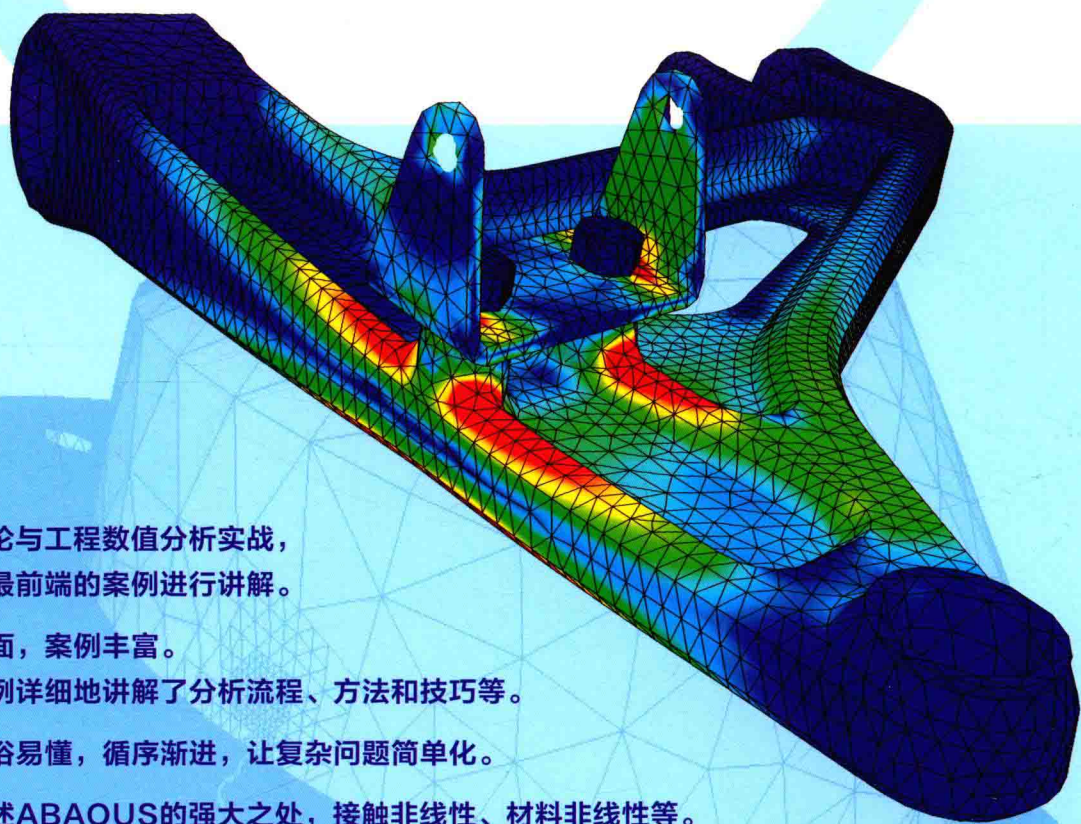


朱小平 李秀锋 刘学军 主编

ABAQUS

基础与应用



- 融合理论与工程数值分析实战，以研发最前端的案例进行讲解。
- 内容全面，案例丰富。通过案例详细地讲解了分析流程、方法和技巧等。
- 语言通俗易懂，循序渐进，让复杂问题简单化。
- 充分阐述ABAQUS的强大之处，接触非线性、材料非线性等。

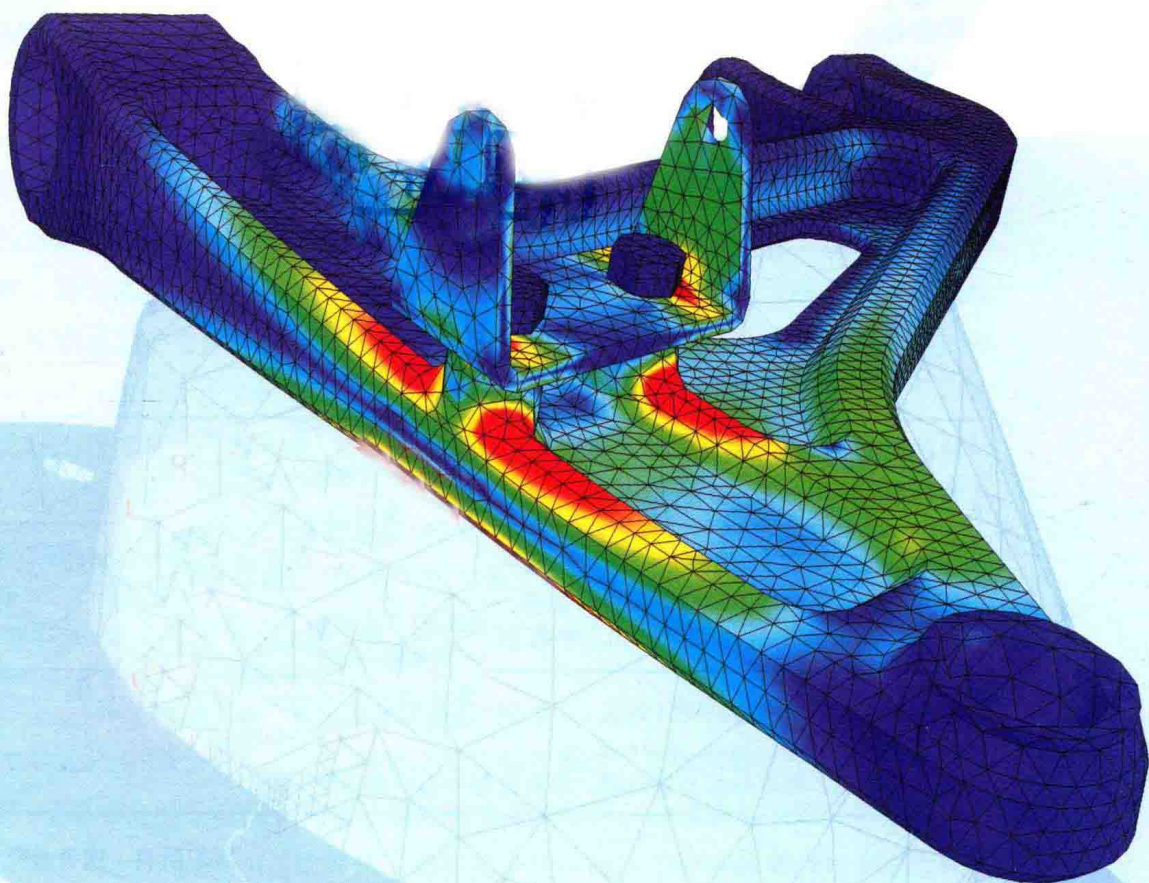


化学工业出版社

朱小平 李秀锋 刘学军 主编

ABAQUS

基础与应用



化学工业出版社

北京

本书简要介绍了有限元分析的基本概念及其发展、ABAQUS软件的基础,阐述了连杆分析、拓扑优化分析和形状优化分析的过程,用实例详细介绍活塞强度有限元分析过程、缸盖强度有限元分析过程、涡壳强度的有限元分析过程、叶轮强度有限元分析过程和模态分析过程。

本书适合初学及具有一定基础的ABAQUS用户,可作为机械、汽车、电子和力学等相关专业的自学教材和培训参考书,特别适用于从事机电产品设计的工程分析师等。

图书在版编目(CIP)数据

ABAQUS 基础与应用 / 朱小平, 李秀锋, 刘学军主编.
—北京: 化学工业出版社, 2017.5
ISBN 978-7-122-29328-2

I. ①A… II. ①朱… ②李… ③刘… III. ①有限元
分析—应用软件 IV. ①0241.82-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第057572号

责任编辑:吕佳丽
责任校对:宋夏

装帧设计:张辉

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印装:北京瑞禾彩色印刷有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张14 字数243千字 2017年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址:<http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:88.00元

版权所有 违者必究

前言

PREFACE

一、ABAQUS软件简介

ABAQUS软件是一套功能强大的用于工程模拟的有限元分析软件，其解决问题的范围从相对简单的线性分析到非常复杂的非线性问题。ABAQUS软件包含丰富的、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及土壤和岩石等地质材料。

作为通用的模拟工具，ABAQUS软件除了能解决大量的结构问题，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、岩土力学分析及压电介质分析等。

实际工程案例中涉及大量的非线性计算，如螺栓预紧力的施加，大量接触对的出现，具有强烈非线性行为的垫片部分的模拟等，而ABAQUS优秀的非线性分析功能及热固耦合分析功能可以很好地满足这类大规模的具有高度非线性行为CAE分析的要求。

二、本书导读

本书共分为8章，内容系统，各章之间又相互独立，具体内容如下：

第1章简要介绍了有限元分析的基本概念及其发展，让读者对有限元方法有个大致的了解，然后对ABAQUS软件作了相关的介绍，阐述了分析计算的基本流程，最后介绍了ABAQUS软件在发动机零部件产品开发中的重要性。

第2章首先简要介绍了ABAQUS软件的基础，包括ABAQUS软件的用户界面、鼠标操作和相关的约定，然后通过一个简单的实例描述了ABAQUS完成一个计算的操作过程，让读者对ABAQUS的计算过程有个大致的了解。

第3章以连杆分析为例，从网格的划分、接触属性的设置、接触对的定义、分析步的定义及载荷和约束的定义等，详细阐述了连杆分析的全部过程。

第4章首先简要介绍了结构优化的概念，然后以连杆为例，详细讲述了拓扑优化分析和形状优化分析的过程。

第5章详细阐述了活塞强度有限元分析过程。从热仿真分析过程，到结构仿真分析过程，最后到高周疲劳计算过程，都进行了详细的描述。

第6章详细阐述了缸盖强度有限元分析过程。从热仿真分析过程，到结构仿真分析过程，最后到高周疲劳计算过程，都进行了详细的描述。

第7章详细阐述了涡壳强度的有限元分析过程。包括网格划分、材料定义、热边界的定义、热应力的求解以及结果评估都进行了详细的讲解。

第8章详细阐述了叶轮强度有限元分析过程和模态分析过程。

本书适合初级及具有一定基础的ABAQUS用户，可作为机械、汽车、电子和力学等相关专业的自学教材和培训参考书，特别适用于从事机电产品设计的工程分析师等。

三、本书特点

本书具有以下特点：

- 语言通俗易懂，流程化操作步骤，切实从读者学习和使用的实际出发。
- 图文并茂，力求易于理解和掌握，从工程师的角度来阐述工程实例。
- 实例汇集了ABAQUS软件的常见功能和应用，如结构优化、接触非线性分析、材料非线性分析和热机耦合分析等。

本书作者长期从事CAE的研究工作，并根据自身的工作经验和研究成果整理完成本书内容，限于作者水平，加上时间仓促，书中不足之处在所难免，恳请各位朋友和专家批评指正。

编者

2017年5月

目录

CONTENTS

第1章 概述

1.1 有限元分析简介	2
1.1.1 有限元分析的基本概念	2
1.1.2 有限元分析的发展	4
1.2 Abaqus 软件简介	5
1.2.1 Abaqus 软件概述	5
1.2.2 Abaqus 软件分析模块	6
1.2.3 Abaqus 软件分析的一般流程	8
1.2.4 Abaqus 软件在发动机零部件仿真中的应用	10
1.3 本章小结	10

第2章 ABAQUS 基础与简单实例

2.1 ABAQUS 基础	12
2.1.1 ABAQUS/CAE 的用户界面	12
2.1.2 ABAQUS/CAE 的鼠标使用	13
2.1.3 ABAQUS/CAE 的相关约定	14
2.1.4 ABAQUS/CAE 的文件类型	15
2.1.5 ABAQUS/CAE 的单元类型	16
2.2 ABAQUS 入门实例	18
2.2.1 问题描述	18

2.2.2	创建模型数据库	18
2.2.3	创建部件	19
2.2.4	定义材料属性	20
2.2.5	定义装配体	22
2.2.6	定义分析步	22
2.2.7	定义载荷和边界条件	23
2.2.8	划分网格	25
2.2.9	递交作业	26
2.2.10	结果后处理	28
2.3	本章小结	34

第3章 连杆强度有限元分析

3.1	计算内容	36
3.1.1	问题描述	36
3.1.2	计算流程	38
3.1.3	评价指标	38
3.2	计算仿真过程	39
3.2.1	模型描述	39
3.2.2	网格划分	40
3.2.3	定义分析步	40
3.2.4	定义材料	41
3.2.5	定义接触	44
3.2.6	定义载荷	49
3.2.7	定义约束	53
3.2.8	求解控制	54
3.3	结果分析	55
3.3.1	变形结果	55
3.3.2	应力结果	56
3.3.3	轴瓦背压	58
3.3.4	分界面	59

3.4 疲劳分析	59
3.4.1 工况选择	60
3.4.2 安全系数说明	61
3.4.3 材料定义	62
3.4.4 求解参数设置	62
3.4.5 结果评价	63
3.5 屈曲分析	63
3.5.1 连杆惯性矩	64
3.5.2 连杆柔度计算	65
3.5.3 临界应力计算	65
3.6 INP 文件解释	68
3.7 本章小结	73

第4章 连杆优化分析

4.1 结构优化概述	75
4.1.1 拓扑优化	75
4.1.2 形状优化	76
4.2 连杆拓扑优化示例	76
4.2.1 模型描述	77
4.2.2 材料定义	78
4.2.3 边界条件和载荷	78
4.2.4 优化求解设置	80
4.2.5 结果与讨论	82
4.3 连杆形状优化示例	84
4.3.1 模型描述	85
4.3.2 材料定义	85
4.3.3 边界条件和载荷	86
4.3.4 优化求解设置	87
4.3.5 结果与讨论	90
4.4 本章小结	91

第5章 活塞热机耦合强度分析

5.1 计算内容	93
5.1.1 问题描述	93
5.1.2 计算流程	94
5.1.3 评价指标	95
5.2 热仿真分析过程	95
5.2.1 热分析概述	95
5.2.2 模型描述	96
5.2.3 网格划分	96
5.2.4 定义分析步	97
5.2.5 定义材料	98
5.2.6 定义接触	100
5.2.7 定义热边界	103
5.2.8 求解控制	105
5.3 结构仿真分析过程	106
5.3.1 模型描述	106
5.3.2 网格划分	106
5.3.3 定义分析步	107
5.3.4 定义载荷	108
5.3.5 定义约束	111
5.3.6 求解控制	112
5.4 结果分析	113
5.4.1 温度场结果	113
5.4.2 变形结果	113
5.4.3 应力结果	115
5.5 疲劳分析	116
5.5.1 工况选择	116
5.5.2 安全系数说明	117
5.5.3 材料定义	118
5.5.4 求解参数设置	119

5.5.5	结果评价	120
5.6	INP 文件解释	121
5.7	本章小结	127

第6章

缸盖热机耦合强度分析

6.1	计算内容	129
6.1.1	问题描述	129
6.1.2	计算流程	130
6.1.3	评价指标	130
6.2	热仿真分析过程	131
6.2.1	模型描述	131
6.2.2	网格划分	132
6.2.3	定义分析步	133
6.2.4	定义材料	134
6.2.5	定义接触	137
6.2.6	定义热边界	140
6.2.7	求解控制	141
6.3	结构仿真分析过程	142
6.3.1	模型描述	142
6.3.2	网格划分	143
6.3.3	定义分析步	143
6.3.4	定义载荷	144
6.3.5	定义约束	149
6.3.6	求解控制	149
6.4	结果分析	150
6.4.1	缸盖温度分布	150
6.4.2	缸套温度分布	151
6.4.3	密封性评估	151
6.4.4	缸盖应力分布	152
6.4.5	缸套变形分析	153

6.5	疲劳仿真计算	155
6.6	INP 文件解释	156
6.7	本章小结	161

第 7 章 涡壳强度有限元分析

7.1	计算内容	164
7.1.1	问题描述	164
7.1.2	计算流程	165
7.1.3	评价指标	165
7.2	建立热分析模型	166
7.2.1	模型描述	166
7.2.2	网格划分	166
7.2.3	定义分析步	167
7.2.4	定义材料	168
7.2.5	定义装配体	171
7.2.6	定义热边界	171
7.2.7	求解控制	174
7.3	建立结构分析模型	175
7.3.1	模型描述	175
7.3.2	网格划分	175
7.3.3	定义分析步	176
7.3.4	定义载荷	177
7.3.5	定义约束	178
7.3.6	求解控制	179
7.4	结果分析	180
7.4.1	温度场结果	180
7.4.2	应力结果	182
7.5	INP 文件解释	183
7.6	本章小结	187

8.1 计算内容	189
8.1.1 问题描述	189
8.1.2 计算流程	190
8.1.3 评价指标	190
8.2 分析模型定义	191
8.2.1 模型描述	191
8.2.2 网格划分	192
8.2.3 定义分析步	193
8.2.4 定义材料	195
8.2.5 定义边界	197
8.2.6 求解设置	200
8.3 结果分析	201
8.3.1 变形结果	201
8.3.2 应力结果	202
8.3.3 模态结果	203
8.4 INP 文件解释	206
8.5 本章小结	210
参考文献	211

第1章

概 述

有限元分析是使用有限元方法来分析静态或动态的物体或系统。在这种方法中一个物体或系统被分解为由多个相互联结的、简单的、独立的点所组成的几何模型。在这种方法中这些独立的点的数量是有限的，因此被称为有限元。

1.1

有限元分析简介

本节首先简要介绍有限元分析的基本概念，然后简要阐述其发展和应用概况。

1.1.1 有限元分析的基本概念

在工程技术领域内，有许多问题归结为场问题的分析和求解，如位移场、应力场、应变场、流场和温度场等。这些场问题虽然已经得出应遵循的基本规律（微分方程）和相应的限制条件（边界条件），但因实际问题的复杂性而无法用解析方法求出精确解。

由于这些场问题的解是工程中迫切所需要的，人们从不同角度去寻找满足工程实际要求的近似解，有限元方法就是随着计算机技术的发展和出现的一种求解数理方程的非常有效的数值方法。

有限元分析的基本思想是用离散近似的概念，把连续的整体结构离散为有限多个单元，单元构成的网格就代表了整个连续介质或结构。这种离散化的网格即为真实结构的等效计算模型，与真实结构的区别主要在于单元与单元之间除了在分割线的交点（节点）上相互连接外，再无任何连接，且这种连接要满足变形协调条件，单元间的相互作用只通过节点传递。这种离散网格结构的节点和单元数目都是有限的，所以称为有限单元法。

在单元内，假设一个函数近似地用来表示所求场问题的分布规律。这种近似函数一般用所求场问题未知分布函数在单元各节点上的值及其插值函数表示。这样就将一个连续的有无限自由度的问题，变成了离散的有限自由度的问题。根据实际问题的约束条件，解出各个节点上的未知量后，就可以用假设的近似函数确定单元内各点场问题的分布规律。

有限元方法进行结构分析主要涉及三个问题：

(1) 网格剖分和近似函数的选取

选用合适单元类型和单元大小的问题。合适的单元类型能在满足求解精度的条件下提高求解的效率，反之则可能会事倍功半。

(2) 单元分析

探讨单个单元的特性（力学特性、传热学特性等），将单元内的特性用节点上的特性表示出来建立起节点上主要特性间的关系（如节点位移与节点力的关系），得出单元刚度矩阵。

(3) 整体结构分析

把所有的单元组装在一起成为整体结构，建立起整体结构上各节点特性（节点位移和节点力）之间的关系，得出整体结构的线性代数方程组，在此基础上做边界修正并求解。

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。

对于不同物理性质和数学模型的问题，有限元求解法的基本步骤是相同的，只是具体公式推导和运算求解不同。有限元求解问题的基本步骤通常为：

第1步：问题及求解域定义：根据实际问题近似确定求解域的物理性质和几何区域。

第2步：求解域离散化：将求解域近似为具有不同有限大小和形状且彼此相连的有限个单元组成的离散域，习惯上称为有限元网络划分。显然单元越小（网络越细）则离散域的近似程度越好，计算结果也越精确，但计算量及误差都将增大，因此求解域的离散化是有限元法的核心技术之一。

第3步：确定状态变量及控制方法：一个具体的物理问题通常可以用一组包含问题状态变量边界条件的微分方程式表示，为适合有限元求解，通常将微分方程化为等价的泛函形式。

第4步：单元推导：对单元构造一个适合的近似解，即推导有限单元的列式，其中包括选择合理的单元坐标系，建立单元试函数，以某种方法给出单元各状态变量的离散关系，从而形成单元矩阵（结构力学中称刚度阵或柔度阵）。

为保证问题求解的收敛性，单元推导有许多原则要遵循。对工程应用而言，重要的是应注意每一种单元的解题性能与约束。例如，单元形状应以规则为好，畸形时不仅精度低，而且有缺秩的危险，将导致无法求解。

第5步：总装求解：将单元总装形成离散域的总矩阵方程（联合方程组），反映对近似求解域的离散域的要求，即单元函数的连续性要满足一定的连续条件。总装是在相邻单元结点进行，状态变量及其导数（可能的话）连续性建立在结点处。

第6步：联立方程组求解和结果解释：有限元法最终导致联立方程组。联立方程组的求解可用直接法、迭代法和随机法。求解结果是单元结点处状态变量的近似值。对于计算结果的质量，将通过与设计准则提供的允许值比较来评价并确定是否需要重复计算。

简言之，有限元分析可分成3个阶段，前处理、处理和后处理。前处理是建立有限元模型，完成单元网格划分；后处理则是采集处理分析结果，使用户能简便提取信息，了解计算结果。

1.1.2 有限元分析的发展

20世纪60年代后期，人们进一步用加权余量法来进行单元特性分析和建立有限元法求解方程，这样就可将有限元法用于已知问题的微分方程和边界条件，但变分的泛函还没有找到或者根本不存在的状况，进一步扩大了有限元的应用领域。1970年，克拉夫等人提出了“收敛准则”，使人们能更有效地构造假设函数，并且从理论上保证了有限元解的收敛性，进一步完善了有限元的理论基础。

国际上早在60年代初就开始投入大量的人力和物力开发有限元分析程序，但真正的CAE软件是诞生于70年代初期，而CAE开发商为满足市场需求和适应计算机硬、软件技术的迅速发展，在大力推销其软件产品的同时，对软件的功能、性能，用户界面和前、后处理能力，都进行了大幅度的改进与扩充。这就使得目前市场上知名的CAE软件，在功能、性能、易用性、可靠性以及对运行环境的适应性方面，基本上满足了用户的当前需求，从而帮助用户解决了成千上万的工程实际问题，同时也为科学技术的发展和工程应用做出了不可磨灭的贡献。

近年来，随着计算机硬件和专业分析软件等各方面的不断提高，有限元分析在工程设计和分析中得到了越来越广泛的运用，已经成为解决复杂工程分析计算问题的有效途径。如今，从机械机构到宇航结构，从建筑结构到车辆结构，从船舶结构到桥梁结构，几乎所有的设计制造都已离不开有限元分析计算，其在各个领域的广泛使用已使设计水平发生了质的飞跃，主要表现在以下几个方面：

- (1) 增加产品和工程的可靠性；

- (2) 在产品的设计阶段发现潜在的问题；
- (3) 经过分析计算，采用优化设计方案，降低原材料成本；
- (4) 缩短产品投向市场的时间；
- (5) 模拟试验方案，减少试验次数，从而减少试验经费。

总之，在整个产品开发过程中，有限元分析都充当着重要的角色。

1.2

Abaqus软件简介

1.2.1 Abaqus软件概述

Abaqus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。

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广泛采用。Abaqus产品在大量的高科技产品研究中都发挥着巨大的作用。

不论是你想深入了解一个复杂产品的细节行为，进行设计更新，理解新材料的力学行为，还是模拟制造工艺过程，Abaqus有限元产品都能提供最全面灵活的解决方案去完成上述任务。Abaqus产品提供高精度、可靠、高效的解决方案，用于求解非线性问题、大规模线性动力学应用以及常规的仿真。Abaqus产品集成显式和隐式求解器，这使得用户可以在后续的分析中直接使用上一个仿真分析的结果，用于考虑历史加载的影响，例如加工制造。用户自定义功能，用户界面的定制，这些灵活的手段可以更好地加入用户的想法，使得用户有更多的选择以减少分析时间。

Abaqus有限元产品采用最新的高性能并行计算环境，允许用户的模型尽可能的复杂，而不用担心计算能力的限制。这样可以使得用户最少地简化模型，从而增