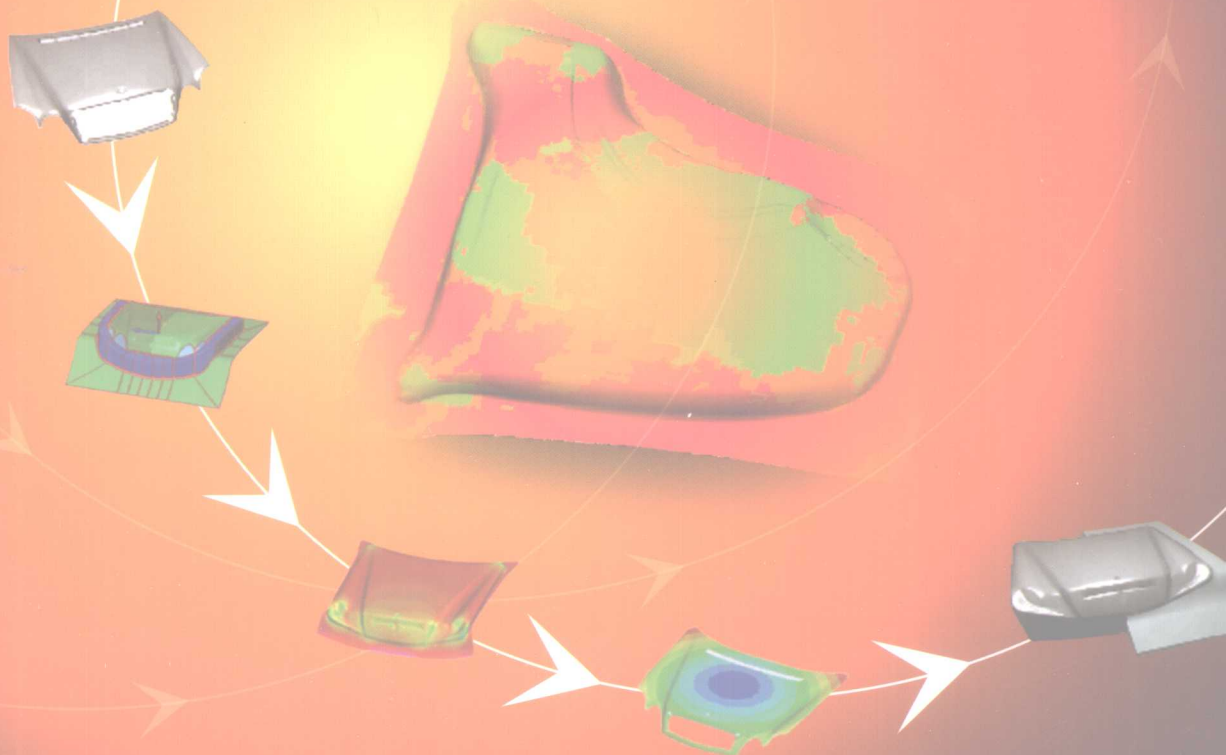


高等院校通用教材



金属板料成形

有限元模拟基础

主 编 李泂杲
副主编 王书恒
徐 岩

——PAMSTAMP2G (Autostamp)



北京航空航天大学出版社

TG39
13

高等院校通用教材

金属板料成形有限元模拟基础 ——PAMSTAMP2G (Autostamp)

主 编 李泂杲

副主编 王书恒 徐 岩

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

随着有限元技术和计算机技术日益成熟,金属板料成形过程的有限元模拟已经成为评估板材成形性能和模具工艺设计方案优劣的有效工具。伴随着我国汽车和航空宇航制造业的快速发展,在对形状复杂的钣金件需求日趋旺盛的同时,其对产品的品质要求也越来越高,因此对板料成形有限元模拟分析的需求也日趋迫切。基于这一目的,作者与法国 ESI 公司合作编写了本书,作为金属板成形模拟的基本教材。

本书以专业板成形有限元计算软件 PAMSTAMP2G(2007)为平台,基于其显式求解器 Autostamp,较详细介绍了整个板成形分析的基本步骤。全书从网格划分到有限元计算一共准备了 19 个例子,通过这些例子,读者可以很快地掌握板料有限元模拟的基本技能和高级技能。

本书除可作为高等工科院校材料、汽车、模具以及飞行器制造等相关专业的本专科教材以外,也可供从事钣金件、汽车覆盖件工艺设计和模具制造等工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属板料成形有限元模拟基础——PAMSTAMP2G (Autostamp)/

李泂杲主编. —北京:北京航空航天大学出版社,2008. 10

ISBN 978-7-81124-443-4

I. 金… II. 李… III. 金属板—成型—有限元法 IV. TG39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 154597 号

© 2008,北京航空航天大学出版社,版权所有。

未经本书出版者书面许可,任何单位和个人不得以任何形式或手段复制本书内容。

侵权必究。

金属板料成形有限元模拟基础

——PAMSTAMP2G (Autostamp)

主 编 李泂杲

副主编 王书恒 徐 岩

责任编辑 史海文 杨 波

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100191) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail:bhpress@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:27.5 字数:616 千字

2008 年 10 月第 1 版 2008 年 10 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-81124-443-4 定价:46.00 元

前言

有限元法(FEM)是当前工程技术科学中应用最为广泛的数值方法之一,对工程问题的解决方案具有良好的通用性和适应性。随着计算机技术的不断发展和工程技术人员自身素质的不断提高,其在工程技术应用领域正在受到越来越多的重视。

金属板料成形在国家工业生产中占据着十分重要的地位。从航空航天领域到普通百姓家中的日常生活用品,对金属钣金件都有着极其旺盛的需求。然而,金属板料成形过程却是一个非常复杂的弹塑性形变过程。在成形过程中,板料一般都具有大位移、大转动和大变形的特点。对于那些复杂的板型零件,如汽车覆盖件,其在变形的过程中,材料的塑性流动更为复杂。随着市场竞争的日趋激烈,产品的制造越来越复杂,且更新的频率也越来越快。这使得工艺设计人员很难在仅仅依靠其多年的经验累积情况下设计出很好的制造方案,而低水平的设计方案将直接影响到后续的模具机构设计、制造和调试,甚至还有可能最终导致模具报废,对产品的生产成本和公司的发展造成不可估量的损失。

为了有效解决这个问题,近几十年来,金属板料成形的有限元模拟分析技术一直是国际数值研究领域的一个研究热点。经过二十多年的发展,该技术终于逐步地走向了成熟,并开始了其商用化和工业化发展。国际很多知名的汽车公司,如美国通用、福特,德国的大众、奔驰,日本的丰田等,都将其作为模具开发的必须环节,引入到实际的工业生产中。随着我国航空航天和汽车工业的蓬勃发展,对于这方面的需求也日趋迫切。

现在的有限元方面的书籍大部分都侧重于理论和方法的讨论,板料成形有限元模拟成形方面的书籍更是如此,而面向工程技术人员的、入门门槛较低的实用性书籍很少。因此,基于目前的这种状况,作者编写了本书。

本书力图在有限元的一些基本概念和实际应用这两方面寻求一个平衡点,能够使得阅读本书的读者,在具有初步有限元基本背景的情况下尽快地掌握金属板料有限元模拟分析技术。本书所使用的分析平台为法国 ESI 公司出品的专业金属板料成形的有限元模拟分析软件——PAMSTAMP2G(2007 版)。限于篇幅的原因,本书无法对 PAMSTAMP2G 的所有功能面面俱到;本书仅围绕其核心显式求解器 AUTOSTAMP 展开相关介绍和讨论;其他部分,如 QUICKSTAMP 将在后续出版的相关书籍中予以介绍。本书主要包含以下 4 部分:

第一部分为 金属板成形基础理论,主要讲解与金属板成形相关的有限元和力学基础理论,从第 1 章到第 3 章,共 3 章。第 1 章概述了整个有限元以及板料有限元模拟的发展历程;第 2 章讲解了与板成形相关的有限元知识,如计算求解、单元技术、接触和网格自适应优化等;



第3章则介绍了板成形分析中常用到的一些基本理论,包括常用的塑性力学概念、材料模型以及FLD成形极限。

该部分属于理论章节,包含了后续章节的几乎所有理论细节。用户在后续学习的过程中,可返回该部分查找相关的内容。对于想快速入门的读者,可以跳过该部分内容,直接进入第二部分开始学习。

第二部分为 金属板成形有限元模拟入门,主要是针对新用户,使其能够在不依靠第一部分的情况下,快速地掌握金属板成形有限元模拟的基本流程,从第4章到第6章,共3章。第4章介绍专业板成形模拟软件PAMSTAMP2G,以使用户对将要操作的环境有个全面的认识;第5章对PAMSTAMP2G做了基本的讲解,包括软件的基本结构、功能、基本操作方法以及软件的操作结构和常用的文件格式;第6章讲解了典型金属板料冲压成形模拟过程,通过该过程的详细讲解,使用户掌握金属板冲压成形模拟的基本分析流程及其解决方案。

本部分属于基础章节,希望读者在仔细学完本部分内容后,再继续下面的学习,这样才能做到真正掌握。

第三部分为 金属板成形有限元模拟进阶,主要是针对有一定板成形分析基础的高级用户,讲解金属板成形有限元分析过程中所有可能涉及的操作细节,从第7章到第12章,共6章。第7章完整详细地介绍了占据有限元前处理时间最长的网格划分,包括了网格划分的步骤、生成网格的质量评估以及一些PAMSTAMP2G提供的常用网格生成工具,并在此基础上,提供了一个范例供读者参考。第8章介绍了PAMSTAMP2G使用的核心概念——对象和属性,并通过3个示例,详细介绍了对象和属性的基本使用方法。第9章讲解冲压成形模拟回弹补偿解决方案,用户可以通过该章来掌握基于回弹计算的自动模面补偿方法,实现模具的快速修正。第10章介绍钣金件展开反求,用户可以基于该章来掌握钣金展开的基本方法。第11章则是对快速模面构建模块进行了一般性讲解,为模具工艺师提供了快速生成模面并进行评估的有效解决方案。第12章讲解第6章用到的成形过程快速设定宏的构建方法。

第四部分为 特种金属板成形有限元模拟示例,讲解了航空宇航制造业最典型的几种金属板成形工艺,从第13章到第19章,共7章,如橡皮囊成形、蒙皮拉伸、型材拉弯、超塑性成形、热成形、管弯成形及液压成形等。

对于文中的结构,为了方便读者阅读,采用了一些辅助图标进行说明:

- ◀ 表示解释性的说明。
- 表示内容分类。
- ↓ 表示操作步骤。
- ▶▶ 表示细分操作步骤或细分说明。
- 、↷ 表示细分操作步骤。

☺ 表示需要引起注意的内容。

作者在编写本书的过程中,参考了大量的相关手册和书籍,并结合了多年的工程经验。在本书的编写过程中,得到了法国 ESI 公司在中国的分公司(ESI 中国)的总经理张苏、于旭光,副总经理申敏及市场部经理焦立新的热心帮助和配合。此外,南京航空航天大学的王辉博士、陈研、包丽艳、崔政和唐于芳等硕士研究生参与了本书的资料收集整理和部分编写工作,在此表示深深的感谢!作者在此也对曾经支持帮助和关心本书出版的各位同行、参考文献作者、审稿者和出版者致以诚挚的谢意!

作 者
2008.7

目 录

第一部分 金属板成形基础理论

第 1 章 绪 论

1.1 有限元技术发展概述	3
1.1.1 有限元理论发展历史简述	3
1.1.2 有限元程序发展历史简述	4
1.2 板料成形 FEM 发展概述	6
1.3 主要板料成形模拟软件简介	9
1.4 板料成形数值模拟关键技术	11
1.5 板料成形数值模拟所能解决的主要问题	12
1.6 板料成形数值模拟的发展趋势	16
思考与练习	17

第 2 章 板料成形数值仿真有限元基础

2.1 有限元计算的要点和特点	18
2.2 有限元计算与板料成形模拟	19
2.2.1 显式有限元计算与隐式算法	20
2.2.2 显式与隐式算法的优势与缺点	21
2.2.3 显式算法在板料成形模拟方面的应用	23
2.2.4 隐式算法在板料成形模拟方面的应用	25
2.2.5 两种算法的比较	27
2.2.6 PAMSTAMP2G 求解器	27
2.3 板成形中壳单元基本概念	28
2.3.1 单元的 3 个基本概念: 自由度、阶数和积分	28
2.3.2 壳单元的厚向数值积分	29
2.3.3 缩减积分的壳单元与沙漏	29
2.3.4 板成形中壳单元类型	31
2.3.5 合适的壳单元形状	32



2.4 板成形模拟中的接触处理	33
2.4.1 板成形分析中的接触搜索方法	34
2.4.2 板成形分析中的接触力计算方法	36
2.4.3 罚函数接触算法	36
2.4.4 拉格朗日接触算法	37
2.4.5 非线性罚函数接触算法	38
2.4.6 自接触算法	39
2.4.7 PAMSTAMP2G 中接触算法与模具自由度的关系	40
2.4.8 摩擦系数	40
2.5 自适应网格优化	41
2.5.1 单元自适应优化概念	42
2.5.2 单元自适应优化在 PAMSTAMP2G 中的参数设定	43
2.6 拉延筋	44
2.6.1 真实拉延筋与虚拟拉延筋	44
2.6.2 虚拟拉延筋在 PAMSTAMP2G 中的设定	46
2.7 单位匹配	50
思考与练习	50

第3章 板料成形的力学基础

3.1 概 述	51
3.2 板料成形有限元仿真中常用到的塑性力学概念	51
3.2.1 基本塑性力学概念	51
3.2.2 厚向异性系数 r	53
3.2.3 应变强化指数 n 值	54
3.3 板料成形有限元仿真中用到的材料模型	55
3.3.1 屈服准则的基本概念	55
3.3.2 常用各向异性材料的屈服准则	56
3.3.3 材料的强化模型	57
3.3.4 材料应力应变关系	59
3.3.5 PAMSTAMP2G 中用到的材料模型	59
3.3.6 PAMSTAMP2G 中材料参数设定	60
3.4 板料的成形极限图	62
3.4.1 成形极限图的概念	62
3.4.2 成形极限理论方法和经验公式	63

3.4.3 PAMSTAMP2G 中的成形极限图	64
思考与练习	66

第二部分 金属板成形有限元模拟入门

第 4 章 金属板料成形模拟解决方案 PAMSTAMP2G

4.1 金属板料成形模拟软件 PAMSTAMP2G 的功能	69
4.2 金属板料成形模拟软件 PAMSTAMP2G 的作用	71
思考与练习	72

第 5 章 PAMSTAMP2G 环境及操作

5.1 概 述	73
5.2 PASMTAMP2G 界面基本结构	73
5.2.1 菜单栏	73
5.2.2 工具栏	75
5.2.3 控制工具框	75
5.3 对象的创建、修改与选择	77
5.3.1 对象的基本操作	78
5.3.2 对象中要素的选择	79
5.3.3 对象的修改	81
5.4 PAMSTAMP2G 操作结构	81
5.5 常用工具	84
5.5.1 曲线定义	84
5.5.2 方向定位向导	85
5.5.3 网格尺寸向导	86
5.6 PAMSTAMP2G 常用文件格式	87
思考与练习	88

第 6 章 典型金属板料成形过程模拟

6.1 概 述	89
6.2 金属板成形有限元分析的基本流程	89
6.3 PAMSTAMP2G 成形过程快速设定宏	91
6.3.1 成形过程快速设定宏简介	91
6.3.2 成形过程快速设定宏基本结构	92



6.3.3 基本操作流程	96
6.4 Example 1——双动板料冲压成形过程模拟	96
6.4.1 双动板料冲压成形过程模拟的学习目的	97
6.4.2 双动板料冲压成形过程模拟基本流程	97
6.4.3 方形盒几何模型的导入与网格生成过程	98
6.4.4 成形过程快速设定宏模板和对象确定	111
6.4.5 计算进程控制条与全局参数设置	113
6.4.6 压边进程参数设定	115
6.4.7 冲压进程快速设定	116
6.4.8 模具运动情况预览	119
6.4.9 求解器设定	119
6.4.10 提交计算	120
6.4.11 结果分析	122
6.4.12 完整双动冲压模拟过程简介	127
思考与练习	129

第三部分 金属板成形有限元模拟进阶

第7章 CAD模型导入与网格划分

7.1 CAD模型网格划分概述	133
7.2 CAD模型网格划分主要步骤	133
7.3 CAD模型导入	135
7.3.1 CAD曲面模型质量预检查	135
7.3.2 CAD通用格式转换	135
7.3.3 CAD模型导入及参数	137
7.4 CAD模型的拓扑连接	138
7.4.1 连接参数定义	138
7.4.2 拓扑连接检查	140
7.4.3 完整的拓扑连接过程	141
7.5 CAD模型网格划分	142
7.5.1 网格划分参数设定	142
7.5.2 网格划分的高级设定	145
7.5.3 网格结果检查	147
7.6 网格再生成	151

7.6.1 网格曲面检查	151
7.6.2 网格重划分准则	152
7.7 板料网格生成	152
7.7.1 板料网格生成模式	152
7.7.2 板料网格对象及大小定义	154
7.8 模面网格快速派生	155
7.8.1 模具偏置方案	156
7.8.2 偏置对象确定	157
7.8.3 偏置参数设定	157
7.8.4 使用流程	158
7.9 导向板与定位销网格生成	158
7.9.1 导向板与定位销	159
7.9.2 导向板与定位销创建流程及注意事项	160
7.10 网格手动操作	161
7.10.1 Translation	161
7.10.2 Rotation	161
7.10.3 Symmetry	161
7.10.4 Offset	162
7.10.5 Scaling	162
7.10.6 Autopositioning	162
7.10.7 Projection	162
7.10.8 Divide/split	162
7.10.9 Walls creation	163
7.10.10 Trimming	163
7.10.11 Extrusion	164
7.10.12 Delete	164
7.11 网格倒角	164
7.11.1 Constant 划分	165
7.11.2 Single 划分	165
7.11.3 Interpolated 划分	166
7.11.4 By propagation 划分	166
7.11.5 倒角划分定义显示选项	166
7.11.6 倒角网格划分设定	166
7.12 Example 2——汽车结构件几何模型的导入与网格生成	167



7.12.1 模型设定和分析流程	168
7.12.2 几何模型导入	168
7.12.3 底模网格区域划分	171
7.12.4 冲压方向设定	173
7.12.5 凸模与压边圈生成	173
7.12.6 板料生成	174
7.12.7 导向板生成	175
思考与练习	176

第8章 对象与属性

8.1 概 述	177
8.2 进 程	177
8.3 对象与属性	178
8.3.1 对象的优先级	179
8.3.2 对象的类型	179
8.3.3 对象的属性	180
8.4 对象属性简介	182
8.4.1 全局属性	182
8.4.2 具体进程属性	184
8.4.3 整体对象属性	191
8.5 Example 3——单向拉伸试验模拟分析	197
8.5.1 单向拉伸模拟目的	197
8.5.2 单向拉伸模拟基本流程	198
8.5.3 材料属性定义	198
8.5.4 创建新项目	200
8.5.5 导入几何模型	200
8.5.6 分析对象创建	201
8.5.7 成形过程对象及属性设定	203
8.5.8 提交计算	207
8.5.9 后处理分析	207
8.6 Example 4——汽车结构件冲压成形模拟分析	208
8.6.1 分析基本流程	209
8.6.2 已有项目打开与进程列表激活	209
8.6.3 设定全局进程对象及其全局属性	209

8.6.4 具体进程对象及其属性设定	210
8.6.5 计算提交	220
8.6.6 后处理分析	220
8.7 Example 5——冲压成形模拟中重力变形和回弹计算分析	225
8.7.1 Gravity 分析流程及设定	225
8.7.2 Springback 分析流程及设定	228
8.7.3 提交计算	230
8.7.4 回弹计算补充 1——修边线	231
8.7.5 回弹计算补充 2——重计算	233
思考与练习	233
第 9 章 PAMSTAMP2G 冲压成形模拟回弹补偿	
9.1 回弹补偿模块概述	235
9.2 PAMSTAMP2G 回弹补偿模块	236
9.2.1 基本参数设定模块	237
9.2.2 自动补偿计算迭代设定	238
9.2.3 位移锁定模块	238
9.2.4 冲压求解设定模块	238
9.2.5 求解器设定模块	239
9.2.6 其他设定模块	240
9.3 Example 6——汽车结构件冲压回弹补偿计算	240
9.3.1 基本分析流程	240
9.3.2 项目打开	240
9.3.3 回弹补偿参数设定	240
9.3.4 回弹补偿后处理	241
9.3.5 回弹补偿后的模具 Die 型面 CAD 输出	243
思考与练习	245
第 10 章 PAMSTAMP2G 钣金件展开反求	
10.1 钣金件展开概述	246
10.2 钣金展开反求基本原理简述	246
10.3 钣金展开学习目标	247
10.4 Example 7——基于快速设定宏的钣金展开	248
10.4.1 基于快速设定宏的钣金展开基本流程	248

10.4.2	钣金展开项目创建与 CAD 文件导入	248
10.4.3	钣金展开模拟局部坐标系对象创建	249
10.4.4	钣金展开快速向导宏设定	250
10.4.5	钣金展开求解器设定	253
10.4.6	计算提交	253
10.4.7	钣金展开结果分析	254
10.5	Example 8——基于对象属性的翻边展开	254
10.5.1	基于对象属性的翻边展开基本流程	254
10.5.2	翻边展开项目创建	255
10.5.3	CAD 文件导入	255
10.5.4	翻边过程对象与属性设定	256
10.5.5	翻边求解和结果分析	258
10.5.6	翻边后展开对象与属性设定	259
	思考与练习	261

第 11 章 模面快速设计 Diemaker

11.1	快速模面设计概述	262
11.2	Diemaker 基本操作模块与流程	263
11.3	Example 9——汽车覆盖件模面快速设计	265
11.3.1	导入 CAD 文件	265
11.3.2	模型预处理	267
11.3.3	压料面设计	278
11.3.4	工艺补充面设计	280
11.3.5	模面生成	293
	思考与练习	297

第 12 章 成形过程快速设定宏构建

12.1	宏设定工具箱简介	298
12.2	定义新的宏方法	298
12.3	宏创建工具箱构成	299
12.4	Example 10——创建一个标准的双动冲压过程宏	300
12.4.1	板料设定	300
12.4.2	宏信息栏定义	301
12.4.3	成形中涉及对象定义	301

12.4.4 重力进程创建	302
12.4.5 压边进程创建	304
12.4.6 冲压进程	308
12.4.7 修边回弹进程	310
12.4.8 宏模板保存	311
思考与练习	311

第四部分 特殊金属板成形有限元模拟示例

第 13 章 内高压橡皮囊成形

13.1 橡皮囊成形工艺介绍	315
13.2 橡皮囊成形过程有限元模型	316
13.2.1 橡皮囊成形工艺简化	316
13.2.2 橡皮囊成形分析流程	317
13.3 Example11 —— 基于快速宏设定的橡皮囊成形模拟	318
13.3.1 曲弯边件成形模拟基本流程	319
13.3.2 项目创建	319
13.3.3 几何导入	319
13.3.4 成形坐标系建立	321
13.3.5 模型定位	322
13.3.6 橡皮垫创建	322
13.3.7 工作台创建	324
13.3.8 橡皮垫边界条件对象创建	325
13.3.9 基于快速设定宏的工艺参数设置	325
13.3.10 基于属性的计算参数修正	328
13.3.11 求解器设定	329
13.3.12 提交计算	329
13.4 Example 12—— 基于对象属性设定的曲弯边件成形模拟	330
13.4.1 分析准备工作	330
13.4.2 基于对象属性的成形过程手动设置	330
13.4.3 计算提交及结果分析	336

第 14 章 蒙皮拉伸成形过程模拟

14.1 蒙皮拉伸工艺介绍	340
---------------	-----



14.2	蒙皮拉伸成形有限元模拟方案	341
14.3	Example 13——蒙皮拉伸成形模拟示例	341
14.3.1	模拟基本流程	341
14.3.2	网格模型导入	341
14.3.3	有限元对象构建	342
14.3.4	材料参数设定	343
14.3.5	蒙皮件装夹预弯	343
14.3.6	成形过程设定	344
14.3.7	回弹计算设定	346
14.3.8	计算提交与结果分析	346

第 15 章 型材拉弯成形过程模拟

15.1	型材拉弯工艺介绍	349
15.2	型材拉弯成形建模方案	350
15.3	Example 14——型材拉弯成形模拟示例	351
15.3.1	型材拉弯成形模拟基本流程	352
15.3.2	网格模型导入	352
15.3.3	有限元对象构建	352
15.3.4	材料参数设定	354
15.3.5	成形过程设定	354
15.3.6	计算提交与结果分析	357

第 16 章 热成形过程模拟

16.1	热成形过程工艺介绍	361
16.2	热成形模拟过程参数说明	362
16.2.1	热成形一般介绍	362
16.2.2	热成形重要参数	362
16.3	Example 15——热成形模拟实例	365
16.3.1	热成形模拟练习步骤	365
16.3.2	热成形模拟详细步骤	366
16.4	Example 16——热成形模拟示例	373
16.4.1	有限元模型建立	373
16.4.2	模拟结果分析	375

第 17 章 超塑性成形过程模拟

17.1 超塑性成形工艺介绍	378
17.1.1 超塑性成形理论背景	378
17.1.2 超塑性成形工艺及特点	379
17.1.3 工程中常用金属超塑性的定义	381
17.2 超塑性成形有限元模型简述	382
17.2.1 仿真模型建立	382
17.2.2 超塑性成形模拟步骤	383
17.3 Example 17——超塑性成形过程模拟示例	384
17.3.1 重力和压边阶段 CAD 模型导入	384
17.3.2 有限元对象构建	384
17.3.3 基于成形快速宏的重力和压边求解设置	386
17.3.4 对象属性检查和修改	388
17.3.5 求解计算	389
17.3.6 计算结果网格文件导出	389
17.3.7 超塑性成形阶段 CAD 模型导入	389
17.3.8 有限元对象创建	390
17.3.9 板料的超塑性材料成形属性定义	390
17.3.10 基于超塑性成形宏进行超塑成形求解设置	391
17.3.11 对象属性检查和修改	393
17.3.12 求解计算	393
17.3.13 分析计算结果	393

第 18 章 管弯曲成形过程模拟

18.1 管弯曲成形介绍	397
18.2 Example 18——管弯曲成形分析示例	398
18.2.1 示例简述	398
18.2.2 管弯曲分析的基本流程	398
18.2.3 管弯曲工程文件创建	399
18.2.4 管弯曲模面设计模块创建	399
18.2.5 管弯曲模面设计	399
18.2.6 管弯曲模拟的求解设置	402
18.2.7 计算提交与模拟结果分析	406