

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2015.06.017

通径 12.5 mm 新型 2D 数字伺服阀实验研究

李祖华, 孙 杰, 李 胜, 阮 健

(特种装备制造与先进加工技术教育部/浙江省重点实验室(浙江工业大学), 浙江 杭州 310014)

摘 要:针对原有 2D 数字伺服阀存在加工困难等问题,文章设计了新型的通径 12.5 mm 2D 数字伺服阀。分析了 12.5 mm 通径斜槽型 2D 数字伺服阀的工作原理、结构特性,设计了斜槽型的导控机构,不仅方便加工,而且使伺服阀的整体性能得到很大提高。在此基础上设计并搭建了实验平台,在 21 MPa 的系统压力下对阀进行静动态实验研究。实验结果表明该阀的线性度约为 4.1%,滞环约为 1.9%,不对称度为 3.1%,零位泄露量为 $5.60 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$,导控级的零位泄漏量为 $0.64 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$,频宽为 175 Hz(对应 25% 额定流量)。较之同样级别的伺服阀具有更好的动静态特性,结构更加紧凑。

关 键 词:2D 数字伺服阀;动静特性;数字控制;斜槽型导控级

中图分类号:TH137.52

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2015)06-0071-04

Experimental Study on New 12.5 mm Diameter 2D Digital Servo Valve

LI Zuhua, SUN Jie, LI Sheng, RUAN Jian

(Key Laboratory of E & M (Zhejiang University of Technology), Ministry of Education & Zhejiang Province, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Aiming at the original 2D digital servo valve difficult to process, this article designed a new 12.5 mm diameter 2D digital servo valve. This article first analyzed the structure characteristics, the working principle of the 12.5 mm diameter 2D digital servo valve with chute type guide and control mechanism. The valve innovatively designed the control mechanism of chute type guide, not only convenient for processing, but also make the whole performance of the servo valve greatly improve. On this basis, the experimental platform was built. Experimental studied under 21 MPa system pressure about the static and dynamic characteristics of the valve was carried out. The experimental results show that the valve linearity is 4.1%, hysteresis is 1.9%, asymmetric degree is 3.1%, leakage in zero place is $5.60 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, guide controlling leakage in zero place is $0.64 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, bandwidth is 175 Hz (corresponding to 25% rated flow). It has better dynamic and static characteristics, and the structure is more compact compared to the same level of servo valve.

Key words: 2D digital servo valve; static and dynamic characteristics; digital control; chute type guide and control mechanism

随着生产的发展,机械装备自动化程度日益提高。在对控制系统的功率及动态响应都要求较高的情况下,电液伺服控制系统得到了广泛的应用。电液伺服阀作为电液伺服控制系统中的核心组成部分,它的性能对整个电液伺服控制系统的好坏起着决定性的作用。

目前,市面上常见的伺服阀有喷嘴-挡板伺服阀和射流管阀两大类。喷嘴-挡板阀的先导级没有摩擦副,灵敏度高,挡板的惯性小,所以它的动态响应较高。但

是,由于其喷嘴直径小导致了它的排污性能较差,工作过程中对工作油的清洁度提出了较高的要求^[1-2];射流管阀相对喷嘴-挡板伺服阀来说在抗污染性能方面更具优越性,但却存在较大的功率损失以及动态响应较低的问题^[3-4]。本文所研究的 2D 阀结构就很好地解决了以上提到的 2 种常用伺服阀暴露出来的问题,不仅抗污性能好,整体结构相对简单,而且,它的零位泄露量很小,频率响应非常高。为了验证上述特点,我们对 12.5 mm 通径 2D 阀的静态和动态特性进行实验研

收稿日期:2015-03-19;修回日期:2015-09-20

基金项目:国家国际科技合作专项项目支持(2011DFA72690);浙江省重点科技创新团队(2011R50011)

作者简介:李祖华(1989),男,浙江台州人,硕士研究生,主要研究方向为电液直接控制技术。E-mail:15088614146@163.com

究。实验结果对2D阀的结构优化与改进具有一定的参考意义。

1 2D 数字伺服阀的结构及工作原理

2D 数字伺服阀的主要结构有主阀体、传动机构以及电-机械转换器。如图1所示电-机械转换器选用的是两相混合式步进电机。混合式步进电机具有步距角小,输出力矩大的特点^[5],是理想的2D 数字伺服阀电机机械转换器。步进电机接受控制器发出的电信号作为输入,以相对应得转动角度作为输出信号,从而实现了将电信号转换为机械转动信号。传动机构由上、下摆杆构成,上、下摆杆的传动比为5:1。因此,步进电机的输出的转矩通过此传动机构放大5倍传递给阀芯,有效的保证了阀芯具有足够的转矩输出。传动机构的上摆杆装有2个对中弹簧,以机械的方式保证电机在断电的情况下,传动机构可以保持预设的零位,起到复位的作用。传动机构将电机传来的驱动信号放大5倍驱动阀芯转动后螺旋槽与高低压槽相交的面积就会改变,由于敏感腔压力的改变造成阀芯两端压力差,从而使阀芯轴向运动,控制压力和流量。

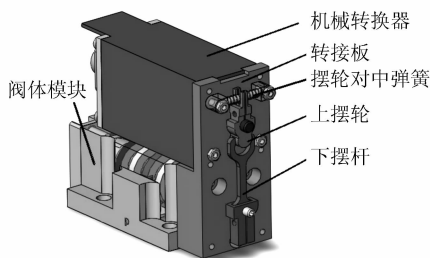
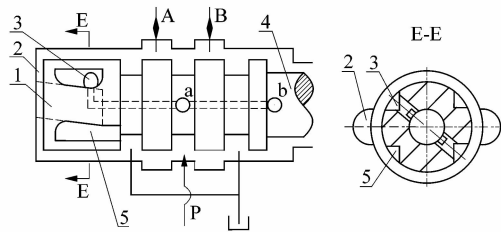


图1 2D 数字阀结构图

Figure 1 2D digital valve structure diagram

斜槽型伺服螺旋机构如图2所示,阀体、阀芯左端面、阀套构成一个容腔,即敏感腔^[6-7]。阀套上开有斜槽,斜槽与敏感腔相通。阀芯的最左端台肩部分开有高、低压槽。高压孔与阀芯中空部分连通,高压油可通过P口进入阀芯中空部分引入高压孔槽。低压槽与回油口(T口)连通。高低压槽之间的距离与阀套上所开斜槽宽度相同。2D 数字伺服阀阀芯最右端的容腔恒定的通入由P口引入的高压油。阀芯右端环形台肩面积设计为阀芯左端面面积的一半。在静态时,高压孔槽、低压槽与斜槽相交形成的面积相等的情况下,左侧敏感腔的油液压强为系统输出压强的1/2(忽略滑阀阀芯与阀套的摩擦力)。根据方程 $F = P \times S$,其中 F 为阀芯所受的力, P 为油液压力, S 为阀芯端面面积,阀芯保持轴向的受力平衡。若转动阀芯则阀芯上高、低压槽与阀套上斜槽的相交面积就会发生变化,从

而引起敏感腔压力的变化,阀芯的受力平衡遭到破坏,阀芯随之产生轴向运动。若传动机构驱动阀芯顺时针转动(从传动机构侧看去)时,那么低压槽与斜槽相交的面积变大,而高压孔槽与斜槽相交的面积变小,从而引起敏感腔的压力降低。阀芯原本的受力平衡状态遭到破坏,向左运动。在运动过程中,高压孔槽与斜槽的重合面积增大,低压槽与斜槽的重合面积减少,直到高压孔槽、低压槽与斜槽的重合面积再次相等,阀芯停止运动,进入新的平衡状态。反之亦然。



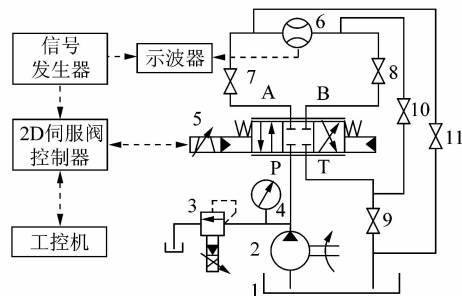
1—斜槽;2—敏感腔;3—高压孔槽;4—阀芯;5—低压槽

图2 斜槽型伺服机构原理简图

Figure 2 Schematic of chute type servo mechanism

2 实验测试平台原理

为了测试2D 数字伺服阀的动静态特性,搭建一个实验测试系统,如图3所示。实验测试系统由液压动力系统、控制系统和数据采样系统构成。液压泵站是由三相步进电动机、柱塞泵、油箱、液压管路和控制柜等组成,其作用是给测试系统提供所需的油液压力,通过控制三相步进电动机来控制液压泵站输出油液压力。控制系统分为:上位机、下位机(斜槽型2D 数字伺服阀控制器)和信号发生器。数据采样系统模块包括:流量计、四通道记忆示波器(型号:Agilent DSO6014A)、激光位移传感器(型号:LK-GD500)。其作用是实时采集并记录实验过程中2D 伺服阀流量和阀芯位移的变化。



1—油箱;2—液压泵;3—溢流阀;4—压力表;5—2D 伺服阀;6—流量计;7~11—截止阀

图3 2D 伺服阀实验系统的框图

Figure 3 2D servo valve experiment system diagram

3 2D 数字伺服阀的静动态特性实验原理

斜槽型 2D 数字伺服阀的静态特性试验主要包括空载流量特性实验与零位泄漏特性实验^[9]。其动态特性则通常由阶跃响应特性实验与频率特性实验来评判。

针对通径 12.5 mm 的 2D 数字伺服阀实验测试平台做到较好的通用性,不仅可以进行伺服阀的静态特性实验,还可以做伺服阀的动态特性实验。2 种实验可以方便的进行切换,不仅缩短了实验周期,而且实验数据的可靠性也得到相对提高。

4 2D 数字伺服阀的静态特性实验

4.1 空载流量特性

空载流量特性是指在系统负载压力为 0 (即 $P_L = 0$) 时,阀口的油液流量随着输入电压信号变化而变化的特性。其中,输入电压在这一个完整循环周期的最大值取系统的额定值(即 ± 4 V)。在实验测试前,要对 2D 数字伺服阀先进行零位的调节。首先对油路进行布置,把截止阀 7,8,9 打开,10,11 关闭,油液经 P 口、B 口(或 A 口)、截止阀 8、流量计 6、截止阀 7、A 口(或 B 口)、T 口、截止阀 9 回油箱。布置完油路后,松开传动机构,开启 2D 伺服阀,通过控制器运行控制程序,同时通过信号发生器发出 0 V 信号,使步进电机处于静止状态,再将上摆轮大约摆于中间位置并拧紧夹紧螺栓。随后开启液压泵调节到低压状态(3 MPa),手动旋转阀芯,同时观察流量计示数,调节到示数为 $0 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ 时,拧紧下摆轮夹紧螺栓,完成 2D 数字伺服阀的零位调节。

进行 2D 数字伺服阀的空载流量特性试验条件:切换信号发生器输出正弦信号(频率 0.02 Hz,幅值 ± 4 V)。调节系统压力为 21 MPa,待伺服阀运行稳定后,保存输入电压信号 u/V ,阀口流量 $Q_1/(\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$ 数据绘制通径 12.5 mm 的空载流量特性曲线如图 4 所示。

由图 4 可知,通径 12.5 mm 的 2D 数字伺服阀死区很小,非线性度约为 4.1%,滞环约为 1.9%,不对称度为 3.1%。可以看出该 2D 伺服阀具有良好的非线性度,滞环小,不对称度低的优点。

4.2 零位泄漏特性

导控部分与主滑阀部分的零位泄露特性构成了斜槽型 2D 数字伺服阀的零位泄露特性。主滑阀部分的零位泄露主要是因为阀芯与阀套存在配合间隙造成,而导控部分的零位泄露主要由斜槽型伺服螺旋机构中的高低压槽与斜槽的配合间隙造成。

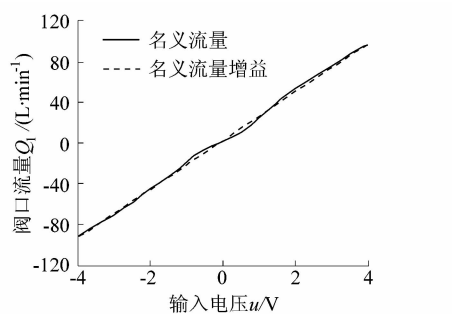


图 4 空载流量的特性曲线

Figure 4 Load flow characteristic curve

零位泄漏特性实验时,将 A,B 口关闭,此时 A,B 口的流量为零,随着阀芯的轴向运动回油口的泄漏流量会随之改变,将泄漏流量的最大值标定为零位泄露。根据零位泄漏测试原理我们把截止阀 10,11 打开,7,8,9 关闭,液压油经 P 口、T 口、流量计 6、截止阀 11 回到油箱。实验中的系统压力是额定压力。由发生器输出的正弦波(频率为 0.02 Hz,幅值满量程)通过控制器来控制步进电机的运转,通过回油口的流量计测出流量并输出,由示波器显示并记录,得到 2D 数字伺服阀的零位泄漏曲线,如图 5 所示。

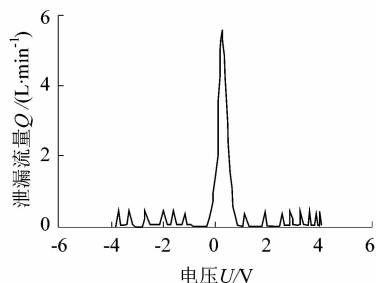


图 5 零位泄漏曲线

Figure 5 Zero position leakage curve

由图 5 可知,在额定系统压力为 21 MPa 的情况下,阀的零位泄露量为 $5.6 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$,与普通一级滑阀的零位泄漏量相当。导控级的零位泄漏量为 $0.64 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ 。由实验数据可知斜槽型 2D 伺服阀导控级的功率损耗非常小。

5 2D 数字伺服阀的动态特性

2D 数字伺服阀的动态特性是指在系统额定压力(21 MPa)的情况下,2D 数字伺服阀对不同频率输入信号的响应情况^[8]。实验采用不同频率的正弦信号作为输入信号,通过信号发生器输出,选取频率为 5, 50, 125, 200 Hz。用激光位移传感器测试阀芯的位移变化情况作为动态特性的输出信号。实验前,首先需对油路进行重新配置,确保实验油路与调零时的油路

配置一致,即打开7,8,9号截止阀,关闭10,11号截止阀。

实验在1/4幅值量程(对应25%额定流量)下测得2D数字伺服阀的频率特性如图6所示。可以看出,文章研究设计的2D数字伺服阀(通径为12.5 mm)具有较大的频率响应宽度。对应幅值衰减3 dB的频宽为175 Hz,对应相位滞后90°的频宽为220 Hz,所以阀的频宽为175 Hz。

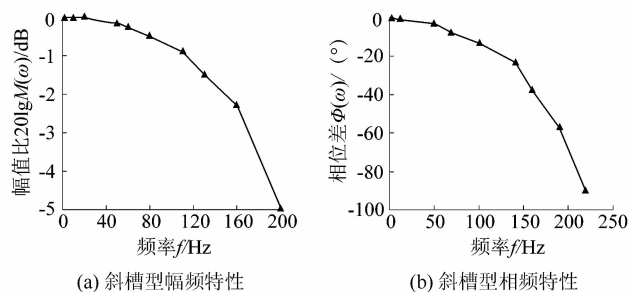


图6 2D数字伺服阀频率特性

Figure 6 2D digital servo valve frequency characteristics

6 结论

1) 文章研究设计的通径12.5 mm 2D数字伺服阀的死区小,非线性度约为4.1%,滞环约为1.9%,不对称度为3.1%,具有良好的非线性度,滞环小,不对称度低。

2) 该阀的零位泄露量为 $5.6 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$,导控级的

零位泄露量为 $0.64 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$,功率损失小。

3) 阀的频宽为175 Hz(对应25%额定流量),具有较宽的频率响应。

4) 实验证明,斜槽型导控结构在通径12.5 mm 2D数字伺服阀上的应用对伺服阀整体性能得到了较大的提升。斜槽型导控结构简单可靠,加工方便,可以替代原先的螺旋槽设计方案,运用于其他不同流量的2D数字伺服阀中。同时,论文研究的通径12.5 mm伺服阀,其流量为 $100 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$,较之市面上此流量的伺服阀具有更好的动静态特性,而且结构更加紧凑。

参考文献:

- [1] 王春行. 液压控制系统[M]. 北京:机械工业出版社,2000.
- [2] ATCHLEY R D. Jet-pipe Valve;US,3017864[P]. 1962-01-23.
- [3] MORGAN J M, MILLIGAN W W. A 1 kHz servohydraulic fatigue testing system [C]//Proceedings of the Conference on High Cycle Fatigue of Structural Materials. Warrendale, PA, USA: High Cycle Fatigue of Structural Materials Conference, 1997:305-312.
- [4] 黄增,侯保国,方群,等.射流管式与喷嘴挡板式电液伺服阀之比较[J]. 流体传动与控制,2007(4):43-45.
- [5] 骆涵秀,李世伦,朱捷,等.机电控制[M]. 杭州:浙江大学出版社,1994.
- [6] 李胜,孟彬. 2D数字伺服阀频率特性研究[J]. 中国机械工程,2011,22(15):114-117.
- [7] 王国良,俞浙青,裴翔,等.一种通径6的2D数字伺服阀的实验研究[J]. 液压与气动,2010(7):72-75.
- [8] 阮健. 电液(气)直接数字控制技术[M]. 杭州:浙江大学出版社,2000.
- [9] 陈莹,阮健,时梦,等.4通径2D数字伺服阀的静态特性实验研究[J]. 流体传动与控制,2013(6):62-64.

(上接第67页)

- [3] 潘志毅. 基于特征联系的CAD快速建模[D]. 南京:南京航空航天大学,2005:17-43.
- [4] 黄兵锋. CATIA V5的Publication功能及应用[J]. 湖北汽车工业学院学报,2009,23(2):9-11.
- [5] 陈功,周来水,安鲁陵,等. 基于CATIA V5的零组件快速装配设计技术研究[J]. 机械科学与技术,2007,26(10):1345-1349.
- [6] 苏洪军,王永生. 基于CAA的CATIA V5二次开发方法的研究[J]. 机械,2008,35(S1):41-43.

(上接第70页)

- [6] MARANGALOU J H, GHALICHI F, MIRZAKOUCHAKI B. Numerical simulation of orthodontic bone remodeling[J]. Orthodontic Waves, 2009, 68(2):64-71.
- [7] 赵玺,韩蕊. 三维有限元法在口腔正畸生物力学研究中的应用[J]. 中国实用口腔科杂志,2011,4(2):116-118.
- [8] 石亦平,周玉蓉. ABAQUS有限元分析实例详解[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- [9] QIAN Yingli, FAN Yubo, LIU Zhan, et al. Numerical simulation of

- [7] 胡挺,吴立军. CATIA二次开发技术基础[M]. 北京:电子工业出版社,2006.
- [8] 蒋方帅. Visual Basic 6.0全攻略宝典[M]. 北京:中国水利水电出版社,2000.
- [9] JUNG D. Visual Basic 6.0开发人员参考手册[M] 前导工作室,译. 北京:机械工业出版社,2000.
- [10] Dassault Systemes. CATIA V5 user's documentation[Z]. Beijing: Dassault Systemes, 2006.

tooth movement in a therapy period[J]. Clinical Biomechanics, 2008, 23(S1):48-52.

- [10] 刘鸿文. 材料力学[M]. 4版. 北京:高等教育出版社,2004.
- [11] QUINN R S, YOSHUKAWA D K. A reassessment of forcemagnitude in orthodontics [J]. American Journal of Orthodontics, 1985, 88(3):252-260.
- [12] SCHNEIDER J, GEIGER M, SANDER F G. Numerical experiments on long-time orthodontic tooth movement[J]. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 2002, 121(3):57-65.