

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.05.011

通径6 mm正开口2D数字伺服阀静动态特性研究*

左 强,吕敏健,阮 健*,李 胜,朱 何

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

摘要:针对正开口2D数字伺服阀静动态特性可能存在不稳定这一问题,分析了2D数字伺服阀的结构、工作原理及抗污染能力,并在此基础上设计并搭建了测试实验平台,在额定压力21 MPa下,对6只额定流量为50 L/min的通径6 mm正开口2D数字伺服阀进行了静动态特性实验研究。研究表明:6只6 mm通径正开口2D数字伺服阀滞环均小于5%,不对称度均小于10%,非线性度均小于7.5%,完全达到伺服阀静态特性的标准值;-3 dB处幅频宽至少可达110 Hz(25%额定流量),阶跃响应上升时间至少可达10.8 ms;6只6 mm通径正开口2D数字伺服阀均具有较理想的静、动态特性和良好的加工一致性,不存在静、动态特性不稳定问题。

关键词: 2D阀; 伺服阀; 数字控制; 静动态特性

中图分类号:TH137.52;TH39

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2013)05-0562-03

Study on static and dynamic characteristics of $\phi 6$ mm open center 2 D digital servo valves

ZUO Qiang, LV Min-jian, RUAN Jian, LI Sheng, ZHU He

(Key Laboratory of Special Purpose Equipment and Advanced Processing Technology, Ministry of Education, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Aiming at possible instability of static and dynamic characteristics of the open center 2D digital servo valve, the structure, working principle and anti-pollution ability of the open center 2D digital servo valve were analyzed. On this basis, a test experiment platform was designed and built. Under the rated pressure 21 MPa, experimental study about the static and dynamic characteristics of six $\phi 6$ mm open center 2D digital servo valves whose nominal flow were 50 L/min had been done. The results indicate that the six valves fully meet the standard values of the static characteristics of the servo valve. Their hysteresis loops are all less than 5%, degree of asymmetrys are all less than 10% and non-linearities are all less than 7.5%. Their frequency responses are not less than 110 Hz at -3 dB of 25% rated flow and rising time of step response is less than 10.8 ms. So, six $\phi 6$ mm open center 2D digital servo valves have excellent static and dynamic characteristics and good processing consistency. Instability about static and dynamic characteristics of the open center 2D digital servo valves are nonexistent.

Key words: two-dimensional valve; servo valve; digital control; static and dynamic characteristics

0 引 言

电液伺服阀既是电液转换元件,又是功率放大元件^[1]。它能够将输入的微小电气信号转换为大功率的液压信号(流量和压力)输出^[2]。电液伺服阀本身是一个闭环控制系统,一般由电-机转换部分、机-液

转换部分、功率放大部分、反馈部分和电控器部分组成。大部分伺服阀仅由前3部分组成,只有电反馈伺服阀才含有电控器部分^[3]。电液伺服阀控制精度高、响应速度快,一般用于输出功率大而动态响应要求高的场合,如航空航天、冶金、材料试验和军事等领域^[4]。电液伺服阀是电液伺服系统的关键部件,它的性能及

收稿日期:2012-11-27

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50975258);浙江省大学生科技创新活动计划(新苗人才计划)资助项目(2012R403073)

作者简介:左 强(1986-),男,江西抚州人,博士生,主要从事电液数字控制元件方面的研究。E-mail:zuoqiangde@163.com

通信联系人:阮 健,男,博士,教授,博士生导师。E-mail:wxmin@mail.hz.zj.cn

正确使用直接关系到整个系统的控制精度和响应速度,也直接影响到系统工作的可靠性和寿命^[5]。

电液伺服阀按反馈形式可分为:负载力反馈、位置反馈、流量反馈和电反馈^[6]。与单级(直动)阀相比,导控阀(多级阀)具有控制精度高的优点,符合系统高压、大流量的发展要求,但是导控阀结构复杂且价格昂贵^[7]。喷嘴-挡板伺服阀为典型的力反馈形伺服阀,其缺点是如果增大反馈杆的刚度,阀的控制流量变小;减小反馈杆的刚度,阀的频响变慢,且喷嘴-挡板伺服阀的抗污染能力差(过滤精度在5 μm 以下)。动圈式伺服阀为位置反馈,其缺点是功率级阀芯位移和前置级阀芯按1:1位移运动,致前置级阀芯运动极大地限制了控制流量,且由于结构限制,动圈无法贴壁散热^[8]。瑞典林克平大学(Linköping University)的Anderson^[9]提出了一种流量反馈式二通导控流量阀,该阀的不足之处在于工作过程中导控级的泄漏流量较大,主阀进出口通过导控油路连通,无法实现锥面无泄漏关断。

2D数字伺服阀有着结构简单、原理先进、性能优越和抗污染能力强等特点^[10]。由于零开口伺服阀加工精度太高,而正开口伺服阀加工简单,无死区,且具体一定阻尼特性,可增加阀的稳定性。

本研究针对正开口2D数字伺服阀的静、动态特性(如流量增益、不对称度、非线性度、滞环、零位泄漏、阶跃响应特性和频率特性)进行实验研究。

1 2D数字伺服阀工作原理

2D数字伺服阀将导阀和主阀融为一体,通过双自由的伺服螺旋机构实现位置反馈,无需任何固定阻力小孔来保证其稳定性,结构简单且加工方便,2D数字伺服阀结构图如图1所示。

为保持阀芯的径向力平衡,阀套采用具有双余度控制功能的双伺服螺旋机构。双伺服螺旋机构具有良好的自清洁功能(过滤精度达在30 μm 以下),例如:一旦某一侧的高压(或低压)弓形孔堵塞,阀芯的力平衡将受到破坏而轴向移动,从而增大堵塞弓形孔的面积以清除堵塞物。且阀芯最小孔径为2 mm,被堵塞的可能性极小。阀芯将原来的圆形高低压口,改成满弓形(通过电火花加工),将弓弦对准螺旋槽,以加大面积梯度。

2D数字伺服阀利用单个阀芯的旋转和滑动双自由度构成,其伺服螺旋机构原理图如图2所示。在该结构中,阀右腔通过小孔b,经阀芯杆内通道和小孔a与进油口(系统压力)相通,其面积为左腔的一半;左腔的压力由开设在阀芯左端台肩上的一对高、低压孔和开设于阀芯孔左端的螺旋槽相交的两个微小弓形面积串联的液压阻力半桥控制。在静态时若不考

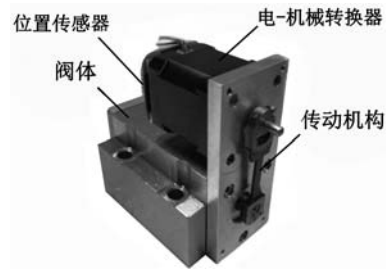


图1 2D数字伺服阀结构图

虑摩擦力及阀口液动力的影响,左敏感腔压力为入口压力(系统压力)的一半,阀芯轴向保持静压平衡,与螺旋槽相交的高低压侧的弓形面积相等。当以顺时针(面对阀芯伸出杆)的方向转动阀芯,则高压侧的弓形面积增大、低压侧的弓形面积减小,左腔压力升高,并推动阀芯右移,同时高低压孔又回到螺旋槽的两侧,处于高低压侧弓形面积相等的位置,敏感腔的压力恢复为入口压力(系统压力)的一半,保持轴向力平衡;若逆时针的方向转动阀芯,变化则正好相反,阀芯向左移动。

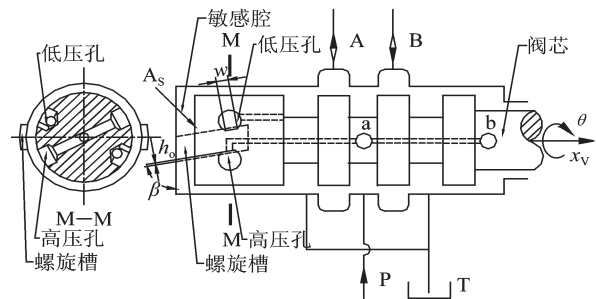


图2 2D数字伺服阀伺服螺旋机构原理图

本研究在控制上采用步进电动机连续跟踪的控制方法,解决了传统步进式数字控制元件所固有的量化误差与响应速度之间的矛盾。同时,步进电动机起到力(力矩)放大作用,可对阀芯产生较大的推动力(力矩),增加阀芯动作的可靠性^[11]。

2 静态特性测试原理

2D数字伺服阀静态特性主要包括空载流量特性和泄漏特性。液压系统原理图如图3所示。

2D数字伺服阀测试系统图如图4所示。2D数字伺服阀的动态特性通常用它的阶跃响应特性或频率特性来表示。为降低试验成本,节省试验空间,静态特性试验采用同一试验台。测试所使用的流量计型号为VS 4,其测量量程为300 L/min,精度为0.3%,重复精度为 $\pm 0.05\%$ 。实验时,信号发生器发出满开口幅值(± 4 V)的低频(0.02 Hz)正弦信号,该信号一方面送给2D数字阀控制器,另一方面送给记忆示波器采用颤振补偿技术,2D数字伺服阀控制器,在输入信号

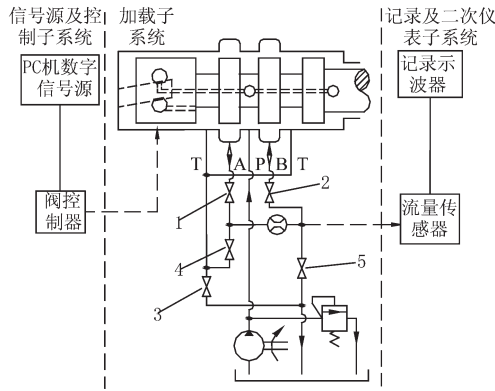


图3 液压系统原理图



图4 2D数字伺服阀测试系统

和颤振信号的叠加作用下,根据跟踪控制算法控制阀的开度。

3 静态特性实验测试

测试时,本研究先调节步进电机零位,再调节阀芯零位。电机调零后,输入幅值为1 mV、频率为1 Hz的正弦电压,截止阀1号、2号、3号打开;4号、5号关闭,调节系统压力为2 MPa,油液经P口、A口、截止阀1、流量计、截止阀2、B口和T口回油箱,旋转阀芯,当流量计流量为零时,阀芯即处于零位状态。然后,调节系统压力为21 MPa,待示波器出现稳定的流量信号,保存空载流量信号和输入控制信号,处理数据,所得到的空载流量特性曲线如图5所示。并将其静态特性与标准值对比,空载流量特性主要参数如表1所示。

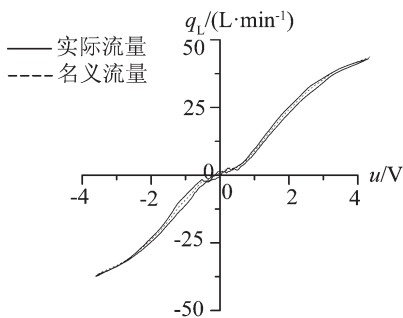


图5 6 mm通径2D数字伺服阀空载流量特性

表1 空载流量特性主要参数

静态特性	滞环	不对称度	非线性度	零位泄漏/(L·min ⁻¹)
测量值	4.7%	9.1%	6.2%	4.6
标准值	3%~5%	< 10%	< 7.5%	—

4 动态特性实验测试

4.1 阶跃响应特性

系统调零后,本研究关闭1号、2号、3号截止阀,打开4号、5号截止阀,输入幅值4 V的阶跃信号,使阀芯为满开口,调节系统压力为21 MPa,待示波器出现稳定的流量信号,保存流量信号和输入控制信号,处理数据后所得的阶跃响应特性如图6所示。6 mm通径2D数字伺服阀的阶跃响应上升时间为10.8 ms。

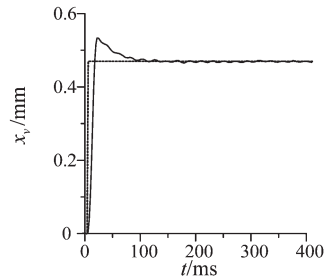


图6 阶跃响应特性

4.2 频率特性

系统调零后,关闭1号、2号、3号截止阀,打开4号、5号截止阀,输入幅值1 V,频率为1 Hz的正弦信号,使阀芯25%开口,调节系统压力为21 MPa,待示波器出现稳定的流量信号,保存流量信号和输入控制信号。再依次改变频率为10 Hz,20 Hz,50 Hz,80 Hz,100 Hz,120 Hz,或更大频率,至输出流量信号滞后输入信号90°。其幅频特性曲线如图7所示。

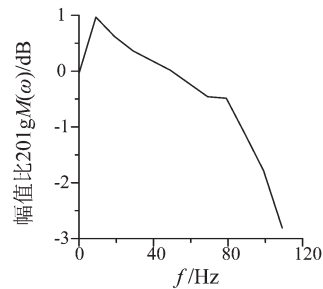


图7 幅频特性

5 结束语

针对正开口2D数字阀动静态特性可能存在不稳定问题,本研究对其静态特性进行了实验研究。测试结果表明,在额定压力21 MPa下,6只6 mm通径正开口2D

(下转第635页)

时,控制器可以快速地抵消干扰的影响,表明此控制系统具有很好的抗干扰性能。

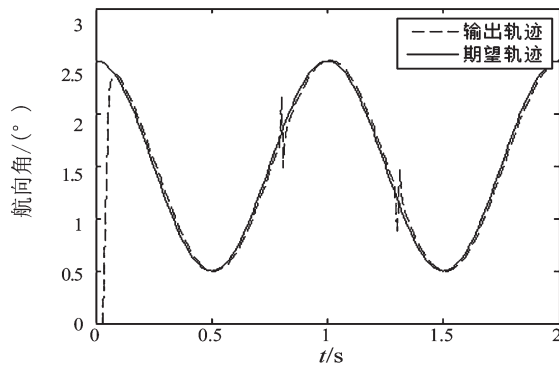


图6 加干扰后LSSVM-PID复合逆控制仿真

5 结束语

本研究针对船舶运动的特点,提出了LSSVM-PID复合逆控制系统,该系统综合了LSSVM和PID控制的优点,通过用增量式LSSVM算法,解决模型在线辨识,克服了实时性差的缺点;同时,利用PID反馈控制回路,避免了因模型辨识误差而影响控制性能的问题。研究表明,LSSVM-PID航向复合逆控制系统具有较强的控制精度。

此外,控制系统中的船舶水平运动(3个自由度)的在线控制策略,以及对LSSVM本身的参数(核参数 σ 和规则因子 C)的寻优等将有待进一步的研究。

参考文献:

- [1] 刘绍满,王 宁,吴兆麟. 船舶领域研究综述[J]. 大连海事大学学报,2011,37(1):51-54.
- [2] 林 锐,吴 波,陈捷捷. 基于CADD5的坐标自动转换程序开发[J]. 机械,2011,38(9):51-53.
- [3] 成 文,张 珂,石彦平. 舰用某型测风传感器[J]. 机械,2011,38(8):69-71.
- [4] 先 中,孟正大,沈建强,等. 神经网络 α 阶逆系统控制方法在机器人解耦控制中的应用[J]. 机器人,2001,23(4):363-367.
- [5] VAPNIK V N. 统计学习理论[M]. 徐建华,张学工,译. 北京:电子工业出版社,2004.
- [6] 邓乃杨,田英杰. 支持向量机-理论、算法与拓展[M]. 北京:科学出版社,2009.
- [7] DREZET P M L, HARRISON R F. Support vector machines for system identification [C] // Proc. of UKACC Int. Conf. on Control '98. UK: University of Wales Press, 1998: 668-692.
- [8] 王定成. 支持向量机建模预测与控制[M]. 北京:气象出版社,2009.
- [9] LUO Wei-lin, ZOU Zao-jian. Identification of response models of ship maneuvering motion using support vector machines [J]. *Journal of Ship Mechanics*, 2007, 11(6): 832-838.
- [10] 李春文,冯元现. 多变量非线性控制的逆系统方法[M]. 北京:清华大学出版社,1991.
- [11] 袁小芳,王耀南,杨辉前. 基于支持向量机的非线性逆控制及其仿真[J]. 湖南大学学报:自然科学版,2006,33(1):71-74.
- [12] 张浩然,汪晓东. 回归最小二乘支持向量机的增量和在线式学习算法[J]. 计算机学报,2006,29(3):400-406.

[编辑:李 辉]

(上接第564页)

数字伺服阀滞环均小于5%,不对称度均小于10%,非线性度均小于7.5%,完全达到伺服阀静态特性的标准值;-3 dB处幅频宽至少可达110 Hz(25%额定流量),阶跃响应上升时间至少可达10.8 ms;6只6 mm口径正开口2D数字伺服阀均具有较理想的静、动态特性和良好的加工一致性,不存在静、动态特性不稳定问题。

参考文献(References):

- [1] LI Qi-peng, DING Fan, WANG Chuan-li. Novel bidirectional linear actuator for electrohydraulic valves [J]. *IEEE Transactions on Magnetics*, 2005, 41(6): 2199-2201.
- [2] 王春行. 液压控制系统[M]. 北京:机械工业出版社,1999.
- [3] 周曲珠. 图解液压与气动技术[M]. 北京:中国电力出版社,2010.
- [4] MURRENHOFF H. Trends in valve development [J]. *Ölhydraulik und Pneumatik*, 2003(46): 1-36.
- [5] 肖俊东,王占林,陈克昌. 新型高性能直接驱动电液伺服阀[J]. 机械科学与技术,2005,24(12): 136-139.

- [6] 骆涵秀,李世伦,朱 捷,等. 机电控制[M]. 杭州:浙江大学出版社,2003.
- [7] 王传礼,丁 凡,崔 剑,等. 基于GMA喷嘴挡板伺服阀的动态特性[J]. 机械工程学报,2006,36(10): 23-26.
- [8] NASCUTIU L. Voice coil actuator for hydraulic servo valves with high transient performances [C] // Proceedings of IEEE International Conference on Automation, quality and Festing, Robotics Cluj-Napoca, Romania: IEEE, 2006: 185-190.
- [9] ANDERSSON B, ANDREW D, MARTIN A. Vickers new technologies applied to electronic hydraulic controls [C] // SAE International Off-highway and Power Plant Congress and Exposition. Indian, USA: [s.n.], 1996: 71-76.
- [10] 阮 健,李 胜,裴 翔,等. 数字阀的分级控制及非线性[J]. 机械工程学报,2005,41(11): 91-97.
- [11] 阮 健,裴 翔,李 胜. 2D数字换向阀[J]. 机械工程学报,2000,36(3): 65-68.

[编辑:张 翔]