

稳压器结构优化仿真分析及验证

孙海鹏 马 飞 曹 荣 李德权 曾 斌 王细波

(北京宇航系统工程研究所, 北京 100076)



摘要: 为进一步优化稳压器结构, 通过对其工作原理进行分析并简化结构, 建立了稳压器的仿真模型, 从仿真分析和试验验证两个方面综合分析验证了稳压器的性能。在仿真过程中, 从工作形式、刚度、活阀摩擦力以及卸荷孔尺寸等几个方面, 分析了对稳压器性能的影响, 进一步明确了影响稳压器工作性能的主要因素, 并且通过试验验证了分析的正确性, 为后续稳压类阀门设计和改进提供参考。

关键词: 稳压器; 仿真分析; 试验验证

Structural Optimization Simulation Analysis and Experimental Study on Pressurizer

Sun Haipeng Ma Fei Cao Rong Li Dequan Zeng Bin Wang Xibo

(Beijing Institute of Astronautical System Engineering, Beijing 100076)

Abstract: To optimize pressurizer's structure, simulation model is set up by analyzing its working principle and predigest structure. The capability of pressurizer is analyzed and validated by experiment and simulation. In the process of simulation, the effect of pressurizer is analyzed from the working form, stiffness, piston of friction and unloading hole's size aspects, and the main affecting factors of pressurizer are defined. The correctness of the analysis is verified by the experiment, providing reference for the further design and improvement.

Key words: pressurizer; simulation; experiment and verification

1 引言

稳压器应用于增压输送系统中精确调压的二级减压系统中, 主要功能为将上游减压阀出口波动较大的压力降低并稳定在低压高精度范围内, 为下游系统提供稳定精确的压力气体。

AMESim 是基于直观的图形界面的建模平台, 在整个仿真过程中系统模拟并显示在该平台中^[1], 并在仿真过程中计算动力学方程特性的变化过程, 因此, 可以较精确地对稳压器的动特性进行仿真计算。在 AMESim 建模过程中一般均假定气体流过阀座、孔板等限流位置时的流动等熵, 气容腔内压力场、温度场等均匀分布, 将碰撞定义为大刚度、大阻尼接触过程,

并能够充分考虑不同管路阻性、容性及惯性效应的影响, 及计算不同形式传热方式传热量, 且不考虑密封比压、粘性阻力及引力场等对于阀门的影响^[2]。

2 稳压器工作原理

稳压器按调节方式, 包括直接式和间接式两类, 其中直接作用式分为正向式和反向式两种。输入压力对活阀的作用与活阀开启方向相同者称为正向式, 相反者称为反向式。目前现有稳压器类阀门主要是反向式, 并且由于对稳压器的稳压精度比较高, 因此, 一般情况下稳压器均设有反馈结构以提高稳压器工作精度, 本文中所述稳压器为带有反馈的反向式。

作者简介: 孙海鹏 (1985-), 工程师, 航空宇航制造技术专业; 研究方向: 阀门设计技术。

收稿日期: 2014-08-20

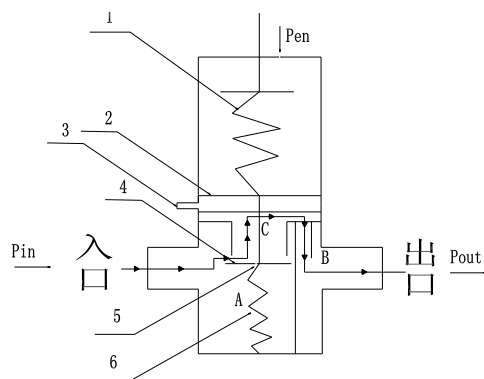


图 1 稳压器原理示意图

1—主弹簧 2—敏感元件 3—反馈嘴 4—活阀 5—卸荷孔 6—副弹簧

稳压器的结构比较复杂，图 1 为简化的稳压器工作原理图，其中 P_{in} 为稳压器入口的气体压力， P_{out} 为稳压器出口压力， P_{en} 为环境压力。其基本工作原理为：具有一定压力 P_{in} 及流量 m 的气体从稳压器入口进入 A 腔，调节活阀初始处于打开状态，允许气体进入 C 腔，并由稳压器出口输出，同时 A 腔内气体经过小孔（序号 5）进入敏感元件下腔 C 腔。敏感元件感受到反馈嘴（序号 3）下游气体压力后，向上顶起压缩调压弹簧（序号 1），并使活阀开度减小。随着下游压力升高后对应的反馈腔压力逐渐上升，当其压

力达到一定值时，由于敏感元件下腔的气体压力超过调压弹簧（序号 1）对敏感元件的作用力，调节活阀开度，减少气体流过，直至敏感元件上下作用力平衡。

稳压器内部运动部件由活阀、顶杆组成，静态稳定阶段中各组件所受力为平衡力，其力平衡方程如下：

$$P_{xh}S_{hf} + P_{fk}S_{mg} + K_{fh}h_1 + K_{mh}h_2 = K_{zh}h_3 \quad (1)$$

式中： P_{xh} 、 P_{fk} 分别为卸荷腔 A 与低压腔 C 压力差、反馈腔压力值， S_{hf} 、 S_{mg} 分别为活阀面积和敏感元件的有效面积， K_{fh} 、 K_{mh} 、 K_{zh} 分别为副弹簧刚度、敏感元件刚度和主弹簧刚度， h_1 、 h_2 、 h_3 分别为副弹簧压缩变形量、敏感元件压缩变形量和主弹簧压缩变形量。

3 稳压器仿真模型

根据图 1 可知，稳压器主要由壳体、活阀、敏感元件、主弹簧、副弹簧以及顶杆组成。根据稳压器零组件结构以及工作原理，使用 AMESim 软件建立仿真模型，稳压器仿真模型见图 2，其中气体介质使用理想气体模型；使用可变孔板控制稳压器流量，对稳压器压力流量特性进行仿真分析^[3]。

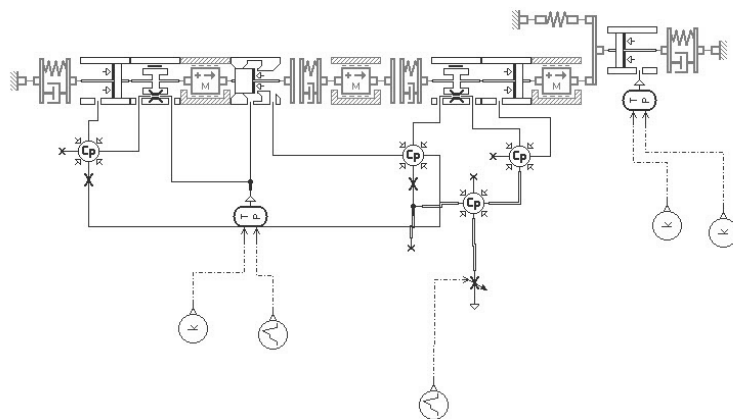


图 2 稳压器仿真模型

4 稳压器仿真结果与分析

稳压器入口压力为 (1.5 ± 0.3) MPa，流量为 1.5~30g/s，选定稳压器入口压力分别以 1.2MPa、1.5MPa 和 1.8MPa，流量分别为 1.5g/s、2.4g/s、15g/s 以及 30g/s 为条件，针对工作形式、刚度、活阀摩擦力以及卸荷孔尺寸等因素，对稳压器性能的影响开展分析，以稳

压器下游气瓶压力稳定情况作为稳压器性能的判断标准。

4.1 工作形式对稳压器性能影响

反馈功能对于稳压器的工作精度至关重要，并且有无反馈功能以及反馈位置选定，对于稳压器性能均有较大影响，本文对于无反馈功能、反馈位置为出口以及反馈位置为气瓶压力的三种工作形式开展仿真

分析。工作形式对稳压器性能影响结果见图 3，由结果可以看出工作形式对于稳压器性能影响较大，带有反馈形式的稳压器比无反馈的稳压器稳压精度更高，反馈气瓶压力的稳压器比反馈出口压力的稳压器的稳压精度更高。

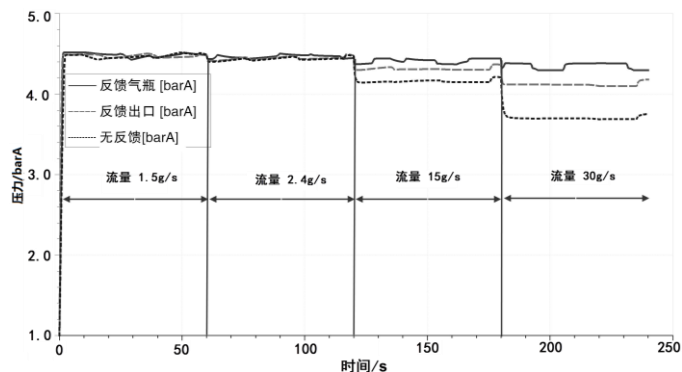


图 3 工作形式对稳压器性能影响

4.2 刚度对稳压器性能影响

刚度是稳压器类阀门重要设计值，直接影响到稳压器出口的压力，其中主弹簧刚度、敏感元件刚度和副弹簧刚度之和为影响稳压器性能的主要刚度指标，其刚度数值的变化对稳压器出口压力将产生影响。将稳压器刚度在设计值下增大 50%和减少 50%，其他条件不变，仿真结果见图 4，根据计算结果可以看出，刚度增大 50%后，稳压器下游气瓶压力也将升高；刚度减少 50%后，稳压器下游气瓶压力将随之降低，即刚度直接影响到稳压器的稳压精度。

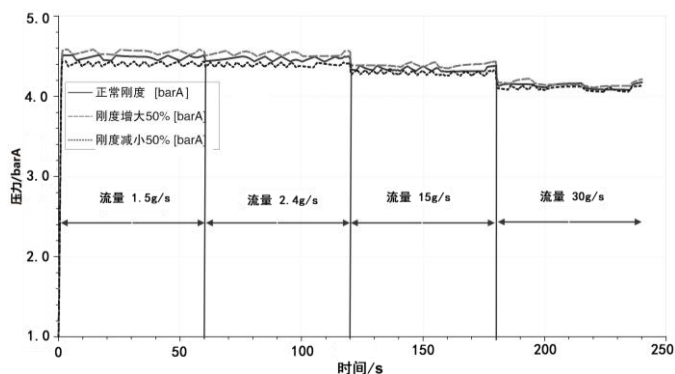


图 4 刚度对稳压器性能影响

4.3 活阀摩擦力对稳压器性能影响

稳压器属于调节类阀门，其活阀的开度根据入口压力以及流量的变化进行实时调节，以保障下游气瓶的压力始终在要求的范围内。因此，在活阀开度调节过程中，活阀运动的稳定性以及灵敏性直接影响稳压

器调压的稳定性和灵敏性，而活阀摩擦力是直接影响活阀运动的稳定性和灵敏性的主要因素。将稳压器活阀摩擦力在设计值下，增大 1 倍和减少 1 倍，其他条件不变，仿真结果见图 5，根据计算结果可以看出，活阀摩擦力增大 1 倍后，稳压器调节灵敏度减弱即下游气瓶压力的变化调节相对迟缓；活阀摩擦力减少 1 倍后，稳压器调节稳定性明显减弱，下游气瓶压力出现明显的锯齿形波动。

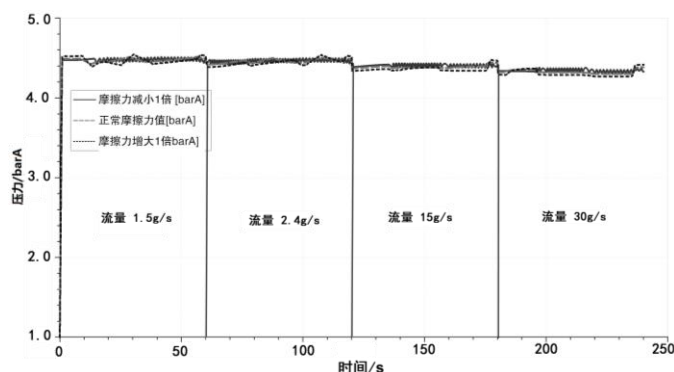


图 5 活阀摩擦力对稳压器性能影响

4.4 卸荷孔尺寸对稳压器性能影响

根据式 (1) 可知，如果卸荷腔和低压腔间存在压力差，那么稳压器出口压力将随着压力差的变化而变化，使稳压器下游压力范围变大，直接影响调节精度。因此，卸荷孔尺寸影响到稳压器性能。将稳压器的卸荷孔尺寸在设计值下，增大 1 倍和减少 1 倍，其他条件不变，仿真结果见图 6。根据仿真结果可知，在卸荷孔尺寸满足完全卸荷的条件下，卸荷孔尺寸继续增大对于稳压器性能没有影响，但卸荷孔尺寸过小，不能满足完全卸荷要求的条件下，卸荷孔尺寸将直接影响到稳压器性能。

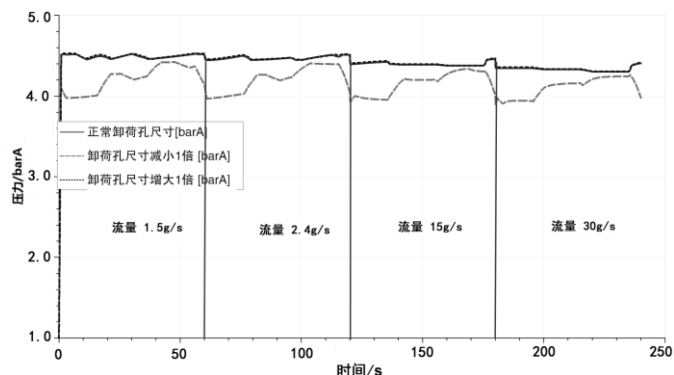


图 6 卸荷孔尺寸对稳压器性能影响

5 试验验证与分析结果比对

为了验证仿真结果,将按照设计值生产的稳压器的试验结果与仿真数据进行比对,按照图2中稳压器仿真系统搭建地面试验系统,实际过程中通过4个孔板模拟4种流量,分别为 $\Phi 1.5\text{mm}$ 、 $\Phi 2.4\text{mm}$ 、 $\Phi 5\text{mm}$ 和 $\Phi 6.85\text{mm}$ 孔板,并通过切换4个电磁阀模拟4种流量情况。

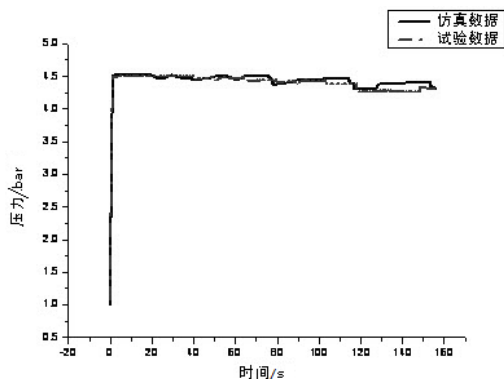


图 7 稳压器下游气瓶压力比对数据 (绝压)

实际试验数据与仿真数据比对结果见图 7, 由试验结果可知, 稳压器的仿真数据与实际试验数据符合程度较好, 可以验证稳压器仿真模型的正确性, 后续可以根据仿真模型进行稳压器的优化设计等工作, 缩短稳压器设计时间。

[illegible]

(上接第 62 页)

度; b_i 为每片扭片的横截面的宽度; β_i 为每片扭片和横截面的长度和宽度的比值 h_i/b_i 有关的系数; l 为扭簧的长度。

计算得到的结果为扭簧的扭转角 $\phi = 1.732$ (弧度)。

5 结束语

利用 ANSYS 及其内部开发语言 (APDL 和 UIDL) 开发的扭簧扭转变形仿真分析软件, 将繁复的 ANSYS 操作转化为简捷、友好、参数化的 GUI 操作, 极大地提高了有限元分析的速度。对比分析结果和计

6 结束语

通过对反向卸荷式稳压器建立仿真分析模型,可以较准确地仿真分析稳压器的性能,能够满足稳压器性能仿真分析需求。通过对仿真与试验结果进行对比,验证了仿真模型的正确性。在此基础上对影响稳压器性能的几种因素(工作形式、刚度、活阀摩擦力以及卸荷孔尺寸)进行仿真分析,可知工作形式和刚度对于稳压器功能性有直接影响,活阀摩擦力对于稳压器工作过程中是否振颤有直接影响,卸荷孔尺寸需满足完全卸荷要求,在满足卸荷要求基础后对性能没有影响。对于反向卸荷式稳压器的设计和改进工作具有很好的指导和参考作用。

参考文献

- 1 罗颜蕾, 李渊, 李蒙, 等. 基于 AMESim 的两位三通阀动态仿真研究[J]. 科技广场, 2010(6): 99~101
- 2 帅彤, 王占彬, 张占峰, 等. 闭式增压系统仿真分析[J]. 导弹与航天运载技术, 2012(4): 5~8
- 3 王少怀. 机械设计师手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1989

算结果可知,采用扭簧扭转变形仿真分析软件获得的结果和理论计算得到的结果很接近,证明了软件的正确性。本软件及其仿真分析的结果对于导弹空气舵扭簧的设计、校核以及扭转试验将有重要的指导意义。

参考文献

- 1 余旭东, 葛金玉, 等. 导弹现代结构设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007
- 2 师访. ANSYS 二次开发及应用实例详解[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2012
- 3 徐秉业, 王建学. 弹性力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007