

某推进系统气路启动特性研究

张银勇, 吴 剑, 李向党

(上海空间推进研究所, 上海 201112)

摘 要: 为研究某推进系统气路启动特性, 找到造成影响减压阀建压稳定性的原因, 获得稳定的减压阀出口压力建压过程, 依据系统仿真方法及相关试验, 对该推进系统气路启动特性进行了研究。结果表明, 减压阀阀后压力稳定性与阀后的管径及阀内的阻尼孔存在关系。

关键词: 减压阀; 系统仿真; 压力稳定性

中图分类号: V434-34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9374 (2012) 06-0020-04

Starting characteristics of pneumatic system in propulsion system

ZHANG Yin-yong, WU Jian, LI Xiang-dang

(Shanghai Institute of Space Propulsion, Shanghai 201112, China)

Abstract: In order to find the reason which affects the pressure-establishment stability of the relief valve and obtain the stable pressure-establishment process at outlet of the relief valve, the starting characteristics of a pneumatic system used in some propulsion system were researched by means of system simulation method and relevant tests. The result shows that the pressure stability behind the relief valve depends on the diameter of the pipe behind this valve and damping area inside this valve.

Keywords: relief valve; system simulation; pressure stability

0 引言

在推进系统中, 当气路系统上游电爆阀电爆后, 下游减压阀阀后压力会从 0.1 MPa 逐渐增加至稳定压力。在这个过程中, 若减压阀后压力在稳定前出现过大大波动, 会影响系统下游各部件的动作。

本文借助系统仿真方法及试验方法对某推进

系统气路启动特性进行研究, 找到在系统启动过程中影响减压阀阀后压力不稳定的因素及相应解决方案。

1 气路启动特性研究

1.1 气路系统模型

图 1 所示为某推进系统气路简化模型系统图, 其中, 高压气瓶状态为: 初始压力 40 MPa,

收稿日期: 2012-07-13; 修回日期: 2012-08-03

基金项目: 中国航天科技集团公司支撑项目 (2007JY06)

作者简介: 张银勇 (1980—), 男, 硕士, 研究领域为液体火箭发动机流体动力学

容积 40 L; 低压气瓶状态为: 初始压力 0.1 MPa, 容积 2.82 L, 共 2 个; 减压阀阀前阀后管径均为 $\Phi 8\text{ mm}\times 0.8\text{ mm}$ 。其工作过程: 打开截止阀, 系统下游减压阀开始工作, 阀后压力从 0.1 MPa 逐渐增大到稳定压力, 直至两个低压气瓶被充满。

图 2 所示为该气路系统用减压阀结构示意图。在该减压阀中, 拥有两个弹簧, 分别是副弹簧和主弹簧; 在主弹簧上端有一个阻尼盘, 阻尼盘上面开了两个直径为 $\Phi 0.5\text{ mm}$ 阻尼孔, 此阻尼孔的作用是缓解减压阀出口压力波动。

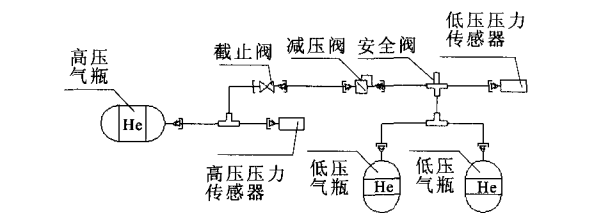


图 1 某推进系统气路系统简化模型
Fig. 1 Schematic diagram of pneumatic system used in a propulsion system

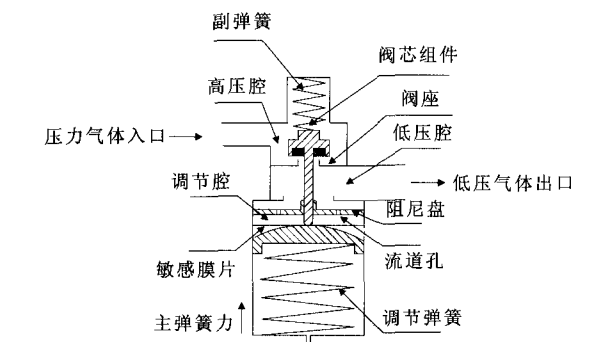


图 2 减压阀结构及工作原理图
Fig. 2 Structure and working principle of relief valve

1.2 仿真计算

为了研究在上述管路布局下减压阀阀后建压特性, 依据给定的系统图及减压阀结构图利用 Amesim 软件建立如图 3 所示的仿真模型。其中, 利用图中的序号 2 信号控件模拟截止阀, 此图右边为减压阀仿真模型; 序号 2 上游系统各部件初始压力均为 40 MPa, 序号 2 下游系统各部件初始压力为 0.1 MPa。

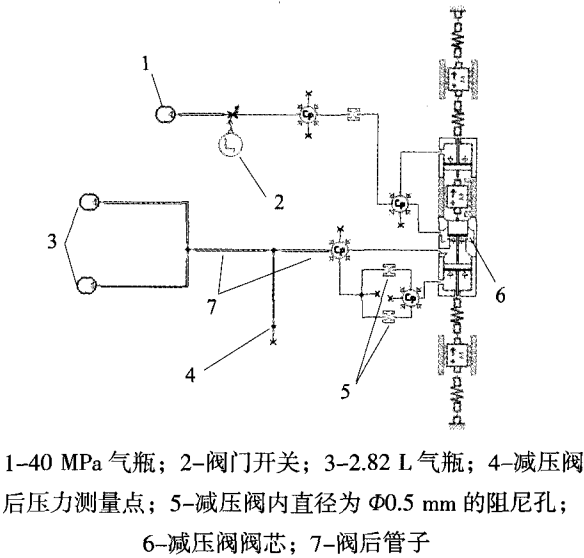
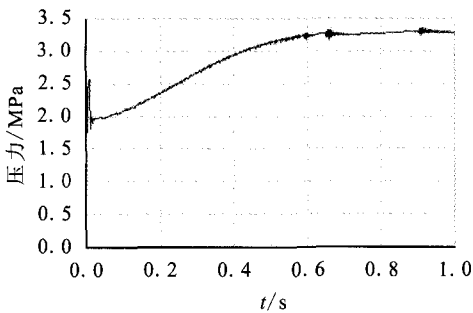
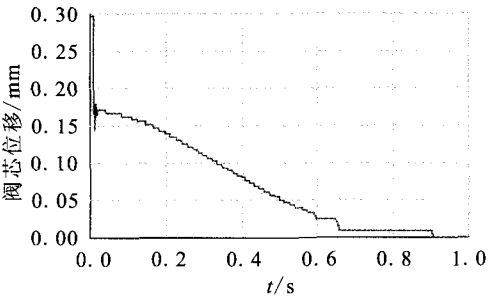


图 3 气路系统仿真模型
Fig. 3 Simulation model for pneumatic system

减压阀阀前阀后管径均为 $\Phi 8\text{ mm}\times 0.8\text{ mm}$ 状态所做的减压阀建压过程仿真结果见图 4。



(a) 测量点压力随时间的变化



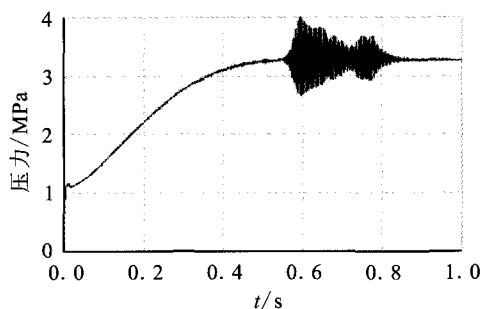
(b) 阀芯位移随时间的变化

图 4 设计状态下阀后压力及阀芯位移随时间的变化
Fig. 4 Variation of pressure at valve outlet and valve core position with time under design condition

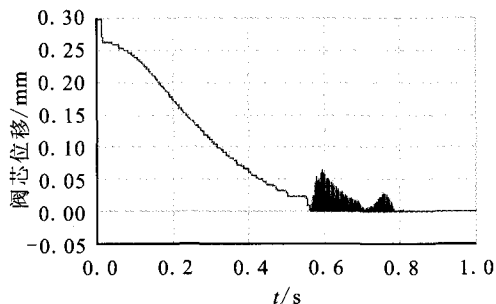
从图 4 中可知, 减压阀建压过程中出口压力

无振荡, 建压后减压阀正常锁闭; 但减压阀出口压力在启动瞬间有小尖峰, 尖峰值约为 2.5 MPa; 该尖峰值产生的原因是因为连接减压阀出口的导管较细, 使得气体低压腔充填速度较慢, 而减压阀内调节腔建压速度相对较快, 两者之间的相位差可能会产生启动尖峰。

在气路系统设计中应当尽量避免减压阀出口压力启动尖峰的产生, 为此, 将连接减压阀出口的导管管径由 $\Phi 8 \text{ mm} \times 0.8 \text{ mm}$ 更改为 $\Phi 12 \text{ mm} \times 0.8 \text{ mm}$, 相应的减压阀建压过程及阀芯位移随时间变化过程见图 5。



(a) 测量点压力随时间的变化



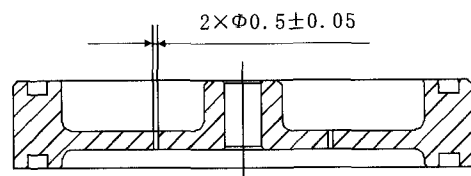
(b) 阀芯位移随时间的变化

图 5 减压阀出口管径更换后阀后压力及阀芯位移随时间的变化

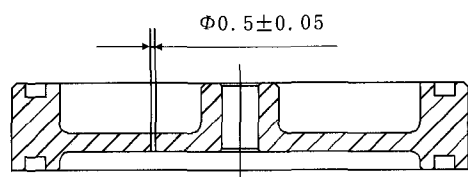
Fig. 5 Variation of outlet pressure and valve core position with time after diameter of outlet pipe was changed

从图 5 可知, 更换减压阀出口连接导管的管径后, 减压阀在建压过程中未出现启动尖峰, 但快到锁闭压力时压力出现了振荡现象, 在该图 b 中阀芯位移也表现出相类似的现象。此现象的产生估计是由于减压阀内阀芯下游阻尼孔对减压阀反馈路压力调节过于敏感造成的。减压阀阀芯下游阻尼盘及阻尼孔结构形式见图 6(a), 为了减少

减压阀内下游对压力过度的调节, 将阻尼孔数从两个减少至一个。更改后的阻尼盘结构图见图 6(b), 计算结果见图 7。



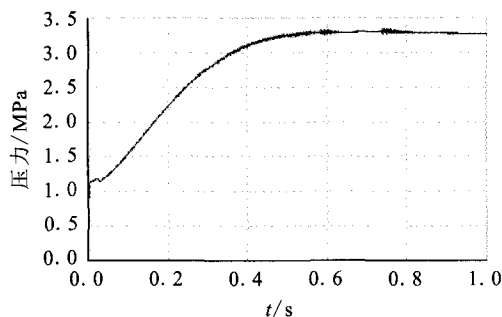
(a) 更改前阻尼盘



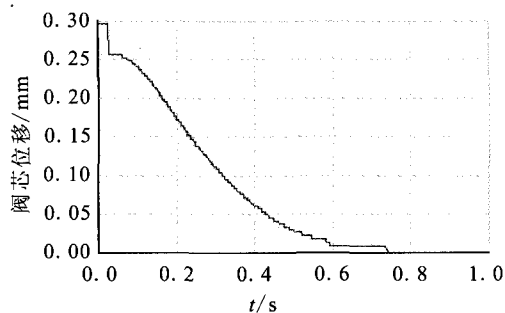
(b) 更改后阻尼盘

图 6 减压阀内下游阻尼盘结构形式

Fig. 6 Structures of lower damping discs inside relief valve



(a) 测量点压力随时间的变化



(b) 阀芯位移随时间的变化

图 7 阻尼孔数减少至 1 个孔后阀后压力及阀芯位移随时间的变化

Fig. 7 Variation of outlet pressure and valve core position with time after the number of damping holes was decreased to one

从图 7 可知, 当将减压阀内阻尼孔数减少至 1 个之后, 减压阀在建压过程中阀后压力未出现任何振荡现象, 说明缩小减压阀内下游压力反馈路的调节面积能有效抑制减压阀出口压力振荡, 同时也未出现过大的启动尖峰; 此计算结果表明, 当前系统部件配置及减压阀结构满足此系统气路系统设计要求。

1.3 试验研究

上述利用系统仿真软件对图 1 所示的气路系统进行了相关启动特性研究, 以减压阀出口建压的稳定性为目标, 获得了相应的管路及减压阀改进方案。为了验证系统仿真所获得结论的准确性, 根据图 1 所示的气路系统图搭建了相应的试验系统, 获得的试验结果见图 8~图 10。

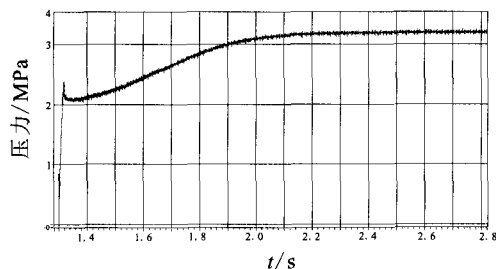


图 8 减压阀阀前及阀后连接导管的管径均为 $\Phi 8 \text{ mm} \times 0.8 \text{ mm}$ 时阀后压力随时间的变化

Fig. 8 Variation of outlet pressure with time as diameter of inlet and outlet pipes for relief valve was changed to $\Phi 8 \text{ mm} \times 0.8 \text{ mm}$

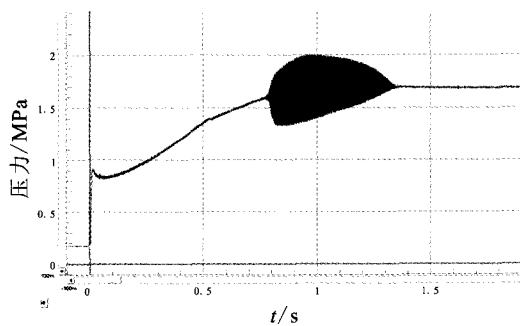


图 9 减压阀阀后连接导管的管径更换为 $\Phi 12 \text{ mm} \times 0.8 \text{ mm}$ 时阀后压力随时间的变化

Fig. 9 Variation of outlet pressure with time after diameter of outlet pipe for relief valve was changed to $\Phi 12 \text{ mm} \times 0.8 \text{ mm}$

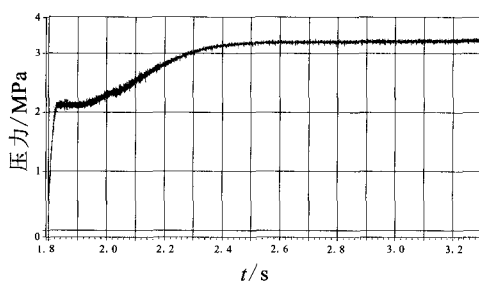


图 10 减压阀内阻尼孔数目从两个减少至一个时间后压力随时间的变化

Fig. 10 Variation of outlet pressure with time after damping holes was decreased from two to one

图 8 为减压阀阀前及阀后连接导管的管径均为 $\Phi 8 \text{ mm} \times 0.8 \text{ mm}$ 的阀后压力减压过程; 图 9 为减压阀阀后连接导管的管径更换为 $\Phi 12 \text{ mm} \times 0.8 \text{ mm}$ 后的建压过程; 图 10 为减压阀内阻尼孔数目从两个更改为一个后的建压过程。从图 8~图 10 三个压力建压过程图可知, 当减压阀阀前及阀后管径均为 $\Phi 8 \text{ mm} \times 0.8 \text{ mm}$ 时, 正如前面系统仿真软件计算所获得的结果那样, 阀后压力能稳定升至锁闭压力, 但中间出现一个启动尖峰, 峰值大小为 2.4 MPa 左右; 而将减压阀阀后连接导管的管径更换为 $\Phi 12 \text{ mm} \times 0.8 \text{ mm}$ 后, 启动尖峰消失, 但阀后压力快到锁闭压力时出现了振荡现象, 这与仿真结果一致; 当减压阀内阻尼孔数从两个减少至一个后, 上述压力振荡现象消失。

2 结论

利用系统仿真方法及试验方法对某推进系统气路启动特性进行了研究。通过系统仿真方法获得了在不同管径配置下阀后压力建压特性。当阀后管径为 $\Phi 8 \text{ mm} \times 0.8 \text{ mm}$ 时, 阀后压力在建压过程中出现较大的启动尖峰, 这与阀后管径过细有关; 当阀后管径更换为 $\Phi 12 \text{ mm} \times 0.8 \text{ mm}$ 时, 启动尖峰消失, 但阀后压力在快到锁闭压力时出现明显振荡现象。为了解决振荡现象, 将减压阀内阻尼孔数从两个减少至一个。计算表明, 上述措施阻止了阀后压力在锁闭压力附近振荡的发生。

(下转第 51 页)

5 结论

1) 采用 PAMSTAMP 的 INVERSE 反算模块计算的零件毛坯尺寸与经验公式计算的毛坯尺寸一致性好, INVERSE 反算模块可应用于工程中作为钣金零件展开料的计算工具。

2) 采用 PAMSTAMP 的 DIEMAKER 模面设计模块可自动生成钣金零件阴、阳模型面及压边圈, 并能对其模面进行优化, 可应用于模具设计中模面参数的设计。

3) 采用 PAMSTAMP 的 AUTOSTAMP 模块对零件拉深成形进行仿真计算, 可获得零件拉深成形优化工艺方案、工艺参数及毛坯形状尺寸。

参考文献:

- [1] 关诗惇, 何声健. 冲压工艺学[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1987.
- [2] 李硕本. 冲压工艺学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1982.
- [3] 李尚健. 金属塑性成形过程模拟[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [4] 卢险峰. 最优化方法应用基础[M]. 上海: 同济大学出版社, 2003.
- [5] 王远钟, 董定福, 俞美芳. 数值模拟波动压边力对拉深件成形质量的影响[J]. 塑性工程学报, 2005 (6): 46-50.
- [6] 《航空工艺装备设计手册》编写组. 航空工艺装备设计手册—冷冲模设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1977.
- [7] 张鼎承. 冲模设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1988.

(编辑: 王建喜)

(上接第 23 页)

为了验证通过系统仿真方法所获得气路系统启动特性结果的准确性, 从试验角度对该气路系统仿真所涉及的三种状况建压特性进行了研究。从试验所得三种状况的压力建压曲线与仿真计算结果基本一致。

通过扩大减压阀阀后管径及减少阀内阻尼孔面积, 能有效降低该系统气路启动过程中阀后压力建压的振荡, 能获得较稳定的建压过程。

参考文献:

- [1] 庞麓鸣. 工程热力学[M]. 北京: 人民教育出版社, 1980.
- [2] 梁德旺. 流体力学基础[M]. 北京: 航空工业出版社, 1998.
- [3] 付永领, 齐海. LMS Imagine. Lab AMESim 系统建模和仿真实例教程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011.
- [4] 尤裕荣, 曾维亮. 逆向卸荷式气体减压阀的动态特性仿真[J]. 火箭推进, 2006, 32(3): 24-30.
- [5] 朱宁昌. 液体火箭发动机设计(下)[M]. 北京: 宇航出版社, 1994.
- [6] 刘国球. 液体火箭发动机原理[M]. 北京: 宇航出版社, 1993.
- [7] 陈阳, 高芳, 张振鹏. 气动薄膜调节阀控制系统工作过程的动态仿真[J]. 火箭推进, 2006, 32(6): 28-34.
- [8] 陶玉静, 范才智, 田章福, 等. 两位五通电动气阀动态特性研究[J]. 推进技术, 2006, 27(6): 64-67.
- [9] 徐华舫. 空气动力学基础[M]. 北京: 北京航空学院出版社, 1987.
- [10] 伊进宝, 赵卫兵, 师海潮. 动叶围带对鱼雷涡轮机通流性能影响研究[J]. 鱼雷技术, 2012 (1): 56-59.
- [11] 尹洪, 王文萍, 任静, 蒋洪德. 燃烧室出口辐射对气膜冷却传热影响研究[J]. 工程热物理学报, 2012 (2): 214-217.
- [12] 李广超, 吴冬, 张魏, 吴超林. 不同吹风比下双出口孔射流气膜冷却数值模拟计算[J]. 动力工程学报, 2012 (5): 368-372.
- [13] 魏进家, 王剑峰. 温度和雷诺数对表面活性剂溶液传热的影响[J]. 工程热物理学报, 2012 (1): 67-70.

(编辑: 王建喜)