



CAD/CAM/CAE工程应用丛书

ABAQUS 6.12

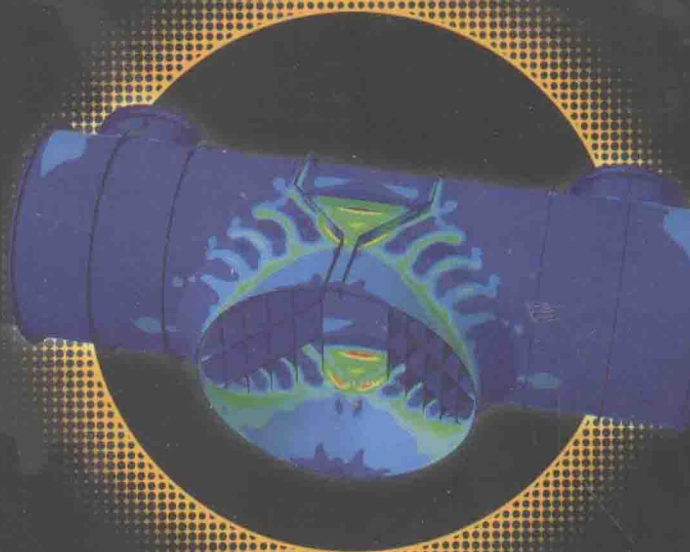
有限元分析

从入门到精通

CAE应用联盟 组编 张建伟 等编著

本书核心内容包含

- ABAQUS操作入门
- 建立模型
- 相互作用
- 载荷与边界条件
- 网格划分
- 后处理与数据可视化
- 线性静态分析
- 非线性分析
- 动力学分析
- 接触问题分析
- 显式动态分析
- 热分析
- 加工仿真分析



附赠全书范例
素材  光盘



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



CAD/CAM/CAE 工程应用丛书·ANSYS 系列

ABAQUS 6.12 有限元分析 从入门到精通

CAE 应用联盟 组 编

张建伟 等编著



机械工业出版社

本书以 ABAQUS 6.12 版为软件平台,介绍了 ABAQUS 的操作命令及其在工程结构数值分析中的使用方法和技巧。

本书分基础应用篇和实际工程篇两个层次讲解,共 16 章。基础应用篇(第 1~9 章)包括有限单元法的基础理论、ABAQUS 入门知识介绍,几何建模技术与技巧、分析步的概念与设置方法、相互作用的概念与使用、载荷与边界条件的定义、网格的划分、作业的创建与设置以及可视化后处理技术;实际工程篇(第 10~16 章)依托工程中常见的实例,按照不同的分析方式,分层次、分类别地进行了详尽的操作演示与方法教学。本书根据实际应用为读者提供的专题包括结构静力学分析、显式与隐式的动力学分析、线性与非线性的静力与动力学分析、接触分析、热结构耦合问题分析、加工过程仿真等,具有一定的参考价值。

本书工程背景深厚,内容丰富,讲解详尽,内容安排由浅入深,适用于不同层次的 ABAQUS 用户,既可作为大、中专院校相关专业高年级本科生、研究生的参考用书,也可供相关专业的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

ABAQUS 6.12 有限元分析从入门到精通 / CAE 应用联盟组编; 张建伟等编著.
—北京: 机械工业出版社, 2014.9

(CAD/CAM/CAE 工程应用丛书)

ISBN 978-7-111-48652-7

I. ①A… II. ①C… ②张… III. ①有限元分析-应用软件
IV. ①O241.82-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 274234 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 张淑谦 责任校对: 张艳霞

责任编辑: 张淑谦

责任印制: 乔宇

保定市 中画美凯印刷有限公司印刷

2015 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·31.5 印张·780 千字

0001-3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-48652-7

ISBN 978-7-89450-600-9 (光盘)

定价: 86.00 元(含 1DVD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: (010) 88361066

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: (010) 68326294

机工官博: weibo.com/cmp1952

(010) 88379203

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

出版说明

随着信息技术在各领域的迅速渗透, CAD/CAM/CAE 技术已经得到了广泛的应用, 从根本上改变了传统的设计、生产、组织模式, 对推动现有企业的技术改造、带动整个产业结构的变革、发展新兴技术、促进经济增长都具有十分重要的意义。

CAD 在机械制造行业的应用最早, 使用也最为广泛。目前其最主要的应用涉及机械、电子、建筑等工程领域。世界各大航空、航天及汽车等制造业巨头不但广泛采用 CAD/CAM/CAE 技术进行产品设计, 而且投入大量的人力、物力及资金进行 CAD/CAM/CAE 软件的开发, 以保持自己技术上的领先地位和国际市场上的优势。CAD 在工程中的应用, 不但可以提高设计质量, 缩短工程周期, 还可以节省大量建设投资。

各行各业的工程技术人员也逐步认识到 CAD/CAM/CAE 技术在现代工程中的重要性, 掌握其中的一种或几种软件的使用方法和技巧, 已成为他们在竞争日益激烈的市场经济形势下生存和发展的必备技能之一。然而, 仅仅知道简单的软件操作方法是远远不够的, 只有将计算机技术和工程实际结合起来, 才能真正达到通过现代的技术手段提高工程效益的目的。

基于这一考虑, 机械工业出版社特别推出了这套主要面向相关行业工程技术人员的“CAD/CAM/CAE 工程应用丛书”。本丛书涉及 AutoCAD、Pro/ENGINEER、Creo、UG、SolidWorks、Mastercam、ANSYS 等软件在机械设计、性能分析、制造技术方面的应用, 以及 AutoCAD 和天正建筑 CAD 软件在建筑和室内配景图、建筑施工图、室内装潢图、水暖、空调布线图、电路布线图以及建筑总图等方面的应用。

本套丛书立足于基本概念和操作, 配以大量具有代表性的实例, 并融入了作者丰富的实践经验, 使得本丛书内容具有专业性强、操作性强、指导性强的特点, 是一套真正具有实用价值的书籍。

机械工业出版社

前 言

ABAQUS 融结构、热力学、流体、电磁、声学 and 爆破分析于一体，具有强大的前后处理及计算分析能力，能够同时模拟结构、热、流体、电磁以及多种物理场间的耦合效应。

本书以 ABAQUS 6.12 版为软件平台，依托大量的工程实例，具体讲解运用 ABAQUS 高级有限元分析软件处理工程问题的方法与详细步骤。本书的目的是使读者系统地掌握 ABAQUS 的使用方法，能够对各种工程结构进行规划、建模、加载求解与结果处理，并编写相应的 INP 文件（输入文件）。

1. 本书特点

由浅入深，循序渐进：本书以初、中级读者为对象，首先从 ABAQUS 使用基础讲起，再辅以 ABAQUS 在工程中的应用案例帮助读者尽快掌握使用 ABAQUS 进行有限元分析的技能。

步骤详尽、内容新颖：本书结合作者多年 ABAQUS 使用经验与实际工程应用案例，将 ABAQUS 软件的使用方法与技巧详细地讲解给读者。本书在讲解过程中步骤详尽、内容新颖，讲解过程辅以相应的图片，使读者在阅读时一目了然，从而快速掌握书中所讲内容。

实例典型，轻松易学：学习实际工程应用案例的具体操作是掌握 ABAQUS 的最好方式。本书通过综合应用案例，透彻详尽地讲解了 ABAQUS 在各领域应用的方法和技巧。

2. 本书内容

本书分基础应用篇和实际工程篇两个层次进行讲解。

基础应用篇（第 1~9 章）包括有限单元法的基础理论、ABAQUS 入门知识，几何建模技术与技巧、分析步的概念与设置方法、相互作用的概念与使用、载荷与边界条件的定义、网格的划分、作业的创建与设置以及可视化后处理技术。章节设置如下。

- | | |
|-----------------|-------------------|
| 第 1 章 有限单元法分析概述 | 第 2 章 ABAQUS 操作入门 |
| 第 3 章 建立模型 | 第 4 章 分析步 |
| 第 5 章 相互作用 | 第 6 章 载荷与边界条件 |
| 第 7 章 网格划分 | 第 8 章 作业 |
| 第 9 章 后处理与数据可视化 | |

实际工程篇（第 10~16 章）依托工程中常见的实例，按照不同的分析方式，分层次、分类别地进行了详尽的操作演示与方法教学。本书选取相关领域内的最具代表性工程问题为实例进行建模及加载求解，并以工程中的常用技术控制指标为依据进行后处理分析。章节设置如下。

- | | |
|---------------|---------------|
| 第 10 章 线性静态分析 | 第 11 章 非线性分析 |
| 第 12 章 动力学分析 | 第 13 章 接触问题分析 |
| 第 14 章 显式动态分析 | 第 15 章 热分析 |
| 第 16 章 加工仿真应用 | |

本书专题实例中的每个例子都包含了图形界面操作和 INP 文件（输入文件）两种方式，两种方式在效果上完全等价。其中，图形界面方式通俗易懂且分析步骤一目了然；而 INP 文件（输入文件）方式则方便快捷，适合复杂问题的分析，而且可以控制在图形界面中无法进行的高级操作。读者应同时掌握两种分析方式，根据不同的具体问题，采用相对更加方便的方式。

提示：本书光盘配备了书中所有案例用到的素材源文件以及 INP 文件，以方便读者学习使用。

3. 读者对象

本书既适合于 ABAQUS 的初、中级读者学习使用，也可供工程技术人员参考使用，具体读者对象如下。

- ★相关从业人员
- ★大中专院校的教师和在校生
- ★参加工作实习的“菜鸟”
- ★广大科研工作人员
- ★初学 ABAQUS 的技术人员
- ★相关培训机构的教师和学员
- ★ ABAQUS 爱好者
- ★初、中级 ABAQUS 从业人员

4. 读者服务

为了方便解决本书疑难问题，读者朋友在学习过程中遇到与本书有关的技术问题，可以发邮件到邮箱 caxart@126.com，或者访问博客 <http://blog.sina.com.cn/caxart>，作者会尽快给予解答。

5. 本书作者

本书主要由张建伟编著，另外，参与编写的还有：丁金滨、唐家鹏、高飞、温正、石良臣、陈艳霞、林金宝、刘浩、凌桂龙、王芳、陈培见、刘成柱、宋玉旺、张岩、韩希强、丁凯、张亮亮、孙国强、于苍海、郭海霞、沈再阳、李昕、张文电、陈峰浩、王菁和李成芬。

虽然作者在本书的编写过程中力求叙述准确、完善，但由于水平有限，书中欠妥之处在所难免，希望读者和同仁能够及时指出，共同促进本书质量的提高。

最后再次希望本书能为读者的学习和工作提供帮助！

作者

目 录

出版说明

前言

第 1 章 有限单元法分析概述	1	4.1.5 线性摄动分析步	52
1.1 有限单元法基础理论	1	4.2 输出设置	54
1.1.1 有限元法的诞生和发展	1	4.2.1 输出请求管理器	54
1.1.2 有限元法的基本思想	2	4.2.2 编辑输出请求	54
1.2 ABAQUS 简介	3	4.3 分析步模块的其他功能	55
1.3 ABAQUS 文件系统	5	4.3.1 ALE 自适应网格	55
1.4 本章小结	6	4.3.2 求解控制	56
第 2 章 ABAQUS 操作入门	7	4.4 本章小结	56
2.1 ABAQUS 用户界面	7	第 5 章 相互作用	57
2.2 ABAQUS 相关约定	8	5.1 相互作用	57
2.2.1 ABAQUS 中的单位制	8	5.1.1 接触属性	57
2.2.2 ABAQUS 中的坐标系	10	5.1.2 定义接触	61
2.2.3 ABAQUS 中的自由度	11	5.2 约束 (Constraint)	68
2.3 ABAQUS 分析流程	12	5.2.1 绑定 (Tie) 约束	68
2.4 本章小结	20	5.2.2 刚体 (Rigid body) 约束	70
第 3 章 建立模型	22	5.2.3 显示体 (Display body) 约束	71
3.1 部件与草图 (Part & Sketch)	22	5.2.4 耦合 (Coupling) 约束	72
3.1.1 部件模块简介	22	5.3 连接器 (Connector)	73
3.1.2 建模实例——灭火器启动开关	24	5.3.1 连接器的截面特性	74
3.2 属性 (Property)	29	5.3.2 连接器的特征线	77
3.2.1 属性模块简介	29	5.3.3 连接单元	78
3.2.2 创建材料	31	5.4 本章小结	79
3.2.3 创建与指派截面	32	第 6 章 载荷与边界条件	80
3.3 装配 (Assembly)	36	6.1 载荷 (Load)	80
3.3.1 导入部件	36	6.1.1 定义载荷	80
3.3.2 装配实例——发动机连杆组件	38	6.1.2 集中力	81
3.4 本章小结	44	6.1.3 弯矩	82
第 4 章 分析步	45	6.1.4 压强	82
4.1 分析步	45	6.2 边界条件 (Boundary Condition)	83
4.1.1 准备模型	45	6.2.1 创建边界条件	84
4.1.2 通用静力学分析步	47	6.2.2 编辑对称/反对称/完全固定边界 条件	84
4.1.3 通用隐式动力学分析步	50		
4.1.4 通用显式动力学分析步	51		

6.2.3 编辑位移/旋转边界条件	85	9.3 制作动画	157
6.3 本章小结	86	9.4 本章小结	161
第7章 网格划分	87	第10章 线性静态分析	162
7.1 种子 (SEED)	87	10.1 线性静力学分析概述	162
7.1.1 为部件实例布种	87	10.1.1 静力学分析的基本概念	162
7.1.2 为边布种	88	10.1.2 结构静力学分析的方法	162
7.2 网格控制	89	10.2 线性静力学分析——滑动 轴承	163
7.2.1 网格形状	89	10.2.1 问题描述	163
7.2.2 网格划分技术与算法	90	10.2.2 分析过程	163
7.2.3 网格控制注意事项	94	10.3 初识 INP 文件	185
7.3 单元族	94	10.3.1 INP 文件概述	185
7.3.1 单元的特征	95	10.3.2 INP 文件实例讲解	186
7.3.2 实体单元	97	10.4 本章小结	205
7.3.3 壳单元	105	第11章 非线性分析	206
7.3.4 梁单元	112	11.1 非线性问题概述	206
7.3.5 桁架单元	119	11.1.1 线性与非线性	206
7.4 网格划分	120	11.1.2 非线性的来源	207
7.4.1 选择单元类型	120	11.1.3 非线性问题求解方法	210
7.4.2 划分网格	122	11.2 非线性问题实例	214
7.5 网格划分进阶技巧	123	11.2.1 几何非线性问题——薄板的 大变形	214
7.5.1 网格检查	123	11.2.2 材料非线性问题——橡胶的 超弹性	228
7.5.2 高质量的网格	125	11.3 本章小结	242
7.6 本章小结	132	第12章 动力学分析	243
第8章 作业	133	12.1 动力学分析的理论基础	243
8.1 作业模块	133	12.1.1 固有频率和模态	243
8.1.1 各功能模块调用逻辑	133	12.1.2 振型叠加	244
8.1.2 创建作业	134	12.1.3 阻尼	245
8.1.3 管理作业	137	12.1.4 瞬态动力学	247
8.2 网格自适应过程	139	12.2 动力学问题实例	248
8.3 本章小结	141	12.2.1 线性动力学问题实例—— 模态分析	248
第9章 后处理与数据可视化	142	12.2.2 非线性动力学问题实例—— 冲击与侵彻	263
9.1 在模型上显示结果	142	12.3 本章小结	284
9.1.1 变形图	142	第13章 接触问题分析	285
9.1.2 云图	143	13.1 接触问题概述	285
9.1.3 符号变量	148		
9.2 图表输出	149		
9.2.1 历程变量 XY 数据输出	150		
9.2.2 场变量 XY 数据输出	151		
9.2.3 关于路径的 XY 变量输出	155		

13.1.1 接触面间的相互作用	285	第 15 章 热分析	405
13.1.2 在 ABAQUS 中定义接触	287	15.1 热力学基础知识	405
13.1.3 接触算法	291	15.1.1 符号与单位	405
13.1.4 接触工程分析的关键技术	292	15.1.2 热分析相关基础知识	406
13.2 接触问题实例	294	15.2 热分析实例	407
13.2.1 接触问题基础实例—— 法兰的密封尺寸	294	15.2.1 ABAQUS 瞬态热分析—— 金属散热管的温度场研究	408
13.2.2 刚性接触问题实例—— 塑性加工过程仿真	313	15.2.2 ABAQUS 热应力分析—— 刹车盘片的热效应	418
13.3 本章小结	352	15.3 本章小结	438
第 14 章 显式动态分析	353	第 16 章 加工仿真应用	439
14.1 显式动态分析简介	353	16.1 机械加工仿真概述	439
14.1.1 显式动态问题的产生及其 形式	353	16.1.1 机械加工问题的特征	439
14.1.2 显式动态分析的主要方法	354	16.1.2 计算成本优化	440
14.1.3 隐式和显式的比较	355	16.2 机械加工仿真实例	446
14.2 显式动态分析实例	356	16.2.1 ABAQUS 仿真实例—— 旋压加工	446
14.2.1 ABAQUS/Explicit 实例—— 手机跌落测试	356	16.2.2 ABAQUS 仿真实例—— 铆接	471
14.2.2 ABAQUS/Explicit 实例—— 弹丸侵蚀靶体的分析	379	16.3 本章小结	492
14.3 本章小结	404	参考文献	494

第1章 有限单元法分析概述



有限元法 (Finite Element Analysis, FEA) 的基本概念是用较简单的问题代替复杂问题后再求解。它将求解域看成是由许多称为有限元的小的互连子域组成的, 对每一单元假定一个合适的 (较简单的) 近似解, 然后推导求解这个域总的满足条件 (如结构的平衡条件), 从而得到问题的解。

这个解不是准确解, 而是近似解, 因为实际问题被较简单的问题所代替。由于大多数实际问题难以得到准确解, 而有限元不仅计算精度高, 而且能适应各种复杂形状, 因而成为行之有效的工程分析手段。本章所介绍的内容是进一步学习 ABAQUS 分析的最基础内容。对 ABAQUS 或者有限元方法, 都应从最基础的内容入手, 才能加深后续知识的理解。

学习目标

- 了解有限元法的基本思想及发展
- 了解 ABAQUS 的文件系统
- 掌握 ABAQUS 界面组成及基本功能
- 了解 ABAQUS 6.12 的新特性

1.1 有限单元法基础理论

随着现代科学技术的发展, 人们正在不断建造更为快速的交通工具、更大规模的建筑物、更大跨度的桥梁、更大功率的发电机组和更为精密的机械设备。这一切都要求工程师在设计阶段就能精确地预测出产品和工程的技术性能, 需要对结构的静、动力强度以及温度场、流场、电磁场和渗流等技术参数进行分析计算。例如分析计算高层建筑和大跨度桥梁在地震时所受到的影响, 看看是否会发生破坏性事故; 分析计算核反应堆的温度场, 确定传热和冷却系统是否合理; 分析涡轮机叶片内的流体动力学参数, 以提高其运转效率。如果把这些都归结为求解物理问题的控制偏微分方程式, 往往是不可能的。

近年来在计算机技术和数值分析方法支持下发展起来的有限元分析方法则为解决这些复杂的工程分析计算问题提供了有效的途径。

1.1.1 有限元法的诞生和发展

有限元法是一种高效能、常用的计算方法。有限元法在早期是以变分原理为基础发展起来的, 所以它广泛地应用于以拉普拉斯方程和泊松方程所描述的各类物理场中 (这类场与泛函的极值问题有着紧密的联系)。

1969 年以来, 某些学者在流体力学中应用加权余数法中的迦辽金法 (Galerkin) 或最小二乘法等同样获得了有限元方程, 因而有限元法可应用于以任何微分方程所描述的各类物理场中, 而不再要求这类物理场和泛函的极值问题有所联系。

大约在 300 年前，牛顿和莱布尼茨发明了积分法，证明了该运算具有整体对局部的可加性。虽然，积分运算与有限元技术对定义域的划分是不同的（前者进行无限划分而后者进行有限划分）。但积分运算为实现有限元技术准备好了一个理论基础。之后著名数学家高斯提出了加权余值法及线性代数方程组的解法。这两项成果中，前者被用来将微分方程改写为积分表达式，后者被用来求解有限元法所得出的代数方程组。

在 18 世纪，另一位数学家拉格朗日提出了泛函分析。泛函分析是将偏微分方程改写为积分表达式的另一途径。

在 19 世纪末及 20 世纪初，数学家瑞雷和里兹首先提出可对全定义域运用展开函数来表达其上的未知函数。1915 年，数学家伽辽金提出了选择展开函数中形函数的伽辽金法，该方法被广泛地用于有限元。

1943 年，数学家库朗德第一次提出了可在定义域内分片地使用展开函数来表达其上的未知函数。这实际上就是有限元的做法。实现有限元技术的第二个理论基础也已确立。

20 世纪 50 年代，飞机设计师们发现无法用传统的力学方法分析飞机的应力、应变等问题。波音公司的一个技术小组，首先将连续体的机翼离散为三角形板块的集合来进行应力分析，经过一番波折后获得前述的两个离散的成功。同期，大型电子计算机投入了解算大型代数方程组的工作，这为实现有限元技术准备好了物质条件。

1960 年前后，美国的克拉夫 (R.W.Clough) 教授及我国的冯康教授分别独立地在论文中提出了“有限单元”这样的名词。此后，这样的叫法被大家接受，有限元技术从此正式诞生。

1.1.2 有限元法的基本思想

有限元方法与其他求解边值问题近似方法的根本区别在于：它的近似性仅限于相对小的子域中。20 世纪 60 年代初，首次提出结构力学计算有限元概念的克拉夫 (Clough) 教授形象地将其描绘为：“有限元法=Rayleigh Ritz 法+分片函数”，即有限元法是 Rayleigh Ritz 法的一种局部化情况。

不同于求解（往往是困难的）满足整个定义域边界条件的允许函数的 Rayleigh Ritz 法，有限元法将函数定义在简单几何形状（如二维问题中的三角形或任意四边形）的单元域上（分片函数），且不考虑整个定义域的复杂边界条件，这是有限元法优于其他近似方法的原因之一。

有限元方法 (FEM) 的基础是变分原理和加权余量法，其基本求解思想是把计算域划分为有限个互不重叠的单元，在每个单元内，选择一些合适的结点作为求解函数的插值点，将微分方程中的变量改写成由各变量或其导数的结点值与所选用的插值函数组成的线性表达式，借助于变分原理或加权余量法，将微分方程离散求解。

采用不同的权函数和插值函数形式，便构成不同的有限元方法。有限元方法最早应用于结构力学，后来随着计算机的发展，它也慢慢用于流体力学的数值模拟。在有限元方法中，把计算域离散剖分为有限个互不重叠且相互连接的单元，在每个单元内选择基函数，用单元基函数的线形组合来逼近单元中的真解，整个计算域上总体的基函数可以看为是由每个单元基函数组成的，则整个计算域内的解可以看作是由所有单元上的近似解构成。

例如，在河道数值模拟中，常见的有限元计算方法是由变分法和加权余量法发展而来的

里兹法和伽辽金法、最小二乘法等。根据所采用的权函数和插值函数的不同，有限元方法也分为多种计算格式。从权函数的选择来说，有配置法、矩量法、最小二乘法和伽辽金法，从计算单元网格的形状来划分，有三角形网格、四边形网格和多边形网格，从插值函数的精度来划分，又分为线性插值函数和高次插值函数等。不同的组合同样构成不同的有限元计算格式。

对于权函数，伽辽金（Galerkin）法是将权函数取为逼近函数中的基函数；最小二乘法是令权函数等于余量本身，而内积的极小值则为对代求系数的平方误差最小；在配置法中，先在计算域内选取 N 个配置点。令近似解在选定的 N 个配置点上严格满足微分方程，即在配置点上令方程余量为 0。

插值函数一般由不同次幂的多项式组成，最常用的是多项式插值函数，也有采用三角函数或指数函数组成的乘积表示。

有限元插值函数分为两大类，一类只要求插值多项式本身在插值点取已知值，称为拉格朗日（Lagrange）多项式插值；另一种不仅要求插值多项式本身，还要求它的导数值在插值点取已知值，称为哈密特（Hermite）多项式插值。

单元坐标有笛卡儿直角坐标系和无因次自然坐标，有对称和不对称等。常采用的无因次坐标是一种局部坐标系，它的定义取决于单元的几何形状，一维看作长度比，二维看作面积比，三维看作体积比。

在二维有限元中，三角形单元应用的最早，近来四边形等参数单元的应用也越来越广。对于二维三角形和四边形单元，常采用的插值函数有拉格朗日插值直角坐标系中的线性插值函数及二阶或更高阶插值函数、面积坐标系中的线性插值函数以及二阶或更高阶插值函数等。

1.2 ABAQUS 简介

ABAQUS 最初由美国 HKS (Hibbitt, Karlsson & Sorensen) 公司开发，2005 年被法国达索系统 (DASSAULT SYSTEMES, 达索工业集团旗下公司，在 1981 年由达索航空公司创立，是著名的三维 CAD 软件 CATIA 的开发者) 收购，2007 年更名为 SIMULIA 公司。

ABAQUS 是一套功能强大的工程模拟有限元软件，其解决问题的范围从相对简单的线性分析到许多复杂的非线性问题。ABAQUS 包括一个丰富的、可模拟任意几何形状的单元库，并拥有各种类型的材料模型库，可以模拟典型工程材料的性能，其中包括金属、橡胶、高分子材料、复合材料、钢筋混凝土、可压缩超弹性泡沫材料以及土壤和岩石等地质材料。

作为通用的模拟工具，ABAQUS 除了能解决大量结构（应力—位移）问题，还可以模拟其他工程领域的许多问题，例如热传导、质量扩散、热电耦合分析、声学分析、岩土力学分析（流体渗透—应力耦合分析）及压电介质分析等。

ABAQUS 为用户提供了广泛的功能，且使用起来又非常简单。大量的复杂问题可以通过选项块的不同组合很容易的模拟出来。

例如，对于复杂多构件问题的模拟是通过把定义每一构件的几何尺寸的选项块与相应的材料性质选项块结合起来的。在大部分模拟中（甚至高度非线性问题），用户只需提供一些工程数据即可，如结构的几何形状、材料性质、边界条件及载荷工况。

在一个非线性分析中，ABAQUS 能自动选择相应载荷增量和收敛限度。它不仅能够选择合适参数，而且能连续调节参数以保证在分析过程中有效地得到精确解。用户通过准确的定义参数就能很好的控制数值计算结果。

ABAQUS 有两个主求解器模块：ABAQUS/Standard 和 ABAQUS/Explicit。ABAQUS 还包含一个全面支持求解器的图形用户界面，即人机交互前后处理模块——ABAQUS/CAE。

ABAQUS/Standard 有 3 个特殊用途的分析模块：ABAQUS/Aqua、ABAQUS/Design 和 ABAQUS/Foundation。此外 ABAQUS 还为 MOLDFLOW 和 MSC.ADAMS 提供了相应接口。ABAQUS/CAE 是集成的工作环境，包含了 ABAQUS 的建模、交互式作业提交、监控运算过程及后处理等功能。ABAQUS 产品的结构与各模块关系如图 1-1 所示。

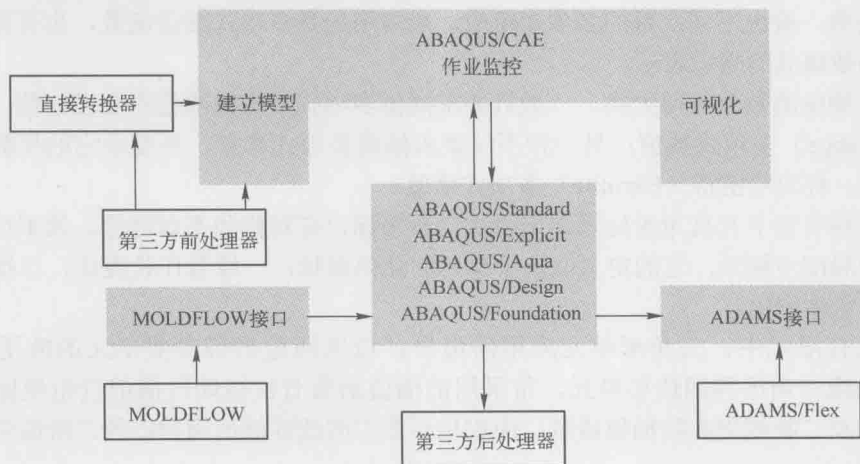


图 1-1 ABAQUS 模块

■ ABAQUS/Standard

ABAQUS/Standard 是通用分析模块，采用隐式解法，可以求解各种线性及非线性问题。ABAQUS/Standard 分析模块广泛应用于静力学、动力学、热响应及电响应等多领域问题的求解中。

■ ABAQUS/Explicit

ABAQUS/Explicit 是显式动力分析模块，采用显式解法，关于显式解法与隐式解法的不同及各自应用领域将在后文中详细讨论。ABAQUS/Explicit 分析模块适用于短暂、瞬时的动态事件，对接触条件发生改变的高度非线性问题也非常有效。

■ ABAQUS/CAE

ABAQUS/CAE 是 ABAQUS 的交互环境，可以在 ABAQUS/CAE 模块中高效地完成建立模型、定义模型载荷条件及边界条件、提交作业、监控运算过程等。ABAQUS/CAE 具有强大的网格划分功能，而且可以显示计算结果，进行后处理。

■ ABAQUS/Viewer

ABAQUS/Viewer 是 ABAQUS/CAE 的子模块，只具有可视化模块的后处理功能。

■ ABAQUS/Aqua

ABAQUS/Aqua 是可选模块，用于模拟近海结构，如海上钻井平台等，包括模拟波浪、风及浮力等影响的功能。

■ ABAQUS/Design

ABAQUS/Design 是可选模块，用于进行设计敏感度的计算。

■ ABAQUS/Foundation

ABAQUS/Foundation 可以更经济地使用 ABAQUS 的线性静力与动力分析功能，减少系统开销。

ABAQUS 被广泛地认为是功能最强的有限元软件之一，可以分析复杂的固体力学结构力学系统，特别是能够处理非常庞大、复杂的问题和模拟高度非线性问题。ABAQUS 不但可以做单一零件的力学和多物理场的分析，同时还可以做系统级的分析和研究。

ABAQUS 的系统级分析的特点相对于其他分析软件来说是独一无二的。由于 ABAQUS 优秀的分析能力和模拟复杂系统的可靠性，使得 ABAQUS 被各国的工业和研究中所广泛地采用。ABAQUS 产品在大量的高科技产品研究中都发挥着巨大的作用。

1.3 ABAQUS 文件系统

ABAQUS 运行过程中所涉及的文件种类繁多，有数据库文件、用于输入或输出的文本文件、日志文件、信息文件、状态文件、用于重启与结果转换的文件等。此外，还有临时文件，该文件在运行时自动产生，完成后自动删除。ABAQUS 文件系统各种类型文件的介绍请参阅表 1-1。

表 1-1 ABAQUS 的文件系统

文件类型	文件名及扩展名	说明	备注
数据库文件	模型数据库文件: cae 文件	在 ABAQUS/CAE 中直接打开，包含几何模型、网格、载荷等信息及分析任务等	
	输出数据库文件: odb 文件	可在 ABAQUS/CAE 直接打开，也可以输入到 CAE 文件中作为部件或模型，包含在分析步模块中定义的场变量和历史变量输出结果，可以由可视化模块打开	
输入文件	inp 文件	文本文件，可以在作业 (Job) 模块中提交任务时或单击分析作业管理器中的 Write Input 按钮在工作目录中生成。Inp 文件可以输入模型，也可以直接由 ABAQUS Command 直接运行，inp 文件输的模型只包含有限元模型而无几何模型	
	pes 文件	参数更改后重写的 inp 文件	
	par 文件	参数更改后重写的以参数形式运行的 inp 文件	
日志文件	log 文件	文本文件，运行 ABAQUS 的日志	
数据文件	dat 文件	文本文件，记录数据和参数检查、单元质量检查等信息，包含预处理 inp 文件产生的错误与警告信息。包含用户定义的 ABAQUS/Standard 输入数据，ABAQUS/Explicit 的结果不会写入其中	
信息文件	msg 文件	记录计算过程中的平衡迭代次数、参数设置、计算时间、错误与警告信息等	
	ipm 文件	启动 ABAQUS/CAE 分析时开始写入，记录从 ABAQUS/Standard 或 ABAQUS/Explicit 到 ABAQUS/CAE 的过程日志	
	prt 文件	模型的部件与装配信息	重新启动分析时需要
	pac 文件	模型信息，仅用于 ABAQUS/Explicit	重新启动分析时需要

(续)

文件类型	文件名及扩展名	说明	备注
状态文件	sta 文件	文本文件, 包含分析过程信息	
	abq 文件	仅用于 ABAQUS/Explicit, 记录分析、继续和恢复命令	重新启动分析时需要
	stt 文件	运行数据检查时产生的文件	重新启动分析时需要
	psr 文件	文本文件, 参数化分析要求的输入结果	
	sel 文件	用于结果选择, 仅用于 ABAQUS/Explicit	重新启动分析时需要
模型文件	mdl 文件	ABAQUS/Standard 与 ABAQUS/Explicit 中运行数据检查产生的文件	重新启动分析时需要
保存命令的文件	jnl 文件	文本文件, 包含用于复制已存储的模型数据库的 ABAQUS/CAE 命令	
	tpy 文件	记录运行一次 ABAQUS/CAE 所运用的所有命令	
	rec 文件	包含用于恢复内存中模型数据库的 ABAQUS/CAE 命令	
重启动文件	res 文件	使用 STEP 功能模块进行定义	
脚本文件	psf 文件	用户定义参数化研究时需要创建的文件	
临时文件	ods 文件	记录场输出变量的临时运算结果, 运行后自动删除	
	lck	用于阻止并发写入输出数据库, 关闭输出数据库时自动删除	

1.4 本章小结

本章为读者介绍了有限分析方法的诞生、发展以及基础理论。在进行工程设计或科学研究时, 精通软件 (无论是本书所介绍的 ABAQUS, 或者是其他的有限元分析软件) 是十分重要的。但同时, 用户也必须理解有限元方法。对于基础知识的深入理解, 是解决任何问题的基础。

本章的意义在于抛砖引玉, 充分强调对于有限元方法本身的理解的意义, 使用户在进行软件的学习之前, 不仅仅知道有某些软件是用于这种分析的, 更重要是理解这一方法本身所蕴含的思想。

第2章 ABAQUS 操作入门

在详细地为用户讲解 ABAQUS 的强大功能之前，对 ABAQUS 程序进行一个概述性质的简介十分必要，这有助于读者了解程序的架构及运作思想。本章将对 ABAQUS 的一些基本概念进行介绍，读者通过本章的介绍将了解 ABAQUS 的基本理念、界面形式、ABAQUS 中一些特殊的约定及操作习惯以及一个完整 ABAQUS 分析的流程。

学习目标

- 掌握 ABAQUS 图形界面使用
- 掌握 ABAQUS 中的单位制
- 掌握 ABAQUS 中的坐标系统
- 掌握 ABAQUS 中的自由度的概念
- 掌握 ABAQUS 分析的基本思想与流程

2.1 ABAQUS 用户界面

在 Windows 操作系统下，在“开始”菜单中单击 ABAQUS/CAE，即可打开 ABAQUS 用户界面。ABAQUS 用户界面如图 2-1 所示。各功能区的介绍如下。

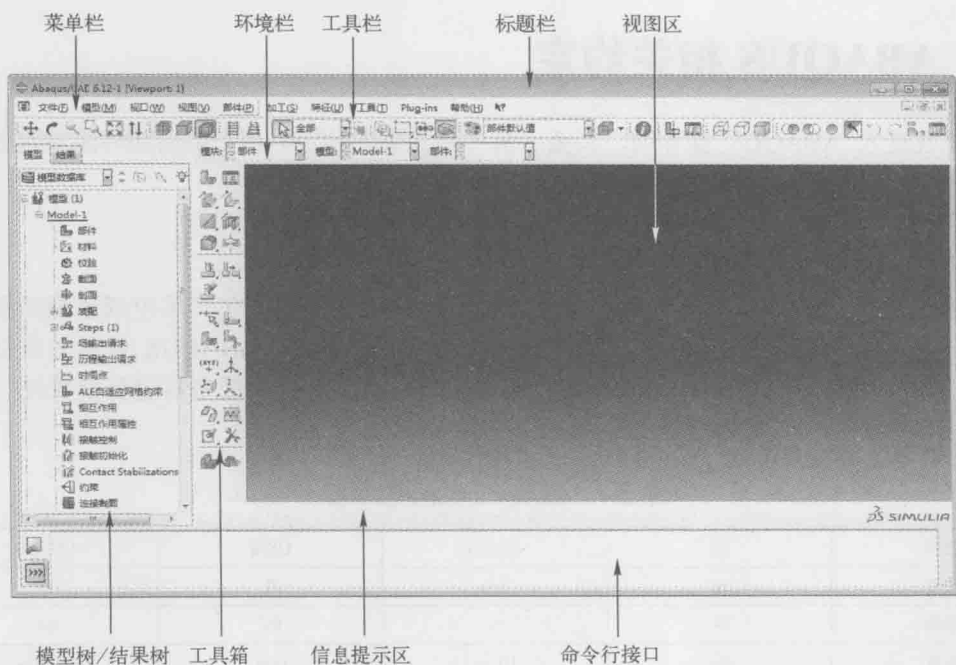


图 2-1 ABAQUS 用户界面

■ 标题栏

显示当前 ABAQUS 版本及模型数据库名称。

■ 菜单栏

包含了当前模块中的所有可用功能，与当前所选择的功能模块对应。

■ 工具栏

包含了菜单栏中的一些常用工具，方便调用。

■ 环境栏

环境栏中的模块列表用于切换功能模块，其他列表与当前选择的模块相对应，分别用于切换模型 (Model)、部件 (Part)、分析步 (Step)、结果文件 (ODB) 和草图 (Sketch)。

■ 模型树/结果树

早在 ABAQUS 6.6 版本开始，界面中就增加了结果树，可通过模型或结果选项卡进行切换。模型树中包含所有的模型与分析任务，分类列出所有功能模块及重要工具。

■ 工具箱

列出与当前模块相对应的功能按钮，方便用户调用。



■ 视图区

显示模型与结果。

■ 信息提示区

用户进行操作时，此提示区会进行相应提示，告诉用户如何进行下一步操作。

■ 命令行接口

通过  按钮 (命令行接口) 与  按钮 (信息)，可以切换此区域功能，用于输入命令行或显示状态信息。

2.2 ABAQUS 相关约定

在正式进入 ABAQUS 操作前，需要了解一些相关的约定。用户需要随时注意这些约定的影响，否则可能出现无法预知的也不易察觉的错误。

2.2.1 ABAQUS 中的单位制

与其他的有限元分析软件一样，ABAQUS 在运算过程中并不包含单位或量纲的概念。统一单位制是用户进行有限元分析之前必须要进行的一项工作。ABAQUS 常用的单位制如表 2-1 所示，表中所示的单位是需要用户自行将所需分析的数据或资料进行换算统一的，ABAQUS 不会对单位进行分辨。

表 2-1 ABAQUS 中的常用单位

量纲	SI	SI/mm	US/ft	US/inct
长度	m	mm	ft	in
载荷	N	N	lbf	lbf
质量	kg	10^3 kg	slug	lbf^2/in
时间	s	s	s	s