

基于 AMESim 的冲压发动机 燃油调节器动态特性仿真

尤裕荣, 赵双龙, 吴宝元, 逯婉若
(西安航天动力研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 基于 AMESim 软件仿真平台, 建立了冲压发动机燃油调节器仿真模型, 对燃油调节器的流量跟随调节特性、入口压力扰动以及油路切换过程的动态特性进行了仿真研究, 分析各工况下燃油调节器的稳定性, 并提出了改善燃油调节器动态特性的措施。另外, 通过利用该仿真模型, 对燃油调节器的各种工况进行分析, 为结构参数的选取和控制参数的优化研究都提供了参考。

关键词: AMESim; 燃油调节器; 动态特性; 仿真

中图分类号: V233.7

文献标识码: A

文章编号: (2010) 04-0012-04

A simulation on dynamic characteristics of ramjet fuel regulator based on AMESim

You Yurong, Zhao Shuanglong, Wu Baoyuan, Lu Wanruo
(Xi'an Aerospace Propulsion Institute, Xi'an 710100, China)

Abstract: A dynamic simulation model of ramjet fuel regulator was developed using the AMESim software. The regulator dynamic characteristics were simulated. The methods to improve the dynamic performance were provided by analyzing the regulator stability. The simulation model can be used to analyze regulator characteristics. It can also be used for regulator optimum design.

Key words: AMESim; fuel regulator; dynamic characteristic; simulation

收稿日期: 2010-01-25; 修回日期: 2010-02-28。

作者简介: 尤裕荣 (1978—), 男, 工程师, 研究领域为发动机燃油系统组件设计与仿真。

0 引言

一般的产品设计过程都是基于静态特性进行设计,而动态特性只能通过试验进行验证,这种传统的方法往往造成研制周期较长,而且需要投入大量的人力、物力和时间。随着计算机仿真技术的迅速发展,设计手段日趋先进,在工程系统的设计中,使用计算机对真实系统的动态特性进行数字仿真成为设计和研发的主要发展方向。利用计算机仿真计算,研究实际物理系统的各种工作状况,验证产品相关结构参数的正确性,确定最佳参数匹配,为产品的改进设计提供指导,可大大降低开发成本和缩短研制周期。

燃油调节器作为冲压发动机燃油供应控制系统中关键的流量调节装置之一,其性能的优劣将影响到冲压发动机的总体性能,尤其是调节器的动态稳定性能的好坏直接决定了冲压发动机工作的稳定性^[1,2]。然而设计出一个可靠工作、并且能够满足各种性能要求的燃油调节器却是一件相当复杂的工作。因此,通过建立燃油调节器的数学模型,对其动态特性进行仿真研究,验证其结构参数的合理性,各项性能能否达到设计指标要求,同时也为燃油调节器的改进设计提供指导。

1 燃油调节器系统组成

按照冲压发动机燃油调节系统的功能要求,该燃油调节器主要由计量阀、等压差机构、切换阀、切换电磁阀、高速电磁阀及角位移传感器等组成,其结构原理如图 1 所示。燃油调节器的主要功能是通过综合控制器来实现控制,其工作原理为:综合控制器控制驱动高速电磁阀占空比信号来实现对计量阀位置的控制,即控制计量阀开度来实现供油量的调节,同时计量阀的位置由角位移传感器给出反馈信号到综合控制器,实现供油量的闭环控制。另外,等压差阀感受计量阀前后压差的变化,并控制压差执行阀运动使计量阀前后压差保持稳定,使出口燃油流量恒定。根据发动机燃油量的变化需求,通过控制切换电磁

阀,来完成切换阀对不同的油路开关控制。

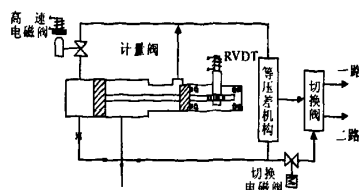


图 1 燃油调节器原理示意图

Fig.1 Diagram of ramjet fuel regulator

2 燃油调节器建模

目前,随着仿真技术的不断发展,各种基于工程设计的仿真软件也日趋成熟,比较流行的软件主要有 AMESim、DSHplus 及 Easy5 等。AMESim (advanced modeling environment for simulations of engineering systems) 是法国 IMAGINE 公司于 1995 年推出的一种基于键合图的高级系统建模、仿真及动态性能分析软件。AMESim 为用户提供了一个图形化的时域仿真建模环境,使用已有模型和建立新的子模型元件,构建实际系统的物理模型,通过修改模型和仿真参数,进行仿真计算、绘制曲线并分析仿真结果。该软件提供的智能求解器能够自动判断系统方程的刚性及其刚性度,切换不同的数值算法,包括 12 种针对非刚性的 Adams 算法和 5 种针对刚性的 Gill 算法,从而使仿真速度和精度满足要求。AMESim 为机械、流体动力及控制系统提供了一个完善、优越的仿真环境和灵活的解决方案,使用户能够借助其友好的面向实际应用的方案来研究任何元件或回路的动力学特性^[3,4]。具体的建模步骤如下:

(1) 在草图模式下建立系统模型

在 AMESim 草图模式 (Sketch mode) 下,运用液压元件设计库、液阻库、控制库等构建系统物理模型。

(2) 在子模型模式下定义数学模型

进入子模型模式 (Submodel mode),为系统中的每个图形模块选取所需求的子模型。

(3) 在参数模式下设定相关参数

在参数模式 (Parameters mode) 下,根据元

件模型设置各个模块的内部相关结构等参数。

(4) 在运行模式下仿真计算

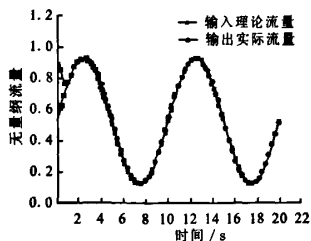
进入运行模式 (Run mode), 设置仿真时间、仿真步长及运行方式等运行参数后, 开始仿真计算。

3 仿真计算及分析

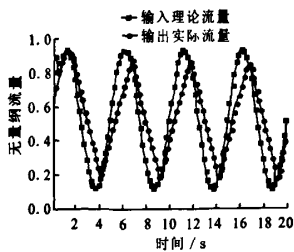
为了保证燃油调节器系统各组合件结构参数和油路节流器参数的匹配性, 以确保调节器的设计参数正确、可靠, 通过对燃油调节器的系统动态特性进行仿真计算, 对其控制特性和稳定性等进行研究, 为燃油调节器调试、试验提供参考。

3.1 流量跟随特性

即输入的理论流量在不同频率、幅度变化下, 调节器所控制的实际输出流量的变化情况, 反映调节器流量调节速率的大小。对两种不同频率的输入正弦变化理论流量信号分别进行了仿真, 其中幅值为 2, 频率分别为 0.1Hz 和 0.2Hz, 仿真结果如图 2 所示。



(a) 输入信号频率 0.1Hz



(b) 输入信号频率 0.2Hz

图 2 流量跟随特性

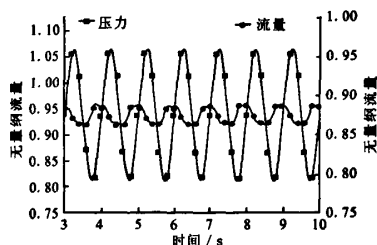
Fig.2 Regulation rate of flow rate

当流量输入信号的频率为 0.1Hz 的情况下, 调节器输出流量基本上与其一致, 而当频率

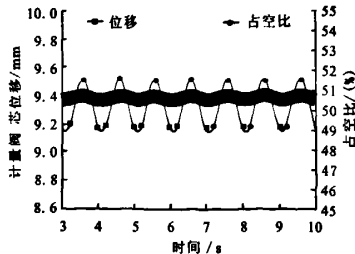
为 0.2Hz 的情况下, 则调节器的调节速度滞后于输入流量的要求。当然以上是基于占空比控制算法的 PID 系数一定情况下的控制结果, 可通过增大比例系数 K_p 值等方法来提高调节器的流量调节速率, 但 K_p 值也不能取得太大, 否则容易造成流量调节过程可能出现超调现象, 而要根据实际应用场合下的流量调节速率综合考虑选择合适的 PID 系数。

3.2 入口压力扰动

在入口压力扰动情况下, 对调节器的稳定调节性能进行仿真。其中入口压力变化信号为: 正弦变化, 变化幅值为 1, 频率 1Hz; 仿真结果如图 3 所示。当入口压力以正弦信号扰动的情况下, 调节器的输出流量也以相同的频率调节变化, 其流量调节精度为 $\pm 0.95\%$, 表明该调节器的稳定调节性能较好, 能够满足流量控制精度的要求。另外, 计量阀阀芯的位移的变化幅度约为 $\pm 0.24\text{mm}$, 而平衡占空比基本上在 50%~51% 范围内变化, 表明该控制器的参数也基本上能够满足控制精度要求, 为了进一步提高调节器的流量调节的稳定性, 可采取增设合适的阻尼孔方案或适当增加摩擦力的方法来权衡比较, 综合考虑其调节器的总体性能。



(a) 入口压力与流量



(b) 阀芯位移与占空比

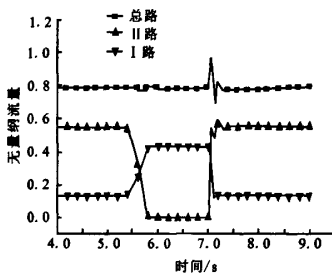
图 3 入口压力扰动对调节器特性的影响

Fig.3 Influence of fluctuant pressure on characteristics of regulator

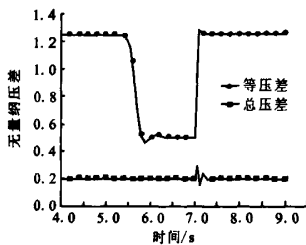
3.3 油路切换动作

即确定在切换电磁阀通、断电的状态, 切换阀打开与关闭时间, 同时验证调节器在其切换过程的动态稳定性能。

仿真结果如图 4 所示。对仿真结果分析可得, 切换阀打开时间约为 0.2s, 关闭时间约为 0.8s。从调节器总流量的变化可以看出, 切换阀打开过程, 流量存在较大的波动, 而关闭过程相对较小, 由此可见, 切换阀的动作时间对调节器性能影响较大, 动作时间越慢, 则对调节器性能影响越小。可通过对节流圈进行调整, 来减小对调节器性能的影响。另外, 从等压差与总压差值的变化范围可以看出, 总压差的变化范围较宽, 但等压差值仍基本上保持恒定, 且切换过程较为平稳, 表明该调节器具有良好的稳定性。



(a) 总路与分路的流量



(b) 总压差与等压差值

图 4 油路切换动态过程

Fig.4 Dynamic characteristics of fuel channel switching

4 结论

通过建立燃油调节器仿真模型, 对其设计性能以及动态稳定性能进行了仿真研究, 表明所选取得调节器结构等相关参数是合理, 控制器的 PID 参数基本上合适, 能够满足流量调节的稳定性与控制精度要求, 同时可为调节器的调试试验提供依据。另外, 仿真模型中液动力、摩擦力及粘性摩擦等非线性因素还考虑不充分, 这些参数的取值与实际值可能偏差较大, 对仿真结果会造成一定的影响。调节器的性能最终需通过试验进行验证, 并利用试验结果对燃油调节器的数学模型进行修正, 进一步完善其仿真模型, 为调节器性能的改进设计提供指导, 同时也为控制器 PID 参数的选取与优化研究提供参考。

参考文献:

- [1] 杨锡武, 何保成, 任凤升, 等. 某型弹用冲压发动机巡航段供油振荡的数值仿真[J]. 推进技术, 2006, 27(2): 158-161.
- [2] 尤裕荣, 徐中节, 逯婉若. 基于 Simulink/RTW 的冲压发动机控制系统半实物仿真[J]. 火箭推进, 2008, 34(5): 50-53.
- [3] 肖岱宗. AMESim 仿真技术及其在液压元件设计和性能分析中的应用 [J]. 舰船科学技术, 2007, 29 (增刊 I): 142-144.
- [4] 任新宇, 郭迎清, 姚华廷. 基于 AMESim 的航空发动机防喘调节器性能仿真研究 [J]. 航空动力学报, 2004, 19(4): 572-576.

(编辑: 马 杰)