

贮箱充填过程仿真和分析

王定军, 袁洪滨, 董 苑

(西安航天动力研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 应用 AMESim 系统建模和仿真软件并考虑管路摩擦和组件的热量传递因素, 建立了贮箱充填过程仿真模型。计算了电爆阀打开后减压阀出口压力以及气瓶和贮箱压力变化曲线。仿真计算数据和试验结果基本一致。

关键词: 贮箱; 充填; 减压阀; 仿真

中图分类号: V434

文献标识码: A

文章编号: (2008) 01-0023-03

Simulation and analysis of the tank filling process

Wang Dingjun, Yuan Hongbin, Dong Yuan

(Xi'an Aerospace Propulsion Institute, Xi'an 710100, China)

Abstract: A dynamic simulation model of tank filling process of an attitude control system is established by AMESim software by considering pipe frictions and heat transfer effect of components. The regulator, vessel and tank pressures are computed. The computer simulations testify the experiment results, and good agreement is obtained.

Key words: tank; filling process; pressure regulator; simulation

1 引言

恒压挤压式姿控系统气瓶使用电爆阀封存高压气体, 电爆阀打开时, 减压阀受到高压气流冲击, 调节过程中出口压力可能发生振荡而无法收敛。目前, 一般通过建立充填过程非线性数学模型进行数值计算分析。为了减少计算量, 通常忽略管路和热量传递等因素对充填过程的影响。大

量试验表明, 管路和热量传递对贮箱充填过程有明显影响。本文应用 AMESim 系统建模和仿真软件, 考虑了管路和热量传递等因素, 对姿态控制系统电爆阀打开后贮箱充填过程进行了仿真。

2 模型的建立

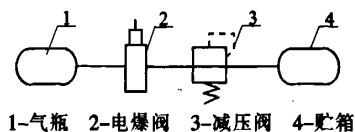
2.1 贮箱充填系统工作原理

为了建立仿真模型, 对姿态控制系统贮箱充

收稿日期: 2007-10-09; 修回日期: 2007-11-26。

作者简介: 王定军 (1977—), 男, 硕士, 研究领域为火箭姿态控制系统。

填系统进行了简化, 示意图见图1。



1-气瓶 2-电爆阀 3-减压阀 4-贮箱

图1 贮箱充填系统示意图

Fig.1 Schematic of the tank filling process

姿态控制系统工作所需挤压气体和推进剂预先分别封存在气瓶和贮箱内, 气瓶后为常闭电爆阀。工作原理是: 在系统需要工作时给电爆管通电, 电爆阀打开, 气瓶内高压气体经减压阀调节后充填到贮箱前, 贮箱推进剂开始充填。

2.2 仿真模型

AMESim 是法国 IMAGINE 公司于 1995 年推出的专门用于工程系统的建模、仿真及动力学分析的软件, 该软件包含 IMAGINE 公司模型库并为工程设计提供交互能力。AMESim 为流体动力、机械、热流体和控制系统提供一个完善、优越的仿真环境及解决方案, 使用户能够借助其面向实际应用的方案, 研究系统的动力学特性。

利用 AMESim 软件, 建立了贮箱充填系统模型 (见图2)。在该模型中, 将减压阀过滤器单独列出, 并模拟管路扩张; 电爆阀和管路的通径相同, 按管路计算, 并忽略电爆阀打开过程所用的时间; 减压阀考虑阻尼、低压腔容积以及阀芯摩擦的作用。仿真中假设工作介质氮气为理想气体, 服从多变规律, 多变指数取 1.35。

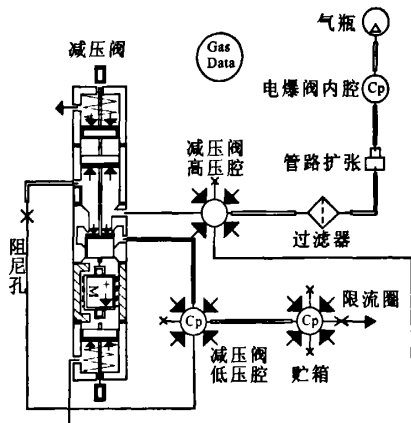


图2 贮箱充填系统仿真模型

Fig.2 Simulation model of tank filling process

3 仿真计算和分析

3.1 边界条件和仿真计算

初始气瓶压力为 23.5MPa, 管路和贮箱压力均为 0.1MPa, 温度为 293 K, 时间步长为 1ms。减压阀静摩擦力按照动摩擦力的 1.5 倍计算, 考虑管路摩擦的作用。

气瓶压力、贮箱压力、低压腔、阻尼腔压力曲线见图3、图4、图5、图6。

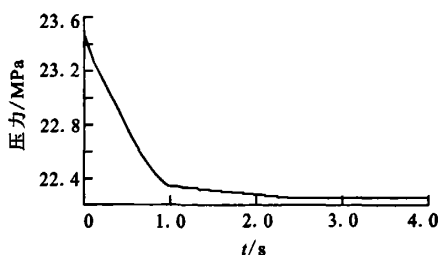


图3 气瓶压力变化曲线

Fig.3 Pressure curves of the vessel

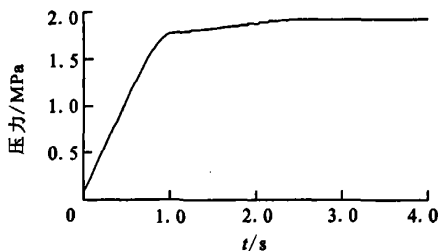


图4 贮箱压力变化曲线

Fig.4 Pressure curve of the tank

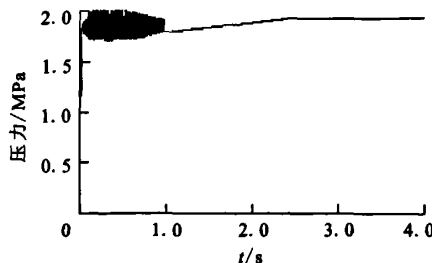


图5 减压阀低压腔压力变化曲线

Fig.5 Pressure curve of the regulator low-pressure cavity

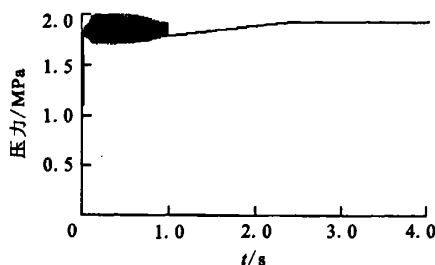


图6 减压阀阻尼腔压力变化曲线

Fig.6 Pressure curve of the regulator damping cavity

3.2 计算结果分析

由图3和图4可以看出,电爆阀起爆后约2.3s贮箱压力达到稳定,气瓶压力下降1.30MPa,贮箱最终压力为1.91MPa。在三次整机实际工况试验中,电爆阀起爆后2~3s贮箱压力达到稳定,气瓶压力下降2~3MPa,贮箱最终压力为1.83~1.89MPa。考虑到每次贮箱推进剂加注量的差异,理论计算和试验结果基本一致。

由图3和图4还可看出,在0~1s和1~2.3s内,气瓶压力曲线基本为直线下降趋势,贮箱压力曲线基本为直线上升趋势,0~1s比1~2.3s内压力曲线变化剧烈。在这两段时间内,气瓶和贮箱气体流量基本稳定。分析认为:在0~1s内,减压阀阀芯运动为振荡调节过程,气体流量较大;在1~2.3s内,减压阀阀芯基本处于关闭位置,高压气体通过节流缝隙缓慢充填。

由图5和图6可以看出,在0~1s内,减压阀低压腔和阻尼腔压力同时出现了相同频率的低频振荡(约100Hz),随着时间增长,贮箱、减压阀低压腔和阻尼腔充填压力上升,减压阀调节趋于稳定。减压阀低压腔和阻尼腔压力振动频率相同,说明采用的阻尼孔孔径太大,使阻尼腔没有发挥阻尼的作用;姿态控制系统减压阀阀芯密封面一般采用非金属材料,调节系统低频共振经常导致阀芯密封面损伤,从而引起减压阀故障。

由图4和图5可以看出,虽然减压阀低压腔压力出现了低频振荡,但是贮箱压力没有出现低频振荡,说明减压阀和贮箱之间的管路抑制了管路内压力的振荡。为了防止姿态控制系统发生共振,一方面要防止减压阀调节系统发生共振,另一方面使减压阀和贮箱之间的管路自振频率不能接近减压阀调节系统的共振频率。

4 结论

姿态控制系统贮箱充填过程仿真计算结果与地面试验结果基本一致,证明该数学模型较好地模拟了贮箱充填过程。该系统减压阀阻尼太大,导致减压阀调节系统发生了低频共振,由于管路的抑止作用,贮箱压力没有出现低频振荡。

参考文献:

- [1] 付永领,祁晓野. AMESim 系统建模和仿真——从入门到精通[M]. 北京: 航空航天大学出版社, 2005.
- [2] 刘国球. 液体火箭发动机原理 [M]. 北京: 宇航出版社, 1993.
- [3] 陈晓琴. 减压阀充填过程动态特性仿真[J]. 导弹与航天运载技术, 2006, 5: 45-49.
- [4] 秦家升, 游善兰. AMESim 软件的特征及其应用[J]. 工程机械, 2004, 12: 6-8.
- [5] 包钢, 苏尔皇. 直动型高压反作用式气体减压阀的静动特性分析[J]. 阀门, 1987(4): 1-9.
- [6] 武唯强, 王海洲. 恒压加载式冷氮压力调节器的建模与仿真[J]. 导弹与航天运载技术, 2001(6): 27-32.
- [7] 潘锦珊. 气体动力学基础[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1995.
- [8] 徐灏. 机械设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1991.
- [9] 杨永强, 刘站国. 液氧煤油发动机低温组元两相充填过程研究[J]. 火箭推进, 2006, 32(2): 11-15.

(编辑: 王建喜)