

高精度位置传感器及其在液压轧机上的应用

张 宗 欣

(电子工程系)

摘 要

本文介绍了一种高精度位置传感器,现已应用于300 mm 和500 mm 四辊液压轧机上,用以测量轧机的辊缝大小,也可以应用到测量尺寸的其它场合。

一、概 述

由于液压轧机控制精度高,反应速度快等一系列优点,近年来已逐渐取代了传统的电动压下轧机,而液压轧机厚度自动控制系统(AGC)主要由位置闭环,压力反馈环、刚性补偿环、入口厚度预控环,出口厚度监控环等部分组成。位置闭环是主环,其它环节的作用均需通过位置闭环实现对辊缝的修用。对位置闭环的基本要求是稳态精度高,响应速度快,并具有强的厚度消差能力。位置闭环的检测元件是位置传感器,用以检测辊缝的大小。在闭环系统放大倍数足够大的条件下,位置传感器的精度直接影响到系统的精度,它的时间常数和系统的响应速度密切相关,因此选择和设计合理的位置传感器就成为研制 AGC 系统的重要环节。选择位置传感器必须考虑以下三方面。

(1) 安装部位:目前国内外研制的四辊液压轧机,位置传感器安装部位虽有各种各样,但大体上可归类为:(A)安装在主油缸活塞和牌坊架之间;(B)安装在上下工作辊轴承座之间。方式(A)具有响应速度快、结构简单、换辊方便等优点,但支承辊偏摆将严重影响轧机的出口厚度精度,如果该系统具有支承辊偏心补偿装置或采用软特性轧制配合以微机预控系统,则仍可收到较好的效果,因此目前国内外大型轧机、热轧机仍然普遍采用这种方案,如哈尔滨101厂引进的意大利LLQ-900冷轧机就是这种控制方式。而(B)种方式具有消除支承辊偏心能力,经在西安某300 mm 四辊轧机上实验,其消除支承辊偏心摆动能力达95%以上。轧机的等效刚度也比(A)种方式高5—6倍,消差能力较强,这是近年来最有发展希望的一种方式,目前采用这种方式的中型四辊液压轧机产品通带误差可达到 $< \pm 2 - 3 \mu\text{m}$ 的程度。西安重型机械研究所研制的300 mm、500 mm 四辊液压机及西德克虏伯公司生产的轧机均用这种方式,其缺点是机械结构、安装调试较复杂,换辊不方便,每次换辊后须要重新调整。

(2) 环境条件:轧机现场条件是恶劣的,工艺润滑油飞溅、烟气浓、铁渣多、温度高

本文1987年6月15日收到。

(特别是热轧机),对传感器十分不利,且不同的安装位置,条件又有所不同,如(B)种方式最为恶劣,除上述几种因素外,且容易受轧制冲击,而对于(A)种方式压下轧机比压上轧机条件好些。目前国内外普遍采用的位置传感器有差动变压器、光栅、同步感应器及磁尺,由于差动变压器结构简单,分辨率高,环境适应性强,因此在国内外液压轧机上获得广泛应用(日本IHI公司采用磁尺)。

(3)行程:传感器的行程选择与轧机规格、安装部位、控制方式、工艺要求以及轧机机械设计等多方面有关,必须具体分析。对传感器本身,一般说来行程大,分辨率低、精度低,因此必须在综合整机设计的基础上适当选择。下面以上海某500mm四辊液压轧机为例,介绍行程选择、工作点安排及二次线路设计。

二、差动变压器及其工作点安排

由整机设计要求,差动变压器选用CZW-20型,行程为 $\pm 20\text{mm}$,初级供电电压为交流36V,频率为1—3kHz,差动变压器示意图及位移-交流直流电压特性如图1所示,其中 $U_{13\sim} = \Delta U_{\sim} = U_{12\sim} - U_{32\sim}$ 。将 ΔU_{\sim} 经相敏整流后可得位移-直流电压特性曲线,如图1中的 ΔU_{\sim} 线,在激励电压36V,频率1.2kHz条件下,位移灵敏度为 $0.5\text{mV}/\mu\text{m}$ 。

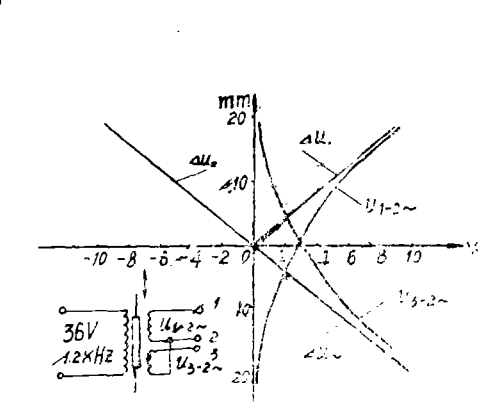


图1 差动变压器位移-电压特性

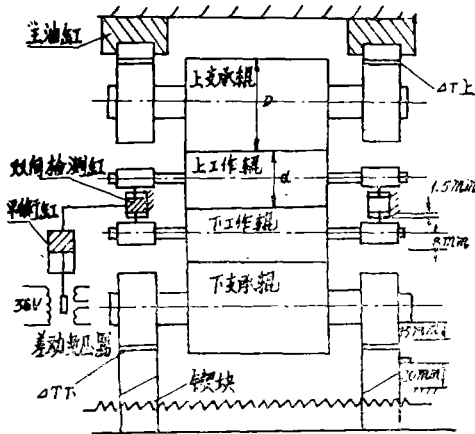


图2 轧机一侧结构示意图

由整机设计确定,主油缸行程40mm,双向检测缸下腔行程10mm,上腔行程30mm,平衡缸行程45mm,差动变压器 $\pm 20\text{mm}$,楔块行程30mm,轧机一侧的结构示意图如图2所示。而双向检测缸如图3所示。

根据设计要求,支承辊最大重磨量 $\Delta D_{\text{max}} = 20\text{mm}$,工作辊最大重磨量 $\Delta d_{\text{max}} = 15\text{mm}$,机械设计初始尺寸:(1)下辊系。在新轧辊($D = 550\text{mm}$, $d = 200\text{mm}$)调下楔块到轧制中心线时,楔块距楔块托架20mm,下支承辊距下支承辊托架15mm,而下工作辊距下工

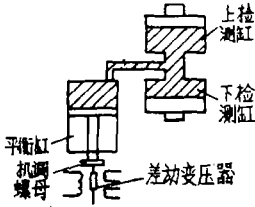


图3 位置检测结构图

作托架 8 mm, 检测油缸下活塞距缸底 1.5 mm。但当支承辊和工作辊尺寸最小 ($D=530\text{ mm}$, $d=185\text{ mm}$) 时, 下楔块经上移 $20\text{ mm} + \Delta D_{\max}/2 + \Delta d_{\max} = 20 + 10 + 15 = 45\text{ mm}$ 才到达中心线。而楔块行程只有 30 mm, 故工艺上规定当下辊系重磨量 $\Delta D/2 + \Delta d \geq 5\text{ mm}$ 后, 必须加下垫片 ΔT , 以保证下楔块行程在 20—25 mm 之内。当下工作辊重磨量 $\Delta d_{\max} = 15\text{ mm}$ 时, 下检测缸由 1.5 mm 上升到 $1.5 + \Delta d_{\max}/2 = 9\text{ mm}$, 在下检测缸行程之内, 故满足要求。由于检测缸面积和位移平衡缸面积相等, 故由最大下工作辊变为最小下工作辊时, 检测缸、平衡缸和差动变压器场移动 $\Delta d_{\max}/2 = 7.5\text{ mm}$ (工作辊变小时, 差动变压器向下移动)。(2) 上辊系。当上支承辊和上工作辊尺寸最大 ($D=550\text{ mm}$, $d=200\text{ mm}$), 且主油缸活塞推至顶部时, 上检测缸离缸顶留有 6.5 mm, 轧机开口度为 15 mm, 此时压下到中心线, 则主油缸下移 15 mm, 上检测缸下移 15 mm, 到 $15 + 6.5 = 21.5\text{ mm}$ 处工作, 而位移平衡缸和差动变压器下移 15 mm, 在上辊系尺寸最小 ($D=530\text{ mm}$, $d=185\text{ mm}$), 主油缸活塞推至顶部时, 轧机开口度为 $15 + \Delta D_{\max}/2 + \Delta d_{\max} = 15 + 10 + 15 = 40\text{ mm}$, 上检测缸上移 $(\Delta D_{\max} + \Delta d_{\max})/2 = (20 + 15)/2 = 17.5 > 6.5\text{ mm}$, 而压下到上下工作辊相碰时, 上检测缸下移 $\Delta d_{\max}/2 = 7.5\text{ mm}$, 工作于 $15 + 6.5 + 7.5 = 29\text{ mm}$, 主油缸从顶部下移 $15 + \Delta D_{\max}/2 + \Delta d_{\max} = 15 + 10 + 15 = 40\text{ mm}$ 。为了保证上检测缸上移量不超过 6.5 mm, 主油缸工作点不偏离 5 mm ($15\text{ mm} + (0 - 5)\text{ mm}$, 保证闭环系统频宽)。工艺上规定, 在上辊系重磨量 $\Delta D/2 + \Delta d \geq 5\text{ mm}$ 时, 加上垫片 ΔT 。

当采用加垫片工艺后, ΔD , Δd , ΔT 和开口度及上检测缸移动量之间有如下关系: 主油缸活塞在顶部, 则开口度 $= 15\text{ mm} + (\Delta d + \Delta D/2 - \Delta T)$; 上检测缸位移量 $\Delta S = (\Delta D + \Delta d)/2 - \Delta T$ 。 ΔS 为正值表示上移, ΔS 为负表示下移, 差动变压器位移和上检测缸位移大小相等方向一致。采用加垫片工艺后, 由分析可知, 下移最大发生在上工作辊最小, 垫片加最大后, 可达 $-\Delta d_{\max}/2 = -7.5\text{ mm}$; 上移最大发生在支承辊最小, 不加垫片或加垫片最小, 上移量最大可达 $+5\text{ mm}$ 。根据 ΔD 、 Δd 和 ΔT 不同组合, 主油缸活塞在顶部时, 差动变压器可能上移最大 5 mm, 或下移最大 -7.5 mm , 工作点是变化的, 再考虑其开口度, 若取差动变压器单方向 $0 - +20\text{ mm}$, 是不能满足全行程要求的。因此, 规定在楔块调整完毕后, 主油缸活塞在顶部时, 机械调节差动变压器 (由图 3 中的机调螺母调整), 使其工作在 $+10\text{ mm}$ 处。在任何尺寸组合和只要 $\Delta D/2 + \Delta d \geq 5\text{ mm}$ 后就加垫片的条件下, 开口度为 15 mm, 空辊压靠时, 差动变压器将工作在 -5 mm , 而开口度为 20 mm, 空辊压靠时差动变压器将工作于 -10 mm 处。故差动变压器工作点安排如图 4 所示。

轧机控制过程是: 在调整楔块使下辊系达到轧制中心线后, 由调节器控制主油缸, 使活塞推至顶部, 然后手动调节差动变压器, 使其工作在 $+10\text{ mm}$ 处, 此时差动变压器部分输出 -5 V 电压 (用表头指示), 用 $+5\text{ V}$ 电压进行

空程调零, 使其组合输出为零。当空程闭环系统输入为负电压, 油缸压下, 此时差动变压器由 $A \rightarrow B$, 输出正电压, 实现空程位置闭环。在新轧辊时, 上下工作辊于 B 点相碰 (开口度 15 mm), 自动转入恒压力闭环过程。此时差动变压器部分产生 $+2.5\text{ V}$ 电压, 用负电压进行轧

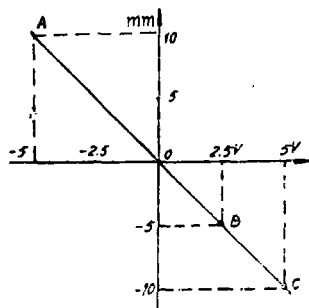


图4 差动变压器工作点安排

制闭环调零, 作为轧制状态零位。当转入轧制状态时, 给定辊缝值为正电压, 油缸带动轧辊抬起, 差动变压器由 $B \rightarrow 0$, 产生负电压, 实现轧制位置的闭环。在旧辊时空辊压靠在 C 点, 同样用负电压调零, 其它和 B 点工作相似。因此, 空辊压靠是在 $-5 \sim -10 \text{ mm}$ 之间, 而轧制状态在 $0 \sim -10 \text{ mm}$ 之间(因板厚 $< 5 \text{ mm}$)。

三、差动变压器二次线路设计

差动变压器是做为轧机辊缝的检测元件, 从闭环系统理论知道, 系统的精度主要决定于系统的给定和检测元件(当系统放大倍数足够大时), 在反馈系数取1的条件下, 差动变压器的任何误差将直接影响辊缝的精度。为了保证辊缝的准确稳定, 要求: (1) 差动变压器的激励电源幅值高度稳定; (2) 相敏检波压降值小, 漂移小, 并能自动补偿漂移; (3) 四只差动变压器间的相互干扰小。恒幅振荡器原理图如图5所示。从图可知, 由振荡器经功放级开关放大后, 在次级输出方波 36 V 提供给四只差动变压器外, 且在同一绕组下端 $2 \times 8 \text{ V}$ 引出振荡电压经全波整流后, 作为反馈信号(一)和给定的标准电压 $+6 \text{ V}$ ($2\text{DW}7\text{C}$)进行比较, 其差值经 $A1$ 运放器放大(PI)后控制功放级的电源, 使其反馈值和给定值相等, 保证整流输出电压的恒定, 而整流输出的反馈电压的恒定意味着交流振荡输出幅值的恒定。这个自动闭环系统, 由于 $A1$ 采用PI调节器, 开环静态放大倍数为无穷大, 因此系统的稳态精度主要由给定($2\text{DW}7\text{C}$)和检测的精度以及 $A1$ 的漂移大小所决定。在相敏检波中由于采用三极管反接对接法, 所以正向导通压降小于 1 mV , 而且由于采用差分对管, 具有温度互补的作用, 所以温漂很小, 因此检波输出直流电压大小能精确反应交流振幅的大小, 从而保证激励电源振幅的稳度, 振幅精度达 0.1% 。

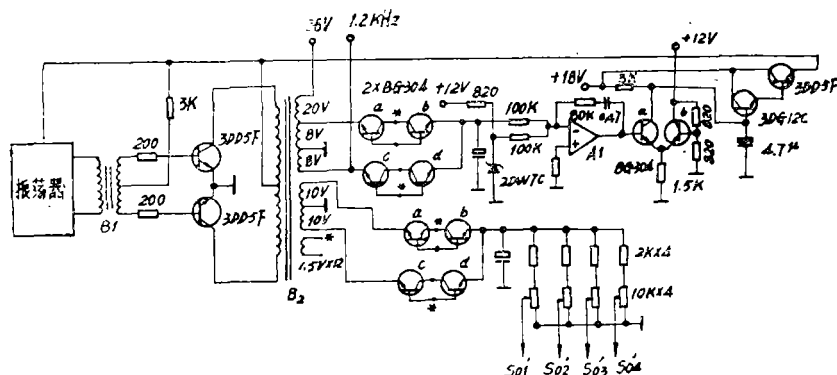


图5 恒幅振荡器原理图

由于自动闭环系统还使交流输出的内阻足够小, 避免了四只差动变压器工作过程中的相互干扰。因此可以共用一个振荡器, 这对保证两侧辊缝的平行, 防止断带是有利的。恒幅自动闭环系统主要是消除系统的慢漂移, 对系统的快速性要求不高。由恒幅振荡器输出的方波电压(36 V , 1.2 kHz)供给轧机上的四只差动变压器, 其一侧的原理图如图6所示(另一侧原理相同, 略)。

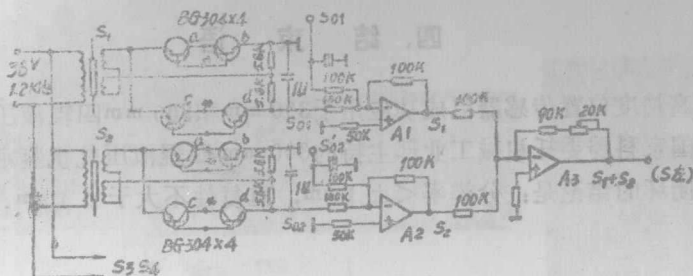


图6 轧制工作调零电原理图

分别将差动变压器 S_1 、 S_2 、(S_3 、 S_4)按图中所示进行连接,其差值经相敏整流后分别输出 S_{01} 、 S_{02} 、(S_{03} 、 S_{04}),在 $A1$ 、 $A2$ 输入端经 S'_{01} 、 S'_{02} 平衡后,经 $A1$ 、 $A2$ 放大后输出 S_1 、 S_2 ,再经 $A3$ 输出其平均值 $S_1 + S_2$ ($S_{左}$),做为轧制时的一侧位置反馈信号。同样 $S_3 + S_4$ ($S_{右}$)做为另一侧的反馈信号。 S'_{01} 、 S'_{02} 、(S'_{03} 、 S'_{04})平衡电压是由振荡器的次级绕组 $2 \times 10V$ 经整流后输出的负电压提供,采用振荡器自身提供的电压为调零电压,可以起进一步抵消漂移的效果。

差动变压器本身受温度变化的影响是较大的,本轧机采用将差动变压器安装在钢壳体内部,并安装在轧机的牌坊上,散热面积很大,热容量大,大大减小了温度漂移。而在“机调零”后,差动变压器位于 $+10mm$ 处,为了保证空程闭环,此时也必须对差动变压器进行空程调零,这是由另一套相似的电路组成,输出空程闭环的反馈信号。

为了在上辊系磨损量超过 $5mm$ 时必须加垫片的自动指示,可采用在轧辊压靠后,差动变压器的位置来判断。由上面分析可知,当下楔块调整完毕后,主油缸活塞在顶部时,使用手动“机调零”的办法,使差动变压器工作于 $+10mm$ 处,在采用辊系磨损量 $\geq 5mm$ 加垫片的方法后,开口度在 $15-20mm$ 之间,即在空辊压靠(恒压力)时,差动变压器工作在 $-5-10mm$ 。如果 $\Delta D/2 + \Delta d - \Delta T > 5mm$,则差动变压器将工作在 $-10mm$ 之下,指示必须加垫片,或垫片过小须加厚,以保护轧机在规定的工艺规范内正常工作。线路原理可利用 $-10mm$ 时,差动变压器输出 S_{01} 、 S_{02} 、 S_{03} 、 S_{04} 为 $+5V$,大于 $+5V$ 时,发出加垫指示。原理如图7所示。

当 $(S_{01} + S_{02} + S_{03} + S_{04})/4 < 5V$ 时, $A1$ 为“1” N 为“0”,当 $B = “1”$ (即恒压力相靠)时,加垫灯不亮,而当平均值 $> 5V$ 时, $A1$ 为“0”, $N = “1”$,当 $B = “1”$ 时,加垫灯亮,警告操作者必须加垫片。

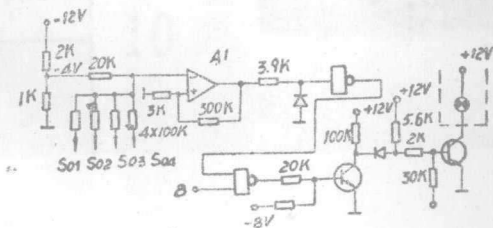


图7 加垫指示电路

四、结 束 语

本文介绍的高精度位置传感器已成功应用于300 mm和500 mm四辊液压轧机上,传感器性能稳定可靠。在国家科委委托机械工业部主持的300 mm 四辊液压轧机鉴定会议上,对由此传感器组成的位置闭环的结论是:分辨率 $< \pm 1 \mu\text{m}$, 重复性不大于 $\pm 1 \mu\text{m}$ 。

参 考 文 献

- 〔1〕刘兴邦, 对 LLQ-900 冷轧机双闭环AGC系统的分析与实验, 冶金自动化, 2 (1980)。
- 〔2〕张宗欣, 液压轧机厚控系统中若干问题的探讨, 重型机械, 11 (1980)。
- 〔3〕张宗欣, 300 mm 四辊液压轧机厚度监(预)控系统, 冶金自动化, 1 (1968)。

A High Accuracy Position Sensor and Its Application to Hydraulic Mill

Zhang Zongxin

Abstract

This paper presents a high accuracy position sensor which has been applied to four 300mm and 500mm rolls hydraulic mill for measuring the gap between rolls.

It also can be used for measuring dimension in other situations.