

一篇文章入门网格划分

原创 www.cae-sim.com [多物理场仿真技术](#)



最近关注公众号朋友暴增，因此发表了很多之前文章，老朋友请忽略！

网格是多物理场仿真软件中的重要一环，本文主要从以下几个方面介绍网格：

1. 网格生成软件开发；
2. 网格生成软件工具；
3. 网格操作。

1. 网格功能开发

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/；

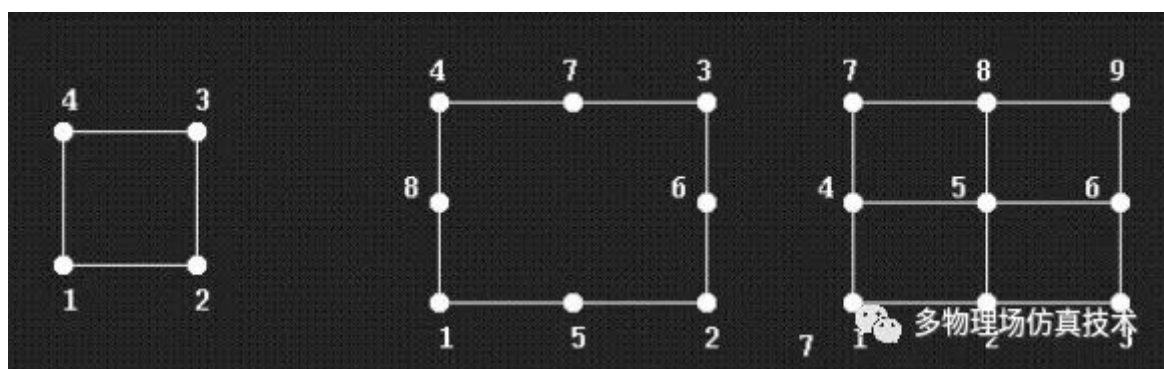
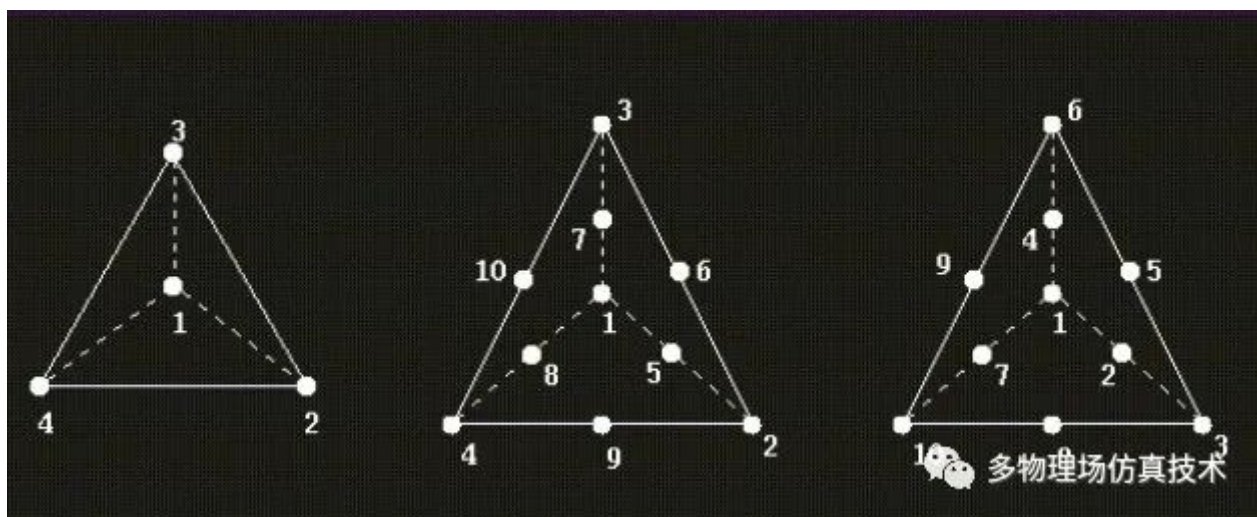
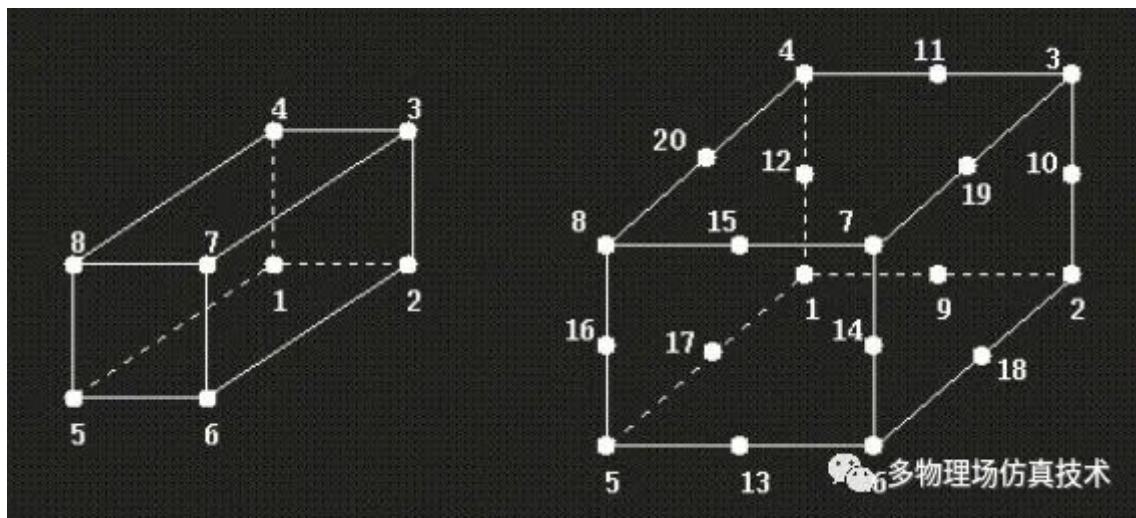
按阶次分：

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 Ration(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。

3. 网格加密/自适应网格划分：

参考附录

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。

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。

2. 网格软件工具

开发网格工具主要是软件工程师的工作，仿真应用工程师主要是使用网格软件工具。

网格划分失败，或者无效，主要由以下原因：

1. 几何信息错误

几何通常存在拓扑错误（比如边不连续，实体不封闭），自由边，面，细小狭长面，几何干涉等等。一般软件都有几何清理工具；

2. 网格质量差

几何没有问题，但是划分出来的网格无法进行计算，或者计算不收敛，很多情况下是由网格质量不合格造成。抛开网格引擎本身问题，网格质量不合格一方面和几何有关，还和网格参数设置有关。事实上网格参数有很多，而且大部分都相互排斥，比如可以设置网格整体数量，同时设置网格单元大小，这样就会产生冲突，具体实现依赖于网格引擎本身。

3. 网格不符合业务逻辑

好的网格质量表现在两方面：一数目尽可能少，二尽可能反应物理场变化特点。早期的仿真软件网格参数设置非常粗糙，完全依赖工程师经验。后来的软件可以根据物理场特点自动设置网格参数，并且引入自适应网格，大大提高了网格质量。

仿真软件前处理都有网格划分功能，工程师熟练掌握即可。通用前处理网格划分工具目前用的顺手的当属Hypermesh和ANSA。Hpyermesh上手快，门槛低，通常几何只要不要出现太大错误都能生成网格，而ANSA则相对入门较高。这也是两个工具的思路不同造成的：Hypemesh重在生成网格，而ANSA则重在高效的处理网格。对于新人，建议先使用Hypermesh，熟练后再转ANSA。

此外PointWise，CFmesh，Turbogrid等等也都是功能很强的专业网格划分工具。

3. 网格操作

据统计，仿真中80%的时间消耗在了前处理上，而前处理一半以上时间消耗在了网格生成中。

了解了网格软件开发和网格划分软件之后，更好的操作网格会大大提高工作效率：

1. 专业软件开发网格质量评估

网格质量评估的指标很多，对于开发人员，可以将生成的网格导出为中间格式，比如bdf, inp等，再导入到ANSA, Hypermesh中评价网格指标；

2. 网格文件中间格式

很多仿真项目有做benchmark的需求，比如在ANSYS中做的分析，我们可以导出为CDB，然后倒入Hpyermesh中，再导出inp，对比ANSYS和ABAQUS仿真结果；如果关键字出现问题，我们可以针对ANSYS或者ABAQUS做二次开发，自己将这些关键字加进去；

3. 自定义网格处理方法

对于大的网格文件，比如大于10G，在文件读写上会出现性能瓶颈。我们可以做二次开发，或者开发工具软件，将网格文件按照点坐标，单元分成多个文件，一个点坐标文件也可以拆分成多个，采用多线程乃至分布式处理，提高网格处理效率。

4. 网格流程质量改进

我们可以开发专业的网格质量改进工具。对前处理工具输出的初始网格优化加密，再保存为求解器输入网格文件，这种操作可以根据业务定义网格划分流程和改进质量，避免自适应加密或者人工加密，大大提高前处理效率。

在“多物理场仿真技术”博客和公众号文章中，有15%的文章和网格相关，足见网格在仿真中的重要地位。在后续文章中还会介绍六面体网格开发，分布式网格划分，以及OpenFOAM网格应用。

本公众号部分网格相关文章链接：

[深入解析HFSS自适应网格加密策略](#)

[人工智能在CAE领域的应用（2）---利用AI算法进行网格自动加密](#)

[仿真软件网格功能开发](#)

[FEA精度之网格加密\(3\)--HFSS网格质量分析](#)

阅读： null

在看： null