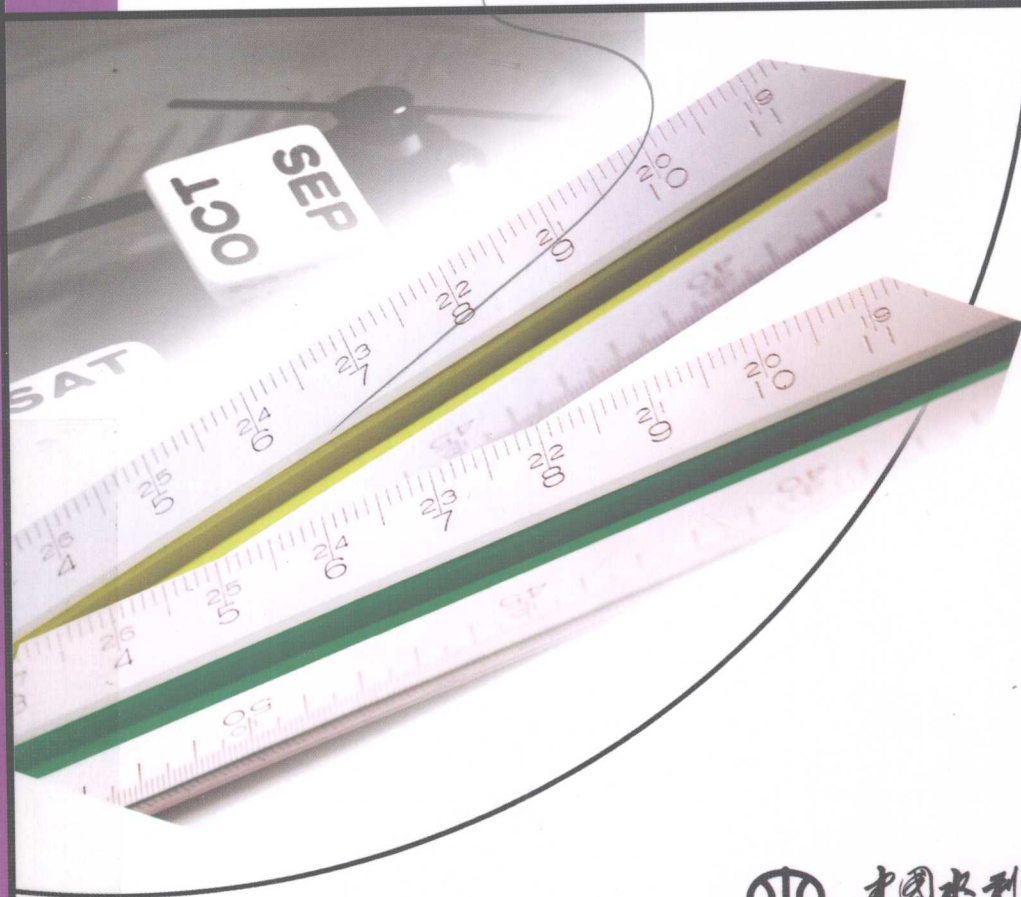


ABAQUS 6.6

基础教程与实例详解

刘展 主编

祖景平 钱英莉 周华樟 等编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

0241.82-39/16

2008

万水 ABAQUS 技术丛书

ABAQUS 6.6 基础教程与实例详解

刘 展 主 编

祖景平 钱英莉 周华樟 等编著

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书全面系统地介绍了 ABAQUS 6.6 的使用。本书分为两部分, 第一部分为 ABAQUS 基础, 介绍 ABAQUS 6.6 各功能模块的基础知识和一些使用技巧, 在每个功能模块的介绍中都包含一些小例题, 便于读者练习; 第二部分以实例详解的方式说明线性静力学分析、非线性静力学分析、动力学分析、接触分析、显式动力学分析等的具体操作和关键技术, 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, 满足各层次读者的需求。通过本书的学习, 读者不但能够迅速掌握 ABAQUS 软件的操作方法, 而且能够对具体的工程问题进行独立分析。

本书可作为理工院校相关专业的高年级本科生、研究生学习 ABAQUS 软件的教材, 也可作为广大工程技术人员和科研工作者使用 ABAQUS 软件的参考书。

本书提供所有实例的模型文件 (.cae 文件) 和输入文件 (.inp 文件), 可以从中国水利水电出版社网站 (<http://www.waterpub.com.cn/softdown/>) 下载。

图书在版编目 (CIP) 数据

ABAQUS 6.6 基础教程与实例详解 / 刘展主编. —北京:
中国水利水电出版社, 2008
(万水 ABAQUS 技术丛书)
ISBN 978-7-5084-5245-6

I. A… II. 刘… III. 有限元分析—应用软件, ABAQUS
6.6 IV. O241.82-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 003231 号

书 名	ABAQUS 6.6 基础教程与实例详解
作 者	刘 展 主 编 祖景平 钱英莉 周华樟 等编著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)、82562819 (万水) 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
经 售	北京万水电子信息有限公司
排 版	北京蓝空印刷厂
印 刷	
规 格	787mm×1092mm 16 开本 26.75 印张 654 千字
版 次	2008 年 2 月第 1 版 2008 年 2 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	48.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

ABAQUS 被广泛认为是功能最强的有限元分析软件之一，特别是在非线性分析领域，其技术和特点更是独树一帜，它融结构、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，可以分析复杂的固体力学、结构力学系统，特别是能够驾驭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分析，同时可以做系统级的分析研究，这一特点相对于其它的分析软件来说是独一无二的。正是由于 ABAQUS 优秀的分析能力并能模拟复杂系统的可靠性，其在北美、欧洲、亚洲等许多国家获得了广泛的应用，应用领域遍及机械、土木、石油化工、汽车、冶金、水利水电、材料成形、航空航天、船舶、电子、核工业、兵器等众多行业，为各领域的科学研究和工程应用做出了巨大的贡献。

本书全面系统地介绍了 ABAQUS 6.6 的使用。本书分为两部分，第一部分为 ABAQUS 基础，介绍 ABAQUS 6.6 各功能模块的基础知识和一些使用技巧，在每个功能模块的介绍中都包含一些小例题，便于读者练习；第二部分以实例详解的方式说明线性静力学分析、非线性静力学分析、动力学分析、接触分析、显式动力学分析等的具体操作和关键技术，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，满足各层次读者的需求。本书重点讲解 ABAQUS 在分析工程问题时所用的方法和详细步骤，对每个工程实例，从问题描述、方案规划、模型建立、分析计算到结果处理等一系列过程均有明确的思路和详细的操作步骤，在关键地方还会给出相应的操作技巧和提示。通过本书的学习，读者不但能够迅速掌握 ABAQUS 软件的操作方法，而且能够对具体的工程问题进行独立分析。

读者对象

本书可作为理工院校相关专业的高年级本科生、研究生学习 ABAQUS 软件的教材，也可作为广大工程技术人员和科研工作者使用 ABAQUS 软件的参考书。

本书特色

- 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 有一定了解的用户制定工程问题分析方案、精通高级前后处理与求解技术的参考书。
- 本书图文并茂，帮助读者快速入门，降低学习难度，读者可将本书作为菜单系统的操作指南。本书详细介绍了 ABAQUS 各功能模块的常用设置和使用技巧，帮助读者全面了解 ABAQUS 6.6。
- 理论结合实际。有限元分析实现的最后载体是有限元分析软件（商业化或非商业化的），但是仅仅能够使用和操作软件并不意味着掌握了有限元分析这一复杂的工具，因为对同一问题使用同一种有限元分析软件，不同的人会得出完全不同的计算结果。

如何判断有限元模型以及最后的分析结果的有效性和准确性，是人们不得不面临的重要问题。只有在掌握了有限元分析基本原理的基础上，才能真正理解有限元方法的本质。因此本书在每章的开始都会介绍与本章内容相关的有限元理论知识，用以指导后面的分析。

- 重点突出 ABAQUS 的非线性分析功能。目前线性分析技术已经相当成熟，非线性分析技术逐渐成为有限元分析研究的重点，同时也是一个难点。ABAQUS 在非线性的分析方面有着独特的优点，本书的重点也在于讲解 ABAQUS 的非线性分析功能。
- 难易结合，由浅入深。本书从软件的基本操作到复杂的工程实例，从基本的线性分析到复杂的非线性分析，循序渐进，一步步把读者引入有限元分析的殿堂。
- 每章后面附有专题参考内容，列出与本章内容相关的知识、方法或理论，可以作为本章内容的重要补充，以期为读者提供一些有益的参考和启示。
- 对每个实例，以图文并茂的方式给出操作流程，并对关键部分进行解释，使读者能参照本书完成每个实例。
- 列出每个实例的输入文件（.inp 文件）并进行解释，使读者对 ABAQUS 的常用关键词有一定的了解。本书提供所有实例的模型文件（.cae 文件）和输入文件（.inp 文件），可以从中国水利水电出版社网站（<http://www.waterpub.com.cn/softdown/>）下载。

分工与致谢

本书由四川大学生物力学工程实验室的刘展任主编，具体分工为：刘展负责本书的框架构思及第 1~9 章的编写和统稿工作；赵腾伦编写第 11 章；祖景平编写第 12 和 13 章；周华樟编写第 10 章。另外，钱英莉承担本书部分章节编写和统稿工作。全书的审校工作由姚新军完成。

衷心感谢北京航空航天大学樊瑜波教授对本书的大力支持。

在本书的编写过程中，参与具体工作的还有张代全、李琦、万雷、王斌、厉剑梁、殷世钦、江广顺、李强、吴志俊、杜长城、余松、刘羽宇、郭敏、董茜、陈鲲、王晓、陈洪军、余伟炜、王呼佳、许志清、张赛桥、刘军华、夏惠军。还要感谢中国水利水电出版社编辑的辛苦努力，正是因为他们辛苦的付出，才使本书能在第一时间与读者见面。

由于时间仓促，加上作者水平有限，书中错误、纰漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

2008 年 1 月

目 录

前言

第 1 章 ABAQUS 基础	1
1.1 ABAQUS 简介	1
1.2 ABAQUS 的主要模块及新功能	1
1.3 ABAQUS 的文件系统	3
1.4 ABAQUS 6.6 的新功能	5
第 2 章 ABAQUS 操作入门	7
2.1 ABAQUS/CAE 的启动	7
2.2 ABAQUS/CAE 的用户界面	8
2.3 ABAQUS 中鼠标的使用	9
2.4 ABAQUS 的相关约定	9
2.5 ABAQUS 分析的入门实例	10
2.5.1 问题的描述	11
2.5.2 创建模型数据库	11
2.5.3 创建部件	11
2.5.4 设置材料和截面特性	13
2.5.5 定义装配件	14
2.5.6 设置分析步和变量输出	14
2.5.7 施加载荷与边界条件	16
2.5.8 划分网格	17
2.5.9 运行分析	19
2.5.10 结果后处理	20
2.5.11 保存模型数据库并退出 ABAQUS/CAE	23
第 3 章 几何建模	24
3.1 部件模块 (Part) 和草图模块 (Sketch)	24
3.1.1 在 ABAQUS 中创建部件	24
3.1.2 导入部件	35
3.1.3 模型的修复与修改	38
3.2 特性模块 (Property)	42
3.2.1 定义材料属性	43
3.2.2 创建并分配截面特性	47
3.2.3 设置梁的截面特性和方向	49
3.2.4 Special 菜单的功能	52
3.3 装配模块 (Assembly)	53

3.3.1	创建部件实体.....	53
3.3.2	部件实体的定位.....	55
3.3.3	合并/剪切部件实体.....	58
3.3.4	装配实例.....	59
第 4 章	定义分析步和输出.....	65
4.1	设置分析步.....	65
4.1.1	Static, General (静力学分析) 分析步.....	67
4.1.2	Dynamic, Implicit (隐式动力学分析) 分析步.....	70
4.1.3	Dynamic, Explicit (显式动力学分析) 分析步.....	71
4.1.4	Static, Linear perturbation (线性摄动静力学分析) 分析步.....	72
4.2	定义输出.....	73
4.2.1	变量输出要求管理器.....	73
4.2.2	编辑输出要求.....	74
4.3	Step 模块的其他功能.....	76
第 5 章	定义相互作用.....	77
5.1	定义相互作用.....	77
5.1.1	设置接触属性.....	77
5.1.2	定义接触.....	81
5.1.3	定义接触控制.....	90
5.1.4	接触实例.....	90
5.2	定义约束.....	92
5.2.1	绑定约束.....	92
5.2.2	刚体约束.....	94
5.2.3	显示体约束.....	95
5.2.4	耦合约束.....	96
5.3	定义连接器.....	97
5.3.1	设置连接器的截面特性.....	97
5.3.2	创建代表连接器的特征线.....	101
5.3.3	定义连接单元.....	102
5.4	Special 和 Tools 菜单的功能.....	104
第 6 章	定义载荷与边界条件.....	105
6.1	定义载荷.....	105
6.2	定义边界条件.....	110
6.3	设置预定义场.....	113
6.4	定义工况.....	115
第 7 章	划分网格.....	117
7.1	撒种子定义网格密度.....	117
7.2	网格控制.....	121
7.2.1	选择单元形状.....	122

7.2.2	选择网格划分技术和算法	122
7.3	设置单元类型	127
7.4	网格划分	130
7.5	检查网格	136
7.6	提高网格质量的方法	137
7.6.1	划分网格前的参数设置	137
7.6.2	编辑几何模型	138
7.6.3	编辑网格模型	141
第 8 章	分析和后处理	145
8.1	分析作业模块 (Job)	146
8.1.1	创建和管理分析作业	146
8.1.2	创建和管理网格自适应过程	150
8.2	可视化模块 (Visualization)	152
8.2.1	显示无变形图和变形图	153
8.2.2	显示云图	160
8.2.3	显示矢量/张量符号图和材料方向图	167
8.2.4	显示剖面图	170
8.2.5	显示 X-Y 图表	172
8.2.6	输出数据表格	181
8.2.7	显示动画	185
第 9 章	线性静力学分析实例	189
9.1	轴承座的线性静力学分析	189
9.1.1	问题的描述	189
9.1.2	创建部件	190
9.1.3	定义材料和截面属性	196
9.1.4	装配部件	196
9.1.5	设置分析步和变量输出	197
9.1.6	创建显示体约束	198
9.1.7	定义载荷和边界条件	199
9.1.8	划分网格	202
9.1.9	分析	205
9.1.10	结果后处理	206
9.2	inp 文件及说明	208
9.3	专题: inp 文件格式的简要理解	213
第 10 章	非线性分析实例	214
10.1	非线性分析简介	214
10.1.1	非线性分析的特点	214
10.1.2	非线性分析的类型	216
10.1.3	非线性分析的基本步骤和涉及的一些术语	216

10.2	非线性分析的常见问题	221
10.2.1	材料非线性	221
10.2.2	几何非线性	224
10.2.3	状态非线性	225
10.3	轴承支座的塑性应力分析	226
10.3.1	问题的描述	226
10.3.2	导入模型及划分网格	226
10.3.3	创建材料属性及分析步	230
10.3.4	定义载荷和边界条件	233
10.3.5	分析和后处理	234
10.3.6	inp 文件及说明	237
10.3.7	不同材料属性的结果比较 (弹、塑性的对比)	240
10.4	橡胶垫圈的受压分析	242
10.4.1	问题的描述	242
10.4.2	创建部件	243
10.4.3	定义材料属性	243
10.4.4	定义截面属性	247
10.4.5	装配部件	247
10.4.6	设置分析步	248
10.4.7	定义载荷和边界条件	248
10.4.8	划分网格	250
10.4.9	分析	252
10.4.10	结果后处理	254
10.4.11	inp 文件及说明	256
10.5	圆盘受均布压强和周期载荷	260
10.5.1	问题的描述	260
10.5.2	创建部件	260
10.5.3	定义材料和截面属性	261
10.5.4	装配部件	262
10.5.5	设置分析步	262
10.5.6	定义载荷和边界条件	263
10.5.7	划分网格	266
10.5.8	分析	268
10.5.9	结果后处理	269
10.5.10	inp 文件及说明	273
10.6	专题: 用户子程序 UMAT 基础	275
10.6.1	ABAQUS 中用户子程序的调用和注意事项	276
10.6.2	UMAT 子程序的功能	276
10.6.3	UMAT 子程序的接口	276

10.6.4	UMAT 子程序的实例.....	278
10.6.5	应用 UMAT 子程序的实例.....	286
第 11 章	结构动力学分析.....	289
11.1	动力学分析简介.....	289
11.1.1	动力学有限元法的基本原理.....	289
11.1.2	动力学分析的类型.....	292
11.2	结构模态分析.....	293
11.2.1	模态分析的步骤.....	293
11.2.2	联轴器的模态分析.....	294
11.3	瞬态动力学分析.....	305
11.3.1	瞬态动力学分析的基本原理.....	305
11.3.2	钢球对钢板的侵彻模拟分析.....	306
11.4	专题: ABAQUS 单元选择原则.....	317
第 12 章	接触工程分析实例.....	324
12.1	接触分析的特点.....	324
12.2	接触分析的基本概念.....	325
12.3	接触分析中需要注意的问题.....	326
12.3.1	单元类型的选择和质量控制.....	327
12.3.2	网格密度的考虑.....	327
12.3.3	稳定的接触关系的建立.....	327
12.3.4	接触问题中点的相对滑动.....	327
12.3.5	接触主从面的定义.....	328
12.4	铰链连接强度模拟仿真分析.....	328
12.4.1	案例背景.....	328
12.4.2	案例分析.....	329
12.4.3	案例求解.....	329
12.4.4	案例回顾与总结.....	344
12.4.5	inp 文件说明及分析.....	344
12.5	销钉过盈装配失效预测分析.....	351
12.5.1	案例背景.....	351
12.5.2	案例分析.....	352
12.5.3	案例求解.....	353
12.5.4	案例回顾与总结.....	359
12.5.5	inp 文件说明及分析.....	360
12.6	专题: 接触工程分析的关键技术.....	367
12.6.1	定义接触面之间的距离或过盈量的主要方法.....	367
12.6.2	构造接触面的主要方法.....	368
12.6.3	通用接触算法.....	369

第 13 章	ABAQUS 显式非线性动态分析	370
13.1	动态分析简介	370
13.1.1	动态问题的产生及其形式	370
13.1.2	动态分析的主要方法	371
13.1.3	隐式和显式的比较	372
13.2	手机跌落过程中电池盖的失效分析	373
13.2.1	案例背景	373
13.2.2	案例分析	374
13.2.3	案例求解	375
13.2.4	案例回顾与总结	385
13.2.5	inp 文件说明及分析	386
13.3	弹丸侵蚀靶体的分析	391
13.3.1	案例背景	391
13.3.2	案例分析	392
13.3.3	案例求解	392
13.3.4	案例回顾与总结	405
13.3.5	inp 文件说明及分析	406
13.4	专题：材料累进破坏和失效	413
参考文献		415

第 1 章 ABAQUS 基础

知识要点:

- ☒ ABAQUS 简介
- ☒ ABAQUS 的主要模块及新功能
- ☒ ABAQUS 的文件系统
- ☒ ABAQUS 6.6 的新功能

本章导读:

ABAQUS 是一套基于有限元方法的工程分析软件,它既能完成简单的有限元分析,也能解决大型模型的高度非线性问题。本章将对 ABAQUS 的主要模块和文件系统及 ABAQUS 6.6 的新功能进行简单介绍。

1.1 ABAQUS 简介

ABAQUS 公司是世界知名的有限元分析软件公司,成立于 1978 年,总部位于美国罗德岛州博塔市,其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。

ABAQUS 公司根据用户的反馈不断解决各种技术难题并改进软件,如今 ABAQUS 软件已逐步完善,从简单的线弹性静态问题到复杂的高度非线性问题,从单个零件的力学分析到庞大复杂系统的多物理场耦合分析,ABAQUS 都能驾驭。具体而言,ABAQUS 除了能有效地进行静态和准静态分析、模态分析、瞬态分析、接触分析、弹塑性分析、几何非线性分析、碰撞和冲击分析、爆炸分析、屈曲分析、断裂分析、疲劳和耐久性分析等结构分析和热分析外,还能进行流固耦合分析、热固耦合分析、声场和声固耦合分析、压电和热电耦合分析、质量扩散分析等。

ABAQUS 软件以其强大的有限元分析功能和 CAE 功能,被广泛运用于机械制造、土木工程、隧道桥梁、水利水电、汽车制造、船舶工业、航空航天、核工业、石油化工、生物医学、军用、民用等领域。ABAQUS 能够求解各种复杂的模型并能解决实际工程问题,在分析能力和可靠性等方面赢得广大用户的赞誉。

1.2 ABAQUS 的主要模块及新功能

ABAQUS 含有两个主求解器模块 ABAQUS/Standard 和 ABAQUS/Explicit,及一个人机交互的前后处理模块 ABAQUS/CAE。ABAQUS 还提供了解决某些特殊问题的专用模块: ABAQUS/Aqua、ABAQUS/Design、ABAQUS/Foundation、ABAQUS/AMS, MOLDFLOW 接口和 MSC.ADAMS 接口及 ABAQUS for CATIA V5 等产品。

1. ABAQUS/Standard

ABAQUS/Standard 为隐式分析求解器，是进行各种工程模拟的有效工具，能精确可靠地求解从简单的线弹性分析到复杂的多步骤非线性分析。ABAQUS/Standard 拥有丰富的单元类型和材料模型，并能非常方便地配合使用。ABAQUS/Standard 提供一个动态载荷平衡的并行稀疏矩阵求解器、基于域分解的并行迭代求解器、并行的 Lanczos 特征值求解器，能进行一般过程分析和线性摄动过程分析。ABAQUS 能够实现最多 32 个处理器的并行运算，能大大减少分析时间。ABAQUS 具有良好的可扩展性，可以通过用户子程序来加强处理问题的能力。本书将结合实例详细介绍 ABAQUS/Standard 的使用。

2. ABAQUS/Explicit

ABAQUS/Explicit 为显式分析求解器，是进行瞬态动力学分析的有效工具，尤其适合求解冲击和其他高度不连续问题；其处理接触问题的能力也很显著，能够自动找出模型中各部件之间的接触对，能高效地模拟它们之间复杂的接触，并能求解可磨损体之间的接触问题。ABAQUS/Explicit 也拥有广泛的单元类型和材料模型，但其单元库是 ABAQUS/Standard 的单元库的子集。ABAQUS/Explicit 提供基于域分解的并行计算，仅能进行一般过程分析。本书将结合实例详细介绍 ABAQUS/Explicit 的使用。

ABAQUS/Explicit 和 ABAQUS/Standard 有各自的特点和适用范围，它们的相互配合使 ABAQUS 的分析功能更加强大和灵活。一些工程问题需要将两个求解器配合使用，ABAQUS 能够以一种求解器开始分析，分析结束后将结果作为初始条件以另一种求解器继续进行分析。

3. ABAQUS/CAE

ABAQUS/CAE 是一个进行前后处理和任务管理的人机交互环境，对 ABAQUS 求解器提供了全面的支持。ABAQUS/CAE 将各种功能集成在各功能模块中，能够通过操作简便的界面进行建模、分析、任务管理和结果评价。ABAQUS/CAE 是唯一采用基于特征的参数化建模方法的有限元前处理程序，并能够导入和编辑在各种商业的 CAD 软件中建立的几何体，拥有强大的建模功能，能够有效地创建用户所需的模型。在 ABAQUS/CAE 中用户能够方便地根据分析目的设置与 ABAQUS/Standard 或 ABAQUS/Explicit 对应的单元类型和材料模型，并进行网格划分。ABAQUS 也能很方便地定义部件之间的接触、耦合、绑定等相互作用。待有限元模型建立、载荷和边界条件施加后，ABAQUS/CAE 能够快速有效地创建、提交和监控分析作业。ABAQUS/Viewer 是 ABAQUS/CAE 的可视化模块，模型的结果后处理都在该模块中进行。本书将结合模块介绍和实例详细展示 ABAQUS/CAE 的使用。

4. ABAQUS/Design

ABAQUS/Design 是 ABAQUS/Standard 的附加模块，用于设计灵敏度分析 (DSA)。设计灵敏度用于预测设计变化对结构响应的影响，可以用来进行优化设计。本书不介绍 ABAQUS/Design 的使用。

5. ABAQUS/Aqua

ABAQUS/Aqua 是 ABAQUS/Standard 的附加模块，适用于海洋工程，包括海洋平台导管架和立管的分析、J 管道受拉的模拟、基座弯曲的计算和漂浮结构的研究。ABAQUS/Aqua 能够通过稳态水流和波浪效果的模拟对结构施加拉力、浮力和流体惯性力，对自由水面以上的部分还可以施加风载。本书不介绍 ABAQUS/Aqua 的使用。

6. ABAQUS/AMS

ABAQUS/AMS 是 ABAQUS/Standard 的全新附加模块, 伴随 ABAQUS 6.6 问世。ABAQUS/AMS 采用一个高效的自动多层次子结构特征值求解器, 能快速有效地进行大型结构的线性动力学分析。本书不介绍 ABAQUS/AMS 的使用。

7. ABAQUS/Foundation

ABAQUS/Foundation 是 ABAQUS/Standard 的一部分, 提供 ABAQUS/Standard 中高效的线性静态分析和动态分析的功能。本书不介绍 ABAQUS/Foundation 的使用。

8. MOLDFLOW 接口

ABAQUS 的 MOLDFLOW 接口是 ABAQUS/Standard 和 ABAQUS/Explicit 的交互产品, 使用户能够将 ABAQUS 同注塑成型模拟分析软件 MOLDFLOW 一起配合使用, 将 MOLDFLOW 中的有限元模型信息转换为 ABAQUS 输入文件的一部分。本书不介绍 MOLDFLOW 接口的使用。

9. MSC.ADAMS 接口

ABAQUS 的 MSC.ADAMS 接口是 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, 将 ABAQUS 中的有限元模型作为柔性部件输入到 MSC. ADAMS 中。本书不介绍 MSC. ADAMS 接口的使用。

10. ABAQUS for CATIA V5

ABAQUS for CATIA V5 完全集成在 CATIA V5 的使用环境中, 在 CATIA V5 的操作界面中增加了 ABAQUS 的结构分析和热分析平台。用户在 CATIA V5 的操作界面下进行几何建模, 该模型同时成为 ABAQUS 的模型, 能够在不脱离 CATIA 的前提下进行高质量的线性和非线性有限元分析, 计算结果也能在 CATIA 中查看和分析。最新的 ABAQUS for CATIA V5 为 2.3 版本, 它采用 ABAQUS 6.6 和 CATIA V5 R16 的最新技术 (包括接触模拟), 为工业产品的研发提供了高效的分析工作流程和高级模拟技术。

1.3 ABAQUS 的文件系统

ABAQUS 除了数据库文件外, 还包括用于输入、输出的文本文件、日志文件、信息文件、状态文件, 及用于重启和结果转换的文件等。另外, 有些文件在运行时产生, 运行后自动删除。ABAQUS 文件系统的具体介绍如表 1-1 所示, 其中 model_database_name 表示模型数据库的名称, job_name 表示分析作业的名称。

表 1-1 ABAQUS 的文件系统

文件类型	文件名称及后缀名	说明	备注
数据库文件	模型数据库文件: cae 文件 (model_database_name.cae)	在 ABAQUS/CAE 中直接打开, 包含模型的几何、网格、载荷等各种信息及分析任务等	
	输出数据库文件, 即结果文件: odb 文件 (job_name.odb)	可以在 ABAQUS/CAE 中直接打开, 也可以输入到 cae 文件中作为 Part (部件) 或 Model (模型), 包含在 Step 功能模块中定义的场变量和历史变量输出结果, 由 Visualization 功能模块打开	

续表

文件类型	文件名称及后缀名	说明	备注
输入文件	inp 文件 (job_name.inp)	属于文本文件, 可以在 Job 功能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, 也可以通过其他有限元前处理软件生成。通过编辑 inp 文件可以实现一些 ABAQUS/CAE 不支持的功能。inp 文件可以输入到 ABAQUS/CAE 中作为 Model (模型), 也可以由 ABAQUS Command 直接运行。inp 文件中只包含模型的节点、单元、集合、截面和材料属性、载荷和边界条件、分析步及输出设置等信息, 没有模型的几何信息, 故输入模型也是有限元模型而无实体模型	本书第二部分会对每个实例的 inp 文件进行详细说明
	pes 文件 (job_name.pes)	参数更改后重写的 inp 文件	
	par 文件 (job_name.par)	参数更改后重写的以参数形式表示的 inp 文件	
日志文件	log 文件 (job_name.log)	属于文本文件, 包含运行 ABAQUS 的起止时间等信息	
数据文件	dat 文件 (job_name.dat)	属于文本文件, 记录数据和参数检查、单元质量检查、内存和磁盘估计和分析时间等信息, 预处理 inp 文件时产生的错误和警告信息也会写入 dat 文件。另外, dat 文件中输出用户定义的 ABAQUS/Standard 的结果数据, ABAQUS/Explicit 的结果数据不会写入该文件	
信息文件	信息文件: msg 文件 (job_name.msg)	属于文本文件, 详细记录计算过程中的平衡迭代次数、参数设置、计算时间及错误和警告信息等	
	内部过程信息文件: ipm 文件 (job_name.ipm)	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	
	部件信息文件: prt 文件 (job_name.prt)	包含模型的部件与装配信息	重启动分析需要
	打包文件: pac 文件 (job_name.pac)	包含模型信息, 仅用于 ABAQUS/Explicit	重启动分析需要
状态文件	sta 文件 (job_name.sta)	属于文本文件, 包含分析过程信息	
	abq 文件 (job_name.abq)	仅用于 ABAQUS/Explicit, 记录分析、继续和恢复命令	重启动分析需要
	状态外文件: stt 文件 (job_name.stt)	运行数据检查时产生的文件	重启动分析需要

续表

文件类型	文件名称及后缀名	说明	备注
结果文件	fil 文件 (job_name.fil)	可被其他软件读入的结果数据格式。记录 ABAQUS/Standard 的分析结果, 如果 ABAQUS/Explicit 的分析结果要写入 fil 文件中则需要转换	
	psr 文件 (job_name.psr)	文本文件, 参数化分析要求的输出结果	
	结果选择文件: sel 文件 (job_name.sel)	用于结果选择, 仅适用于 ABAQUS/Explicit	重新启动分析需要
模型文件	mdl 文件 (job_name.mdl)	在 ABAQUS/Standard 和 ABAQUS/Explicit 中运行数据检查后产生的文件	重新启动分析需要
保存命令的文件	jnl 文件 (model_database_name.jnl)	文本文件, 包含用于复制已存储的模型数据库的 ABAQUS/CAE 命令	
	rpy 文件 (abaqus.rpy)	记录运行一次 ABAQUS/CAE 所运用的所有命令	
	rec 文件 (model_database_name.rec)	包含用于恢复内存中模型数据库的 ABAQUS/CAE 命令	
重新启动文件	res 文件 (job_name.res)	用 STEP 功能模块进行定义	
脚本文件	psf 文件 (job_name.psf)	用户定义 parametric study (参数研究) 时需要创建的文件	
临时文件	ods 文件 (job_name.ods)	记录场输出变量的临时运算结果, 运行后自动删除	
	lck 文件 (job_name.lck)	用于阻止并发写入输出数据库, 关闭输出数据库则自动删除	

1.4 ABAQUS 6.6 的新功能

ABAQUS 6.6 的功能非常强大, 该版本提高了大部分模块的一些重要性能, 在软件功能、计算性能和易用性等方面进行了增强和改进。

ABAQUS 6.6 的新功能和改进包括:

- ◆ 草图约束管理器: 自动和人为约束定义与管理, 拖动草图物体, 标注尺寸的改进, 定义草图物体之间的参数关系, 距离和角度的测量。
- ◆ 大型模型处理性能的提高: 包括导入集合模型 (Assembly) 的引入、装配重建速度和小表面生成速度的提高、建立部件需要更小的内存等。
- ◆ 分布式内存并行的改进: 分布式内存并行求解在 ABAQUS 6.5 中已经引入, 在 ABAQUS/Explicit 中和 ABAQUS/Standard 运用迭代求解器时能够使用, ABAQUS 6.6 增加了分布式内存并行的稀疏矩阵求解器。
- ◆ 准牛顿方法的引入: 准牛顿方法的引入减少了大部分问题的计算时间, 特别适用于求解大型模型, 能减少约 20% 的计算时间。
- ◆ 并行单元操作的改进: ABAQUS 6.6 对所有支持的功能默认使用并行单元操作, 增加了分析类型, 提高了并行效率。采用并行单元操作, ABAQUS 6.5 能减少约 30% 的

计算时间，而 ABAQUS 6.6 可以减少约 50% 的计算时间。

- ◆ ABAQUS/AMS 的引入：ABAQUS 6.6 引入适用于大型结构的线性动力学分析的模块 ABAQUS/AMS（自动多层次子结构方法），对于大模型和大型的特征值求解问题及基于模态的分析问题效果显著，计算速度是 Lanczos 特征值求解器的 10~25 倍。
- ◆ ABAQUS/Standard 中接触的改进：在求解器中消去拉格朗日乘子提高了计算效率，接触中考虑壳的厚度。
- ◆ ABAQUS/Standard 输入输出效率的提高：ABAQUS 6.6 在各种平台下优化 ABAQUS/Standard 的输入输出，显著地提高了运行效率，保证分析尽可能全部在内存中运行。对于 Windows/x86-32 机型能减少约 45% 的计算时间。
- ◆ ABAQUS/Standard 输出功能的增强：以增量步的自行调整来保证在特定的时间点输出数据。
- ◆ ABAQUS/Explicit 性能的提高：ABAQUS 6.6 在显式分析时能降低计算时间和所需的内存，大约能够节省 30% 的内存。
- ◆ ABAQUS 6.6 引入自适应重分网格功能：可用于基于几何的模型，仅适用于三角形、四边形和四面体单元。
- ◆ ABAQUS 6.6 引入着色功能：可以通过各种属性来定义颜色，并支持半透明。
- ◆ 图形的改进：包括渲染效果的改进、硬件加速技术的优化、半透明技术的提高等。
- ◆ 选择工具的改进：包括显示组选择更加优化、表面/集合功能和选择面可视化的增强等。
- ◆ ABAQUS 6.6 增加了一个 results 模型树，并对结果显示进行了改进，包括图例的色谱控制、动画控制功能的增强、对称/阵列模型的可视化等，提高了用户的易用性。
- ◆ ABAQUS 6.6 的改进还包括连接单元、损伤破坏模拟、稳态传输问题和粘弹性功能等。

1.4 ABAQUS 6.6 的新功能

- ◆ ABAQUS 6.6 的改进包括：
 - ① 图形界面：包括渲染效果的改进、硬件加速技术的优化、半透明技术的提高等。
 - ② 选择工具：包括显示组选择更加优化、表面/集合功能和选择面可视化的增强等。
 - ③ 动画控制：包括动画控制功能的增强、对称/阵列模型的可视化等。
 - ④ 色谱控制：包括图例的色谱控制、动画控制功能的增强、对称/阵列模型的可视化等。
 - ⑤ 易用性：包括图例的色谱控制、动画控制功能的增强、对称/阵列模型的可视化等。
- ◆ ABAQUS 6.6 的改进还包括：
 - ① 连接单元：包括图例的色谱控制、动画控制功能的增强、对称/阵列模型的可视化等。
 - ② 损伤破坏模拟：包括图例的色谱控制、动画控制功能的增强、对称/阵列模型的可视化等。
 - ③ 稳态传输问题：包括图例的色谱控制、动画控制功能的增强、对称/阵列模型的可视化等。
 - ④ 粘弹性功能：包括图例的色谱控制、动画控制功能的增强、对称/阵列模型的可视化等。