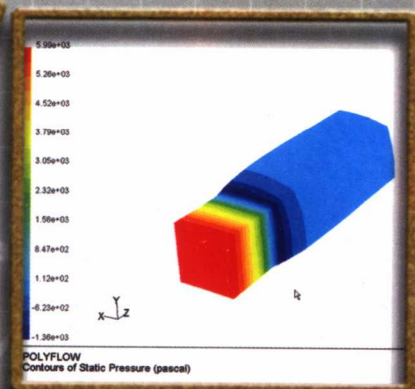
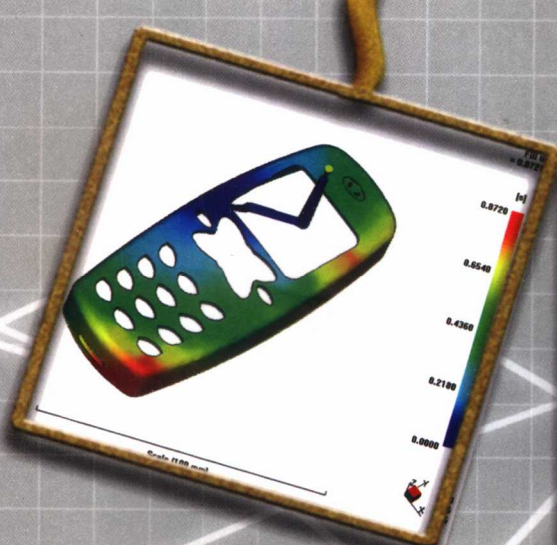


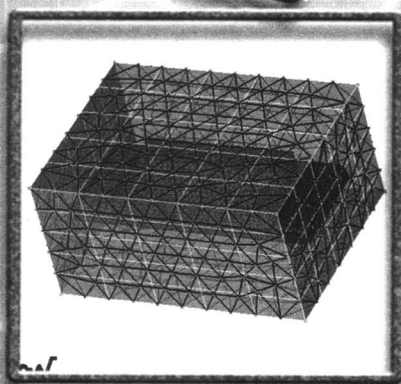
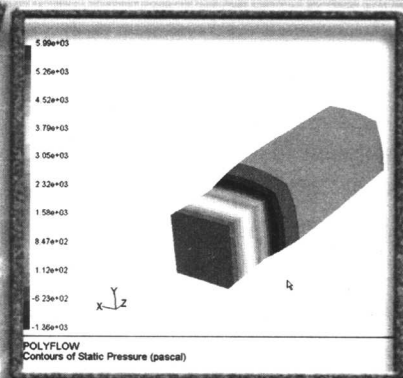
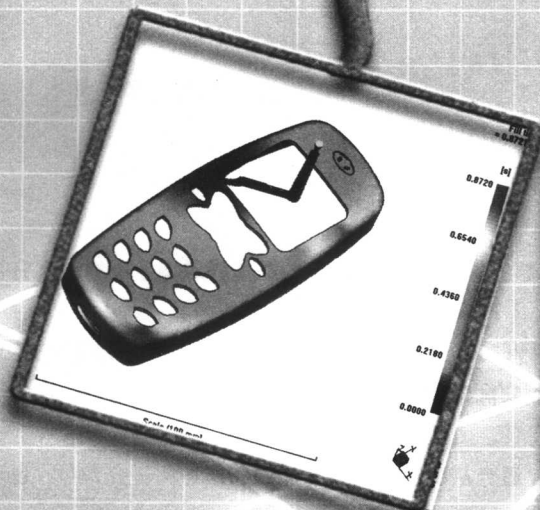


塑料成型模拟软件技术

Moldflow *POLYFLOW* 基础与应用

马文琦 孙红镜 等编著

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



塑料成型模拟软件技术

Moldflow *POLYFLOW* 基础与应用

马文琦 孙红镜 等编著



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

Moldflow 与 POLYFLOW 软件是两款著名塑料成型分析软件,在塑料成型分析领域享有很好的声誉,并且在国内外拥有大量的用户。

本书分两部分来编写,第1章至第4章为 Moldflow 部分,第5章至第12章为 POLYFLOW 部分。本书以具体的分析案例为依托,根据实际工作中的经验和体会编写,力求实用、讲解清晰,充分满足读者的使用需求。

本书图文并茂、循序渐进、注重实用,适合从事塑料成型工作的工作者和研究人员,也适合各类院校相关专业的师生作为教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

塑料成型模拟软件技术基础与应用/马文琦,孙红镡等
编著. —北京:中国铁道出版社,2006.9

(入门与典型实例)

ISBN 7-113-07493-6

I. 塑... II. ①马... ②孙... III. 塑料成型—数值
模拟—应用软件 IV. TQ320.66-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 115726 号

书 名: 塑料成型模拟软件技术基础与应用

作 者: 马文琦 孙红镡 等

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

策划编辑: 严晓舟 李晶璞

责任编辑: 苏 茜 吴 楠 包 宁

封面设计: 路 瑶

责任校对: 李 旸

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16 印张: 23 字数: 559 千

版 本: 2006 年 10 月第 1 版 2006 年 10 月第 1 次印刷

印 数: 1~4000 册

书 号: ISBN 7-113-07493-6/TP·2065

定 价: 48.00 元(含盘)

版权所有 侵权必究

本书封面贴有中国铁道出版社激光防伪标签,无标签者不得销售

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社计算机图书批销部调换。

前言

近年来,随着塑料成型加工模拟技术的快速发展,涌现出很多优秀的商品化 CAE 软件。在塑料制品生产前,使用模拟软件可以发现制品结构、模具和成型工艺等方面存在的问题,从而修改设计方案,有效地降低生产成本、提高制品质量、缩短生产周期。在现有塑料成型加工模拟软件中, Moldflow 和 POLYFLOW 是两款应用较为广泛的模拟软件。

Moldflow 软件是美国 Moldflow 公司研发的用于注塑成型分析的软件,在注塑成型分析领域享有很好的声誉,并且在国内外拥有大量的用户。Moldflow 公司的主要产品有 MPA (Moldflow Plastics Advisers)、MPI (Moldflow Plastics Insight)、MMS (Moldflow Manufacturing Solutions)。2005 年 12 月, Moldflow 公司发布了 MPI 最新版本 MPI 6.0。

POLYFLOW 软件是美国 FLUENT 公司的主要产品,是基于有限元法的计算机流体动力学(CFD)软件,专用于粘弹性材料的流动模拟,特别适合于求解热传导、挤出成型、吹塑成型、模压成型、共混等问题。POLYFLOW 软件包括 GAMBIT、POLYMAT、POLYDATA、POLYSTAT 和 FLUENT/Post 共 5 个模块。

目前,塑料成型加工模拟软件 Moldflow 和 POLYFLOW 应用虽较为广泛,但是,全面系统介绍这方面知识的教程非常少,尤其是 POLYFLOW,国内还没有相关的中文教程。鉴于此,编者自从购进正版 Moldflow 和 POLYFLOW 软件以来,做了很多具体的分析实例,根据实际工作经验和体会,编写了此书,本书力求内容实用、讲解清晰,满足读者的需求。

本书分为两部分,其中第 1 章~第 4 章为 Moldflow 软件部分,第 5 章~第 12 章为 POLYFLOW 软件部分。第 1 章介绍了注塑成型的基本理论;第 2 章详细介绍了 MPI 用户界面;第 3 章详细讲解了 MPI 的操作流程;第 4 章结合几个具体的实例;使用户直观地体会 MPI 在注塑模拟分析中的指导意义;第 5 章介绍了 POLYFLOW 分析的基本理论;第 6 章全面介绍了 POLYFLOW 软件及其组成模块;第 7 章介绍了 POLYFLOW 操作流程;第 8 章~第 11 章分别介绍了前处理模块 GAMBIT、主控程序 POLYMAN、数据源模块 POLYDATA 和后处理模块 FLUENT/Post;第 12 章介绍了 POLYFLOW 在热传导、挤出成型、吹塑成型、共混等工程应用中的典型实例。

全书由马文琦、孙红镱等编著,参加编写人员有马文琦(第 1 章~第 4 章)、孙红镱(第 5 章、第 6 章和第 8 章)、孙萌(第 9 章和第 10 章)、张伟(第 7 章、第 12 章)和孙干(第 11 章)。在本书的编写过程中,衷心感谢哈尔滨理工大学副校长、博士生导师赵洪教授,材料学院院长郭二军教授,材料学院党总支书记、博士生导师孙凤莲教授以及哈尔滨学院数学与计算机学院院长贾宗福教授给予的大力支持和帮助,同时对刘公伟、卢演芝、岳燕星等同志在本书的编写过程中所做的大量前期准备工作表示感谢。最后,还要感谢 Moldflow 中国上海办事处和北京海基科技发展有限责任公司对本书编写的大力支持。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,希望读者提出宝贵意见和建议。

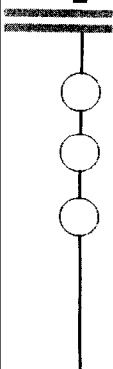
编者

2006 年 7 月

目 录

第 1 章	Moldflow 基本理论	1
1-1	注塑成型技术	1
1-1-1	注塑成型原理	1
1-1-2	注塑成型周期	1
1-1-3	注塑成型装置	2
1-1-4	注塑成型模具设计	3
1-2	注塑成型中的质量缺陷	4
1-2-1	滞流	4
1-2-2	过保压	5
1-2-3	不平衡流动	6
1-2-4	跑道效应	6
1-2-5	体积收缩过高	7
1-2-6	气穴	7
1-2-7	烧伤	8
1-2-8	裂纹	8
1-2-9	翘曲	9
1-2-10	短射	9
1-2-11	熔接线或熔接痕	10
1-3	注塑模具设计 CAE 技术	12
1-3-1	注塑流动分析 CAE 技术	13
1-3-2	注塑流动分析 CAE 技术应用	14
第 2 章	Moldflow 软件介绍	15
2-1	Moldflow 软件	15
2-2	Moldflow 用户界面	17
2-2-1	File 菜单	18
2-2-2	Edit 菜单	22
2-2-3	View 菜单	24
2-2-4	Molding 菜单	27
2-2-5	Mesh 菜单	39
2-2-6	Analysis 菜单	64
2-2-7	Results 菜单	72
2-2-8	Report 菜单	74
2-2-9	Tools 菜单	77
2-3	Moldflow 典型分析	78
2-3-1	填充分析	78
2-3-2	保压分析	80

2-3-3	冷却分析	82
2-3-4	翘曲分析	85
第 3 章	Moldflow 操作流程	90
3-1	创建工程项目	90
3-2	导入 CAD 模型	91
3-3	划分模型网格	92
3-4	检查和修改网格	94
3-5	设置分析类型及顺序	97
3-6	选择成型材料	97
3-7	选择浇口位置	98
3-8	创建浇注系统	98
3-9	创建冷却系统	103
3-10	设置工艺参数	104
3-11	计算和分析结果	106
3-12	生成分析报告	115
第 4 章	Moldflow 综合应用	118
4-1	门板浇注系统设计	118
4-1-1	门板模型	118
4-1-2	制件材料	119
4-1-3	最佳浇口位置分析	120
4-1-4	成型工艺分析	121
4-1-5	初步填充分析	122
4-1-6	多浇口填充分析	124
4-2	塑料按盖保压设置优化	126
4-2-1	初始保压分析	127
4-2-2	第 2 次保压分析	129
4-2-3	压力曲线调整原则	130
4-3	塑料簸箕冷却系统优化	130
4-3-1	冷却系统初始方案	131
4-3-2	改进方案	133
4-4	水果盘翘曲变形优化	134
4-4-1	初始方案	135
4-4-2	改进方案	137
第 5 章	POLYFLOW 分析基础	139
5-1	计算流体动力学理论	139
5-1-1	基本概念	139
5-1-2	基本方程	141



5-2	挤出成型技术	144
5-2-1	挤出成型过程	144
5-2-2	挤出成型装置	144
5-2-3	挤出模具设计	146
5-2-4	挤出流动分析 CAE	147
第 6 章	POLYFLOW 软件概述	148
6-1	POLYFLOW 软件简介	148
6-2	POLYFLOW 软件结构	148
6-3	POLYFLOW 分析策略	149
6-3-1	POLYFLOW 分析计划	149
6-3-2	POLYFLOW 分析基本步骤	149
6-4	POLYFLOW 软件中的几个术语	150
6-4-1	任务和子任务	150
6-4-2	子域和边界集	152
6-4-3	边界条件	153
第 7 章	POLYFLOW 分析流程	155
7-1	实例描述	155
7-2	新建工程项目	156
7-3	导入网格模型	157
7-4	POLYDATA 设置	159
7-4-1	创建任务模型	159
7-4-2	创建子任务模型	160
7-4-3	指定子任务计算域	160
7-4-4	设置材料参数	161
7-4-5	指定边界条件	162
7-4-6	重新划分网格	166
7-4-7	定义流函数	166
7-4-8	选择输出格式	167
7-4-9	保存数据文件	168
7-5	POLYFLOW 计算	169
7-6	分析结果	170
7-6-1	启动 FIUENT/Post	170
7-6-2	显示网格	170
7-6-3	显示等值线图	172
7-6-4	显示速度矢量图	173
7-6-5	速度矢量图和速度等值线图叠加显示	174
7-6-6	创建等值面	175
7-6-7	绘制 XY 坐标图	176

第 8 章	前处理模块 GAMBIT	179
8-1	GAMBIT 用户界面	179
8-1-1	主菜单区	179
8-1-2	操作工具区	181
8-1-3	通用工具区	181
8-1-4	命令行区	182
8-1-5	操作提示区	182
8-2	创建几何模型	182
8-2-1	一般操作	182
8-2-2	创建点	191
8-2-3	创建边	193
8-2-4	创建面	196
8-2-5	创建体	201
8-2-6	创建组	207
8-2-7	布尔操作	209
8-2-8	分割操作	211
8-3	网格划分	213
8-3-1	生成边界层	213
8-3-2	边网格划分	214
8-3-3	面网格划分	218
8-3-4	体网格划分	225
8-3-5	组网格划分	229
8-4	设定区域类型	230
8-4-1	设定边界类型	231
8-4-2	设定连续介质类型	232
第 9 章	主控程序 POLYMAN	233
9-1	POLYMAN 用户界面	233
9-1-1	菜单栏	233
9-1-2	工具栏	234
9-1-3	工程树区	234
9-1-4	信息区	235
9-1-5	注释区	235
9-1-6	标签栏	235
9-2	文件操作	235
9-2-1	新建文件	235
9-2-2	打开已有工程	236
9-2-3	导入文件	237
9-2-4	导出文件	238
9-2-5	转换 GAMBIT 中性文件	239
9-2-6	查看列表文件	239



9-3	启动软件各模块	239
9-4	设置各模块选项	240
9-4-1	POLYMAN 选项	240
9-4-2	POLYDATA 选项	241
9-4-3	POLYFLOW 选项	241
第 10 章	数据源模块 POLYDATA	243
10-1	POLYDATA 用户界面	243
10-1-1	菜单栏	243
10-1-2	关键字栏	245
10-1-3	文本窗口	246
10-1-4	图形显示窗口	246
10-1-5	文本输出窗口	246
10-1-6	主菜单窗口	246
10-2	渐变问题	255
10-2-1	非线性和渐变	256
10-2-2	渐变法原理	257
10-2-3	常用的渐变函数	258
10-2-4	渐变分析流程	259
10-3	非定常问题	262
10-3-1	基本理论	263
10-3-2	非定常流动分析流程	265
10-4	聚物流变行为	267
10-4-1	广义牛顿流体流动	268
10-4-2	粘弹性流体流动	271
10-4-3	多孔介质流动	273
第 11 章	后处理模块 FLUENT/Post	274
11-1	FLUENT/Post 用户界面	274
11-2	文件操作	275
11-2-1	读入文件	276
11-2-2	导入文件	277
11-2-3	保存文件	277
11-2-4	图像文件硬复制	277
11-3	系统定义	278
11-3-1	定义活动域	278
11-3-2	定义场函数	279
11-3-3	定义单位	280
11-4	创建表面	280
11-4-1	创建区域表面	280
11-4-2	创建点表面	281

11-4-3	创建线表面和耙状表面.....	282
11-4-4	创建平面表面.....	282
11-4-5	创建二次表面.....	283
11-4-6	创建等值表面.....	284
11-4-7	创建剪切表面.....	285
11-4-8	转换表面.....	285
11-4-9	管理表面.....	286
11-5	可视化图形.....	287
11-5-1	生成基本图形.....	287
11-5-2	调整图形显示方式.....	295
11-5-3	控制鼠标功能.....	298
11-5-4	调整观察视角.....	299
11-5-5	构建场景.....	300
11-5-6	动画显示.....	301
11-5-7	XY 曲线图和柱状图.....	301
11-6	计算报告.....	304
11-6-1	表面积分报告.....	304
11-6-2	柱状图报告.....	306
第 12 章	POLYFLOW 典型实例.....	308
12-1	热传导.....	308
12-1-1	固固热传导.....	308
12-1-2	固液热传导.....	311
12-2	挤出成型.....	316
12-2-1	3D 挤出成型.....	316
12-2-2	逆向挤出在口模设计中的应用.....	322
12-2-3	片材挤出成型.....	329
12-3	吹塑成型.....	338
12-3-1	吹塑成型过程.....	338
12-3-2	带手柄瓶子吹塑.....	346
12-4	共混.....	350
12-4-1	粘弹性流体的漩涡流动.....	351
12-4-2	双螺杆挤出机数值模拟.....	355
参考文献		358



第 1 章 Moldflow 基本理论

为了使读者更好掌握 Moldflow 软件, 本章将从基本理论入手, 介绍注塑成型技术、注塑成型的质量缺陷和注塑 CAE 技术, 读者通过本章的学习可以把抽象的软件和实际的工艺过程联系起来, 了解应用 Moldflow 软件的价值所在。

1-1 注塑成型技术

注塑成型技术能一次成型形状复杂、尺寸精确的制品, 适合于高效率、大批量的生产方式, 现已发展成为热塑性塑料和部分热固性塑料最主要的成型加工方法。Moldflow 软件是基于注塑成型技术理论的有限元分析软件, 本节从注塑成型原理、注塑成型周期、注塑成型装置以及注塑成型模具等方面详细介绍了注塑成型技术, 并重点讲解了与 Moldflow 软件相关的专业术语、工艺参数。

1-1-1 注塑成型原理

所谓注塑成型, 就是将热塑性或热固性塑料在高压下注入到模腔内使其固化成型而制品的方法, 又称注射成型。注塑成型是一个循环的过程, 如图 1-1 所示。

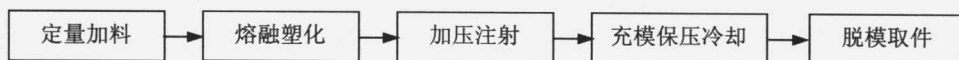


图 1-1 注塑成型过程

注塑过程开始于闭模。进行闭模时, 要确认模具表面上无异物方可进行锁模。然后, 令喷嘴和模具接触后再使螺杆前进, 在高压下将料筒内的熔融塑料注入模具的模腔内, 此过程称为注射。其次, 对塑料加压并保持该压力, 此过程称为保压, 之所以需要保压过程, 是因为随着模具腔内塑料的固化, 塑料体积减小, 必须将与减小部分相称的塑料注入到模具的模腔内。当浇口固化后, 除去加于塑料的压力, 直到制品可以顶出之前, 制品一直放在模具内, 此过程称为冷却。在冷却时间内, 使螺杆转动并对塑料进行加热塑化。此时, 由于喷嘴仍与模具接触, 被塑化的塑料送至前方, 同时螺杆后退, 故下一次成型所需的塑料就存留在螺杆前方。然后, 将已固化的制品从模具中取出, 此过程称为脱模。

1-1-2 注塑成型周期

注塑成型周期包括四部分, 即: 填充时间、保压时间、冷却时间、开模时间, 如图 1-2 所示。

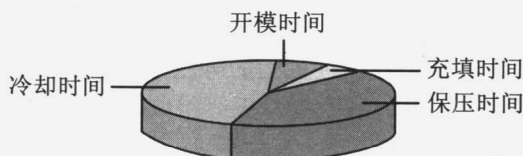
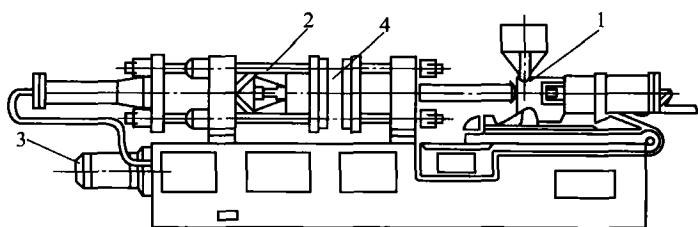


图 1-2 注塑成型周期

- 填充时间：注塑机螺杆向前移动并推动塑料前进充满模腔所需要的时间，即压力维持之前的时间。
- 保压时间：填充结束后以某一压力维持螺杆，直到浇口冷却凝固所需要的时间。
- 冷却时间：压力维持结束后开始释放，直到制件固化到足以顶出时所需要的时间。
- 开模时间：模具打开，将制件顶出所需要的时间。

1-1-3 注塑成型装置

注塑机是将热塑性塑料或热固性塑料利用塑料成型模具制成各种塑料制品的主要成型设备，其结构如图 1-3 所示。



1-注射系统；2-合模系统；3-液压电器系统；4-模具。

图 1-3 注塑成型装置

通用的螺杆式注塑机由注射系统、合模系统、加热冷却系统、液压传动系统、电气控制系统以及注塑模具等组成。

(1) 注射系统

注塑机注射系统的作用是推挤物料，使之塑化和熔融，并在高压和高速下将熔体注入模腔。注射系统主要由塑化装置、螺杆驱动装置、计量装置、注射动作装置、注射座、整体移动和螺杆驱动装置、行程限位装置以及加料斗装置等组成的。

(2) 合模系统

合模系统的作用是固化模具，使动模板做启闭模运动，并锁紧模具。主要由 4 根拉杆和螺母把前后模板连接起来形成整体刚性框架。

(3) 加热冷却系统

加热系统是用来加热料筒及注射喷嘴的。注塑机料筒一般采用加热电阻加热圈，套在料筒外部并用热电偶分段检测。热量通过筒壁向内传热而为物料塑化提供热源；少数注塑机则使用油加热。冷却系统是用来冷却液压油、料口以及模具的。冷却系统是一个封闭的循环系统，它是将冷却水分配到几个独立的回路上并能对流量进行调节的系统。较先进的注塑机冷却系统通过检测温度而对冷却水的流量实行闭环控制和调节。

(4) 液压系统

液压系统是为注塑机的各种执行（工作油缸）提供压力和速度的回路。液压回路一般由控制系统压力与流量的主回路和各执行机构的分回路组成。回路由进出过滤器、泵、储能器、热交换器和各种阀以及压力、温度指示表等组成。

(5) 电器控制系统

电器控制系统是注塑机的“中枢神经”系统，它控制着注塑机的各种程序及动作，对时间、位置、压力、速度和转数等进行控制和调节。主要由各种继电器元件、电子元件、

检测元件及自动化仪表组成。电控系统与机械液压系统相组合来对注塑机的工艺程序进行精确而稳定的控制。

(6) 注塑模具

注塑模具系统由浇注系统和模具型腔组成。浇注系统的作用是使从注射机喷嘴来的熔融塑料稳定而顺利地流入并充满全部型腔，同时，在充模过程中将注射压力传送到型腔的各个部位，以保证塑件的完整成型。注塑模具的浇注系统，通常由主流道、分流道、浇口和冷料穴 4 部分组成。模具型腔是形成塑料制品外形的空腔，其设计应考虑塑料的收缩性，以得到尺寸精确的制品。模具型腔主要由凹模、凸模、成型芯、导柱和导套等组成。

1-1-4 注塑成型模具设计

模具 (Mold) 是指树脂材料注入金属模型后得到具有一定形状的制品的装置，如图 1-4 所示。

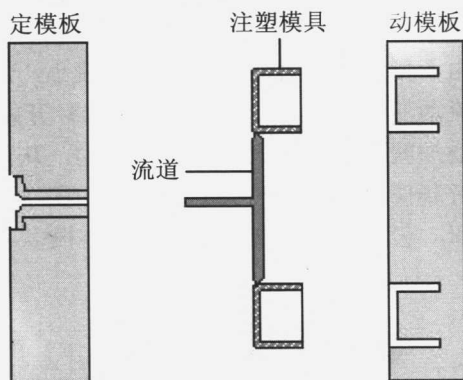


图 1-4 注塑模具

在注塑成型过程中，注塑模具设计的好坏直接影响制品的质量，同时也影响着生产效益。因此在设计过程中要遵循以下设计步骤：

(1) 确定型腔数量及排列方式。一般地说，制品生产批量小，外形尺寸大，要求精度高时，采用多型腔模具。当采用多型腔模具时，要设计成同时进行填充的排列及位置，否则虽然型腔尺寸相同，也常常会出现尺寸相异的制品，并造成流路溢料损失、效率降低等不正常现象，因此，在采用多型腔模具时要进行充分的考虑。

(2) 确定分模面、流道、浇口。在制品设计时，根据采用的树脂性能、制品的形状、浇注系统的布局、填充条件、排气、脱模等因素，选择最合适的分型面并确定浇口位置。当这两项确定之后，再根据制品的尺寸，平衡流道的大小，长短来保证填充质量。当分型面，流道，浇口确定之后，模具的基本结构也随之确定了，从而也可以将如何处置可能产生飞边的位置以及外观等问题的后加工方法确定下来。

(3) 侧向凹凸的处置与确定推出方式。当制品上有侧向凹凸时，在模具结构上有必要考虑采用瓣合模、侧型芯或者旋转螺纹型芯等方式；在推出制品方式上，大多采用推拉杆方式，但是若忌讳在制品上留下推杆痕迹，则可以采用推件板方式，此外还有推套、气压等各种推出方式；在主流道冷料脱模方式上，主要有主流道拉料杆与主流道推料杆两种方式，后一种是普遍采用的方式。

(4) 确定温度调整方式。为了不产生残余变形并均匀固化填充的树脂, 模具温度的调整非常重要, 它同时对制品质量与生产效率也有很大的影响。模具设计时, 必须设计有冷却回路, 利用冷却剂带走模具型腔的热量, 以便树脂尽快降至固化温度。比较合理的冷却是在固化之前就使型腔内的表面温度趋于一致, 减少固化残余应力。

1-2 注塑成型中的质量缺陷

Moldflow 分析的主要目的就是预测产品设计、模具设计以及注塑工艺参数是否合理, 从而根据存在的问题, 优化设计方案、减少试模次数、减少设计与制造成本。本节着重介绍了塑料制件常见的缺陷、缺陷产生的原因和解决办法, 以及如何利用 Moldflow 分析结果来发现制件缺陷。

1-2-1 滞流

滞流 (Hesitation) 是指熔体在某一流动路径上流动变缓或者停止。当塑料熔体填充一厚度不均的模具型腔时, 由于型腔较厚处对熔体的阻力较小, 熔体就先填充较厚处, 这样就导致型腔较薄处的熔体流动变缓或者停止。熔体流动一旦开始变缓, 冷却速度就会加快, 熔体粘度就会增加, 粘度增加就会更加阻碍熔体向前流动, 从而导致了滞流现象。滞流通常发生在制件的疮处, 或者制件壁厚变化较大的区域。如图 1-5 所示为滞流发生区域, 圆圈包围的部分为制件的筋部, 它的壁厚较制件其他部分小很多。

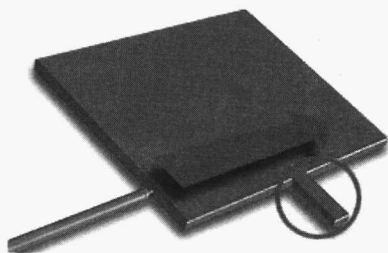


图 1-5 滞流发生区域

由于滞流使制件表面发生变化、降低保压作用、提高应力以及使分子趋向不均匀, 从而降低了制件质量。如果滞流的熔体前沿完全冷却, 那么型腔内局部就会发生短射 (short shot)。

在 Moldflow 分析结果中, 观察 Fill time (填充时间) 和 Temprate of front flow (熔体前沿温度), 可以发现滞流问题。如果 Fill time (填充时间) 的等值线图中出现非常狭窄的区域, 或者 Temprate of front flow (熔体前沿温度) 分布图中出现一温度很小但梯度变化很大的区域, 表明该区域发生滞流。

如果发现制件出现滞流现象, 可通过以下方法解决:

- 移动浇口, 使之远离滞流区, 使滞流区域尽量为最后填充区域。
- 移动浇口到能在滞流区产生较大注塑压力的位置, 较大的注塑压力能够抵制滞流。
- 增加制件滞流区的壁厚, 从而减少其对熔体流动的阻力。
- 选择粘度较小的成型材料, 也就是熔融系数较大的材料。

➤ 增加注射速率以减少滞流时间。

➤ 增大熔体温度以至于更容易地流进薄壁区域。

如图 1-6 所示为初始方案，箭头所指表示在该处发生滞流。

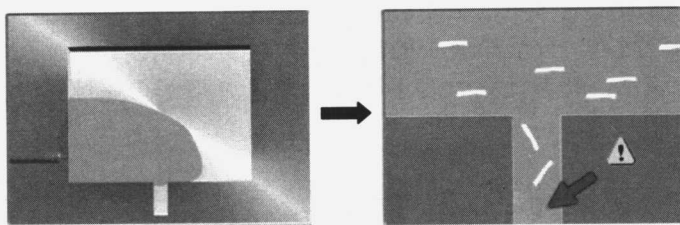


图 1-6 初始方案

如图 1-7 所示为改进方案，把浇口位置移到最上方，使滞流区最后填充，滞流消失。

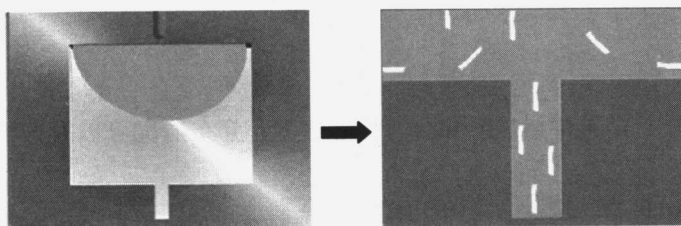


图 1-7 改进方案

1-2-2 过保压

过保压 (Overpacking) 现象通常发生在熔体最容易填充完的区域，因为当这些区域填充完后，注塑压力仍然作用以使还没有填充完的区域继续填充，这时候，注塑压力会继续向填充完的区域推进新的熔体，从而使这些区域密度大、收缩率低。如图 1-8 所示，白线代表聚合物分子，由于流动路径不平衡，在模型左端容易出现过保压。

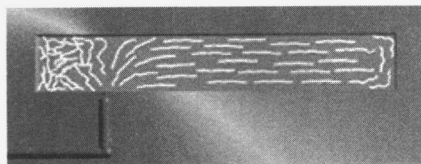


图 1-8 过保压

在 Moldflow 分析结果中，Fill time (填充时间) 分布图是识别过保压现象最有效的方法，显示 100% 填充时的分布图，寻找和第一条流动路径同时流动但还没有完成填充的流动路径。过保压现象一般发生在填充时间最短的区域，并且该区域由于收缩不均产生翘曲变形，使制件最终质量增加、密度分布不均。

为了解决过保压问题，最重要的是平衡熔体的流动，主要方法有：

- 移动浇口到合适位置，使各方向的流长尽量相等。
- 将模腔假想分成几部分，每一部分对应一浇口。
- 删除不必要的浇口。

1-2-3 不平衡流动

不平衡流动（Unbalanced flow）是指流动熔体没有同时到达模腔末端，也是导致制件产生溢边、短射、增加注塑周期、制件密度不均、翘曲、气穴、熔接痕等原因。

针对不平衡流动问题，分清模腔中的流路非常重要，如图 1-9 所示，模腔中共有 3 条流路，用 1、2、3 表示，每条流路长度不同，所以，流路 1 最先填充完，接着是流路 2，最后是流路 3。

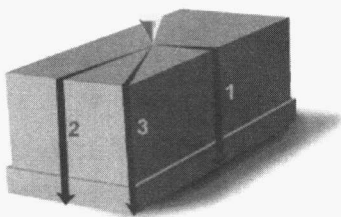


图 1-9 模腔中的流路

在 Moldflow 分析结果中，Fill time（填充时间）分布情况可以有效的观察流动不平衡问题。

为了解决流动不平衡问题，常用的方法如下：

- 改变制件某区域的厚度，可使流动在相应的方向上加快或延缓，从而达到平衡流动。
- 适当的改变浇口位置和浇口数量。

1-2-4 跑道效应

跑道效应（Racetrack Effect）是指熔体在没有填充完模腔较薄区域之前已填充完较厚区域。跑道效应实际上是流动不平衡问题，经常产生不必要的气穴和熔接痕，如图 1-10 所示为边缘壁厚的制件。

如图 1-11 所示为跑道效应产生气穴示意图。

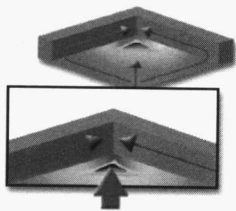


图 1-10 边缘壁厚制件

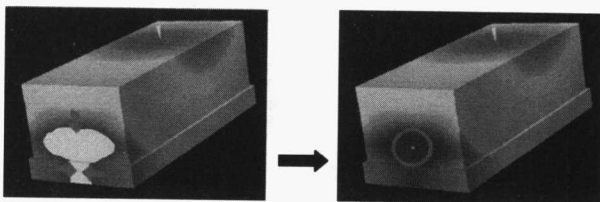


图 1-11 气穴产生示意图

为了避免跑道效应，应该使熔体在模腔内尽量达到流动平衡。由于在产品设计中不可避免的存在壁厚差异，那么在出现跑道效应的区域应适当改变壁厚，如图 1-12 所示，流路 1 比流路 2 长，所以加厚流路 2 或减薄流路 1 可以使熔体在同一时间填充到末端。

除此之外，对于结构比较复杂的制件，可以通过改变浇口位置，或采用多浇口系统以达到平衡流动。

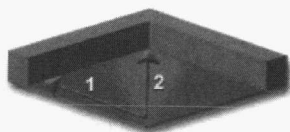


图 1-12 改变壁厚防止跑道效应

1-2-5 体积收缩过高

当熔体在模腔内流动时，由于熔体温度与模具温度之间存在差异，导致聚合物熔体收缩。体积收缩过高（high volumetric shrinkage）往往引起制件翘曲、sink marks（凹痕）、临界尺寸过小和制件内部出现空隙。

体积收缩过高的主要原因是制件壁太厚或者保压不充分。

在 Moldflow 分析结果中，shrinkage（体积收缩）可以发现制件的收缩情况。

为了减少体积收缩率，可以采取如下措施解决：

- 改善制件的设计，选择合适的壁厚。
- 改善模具设计，选择合适的浇口位置。
- 调整工艺参数，增加保压压力。

1-2-6 气穴

气穴（air trap）是指熔体前沿汇聚而将空气围困在制件内部或模腔表层。气穴经常导致填充不完全或保压不充分，并且使最终的制件表面出现瑕疵，甚至由于气体压缩、温度上升而出现焦痕，如图 1-13 所示。

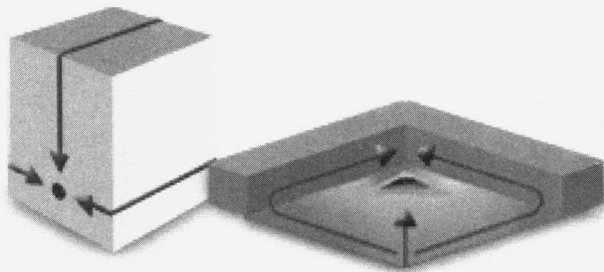


图 1-13 气穴示意图

根据气穴的产生原因，解决的方法如下：

（1）在制品壁厚较大时，其外表面冷却速度比中心部的快，因此，随着冷却的进行，中心部的熔体边收缩边向表面扩张，使中心部产生充填不足，这种情况被称为真空气穴。解决方法主要有：

- 根据壁厚，确定合理的浇口，浇道尺寸，一般浇口高度应为制品壁厚的 50%~60%。
- 至浇口封合为止，留有一定的补充注射料。
- 注射时间应较浇口封合时间略长。
- 降低注射速度，提高注射压力。
- 采用熔融粘度等级高的材料。

（2）由于挥发性气体的产生而造成的气泡，解决的方法主要有：

- 充分进行预干燥。
- 降低树脂温度，避免产生分解气体。

（3）流动性差造成的气穴，可通过提高熔体及模具的温度，提高注射速度予以解决。