



清华社“视频大讲堂”大系

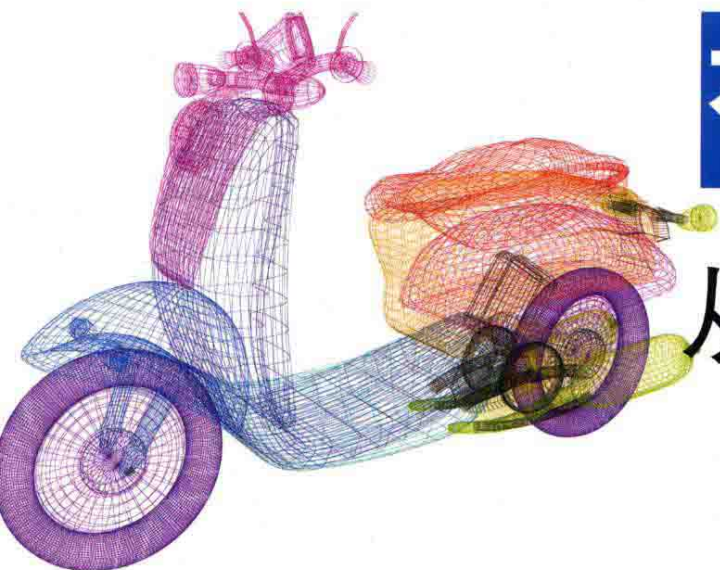
CAD/CAM/CAE技术视频大讲堂

百万工程师  
的首选学习模式  
看视频演示+做经典实例+多交流请教

# ABAQUS 2016

## 有限元分析

## 从入门到精通



CAD/CAM/CAE技术联盟◎编著

**14集(段)**  
**高清自学视频**  
**14个经典实例案例**  
**用实例学习**  
**更专业**

**视频演示:** 14集(段)高清多媒体教学视频, 250分钟全程实例操作演示, 让学习效率更高!

**典型实例:** 14个经典中小型实例、实践, 实战才是硬道理!

超值  
赠送

15个综合分析实战案例(涵盖ANSYS、Patran与Nastran)及其配套的源文件和视频演示, 长达200分钟。



清华大学出版社

课外



清华社“视频大讲堂”大系

CAD/CAM/CAE技术视频大讲堂

# ABAQUS 2016 有限元分析从入门到精通

CAD/CAM/CAE 技术联盟 编著

清华大学出版社

北 京

## 内 容 简 介

《ABAQUS 2016有限元分析从入门到精通》以有限元软件 ABAQUS 2016为对象,系统地介绍了 ABAQUS 2016 的各种基本功能。全书分为 11 章,主要从线性结构静力问题、接触问题、材料非线性问题、结构模态问题、显式非线性问题、热应力问题、多体问题、多步骤问题及子程序开发 9 个方面系统地讲解了 ABAQUS 2016 的基本功能和简单建模与仿真实例。

本书内容从实际出发,侧重于 ABAQUS 的实际操作和工程问题的解决。书中对重点问题及需要注意的方面均进行了提示,有利于帮助初学者快速掌握 ABAQUS 的基本操作。

另外,本书随书光盘中还配备了极为丰富的学习资源,具体内容如下:

1. 14 集本书实例的同步教学视频,可像看电影一样轻松学习,然后对照书中实例进行练习。
2. 15 个综合实战案例(涵盖 ANSYS、Patran 和 Nastran)精讲课堂视频,可以增强实战,拓展视野。
3. 所有实例的源文件和素材,方便按照书中实例操作时直接调用。

本书适合入门级读者学习使用,也适合有一定基础的读者作参考,还可用作职业培训、职业教育的教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

ABAQUS 2016有限元分析从入门到精通/CAD/CAM/CAE 技术联盟编著. —北京:清华大学出版社,2017  
(清华社“视频大讲堂”大系 CAD/CAM/CAE 技术视频大讲堂)  
ISBN 978-7-302-47925-3

I. ①A… II. ①C… 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(2017)第 193547 号

责任编辑:杨静华  
封面设计:李志伟  
版式设计:魏 远  
责任校对:马子杰  
责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 装 者:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:203mm×260mm 印 张:17.5 插 页:2 字 数:516千字  
(附 DVD 光盘 1 张)

版 次:2017年10月第1版 印 次:2017年10月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:69.80 元

---

产品编号:069201-01

# 前言

Preface



ABAQUS 是达索公司旗下的一款有限元分析软件，该软件致力于解决复杂和深入的工程问题。其强大的非线性分析功能在设计和研究的高端用户群中得到了广泛的认可，被广泛地认为是功能最强的有限元软件，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。它有两个主求解器模块——ABAQUS/Standard 和 ABAQUS/Explicit。ABAQUS 软件的求解器是智能化的求解器，可以解决其他软件不收敛的非线性问题，其他软件也收敛的非线性问题，ABAQUS 软件的计算收敛速度较快，并更加容易操作和使用。ABAQUS 软件在求解非线性问题时具有非常明显的优势。其非线性涵盖材料非线性、几何非线性和状态非线性等多个方面。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 系统级分析的特点相对于其他的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所广泛采用。

ABAQUS 作为通用的模拟工具，除了能够解决大量结构（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、振动与声学分析、岩土力学分析（流体渗透/应力耦合分析）及压电介质分析。ABAQUS 为用户提供了广泛的功能，且使用起来非常简单。大量的复杂问题可以通过选项块的不同组合很容易地模拟出来。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，像结构的几何形状、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。因此，用户通过准确地定义参数就能很好地控制数值计算结果。

## 一、编写目的

鉴于 ABAQUS 的强大功能，我们力图编写一本着重介绍 ABAQUS 实际工程应用的书籍。不求事无巨细地将 ABAQUS 知识点全面讲解清楚，而是针对工程需要，利用 ABAQUS 大体知识脉络作为线索，以实例作为“抓手”，帮助读者掌握利用 ABAQUS 进行工程分析的基本技能和技巧。

## 二、本书内容及特点

本书以有限元软件 ABAQUS 2016 为对象，系统地介绍了 ABAQUS 2016 的各种基本功能。全书分为 11 章，主要从线性结构静力问题、接触问题、材料非线性问题、结构模态问题、显式非线性问题、热应力问题、多体问题、多步骤问题及子程序开发 9 个方面系统地讲解了 ABAQUS 2016 的基本功能和简单建模与仿真实例。

书中内容从实际出发，侧重于 ABAQUS 的实际操作和工程问题的解决。书中对重点问题及需要注意的方面均进行了提示，有利于帮助初学者快速掌握 ABAQUS 的基本操作。



### 三、本书的配套资源

#### 1. 14 集同步教学视频

针对本书实例，专门制作了 14 集配套教学视频，读者可以先看视频，像看电影一样轻松愉悦地学习本书内容，然后对照课本加以实践和练习，可以大大提高学习效率。

#### 2. 15 个综合实战案例精讲视频，长达 200 分钟

为了帮助读者拓展视野，光盘中额外赠送了 15 个有限元分析综合实战案例（涵盖 ANSYS、Patran 和 Nastran）及其配套的源文件和精讲课堂视频，学习时长达 200 分钟。

#### 3. 全书实例的源文件和素材

本书附带了很多实例，光盘中包含实例和练习实例的源文件和素材，读者可以安装 ABAQUS 2016 软件，打开并使用。

### 四、关于本书的服务

#### 1. ABAQUS 2016 安装软件的获取

按照本书上的实例进行操作练习，需要事先在电脑上安装 ABAQUS 2016 软件。ABAQUS 2016 安装软件可以登录 <http://www.abaqus.com> 联系购买正版软件，或者使用其试用版。另外，当地电脑城、软件经销商一般有售。

#### 2. 关于本书的技术问题或有关本书信息的发布

读者朋友在学习本书过程中遇到有关技术问题，可以加入 QQ 群（379090620）参与交流讨论。也可以登录网站 [www.sjzswsw.com](http://www.sjzswsw.com) 或发送邮件到 [win760520@126.com](mailto:win760520@126.com)，我们将及时回复。

#### 3. 关于本书光盘的使用

本书光盘需放在电脑 DVD 格式光驱中使用，其中的视频文件可以用播放软件进行播放，但不能在家用 DVD 播放机上播放，也不能在 CD 格式光驱的电脑上使用（现在 CD 格式的光驱已经很少）。如果光盘仍然无法读取，最快的办法是建议换一台电脑读取，然后复制过来，极个别光驱与光盘不兼容的现象是有的。另外，盘面有脏物建议要先行擦拭干净。

#### 4. 关于手机在线学习

扫描书后二维码，可在手机中观看对应教学视频。充分利用碎片化时间，随时随地提升。

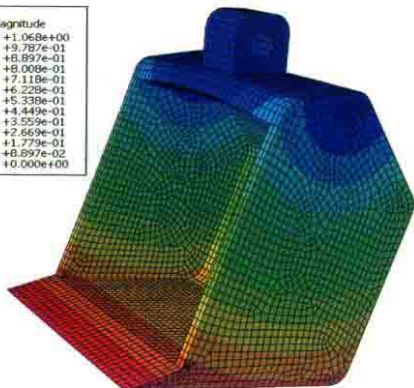
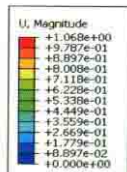
### 五、关于作者

本书主要由 CAD/CAM/CAE 技术联盟策划，军械工程学院的贾长治、王宏凯和孙河洋编写，同时参加本书编写的还有徐东升、胡钟铃、刘川、赵志超、张辉、赵黎黎、朱玉莲、徐声杰、张琪、卢园、杨雪静、孟培、闫聪聪、李兵、甘勤涛、孙立明、李亚莉、王敏、宫鹏涵、左昉、李谨等。由于时间仓促，加上编者水平有限，书中不足之处在所难免，望广大读者批评指正。

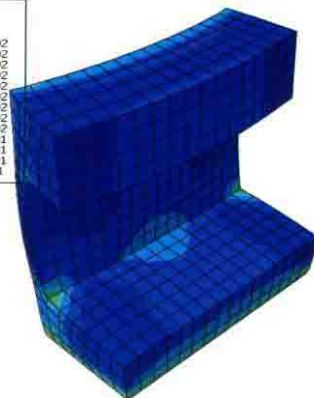
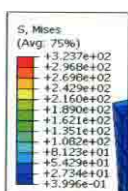
编者



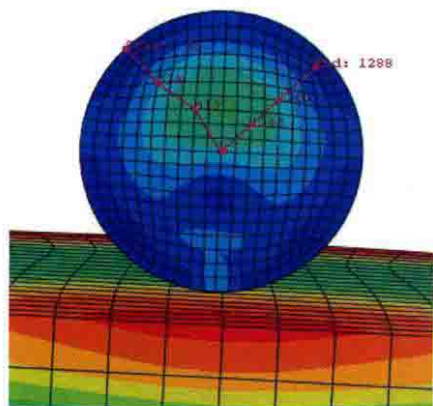
Note



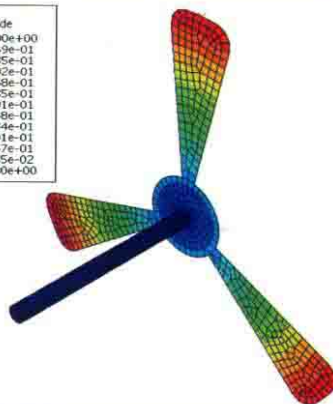
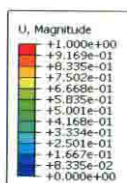
铲斗系统位移云纹图



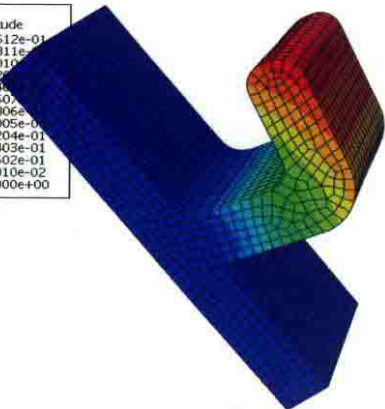
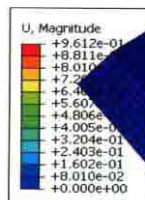
铁轨 Mises 应力的云纹图



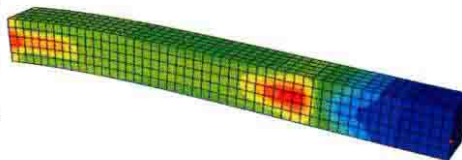
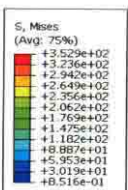
钢球撞击钢板球体



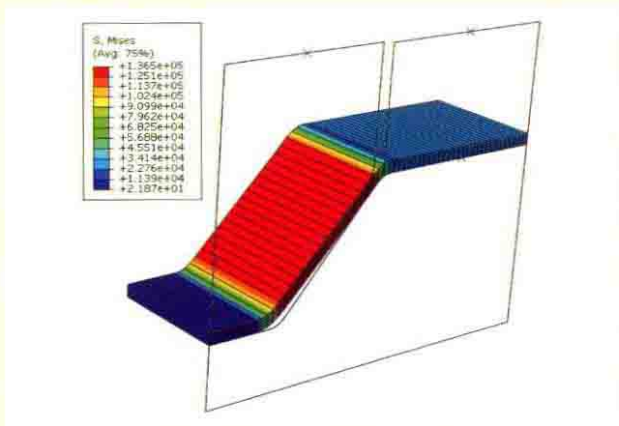
螺旋桨叶片位移



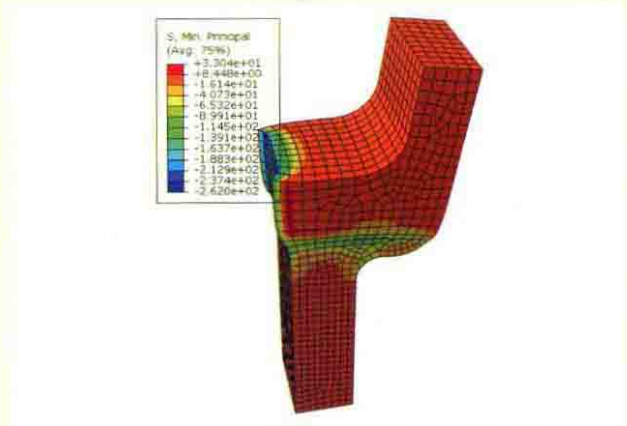
挂钩第一个分结束后的云纹图



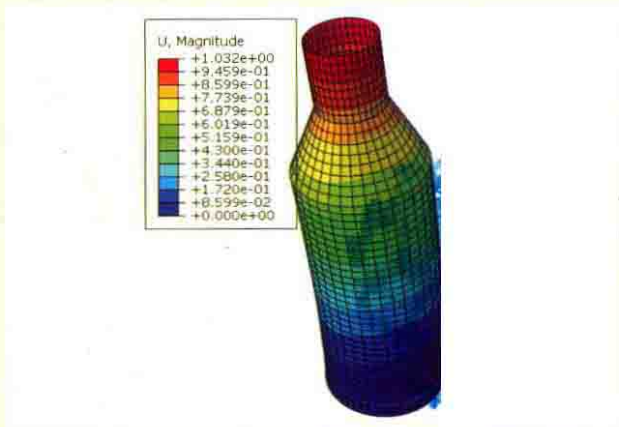
悬臂梁受压过程 Mises 应力云纹图



冲模变量等值线三维视图



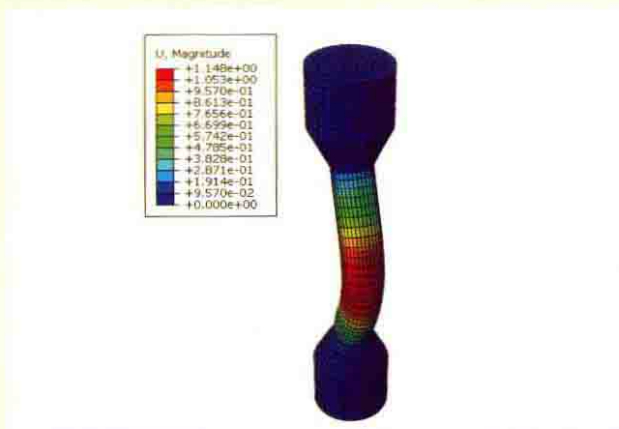
Y型支架最小主应力云图



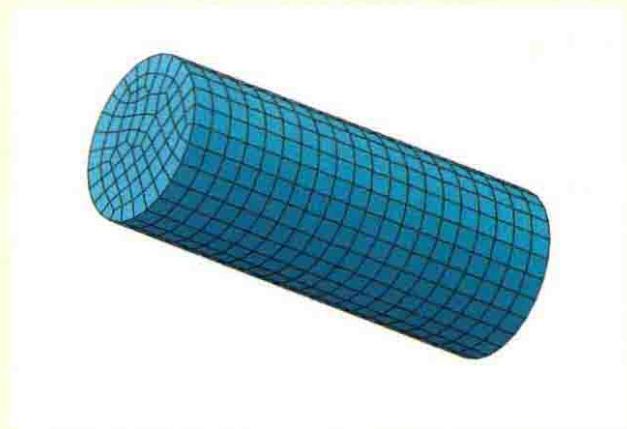
弹壳位移云纹图



Abaqus 自带 JC 模型



圆棒位移云纹图



Taylor 杆撞击

# 目 录

## Contents



第 1 章 ABAQUS 2016 概述.....1	2.6.2 定义场输出.....33
1.1 ABAQUS 总体介绍.....2	2.7 载荷模块..... 35
1.2 ABAQUS 的主要模块.....2	2.7.1 载荷的定义.....35
1.3 ABAQUS 的文件类型.....4	2.7.2 边界条件的定义.....36
1.4 ABAQUS 使用环境.....5	2.7.3 设置预定义场.....38
1.4.1 启动 ABAQUS/CAE.....5	2.7.4 定义载荷工况.....39
1.4.2 ABAQUS 的主窗口.....6	2.8 相互作用模块..... 40
1.4.3 ABAQUS/CAE 功能模块.....7	2.8.1 相互作用的定义.....40
1.5 ABAQUS 2016 新功能.....9	2.8.2 定义约束.....42
1.6 本章小结.....10	2.8.3 定义连接器.....42
第 2 章 ABAQUS 的基本模块和操作方法...12	2.9 网格模块..... 43
2.1 ABAQUS 分析步骤.....13	2.9.1 定义网格密度.....43
2.1.1 前处理 (ABAQUS/CAE).....13	2.9.2 设置网格控制.....44
2.1.2 计算分析 (ABAQUS/Standard 或 ABAQUS/Explicit).....13	2.9.3 设置单元格类型.....45
2.1.3 后处理 (ABAQUS/CVAE 或 ABAQUS/Viewer).....13	2.9.4 划分网格.....46
2.2 ABAQUS/CAE 的功能模块.....13	2.9.5 检查网格.....49
2.3 部件模块和草图模块.....14	2.9.6 提高网格质量.....50
2.3.1 创建部件.....14	2.10 分析作业模块..... 52
2.3.2 部件的外导入.....15	2.10.1 分析作业的创建与管理.....52
2.3.3 问题模型的修复与修改.....16	2.10.2 网格自适应.....54
2.4 属性模块.....17	2.11 可视化模块..... 55
2.4.1 材料属性.....18	2.11.1 显示无变形图形和变形图形.....55
2.4.2 截面特性.....19	2.11.2 绘制云图.....56
2.4.3 梁的界面特性.....20	2.12 本章小结..... 57
2.4.4 特殊设置.....21	第 3 章 线性结构静力分析.....58
2.5 装配模块.....23	(📺 视频讲解: 29 分钟)
2.5.1 部件实体的创建.....23	3.1 静力分析介绍..... 59
2.5.2 部件实体的定位.....25	3.1.1 结构静力分析简介.....59
2.5.3 合并/切割部件实体.....26	3.1.2 静力分析的类型.....59
2.6 分析步模块.....27	3.1.3 静力分析基本步骤.....59
2.6.1 设置分析步.....27	3.2 挂钩的线性静力分析..... 60
	3.2.1 问题的描述.....60
	3.2.2 创建部件.....61








Note

3.2.3	定义材料属性.....	61	4.6.4	定义和指派截面属性.....	95
3.2.4	定义和指派截面属性.....	62	4.6.5	定义装配.....	96
3.2.5	定义装配.....	63	4.6.6	设置分析步.....	96
3.2.6	设置分析步.....	63	4.6.7	定义接触.....	98
3.2.7	划分网格.....	65	4.6.8	定义边界条件和载荷.....	102
3.2.8	定义集合和载荷施加面.....	67	4.6.9	划分网格.....	108
3.2.9	边界条件和载荷.....	68	4.6.10	提交分析作业.....	109
3.2.10	提交分析作业.....	71	4.6.11	后处理.....	110
3.2.11	后处理.....	72	4.7	本章小结.....	111
3.3	弹性体的 5 个基本假设.....	73	第 5 章	材料非线性问题分析.....	112
3.4	本章小结.....	73		( 视频讲解: 20 分钟)	
第 4 章	接触分析.....	74	5.1	材料非线性分析库简介.....	113
	( 视频讲解: 72 分钟)		5.1.1	塑性.....	113
4.1	ABAQUS 接触功能概述.....	75	5.1.2	超弹性.....	114
4.2	定义接触面.....	75	5.1.3	粘弹性.....	115
4.3	接触面间的相互作用.....	76	5.2	橡胶垫片压缩过程模拟.....	115
4.3.1	接触面的法向行为.....	76	5.2.1	示例描述.....	115
4.3.2	表面的滑动.....	76	5.2.2	分析求解.....	116
4.3.3	摩擦模型.....	76	5.2.3	结果处理.....	124
4.3.4	其他接触相互作用选项.....	77	5.3	悬臂梁受压过程分析.....	126
4.3.5	基于表面的约束.....	77	5.3.1	示例描述.....	126
4.4	在 ABAQUS/Standard 中定义接触.....	78	5.3.2	分析求解.....	126
4.4.1	接触相互作用.....	78	5.3.3	结果处理.....	133
4.4.2	从属和主控表面.....	78	5.4	本章小结.....	136
4.4.3	小滑动与有限滑动.....	78	第 6 章	结构模态分析.....	137
4.5	圆盘与平板模型的接触仿真分析.....	79		( 视频讲解: 19 分钟)	
4.5.1	问题描述.....	79	6.1	动力学概述.....	138
4.5.2	创建部件.....	79	6.1.1	动力学分析简介.....	138
4.5.3	定义材料属性.....	80	6.1.2	模态分析.....	138
4.5.4	定义和指派截面属性.....	81	6.2	结构模态分析的步骤.....	139
4.5.5	定义装配.....	82	6.2.1	进行模态分析的功能.....	139
4.5.6	设置分析步.....	82	6.2.2	模态分析的步骤.....	139
4.5.7	划分网格.....	83	6.3	圆棒的结构模态分析.....	140
4.5.8	定义接触.....	84	6.3.1	创建部件.....	140
4.5.9	定义边界条件和载荷.....	86	6.3.2	定义材料属性.....	141
4.5.10	提交分析作业.....	89	6.3.3	定义和指派截面属性.....	141
4.5.11	后处理.....	90	6.3.4	定义装配.....	142
4.6	冲模过程仿真分析.....	91	6.3.5	设置分析步.....	142
4.6.1	问题描述.....	91	6.3.6	划分网格.....	143
4.6.2	创建部件.....	92	6.3.7	边界条件和载荷.....	145
4.6.3	定义材料属性.....	94	6.3.8	提交分析作业.....	146



6.3.9 后处理.....	146	7.5 本章小结.....	180
6.4 弹壳的结构模态分析.....	149	第8章 热应力分析.....	181
6.4.1 创建部件.....	149	(  视频讲解: 23 分钟)	
6.4.2 定义材料属性.....	149	8.1 热应力分析中的主要问题.....	182
6.4.3 定义和指派截面属性.....	150	8.2 铁轨的热应力分析.....	182
6.4.4 定义装配.....	151	8.2.1 示例描述.....	182
6.4.5 设置分析步.....	151	8.2.2 创建部件.....	182
6.4.6 划分网格.....	152	8.2.3 定义材料属性.....	183
6.4.7 边界条件和载荷.....	153	8.2.4 定义和指派截面属性.....	184
6.4.8 提交分析作业.....	154	8.2.5 定义装配.....	185
6.4.9 后处理.....	155	8.2.6 设置分析步.....	185
6.5 本章小结.....	158	8.2.7 定义集合、边界条件.....	186
第7章 显式非线性动态分析.....	159	8.2.8 定义温度场.....	187
(  视频讲解: 20 分钟)		8.2.9 划分网格.....	188
7.1 ABAQUS/Explicit 适用的问题		8.2.10 提交分析作业.....	189
类型.....	160	8.2.11 后处理.....	190
7.2 动力学显式有限元方法.....	160	8.3 Y型支架的热应力分析.....	190
7.2.1 显式时间积分.....	161	8.3.1 问题的描述.....	191
7.2.2 比较隐式和显式时间积分程序.....	162	8.3.2 创建部件.....	191
7.2.3 显式时间积分方法的优越性.....	162	8.3.3 定义材料属性.....	192
7.3 自动时间增量和稳定性.....	163	8.3.4 定义和指派截面属性.....	192
7.3.1 显式方法的条件稳定性.....	163	8.3.5 定义装配.....	193
7.3.2 稳定性限制的定义.....	163	8.3.6 设置分析步.....	193
7.3.3 在 ABAQUS/Explicit 中的完全自动		8.3.7 划分网格.....	194
时间增量与固定时间增量.....	164	8.3.8 定义集合和载荷施加面.....	195
7.3.4 质量缩放以控制时间增量.....	164	8.3.9 边界条件和载荷.....	197
7.3.5 材料对稳定极限的影响.....	165	8.3.10 定义温度场.....	199
7.3.6 网格对稳定极限的影响.....	165	8.3.11 提交分析作业.....	201
7.3.7 数值不稳定性.....	165	8.3.12 后处理.....	201
7.4 钢球撞击钢板过程分析.....	165	8.4 本章小结.....	202
7.4.1 示例描述.....	165	第9章 多体系统分析.....	203
7.4.2 创建部件.....	166	(  视频讲解: 23 分钟)	
7.4.3 定义材料属性.....	167	9.1 ABAQUS 多体系统分析简介.....	204
7.4.4 定义和指派截面属性.....	168	9.2 ABAQUS 的连接单元连接属性.....	204
7.4.5 定义装配.....	168	9.2.1 连接单元边界条件和载荷.....	204
7.4.6 设置分析步.....	169	9.2.2 连接单元行为.....	205
7.4.7 划分网格.....	169	9.2.3 ABAQUS 的连接属性.....	205
7.4.8 定义接触.....	172	9.3 螺旋桨叶片的旋转过程模拟.....	206
7.4.9 定义边界条件和载荷.....	174	9.3.1 创建部件.....	206
7.4.10 提交分析作业.....	177	9.3.2 定义材料属性.....	208
7.4.11 后处理.....	177		



Note

9.3.3	定义和指派截面属性	209	10.3.2	创建重新启动分析模型	240
9.3.4	定义装配	211	10.3.3	模型属性	241
9.3.5	定义参考点和坐标系	211	10.3.4	创建分析步	241
9.3.6	定义集合	212	10.3.5	定义载荷	242
9.3.7	定义约束	213	10.3.6	提交分析作业	244
9.3.8	定义连接属性和连接单元	214	10.3.7	后处理	245
9.3.9	设置分析步和历史输出变量	215	10.4	本章小结	246
9.3.10	定义边界条件和载荷	216	第 11 章	子程序	247
9.3.11	划分网格	217		( 视频讲解: 8 分钟)	
9.3.12	提交分析作业	219	11.1	用户材料子程序简介	248
9.3.13	后处理	220	11.2	VUAMT 用户子程序接口及 调试	248
9.4	本章小结	221	11.2.1	用户材料子程序 VUMAT 接口 界面	248
第 10 章	多步骤分析	222	11.2.2	用户材料子程序 VUMAT 的主要 参数	249
	( 视频讲解: 23 分钟)		11.2.3	用户材料子程序 VUMAT 的调试 与提交方法	250
10.1	分析过程	223	11.3	显式应力更新算法简介	251
10.1.1	分析过程的分类	223	11.4	VUMAT 子程序的编制	252
10.1.2	一般分析步	223	11.5	Taylor 杆撞击仿真分析	253
10.1.3	线性摄动分析	224	11.5.1	创建部件	253
10.2	铲斗系统的振动分析	225	11.5.2	划分网格	254
10.2.1	示例描述	225	11.5.3	定义材料属性	255
10.2.2	创建部件	225	11.5.4	定义装配	257
10.2.3	定义材料属性	229	11.5.5	设置分析步	257
10.2.4	定义和指派截面属性	229	11.5.6	边界条件和载荷	259
10.2.5	定义装配	230	11.5.7	提交分析作业	260
10.2.6	设置分析步	230	11.6	本章小结	263
10.2.7	划分网格	232	附件一:	INP 文件	263
10.2.8	边界条件和载荷	234	附件二:	源程序	265
10.2.9	提交分析作业	235			
10.2.10	后处理	236			
10.3	重新启动分析	239			
10.3.1	重新启动分析方法概述	239			

# 第 1 章

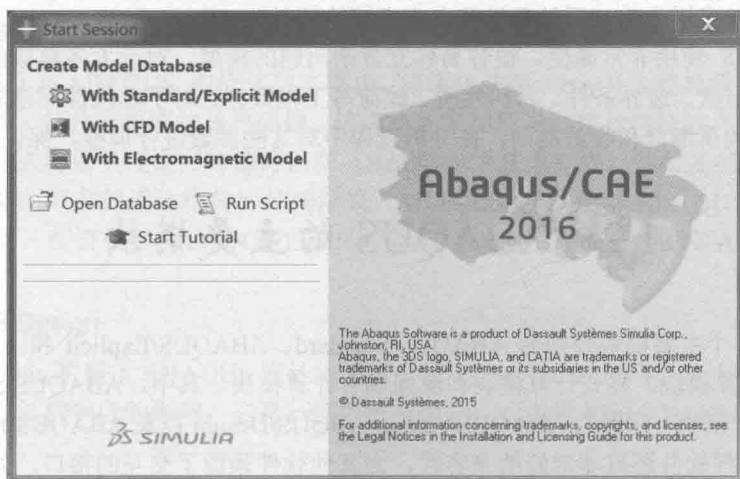
## ABAQUS 2016 概述

ABAQUS 是一套基于有限元方法的工程分析软件，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。本章将简要介绍 ABAQUS 的使用环境、软件发展历程、文件系统以及 ABAQUS 2016 英文版的新功能。

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的处理方式。

- 了解 ABAQUS
- 掌握 ABAQUS 主要模块及新功能

### 任务驱动&项目案例





Note

## 1.1 ABAQUS 总体介绍

ABAQUS 是国际上最先进的大型通用非线性有限元软件之一，它由世界知名的有限元分析软件公司 ABAQUS（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 以其杰出的复杂工程力学问题的分析能力、庞大求解规模的驾驭能力以及高度非线性问题的求解能力享誉业界，在世界各地的许多国家都得到了广泛的应用，涉及机械、土木、水利、航空航天、船舶、电器、汽车等各个工程领域。一直以来，ABAQUS 能够根据用户反馈的信息不断解决新的技术难题并及时进行软件更新，使其逐步完善。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 作为被广泛认可的、功能最强的非线性有限元分析软件之一，不但可以用于单一零件的力学和多物理场的分析，如能进行有效的静态和准静态的分析、模态分析、瞬态分析、弹塑性分析、接触分析、碰撞和冲击分析、爆炸分析、断裂分析、屈服分析、疲劳和耐久性分析等结构和热分析，而且还可以进行流固耦合分析、压电和热电耦合分析、声场和声固耦合分析、热固耦合分析、质量扩散分析等，同时其还能够进行系统级的分析和研究，特别是能够出色实现极其复杂、庞大的系统性问题和高度非线性问题的模拟仿真和计算。

ABAQUS 单元库包含诸多类型的单元，可以用来模拟各种复杂的几何形状；同时 ABAQUS 还拥有非常丰富的本构模型库，可用来模拟绝大多数常见的工程材料，如金属、聚合物、复合材料、橡胶、可压缩的弹性泡沫、钢筋混凝土以及各种地质材料等。此外，ABAQUS 还具有强大的二次开发功能，其二次开发功能包含两个方面，分别是用户子程序接口和脚本接口。用户子程序接口（User Subroutine）使用 Fortran 语言进行开发，主要供用户自定义本构关系、自定义单元等。常用的用户子程序包括 (V)UMAT、(V)UEL、(V)DLOAD 等；脚本接口（Abaqus Scripting Interface）是在 Python 语言的基础上进行自定义开发，它扩充了 Python 语言的数据类型和对象类型，使得脚本功能更加强大，一般情况下脚本语言的开发多用于前、后处理以及自定义模块等。

此外，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。

## 1.2 ABAQUS 的主要模块

ABAQUS 的 3 个主要模块分别为 ABAQUS/Standard、ABAQUS/Explicit 和 ABAQUS/CFD，即 ABAQUS 的隐式计算模块、显式计算模块和流固耦合计算模块。其中，ABAQUS/Standard 还附带了 3 个特殊用途的分析模块，分别为 ABAQUS/Aqua、ABAQUS/Design 以及 ABAQUS/Foundation。另外，ABAQUS 与其他工程软件还有非常好的兼容性，为其他软件预留了交互的接口，如为 MOLDFLOW 和 ADAMS 提供了接口。ABAQUS 的前处理模块为 ABAQUS/CAE，它是 ABAQUS 的集成工作环境，其功能包括了 ABAQUS 的模型建立、交互式提交作业、监控运算过程以及结果评估等能力。

本书重点介绍了 ABAQUS/Standard 和 ABAQUS/Explicit 的具体运用，特殊需求的用户可参阅



《ABAQUS/CAE User's Manual》等帮助文档。

## 1. ABAQUS/CAE

ABAQUS/CAE (Complete ABAQUS Environment) 是 ABAQUS 的集成工作环境, 具有强大的前处理功能, 它可以为各种复杂外形的几何体划分高质量的有限元网格, 还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、载荷、边界条件等参数。在完成建模后, 还可以提交、监视和控制分析作业, 最后通过 Visualization 模块来显示得到的结果。

ABAQUS/CAE 的功能虽然十分强大, 但是目前为止还不能支持所有的关键字 (Key Word), 如在 ABAQUS/CAE 中不能建立基于节点集的面, 这个功能需要通过修改 INP 文件的关键字才能实现。

## 2. 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、动力学分析、结构的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。

## 3. ABAQUS/Explicit

ABAQUS/Explicit 为显式分析求解器, 利用对时间的显示积分求解动态问题的有限元方程。适合于分析冲击和爆炸这样短暂、瞬时的动态事件以及求解冲击和其他高度不连续问题等。

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。

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与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 的流体仿真模块, 该模块使得 ABAQUS 能够模拟层流、湍流等流体问题以及自然对流、热传导等流体传热问题。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, 同时还可以由 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表现更为优秀, 配合使用 ABAQUS/Explicit 和 ABAQUS/Standard, 使得 ABAQUS 更加灵活和强大。

## 5. 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。

## 6. 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。



Note



## 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以及管道的受拉模拟。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. 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。

## 10. 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。

# 1.3 ABAQUS 的文件类型

ABAQUS 在实际的工程计算中生成的文件类型很多,主要包括以下几种。

### 1. abaqus.rpy 文件

rpy (Replay) 文件记录一次操作中几乎所有的 ABAQUS/CAE 命令,通过 rpy 文件可以很方便改写为基于 Python 语言的脚本文件,方便进行参数化建模以及二次开发。

### 2. model\_database\_name.cae 文件

cae (Complete ABAQUS Environment) 文件主要包含了模型的各种建模信息、分析任务等。

### 3. model\_database\_name.jnl 文件

jnl (Journal) 文件是日志文件,其主要包含用于复制已存储模型数据库的 ABAQUS/CAE 命令。

### 4. model\_database\_name.rec 文件

rec (Record) 文件主要包含了用于恢复内存中模型数据库的 ABAQUS/CAE 命令。

### 5. job\_name.inp 文件

inp (Input) 文件为 ABAQUS/CAE 模块生成的输入文件 (Input File),其包含整个分析所需的所有信息,包括模型数据、边界条件等,最终用于提交给求解器进行计算。

### 6. job\_name.odb 文件

odb (Output Database) 文件是结果数据库输出文件,包含了模型计算结果的各种数据。



Note



Note

### 7. ob\_name.lck 文件

lck (Lock) 文件用于阻止写入输出数据库, 关闭输出数据库则自行删除, 起到保护数据库不被误删的作用。

### 8. job\_name.res 文件

res (Restart) 文件用于模拟计算的重启动。

### 9. job\_name.dat 文件

dat (data) 文件为数据文件, 其采用文本输出计算过程中的各种信息。

### 10. job\_name.msg 文件

msg (Message) 文件包含计算过程中的诊断信息, 方便计算失败时查错。

### 11. job\_name.sta 文件

sta (Status) 文件是状态文件, 包含了分析过程的各种状态信息。

## 1.4 ABAQUS 使用环境

ABAQUS/CAE 是 ABAQUS 的前处理模块, 它为建立 ABAQUS 模型、生成 inp 文件、交互式的提交作业、监控和评估 ABAQUS 运行结果提供了一个方便快捷的界面。

ABAQUS/CAE 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、定义装配体、定义载荷以及边界条件、定义模拟时间步、几何实体的网格划分等。功能模块之间没有严格的先后顺序, 在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。在使用 ABAQUS/CAE 建立模型之后会生成输入文件, 即 inp 文件。inp 文件由 ABAQUS 的求解器 (如 ABAQUS/Standard 或 ABAQUS/Explicit) 读入进行分析, 并实时地将信息反馈给 ABAQUS/CAE, 用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。

下面简要地介绍一下 ABAQUS 的使用环境。

### 1.4.1 启动 ABAQUS/CAE

双击 ABAQUS/CAE 快捷方式, 或者在操作系统的命令提示符中输入如下命令:

```
abaqus cae
```

这两种方式都可以启动 ABAQUS/CAE。其中, “abaqus cae” 是运行 ABAQUS/CAE 的 DOS 命令, 不同的系统可能会有所不同。当 ABAQUS/CAE 启动以后, 会弹出 Start Session (开始任务) 对话框, 如图 1-1 所示。下面介绍对话框中的选项。

- Create Model Database (创建模型数据库): 创建一个新的分析过程, 用户可根据自己的实际需要建立 Standard/Explicit 模型、CFD 模型或者 Electromagnetic 模型。
- Open Database (打开数据库): 打开一个已有的模型或数据库文件。
- Run Script (运行脚本): 运行一个脚本文件。
- Start Tutorial (打开入门指南): 单击后将打开 ABAQUS 2016 的辅导教程在线文档。





Note

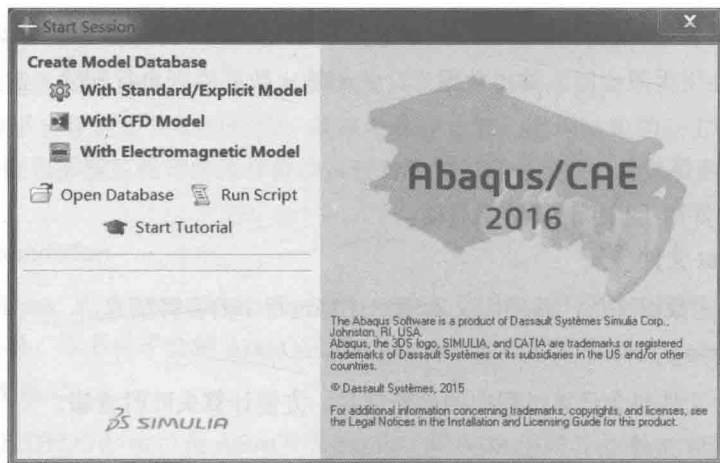


图 1-1 Start Session 对话框

## 1.4.2 ABAQUS 的主窗口

图 1-2 展示了主窗口的各个组成部分，用户可以通过主窗口与 ABAQUS/CAE 进行交互。

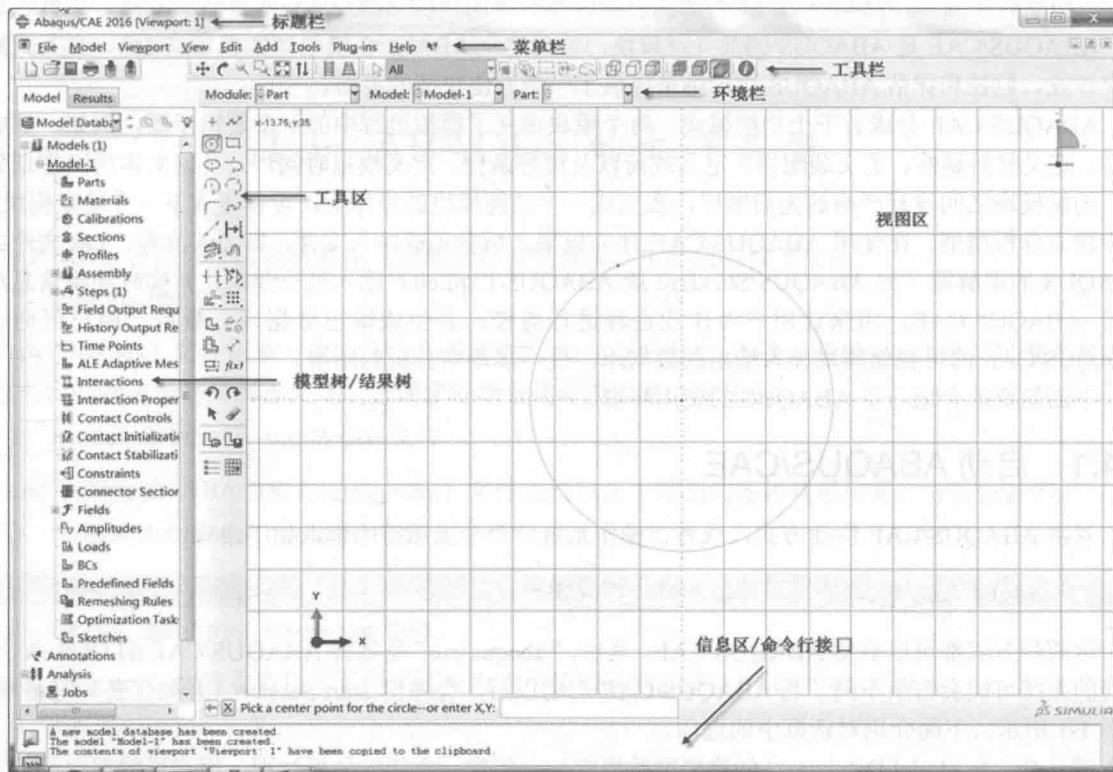


图 1-2 主要窗口画面

### 1. 菜单栏

通过菜单栏可以看到所有可用的菜单，用户可以通过菜单操作来调用 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会不尽相同。