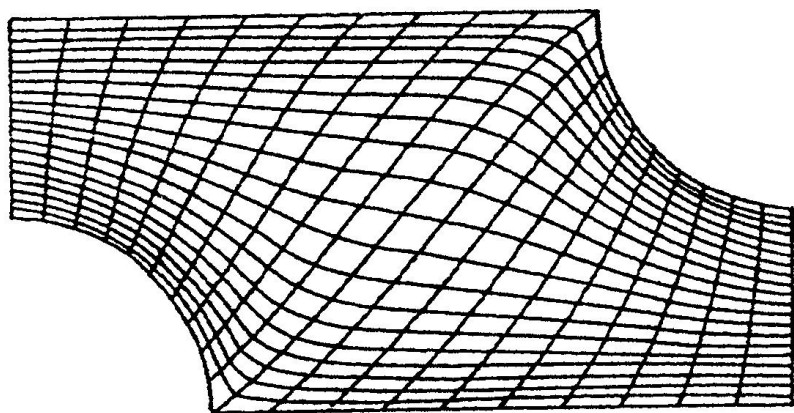
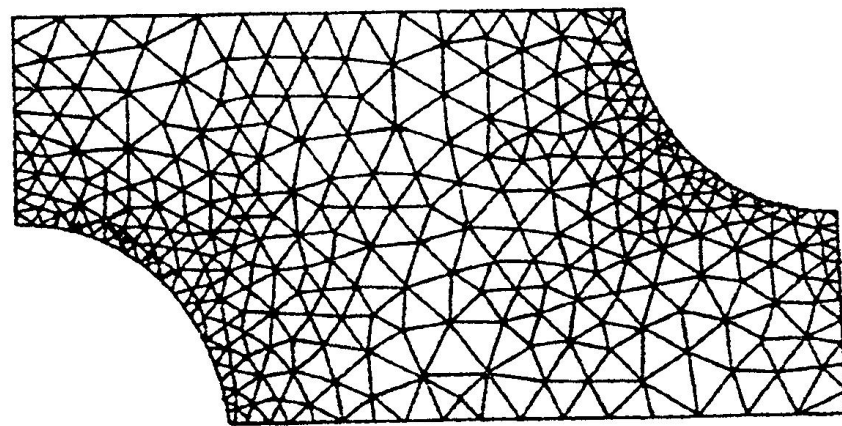


第9章 网格生成技术



(a)



(b)

胡茂彬

<http://staff.ustc.edu.cn/~humaobin/>
humaobin@ustc.edu.cn

为什么要研究网格生成技术？

工程上的流动与传热问题大多发生在复杂区域内

网格生成：计算流体和传热中十分重要的研究领域

数值计算的最终精度及效率，取决于：

- 生成的网格
- 采用的算法

高效的数值计算： 网格生成，求解算法 良好匹配

9.1 网格生成技术概述

网格生成方法

结构化网格

正交曲线坐标系 (14种)

贴体网格

保角变换法

代数法

微分方程法

边界规范化方法

双边界法

多面法

无限插值法

对角直角坐标法

块结构化网格

拼接式

搭接式

椭圆型方程法

双曲型方程法

抛物型方程法

非结构化网格

前沿推进法

Delaunay三角形化方法

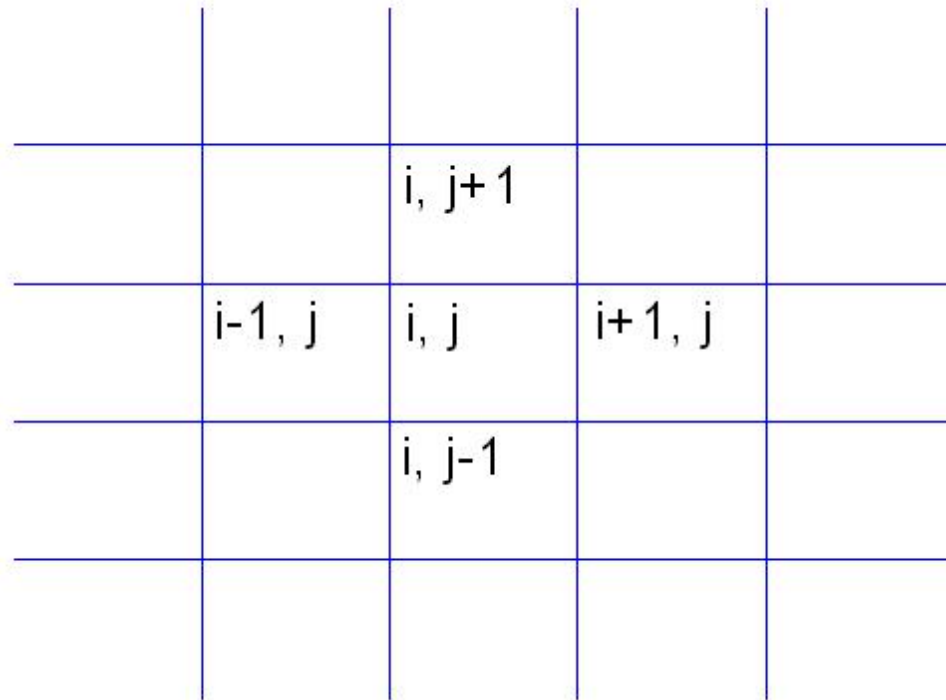
非结构化直角坐标法

非结构/结构混合网格

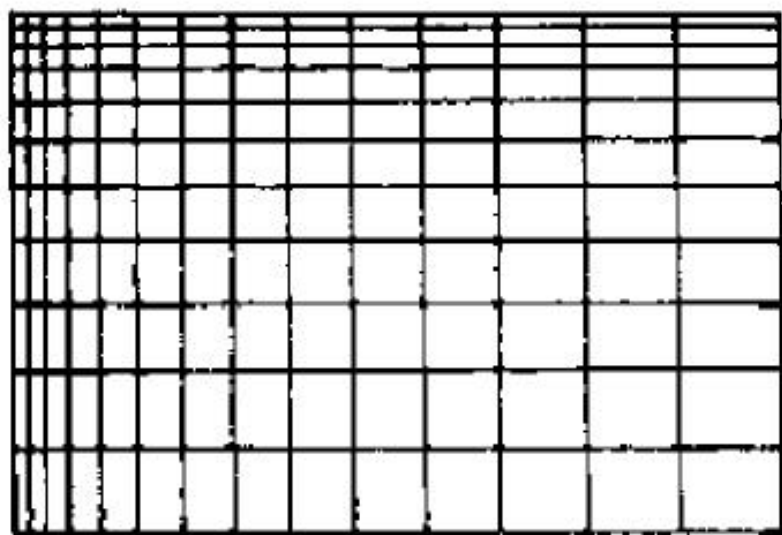
自适应网格

1 结构网格

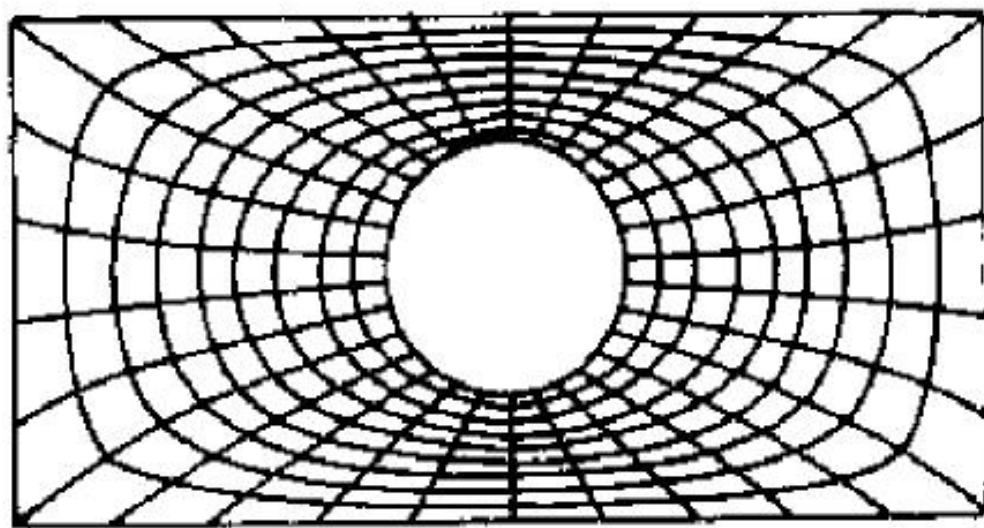
每一节点与其邻点之间的**联结关系**固定不变，且相邻关系隐含在所生成的网格中。



结构化网格



(a) 正交



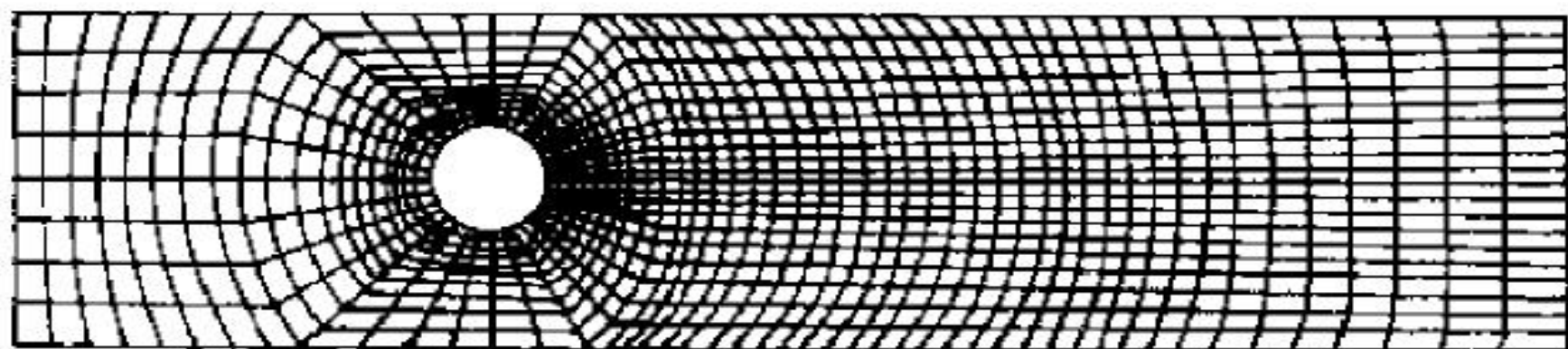
(b) 非正交

图 1-2 结构化网格

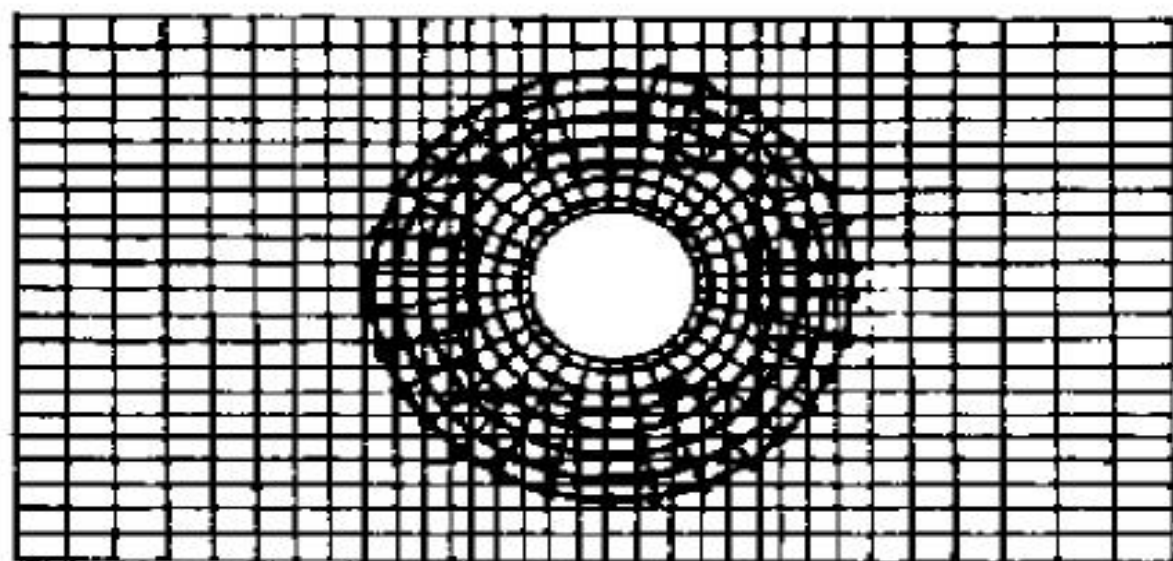
2 块结构网格 (组合网格)

- 将求解区域分为若干块，每块中均采用结构网格，块之间可以是拼接的，也可以是部分重叠的
- 拼接式
- 搭接式

关键是两块之间的信息传递



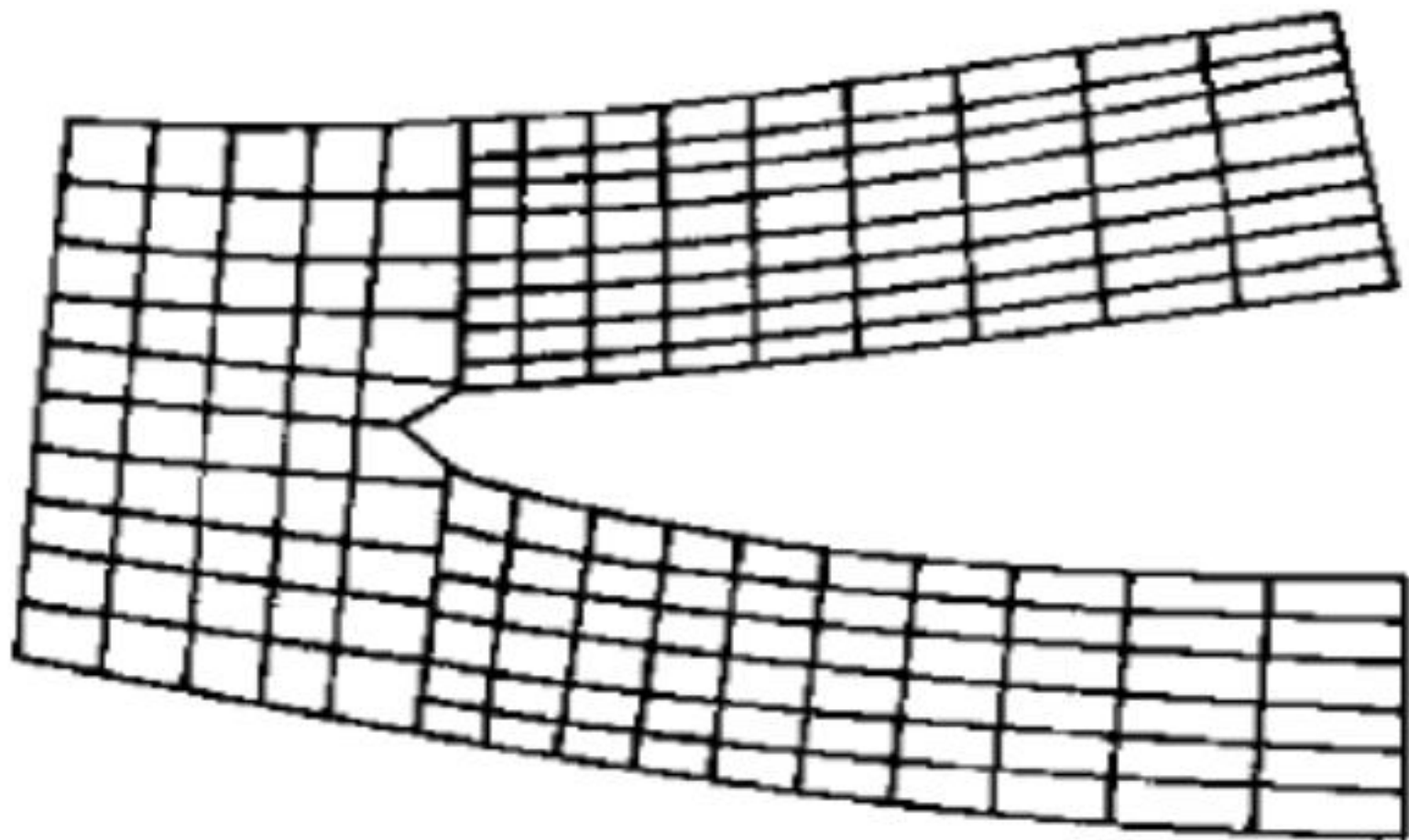
(a) 不重叠



(b) 部分重叠

图 1-3 块结构化网格

分叉扩散器流动计算的块结构网格



三维拼接式网格

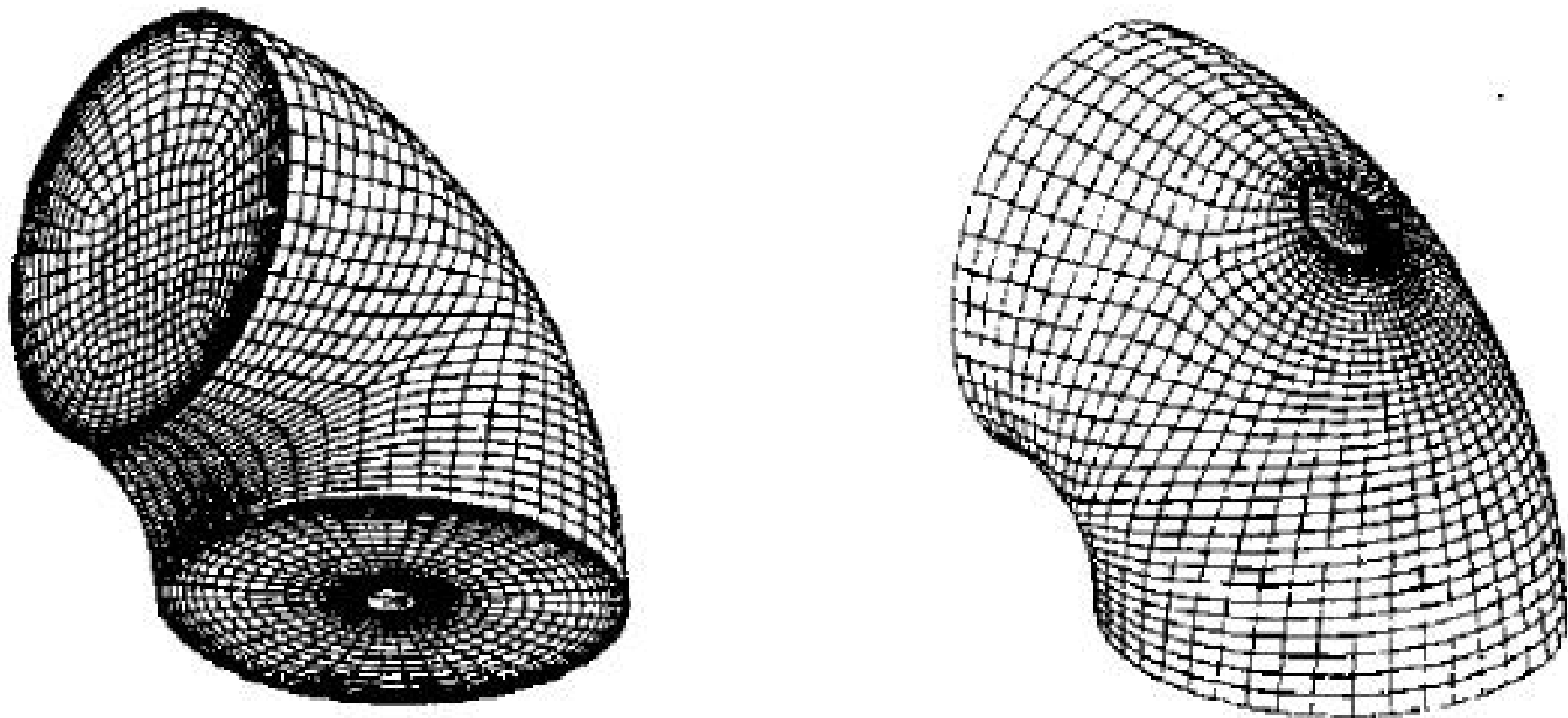
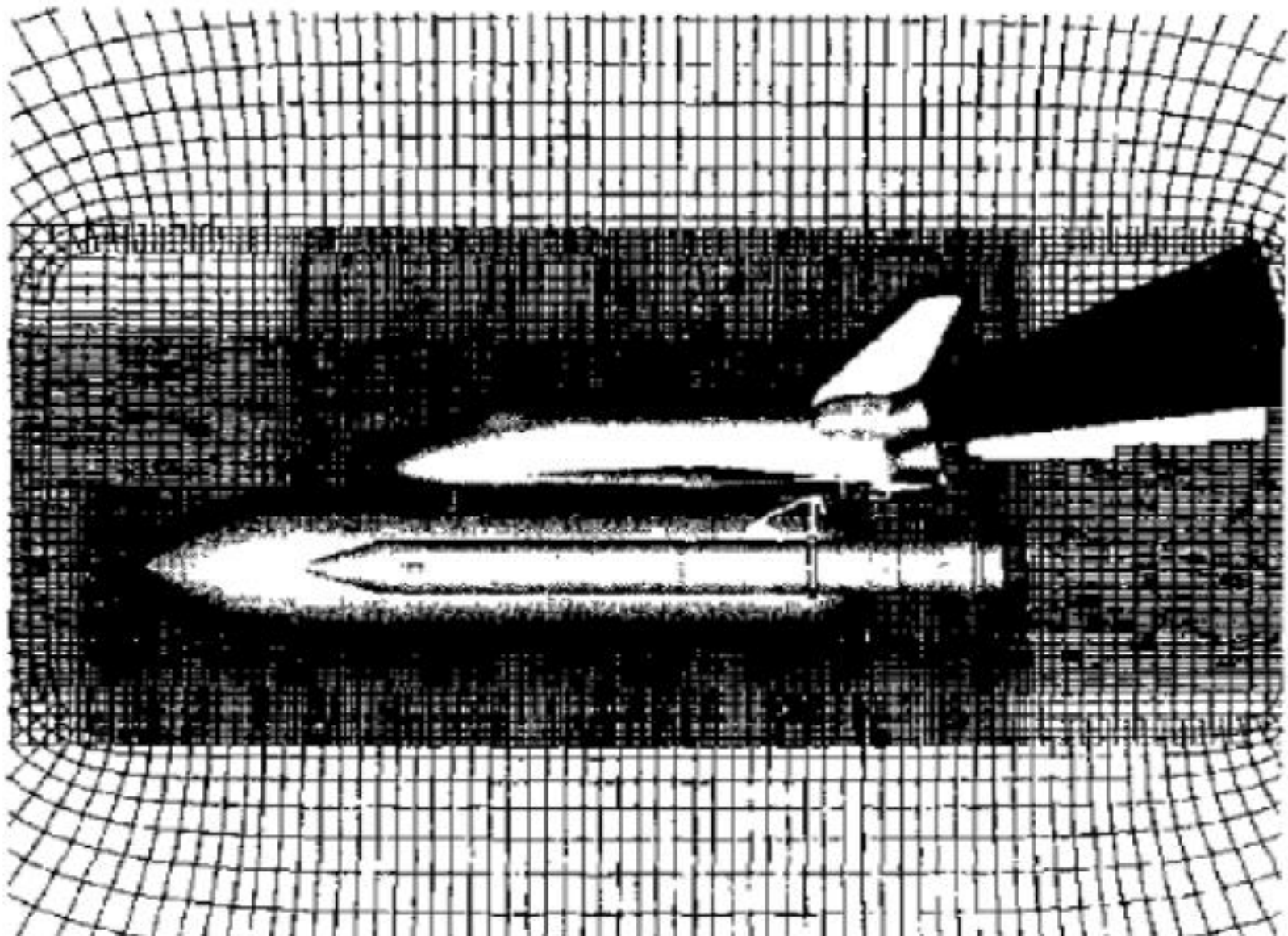


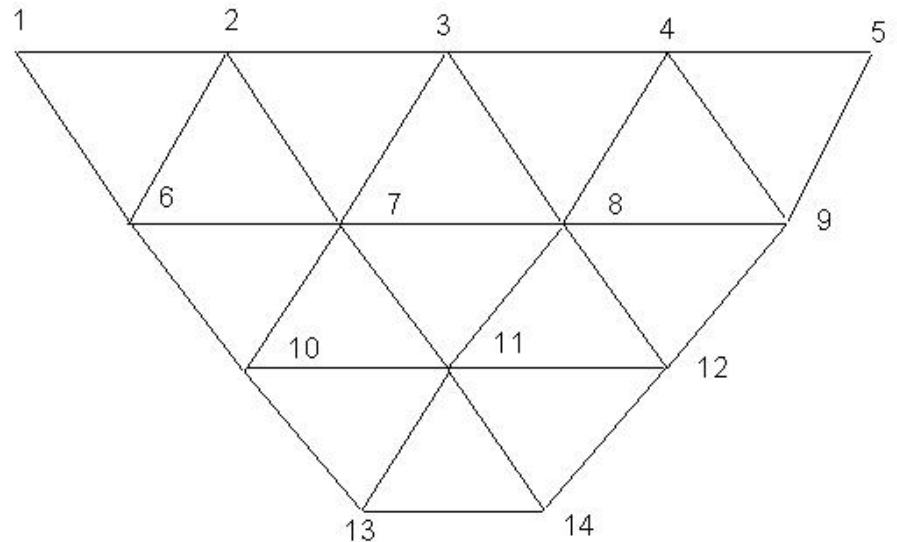
图 2-52 三维拼片式网格举例^[3]

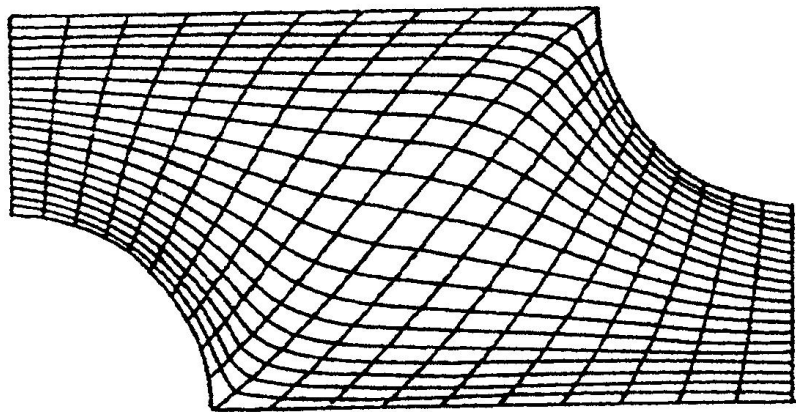
搭接式块结构网格实例



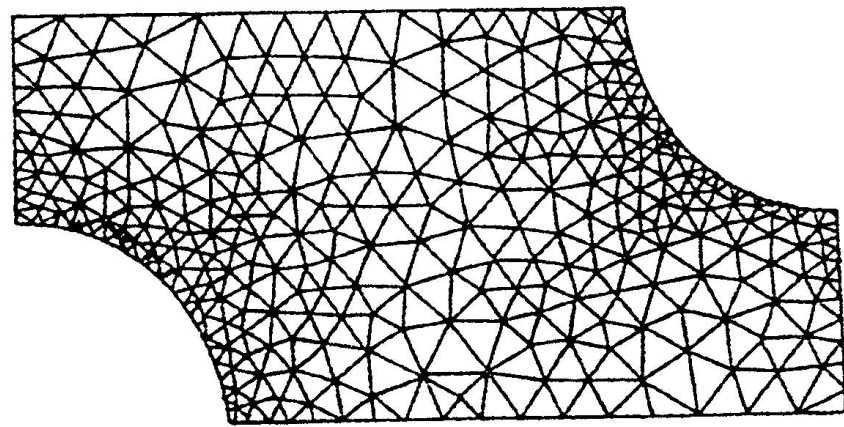
3 非结构网格

- 没有固定结构，节点编号无一定规则甚至随意，节点的邻点个数也不固定
- 除了每一单元及其节点的几何信息必须存储外，相邻单元的编号也必须存储起来





(a)



(b)

(a) 结构化网格; (b) 非结构化网格

四边形单元的非结构网格

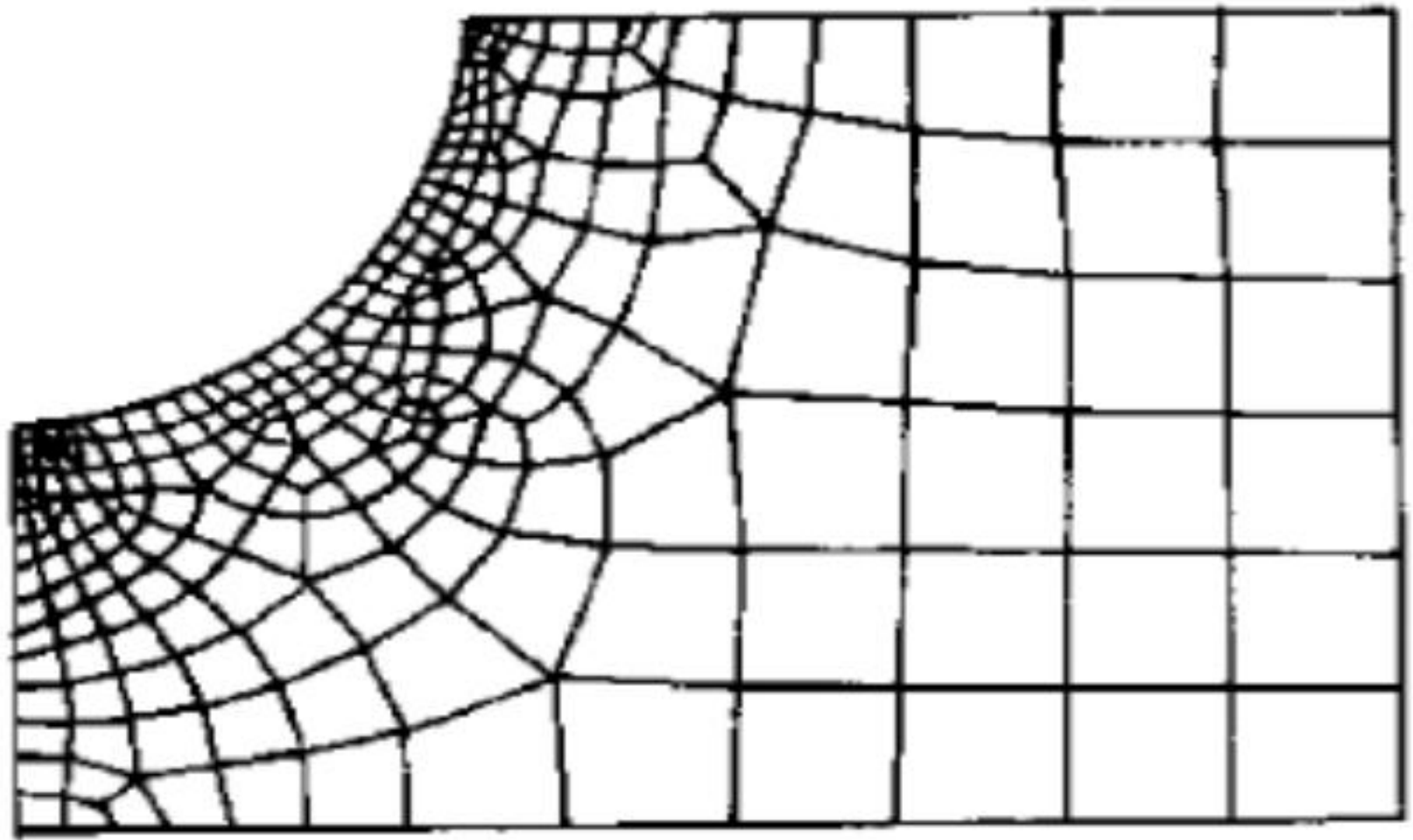
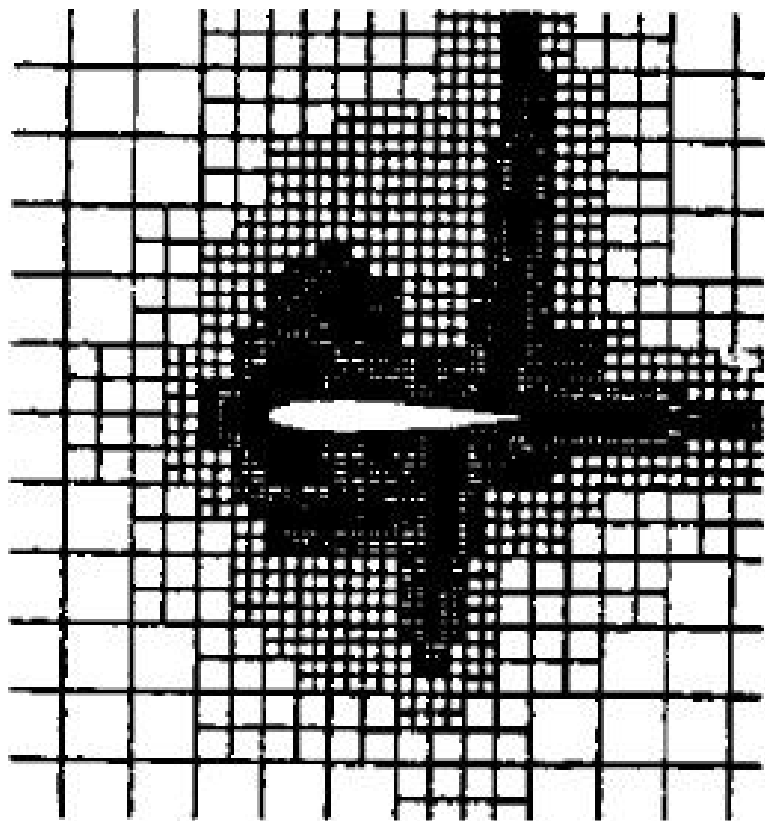
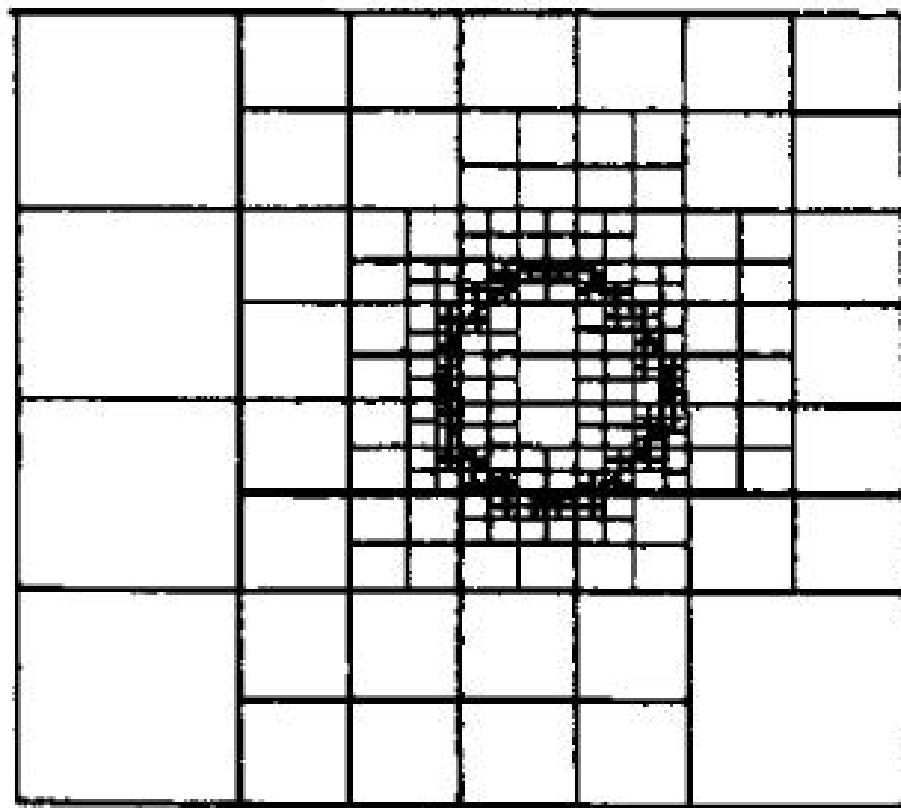


图 2-30 四边形单元的非结构化网格

非结构化直角坐标法



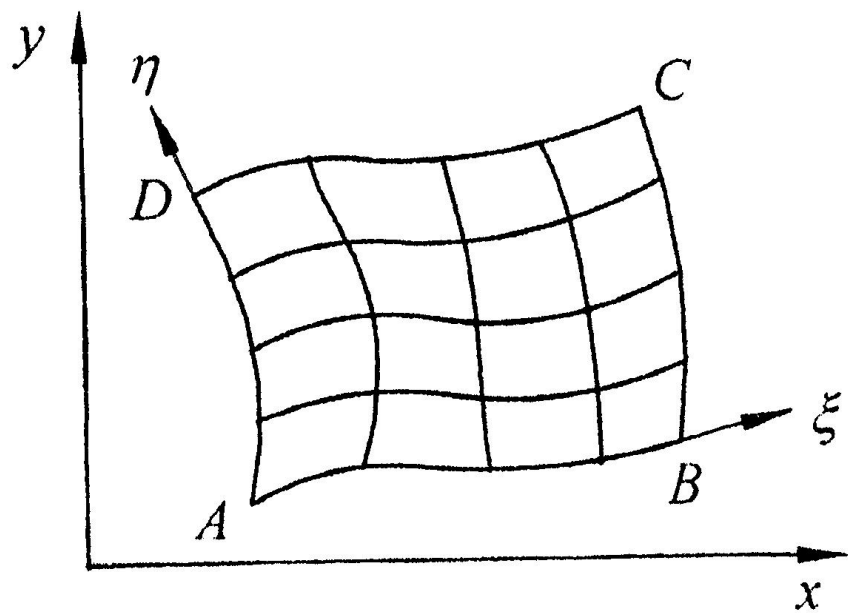
(a) 计算外掠机翼流场的网格



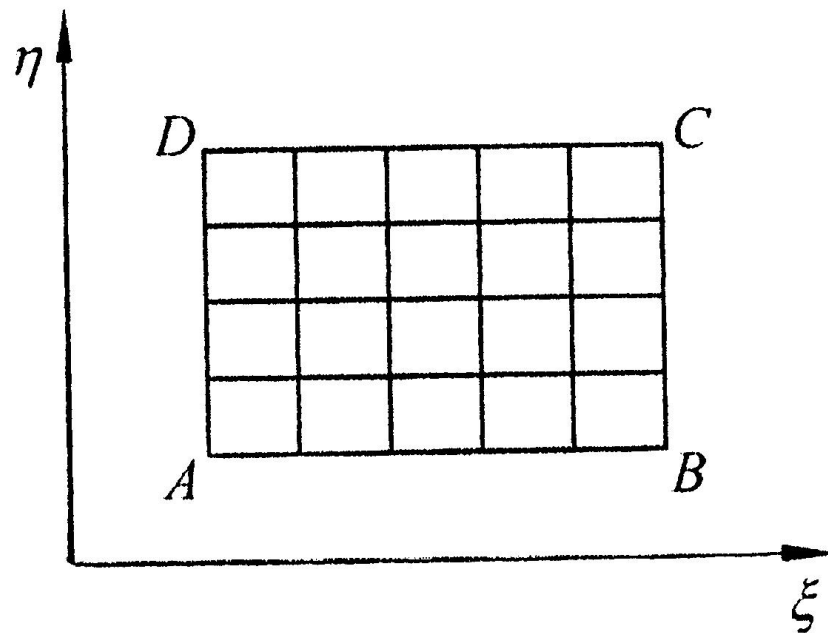
(b) 计算外掠圆柱体流场的网格

图 2-74 用非结构化直角坐标法生成的网格示例

4 贴体坐标网格 (结构网格中的一类)



(a) x - y 物理平面



(b) ξ - η 计算平面

贴体坐标法

- 通过一些特定的坐标变换，把物理空间上的不规则区域变换为计算空间上的规则区域
- 数值求解首先在计算空间上进行，然后再把信息传递回物理空间

1 保角变换法

2 代数法

3 微分方程法

椭圆型方程法 – 封闭边界情况

双曲型方程法 – 外部流动、内部流动

抛物型方程法 – 同上

A 保角变换法

- 根据复变函数中的保角变换理论，映射得到物理域边界和计算域边界间的对应关系，进而利用边界的对应关系生成内部节点。
- 可以保证物理平面上所生成的网格的正交性
- 仅适用于二维问题

B 代数法

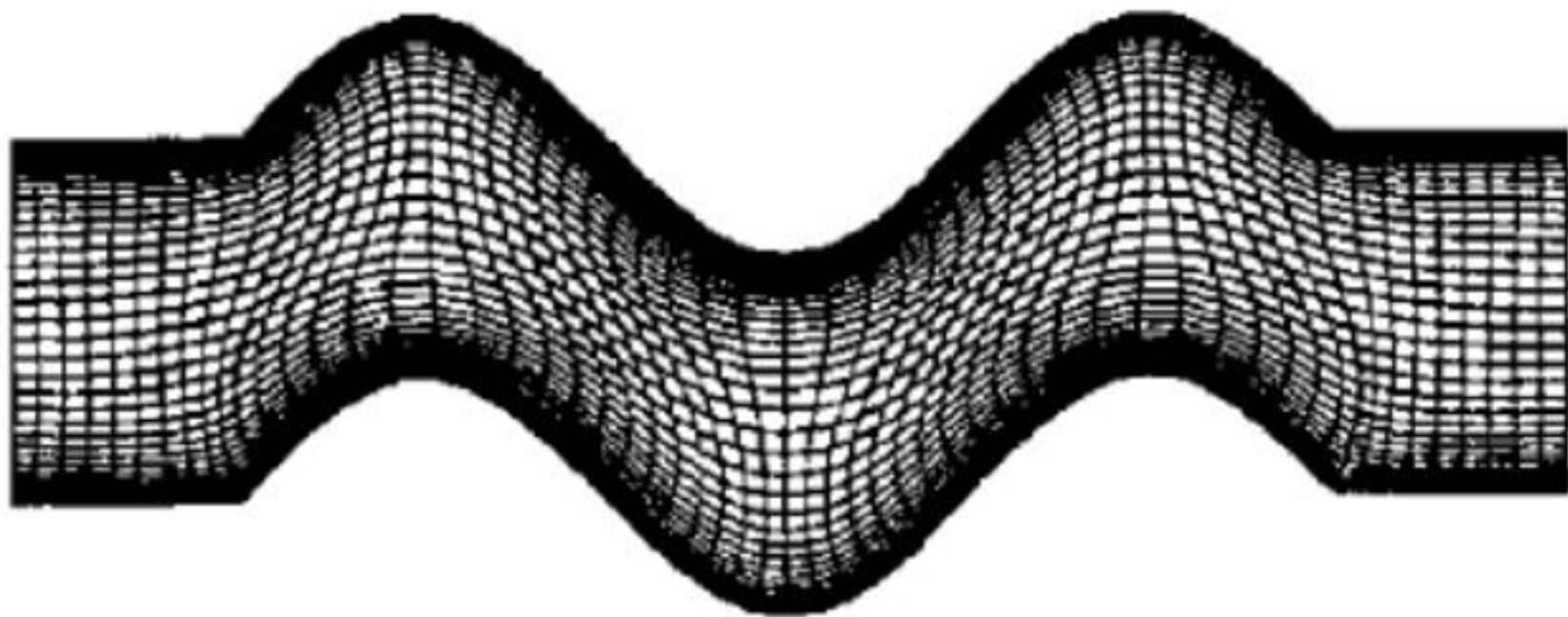
- 利用一些代数关系式，把物理空间中不规则的区域转化为计算空间上规则区域
- 边界规范化方法：物理空间和计算空间的边界和内部节点均按初等代数变换解析给定
- 插值方法：规定边界值条件，再利用已知的边界值进行中间插值来生成内部网格

自动化程度不高，需要较多人工干预，网格质量一般

C 微分方程法

- 求解微分方程来确定物理空间和计算空间节点坐标之间的对应关系
- 如果物理空间边界是**封闭**的，则采用**椭圆型**偏微分方程，其中 **Laplace** 方程和**Poisson** 方程是最常用的两种。**网格质量高，当前应用最广泛。**
- 如果物理区域是**不封闭**的，则可采用**抛物型或双曲型**的偏微分方程

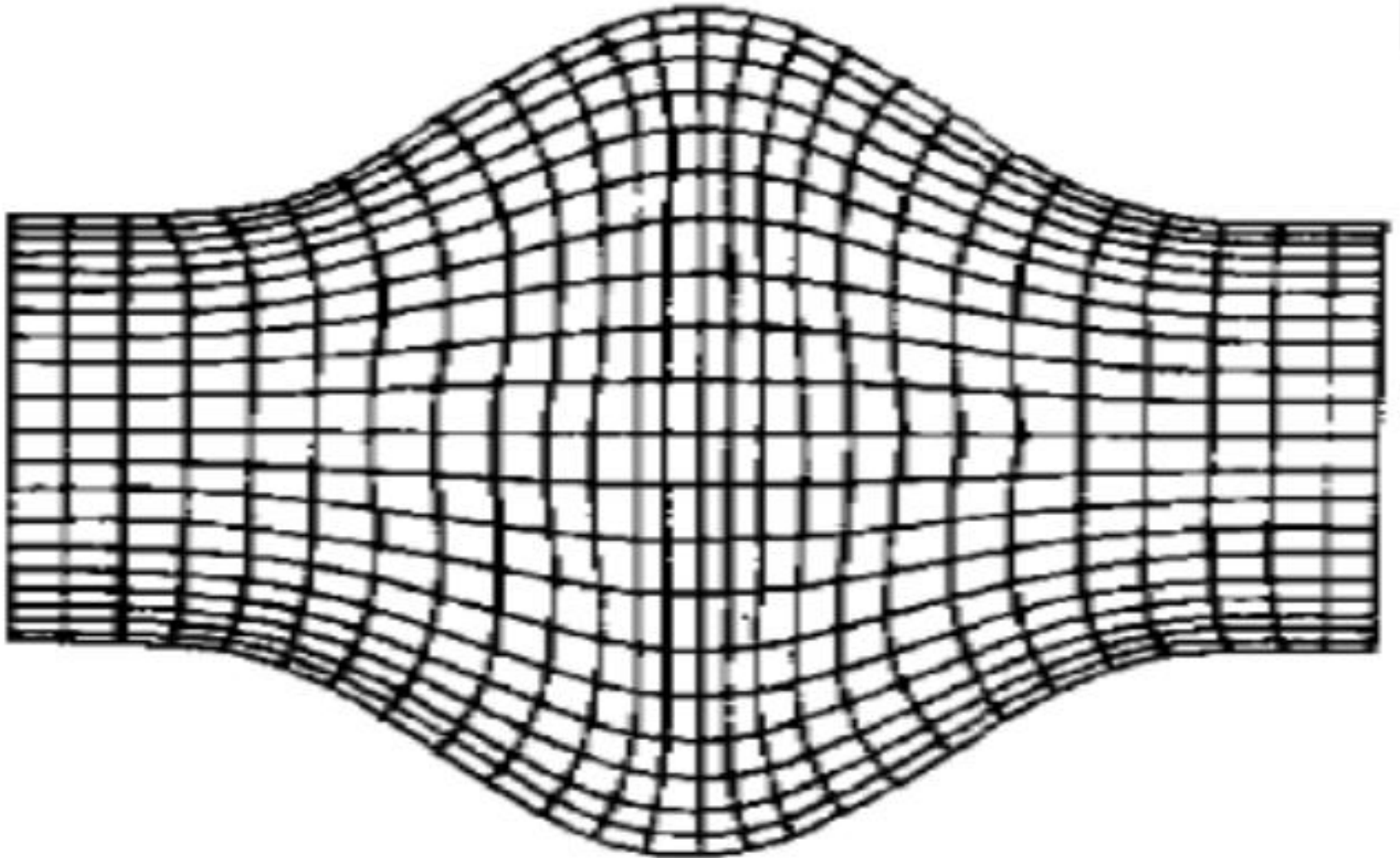
双曲方程生成的内流网格



(59 × 19)

图 2-17 用双曲型方程生成的内流网格

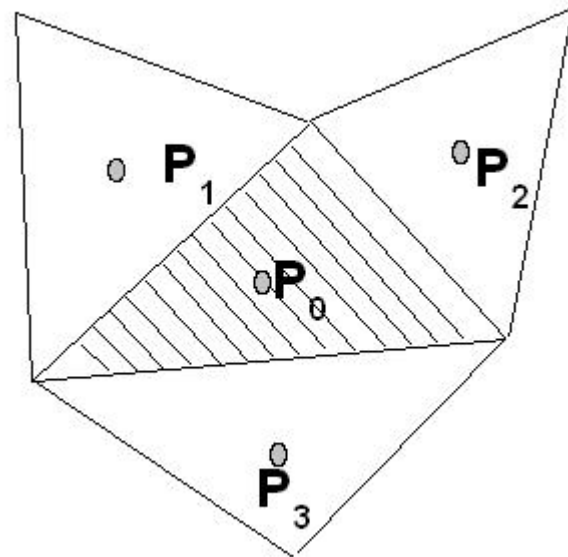
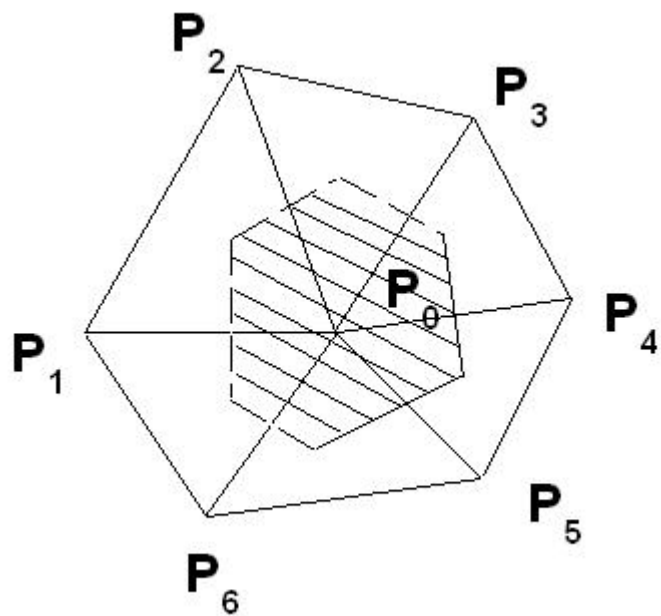
抛物方程生成网格



5 非结构网格

- 没有固定结构，节点编号命名无一定规则甚至随意，节点的邻点个数也不是固定不变
- 二维和三维空间中最简单的形状是三角形和四面体，任何平面或空间区域都可被三角形或四面体填满。
- 除了每一单元及其节点的几何信息必须存储外，相邻单元的编号也必须存储起来

- 与结构化网格中的“点中心法”和“块中心法”相对应，在非结构化网格中有基于顶点的格式和基于中心的格式



6 混合网格

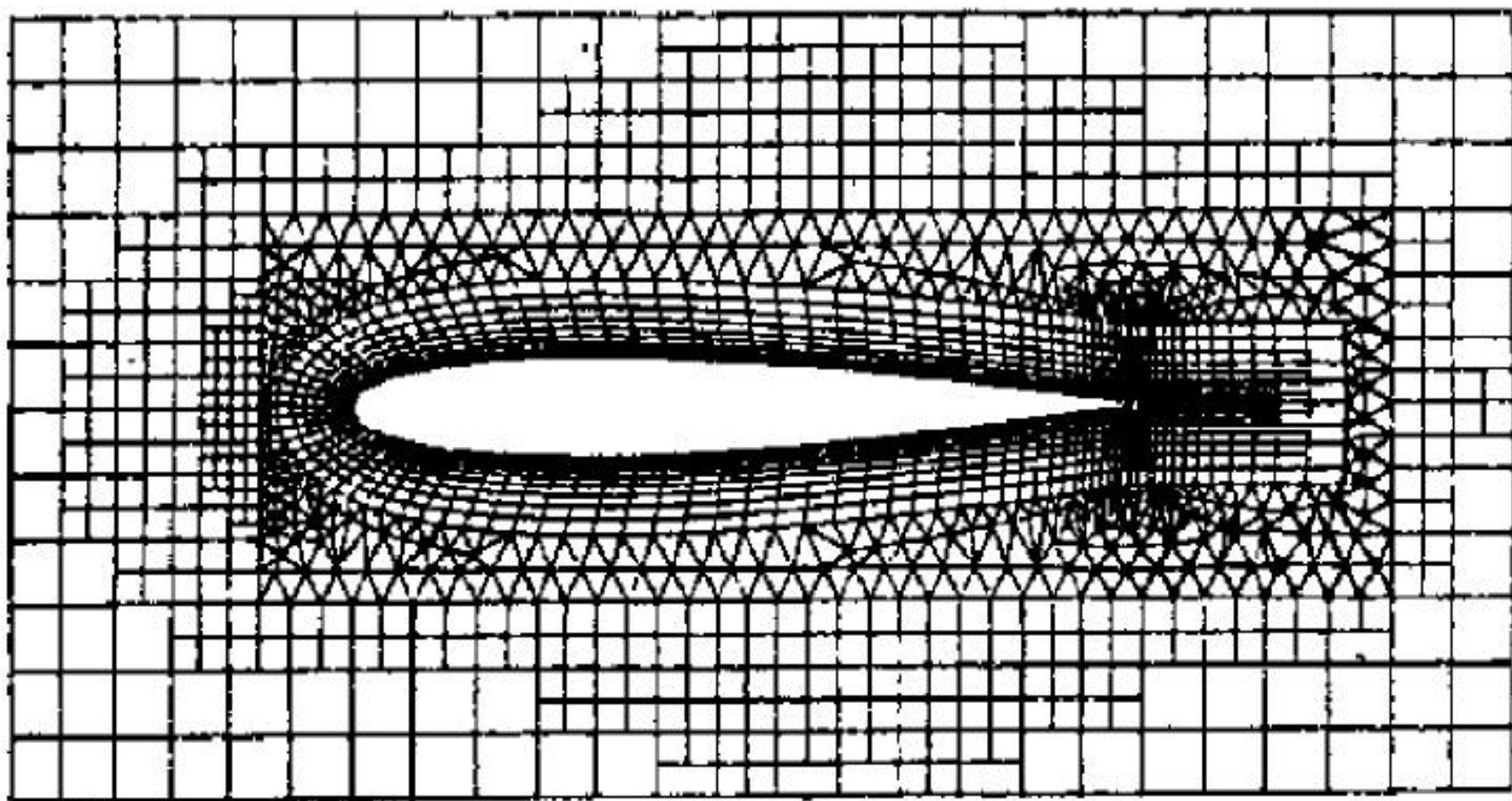


图 9.72 结构化与非结构化的混合网格

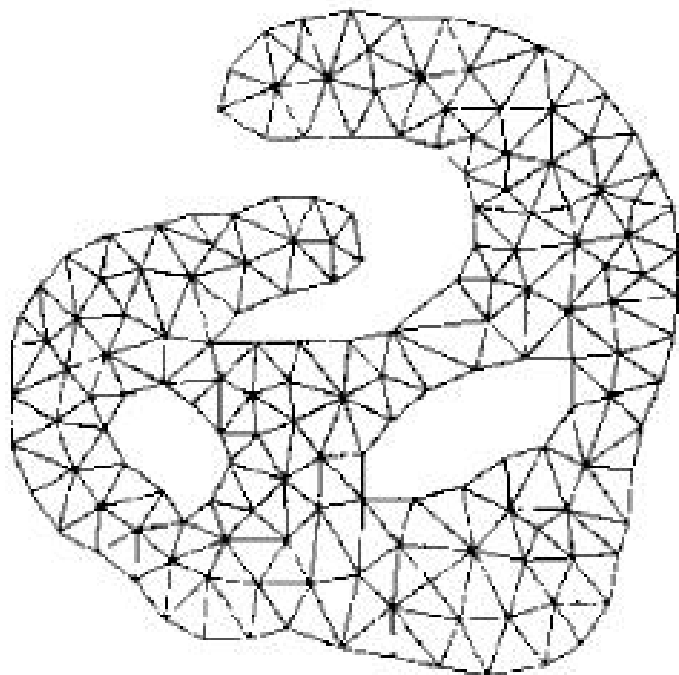
7 自适应网格

- 动态网格：与求解过程结合起来。
- 用最适合求解问题的方式来生成网格：在解的梯度大的地方网格自动加密，而在解的梯度小的地方网格自动变稀疏。
- 改进计算精度，并使数值误差分布趋于均匀

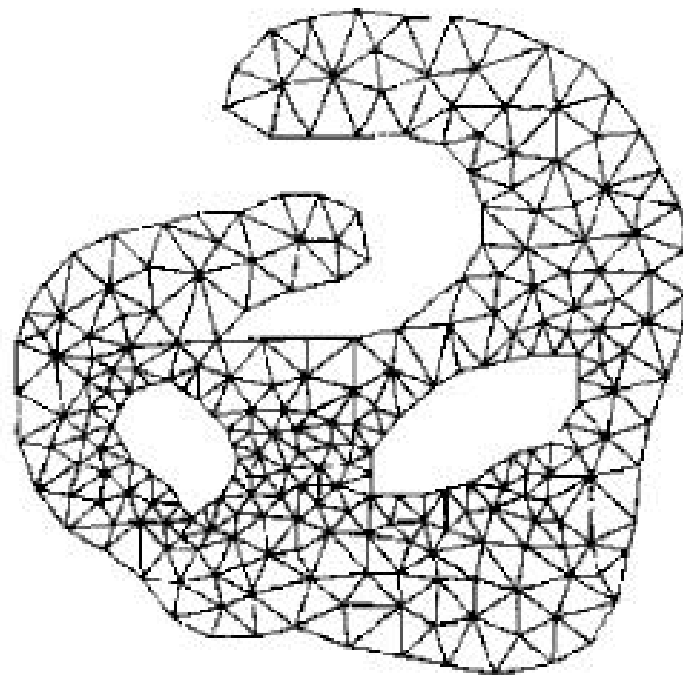
网格自适应化的方法

- 网格细化法 (h 型方法): 通过网格的进一步细化来实现自适应目标
- 重新分布法 (r 型方法): 指保持单元或节点数不变而通过重新分布节点位置实现自适应目标

通过边界点控制网格加密



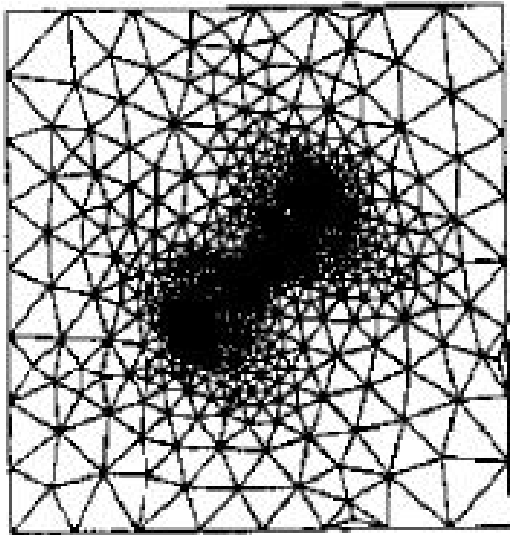
(a) 内边界加密前



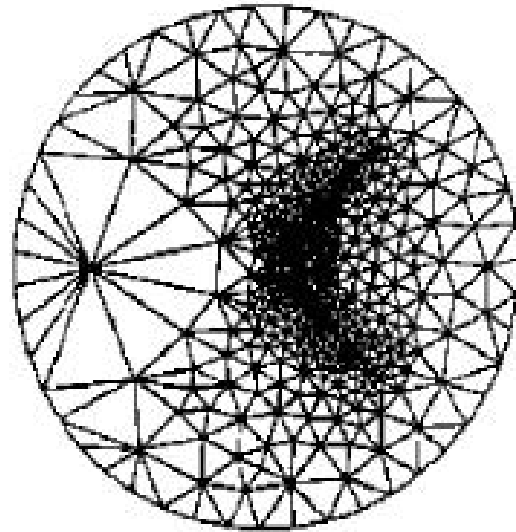
(b) 内边界加密后

图 2-69 通过边界网格点来控制网格疏密

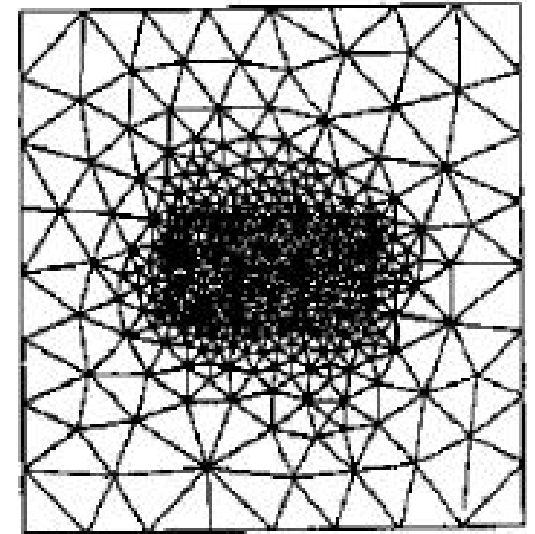
网格局部加密



(a) 点源



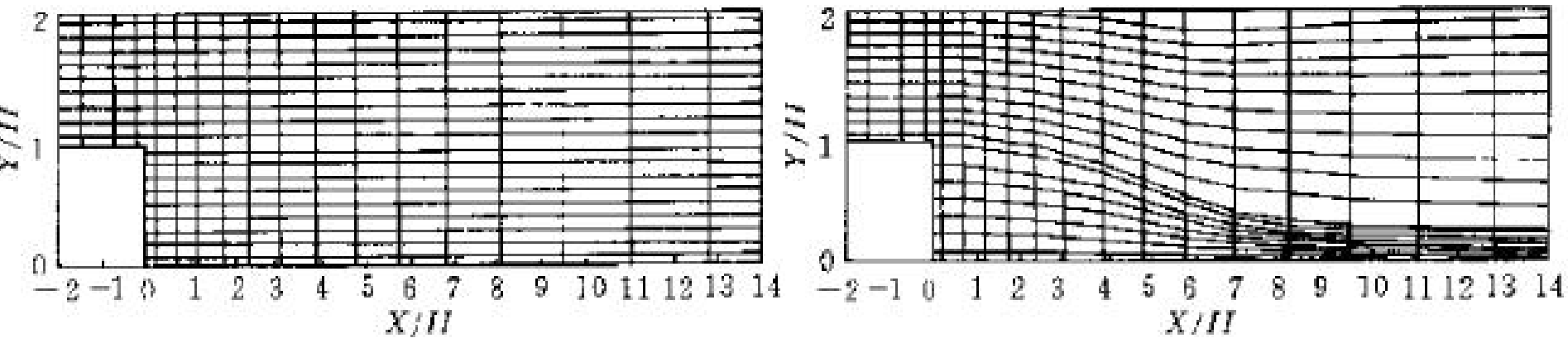
(b) 线源



(c) 块源

图 2 70 网格局部加密的实例

外掠后台阶流场计算的 网格自适应调整

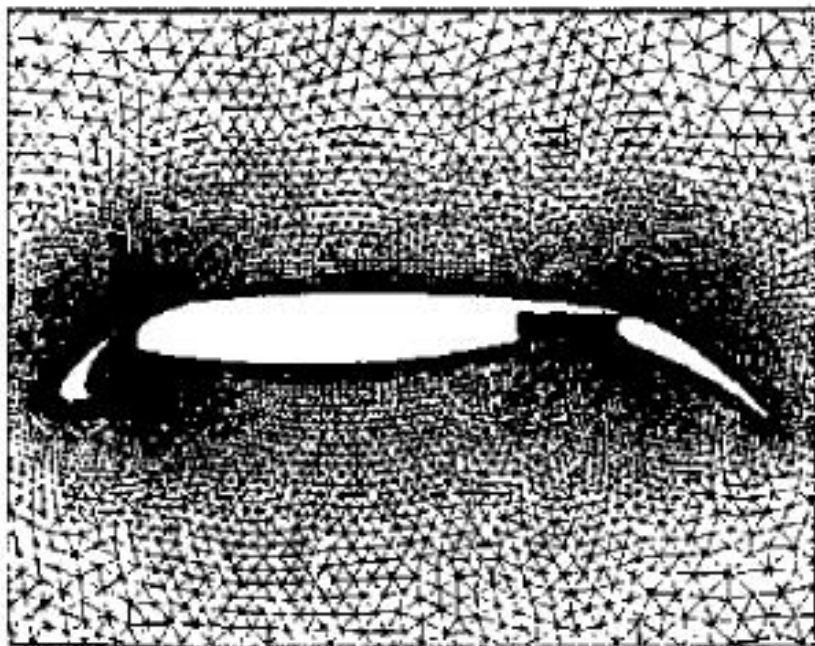


(a) 初始网格

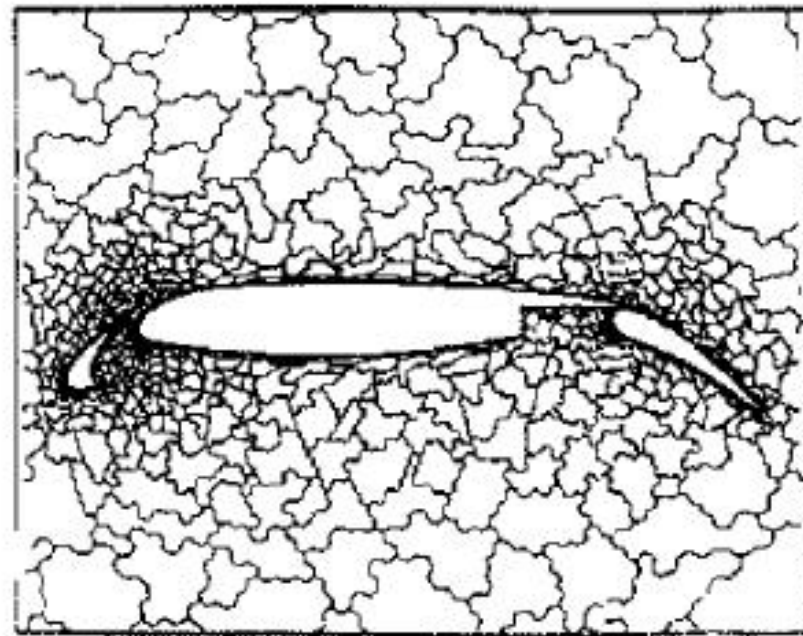
(b) 自适应处理后的网格

图 2-83 外掠后台阶湍流计算的网格

控制容积凝聚法生成的粗密网格

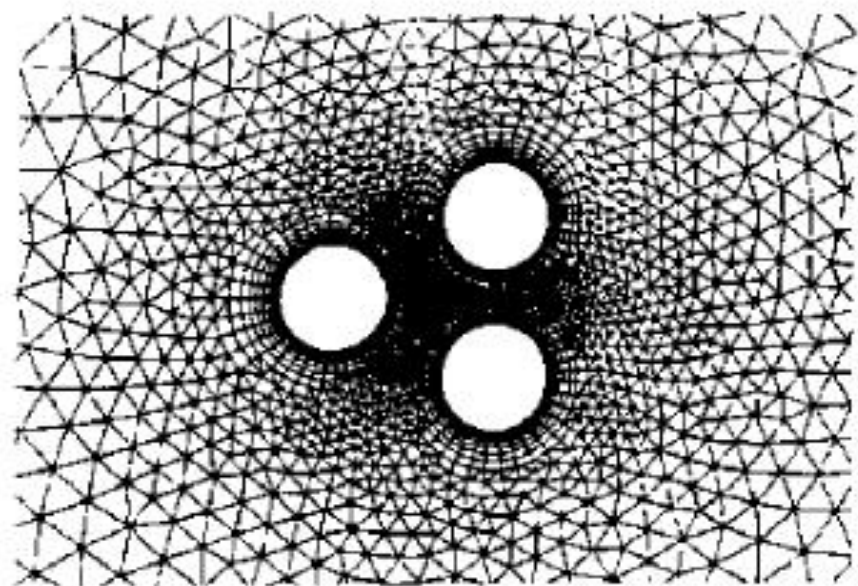


(a) 密网格

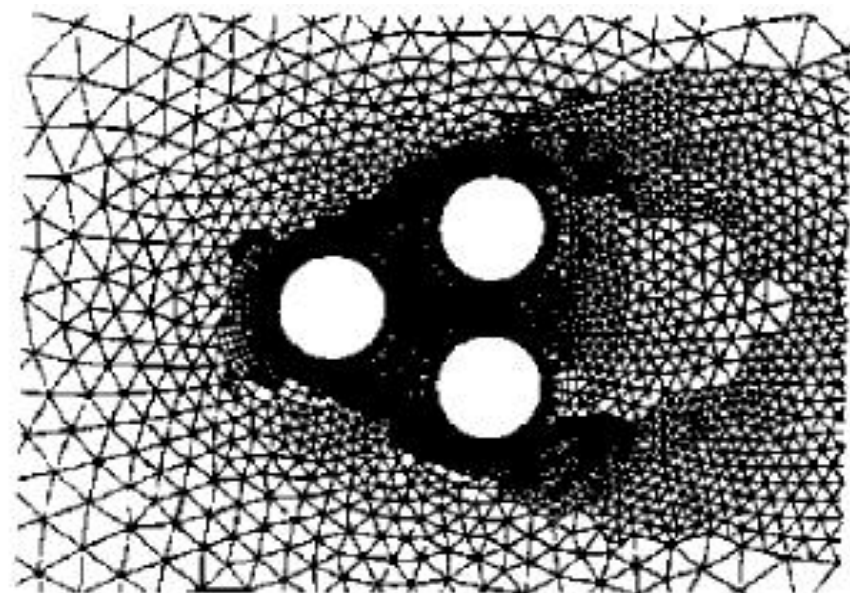


(b) 粗网格

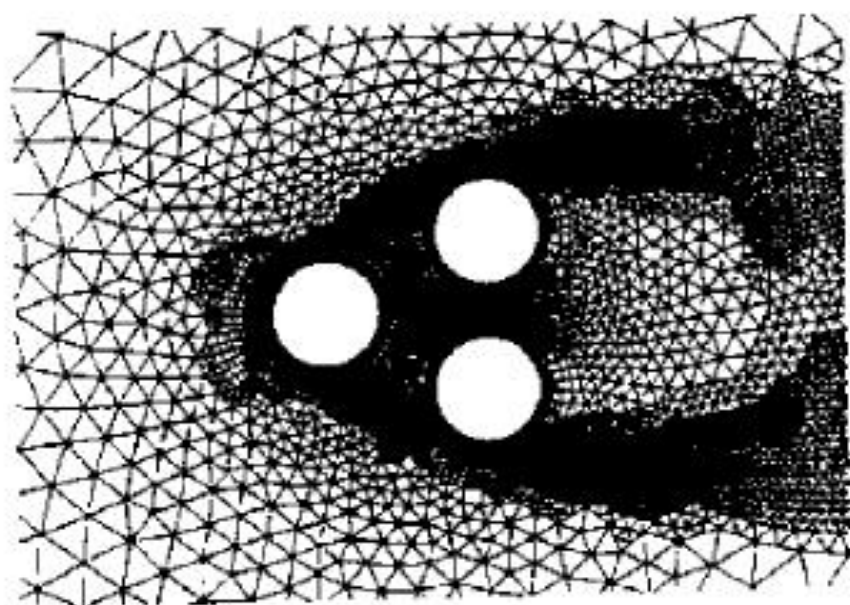
图 2.76 采用控制容积凝聚法生成的粗网格举例



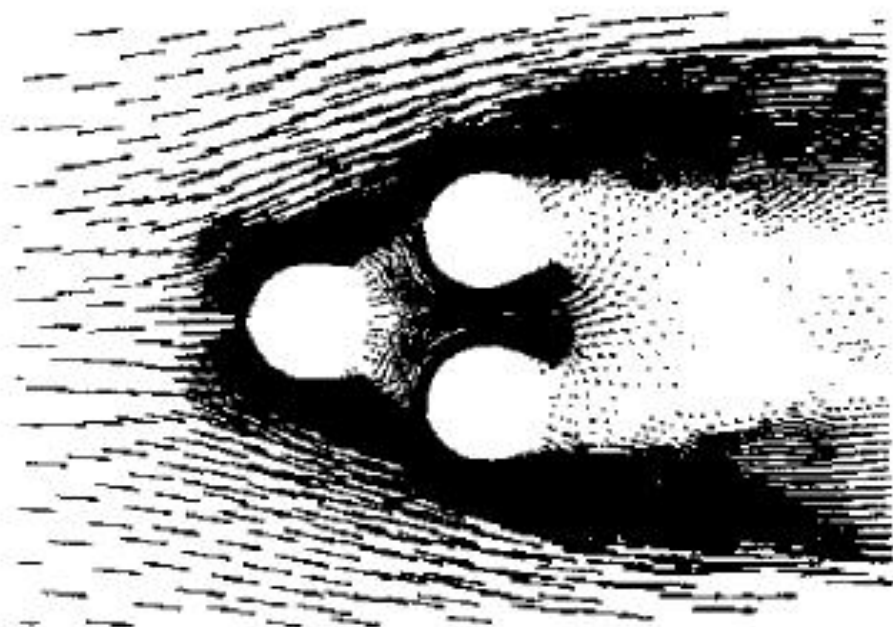
(a) 初始网格



(b) 一次自适应处理



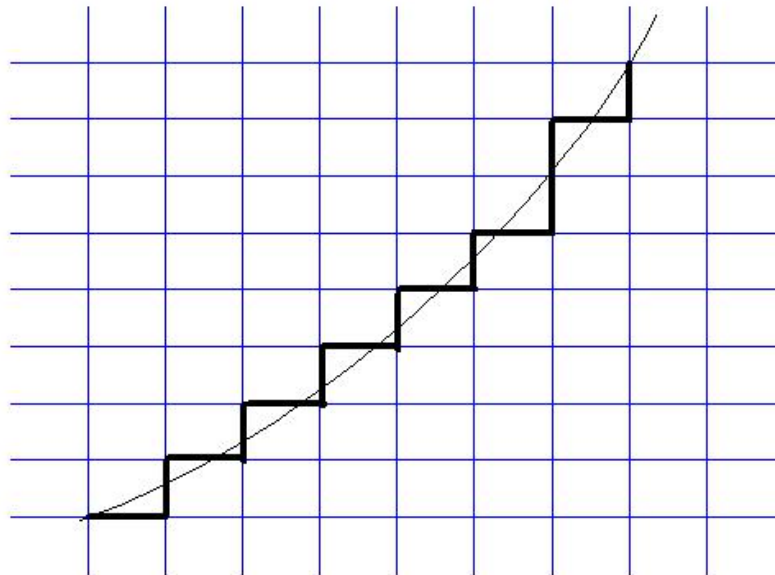
(c) 二次自适应处理



(d) 流场计算结果

8 区域扩充法

- 直角坐标系简单方便，不少研究者愿意在直角坐标系中进行复杂问题的数值计算
- 采用阶梯形边界逼近真实边界



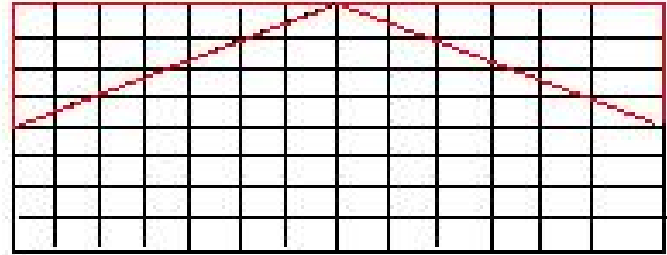
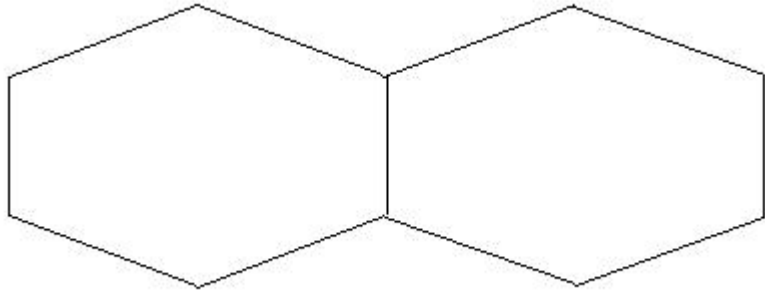
采用阶梯形边界逼近真实边界

- 在计算传热学发展的早期，曾广泛采用这种方法。由于这种网格的构造简单，可以适用于任何形状的物体，因而近年来又引起了许多研究者的兴趣，特别在计算大规模问题时（如环境工程问题）经常采用。并用局部加密的方法更好的逼近曲线边界



区域扩充法

- 把计算区域**扩充**为一个规则区域，则特殊边界处的处理可采用已有的对规则区域写出的计算程序
- **处理形状不是特别复杂的计算区域，有效**



流场计算

- 1 令扩充区外边界上 $u = v = 0$
- 2 令扩充区内流体的粘度为一个极大值 $10^{25} \sim 10^{30}$
- 3 界面上的当量扩散系数采用调和平均法

相当于把扩充部分看成是粘度为无限大的流体，结果该扩充区内的“速度”要比通道内的流体速度小许多量级

温度场计算：边界条件处理

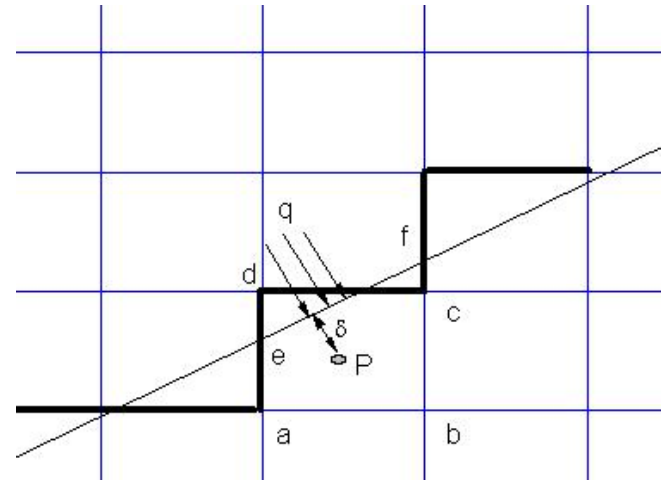
(1) 均匀壁温条件：可令扩充区的导热系数为无限大，而边界处温度则等于已知值

(2) 绝热边界条件：只要令扩充区中的导热系数为零即可

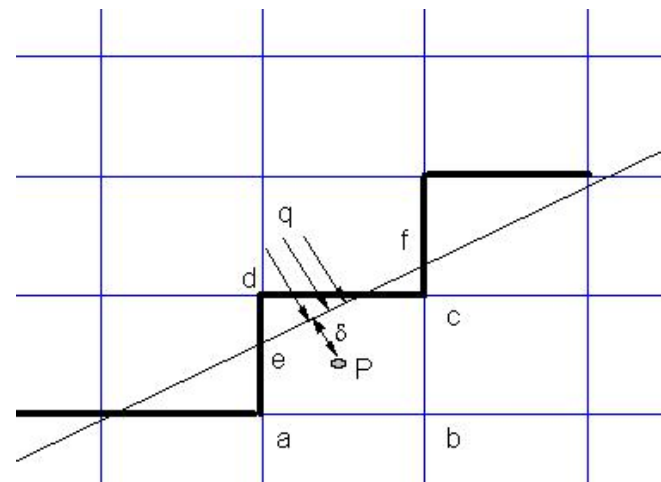
(3) 均匀热流边界条件：可以应用附加源项法。

控制容积P的附加源项为
$$S_{c,ad} = \frac{q \cdot \overline{ef}}{\Delta V_P}$$

同时令扩充区的导热系数为零



(4) 外部对流边界条件:
附加源项



$$S_{c,ad} = \frac{\overline{ef}}{\Delta V_P} \frac{T_f}{1/h + \delta/\lambda}; S_{P,ad} = -\frac{\overline{ef}}{\Delta V_P} \frac{1}{1/h + \delta/\lambda}$$

缺点: 不易实现自动化, 要较多的人工干预

