{mm}$ 之间，其输出电压为 $+2.5 \sim +5\text{V}$ ，而两只之和最大输出可达 $+10\text{V}$ 。由于A/D—D/A板是单极性的，最大输入输出电压为 $+5\text{V}$ ，所以将输出电压分压后输入A/D板，并在软件中将采样数值除2，以保证进入A/D之值恒为正值。其中 A_4, A_5, A_6 是为了满足极性而设置的，实际上有四只差动变压器，必须有4个输入和输出。

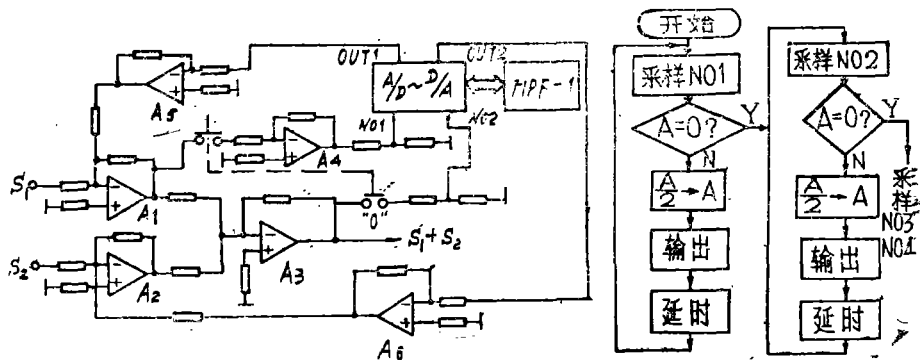


图4 轧机一侧工作调零硬、软件框图

三、轧制控制过程

轧制控制过程是工作在恒辊缝位置闭环状态下。该系统的性能指标（静态和动态）直接影响轧制产品的精度，而且轧机刚性补偿（包括板宽修正）、弯辊补偿以及厚度监控修正信号都要对本环的位置产生修正作用，如图5所示。相应的过程转换开关放在轧制位置，而轧制方式开关放在恒辊缝轧制位置。其中 S_0 给定是由数字给定装置中经D/A变换后输出的辊缝给定值。 S_F 为位置反馈、刚性补偿以及微电脑厚度监控输出的综合信号，同时具有弯辊。

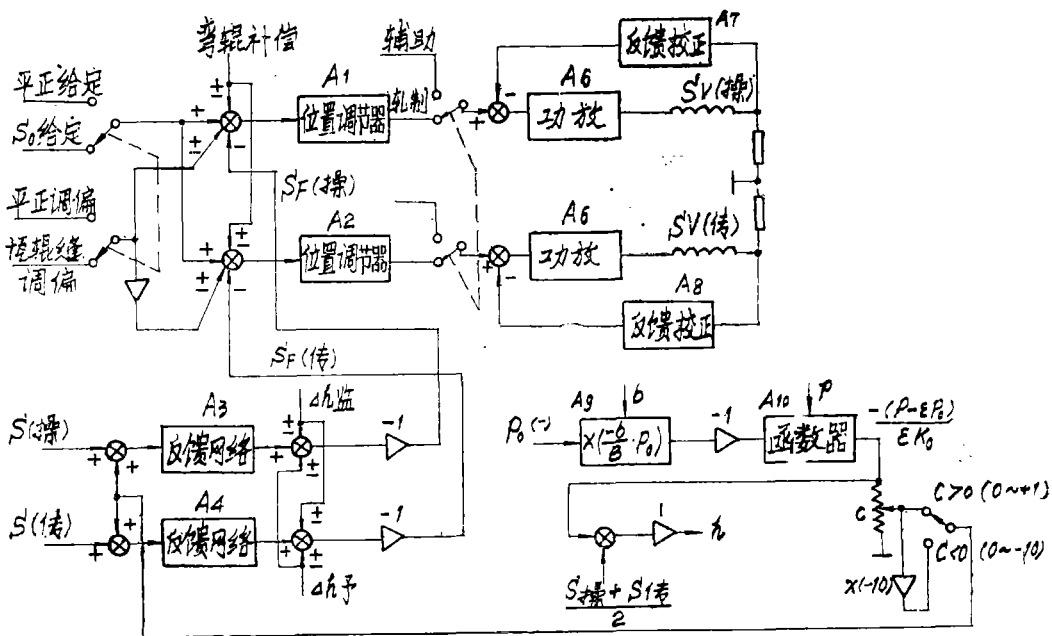


图5 轧制工作闭环原理图

补偿信号和两侧平衡调偏信号。在对差动变压器工作调零后,当 S_0 给定正电压时,辊缝加大,差动变压器产生负电压和 S_0 进行比较,实现闭环。由图5可见,当位置闭环系统开环增益足够大时,位置调节器输入信号之差应为零(暂不考虑调偏和弯辊补偿),则 $S_0 - S_F(\text{操}) = \delta$ 。设 $\delta = 0$,则 $S_0 - S_F(\text{操}) = 0$ (同样 $S_0 - S_F(\text{传}) = 0$),而 $S_F(\text{操}) = S(\text{操}) + C \cdot (P - \varepsilon P_0) / \varepsilon K_0$ 。其中, $P = P_{\text{操}} + P_{\text{传}}$,为轧制力之和; K_0 为空压靠时轧机刚度系数,具有 $K = K_0 \cdot \varepsilon$, K 为轧机轧制钢板时的刚度系数; $\varepsilon = b/B$,为弯辊系数, b 为轧制板宽, B 为辊身长; C 为刚性可调系数, $C > 0$ 时为 $0 \sim +1$, $C < 0$ 时为 $0 \sim -10$ 。故

$$S_0 = S_F(\text{操}) = S(\text{操}) + C \cdot (P - \varepsilon P_0) / \varepsilon K_0, \quad (1)$$

其中 $C(P - \varepsilon P_0) / \varepsilon K_0$ 为刚性补偿量。

图6为轧机的 P - H 图,由图可知“当刚度补偿投入后,轧机的出口厚度公式是

$$h = S + (P - \varepsilon P_0) / \varepsilon K_0, \quad (2)$$

其中 S 为两侧差动变压器位移平均值。图6中,当轧机空压靠到轧制力 P_0 时,产生负辊缝 OD 空压靠时轧机刚度为 K_0 。 $K_0 = \tan \varphi_0 = P_0 / OD$,以 D 点为辊缝零点,当给定 S_0 辊缝后,在入口钢板厚度为 H ,或若刚性补偿不投入即 $C = 0$ 的时候,则出口厚度为 h_1 ,轧制力为 P_1 。根据文[1]推导可知,当由 $P - \varepsilon P_0$ 引回反馈进行刚性补偿后,轧机将自动收敛工作于轧制力为 P ,出口厚度为 h 的位置上。此时, EP 线的刚度为 $K = \varepsilon K_0 = P / Eh$,而 $AB = C(P - \varepsilon P_0) / \varepsilon K_0$, $BC = (1 - C) \cdot (P - \varepsilon P_0) / \varepsilon K_0$ 。 $AB = EF = \Delta S$,称为刚性反馈量。所以 $S_0 = S + C \cdot (P - \varepsilon P_0) / \varepsilon K_0 = S + \Delta S$ 。可以证明当 $C = 1$ 时, $BC = 0$,出口厚度 $h = S_0$ 。出口厚度公式可写成: $h = S + P / K_0 \cdot \varepsilon - P_0 / K_0 = S + (1/K)(P - \varepsilon P_0)$ 不论 C 为何值,此厚度公式均成立,因此可以根据方程(1)和(2)来组成刚性补偿和出口厚度预示。

当空辊压靠调零后,设定辊缝为 $S_0(+)$,则打开辊缝,在轧制钢板时,若轧制力 $P = P_{\text{操}} + P_{\text{传}}$ 大于 $\varepsilon P_0(-)$,则 $-(P - \varepsilon P_0) / \varepsilon K_0$ 为负值。当 $C > 0$ 时,送入 A_3, A_4 的补偿量为负值,而在 S_0 为 $(+)$ 情况下, $S_{\text{操}}$ 和 $S_{\text{传}}$ 反馈量为负值。因此,当补偿量负值增高时, $S_{\text{操}}$ 和 $S_{\text{传}}$ 的负值减小,表示辊缝减小(压下),为正反馈。 C 值不能大于1,否则将会“跑飞”压下,压坏轧机。当 $C = 1$ 时,理论上轧机等效刚度为无穷大。 C 取负值时,轧机变软。

在图5中, A_1, A_2 输入信号中还有恒辊缝调偏信号。因在实际轧钢过程中,由于两侧辊缝的不一致,或来料纵向偏差过大,可能使出口带材发生弯曲(镰刀弯),轻则使板形变坏,重则造成断带,无法轧制。因此,必须有两侧调偏装置,在轧制过程中根据板形进行调偏,保证轧制正常,板形良好。

调偏控制设计为操作台上操作和操作点上操作兼容,在操作台上可控制操作点调偏是否有效。两个控制量总共可控制两侧位移差 $\Delta S = \pm 1\text{mm}$,操作点分配为 $\pm 0.4\text{mm}$,操作台为 $\pm 0.6\text{mm}$ 。当控制开关放在“单台”时,操作点控制失效,只能由操作台控制;当控制开关放在“点台”位置时,两控制兼容,调偏原理如图7所示。

当给定调偏量为零时,两侧具有同步的功能,当给定调偏量为 $+\Delta S$ 时,则操作侧压下 $(1/2)\Delta S$,而传动侧抬起 $(1/2)\Delta S$ 。

在轧钢中为了保证板形良好,还设计有弯辊系统.弯辊包括正弯和负弯两种,正弯是指弯辊油缸作用力施加于上下工作辊两侧轴承座之间,负弯则是作用力施加于上支承辊和上工作辊两侧轴承座之间,以及下支承辊和下工作辊两侧轴承座之间.由于弯辊力的存在,差动变压器位置信号就不能真实反映实际辊缝的大小,因此必须对辊缝值进行修正,使出口厚度满足预定的要求.本系统为了节约器材,简化系统,采用一套液压弯辊闭环系统,而正负弯由操作台上的转换开关控制电液换向阀的切换来实现.在位置闭

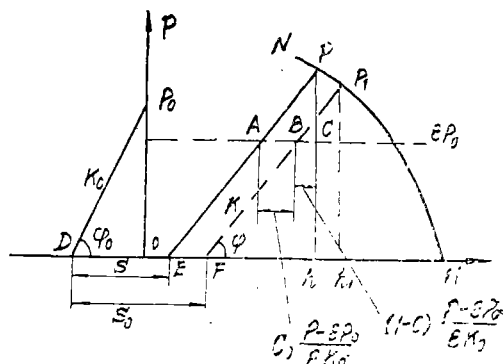


图6 轧机P-H图

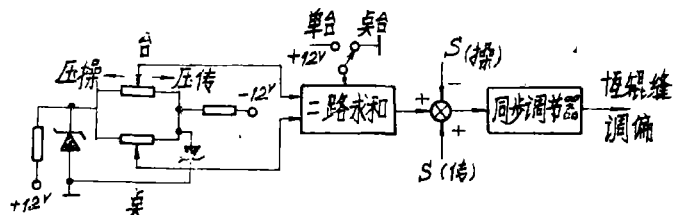


图7 恒辊缝同步调偏原理框图

环系统中,可保证差动变压器输出 S 值基本上恒定不变.由于正弯作用,工作辊呈凸辊形状,实际辊缝减小,出口厚度变薄,为使出口厚度保持不变,必须进行修正以加大辊缝.负弯由于工作辊呈凹辊形状,实际辊缝加大,必须通过补偿减小辊缝.

在负弯当弯辊力大于平衡力且无轧制力时,则工作辊和支承辊会脱节,将磨坏轧辊,在工艺上是不合理的.因此,设计有断带保护,当断带时强迫弯辊力为零.弯辊补偿量可以根据 $\Delta S = F_{\text{弯}}/K_{\text{弯}}$ 决定,其中 $F_{\text{弯}}$ 为弯辊力大小, $K_{\text{弯}}$ 为弯辊系数,它与轧材宽度,轧制力大小,轧材硬度等多种因素有关,可由实验确定.本轧机还具有平正轧制功能,由于篇幅所限未做介绍.厚度预监控系统见〔2〕.

参 考 文 献

- 〔1〕 张宗欣, 液压轧机厚控系统若干问题的探讨, 重型机械, 11 (1980).
- 〔2〕 张宗欣, 500mm四辊液压轧钢机微电脑厚度前馈和反馈控制系统, 华侨大学学报(自然科学版), 1 (1987).
- 〔3〕 张宗欣, 高精度位移传感器及其在液压轧机上的应用, 华侨大学学报(自然科学版), 3 (1988).
- 〔4〕 周明德, 微型计算机硬件软件及其应用, 清华大学出版社, (1984).

A Control Process Designing for a Four 500mm Rolls Hydraulic Strip Mill

Zhang Zongxin

Abstract

The modern hydraulic mill possesses the advantages of faster response, more precise control, mill protection through load limiting, simplified designing, lower cost and improved yield with more accurate rolled products.

This paper presents a new design of control process for a four 500mm rolls hydraulic strip mill. It is meaningful both for designing new mills and transforming existing ones.

Key words hydraulic mills, thickness, automatic control