

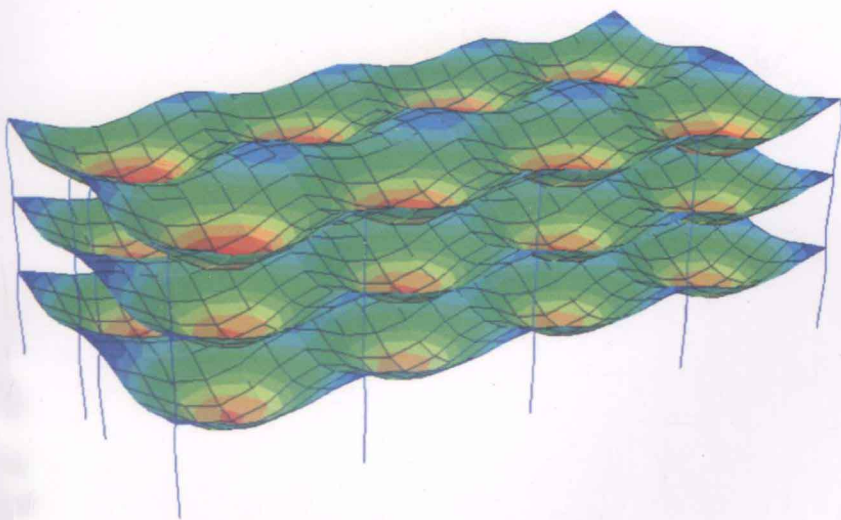
CAE 工程技术应用丛书

■ 聚焦建筑结构整体分析 ■ 结合软件分析与专业知识 ■ 深入解读重点与难点

ABAQUS

建筑结构分析应用

徐珂◎主 编
田立强◎副主编



中国建筑工业出版社

CAE 工程技术应用丛书

ABAQUS 建筑结构设计应用

徐珂 主 编

田立强 副主编



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

ABAQUS 建筑结构分析应用/徐珂主编. —北京:
中国建筑工业出版社, 2013. 12
(CAE 工程技术应用丛书)
ISBN 978-7-112-15772-3

I. ①A… II. ①徐… III. ①建筑结构-结构分
析-应用软件 IV. ①TU3-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 204005 号

本书共分 8 章, 包括学习 ABAQUS 前需要了解的事情、ABAQUS 结构常规应用——梁分析、ABAQUS 结构常规应用——板分析、结构分析常用单元介绍、框架模型与分析、模型控制与显示、结构模态分析、地震反应谱分析等, 书后还附有 INP 文件结构及常见错误分析, 内容全面翔实、实用性强。本书可供从事建筑结构分析工作的科研人员、设计人员学习 ANSYS 软件时参考使用, 也可供高等院校土木工程及相关专业师生学习参考。

* * *

责任编辑: 王砾瑶

责任设计: 张虹

责任校对: 姜小莲 关健

CAE 工程技术应用丛书
ABAQUS 建筑结构分析应用

徐珂 主 编

田立强 副主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京世知印务有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 13½ 字数: 340 千字

2013 年 11 月第一版 2013 年 11 月第一次印刷

定价: 35.00 元

ISBN 978-7-112-15772-3

(24542)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前言

ABAQUS 是个好软件

ABAQUS 是大型通用有限元分析软件，在土木、机械、仪表、水利、地质、航天、原子能等领域应用广泛。ABAQUS 在建筑结构分析领域里可以有效模拟各种结构形式，目前很多大型、复杂结构都会采用 ABAQUS 软件进行分析，包括从结构整体到局部节点，可以实现多种结构分析需求，网络和很多书都有介绍过。

ABAQUS 真是个好软件，它就像孙悟空手中的“金箍棒”！

ABAQUS 是结构师的利器

“工欲善其事，必先利其器。”这么好的软件难道不想掌握吗？

别人不会用，你会用是什么感觉？别人会用，你不会用又是什么感觉？

孙悟空的“金箍棒”被你拿到，你不就成了……

ABAQUS 开始学吧

既然已经使用过、掌握了很多种软件，学习 ABAQUS 软件应该也没有多大问题。现在网络、出版业都很发达，学习资料很多，照章学习就可以了。

菜单输入建模？INP 文件修改模型？Python 脚本提取分析结果？

“金箍棒”为啥不能变小放到耳朵里？

ABAQUS 好像不太好学

书已经看了好几本，上网也查了很多遍，自己亲手一试：

为什么还是不能顺利建模？

好容易把模型建立起来，为什么模型不是自己构想的样子？

分析结果终于出来了，结果与正确答案差之千里？

“金箍棒”好像是个传说！

ABAQUS 学习是要理清一些认识的

在校学生如果不能理解软件分析结果与所学知识的联系，那只是交作业式的软件应用，当未来工作中提出更高分析要求时，一切还会从零开始。

工程师如果不能理解通用有限元软件与傻瓜型结构设计软件的操作区别，不仅影响 ABAQUS 软件的学习速度和深度，还会影响对软件适用范围广度的认识。

ABAQUS 学习思路和理清关系是很重要的

各种资料已经介绍了很多建模和分析实例，还有各种菜单、keyword 的用法，看起来要想用好软件分析要掌握的东西太多了！INP 文件一篇接着一篇，看着都眼花，如何知道其中有没有错误？

英语也许有几十万个单词，但只要掌握三千个基本单词就可以在英语国家横行。

专业需求再高，基本命令不能熟练使用，那么每一次使用 ABAQUS 都会是痛苦的。

ABAQUS 在本书中出现哪些内容

本书不是 ABAQUS 使用大全，所以很多单元用法、keyword 不会出现在本书中，如果需要了解那些内容，可以看软件自带的用户手册，那里的内容更全面，不过对使用者的英语能力要求较高。

本书内容聚焦于建筑结构整体分析，不涉及节点分析，这与编者的工作性质和分析目标有关，细节内容以建模、分析、后处理的框架下讲述所涉及的各种命令和操作为主。

ABAQUS 本书的特点

本书有些内容可能与其他优秀的 ABAQUS 软件图书及结构理论书籍有相同之处，这是软件图书的特点。本书不同之处体现在细化对单元的理解，通过简单的例子逐步过渡到建立复杂结构模型，并结合结构分析原理加以说明，这符合结构师的工作原则。对于学习中容易忽略的重点和差异点书中会给出解释和对比性说明。

本书由徐珂、田立强、唐超编写，书中部分 INP 文件可以在徐珂的个人网站下载，网址为 <http://www.jiegoublog.cn/>。

目 录

第 1 章 学习 ABAQUS 前需要了解的事情	1
1.1 ABAQUS 与其他结构软件的学习差异	1
1.1.1 建筑结构分析软件分类	1
1.1.2 结构分析只是 ABAQUS 软件的一个重要功能	2
1.1.3 ABAQUS 软件可以进行哪些结构分析	4
1.1.4 软件操作方法	5
1.1.5 ABAQUS 软件的单位	6
1.1.6 荷载方向性	7
1.1.7 荷载组合	7
1.2 ABAQUS 文件类型和用途	7
1.3 本书的编写内容	8
第 2 章 ABAQUS 结构常规应用——梁分析	9
2.1 建立有限元分析模型	9
2.1.1 计算模型	9
2.1.2 建立一个梁单元模型有哪些方法	9
2.1.3 采用前处理程序 CAE 建模	10
2.1.4 直接写出分析模型的 INP 文件	23
2.1.5 建模方法的比较	27
2.1.6 单根梁模型用到的关键词 (keyword) 用法说明	28
2.1.7 简化的 INP 文件	34
2.2 单根梁静力分析后处理	36
2.2.1 查看梁的弯矩等值线结果	36
2.2.2 查看位移等值线结果	39
2.2.3 通过 X—Y 曲线查看详细分析结果	40
2.3 梁单元细分效果比较	44
2.4 梁截面偏移分析	50
第 3 章 ABAQUS 结构常规应用——板分析	52
3.1 建立有限元分析模型	52
3.1.1 计算模型	52
3.1.2 建立一个壳单元模型有哪些方法	52
3.1.3 采用前处理程序 CAE 建模	52
3.1.4 直接写出分析模型的 INP 文件	60
3.1.5 壳模型用到的关键词 (keyword) 用法说明	65
3.1.6 简化的 INP 文件	66
3.2 壳单元静力分析后处理	69

3.2.1 查看壳的位移等值线结果	69
3.2.2 通过 X—Y 曲线查看详细分析结果	69
3.3 壳单元细分效果比较	74
第 4 章 结构分析常用单元介绍	78
4.1 ABAQUS 单元	78
4.2 BEAM 单元	81
4.2.1 单元命名	81
4.2.2 梁单元空间定位	81
4.2.3 梁单元截面	82
4.2.4 选择合适的梁单元类型	85
4.2.5 梁横截面的方向	87
4.3 Shell 壳单元	89
4.3.1 单元命名	89
4.3.2 壳单元空间定位	90
4.3.3 壳单元截面	90
4.3.4 选择合适壳单元类型	93
4.3.5 壳单元方向	95
4.4 实体单元	98
4.4.1 单元命名	98
4.4.2 实体单元空间定位	99
4.4.3 实体单元截面	99
4.4.4 选择合适实体单元类型	99
4.5 桁架单元	103
4.5.1 单元命名	103
4.5.2 桁架单元空间定位	103
4.5.3 桁架单元截面	104
4.6 质量单元	104
第 5 章 框架模型与分析	105
5.1 框架模型数据及概况	105
5.2 建模和数据转化方法	105
5.2.1 框架结构模型的 INP 文件	106
5.2.2 量纲系统	107
5.2.3 节点空间定位数据转化	107
5.2.4 梁单元空间定位数据转化	109
5.2.5 壳单元空间定位数据转化	116
5.2.6 基底节点数据转化	118
5.2.7 壳单元编号数据转化	119
5.2.8 梁截面及材料数据转化	121
5.2.9 次梁节点约束释放数据转化	123
5.2.10 定义模型分析步	125
5.2.11 荷载数据的转换	127
5.2.12 模型 INP 文件及运行分析	131

5.3 静力计算的结果提取	136
5.3.1 基础反力的提取	137
5.3.2 结构位移结果查看	139
5.4 细分效果比较	141
5.5 框架结构模型用到的关键词 (keyword) 用法说明	143
第6章 模型控制与显示	145
6.1 视图控制	145
6.1.1 设置视图背景	145
6.1.2 设置部件视图角度	146
6.1.3 显示单元截面	146
6.2 编号显示	147
6.3 材料属性查询	147
6.4 单元截面显示	148
6.5 边界约束显示	148
6.6 窗口信息的显示	148
6.6.1 窗口字体的显示	148
6.6.2 整体模型变量的显示	149
6.6.3 整体模型全部荷载显示	151
6.6.4 显示单元或者节点的历史变量	151
6.6.5 选择单元	154
6.6.6 定义组及显示	156
第7章 结构模态分析	158
7.1 模态分析的定义 (前处理程序 CAE)	158
7.1.1 无阻尼体系	158
7.1.2 固有振动频率和振型	159
7.1.3 特征值的求解方法	160
7.1.4 特征值求解器的比较	161
7.1.5 结构模态分析用到的关键词 (keyword) 用法说明	162
7.2 模态分析	163
7.2.1 单根梁模态分析	163
7.2.2 壳单元模态分析	167
7.2.3 框架结构模态分析	172
第8章 地震反应谱分析	174
8.1 反应谱分析方法	174
8.1.1 反应谱的概念及地震反应谱分析的原理	174
8.1.2 反应谱分析的基本过程	176
8.2 多方向激励组合方式	176
8.2.1 结构多方向上激励的谱曲线相近	177
8.2.2 结构多方向上激励的谱曲线相差较大	177
8.3 各阶模态效应组合方式	178
8.4 谱曲线定义	179

8.5 获得结构重力代荷载代表值	180
8.6 反应谱分析使用的 keyword	180
8.7 反应谱分析实例	181
8.7.1 梁单元模型分析结果	181
8.7.2 壳单元模型分析结果	186
8.7.3 框架结构模型分析结果	191
附录 A 本书用到的关键字 (keyword) 索引	200
附录 B INP 文件结构及常见错误分析	202

第1章 学习 ABAQUS 前需要了解的事情

1.1 ABAQUS 与其他结构软件的学习差异

1.1.1 建筑结构分析软件分类

结构分析软件有很多种，结构工程师会接触到的分析软件有 PKPM、3D3S、MTS、MST、ETABS、SAP2000、MIDAS、STAAD/PRO、ABAQUS、ALOGR、ANSYS、NASTRAN、MARC、LS-DYNA、广厦系列等等，从使用目的可以简单地分为两大类：结构设计软件和通用有限元分析软件。

第一类是服务于结构设计终端产品倾向于结构构件设计的软件，如 PKPM、ETABS、BUILDING、广厦系列等软件，这类软件的最大特点是为结构施工图服务，俗称“配筋软件”或“构件验算软件”。为了满足工程设计需求，结构分析功能重要性相对整个软件功能并不突出，对于这些软件而言，结构建模、分析、规范设计都是很重要的功能，功能均衡发展是此类软件开发的重要事项。这些软件一般仅适用于结构设计工作，满足结构师快速设计需求，软件开发尽量向傻瓜操作方式发展，一般不提供二次开发端口，将各种分析假定内置化，使结构师对假定条件干预的可能性减到最少，分析过程也称“黑箱”分析，分析结果一般为固定格式，软件的所有功能都是围绕构件设计和设计规范进行设置，如果结构师需要了解更多分析成果时，往往受到软件计算程序开发原则的限制而达不到要求。

第二类是通用有限元分析软件，如 ABAQUS、ANSYS、ALOGR、NASTRAN、MARC、LS-DYNA 等系列软件，这类软件最大特点是以力学性能分析为主，其应用范围非常广泛，可以模拟各种物理模型，通过多种分析求解器，进行多种力学性能分析，广泛应用于航天、汽车、建筑、电子、能源、材料领域。这类软件不含有结构设计功能，不能直接服务于结构施工图，需要用户进行二次开发来满足这类要求，对于高级用户具有更大的发挥空间。由于强调软件使用的通用性，在结构整体建模方面不如第一类软件方便，所有控制性命令都需要用户进行设定，包括构件材料、构件细分尺寸、分析类型、功能开关等等，分析结果因分析目标差异而表现不同，这就需要结构师具有良好的结构概念和理论知识储备，用于判断软件计算结果合理性，如果结构师不能判断其合理性而直接采用结果，有可能带来灾难性的事故。

ABAQUS 软件是第二类软件中应用较广的软件之一，其技术覆盖多个学科领域，其在结构设计领域中的认知度非常高，操作性很强，通过表 1-1 可以了解 ABAQUS 软件与常用的第一类软件的使用差异。

还有一类结构分析软件的功能介于两类软件之间，如 SAP2000、MIDAS/GEN、STAAD/PRO 等系列软件，这类软件的特点主要是针对建筑结构整体性能分析，其有限元通用性和分析功能弱于第二类软件而强于第一类，其设计功能如构件验算要强于第二类

第一类软件与 ABAQUS 软件对比

表 1-1

对比项	第一类软件	ABAQUS 软件
建模方式	傻瓜式、按固定格式输入	开放式、可以建立复杂模型
求解能力	一种求解器针对特定模型计算	多种求解器针对不同模型计算
分析功能	结构分析(静力、模态)	结构、热、流体、电磁场、耦合场分析
非线性分析功能	无或模拟非线性功能	几何、材料、接触、单元非线性
二次开发能力	无或弱	强大

软件而弱于第一类软件。

1. 1. 2 结构分析只是 ABAQUS 软件的一个重要功能

ABAQUS 软件作为国际上最先进的大型通用有限元软件之一，具有惊人的广泛的模拟性能。其庞大的求解功能，以及非线性力学分析能力均已达到世界领先水平。ABAQUS 软件拥有大量不同种类的单元模型、材料模型、分析过程等。无论是分析一个简单的线弹性问题，或者是一个包含几种不同材料、承受复杂的机械和热载荷过程以及变化接触条件的非线性组合问题，应用 ABAQUS 软件计算分析都会得到令人满意的结果。

结构设计软件的功能目标很明确，就是为了给结构工程师提供施工图终端服务的，各种界面设置都是围绕工程师关心的事情出现的，再配合“傻瓜式”的服务理念，大部分的功能都集成化，也符合结构工程师的思维模式，因此结构设计软件的应用非常直接而广泛。不同的结构设计软件可能在界面上有差异，但菜单设计是按照结构工程师的设计思路排序的，有经验的工程师可以不经训练就可以通过软件操作进行施工图设计。

ABAQUS 的界面设计不是以“傻瓜式”为主导，基于多种分析的需要，菜单排布是以多种分析功能服务的，而结构分析是整个功能一部分，所以当 一个结构工程师初次打开 ABAQUS 操作界面如图 1-1，肯定是茫然的，这里看不出来有哪些按钮对结构分析有用，

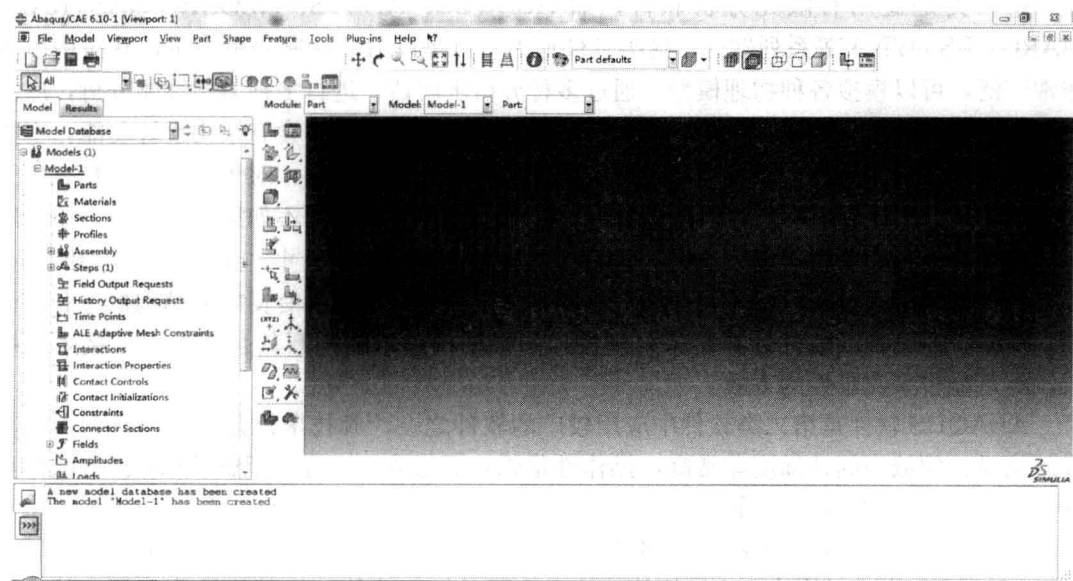


图 1-1 ABAQUS 开始界面

如果不经训练或者他人指导，大部分初学者很快就会产生畏难情绪。

这是很正常的反应，在很大程度上阻碍了一些结构工程师学习使用 ABAQUS 软件的热情，按照第一类结构设计软件的使用经验，界面上的这些命令都是需要用户掌握的，这样才可以有效地进行结构设计工作，这对于学习 ABAQUS 软件是一个误区。ABAQUS 软件的功能非常强大，可以做很多有趣的分析，比如汽车碰撞模拟、齿轮咬合接触分析、机械部件热传导分析，用户只要有兴趣都可以去模拟，但这些与建筑结构分析无关，而且这部分的分析菜单和命令非常多，如果用户在学习过程中将大量时间用于学习这些操作，很快就会成为优秀的机械工程师而不是结构工程师！

例如当用户双击【Model Database/Models (1)/Modes-1/Material】项，会弹出 Edit Material 对话框，如图 1-2 所示，可以看到材料模型需要定义的内容包括“General（一般属性）、Mechanical（力学属性）、Thermal（热能属性）、Other（其他属性）”，结构分析一般定义“General（一般属性）、Mechanical（力学属性）”即可，其他如热能属性等对结构工程师可能是没有意义的。

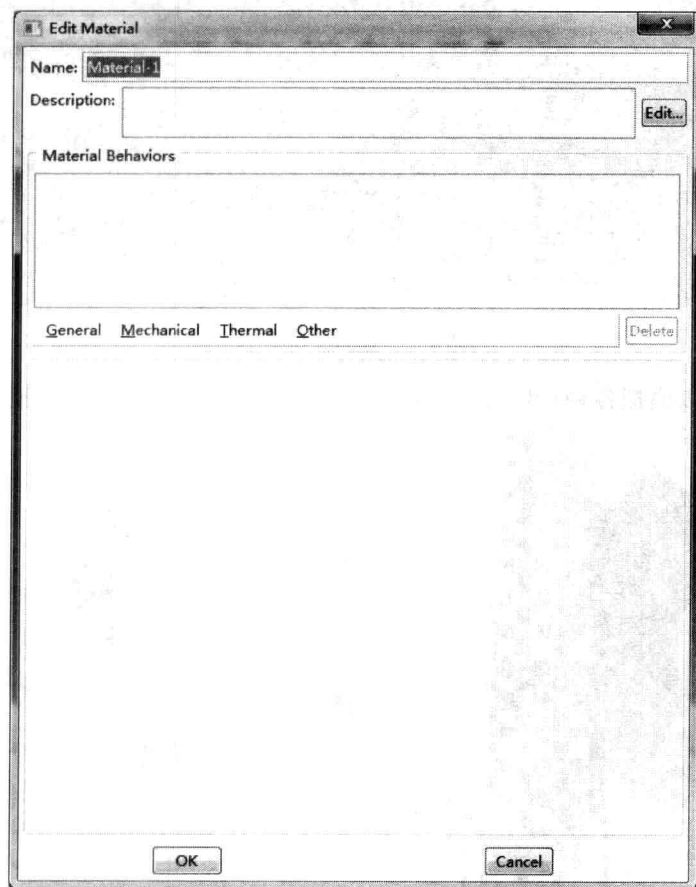


图 1-2 Edit Material 对话框

通过上面的介绍可以明确学习和使用 ABAQUS 软件与第一类软件之间的差异，结构工程师只需将学习重点集中在结构分析所需要的内容上即可，而不必浪费更多的时间用到

不需要的内容上。这就像结构师使用 AUTOCAD 软件一样，软件提供了非常多的菜单选择，结构工程师只用其中的一部分就可以实现结构图纸绘制。

1.1.3 ABAQUS 软件可以进行哪些结构分析

ABAQUS 属于通用有限元软件，在理论上可以模拟各种结构形式和细节，在整体分析上可以获得结构设计所需各项指标，图 1-3 是“鄂尔多斯迎宾馆 5 号楼”整体计算模型，包含 78000 个节点、56000 个梁单元、66000 个壳单元，设计中常用的结构模态、自振周期、节点位移、加速度、特征值屈曲等指标都可以通过分析获得结果。

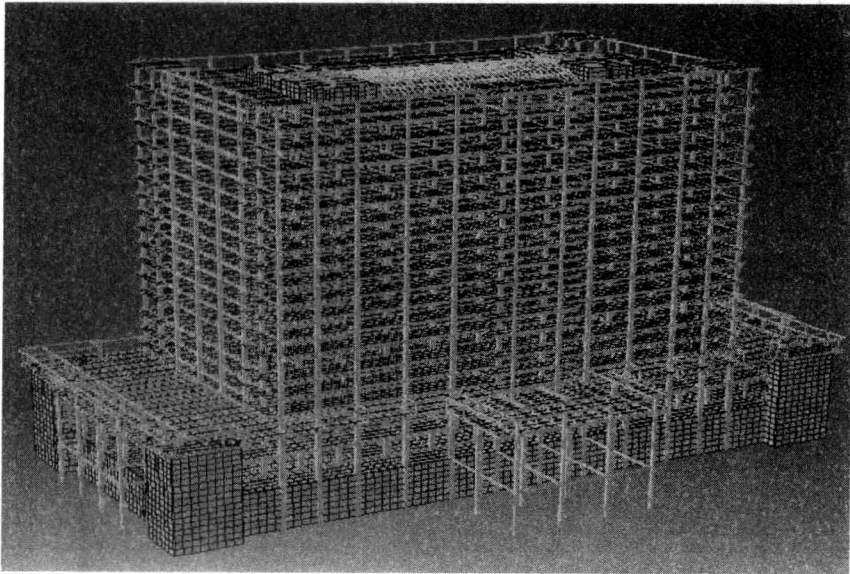


图 1-3 整体分析模型

在细节上可以模拟各种特殊节点获得应力状态，图 1-4 是桁架节点模型，一个是桁架

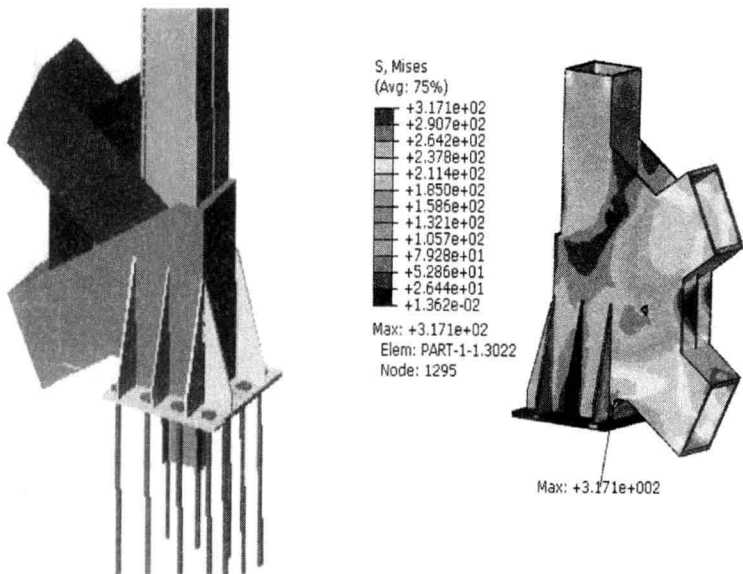


图 1-4 节点细分和分析结果

节点分析建模时单元情况，一个是桁架节点的应力分布情况。这类分析是在整体分析完成的前提下，将节点抽取出来，给出周边约束、强制位移等条件，按一定细分规则划分成有限元模型，通过分析得到应力结果。

通过上面两个例子可以看出，结构工程师使用 ABAQUS 软件要明确分析目标是哪一类，整体分析和节点分析是两种分析方法，构件单元的选择也不一样，整体模型中一般选择 ABAQUS 单元库中的梁（BEAM）单元，节点分析一般选择壳（SHELL）单元或实体（SOLID）单元，不同单元的结果输出方式不一样，所以在设计工作中，使用 ABAQUS 软件也可以分为整体和节点两大类，这是初学者必须分清楚的。

按照 ABAQUS 软件用户手册介绍，结构分析有七种分析功能：（1）静力分析，含线性和非线性功能；（2）线性结构特征值屈曲分析；（3）线性结构模态分析；（4）线性结构谐响应分析；（5）瞬态动力分析；（6）模态分析扩展谱分析；（7）显式动力分析。

在非线性分析方面，ABAQUS 软件可以实现：（1）材料非线性；（2）几何非线性；（3）接触非线性；（4）单元非线性；（5）混合非线性。

1.1.4 软件操作方法

ABAQUS 包含一个全面支持求解器的前后处理模块——ABAQUS/CAE，以及两个求解器模块——ABAQUS/Standard 和 ABAQUS/Explicit。前处理模块 ABAQUS/CAE 是 ABAQUS 的交互式图形环境，可以用来建立分析模型，为各部件定义材料特征、荷载、边界条件等模型参数，并可以检验所建立的分析模型，提交、监控和控制分析作业，然后使用后处理模块来显示分析结果。分析模块 ABAQUS/Standard 是一个通用的分析模块，它能够求解广泛领域的线性、非线性问题，包括静态分析、动态分析，以及复杂的非线性耦合物理场分析等。分析模块 ABAQUS/Explicit 可以进行显示动态分析，它适于求解复杂的非线性动力学问题和准静态问题，特别是用于模拟短暂、瞬时的动态时间，如冲击和爆炸问题。此外，它对处理接触条件变化的高度非线性问题也非常有效。

多数使用第一类软件的工程师都会有一个先入为主的概念，即软件命令都是通过菜单方式完成的，这个看法是没有错误的。ABAQUS 软件确实可以前处理程序建立结构分析模型，当用户建立一个比较简单模型时，这种方法比较简单易于上手，但对于复杂模型或大型模型修改时就比较麻烦，因为 ABAQUS 软件的特长是分析功能，建模功能相对是个弱项。

ABAQUS 软件提供另一种方式建立结构分析模型，即直接按照特定格式写出结构模型的文本文件并存储为 INP 文件，用户可以有两种方法执行操作，第一种方法是可以通过【File/Import/Model...】读入 INP 文件；第二种方法是直接将 INP 文件提交给求解器进行分析。两者的区别是，将 INP 文件读入 ABAQUS/CAE 模块，可以方便地检查模型，但是还需要定义作业，并需要在 CAE 中提交分析，并且在 INP 文件中某些关键字不能被 CAE 识别，需要使用【Edit Keywords】添加 CAE 不能识别的关键字，该方法适合于需要检查模型是否正确。第二种直接将 INP 文件提交给求解器进行分析。适合于已经确定模型正确，可以直接分析的结构模型。一般情况下，两种方法都经常使用，第一种方法用来检查模型是否正确，第二种方法是将经第一种方法检查过并确认其正确的模型提交给求解器进行分析。

1.1.5 ABAQUS 软件的单位

习惯设计软件自动进行单位换算的用户, 需要知道 ABAQUS 软件是不进行单位换算工作的, 或者可以理解为软件中不存在单位制, 所有的单位是用户自己制定, 一般先确定几个物理量的单位, 然后导出其他的物理量的单位。软件默认用户从模型输入到结果输出是保持一致的。

例如很多用户输入线荷载时习惯使用“kN/m”单位, 在输出单元应力时则使用“N/mm²”单位, 在使用 ABAQUS 软件时, 如果输入线荷载时采用“kN/m”单位, 输出的应力结果只能是“kN/m²”单位, 用户如果希望得到“N/mm²”单位, 需要在输入时使用“N/mm”单位。

用户可按下面的原则选用单位制:

1. 如果所有的单位都统一使用国际单位制, 那么计算的所有结果也为国际单位制。
2. 如果使用非国际单位制, 需要先确定几个基本物理量的单位, 然后根据基本物理量推导出其他物理量的单位。

基本物理量及其量纲:

长度 L; 质量 m; 时间 t; 温度 T;

导出物理量及其量纲:

速度:	$v=L/t$;
加速度:	$a=L/t^2$;
面积:	$A=L^2$;
体积:	$V=L^3$;
密度:	$\rho=m/L^3$;
力:	$f=m \cdot a=m \cdot L/t^2$;
力矩、能量、热量、焓等:	$e=f \cdot L=m \cdot L^2/t^2$;
压力、应力、弹性模量等:	$p=f/A=m/(t^2 \cdot L)$;
热流量、功率:	$\psi=e/t=m \cdot L^2/t^3$;
导热率:	$k=\psi/(L \cdot T)=m \cdot L/(t^3 \cdot T)$;
比热:	$c=e/(m \cdot T)=L^2/(t^2 \cdot T)$;
热交换系数:	$C_v=e/(L^2 \cdot T \cdot t)=m/(t^3 \cdot T)$;
粘性系数:	$K_v=p \cdot t=m/(t \cdot L)$;
熵:	$S=e/T=m \cdot L^2/(t^2 \cdot T)$;
质量熵、比熵:	$s=S/m=L^2/(t^2 \cdot T)$;

明确这个情况后用户可以按自己的习惯来自定义软件计算的统一单位制, 从结构分析的实用性和力学国际单位制出发, 建议使用 mm-kg-s-N 或 m-kg-s-N 量纲制, 本书所有例题均使用 m-kg-s-N 制。

当使用 mm-kg-s-N 制时, 一些习惯用法的数据关系如下:

长度	$1\text{mm}=1 \times 10^{-3}\text{m}$
面积	$1\text{mm}^2=1 \times 10^{-6}\text{m}^2$
体积	$1\text{mm}^3=1 \times 10^{-9}\text{m}^3$
质量	$1\text{N} \cdot \text{t}^2/\text{mm}=1\text{kN} \cdot \text{t}^2/\text{m}$

集中力	$1\text{N}=1\times 10^{-3}\text{kN}$
线荷载	$1\text{N/mm}=1\text{kN/m}$
面荷载、应力	$1\text{N/mm}^2=1\times 10^3\text{kN/m}^2$
弯矩	$1\text{N}\cdot\text{mm}=1\times 10^{-6}\text{kN}\cdot\text{m}$
重力加速度	$9800\text{mm/s}^2=9.8\text{m/s}^2$

1.1.6 荷载方向性

用户在 ABAQUS 软件中设置荷载时，需注意荷载的方向性，这与设计软件中预设好荷载受力方向是不同的，例如工程师设计的办公室楼面活荷载为 2.0kN/m^2 ，其隐含的条件是默认重力方向为力的正向，因此该数值为正值。在 ABAQUS 软件中没有默认方向，模型既可以指定以 Z 轴为重力方向，也可以指定以 X 轴或 Y 轴为重力方向，这一切都由用户来指定，那么荷载的方向就与设置模型的方向有关，当结构模型按整体坐标 (X-Y-Z) 方式设置，并指定 Z 轴负向为重力方向，用户在输入办公室活荷载时，就应输入 -2.0kN/m^2 ，因为模型中楼层高度是随着 Z 轴正向升高，重力荷载方向与之相反，所以其值为负。

1.1.7 荷载组合

荷载组合是结构设计方法，例如工程师设计的办公室楼面永久荷载为 4.0kN/m^2 ，活荷载为 2.0kN/m^2 ，则荷载标准组合值为 $1.0\times 4.0+1.0\times 2.0=6.0\text{kN/m}^2$ ，荷载设计组合值为 $1.2\times 4.0+1.4\times 2.0=7.2\text{kN/m}^2$ 。

在弹性计算范畴下，常用的设计软件的计算方法是先分别计算永久荷载效应和活荷载效应，然后将各工况荷载效应分别乘以分项系数按组合规则计算，最后得出荷载组合效应，这些计算步骤一般会集成在设计软件的程序中，不需要用户干预。

ABAQUS 软件不提供荷载组合功能，需要用户自己进行组合，在弹性分析范畴下，无论是先进行荷载组合然后进行效应分析，还是先进行荷载效应分析然后进行效应组合，其结果都是一样的，在荷载变化不多的情况下，建议用户直接完成荷载组合后进行效应分析。

荷载数量较多时，用户直接完成荷载组合可能不利于交流，这时可以采取将各种工况写在外部文件里，通过荷载叠加方式输入到模型中，可以实现荷载组合的效果。

1.2 ABAQUS 文件类型和用途

ABAQUS 软件在使用过程中会自建很多文件，用户需要了解这些文件的用途，文件会出现在软件工作目录中。

ABAQUS 文件类型和用途 表 1-2

文件后缀	文件格式	文 件 用 途
Jobname. cae	二进制	模型数据库
Jobname. jnl	文本	日志文件
Jobname. inp	文本	模型数据文件
Jobname. odb	二进制	输出数据库文件

续表

文件后缀	文件格式	文 件 用 途
Jobname. dat	文本	对输入文件的预处理信息及错误警告信息
Jobname. msg	文本	隐式分析与迭代收敛有关的参数设置及分析过程信息
Jobname. sta	文本	显示分析过程信息
Jobname. log	文本	环境变量设置不当、子程序运行异常等错误信息

用户在使用过程中接触比较多的是信息文件（Jobname. dat、Jobname. msg）。这两个文件均为 ASCII 格式文本文件，用户可以使用外部文本编辑器查看和编辑其内容。

1.3 本书的编写内容

本书编写目的是帮助结构工程师学习如何通过 ABAQUS 软件进行结构整体分析，包括模型的建立、属性设置、约束与荷载指定、分析选项控制、结果后处理等内容。结合初学者在学习中的疑问，将学习中容易发生理解歧义的关键点进行举例或对比性介绍。本书不涉及节点细节分析。

本书所给例子将围绕一根梁、一块板、一个框架共三个例子展开。根据编者的学习经验，软件学习的过程中，用户对模型掌握的越深，学习的障碍就越小，因此本书放弃多数软件图书中采用一个例子一个模型的编写方式，这样便于初学者在学习过程中始终对结构模型有充分了解，将学习的重心放在分析控制上，不会因为讲解不同的分析选项，就重新认识、调试一遍新模型。