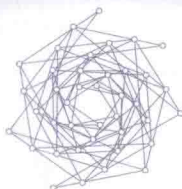


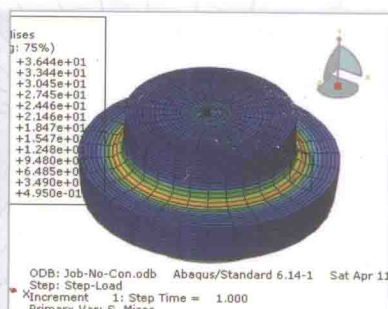
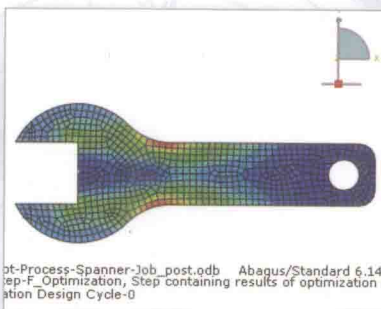
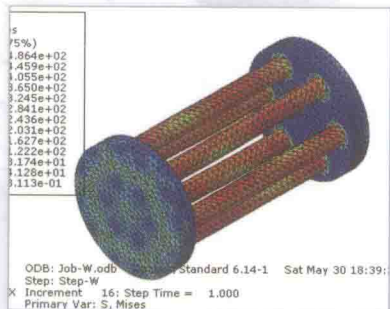


工程软件应用精解



ABAQUS 6.14 超级学习手册

齐威 编著

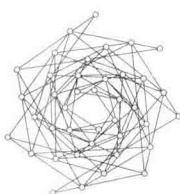


中国工信出版集团

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



工程软件应用精解



ABAQUS 6.14 超级学习手册

齐威 编著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

ABAQUS 6.14 超级学习手册 / 齐威编著. — 北京 :
人民邮电出版社, 2016.6
ISBN 978-7-115-42048-0

I. ①A… II. ①齐… III. ①有限元分析—应用软件
—手册 IV. ①O241.82-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第077344号

内 容 提 要

本书内容新颖丰富, 贴合实际, 涉及领域广泛, 从实际工程案例入手详细介绍了 ABAQUS 6.14 有限元软件的功能, 旨在帮助读者在掌握 ABAQUS 软件的同时能够掌握实际工程问题的分析思路、方法, 学会将实际问题转化为有限元分析的求解模型, 并通过有限元分析解决本领域所遇到的问题。

本书根据 ABAQUS 6.14 有限元软件的功能, 结合不同学科及工程应用, 按照从简单到复杂的原则分为两部分, 共 19 章节。第 1~6 章按软件功能依次讲解了几何模型的建立、分析步及载荷边界条件的定义、相互作用定义、网格划分、分析和后处理等; 第 7~19 章按照不同学科专业领域所涉及的实际工程问题, 结合实例分别介绍了 ABAQUS 在静力学、接触问题、非线性问题、结构动力学、热应力、多体系统、显式非线性、多步骤、用户子程序、复杂工程问题、多物理场耦合、优化设计和仿真加工等方面的相关应用。

本书附带 DVD-ROM 光盘, 提供书中部分实例的 ABAQUS 模型文件及求解结果文件, 方便读者学习使用。

本书适合理工院校土木、机械、电子、热能、航空、力学等相关专业的硕士研究生、博士研究生及教师使用, 也适合从事相关领域科学技术研究的工程技术人员使用。

◆ 编 著 齐 威

责任编辑 王峰松

责任印制 焦志炜

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

固安县铭成印刷有限公司印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 42

字数: 1011 千字

2016 年 6 月第 1 版

印数: 1-2 500 册

2016 年 6 月河北第 1 次印刷

定价: 99.00 (附光盘)

读者服务热线: (010)81055410 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

广告经营许可证: 京东工商广字第 8052 号

前 言

ABAQUS 作为国际上最先进的大型通用非线性有限元分析软件之一，不断吸取最新的分析理论和计算机技术，领导着全世界非线性有限元技术的发展。ABAQUS 软件已被全球工业界广泛接受，并拥有大量的非线性力学用户群。

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。

本书例题来源于各领域的不同专业的工程实际问题，通过作者精心设计和筛选，剪性强，并且具有实际应用的工程背景。每个例子都是通过操作流程截图详细讲解分析整个过程，可以使初学者快速入门。对于中高级用户，书中个例也具有重要的参考价值，对解决实际的工程问题具有一定的指导作用。

本书选题新颖，贴合实际，涉及机械、土木、水利、航空航天、船舶、电器、机加成型等各个工程领域，从实际工程案例入手详细介绍了 ABAQUS 6.14 有限元软件的功能，旨在使读者在掌握 ABAQUS 有限元软件的同时能够掌握实际工程问题的分析思路、方法和经验，学会建立求解实际问题的数学模型，找出实际问题与 ABAQUS 有限元分析模型之间的关系，将实际问题转化为有限元分析的求解模型，并通过有限元分析解决本领域所出现的问题。

本书根据 ABAQUS 6.14 有限元软件的功能，同时结合不同学科及工程应用，按照从简单到复杂的原则分为 19 个章节，具体编排如下。

第 1 章 ABAQUS 概述：本章通过一个简单实例介绍了 ABAQUS 处理问题的流程、分析模块、使用环境、文件系统和帮助文档等。

第 2 章 几何模型建立：本章介绍了 ABAQUS 的前处理模块中的 Part 模块、Sketch 模块、Property 模块、Assembly 模块的功能和常用设置。用 Part 模块建立模型，用草图 Sketch 模块创建部件，在 Assembly 模块中进行组装，用 Property 模块定义材料属性和截面特性。

第 3 章 定义分析步和载荷边界条件：本章介绍了 ABAQUS 的前处理模块中的 Step 模块和 Load 模块的功能和常用设置。通过 Step 功能模块进行分析步和输出的定义，由 Load 功能模块定义模型装配件的载荷、边界条件、预定义场和载荷状况。

第 4 章 相互作用定义：本章介绍了 ABAQUS 中的相互作用模块，通过该模块功能定义接触、热传导、弹性基础、入射波、热辐射、声阻，通过 Constraint 菜单或工具区内相应的工具定义绑定约束、显示体约束、刚体约束、耦合约束、嵌入区域约束、壳-实体耦合约束和方程约束，通过 Connector 菜单或工具区内相应的工具定义各种连接器。

第5章 划分网格：本章主要介绍了 ABAQUS 中划分网格的操作和设置，详细介绍了如何撒种子定义网格密度、网格控制和单元类型设置、网格划分和检查以及提高网格质量的方法。

第6章 分析和后处理：本章介绍了 ABAQUS 的分析和后处理功能，介绍了使用 Job 模块进行提交、监视和中止任务，以及利用 Visualization 模块对结果进行分析的常用操作。

第7章 结构静力学分析：本章主要讲解了结构静力学的分析，首先给出了三角桁架结构的案例分析，然后介绍了二维平板结构件的受力分析，最后讲解了轴对称结构的分析步骤。

第8章 接触问题分析：本章主要讲解了接触问题分析，首先介绍一个简单的套筒与轴肩的接触分析实例，让读者对接触分析的基本方法有一个感性的认识，然后再详细讨论接触分析的一些关键问题，最后介绍一个较复杂的锁扣锁紧过程模拟实例。

第9章 材料非线性分析：本章首先介绍了弹塑性材料的结构受力分析，包括弹塑性半圆壳体受压、卷轮压缩的弹塑性材料问题，然后介绍了橡胶类材料的接触分析。

第10章 结构动力学分析：本章详细地介绍了结构的模态动力学分析，以及结构的瞬态动力学分析的操作方法和步骤。

第11章 热应力分析：本章首先介绍了热应力分析的有限元基础，然后详细讲解了圆筒杯受热分析步骤，最后给出了滑块滑轨的热-力耦合分析实例。

第12章 多体系统分析：本章首先介绍了多体系统分析、ABAQUS 的连接单元和连接属性，然后给出了圆柱销在滑槽中的滑动过程模拟和四杆机构运动模拟分析。

第13章 显式非线性动态分析：本章首先介绍了 ABAQUS/Explicit 适用的问题类型和显式动力学的有限元方法，然后介绍了 ABAQUS/Explicit 进行防爆筒的应力波的传播和水上爆炸冲击的响应分析。

第14章 多步骤分析：本章首先介绍了分析过程的基本知识，然后详细讲解了用 ABAQUS 进行锅炉的压力及升温分析两步骤分析的流程，最后介绍了金属板成型模拟分析的操作步骤。

第15章 用户子程序：本章主要介绍了用户子程序的基本知识和常用的用户子程序接口，以及了解使用用户子程序进行分析的操作，然后介绍了圆柱试样的单向压缩试验有限元模拟过程。

第16章 复杂工程分析：本章介绍了两个较为复杂的工程实例，及在建模过程中需要综合运用多种建模技巧，穿插讲解了真实工程问题的分析方法。首先介绍了工程铰接结构的分析模拟，然后详细介绍了金属印字过程模拟分析。

第17章 多物理场分析：本章介绍多物理场耦合分析中的直接耦合和间接耦合原理、应用范围以及多物理场分析的操作流程，并遵循此流程，逐步详解了热-电直接和间接耦合的分析模拟。

第18章 优化设计：本章介绍了拓扑优化和形状分析优化模拟的流程、常用优化术语，然后详解了横梁的拓扑优化以及扳手的形状优化过程。

第19章 仿真加工：本章介绍了机械加工仿真的特点、机械加工仿真问题求解的方法、机械加工仿真模型简化的方法，然后给出了三角铁辊压的仿真过程和钣金折弯实例。

本书适合作为土木、机械、航空、力学等相关专业的硕士研究生、博士研究生、高年

级本科生及 ABAQUS 初中级读者学习结构数值分析及 ABAQUS 软件应用的参考书，对从事结构设计、电子设计、热设计、流体分析等行业的工程技术人员也具有一定的参考价值。

本书由齐威编著，虽然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。

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

目 录

第 1 章 ABAQUS 概述	1	2.1.2 导入部件	34
1.1 ABAQUS 简介	1	2.1.3 模型的修复与修改	35
1.2 ABAQUS 分析模块	2	2.2 特性模块 (Property)	37
1.3 ABAQUS 使用环境	6	2.2.1 定义材料属性	38
1.3.1 启动 ABAQUS/CAE	6	2.2.2 创建和分配截面特性	40
1.3.2 ABAQUS 的主窗口	7	2.2.3 设置梁的截面特性和方向	41
1.3.3 ABAQUS 的单位一致性	8	2.2.4 Special 菜单的功能	42
1.3.4 ABAQUS/CAE 模型树	9	2.3 装配模块 (Assembly)	43
1.3.5 ABAQUS/CAE 功能模块	9	2.3.1 创建部件实体	44
1.4 ABAQUS 文件系统	11	2.3.2 部件实体的定位	46
1.5 ABAQUS 帮助文档	13	2.3.3 合并/剪切部件实体	48
1.5.1 ABAQUS 帮助文档的内容	13	本章小结	50
1.5.2 如何使用 ABAQUS 帮助文档	14	第 3 章 定义分析步和载荷边界条件	51
1.6 实例快速入门	16	3.1 分析步模块	51
1.6.1 问题的描述	16	3.1.1 设置分析步	52
1.6.2 启动 ABAQUS	16	3.1.2 定义输出	59
1.6.3 创建部件	16	3.1.3 Step 模块的其他功能	62
1.6.4 创建材料和截面属性	20	3.2 载荷模块 (Load)	63
1.6.5 定义装配件	22	3.2.1 定义载荷	64
1.6.6 设置分析步	22	3.2.2 定义边界条件	69
1.6.7 定义边界条件和载荷	23	3.2.3 设置预定义场	72
1.6.8 划分网格	25	3.2.4 定义工况	73
1.6.9 提交分析作业	26	本章小结	74
1.6.10 后处理	27	第 4 章 相互作用定义	75
1.6.11 退出 ABAQUS/CAE	29	4.1 定义相互作用	75
本章小结	29	4.1.1 接触属性的定义	76
第 2 章 几何模型建立	31	4.1.2 接触的定义	80
2.1 部件模块 (Part) 和草图模块 (Sketch)	31	4.1.3 接触控制的定义	86
2.1.1 ABAQUS 中创建部件	31	4.1.4 接触实例	86
		4.2 定义约束	88
		4.2.1 绑定约束	89

4.2.2 刚体约束	90	7.1.2 静力学分析的步骤	169
4.2.3 耦合约束	91	7.2 桁架结构静力分析	169
4.2.4 显示体约束	93	7.2.1 问题的描述	169
4.3 定义连接器	94	7.2.2 问题的求解	170
4.3.1 定义连接器的截面特性	94	7.2.3 INP 文件	176
4.3.2 创建连接器的特征线	98	7.3 平板结构静力分析	176
4.3.3 定义连接单元	99	7.3.1 问题的描述	176
本章小结	100	7.3.2 问题的分析	177
第 5 章 划分网格	101	7.3.3 ABAQUS/CAE 求解过程	177
5.1 定义网格密度	101	7.3.4 INP 文件	186
5.2 设置网格控制	107	7.4 轴对称结构静力分析	186
5.2.1 选择单元形状	108	7.4.1 轴对称结构的特点	186
5.2.2 选择网格划分技术设置	109	7.4.2 轴对称结构分析要素	186
5.3 设置单元类型	114	7.4.3 轴承端盖应力分析实例	187
5.4 划分网格	117	7.5 弹性体的五个基本假设	197
5.5 检查网格	120	7.6 如何书写 INP 文件	197
5.6 提高网格质量	122	7.6.1 输入文件的组成和结构	197
5.6.1 划分网格前的参数设置	122	7.6.2 书写 INPUT 文件的语法	199
5.6.2 编辑几何模型	123	7.6.3 从外存储器中引入模型或者	200
5.6.3 编辑网格模型	126	历史数据	200
本章小结	129	7.6.4 举例	201
第 6 章 分析和后处理	130	7.6.5 文件的执行	205
6.1 分析作业模块 (Job)	130	7.6.6 文件的类型介绍和常用	206
6.1.1 创建和管理分析作业	132	指令	206
6.1.2 创建和管理网格自适应	135	本章小结	210
过程	135	第 8 章 接触问题分析	211
6.2 可视化模块 (Visualization)	137	8.1 非线性问题分类	211
6.2.1 显示无变形图和变形图	138	8.2 套筒与轴肩的接触分析	212
6.2.2 显示云图	143	8.2.1 问题的描述	212
6.2.3 显示矢量/张量符号图和	150	8.2.2 创建部件	213
材料方向图	150	8.2.3 创建材料和截面属性	215
6.2.4 显示剖面图	153	8.2.4 定义装配体	216
6.2.5 显示 X-Y 图表	154	8.2.5 划分网格	216
6.2.6 输出数据表格	162	8.2.6 设置分析步	217
6.2.7 显示动画	164	8.2.7 定义接触	218
本章小结	167	8.2.8 定义边界条件和载荷	220
第 7 章 结构静力学分析	168	8.2.9 提交分析作业	223
7.1 结构静力学分析简介	168	8.2.10 后处理	224
7.1.1 静力学分析的特点	168		

8.2.11 INP 文件.....	226	第 10 章 结构动力学分析.....	295
8.3 接触分析中需要注意的问题.....	226	10.1 动力学分析简介.....	295
8.3.1 ABAQUS/Standard、ABAQUS/ Explicit 中的接触分析.....	226	10.1.1 动力学有限元法的 基本原理.....	295
8.3.2 定义接触对.....	227	10.1.2 动力学分析的类型.....	297
8.3.3 有限滑移和小滑移.....	227	10.2 结构模态分析.....	298
8.3.4 定义接触属性.....	228	10.2.1 进行模态分析的功能.....	298
8.3.5 设定接触面之间的距离或 过盈量.....	229	10.2.2 模态分析的步骤.....	298
8.3.6 将接触信息输出至 DAT 文件.....	230	10.2.3 固定龙门架的振动模态 分析.....	299
8.3.7 迭代过程和 MSG 文件中的 信息.....	231	10.3 瞬态动力学分析.....	310
8.3.8 解决接触分析中的收敛 问题.....	234	10.3.1 瞬态动力学分析的原理.....	310
8.4 锁扣锁紧过程模拟.....	238	10.3.2 钢球对钢板的侵彻模拟 分析.....	311
8.4.1 问题的描述.....	238	本章小结.....	324
8.4.2 问题的求解.....	239	第 11 章 热应力分析.....	326
8.4.3 INP 文件.....	256	11.1 热应力分析简介.....	326
本章小结.....	256	11.1.1 热应力分析的基本原理.....	327
第 9 章 材料非线性分析.....	258	11.1.2 热应力分析中的主要问题.....	328
9.1 材料非线性分析中的常见 问题.....	258	11.2 圆筒杯的热应力分析.....	329
9.1.1 塑性.....	258	11.2.1 问题的描述.....	329
9.1.2 超弹性.....	261	11.2.2 问题的求解.....	330
9.1.3 黏弹性.....	261	11.2.3 INP 文件.....	338
9.2 半圆形壳体的弹塑性分析.....	262	11.3 滑轨滑块热应力分析.....	338
9.2.1 问题的描述.....	262	11.3.1 问题的描述.....	338
9.2.2 问题的求解.....	262	11.3.2 问题的求解.....	339
9.2.3 INP 文件.....	269	11.3.3 INP 文件.....	360
9.3 卷轮受压试验过程模拟.....	269	本章小结.....	360
9.3.1 问题的描述.....	269	第 12 章 多体系统分析.....	361
9.3.2 问题的求解.....	270	12.1 ABAQUS 多体系统分析简介.....	361
9.3.3 INP 文件.....	280	12.2 ABAQUS 的连接单元和连接 属性.....	362
9.4 橡胶垫圈的受压分析.....	280	12.2.1 连接单元边界条件和载荷.....	362
9.4.1 问题的描述.....	280	12.2.2 连接单元行为.....	363
9.4.2 问题的求解.....	282	12.2.3 ABAQUS 的连接属性.....	364
9.4.3 INP 文件.....	293	12.2.4 基本连接属性.....	365
本章小结.....	294	12.2.5 组合连接属性.....	368
		12.3 圆柱销在滑槽中的平移滑动 过程模拟.....	370

12.3.1 问题的描述	370	14.3 金属板成型模拟分析	476
12.3.2 问题的分析和求解	371	14.3.1 问题的描述	476
12.3.3 INP 文件	392	14.3.2 问题的求解	477
12.4 多体分析要注意的问题	392	14.3.3 INP 文件	490
12.4.1 多体分析中的过约束	392	本章小结	490
12.4.2 选择连接属性和边界条件	393	第 15 章 用户子程序	492
12.5 四杆机构分析	393	15.1 用户子程序接口简介	492
12.5.1 问题的描述	394	15.1.1 用户子程序的功能和优点	492
12.5.2 问题的求解	394	15.1.2 在 ABAQUS 中使用用户子程序	493
12.5.3 INP 文件	417	15.1.3 用户子程序详解	493
本章小结	417	15.2 ABAQUS 用户子程序	498
第 13 章 显式非线性动态分析	418	15.2.1 ABAQUS/Standard 中的用户子程序	498
13.1 ABAQUS/Explicit 适用的问题类型	418	15.2.2 ABAQUS/Explicit 中的用户子程序	501
13.2 动力学显式有限元方法	419	15.3 ABAQUS 中调用用户子程序	502
13.2.1 显式时间积分	419	15.3.1 问题的描述	502
13.2.2 隐式和显式的比较	421	15.3.2 问题的求解	502
13.3 应力波在防爆筒中传播分析	421	15.3.3 INP 文件	514
13.3.1 问题的描述	421	15.3.4 UMAT 子程序	514
13.3.2 问题的分析	422	15.4 单向压缩试验有限元模拟	515
13.3.3 ABAQUS/CAE 求解过程	422	15.4.1 问题的描述	515
13.3.4 INP 文件	441	15.4.2 问题的求解	516
13.4 水下圆筒在爆炸冲击下的响应分析	441	15.4.3 INP 文件	522
13.4.1 问题的描述	441	15.4.4 UMAT 的 Fortran 程序	522
13.4.2 问题的求解	441	本章小结	528
13.4.3 INP 文件	454	第 16 章 复杂工程分析	529
本章小结	454	16.1 工程铰接结构的分析模拟	529
第 14 章 多步骤分析	455	16.1.1 问题的描述	529
14.1 分析过程	455	16.1.2 问题的求解	530
14.1.1 分析过程的分类	455	16.1.3 INP 文件	546
14.1.2 一般分析步	456	16.2 金属打字过程模拟分析	546
14.1.3 线性摄动分析	457	16.2.1 问题的描述	547
14.2 锅炉的压力及升温	460	16.2.2 问题的求解	548
14.2.1 问题的描述	460	16.2.3 INP 文件	561
14.2.2 问题的求解	461	本章小结	561
14.2.3 重启动分析	470	第 17 章 多物理场分析	562
14.2.4 创建重启动分析模型	471	17.1 多物理场分析基础	562

17.2 多物理场分析过程	563	18.2.5 几何限制	590
17.3 热-电直接耦合稳态分析实例	563	18.3 拓扑优化实例	590
17.3.1 问题的描述	563	18.3.1 问题的描述	591
17.3.2 问题的求解	564	18.3.2 问题的分析	591
17.3.3 INP 文件	581	18.3.3 求解过程	591
17.4 热-电直接耦合瞬态分析实例	581	18.3.4 INP 文件	606
17.4.1 另存分析模型	581	18.4 形状优化实例	606
17.4.2 修改材料参数	581	18.4.1 问题的描述	606
17.4.3 修改瞬态分析步	583	18.4.2 问题的分析	607
17.4.4 修改边界 Amplitude	584	18.4.3 求解过程	607
17.4.5 重命名并提交作业	584	18.4.4 INP 文件	618
17.4.6 后处理	585	本章小结	618
本章小结	586	第 19 章 仿真加工	620
第 18 章 优化设计	587	19.1 机械加工仿真简介	620
18.1 优化设计基础	587	19.2 三角铁辊压实例	621
18.1.1 优化模块界面	587	19.2.1 问题的描述	621
18.1.2 结构优化介绍	588	19.2.2 问题的求解	622
18.1.3 拓扑优化	588	19.2.3 INP 文件	644
18.1.4 形状优化	588	19.3 钣金折弯实例	644
18.1.5 优化术语	588	19.3.1 问题的描述	644
18.2 优化设计流程	589	19.3.2 问题的求解	645
18.2.1 优化流程	589	19.3.3 INP 文件	661
18.2.2 设计响应设置	589	本章小结	661
18.2.3 目标函数设置	589	参考文献	662
18.2.4 约束设置	590		

第 1 章 ABAQUS 概述

ABAQUS 是一款功能强大的有限元分析软件，其核心是求解器模块，ABAQUS/Standard 和 ABAQUS/Explicit 是互相补充的、集成的分析模块。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，读者能够了解利用 ABAQUS 软件进行有限元分析的一般步骤和其特有的模块化的处理方式。

学习目标

- (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 有限公司是世界知名的有限元软件公司，成立于 1978 年，主要业务是非线性有限元分析软件 ABAQUS 的开发、维护及售后服务。由于不断吸取最新的分析理论和计算机技术，领导着全世界非线性有限元技术的发展，ABAQUS 软件已被全球工业界广泛接受，并拥有世界最大的非线性力学用户群。ABAQUS 已成为国际上最先进的大型通用非线性有限元分析软件。

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 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 基于丰富的单元库，可以用于模拟各种复杂的几何形状，并且其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。ABAQUS/Standard 是通用的有限元分析模块, 它可以分析多种不同类型的问题, 其中包括许多非结构问题。ABAQUS/Explicit 是显式的动力学有限元分析模块。ABAQUS/CAE 将分析模块集成于 Complete Abaqus Environment, 用于建模、管理、监控 ABAQUS 的分析过程和结果的可视化处理。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了 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, 有特殊需求的用户可参阅《ABAQUS/CAE User's Manual》等帮助文档。

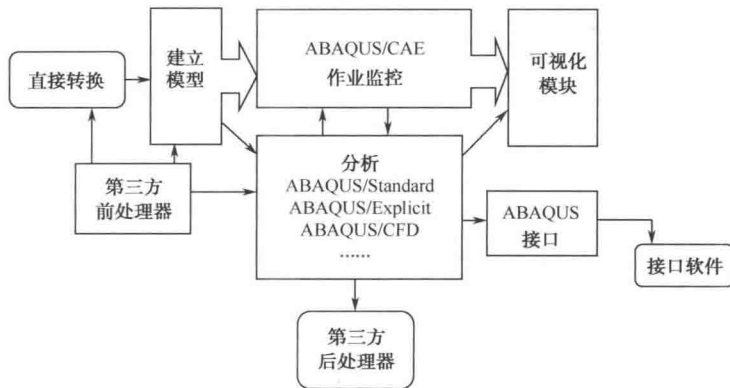


图 1-1 ABAQUS 产品

1. ABAQUS/Standard

ABAQUS/Standard 是一个通用的隐式求解器。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、结构的热响应的分析, 以及其他复杂非线性耦合物理场的分析。

它可以为工程师和分析专家提供强有力的工具来解决许多工程问题: 从线性静态、动态分析到复杂的非线性耦合物理场分析。其主要应用领域可以概况如下。

- (1) 常规的静态弯曲变形、强度分析。
- (2) 结构的固有振动特性及在某种载荷状态下的振动特性分析。
- (3) 轴承、轴套、螺栓连接等接触非线性分析。
- (4) 频域动态响应分析, 机构运动过程分析。
- (5) 超弹性橡胶、复合材料分析。
- (6) 结构传热分析。

- (7) 各种耦合分析。
- ◇ 热机械平衡的原理（热固耦合）。
 - ◇ 热电（焦耳加热）原理进行分析（热电耦合）。
 - ◇ 压电性能（电固耦合）。
 - ◇ 结构的声学研究（声固耦合）。
- (8) 方便灵活的用户子程序，生成用户特殊的单元、材料、摩擦、约束和载荷等。
- (9) 并行处理、高效的直接和迭代求解器。
- (10) 与 ABAQUS/Explicit 结合，进行特殊过程模拟，如金属成型。

ABAQUS/Standard 提供并行的稀疏矩阵求解器。对于各种大规模计算问题，该求解器都能十分可靠地快速求解。业内领先的 ABAQUS/Standard 分析能力，结合于现有前后处理器的兼容能力，使 ABAQUS 常常成为用户的唯一选择：用户可以把他们所有的有限元分析需求全部集成在 ABAQUS 中进行求解。

此外，ABAQUS/Standard 有最好的行业技术支持和完备的手册做后盾，用户完全可以放心地使用该产品。

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。图 1-2 所示为 ABAQUS/CAE 视窗，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。

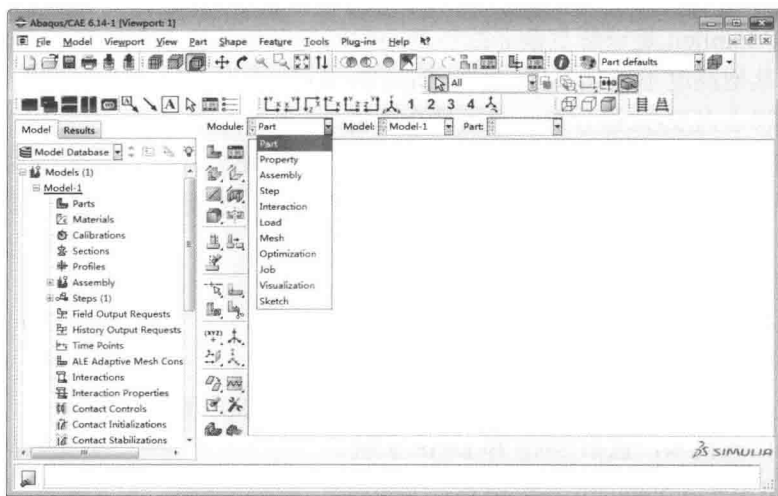


图 1-2 ABAQUS/CAE 视窗

ABAQUS/CAE 模块是运用 ABAQUS 软件进行分析求解的人机交互界面，在 CAE 模块下，用户可以实现模型建立、材料定义、分析类型的定义、载荷及边界约束的施加、网格划分、结果后处理等与分析相关的任何定义。

在 ABAQUS/CAE 中, 用户能够创建参数化几何体, 如: 拉伸、旋转、扫掠、倒角和放样。同时也能够由各种流行的 CAD 系统导入几何体, 并运用上述建模方法进行进一步编辑。

ABAQUS/CAE 支持广泛的 ABAQUS 分析功能, 并且为初学者和经验丰富的用户提供人机交互的使用环境。熟悉 ABAQUS 分析概念, 如分析步、接触、约束和预设条件等, 能够通过操作简便的界面得以实现。ABAQUS/CAE 还提供了完全的后处理和可视化功能, 即使最大规模的 ABAQUS 分析结果也可以高速、高质量地进行绘图。

ABAQUS/CAE 具有强大的几何体划分网格的功能, 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, 而无需在每个增量步求解耦合的方程系统和生成总刚。

ABAQUS /Explicit 是求解复杂非线性动力学问题和准静态问题的理想程序, 特别是用于模拟冲击和其他高度不连续事件。ABAQUS/Explicit 不但支持应力/位移分析, 而且还支持完全耦合的瞬态温度-位移分析、声固耦合分析。

ABAQUS/Explicit 与 ABAQUS/Standard 的有机结合使求解能力更加强大和灵活。任意的拉格朗日-欧拉 (ALE) 自适应网格功能可以有效地模拟大变形非线性问题。其主要应用领域包括以下几个方面。

- (1) 通用的显式问题求解。
- (2) 非线性动力学分析和准静态分析。
- (3) 完全耦合的热力学分析。
- (4) 自动接触 (General Contact) 提供简单和稳定的接触建模方法。
- (5) 并行处理技术, 包括 SMP 和 DMP 系统。
- (6) 和 ABAQUS/Standard 有机结合, 分析特殊过程和问题, 如装配预应力。
- (7) 运用 ALE 技术创建自适应网格 (模拟几何体的移动与位移)。
- (8) 冲击和 underwater 爆炸分析功能。

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。有些工程问题需要二者的结合使用, 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于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。下面将简要介绍下 ABAQUS 的使用环境。

1.3.1 启动 ABAQUS/CAE

(1) 在操作系统的开始→所有程序→ABAQUS 6.14-1 启动。

操作步骤菜单如图 1-3 所示。启动时会首先弹出命令提示符窗口，如图 1-4 所示。接着开启 ABAQUS/CAE 主视窗口和 Start Session 对话框。



图 1-3 ABAQUS 6.14-1 开始菜单

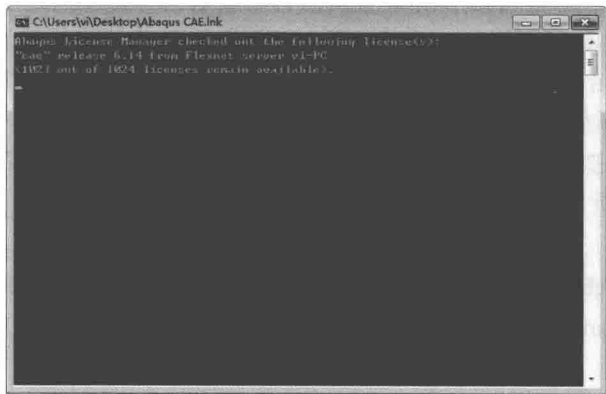


图 1-4 ABAQUS 6.14-1 命令提示符窗口

(2) 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 1-5 所示。下面将介绍对话框中的选项。

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。