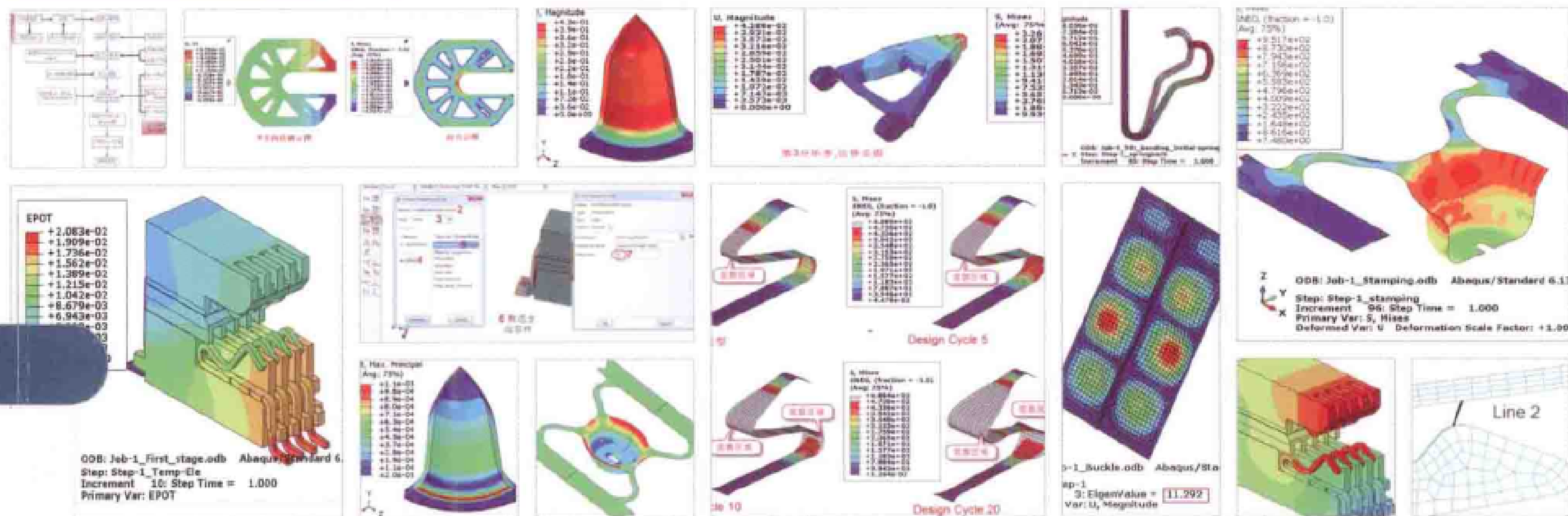


CAE分析大系

ABAQUS 工程实例 详解

© 江丙云 孔祥宏 罗元元 编著



本出自世界 500 强企业的工程实例书

第一本定制标准操作流程 SOP 的 ABAQUS 教程

第一本电子企业解密的全新流程工程实例详解

第一本 ABAQUS 原厂推荐的图书



- 全部案例源文件
- 600 分钟有声教学视频
- 图书 + 微信订阅号 + QQ 群 + SimWe 论坛 = 可沟通交流的生态系统教程

微信 (iCAX) 立体化阅读支持



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

CAE分析大系

ABAQUS 工程实例 详解

© 江丙云 孔祥宏 罗元元 编著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

CAE分析大系: ABAQUS工程实例详解 / 江丙云, 孔祥宏, 罗元元编著. — 北京: 人民邮电出版社, 2014.9
ISBN 978-7-115-35916-2

I. ①C… II. ①江… ②孔… ③罗… III. ①建筑工程—有限元分析—应用软件 IV. ①TU-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第124605号

内 容 提 要

本书基于全新的机电工程实际案例,以基本理论、分析思路、标准操作流程(SOP)和结果判读等为主线,将多年工程分析经验与Abaqus最新版完美结合,给出机电工程分析的最佳路线图。

书中详细介绍了Abaqus的网格划分、静力分析、接触分析、屈曲分析、动力学分析以及多步顺序分析等,并结合Abaqus最新功能,特别讲解热-电耦合分析、流-固耦合分析、冲压-结构联合分析、模流-结构联合分析以及优化设计和敏感性分析等。各类分析的讲解,均精心设计了标准操作流程(SOP),并不时给出提醒注意事项,便于读者脱离教程,举一反三地应用。

本书始终坚持“软件是工具,工程需分析”的理念,心怀“摒弃‘看守员’,成就分析大师”的培训目标,并依托统一的微信服务平台(iCAX)等,形成可交流的生态系统教程。随书DVD光盘包含全部案例源文件和有声讲解视频。

本书主要面向具有一定基础的Abaqus用户,可作为机械、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。

◆ 编 著 江丙云 孔祥宏 罗元元

责任编辑 杨 璐

责任印制 程彦红

◆ 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>

北京天宇星印刷厂印刷

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 21.75

插页: 1

字数: 780千字

2014年9月第1版

印数: 1-3000册

2014年9月北京第1次印刷

定价: 59.80元(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: 京崇工商广字第0021号

有限元计算流程地图及与ABAQUS模块的联系

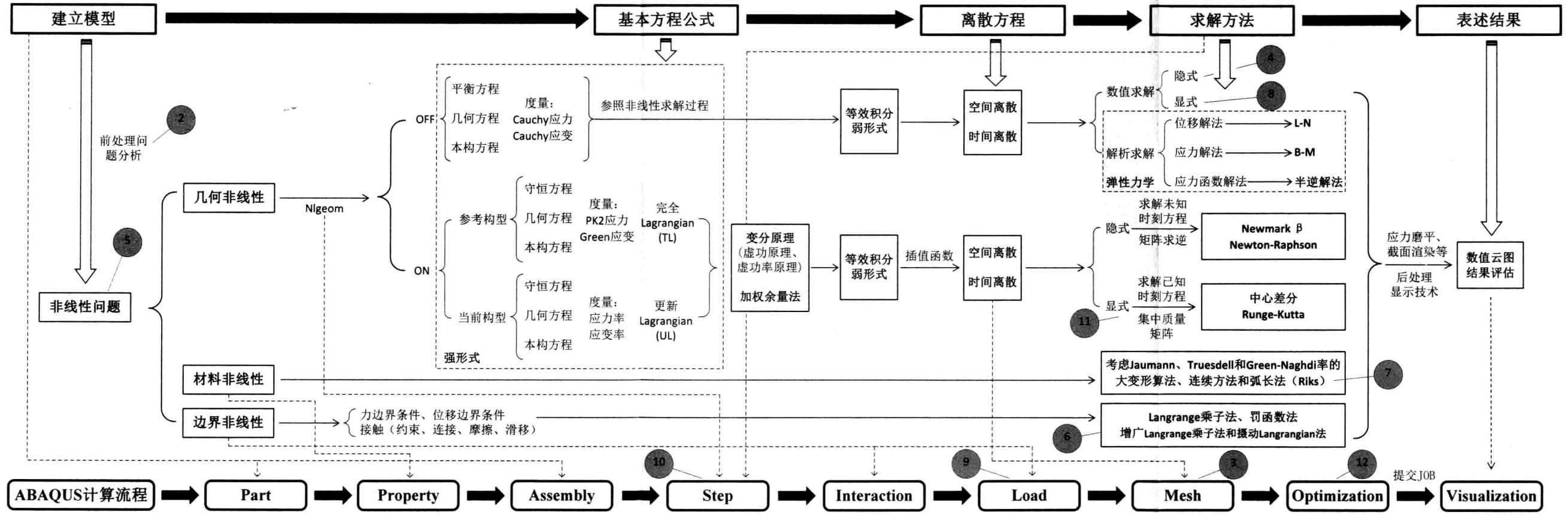


图1-14 本书章节与Abaqus模块的联系

第 1 章 工程分析价值和 Abaqus 能力	11	2.7 创建相互作用 (Interaction)	38
1.1 机械电子产品概述	11	2.8 创建载荷 (Load)	39
1.1.1 机电产品组件	11	2.9 创建网格 (Mesh) 和优化 (Optimization)	40
1.1.2 机电组件制造工艺	12	2.10 创建作业 (Job)	40
1.2 工程分析 (CAE) 价值和能力	13	2.11 查看可视化后处理 (Visualization)	41
1.2.1 工程分析价值	13	2.12 定制模板	41
1.2.2 工程分析能力	13	2.12.1 定制显示模板	41
1.3 工程分析软件 Abaqus 概述	14	2.12.2 定制模型模板	43
1.3.1 Abaqus 概述	14	2.13 端子变形实例详解	44
1.3.2 Abaqus 分析模块	14	2.13.1 问题描述	44
1.4 Abaqus 使用环境	17	2.13.2 创建部件 (Part)	44
1.4.1 Abaqus 主窗口	17	2.13.3 创建属性	46
1.4.2 Abaqus/CAE 功能模块	20	2.13.4 创建装配 (Assembly)	47
1.4.3 Abaqus 文件类型	21	2.13.5 创建分析步 (Step)	47
1.5 Abaqus 帮助指南	22	2.13.6 创建网格 (Mesh)	48
1.5.1 帮助指南使用	23	2.13.7 创建节点集	48
1.5.2 帮助指南内容	23	2.13.8 创建场 / 历史输出	48
1.6 Abaqus 新版功能	25	2.13.9 创建载荷 (Load)	49
1.6.1 Abaqus 6.12 新功能	25	2.13.10 创建作业 (Job)	50
1.6.2 Abaqus 6.13 新功能	26	2.13.11 查看结果 (Visualization)	51
1.7 本书章节布局	26	2.13.12 输入文件 (INP) 解释	53
1.8 本章小结	27	2.13.13 运行脚本	55
第 2 章 Abaqus 快速入门	28	2.14 本章小结	55
2.1 Abaqus 通用标准操作流程	28	第 3 章 网格划分	56
2.2 Abaqus/CAE 模型数据组织	28	3.1 网格划分简介	56
2.3 创建部件 (Part)	29	3.2 独立实体和非独立实体	57
2.3.1 Abaqus/CAE 创建几何模型	29	3.3 定义网格密度	58
2.3.2 导入第三方 CAD 几何模型	30	3.3.1 定义全局单元尺寸	58
2.3.3 使用脚本语言创建几何模型	31	3.3.2 定义局部单元尺寸	58
2.3.4 创建 / 导入网格部件	31	3.4 设置网格控制	60
2.4 创建属性 (Property)	31	3.4.1 选择单元形状	60
2.4.1 材料 (Material) 属性	32	3.4.2 选择网格划分技术	61
2.4.2 截面 (Section) 属性	33	3.4.3 设置网格划分算法	63
2.4.3 剖面 (Profile) 属性	33	3.5 划分网格及检查网格质量	65
2.5 创建装配 (Assembly)	34	3.5.1 形状指标 (Shape Metrics)	65
2.6 创建分析步 (Step)	35	3.5.2 尺寸指标 (Size Metrics)	66
2.6.1 创建分析步	35	3.5.3 分析检查 (Analysis Checks)	67
2.6.2 设定输出要求	36	3.6 选择单元类型	67
2.6.3 设定自适应网格	37	3.7 单元类型简介	68
2.6.4 设定求解控制	38	3.7.1 单元的表征	68

3.7.2	常用单元类型简介	69	5.5.5	创建 Surface 集	108
3.8	网格划分及编辑实例	72	5.5.6	创建接触	110
3.8.1	壳部件的网格划分	72	5.5.7	创建分析步和输出需求	111
3.8.2	实体部件的网格划分	74	5.5.8	创建边界条件	112
3.8.3	自底向上网格划分技术	75	5.5.9	创建作业并提交	113
3.8.4	虚拟拓扑与网格编辑	76	5.5.10	查看结果	113
3.8.5	从网格创建几何	78	5.5.11	INP 文件解释	114
3.8.6	复制网格模式	79	5.6	超弹性密封圈分析实例	115
3.9	从 ODB、INP 文件导入有限元模型	80	5.6.1	问题描述	115
3.9.1	从 ODB 文件导入	80	5.6.2	另存模型	116
3.9.2	从 INP 文件导入模型	81	5.6.3	创建超弹性材料属性	116
3.10	本章小结	81	5.6.4	创建装配	118
5.6.5	创建分析步	118	5.6.5	创建接触	119
5.6.6	创建接触	119	5.6.7	定义边界	120
5.6.7	定义边界	120	5.6.8	设置单元类型	121
5.6.8	设置单元类型	121	5.6.9	创建作业	121
5.6.9	创建作业	121	5.6.10	查看结果	121
5.6.10	查看结果	121	5.6.11	INP 文件解释	122
5.6.11	INP 文件解释	122	5.7	本章小结	122
第 4 章	线性静力分析	82	第 6 章	接触分析	123
4.1	结构静力分析简介	82	6.1	接触概述	123
4.1.1	线性与非线性简介	82	6.1.1	接触分类	123
4.1.2	线性静力分析基础	83	6.1.2	适用范围	123
4.2	线性静力分析 SOP	83	6.2	接触形成	124
4.3	线性静力分析三维实例	84	6.2.1	接触的离散方法 (Discretization Method)	124
4.3.1	问题描述	84	6.2.2	接触的约束施加方式 (Constraint Enforcement Method)	126
4.3.2	详细操作步骤	84	6.2.3	接触的追踪方式 (Tracking Method)	127
4.3.3	INP 文件解释	88	6.3	接触定义 SOP	128
4.4	线性静力分析二维实例	90	6.4	接触属性	128
4.4.1	问题描述	90	6.4.1	接触压力 - 过盈模型 (Pressure-Overclosure Models)	129
4.4.2	详细操作步骤	90	6.4.2	摩擦模型 (Frictional Models)	131
4.4.3	INP 文件解释	93	6.4.3	阻尼接触模型 (Contact damping Models)	132
4.5	本章小结	94	6.5	接触的收敛与诊断	133
第 5 章	非线性静力分析	95	6.6	开关端子接触分析实例	134
5.1	非线性分析基础	95	6.6.1	问题描述	134
5.1.1	几何非线性	95	6.6.2	另存模型 (Part)	135
5.1.2	边界非线性	96	6.6.3	创建属性 (Property)	135
5.1.3	材料非线性	96	6.6.4	创建分析步 (Step)	136
5.2	非线性静力分析的求解	97	6.6.5	创建接触 (Interaction)	137
5.2.1	Abaqus/Standard 的平衡迭代	97	6.6.6	边界定义 (Boundary)	139
5.2.2	Abaqus/Standard 的增量控制	98	6.6.7	输出定义 (Output)	141
5.3	非线性静力分析 SOP	99	6.6.8	创建作业并提交运算	142
5.3.1	非线性静力分析流程	99	6.6.9	查看结果	142
5.3.2	非线性静力分析设置	99	6.6.10	接触诊断	143
5.4	线性和非线性对比实例	102	6.6.11	接触改善: 引入软接触	144
5.4.1	另存模型	102	6.6.12	接触改善: 引入阻尼	146
5.4.2	引入材料塑性	102	6.6.13	INP 文件解释	149
5.4.3	引入几何非线性	102			
5.4.4	作业提交及监控	103			
5.4.5	非线性分析结果对比	103			
5.4.6	作业诊断	104			
5.4.7	INP 文件解释	104			
5.5	钣金冲压成形分析实例	105			
5.5.1	问题描述	105			
5.5.2	另存模型	106			
5.5.3	定义属性	106			
5.5.4	创建装配实例	108			

6.7 本章小结	150	8.1.3 求解方法	183
第7章 线性和非线性屈曲分析	151	8.1.4 分析类型	184
7.1 屈曲分析介绍	151	8.2 线性动力学分析介绍	185
7.1.1 屈曲分析分类	151	8.2.1 模态分析	185
7.1.2 屈曲分析方法	151	8.2.2 瞬时模态动态分析	186
7.2 线性屈曲分析基础	152	8.3 线性动力学分析 SOP	187
7.2.1 线性屈曲理论	152	8.4 线性动力学分析实例	187
7.2.2 线性屈曲求解方法	153	8.4.1 问题描述	187
7.2.3 线性屈曲特况	153	8.4.2 详细操作步骤	188
7.3 线性屈曲分析 SOP	154	8.4.3 INP 文件解释	195
7.3.1 线性屈曲分析流程	155	8.5 本章小结	197
7.3.2 线性屈曲分析设置	155	第9章 多物理场分析	198
7.4 线性屈曲分析实例: Lee's frame	157	9.1 多物理场分析基础	198
7.4.1 问题描述	157	9.1.1 直接耦合 (Fully coupling)	198
7.4.2 创建部件	157	9.1.2 间接耦合 (Co-simulation)	200
7.4.3 创建属性	158	9.1.3 顺序耦合 (Sequential coupling)	202
7.4.4 创建装配	159	9.2 多物理场分析 SOP	202
7.4.5 创建 Buckle 分析步	159	9.2.1 多物理场分析流程	202
7.4.6 创建几何集 Set	160	9.2.2 多物理场分析设置	202
7.4.7 创建载荷和边界条件	161	9.3 热-电直接耦合稳态分析实例	204
7.4.8 划分网格	161	9.3.1 问题描述	204
7.4.9 创建作业	163	9.3.2 导入几何部件	205
7.4.10 查看结果	163	9.3.3 网格划分	205
7.4.11 INP 解释	164	9.3.4 创建 Beam 单元	207
7.5 非线性屈曲分析基础	165	9.3.5 创建单元集	207
7.5.1 非线性屈曲理论	165	9.3.6 创建属性	208
7.5.2 非线性屈曲求解方法	165	9.3.7 创建装配	209
7.5.3 非线性屈曲特况	166	9.3.8 创建分析步	210
7.5.4 几何缺陷引入	167	9.3.9 创建边界和载荷	210
7.5.5 缺陷敏感性	168	9.3.10 创建并提交作业	214
7.6 非线性屈曲分析 SOP	168	9.3.11 查看结果	214
7.6.1 非线性屈曲分析流程	169	9.3.12 讨论	215
7.6.2 非线性屈曲分析设置	169	9.3.13 INP 文件解释	215
7.7 非线性屈曲分析实例: Lee's frame	170	9.4 热-电直接耦合瞬态分析实例	216
7.7.1 另存模型	170	9.4.1 另存模型	216
7.7.2 替换 Step	170	9.4.2 增添材料参数	216
7.7.3 场、历史变量输出	171	9.4.3 修改分析步为瞬态	216
7.7.4 创建作业	172	9.4.4 修改边界 Amplitude	217
7.7.5 查看结果	173	9.4.5 重命名并提交作业	218
7.7.6 INP 解释	175	9.4.6 查看结果	218
7.8 综合实例: 初始缺陷的加强筋板	175	9.4.7 INP 文件解释	219
7.8.1 问题描述	175	9.5 流-固热间接耦合瞬态分析实例	219
7.8.2 完善几何的线性屈曲分析	176	9.5.1 问题描述	219
7.8.3 缺陷几何的非线性屈曲分析	179	9.5.2 创建热传 (Heat Transfer) 模型	220
7.8.4 缺陷敏感性分析	181	9.5.3 创建热传分析步	221
7.9 本章小结	181	9.5.4 创建流-固协同边界 (固场)	222
第8章 线性动力学分析	182	9.5.5 创建载荷、预定义场	222
8.1 动力学分析介绍	182	9.5.6 创建 CFD 模型	224
8.1.1 系统运动方程	182	9.5.7 导入部件	224
8.1.2 阻尼	183	9.5.8 创建属性	224
		9.5.9 创建装配实例	224

9.5.10	创建分析步	225	11.1.3	显式动力学分析的稳定性	283
9.5.11	创建流-固协同边界(流场)	225	11.1.4	准静态分析的显式求解方法	284
9.5.12	创建载荷、边界、初始条件	226	11.2	非线性动力学分析 SOP	285
9.5.13	网格划分	227	11.2.1	基本操作步骤	285
9.5.14	协同求解 Co-execution	228	11.2.2	显式动力学分析步的设置	286
9.5.15	查看结果	229	11.3	显式动力学分析实例	289
9.5.16	INP 文件解释	230	11.3.1	问题描述	289
9.5.17	讨论	230	11.3.2	详细操作步骤	289
9.6	本章小结	230	11.3.3	INP 文件解释	294
第 10 章	多步顺序(耦合)分析	232	11.4	准静态分析实例	296
10.1	多步顺序(耦合)分析基础	232	11.4.1	问题描述	296
10.1.1	场变量定义	232	11.4.2	详细操作步骤	296
10.1.2	初始状态导入	236	11.4.3	INP 文件解释	304
10.1.3	重新启动技术	237	11.5	本章小结	307
10.2	多步顺序(耦合)分析 SOP	238	第 12 章	优化设计和敏感性分析	308
10.3	电子件电-热-力顺序耦合实例	238	12.1	优化设计基础	308
10.3.1	问题描述	239	12.1.1	结构优化概述	308
10.3.2	第 1 阶段:电传导温升分析	239	12.1.2	拓扑优化	308
10.3.3	第 2 阶段:热膨胀分析建模	247	12.1.3	形状优化	309
10.3.4	第 1 阶段温度导入第 2 阶段	249	12.1.4	优化术语	310
10.3.5	第 2 阶段热膨胀分析结果	250	12.2	优化设计 SOP	311
10.3.6	INP 文件解释	250	12.2.1	优化设计 SOP	311
10.4	多步冲压成型及回弹分析实例	252	12.2.2	设计响应设置	312
10.4.1	问题描述	252	12.2.3	目标函数设置	315
10.4.2	第 8 次回弹结果	253	12.2.4	约束设置	315
10.4.3	第 9 次折弯分析	253	12.2.5	几何限制	315
10.4.4	第 9 次回弹分析	258	12.3	拓扑优化实例	317
10.5	多步冲压成型→结构顺序分析实例	263	12.3.1	C 形夹的拓扑优化	317
10.5.1	考虑加工硬化的结构分析	263	12.3.2	汽车摆臂的拓扑优化	322
10.5.2	不考虑加工硬化的结构分析	265	12.4	形状优化实例	326
10.6	模流 Moldflow →结构联合分析基础	266	12.4.1	问题描述	326
10.6.1	Abaqus Interface for Moldflow (AIM)	266	12.4.2	初始设计分析	327
10.6.2	Autodesk Moldflow Structural Alliance (AMSA)	267	12.4.3	优化设置	328
10.7	模流 Moldflow →结构联合分析实例	268	12.4.4	优化结果	330
10.7.1	AIM 方法翘曲分析	268	12.5	敏感性分析(DSA)基础	332
10.7.2	AMSA 映射分析	271	12.5.1	Abaqus 的 DSA	332
10.8	模流 Moldex3D →结构联合分析基础	274	12.5.2	激活 Abaqus DSA	332
10.8.1	Moldex3D-FEA 基础	274	12.5.3	DSA 设计参数	333
10.8.2	模流结构联合分析 SOP	275	12.5.4	DSA 响应	334
10.9	模流 Moldex3D →结构联合分析实例	276	12.5.5	DSA 设计参数梯度	334
10.9.1	问题描述	276	12.5.6	DSA 公式	335
10.9.2	模流分析	277	12.5.7	后处理	335
10.9.3	导出接口文件	277	12.6	敏感性分析 SOP	335
10.9.4	结构分析	278	12.6.1	关键字 SOP	335
10.10	本章小结	280	12.6.2	形状变量 SOP	336
第 11 章	非线性动力学分析	281	12.7	敏感性分析实例	337
11.1	非线性动力学分析介绍	281	12.7.1	参数变化对卡扣的敏感性	337
11.1.1	隐式与显式动力学分析对比	281	12.7.2	形状变量对卡扣的敏感性	342
11.1.2	显式动力学分析理论基础	282	12.8	本章小结	347
			参考文献	348	

CAE分析大系

ABAQUS 工程实例 详解

© 江丙云 孔祥宏 罗元元 编著

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

CAE分析大系: ABAQUS工程实例详解 / 江丙云, 孔祥宏, 罗元元编著. — 北京: 人民邮电出版社, 2014.9
ISBN 978-7-115-35916-2

I. ①C… II. ①江… ②孔… ③罗… III. ①建筑工程—有限元分析—应用软件 IV. ①TU-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第124605号

内 容 提 要

本书基于全新的机电工程实际案例,以基本理论、分析思路、标准操作流程(SOP)和结果判读等为主线,将多年工程分析经验与Abaqus最新版完美结合,给出机电工程分析的最佳路线图。

书中详细介绍了Abaqus的网格划分、静力分析、接触分析、屈曲分析、动力学分析以及多步顺序分析等,并结合Abaqus最新功能,特别讲解热-电耦合分析、流-固耦合分析、冲压-结构联合分析、模流-结构联合分析以及优化设计和敏感性分析等。各类分析的讲解,均精心设计了标准操作流程(SOP),并不时给出提醒注意事项,便于读者脱离教程,举一反三地应用。

本书始终坚持“软件是工具,工程需分析”的理念,心怀“摒弃‘看守员’,成就分析大师”的培训目标,并依托统一的微信服务平台(iCAX)等,形成可交流的生态系统教程。随书DVD光盘包含全部案例源文件和有声讲解视频。

本书主要面向具有一定基础的Abaqus用户,可作为机械、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。

-
- ◆ 编 著 江丙云 孔祥宏 罗元元
责任编辑 杨 璐
责任印制 程彦红
 - ◆ 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>
北京天宇星印刷厂印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 21.75 插页: 1
字数: 780千字 2014年9月第1版
印数: 1-3000册 2014年9月北京第1次印刷
-

定价: 59.80元(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: 京崇工商广字第0021号

随着全球电子工业的飞速发展和竞争，电子产品的设计愈来愈精细、复杂和快速，要求电子产品在性能指标大幅提高的同时，还要日趋小型化。对于电子产品的机电设计，传统技术经验积累已俨然难以满足，必须利用更先进的工程分析方法，对产品机电性能系统性的研究，有理有据落实产品设计、结构优化以及工艺实现等，才能够快速从容应对市场需求。

有限元技术目前已经取得极大发展，成为一种非常成熟的解决结构力学问题的手段。在工程分析的有限元软件（CAE）中，Abaqus是国际知名的有限元分析软件，在世界范围内具有广泛的知名度和用户群，其分析结果具有极高的可信性和说服力，其解决问题的范围从相对简单的线性分析到诸多复杂的非线性问题，不论是你想深入了解一个复杂产品的细节行为并进行设计更新，还是理解新材料的力学行为，模拟工艺制造过程等，Abaqus均能提供最全面的灵活解决方案。

认识江丙云先生已有一段时间，江先生是位相当认真、严谨的人，在交流中得知他编写Abaqus工程分析书，我想他一定能写好，并期待着书稿尽快面世。春节前夕收到全书书稿，认真翻阅后，更加确定本书值得推荐，其完全基于工程实际案例，从理论基础、分析思路、操作方法、结果判读讨论等方面详细阐述，特色非常鲜明。

作者基于扎实的理论基础，结合多年电子公司经验，展现出惊人的工程实践应用，本书依据最新版Abaqus6.13，通过算例详细讲解了Abaqus/CAE、Abaqus/Standard、Abaqus/Explicit、Abaqus/CFD、Abaqus/ATOM等模块的应用，其中对Abaqus/CFD和Abaqus/ATOM等内容的介绍第一次出现在相关书籍中。本书的算例皆来自于工程实际，不是分析流程的简单讲解，而是实际问题的解决方法详细分析，所涵盖的内容丰富、算例典型、针对性强、讲解清晰、结构严谨、理论结合实践。通过本书的学习，读者可以很快掌握软件操作技巧并能独立解决实际工程问题。

本书几位编者具有在世界500强顶级机电企业多年的CAE应用经验，各自发挥所长，基于深厚的理论和丰富的实践经验，将机电产品的弹塑性、屈曲、多物理场，以及冲压、注塑等分析汇编于此书，必然会对机电研究方面的学生、工程师起到极大的指导帮助，同时对其他行业CAE分析人员也具有很高的参考价值。

高绍武 博士

达索SIMULIA高级技术经理

2014年春于上海汇亚大厦

Preface

序二

非常欣喜看到由江丙云等编写的这本机械电子工程分析案例书，本书完全基于工程实际案例，对机电专业研究生、工程师而言是一本具有操作性、参考性的高质量书籍。

众所周知，当前电子产品不仅具有体积小、高集成度的技术特点，更具有更新换代快、开发周期短的时间要求。循环进行“修改→完善”的传统设计方法难以满足现代设计要求，先进的有限元分析方法就成为有效支持产品设计的工具。在众多有限元软件中，Abaqus作为国际知名的有限元分析软件，其分析精准性早已得到反复验证，广泛的用户群就是不言而喻的有力证明。

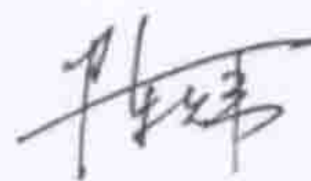
工欲善其事必先利其器，虽然对有限元分析方法，科研人员已基本建立共识，但应用到工程实际，还需很长时间。一方面是因为国内工程师接触有限元时间晚，另一方面是缺少相应工程实例作参考，摸索前行存在困难。

目前市面上已有书籍，更多着眼于软件的操作，无法解决实际工程应用问题，而本书刚好弥补了理论知识应用于工程实际的不足。本书作者所创标准操作流程（SOP），将Abaqus操作流程与工程分析经验完美结合起来，给出机电分析的最佳路线图。

本书基于全新SOP，针对工程实例，详细讲解其分析目标、建模求解、结果检查以及进一步优化分析等，案例涉及流—固耦合、模流—结构联合、冲压—结构联合和敏感性分析等知识。

江丙云是我所指导的研究生中，聪慧并刻苦钻研的学生之一。读研期间，扎实的理论基础结合电子企业的实践，就已做出值得肯定的科研成果，论文和专利无不与工程实际紧密结合；毕业之后，先后工作于两大世界500强电子企业，专职从事工程分析（CAE），具有丰富的有限元分析经验和突出的工程应用能力。

几位编者均来自知名高校和电子企业，充分发挥各自的专业所长，将丰富的科研和实践经验，融入到机电产品的设计、分析和优化中。本书能够对从事CAE技术研究和机电产品工作的读者提供有益帮助。



2014年3月于江苏大学

Abaqus毋庸置疑早已被认为是功能最强的通用有限元软件，没有“之一”。

本书作者都在机电行业工作多年，经历过充满期待与煎熬的漫漫编著之路。正值我（江丙云）和罗元元实感10个月内难以完成工程浩大的编写任务之际，非常荣幸孔祥宏博士施以援手，科研经历丰富的孔博士在百忙之中挤出大量宝贵时间，认真负责地完成了本书部分章节的编著。

本书，充满惊喜、充满期待、充满能量。

▣ 本书特色

目前市场上的Abaqus相关书籍大多偏重于软件操作，较少结合工程实际，难以解决实际工程问题。本书基于全新的机电工程实际案例，以基本理论、分析思路、标准操作流程（SOP）、结果判读等为主线，将多年工程分析经验与最新版Abaqus完美结合，给出机电工程分析的最佳路线图。

- 本书由世界500强企业专职CAE分析人员和高校科研人员编写，全部案例均来源于机电行业工程实际，完全杜绝“抄袭”已有Abaqus相关书籍、帮助文件。
- 坚持“软件是工具，工程需分析”的理念，心怀“摒弃‘计算机看守员’，成就分析大师”的培训目标。
- 删除空洞理论，详解必知必会核心内容，将理论与最新版Abaqus 6.13中的相应设置结合起来，用以快速指导设计，杜绝盲目分析浪费人力资源。
- 独创SOP流程图，以使操作流程化，使读者脱离教程也能有条不紊地自己完成分析。
- 基于Abaqus/CAE全新界面，依据独创SOP流程图，结合行文注意点的时时提醒，可高效快速地完成实例练习操作，同时摒弃关键字手工编写，避免人为错误的发生。
- 聚焦分析结果的判读与讨论，弥补实际分析误差。针对复杂分析，获得精确分析结果难度很大，但可通过横向对比同系列产品加以佐证等，以期读者明白Abaqus是工具，工具虽重要，分析思想更重要。
- 全文基于如下主线进行案例详解：工程目的→简化模型→分析手法→操作流程→分析结果→结果讨论/理论实测比对→寻找敏感因子→改进设计或分析手法。
- 详解Abaqus新功能及其联合：热-电-力直接耦合分析、流-固间接耦合分析、多步顺序分析、冲压-结构联合分析、模流-结构联合分析、优化设计和敏感性分析等。
- 提供全部模型文档，每个实际案例均有视频讲解，读者边看书边看视频，自学起来高效轻松；同步依托微博、QQ群和论坛等，形成可沟通交流的生态系统教程。

▣ 读者对象

本书主要面向具有一定基础的Abaqus用户，可作为机械、电子、力学等相关专业的高年级本科生Abaqus入门教材、研究生学术工具书、教师教学培训参考书，特别适合于从事机电产品设计的工程分析师等使用。

▣ 主要内容

本书主要分为两部分：第一部分为Abaqus和机电工程分析的基础知识，由第1~3章组成；第二部分为Abaqus工程案例详解，由第4~12章组成。每章均包括理论基础、SOP、案例详解、结果判读讨论、INP文件解释和视频讲解等。

第1章 工程分析价值和Abaqus能力。阐述了工程分析（CAE）在机电产品中所起到的价值作用、分析流程，以及Abaqus的发展历程、使用环境及其能力等；以流程图的形式介绍了全书章节布局和理论基础。

第2章 Abaqus快速入门。介绍了Abaqus通用SOP及其模型数据库的组织关系；阐述了Abaqus/CAE的主要功能模块，并提供相应的模板定制说明；提供电子连接器端子变形分析实例，初步演练Abaqus的基本建模流程及其后处理。

第3章 网格划分。介绍了网格划分基本技术、独立实体和非独立实体的网格划分、单元类型、虚拟拓扑、网格编辑及导入有限元模型等，并详解相应实例。

第4章 线性静力分析。定制了线性静力分析的详细操作流程，并通过对二维和三维的工程实例给出线性静力分析详解，介绍了多种常用Abaqus前后处理技术。

第5章 非线性静力分析。介绍了Abaqus进行非线性分析所涉及的内容：几何非线性、边界非线性和材料非线性等，并定制分析SOP；以气罐受压、钣金成型和超弹性橡胶密封等为例给出操作详解。

第6章 接触分析。介绍接触的离散方式、约束施加方式以及追踪方式，同时，定制了接触分析SOP；以开关端子的接触分析为例，详细讲解了接触属性、接触定义、如何诊断接触不收敛等，以及采用接触控制、软接触、阻尼接触等方式改善接触分析等。

第7章 线性和非线性屈曲分析。介绍了屈曲分析的基本概念及其分类、屈曲分析基础理论和应用场合等，并分别定制了线性和非线性屈曲分析的SOP；以Lee's Frame框架为例，详细讲解了Abaqus的线性、非线性屈曲分析；以加强筋板为例，特别讲解了带有初始几何缺陷的非线性屈曲分析。

第8章 线性动力学分析。对动力学基本理论、动力学求解方法、阻尼类型及应用等做了简单介绍，并介绍了Abaqus提供的动力学分析方法；以空间桁架结构为例，详细介绍了线性动力学分析的方法、步骤。

第9章 多物理场分析。介绍了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，特别定制了Abaqus多物理场分析的操作流程图，并遵循此流程，逐步详解工程实例；以导通电路的焦耳生热为例进行瞬态及稳态直接热-电耦合求解；以电路散热为例进行空气-热固间接耦合。

第10章 多步顺序（耦合）分析。讲解了其他书籍所未涉及的多步顺序（耦合）分析。总结了顺序（耦合）方法：场定义及映射、初始状态、重启动分析等，并制定了SOP，同时详举实例。此外，还特别讲解了考虑制造和装配等影响的结构分析，其中以Moldflow和Modex3D注射分析为例，演示了将模流结果传送到结构分析中。

第11章 非线性动力学分析。介绍了显式非线性动力学的基本理论，Abaqus/Explicit 在碰撞和钣金成型中的应用。采用两个典型的冲压、跌落实例介绍了显式非线性动力学分析、准静态分析的详细操作流程。

第12章 优化设计和敏感性分析。前半部分主要讲解了Abaqus的结构优化设计概念基础及其应用场合，并详解拓扑优化2例和形状优化1例；后半部分主要讲解了敏感性分析的概念及其使用方法，并详解敏感性分析2例。

编写分工

本书第1、2、5、7、9、10、12章由江丙云编著，第3、4、8、11章由孔祥宏编著，第6章由罗元元编著。全书由江丙云统稿。此外，清华大学博士杜显赫，上海靖凯模塑科技有限公司李礼、赵勇，泰科电子李伟国，富士康科技陶明川、姚伟，哈尔滨工业大学曹鹏博士以及达索公司彭军等参与了部分章节的编写。在此特别感谢。

统一技术支持

读者在学习过程中遇到困难，可以通过我们的立体化服务平台（微信公众服务号：iCAX）联系，我们会尽量帮助读者解答问题。此外，在这个平台上我们还会分享更多的相关资源。微信扫描下面二维码就可以查看相关内容。

微信公众服务号：iCAX

读者如果无法通过微信访问，也可以给我们发邮件：iCAX@dozan.cn。

致谢

衷心感谢高绍武博士、梁琳站长、陈炜教授、李大永教授、陈启明副理、蒋宏湘经理和殷黎明技术总工等的悉心指导。同时感谢成都道然科技有限责任公司编辑的邀请及Simwe论坛各位网友的鼎力相助。特别感谢编者家人和公司同仁一贯的支持。谨以此书献给所有关心、关怀、关爱我们的人！

虽然编者已对本书仔细检查多遍，力求无误，但由于时间仓促、水平有限，书中欠妥之处在所难免，还请读者及时指正，共同促进本书下一版本的提高。



江丙云

2014年3月于上海

第 1 章 工程分析价值和 Abaqus 能力	11	2.7 创建相互作用 (Interaction)	38
1.1 机械电子产品概述	11	2.8 创建载荷 (Load)	39
1.1.1 机电产品组件	11	2.9 创建网格 (Mesh) 和优化 (Optimization)	40
1.1.2 机电组件制造工艺	12	2.10 创建作业 (Job)	40
1.2 工程分析 (CAE) 价值和能力	13	2.11 查看可视化后处理 (Visualization)	41
1.2.1 工程分析价值	13	2.12 定制模板	41
1.2.2 工程分析能力	13	2.12.1 定制显示模板	41
1.3 工程分析软件 Abaqus 概述	14	2.12.2 定制模型模板	43
1.3.1 Abaqus 概述	14	2.13 端子变形实例详解	44
1.3.2 Abaqus 分析模块	14	2.13.1 问题描述	44
1.4 Abaqus 使用环境	17	2.13.2 创建部件 (Part)	44
1.4.1 Abaqus 主窗口	17	2.13.3 创建属性	46
1.4.2 Abaqus/CAE 功能模块	20	2.13.4 创建装配 (Assembly)	47
1.4.3 Abaqus 文件类型	21	2.13.5 创建分析步 (Step)	47
1.5 Abaqus 帮助指南	22	2.13.6 创建网格 (Mesh)	48
1.5.1 帮助指南使用	23	2.13.7 创建节点集	48
1.5.2 帮助指南内容	23	2.13.8 创建场 / 历史输出	48
1.6 Abaqus 新版功能	25	2.13.9 创建载荷 (Load)	49
1.6.1 Abaqus 6.12 新功能	25	2.13.10 创建作业 (Job)	50
1.6.2 Abaqus 6.13 新功能	26	2.13.11 查看结果 (Visualization)	51
1.7 本书章节布局	26	2.13.12 输入文件 (INP) 解释	53
1.8 本章小结	27	2.13.13 运行脚本	55
第 2 章 Abaqus 快速入门	28	2.14 本章小结	55
2.1 Abaqus 通用标准操作流程	28	第 3 章 网格划分	56
2.2 Abaqus/CAE 模型数据组织	28	3.1 网格划分简介	56
2.3 创建部件 (Part)	29	3.2 独立实体和非独立实体	57
2.3.1 Abaqus/CAE 创建几何模型	29	3.3 定义网格密度	58
2.3.2 导入第三方 CAD 几何模型	30	3.3.1 定义全局单元尺寸	58
2.3.3 使用脚本语言创建几何模型	31	3.3.2 定义局部单元尺寸	58
2.3.4 创建 / 导入网格部件	31	3.4 设置网格控制	60
2.4 创建属性 (Property)	31	3.4.1 选择单元形状	60
2.4.1 材料 (Material) 属性	32	3.4.2 选择网格划分技术	61
2.4.2 截面 (Section) 属性	33	3.4.3 设置网格划分算法	63
2.4.3 剖面 (Profile) 属性	33	3.5 划分网格及检查网格质量	65
2.5 创建装配 (Assembly)	34	3.5.1 形状指标 (Shape Metrics)	65
2.6 创建分析步 (Step)	35	3.5.2 尺寸指标 (Size Metrics)	66
2.6.1 创建分析步	35	3.5.3 分析检查 (Analysis Checks)	67
2.6.2 设定输出要求	36	3.6 选择单元类型	67
2.6.3 设定自适应网格	37	3.7 单元类型简介	68
2.6.4 设定求解控制	38	3.7.1 单元的表征	68

3.7.2	常用单元类型简介	69	5.5.5	创建 Surface 集	108
3.8	网格划分及编辑实例	72	5.5.6	创建接触	110
3.8.1	壳部件的网格划分	72	5.5.7	创建分析步和输出需求	111
3.8.2	实体部件的网格划分	74	5.5.8	创建边界条件	112
3.8.3	自底向上网格划分技术	75	5.5.9	创建作业并提交	113
3.8.4	虚拟拓扑与网格编辑	76	5.5.10	查看结果	113
3.8.5	从网格创建几何	78	5.5.11	INP 文件解释	114
3.8.6	复制网格模式	79	5.6	超弹性密封圈分析实例	115
3.9	从 ODB、INP 文件导入有限元模型	80	5.6.1	问题描述	115
3.9.1	从 ODB 文件导入	80	5.6.2	另存模型	116
3.9.2	从 INP 文件导入模型	81	5.6.3	创建超弹性材料属性	116
3.10	本章小结	81	5.6.4	创建装配	118
5.6.5	创建分析步	118	5.6.5	创建接触	119
5.6.6	创建接触	119	5.6.7	定义边界	120
5.6.7	定义边界	120	5.6.8	设置单元类型	121
5.6.8	设置单元类型	121	5.6.9	创建作业	121
5.6.9	创建作业	121	5.6.10	查看结果	121
5.6.10	查看结果	121	5.6.11	INP 文件解释	122
5.6.11	INP 文件解释	122	5.7	本章小结	122
第 4 章	线性静力分析	82	第 6 章	接触分析	123
4.1	结构静力分析简介	82	6.1	接触概述	123
4.1.1	线性与非线性简介	82	6.1.1	接触分类	123
4.1.2	线性静力分析基础	83	6.1.2	适用范围	123
4.2	线性静力分析 SOP	83	6.2	接触形成	124
4.3	线性静力分析三维实例	84	6.2.1	接触的离散方法 (Discretization Method)	124
4.3.1	问题描述	84	6.2.2	接触的约束施加方式 (Constraint Enforcement Method)	126
4.3.2	详细操作步骤	84	6.2.3	接触的追踪方式 (Tracking Method)	127
4.3.3	INP 文件解释	88	6.3	接触定义 SOP	128
4.4	线性静力分析二维实例	90	6.4	接触属性	128
4.4.1	问题描述	90	6.4.1	接触压力 - 过盈模型 (Pressure-Overclosure Models)	129
4.4.2	详细操作步骤	90	6.4.2	摩擦模型 (Frictional Models)	131
4.4.3	INP 文件解释	93	6.4.3	阻尼接触模型 (Contact damping Models)	132
4.5	本章小结	94	6.5	接触的收敛与诊断	133
第 5 章	非线性静力分析	95	6.6	开关端子接触分析实例	134
5.1	非线性分析基础	95	6.6.1	问题描述	134
5.1.1	几何非线性	95	6.6.2	另存模型 (Part)	135
5.1.2	边界非线性	96	6.6.3	创建属性 (Property)	135
5.1.3	材料非线性	96	6.6.4	创建分析步 (Step)	136
5.2	非线性静力分析的求解	97	6.6.5	创建接触 (Interaction)	137
5.2.1	Abaqus/Standard 的平衡迭代	97	6.6.6	边界定义 (Boundary)	139
5.2.2	Abaqus/Standard 的增量控制	98	6.6.7	输出定义 (Output)	141
5.3	非线性静力分析 SOP	99	6.6.8	创建作业并提交运算	142
5.3.1	非线性静力分析流程	99	6.6.9	查看结果	142
5.3.2	非线性静力分析设置	99	6.6.10	接触诊断	143
5.4	线性和非线性对比实例	102	6.6.11	接触改善: 引入软接触	144
5.4.1	另存模型	102	6.6.12	接触改善: 引入阻尼	146
5.4.2	引入材料塑性	102	6.6.13	INP 文件解释	149
5.4.3	引入几何非线性	102			
5.4.4	作业提交及监控	103			
5.4.5	非线性分析结果对比	103			
5.4.6	作业诊断	104			
5.4.7	INP 文件解释	104			
5.5	钣金冲压成形分析实例	105			
5.5.1	问题描述	105			
5.5.2	另存模型	106			
5.5.3	定义属性	106			
5.5.4	创建装配实例	108			

6.7 本章小结	150	8.1.3 求解方法	183
第7章 线性和非线性屈曲分析	151	8.1.4 分析类型	184
7.1 屈曲分析介绍	151	8.2 线性动力学分析介绍	185
7.1.1 屈曲分析分类	151	8.2.1 模态分析	185
7.1.2 屈曲分析方法	151	8.2.2 瞬时模态动态分析	186
7.2 线性屈曲分析基础	152	8.3 线性动力学分析 SOP	187
7.2.1 线性屈曲理论	152	8.4 线性动力学分析实例	187
7.2.2 线性屈曲求解方法	153	8.4.1 问题描述	187
7.2.3 线性屈曲特况	153	8.4.2 详细操作步骤	188
7.3 线性屈曲分析 SOP	154	8.4.3 INP 文件解释	195
7.3.1 线性屈曲分析流程	155	8.5 本章小结	197
7.3.2 线性屈曲分析设置	155	第9章 多物理场分析	198
7.4 线性屈曲分析实例: Lee's frame	157	9.1 多物理场分析基础	198
7.4.1 问题描述	157	9.1.1 直接耦合 (Fully coupling)	198
7.4.2 创建部件	157	9.1.2 间接耦合 (Co-simulation)	200
7.4.3 创建属性	158	9.1.3 顺序耦合 (Sequential coupling)	202
7.4.4 创建装配	159	9.2 多物理场分析 SOP	202
7.4.5 创建 Buckle 分析步	159	9.2.1 多物理场分析流程	202
7.4.6 创建几何集 Set	160	9.2.2 多物理场分析设置	202
7.4.7 创建载荷和边界条件	161	9.3 热-电直接耦合稳态分析实例	204
7.4.8 划分网格	161	9.3.1 问题描述	204
7.4.9 创建作业	163	9.3.2 导入几何部件	205
7.4.10 查看结果	163	9.3.3 网格划分	205
7.4.11 INP 解释	164	9.3.4 创建 Beam 单元	207
7.5 非线性屈曲分析基础	165	9.3.5 创建单元集	207
7.5.1 非线性屈曲理论	165	9.3.6 创建属性	208
7.5.2 非线性屈曲求解方法	165	9.3.7 创建装配	209
7.5.3 非线性屈曲特况	166	9.3.8 创建分析步	210
7.5.4 几何缺陷引入	167	9.3.9 创建边界和载荷	210
7.5.5 缺陷敏感性	168	9.3.10 创建并提交作业	214
7.6 非线性屈曲分析 SOP	168	9.3.11 查看结果	214
7.6.1 非线性屈曲分析流程	169	9.3.12 讨论	215
7.6.2 非线性屈曲分析设置	169	9.3.13 INP 文件解释	215
7.7 非线性屈曲分析实例: Lee's frame	170	9.4 热-电直接耦合瞬态分析实例	216
7.7.1 另存模型	170	9.4.1 另存模型	216
7.7.2 替换 Step	170	9.4.2 增添材料参数	216
7.7.3 场、历史变量输出	171	9.4.3 修改分析步为瞬态	216
7.7.4 创建作业	172	9.4.4 修改边界 Amplitude	217
7.7.5 查看结果	173	9.4.5 重命名并提交作业	218
7.7.6 INP 解释	175	9.4.6 查看结果	218
7.8 综合实例: 初始缺陷的加强筋板	175	9.4.7 INP 文件解释	219
7.8.1 问题描述	175	9.5 流-固热间接耦合瞬态分析实例	219
7.8.2 完善几何的线性屈曲分析	176	9.5.1 问题描述	219
7.8.3 缺陷几何的非线性屈曲分析	179	9.5.2 创建热传 (Heat Transfer) 模型	220
7.8.4 缺陷敏感性分析	181	9.5.3 创建热传分析步	221
7.9 本章小结	181	9.5.4 创建流-固协同边界 (固场)	222
第8章 线性动力学分析	182	9.5.5 创建载荷、预定义场	222
8.1 动力学分析介绍	182	9.5.6 创建 CFD 模型	224
8.1.1 系统运动方程	182	9.5.7 导入部件	224
8.1.2 阻尼	183	9.5.8 创建属性	224
		9.5.9 创建装配实例	224