

冲击波物理与爆轰物理国家级重点实验室基金资助项目

关键词: 含铝炸药粉, 微观机理, 光谱技术

S03

CCTAM2009-002961

爆轰波中声速面与反应进程研究

杨向龙*, 杨基明**, 吴国栋†, 黄中伟*

* 深圳大学材料动力学性能实验室, 深圳 518060

huangzw@szu.edu.cn

** 中国科学技术大学近代力学系, 合肥 230027

† 中国工程物理研究院流体物理研究所, 绵阳 621900

以求解可压缩流的 VAS2D 程序为基础, 内嵌 ChemkinII 软件包, 结合详细化学反应机理, 求解带化学反应的欧拉方程, 模拟一维爆轰管中爆轰波的传播过程。研究爆轰波在两种反应介质(初压为 0.3atm, 初温为 300K 的化学当量比 H_2/O_2 , 初压和初温分别为 6670Pa 和 298K 的以 70%Ar 稀释的化学当量比 H_2/O_2) 中传播时相应的冻结声速面, 平衡 CJ 声速面和实际声速面的传播特性。结合爆轰波传播过程中化学组分的变化规律, 对 CJ 模型和 ZND 模型的合理性进行探讨。

在爆轰管端面设置一高温高压区起爆反应介质后, 很快形成爆轰波。爆轰波速和 Von Neumann 尖点压力逐渐趋于稳定。数值模拟的爆轰波速和根据平衡 CJ 模型计算的 CJ 爆速非常接近。通过比较不同时刻的压力分布曲线, 质点速度分布曲线, 化学组分分布曲线后发现: 在前沿冲击波后的确存在一定常区。在爆轰波传播过程中, 该定常区中的物理参数保持不变。

根据 CJ 条件, 定常区的分隔面上质点速度和声速之和等于爆轰波速。如果取冻结声速, 则对应冻结声速面。研究发现, 不同时刻冻结声速面上的各物理量明显不同, 冻结声速面距前沿冲击波的距离比定常区的宽度大得多, 并且, 随着爆轰波的传播, 冻结声速面距前沿冲击波的距离越来越远。

在 CJ 条件中, 如果取平衡声速, 则对应平衡声速面。但是, 从前沿冲击波到膨胀波波尾处, 各化学组分一直处于变化状态。因此, 在膨胀波波尾之前, 化学反应一直处于非平衡状态。因此, 采用平衡声速是不妥当的。我们取根据平衡 CJ 理论计算的平衡声速作为 CJ 条件中的声速, 由此得到一称之为平衡 CJ 声速面的分隔面。研究发现: 平衡 CJ 声速面上的各物理量与根据平衡 CJ 理论计算的各物理量非常接近。但是, 平衡 CJ 声速面距前沿冲击波的距离也是随爆轰波的传播逐渐增加的。

ZND 模型中关于爆轰波阵面是一定常区, 外部的扰动无法传播到该定常区内这一假设具有一定的合理性。但是, ZND 模型认为该定常区的末端面是平衡 CJ 面, 即在该面上化学反应达到平衡, 质点速度和平衡声速之和等于爆轰波速。从这一点上看, 该模型有不合理之处。首先, 在前沿冲击波和膨胀波波尾之前, 化学反应一直在以有限速率进行, 并不存在一个化学平衡的面, 因此使用平衡声速的概念并不准确; 其次, 我们模拟得到的定常区的宽度比以平衡 CJ 声速面确定的爆轰波阵面宽度要小,

并且以平衡 CJ 声速面确定的爆轰波阵面宽度是随爆轰波传播而变化的。

因此, 爆轰波定常区的分隔面应该用化学非平衡流中的实际声速来确定。实际声速不同于冻结声速和平衡声速。如何确定非平衡流动中的声速, 还需要作进一步的研究。深圳大学青年科学基金资助项目(200806)

关键词: 爆轰, 声速面, 化学反应

S03

CCTAM2009-002962

旋转爆轰三维流动方式的数值研究

范宝春, 张旭东, 董刚

南京理工大学瞬态物理实验室, 南京 210094

bcfan@mail.njust.edu.cn

对当量比为 1 的氢气-空气预混气中, 旋转爆轰波的三维结构进行了数值计算。基于考虑化学反应的 Navier-Stokes 方程, 采用 9 种组分和 19 个化学反应的详细化学反应机理。计算在贴体坐标中进行, 采用分裂格式求解。对流项采用二阶精度的波传播算法; 化学反应项采用 Gear 格式; 时间项采用半隐的二阶 Runge-Kutta 法。为了验证计算结果的可靠性, 可根据流场的技术结果绘制旋转爆轰的计算扫描图。实验结果与计算结果所表现的特征基本一致。根据计算结果还可以得到旋转爆轰流场的各种图像。这些根据计算结果绘制的图像基本揭示了旋转爆轰的流场和爆轰波结构。国家自然科学基金资助项目(10872096)

关键词: 旋转爆轰, 计算扫描图, 三维数值模拟

S03

CCTAM2009-002963

准爆轰波传播机理探讨

刘云峰, 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, yfliu.lhd@gmail.com

对准爆轰波的传播机理进行了探索性研究。首先, 通过理论分析证明准爆轰波的化学反应放热量大于系统所允许的最大吸热量, 处于热壅塞状态。发生热壅塞时, 系统将进行自我调整到一个新的准稳态过程, 使得正激波后的流动变为亚声速, 提高了系统的最大吸热量, 从而达到了系统吸热量与化学反应放热量之间新的平衡状态, 并伴随着一定的动能消耗。其次, 在理论分析的基础上, 考虑了这一状态调整过程中的能量消耗, 并进一步假设这部份能量同当地的动能成正比, 给出了能量消耗函数, 提出了新的物理模型。然后, 应用新的物理模型和控制方程, 对准爆轰波进行了一维数值模拟, 首次得到了准爆轰的数值解。一维数值解给出了 CJ 爆轰波到准爆轰波的“突发”性转换过程, 得到了准爆轰波面的双间断结构。数值模拟获得的准爆轰波的传播速度, 压力, 温度, 密度, 速度, 声速等物理参数特性都同实验研究结果定性或定量地吻合。研究表明, 所提出的物理模型是正确的。国家自然科学基金资助项目(10632090)

关键词: CJ 爆轰波, 准爆轰波, 热壅塞, 理论分析, 数值模拟