

实体建模/后处理

线性静力分析

接触分析

弹塑性分析

热应力分析

多体分析

动态分析

复杂工程分析实例

常见错误信息/警告信息

ABAQUS

有限元分析 实例详解

石亦平 周玉蓉 著

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



ABAQUS 有限元分析实例详解

石亦平 周玉蓉 著



机械工业出版社

本书通过对 ABAQUS 有限元实例的详细剖析,介绍了 ABAQUS 在线性静力分析、接触分析、弹塑性分析、热应力分析、多体分析、频率提取分析、瞬时模态动态分析、显式动态分析等领域的分析方法,以及复杂实体建模、分析计算和后处理的技巧。

本书内容从实际应用出发,侧重于 ABAQUS 的实际操作和工程问题的解决,教会读者如何根据问题的特点来选择 ABAQUS 的相应功能,寻求解决问题的最佳方案。书中还着重讨论了用户常犯的错误和经常碰到的疑难问题,以及 ABAQUS 的常见错误信息和警告信息,并给出了相应的解决方法。

本书主要面向 ABAQUS 的初级和中级用户,同时也在实际工程分析方面为 ABAQUS 高级用户提供了有用的参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

ABAQUS 有限元分析实例详解/石亦平 周玉蓉著. —北京:机械工业出版社, 2006. 6

ISBN 7-111-19002-5

I. A... II. ①石... ②周... III. 有限元—应用程序, ABAQUS
IV. 0242. 21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 037598 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 孔 劲 责任编辑: 张亚秋 版式设计: 冉晓华

责任校对: 陈延翔 封面设计: 陈 沛 责任印制: 洪汉军

北京汇林印务有限公司印刷

2006 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 25. 75 印张 · 638 千字

0001—5000 册

定价: 48. 00 元 (含 1CD)

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

编辑热线电话 (010) 68351729

封面无防伪标均为盗版

序 言 1

由于计算机硬件和数值仿真的快速发展，使我们能够瞬抚四海和纵揽古今，研究虚拟工程与科学的问题。非线性力学问题（材料、几何和接触）是力学发展的前沿课题，非线性有限元是计算力学的重要组成部分，而有限元计算软件的作用正是我们到达工程科学彼岸的工具和桥梁。

ABAQUS 是国际上最先进的大型通用有限元计算分析软件之一，具有强健的计算功能和广泛的模拟性能，拥有大量不同种类的单元模型、材料模型和分析过程等。无论是分析简单的线弹性问题，还是包括几种不同材料、承受复杂的机械和热载荷过程，以及变化的接触条件的非线性组合问题；无论是分析静态和准静态问题，还是稳态和动态问题；无论是隐式求解，还是显式求解，应用 ABAQUS 计算分析都会得到令人满意的结果。

石亦平博士是位勤奋聪慧的学者。水木清华的学习生活，其导师曾攀教授的言传身教，留学欧洲的工作经历，国际舞台上的拼搏进取，使其日渐有功，茁壮成长。

本书内容展示了作者在 ABAQUS 应用和开发接口程序方面的耕耘成果，汇集了发展理论模型和应用工程实践的宝贵经验，必然会使读者受益。我相信通过本书的出版必将推动 ABAQUS 软件在中国的推广和应用，有助于发展我国的工程科学事业。

庄茁 教授
2006 年 1 月于清华园

序 言 2

ABAQUS 软件是国际上公认的最好的 CAE 大型通用分析软件之一，以精于复杂问题的求解和非线性分析见长，其非线性力学分析的功能达到世界领先水平。ABAQUS 的功能强大，但同时对使用者在建模技巧方面也有较高的要求，目前 ABAQUS 在国内具有日益增长的广大用户群，而相关的学习书籍还不够丰富，该书恰好能够弥补这一不足。书中系统介绍了作者在工程实践中积累的 ABAQUS 使用经验，实用性很强，作者精心选择的很多工程实例，可以使 ABAQUS 软件操作人员很快掌握该软件的使用方法。全书结构严谨，理论与实践有机结合，具有很强的逻辑性和系统性。全书涉及线弹性分析、接触分析、弹塑性分析、热应力分析、多体分析、频率提取分析、瞬时模态动态分析、显式动态分析等众多领域，既考虑到初学者的需求，又对已具有一定水平的读者在复杂建模方面提供引导，是 ABAQUS 读者最值得研读和参考的图书。

石亦平是我所指导的第一位博士生，在清华大学读博期间，他勤奋好学，品学兼优，专攻有限元的高精度方法，在有限元分析原理的研究方面已颇有建树。博士毕业之后他又远涉重洋，在德国进一步深造和从事科学研究工作，精于非线性有限元分析和复杂工程问题的求解，既有扎实的理论基础，又积累了丰富的第一线经验，特别在 ABAQUS 软件的应用和建模方面独具特点。该书是石亦平博士和周玉蓉女士两位作者宝贵经验的总结，相信该书一定会使读者从中受益。

曾攀 教授

2006 年 3 月于清华大学

前 言

ABAQUS 是国际上最先进的大型通用有限元软件之一，它可以分析复杂的工程力学问题，其驾驭庞大求解规模的能力，以及非线性力学分析功能均达到世界领先水平。ABAQUS 在欧洲、北美和亚洲许多国家得到广泛应用，其用户遍及机械、化工、冶金、土木、水利、材料、航空、船舶、汽车、电器等各个工程和科研领域。近年来，ABAQUS 在我国的用户也正在迅速增长，每年的 ABAQUS 中国用户年会均有上百名用户参加。

广大 ABAQUS 用户，尤其是初学者都面临一个普遍问题，即如何在短时间内理解和掌握 ABAQUS 丰富的分析功能和操作方法。因此，一本系统的 ABAQUS 使用指南是每个 ABAQUS 用户的必备参考书。

读者对象

本书主要面向 ABAQUS 初级和中级用户，同时也为 ABAQUS 高级用户提供了有用的参考。

- 初级用户：可以通过对本书前四章的学习，掌握 ABAQUS 实体建模、分析计算和后续处理的基本方法。
- 中级用户：可以从第 5 章至第 11 章中学习各种不同类型问题的分析方法。
- 高级用户：可以通过对书中工程实例的学习，进一步提高实际工程分析的能力。

本书可作为理工院校师生学习 ABAQUS 的教材，也可作为机械制造、汽车、交通、航空航天、土木工程、石油化工、轻工、造船、水利等领域的工程技术人员和科研工作者使用 ABAQUS 的参考书。

本书特色

- 内容从实际应用出发，侧重于 ABAQUS 的实际操作和工程问题的解决。读者不需要具备很深的理论知识，即可轻松迅速地掌握 ABAQUS 的建模和分析方法。
- 理论和实践相结合，每章中用适当篇幅来概括介绍此类问题的主要分析方法，然后配合以具有工程背景的典型实例，使读者能够亲手操作。
- 内容编排上注意难易结合，每章首先给出一个简单实例，使读者一目了然地了解到此类问题的特点和分析方法，然后再给出一个或多个较复杂的实例，帮助读者掌握相关的高级技巧。
- 在介绍线性静力分析、接触分析、弹塑性分析和热应力分析时，都使用了相同的带孔方板实例，使读者很容易地了解不同分析类型之间的区别和联系。
- 详细讲解了每个工程实例的操作步骤，读者可以很轻松地按照书中提示，一步步地完成软件操作。
- 对工程实例不是简单地列出 ABAQUS 的操作过程，而是首先教会读者如何根据问题

的特点来选择 ABAQUS 的相应功能, 寻求解决问题的最佳方案。对于存在多种不同解法的问题, 比较了不同方法的优缺点。

- 用醒目的提示着重指出了读者容易出现的错误操作。
- 详细论述了读者经常碰到的疑难问题, 例如第 5.2.8 节和第 6.1.3 节集中讨论了出现收敛问题的原因, 并给出了多种解决办法。第 11 章介绍了 ABAQUS 的常见错误信息和警告信息, 以及相应的处理方法。
- 给出了每个实例的 INP 文件 (input file), 并对其中的重要部分给出了注释。
- 在附录中列出了本书实例所用到的单元类型、关键词 (keyword) 和 ABAQUS/CAE 功能, 并附上全书内容的中英文索引, 方便读者查询。

主要内容

本书内容基于 ABAQUS 6.5 版本, 但其绝大部分内容同样适用于 ABAQUS 的其他版本。例如, 模型树 (model tree) 是 ABAQUS 6.5 以上版本才有的, 因此书中的实例操作大多没有使用模型树, 而是通过菜单和工具栏按钮来完成, 以方便 ABAQUS 6.4 以下版本的用户。本书共分 11 章:

- 第 1 章: ABAQUS 的分析功能、主要模块和帮助文档。
 - 第 2 章: 简单的平面应力分析实例, ABAQUS/CAE 的操作界面和各个模块的功能, 划分网格和选择单元类型的方法。
 - 第 3 章: 支架的线性静力分析实例, ABAQUS/CAE 复杂实体建模、划分网格和后处理的方法。
 - 第 4 章: INP 文件、STA 文件、MSG 文件和 DAT 文件的使用方法, ABAQUS 的运行环境设置。
 - 第 5 章: 接触分析的主要方法, 收敛问题的解决办法, 带孔方板的接触分析实例, 过盈装配过程模拟实例。
 - 第 6 章: 弹塑性分析的基本方法, 带孔方板的弹塑性分析实例, 圆柱形试样压缩试验过程模拟实例, 弯曲成形过程模拟实例, 子模型分析实例。
 - 第 7 章: 热应力分析的基本问题, 带孔方板的热应力分析实例, 使用热应力来模拟法兰盘感应淬火后的残余应力。
 - 第 8 章: 多体分析的基本方法, 圆盘转动分析实例 (刚体模型、过约束、连接单元边界条件、弹性行为、柔体模型), 抓斗机构分析实例。
 - 第 9 章: 动态分析的基本方法, 圆盘的频率提取分析实例、瞬时模态动态分析实例和显式动态分析实例。
 - 第 10 章: 复杂工程实例——带预紧力螺钉的接触分析, 带轮和轴承外圈在不同温度下的公差配合分析。
 - 第 11 章: DAT 文件、MSG 文件、LOG 文件和 ABAQUS/CAE 中的错误信息和警告信息, 及其相应的解决方法。
- 随书光盘中给出了每个实例的 ABAQUS/CAE 模型文件 (.cae)、输入数据文件 (.inp) 和分析结果文件 (.odb、.dat、.msg 等), 供读者参考。

☆ 重要提示：请不要直接打开光盘上的 CAE 模型文件 (.cae)，否则可能会出现异常错误。应该先将 CAE 模型文件复制至硬盘，去掉其只读属性，再在 ABAQUS/CAE 中打开。

致谢

衷心感谢清华大学曾攀教授和庄茁教授，两位先生对本书的写作给予了很大的鼓励、帮助与指导，并在百忙中为本书作序。曾攀教授在有限元分析方面的教诲为笔者打下了坚实的理论基础。可以这样说：没有曾教授的悉心教诲与栽培，便没有拙作的成书。清华大学高级有限元中心的庄茁教授系 ABAQUS 方面的权威，学术造诣深厚，研究成果丰厚。笔者有幸得到庄教授亲笔签名的赠书，读后受益匪浅。庄先生在非线性有限元分析方面的大作，使笔者深受启迪，使拙作得以顺利完稿。

另外，德国 Stuttgart 大学蒋昱为本书提出了宝贵的修改意见，河北大学石呈祥和屈玉芳，以及清华大学高懿和赵焱都为本书的创作提供了大力协助，在此表示深深的谢意。编写此书参阅了很多文献和 ABAQUS 帮助文件（详见书末“参考文献”），特向各位作者致谢。

对于 ABAQUS 有限元分析这样一个庞大的主题，笔者深感无法在一本书中将其全部论述清楚。本书只想尽力把 ABAQUS 的一些基本分析方法和最常用的功能展现给读者。限于个人水平，书中一定会有许多缺点和错误，恳请专家和广大读者批评指正，并欢迎通过电子邮件（epin@gmx.de）与笔者进行交流。

石亦平 周玉蓉
2006 年 1 月于德国

目 录

序言 1

序言 2

前言

第 1 章 ABAQUS 简介	1
1.1 ABAQUS 总体介绍	2
1.2 ABAQUS 的主要分析功能	2
1.3 ABAQUS 的主要模块	3
1.4 ABAQUS 帮助文档	4
1.4.1 ABAQUS 帮助文档的内容	4
1.4.2 如何使用 ABAQUS 帮助文件	5
1.5 本章小结	7
第 2 章 ABAQUS 基本使用方法	9
2.1 ABAQUS 分析步骤	10
2.2 ABAQUS/CAE 简介	10
2.3 一个简单的实例：带孔平板的应力分析	13
2.3.1 问题的描述	13
2.3.2 启动 ABAQUS/CAE	14
2.3.3 创建部件	14
2.3.4 创建材料和截面属性	17
2.3.5 定义装配件	18
2.3.6 设置分析步	18
2.3.7 定义边界条件和载荷	19
2.3.8 划分网格	21
2.3.9 提交分析作业	22
2.3.10 后处理	23
2.3.11 退出 ABAQUS/CAE	25
2.4 ABAQUS/CAE 模型数据库的结构	26
2.5 ABAQUS/CAE 的功能模块	27
2.5.1 Part (部件) 功能模块	28
2.5.2 Property (特性) 功能模块	30
2.5.3 Assembly (装配) 功能模块	31
2.5.4 Step (分析步) 功能模块	31

2.5.5 Interaction (相互作用) 功能模块	35
2.5.6 Load (载荷) 功能模块	36
2.5.7 Mesh (网格) 功能模块	38
2.5.8 Job (分析作业) 功能模块	38
2.5.9 Sketch (绘图) 功能模块	40
2.5.10 Visualization (后处理) 功能模块	41
2.6 划分网格的基本方法	42
2.6.1 独立实体和非独立实体	42
2.6.2 网格种子 (seed)	43
2.6.3 单元形状	44
2.6.4 网格划分技术	45
2.6.5 划分网格的算法	47
2.6.6 划分网格失败时的解决办法	50
2.6.7 检查网格质量	51
2.7 选择三维实体单元的类型	51
2.7.1 节点数目和插值阶数	52
2.7.2 连续体单元	52
2.7.3 线性完全积分 (linear full-integration) 单元	52
2.7.4 二次完全积分 (quadratic full-integration) 单元	53
2.7.5 线性减缩积分 (linear reduced-integration) 单元	54
2.7.6 二次减缩积分 (quadratic reduced-integration) 单元	55
2.7.7 非协调模式 (incompatible modes) 单元	55
2.7.8 Tri 单元和 Tet 单元	57
2.7.9 杂交 (hybrid) 单元	57
2.7.10 混合使用不同类型的单元	57
2.7.11 数值算例: 不同单元类型和网格的结果比较	58
2.7.12 选择三维实体单元类型的基本原则	60
2.8 选择壳单元的类型	61
2.9 选择梁单元的类型	62
2.10 本章小结	63
第3章 线性静力分析实例 (实体建模和后处理)	65
3.1 支架的线性静力分析实例: 建模和分析计算	66
3.1.1 问题的描述	66
3.1.2 创建二维平面图	68
3.1.3 创建部件	70
3.1.4 创建材料和截面属性	73
3.1.5 定义装配件	73
3.1.6 划分网格	73

3.1.7 设置分析步	78
3.1.8 定义耦合约束	79
3.1.9 定义载荷	81
3.1.10 定义边界条件	84
3.1.11 提交分析作业	86
3.2 后处理	86
3.3 改进支架的设计	93
3.3.1 修改部件	94
3.3.2 设置时间增量步	96
3.3.3 检查截面属性、面、集合、载荷、边界条件和约束	96
3.3.4 重新划分网格	96
3.3.5 分析计算和后处理	96
3.4 不同单元性能的比较	97
3.5 本章小结	98
第4章 ABAQUS 的主要文件类型	100
4.1 INP 文件简介	101
4.2 带孔方板实例的 INP 文件	103
4.3 支架实例的 INP 文件	111
4.4 修改和运行 INP 文件	115
4.4.1 使用文本编辑软件修改 INP 文件	115
4.4.2 使用 Edit Keywords 功能来修改 INP 文件	117
4.5 查看分析过程信息	117
4.5.1 STA 文件	118
4.5.2 MSG 文件	118
4.5.3 DAT 文件	120
4.6 设置 ABAQUS 的运行环境	122
4.7 本章小结	123
第5章 接触分析实例	125
5.1 实例1: 带孔方板的接触分析	126
5.1.1 问题的描述	127
5.1.2 创建部件	128
5.1.3 定义装配件	129
5.1.4 设置单元类型	129
5.1.5 设置分析步	129
5.1.6 定义接触	130
5.1.7 定义边界条件和载荷	131
5.1.8 提交分析作业	132

5.1.9 后处理	132
5.1.10 INP 文件	133
5.2 接触分析中的主要问题	135
5.2.1 ABAQUS/Standard 和 ABAQUS/Explicit 中的接触分析	136
5.2.2 定义接触对	136
5.2.3 有限滑移和小滑移	137
5.2.4 设定接触面之间的距离或过盈量	138
5.2.5 接触属性	140
5.2.6 将接触信息输出至 DAT 文件	140
5.2.7 迭代过程和 MSG 文件中的信息	141
5.2.8 解决接触分析中的收敛问题	145
5.3 实例 2: 过盈装配过程模拟	150
5.3.1 问题的描述	151
5.3.2 绘制二维平面图	152
5.3.3 创建部件	153
5.3.4 创建材料和截面属性	153
5.3.5 定义装配件	154
5.3.6 划分网格	154
5.3.7 设置分析步	154
5.3.8 定义接触	155
5.3.9 定义边界条件	157
5.3.10 提交分析作业	157
5.3.11 后处理	158
5.3.12 INP 文件	159
5.4 本章小结	163
第 6 章 弹塑性分析实例	165
6.1 弹塑性分析中的主要问题	166
6.1.1 弹塑性变形行为	166
6.1.2 ABAQUS 弹塑性分析的基本方法	168
6.1.3 解决弹塑性分析中的收敛问题	170
6.2 实例 1: 带孔平板的弹塑性分析	171
6.2.1 问题的描述	171
6.2.2 建模分析过程	172
6.2.3 INP 文件	173
6.3 实例 2: 单向压缩试验过程模拟	175
6.3.1 问题的描述	175
6.3.2 创建部件	176
6.3.3 创建材料和截面属性	177

6.3.4	定义装配件	177
6.3.5	划分网格	178
6.3.6	设置分析步	178
6.3.7	定义接触	179
6.3.8	定义边界条件	179
6.3.9	将压头参考点上的反作用力写入 DAT 文件	180
6.3.10	提交分析作业	180
6.3.11	后处理	180
6.3.12	INP 文件	181
6.4	实例 3: 弯曲成形过程模拟	184
6.4.1	问题的描述	184
6.4.2	创建部件	186
6.4.3	创建材料和截面属性	187
6.4.4	定义装配件	187
6.4.5	划分网格	188
6.4.6	设置分析步	189
6.4.7	定义接触	190
6.4.8	定义边界条件	190
6.4.9	提交分析作业	191
6.4.10	后处理	191
6.4.11	INP 文件	194
6.5	用子模型分析弯曲成形过程	198
6.5.1	子模型的基本知识	199
6.5.2	建立子模型 (不重新划分网格)	200
6.5.3	分析细化网格的子模型	203
6.5.4	INP 文件	204
6.6	本章小结	207
第 7 章	热应力分析实例	209
7.1	热应力分析中的主要问题	210
7.2	实例 1: 带孔平板的热应力分析	211
7.2.1	问题的描述	211
7.2.2	建模分析过程	212
7.2.3	INP 文件	213
7.3	实例 2: 法兰盘感应淬火的残余应力场模拟	214
7.3.1	问题的描述	215
7.3.2	创建部件	216
7.3.3	定义材料、截面属性和装配件	217
7.3.4	划分网格	217

7.3.5 设置分析步	219
7.3.6 定义集合和面	219
7.3.7 定义温度场	220
7.3.8 定义边界条件和载荷	220
7.3.9 提交分析作业	220
7.3.10 后处理	221
7.3.11 INP 文件	223
7.4 本章小结	225
第8章 多体分析实例	226
8.1 多体分析的主要方法	227
8.1.1 连接单元	228
8.1.2 连接属性	229
8.1.3 输出连接单元的分析结果	237
8.2 实例1: 圆盘的旋转过程模拟 (刚体模型)	238
8.2.1 问题的描述	238
8.2.2 模型文件	240
8.2.3 创建圆盘部件	240
8.2.4 定义截面属性和装配件	241
8.2.5 划分网格	241
8.2.6 定义参考点和基准坐标系	241
8.2.7 定义集合	242
8.2.8 定义刚体约束	242
8.2.9 定义连接属性和连接单元	243
8.2.10 设置分析步和历史变量输出	244
8.2.11 定义边界条件	244
8.2.12 提交分析作业	245
8.2.13 后处理	246
8.2.14 INP 文件	247
8.3 在多体分析中避免过约束	249
8.3.1 多体分析中的过约束	249
8.3.2 选择连接属性和边界条件	250
8.3.3 圆盘旋转模型中的过约束	250
8.4 连接单元边界条件和连接单元载荷	252
8.5 连接单元行为	253
8.6 圆盘的柔体模型	256
8.7 实例2: 抓斗机构的多体分析	258
8.7.1 问题的描述	258
8.7.2 建模要点	259

8.7.3	模型文件	263
8.7.4	创建支撑杆部件	263
8.7.5	定义支撑杆的截面属性	263
8.7.6	定义装配件	265
8.7.7	划分网格	265
8.7.8	定义基准坐标系和集合	265
8.7.9	定义显示体约束和刚体约束	266
8.7.10	定义连接属性和连接单元	267
8.7.11	设置分析步和历史变量输出	269
8.7.12	定义边界条件	270
8.7.13	提交分析作业	270
8.7.14	后处理（支撑杆受刚体约束，不施加载荷）	270
8.7.15	支撑杆的柔体模型	271
8.7.16	后处理（支撑杆为柔体，施加载荷）	271
8.7.17	INP 文件	272
8.8	本章小结	276
第9章	动态分析实例	279
9.1	动态分析的主要方法	280
9.1.1	振型叠加法	281
9.1.2	直接解法	282
9.1.3	比较 ABAQUS/Standard 和 ABAQUS/Explicit	282
9.2	实例1：圆盘的频率提取分析	283
9.2.1	问题的描述	283
9.2.2	模型文件	284
9.2.3	建模过程	285
9.2.4	后处理	285
9.2.5	INP 文件	287
9.3	实例2：圆盘的瞬时模态动态分析	289
9.3.1	问题的描述	289
9.3.2	定义瞬时模态动态分析步	290
9.3.3	定义载荷	292
9.3.4	提交分析和后处理	292
9.3.5	INP 文件	294
9.4	实例3：圆盘的显式动态分析	296
9.4.1	问题的描述	296
9.4.2	定义材料阻尼	297
9.4.3	定义显式动态分析步	297
9.4.4	选择 Explicit 单元库	297

9.4.5 重新定义载荷	297
9.4.6 提交分析和后处理	298
9.4.7 INP 文件	299
9.5 本章小结	301
第 10 章 复杂工程分析综合实例	303
10.1 实例 1: 带预紧力螺钉的接触分析	304
10.1.1 问题的描述	304
10.1.2 创建部件	306
10.1.3 创建材料和截面属性	307
10.1.4 定义装配件	308
10.1.5 修改节点坐标	310
10.1.6 为螺钉划分网格	311
10.1.7 定义接触和绑定约束 (tie)	313
10.1.8 定义分析步	315
10.1.9 施加载荷	316
10.1.10 定义边界条件	317
10.1.11 将接触力写入 DAT 文件	318
10.1.12 提交分析作业	319
10.1.13 后处理	319
10.1.14 INP 文件	320
10.1.15 通过定义过盈接触模拟螺钉的预紧力	324
10.1.16 接触分析中不同单元性能的比较	327
10.2 实例 2: 带轮和轴承在不同温度下的极限与配合分析	328
10.2.1 问题的描述	328
10.2.2 旋转周期结构的建模	329
10.2.3 创建部件	331
10.2.4 创建材料和截面属性	332
10.2.5 定义装配件	332
10.2.6 划分网格	332
10.2.7 定义分析步 (输出重启动分析数据)	334
10.2.8 定义各个面和接触关系	334
10.2.9 定义温度场	336
10.2.10 定义边界条件	337
10.2.11 生成 INP 文件	337
10.2.12 修改 INP 文件来定义旋转周期对称	337
10.2.13 提交分析作业	338
10.2.14 后处理	338
10.2.15 INP 文件	338

10.2.16 重启动分析: 140℃时的接触状况	341
10.3 本章小结	343
第 11 章 常见错误信息和警告信息	345
11.1 DAT 文件中的错误信息和警告信息	346
11.1.1 未注明实体名称 (Unknown Assembly ID)	346
11.1.2 文件中有空行	347
11.1.3 关键词前没有星号	348
11.1.4 关键词拼写错误 (Ambiguous Keyword Definition)	348
11.1.5 关键词的参数错误 (Unknown Parameter)	348
11.1.6 关键词的数据错误	349
11.1.7 标点符号错误	350
11.1.8 关键词位置错误 (Keyword Is Misplaced)	350
11.1.9 没有为单元赋予截面属性 (Lack Property Definition)	351
11.1.10 过约束 (Overconstraint Checks)	351
11.1.11 材料塑性数据不符合格式要求	352
11.1.12 重启动分析数据错误	353
11.1.13 磁盘空间不足	353
11.1.14 环境参数 pre_memory 设置得太小	353
11.2 MSG 文件中的错误信息和警告信息	354
11.2.1 数值奇异 (Numerical Singularity)	354
11.2.2 零主元 (Zero Pivot) 和过约束 (Overconstraint Checks)	354
11.2.3 负特征值 (Negative Eigenvalue)	355
11.2.4 局部塑性变形过大	355
11.2.5 接触的过盈量太大	355
11.2.6 过多次迭代尝试 (Too Many Attempts)	356
11.2.7 时间增量步达到下限	356
11.2.8 环境参数 standard_memory 设置得太小	356
11.2.9 环境参数 standard_memory 设置得过大	357
11.3 LOG 文件中的错误信息	357
11.3.1 环境参数 pre_memory 设置得过大	357
11.3.2 用户子程序 (user subroutine) 出现错误	358
11.3.3 ABAQUS 本身的缺陷 (bug)	358
11.4 ABAQUS/CAE 中的错误信息和警告信息	359
11.4.1 不支持 INP 文件中的关键词	359
11.4.2 不能为非独立实体设置网格参数	360
11.5 本章小结	361