

升级版

技能应用速成系列

ABAQUS技能速成，本书足矣！

ABAQUS

有限元分析 | 从入门到精通 (第2版)

CAX技术联盟
陈海燕 编著

内容全面、案例丰富

基础知识→专题技能→实例应用→举一反三。

讲解细致、综合应用

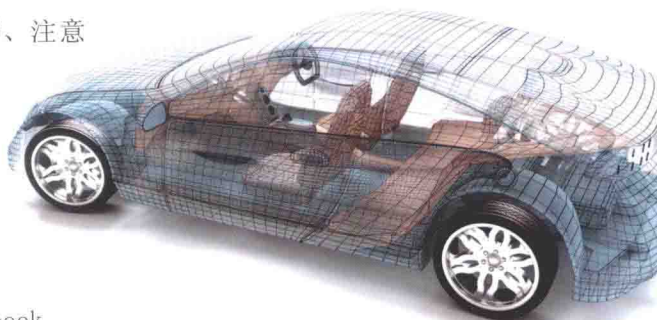
通过案例详细讲解分析流程、方法、技巧、注意事项，再到综合应用。

网络服务、博客答疑

超值素材资源、网络支持。

网络支持：<http://www.hxedu.com.cn>

博客答疑：<http://blog.sina.com.cn/caxbook>



 中国工信出版集团

 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

技能应用速成系列

ABAQUS 有限元分析从入门到精通 (第2版)

CAX 技术联盟
陈海燕 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

ABAQUS 是国际上比较流行的、被誉为功能最强大的有限元分析软件之一,特别是在非线性分析领域,它可以分析复杂的工程力学问题,具有驾驭庞大求解规模的能力。

本书以 ABAQUS 6.14 最新版本为讲解对象,由浅入深地讲解 ABAQUS 仿真计算的各种功能。全书分为两部分共 18 章,其中基础部分包括 ABAQUS 的基本操作、前处理、网格划分、相互作用定义、分析及后处理等内容,案例分析部分包括结构静力学、接触问题、材料非线性、结构动力学、热应力、多体系统、显式非线性、多步骤分析、用户子程序、复杂工程分析等内容。本书每个实例都以图文并茂的形式详细介绍 ABAQUS/CAE 的操作流程,并对 INP 文件进行细致的解释。此外,书中还着重讨论了用户常犯的错误和经常遇到的疑难问题,以及常见的错误信息和警告信息,并给出了相应的解决方法。

本书结构严谨、条理清晰、重点突出,适合 ABAQUS 初学者和中级用户使用,既可以供大中专院校理工科相关专业学生学习,也可以作为工程技术人员的参考用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

ABAQUS 有限元分析从入门到精通/陈海燕编著. —2 版. —北京:电子工业出版社, 2015.9

(技能应用速成系列)

ISBN 978-7-121-26972-1

I. ①A… II. ①陈… III. 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(2015)第 195655 号



策划编辑:许存权

责任编辑:许存权 特约编辑:谢忠玉 冯彩茹

印刷:三河市兴达印务有限公司

装订:三河市兴达印务有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开本:787×1092 1/16 印张:32.5 字数:832 千字

版次:2015 年 9 月第 1 版

印次:2015 年 9 月第 1 次印刷

定 价:69.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前言

ABAQUS 被誉为国际上功能最强大的有限元分析软件之一，特别是在非线性分析领域，它可以分析复杂的工程力学问题，融结构、传热学、流体、声学、电学，以及热-固耦合、流-固耦合、热-电耦合、声-固耦合于一体，具有驾驭庞大求解规模的能力。

ABAQUS 在很多国家得到了广泛应用，用户分布于机械、土木、水利、航空航天、船舶、电器、汽车等各个工程领域。近年来，我国的 ABAQUS 用户也迅速增长，使得 ABAQUS 在大量的高科技产品的研发过程中发挥了巨大的作用。

ABAQUS 不仅可以做单一部件的力学和复杂物理场的分析，而且可以处理多系统的分析，这一特点相对于其他软件是独一无二的。

广大 ABAQUS 用户，尤其是初学者都面临一个普遍问题，即如何快速有效地理解和掌握 ABAQUS 丰富的分析功能和操作方法。因此，一本系统的 ABAQUS 教材是每个 ABAQUS 用户的必备参考书。

1. 本书特色

本书由多年从事 ABAQUS 实践工作的一线从业人员编写，在编写过程中，不仅注重绘图技巧的介绍，还重点讲解 ABAQUS 和工程实际的关系，本书主要有以下几个特色。

- ◇ 本书以基础和实例详解并重，既是 ABAQUS 初学者的学习教材，也可作为对 ABAQUS 有一定基础的用户制订工程问题分析方案、精通高级前后处理与求解技术的参考书。
- ◇ 本书内容编排上注意难易结合，每一章首先给出一个简单实例，使读者一目了然地了解该类问题的特点和分析方法，然后给出一个或者多个复杂实例，帮助读者掌握相关的高级技巧。
- ◇ 本书内容全面，在编写过程中遵循的原则是：除详细讲解基本的知识外，还介绍 ABAQUS 在各个行业中的应用（几乎包含了机械分析的所有内容），让读者在掌握基本操作技巧的同时，也对机械设计行业有一个大致的了解，这是我们要达到的目标。
- ◇ 本书图文并茂，帮助读者快速入门。本书详细介绍了 ABAQUS 各个功能模块的常用设置和使用技巧，帮助读者全面了解 ABAQUS 有限元软件。
- ◇ 本书详细介绍了每个工程实例的操作步骤，读者可以很轻松地按照书中的提示，一步步地完成软件操作。用醒目的提示指出了读者容易遇到的困扰和错误操作，给出了每个案例的 INP 文件（input file），并对其中的重要部分给出了注释。

2. 重点内容

本书基于 ABAQUS 6.14 版本编写，分为两部分，第一部分为基础部分，第二部分是根 据 ABAQUS 的应用领域而编写的计算案例。通过这两个部分的介绍，使读者对 ABAQUS 有一个充分的认识和理解，从而快速地掌握 ABAQUS 的应用。

第一部分：基础知识。主要介绍 ABAQUS 的基础知识，包括 ABAQUS 的基本操作、前处理、网格划分、分析及后处理等内容。具体章节安排如下：

- | | |
|-----------------|-------------|
| 第 1 章 ABAQUS 概述 | 第 2 章 前处理模块 |
| 第 3 章 相互作用定义 | 第 4 章 划分网格 |
| 第 5 章 分析和后处理 | |

第二部分：应用案例分析。主要从 ABAQUS 所能求解的实际物理问题入手，给出其具体的计算案例，主要内容包括结构静力学、接触问题、材料非线性、结构动力学、热应力、多体系统等。具体章节安排如下：

- | | |
|------------------|---------------|
| 第 6 章 结构静力学分析 | 第 7 章 接触问题分析 |
| 第 8 章 材料非线性分析 | 第 9 章 结构动力学分析 |
| 第 10 章 热应力分析 | 第 11 章 多体系统分析 |
| 第 12 章 显式非线性动态分析 | 第 13 章 多步骤分析 |
| 第 14 章 用户子程序 | 第 15 章 复杂工程分析 |

本书附录给出了 ABAQUS 在分析过程中经常遇到的错误和警告，以及常用的解决方法。本书重要案例的模型和 INP 文件，读者可以在作者博客中下载，或到华信教育资源网 (<http://www.hxedu.com.cn>)，找到本书页面，即可下载。

3. 读者对象

本书适合 ABAQUS 初学者和期望提高利用 ABAQUS 进行有限元仿真分析计算能力的读者，具体包含如下：

- | | |
|---------------|---------------------|
| ★ 相关从业人员 | ★ 初学 ABAQUS 的工程技术人员 |
| ★ 大中专院校理工科学生 | ★ 相关培训机构的教师和学员 |
| ★ 参加工作实习的“菜鸟” | ★ ABAQUS 爱好者 |

4. 本书作者

本书主要由陈海燕编著，其他参与编写的还有张亮亮、吴光中、黄志国、石良臣、刘冰、林晓阳、唐家鹏、丁金滨、王菁、吴永福、张小勇、温正、李昕、刘成柱、乔建军、张迪妮、张岩、凌桂龙、郭海霞、王芳。虽然作者在编写过程中力求叙述准确、完善，但由于水平有限，书中会有欠妥之处，请读者及各位同行批评指正，我们将不甚感激。

5. 读者服务

为了方便解决本书疑难问题，读者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 caxbook@126.com，或访问作者博客 <http://blog.sina.com.cn/caxbook>，编者会尽快给予解答，我们将竭诚为您服务。

编者

目 录

第一部分 基础知识

第 1 章 ABAQUS 概述	1	第 2 章 前处理模块	29
1.1 ABAQUS 简介	1	2.1 部件模块 (Part) 和草图 模块 (Sketch)	29
1.2 ABAQUS 分析模块	2	2.1.1 在 ABAQUS 中创建部件	29
1.3 ABAQUS 使用环境	5	2.1.2 导入部件	32
1.3.1 启动 ABAQUS/CAE	5	2.1.3 模型的修复与修改	33
1.3.2 ABAQUS 的主窗口	6	2.2 特性模块 (Property)	34
1.3.3 ABAQUS/CAE 功能模块	7	2.2.1 定义材料属性	35
1.4 ABAQUS 文件系统	9	2.2.2 创建和分配截面特性	37
1.5 ABAQUS 帮助文档	12	2.2.3 设置梁的截面特性和方向	38
1.5.1 ABAQUS 帮助文档的内容	12	2.2.4 Special 菜单的功能	39
1.5.2 如何使用 ABAQUS 帮助文档	13	2.3 装配模块 (Assembly)	41
1.6 快速入门实例	14	2.3.1 创建部件实体	41
1.6.1 问题的描述	14	2.3.2 部件实体的定位	44
1.6.2 启动 ABAQUS	15	2.3.3 合并/剪切部件实体	47
1.6.3 创建部件	15	2.4 分析步模块	48
1.6.4 创建材料和截面属性	17	2.4.1 设置分析步	48
1.6.5 定义装配件	19	2.4.2 定义输出	56
1.6.6 设置分析步	19	2.4.3 Step 模块的其他功能	59
1.6.7 定义边界条件和载荷	20	2.5 载荷模块 (Load)	61
1.6.8 划分网格	22	2.5.1 定义载荷	61
1.6.9 提交分析作业	24	2.5.2 定义边界条件	66
1.6.10 后处理	25	2.5.3 设置预定义场	69
1.6.11 退出 ABAQUS/CAE	27	2.5.4 定义工况	71
本章小结	27	本章小结	72

第3章 相互作用定义	73	4.4 划分网格	115
3.1 定义相互作用	73	4.5 检查网格	120
3.1.1 接触属性的定义	73	4.6 提高网格质量	121
3.1.2 接触的定义	78	4.6.1 划分网格前的参数设置	121
3.1.3 接触控制的定义	84	4.6.2 编辑几何模型	122
3.1.4 接触实例	84	4.6.3 编辑网格模型	125
3.2 定义约束	87	本章小结	129
3.2.1 绑定约束	87	第5章 分析和后处理	130
3.2.2 刚体约束	89	5.1 分析作业模块(Job)	130
3.2.3 耦合约束	90	5.1.1 创建和管理分析作业	131
3.2.4 显示体约束	92	5.1.2 创建和管理网格自适应过程	135
3.3 定义连接器	93	5.2 可视化模块(Visualization)	137
3.3.1 定义连接器的截面特性	93	5.2.1 显示无变形图和变形图	138
3.3.2 创建连接器的特征线	96	5.2.2 显示云图	144
3.3.3 定义连接单元	98	5.2.3 显示矢量/张量符号图和	
本章小结	99	材料方向图	151
第4章 划分网格	100	5.2.4 显示剖面图	154
4.1 定义网格密度	100	5.2.5 显示 X-Y 图表	156
4.2 设置网格控制	105	5.2.6 输出数据表格	163
4.2.1 选择单元形状	105	5.2.7 显示动画	165
4.2.2 选择网格划分技术设置	106	本章小结	168
4.3 设置单元类型	112		

第二部分 应用案例分析

第6章 结构静力学分析	169	6.3.1 轴对称结构的特点	178
6.1 结构静力学分析简介	169	6.3.2 对称结构分析要素	178
6.1.1 静力学分析的特点	170	6.3.3 压力容器应力分析实例	179
6.1.2 静力学分析的步骤	170	6.4 弹性体的五个基本假设	186
6.2 桁架结构静力分析	171	6.5 如何书写 INP 文件	187
6.2.1 问题的描述	171	6.5.1 输入文件的组成和结构	187
6.2.2 问题的分析	171	6.5.2 书写 input 文件的语法规则	189
6.2.3 INP 文件	178	6.5.3 从外存储器中引入模型或者	
6.3 轴对称结构静力分析	178	历史数据	190

6.5.4 举例	190	7.4.6 定义装配件	226
6.5.5 文件的执行	195	7.4.7 划分网格	226
6.5.6 文件的类型介绍和常用指令	196	7.4.8 设置分析步	227
本章小结	201	7.4.9 定义接触	227
第 7 章 接触问题分析	202	7.4.10 定义边界条件	231
7.1 非线性问题分类	202	7.4.11 提交分析作业	232
7.2 圆压头与平板的接触分析	203	7.4.12 后处理	232
7.2.1 问题的描述	203	7.4.13 INP 文件	234
7.2.2 创建部件	204	本章小结	234
7.2.3 创建材料和截面属性	205	第 8 章 材料非线性分析	237
7.2.4 定义装配件	205	8.1 材料非线性分析中的常见问题	237
7.2.5 划分网格	205	8.1.1 塑性	237
7.2.6 设置分析步	205	8.1.2 超弹性	240
7.2.7 定义接触	206	8.1.3 黏弹性	241
7.2.8 定义边界条件和载荷	208	8.2 矩形截面简支梁的弹塑性分析	241
7.2.9 提交分析作业	208	8.2.1 问题的描述	241
7.2.10 后处理	209	8.2.2 问题分析和求解	242
7.2.11 INP 文件	210	8.2.3 INP 文件	244
7.3 接触分析中需要注意的问题	210	8.3 单向压缩试验过程模拟	245
7.3.1 ABAQUS/Standard、ABAQUS/ Explicit 中的接触分析	210	8.3.1 问题的描述	245
7.3.2 定义接触对	211	8.3.2 问题分析和求解	246
7.3.3 有限滑移和小滑移	211	8.3.3 INP 文件	251
7.3.4 定义接触属性	212	8.4 橡胶垫圈的受压分析	251
7.3.5 设定接触面之间的距离或 过盈量	213	8.4.1 问题的描述	251
7.3.6 将接触信息输出至 DAT 文件	215	8.4.2 问题分析和求解	253
7.3.7 迭代过程和 MSG 文件中的信息	216	8.4.3 INP 文件	263
7.3.8 解决接触分析中的收敛问题	219	本章小结	263
7.4 过盈装配过程模拟	223	第 9 章 结构动力学分析	265
7.4.1 问题的描述	223	9.1 动力学分析简介	265
7.4.2 问题的分析	224	9.1.1 动力学有限元法的基本原理	265
7.4.3 绘制平面图	225	9.1.2 动力学分析的类型	267
7.4.4 创建部件	225	9.2 结构模态分析	268
7.4.5 创建材料和截面属性	226	9.2.1 进行模态分析的功能	268
		9.2.2 模态分析的步骤	268
		9.2.3 固定机床的振动模态分析	269

9.3 瞬态动力学分析	278	11.5.3 INP 文件	349
9.3.1 瞬态动力学分析的原理	278	本章小结	349
9.3.2 钢球对钢板的侵彻模拟分析	279	第 12 章 显式非线性动态分析	351
本章小结	293	12.1 ABAQUS/Explicit 适用的问题类型	351
第 10 章 热应力分析	294	12.2 动力学显式有限元方法	352
10.1 热应力分析简介	294	12.2.1 显式时间积分	353
10.1.1 热应力分析的基本原理	295	12.2.2 隐式和显式的比较	354
10.1.2 热应力分析中的主要问题	297	12.3 应力波在棒中传播分析	355
10.2 带孔平板的热应力分析	298	12.3.1 问题的描述	355
10.2.1 问题的描述	298	12.3.2 问题的分析	356
10.2.2 问题分析和求解	298	12.3.3 ABAQUS/CAE 求解过程	356
10.2.3 INP 文件	305	12.3.4 INP 文件	369
10.3 刹车盘热应力分析	305	12.4 水下圆筒在爆炸冲击下的响应分析	369
10.3.1 问题的描述	305	12.4.1 问题的描述	369
10.3.2 问题分析和求解	306	12.4.2 问题分析和求解	370
10.3.3 INP 文件	318	12.4.3 INP 文件	381
本章小结	318	本章小结	382
第 11 章 多体系统分析	319	第 13 章 多步骤分析	383
11.1 ABAQUS 多体系统分析简介	319	13.1 分析过程	383
11.2 ABAQUS 的连接单元和连接属性	320	13.1.1 分析过程的分类	384
11.2.1 连接单元边界条件和载荷	320	13.1.2 一般分析步	384
11.2.2 连接单元行为	321	13.1.3 线性摄动分析	385
11.2.3 ABAQUS 的连接属性	322	13.2 管道系统的振动	388
11.2.4 基本连接属性	323	13.2.1 问题的描述	389
11.2.5 组合连接属性	326	13.2.2 问题分析和求解	389
11.3 矩形螺旋桨旋转过程模拟	328	13.2.3 重启动分析	398
11.3.1 问题的描述	329	13.2.4 创建重启动分析模型	399
11.3.2 问题分析和求解	329	13.3 金属板成型模拟分析	403
11.3.3 INP 文件	339	13.3.1 问题的描述	403
11.4 多体分析要注意的问题	339	13.3.2 问题分析和求解	404
11.4.1 多体分析中的过约束	339	13.3.3 INP 文件	419
11.4.2 选择连接属性和边界条件	340	本章小结	419
11.5 双向联轴器机构分析	341	第 14 章 用户子程序	421
11.5.1 问题的描述	341	14.1 用户子程序接口概述	421
11.5.2 问题的分析	341	14.1.1 用户子程序的功能和优点	421

14.1.2 在 ABAQUS 中使用 用户子程序	422	14.4.2 问题分析和求解	447
14.1.3 用户子程序详解	423	14.4.3 INP 文件	453
14.2 ABAQUS 用户子程序	428	14.4.4 UMAT 的 Fortran 程序	453
14.2.1 ABAQUS/Standard 中的 用户子程序	428	本章小结	460
14.2.2 ABAQUS/Explicit 中的 用户子程序	430	第 15 章 复杂工程分析	461
14.3 ABAQUS 中调用用户子程序	432	15.1 工程铰接结构的分析模拟	461
14.3.1 问题的描述	432	15.1.1 问题的描述	461
14.3.2 问题分析和求解	432	15.1.2 问题分析和求解	462
14.3.3 INP 文件	444	15.1.3 INP 文件	478
14.3.4 UMAT 子程序	444	15.2 钣金成型过程模拟分析	478
14.4 单向压缩试验有限元模拟	446	15.2.1 问题的描述	479
14.4.1 问题的描述	446	15.2.2 问题分析和求解	479
		15.2.3 INP 文件	494
		本章小结	495
		附录 A 错误信息和警告信息总汇	496

第一部分 基础知识

第 1 章

ABAQUS 概述

ABAQUS 是一款功能强大的有限元分析软件，本章将简要介绍 ABAQUS 的使用环境和软件发展历程。ABAQUS 提供了强大的帮助文件系统，并且包含一套完整的帮助文档。通过本章的学习，使读者了解利用 ABAQUS 软件进行有限元分析的一般步骤和其特有的模块化处理方式。

教学目标

- (1) 了解 ABAQUS 的简介和使用环境。
- (2) 掌握 ABAQUS 的文件系统。
- (3) 熟悉 ABAQUS 帮助文档。

1.1 ABAQUS 简介

ABAQUS 是一款功能强大的有限元分析软件，它既可以完成简单的有限元分析，也可以用来模拟非常庞大复杂的模型，解决工程实际中大型模型的高度非线性问题。

ABAQUS 由世界知名的有限元分析软件公司——ABAQUS 公司（原为 HKS 公司，即 Hibbitt, Karlsson & Sorensen, INC.，2005 年被法国达索公司收购，2007 年公司更名为 SIMULIA）于 1978 年推出。

ABAQUS 软件是在计算机硬件和软件高速发展的背景下应运而生的，并根据用户反馈的信息不断解决新的技术难题与软件更新，使得其逐步完善。

具体而言，ABAQUS 不仅能进行有效的静态和准静态的分析、瞬态分析、模态分析、弹塑性分析、接触分析、碰撞和冲击分析、爆炸分析、屈服分析、断裂分析、疲劳和耐久性分析等结构和热分析，而且可以进行流—固耦合分析、声场和声—固耦合分析、压

电和热—电耦合分析、热—固耦合分析、质量扩散分析等。

ABAQUS 在很多国家得到了广泛应用，用户分布于机械、土木、水利、航空航天、船舶、电器、汽车等各个工程领域。近年来，我国的 ABAQUS 用户也迅速增长，使得 ABAQUS 在大量的高科技产品的研发过程中发挥了巨大的作用。

ABAQUS 使用非常简便，很容易建立复杂问题的模型。对于大多数数值模拟，用户只需要提供结构的几何形状、边界条件、材料性质、载荷情况等工程数据。对于非线性问题的分析，ABAQUS 能自动选择合适的载荷增量和收敛准则，在分析过程中对这些参数进行调整，保证结果的精确性。

此外，ABAQUS 基于其丰富的单元库，可以用于模拟各种复杂的几何形状，并且拥有丰富的材料模型库，可用于模拟绝大多数的常见工程材料，如金属、聚合物、复合材料、橡胶、可压缩的弹性泡沫、钢筋混凝土及各种地质材料等。

1.2 ABAQUS 分析模块

ABAQUS 包括三个主要的分析模块：ABAQUS/Standard、ABAQUS/Explicit 和 ABAQUS/CFD。此外，ABAQUS/Standard 中还附带了 ABAQUS/Aqua、ABAQUS/Design 及 ABAQUS/Foundation 三个特殊用途的分析模块。另外，ABAQUS 还提供了 MOLDFLOW 接口和 ADAMS 接口。

ABAQUS/CAE 的集成工作环境，包括 ABAQUS 的模型建立、交互式提交作业、监控运算过程及结果评估等能力，如图 1-1 所示。本书主要介绍 ABAQUS/CAE、ABAQUS/Standard 及 ABAQUS/Explicit 的基本应用，特殊需求的用户可参阅 *ABAQUS/CAE User's Manual* 等帮助文档。

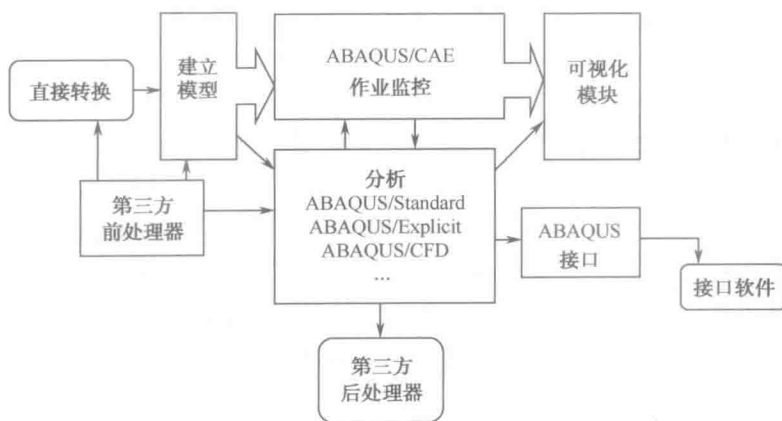


图 1-1 ABAQUS 产品

1. ABAQUS/Standard

ABAQUS/Standard 是一个通用的分析模块。它能够求解广泛领域的线性和非线性问

题, 包括静态分析、动力分析、结构热响应分析, 以及其他复杂非线性耦合物理场的分析。

ABAQUS/Standard 为用户提供了动态载荷平衡的并行稀疏矩阵求解器、基于域分解并行迭代求解器和并行的 Lanczos 特征值求解器, 可以对包含各种大规模计算的问题进行非常可靠的求解, 并进行一般过程分析和线性摄动过程分析。

2. ABAQUS/CAE

ABAQUS/CAE (Complete ABAQUS Environment) 是 ABAQUS 的交互式图形环境。它可以便捷地生成或者输入分析模型的几何形状, 为部件定义材料特性、边界条件、载荷等模型参数。

ABAQUS/CAE 具有强大的几何体划分网格功能, 可以检测所形成的分析模型, 并在模型生成后提交、监视和控制分析作业, 最后通过 Visualization 可视化模块显示得到的结果。

ABAQUS/CAE 是目前为止唯一采用“特征”(feature-based) 参数化建模方法的有限元前处理程序。用户可通过拉伸、旋转、放样等方法来创建参数化几何体, 也可以导入各种通用 CAD 系统建立的几何体, 并运用参数化建模方法对模型进行编辑。

在 ABAQUS/CAE 中, 用户能够方便地根据个人的需求设置 ABAQUS/Standard 或 ABAQUS/Explicit 对应的材料模型和单元类型, 并进行网格划分。对部件间的接触、耦合、绑定等相互作用, ABAQUS 也能够方便地定义。

3. ABAQUS/Explicit

ABAQUS/Explicit 为显式分析求解器, 适用于模拟短暂、瞬时的动态事件, 以及求解冲击和其他高度不连续问题; 此外, 它对处理改变接触条件的高度非线性问题也非常有效, 能够自动找出模型中各部件之间的接触对, 高效地模拟部件之间的复杂接触, 如模拟成型问题。它的求解方法是在短时间域内以很小的时间增量步向前推出结果, 而无须在每个增量步求解耦合的方程系统和生成总刚。

ABAQUS/Explicit 拥有广泛的单元类型和材料模型, 但是它的单元库是 ABAQUS/Standard 单元库的子集。它提供的基于域分解的并行计算仅可进行一般过程分析。此外, 需要注意的是, ABAQUS/Explicit 不但支持应力/位移分析, 而且支持耦合的瞬态温度/位移分析、声-固耦合的分析。

可见, ABAQUS/Explicit 和 ABAQUS/Standard 具有各自的适用范围, 它们互相配合使得 ABAQUS 功能更加灵活和强大。有些工程问题需要两者结合使用, 以一种求解器开始分析, 分析结束后将结果作为初始条件交给另一种求解器继续进行分析, 从而结合显式和隐式求解技术的优点。

4. ABAQUS/CFD

ABAQUS/CFD 是 ABAQUS 新增加的流体仿真模块, 新模块的增加使得 ABAQUS 能够模拟层流、湍流等流体问题, 以及热传导、自然对流问题等流体传热问题。该模块

的增加使得流体材料特性、流体边界、载荷，以及流体网格等与流体相关的前处理定义等都可以在 ABAQUS/CAE 里完成，同时还可以用 ABAQUS 输出等值面、流速矢量图等多种流体相关后处理结果。ABAQUS/CFD 使得 ABAQUS 在处理流—固耦合问题时拥有更优秀的表现，配合使用 ABAQUS/Explicit 和 ABAQUS/Standard，使得 ABAQUS 更加灵活和强大。

5. ABAQUS/View

ABAQUS/View 是 ABAQUS/CAE 的子模块，后处理功能中的可视化模块(Visualization) 就包含其中。

6. ABAQUS/Design

ABAQUS/Design 扩展了 ABAQUS 设计敏感度分析 (DSA) 中的应用。设计敏感度分析可用于预测设计参数变化对结构响应的影响。它是一套可选择模块，可以附加到 ABAQUS/Standard 模块。本书将不介绍该模块。

7. ABAQUS/Aqua

ABAQUS/Aqua 也是 ABAQUS/Standard 的附加模块，它主要用于海洋工程，可以模拟近海结构，也可以进行海上石油平台导管和立架的分析、基座弯曲的计算和漂浮结构的研究及 J 管道的受拉模拟。它的其他一些功能包括模拟稳定水流和波浪，对受浮力和自由水面上受风载的结构进行分析。本书将不介绍该模块。

8. ABAQUS/Foundation

ABAQUS/Foundation 是 ABAQUS/Standard 的一部分，它可以更经济地使用 ABAQUS/Standard 的线性静态和动态分析。本书将不介绍 ABAQUS/Foundation 模块的使用。

9. MSC.ADAMS 接口

ABAQUS 的 MSC.ADAMS 接口是基于 ADAMS/Flex 的子模态综合格式，它是 ABAQUS/Standard 的交互产品，使用户能够将 ABAQUS 同机械系统动力学仿真软件 MSC.ADAMS 一起配合使用，可将 ABAQUS 中的有限元模型作为柔性部分输入到 MSC.ADAMS 系列产品中。本书将不介绍该模块。

10. MOLDFLOW 接口

ABAQUS 的 MOLDFLOW 接口是 ABAQUS/Explicit 和 ABAQUS/Standard 的交互产品，使用户能将注塑成型软件 MOLDFLOW 与 ABAQUS 配合使用，将 MOLDFLOW 分析软件中的有限元模型信息转换成 INP 文件的组成部分。本书将不介绍该模块。

1.3 ABAQUS 使用环境

ABAQUS/CAE 是完整的 ABAQUS 运行环境，它为生成 ABAQUS 模型、交互式的提交作业、监控和评估 ABAQUS 运行结果提供了一个一致的、风格简单的界面。

ABAQUS 分成若干个功能模块，每个模块定义了模拟过程中的一个逻辑步骤，例如，生成部件、定义材料属性、网格划分等。完成一个功能模块的操作后，可以进入下一个功能模块，逐步建立分析模型。

ABAQUS/Standard 或者 ABAQUS/Explicit 读入由 ABAQUS/CAE 生成的输入文件进行分析，将信息反馈给 ABAQUS/CAE 来让用户对作业进程进行监控，并生成输出数据库。最后，用户可通过 ABAQUS/CAE 的可视化模块读入输出的数据库，进一步观察分析的结果。

在操作过程中，会生成一个包含 ABAQUS/CAE 操作命令的执行文件（.rpy 文件），它是 ABAQUS 文件系统的组成部分。下面将简要介绍 ABAQUS 的使用环境。

1.3.1 启动 ABAQUS/CAE

在操作系统的命令提示符中输入如下命令：

```
abaqus cae
```

这里 abaqus 是运行 ABAQUS 的命令。不同的系统可能会有所不同。

当 ABAQUS/CAE 启动以后，会出现 Start Session（开始任务）对话框，如图 1-2 所示。下面将介绍对话框中的选项。

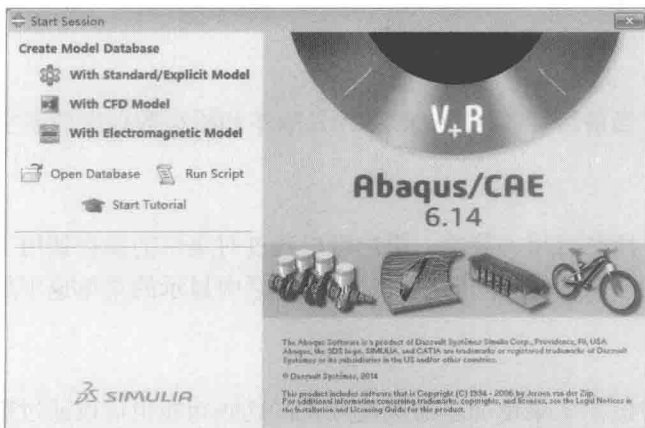


图 1-2 Start Session 对话框

(1) Create Model Database: 开始一个新的分析过程。用户可根据自己的问题建立 Standard/Explicit Model、CFD Model 或 Electromagnetic Model。

(2) Open Database: 打开一个以前存储的模型或者输入/输出数据库文件。

- (3) Run Script: 运行一个包含 ABAQUS/CAE 命令的文件。
- (4) Start Tutorial: 单击后将打开 ABAQUS 的辅导教程在线文档。

1.3.2 ABAQUS 的主窗口

用户可以通过主窗口与 ABAQUS/CAE 进行交互，图 1-3 中显示了主窗口的各个组成部分。

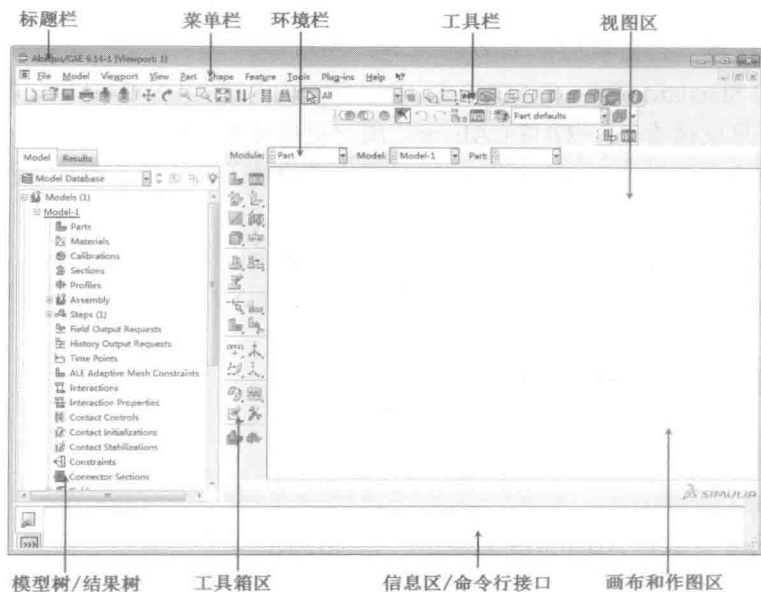


图 1-3 主窗口的各个组成部分

1. 标题栏

标题栏显示了当前运行的 ABAQUS/CAE 版本和模型数据库的名字。

2. 菜单栏

菜单栏显示了所有可用的菜单，用户可以通过对菜单的操作调用 ABAQUS/CAE 的各种功能。在环境栏中选择不同的模块时，菜单栏中显示的菜单也不尽相同。

3. 工具栏

工具栏给用户提供了菜单功能的快捷方式，这些功能也可以通过菜单进行访问。

4. 环境栏

ABAQUS/CAE 由一组功能模块组成，每一模块针对模型的某一方面。用户可以在环境栏中的 Module（模块）列表中的各个模块之间进行切换。

提示

环境栏中的其他项是当前操作模块的相关功能。如用户在创建模型的几何形状时，可以通过环境栏提取出一个已经存在的部件（Part）。

(1) 画布和作图区。可以把画布和作图区比作为一个无限大的屏幕，用户在其上摆放视图区域（viewport）。作图区则是当前显示的部分。

(2) 提示区。用户在 ABAQUS/CAE 中进行的各种操作都会在提示栏得到相应的提示。例如，当在作图区画一个矩形时，提示区会提示用户输入相应的点信息。

(3) 视图区。ABAQUS/CAE 通过在画布上的视图区显示用户的模型。

(4) 工具箱区。当用户进入某一功能模块时，工具箱会显示该功能模块相应的工具箱。工具箱的存在使得用户可以方便地调用该模块的许多功能。



(5) 命令行接口。使用 ABAQUS/CAE 利用内置的 Python 编译器，在使用命令行接口输入 Python 命令和数学表达式。

提示

接口中包含了主要（>>>）和次要（...）提示符，随时提示用户安装 Python 的语法输入命令行。

(6) 信息区。ABAQUS/CAE 在信息区显示状态信息和警告。通过拖动其顶边可以改变信息区的大小；利用滚动条可以查阅已经滚出信息区的信息。信息区在默认状态下是显示的，这里同时也是命令行接口的位置。

提示

通过窗口信息区左侧的 Message Area（信息区）按钮和 Command Line Interface（命令行接口）按钮可以进行切换。

1.3.3 ABAQUS/CAE 功能模块

如前所述，ABAQUS/CAE 划分为一系列的功能单元，称为功能模块。每一个功能模块都只包含与模拟作业的某一指令部分相关的一些工具。例如，Part（部件）模块只包含生成几何模型的部件，而 Mesh（网格）模块只包含生成有限元网格的工具。

用户可以从环境栏中的 Module（模块）列表中选择进入各个模块，如图 1-4 所示。列表中的模块次序与创建一个分析模型应遵循的逻辑次序应该是一致的。例如，用户在生成 Assembly（装配件）前必须先生成 Part（部件）。

当然，ABAQUS/CAE 也允许用户在任何时刻选择任一个模块进行工作，而无须关注模型的当前状态。然而，这种操作会受到明显的限制。例如，像悬臂梁横截面尺寸一类的截面性质



图 1-4 选择一个模块