



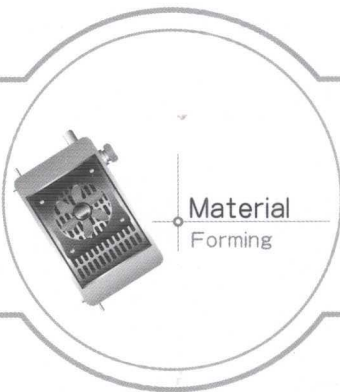
普通高等教育机械类“十二五”规划系列教材

材料成型CAE技术及应用

CAILIAO CHENGXING CAE JISHU JI YINGYONG

主 编 吴梦陵 张 珑

副主编 李振红



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育机械类“十二五”规划系列教材

材料成型 CAE 技术及应用

主 编 吴梦陵 张 琰

副主编 李振红

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书为读者学习材料成型 CAE 技术(塑料成型、板料成型和体积成型)快速入门提供了良好的平台。本书共分 12 章,主要包括塑料成型 CAE 软件 Moldflow 的基本操作, Moldflow 网格前处理,浇注系统和冷却水路创建,浇注系统的平衡设计,浇口位置的不同对熔接痕的影响和综合应用实例等;板料成型 CAE 软件 DYNAFORM 的基本操作,模面工程和坯料排样技术,盒形件拉深成型过程分析;体积成型 CAE 软件 DEFORM 软件及功能介绍, DEFORM-3D 软件的前处理,模拟计算,后处理及模拟分析流程等内容。

本书适合于高等工科院校材料成型及控制工程专业本、专科学生作为材料成型 CAE 技术专业课教材使用。还可作为模具企业有关工程技术人员、产品设计人员的参考书或自学教程。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容
版权所有,侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

材料成型 CAE 技术及应用/吴梦陵,张琰主编. —北京:电子工业出版社,2011.5

(普通高等教育机械类“十二五”规划系列教材)

ISBN 978-7-121-13559-0

I. ①材… II. ①吴… ②张… III. ①工程材料—成型—计算机辅助技术—高等学校—教材 IV. ①TB3-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 087077 号

策划编辑:李 洁(ljje@phei.com.cn)

责任编辑:李 洁

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:涿州市桃园装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

地 址:北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编:100036

开 本:787×1092 1/16 印张:18 字数:451 千字

印 次:2011 年 5 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:33.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

模具 CAE 是模具计算机辅助工程技术的简称,是以现代计算力学为基础,以计算机仿真为手段的工程分析技术,是实现模具优化的主要支持模块。运用模具 CAE 技术,可对未来模具的工作状态和运行行为进行模拟,及早发现设计缺陷。模具计算机辅助工程技术分析已成为实现产品开发、模具设计及产品加工中这些薄弱环节的最有效途径。本书主要结合 Moldflow、DYNAFORM、DEFORM 三款软件讲述注塑成型 CAE 技术。

Moldflow 软件是 Moldflow 公司的产品,该公司自 1976 年发行了世界上第一套塑料注塑成型流动分析软件以来,几十年来以不断的技术改革和创新一直主导着 CAE 软件市场。

DYNAFORM 软件专门用于工艺及模具设计涉及的复杂板成型问题,如弯曲、拉深、成型等典型板料冲压工艺,液压成型、滚弯成型等特殊成型工艺;并可以预测成型过程中板料的裂纹、起皱、减薄、划痕、回弹,评估板料的成型性能。

DEFORM 系列软件是基于工艺过程模拟的有限元系统(FEM),可用于分析各种塑性体积成型过程中的金属流动以及应变应力温度等物理场量的分布,提供材料流动、模具充填、成型载荷、模具应力、纤维流向、缺陷形成、韧性破裂和金属微结构等信息,并提供模具仿真及其他相关的工艺分析数据。

本书详细介绍了 **Moldflow** 软件、**DYNAFORM** 软件和 **DEFORM** 软件的基本操作,网格前处理及实例分析。**Moldflow** 软件重点突出冷却水路创建、浇注系统的平衡设计、浇口位置的不同对熔接痕的影响等产品、工艺和模具的优化、设计方法。**DYNAFORM** 软件重点突出模面设计 (DFE) 和毛坯尺寸估算 (BSE)。体积成型 CAE 技术主要介绍了 **DEFORM** 软件及刚粘塑性有限元法基本原理,DEFORM-3D 软件的前处理、模拟计算及后处理,DEFORM-3D 分析案例。该书重点突出,内容全面,实例丰富,讲解详细,条理清晰。

本书由南京工程学院吴梦陵、张珑担任主编,吴梦陵编写了第 1、3、4、5、7 和 8 章,张珑编写了第 6 章,李振红担任副主编,编写了第 9、11、12 章,黄英娜编写了第 10 章,宿迁学院张俊编写了第 2 章的 1~3 节,安徽电子信息职业技术学院金敦水编写了第 2 章的 4~6 节,南京工程学院庄卫国编写了第 2 章的 7~8 节。同时,陈国栋等同学为本书提供了校稿工作,在此表示衷心的感谢。

在编写本书的过程中,得到电子工业出版社和 Moldflow 公司大中华区的关心和帮助,在此谨表谢意。在编写过程中也得到了南京工程学院以及兄弟院校、有关企业专家特别是南京志翔科技有限公司张廷军先生的大力支持和帮助,在此一并表示感谢,同时感谢所引用文献的作者,他们辛勤研究的成果也使得本教材增色不少。

由于编者水平有限,书中难免不当和错误之处,恳请使用本书的教师和广大读者批评指正。

本书素材范例的项目方案和部分范例的视频教学录像可在电子工业出版社的华信教育资源网站 (<http://www.hxedu.com.cn>) 上免费下载或可联系主编本人的邮箱 wmlzl@sina.com 进行索取。

目 录

第 1 章 注塑成型 CAE 技术	1	3.3 网格的划分	51
1.1 注塑成型 CAE 技术的发展	1	3.4 网格状态统计	54
1.2 注塑模 CAE 的发展趋势	5	3.5 网格处理工具	56
1.3 Autodesk Moldflow 软件介绍	6	3.6 网格缺陷诊断	65
第 2 章 Moldflow 用户界面及基本操作	11	3.7 网格处理实例	73
2.1 Moldflow 用户界面	11	第 4 章 浇口位置对熔接痕的影响	76
2.1.1 窗口分布及简要说明	11	4.1 熔接痕概述	76
2.1.2 菜单栏和工具栏	12	4.2 原方案熔接痕的分析	76
2.2 各菜单功能简介	14	4.2.1 项目创建和模型导入	76
2.2.1 文件操作	14	4.2.2 材料选择	84
2.2.2 编辑	15	4.2.3 工艺过程参数的设定和 分析计算	85
2.2.3 视图	16	4.3 改进原始方案	88
2.2.4 建模	17	4.3.1 增加加热系统后的分析	88
2.2.5 网格	18	4.3.2 分析计算	95
2.2.6 分析	18	4.3.3 结果分析	96
2.2.7 结果	19	4.4 对浇口位置和形式改变后的分析	98
2.2.8 报告	20	4.4.1 分析前处理	99
2.2.9 工具	20	4.4.2 分析计算和结果分析	108
2.2.10 窗口和帮助	20	第 5 章 Moldflow 分析实例	110
2.3 节点的创建	21	5.1 汽车轮罩	110
2.4 线的创建	24	5.1.1 制品材料	110
2.5 多模腔创建	28	5.1.2 型腔模型准备	111
2.6 浇口创建	33	5.1.3 浇注系统设计	111
2.6.1 浇口创建命令	33	5.1.4 小结	121
2.6.2 浇口属性设置	35	5.2 电视机后壳	121
2.6.3 浇口曲线与柱体单元划分	36	5.2.1 分析目的	121
2.7 冷流道浇注系统创建实例	36	5.2.2 制品材料	122
2.8 冷却水路创建	41	5.2.3 方案一	122
2.8.1 冷却水路手动创建命令	41	5.2.4 方案二	123
2.8.2 冷却水路属性设置	43	5.2.5 方案三	124
2.8.3 冷却水路曲线与柱体单元划分	45	5.2.6 小结	126
第 3 章 Moldflow 网格前处理	50	5.3 最佳进浇位置及数目	126
3.1 有限元方法概述	50	5.3.1 产品模型简介	126
3.2 网格的类型	51	5.3.2 塑料材料简介	127

5.3.3	浇注系统设计	127	6.3.9	辅助工具	161
5.3.4	成型条件简介	128	6.3.10	视图选项	162
5.3.5	结论与建议	134	6.3.11	分析	163
5.4	外罩壳体	135	6.4	后处理	164
5.4.1	制品流动模拟分析	135	6.4.1	后处理功能简介	164
5.4.2	制品材料	135	6.4.2	动画制作	166
5.4.3	型腔模型准备	136	第7章	模面工程和毛坯的排样	168
5.4.4	分析结果	137	7.1	模面工程	168
5.4.5	小结	142	7.1.1	导入零件几何模型及保存	168
第6章	DYNAFORM 软件及其基本操作	143	7.1.2	划分曲面网格	168
6.1	DYNAFORM 软件概述	143	7.1.3	检查并修补网格	169
6.1.1	DYNAFORM 主要特色	143	7.1.4	冲压方向调整	170
6.1.2	DYNAFORM 功能介绍	143	7.1.5	镜像网格	171
6.2	DYNAFORM 界面介绍	146	7.1.6	内部填充	172
6.2.1	菜单栏 (MENU BAR)	146	7.1.7	外部光顺	172
6.2.2	图标栏 (ICON BAR)	147	7.1.8	创建压料面	173
6.2.3	窗口显示 (DISPLAY WINDOW)	149	7.1.9	创建过渡面 (Addendum)	175
6.2.4	显示选项 (DISPLAY OPTIONS)	150	7.1.10	切割压料面	177
6.2.5	鼠标功能 (MOUSE FUNCTIONS)	151	7.1.11	展开曲面	178
6.2.6	规格 (SPECIFICATIONS)	151	7.2	毛坯的排样	180
6.2.7	几何数据 (GEOMETRY DATA)	152	7.2.1	单排 (One-up Nesting) 工具按钮	180
6.2.8	推荐命名规范 (RECOMMENDED NAMING CONVENTION)	152	7.2.2	对排 (Two-pair Nesting) 工具按钮 	183
6.2.9	对话框 (DIALOG BOXES)	152	7.2.3	其他排样工具	184
6.2.10	属性表 (PROPERTY TABLES)	153	7.3	工具的设定	184
6.3	DYNAFORM 软件的基本功能	154	7.4	实例分析	186
6.3.1	文件管理 (File)	154	第8章	盒形件拉深成型过程分析	190
6.3.2	零件层控制 (Parts)	155	8.1	创建三维模型	190
6.3.3	前处理 (PREPROCESS)	156	8.2	数据库操作	199
6.3.4	模面设计 (DFE)	157	8.3	网格划分	200
6.3.5	毛坯尺寸估算 (BSE)	158	8.4	快速设置	203
6.3.6	快速设置 (QS)	158	8.5	分析求解	207
6.3.7	工具定义	159	8.6	后置处理	208
6.3.8	选项菜单	160	第9章	DEFORM 软件介绍	211
			9.1	DEFORM 软件简介	211
			9.2	DEFORM 软件的特色	211
			9.3	DEFORM 软件的功能概览	212
			9.4	DEFORM 软件的主要模块	214
			9.5	DEFORM-3D 的主界面及基本操作	215

9.5.1	DEFORM-3D 主界面简介	216	第 11 章	DEFORM-3D 软件的模拟	
9.5.2	模具及坯料模型的建立	217		计算及后处理	247
第 10 章	DEFORM-3D 软件的前处理	219	11.1	模拟计算	247
10.1	DEFORM-3D 前处理主界面简介	219	11.2	DEFORM-3D 后处理主界面简介	249
10.2	File (文件) 菜单	220	11.3	Step (模拟步) 菜单	250
10.3	Input (输入) 菜单	221	11.4	Tools (分析工具) 菜单	251
10.3.1	Simulation controls (模拟控制)	221	11.5	显示属性设置区	257
10.3.2	Material (材料设置)	233	第 12 章	DEFORM-3D 模拟分析流程	261
10.3.3	Object Positioning (对象位置定义)	238	12.1	创建新项目	261
10.3.4	Inter-Object (物间关系定义)	238	12.2	设置模拟控制初始参数	262
10.3.5	Database (数据库生成)	240	12.3	创建对象	262
10.4	Viewport (视区) 菜单	242	12.3.1	坯料的定义	262
10.5	Display (显示) 菜单	242	12.3.2	上模具的定义	264
10.6	Model (模型) 菜单	243	12.3.3	下模具的定义	264
10.7	Options (选项) 菜单	243	12.4	网格划分	264
10.7.1	Environment (环境设置)	244	12.5	对象位置定义	267
10.7.2	Preferences (偏好设置)	245	12.6	定义材料	268
10.7.3	Display properties (显示设置)	245	12.7	定义模具运动方式	269
10.7.4	Graph properties (图表设置)	245	12.8	定义物间关系	270
10.8	对象设置区	246	12.9	设置模拟控制信息	271
			12.10	生成数据库	273
			12.11	分析求解	273
			12.12	后处理	274
			参考文献		276

第 1 章

注塑成型 CAE 技术

1.1 注塑成型 CAE 技术的发展

模具是生产各种工业产品的重要工艺装备。随着塑料工业的迅速发展以及塑料制品在航空、航天、电子、机械、船舶和汽车等工业部门的推广应用，塑料成型模的作用也越来越重要。而塑料注射成型又是塑料成型生产中自动化程度最高、采用最广泛的一种成型方法。它能成型形状复杂、精度要求高的制品，具有生产效率高、成本低、产品质量好的优点。

注射模成型工艺发展了近 50 年，注塑成型分两个阶段，即开发/设计阶段（包括产品设计、模具设计和模具制造）和生产阶段（包括购买材料、试模和成型）。注塑成型是一个复杂的加工过程，同时由于材料本身的特性，塑料制品的多样性、复杂性和工程技术人员经验的局限性，缺乏理论的有效指导等因素，长期以来，工程技术人员很难精确地设置制品最合理的加工参数，选择合适的塑料材料和确定最优的工艺方案。模具技术人员只能依据自身经验和简单公式设计模具和制定成型工艺。设计的合理性只能通过试模才能知道，而制造的缺陷主要靠修模来纠正，即依赖于经验及“试错法”，即：设计→试模→修模，如图 1-1 所示。这类经验的积累需要几年至十几年，以时间和金钱为代价并且不断重复。同时模具开发的周期长，成本高，模具及工艺只是“可行”的，而非“优化”的，市场需求的变化会使原来的经验失去作用，市场经济使得传统的设计方法逐步丧失竞争力。随着新材料和新成型方法的不断出现，问题更加突出。而在实际生产中，对于大型、复杂、精密模具，仅凭有限的经验难以对多种影响因素作综合考虑和正确处理，传统方法已无法适应现代塑料工业蓬勃发展的需要。

计算机辅助工程（Computer Aided Engineering）是广义 CAD/CAM 中的一个主要内容。模具成型计算机辅助分析已成为塑料产品开发、模具设计及产品加工中这些薄弱环节最有效的途径。注塑 CAE 技术是 CAE 技术中一个重要的组成部分，是一种专业化的有限元分析技术，注射模 CAE 技术建立在科学计算基础上，融合计算机技术、塑料流变学、弹性力学、传热学的基本理论，建立塑料熔体在模具型腔中流动、传热的物理、数学模型，利用数值计算理论构造其求解方法，利用计算机图形学技术在计算机屏幕上形象、直观地模拟出实际成型中熔体的动态填充、冷却等过程，定量地给出成型过程中的状态参数（如压力、温度、速度等）。将试模过程全部用计算机进行模拟，并显示出分析结果。利用计算机在模具设计阶段对各种设计方案进行比较和评测，在设计阶段及时发现问题，避免了在模具加工完成后在试模阶段才能发现问题的尴尬。

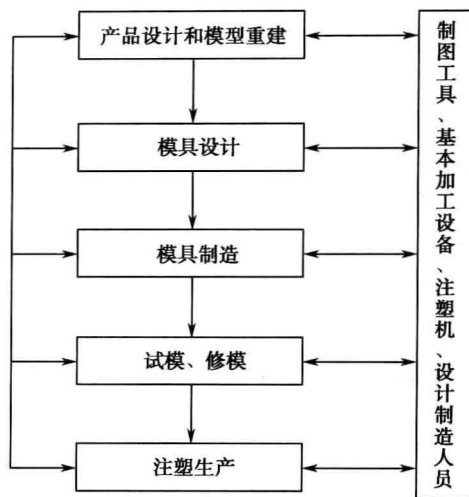


图 1-1 传统模具开发流程

成型过程数值模拟是模具 CAE 中的基础，目前所采用的数值模拟方法主要有两种：有限元法和有限差分法；一般在空间上采用有限元法，而当涉及时间时，则运用有限差分法。CAE 软件的应用过程如图 1-2 所示。首先根据制品的几何模型剖分具有一定厚度的三角形单元，对各三角形单元在厚度方向上进行有限差分网格剖分，在此基础上，根据熔体流动控制方程在中性层三角形网格上建立节点压力与流量之间的关系，得到一组以各节点压力为变量的有限元方程，求解方程组得到节点压力分布数据，同时将能量方程离散到有限元网格和有限差分网格上，建立以各节点在各差分层对应位置的温度为未知量的方程组，求解方程组得到节点温度在中性层上的分布及其在厚度方向上的变化，由于压力与温度通过熔体黏度互相影响，因此必须将压力场与温度场进行迭代耦合。

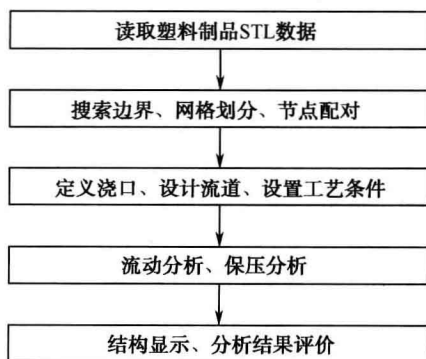


图 1-2 CAE 软件的应用过程

数值分析采用有限元/有限差分混合法，其基本步骤是：根据前一时间步的压力场计算出流入各节点控制体积的流量，根据节点控制体积的充填状况更新流动前沿，在此基础上根据能量方程计算当前时刻的温度场，再根据温度场计算熔体的黏度和流动率等，形成压力场的整体刚度矩阵，为保证新引入的边界条件，需要对整体刚度矩阵进行修正，求解压力方程组得到节点压力分布数据。由于流动率的计算依赖于压力分布，因此压力场控制方程是非线性方程，需

对压力场进行迭代求解,重复上述计算过程直到整个型腔被充满。充模流动模拟的数值计算过程如图 1-3 所示。

注塑成型流动模拟技术不断的改进和发展,经历了从中面流技术到双面流技术再到实体流技术这三个具有重大意义的里程碑。

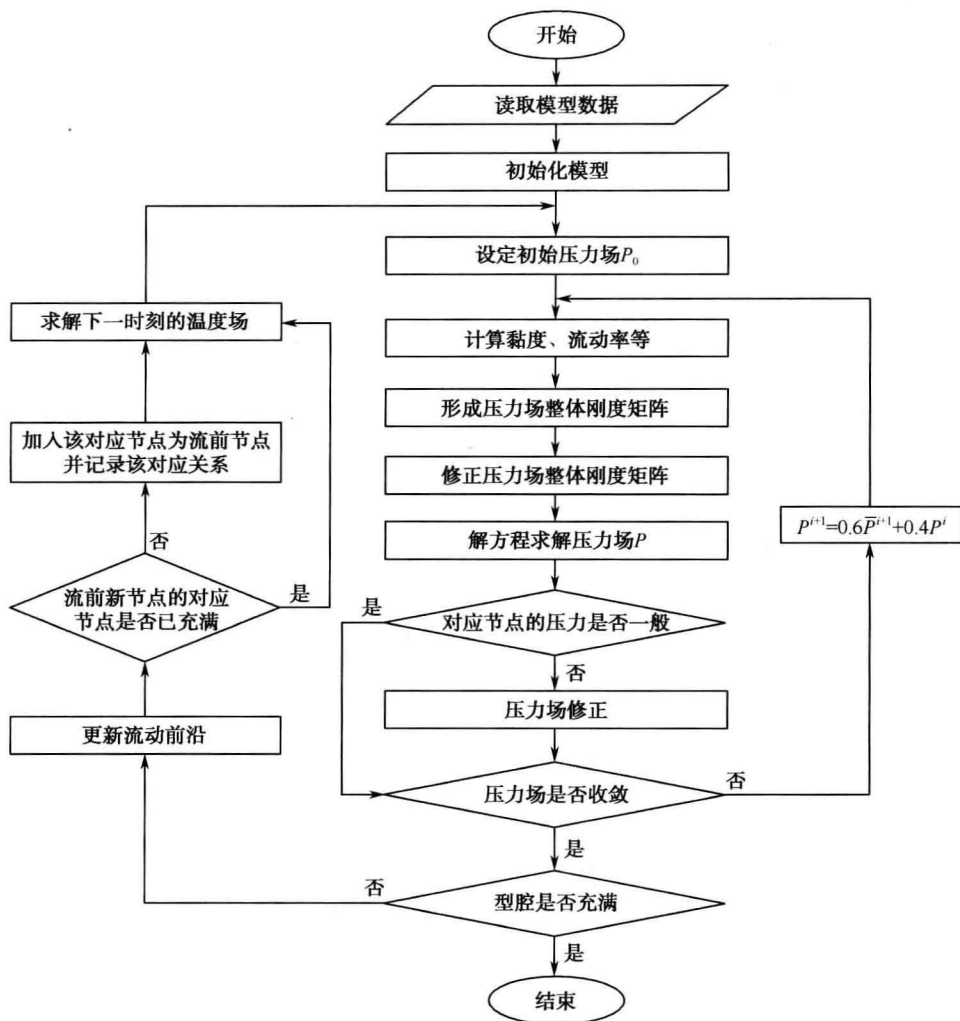


图 1-3 充模流动模拟的数值计算过程图

(1) 中面流技术

中面流技术的应用始于 20 世纪 80 年代。其数值方法主要采用基于中面的有限元/有限差分/控制体积法。所谓中面是需要用户提取的位于模具型腔面和型芯中间的层面,基于中面流技术的注塑流动模拟软件应用的时间最长、范围也最广,其典型软件有国外 Moldflow 公司的 MF 软件,原 AC-Tech 公司(已被 Moldflow 公司并购)的 C-Mold 软件;国内华中科技大学国家模具技术国家重点试验室的 HSCAE-F3.0 软件。实践表明,基于中面流技术的注塑成型流动软件在应用中具有很大的局限性,具体表现为:①用户必须构造出中面模型,采用手工操作直接由实体/表面模型构造中面模型十分困难;②独立开发的注塑成型流动模拟软件(如

上述的 Moldflow、C-Mold 和 HSCAE-F3.0 软件)造型功能较差,根据产品模型构造中面往往需要花费大量的时间;③由于注塑产品的千变万化,由产品模型直接生成中面模型的 CAD 软件的成功率不高、覆盖面不广;④由于 CAD 阶段使用的产品模型和 CAE 阶段使用的分析模型不统一,使二次建模不可避免, CAD 与 CAE 系统的集成也无法实现。由此可见,中面模型已经成为注塑模 CAD/CAE/CAM 技术发展的瓶颈,采用实体/表面模型来取代中面模型势在必行,因此,在 20 世纪 90 年代后期基于双面流技术的流动模拟软件便应运而生。

(2) 双面流技术

双面流是指将模具型腔或制品在厚度方向上分成两部分,有限元网格在型腔或制品的表面产生,而不是在中面。相应地,与基于中面的有限差分法是在中面两侧进行不同,厚度方向上的有限差分仅在表面内侧进行。在流动过程中上下两表面的塑料熔体同时并且协调地流动。显然,双面流技术所应用的原理与方法与中面流没有本质上的差别,所不同的是双面流采用了一系列相关的算法,将沿中面流动的单股熔体演变为沿上下表面协调流动的双股流。由于上下表面处的网格无法一一对应,而且网格形状、方位与大小也不可能完全对称,如何将上下对应表面的熔体流动前沿所存在的差别控制在工程上所允许的范围内是实施双面流技术的难点所在。

目前基于双面流技术的注塑流动模拟软件主要是接受三维实体/表面模型的 STL 文件格式。该格式记录的是三维实体表面在经过离散后所生成的三角面片。现在主流的 CAD/CAM 系统,如 UG、Pro/E、SolidWorks、AutoCAD 等,均可输出 STL 格式文件。这就是说,用户可借助于任何商品化的 CAD/CAM 系统生成所需制品的三维几何模型的 STL 格式文件,流动模拟软件可以自动将该 STL 文件转化为有限元网格模型供注塑流动分析,这样就大大减轻了使用者建模的负担,降低了对使用者的技术要求。因此,基于双面流技术的注塑流动模拟软件问世时间虽然只有短短数年,便在全世界拥有了庞大的用户群,并得到了广大用户的支持和好评。双面流技术具有明显优点的同时也存在着明显的缺点:分析数据的不完整。双面流技术在模拟过程中虽然计算了每一流动前沿厚度方向的物理量,但并不能详细地记录下来。由于数据的不完整,造成了流动模拟与冷却分析、应力分析、翘曲分析集成的困难。此外,熔体仅沿着上下表面流动,在厚度方向上未作任何处理,缺乏真实感。

(3) 实体流技术

从某种意义上讲,双面流技术只是一种从二维半数值分析(中面流)向三维数值分析(实体流)过渡的手段。要实现塑料注射制品的虚拟制造,必须依靠实体流技术。实体流技术在实现原理上仍与中面流技术相同,所不同的是数值分析方法有较大差别。在中面流技术中,由于制品的厚度远小于其他两个方向(常称流动方向)的尺寸,塑料熔体的黏度大,可将熔体的充模流动视为扩展层流,于是熔体的厚度方向速度分量被忽略,并假定熔体中的压力不沿厚度方向变化,这样才能将三维流动问题分解为流动方向的二维问题和厚度方向的一维分析。流动方向的各待求量,如压力与温度等,用二维有限元法求解,而厚度方向的各待求量和时间变量等,用一维有限差分法求解。在求解过程中,有限元法与有限差分法交替进行,相互依赖。在实体流技术中熔体的厚度方向的速度分量不再被忽略,熔体的压力随厚度方向变化,这时只能采用立体网格,依靠三维有限差分法或三维有限元法对熔体的充模流动进行数值分析。因此,与中面流或双面流相比,基于实体流的注塑流动模拟软件目前所存在的最大问题是计算量巨大、计算时间过长,诸如电视机外壳或洗衣机缸这样的塑料制品,用现行软件,在目前配置最好的计算机上仍需要数百小时才能计算出一个方案。如此冗长的运行时间与虚拟制造的宗旨大相径

庭, 塑料制品的虚拟制造是将制品设计与模具设计紧密结合在一起的协同设计, 追求的是高质量、低成本和短周期。如何缩短实体流技术的运行时间是当前注塑成型计算机模拟领域的研究热点和当务之急。

1.2 注塑模 CAE 的发展趋势

随着科学技术的迅速发展, 互联网技术的普及和全球信息化, 注塑模 CAE 技术功能进一步扩充, 性能也进一步提高, 呈现出如下的发展趋势。

(1) 用三维实体模型取代中心层模型

3D 分析(实体流技术)正在被应用到共注塑成型、多次注射成型、气体辅助成型、组合模腔成型和叠模成型。仿真软件分析三维的纤维取向和翘曲, 3D 分析非常重要。因为 2.5D(双面流技术)只能表明纤维在一个平面上的取向, 而 3D 可以表明纤维在各个角度的取向。3D 分析提供的信息是 2.5D 所无法比拟的, 像湍流与层流的辨识, 熔融物料中的气泡, 喷射和重力的影响等。3D 模拟还可以了解模具本身的情况。在 2.5D 模拟中, 在模具中嵌入一个镶件后, 需要生成相应网格, 然后观察热量是怎样传递这个镶件的。但是在 3D 模拟中, 当进入模型, 就可以观察到温度的变化。台湾的 Moldex 3D 和德国的 Sigmasoft 软件几乎都无一例外地专注于 3D 领域。Moldflow 为其最新的 Moldflow Plastics Insight 分析软件包开发了几种新模块, 包括预测纤维取向、翘曲和厚壁制品中的热—机械性能分析的 MPI 3D 模块。Moldflow 在其 3D 软件中扩展了创建热固性塑料制品模型的能力。Moldflow Plastics Insight 分析软件包支持 64bit 计算机, 可以较快地创建大的模型。如图 1-4 所示为 Moldflow 提供的三种有限单元模型。

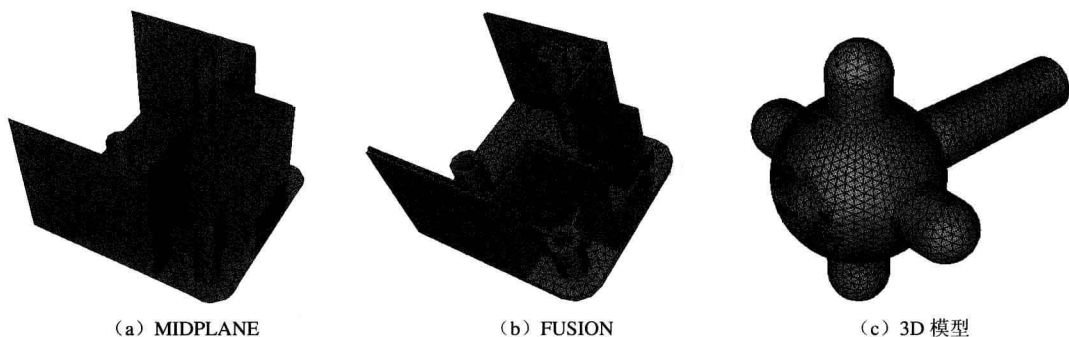


图 1-4 Moldflow 的三种有限单元模型

(2) 有限元、有限差分、控制体积方法的综合运用

注塑制品是薄壁制品, 制品厚度方向的尺寸远小于其他两个方向的尺寸, 温度等物理量在厚度方向的变化又非常大, 若采用单纯的有限元或有限差分法势必造成分析时间过长, 无法满足模具设计与制造的实际需要。在流动平面采用有限元法, 在厚度方向采用有限差分法, 分别建立与流动平面和厚度方向尺寸相适应的网格并进行耦合求解, 在保证计算精度的前提下使得计算速度满足工程的需要, 并采用控制体积法解决了成型中的移动边界问题。对于内外对应表面存在差异的制品, 可划分为两部分体积, 并各自形成控制方程, 通过在交接处进行插值对比保证这两部分的协调。

(3) 数值计算与人工智能技术的结合

优选注塑成型工艺参数一直是广大模具设计人员关注的问题,传统的 CAE 软件虽然可以在计算机上仿真出指定工艺条件下的注塑成型情况,但无法自动对工艺参数进行优化。使用人员必须设置不同的工艺条件进行多次 CAE 分析,并结合实际经验在各方案之间进行比较,才能得出较满意的工艺方案。同时,在对零件进行 CAE 分析后,系统会产生有关该方案的大量信息(制品、工艺条件、分析结果等),其中分析结果往往以各种数据场的形式出现,要求用户必须具备分析和理解 CAE 分析结果的能力,所以传统的 CAE 软件是一种被动式的计算工具,无法提供给用户直观、有效的工程化结论,对软件使用者的要求过高,从而影响了 CAE 系统在更大范围内的应用和普及。

(4) 制品与流道系统的三维流动保压集成分析

流道系统一般采用圆柱体单元,而制品采用的是三角形单元,注塑模 CAE 系统可以采用半解析法解决混合单元的集成求解问题,这样,不仅能分析一模一腔大型复杂的制品,而且能够分析一模多腔小型精密制品,大大拓宽了系统的使用范围。

(5) 塑料制品熔合纹预测的高效算法

熔合纹对制品的强度、外观等有重要影响,但准确预测熔合纹位置也是仿真软件的难题。注塑模 CAE 系统通过节点特征模型方法大大提高了熔合纹预测的准确性和效率。并利用神经网络方法对熔合纹的影响程度做出定性评价,为用户对成型质量的评估提供了直接的判断依据。

注塑模 CAE 技术的发展,给模具行业带来了一场技术革命。但因为塑料熔体是假塑性液体,制品结构复杂,成型充模流动过程的非稳态、非等温性,使充模过程的数值模拟相当复杂,所以在程序实现时作了一些假设,建模过程进行了适当简化,这样计算结果精度与实际结果会有偏差,然而总体趋势与实际结果是一致的。由于进行 CAE 分析时还要重新建模,不能充分利用产品设计的三维模型,造成重复劳动。国外注射模软件商已开始着手于集成化的 CAD/CAE 技术研究,并有商品化软件形成。虽然这些软件能识别 CAD 的三维图形,但集成的 CAD/CAE 软件本身不具备建立浇注系统、冷却管网等的功能,使分析应用范围大大减小。

1.3 Autodesk Moldflow 软件介绍

Moldflow 软件是 Moldflow 公司的产品,该公司自 1976 年发行了世界上第一套塑料注塑成型流动分析软件以来,几十年来以不断的技术改革和创新一直主导着 CAE 软件市场。2000 年 4 月, Moldflow 公司收购了另一个世界著名的塑料成型分析软件 C-MOLD,提出了“进行广泛的注塑过程分析”的理念。2008 年 6 月 13 日设计软件厂商欧特克公司 (Autodesk, Inc.) 宣布完成收购 Moldflow 公司,并将进一步集成现有全球性支持机制及经销合作伙伴,持续为 Moldflow 客户提供产品维护及服务;现持有 Moldflow 维护合约 (Maintenance Agreement) 的客户,将转入 Autodesk Subscription 产品维护及服务合约之中。借助收购专业模流分析软件 Moldflow 公司,将有助于 Autodesk 为企业提供完善的塑胶元件最佳化设计工具,并进一步拓展现有数字化原型 (Digital Prototyping) 方案之技术产品完整性。Moldflow 软件为企业产品的设计及制造的优化提供了整体的解决方案,帮助工程人员轻松地完成整个流程中各个关键点的优化工作。

在产品的设计及制造环节, Moldflow 提供了两大模拟分析软件: AMA(Autodesk Moldflow, Moldflow, 塑件顾问)和 AMI(Autodesk Moldflow Insight, Moldflow 高级成型分析专家)。

AMI 致力于解决与塑料成型相关的广泛的设计和制造问题,对生产塑胶产品和模具的各种成型包括一些新的成型方式,它都有专业的模拟工具。软件不但能够模拟最普通的成型,还可以对为满足苛刻设计要求而采取的独特的成型过程来模拟。在材料特性、成型分析、几何模型等方面技术的领先,让 AMI 代表最前沿的塑料模拟技术,帮助我们缩短开发周期,降低成本,并且让团队可以有更多的时间去创新。

AMI 包含了最大的塑胶材料数据库,用户可以查到超过 8000 种商用塑胶的最新、最精确的材料数据,因此可放心地评估不同的备选材料或者预测最终应用条件苛刻的成型产品的性能。软件中也可以看到能量使用指示和塑胶的标识,因此可以更进一步地降低材料能量并且选择对可持续发展有利的材料。

AMI 赋予设计者深入的分析能力并且帮助他们解决最困难的制造问题。由于分析结果高度可信,甚至对于最复杂的产品模型,AMI 也能够使设计者在模具制造前预测制造缺陷,真正地减少费时、费钱的修模工作。通过完善的控制分析过程参数和广泛的可定制的结果,AMI 能够将分析结果和实际成型条件精确关联,帮助预测潜在问题并采取改善措施去避免。一旦分析完成,可以使用自动报告生成工具制成普遍格式(HTML, Microsoft Word, PowerPoint)的报告,这样就可以和设计者、制造团队的其他人员分享有价值的模拟结果,提高协同性,使开发更流畅。

不同的产品提供不同的功能性级别, Autodesk 致力于帮助 CAE 分析师、塑胶产品设计者、模具制造者去创建精准的数字样机,从而花更少的费用使更好的产品推向市场。

Autodesk 是世界领先的工程软件提供商之一,它提供的软件能帮助企业在产品还没有正式生产之前体验其创意。通过为主流制造商提供强大的数字样机技术, Autodesk 正在改变制造商思考设计流程的方式,帮助他们创建更加高效的工作流程。Autodesk 的数字样机方案具有独一无二的可扩展、可实现、经济高效的解决方案,支持为数众多的制造商在几乎不改变现有工作流程的前提下,享受到数字样机带来的益处,并能够以直观的方式在多种工程环境中创建和维护单个数字模型。

Moldflow 整体解决方案随着塑料工业以及和塑料相关产业的蓬勃发展,塑料行业的竞争日趋激烈,一方面原材料价格及人力成本不断上涨,另一方面产品的销售价格不断下降而产品的质量、功能等要求不断的提高,交货周期要求更短。为适应市场的要求,许多企业都进行了技术创新,引进了高精尖的硬件设备,比如高档的注塑机,自动化的辅助系统,并解决了很多难题和创造了相当大的效益,但硬件能充分发挥的前提是设计优化。但目前大多数企业的产品设计、模具设计及产品制造的各环节分布在不同公司、不同地域或同一公司的不同部门,产品设计和模具设计主要独立地靠经验来完成,设计阶段很少系统地考虑制造的问题。这样没有经过优化的设计方案势必会导致制造成本的增加和开发周期的延误,因此要提升业界的技术水平,持续地降低制造成本,就必须将产品设计、模具设计和产品制造,供应商评估等资源进行有效地整合。而 Moldflow 正是为企业整合制造链的有效工具。经过 30 多年的持续努力和发展, Moldflow 已成为全球塑料行业公认的分析标准。AMA 简便易用,能快速响应设计者的分析变更,因此主要针对注塑产品设计工程师、项目工程师和模具设计工程师,用于产品开发早期快速验证产品的制造可行性, AMA 主要关注外观质量(熔接线、气穴等)、材料选择、结构优化

(壁厚等)、浇口位置和流道(冷流道和热流道)优化等问题。AMI 主要用于注塑成型的深入分析和优化,是全球应用最广泛的模流分析软件。AMI 不仅可以考虑传统注塑问题,还可分析双色注塑(Over-Molding)、气体辅助注射(Gas-assistant Molding)、共注成型(Co-Injection)、注压成型(Injection-Compression)、发泡注射成型(Mucell)、光学的双折射分析(Birefringence)等问题。近期兴起的热流道动态进料系统也可在 AMI 中进行模拟,此外还可分析热固性材料的反应成型以及电子芯片的封装成型。AMI 广泛用于汽车、医疗、3C、航空航天以及封装等所有与塑料相关的行业。

2009 年 7 月 7 日,欧特克公司宣布将推出最新版本的 Autodesk Moldflow 2010 软件。欧特克制造业解决方案部负责数字工厂和工业设计的全球副总裁 Samir Hanna 先生表示:“我们致力于帮助制造商减少差错,提高注塑模具的性能表现,从而提高塑料产品的质量,加快产品上市的速度。第一版的 Autodesk Moldflow 2010 软件简化了我们的产品线,让客户能以较低的成本获得更多的价值。而第二版 Autodesk Moldflow 2010 软件的推出将为客户带来前所未有的仿真分析精确度,从最初的产品设计一直到制造加工,客户可以随时解决问题,优化他们的塑料产品。”

(1) 最新版功能

此次发布的第二版 Autodesk Moldflow 2010 软件产品的新增和强化功能包括:

1) CAD 集成性更强。欧特克增强了 Autodesk Moldflow Insight 2010 对多种 CAD 应用程序的支持。目前, Autodesk Moldflow Adviser 和 Autodesk Moldflow Insight 软件能直接导入由 Autodesk Inventor 软件创建或修改的 CAD 模型。Autodesk Moldflow Insight 用户可以一次性导入部分或全部组件。一旦 CAD 模型导入完毕,用户即可完全控制网格处理,并可对需要进一步细化处理的特定点进行表面网格细化,同时维持其余部分的粗化状态不变。

2) 精确度更高。塑料产品的三维模型网格划分技术的改善直接提高了设计和加工的预测精度。例如,在零件从厚转薄的部分,以及在转角和边缘部分,软件能够提供更好的网格质量。

3) 速度更快。单一的三维模流分析使用多个中央处理器(CPU)内核,可充分发挥硬件升级带来的好处。多线程技术将 Autodesk Moldflow 软件的分析速度提高了两倍(取决于模型)。Autodesk Moldflow 软件还率先将 NVIDIA 公司尖端的 GPU 技术与多个 CPU 内核结合使用,从而进一步提高了分析计算速度。

(2) 高级成型分析功能特性

Moldflow 的产品用于优化制件和模具设计的整个过程,提供了一个整体解决方案。Moldflow 软、硬件技术为制件设计、模具设计、注塑生产等整个过程提供了非常有价值的信息和建议。AMI 在功能上可以划分为:

1) API/FUSION(双层面网格模型),分析形状特征复杂之薄壳类塑胶零件。它基于 Moldflow 的独家专利的 Dual Domain(双层面)分析技术,直接从 CAD 软件中提取实体表面产生网格。FUSION 网格大大降低前期网格处理时间,能快速对产品进行流动、冷却、翘曲等分析。它以最快的网格处理及最佳的网格质量和准确的分析结果成为应用广泛的薄壁件分析的网格形式。

2) API/3D(3D 实体模型)即模拟粗厚件产品的塑料流动分析。

3) API/Midplane(中间面网格模型),分析肉厚较均匀之薄壳类塑胶零件。它提取实体壁厚的中间面作为网格外形,并赋予它厚度,使用较少的网格数目快速分析得到最精确的分析结果。

4) AMI/Flow 模拟热塑性材料注塑成型过程的填充和保压阶段,以便预测塑料熔体的流动行为,从而可以确保可制造性。使用 AMI/Flow 可以优化浇口位置、平衡流道系统、评估工艺条件以获得最佳保压阶段设置来提供一个健全的成型窗口,并确定和更正潜在的制品收缩、翘曲等质量缺陷。

5) AMI/Gas 模拟气体辅助注塑成型,这种成型方法是将气体(通常为氮气)注入树脂熔料中,气体推动树脂流进型腔完成模具填充,并在整个组件内创建一个中空通道。AMI/Gas 分析结果可帮助确定树脂和气体入口位置、气体注入之前要注塑的塑料体积以及气道的最佳尺寸及位置。

6) AMI/Co-Injection 模拟连续的协同注塑过程,即首先注塑表层材料,然后注塑不同的芯层材料。分析结果中可以查看型腔中材料推进情况,并在填充过程中查看表层和芯层材料之间的动态关系。使用结果可优化两种材料的组合,从而使产品的总体性价比最大。

7) AMI/Injection Compression 模拟树脂注入和模具压缩同时发生和连续发生的过程,并可对注入树脂之前,期间或之后开始的压缩阶段进行优化。分析结果全面评估可选的材料、零件设计、模具设计以及工艺条件。

8) AMI/MuCell 模拟微孔发泡(MuCell)注塑成型工艺,即将某种超临界液体(如二氧化碳或氮)与融化的树脂混合在一起,并将其注入模具来产生微孔泡沫。通过 AMI/MuCell 可以评估使用此工艺与传统注塑成型的可行性和优点。另外,也可以通过查看各种分析结果来优化产品设计和工艺设置。

9) AMI/Design-of-Experiments 可以执行一系列自动化分析,改变初始指定参数,例如,模具和熔体温度、注射时间、保压压力和时间以及产品壁厚。此模块分析出来的结果可以帮助优化工艺参数和最终成型的产品质量。结果可用于查看收缩率、注射压力、锁模力和熔料流动前沿温度以及充填时间、压力和温度分布等。

10) AMI/Cool 提供用于对模具冷却回路、镶件和模板进行建模以及分析模具冷却系统效率的工具。可以优化模具及冷却回路设计,获得均匀的冷却效果,最小化循环周期,消除由于冷却因素造成的产品翘曲,从而降低模具总体制造成本。

11) AMI/Warp 帮助预测由于工艺引起的应力所导致的塑料产品的收缩和翘曲,也可以预测由于不均匀压力分布而导致的模具型芯偏移,明确翘曲原因,查看翘曲将会发生的区域,并可以优化设计、材料选择和工艺参数以在模具制造之前控制产品变形。

12) AMI/Fiber 帮助预测由于含纤维塑料的流动而引起的纤维取向及塑料/纤维复合材料的合成机械强度。了解和控制含纤维塑料内部的纤维取向是很重要的,这可以减小成型产品上的收缩不均,从而减小或消除产品的翘曲。

13) AMI/Shrink 基于工艺条件和具体的材料数据,能预测树脂收缩率,并且能正确预测出独立于翘曲分析的线性收缩率。因为塑料产品冷却时会收缩,因此在设计模具时,有必要计算出这个收缩量,以便满足主要产品公差。

14) AMI/Stress 预测受到各种形式的外部载荷时,塑料产品的成型后性能。该分析考虑注塑成型期间塑料流动的影响,以及产品成型后的综合机械性能。

15) AMI/Fill 可以获得最佳浇注系统设计。主要用于查看制件的填充行为是否合理,填充是否平衡,能否完成对制件的完全填充等。它的分析结果包括填充时间、压力、流动前沿温度、分子趋向、剪切速率、气穴、熔接线等。分析结果有助于选择最佳浇口位置、浇口数目、最佳

浇注系统布局。

16) AMI/Gate Location 系统自动分析出最佳浇口的位置。如果模型需要设置多个浇口时,可以对模型进行多次浇口位置分析。当模型已经存在一个或者多个浇口,可以进行浇口位置分析,系统会自动分析出附加浇口的最佳位置。

17) AMI/Runner Balance 可以帮助判断流道是否平衡并给出平衡方案,对于一模多腔或者组合型腔的模具来说,熔体在浇注系统中流动的平衡性是十分重要的,如果塑料熔体能够同时到达并充满模具的各个型腔,则称此浇注系统是平衡的。平衡的浇注系统不仅可以保证良好的产品质量,而且可以保证不同型腔内产品的质量一致性。它可以保证各型腔的填充在时间上保持一致,保证均衡的保压,保持一个合理的型腔压力和优化流道的容积,节省充模材料。

18) AMI/Molding Window 帮助定义能够生产合格产品的成型工艺条件范围。如果位于这个范围,则可以生产出好质量的制件。除以上分析类型外,AMI 还能够对热固性反应成型进行模拟,同时也可以对同一个产品模型进行多个类型的综合分析。比如,当我们需要了解产品的流动及翘曲等情况时,通常会使用 AMI/Flow+Warp 分析功能,这时 AMI 的 Flow 和 Warp 这两个分析功能就会同时进行。