

引用格式: Min Zheng, Zhang Youliang, Tian Lihong, *et al.* Modeling and Dynamic Characteristics Simulation Analysis of AMESim-based Two-way Cartridge Valve[J]. Journal of Gansu Sciences, 2016, 28(1): 127-131. [敏政, 张友亮, 田丽红, 等. 基于 AMESim 的二通插装阀建模及动态特性仿真分析[J]. 甘肃科学学报, 2016, 28(1): 127-131.] doi:10.16468/j.cnki.issn1004-0366.2016.01.028.

基于 AMESim 的二通插装阀建模及 动态特性仿真分析

敏 政^{1,2}, 张友亮^{1,2}, 田丽红^{1,2}, 岳巧萍^{1,2}

(1. 兰州理工大学 能源与动力工程学院, 甘肃 兰州 730050;

2. 甘肃省流体机械及系统重点实验室, 甘肃 兰州 730050)

摘 要 针对某方向型二通插装阀, 建立了动态特性数学模型, 基于 AMESim 建立了仿真模型并验证模型的正确性。针对阀芯启闭过程进行仿真分析, 得出液阻直径、弹簧刚度、系统工作压力、阀芯行程等对动态特性有较大影响, 为进行二通插装阀元件及系统设计提供参考。

关键词 插装阀; 动态特性; 建模; 仿真; AMESim

中图分类号: TH137

文献标志码: A

文章编号: 1004-0366(2016)01-0127-05

二通插装阀采用先导控制、插装连接、座阀主级, 具有结构简单、性能可靠、流动阻力小、通流能力大等特点, 在众多工业部门得以广泛应用^[1]。

动态特性是该领域研究的热点。二通插装阀启闭速度的快慢, 将直接影响到系统回路的瞬时通断状态, 影响着液压系统的工作性能。尤其是关闭时间比开启时间长的“时间差”、“路路通”、先导控制方式、压力干扰等, 一直是工程实践中常见的典型问题^[2,3]。因此有必要对该阀进行分析与研究, 建立阀的数学模型和仿真模型, 为今后进行相关研究及应用提供指导。

研究建立方向型插装阀动态特性数学模型, 基于 AMESim 建立了仿真模型并进行测试, 进而进行动态特性的仿真分析。

1 数学模型的建立

插装式方向阀典型动态特性测试回路用可变节流阀模拟负载, 见图 1。

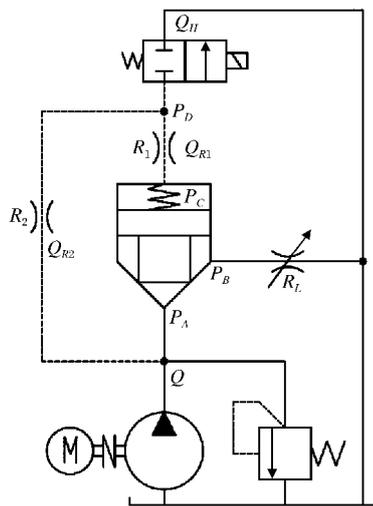


图 1 方向型二通插装阀动态特性测试回路

Fig. 1 Testing circuit of dynamic characteristics of directional two-way cartridge valve

数学模型的建立基于以下假设:

- (1) 液流角 α 接近锥阀半锥角 φ , 取 $\alpha = \varphi$;
- (2) 只考虑主阀芯稳态液动力;

收稿日期: 2014-12-29; 修回日期: 2015-03-02.

作者简介: 敏政(1965-), 男, 青海同仁人, 副研究员, 硕士生导师, 研究方向为流体机械. E-mail: 13993162205@qq.com.

通讯作者: 张友亮. E-mail: zylibest@163.com.

(3) 忽略各油口间泄露流量;

(4) 系统回油无背压。

主阀芯受力平衡方程^[4]为

$$P_A A_A + P_B A_B - P_C A_C = m \frac{dx^2}{dt} + B \frac{dx}{dt} + K(x_0 + x) + K_s(P_A - P_B), \quad (1)$$

其中: m 为阀芯质量; B 为粘性摩擦系数; K 为弹簧刚度; K_s 为稳态液动力系数; x 为阀芯行程; x_0 为弹簧预压缩量。

流经阀口 A 处的流量为

$$Q_A = C_{dA} \pi d_A x \sin \alpha, \quad (2)$$

其中: C_{dA} 、 d_A 分别为插装阀口流量系数、A口直径; α 为阀芯半锥角。

流经液阻 R_1 处流量为

$$Q_{R1} = C_{d1} \frac{\pi}{4} d_{R1}^2 \sqrt{\frac{2(P_C - P_D)}{\rho}}, \quad (3)$$

其中: C_{d1} 、 d_{R1} 分别为液阻 R_1 流量系数、直径。

流经液阻 R_2 处流量为

$$Q_{R2} = C_{d2} \frac{\pi}{4} d_{R2}^2 \sqrt{\frac{2(P_A - P_D)}{\rho}}, \quad (4)$$

其中: C_{d2} 、 d_{R2} 分别为液阻 R_2 流量系数、直径。

流经先导控制阀处流量为

$$Q_H = C_{dH} \pi d_H x_H \sqrt{\frac{2P_D}{\rho}}, \quad (5)$$

其中: C_{dH} 、 d_H 、 x_H 分别为先导阀流量系数、阀芯直径、阀芯行程。

先导阀口处流量连续性方程为

$$Q_{R1} + Q_{R2} = Q_H + \frac{V_D}{E} \frac{dP_D}{dt}, \quad (6)$$

其中: V_D 为液阻 R_1 、 R_2 和先导阀包围的油液体积; E 为油液弹性模量。

主阀口上腔流量连续性方程为

$$A_C \frac{dx}{dt} = Q_{R1} + \frac{V_C}{E} \frac{dP_C}{dt}, \quad (7)$$

其中: V_C 为控制腔体积。

主阀口处总流量连续性方程为

$$Q = Q_A + Q_{R2} + \frac{V_A}{E} \frac{dP_A}{dt} + A_A \frac{dx}{dt}. \quad (8)$$

以上数学方程对下一步设置各参数具有重要作用。

2 仿真模型的建立及测试

二通插装阀的额定流量指压力损失为 0.3 MPa 时所对应的流量^[5], 而二通插装阀的推荐使用流量通常指压力损失为 0.5 MPa 时所对应的流量。参

照机械部推荐标准 JB/T10414-2004 二通插装阀试验方法, 对于方向型插装阀的静态压差-流量特性曲线, 是在阀口全开状态下, 通过调节流经插装阀的流量及测量 A、B 油口对应压差而得出。

根据二通插装阀结构及工作原理, 结合 AMESim 机理建模方法^[6-8], 搭建的方向型二通插装阀仿真及测试模型如图 2 所示。

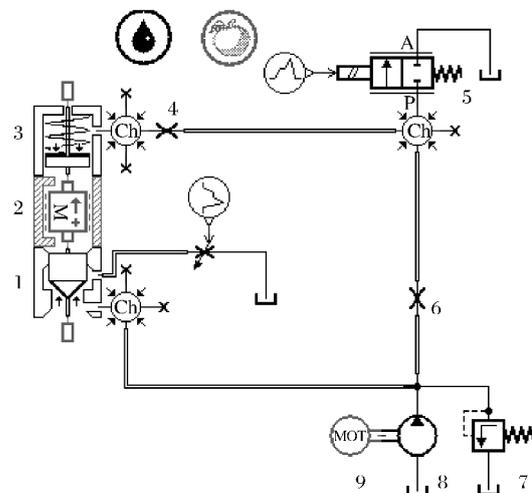


图 2 方向型二通插装阀模型及动态特性测试回路
Fig. 2 Model and dynamic characteristic testing circuit of directional two-way cartridge valve

在进行模型测试时, 应特别注意双端口限位质量块的设置, 位移方向向上且位移初始状态应在最大值处, 即对应阀口全开位置, 40 通路某型插装式方向阀主要仿真参数设置见表 1。

表 1 主要参数设置

Table 1 Setting of major parameter

序号	名称	数值
—	油液密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	850
—	弹性模量/MPa	1 700
—	运动粘度/($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)	41×10^{-6}
1	阀芯半锥角/($^\circ$)	45
2	阀芯质量/kg	1.33
3	弹簧预压力/N	54.6
—	弹簧刚度/($\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$)	2 500
4	液阻直径/mm	2
5	流量/($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)	80
—	压降/MPa	0.8
6	液阻直径/mm	2
7	溢流压力/MPa	25
8	泵排量/($\text{mL} \cdot \text{r}^{-1}$)	800
9	电机转速/($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	1 500

注:“—”表示油液模型, 图中未示出序号。

方向型二通插装阀仿真压差—流量曲线见图 3。图 3 中实线为通过仿真所得压差—流量特性曲线,虚线为样本给定的测试曲线,对应压差下的流量基本一致,验证了仿真模型及所设置参数的合理性。

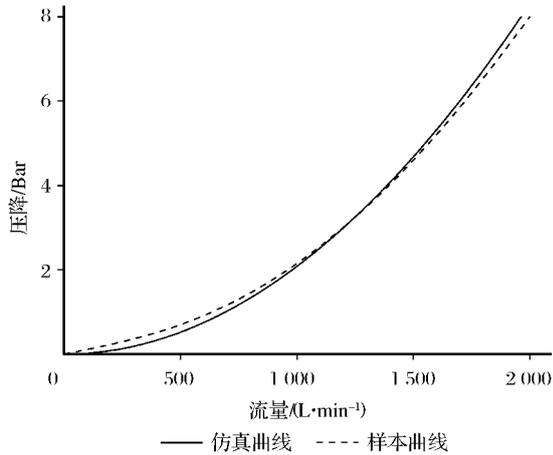


图 3 方向型二通插装阀仿真压差—流量曲线
Fig. 3 Simulating differential pressure-flow curve of directional two-way cartridge valve

3 动态特性的影响因素

3.1 液阻 R_1 的影响

溢流压力 5 MPa, $R_2 = 2 \text{ mm}$, $K = 2\ 500 \text{ N/m}$ 时,通过选用不同直径的液阻 R_1 所得到的阀芯开启、关闭位移曲线如图 4 所示。由图 4 可以看出, R_1 越大, 阀芯开启、关闭时间越短。 R_1 越大, 阀芯开启时阻尼作用越小, 开启时间越短; 对于关闭过程, 主阀芯上腔压力建立时间越短, 连同弹簧力一起, 关闭速度越快。

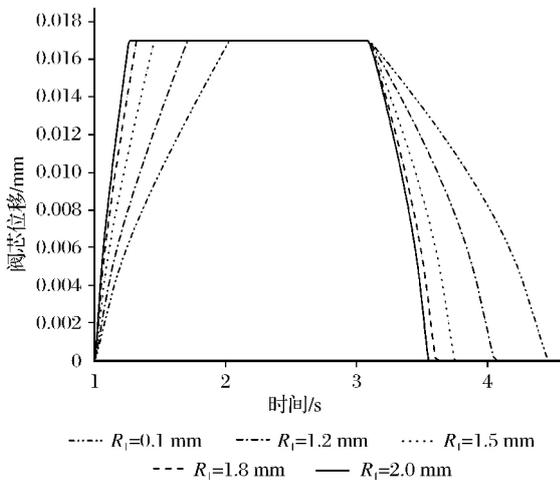


图 4 液阻 R_1 对开关特性的影响曲线
Fig. 4 Curve of influence of liquid lock R_1 to characteristics of switch

3.2 液阻 R_2 的影响

溢流压力 5 MPa, $R_1 = 2 \text{ mm}$, $K = 2\ 500 \text{ N/m}$ 时,选用不同直径的液阻,做出阀芯启闭随 R_2 的变化曲线如图 5 所示。

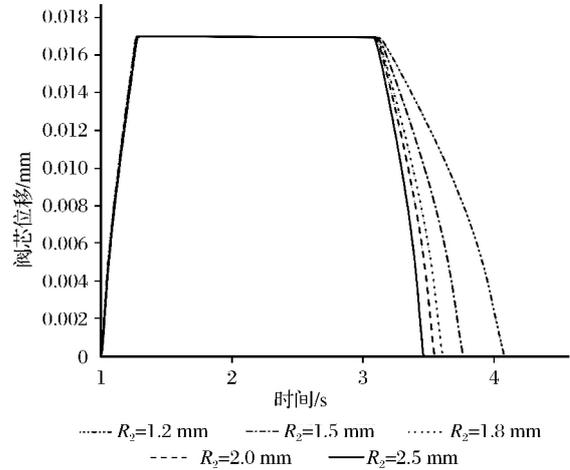


图 5 液阻 R_2 对开关特性的影响曲线
Fig. 5 Curve of influence of liquid lock R_2 to characteristics of switch

由图 5 可以看到,液阻 R_2 对开启过程影响不大,对关闭过程影响较大,当 R_2 增大时,阀芯关闭时间缩短,但 R_2 过大会引起较大的功率损失。注意到,当 $R_2 = 1.8 \text{ mm}$ 与 $R_2 = 2.0 \text{ mm}$ 时,关闭时间相差不大,此后取 $R_2 = 1.8 \text{ mm}$ 。当 R_2 不断增大时,在先导阀复位之后,阀芯控制腔迅速建立起高压,连同弹簧力一起,共同推动阀芯关闭。 R_2 直径越大,阻尼作用越小,建压时间越短,关闭越快。

3.3 弹簧刚度 K 的影响

弹簧刚度首先影响阀的开启压力。当溢流压力为 5 MPa, $R_1 = 2.0 \text{ mm}$, $R_2 = 1.8 \text{ mm}$ 时,分别作出阀芯位移随弹簧刚度的变化曲线,如图 6 所示。

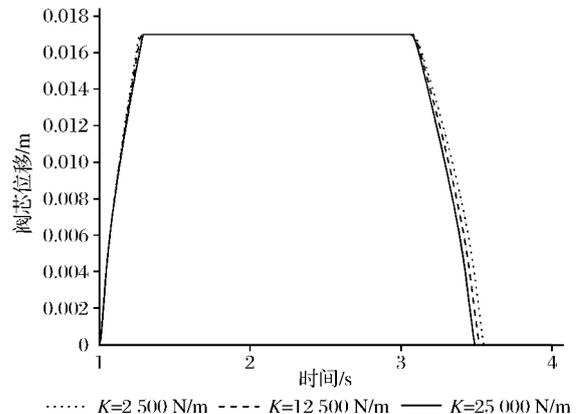


图 6 弹簧刚度 K 对开关特性的影响曲线
Fig. 6 Curve of influence of spring stiffness K to characteristics of switch

由图6可以看出,阀芯弹簧力对开启、关闭过程均有影响,且主要影响关闭时间。当弹簧刚度 K 不断增大时,阀芯关闭时间缩短。当先导阀接收到关闭信号瞬间,控制腔压力 P_C 还未上升至 P_A ,此时主要靠复位弹簧起关闭作用,刚度越大,关闭时间越短。

3.4 系统压力 P 的影响

当液阻 $R_1=2\text{ mm}$, $R_2=1.8\text{ mm}$,弹簧刚度为 $K=2\ 500\text{ N/m}$ 时,调节负载,设定系统分别为 5 MPa 、 15 MPa 、 32 MPa 时,做出阀芯位移随系统压力的变化曲线,局部放大图如图7所示。

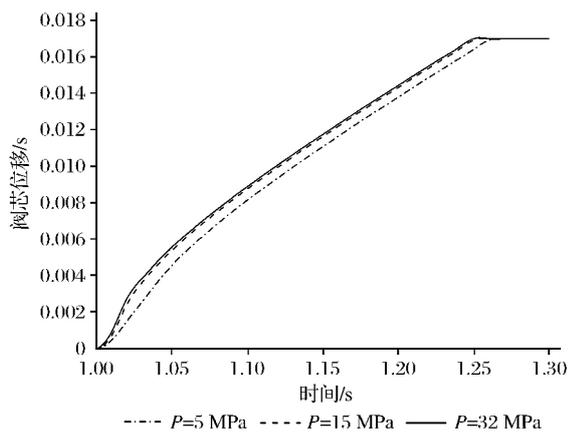


图7 系统压力对开关特性的影响曲线

Fig. 7 Curve of influence of system pressure to characteristics of switch

由图7可以看出,系统压力对插装阀开启、关闭时间影响不大。在一定程度上,系统压力越高,阀芯开启时间越短。

3.5 阀芯行程 S 的影响

当系统压力为 5 MPa 、 $R_1=2\text{ mm}$, $R_2=1.8\text{ mm}$, $K=2\ 500\text{ N/m}$ 时,分别设定阀芯行程为不同值,做出阀芯位移随阀芯行程的变化曲线,如图8所示。

从图8可以看出,阀芯最大行程对开、关时间均有影响,且主要影响关闭时间,行程越大,关闭时间越长,对开启时间影响不大。当阀芯开始关闭时,关闭过程基本保持匀速状态。行程越长,关闭时间越长。

4 结论

建立方向型插装阀动态特性数学模型和

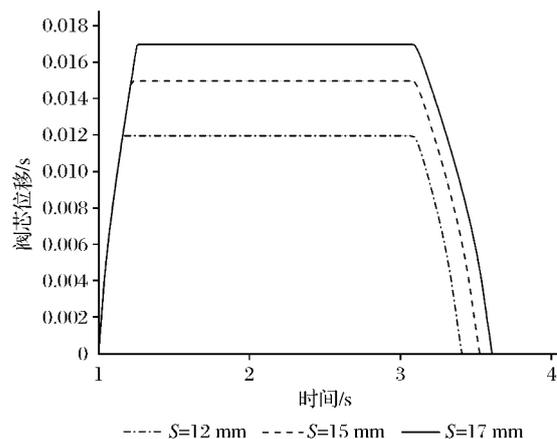


图8 阀芯行程对开关特性的影响曲线

Fig. 8 Curve of influence of spool stroke to characteristics of switch

AMESim 仿真模型,设定不同的参数取值,仿真所得到的影响动态特性的因素主要有:

- (1)弹簧刚度主要影响阀芯关闭时间,刚度越大,关闭时间越短,对开启时间影响不大;
- (2)系统压力对阀芯开启、关闭时间影响不大,在一定程度上,系统压力越高,开启时间越短;
- (3)液阻直径对阀芯开启、关闭时间有较大影响。 R_1 越大,对阀芯开启、关闭时间有较大影响。 R_2 主要影响关闭时间,取值越大,关闭时间越短,但会增加额外的功率损失;
- (4)阀芯行程对关闭时间有较大影响。行程越大,关闭时间越长。

参考文献:

- [1] 黄人豪. 二通插装阀控制技术[M]. 上海:上海实用科技研究中心,1985.
- [2] 张宁. 插装阀动态特性与液压机预卸荷插装阀组卸压特性仿真研究[D]. 秦皇岛:燕山大学,2009.
- [3] 罗艳蕾,张莉,周秩军. 插装式二通方向控制阀动态特性仿真模型的建立[J]. 贵州工业大学学报:自然科学版,2004,33(1):39-42.
- [4] 李壮云. 液压元件与系统[M]. 北京:机械工业出版社,2011.
- [5] 机械工业出版社. JB/T10414-2004 液压二通插装阀试验方法[S]. 北京:机械工业出版社,2004.
- [6] 孙灿兴,胡中望,黄人豪,等. MHV(S)专利产品族及平台开发中 AMESim 的应用[J]. 液压与气动,2014,38(6):124-129.
- [7] 付永领,祁晓野. AMESim 系统建模和仿真——从入门到精通[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2006.
- [8] 张远深,马忠孝,牛雪虹,等. 基于 AMESim 的电磁溢流阀动态特性研究[J]. 甘肃科学学报,2013,25(1):112-115.

Modeling and Dynamic Characteristics Simulation Analysis of AMESim-based Two-way Cartridge Valve

Min Zheng^{1,2}, Zhang Youliang^{1,2}, Tian Lihong^{1,2}, Yue Qiaoping^{1,2}

(1. College of Energy and Power Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China;

2. Key Laboratory of Fluid Machinery and Systems of Gansu Province, Lanzhou 730050, China)

Abstract The dynamic characteristic mathematical model was set up in allusion to certain directional two-way cartridge valve, and the AMESim-based simulation model was set up and the correctness of the same was verified. Factors affecting the opening and closing speeds were obtained by simulation analysis in allusion to opening/closing process of the valve element and included fluid lock diameter, spring stiffness, working pressure of system, spool stroke, etc. which had great influence to dynamic characteristics. Moreover, the reference shall be available for design of the element and the system of the two-way cartridge valve.

Key words Cartridge valve; Dynamic characteristics; Modeling; Simulation; AMESim