伺服阀在 MPM 连轧管机中的应用*

张仰军

(内蒙古包钢钢联股份有限公司钢管公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 伺服阀是液压缸控制系统(HCCS)的核心控制元件,而实现闭环控制的计算机系统则是HCCS的主要控制机构,轧机所用的D791伺服阀本身又是自带闭环控制的控制阀。文章介绍了MOOG D791伺服阀的工作原理,对其流量控制特点及动态性能进行了分析。采用仿真程序可以看到伺服阀的阀芯位移反馈信号,通过伺服阀整个动作过程中反馈值与给定值的跟随性曲线,可以判断伺服阀的工作性能优劣。

关键词: 伺服系统; HCCS; 伺服阀; 流量控制分析

中图分类号: TG333.8 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2019)04-0069-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2019.04.018

Applications of Servo Valve on Mandrel Pipe Mill

Zhang Yang-jun

(*Steel Tube Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The servo valve is the core control element of hydraulic cylinder control system(HCCS), the computer system implemented the closed-loop control is the main control mechanism of HCCS and the D791 servo valve itself used for rolling mill is the control valve with closed-loop control. In the paper, the working principles of MOOG D791 servo valve are introduced as well as the control characteristics of its flow and its dynamic properties are analyzed. The feedback signals of spool displacement for servo valve could be seen with the simulated program as well as the superiority and inferiority for its working performances could be judged through the following features curve of feedback values and set values in the whole motion process of servo valve.

Key words: servo system; HCCS; servo valve; analysis of flow control

液压缸控制系统(HCCS)是MPM连轧管机辊缝控制的主要系统。伺服阀是该系统的核心控制元件,该系统是通过伺服阀控制五机架连轧机的轧辊液压缸位置来控制轧机的辊缝和压力,进而在线控制钢管的壁厚。该轧机的每个机架有四个液压缸,每个液压缸有一个伺服阀。无缝厂伺服系统属于位置随动系统,是控制系统的一种。在这种系统中,输出量(机械位移)能够快速而准确地反映输入量(±10 mA之间的位置给定信号)的变化规律,因此,它是带有负反馈的闭环控制系统。因为传递的力矩和功率很大,具有信号的功率放大作用,所以它也是一个功率放大装置。该轧机所用的美国MOOG公司的D791伺服阀本身又是自带闭环控制的控制阀。HCCS系统把从位置传感器测得的电气信号实际值与液压缸位置的设定值进行比较,其偏差值作为液压缸位置调节量输出到位置调节器,达到准确

* 收稿日期: 2019-06-01

作者简介: 张仰军(1972-),男,内蒙古包头市人,高级工程师,现从事电气设备管理工作。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

控制液压缸位置的目的。由于HCCS系统的动力源为液压拖动装置(液压泵),因此,HCCS本质上是一个阀控电液伺服系统[1]。伺服阀是该系统的核心控制元件,而实现闭环控制的计算机系统则是HCCS的主要控制机构。HCCS具有响应速度快,硬件通用性强,软件功能强大,维护效率高等特点。因此,了解伺服阀及其控制系统的特性才能更好地使用并且维护该伺服系统。

1 D791伺服阀控制特性

1.1 工作原理

伺服阀是伺服系统中最重要,最基本的组成部分。伺服阀的阀芯性能、额定流量、控制流量、频率特性等参数是选用的重要标准。HCCS系统中使用了电反馈式、带双喷嘴挡板系统的D791伺服阀。双喷嘴挡板阀的衔铁工作在中位附近,线性度好,性能稳定,抗干扰能力强,零漂小,是高性能的伺服阀。其主阀芯的换向不是靠电磁铁来推动,而是靠前置级先导阀输出的液压力来推动,它的前置先导阀是动态特性比较好的喷嘴挡板阀。当不进行辊缝设定时,主阀芯应在中间位置,当设定辊缝时,电气信号(±10 mA之间的给定值)施加到伺服阀内的集成控制放大器上,由放大器驱动前置先导阀动作,喷嘴挡板偏离中间位置,造成主滑阀两端的压力发生变化,驱动主滑阀运动,伺服阀内的位移传感器检测到主阀芯的位置后,将此实际值由解调器整流后反馈给控制放大器并与指令值比较,控制放大器驱动力矩马达,直到指令电压与反馈电压相等。而主阀芯的位移实现了对流量的调节进而控制了液压缸的移动。根据液压系统的控制原理可知,力矩马达产生的电磁力矩为:

$$T = K \times I \quad (1)$$

式中,T为电磁力矩,N·m;K为力矩马达的力矩系数,N·m/A;I为输入电流,A。

当阀芯处于动态平衡位置时,其电磁力矩与挡板组件的阻尼力矩、阀芯两端不平衡压力所产生的力矩相平衡,如果忽略挡板组件的阻尼力矩,则马达电磁力矩与阀芯两端不平衡压力产生的力矩相平衡。由上面公式可知,力矩马达的电磁力矩和输入电流成正比,所以阀芯的位移与输入的电流成正比。

1.2 流量控制

由式(1)可知,力矩马达的电磁力矩和输入电流成正比,属于线性关系,但实际上通过伺服阀的流量与控制压力却呈非线性关系。

为了研究伺服阀的流量控制特点,当阀芯在某一工作点附近或系统变量在动态过程中偏离平衡点不大时,我们可以用线性化方法把非线性方程转化为线性微分方程,并以增量的形式表示相应的变量。

例如:$Q = CX\sqrt{P_s - P_l}$[2] (2)

式中,Q为阀口流量;C为流量系数;X为阀芯位移量或阀的开口度;P_s为供油压力;P_l为负载压力。

当阀处于工作状态中的某个平衡点时,设各参数分别为Q_o、X_o、P_{so}、P_{lo},则在平衡点附近线性化后,可得方程:

$$\Delta Q = K_q \cdot \Delta X - K_c \cdot \Delta P_l \quad (3)$$

式(3)中,$\Delta Q = Q - Q_o$;$\Delta X = X - X_o$;$\Delta P_l = P_l - P_{lo}$;$K_q$为流量增益,设非线性方程为:$Y = F(x)$,则:$K_q = \partial F/\partial x \mid x = x_o, p_l = p_{lo}$

K_c:流量压力系数

$K_c = -\partial F/\partial p_l \mid x = x_o, p_l = p_{lo}$

由式(2)和式(3)确立的数学模型可以看出滑阀的负载流量与主阀芯位移量的关系,而且电流的极性导致了主阀芯移动的方向,也就决定了阀口液流的方向,这样便满足了对电液伺服阀控制功能的要求[2]。

从上面我们也可以看出D791伺服阀属于多级伺服控制元件。功率主滑阀、前置级先导阀和阀内位移检测器构成了D791伺服阀的三级层次结构。

由于D791伺服阀使用了阀内位移检测器,它的主阀芯的位置由此来检测,并作为阀内控制放大器的反馈信号与给定值比较,所产生的控制信号来驱动力矩马达。正是由于这一阀内闭环的实现使得该伺服阀内的电液转换元件(力矩马达)、前置先导阀及功率滑阀的参数变动、线性度和干扰等对阀的性能影响大大降低了。因此,D791伺服阀的分辨率很高(不超过额定电流的1%),分辨率高意味着摩擦影响比较小,也即阀芯阀套间加工质量比较好,前置级压力、流量增益比较高,推动阀芯力比较大,而它的零漂和滞环却大为减少(如:滞环不超过额定电流的0.5%)。同时,由于HCCS系统中流量要求比较大,选用D791三级电反馈伺服阀,电气线路中有校正环节,这样它的频宽可以很高。可以看出,D791伺服阀的性能特点非常适合对多机架连轧机辊逢的精确控制。

需要说明的是,液压缸的实际位置是由缸体上的位置传感器传给HCCS系统,并作为位置调节器

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的反馈环节与给定值进行比较，这一点维护人员需要注意。该机组使用了 SONY 磁尺(DG155P) ，具有很高的性能指标(测量精度为 1 μm，响应时间为 1 ms) 。图 1 为 HCCS 系统工作原理方框图。

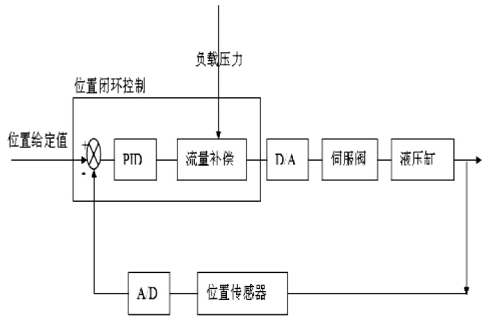


图 1　HCCS 系统工作原理方框图

1.3　动态性能参数分析

由于 D791 伺服阀属于电反馈型的三级阀，因此，分析频率特性等电气动态特性对于判断伺服阀的性能十分有帮助。

我们利用故障分析软件 iba Analyzer 对伺服阀的阶跃响应做过测试分析。通过设定一个辊缝值，伺服阀便得到一个电流阶跃输入信号，它驱动液压缸逐步达到这个位置，我们利用采集到的伺服阀芯位置反馈信号，通过仿真程序看到伺服阀的阀芯位移情况，我们通过伺服阀整个动作过程中阀芯位置反馈值与系统给定值的跟随性曲线，可以判断伺服阀的工作性能优劣。对于性能好的伺服阀，它的阀芯位置反馈曲线与给定曲线基本吻合，是一个方波信号，见图 2，下方液压缸伺服阀工作性能优于上方液压缸伺服阀的工作性能。当伺服阀芯位置反馈已成一条直线且为 - 100% ，可以判断该伺服阀芯已处于反向满偏异常状态或其反馈环节出故障了，见图 3。

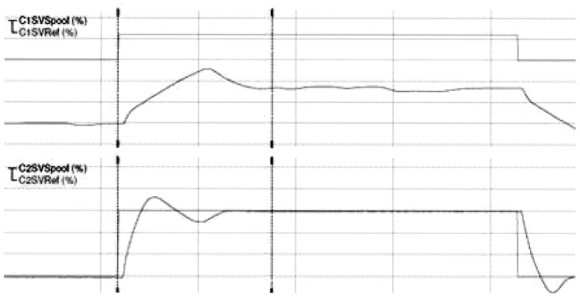


图 2　伺服阀芯位置反馈跟随性比较

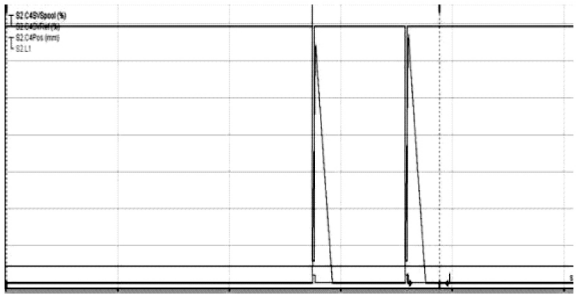


图 3　判断伺服阀故障的图例

2　D791 伺服阀常见故障分析

(1) 伺服阀的入口压力不足。因为伺服阀是以电控方式实现对流量的节流控制，必然有能量损失，因此它需要一定的流量来维持前置级控制油路的工作，而前置先导阀的压力则来自于伺服阀的入口，假如入口的压力不足，前置先导阀就不能输出足够的压力来推动主阀芯动作。维护人员通过 HCCS 系统中的人机接口 winHMI 的终端可看到阀芯的位置反馈值(以百分数表示) ，它反映了阀芯的偏离程度。此时，阀芯的位置可能没有变化或波动较大。这种故障一般是由于控制油路中的锁紧阀没有打开或溢流阀芯没正常回位所致。

(2) 伺服阀的 ± 15 V 电源故障。此时，控制放大器不能工作，无法调整阀芯位置，其反馈值将迅速增大(以百分数表示，可达 ± 100%) ，当没有负载时，阀芯已严重偏离中间位置，处于漂移状态。

(3) 伺服阀的零部件磨损及油液污染。包括阀芯、喷嘴等被磨损或污染造成控制灵敏度下降或失控。此外，力矩马达导磁体与衔铁缝隙中有污染物时，相当于减小了衔铁在中位时的每个气隙长度。根据液压控制系统的分析结论: 当 $|x/g|>1/3$ 时(x 为衔铁端部偏离中位的位移，g 为衔铁在中位时的气隙长度) [3] ，衔铁不稳定，会破坏力矩马达原有的静态特性，这种情况容易给维护人员造成判断上的困难。

(4) 双喷嘴挡板与喷嘴间隙小，易被污物卡住。它对信号变化、油液污染十分敏感，给维护工作带来很多麻烦，而频繁地更换又会导致伺服阀内电路、液路性能的不稳定，造成恶性循环。由于喷嘴挡板式伺服阀是利用两个喷嘴的背压作为控制力，在工作时如有一侧发生杂物堵塞喷嘴挡板的情况，会造成一侧压力上升，使阀芯向一边移动，阀芯的偏移会形成单方

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

向的流量输出，即向一边偏移直到最大位置，即所谓的“满舵”现象。而且喷嘴挡板阀的压力效率和容积效率约为50%，比射流管低，其控制力较小。

3 对策建议

(1) 控制油液污染，做好电气线路及伺服阀头的防护，减少不必要的“排除法”更换次数。

(2) 考虑用射流管阀来替代喷嘴挡板阀的应用研究。射流管阀的阀芯直径明显大于喷嘴挡板阀，而阀芯直径越大，其驱动力也越大，即使有一点杂物和污粒，滑阀级也能顺利工作，从而提高了可靠性。射流管阀射流放大器部分压力效率和容积效率较高，推动阀芯力也较大。

4 结束语

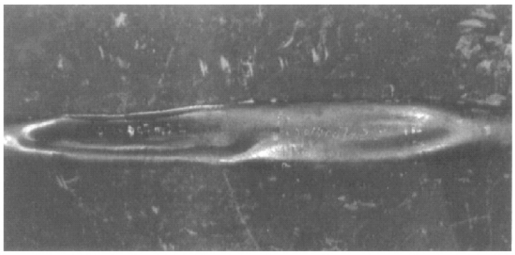
HCCS系统运行几年以来，工作状态稳定，根据上述对伺服阀性能测试及故障判断过程的描述，可以看出，利用系统强大的信号采集和故障分析功能，能够很快找到故障点，明显缩短了事故处理时间。需要指出，HCCS系统的稳定运行有赖于伺服阀等现场控制元件的可靠运行。伺服阀是精密制造的机电一体化产品，精度极高，对信号变化、油液污染十分敏感，它对维护、清洁及对维护工作重要性的认识等方面都有较高的要求。

参 考 文 献

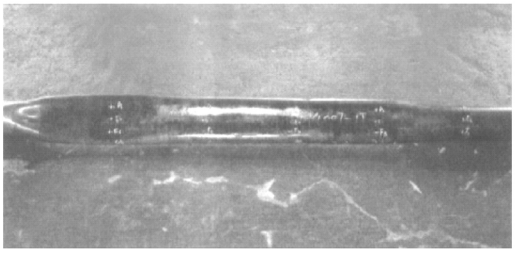
[1] 王春行. 液压伺服控制系统 [M]. 兰州: 甘肃工业大学出版社，1989.

[2] 张利平. 液压气动技术速查手册 [M]. 北京: 化学工业出版社，2007.

(上接第62页)



(c) 试样2Z挤毁后的形貌



(d) 试样3T挤毁后的形貌

图5 试样挤毁后的形貌

从实验结果可以看出，BT150P射孔枪管的抗挤毁性能良好，富余量大，满足射孔枪管的设计要求。

5 结论

(1) 工业试制结果表明，BT150P钢种成分设计合理，炼钢轧制工艺确实可行，具备生产推广应用条件。

(2) 通过对大生产取样在实验室进行各项热处理试验表明，BT150P最佳热处理制度为淬火(900±10)℃、保温40 min、回火(630±5)℃、保温80 min，材料的拉伸、冲击性能满足设计要求。

(3) 射孔枪管的抗挤毁性能良好，满足射孔枪管性能要求。

参 考 文 献

[1] 邹良志，石化国，杨家忠. 国内外主要射孔技术发展评述 [J]. 石油仪器，2012，26(4)：22－25.

[2] 方剑，周梦雄，邹喜洋. 32CrMo4钢射孔枪管探伤不合格原因分析 [J]. 理化检验－物理分册，2010，46(8)：512－518.

[3] 江勇，张传友，周家祥. 射孔枪用高强高韧无缝钢管开发 [J]. 天津冶金，2008，(5)：33－39.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net