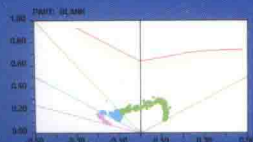


板料成形CAE设计及应用

——基于DYNAFORM（第3版）

hydroforming
STEP 21: FORM
FLD, variable input



CRACK
RISK
OF CRACK
SAFE
FORMING
TENDENCY
FORMING
SEVERE
FORMING
INSUFFICIENT
STRETCH

王秀凤 杨春雷 编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

板料成形 及应用

——基于 DYNIFORM

(第 3 版)

王秀凤 杨春雷 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书以板料成形过程的有限元分析软件 DYNIFORM V5.7.3 为平台,通过对软件基本功能的介绍,结合作者多年从事教学及应用的丰富经验,配以由浅入深的应用实例,对 DYNIFORM 软件的模型建立、网格划分、前处理、计算求解及后处理等过程做了详尽的介绍,以引导读者快速掌握应用 CAE 分析软件解决工程实际问题的技能。本书可作为大专院校板料成形专业的教材,也可作为从事 CAE 设计的工程技术人员学习的参考图书。

本书配套光盘中提供 7 个实例的模型原文件(*.igs 格式)、结果的视频文件(*.avi 格式)和分析中操作过程的视频文件(*.avi 格式)可以起到很好的辅助自学作用。

图书在版编目(CIP)数据

板料成形 CAE 设计及应用:基于 DYNIFORM / 王秀凤,
杨春雷编著. — 3 版. — 北京:北京航空航天大学出版社,2016.6

ISBN 978-7-5124-2111-0

I. ①板… II. ①王… ②杨… III. ①板材冲压—成
型—计算机辅助分析—应用软件—高等学校—教材 IV.
①TG386.41-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 091349 号

版权所有,侵权必究。

板料成形 CAE 设计及应用 ——基于 DYNIFORM(第 3 版)

王秀凤 杨春雷 编著

责任编辑 胡 敏

*

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(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:bhpress@263.net 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:16.25 字数:346 千字

2016 年 6 月第 3 版 2016 年 6 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-5124-2111-0 定价:45.00 元(含 DVD 光盘一张)

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

第3版前言

本书自2010年6月再版以来,继续受到广大读者的关注。根据市场的需求,结合目前DYNAFORM软件应用的发展现状及趋势,编著者对本书再次进行全面修订,使用DYNAFORM V5.7.3对全书计算实例进行了重新分析,更新了全章节的内容及配套的模型源文件(*.igs格式)和结果的视频文件(*.avi格式,无声),增加了分析中操作过程的视频文件(*.avi格式,无声),更有助于初学者自学。

全书由王秀凤和杨春雷修订,在修订的过程中参考了相关教材及资料,对本书的编写起了重要作用,在此谨对编著者表示衷心感谢。对于书中疏漏或不当之处,望读者批评指正。

编著者

2016年2月

第2版前言

本书自2008年1月出版以来,受到了许多专家、教师、工程师和学生的关注。期间本书编著者收到一些读者来信,就模拟技术和书中的内容进行探讨,并提出了许多宝贵的意见。在此,本书编著者对曾经提出意见,及本书修订再版贡献力量的读者和专家表示衷心的感谢!

借再版之机,编著者再次全面检查了初版全书的内容,对当时编写及出版中的疏漏之处逐一进行了核实、修正和补充。此外,结合目前DYNAFORM软件应用的发展现状及趋势,对书中的内容进行了增补和修改,特别增加了较为复杂的算例,使读者能够通过本书的学习获得更多的实用技能。修订的主要工作总结为以下几点:

1. 改正了所有编著者、读者及编辑已发现的失误和不当之处。
2. 改用新版本的DYNAFORM软件进行分析,更新原书中的第1章、第2章、第4章、第5章、第6章、第7章的内容。
3. 用一个新算例替换原书第3章的算例。
4. 增加两个新算例。
5. 更新配套使用的模型文件和结果的视频文件。

本书共分9章,第1章由王秀凤、郎利辉编著,第2、3、5章由王秀凤、李飞舟编著,第4章由王积元、王秀凤编著,第6章由郎利辉、王秀凤编著,第7章由陈立峰、王秀凤编著,第8章由王秀凤编著,第9章由李飞舟编著。全书由王秀凤、王积元统稿,参与该书工作的还有谷国超、刘家雨、胡东、安冬洋、张树桐、周君、魏为。许多作者编写的教材及资料对本书的编写起了重要的参考作用,在此表示衷心感谢。

对于书中存在疏漏或不当之处,望读者批评指正。

编著者

2010年6月

前 言

DYNAFORM 软件是由美国 ETA 公司和 LSTC 公司联合开发的用于板料成形模拟的专用软件包,可方便地求解板料成形工艺及模具设计涉及的复杂问题,是目前该领域中应用最为广泛的 CAE 软件之一。它可以预测板料成形过程中的破裂、起皱、减薄和回弹,评估板料的成形性能,为板料成形工艺及模具设计提供帮助,可以显著减少模具设计时间及试模周期,从而提高产品品质和市场竞争力。

CAE 软件从 20 世纪 60 年代初在工程上开始使用到今天,已经历了 40 多年的发展历史,其理论和算法都经历了从蓬勃发展 to 日趋成熟的过程,现已成为在航空、航天、机械和土木结构等众多领域中的产品结构设计时必不可少的数值计算工具。随着计算机技术的不断发展,CAE 系统的功能和计算精度也随之有了很大提高。计算时可采用 CAD 技术来建立几何模型,通过前处理完成分析数据的输入,求解得到的计算结果可以通过 CAD 技术生成形象的图形输出,如生成位移、应力、应变分布的等值线图、彩色云图,以及随机械载荷变化的动态显示图等。这些结果可以有效地用于产品质量分析,为工程应用提供实用的依据。目前,DYNAFORM 软件已在世界各大汽车、航空、钢铁公司以及众多的大学和科研单位得到了广泛的应用;自进入中国以来,DYNAFORM 软件已在长安汽车、南京汽车、上海宝钢、中国一汽、上海汇众汽车公司和洛阳一拖等知名企业得到了成功应用。

本书通过对 DYNAFORM 软件基本功能的介绍,结合编著者多年从事教学及应用的丰富经验,从 5 个典型的应用实例出发,由浅入深地对 DYNAFORM 软件的前处理、计算求解及后处理等过程做了详尽的阐述,以引导读者快速掌握应用 CAE 软件解决工程实际问题的技能。本书可作为大专院校板料成形专业的参考教材,也可作为从事 CAE 设计的工程技术人员学习的辅助教材。

本书共分7章,第1章由王秀凤、郎利辉编著,第2章由谷国超、王秀凤编著,第3章由刘家雨、王秀凤编著,第4章和第5章由胡东、王秀凤编著,第6章由安冬洋、张树桐、郎利辉编著,第7章由王秀凤编著。全书由王秀凤统稿,参与该书工作的还有周君、魏为。

文后参考文献中所列教材及资料对本书的编写起了重要的参考作用,在此谨向它们的编著者表示衷心感谢。对于书中疏漏或不当之处,望读者批评指正。

为了让读者通过学习书中的内容快速掌握 DYNAFORM 软件的基本用法,特将书中的5个实例的模型文件(*.igs 格式)和结果的视频文件(*.avi 格式)上传到北京航空航天大学出版社网站上(网址为 www.buaapress.com.cn),读者可以到“下载专区”进行下载。

编著者

2007 年 10 月

目 录

第 1 章 初识 DYNIFORM 软件	1
1.1 DYNIFORM 软件简介	1
1.2 DYNIFORM 软件设计思想	3
1.3 DYNIFORM 软件在板料成形过程中的分析流程	4
第 2 章 DYNIFORM 软件设计基础	6
2.1 模型的建立	6
2.1.1 直接导入模型	6
2.1.2 创建模型	7
2.2 网格划分	10
2.2.1 2 Line Mesh(二线网格划分)	11
2.2.2 3 Line Mesh(三线网格划分)	12
2.2.3 4 Line Mesh(四线网格划分)	13
2.2.4 Surface Mesh(曲面网格划分)	13
2.2.5 网格检查及网格修补	18
2.3 毛坯的生成、设定及排样	24
2.3.1 毛坯的生成	24
2.3.2 毛坯的设定	25
2.3.3 毛坯的排样	27
2.4 工具零件的设定	31
2.5 各种曲线的设定	33
2.5.1 定义加载曲线	33
2.5.2 曲线操作	37
2.6 冲压方向的调整	40
2.7 分析设置	41
2.8 计算求解	43
2.8.1 分 析	43
2.8.2 一步法求解(MSTEP)	47
2.9 后处理	48
2.9.1 后处理功能简介	48
2.9.2 动画制作	52



第3章 带凸缘低盒形件的排样及拉深成形过程分析	53
3.1 带凸缘低盒形件的工艺分析	53
3.2 创建模型	54
3.3 数据库操作	62
3.4 网格划分	63
3.5 快速设置	66
3.6 分析求解	70
3.7 后置处理	71
第4章 筒形件的二次拉深成形过程分析	76
4.1 筒形件的工艺分析	76
4.2 第一次拉深分析	83
4.3 第二次拉深分析	106
第5章 V形件弯曲回弹过程分析	119
5.1 V形件弯曲回弹的工艺分析	119
5.2 创建三维模型	120
5.3 数据库操作	121
5.4 网格划分	121
5.5 快速设置	125
5.6 分析求解	129
5.7 回弹计算	130
5.8 回弹结果分析	132
第6章 板料液压拉深成形过程分析	135
6.1 阶梯圆筒形件的工艺分析	136
6.2 创建三维模型	137
6.3 数据库操作	138
6.4 网格划分	139
6.5 自动设置	142
6.6 求解计算	152
6.7 后置处理	152
第7章 圆管液压胀形过程分析	156
7.1 圆管液压胀形的工艺分析	156
7.2 创建三维模型	157
7.3 数据库操作	157
7.4 网格划分	159
7.5 自动设置	162

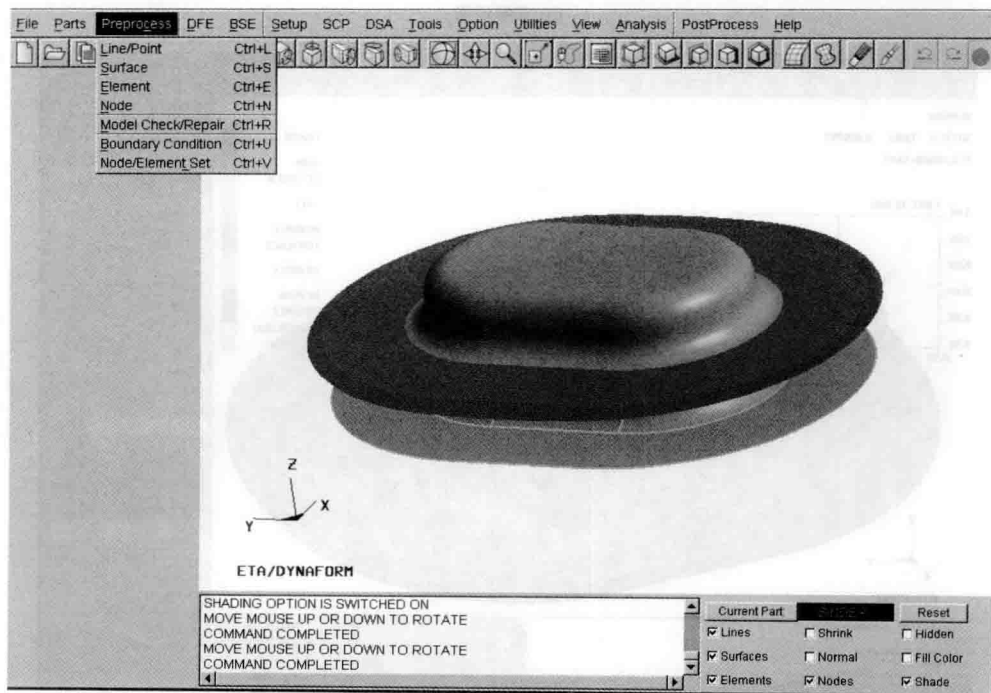


7.6 求解计算	171
7.7 后置处理	173
第8章 家用轿车引擎盖拉伸成形过程分析	175
8.1 家用汽车引擎盖工艺分析	175
8.2 创建三维模型	175
8.3 数据库操作	176
8.4 网格划分	178
8.5 模面工程	180
8.6 拉伸筋的设计	193
8.7 毛坯尺寸工程	195
8.8 模拟设置	204
8.9 设置分析参数及求解计算	214
8.10 后处理	215
第9章 汽车覆盖件左、右护板拉伸成形过程分析	218
9.1 左、右护板件的工艺分析	218
9.2 创建三维模型	219
9.3 数据库操作	219
9.4 网格划分	221
9.5 模面工程	223
9.6 模拟设置	233
9.7 设置分析参数及求解计算	240
9.8 后处理	241
附 录	245
参考文献	248

第 1 章 初识 DYNAFORM 软件

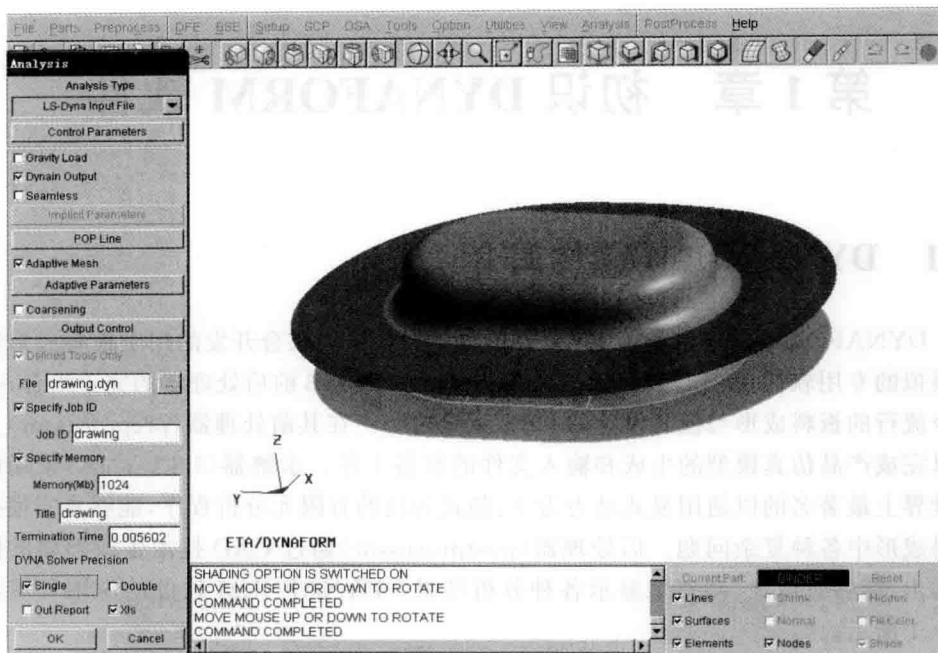
1.1 DYNAFORM 软件简介

DYNAFORM 软件是美国 ETA 公司和 LSTC 公司联合开发的用于板料成形数值模拟的专用软件,是 LS-DYNA 求解器与 ETA/FEMB 前后处理器的完美组合,是当今流行的板料成形与模具设计的 CAE 工具之一。在其前处理器(preprocessor)上可以完成产品仿真模型的生成和输入文件的准备工作。求解器(LS-DYNA)采用的是世界上最著名的以通用显式动力为主、隐式为辅的有限元分析程序,能够真实模拟板料成形中各种复杂问题。后处理器(postprocessor)通过 CAD 技术生成形象的图形输出,能够直观地、动态地显示各种分析结果。DYNAFORM 软件的应用环境如图 1.1 所示。

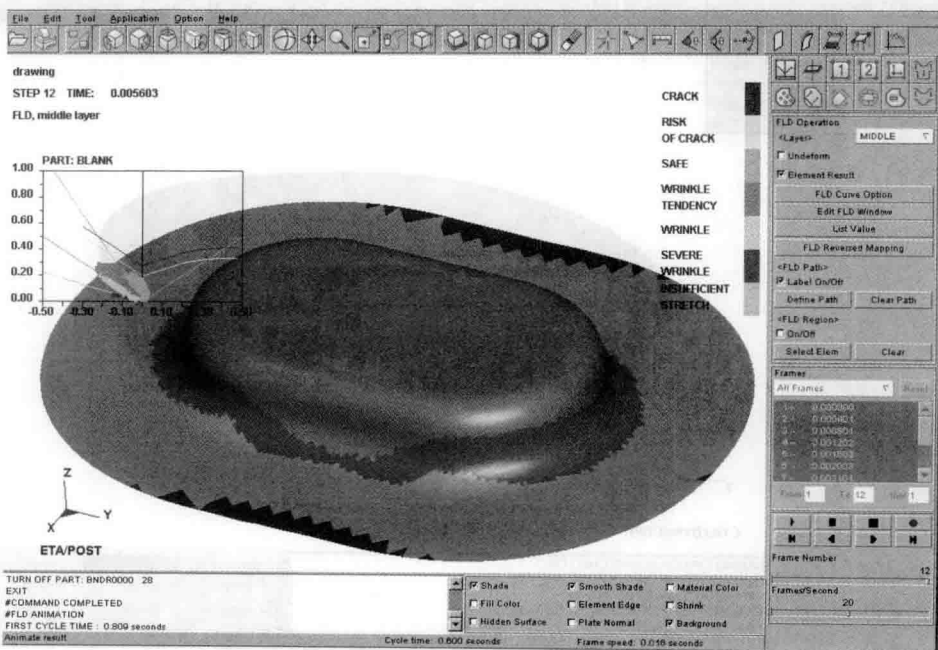


(a) 前处理环境

图 1.1 DYNAFORM 软件的应用环境



(b) 求解环境



(c) 后处理环境

图 1.1 DYNAFORM 软件的应用环境 (续)



该软件包括板料成形分析所需的与 CAD 软件的接口,丰富高效的单元类型,领先的接触和交界处理技术,以及百余种材料模型。其主要功能包括分析预压边、拉伸、整形、弯曲、翻边和切边等板料成形过程中的不同工序,也可以进行多工步成形的分析。通过用户已定义好的成形工艺及模具形状来预测减薄拉裂、起皱和回弹等成形状态;同时对成形力、压边力、拉伸筋和模具磨损等各种工艺问题进行分析,以便优化工艺和模具设计。

该软件的核心技术包括动力显式积分算法、板壳有限元理论、材料的本构关系和屈服准则、接触判断算法和网格细化自适应技术、多工步成形模拟技术、CAD/CAM 软件和 CAE 软件之间的数据转换技术、建立有限元模型的若干技巧以及板料成形模拟的一般过程。作为专业化的数值模拟分析软件,该软件在使用时对用户的工程背景及理论知识要求并不高,因为它不但具有界面友好和方便操作的特点,而且还包括大量的智能化自动工具,可以帮助模具设计人员方便地求解各类板料成形问题,从而显著减少模具开发的设计时间及试模周期。

1.2 DYNAFORM 软件设计思想

DYNAFORM 软件主要由两部分组成: DYNAFORM 前、后处理器和 LS-DYNA 有限元求解器。其主要特色表现为:

- 完备的前、后处理功能,实现无文本编辑操作,所有操作在同一界面下进行,集成了操作环境,无须数据转换。
- 求解器采用业界著名、功能最强的 LS-DYNA 软件,是动态非线性显示分析技术的创始者和领导者,可以解决最复杂的金属成形问题。
- 工艺化的分析过程囊括影响工艺的 60 多个因素,以 DFE(模面设计模块)为代表的多种工艺分析模块有良好的工艺界面,易学易用。
- 固化了丰富的实际工程经验。

其设计思想主要体现在:

- 提供了良好的与 CAD 软件 IGES、VDA、DXF、UG 和 CATIA 等文件的接口,以及与 NASTRAN、IDEAS、MOLDFLOW 等 CAE 软件的专用接口,还有方便的几何模型修补功能。
- AutoSetup 功能的设置能够帮助用户快速地完成模型分析,大大提高了前处理的效率。
- 模具网格自动划分与自动修补功能强大,网格自适应细分可以在不显著增加计算时间的前提下提高计算精度,用最少数量的单元最大限度地逼近模具型面;允许三角形和四边形网格混合划分,并可方便地进行网格修剪。
- BSE(板料尺寸计算)模块采用一步法求解器,可以方便地将工件展开,从而得到合理的毛坯尺寸。



- 与 LS-DYNA 相对应的方便易用的流水线式的模拟参数定义,包括自动接触描述、压边力预测、模具描述、边界条件定义以及模具和工件自动定位等功能。
- 可以用设定速度、加速度、力和压力等多种方式进行工具运动的精确定义,而且通过模具动作预览,用户在提交分析之前可以检查所定义的工具动作是否正确。
- DFE 模块中包含了一系列基于曲面的自动工具,如冲裁填补功能、冲压方向调整功能以及压料面与工艺面补充生成功能等,这些工具可以帮助模具设计工程师根据制件的几何形状直接进行模具设计。
- 用等效拉延筋代替实际的拉延筋,从而实现了拉延筋定义的简化,大大节省了计算时间,并可以使用户很方便地在有限元模型上修改拉延筋的尺寸及布置方式。
- 通过成形极限图动态显示各单元的成形情况,如起皱及破裂等,通过三维动态等值线或云图显示应力及应变、工件厚度变化和成形过程等,允许用户对工件的横截面进行剖分,可生成 JPG、AVI 和 MPEG 等图形图像文件,用于分析成形和回弹结果。

通过 DYNAFORM 软件进行数值模拟的价值体现在以下几个方面:

- 缩短模具开发周期。在模具加工之前,通过预测设计和成形问题,可以将试模时间压缩到最短,几个小时的模拟工作可以节省现场数百小时的时间。
- 降低成本。模拟工作缩短了制品的开发周期,提高了制品的设计质量,不仅可以预测造成极大成本浪费的设计缺陷,还可以节省昂贵的资源,如时间、人力和材料等。
- 增加了设计的可靠度。模拟工作可以让设计者评估模具设计的合理性,从而节省了利用试模评估带来的极高成本。模拟工作允许用户试验更经济的设计方案,可以在连续模中减少工位,尝试替代材料;对缺乏经验的设计者来说,可以捕捉潜在的设计缺陷;对有经验的设计师来说可以尝试更具风险性的、更复杂的零件,为非传统的模具设计提供了更大的自由度。而在这之前,这些开发工作都要花费几个月的时间。

1.3 DYNAFORM 软件在板料成形过程中的分析流程

在应用 DYNAFORM 软件分析板料成形过程时主要包括三个基本部分,即建立计算模型、求解和分析计算结果,其流程如图 1.2 所示。

具体应用步骤表述如下:

- ① 直接在 DYNAFORM 的前处理器中建立模型,或在 CAD 软件(如 UG、CAT-

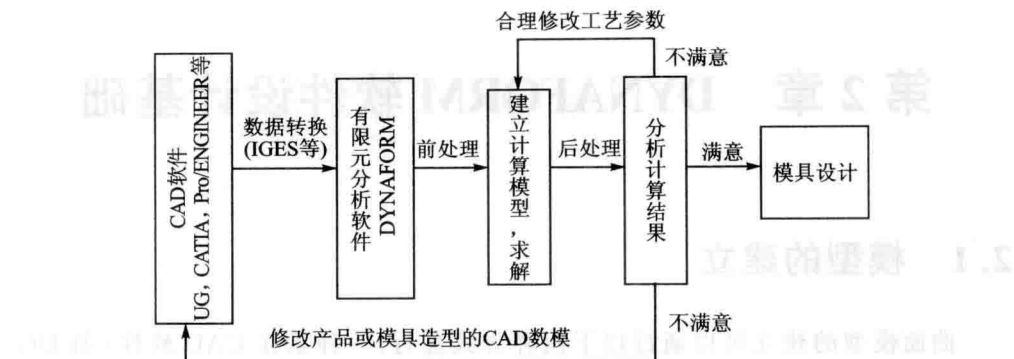


图 1.2 板料成形过程分析的流程

IA 和 Pro/ENGINEER 等)中根据拟定或初定的成形方案,建立板料、对应的凸模和凹模的型面模型以及压边圈等模具零件的面模型,然后存为 IGES、STL 或 DXF 等文件格式,将上述模型数据导入 DYNAFORM 系统。

② 利用 DYNAFORM 软件提供的网格划分工具对板料、凸模、凹模、压边圈进行网格划分,检查并修正网格缺陷(包括单元法矢量、网格边界、负角、重叠节点和单元等)。

③ 定义板料、凸模、凹模和压边圈的属性,以及相应的工艺参数(包括接触类型、摩擦系数、运动速度和压边力曲线等)。

④ 调整板料、凸模、凹模和压边圈之间的相互位置,观察凸模和凹模之间的相对运动,以确保模具动作的正确性。

⑤ 设置好分析的计算参数,然后启动 LS-DYNA 求解。

⑥ 将求解结果读入 DYNAFORM 后处理器中,以云图、等值线和动画等形式显示数值模拟结果。

⑦ 分析模拟结果,通过反映出的变化规律找到问题的所在。重新定义工具的形状、运动曲线,进一步修改毛坯尺寸、变化压边力的大小,调整工具移动速度和位移等,重新运算直至得到满意的结果。

第 2 章 DYNIFORM 软件设计基础

2.1 模型的建立

曲面模型的建立可以通过以下两种方式进行,一种是在 CAD 软件(如 UG、CATIA 及 Pro/ENGINEER 等)中建立模型,然后存为后缀为 IGES、STL 或 DXF 等格式的文件,导入 DYNIFORM 系统;另一种是直接在 DYNIFORM 的前处理器中建立模型。实际应用时常采用第一种方式建立模型,这是因为虽然第二种方式使用较简单,但软件本身造型功能不够强大,因而应用受限制。

2.1.1 直接导入模型

在 DYNIFORM 中,直接将后缀为 IGES、STL 或 DXF 等 CAD 文件格式的数据读入 DYNIFORM 系统中,可以选择 File(文件)→Import(导入)菜单项,弹出如图 2.1 所示的对话框。

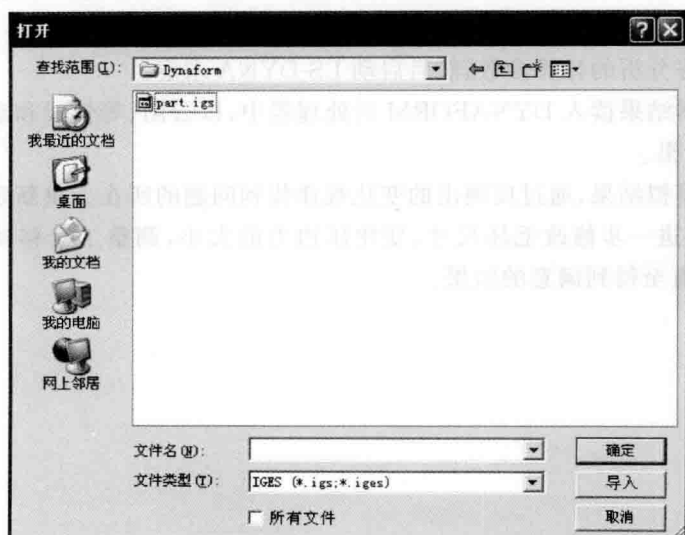


图 2.1 选择导入的文件对话框

DYNIFORM 能够读取的文件类型如表 2.1 所列。

表 2.1 DYNIFORM 能够读取的文件类型

序 号	DYNIFORM 能够读取的文件类型	序 号	DYNIFORM 能够读取的文件类型
1	LS-DYNA (* . dyn, * . mod, * . k)	8	VDA (* . vda, * . vdas)
2	Abaqus (* . inp)	9	DYNAIN file(dynain * , * . din)
3	NASTRAN (* . nas, * . dat)	10	CATIA V4/V5 (* . model, * . CATPart)
4	Stereo lithograph (* . stl)	11	Pro/ENGINEER (* . prt, * . asm)
5	AutoCAD (* . dxf)	12	STEP (* . stp, * step)
6	Line Data (* . lin)	13	Unigraphics (* . prt)
7	Iges (* . igs, * . iges)	14	dynain file

2.1.2 创建模型

利用 Preprocess(前处理)菜单中的选项,依据点/线或面,从空的数据库中创建几何模型。

1. Line/Point(线/点)工具栏

选择 Preprocess→Line/Point 菜单项,弹出如图 2.2 所示的工具栏。

(1) Line(创建线)工具按钮

在 DYNIFORM 软件中,可以利用已经存在的节点或点创建线,也可以通过坐标创建点,然后通过点创建线。

选择 Parts→Create 菜单项创建零件层,弹出如图 2.3 所示的 Create Part(创建零件层)对话框,将要绘制线的零件层设置为当前层。

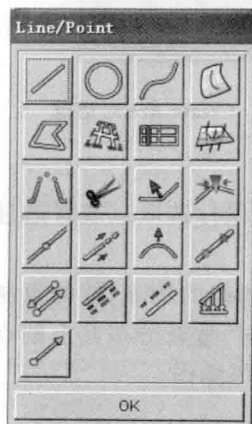


图 2.2 Line/Point 工具栏

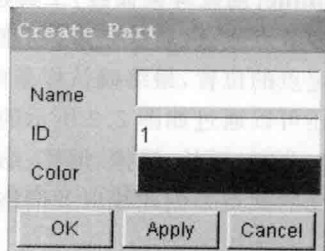


图 2.3 Create Part 对话框