

多介质问题分析的前处理程序 PreGenGrid^{*}

王瑞利, 林 忠, 闫 伟

(北京应用物理与计算数学研究所,北京 100094)

摘要: 概述了多介质问题数值模拟前处理程序 PreGenGrid 的主要功能,着重介绍了该前处理程序网格自动生成功能和多介质问题多块网格生成后的无缝拼接技术,给出了多介质问题网格实例,验证了前处理程序 PreGenGrid 的特点. PreGenGrid 是科学计算和复杂工程技术人员进行数值模拟的理想工具.

关键词: 多介质问题; 网格生成; 多块无缝拼接技术; 前处理程序; PreGenGrid

中图分类号: TP391.72 **文献标志码:** A

DOI: 10.3879/j.issn.1000-0887.2013.05.012

引 言

在涉及国家重大经济利益和国防实力的科学与工程领域,许多实际工程问题都是多物理耦合的问题,如高速流体力学运动与高温辐射过程耦合的辐射流体力学问题,辐射流体力学与中子输运、核反应耦合的核反应辐射流体力学问题,描述这些多物理过程的数学模型往往是高度非线性、强刚性的偏微分方程组,根本就无法得到精确解,利用计算机进行数值分析是主要的研究手段之一.过去基于试验/实验(experiment/test-based)研究的问题,现在由于环境限制,如全面禁止核试验条约(comprehensive test ban treaty,CTBT),必须基于科学模拟(simulation-based),要用数值模拟回答过去反复实验的工程问题,要通过数值模拟对系统的可靠性、安全性和性能等挑战性问题开展研究.数值模拟不再仅仅是为了配合实验,而是给了数值模拟更新的内涵,它同理论、实验相提并论,成为科学与工程研究的第3种手段,据此必须发展高可信度强预测能力的科学计算程序.

科学计算程序研制一般包含3方面的内容:前处理、主体计算和后处理.对于主体计算中的离散格式已引起大家的高度重视,但对科学计算前处理和后处理往往被一些学者或程序开发者忽视.实际上,针对大型复杂工程应用程序的研制,前处理程序包含着整个程序研制的内容,决定着应用程序的整个架构.在有限元方面,国内外研制了一些前处理程序^[1-2]及多块网格拼接技术^[2-4],但在多介质问题计算领域,相关研究较少.在复杂工程多介质问题的计算区域中,生成网格最重要的特点是要保持物质的界面.为了保持物质界面,常按不同物质区采用分

* 收稿日期: 2013-01-23; 修订日期: 2013-04-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(11072039); 中国工程物理研究院科学基金资助项目(2011B0202043)

作者简介: 王瑞利(1964—),男,陕西富平人,研究员(通讯作者. E-mail: wang_ruilii@iapcm.ac.cn).

块(区)生成网格技术,然后将两块网格按共享边拼接起来,最终集成整个计算区域的网格。分块(区)生成网格技术的优点^[5-16]:1)能够清楚地保持物质区的界面,更适合于工程实际情况,易于施加初边值条件。包括物理属性、计算属性和计算初边值条件。2)能够在不同区生成更合理的网格,大大降低生成网格的难度,可以控制网格的密度和网格的方向。3)各块(区)可以用不同离散方法进行计算,具有较大的灵活性。但多块网格生成技术在不同块(区)独立生成网格后,块与块网格的智能化无缝拼接一直以来是多介质问题数值模拟的一个难点。

1 多介质问题分析的前处理程序 PreGenGrid

应用程序前处理首先是应用程序数据准备的一个过程。包括几何模型信息、结构创建方法和空间离散的网格划分方法,计算物质的物理属性建立及与应用程序的接口。目前科学计算软件的前处理有人机界面交互式和数据分布描述式两种方式。人机界面交互式要研制一个界面友好,易用易学的用户界面,这是当前和未来科学计算程序前处理研制发展的重要方向。数据分布描述式是目前大部分科学计算程序采用的方式,这种方式主要是通过建立复杂结构描述的数据抽象接口及程序实施的数据结构,最终用户应用时主要体现在一个初始输入数据(或者初始模型分布)上。对一个多介质问题,要求前处理程序(初始分布)具有通用性和朴实性,能处理各种复杂结构的描述。

PreGenGrid是在多年科研积累的基础上,基于非结构任意多边形网格研发的多介质问题分析的前处理程序。可生成结构四边形、非结构三角形、非结构四边形和非结构六边形单元,并可智能化无缝拼接多块网格体系,交界面可智能化建立多介质界面滑移计算的功能。可与复杂工程分析应用程序接口,也可以采用通用文本格式接口。PreGenGrid采用FORTRAN90模块化设计思想研制,扩展性强,可在DOS/Windows及大型机UNIXS上使用。

2 多介质问题几何描述

复杂区域到底怎样描述,这是网格生成与自适应最基本的内容。几何描述就是针对任何计算区域,用什么方式输入到计算机程序中。一般将一个复杂计算区域按物质分成若干子区域,每个子区域也可以分成若干块,每一个块也可以分成若干子块,一个子块由若干条边围成,一条边由若干曲线段连成。所以科学计算程序前处理主要输入计算模型的几何及计算条件,包括模型代号、区数、块数、段数、(关键结构)点数及这些内容相关的计算属性。

模型:名字,区数,块数,总网格数,总节点数,物理属性,计算属性;

区:物质区号,物质属性,块数;

块:块号,结构属性,边数,每边段数,每边每段段号,物理属性,计算属性;

段:段号,端点,曲线方程及系数,界面属性;

点:点号,邻域块号,邻域线号;

网格:网格号,邻域表,几何属性,物理属性,计算属性;

节点:节点号,邻域表,几何属性,物理属性,计算属性。

2.1 区域定义

描述几何区域,首先对区域、块、边、线段、关键点都进行一维编号,然后建立它们之间的关

系. 区域定义是将一个复杂的物理模型求解区域(domain)分成若干个不同的子区域(region), 每个子区域中只包含一种物质. 如图 1 是一个侵彻问题的计算模型, 它由两种介质组成, 将求解区域(domain)分成 2 个子区域(region), 即计算模型由两个计算子区域组成.

2.2 块定义

定义了子区域后, 可以根据每个子区域的几何形状, 为了得到比较合理的网格(尽可能正交、均匀、长宽比适当), 将其子区域划分为几个块(block). 如图 1 两个子区域分别由 1 块组成, 即计算模型被分成两块, 块是由边组成的封闭区域. 为了块的描述, 一般规定组成块的边按逆时针方向描述. 如图 1 侵彻问题, 第 I 块是由边集合($\langle 1 \rangle, \langle 5 \rangle, \langle 6 \rangle, \langle 4 \rangle$)组成, 第 II 块是由边集合($\langle 2 \rangle, \langle 3 \rangle$)组成.

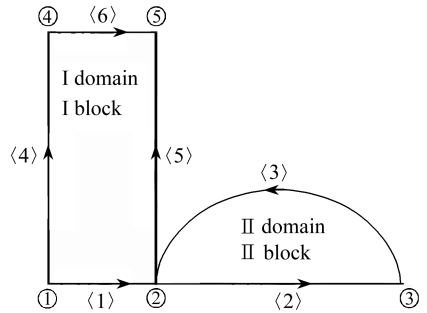


图 1 多介质问题的几何描述

Fig. 1 Geometric description of multi-media issues

2.3 边/线段定义

子块的边可以是点、直线、曲线(折线段), 线段是由曲线类型与点描述的, 所以几何描述主要是输入计算区域的边界曲线类型与点. 输入方式有两种, 一种只给出边的曲线类型和分点数, 每条边的曲线类型可以为直线、圆弧、椭圆弧等. 第二种每条边可以分成若干段, 每段可以是直线、圆弧、椭圆弧, 也可以是离散点. 常用的有 4 种曲线类型的参数方程, 特别地, 0 号方程为用户给离散曲线点.

0 号方程 用户给离散点

$$1 \text{ 号方程 } \begin{cases} x(t) = x_0 + x_1 t + x_2 t^2, \\ y(t) = y_0 + y_1 t + y_2 t^2, \end{cases} \quad t_1 \leq t \leq t_2;$$

$$2 \text{ 号方程 } \begin{cases} x(t) = x_0 + x_1 \cos t, \\ y(t) = y_0 + y_1 \sin t, \end{cases} \quad t_1 \leq t \leq t_2;$$

$$3 \text{ 号方程 } \begin{cases} x(t) = x_0 + x_1 \operatorname{ch} t + x_2 \operatorname{sh} t, \\ y(t) = y_0 + y_1 \operatorname{ch} t + y_2 \operatorname{sh} t, \end{cases} \quad t_1 \leq t \leq t_2;$$

$$4 \text{ 号方程 } \begin{cases} x(t) = x_0 + (x_1 + x_2 \cos(x_3 t)) \cos t, \\ y(t) = y_0 + (y_1 + y_2 \cos(y_3 t)) \sin t, \end{cases} \quad t_1 \leq t \leq t_2.$$

当然, 边界也可以是任意的二次曲线方程描述的曲线类型. 假设半圆弧圆心 $O(1.0, 2.0)$, 半径 $R = 1.0$. 采用 2 号方程, (x_0, y_0) 为圆心, 即 $x_0 = 1.0, y_0 = 2.0, x_1$ 和 y_1 为半径, 即 $x_1 = 1.0, y_1 = 1.0$, 参数 $t_1 = 0, t_2 = 180$. 如图 2 所示.

可以看出, 一条曲线往往将空间分成两边, 那么到底哪一边为计算空间. 需要给出曲线的方向, 往往按曲线起始位置定义曲线的方向.

针对图 1 侵彻问题, 2 个计算区域, 每个计算区域分为 1 块, 即整个问题由 2 块组成, 第 I 块由 4 条边组成, 第 II 块由 2 条边组成, 每条边有 1 条曲线段组成, 即整个问题由 6 条曲线段组成. 如图 1 上(1)号线是由①→②有向线段组成, (3)号线是由③→②有向线段组成, 这样就

可以对所有线段进行描述. 建立有向线段的目的是在给边界初始分点时, 可以在线段两侧划分不同的点. 图 3 中(4)号线③→②有向线段左侧分为 10 个点(虚圈), 右侧分为 15 个点(实圈), 这样有利于内部网格的划分.

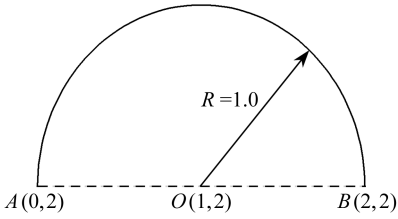


图 2 曲线类型(2 号方程)及关键点(A,B)

Fig. 2 Curve type (the 2nd equation) and key points (A,B)

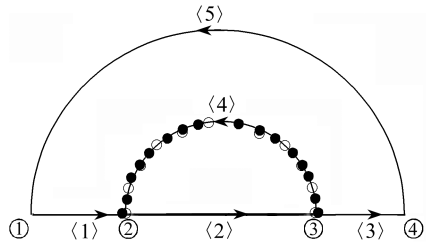


图 3 有向线段两侧分点数

Fig. 3 The number of points on both sides for the direction line

2.4 关键点/边界点的确定

每条边可能由几条线段组成, 每条线段是由两个关键点和两点之间的连线方式组成. 线段/边界点分点, 通常是依据物理问题的要求而定的, 是为了能够得到比较合理的内部网格(尽可能正交、均匀、长宽比适当均匀). 一般, 线段/边界点分点的给定可以有以下几种方法:

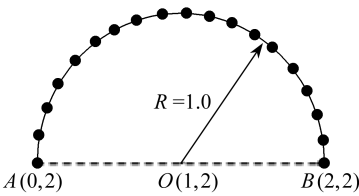


图 4 半圆弧等分例子

Fig. 4 Example of the segment deciles of semi-circular arc

- 1) 给定每个边界点的坐标, 这是最简单的方法;
- 2) 给定每条边界的端点以及分点数, 均匀等分边界;
- 3) 给定每条边界的端点、分点数以及间距的要求(如等差、等比划分等), 划分边界;
- 4) 给定每条边界的端点、边界曲线的种类(如直线、圆弧、散点曲线等)以及分点数, 按等分

或给定的间距要求划分边界;

- 5) 假如一条边界是由多段不同的曲线组成, 每一段都要同 4) 一样给定, 每段分别划分.

如图 2 所示的半圆弧中, 假设按等分分为 18 段, 19 个点, 得到图 4 的边界点. 经过前面实体(计算区域、区域、子块、边、线段、关键点、边界分点)的定义, 最终除了得到实体之间的关系外, 关键是将计算区域分成由离散点组成的封闭子块.

3 单块网格生成

3.1 网格生成的通用文本接口

对于每个封闭子块实际上是网格生成的通用文本格式输入接口. 在前处理程序 PreGen-Grid 中网格生成通用文本格式接口有两种形式, 结构四边形网格生成接口和非结构网格生成接口.

- 1) 结构四边形网格生成接口

四边形结构网格子块通用文本接口是给两对(上和下、左和右)对应的边界点组成封闭区

域. 如图 5, 上下点的坐标为 $\{(x_{\text{down}}(i, 1), y_{\text{down}}(i, 1)), (x_{\text{up}}(i, ny), y_{\text{up}}(i, ny)), i = 1, 2, \dots, nx\}$ 和左右为 $\{(x_{\text{left}}(1, j), y_{\text{left}}(1, j)), (x_{\text{right}}(nx, j), y_{\text{right}}(nx, j)), j = 1, 2, \dots, ny\}$. 这样用两对对应的边界点组成了简单区域结构网格生成的输入.

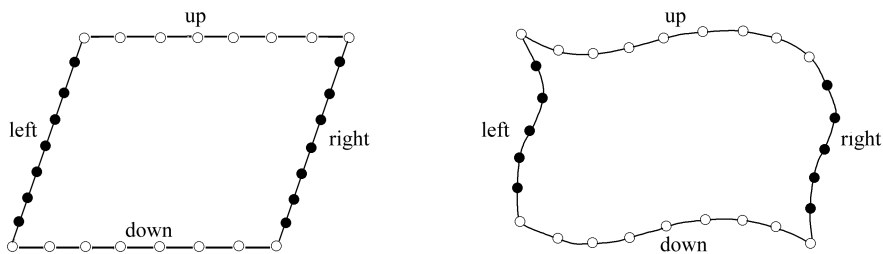


图 5 两组对应边界组成的封闭区域

Fig. 5 The closed region of two sets of corresponding boundary

2) 非结构网格生成接口

非结构网格子块通用文本接口定义分为两种形式, 一种是无约束的区域, 一种是有约束的区域. 在前处理程序 PreGenGrid 中重点关注的是无约束的区域. 子块通用文本接口是按逆时针方向由 n 点组成封闭区域. 如图 6, 点的坐标依次为 $(x(i), y(i)), i = 1, 2, \dots, n$. 这样按逆时针方向排序的点组成了复杂区域非结构网格生成的输入.

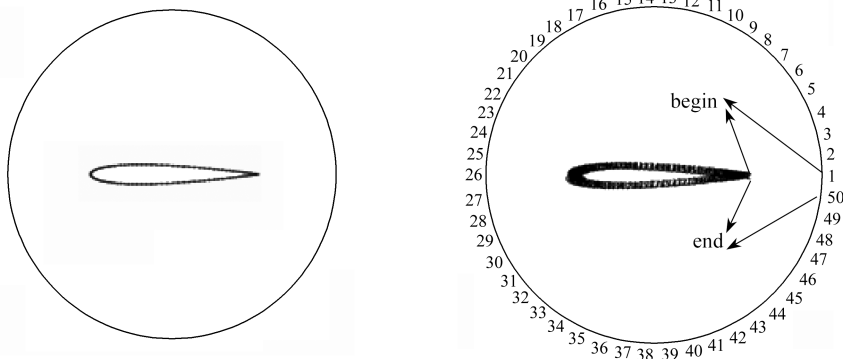


图 6 逆时针方向排序点组成的封闭区域

Fig. 6 The closed region of counterclockwise sorted poingts

3.2 网格生成

1) 结构四边形网格生成技术

结构化网格是指网格块内所有的内部点都具有相同的邻域关系. 即内点和它相邻点的连接方式与它的位置无关. 在二维情况下, 只要给定两个指标数 (i, j) 就可以确定单元、顶点的所有信息, 所以结构化网格简单来说就是可以用 i, j 描述的网格, 且网格单元之间的拓扑连接关系时间的 i 和 j 递增或递减的关键, 在计算过程中不需要存储它的拓扑结构. 如图 7, 对结点 $(x(i, j), y(i, j))$, 则指标为 $(x(i-1, j), y(i-1, j))$ 的结点是其左邻, 指标为 $(x(i+1, j), y(i+1, j))$ 的结点是其右邻. PreGenGrid 结构网格生成方法有: 双线性插值、保形映射方法、双调和方程方法和变分法.

2) 非结构网格生成技术

非结构化网格是指网格块内的内部点不具有相同的邻域单元,即与网格剖分块内的不同内点相连的网格数目不同.在二维情况下,不能用简单的两个指标数 (i, j) 描述,是一种无规则随机的网格结构,网格的定位只能用一维变量识别,网格的拓扑连接关系是无规则的,需要在网格生成过程中存储网格的拓扑结构. PreGenGrid 描述非结构化网格采用邻域表的方法描述.如图 8,首先给每个网格与节点编号,在计算区域内部的网格编号从 1 开始,在自由面外面的空间编号为 -1,用 -2, -3, -4 编号表示切线方向不同的固壁面的外面空间,编号为 i 的网格就叫网格 i . 图中在网格中心标的号是网格号. 在节点旁标的号是节点号. 同样节点也给以从 1 开始的编号,编号为 α 的节点就叫节点 α . 其次建立邻域关系表,这里只介绍 3 个基本表,其它表可以通过这 3 个表生成.

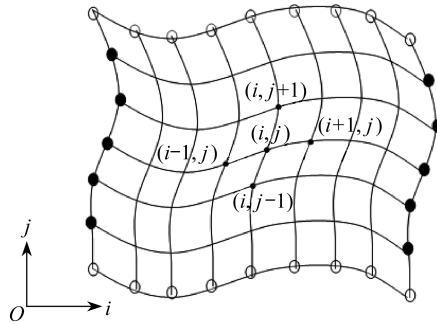


图 7 结构四边形网格

Fig. 7 The structured grid

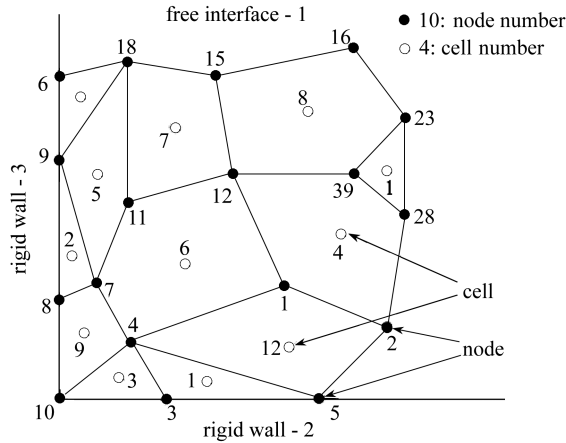


图 8 非结构任意多边形网格,节点的一维编号

Fig. 8 One-dimensional number of nodes and meshes for the any polygon

格点表:如图 9(a),将网格 i 的全部节点 $\alpha_j, j = 1, 2, \dots, l_i$,按逆时针方向排列起来,并令 $A_{eni} = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{l_i})$,称有序数组 A_{eni} 为网格 i 的点表,或叫格点表 $i(A_{eni})$. 这里 l_i 为网格 i 的邻域点数,为叙述方便,我们常将其下标 i 省略,而将 l_i 写成 l ,我们规定 $l \geq 3$.

点格表:如图 9(b),将含有节点 α 的全部网格 $i_k, k = 1, 2, \dots, m_\alpha$,按逆时针方向排列起来,并令 $B_{nc\alpha} = (i_1, i_2, \dots, i_{m_\alpha})$,称有序数组 $B_{nc\alpha}$ 为节点 α 的格表,亦可叫点格表 $\alpha(B_{nc\alpha})$. 这里 m_α 为节点 α 的邻域网格数,同样为方便叙述,我们常将 m_α 记为 m ,我们规定 $m \geq 3$.

边点格表:如图 9(c),将边 l 的两个端点 α_1, α_2 和边两边的网格 i_1, i_2 组成一个集合 L_i ,令 $L_i = (\alpha_1, \alpha_2, i_1, i_2)$,称集合 L_i 为边 l 的边点格表(L-List).

PreGenGrid 非结构三角形单元生成方法主要有 3 种:非结构树叉法(octree)(三角形细化法),Delaunay 方法和前沿推进法(advancing front).非结构四边形网格生成有直接法和间接法.非结构六边形网格生成方法是通过三角形单元的对偶网格生成.

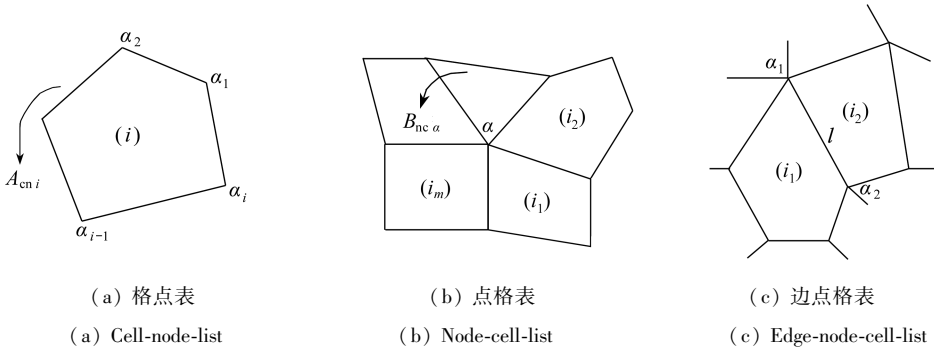


图 9 网格关系描述的 3 个基本邻域表

Fig. 9 The three basic neighborhood list of the relationship of mesh

4 多介质问题计算区域网格生成

在单块网格生成好后,就存在计算区域网格的拼接,这是多介质问题前处理程序很重要的一个环节.在大多数前处理程序中忽略了这个环节,或者只是人为的针对边界一一对应的情况进行了拼接.PreGenGrid 在实现网格自动生成的基础上,还提供了多块智能化无缝拼接的功能.

4.1 网格管理的数据结构

要实现单块网格生成后,块与块网格之间的无缝连接,设置的数据结构必须能管理非结构任意多边形网格.由于每块单独生成网格后,两个块交界面处不可能只是一一对应的情况,有可能存在非匹配网格.图 10 给出了两块网格边界处的几种情况.图 10(a)一一对应的界面情况;图 10(b)一对多的界面情况;图 10(c)多对多的界面情况.

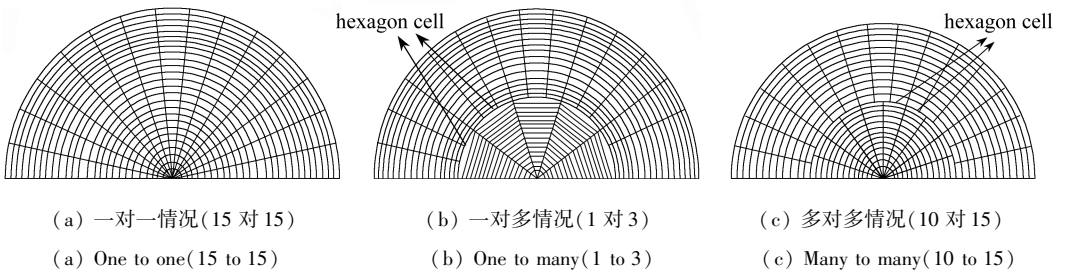


图 10 两块网格之间界面的种类

Fig. 10 The type of the interface in both meshes

从图可以看出,在非匹配网格中,交界面处的网格有可能是一个多边形网格,这就要求数据结构能统一管理任意多边形单元.PreGenGrid 为了统一管理任意多边形单元,采用了一个线性表和两个指针的数据结构.首先将网格和节点(实体)一维编号(如图 11(a)),然后用一个

线性表(一维数组)存储(如图 11(b))对应的实体,再用两个指针(一维数组)(如图 11(c))存储某一点或网格对应实体的在线性表中的起始位置和个数,实现了任意多边形非结构网格的管理。

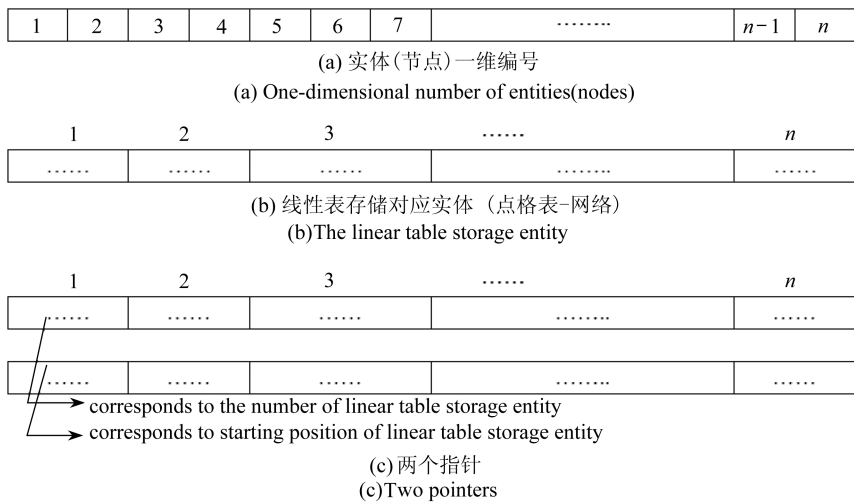


图 11 非结构网格一维数组顺序存储

Fig. 11 Stored in the order of one-dimensional array for unstructured grid

4.2 网格拼接

1) 块网格边界复原

在单块生成网格后,两块网格体系各自有各自的边界点.如图 12,相邻两块网格的公共边界存在 3 种情况:一一对应、一对多和多对多。

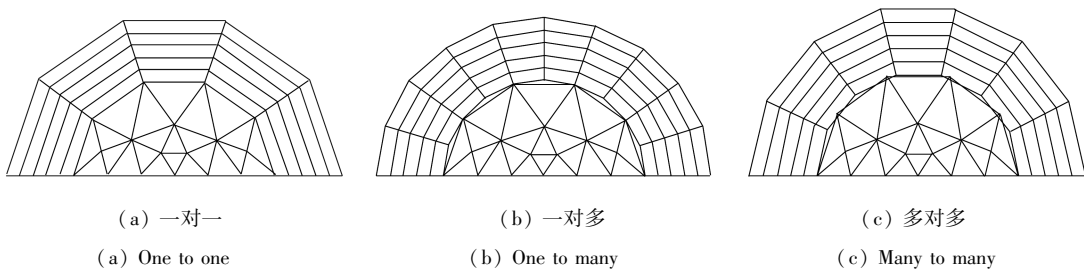


图 12 两块网格独立生成网格后的界面类型

Fig. 12 The interface type of two independent meshes

无论是哪一种情况,首先根据公共边界(图 13(a))两侧的特征分点,通过修改块边界两侧网格的格点表,将边界匹配或复原到原始状态.格点表修改方法,由于左侧网格边界上两点之间是否含有右侧边界点,右侧网格边界上两点之间是否含有左侧边界点,根据块边界线段两侧的分点个数(2.3 小节和 2.4 小节)很容易知道.即公共边界点由两边所有分点组成线段的边界状态(如图 13(b)),即两块相邻网格边界变为同一条边界(一一对应)的状态.图 14 是图 12 边界复原的情况。

2) 块网格边界拼接

边界复原后两块网格公共边成为同一条边界(一一对应)的网格体系,这样网格的拼接就

可以按一一对应的网格拼接。对于一一对应界面两块网格体系的拼接又分为滑移界面和非滑移界面的拼接。对于非滑移界面的拼接是很容易的,主要是将边界点的点格表拼接起来。需要注意的是对于滑移界面的拼接,如图 15(a),即使网格节点的位置重合,单元节点拓扑上也看成是不重合的。即针对界面上的点,主从两侧各有各的节点编号。实际上单元拓扑按图 15(b),滑移主侧单元 c_2^{master} 按多边形 $(n_l^{master}, n_m^{master}, n_2^{master}, n_2^{slave}, n_1^{master})$ 管理,从侧单元 c_2^{slave} 按多边形 $(n_2^{slave}, n_m^{slave}, n_l^{slave}, n_1^{slave}, n_1^{master})$ 管理。

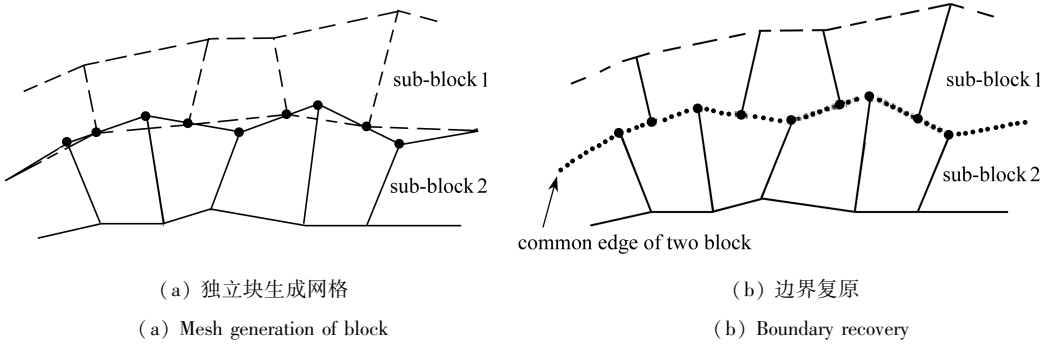


图 13 相邻两块边界复原

Fig. 13 Boundary recovery of two independent meshes

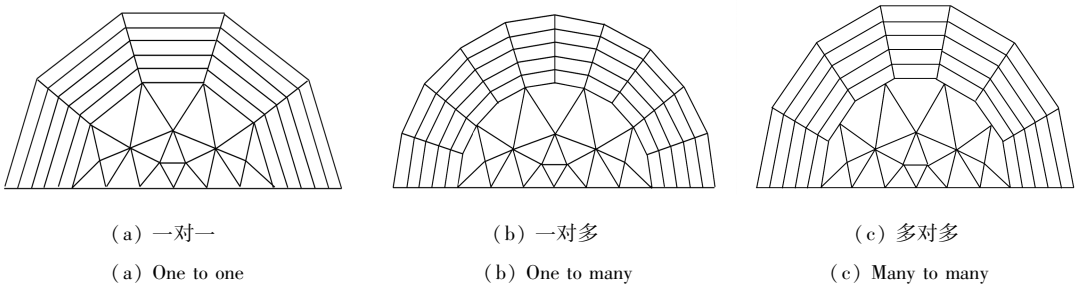


图 14 对应图 12 的边界复原

Fig. 14 Boundary recovery of the corresponding figure 12

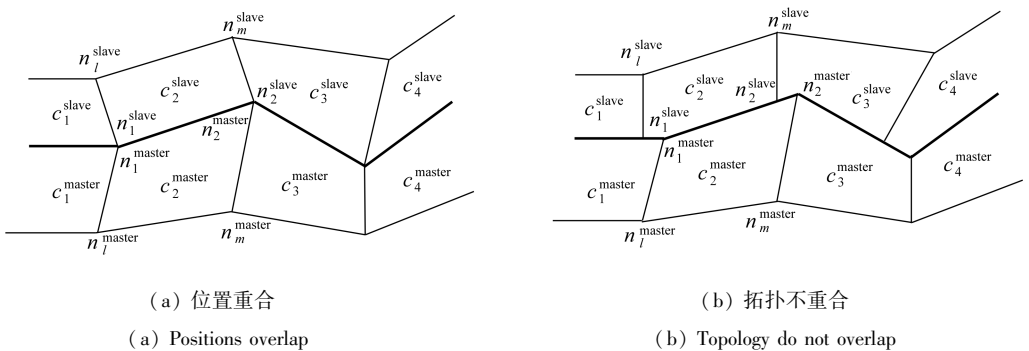


图 15 滑移界面拼接的考虑

Fig. 15 Splicing of the slip interface

4.3 多介质计算模型网格实例

一般的前处理程序对圆弧两侧非一一对应的情况需要人工拼接,尤其当计算规模改变时

需要重新拼接,实现周期较长.而本文的前处理程序 PreGenGrid 对拼接、计算规模实现自动化,体现了前处理程序 PreGenGrid 的快捷性和可靠性.图 16 是一个惯性约束聚变(ICF)计算模型生成网格的例子,它是一个多介质复杂区域的问题,此例可体现本文的前处理程序 PreGenGrid 的特色.图 16(a)是计算问题的几何描述,将计算区域分为 5 个区域,每个区域各由 1 块组成,第 1 块由 3 条边组成,第 2 块由 4 条边组成,第 3 块 7 条边组成,第 4 块 4 条边组成,其中一条边由 2 条短线段组成,第 5 块由 4 条边组成,除第 4 块中有一条边有 2 段组成外,其余边均由 1 条线段组成.每条线段有两个关键点和线段类型组成.如第 1 条线段由①→②有向直线组成,第 7 条线段由②→⑤有向圆弧组成.图 16(b)是生成的计算网格,其中第 I 块生成非结构三角形网格,第 III 块生成非结构四边形网格,第 II, IV, V 块生成结构四边形网格,及拼接的计算网格.在不同块交界面处有一一对应的非滑移界面,也有一一对应、多对多的滑移界面.从图可以看出,在不同块交界面处,尤其是针对圆弧情况,前处理程序 PreGenGrid 实现了多块生成网格后的无缝连接.

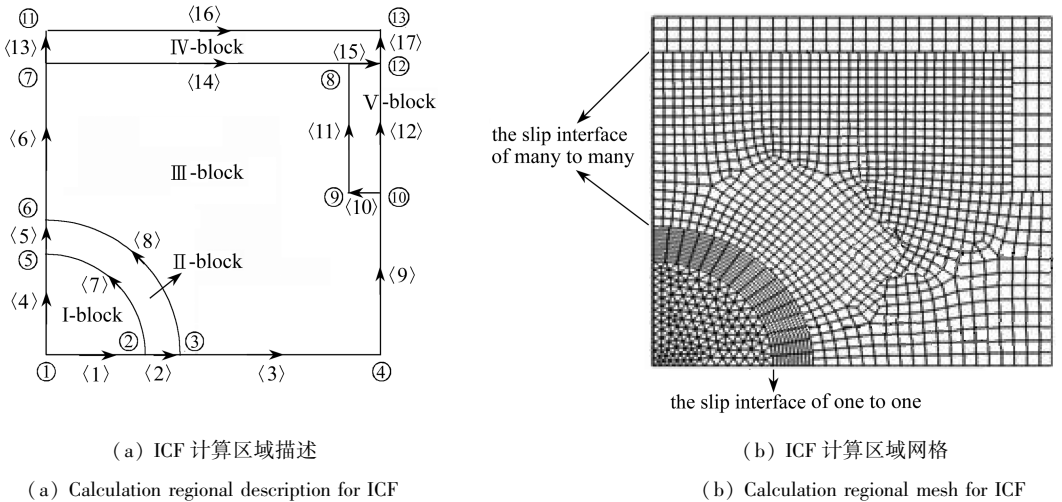


图 16 多介质计算模型网格生成例子

Fig. 16 Example of the grid generation for multi-media computing model

5 结 论

PreGenGrid 是基于非结构任意多边形网格研制的一个多介质问题数值模拟前处理程序,其中智能化的界面无缝拼接技术,大大节省了工程技术人员和用户的时间,且能提高多介质问题计算的精度.用户可以在较短的时间里建立复杂的计算模型,使数值模拟更加易用、规范和准确,为一般流体力学程序提供了通用文本接口,是高性能科学计算前处理的理想工具.

参考文献(References):

- [1] 李水乡,刘剑飞,袁明武. AutoCAD 平台上的有限元前处理软件 Auto MESH[J]. 计算力学学报, 1999, 16(3):375-378. (LI Shui-xiang, LIU Jian-fei, YUAN Ming-wu. AutoCAD based FEM pre-processor:auto MESH[J]. *Chinese Journal of Computational Mechanics*, 1999, 16(3): 375-378. (in Chinese))

- [2] 胡斌, 张倬元, 黄润秋, 许强. FLAC3D 前处理程序的开发及仿真效果检验[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, **21**(9):1387-1391. (HU Bin, ZHANG Zhuo-yuan, HUANG Run-qi, XU Qiang. Development of pre-processing package for FLAC3D and verification of its simulating effects [J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2002, **21**(9):1387-1391. (in Chinese))
- [3] 白文, 周天孝. 飞机外形网格拓扑和多块网格拼接技术[J]. 航空计算技术, 1998, **28**(4):24-31. (BAI Wen, ZHOU Tian-xiao. Grid topology and patching techniques of multi-block grid [J]. *Aeronautical Computing Technique*, 1998, **28**(4):24-31. (in Chinese))
- [4] 吴淑芳. 计算机辅助网格拼接技术[J]. 长春理工大学学报, 2002, **25**(2):65-68. (WU Shu-fang. The joining technique for 2D meshes[J]. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 2002, **25**(2):65-68. (in Chinese))
- [5] 王瑞利, 刘全, 吴子辉, 胡晓绵. 科学与工程应用中自适应网格进展[J]. 科技导报, 2012, **30**(5):72-79. (WANG Rui-li, LIU Quan, WU Zi-hui, HU Xiao-mian. Advances in the adaptive grid methods on the area of science and engineering application[J]. *Science and Technology Reviews*, 2012, **30**(5):72-79. (in Chinese))
- [6] Steven J O. A survey of unstructured mesh generation technology [C]//7th International Meshing Roundtable. Sandia National Labs, 1998: 239-267.
- [7] Thacker W C. A brief review of methods used for generating irregular computational grids [J]. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 1980, **15**(15):1335-1341.
- [8] Ho-Le K. Finite element mesh generation methods: a review and classification[J]. *Computer Aided Design*, 1988, **20**(1): 27-38.
- [9] Shephard M S. Approaches to the automatic generation and control of finite element meshes [J]. *Applied Mechanics Review*, 1988, **41**(4): 169-185.
- [10] Shephard M S, Grice K R, Lo J A, Schroeder W J. Trends in automatic three-dimensional mesh generation[J]. *Computer & Structures*, 1988, **30**(1/2): 421-429.
- [11] Baker T J. Developments and trends in three-dimensional mesh generation[J]. *Applied Numerical Mathematics*, 1989, **5**(4): 275-304.
- [12] George P L. *Automatic Mesh Generation: Applications to Finite Element Methods*[M]. New York: Willey, 1991.
- [13] Raphael B, Krishnamoorthy C S. Automating finite element development using object oriented techniques[J]. *Eng Computation*, 1993, **10**:267-278.
- [14] Hu E Q, Zhang X F, Xiang W, Zhou J. A review of mesh generation methods for finite element computation[J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 1997, **9**(4): 378-383.
- [15] QIANG Du, WANG De-sheng. Recent progress in robust and quality Delaunay mesh generation[J]. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 2006, **195**(112): 8-23.
- [16] 胡恩球, 张新访, 向文, 周济. 有限元网格生成方法发展综述[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 1997, **9**(4): 378-383. (HU En-qi, ZHANG Xin-fang, XIANG Wen, ZHOU Ji. A review of mesh generation methods for finite element computation[J]. *Chinese Journal of Computer-*

Simulations of the Multi-Medium Problem Pre-Process: PreGenGrid

WANG Rui-li, LIN Zhong, YAN Wei

*(Institute of Applied Physics and Computational Mathematics,
Beijing 100094, P. R. China)*

Abstract: Main functions of a multi-medium problem pre-processor PreGenGrid was introduced, including description of complex geometric regions, mesh generation of block area, data structure of the grid management, the seamless splicing technology of block meshes. Automatic mesh generation/automation patching of PreGenGrid was presented with emphases. Mesh examples were also provided. PreGenGrid is an ideal tool for computer aided in simulations of the multi-medium problem analysis in scientific computing.

Key words: multi-medium problem; mesh generation; seamless splicing technology; pre-process code design; PreGenGrid