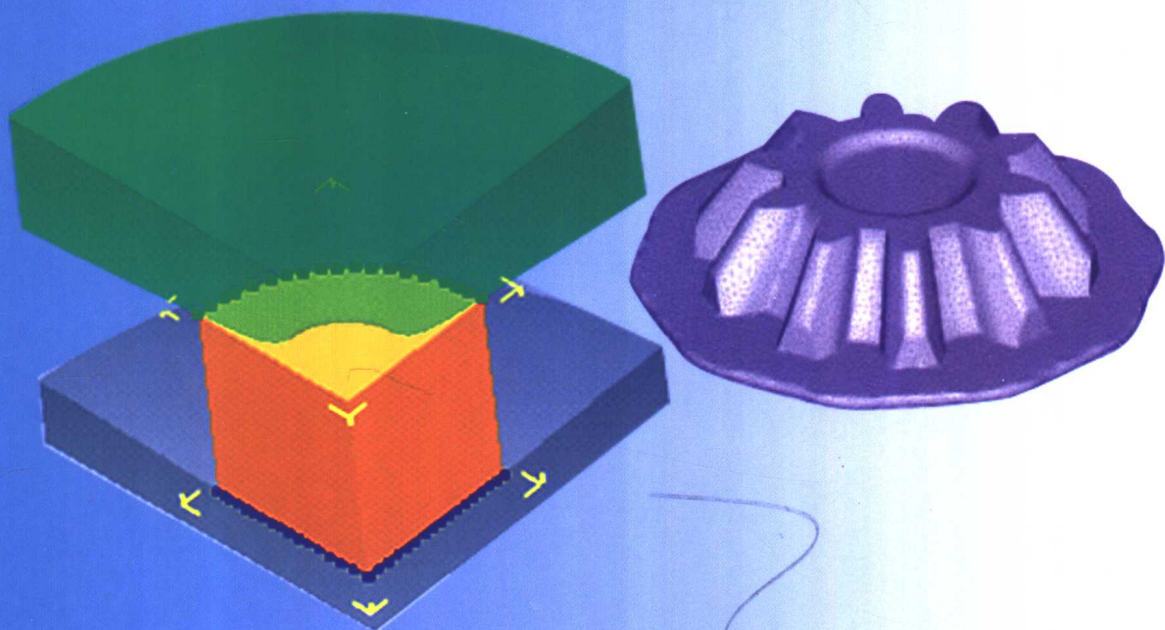


计算机辅助分析实例指导丛书



DEFORM 5.03

金属成形有限元分析 实例指导教程

三维书屋工作室

李传民 王向丽 闫华军 等编著



 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS

计算机辅助分析实例指导丛书

DEFORM5.03

金属成形有限元分析 实例指导教程

- ◆ **专业针对性强** 专门针对金属有限元分析应用人群编写，实例直接来源于DEFORM有限元分析工程开发应用实践。
- ◆ **内容全面具体** 详细讲解了金属原材料、成形、热处理和机加工过程的各种有限元分析问题。
- ◆ **理论与实践结合** 结合大量实例介绍了DEFORM有限元分析理论，理论与应用水乳交融。
- ◆ **光盘内容丰富** 包括全书所有实例的源文件和操作过程AVI动画文件。

责任编辑：曲彩云
封面设计：周春霞

ISBN 7-111-20575-8



9 787111 205753 >

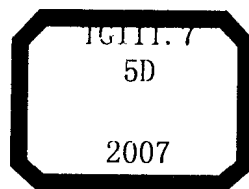
ISBN 7-111-20575-8

定价：38.00元

地址：北京市百万庄大街22号 邮政编码：100037 (含1CD)
联系电话：(010) 68326294 网址：<http://www.cmpbook.com>
E-mail: online@cmpbook.com

2007

计算机辅助分析实例指导丛书



DEFORM 5.03

金属成形有限元分析实例指导教程

三维书屋工作室

李传民 王向丽 闫华军 等编著

机械工业出版社

DEFORM-3D 是模拟 3D 材料流动的理想工具。它不仅鲁棒性好,而且易于使用。DEFORM[®]-3D 强大的模拟引擎能够分析金属成形过程中多个关联对象耦合作用的大变形和热特性。系统中集成了在任何必要时能够自行触发自动网格重划生成器,生成优化的网格系统。典型的 DEFORM-3D 应用包括锻造、挤压、镦头、轧制、自由锻、弯曲和其他成形加工手段。

本书主要分为两个部分:第一部分介绍了金属塑性成形的基本知识,主要包括:金属塑性成形方法,金属塑性成形力学,有限元理论等。第二部分通过实例,以循序渐进的方法,为读者介绍了 DEFORM-3D 软件的使用方法。实例中涵盖了成形模拟、热交换模拟、热力耦合模拟等,特别为读者奉献上的是初轧模拟,其工艺流程的设定是比较复杂的过程,读者可通过此例更好地理解 DEFORM-3D 的强大功能。本书中个别实例,笔者通过反复试验,总结了一些技巧,希望能给读者起到帮助作用。

本书可以作为材料相关专业大中专学生的自学辅导教材,也可以作为材料工程人员和模具设计、结构分析以及成形加工相关岗位的工程技术人员的手册。

图书在版编目(CIP)数据

DEFORM5.03 金属成形有限元分析实例指导教程/李传民等编著.

—北京:机械工业出版社,2006.12

ISBN 7-111-20575-8

I. D… II. 李… III. 金属—塑性变形—有限元分析—教材
IV. TG113.25

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 155726 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:曲彩云 责任印制:杨 曦

北京蓝海印刷有限公司印刷

2007 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·15 印张·370 千字

0001—5000 册

定价:38.00 元(含 1CD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 68351729

封面无防伪标均为盗版

前 言

在材料成形、热处理和机加工领域中,采用有限元方法开发和设计模具、刀具的产品已达 70%以上,有限元分析已成塑性加工中广泛使用的工具。20 世纪 70 年代后期位于美国加州伯克利的加利福尼亚大学小林研究室在美国军方的支持下开发出了有限元软件 ALPID,1990 年在此基础上开发出 DEFORMTM-2D 软件。该软件的开发者独立出来成立 SFTC 公司 (Scientific Forming Technologies Co.),并推出了 DEFORM-3D 软件,DEFORM-3D 是集成了原材料、成形、热处理和机加工的软件。

DEFORM-3D 是模拟 3D 材料流动的理想工具。它不仅鲁棒性好,而且易于使用。DEFORM-3D 强大的模拟引擎能够分析金属成形过程中多个关联对象耦合作用的大变形和热特性。系统中集成了在任何必要时能够自行触发自动网格重划生成器,生成优化的网格系统。在要求精度较高的区域,可以划分较细密的网格,从而降低题目的运算规模,并显著提高计算效率。典型的 DEFORM-3D 应用包括锻造、挤压、镦头、轧制、自由锻、弯曲和其他成形加工手段。

本书主要分为两个部分:第一部分介绍了金属塑性成形的基本知识,主要包括:金属塑性成形方法、金属塑性成形力学、有限元理论等。第二部分通过实例,以循序渐进的方法,为读者介绍了 DEFORM-3D 软件的使用方法,实例中涵盖了成形模拟,热交换模拟,热力耦合模拟等。

特别为读者奉献上的是初轧模拟,其工艺流程的设定是比较复杂的过程,读者可通过此例更好地理解 DEFORM-3D 的强大功能。本书中个别实例,笔者通过反复试验,总结了一些技巧,希望能给读者起到帮助作用。

本书还配有 1 张多媒体教学光盘,光盘包含本书要用到的数据文件、所有实例的 K 文件和数据库文件以及实例操作过程 AVI 动画等,这对读者学习 DEFORM 软件更加方便。

本书由三维书屋工作室总策划,李传民、王向丽、闫华军主要主编,参加编写的还有杨翠苹、邢希东、杜惠萍、周冰、董伟、李瑞、王敏、张俊生、阳平华、郑长松、王文平、孟清华、王兵学、王渊峰、袁涛、王佩楷、李广荣、路纯红、陈丽芹、李世强等。

在本书的编写过程中,北京理工大学胡仁喜博士给予了很大的帮助,并提出了许多宝贵的意见,在此表示诚挚的谢意。本书中的应用实例大多是从 SFTC 公司的帮助文件中提取出来的,编写人员根据本书的总体要求对其进行了修改,不妥之处,请文献作者包涵。在此,对本书所列参考文献的各位作者表示衷心的感谢。同时还要感谢机械工业出版社在本书出版过程中给予的支持。

由于作者的水平有限,加之时间仓促,书中纰漏在所难免,敬请读者联系 win760520@126.com 批评指正。

编 者

2007 年 1 月于北京

目 录

前言

第 1 章 DEFORM 简介.....	1
1.1 DEFORM 软件简介	1
1.1.1 DEFORM 的发展	2
1.1.2 DEFORM 的特点	2
1.1.3 DEFORM-3D 应用举例	3
1.2 DEFORM 软件的安装	3
1.3 DEFORM5.03 的主界面	6
1.4 DEFORM-3D 软件的模块结构	8
1.4.1 前处理器	9
1.4.2 求解器	10
1.4.3 后处理器	10
第 2 章 金属塑性成形理论基础.....	11
2.1 引言	11
2.2 自由锻	13
2.2.1 自由锻的特点	13
2.2.2 自由锻的分类	13
2.2.3 自由锻的工序	13
2.2.4 自由锻坯料尺寸的确定	15
2.2.5 自由锻的工艺问题	17
2.3 模锻	18
2.3.1 模锻的特点	18
2.3.2 模锻的分类	18
2.3.3 模锻工艺	18
2.3.4 模锻的工艺规程	21
2.3.5 模锻件的结构工艺性	25
2.4 板料冲压	27
2.4.1 板料冲压工艺的特点	27
2.4.2 板料冲压的原材料及应用	27
2.4.3 分离工序	27
2.4.4 弯曲 (Bending) 工序	31
2.4.5 拉深 (Drawing)	34
2.4.6 翻边	37
2.4.7 其他板料变形方法	37
2.5 挤压	38

2.6 拉拔	40
2.7 轧制	40
2.7.1 辊锻	41
2.7.2 横轧	41
2.7.3 斜轧	42
2.7.4 旋压	42
2.7.5 楔横轧	43
第3章 金属塑性变形力学基础	45
3.1 金属塑性变形的实质	45
3.1.1 塑性变形的基本形式	46
3.1.2 塑性变形对组织和性能的影响	47
3.1.3 变形金属在加热过程中组织和性能的变化	48
3.2 金属的塑性与变形抗力	49
3.2.1 塑性及塑性指标	49
3.2.2 影响金属塑性和变形抗力的主要因素	51
3.3 应力分析与应变分析	53
3.3.1 应力与点的应力状态	53
3.3.2 点的应力状态分析	56
3.3.3 应力张量的分解与几何表示	59
3.3.4 应力平衡微分方程	62
3.3.5 应变与位移关系方程	63
3.3.6 点的应变状态	66
3.3.7 应变增量	68
3.3.8 应变速度张量	69
3.3.9 主应变图与变形程度表示	70
第4章 金属塑性变形有限元与变分法原理	71
4.1 有限变形的应变度量和应力度量	71
4.2 静力平衡微分方程和应力边界条件	76
4.3 有限应变弹塑性有限元分析	78
4.3.1 应力应变矩阵	78
4.3.2 虚功率方程	81
4.4 刚粘塑性有限元法的基本原理	82
4.4.1 刚粘塑性材料流动的基本方程	82
4.4.2 虚功原理	84
4.4.3 变分原理	85
第5章 DEFORM™-3D 软件的图形接口	87
5.1 DEFORM 软件操作流程概述	87

5.2 STL 文件的生成	89
第 6 章 DEFORM5.03 功能介绍	91
6.1 文件视图功能操作	91
6.2 前处理功能操作	93
6.2.1 模拟控制窗口	94
6.2.2 材料窗口	97
6.2.3 定位窗口	100
6.2.4 对象间关系定义窗口	102
6.2.5 数据库产生窗口	104
6.3 后处理功能操作	105
6.3.1 物体树显示操作按钮功能介绍	106
6.3.2 模拟分析功能介绍	107
6.3.3 其他后处理操作按钮功能介绍	112
第 7 章 锻压模拟	113
7.1 锻压模拟前处理	114
7.1.1 创建新项目	114
7.1.2 设定模拟名称、类型	115
7.1.3 输入对象数据	115
7.1.4 输入模具	117
7.1.5 设置物体的温度	118
7.1.6 设置模具的运动	118
7.1.7 模拟控制设定	118
7.1.8 对象间关系设定	119
7.1.9 生成数据库文件	120
7.1.10 退出前处理	121
7.2 进行锻压模拟运算	121
7.3 锻压模拟后处理	122
7.3.1 步列的选择	122
7.3.2 状态变量的读取	123
7.3.3 工件上点追踪	123
7.3.4 对象上剖切面的选择	125
7.3.5 退出 DEFORM-3D	126
第 8 章 方环锻粗模拟	127
8.1 引言	127
8.2 创建新项目	128
8.3 创建新对象	128
8.4 设定对称边界条件	129

8.5 对象间关系的设定	130
8.6 模拟控制信息设定和生成数据库	131
8.7 方环锻粗后处理	132
第9章 道钉成形模拟	135
9.1 引言	135
9.2 工件与外界的热传导模拟	136
9.2.1 创建新项目	136
9.2.2 模拟控制设定	136
9.2.3 创建新对象	137
9.2.4 工件划分网格	137
9.2.5 定义工件的传热边界条件	139
9.2.6 输入工件的材料	140
9.2.7 保存模拟文件生成数据库进行模拟	140
9.2.8 后处理	140
9.3 工件与下模热传递模拟	141
9.3.1 前处理中打开数据库文件	142
9.3.2 模具网格划分及边界条件设定	142
9.3.3 输入模具的材料	144
9.3.4 工件的定位	145
9.3.5 对象间关系设定	145
9.3.6 模拟控制设定	146
9.3.7 保存项目文件、生成数据库进行模拟	147
9.3.8 后处理	148
9.4 第一锻造过程	149
9.4.1 前处理中打开模拟数据文件	149
9.4.2 模拟控制设定	149
9.4.3 上模定位	150
9.4.4 定义变形边界条件	150
9.4.5 定义上模的运动	151
9.4.6 再次定义对象间关系	151
9.4.7 保存文件, 生产数据库进行模拟	152
9.4.8 后处理	152
9.5 第二锻造过程	154
9.5.1 前处理中打开模拟数据文件	154
9.5.2 更换上模	154
9.5.3 定义新上模的边界条件	155
9.5.4 上模定位	155
9.5.5 重新定义对象间关系	156

9.5.6	设置上模温度	156
9.5.7	设置模拟控制	157
9.5.8	保存项目文件、生成数据库进行模拟	158
9.5.9	后处理	158
9.6	模具的应力分析	160
9.6.1	引言	160
9.6.2	创建新项目	160
9.6.3	载入数据库时序步	160
9.6.4	模拟控制信息设定	161
9.6.5	加入新的物体删除工件	161
9.6.6	定义对象间关系	165
9.6.7	保存项目文件、生成数据库进行模拟	166
9.6.8	后处理	167
第 10 章	切削加工的模拟分析	169
10.1	模型参数设定	170
10.1.1	切削模型和参数定义	170
10.1.2	切削加工的意义和步骤	170
10.2	DEFORM-3D 软件的前处理过程	171
10.2.1	进入 DEFORM-3D 界面	171
10.2.2	模型创建过程	171
10.2.3	DEFORM-3D 模拟运行过程	176
10.3	刀具特性分析设置	178
10.4	后处理分析	182
10.4.1	查看刀具应力、变形量	182
10.4.2	其他后处理分析	184
第 11 章	钢管热扩实例	189
11.1	问题描述	189
11.2	软件模拟过程	190
11.2.1	调入 .stl 文件	190
11.2.2	工件划分单元网格	195
11.2.3	工件材料选择	197
11.2.4	模拟控制条件设置	197
11.2.5	设定驱动条件	199
11.2.6	设定接触条件	199
11.2.7	设定计算过程补偿量	200
11.2.8	退出设定	201
11.3	运算过程	202

11.4 后处理分析	203
第12章 楔横轧成形模拟	208
12.1 模拟工艺参数介绍	208
12.2 楔横轧模拟前处理	209
12.2.1 创建新项目	209
12.2.2 设定模拟名称及类型	210
12.2.3 输入轧件数据	210
12.2.4 上模的输入	212
12.2.5 下模的输入	213
12.2.6 挡板的输入	214
12.2.7 定义对象间关系	215
12.2.8 模拟控制设定	215
12.2.9 保存项目文件、生成数据库进行模拟	215
12.3 楔横轧模拟后处理	216
第13章 初轧模拟	217
13.1 引言	217
13.2 初轧向导	218
13.2.1 创建新项目	218
13.2.2 设定坯料参数	218
13.2.3 设定模具参数	220
13.2.4 设定胎具参数	221
13.2.5 初轧工艺操作流程设定	222
13.2.6 模拟预览	225
13.2.7 创建主文件	226
13.2.8 退出初轧向导	226
13.3 提交主文件、运行模拟	226
13.4 初轧模拟后处理	226
参考文献	229

第1章 DEFORM 简介

内容 提要

DEFORM-3D 是一套基于工艺模拟系统的有限元系统(FEM), 专门用于分析各种金属成形过程中的三维(3D)流动, 提供极有价值的工艺分析数据, 及有关成形过程中的材料和温度流动。本章主要介绍它的用途、软件的安装及模块结构。

★ 本章重点

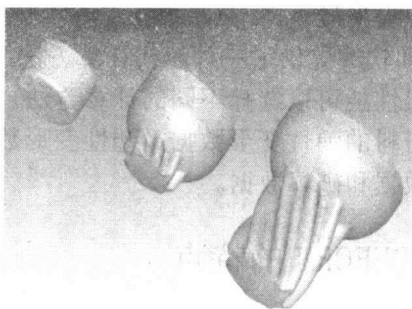
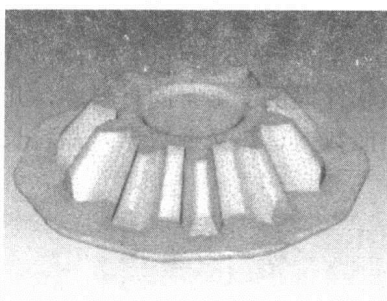
🔍 DEFORM 软件简介

🔍 DEFORM 软件的安装

🔍 DEFORM5.03 的主界面

🔍 DEFORM5.03-3D 软件的模块结构

🔍 本章典型效果图



1.1 DEFORM 软件简介

DEFORM-3D 是一套基于工艺模拟系统的有限元系统(FEM), 专门设计用于分析各种金属成形过程中的三维(3D)流动, 提供极有价值的工艺分析数据, 及有关成形过程中的材料和温度流动。典型的 DEFORM-3D 应用包括锻造、挤压、镦头、轧制, 自由锻、弯曲和其他成形

加工手段。

DEFORM-3D 是模拟 3D 材料流动的理想工具。它不仅鲁棒性好,而且易于使用。DEFORM-3D 强大的模拟引擎能够分析金属成形过程中多个关联对象耦合作用的大变形和热特性。系统中集成了在任何必要时能够自行触发自动网格重划生成器,生成优化的网格系统。在要求精度较高的区域,可以划分较细密的网格,从而降低题目的运算规模,并显著提高计算效率。

DEFORM-3D 图形界面既强大又灵活,为用户准备输入数据和观察结果数据提供了有效工具。DEFORM-3D 还提供了 3D 几何操纵修正工具,这对于 3D 过程模拟极为重要。DEFORM-3D 延续了 DEFORM 系统几十年来一贯秉承的力保计算准确可靠的传统。在最近的国际范围复杂零件成形模拟招标演算中,DEFORM-3D 的计算精度和结果可靠性,被国际成形模拟领域公认为第一。相当复杂的工业零件,如连杆、曲轴、扳手,具有复杂筋-翼的结构零件、泵壳和阀体,DEFORM-3D 都能够令人满意地例行完成。

1.1.1 DEFORM 的发展

20 世纪 70 年代后期,位于美国加州伯克利的加利福尼亚大学小林研究室在美国军方的支持下开发出了有限元软件 ALPID,1990 年在此基础上开发出 DEFORM-2D 软件。该软件的开发者独立出来成立 SFTC 公司 (Scientific Forming Technologies Co.),并推出了 DEFORM-3D 软件,DEFORM-3D 是集成了原材料、成形、热处理和机加工的软件。

DEFORM 的理论基础是经过修订的拉格朗日定理,属于刚塑性有限元法,其材料模型包括刚性材料模型、塑性材料模型、多孔材料模型和弹性材料模型。DEFORM-2D 的单元类型是四边形,3D 的单元类型是经过特殊处理的四面体,四面体单元比六面体单元容易实现网格重划分。DEFORM 软件有强大的网格重划分功能,当变形量超过设定值时自动进行网格重划。在网格重划分时,工件的体积有部分损失,损失越大,计算误差越大,DEFORM 在同类软件中体积损失最小。

DEFORM 软件提供了三种迭代计算方法:Newton-Raphson、Direct 和 Explicit,根据不同的材料性能可以选择不同的计算方法。同时该软件提供了丰富的材料库,几乎包含了所有常用材料的弹性变形数据、塑性变形数据、热能数据、热交换数据、晶粒长大数据、材料硬化数据和破坏数据。

1.1.2 DEFORM 的特点

DEFORM 软件具有以下特点:

✧ DEFORM-3D 是在一个集成环境内综合建模、成形、热传导和成形设备特性进行模拟仿真分析。适用于热、冷、温成形,提供极有价值的工艺分析数据。如:材料流动、模具填充、锻造负荷、模具应力、晶粒流动、金属微结构和缺陷产生发展情况等。

DEFORM-3D 处理的对象为复杂的三维零件、模具等。

✧ 不需要人工干预,全自动网格再剖分。

✧ 前处理中自动生成边界条件,确保数据准备快速可靠。

- ✧ DEFORM-3D 模型来自 CAD 系统的面或实体造型 (STL/SLA) 格式。
- ✧ 集成有成形设备模型, 如: 液压压力机、锤锻机、螺旋压力机、机械压力机、轧机、摆辗机和用户自定义类型 (如胀压成形)。
- ✧ 表面压力边界条件处理功能适用于解决胀压成形工艺模拟。
- ✧ 单步模具应力分析方便快捷, 适用于多个变形体、组合模具、带有预应力环时的成形过程分析。
- ✧ 材料模型有弹性、刚塑性、热弹塑性、热刚粘塑性、粉末材料、刚性材料及自定义类型。
- ✧ 实体之间或实体内部的热交换分析既可以单独求解, 也可以耦合在成形模拟中进行分析。
- ✧ 具有 FLOWNET 和点迹示踪、变形、云图、矢量图、力-行程曲线等后处理功能。
- ✧ 具有 2D 切片功能, 可以显示工件或模具剖面结果。程序具有多联变形体处理能力, 能够分析多个塑性工件和组合模具应力。
- ✧ 后处理中的镜面反射功能, 为用户提供了高效处理具有对称面或周期对称面的机会, 并且可以在后处理中显示整个模型。
- ✧ 自定义过程可用于计算流动应力、冲压系统响应、断裂判据和一些特别的处理要求, 如: 金属微结构、冷却速率、力学性能等。

1.1.3 DEFORM-3D 应用举例

DEFORM-3D 典型应用于: 锻造、机加工、轧制、挤压、冷锻、拉深、开坯、压塑、锻锻。图 1-1 是 DEFORM-3D 的一些应用, 包括金属成形的冷加工、热加工等工艺。

1.2 DEFORM 软件的安装

1. DEFORM5.03 的运行环境

- (1) 操作环境为 WINDOWS XP/2000 系统或 UNIX 工作站。
- (2) 建议最小内存配置 1GB 以上, 对于模具较复杂的模拟建议配置 2GB 的内存。
- (3) 硬盘需有 10GB 以上的闲置空间, 建议安装刻录机, 以便及时刻录模拟结果。
- (4) 建议安装英特网, 便于提供在线技术支持及升级。

2. 安装 DEFORM5.03

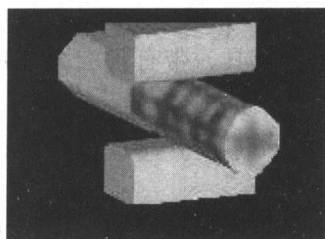
安装 DEFORM-3D 软件的具体步骤如下:

(1) 运行 DEFORM-3D 的安装程序, 会出现 DEFORM-3D V5.03 安装提示与法律警示, 安装启动对话框如图 1-2 所示, 单击【Next】按钮进入安装。

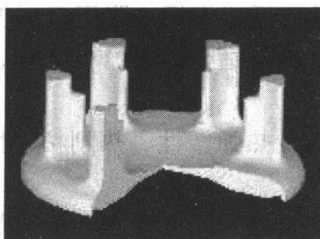
(2) 接着出现的对话框是 SFTC 公司对用户安装软件时, 应该阅读安装注释的提示。安装说明附带在产品中, 也可以从 www.deform.com 下载得到, 直接单击【Next】按钮进入下一步操作。

(3) 弹出如图 1-3 所示的安装路径选择对话框, 如果用户不愿意修改安装路径, 保持

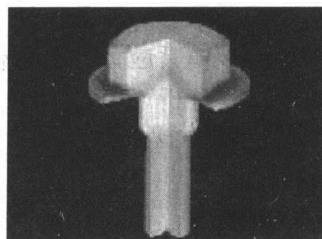
默认设置；如要修改安装路径，点击【Browse】按钮选择安装路径。确定安装路径后，点击【Next】按钮进入下一步操作。



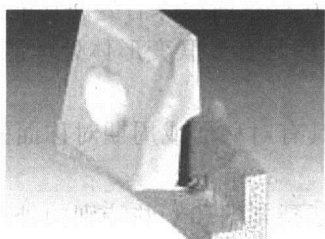
开坯



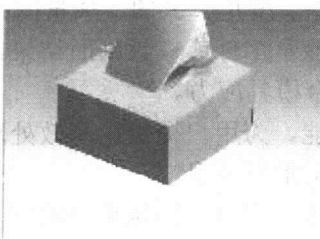
托架



螺栓帽成形



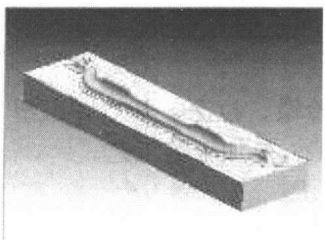
端面铣削



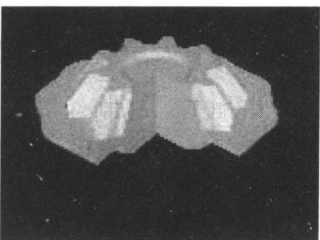
钻削



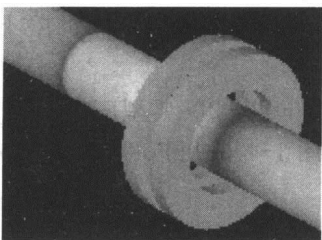
车削



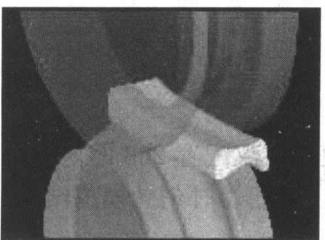
前轴梁锻造及热处理



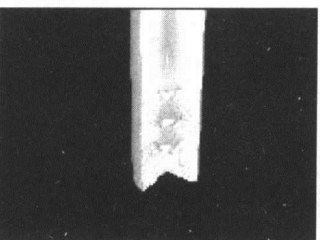
齿坯锻造及热处理



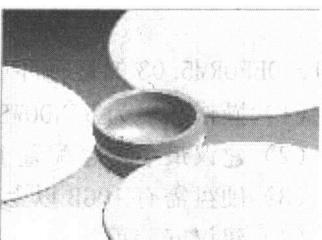
感应淬火



型钢轧制



中心开裂



三辊折边

图 1-1 DEFORM™-3D 的典型应用

(4) 接下来出现的对话框直接单击【Next】按钮进入下一步操作。

(5) 弹出如图 1-4 所示的询问用户是否安装子程序开发环境对话框，用户要使用子程序开发环境的，必须首先安装 Absoft 编译器，单击【Next】按钮进入复制安装文件。

(6) 文件复制完毕后，出现如图 1-5 所示的选择口令对话框，本书以选择 local password 为例，单击【Next】按钮进入下一步。

(7) 弹出如图 1-6 所示的安装附加组件选择对话框, 单击【Next】按钮进入下一步安装。

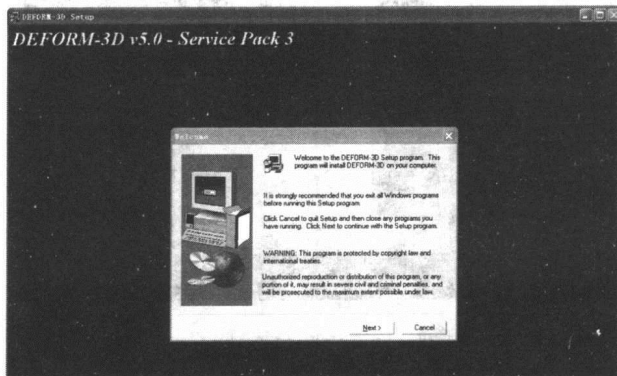


图 1-2 安装启动对话框

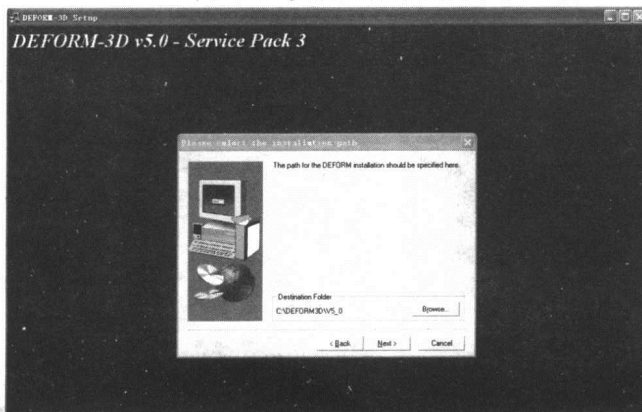


图 1-3 安装路径选择对话框

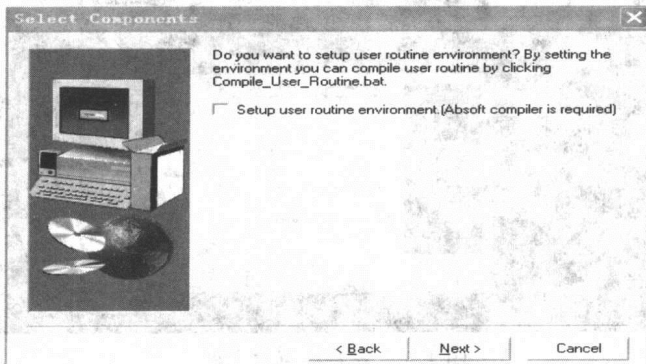


图 1-4 安装程序开发环境选择对话框

(8) 接着点击一系列的【Next】按钮, 直到出现图 1-7 所示的安装完毕对话框, 选择稍后重新启动计算机, 并点击【Finish】按钮, 软件安装结束。

(9) 复制 DEFORM.PWD 文件到 DEFORM 安装目录下的 V5_0 文件夹中, 本例的路径为 C:\DEFORM3D\VS_0, 最后重新启动计算机。

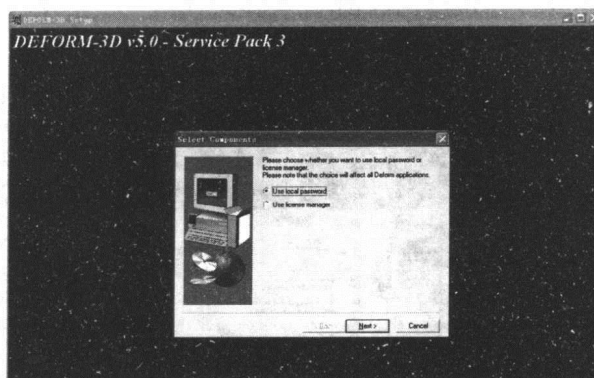


图 1-5 安装口令选择

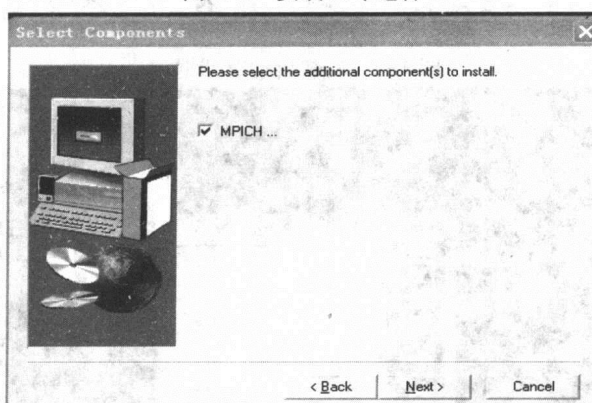


图 1-6 安装附加组件选择

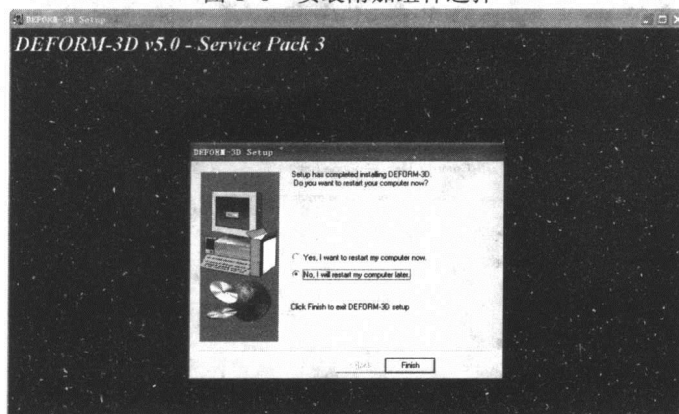


图 1-7 安装结束对话框

1.3 DEFORM5.03 的主界面

安装完了 DEFORM 软件, 就可以进行 DEFORM 的使用和学习了。启动后的 DEFORM 界面如图 1-8 所示。DEFORM 主界面包含以下功能: