

FEM之前处理器开发(3)---网格(1)

www.cae-sim.com [多物理场仿真技术](#)

网格是有限元分析中很重要的一个因素，从技术方面考虑：

1. 网格的数量影响到求解的精度和效率
2. 网格的质量影响到求解的精度（网格单元是否畸形，网格密度是否合理）
3. 网格的阶次影响到计算精度
4. 不同分析类型对网格类型要求不同（相同的几何，流体，热，结构所需要的网格不同）
5. 复杂几何网格错误难以检查

从以下几个方面介绍前处理器中的网格开发

1. 网格生成算法
2. 网格类型与质量检查
3. 网格加密/自适应网格划分
4. 网格显示
5. 网格开源工具
6. 网格商业工具

1. 网格生成

结构化网格：

结构化网格具有统一的拓扑结构，区域可以划分为规则的单元，节点之间有规律的索引。结构化单元只适合于求解模型简单，几何规则的情况。结构化网格算法也比较简单很容易实现。

例如对一个六面体实体划分网格，在其中一个面上划分四边形，然后沿垂直该面方向上扫略即可生成规则的六面体网格。

非结构化网格：

大部分工程案例几何都不规则，网格需要使用非结构化网格。

常用的算法有：Delaunay三角形算法，波前法(Advancing front method)，映射(Mapping)方法，分治法，四叉树/八叉树。具体可参考《Mesh Generation》一书

网格工具与几何接口：

网格划分的对象是几何，因此需要定义好几何和网格工具的接口，即几何数据以何种方式传给网格工具。通常网格划分需要点线和边的数据，对于Nonmanifold几何，还需要提供公共部分的属性，比如相邻的面需要设置成double-side以方便网格工具识别。

网格参数：

网格参数的确定与调整，在开发过程中，网格的默认参数确定是一项比较繁琐的工作，没有哪个网格算法或者工具能够保证完全生成高质量的网格，尤其对于通用CAE软件，开发专业的CAE软件可能还好一点。需要找到高效的调试手段，保证网格生成的稳定和质量

2. 网格类型与网格质量检查

按形状分：

常用面网格：三角形/四边形；

常用体网格：四面体/六面体/金字塔/；

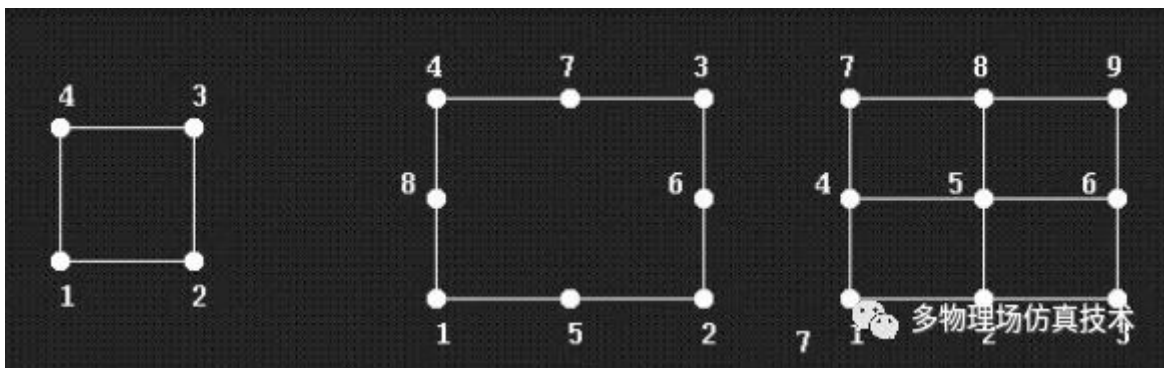
按阶次分：

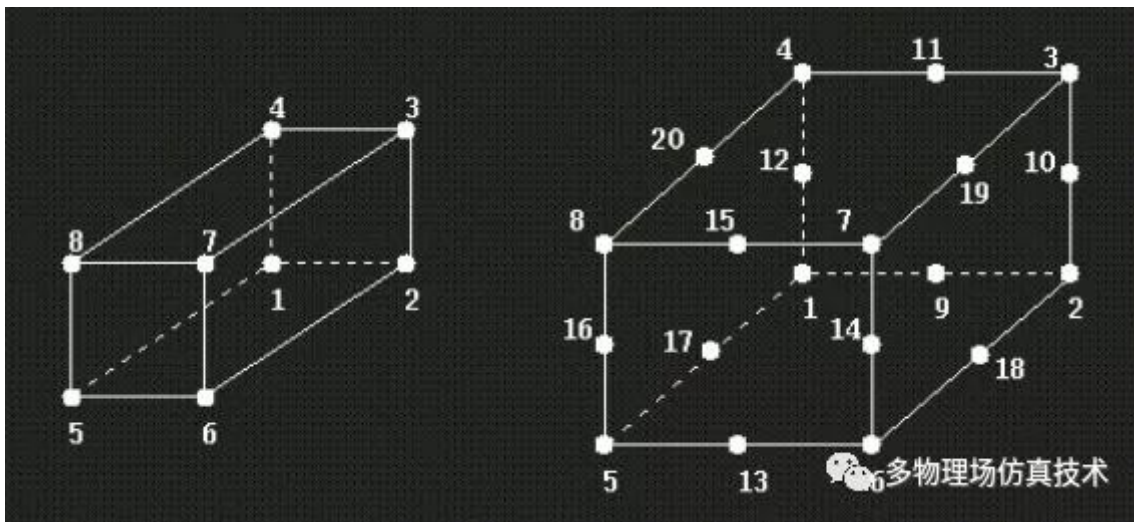
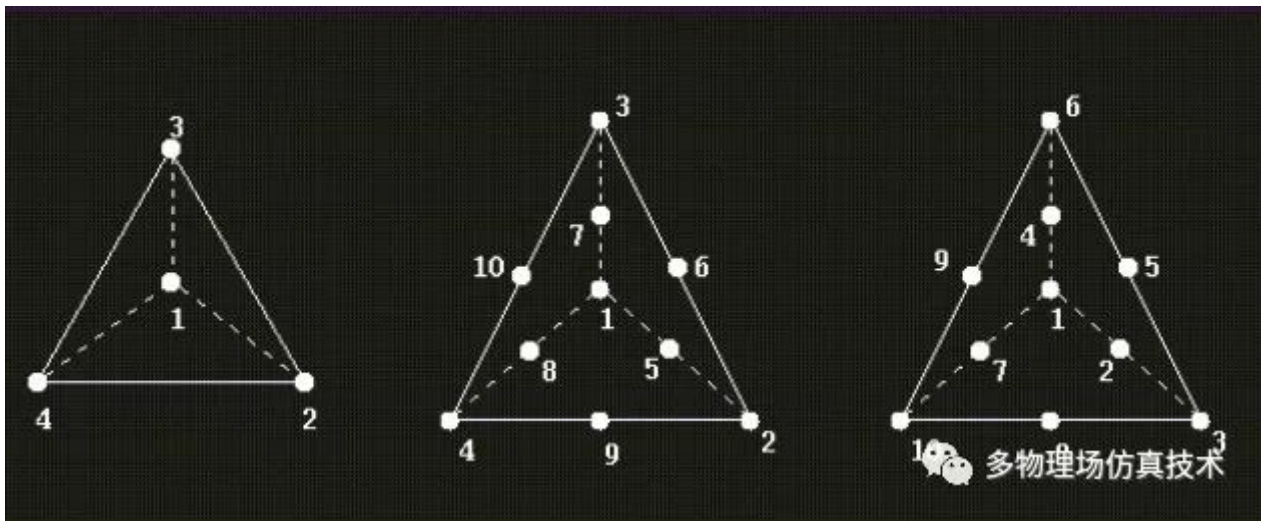
线性：每条边只有两个点；

二阶：每条边上中点有一个点；

多阶：每条边上中点有多个点；

几种常见类型网格：





质量检查：

网格质量直接影响到求解器求解的精度。差的网格甚至有可能导致求解器计算失败。

下面介绍一下常用的网格质量检查指标：

Aspect Ratio(纵横比)： 最长边与最短边的比值

Jacobian： 雅克比值反映了单元偏离理想形状的程度，取值范围从0-1，取值越高网格质量越好。

Skew (扭曲度)： $= 90 - \min(A1, B1)$ 其中A1 B1为单元中心线与底边夹角 $A1 + B1 = 180$

Warpage (翘曲角)：

Tetra Collapse (四面体坍塌比) $= \min(H / \sqrt{\text{Area}}) / 1.24$;

H为定点到对面的高度，Area为定点对面的面积，0为完全坍塌，1为正四面体。

由于一般网格数据量很大，通常调试网格质量做法是:生成网格后,转化为常用CAE软件网格文件格式，比如*.bdf，*.inp等，然后导入到HyperMesh中，检查网格质量。

3. 网格加密/自适应网格划分：

参考附录1-5：

FEA精度之网格加密(4)--ICEM网格质量分析；

FEA精度之网格加密(3)--HFSS网格质量分析；

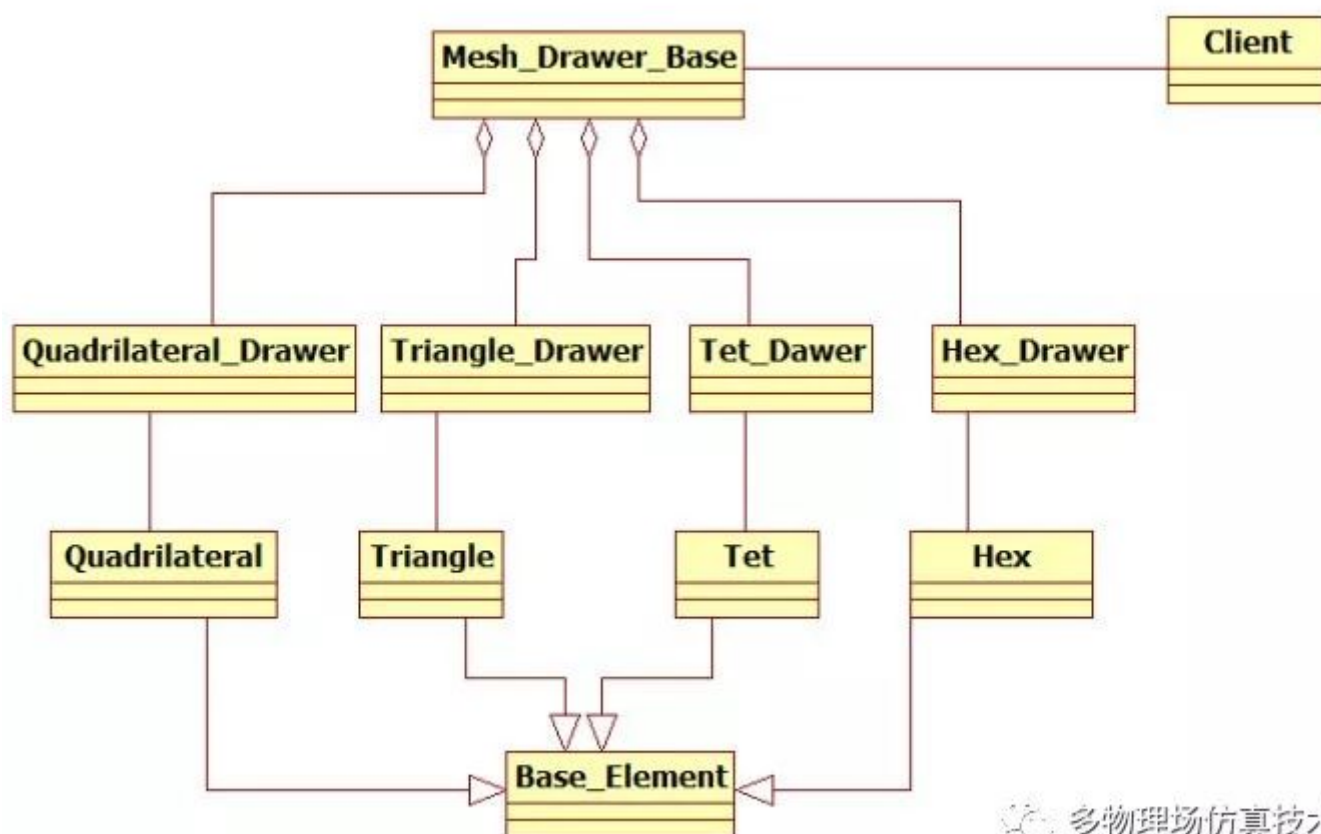
FEA精度之局部网格加密(3)；

FEA精度之局部网格加密（2）；

FEA精度之网格加密（1）；

4. 网格显示：

在有网格数据后，需要显示网格。网格的显示很容易实现，主要是结构的物理设计要注意一下。网格的数据结构可以使用公共组件的定义。定义如下结构：



多物理场仿真技术

网格数据结构仍然和单元数据结构保持一致，针对不同的单元设计不同的显示网格类，调用方只需调用Mesh_Drawer_Base接口。这样即能与有限元网格数据兼容，也实现了网格数据与显示的解耦，方便了整个结构的模块化。

5. 开源网格工具：

这里讨论的是能用于实际工程的开源工具，做研究和学术的工具不在之列。

开源的划分网格的工具箱很多，信手拈来就可以有一大串，但大部分的开源网格工具不是很难用，就是网格质量差，或是复杂几何划分不出来。以下介绍几个难易和实用程度都不错的开源网格工具：

Gmsh

<http://www.geuz.org/gmsh/>

Gmsh是一个自动的三维有限元网格生成器，并带有CAD生成功能和后处理器。支持三角形，四边形，四面体，六面体，三菱柱，金字塔形等。Gmsh生成的网格质量比起商业网格引擎毫不逊色。自带脚本生成几何的功能也为研发提供了不少便利，省去了利用商业CAD软件建模的开销。Gmsh提供可直接调用的Binary，也提供了源码。核心算法用C++实现。

TetGen

<http://www.wias-berlin.de/software/tetgen/>

TetGen是一个在德国的中国人写的生成四面体网格生成工具。考虑到目前大部分网格都是三角形和四面体，TetGen的从网格生成效率和质量，都相当不错。

NetGen

<http://www.netgen-toolbox.org/>

CGAL

<http://www.cgal.org/>

CGAL全称是Computational Geometry Algorithms Library。

网格划分只是其中一部分功能。作为一个通用的算法几何库，在网格生成功能方面也有相当的参考和实用价值。

以上几种工具不仅是自己用的比较顺手，在国外也被很多科研单位作为研发工具。

6. 商业网格工具：

这里介绍的商业网格工具是指用于研发的网格引擎，而不是划分网格的产品。以下几款都是本人用过的商业网格工具：

Distene

<http://www.meshgems.com/>

PTC，Ansys最新划分网格的工具。

特点：API接口调用简单，划分质量和效率都相当高。

缺点：不便宜

VKI

www.vki.com\

很多商业CAE软件划分网格工具，包括Ansys,Nastran.

特点：接口齐全，与商业CAD和商业CAE软件网格接口齐全。

缺点：不能生成六面体。

Simmetrix

www.simmetrix.com\

很多中小CAE软件划分网格工具.

特点：模块齐全，几何，网格，仿真都有涉及。

本文没有涉及到太多网格生成的技术细节，主要是自己在网格开发方面的一些经验和资源，希望对从事网格和CAE软件的研发人员有所帮助。

参考：

1. *HyperMesh&HyperView 应用技巧与高级实例*

2. *Mesh Generation*

3. <http://www.simmetrix.com/products/SimulationModelingSuite/GeomSim/GeomSim.html>

4. <http://www.cs.utexas.edu/users/dagh/welcome.html>

5. http://www.cgal.org/Manual/3.5/doc_html/cgal_manual/Mesh_3/Chapter_main.html

阅读： null

在看： null