

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.01.006

振动环境下2D电液比例伺服换向阀 动静态特性的研究*

彭宽栋¹, 张学良¹, 左强², 郑龙¹, 曾斌³

(1. 杭州科技职业技术学院 高端装备研究所, 浙江 杭州 311402; 2. 浙江大学城市学院 工程分院, 浙江 杭州 310015; 3. 浙江农林大学 信息工程学院, 浙江 杭州 311300)

摘要:针对振动环境下的液压系统对可靠的高压大流量比例伺服换向阀的需求,及实际高端液压系统中的新要求,提出了一种紧凑型大流量2D电液比例伺服换向阀。分析了该阀的螺旋伺服机构工作原理,建立了数学模型,推导了导控级流量方程,并基于振动环境下推导了主阀芯的力学平衡方程,利用 Matlab 进行了动态响应仿真分析,进行了静动态特性相关实验。研究表明:仿真分析、数学解析与实验三者所得到的结果基本吻合;并且在振动环境下叠加颤振后,滞环为2.9%,且静态特性良好,对应-3 dB、-90°的频宽约为85 Hz,动态特性基本符合设计要求,振动可靠性良好。

关键词:电液比例伺服阀;振动环境;Matlab;静动特性

中图分类号:TH137.52

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2019)01-0027-05

Dynamic and static characteristics of 2D electro-hydraulic proportional servo valve in vibration environment

PENG Kuan-dong¹, ZHANG Xue-liang¹, ZUO Qiang², ZHENG Long¹, ZENG Bin³

(1. Institute of High-end Equipment, Hangzhou Polytechnic, Hangzhou 311402, China;

2. School of Engineering, Zhejiang University City College, Hangzhou 310015, China;

3. School of Information Engineering, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China)

Abstract: In order to solve the need of reliable high pressure and large flow proportional servo directional valve for hydraulic system under vibration environment and the new requirements of actual high end hydraulic system, the compact 2D electro hydraulic proportional servo directional valve with large flow rate was proposed. The working principle of the spiral servo mechanism of the valve was analyzed, the mathematical model was established, the flow equation of the guide control stage was derived, and the mechanical balance equation of the main valve core was derived based on the vibration condition, and the dynamic response simulation analysis was carried out by using Matlab. Experiments on static and dynamic characteristics were carried out. The experimental results show that simulation analysis, mathematical analysis and experimental results are basically consistent. Under the vibration environment, the hysteresis loop is 2.9% and the static characteristic is good. The bandwidth corresponding to -3 dB, -90° is about 85 Hz. The dynamic characteristic basically accords with the design requirement, the vibration reliability is good.

Key words: walking machinery; matlab; electro-hydraulic proportional servo valve; static and dynamic characteristics

收稿日期:2018-05-16

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51605430);浙江省自然科学基金资助项目(2015C32083);浙江省公益技术研究项目(LY16F010020);杭州市农业与社会发展科研项目(20180432B37)

作者简介:彭宽栋(1986-),男,浙江杭州人,硕士研究生,主要从事机电一体化设备方面的研究。E-mail:pkdky888@163.com

式中: h —弓形孔垂直弦长方向上的高度; r_d —高压孔半径。

但在实际工作中,阀芯的转动角度非常小,故弓形孔高度 h 通常为 $0 < h < r$,再者高低压孔半径 r 很小,故使用矩形面积近似代替弓形孔的面积,即:

$$A_2 = \begin{cases} 0 & (h \leq 0) \\ h \sqrt{2r_d h - h^2} + r_d^2 \arcsin \frac{\sqrt{2r_d h - h^2}}{r_d} - r_d \sqrt{2r_d h - h^2} & (0 < h \leq r_d) \\ \pi r_d^2 + h \sqrt{2r_d h - h^2} - r_d^2 \arcsin \frac{\sqrt{2r_d h - h^2}}{r_d} - r_d \sqrt{2r_d h - h^2} & (r_d < h \leq 2r_d) \\ \pi r_d^2 & (h \geq 2r_d) \end{cases} \quad (6)$$

$$h = h_0 - R\theta \cos\beta + x_v \cos\beta \quad (7)$$

式中: R —阀芯直径; θ —阀芯旋转角度; x_v —阀芯位移。

2.2 振动环境下阀芯的力学平衡方程

假设阀芯受振动产生位移 y ,由于液压油具有一定压缩性,阀的主节流口的开口量减小为 $(x_v - y)$,同样弹簧的压缩量减小为 $(x_v - y)$,阀芯的运动学平衡方程为:

$$P_c A - P_s \frac{A}{2} = m\ddot{x}_v + B_p(\dot{x}_v - \dot{y}) + k_f(x_v - y) + F_L + F_{\beta 1} + F_{\beta 2} \quad (8)$$

稳态液动力和瞬态液动力分别为:

$$F_{\beta 1} = C_d C_v \pi d \sin(2\alpha) \cdot p_s \cdot (x_v - y) \quad (9)$$

$$F_{\beta 2} = \rho L C_d \pi d \sin\alpha \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{p_s} \cdot (\dot{x}_v - \dot{y}) \quad (10)$$

式中: B_p —折算到阀芯上包含瞬态液动力阻尼与粘性阻尼的总粘性系数; F_L —外部负载在阀芯上的总作用力; m —折算到阀芯上的总质量; K_f —由于稳态液动力引起的液动力刚度; α —阀芯半锥角。

2.3 动态分析

在本文提出的电液比例伺服阀中,动态特性为该阀芯输出位移与输入转角的跟随特性,当频率响应为输入电流在某一频率范围内作等幅变频正弦变化时,空载流量与输入电流的复数比如表1所示。

表1 伺服螺旋机构关键参数

阀芯直径/mm	小孔直径/mm	面积梯度/mm
32	4	1.6
螺旋升角/(°)	敏感腔长度/mm	初始弓高/mm
85	6	0.03

针对伺服螺旋机构关键参数,本研究根据该阀在满弓型伺服螺旋机构的闭环传递函数,利用Matlab软件中龙格库塔法,计算仿真其动态特性。

本研究在工作压力10 MPa,调节信号发生器,使其输入电流信号幅值为满量程,分别得到该阀的幅频

$$A_1 = w \cdot h = w(h_0 + R\theta \sin\beta - x_v \cos\beta) \quad (4)$$

同理:

$$q_2 = C_d A_2 \sqrt{\frac{2p_c}{\rho}} \quad (5)$$

$$(h \leq 0)$$

$$(0 < h \leq r_d)$$

$$(r_d < h \leq 2r_d)$$

$$(h \geq 2r_d)$$

与相频特性曲线如图2所示。

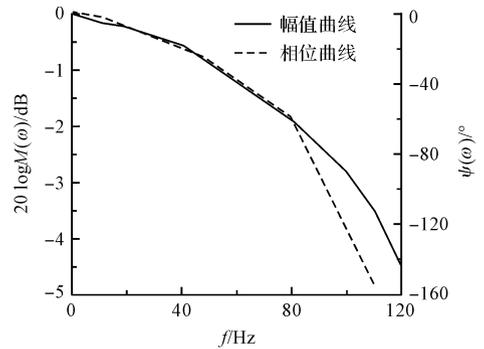


图2 幅频与相频特性

由图2可以看出: -3 dB、-90°对应的输入正弦频率分别为105 Hz和85 Hz。

3 实验研究

比例伺服换向阀的测试平台主要由比例伺服控制器、电信号加载源、传感器和数据记录系统4部分组成。比例伺服控制器包括上位机和控制器;电信号加载源包括信号发生器和控制电源;传感器主要包括流量计、压力传感器和激光位移传感器;数据记录系统包括示波器和打印机。

测试系统平台如图3所示。

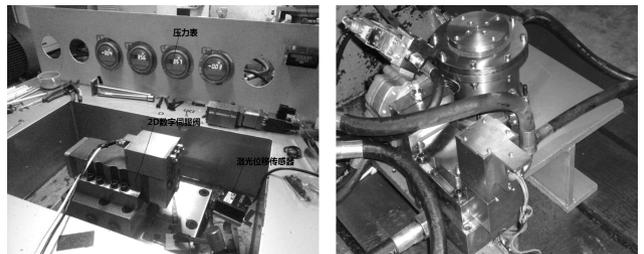


图3 测试平台

为了提高阀的分辨能力,本研究考虑在输入信号上叠加一个高频幅值的电信号,颤振是阀处在一个高频幅值的运动状态中,可有效减小或消除由于干摩擦

所产生的游隙,同时还可以防止发堵塞。当阀芯颤振幅值和频率同外界环境振动产生谐振时,这类谐振的激发可能引起疲劳破坏或使所含元件饱和。颤振幅度应足够大以使峰值刚好填满游隙宽度,但又不能过大,以至影响其负载输出。

3.1 空载流量特性

把阀体安装于频率为 50 Hz,幅值为 1 mm 的正弦振动环境中,阀芯输入控制电流信号的幅值为 4 A,频率为 0.1 Hz,同时叠加幅值为 0.1 A,频率为 200 Hz 的颤振信号。

测试阀的空载流量特性曲线,如图 4 所示。

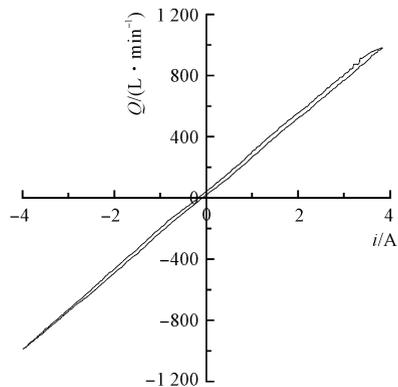


图 4 空载流量特性曲线

该阀滞环为 2.9%,线性度很高。为了加快其动态响应,导控级设计上采用了正开口,其在阀芯正开口处滞环相对较大。

3.2 零位泄漏特性

零位泄漏特性测量是在主阀开口处于零位时,信号发生器输出频率为 0.1 Hz 的三角波,观测其回油口的流量值,同时用示波器记录流量数据。压力在 21 MPa 时该阀的零位泄漏量约为 17.4 L/min,导控级的零位泄漏量约为 1.8 L/min,与同等级的喷嘴挡板阀和射流管阀相比是具有明显优势,表明该阀具有极小的导控零位泄漏,较在的主阀芯零位泄漏是在保证正开口设计下取得的,如果为了阀芯稳定性和主阀芯泄漏减小,可适当减小其正开口量或直接设计为负开口阀。

3.3 阶跃特性

阶跃响应特性为该阀摆杆如图 5 所示。

受到阶跃冲击,使摆杆迅速转动 7.2°(满量程)时,阀芯轴向位移的阶跃响应特性。由图 5 结果可知:该阀上升的时间为 7.5 ms 左右,响应速度极快,阀体的振动对阀的压力和流量特性影响很小。

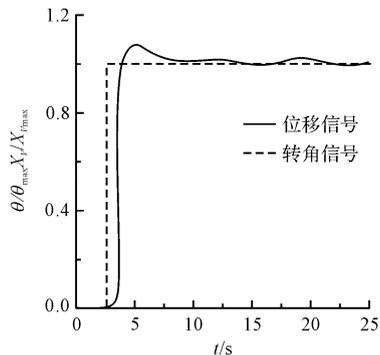


图 5 阶跃响应特性曲线

3.4 频率特性

比例伺服阀的动态特性实验主要测试阀在高频电控信号下的位移跟随特性。把阀体安装于频率为 50 Hz,幅值为 1 mm 的正弦振动环境中,叠加幅值为 0.1 A,频率为 200 Hz 的颤振信号,输入电信号电流幅值为 4 A,经过测量其在不同频率正弦信号的控制曲线,描绘该阀的频率特性,如图 6 所示。

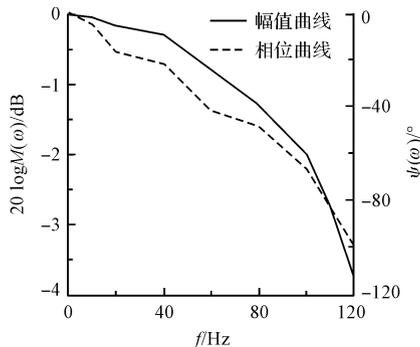


图 6 阀频率特性

由图 6 可以看出:该阀有很宽的频宽,对应 -3 dB、-90°的频宽约为 85 Hz。

4 结束语

针对振动环境下,高压大流量比例换向阀的振动与冲击问题,本文提出了一种一体式直动导控机构的解决方案,来设计大流量伺服阀,通过实验论证了采用该机构的比例伺服阀达到 1 000 L/min 流量的可行性。研究结果如下:

- (1) 该阀结构紧凑,易实现插装式安装,通过在振动环境下实验研究,该阀静态特性良好;
- (2) 该阀不仅可以达到 1 000 L/min 的流量,而且动态特性良好。

参考文献 (References):

[1] 孙 杰,申屠胜男,阮 健,等. 小流量 2D 数字伺服阀的

- 设计与研究[J]. 机械设计与研究,2014,30(6):109-113.
- [2] 满在朋,丁凡,刘硕,等. 大流量电液控制阀设计与试验[J]. 农业机械学报,2015,46(1):345-351.
- [3] 朱剑,尹文庆,谢蓓. 基于嵌入式的电液比例控制系统在联合收割机割台高度控制中的应用[J]. 液压与气动,2012(1):83-86.
- [4] 李胜,阮健,孟彬. 二维电液比例换向阀动态特性及稳定性分析[J]. 机械工程学报,2016,52(2):202-212.
- [5] 左强,李胜,阮健. 2D电液比例方向阀弹性压扭联轴轴器研究[J]. 农业机械学报,2014,45(5):327-333.
- [6] 邹亮,胡光忠,文华斌,等. 不同弹簧刚度系数下单向阀关闭过程仿真[J]. 流体机械,2017(11):55-59.
- [7] 左强,陆倩倩,李胜,等. 滚珠丝杠压扭型2D电液比例方向阀静态特性研究[J]. 农业机械学报,2017,48(8):368-375.
- [8] KUMAGAI K, RYU S, OTA M, et al. Investigation of poppet valve vibration with cavitation[J]. **International Journal of Fluid Power**,2016,17(1):15-24.
- [9] 刘国印. 装载机液压系统动态性能仿真研究[D]. 厦门:集美大学轮机工程学院,2010.
- [10] 刘国文,金亮亮,路瑶,等. 电液比例换向阀的发展概况及前景展望[J]. 液压气动与密封,2018(3):1-4.
- [11] 盖超会,双向冲击气缸内嵌三位五通换向阀动态特性研究[J]. 机械,2016(11):16-19,53.
- [12] 张怀亮,章国亮,齐征宇. 基础振动下直动式溢流阀的动态特性[J]. 中南大学学报:自然科学版,2014(12):4181-4186
- [13] ZHAO J, LIU L. Influence of reversing impact load on performance of a two-step unloading pilot-operated check valves[J]. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences & Engineering**, 2018,40(6):295

[编辑:李辉]

本文引用格式:

彭宽栋,张学良,左强,等. 振动环境下2D电液比例伺服换向阀动态特性的研究[J]. 机电工程,2019,36(1):27-31.

PENG Kuan-dong, ZHANG Xue-liang, ZUO Qiang, et al. Dynamic and static characteristics of 2D electro-hydraulic proportional servo valve in vibration environment[J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2019,36(1):27-31. 《机电工程》杂志;<http://www.meem.com.cn>

(上接第26页)

- [3] 李醒飞,张晨阳,张国雄,等. 电梯导轨几何误差测试系统[J]. 中国机械工程,2005,16(4):303-306.
- [4] 梅德庆,杜小强,陈子辰. 基于滚动导靴-导轨接触模型的高速曳引电梯振动分析[J]. 机械工程学报,2009,45(5):264-270.
- [5] 胡庆. 高层电梯垂直运动的鲁棒控制策略研究[D]. 沈阳:沈阳工业大学机电学院,2010.
- [6] LORSBACH G P. Analysis of elevator ride quality, vibration[J]. **Elevator World**, 2003,51(6):108,110-111,113.
- [7] NAI K, FORSYTHE W, GOODALL R M. Improving ride quality in high-speed elevators[J]. **Elevator World**, 1997,45(6):88-93.
- [8] 尹纪财,芮延年,蒋黎明,等. 高速电梯多自由度水平动态特性及其仿真的研究[J]. 机械设计,2011,28(10):70-73.
- [9] 王松林. 高速电梯导向系统多因素耦合水平振动分析与减振技术及其应用[D]. 杭州:浙江大学机械工程学院,2018.
- [10] 伍辉,刘艳斌. 基于虚拟样机技术的高速电梯动态性能分析与优化[J]. 图学学报,2013,34(6):98-105.
- [11] TAPLAK H, ERKAYA S, YILDRIM S, et al. The use of neural network predictors for analyzing the elevator vibrations[J]. **Arabian Journal for Science & Engineering**, 2014,39(2):1157-1170.
- [12] 傅武军,廖小波,朱昌明. 基于ADAMS的电梯横向振动频域分析及参数优化. 系统仿真学报,2005,17(6):1500-1504.

[编辑:李辉]