非结构网格上双曲守恒律计算的一些尝试

徐凯文

摘要

非结构网格上的流场算法是进行复杂区域流场模拟的有效手段. 随着工程应用中的计算问题越来越复杂, 非结构网格处理复杂几何区域的灵活性以及易于自适应计算的优势逐渐凸显出来. 但是非结构网格的几何随机性给流场算法的设计带来很大的困难. 如何构造紧致的非结构网格高精度高分辨率格式是当前计算流体力学研究中的一个重要课题. 本文尝试对现有的非结构网格有限体积法的 MUSCL 型重构策略进行改进, 并将其应用到间断有限元法中. 主要完成了以下工作：

(1) 发展了一种针对 MLP (Multi-dimensional Limiting Process) 限制器的优化实施策略. MLP 限制器的优点是能够完全抑制数值震荡并且数值耗散较小. 但是由于限制过程涉及到所有与本单元共享顶点的邻居单元, 它散失了传统的 MUSCL 重构策略只涉及到面邻居单元那样的紧致性. 为避免在限制本单元时访问过多的邻居单元, 我们提出了一种优化的实现策略. 它预先将单元平均值的最大最小值信息归集到与顶点相对应的数据结构中. 在限制过程计算中只需访问本单元的顶点就可以获取所需的信息, 从而避免对过多邻居单元的直接访问.

(2) 在二维三角形非结构网格的有限体积法和 P^1 间断有限元法中实现了 MLP 限制器及上述优化的实施策略. 通过典型的数值算例（线性对流问题、旋转对流问题）, 对算法与程序进行了验证. 对比研究表明 MLP 限制器比传统的 MUSCL 重构策略可获得更好的数值结果.

(3) 对三维欧拉方程四面体非结构网格并行自适应有限体积法程序（libfvphg）进行了改进. 利用开源网格生成工具 GMSH 为程序提供了非结构四面体网格输入接口. 初步实现了传统的 MUSCL 重构策

略. 在多达 1024 个进程的规模上对程序的并行可扩展性和计算效率进行了测试, 并计算了几个典型的算例.

关键词: 双曲守恒律, 有限体积法, 间断有限元法, MUSCL 重构, MLP 限制器