

CSTAM2012-D01-0061

玻尔兹曼方程BGK模型的有效性分析

孙泉华¹⁾, 高巍, 樊菁

(中国科学院力学研究所高温气体动力学国家重点实验室, 北京 100190)

摘要: 玻尔兹曼 (Boltzmann) 方程描述分子运动的速度分布函数随时间和空间的演化, 通常被认为是分析流体运动的微观控制方程。玻尔兹曼方程在形式上是一个七维的微分积分方程, 而求解该方程的最大挑战是碰撞项难以精确求解。在实际应用中, 玻尔兹曼方程往往作简化处理, 目前最常用的简化模型是BGK模型。在BGK模型中, 碰撞项由一个速度分布函数向平衡分布的松弛过程来描述, 大大降低了原始玻尔兹曼的求解难度。然而, BGK模型的近似程度或者说有效性还没有明确的定论。大部分的研究和应用表明, BGK方程在普朗特数修正后完全可以描述连续流, 而且对自由分子流在理论上也严格成立, 但是在稀薄流动区域存在偏差。然而, 最近徐昆等人的工作表明, BGK方程只要求解得当, 可以在低速流动模拟时得到较为精确的物理解。那么, BGK模型到底在什么情况下是合理的, 碰撞项的近似误差又是如何, 这些最基本的问题在文献中还没有回答。本项工作拟采用数值模拟结合理论分析的手段, 分析玻尔兹曼方程中的碰撞项随时间的松弛过程, 通过比较直接模拟Monte Carlo方法的计算结果和BGK方程的精确解, 讨论BGK模型的有效性。初步的研究表明, BGK模型对于不含强间断的流动, 能够较好地模拟速度分布函数的松弛过程, 但对强非平衡流动, 得到的速度分布函数的形状也会有明显差异。

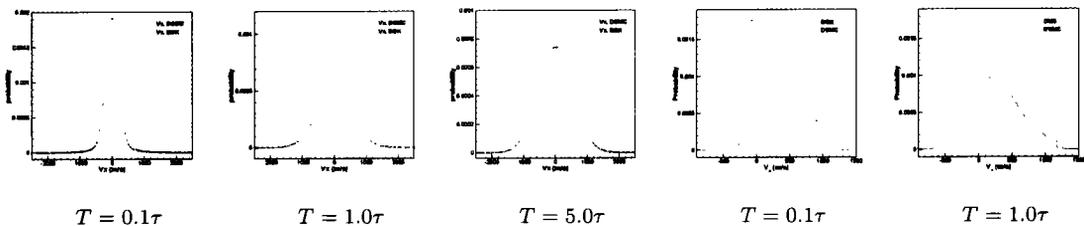


图1 空间方向温度不同时速度分布函数的松弛

图2 半均匀分布组合的速度分布函数的松弛

1) Email: qsun@imech.ac.cn