

气液两相爆轰与气相爆轰绕射的对比与分析*

戴旭刚 张德良 王春 姜宗林

(中国科学院力学研究所高温气体动力学重点实验室, 北京 100190)

摘要 气液两相爆轰是目前化学反应流中热点和难点。采用双流体模型以及改进的二维 CE/SE 算法对两相爆轰波的绕射现象进行了初步研究,给出了爆轰波的绕射现象一些数值结果,并对它们进行了初步分析。为了验证和分析这些数值结果,本文还采用有限体积方法计算了单相气相爆轰波绕射现象,并和气液两相爆轰进行了对比。通过分析和比较可以发现,两相爆轰波的斜激波与涡的发展要比气相爆轰波的慢。同时在单相气相爆轰波绕射过程中会产生熄爆现象,激波面与燃烧波出现局部解耦现象。

关键词: 气液两相爆轰/爆轰波/绕射/CE/SE 算法

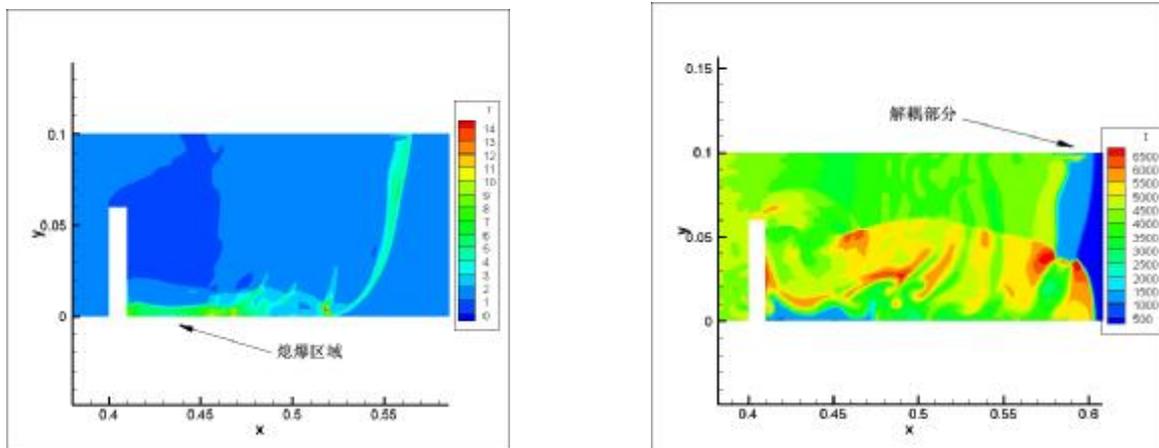
一、引言

爆轰波是一种自持的激波传播形式。通过激波压缩和加热反应气体,发生化学反应,并释放热量,使爆轰现象达到自持。在气液两相爆轰过程中液滴必须经过一系列物理过程变为气相,它包括变形、破碎、剥离、蒸发等。因而气液两相爆轰过程变得更加复杂。双流体模型是将离散的液滴作为连续的流体进行处理,通过液滴与气体的动量质量交换,实现气液两相爆轰。

时一空守恒元解元方法(The Method of Space-Time Conservation Element and Solution Element, CE/SE)是近年来兴起的一种具全新的数值算法。无论从概念上还是从方法论上,都与传统的数值算法有着本质的区别。它把时间与空间完全统一起来同等看待,并从守恒型方程的积分形式出发,通过设立守恒元和解元,使格式局部和全局都严格保证其物理意义上的守恒律。

二、数值结果

本文对单相气体爆轰波和气液两相爆轰波绕过障碍物过程进行数值计算。如图 1 所示,计算结果表明,单相气体爆轰波在通过障碍物后,由于膨胀波的作用,在拐角处产生燃烧面与激波面的解耦,并发生熄爆现象。爆轰波继续传播,前导波阵面也发生激波面与燃烧面解耦的现象,见图 2。图 3 给出了单相气体爆轰波绕障碍物由胞格结构图可以看出在障碍物后方靠近壁面处产生了一个高压区,并产生了向上游传播的斜激波,斜激波与前导激波面相互作用又使火焰面与激波面重新耦合,并迅速发展出胞格,最后爆轰波以平面波形式向前传播。



*国家自然科学基金(批准号 10632090、90916028)资助项目

图1 爆轰波绕射的熄爆区域

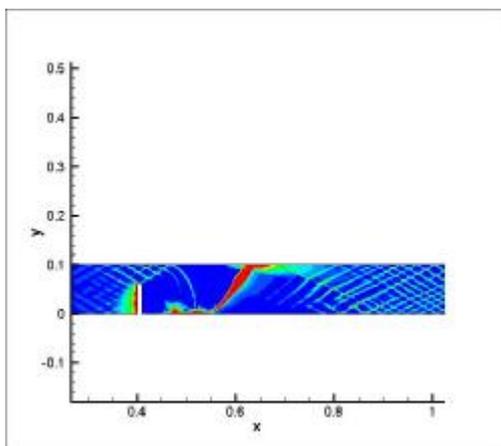


图3 爆轰波绕射过程的胞格结构

图2 激波面与火焰面的部分解耦

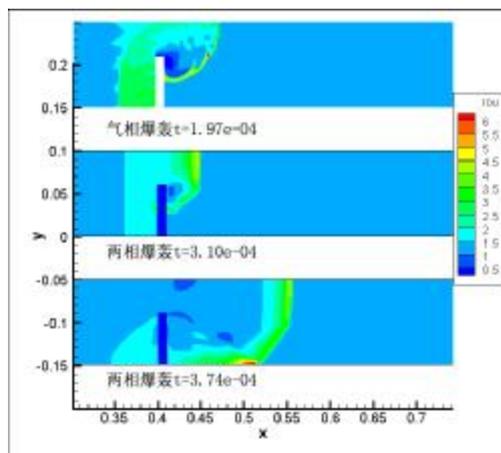


图4 两相爆轰与气相爆轰对比

我们对单相气体爆轰和气液两相爆轰的计算结果进行了比较，如图 4 所示。比较结果表明气液两相爆轰和单相气体爆轰有明显的差别，首先气液两相爆轰波的传播速度明显慢于气相爆轰，爆轰波绕射过程也明显不同；其次气液两相爆轰爆轰波在绕射前所形成的斜激波和绕射后的涡结构和单相气体爆轰也明显不同，单相气体爆轰的斜激波要比气液两相爆轰紧密靠近障碍物的两侧；气液两相爆轰强度明显较弱，涡结构松散；斜激波与涡的形成过程也要比单相气体爆轰滞后。

三、结论

本文通过对气相与气液两相爆轰波的数值模拟得出以下几点结论：（1）气相爆轰波通过后台阶时，由于膨胀波与涡的作用，火焰面与激波面会发生解耦，拐角处会发生熄爆现象；（2）激波面传播到壁面产生高压区，发射的斜激波会使火焰面与激波面重新耦合；（3）由于两相爆轰的液滴燃烧过程需经过蒸发等过程，相比气相爆轰无论前台阶激波与后台阶的涡均滞后出现。

参 考 文 献

- 1 K.Kailasanath. Liquid-Fueled Detonations in Tubes. *Journal of Propulsion and Power*, 2006; 22(6): 1261-1268
- 2 S.C. Chang, X.Y. Wang and C.Y. Chow, The Space-Time Conservation Element and Solution Element Method: A New High-Resolution and Genuinely Multidimensional Paradigm for Solving Conservation Laws, *Journal of Computational Physics*, 156, 89~136, 1999.
- 3 GangWang, Deliang Zhang, Kaixin Liu. An Improved CE/SE Scheme and Its Application to Detonation Propagation [J]. *Chinese Physics Letters*, 2007, 24(12): 3563-3566
- 4 G. Wang, D. L. Zhang, K. X. Liu, J. T. Wang, An Improved CE/SE Scheme for Numerical Simulation of Gaseous and Two-Phase Detonations, *Computers & Fluids*, 39, 168-177, 2010.