

doi: 10.7690/bgzd.2019.11.012

## 基于 AMESim 先导式减压阀动态仿真

张 胜, 丁寿和, 廖 明, 葛雨珩

(中国空气动力学研究与发展中心高速所, 四川 绵阳 621000)

**摘要:** 为研究某先导式减压阀动态性能, 基于 AMESim 软件建立先导式减压阀测试系统动态仿真模型。在分析其结构和工作原理的基础上, 对先导式减压阀开启过程和负载变化时的调整过程进行模拟, 得到其动态性能曲线。该研究可为先导式减压阀设计及优化提供一定的参考。

**关键词:** 先导式减压阀; 动态性能; AMESim 仿真

**中图分类号:** TP391.97 **文献标志码:** A

### Dynamic Simulation on Pilot Pressure Reducing Valve Based on AMESim

Zhang Sheng, Ding Shouhe, Liao Ming, Ge Yuheng

(High Speed Aerodynamics Institute, China Aerodynamic Research & Development Center, Mianyang 621000, China)

**Abstract:** In order to study the dynamic performance of a pilot-operated pressure reducing valve, a dynamic simulation model of the pilot-operated pressure reducing valve test system was established based on AMESim software. On the basis of analyzing its structure and working principle, the adjustment process of the pilot-operated pressure reducing valve opening process and load change is simulated, and its dynamic performance curve is obtained. This study can provide a reference for the design and optimization of pilot-operated pressure reducing valves.

**Keywords:** pilot pressure reducing valve; dynamic performance; AMESim simulation

## 0 引言

相对于直动式减压阀, 先导式减压阀能够减少由于流量变动引起的出口压力波动, 具有调节范围宽、性价比高和远程导阀控制等特点<sup>[1]</sup>, 因而被广泛应用于中高压气液动系统中<sup>[2-3]</sup>。在先导式减压阀工作中, 其动态性能尤为重要, 对于整个液压系统的工作状态有较大影响。

目前, 对直动式减压阀动态性能研究较多<sup>[4-8]</sup>, 而对先导式减压阀的研究主要集中在静态性能研究上<sup>[9-10]</sup>。笔者选取某典型结构的先导式减压阀, 借助 AMESim 软件对其开启过程和负载变化时的调整过程进行模拟, 为先导式减压阀设计及优化提供基础。

## 1 结构及工作原理

先导式减压阀由主阀和先导阀 2 部分构成, 结构如图 1 所示。其中, 主阀部分(流量控制机构)为滑阀结构, 先导阀部分(压力调整机构)为锥阀结构。

来自主回路的液压油从进口口  $p_1$  进入高压腔, 经过主阀节流口后将压力降为  $p_2$ 。一部分液压油从出口流出; 另一部分液压油则进入反馈腔  $V_1$ , 作用于主阀芯的底部, 进而通过主阀芯中的阻尼孔  $r_1$  流

入主阀芯上部弹簧腔  $V_2$ , 压力变为  $p_3$  并作用于主阀芯上部和先导阀芯前端。主阀芯在液动力、弹簧力和阻尼的共同作用下处于动态平衡。当出现外界条件干扰时, 主阀芯位移在平衡力作用下可作相应调整, 使得输出压力始终保持在设定值附近。

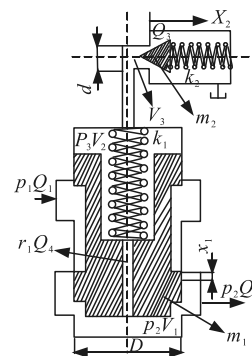


图 1 先导式减压阀结构

## 2 AMESim 仿真模型

AMESim 软件是多学科融合的仿真平台, 在液压系统仿真分析中应用很广, 具有标准液压库和功能更强大的液压元件设计库<sup>[11]</sup>。基于 AMESim 软件, 搭建如图 2 的先导式减压阀测试系统动态仿真模型。在该系统中, 除先导式减压阀模型创建取自液压元件设计库外, 其余元件均采用标准液压库创

收稿日期: 2019-06-11; 修回日期: 2019-07-29

作者简介: 张 胜(1992—), 男, 湖北人, 硕士, 助理工程师, 从事液压传动与控制研究。E-mail: 1447950983@qq.com。

建。这样既能提高计算效率，又能准确地模拟出先导式减压阀动态变化过程。

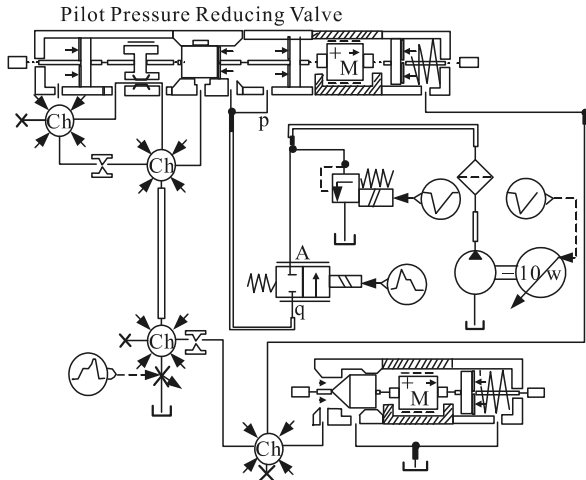


图 2 先导式减压阀测试系统动态仿真模型

为更好地模拟实际工况，在创建减压阀模型时考虑了泄漏子模型，主要参数设置如表 1 所示。该模型中主阀芯设有 2 个阻尼孔，阻尼孔 1 位于主阀腔与反馈腔之间，阻尼孔 2 位于出口低压腔与弹簧腔之间。

表 1 先导式减压阀主要参数设置

序号	参数名称	参数设置
1	主阀芯质量/kg	0.036
2	先导阀芯质量/kg	0.015
3	主阀弹簧刚度/(N/mm)	4.1
4	先导阀弹簧刚度/(N/mm)	167
5	主阀弹簧预压缩量/mm	12
6	先导阀弹簧预压缩量/mm	0.12
7	主阀阀芯直径/mm	16
8	主阀芯静摩擦力/N	10
9	先导阀芯静摩擦力/N	5
10	主阀阀芯杆径/mm	10
11	先导阀芯半锥角角度/(°)	26
12	先导阀阀芯直径/mm	10
13	先导阀阀座孔直径/mm	5
14	弹簧腔容积/cm <sup>3</sup>	200
15	反馈腔容积/cm <sup>3</sup>	20
16	阻尼孔 1 直径/mm	1.2
17	阻尼孔 2 直径/mm	0.8
18	泄漏子模型接触长度/mm	12
19	泄漏子模型直径间隙/mm	0.02
20	主阀芯在零位置处的负重叠长度/mm	3

在先导式减压阀测试系统动态仿真模型中，通过比例溢流阀可调定系统最大工作压力。进口压力变化快慢由电磁开关阀的频率来控制，频率越高，意味着进口压力变化越快，从而方便模拟先导式减压阀的开启过程。对于负载的变化，采用一个孔径可变的节流阀进行模拟，其最大直径为 5 mm。在流体属性的设置中考虑了空气释放和气穴，将液压油中含气量设为 0.5%，设置仿真步长为 0.000 5 s。

### 3 仿真结果及其分析

#### 3.1 输出压力-输入压力动态性能

通过 AMESim 中批处理功能，可以同时多个工况进行运算，以便仿真分析先导式减压阀动态性能。如图 3 所示，调定比例溢流阀不同最大工作压力，可以得到入口压力分别为 2、4、6 MPa 时的出口压力动态曲线。可以看出：在给定调节弹簧预紧力的条件下，出口压力设定值约为 2.5 MPa。当入口压力小于该设定值时，出口压力与入口压力基本保持一致，但也会略有降低。这是由于系统压力损失。当入口压力大于该设定值时，出口压力会作出相应调整，最终会稳定在该设定值附近。这与理论分析一致。

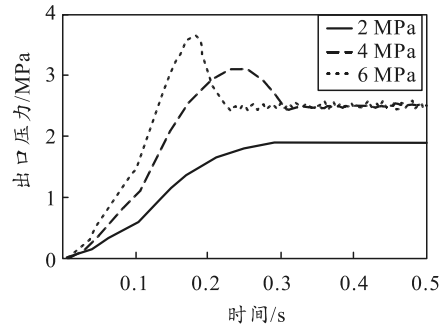


图 3 不同入口压力大小的出口压力动态曲线

将溢流阀最大压力调定为 4 MPa，调节电磁开关阀的频率，分别在 0.1、0.2 和 0.3 s 的时间内使得入口压力从 0 增大到 4 MPa，可以得到如图 4 所示不同入口压力变化快慢的出口压力动态曲线。从图中可以看出：进口压力变化越快，出口低压腔的压力越先达到稳定状态，但其超调量也就越大。因此，在对先导式减压阀开启时间不作特别要求的情况下，为减小超调量使阀芯动作更加平稳，可以适当减缓进口压力的变化。

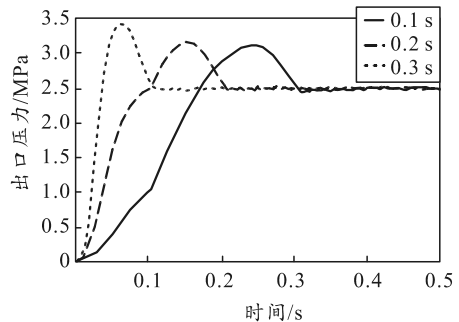


图 4 不同入口压力变化快慢的出口压力动态曲线

#### 3.2 输出压力-输入流量动态性能

当先导式减压阀因负载而使过流量发生变化时，出口压力也会随之产生振荡。该模型中负载的

变化通过节流阀控制信号的变化来模拟，进而模拟先导式减压阀在不同过流量变化下的过渡过程。在先导式减压阀开启稳定后的 0.6 s，改变节流阀控制信号，图 5—7 分别给出了节流阀控制信号随时间变化曲线、不同节流阀开度下流量随时间变化曲线和不同流量突变下出口压力动态曲线。

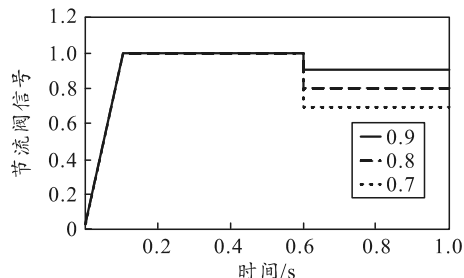


图 5 节流阀控制信号随时间变化曲线

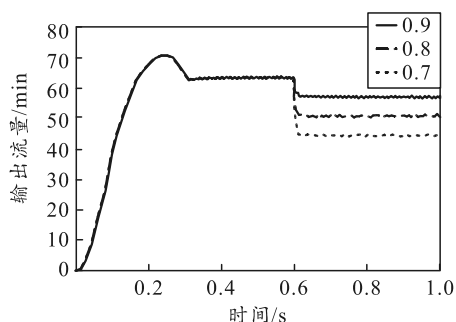


图 6 不同节流阀开度下流量随时间变化曲线

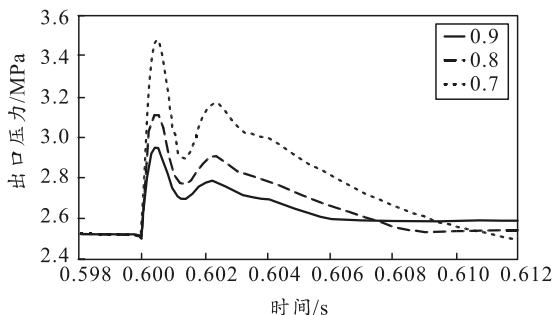


图 7 不同流量突变下出口压力动态曲线

由图可知：1) 可变节流阀的直径变化会引起主阀过流量的变化，且主阀过流量与可变节流阀控制信号的变化趋势基本一致，说明该方法有效可行；2) 主阀过流量变化越大，出口压力超调量越大，震荡也越明显，出口压力调整时间越长；3) 主阀过流量变化后，出口压力稳定值也会发生小幅调整，流量变化较大，压力稳定值就降低。

### 3.3 输出压力-流路开关动态性能

当先导式减压阀负载进行流路通断控制时，出口压力也会随之发生变化。如图 8 所示，在相同调定入口压力条件下，调节先导阀弹簧预压缩量分别为 0.1、0.12 和 0.14 mm，将节流阀信号始终设为 1，

即在 0 时刻打开负载开关，可得到不同先导阀弹簧预紧力的出口压力动态曲线。从图中可看出：调节弹簧的预紧力主要影响出口压力稳定值和超调量，而对峰值和动态时间没有明显影响。

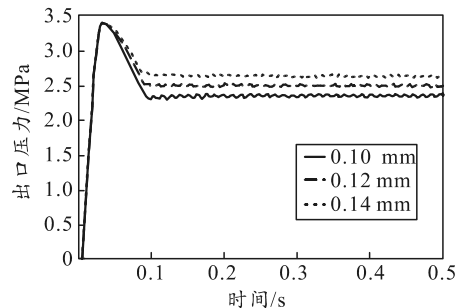


图 8 不同先导阀弹簧预紧力的出口压力动态曲线

图 9 给出了节流阀开度和出口压力随时间变化曲线。由图可知，稳定时输出压力大小与阀门开关状态无关。开关过程输出压力动态响应曲线形态并不相同，阀门打开时出口压力调整时间大于阀门关闭时。

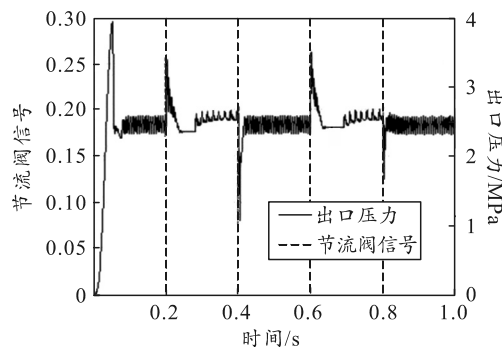


图 9 节流阀开度和出口压力随时间变化曲线

## 4 结论

在分析先导式减压阀动态性能时，可借助 AMESim 软件搭建其测试系统仿真模型，从而更方便地模拟其开启过程和负载变化时的调整过程。通过对先导式减压阀测试系统的建模仿真及其结果分析可知：1) 因负载引起的主阀过流量变化越大，出口压力超调量越大，震荡也越明显，出口压力调整时间越长；2) 调节弹簧的预紧力主要影响出口压力稳定值和超调量，而对峰值和动态时间没有明显影响；3) 稳定时输出压力大小与负载阀门开关状态无关，开关过程输出压力动态响应曲线形态并不相同，阀门打开时出口压力调整时间大于阀门关闭时。

### 参考文献：

[1] 吴世特. 先导式气动减压阀性能分析及实验研究[D]. 杭州：浙江理工大学, 2017: 1-3.

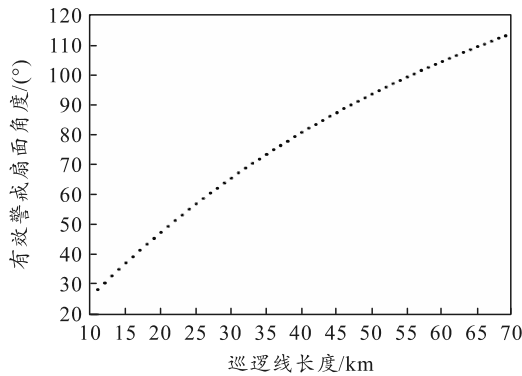


图 10 有效警戒扇面角度随巡逻线长度变化

### 5 结束语

航渡状态下，反潜舰阵位配置实质上是在前出距离、警戒纵深和警戒扇面角度等影响因素之间进行平衡。综合作战区状态下，反潜舰在执行反潜清扫任务时，阵位配置实质上是在有效搜索宽度与双舰横队间距之间进行平衡；反潜舰在执行巡逻警戒任务时，反潜舰阵位配置实质上是在巡逻线长度与警戒扇面角度之间进行平衡。为消除拖曳线列阵声纳盲区影响，可采取配置反潜直升机、曲折机动和

调整间距等措施。

### 参考文献：

[1] 吴福初, 徐辉, 王向阳, 等. 近程反潜警戒舰艇最小前出距离计算模型的建立[J]. 火力与指挥控制, 2014, 39(3): 120-122.

[2] 赵小龙, 吴晓锋. 航母编队反潜声纳舰阵位确定方法研究[J]. 指挥控制与仿真, 2007, 29(3): 45-48.

[3] 贺扬清, 沈治河. 大型水面舰艇编队航渡中直接反潜警戒舰阵位仿真研究[J]. 指挥控制与仿真, 2010, 32(4): 38-41.

[4] 丁红岩, 董晓明. 水面舰艇编队使用拖曳线列阵声纳对潜搜索问题研究[J]. 四川兵工学报, 2013, 32(8): 6-8.

[5] 郭传福, 王洪胜, 曲延明. 驱护舰编队使用拖曳声纳反潜的队形配置[J]. 舰船电子工程, 2015, 35(2): 46-48.

[6] WAITE A D. 实用声纳工程[M]. 王德石译. 北京: 电子工业出版社, 2004: 155-158.

[7] 孙涛, 郭岩. 拖曳声纳搜潜使用方法研究[J]. 舰船电子工程, 2009, 29(4): 152-154.

[8] 赵锐, 汪志强, 王海. 编队中层区域防潜配置研究[J]. 舰船电子工程, 2015, 35(4): 33-35.

\*\*\*\*\*

(上接第 57 页)

[2] 白晓瑞, 沈如松, 姜甫川. 先导式减压阀的静态特性仿真分析[J]. 机床与液压, 2014, 42(16): 97-100.

[3] 张宜波. 水压先导式无静差减压阀的设计与研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2013: 75-76.

[4] 贾一平, 黄运华. 基于 AMESim 的气动减压阀建模与仿真分析[J]. 机械工程与自动化, 2018, 47(2): 60-62.

[5] 顾存行, 毛虎平, 王强, 等. 基于 AMESim 的直动式减压阀动态特性仿真分析[J]. 机械设计与制造, 2017, 55(5): 234-237.

[6] 方亮, 刘林, 陶洋. 基于统计数据的高速风洞阀门系统可靠性研究[J]. 兵工自动化, 2018, 37(1): 15-18.

[7] 董建文, 马文琦, 关广丰. 基于 AMESim 的减压阀建模

仿真及动态特性分析[J]. 液压气动与密封, 2015, 35(11): 46-49.

[8] 吴榕, 唐雯, 林文祥. 减压阀动态性能仿真分析与测试[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2011, 50(5): 847-851.

[9] 祝新军, 李明, 李杨. 基于 AMESim 的先导式精密减压阀的建模与仿真研究[J]. 制造业自动化, 2018, 40(5): 82-84.

[10] 吴珊, 毛旭耀, 廖义德, 等. 先导式海水液压减压阀静态性能分析[J]. 武汉理工大学学报, 2011, 33(1): 134-138.

[11] 付永领, 齐海涛. LMS Imagine. Lab AMESim 系统建模和仿真参考手册[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011: 18-20.