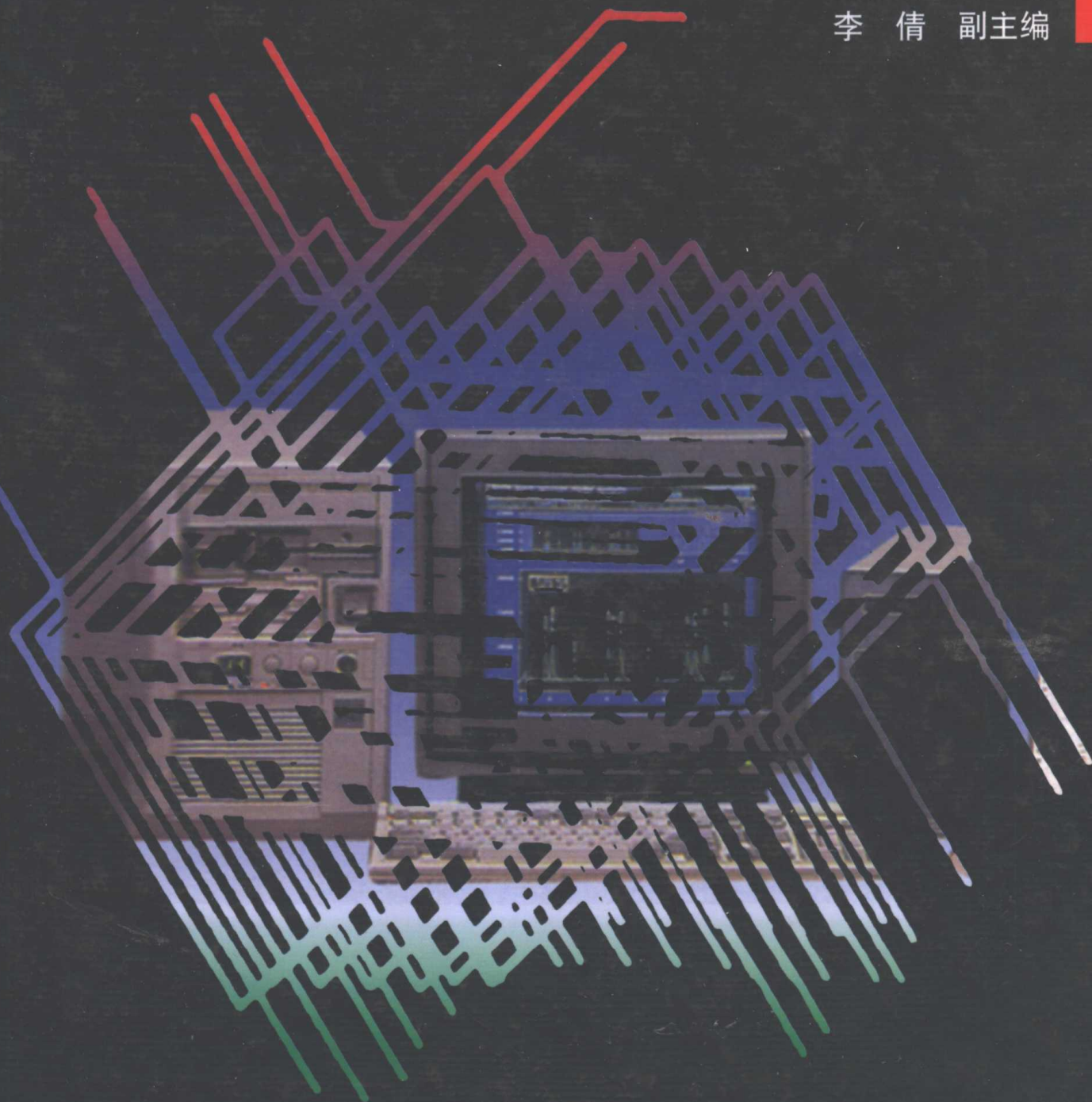


橡塑模具优化设计技术

模具计算机辅助工程技术国家工程研究中心

申长雨 主 编

李 倩 副主编



化学工业出版社

橡塑模具优化设计技术

模具计算机辅助工程技术国家工程研究中心

申长雨 主 编

李 倩 副主编

化 学 工 业 出 版 社
北 京

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

橡塑模具优化设计技术/申长雨主编. —北京:化学工业出版社, 1997

ISBN 7-5025-1734-0

I. 橡… II. 申… III. ①橡胶加工-模具-最优设计-技术②塑料模具-最优设计-技术 IV. TQ330.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 10732 号

橡塑模具优化设计技术

模具计算机辅助工程技术国家工程研究中心

申长雨 主编

李 倩 副主编

责任编辑:李玉晖

责任校对:顾淑云 李 丽

封面设计:于 兵

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

*

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 28 $\frac{1}{4}$ 插页 2 字数 724 千字

1997 年 7 月第 1 版 1997 年 7 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000

ISBN 7-5025-1734-0/TQ·911

定价:55.00 元

版权所有 盗印必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换。

前 言

本书以模具计算机辅助工程技术国家工程研究中心近年来的多项科研成果和在工程实践中的应用为基础,系统全面地阐述了橡塑成型工艺过程的计算机模拟技术及模具的优化设计。由于成型工艺和模具设计是橡塑制品生产中最主要的两大技术环节,模具的优化设计需以恰当的工艺条件为前提,而良好的成型工艺又需配合合理的模具设计,两者相辅相成,才有可能成型出高质量的制品。本书围绕成型工艺过程的计算机模拟技术与模具设计两大主题编写,旨在使读者能够通过学习和实践将两者有机的结合起来。

本书在内容上尽可能详细地介绍了近年来橡塑模具领域发展的新成就、新技术、新工艺,某些内容,如注塑模的灵敏度分析、气体辅助注射成型工艺、传递成型工艺、反应注射成型工艺及微电子塑封成型工艺、CAE 与 CAD/CAM 技术在注塑模设计与制造中的集成应用等,在我国已出版的有关橡塑加工方面的著作中尚未见到详细介绍。因此本书有较大的实际意义,对模具行业工程技术人员有较大参考价值,也可作为计算机辅助设计与制造及机械加工和模具制造专业的本、专科教材。

本书分上、中、下三篇,由模具计算机辅助工程技术国家工程研究中心主任申长雨教授主编,李倩任副主编。参加本书编写工作的有:王国中、陈静波、曹伟、刘春太、王利霞、王松杰、翟明、陈旭、易文、刘晓峰、李海梅、闫富友、高峰、姚起剑、逯晓勤、郭延东等。本书照片由孙长路拍摄。

由于编者水平有限,错误在所难免,敬请读者指正。

编 者
一九九五年五月

内 容 提 要

本书以模具计算机辅助工程技术国家工程研究中心近年来的多项科技成果及其在工程实践中的应用为基础,介绍塑料成型和橡胶成型工艺过程的计算机模拟技术及模具的计算机辅助优化设计。塑料成型部分以注射模成型为主,较详细地介绍了注塑成型模具浇注系统、冷却系统的优化设计,注塑模成型过程中的三维冷却、三维流动和翘曲变形的计算机模拟技术,以及自行开发的 Z-MOLD 计算机模拟和优化设计集成系统软件。此外,对塑料挤出成型、热成型、吹塑成型模具和成型过程计算机模拟技术,以及气体辅助注射成型、传递成型、反应注射成型、微电子塑封成型等新工艺也作了介绍。橡胶成型部分包括模具设计、硫化工艺过程控制、橡胶模具集成系统 Z-RMOLD 和典型结构与标准化设计。

本书反映橡塑成型行业的新技术、新成就、新工艺,内容实用,可供模具行业的工程技术人员使用,也可作为大专院校计算机辅助设计与制造、模具设计与制造的教材或教学参考书。

目 录

上 篇

塑料注射成型模具及成型过程计算机模拟技术

绪 论	1
第一章 注塑模浇注系统优化设计	3
第一节 概述	3
第二节 设计功能(Design)模块编制原理	4
第三节 设计功能程序实现	20
第四节 校验、计算功能(Calculate)模块编制原理	22
第五节 校验、计算功能程序实现	26
第六节 示例功能(Example)模块结构与程序实现	30
第七节 浇注系统设计程序使用方法	31
第八节 浇注系统设计专家系统	36
第二章 注塑模冷却系统灵敏度分析及优化设计	40
第一节 概述	40
第二节 注塑模冷却系统设计理论	40
第三节 注塑模温度场计算方法	41
第四节 注塑模冷却系统优化设计模型	47
第五节 注塑模冷却系统优化反问题	49
第六节 设计灵敏度分析方法及在冷却系统优化设计中的应用	50
第七节 图形系统及分析软件的前后处理	58
第八节 IMCADS 系统的结构设计及算例	62
第三章 注塑模三维冷却模拟技术及其软件设计	79
第一节 三维稳态温度场的边界元法分析	79
第二节 三维瞬态温度场的边界元法分析	84
第三节 冷却系统管网分析	88
第四节 注塑模三维冷却模拟软件设计	93
第五节 软件详细设计	108
第四章 注塑制品翘曲变形分析及软件设计	136
第一节 翘曲变形研究	136
第二节 翘曲分析软件开发	142
第五章 注塑模三维流动模拟技术及软件设计	159
第一节 概述	159
第二节 注塑模流动模拟技术的研究	159
第三节 初始设计(Z-Design)	164

第四节	注塑模三维流动充填模拟	181
第五节	基于 Cross-exp 粘度模型的充填分析	196
第六节	注塑模三维流动模拟程序实现	196
第六章	注射成型过程计算机模拟及模具优化设计集成系统(Z-MOLD)	200
第一节	概述	200
第二节	初始设计(Z-DESIGN 2.1)	203
第三节	前置处理(Z-VIEW 2.1)	208
第四节	流动分析(Z-FLOW 2.1)	213
第五节	冷却分析(Z-COOL 2.1)	218
第六节	压实分析(Z-PACK 2.1)	222
第七节	后置处理(Z-VIEW 2.1)	227
第八节	Z-MOLD 系统应用实例	230
第七章	计算机辅助工程(CAE)技术与 CAD/CAM 技术在注塑模设计与制造中的集成应用	235
第一节	概述	235
第二节	注塑模结构 CAD	237
第三节	注塑模 CAM 技术	241
第四节	注塑模 CAD/CAM/CAE 集成技术	245
第五节	应用实例	250

中 篇

其他成型模具及成型过程计算机模拟技术

第一章	塑料挤出成型模具及成型过程计算机模拟技术	253
第一节	挤出成型概述	253
第二节	挤出模具结构设计	254
第三节	挤出成型过程的 CAE 技术发展概况	262
第四节	挤出成型计算机模拟	263
第二章	塑料热成型模具及成型过程计算机模拟技术	284
第一节	热成型概述	284
第二节	热成型方法及设备	284
第三节	热成型工艺	289
第四节	热成型模具设计	291
第五节	热成型过程计算机模拟	292
第三章	吹塑成型模具及成型过程计算机模拟技术	296
第一节	吹塑成型分类及工艺特点	296
第二节	吹塑成型模具设计	298
第三节	吹塑成型的计算机模拟	299
第四章	气体辅助注射成型工艺及计算机模拟技术	300
第一节	概述	300
第二节	气体辅助注射成型技术发展概况	301

第三节	气体辅助注射成型技术要点·····	301
第四节	气体辅助注射成型的计算机模拟·····	303
第五节	最新的气体辅助注射成型技术简介·····	306
第五章	传递成型、反应注射成型、微电子塑封成型模具及成型过程计算机模拟技术·····	307
第一节	概述·····	307
第二节	传递成型、反应注射成型的工艺过程·····	308
第三节	传递成型与结构反应注射成型的计算机模拟·····	309
第四节	微电子塑封成型工艺·····	314
第五节	微电子塑封成型过程的计算机模拟·····	314

下 篇

橡胶模具优化设计

绪 论 ·····	316
第一章 橡胶模具设计 ·····	317
第一节 概 述·····	317
第二节 橡胶压制成型模具设计·····	322
第三节 橡胶压铸成型模具设计·····	344
第四节 橡胶注压成型模具设计·····	361
第五节 橡胶压出成型模具设计·····	367
第二章 硫化工艺过程控制 ·····	379
第三章 橡胶模具集成系统(Z-RMOLD) ·····	412
第四章 典型结构与标准化设计 ·····	416
参考文献 ·····	438

上 篇

塑料注射成型模具及成型过程计算机模拟技术

绪 论

注射成型是塑料制品的主要加工方法之一,注塑成型制品占塑料制品总重量的 30%以上。注射成型是一个相当复杂的过程。首先将熔融或塑化的塑料材料注入或压入模具,材料存留在模具内直到复制成模具型腔的形状后取出。模具可以由单型腔组成,也可以由多个相同或不同的型腔组成,每一个型腔与流道连接,熔化塑料通过流道流入各个型腔中去。该加工方法是单一品种大量生产的最经济的方法之一,注射成型的三个主要工序是:

1. 将塑料加热到在一定压力下能够流动的温度。该过程称作材料的塑化(增塑)。
2. 塑料在模具中固化。从注塑机的注射缸里射出的熔化的塑料通过各种流道送入模具的型腔中,最终在模腔的限制下形成所需的工件。
3. 停止加热使塑料固化,保压冷却定型成为所需的制品后,开启模具,取出塑件。

塑料注射过程是一周期性的循环过程,整个循环操作可归结为如图 0-1 所示的几个主要阶段。

注射成型过程的主要参数和工艺条件包括:注射压力、模具温度、成型周期、注射塑料的温度、塑料在模具中的流动速率、塑料在模具中的熔化粘度及弹性剪切应力,熔融和流动控制及过程控制等。

注射成型的效率和质量主要取决于模具的设计。在设计注射模时,应首先考虑注塑过程常用的各种工艺条件,根据现有的加工和成型技术及制品形状确定设计方案,整个设计过程可归纳为如图 0-2 所示的几个步骤。

随着计算机辅助设计(CAD)与计算机辅助制造(CAM)技术的发展及其在塑料模具设计技术中的应用,逐步形成了以计算机模拟为手段剖析塑料加工过程并完成模具优化设计的塑料模具计算机辅助工程(CAE)技术。它是进行产品设计、制造、工程分析、仿真、试验等信息处理,并包含相应数据和数据管理系统在内的计算机辅助设计综合系统,主要包括两个方面内容:

1. 产品几何形状的模型化;
2. 工程计算、分析、仿真与优化。

CAE 技术是一门以 CAD/CAM 技术水平的提高为发展动力,以高性能计算机及图形显示设备的推出为发展条件,以计算力学中的边界元、有限元、结构优化设计及模态分析等方法

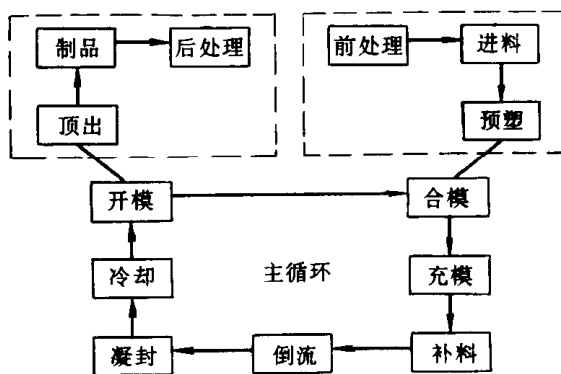


图 0-1 塑料注射成型循环过程

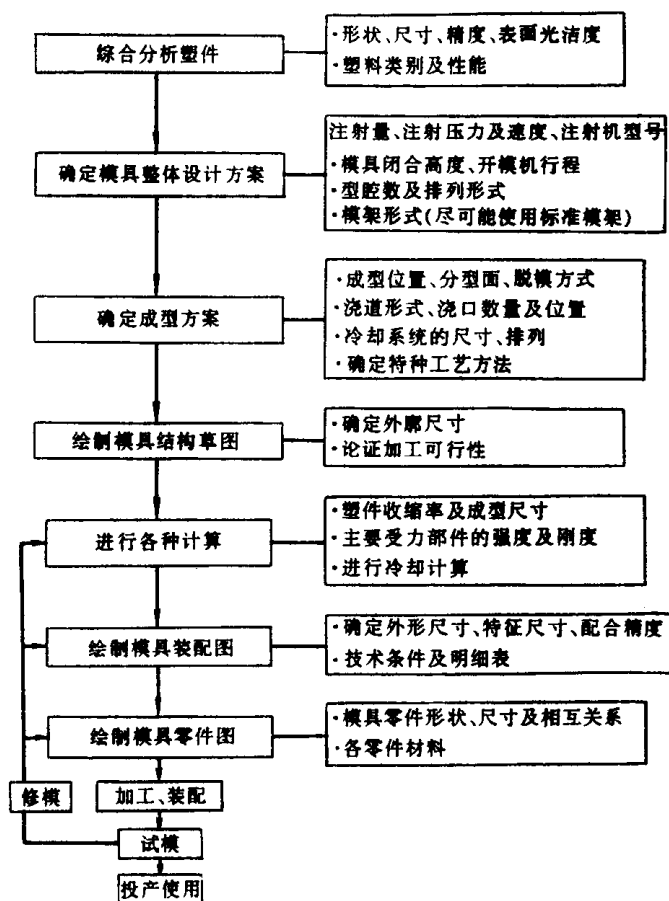


图 0-2 注射模设计过程

为理论基础的高新技术。

CAE 技术的基本方法,就是将某一项设计或者加工作为初值,然后通过计算机利用预先规定的方法对具备这一特点的设计进行模拟或描述。经过计算机的快速运算,对输入条件和模拟的模型进行评估,并确定修正措施,进行修正。上述过程反复进行,直到取得一个成功的设计方案。

CAE 技术在塑料注射加工领域中的应用,可以使新设计的塑件和模具一次试模成功的可能性达到最大,解决诸如塑件翘曲变形、尺寸不稳定和模具加工周期长等问题,并降低加工成本。

本篇对 CAE 技术在注射成型模具设计及成型过程中的应用做了较详细的叙述并给出了优化设计方法和软件。

第一章 注塑模浇注系统优化设计

第一节 概 述

注塑模浇注系统对注射成型质量有重要的影响。如浇口设计不当会造成模具喷嘴、浇口堵塞；型芯、杆类零件错位，脱模不良，制品出现填充不足、飞边、塌坑、空洞、流料痕、熔接痕、银条纹、气泡、挠曲、弯曲、扭转等缺陷都与浇注系统有关。浇注系统对制件成型过程及设备的影响程度见表 1-1。

表 1-1 浇注系统对制件成型过程及设备的影响程度

名 称		浇注系统		型腔数目、配置		浇口位置、数量	
		局 部 结晶料	无 定 形 料	局 部 结晶料	无 定 形 料	局 部 结晶料	无 定 形 料
塑 料 制 件 成 型 过 程	形状及其稳定性	1	3	2	3	1	3
	形状尺寸及其稳定性	1	2	2	3*	1	2
	制品厚度	1	2	1	2	1	2
	熔体流动长度	1	2	2	3	1	2
	制件体积	1	3	1	2	1	2
	注射投影面积	1	2	1	2	1	3
	物料物理性能	1	2	2	3*	1	2
	剩余应力等级	1	2	2	3*	1	2
	定向应力等级	1	2	2	4	1	3
	熔融物熔接痕均匀性	1	2	2	3*	1	2
	成 本	1		1*		3	
	过程生产率	1		1		2	
	速 度	2		1		3	
	最少在业工人数	1		1		2*	
	生产准备时间	2		1		2	
	装置成本	3		1		3	
	工具生产装备成份程度	2		2		3	
	材料在料缸中居留时间	2		1		2	
	生产特性	2		1		3	
	制件结构工艺性	1		2		2	
设备功率		1		1		2	

注：1. 表中 1、2、3、4 代表影响程度，分别为：强、中等、弱、无。

2. * 表示对硬化浇注系统模具的影响。

实际生产中，主流道、浇口等浇注系统多根据经验按制件类型确定，这样难以保证设计成功，造成树脂损耗大和生产率低下。利用 CAD 技术和专家系统，结合生产经验和数值计算，可使浇注系统设计具有较高的成功率。

本章介绍的优化设计软件是一种方便、实用的浇注系统设计工具，向用户提供常见流道、浇口横截面形状、结构尺寸、合理布置的方案及典型模具结构浇注系统的资料；并以经验公式为基础，计算出浇注系统的结构尺寸、塑件重量、型腔数目，辅助完成浇注系统的设计，然后对设计方案进行流长比、注塑机参数校验。另外还研制了本软件系统与流动分析数值计算程序的

接口。图 1-1 为浇注系统设计总体结构示意图。

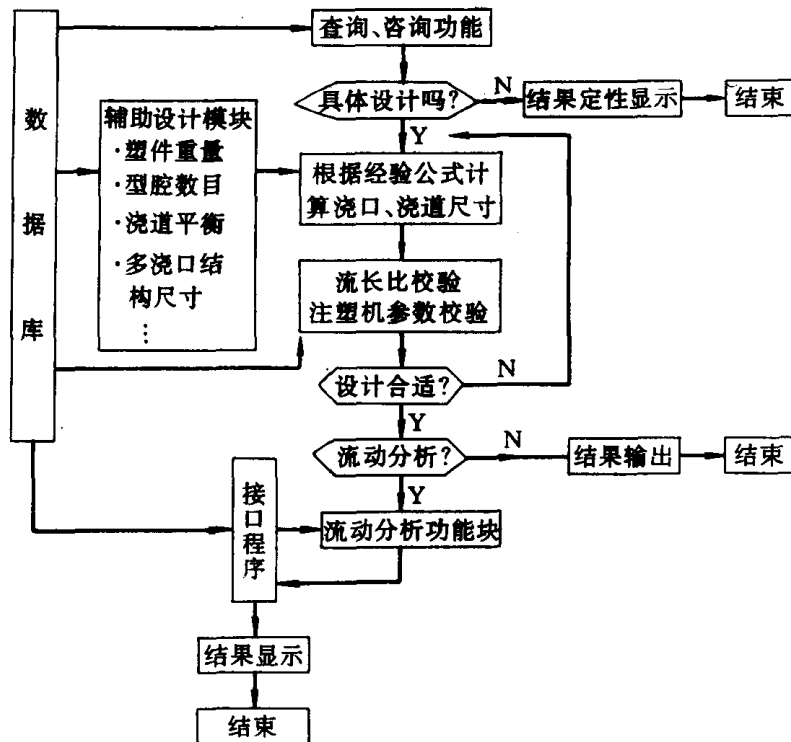


图 1-1 浇注系统设计总体结构示意图

以下各节将分别介绍该软件的各模块编制原理和使用方法。

第二节 设计功能(Design)模块编制原理

本模块可以生成材料性能、工艺条件及计算过程控制参数等三类文件,供分析程序使用。通过该模块可以方便地实现塑料材料、冷却介质、模具材料的选择。

一、浇注系统结构

1. 主浇道尺寸

主浇道位于模具的入口部,其作用是将塑化熔融的树脂导入流道或型腔。表 1-2 列出了一般的主流道尺寸。

表 1-2 常用塑料的主流道尺寸

塑料名称 \ 制品重量	<85 g		<340 g		≥340 g	
	d	D	d	D	d	D
PS	2.5	4	3	6	3	8
PE	2.5	4	3	6	3	7
ABS	2.5	5	3	7	4	8
PC	3	5	3	8	5	10
其 他	$d_j+0.75$	7.0	$d_j+0.75$	7.0	$d_j+0.75$	10.0

注:1. d —主流道小头尺寸,mm;

D —主流道大头尺寸,mm;

d_j —注射机喷嘴孔径,mm。

2. PS—聚苯乙烯;PE—聚乙烯;ABS—丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物;PC—聚碳酸酯。

2. 分流道截面形状及尺寸

分流道将主流道中的塑料融体沿分型面引入各个型腔,是连接主流道与型腔的通道,要求熔融塑料在其中的流动阻力尽可能小,并且不易冷却。常用塑料的分流道尺寸按表 1-3 确定。

表 1-3 常用塑料的分流道尺寸

塑料名称	分流道直径, mm	塑料名称	分流道直径, mm
PE	1.6~9.5	PP	4.8~9.5
PVC	3.2~9.5	PC	4.8~9.5
ABS	4.8~9.5	PS	3.2~9.5
PMMA	8.0~9.5	POM	3.2~9.5
PA	1.6~9.5	PSF	6.4~9.5

注: PVC—聚氯乙烯; PMMA—聚甲基丙烯酸甲酯(有机玻璃); PA—聚酰胺; 其他见上表。

各种截面分流道的特点如下:

圆形截面——流道效率(截面积/周长)高,热量损失小,阻力损失小,但开在动、定两模上,加工困难。

方形截面——流道效率较高,热量损失小,阻力损失大,开在动、定两模上,加工困难。

六边形截面——流道效率高,热量损失小,阻力损失中等,开在动、定两模上,加工困难。

梯形截面——流道效率较大,热量损失小,阻力损失较小,易于加工,最常用。

U 形截面——与梯形相似,流道效率较高,热量损失小,阻力损失更小,易加工,常用。

半圆形截面——流道效率低,热量损失小,阻力损失小,易加工,不常用。

矩形截面——流道效率低,热量损失大,阻力损失大,易加工,不常用。

各种截面形状尺寸的确定方法参见图 1-2~图 1-8。

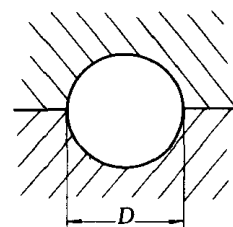


图 1-2 圆形截面分流道

$$D = \frac{\sqrt{W} \times \sqrt[3]{L}}{8}$$

W —塑件重量;

L —分流道长度;

体积/面积=0.25D

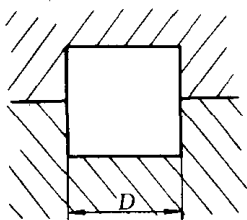


图 1-3 正方形截面分流道

$$D = \frac{\sqrt{W} \times \sqrt[3]{L}}{8}$$

W —塑件重量; L —分流道长度;

体积/面积=0.25D

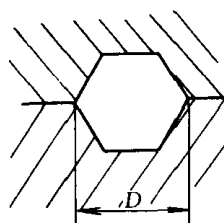


图 1-4 正六边形分流道

$$D = \frac{\sqrt{W} \times \sqrt[3]{L}}{8}$$

W —塑件重量; L —分流道长度;

体积/面积=0.4D

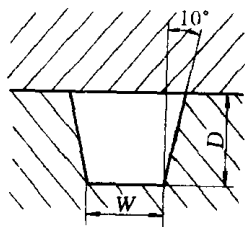


图 1-5 梯形分流道

$$W = 1.25D;$$

$$\text{体积/面积} = 0.29D$$

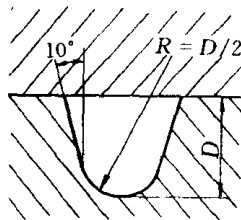


图 1-6 U 形分流道

$$R = 0.5D;$$

$$\text{体积/面积} = 0.196D$$

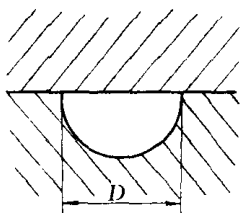


图 1-7 半圆形分流道

$$D = 4 \sim 12\text{mm};$$

$$\text{体积/面积} = 0.153D$$

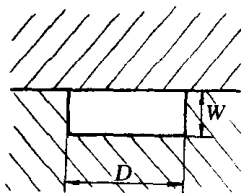


图 1-8 矩形截面分流道

$$D = 4 \sim 12\text{mm};$$

$$\text{体积/面积} = \begin{cases} 0.166D \\ 0.1D \\ 0.071D \end{cases}, \quad W = \begin{cases} D/2 \\ D/4 \\ D/6 \end{cases}$$

3. 冷料井

冷料井是为了除去料流中的前锋冷料。在注射过程的循环中,由于喷嘴与低温模具接触,在喷嘴前端存有一小段低温料,常称为冷料。在注射入模时,冷料在料流最前端。如果冷料进入型腔将造成制件的冷接缝,甚至会堵住浇口阻碍型腔充填。

冷料井一般设在主流道的末端,有时分流道的末端也有。冷料井常兼有拉料作用,或者说拉料杆兼有冷料井作用,故有时称为冷料拉杆。

各种冷料井的特点如下:

Z 形头拉杆冷料井——为一般常用形式,适用于弹性较好的塑料成型,易实现自动脱模。

倒锥形拉杆冷料井——适用于弹性较好的塑料成型,易实现自动脱模,常用。

圆环槽拉杆冷料井——适用于弹性较好的塑料成型,易实现自动脱模,是常用形式。

球形头拉杆冷料井——用于推板脱模,无冷料穴的制件。

菌形头拉杆冷料井——球形头冷料杆的一种变形,用于推板脱模,比“球形头”易于加工。

锥形头拉杆冷料井——球形头冷料杆的一种变形,用于推板脱模,成型带中心孔的制件。

无拉料杆冷料井——顶出时顶杆顶在制件或分流道上,分流道必须设计成 S 形或带有挠性形状。

各种冷料井形状尺寸的确定方法见图 1-9~图 1-15。

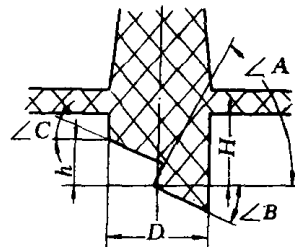


图 1-9 Z 形头拉杆冷料井

$$\angle A = 60^\circ; \angle B \approx 5^\circ;$$

$$\angle C = 5^\circ;$$

$$H = 10 \sim 15\text{mm};$$

$$h = 5 \sim 8\text{mm};$$

D —主浇道最大直径

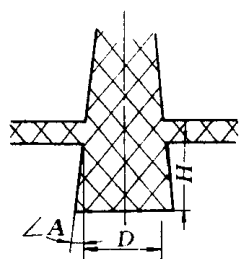


图 1-10 倒锥形拉杆冷料井
 $\angle A = 3^\circ \sim 5^\circ$; $H = 8 \sim 12 \text{ mm}$;
 D —主浇道最大直径

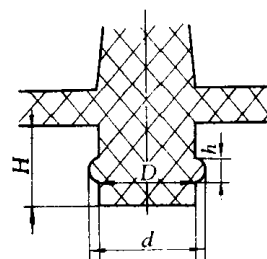


图 1-11 圆环槽拉杆冷料井
 $H = 8 \sim 12 \text{ mm}$; $h = 2 \text{ mm}$; $d = D + 2$;
 D —主浇道最大直径

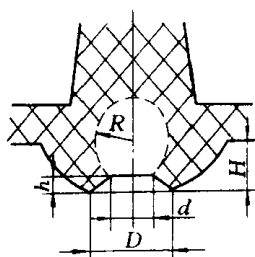


图 1-12 球形头拉杆冷料井
 $d = (0.8 \sim 0.9)D$; $H = 3.5 \sim 5 \text{ mm}$;
 $h = 2 \text{ mm}$; $R = d/2 + 0.5$;
 D —主浇道最大直径

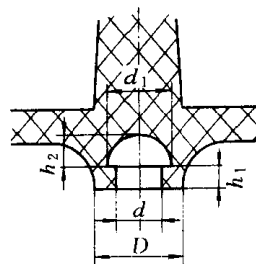


图 1-13 菌形头拉杆冷料井
 $h_1 = 2 \text{ mm}$; $h_2 = 1.5 \text{ mm}$;
 $d = D/2$; $d_1 = d + 1$;
 D —主浇道最大直径;

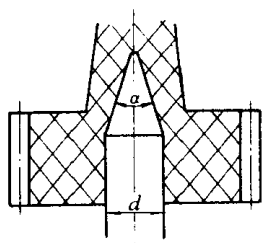


图 1-14 锥形头拉杆冷料井
 $d = D - (0.5 \sim 3.2)$; $\alpha = 20^\circ \sim 30^\circ$;
 D —主浇道最大直径

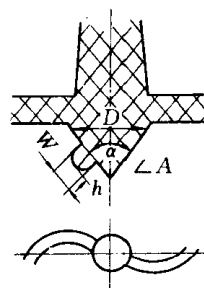


图 1-15 无拉杆冷料井
 $\angle A = 90^\circ$; $W = 2 \text{ mm}$; $h = 2 \text{ mm}$;
 D —主浇道最大直径

4. 浇口

浇口指流道末端将塑料融体引入型腔的狭窄部分,它对塑料融体的流速、补料时间起着调节控制作用。浇口的位置、数量和形状尺寸对制品外观、成型效率及尺寸精度有很大影响,所以对浇口位置、形状提出要求是很有必要的。

(1) 浇口位置选用原则

- ① 圆环形塑件用切向进料,可减少熔接痕,提高熔接部位强度,有利排气;
- ② 箱体塑件浇口位置宜选在流程短、熔接痕少、熔接强度高的地方;
- ③ 框架塑件对角设置进料口,可改善收缩引起的塑性变形,圆角处有反料作用可增大流

速,有利成型;

④ 盒罩形塑件,顶部壁薄,采用点状浇口可减少熔接痕,有利排气,避免顶部缺料或塑料碳化;

⑤ 壳体塑件可采用中心全面进料,减少熔接不良;

⑥ 壳体多腔塑件,采用多点进料,可防止型芯因受力不均匀而产生偏斜变形;

⑦ 厚制件,进料口应设在厚壁处,可避免或减少缩孔、凹痕及气泡;

⑧ 壁厚不均匀的塑件,进料口位置应保证流程一致,避免涡流造成明显的熔接痕;

⑨ 圆片塑件采用径向扇形进料口进料,可防止旋涡,排气不良产生的接缝及气穴;

⑩ 熔接痕的位置,应控制在不影响塑件强度的位置;

⑪ 长形或长方形塑件,料流沿平行型腔方向进入可避免产生气泡、云纹、变形及压力损耗过大,提高塑料的机械性能,但流程过长;当塑件无纹向要求时,可采用两端切向进料;

⑫ 罩形、细长圆筒、薄壁等塑件,设置进料口应考虑防止缺料、熔接不良、排气不良、型芯受力不均、流程过长等缺陷,必要时可增设工艺筋及多点进料;

⑬ 薄壁板外形尺寸较大时,利用中间孔两面进料,可缩短流程、防止缺料或熔接不良以及因受力不均、锁模力不足造成塑件厚薄不均;

⑭ 带有中心通孔的齿轮塑件,浇口位置应注意去除浇口后残留痕迹不影响塑件使用要求及外观。

与上述原则相对应的具体图形见图1-16~图1-29。

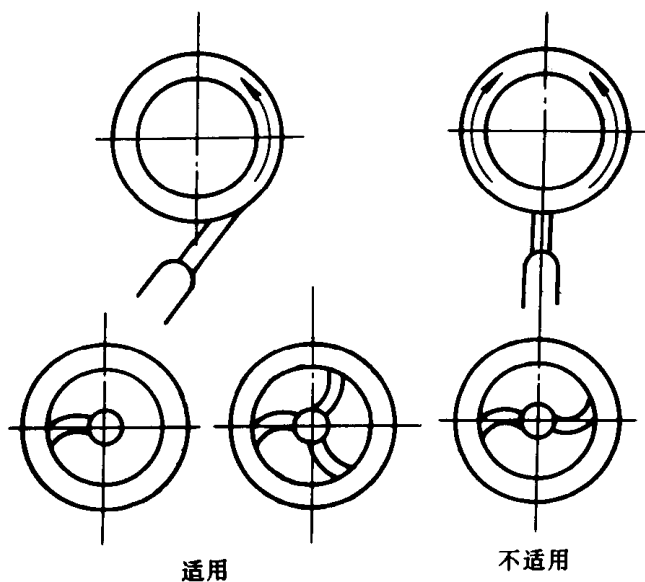


图 1-16 圆形制件浇口位置

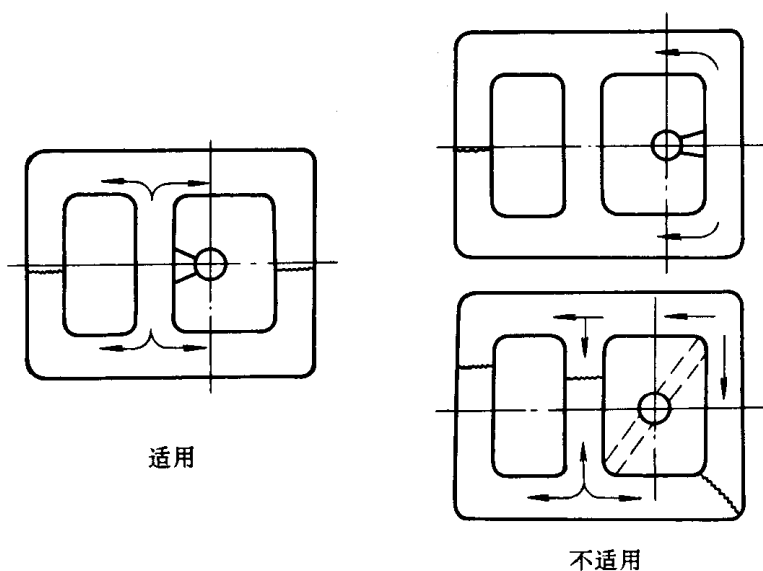


图 1-17 箱体塑件浇口位置

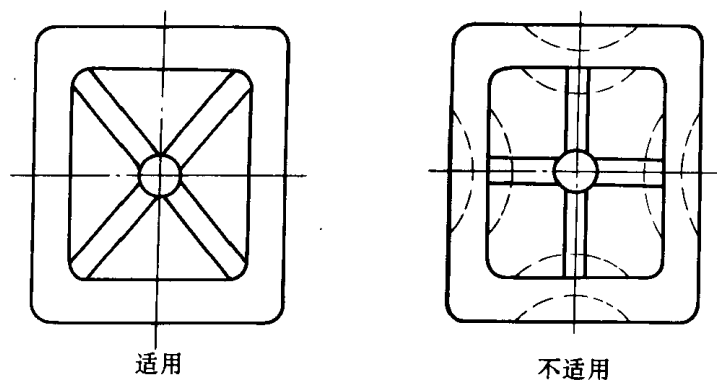


图 1-18 框架塑件浇口位置

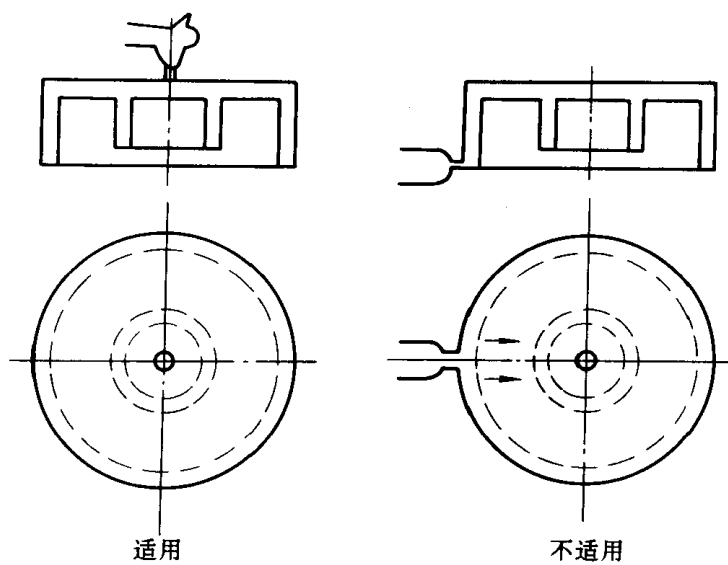


图 1-19 盒罩类浇口位置

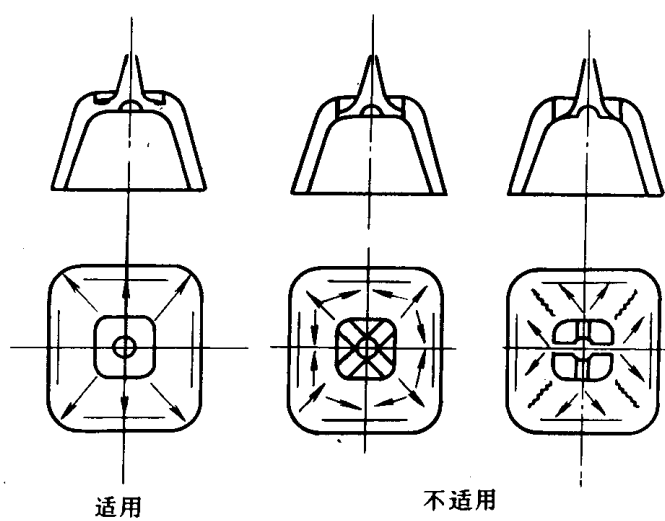


图 1-20 壳体浇口位置