

三维非定常激波双楔面反射的数值研究

杨旸 滕宏辉 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 本文采用有限体积方法, 在非结构自适应网格上求解三维 Euler 方程, 数值研究了三维非定常激波在双楔面上的反射现象。结果显示, 三维激波在双楔面上也会反射形成三维马赫反射和规则反射; 此外, 还会形成一种非典型的三维准马赫反射。由于三维影响, 通过二维激波反射理论预测的三维马赫反射区域存在一定的误差, 该误差在文中得到了修正。

关键词 非定常激波 双楔面 三维马赫反射 数值模拟

一、引言

三维非定常激波在双楔面上的反射问题如图 1 所示。对于一定的马赫数和楔面倾角组合, 激波在双楔面上反射会形成一种向前突起的三维马赫干。Meguro^[1]利用二维激波理论给出了三维马赫干的形成条件。本文利用非结构自适应网格高效配置了计算资源, 研究并描述了几种不同的三维马赫干及激波反射结构, 提出了一种新的激波三维结构: 三维准马赫干, 阐述了通过二维理论预测三维反射区域的误差并加以修正。

二、数值结果

对于入射激波在各楔面上形成马赫-马赫反射的情况, 如图 2 所示, 激波在双楔面相交处附近反射形成向前突起的三维结构, 即三维马赫干。在三维马赫干后, 入射激波反射形成了第二道反射激波。对于激波在各楔面上形成马赫-规则反射的某些情况, 虽然利用二维激波反射理论预测会形成三维马赫干, 然而由于三维效应的影响, 实际形成的并不是典型的三维马赫干, 如图 3。图 2 中构成三维马赫干的马赫干 C 在图 3 中已经消失。这种非典型的三维突起结构称之为三维准马赫干。对于激波在各楔面上形成规则-规则反射的情况, 没有三维马赫干出现。图 4 是通过数值验证的三维马赫干和三维准马赫干在入射激波马赫数 3.0 下的存在区域。

三、结论

本文通过数值模拟得出以下几点结论: (1)对于不同的倾角及马赫数组合, 激波三维

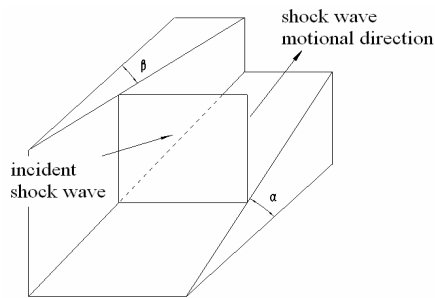


图1 非定常激波双楔面反射

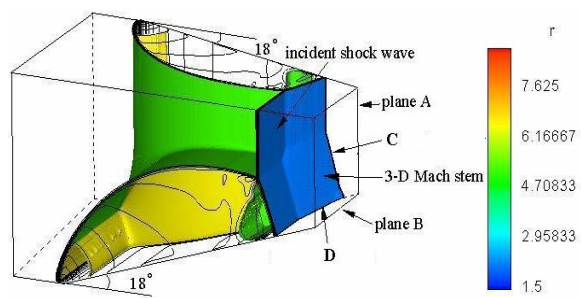


图2 非定常激波双楔面反射结构: $\alpha = \beta = 18^\circ, Ms = 3.0$

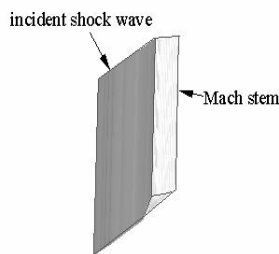


图3 $\alpha = 55^\circ, \beta = 45^\circ, Ms = 3.0$ 激波双楔面反射形成的三维准马赫干

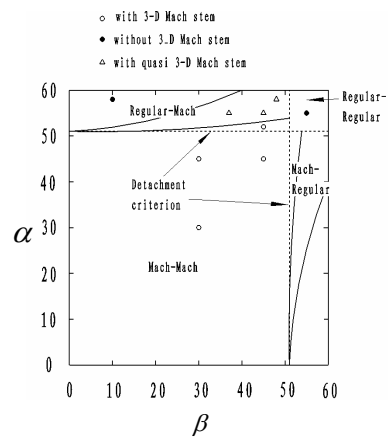


图4 $Ms=3.0$ 三维马赫干的存在区域

反射可能形成几种不同的三维马赫干构造; (2)非定常激波除了在各楔面上反射形成一道二维反射激波外, 在双楔面相交处附近反射形成了第二道反射激波, 形成一种四波或三波反射结构; (3)激波在各楔面上分别形成马赫-规则反射的某些倾角组合区域内, 虽然通过二维激波反射理论分析预示三维空间内应该形成三维马赫干, 但实际形成的并不是典型的三维马赫干, 而是另一种类似三维马赫干的三维突起结构, 称之为三维准马赫干。

参 考 文 献

- 1 T.Meguro, K.Takayama, O.Onodera. Three-dimensional shock wave reflection over a corner of two intersecting wedges. Shock Wave, 1997(7):107-121.
- 2 Gabi Ben-Dor. Shock Wave Reflection phenomena. New York: Int. Springer-Verlag. 1992:38~170
- 3 Z.Jiang, C.Wang, Y.Miura, K.Takayama. Three-dimensional propagation of the transmitted shock wave in a square cross-sectional chamber. Shock Wave, 2003(13):103-111.