

球面聚心爆轰波传播过程的分析

常利娜^{1*} 姜宗林^{2*}¹(北京应用物理与计算数学研究所, 北京 100080)²(中国科学院力学研究所, 北京 10080)

爆轰波是强激波与化学反应耦合在一起的高速燃烧现象, ZND 模型将这一过程描述为 3 个区: 即诱导区, 反应区和膨胀区。在诱导区, 前导激波压缩波前气体至高温高压, 混合气开始诱导反应; 在接下来的反应区, 可燃混合气体诱导反应结束, 化学反应能释放; 燃烧后的高压产物膨胀, 推动前导激波完成自持过程, 并产生一个 Taylor 稀疏波, 以适应边界条件限制。考虑到爆轰波的这一特点, 早期在研究聚心球面爆轰波的运动时, 常常区分其两个特色阶段: 在初始阶段, 前导激波的几何聚心效应的作用不显著, 化学反应释放的能量起主导作用, 聚心爆轰波仍接近平面爆轰波的参数分布。在接近球心阶段, 随着波面半径的减小, 前导激波的聚心效应越来越强, 此时化学反应释放的能量可以忽略不计, 几何域收聚效应起主导作用。这一近似方法在分析聚心爆轰波面参数变化规律时被广泛采用。

采用基元反应模型, 用数值模拟的方法考察了上述近似方法的准确性, 为更精确地描述聚心爆轰波的传播过程提供理论依据。计算格式采用了 Jiang 给出的频散可控耗散格式。该格式能自动捕捉激波而无须再附加人工粘性。模拟 $H_2/O_2/Ar$ 的混合可燃气体的化学反应, 本文采用了包含 9 种组分和 20 个化学反应的基元反应模型; 热力学模型是基于 NASA Glenn 研究中心给出的热力学数据库建立的, 每一组分的定压比热 C_p 看作是温度的多项式函数。

论文首先模拟了聚心爆轰波的传播过程, 分析其气体动力学特性。然后假设球内的氢氧混合气体不发生化学反应, 与相同初始计算条件下, 发生化学反应的计算结果相比较, 分析化学反应热和几何域收聚对聚心爆轰波传播过程的影响。计算结果表明:

- (1) 在球心附近区域, 解离反应由于波阵面的高温而变得活跃, 很大程度上限制了气体温度的进一步升高。但解离反应对压力变化的影响不大。
- (2) 爆轰波在球内传播时, 若关闭化学反应, 爆轰波的前导激波和燃烧产物将发生分离。在分离初期, 与爆轰波原有参数相比, 前导激波面上的压力略有下降, 而温度则下降较多。在球心附近区域, 不考虑化学反应的前导激波诱导的压力和爆轰波诱导的差别不大, 但诱导的温度有成倍的增加。
- (3) 聚心爆轰波运动的初始阶段, 波面上压力和温度变化不大, 近似于平面爆轰波面上的参数值。球心附近区域, 聚心爆轰波面上的高温高压主要是由几何汇聚效应引起的。

关键词 聚心球面爆轰波, 基元反应模型, 频散可控耗散格式