

气泡堆积法生成局部加密非结构化网格

武利龙, 陈斌

(西安交通大学动力工程多相流国家重点实验室, 710049, 西安)

摘要: 对生成非结构化网格的气泡堆积法(BPM)进行改进,提出了一种生成局部加密非结构化网格的算法.该算法通过向多边形顶点添加任意大小气泡以及在内部设置点源,并利用反距离加权平均法传递节点信息,简单地实现了局部加密/稀疏网格的生成.同时,还提出了气泡数量的控制方法,可对过于稠密或者疏松的气泡群进行气泡的删除和添加,使所有的气泡更好地与计算区域相匹配,消除了不规则三角形网格的生成,提高了生成网格的质量.用改进的 BPM 算法对矩形区域生成了边界加密、中心稀疏的非结构化网格,在雷诺数为 1 000 的工况下对方腔顶盖驱动流进行了数值模拟,与基准解对比非常吻合,证明生成的网格质量较好.

关键词: 气泡堆积法;非结构化网格;局部加密

中图分类号: O351.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2009)09-0019-04

Local Refinement of Unstructured Grid by Bubble Packing Method

WU Lilong, CHEN Bin

(State Key Laboratory of Multiphase Flow in Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: A local refinement method of unstructured grid generated by bubble packing method (BPM) is proposed. In the present method, different size bubbles are added to the real and artificial vertices of the domain and bubble information of these vertices is transferred to the inner nodes of the domain by the Shepard interpolation method. Moreover, a

个特定的节点间距函数,通常对于复杂的区域定义这样的函数比较困难,如果对于不同的区域定义不同的函数势必降低算法的通用性.本文在前期工作^[8]的基础上对BPM算法进行改进,以期发展简单方便且具有较高通用性的局部加密非结构化网格生成算法,同时进一步提高数值计算的精度.

1 BPM算法的基本原理

BPM方法不同于其他非结构化网格生成算法,其主要思想可以简要概括为3步^[8]:①向给定区域内添加具有虚拟质量的气泡,使其紧密堆积以填满整个计算区域;②引入气泡之间的相互作用力得到各气泡的运动控制方程,通过求解该方程模拟系统受力平衡过程来调整各气泡的位置,进而获得最佳的添加节点位置;③通过Delaunay三角形化方法联接这些气泡的中心,生成非结构化三角形网格.

BPM算法的显著特点是引入了动态的虚拟气泡系统,通过给每个虚拟的气泡定义质量和相互作用力,由牛顿第二运动定律可以得到每个气泡的运动控制方程^[8]

$$m_i \frac{d^2 \mathbf{x}_i(t)}{dt^2} + c_i \frac{d \mathbf{x}_i(t)}{dt} = \mathbf{f}_i(t) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

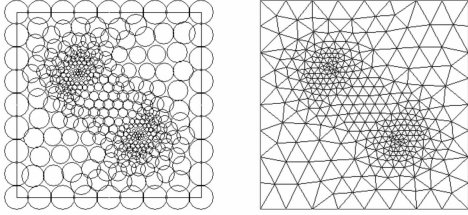
式中: m_i 为第*i*个气泡的质量; c_i 为阻尼系数; $\mathbf{x}_i$ 是坐标位置矢量; $\mathbf{f}_i$ 是所有与其相邻的气泡对该气泡的合力; n 是气泡的总个数.对方程(1)进行数值求解,反复迭代,直至系统达到受力平衡,可实现调整节点位置、优化网格的目的.为简单起见,本文仅讨论二维多边形区域.

2 局部加密的BPM算法

在添加气泡的过程中,需要指定各个气泡的半径,为便于控制整个区域或者局部区域的网格密度,不同于Shimada^[3-4]提出的定义整个计算区域上的节点间距函数,本文算法先由用户根据网格密度要求指定多边形顶点处气泡的初始半径,进而再根据顶点气泡的半径自动

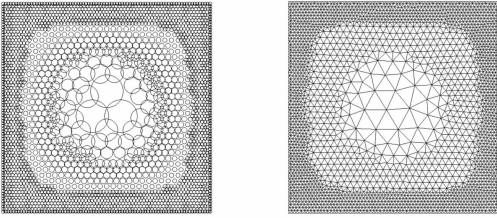
2.2 区域内部局部加密或稀疏

对于计算区域内指定位置的局部加密或稀疏,可通过向该位置人工添加新顶点的方法实现.该顶点气泡的半径可根据加密或稀疏程度的需要分别对边界顶点气泡的半径按比例缩小或放大,边界及区域内气泡的半径仍分别根据式(2)、(3)计算得到.图3、4分别示出了矩形区域内生成的局部加密网格和局部稀疏网格,可见本算法可以很好地实现区域内部的局部加密或稀疏.



(a) 气泡群 (b) 生成的局部加密网格

图3 矩形区域内部局部加密网格



(a) 气泡群 (b) 生成的局部稀疏网格

图4 矩形区域内部局部稀疏网格

2.3 气泡数量的控制

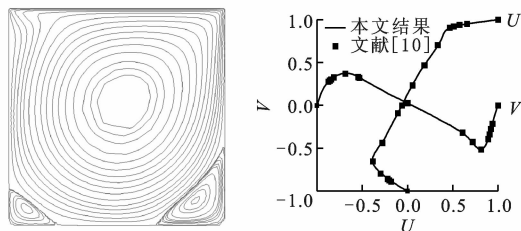
为了保证通用性,本算法中计算区域以及气泡初始半径可以任意设置,因此在边和面的初始化过程中难免会产生气泡之间相互重叠或者有较大间隙的情形.重叠与间隙的存在必然会导致产生质量较差的网格,因此如何有效地控制气泡的数量,删除过于重叠的气泡或者向间隙处添加合适大小的气泡,尽量使各个气泡彼此之间相切、减小重叠或分离的程度,对于提高网格的质量非常关键.

2.3.1 边上气泡数量的控制 为了实现边上气泡数量的

(图 6c 中虚线),其位置由该间隙周边气泡的中心位置插值确定,半径同样通过加权平均计算得到,尽可能使添加的新气泡与周边气泡最大程度地相切;接着通过气泡的受力动态调整各气泡的位置.重复上述过程,直至系统达到受力平衡且整个区域被紧密堆积的气泡完全覆盖为止.

3 数值算例

为了考察本文 BPM 算法所生成非结构化网格的质量,我们采用了如图 4 所示的边界加密、中心稀疏的非结构化网格(网格单元数为 4 872).在 $Re=1\ 000$ 的条件下对方腔顶盖驱动流进行了数值模拟,得到的流线示于图 7a.将网格计算得到的垂直与水平中心线上水平、垂直方向的速度分量 U 、 V 分别与 Ghia^[10]得到的基准解进行对比,发现 BPM 生成的局部加密网格得到的结果与其非常吻合,如图 7b 所示.



(a) 流线 (b) 中心线上的速度分布

图 7 方腔顶盖驱动流的模拟结果($Re=1\ 000$)

4 结 论

本文对多边形区域的 BPM 算法进行了改进,提出了一种能简单有效地实现局部加密的高效非结构化网格算法.区域中各顶点气泡的半径可根据网格密度的需要任意设定,通过对顶点气泡的半径进行加权平均,可将顶点气泡的信息引入区域内部.向区域内特定位置添加人工顶点并缩小或放大该气泡的半径,可以方便地实现