

液体火箭发动机动态特性仿真分析

挑战

液体火箭发动机是一个包含诸多非稳态过程的、极其复杂的动力学系统，如何对其运行的过程中进行分析是最重要也是最难的一点。目前对液体火箭发动机系统动态特性的分析和研究主要通过实验的方式，存在以下限制：

- 试验耗费大量人力、财力、物力，有较大危险性，工况有限，边界探索困难；
- 数据采集点有限，发动机的起动、关机、调节控制等都涉及到系统动态特性的研究，仅依靠试验无法覆盖发动机工作过程的诸多因素影响；
- 典型动态问题试验研究困难，如水击、充填、故障特性等。

方案

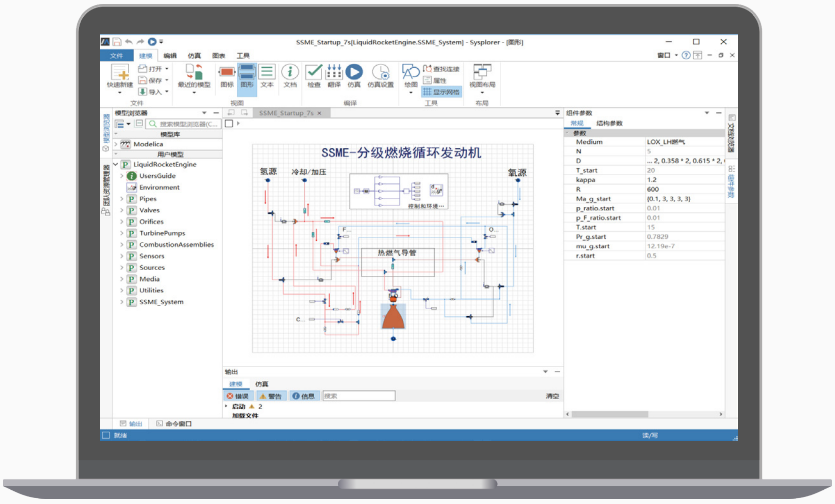
通过对发动机系统动态行为特性的模型化表达，以“模型重用、系统重构”为技术特征，开展基于模型的发动机系统性能数字化仿真分析技术的研究，构建了一套具有很强型号适用性的发动机动态仿真软件和模型库，满足从局部特性(如管道水击、预冷充填等)到全系统特性（启动、变推力等）的仿真分析，可有效的支撑发动机系统动态特性的预示和验证。

价值

- 通过对发动机系统动态特性机理的研究，实现对传统经验、实验数据和理论知识模型化的积累和应用；
- 实现了液体火箭发动机系统关键参数对系统性能影响度的评估，为设计人员对系统参数进行优化改进提供了有效的指导；
- 实现了对液体火箭发动机系统在启动、调节和关机工况下动态特性的分析研究，很好的指导和验证了发动机系统控制时序设计。

成果展示

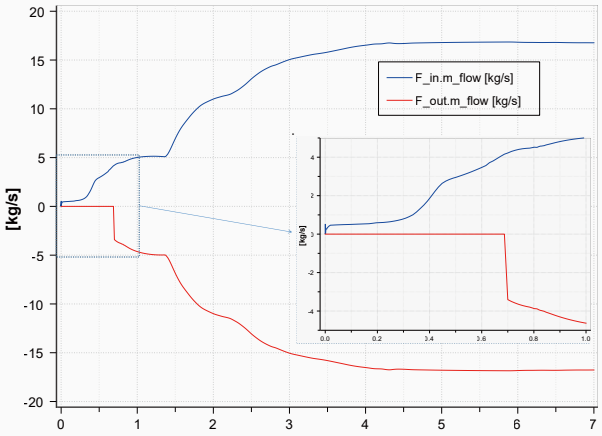
本案例基于Modelica语言，开发了一套种类齐全的液体火箭发动机动态组件模型库，主要包括各类介质模型、涡轮泵模型、容器模型、管道模型、阀门模型、源模型、燃烧室模型等；构建了一套具有很强型号适用性的发动机动态仿真软件，提供快速建模功能，支持用户从模型库中选取所需模型，快速拖拽连接成为一套发动机系统仿真模型，还可实现与其他控制、热等专业模型的耦合建模。



液体火箭发动机动态计算软件和模型库

组件充填特性仿真

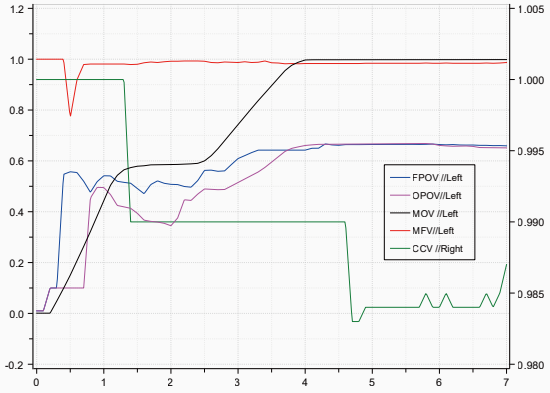
在组件特殊动态特性仿真方面，如下图所示为主燃室头腔充填特性仿真结果，可以看出，头腔充填过程中，流入流量逐渐增大，而流出流量一开始保持为0，待充填进行一段时间后才逐渐增大，直至最终慢慢达到与流入流量相等，整个头腔充填过程持续约1s左右。



主燃室头腔充填特性

发动机启动时序仿真

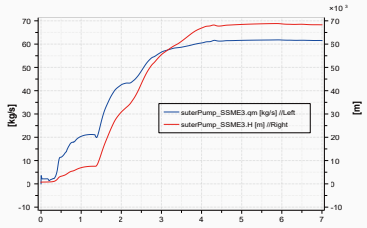
在典型动态特性仿真方面，可针对多种类型的液体火箭发动机的典型非稳态过程进行建模仿真分析，如下图所示为某型号发动机启动过程中阀门开关控制时序仿真结果，通过阀门开度变化来控制各流路的推进剂流量，实现整机启动过程模拟。



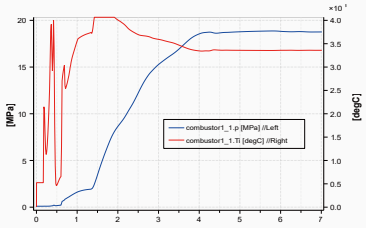
控制阀门开度时序曲线

发动机系统级动态特性仿真应用

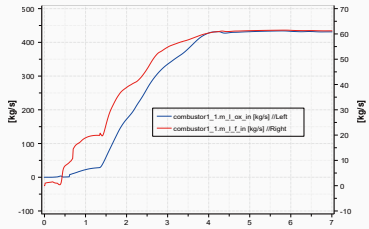
在发动机全系统仿真方面，针对某型号发动机启动工况进行仿真应用，得到了全系统的主燃料泵流量和压头，燃烧室压力、温度和流量，喷管推力和比冲等关键参数的特性曲线，结果显示了软件和模型库针对型号进行动态特性分析应用具有较高的准确性。



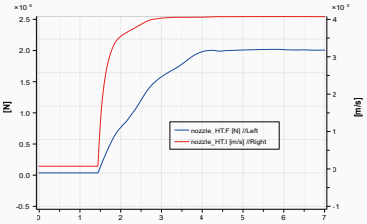
燃料泵-流量和压头



主燃室-压力和温度



主燃室-氧化剂和燃料流量



喷管-推力和比冲

苏州同元软控信息技术有限公司

0512-62720715/18115503283
marketing@tongyuan.cc
苏州工业园区淞北路333号D1幢
www.tongyuan.cc

关注同元软控 精彩内容不错过

关注MWORKS 精彩内容不错过