

用于边界面法的含有细小管道三维实体的混合网格生成方法

黄橙*, 张见明

湖南大学 汽车车身先进设计与制造国家重点实验室, 长沙 410082

Email: huangcheng@hnu.edu.cn

摘要

在使用各种数值方法的过程中, 首先都需要对问题域进行离散。离散所得到的网格的质量对分析结果的精度有很大的影响。目前, 大部分的网格生成方法得到的都是有限元网格。有限元网格要求在求解区域内生成的网格拓扑有效并且几何有效。在二维情况下, 可以离散成三角形或四边形网格, 在三维情况下, 可以离散成四面体、五面体或六面体网格。在三维情况下, 四面体网格具有良好的几何适应性, 能够适用于表征复杂的几何形状。而六面体网格则具有更好的计算精度。为了得到较高的计算效率及保证数值模拟的准确性, 经常要采用混合网格。

在边界面法^[1, 2]中, 为了插值得到并且显示域内任意一点的结果, 我们需要对求解域进行离散得到三维网格。以前我们离散得到的是传统的有限元网格。当求解域含有细小特征时, 如含有相当多的细小管道, 网格的离散就变得十分耗时, 而且生成的单元数目也很大。在边界面法中, 我们仅仅是用三维网格来插值得到域内点的结果, 并不要求网格要保证连续并且拓扑一致。

针对含有细小管道的三维实体, 在有限元四面体网格生成方法^[3-6]的基础上, 我们提出了一种适用于边界面法的混合网格生成方法。首先我们将管道近似为硬线, 管道与外表面相交得到的圆孔近似为硬点。然后利用推进波前法生成二维含有硬点的三角形网格。在含有硬点的三角形网格的基础上, 我们采用 Delaunay 与 AFM 相结合的方法^[3]来生成含有硬线的四面体网格。在含有硬线的四面体网格的基础上, 我们再进行圆柱面的恢复, 从而得到最终的混合网格。

首先, 将表面的圆孔近似为硬点, 利用推进波前法生成含有硬点的三角形网格。然后, Delaunay 与 AFM 相结合的方法来生成含有硬线的四面体网格。首先, 我们生成一个完全包含求解域的立方体盒子, 作为凸域。并且将这个立方体离散成五个四面体。利用 Delaunay 内核插入所有的边界点。然后再进行边界恢复, 这样就可以得到初始网格剖分。我们将初始网格剖分作为背景网格, 来得到域内任意点的网格尺寸。然后将硬线离散成硬线段。设硬线段端点处的网格尺寸为 h , 则硬线段的长度约等于 $0.9h$ 。将硬线离散完之后, 就会得到硬线段上的硬点。这些硬点将会先使用 Delaunay 内核插入到当前的网格剖分当中去。在这些硬点完全插入之后, 我们采用 Delaunay 与 AFM 相结合的方法, 来生成并插入域内点。该方法利用推进波前法来生成域内点, 利用 Delaunay 内核插入域内点。这样就既能具有推进波前法的能够生成高质量网格的优点, 又具有 Delaunay 方法高效率并且保证收敛的优点。该方法的过程如下。在完成对域的初始 Delaunay 四面体剖分后, 将 $R > size$ 的三角形设为非活动前沿, 将 $R < size$ 的三角形设为活动前沿。其中, R 为三角形的外接圆半径, $size$ 为三角形中点处的网格尺寸。对于每一个活动前沿, 由推进波前法分别在面的两侧得到的两个理想点。然后对得到的理想点进行筛选, 当理想点到其他的网格点的距离大于 $0.8size$ 时, 利用 Delaunay 内核插入该点。在插入一个新点后, 我们可以得到一些新的三角形面。我们将这些新三角形中那些同时属于两个新四面体的三角形作为新的前沿。然后对这些前沿进行筛选得到活动前沿。首先, 我们将二维网格剖分得到的三角形全部作为活动前沿。然后利用其得到域内点, 并将合适的点利用 Delaunay 内核插入。所有点插入之后, 我们将得到的前沿进行筛选, 得到活动前沿。再利用活动前沿生成新的域内点。

循环直到得到的活动前沿为空。然后对边界进行恢复，就完成了对求解域的四面体网格划分。在完成含有硬线的四面体网格剖分之后，我们就要对管道面进行恢复。在恢复管道面之前，先要检查硬线段是否存在。如果不存在，就要对硬线段进行恢复。对于包含有硬点或者硬线的四面体，我们采用特殊的方法对其进行分解，由此恢复出管道面。通过求得边与圆柱面的交点，然后去掉圆柱内的部分，四面体就处理成为了一个类似三棱柱的五面体。一个四面体可能有多个点为硬点或者硬线，因而得到的五面体仍然可能要被继续分解。在处理完一个四面体或者五面体之后，需要更新拓扑关系，删除当前处理的单元，加入新生成的单元。对于五面体的分解，也分为两种情况，一种含有硬点，一种含有硬线。对于含有硬线段的情况，根据硬线段是三角形面的一条边还是棱柱的一条直边，也有两种不同的处理方式。处理完成后，我们会得到一个包含四面体，三棱柱五面体和六面体的混合网格。得到的五面体和六面体采用二次单元，因而能够精确地模拟圆柱面。利用该方法对含有许多细小管道的实体进行网格剖分，结果表明该方法可行，而且相对于传统的有限元四面体网格生成方法，具有更高的效率。生成的单元数目也远小于使用传统方法生成的单元数量，这样可以极大地减少后处理的所需的时间和数据。图 1 是一个含有 7 根细小管道的块体，是水坝浇筑过程中的一层。离散后一共生成了 18209 个四面体单元和 5018 个五面体单元。

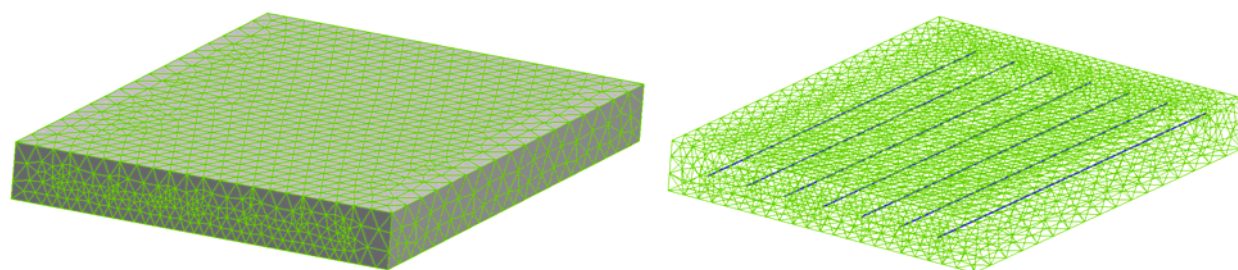


图1 含有细小管道的三维实体的混合网格

参考文献

1. Jianming Zhang, Xianyun Qin, Xu han and Guangyao Li. A boundary face method for potential problems in three dimensions. *Int. J. Numer. Meth. Engrg.* 2009.80(3):320-337.
2. Xianyun Qin, Jianming Zhang, Guangyao Li, Xiaomin Sheng, Qiao Song and Donghui Mu. An element implementation of the boundary face method for 3D potential problems, *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 2010,34:934-943.
3. Pascal J. Frey, Houman Borouchaki, Paul-Louis George. 3D delaunay mesh generation coupled with an advancing front approach. *Comput. Meth. Appl. Mech. Engrg.* 1998. 157 :115-131.
4. S. Rebay. Efficient Unstructured Mesh Generation by Means of Delaunay Triangulation and Bowyer-Watson Algorithm. *Journal of Computational Physics.* 1993.106(1):125-138.
5. J.D. Muller, P.L. Roe and H.Deconinck. A frontal approach for node generation in Delaunay triangulations. *Int. J. Numer. Meth. Fl.* 1993.17(3):241-255.
6. Jan Frykestiong. Advancing front mesh generation technique with application to the finite element method. Department of Structural Mechanics of Chalmers University of Technology, 1994, 10.