

基于 LS-DYNA CESE 方法的燃气阀流固热多场耦合分析

秦宇¹ 李建品¹

(1. 北京思诺信科技有限公司)

摘要: 燃气阀是重要的机械动力系统部件。在工作时, 高温高压高速气体由进气口进入燃气阀内部, 经由阀芯结构, 由喷嘴喷出。该过程涉及气体与结构的相互作用、温度在气体-固体间的传递、气体的温度, 压力和体积变化以及由温度变化引起的固体结构变形等过程, 属于流-固-热三相耦合问题。实验研究难以观察燃气阀工作时的内部变化情况, 因此仿真分析成为研究该问题的必要方法。本文基于 LS-DYNA 软件, 使用 CE/SE 方法, 建立了燃气阀的三相耦合仿真模型, 对燃气阀的工作过程进行了仿真分析。结果表明, LS-DYNA CE/SE 方法能够进行多物理场耦合仿真, 捕捉气体与结构的场变量变化和相互作用。

关键字: LS-DYNA CE/SE 燃气阀 多场耦合

一、前言

调压阀是燃气发生器压力调节部件, 其性能直接影响燃气发生器内部压力, 进而影响燃气发生器的工作性能。而燃气阀的工作过程为高温高压高速气体由进气口进入燃气阀内部, 经由阀芯结构, 由喷嘴喷出的国产。该过程涉及气体与结构的相互作用、温度在气体-固体间的传递、气体的温度, 压力和体积变化以及由温度变化引起的固体结构变形等过程, 属于流-固-热三相耦合问题。由于阀门内部流场较复杂, 使得理论和实验研究较困难。因此, 对燃气阀内流场进行数值模拟很有必要。

CE/SE 方法 (Space-time conservation element and solution element method) 是由 NASA lewis 研究中心的 S.C.Chang 提出的一种全新的 CFD 计算方法^[1]。

它从根本上区别于传统的方法: 它将时间和空间统一起来同等对待; 利用守恒型积分方程, 通过定义解元和守恒元使得局部和整体都严格满足守恒律; 在推广到多维问题时, 不需要采用算子分裂或者方向交替技术; 该方法在给出网格点物理量值的同时也一起给出了物理量的偏导数, 同传统的差分格式相比, 在相同的基点下可以大大提高格式精度。CE/SE 方法能以较高的分辨率求解间断流场; 它的另一个优点就是构造比较简单, 除了简单的泰勒展开和散度定理外, 没有采用复杂的数值方法, 尤其是不需要采用其他的特征分析数值方法

CE/SE 方法因其优良特性, 主要应用在高速流动领域, 如航空航天, 化学反应流动等, 同时有研究表明这种方法也适用于稳态不可压缩流体的计算。LS-DYNA 中 CE/SE 方法不仅可以模拟复杂流场, 还提供了与结构(热)耦合的功能, 同时还提供化学反应流动 (*chemistry, 与 Chemkin 结合) 和随机粒子法 (*stochastic) 模拟。

二、模拟分析设置

燃气阀有限元模型如下图所示:

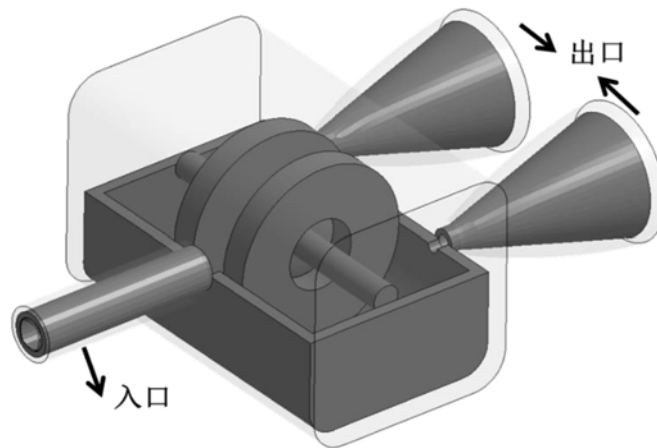


图 1 燃气阀有限元模型

取阀门进气口为压力入口边界。气体入口压力为 5Mpa，温度为 900℃，出口设置为无反射边界条件。气体初始温度为 25℃，密度为 1.225kg/m³。

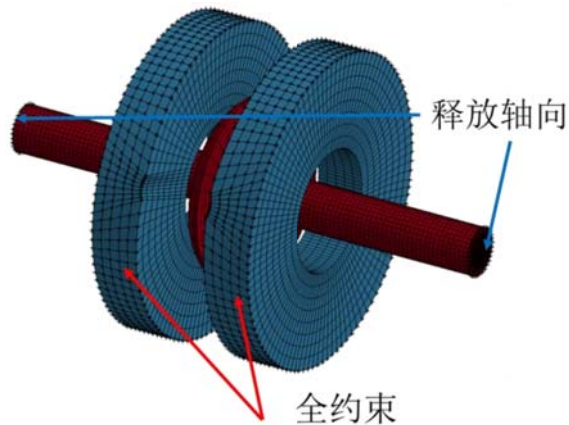


图 2 结构边界条件设置

结构边界设置如上图所示，限位器采用全约束设置，阀芯释放轴向自由度。

三、模拟计算结果

流场温度计算过程如图 3 所示：

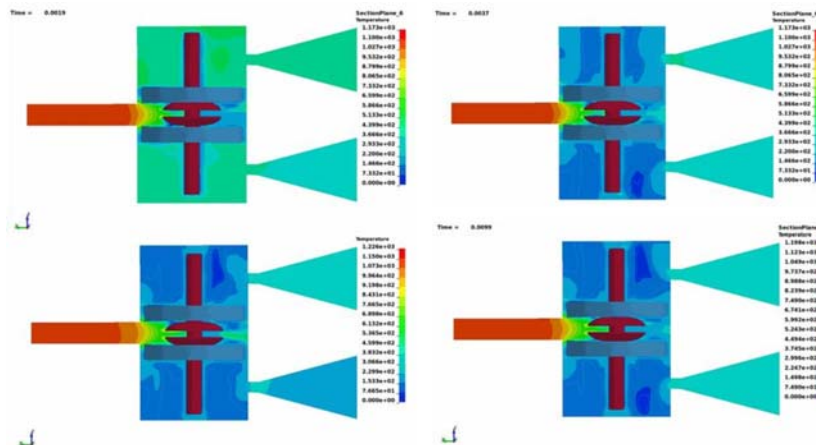


图 3 流场温度分布

结构应力计算结果如图 4 所示：

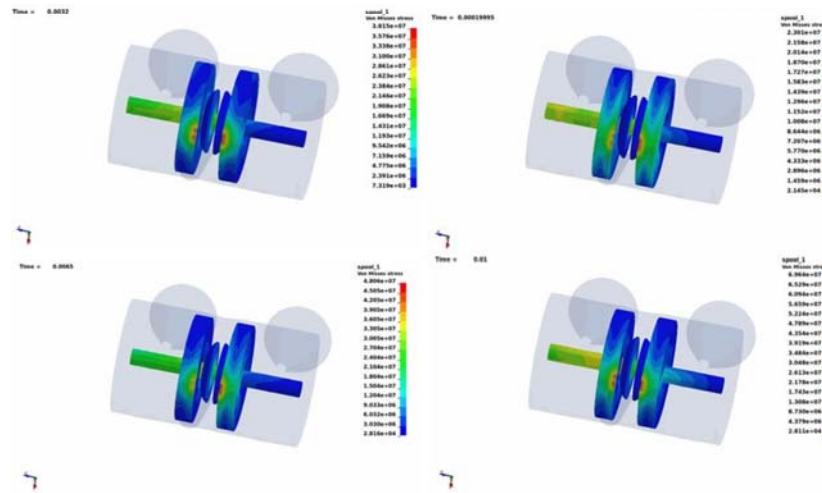


图 4 结构应力分布

结构温度计算结果如图 5 所示:

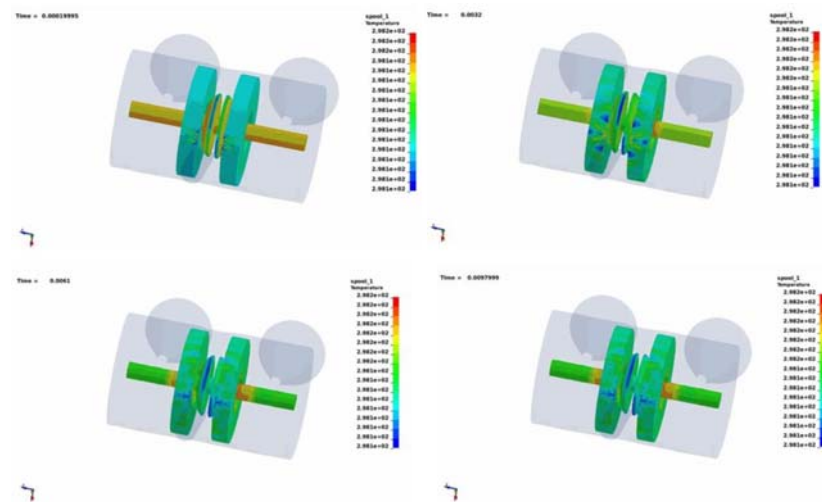


图 5 结构温度分布

四、总结

本文通过 Ls-dyna 采用 CE/SE 方法，建立了燃气阀的三相耦合仿真模型，对燃气阀的工作过程进行了仿真分析。结果表明，LS-DYNA CE/SE 方法能够进行多物理场耦合仿真，捕捉气体与结构的场变量变化和相互作用，从各个角度观察检验燃气阀在高温高压环境下的工作状态。

五、参考文献

[1]刘凯欣, 王景焘, 王刚, 等. 时--空守恒元解元 (CE/SE) 方法综述[J]. 力学进展, 2011, 41(4): 447-461.

Multi-physical Simulation of Oriented Aircraft Gas Valve based on LS-DYNA

Qin Yu¹ Li Jianpin¹

(1. Beijing AutoCAE Technology Co., Ltd)

Abstract: The gas valve is an important part of the machinery power system. During operation, the high temperature, high velocity and high pressure gas enters the inlet, and is ejected from the nozzle through the valve spool structure. The process involves the interaction of gas and structure, the transfer of temperature between gas and solid, the change of temperature and volume of gas, and the deformation of solid structure caused by temperature change and fluid pressure. It belongs to the multi-physical problem of fluid-solid-thermal coupling. It is difficult to observe the internal changes of the gas valve with the experimental study, so the simulation analysis becomes a necessary method to study the problem. Based on LS-DYNA software, this paper establishes a multi-field coupling simulation model of gas valve using CE/SE method, and simulates the working process of gas valve. The results show that the LS-DYNA CE/SE method can perform multi-physics coupling simulation to capture the variation and interaction of gas and structure field variables.

Keyword: LS-DYNA, CE/SE, gas valve, multi-physical coupling