



从校园到职场系列丛书

CONG XIAOYUAN DAO ZHICHANG XILIE CONGSHU

注射模具设计 及应用实例

霍晗 主编



打造优秀模具设计工程师



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



从校园到职场系列丛书

注射模具设计及应用实例

主 编 霍 晗

副主编 李志宇

参 编 刘昭霞 单小根 高逢猛 张国强

审 稿 吴生绪



机械工业出版社

本书出自企业一线模具工程师之手,书中所有的注射模具结构实例均源于作者20年来积累的宝贵经验,全书内容丰富,以实例、图形为主,实用性强,并融合了许多发达国家和地区的加工和设计理念。本书共分16章,主要包括塑料及其成型工艺性能、增强塑料、塑料件的设计、注射成型工艺及原理、模架结构及应用、常用模具配件及其应用、注射模具设计步骤及实例、注射模具的类型和结构、注射模具成型零件设计、注射模具各部分的结构设计、注射模具热流道系统设计、注射模具常用钢材等内容。

本书适合于大中专院校、培训机构等注射模具专业学生使用,也可供注射模具企业工程、技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

注射模具设计及应用实例/霍晗主编. —北京:机械工业出版社, 2011.6
(从校园到职场系列丛书)
ISBN 978-7-111-34412-4

I. ①注… II. ①霍… III. ①塑料模具-基本知识
IV. ①TQ320.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第079245号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:王晓洁 责任编辑:王晓洁

版式设计:霍永明 责任校对:李锦莉

封面设计:路恩中 责任印制:杨曦

北京京丰印刷厂印刷

2011年7月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·19.5印张·480千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-34412-4

定价:48.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

进入 21 世纪以来,作为现代四大工业基础材料之一的塑料被广泛运用到各行各业,其中注射成型在塑料成型工艺中所占的比例越来越大。随着社会的不断进步和发展,各种新型的塑料将为人类的技术进步做出新的贡献。尽管在 20 世纪,人们已经惊呼塑料时代的到来,但是,或许本世纪塑料时代才真正到来,而过去的 20 世纪只不过是塑料时代的序幕。

随着注射模具的飞速发展,相关企业也迅速崛起,对模具设计人才的需求也越来越多,每年都有大量模具专业的毕业生进入模具设计和制造岗位。但是由于目前大部分模具类教材实用性不强,大部分毕业生对企业实际生产缺乏了解,在踏上工作岗位后不能立刻上手、承担实际工作,迫切需要一本来自模具企业生产一线的模具设计指导书。因此,本书应运而生。

本书主要针对即将毕业并可能进入模具设计或制造岗位学生的特点,以企业实际生产中的经典案例为基础,重点介绍了塑料材料、塑料件的设计、注射成型工艺及原理、注射模具的类型和结构、注射模具热流道设计、注射模具常用钢材等内容。

作者有近 20 年的模具设计经验,一直在一线企业从事模具设计与管理工。在编写期间,作者花费了两年时间走访了珠三角许多大型模具企业,收集了大量注射模具设计的一手资料,并结合自己 20 年的经验编成此书,希望尽自己的一点力量,在学校和企业之间架设一道通向成功的桥梁。

参加本书编写的人员有霍晗、李志宇、刘昭霞、单小根、高逢猛、张国强。全书由霍晗任主编,李志宇任副主编,吴生绪审稿。

特别感谢广东省模具工业协会会长、华南理工大学阮锋教授,广东智通人才连锁有限公司副总经理李纲领先生,东莞市智通职业培训学校校长张本昌先生,东莞三凯园林制品有限公司总经理刘婷莉女士,香港基达塑胶模具工程公司总经理温启文先生,东莞横沥启达塑胶模具制品厂总经理关惜光先生,在编写过程中给予的大力支持,并提出了许多宝贵意见。

本书在编写过程中得到了北京吉利大学、包头职业技术学院的大力支持,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限、时间仓促,书中难免存在错误和不足之处,敬请批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 塑料及其成型工艺性能 1

1.1 塑料概述	1
1.1.1 塑料的组成	1
1.1.2 塑料的来源	2
1.1.3 塑料的发展	2
1.1.4 塑料的分类	3
1.2 塑料的特性	4
1.2.1 塑料的优点	4
1.2.2 塑料的缺点	5
1.3 塑料的成型方法	5
1.3.1 热塑性塑料的成型方法	5
1.3.2 热固性塑料的成型方法	6
1.4 热塑性塑料成型的工艺特性	7
1.4.1 收缩性	7
1.4.2 流动性	8
1.4.3 相容性	9
1.4.4 热敏性	9
1.4.5 水敏性	9
1.4.6 应力开裂	9
1.4.7 吸湿性	10
1.4.8 降解	10
1.4.9 玻璃化温度	10
1.4.10 流长比和型腔压力	10
1.5 常用热塑性塑料	11
1.5.1 PE (聚乙烯)	11
1.5.2 PS (聚苯乙烯)	12
1.5.3 GPPS (通用级聚苯乙烯)	12
1.5.4 HIPS (改性聚苯乙烯)	13
1.5.5 ABS (丙烯腈-丁二烯-苯乙烯 共聚物)	13
1.5.6 MBS (透明 ABS)	13
1.5.7 PP (聚丙烯)	14
1.5.8 PC (聚碳酸酯)	14
1.5.9 PA6 (聚酰胺 6)	15
1.5.10 PA66 (聚酰胺 66)	15
1.5.11 PVC (聚氯乙烯)	16

1.5.12 POM (聚甲醛)	17
1.5.13 PMMA (聚甲基丙烯酸甲酯)	17
1.5.14 EVA (乙烯-醋酸乙烯酯 共聚物)	18
1.5.15 AS (SAN) (丙烯腈-苯乙烯 共聚物)	18
1.5.16 SBC (K-Resin) (丁二烯-苯乙烯 共聚物)	18
1.5.17 PBT (聚对苯二甲酸丁 二醇酯)	19
1.5.18 PC/ABS (聚碳酸酯和丙烯腈- 丁二烯-苯乙烯共聚物的 混合物)	20
1.5.19 PC/PBT (聚碳酸酯和聚对苯二 甲酸丁二醇酯的混合物)	20
1.5.20 PET (聚对苯二甲酸 乙二醇酯)	20
1.6 透明塑料	21
1.6.1 对塑料件设计和模具设计的 要求	22
1.6.2 对注射成型工艺方面的要求	22
1.6.3 其他方面的问题	22
1.7 常用塑料的判别	22
1.7.1 外观判别法	22
1.7.2 燃烧观察法	23
1.7.3 密度判别法	24
1.8 热塑性塑料的高性能化	24
1.9 热固性塑料成型的工艺特性	25
1.9.1 收缩性	25
1.9.2 流动性	26
1.9.3 硬化速度	26
1.9.4 比容和压缩率	26
1.9.5 水分及挥发物含量	26
1.10 热塑性塑料的应用	27
第 2 章 增强塑料	29
2.1 增强塑料的分类	29
2.2 增强材料	29

2.2.1 玻璃纤维	29	5.1 模架的分类	65
2.2.2 碳纤维	30	5.2 模架的结构	65
2.3 热塑性增强塑料	31	5.3 模架的规格	68
2.3.1 成型工艺特性	31	5.4 模架的选用	73
2.3.2 成型中的注意事项	31	5.4.1 选用标准模架的程序和要点	73
2.3.3 模具设计中的注意事项	32	5.4.2 托板（支承板）及紧固部件的 设计	73
2.4 热塑性增强塑料的应用	32	5.4.3 大水口模架（直浇口模架）的 选用	77
第3章 塑料件的设计	33	5.4.4 细水口模架（点浇口模架）的 选用	77
3.1 塑料件的外形	33	5.4.5 简化型细水口模架（简化点 浇口模架）的选用	77
3.1.1 保证塑料件的强度和刚度	33	5.4.6 有推板（推件板）模架的 选用	77
3.1.2 塑料件的尺寸和精度	34	5.4.7 有托板（支承板）模架的 选用	77
3.1.3 塑料件的脱模斜度	36	5.4.8 工字模架和直身模架的选用	78
3.2 塑料件常见的组成结构	38	5.4.9 A板和B板（定模板和动模板） 的设计	79
3.2.1 塑料件的壁厚	38	5.5 模架的配件	83
3.2.2 圆角	40	5.5.1 导柱和导套	84
3.2.3 加强肋	41	5.5.2 回针（复位杆）	86
3.2.4 孔	42	5.5.3 中托边（推板导柱）和中托司 （推板导套）	87
3.2.5 成型螺纹	45	5.5.4 螺钉	89
3.2.6 联接螺栓	45	5.5.5 管位块（定位元件）	90
3.2.7 支承面	45	5.5.6 定距拉杆和定距拉板	93
3.2.8 模扣	46	5.5.7 撑头（支承柱）	94
3.2.9 嵌件	48	5.5.8 限位钉	96
3.2.10 塑料件上的文字和符号	51	5.5.9 吊环螺钉	97
3.3 塑料件常见的装配结构	51	5.5.10 推杆孔	97
第4章 注射成型原理及工艺	53	第6章 常用模具配件及其应用	99
4.1 注射机的分类和原理	53	6.1 定位圈	99
4.2 注射机的规格和技术参数	54	6.2 浇口套	100
4.3 注射成型工艺过程	54	6.3 侧抽芯系统配件	101
4.3.1 成型前准备	54	6.3.1 斜导柱	101
4.3.2 注射过程	55	6.3.2 限位件	102
4.3.3 塑料件后处理	56	6.3.3 液压缸和气缸	105
4.4 注射成型工艺条件	56	6.4 脱模系统配件	105
4.4.1 温度	56	6.4.1 推杆	105
4.4.2 压力	56	6.4.2 扁推杆	108
4.4.3 成型周期	57	6.4.3 推管	109
4.4.4 注射成型塑料件常见的缺陷和 原因分析	57		
4.5 注射机与注射模具	60		
4.5.1 注射机的选用	60		
4.5.2 模具在注射机上的安装	63		
4.5.3 注射机安全操作注意事项	64		
第5章 模架分类和结构	65		

6.4.4 气顶	111	9.1 成型零件的组成和要求	166
6.4.5 拉模扣	112	9.2 模具型腔的数量	167
6.4.6 推杆板先复位机构	113	9.2.1 确定型腔数量的方法	167
6.4.7 行程开关	117	9.2.2 确定型腔数量时必须考虑的因素	167
6.4.8 计数器	118	9.3 模具分型面及类型	168
6.4.9 液压缸	118	9.4 成型零件的设计过程	178
6.5 温度控制系统配件	121	9.4.1 模具排位	178
6.5.1 密封胶圈	121	9.4.2 内模镶件外形尺寸的设计	180
6.5.2 无头螺钉和橡胶止水塞	123	9.4.3 内模镶件的配合公差	183
6.5.3 水管接头	124	9.4.4 成型零件工作尺寸的计算	184
6.5.4 传热棒	125	9.5 成型零件的结构形式	186
6.5.5 电热棒	125	9.5.1 凹模的设计	186
第7章 注射模具设计步骤及实例	127	9.5.2 凸模的设计	190
7.1 注射模具设计的基本要求	127	第10章 注射模具浇注系统设计	196
7.2 注射模具设计的基本程序	128	10.1 浇注系统设计的基本要点	196
7.3 注射模具设计前的准备	131	10.2 浇注系统的组成	196
7.3.1 注射模具设计前的注意事项	131	10.3 主流道的设计	198
7.3.2 注射模具设计前的检验与思考	132	10.3.1 主流道的形式	198
7.3.3 塑料件结构分析	133	10.3.2 主流道的设计要点	198
7.3.4 注射模具结构分析	135	10.4 分流道的设计	199
7.4 注射模具设计图的基本形式及要求	137	10.4.1 分流道设计时须考虑的因素	199
7.5 注射模具设计实例	138	10.4.2 分流道的截面形状	199
第8章 注射模具的类型和结构	149	10.4.3 分流道的设计要点	201
8.1 注射模的概念	149	10.4.4 分流道的布置	201
8.2 常用的模具类型	149	10.4.5 辅助流道的设计	204
8.2.1 二板模	149	10.5 浇口的设计	205
8.2.2 三板模	151	10.5.1 浇口的作用	205
8.2.3 热流道模	154	10.5.2 浇口的类型	206
8.2.4 二板模和三板模的主要区别	157	10.5.3 浇口的设计原则	210
8.3 注射模的基本结构	158	10.5.4 浇口位置选择实例	212
8.3.1 成型零件	158	10.6 冷料穴和拉料杆的设计	214
8.3.2 浇注系统	159	10.6.1 冷料穴的设计	214
8.3.3 侧抽芯机构	159	10.6.2 拉料杆的设计	215
8.3.4 温度调节系统	160	第11章 注射模具侧向分型与侧向抽芯机构设计	217
8.3.5 排气系统	160	11.1 侧向分型与侧向抽芯机构概述	217
8.3.6 脱模系统	161	11.2 侧向分型与抽芯机构的种类	217
8.4 双色注射模具	161	11.3 定模抽芯	220
8.5 气体辅助注射成型	163	11.3.1 斜向T形块定模抽芯	220
8.6 注射模具设计构想	164	11.3.2 斜导柱定模抽芯	223
第9章 注射模具成型零件设计	166		

11.3.3 斜拉钩定模抽芯	224	13.3.2 模具零部件配合间隙排气	268
11.3.4 液(气)压缸定模抽芯	225	13.3.3 利用镶针排气	268
11.4 定模弹块	227	13.3.4 利用微孔金属块排气	268
11.4.1 T形块导向定模弹块	227	13.4 模具中滞气的后果	269
11.4.2 斜导柱导向定模弹块	229	13.5 模具中引气的方法	269
11.5 动模抽芯	230	第14章 注射模具脱模机构设计	271
11.5.1 斜向T形块动模抽芯	230	14.1 脱模机构的概念和分类	271
11.5.2 斜导柱动模抽芯	231	14.2 脱模机构的组成和要求	271
11.5.3 斜拉钩动模抽芯	231	14.3 脱模机构的设计	272
11.5.4 斜拉钩动模内抽芯	232	14.3.1 脱模力的计算	272
11.5.5 液(气)压缸动模抽芯	233	14.3.2 一次脱模机构	273
11.6 斜顶	234	14.3.3 二次脱模机构	276
11.6.1 斜顶杆	239	14.3.4 气动脱模机构	282
11.6.2 斜顶座	240	14.4 推出机构的复位	283
11.7 特殊抽芯结构	242	14.5 推杆板先复位机构	284
11.8 螺纹侧抽芯脱模机构	249	第15章 注射模具热流道系统设计	286
11.8.1 手动脱模	250	15.1 热流道系统的概念	286
11.8.2 机动脱模	251	15.2 热流道的分类	286
第12章 注射模具温度控制系统		15.3 热流道的组成和形式	287
设计	259	15.3.1 热流道的组成	287
12.1 模具温度控制及调节的重要性	259	15.3.2 热流道的形式	288
12.2 模具温度控制系统的基本要求	259	15.4 热流道系统的设计	289
12.3 模具冷却系统的设计	260	15.5 热流道系统的装配	291
12.3.1 影响模具冷却的因素	260	第16章 注射模具常用钢材	293
12.3.2 模具冷却的类型	261	16.1 注射模具常用钢材的分类	293
12.3.3 模具冷却的原则	264	16.2 注射模具常用钢材的选用	295
12.4 模具加热系统的设计	264	16.2.1 选用模具钢材的依据	295
12.4.1 模具加热的类型	264	16.2.2 模具各零件常用钢材	296
12.4.2 模具加热的原则	265	16.3 注射模具常用钢材的热处理	296
第13章 注射模具排气和引气系统的		附录	298
设计	266	附录A 常用塑料的收缩率	298
13.1 排气系统的概念	266	附录B 塑料模塑件尺寸公差	
13.2 模具中气体的来源	266	(GB/T 14486—2008)	299
13.3 模具中排气的方法	266	附录C 注射模具术语对照表	301
13.3.1 模具分型面设排气槽	266	参考文献	303

第 1 章 塑料及其成型工艺性能

1.1 塑料概述

1.1.1 塑料的组成

塑料的主要成分是树脂。树脂可分为天然树脂和合成树脂，都属于高分子化合物。塑料是利用单体原料以合成或缩合反应聚合而成的材料，由合成树脂及填料、增塑剂、稳定剂、润滑剂、着色剂等添加剂组成，它的主要成分是合成树脂。其在塑料中的含量（质量分数）一般在 40% 以上。

广义的塑料是指具有塑性的材料。所谓塑性是指受外力作用时，发生形变，外力取消后，仍能保持受力时的状态。塑料的弹性模量介于橡胶和纤维之间，受力能发生一定形变。软塑料的弹性模量接近橡胶，硬塑料的弹性模量接近纤维。

狭义的塑料是指以树脂（或在加工过程中用单体直接聚合）为主要成分，以增塑剂、填充剂、润滑剂、着色剂等添加剂为辅助成分，在加工过程中能流动成型的材料。

（1）合成树脂：由人工合成的一类高分子聚合物，为粘稠液体或加热可软化的固体，受热时通常有熔融或软化的温度范围，在外力作用下可呈塑性流动状态，某些性质与天然树脂相似。合成树脂最重要的应用是制造塑料。为便于加工和改善性能，常添加助剂，有时也直接用于加工成型，故常是塑料的同义语。合成树脂还是制造合成纤维、涂料、胶粘剂、绝缘材料等的基础原料。合成树脂的种类繁多，按主链结构有碳链、杂链和非碳链合成树脂；按合成反应的特征有加聚型和缩聚型合成树脂。实际应用中，常按其热性能分为热塑性树脂和热固性树脂。

（2）填料：又称填充剂，是用量最大的添加剂，几乎所有的塑料（包括热塑性和热固性塑料）、天然橡胶和涂料都使用大量填料。例如：制造塑料时加入木粉、陶土或碳酸钙等，不仅能改善塑料件的力学性能，增加硬度，而且还可降低成本；用石墨、磁粉或云母作填料，可提高塑料的导电性、通磁性和耐热性；橡胶中加入炭黑或二氧化硅（白炭黑）可显著提高塑料件的物理性能；纺丝液中加入钛白粉（二氧化钛）可以遮光和染色。在涂料工业中常加入白色或带色填料（如钛白粉、滑石粉、碳酸钙、硫酸钡等）以改善涂料的光学、物理和化学性能，这类用途的填料（填充剂）称为体质颜料或展色料。

（3）增塑剂：就是添加到聚合物体系中的，能使聚合物体系的塑性增加的物质。增塑剂的主要作用是削弱聚合物分子之间的次价键，即范德华力，从而增加了聚合物分子链的移动性，降低了聚合物分子链的结晶性，即增加了聚合物的塑性，表现为聚合物的硬度、模量、软化温度和脆化温度下降，而伸长率、挠曲性和柔韧性提高。增塑剂一般要求是无色、无味、无毒、互溶性好、挥发性小，不燃且化学稳定性好。

（4）稳定剂：凡能减缓塑料因各种环境条件而发生劣化的物质就叫稳定剂。其分为热

稳定剂、光稳定剂、抗氧剂、增韧剂。

(5) 润滑剂：改进塑料熔体的流动性和脱模性，减少或避免对机器设备或模具的摩擦和粘附，以及改善塑料件的表面粗糙度。常用的润滑剂有硬脂酸及其钙镁盐等。

(6) 着色剂：又称色料、色粉，主要是起到美观和装饰作用。

(7) 抗静电剂：塑料是卓越的绝缘体，所以很容易带静电，而抗静电剂可赋予塑料以轻度至中等的电导性，从而可以防止塑料件上静电荷的积聚。

不同品种牌号的塑料，由于选用树脂及添加剂的性能、成分、配比及塑料加工工艺的不同，其使用及工艺特性也各不相同。

1.1.2 塑料的来源

生产合成树脂的原料来源丰富，早期以煤焦油产品和电石碳化钙为主，现多以石油和天然气的产品为主，如氯乙烯、乙烯、丙烯、苯、乙醇、甲醛及尿素等。合成树脂的生产方法有本体聚合、悬浮聚合、乳液聚合、溶液聚合、熔融聚合和界面缩聚等。塑料的主要成分是合成的或天然的高分子化合物，即聚合物。一般的塑料分子中都含有碳（C）原子和氢（H）原子，有的塑料分子结构中含有少量氧（O）原子、硫（S）原子。塑料的基本原料是低分子碳、氢化合物。

1.1.3 塑料的发展

1. 塑料时代的开始 从第一个塑料产品赛璐珞的诞生算起，塑料工业迄今已有 120 年的历史。其发展历史可分为三个阶段。

(1) 天然高分子加工阶段：这个时期以天然高分子，主要是纤维素的改性和加工为特征。1869 年美国人 J. W. 海厄特发现在硝酸纤维素中加入樟脑和少量酒精可制成一种可塑性物质，热压下可成型为塑料件，命名为赛璐珞。1872 年在美国纽瓦克建厂生产。当时除用作象牙代用品外，还加工成马车和汽车的风挡和电影胶片等，从此开创了塑料工业，相应地也发展了模压成型技术。

(2) 合成树脂阶段：这个时期是以合成树脂为基础原料生产塑料为特征。1909 年美国人 L. H. 贝克兰在用苯酚和甲醛来合成树脂方面有了突破性的进展，取得第一个热固性树脂——酚醛树脂的专利权。在酚醛树脂中加入填料后，热压制成模压塑料件、层压板、涂料和胶粘剂等，这是第一个完全合成的塑料。1910 年在柏林吕格斯工厂建立通用酚醛树脂公司并投入生产。在 20 世纪 40 年代以前，酚醛塑料是最主要的塑料品种，约占塑料产量的 2/3，主要用于电器、仪表、机械和汽车工业。1940 年 5 月 20 日的《时代》周刊则将贝克兰称为“塑料之父”。

(3) 大发展阶段：在这一时期通用塑料的产量迅速增多，聚烯烃塑料在 20 世纪 70 年代又有聚 1-丁烯和聚 4-甲基-1-戊烯投入生产，形成了世界上产量最大的聚烯烃塑料系列，同时出现了多品种高性能的工程塑料。1958—1973 年的 16 年中，塑料工业处于飞速发展时期，1970 年产量为 3000 万 t。除产量迅速猛增外，其特点是：①由单一的大品种通过共聚或共混改性，发展成系列品种，如聚氯乙烯除生产多种牌号外，还发展了氯化聚氯乙烯、氯乙烯-醋酸乙烯共聚物、氯乙烯-偏二氯乙烯共聚物、共混或接枝共聚改性的抗冲击聚氯乙烯等；②开发了一系列高性能的工程塑料新品种，如聚甲醛、聚碳酸酯、ABS 树脂、聚苯醚、

聚酰亚胺等；③广泛采用增强、复合与共混等新技术，赋予塑料以更优异的综合性能，扩大了应用范围。

2. 中国塑料行业历史进程、产业现状及发展 中国塑料工业经过长期的奋斗和面向全球的开放，已形成门类较齐全的工业体系，成为与钢材、水泥、木材并驾齐驱的基础材料产业，作为一种新型材料，其使用领域已远远超越上述三种材料。进入21世纪以来，中国塑料工业取得了令世人瞩目的成就，实现了历史性的跨越。作为轻工行业支柱产业之一的塑料行业，近几年增长速度一直保持在10%以上，在保持较快发展速度的同时，经济效益也有新的提高。塑料件制品行业中等规模以上企业产值总额在轻工19个主要行业中位居第三，实现产品销售率97.8%，高于轻工行业平均水平。从合成树脂、塑料机械和塑料件生产来看，都显示了中国塑料工业强劲的发展势头。

1.1.4 塑料的分类

(1) 按照塑料使用特性分类：通常将塑料分为通用塑料、工程塑料和特种塑料。

通用塑料通常产量大、用途广、成型性好、价格低廉、性能一般，多用于制作日用品。通用塑料有五大品种，即PE（聚乙烯）、PP（聚丙烯）、PVC（聚氯乙烯）、PS（聚苯乙烯）及ABS（丙烯腈-丁二烯-苯乙烯），它们都是热塑性塑料。

工程塑料通常是指能承受一定外力作用，具有良好的机械性能和耐高、低温性能，尺寸稳定性较好，可以用作工程结构的塑料。如：PC（聚碳酸酯）、POM（聚甲醛共聚物）、PA（聚酯胺，尼龙）等。

特种塑料通常是指具有特种功能，可用于航空、航天等特殊应用领域的塑料。如氟塑料和有机硅具有突出的耐高温、自润滑等特殊功用，泡沫塑料和增强塑料具有高强度、高缓冲性等特殊性能，这些塑料均属于特种塑料的范畴。

(2) 按照塑料的结晶形态分类，一般分为结晶性和非结晶性塑料。

结晶性塑料有明显的熔点，固体时分子呈规则排列，大多数的属于部分结晶态。如：PE、PP、PA、POM、PET（聚对苯二甲酸乙二醇酯）、PBT（聚对苯二甲酸丁二醇酯）等。

非结晶性塑料高分子链凌乱排列并相互纠缠，未形成有序的排列结构，在凝固过程中没有晶核及晶粒生长过程。如：ABS、PC、PVC、PS、PMMA（聚甲基丙烯酸甲酯）、AS（丙烯腈-苯乙烯共聚物）等。

两类塑料绝对不能混合在一起，如混合在一起那就会产生废品，表面产生起泡、起水银纹、严重的起皮，故而应注意两种类型塑料不能随便混合，否则后果严重。所以特别对废塑料来说，要鉴别哪一种是什么料，并且都要分别挑开才能使用，但同类塑料混一点没有什么大的影响，如丙烯、乙烯混一些影响不大，ABS和GPPS（通用级聚苯乙烯）混合后也没有什么影响。

(3) 按照塑料的透明度分类：通常分为透明塑料、半透明塑料和不透明塑料。

常用的透明塑料，如：PS、PMMA、PC等。

半透明塑料，如：PP、PVC、PE、PET、PSU（聚砜）等。

不透明塑料，如：POM、PA、ABS、HIPS等。

(4) 按照塑料的硬度分类：通常分为硬质塑料、半硬质塑料和软质塑料。

常用硬质塑料，如：ABS、POM、PS、PMMA、PC、PET等。

半硬质塑料, 如: PP、PE、PA、PVC 等。

软质塑料, 如: TPE、TPR、EVT、TPU、软 PVC 等。

(5) 按照塑料受热后的性质分类: 可分为热塑性塑料和热固性塑料。

热塑性塑料又称线型高分子化合物, 其分子结构是线型结构。通常在一定温度下也会发生软化或熔化, 可塑制成一定的形状, 冷却后又变硬。在受热到一定程度后又重新软化, 冷却后又变硬, 这种过程能够反复进行多次, 塑料的分子结构没有发生变化, 即只发生物理变化。其成型容易, 应用相当广泛, 常用的热塑性塑料有 PS、PE、PP、PVC、PA、PMMA、PC、ABS、POM、PPO、PSU、PAS (聚芳砜) 等。

热固性塑料称为体型高分子化合物, 其分子结构是体型结构。通常在一定温度下发生软化, 可以塑制成一定的形状, 但受热到一定的程度或加入少量固化剂后, 就硬化定型, 再加热也不会变软和改变形状了。热固性塑料加工成型后, 受热不再软化, 是因为塑料的分子结构发生了变化, 即发生了化学变化, 因此不能回收再利用。常用热固性塑料如酚醛塑料, 氨基塑料、环氧树脂等都属于此类塑料。热固性塑料成型工艺过程比较复杂, 主要用于压塑、挤出、压注成型等, 所以连续化生产有一定的困难, 但其耐热性好, 不容易变形, 而且价格比较低廉。目前主要用于低压挤塑封装电子元件及浇注成型等。

1.2 塑料的特性

塑料主要有以下特性: 质轻, 化学性稳定, 不会锈蚀; 耐冲击性好; 具有较好的透明性和耐磨耗性; 绝缘性好, 导热性低; 一般成型性、着色性好, 加工成本低; 大部分塑料耐热性差, 热膨胀率大, 易燃烧; 尺寸稳定性差, 容易变形; 多数塑料耐低温性差, 低温下变脆; 容易老化; 某些塑料易溶于溶剂。

1.2.1 塑料的优点

塑料与钢铁、有色金属等工程材料相比较, 有很多优点。

(1) 质轻: 一般塑料的密度在 $0.8 \sim 2.2 \text{ g/cm}^3$ 之间。绝大多数塑料的密度都在 1 g/cm^3 左右。泡沫塑料的密度较小, 只有 0.1 g/cm^3 。由于塑料密度小这一特点, 使其在飞机、船舶、汽车制造和航天领域都得到了广泛的运用。

(2) 比强度大: 塑料是一种轻质高强的材料, 其强度和刚度虽然不如金属高, 但是密度比金属小很多, 相对比强度就比金属高得多。在空间应用领域, 塑料的这个特性具有非常重要的意义。

(3) 减摩、耐磨、自润滑性好: 大多数塑料的摩擦系数都很小、耐磨性好、具有良好的自润滑性能, 加上强度好、传动声音小, 因此可以做成机械传动的零部件, 如: 齿轮、凸轮、滑轮等。

(4) 电绝缘性好: 几乎所有的塑料都具有优良的电气绝缘性能和极低的介质损耗性能, 其电绝缘性可与陶瓷、橡胶媲美。因此, 被广泛用于电力、电动机、电子工业中做成绝缘材料和结构零件, 如电器外壳、电线电缆、电源插座等。

(5) 成型性: 塑料在一定条件下具有良好的可塑性, 为其成型加工创造了良好的条件。

(6) 着色性好: 塑料的着色比较容易, 而且范围广。根据实际需要可染成各种颜色。

另外,有些塑料具有良好的光学透明性。如:PMMA(有机玻璃)、PS、PC。

(7) 加工特性好:塑料可以根据使用要求加工成多种形状的产品,且加工工艺简单,宜于采用机械化大规模生产。

(8) 防护性:塑料具有防腐、防水、防潮、防振、防辐射、防透气等性能。

(9) 保温性:由于塑料的比热容大、热导率小,因此其保温和隔热性能良好。

(10) 化学稳定性:一般的条件下塑料不与其他物质发生化学反应。因此,在化工、防腐领域中得到广泛应用。如:管道、容器等,另外特别适合做化工厂的门窗、地面、墙体等。

1.2.2 塑料的缺点

塑料的优点很多,但与金属材料相比,还是有一些不足之处。

(1) 易老化:塑料件的老化是指塑料件在阳光、空气、热及环境介质中,如酸、碱、盐等作用下,分子结构产生递变,增塑剂等组分挥发,化合键产生断裂,从而使力学性能变坏,甚至发生硬脆、破坏等现象。

(2) 易燃:塑料不仅可燃,而且在燃烧时发烟量大,甚至产生有毒气体。

(3) 耐热性差:塑料一般都具有受热变形,甚至产生分解的问题,在使用中要注意其限制温度,一般塑料能在100℃以下使用,只有少数工程塑料能在200℃左右使用。

(4) 刚度小:塑料是一种粘弹性材料,弹性模量低,只有钢材的1/20~1/10,且在荷载的长期作用下易产生蠕变,即随着时间的延续变形增大。而且温度愈高,变形增大愈快。

(5) 塑料件精度低:塑料成型性能虽好,但是受成型工艺的影响,收缩率难以控制,塑料件的尺寸精度就低,这个是设计塑料件的工程技术人员应该要考虑的问题。

1.3 塑料的成型方法

塑料的种类很多,其成型的方法也很多,有注射成型、挤出成型、吹塑成型、吸塑成型、压塑成型和压注成型等,这六种方法也是目前最常用的方法。

1.3.1 热塑性塑料的成型方法

热塑性塑料主要的成型方法包括注射成型、挤出成型、吹塑成型、吸塑成型等

1. 注射成型 注射成型是热塑性塑料成型的一种重要方法,所用模具为塑料注射模,又称注射模。其成型周期短,能一次成型形状复杂、尺寸精确、可带有金属或非金属嵌件的塑料件。注射成型的生产效率高,易实现自动化生产。到目前为止,除氟塑料之外,几乎所有的热塑性塑料都可以用注射成型的方法成型。因此,注射成型广泛应用于各种塑料件的生产。注射成型的缺点是所用的注射设备价格较高,注射模具结构复杂,生产成本低、周期长,不适合单件小批量制品生产。除了热塑性塑料外,一些流动性好的热固性塑料也可用注射方法成型,其原因是这种方法生产效率高,产品质量稳定。注射模对应加工设备是塑料注射机,又称为注射机。

注射成型工艺包括成型前的准备、注射过程、塑料件的后处理。

(1) 成型前的准备:为了保证注射成型的正常进行和塑料件质量,在注射成型前应做

一定的准备工作,如对塑料原料进行外观检查,即检查原料的色泽、细度及均匀度等,必要时还应对塑料的工艺性能进行测试。对于吸湿性强的塑料,如PA、PC、ABS等,在成型前应进行充分的预热干燥,除去物料中过多的水分和挥发物,以防止成型塑料件出现气泡和银纹等缺陷。

对于有嵌件的塑料件,由于金属与塑料的收缩率不同,嵌件周围的塑料容易出现收缩应力和裂纹,因此,成型前可对嵌件进行预热,减小它在成型时与塑料熔体的温差,避免或减少嵌件周围的塑料出现收缩应力或裂纹。在嵌件小时,对于分子链柔顺度大的塑料也可以不预热。

为了使塑料件容易从模具内脱出,有的模具型腔或模具型芯还需喷上脱模剂。

在成型前,针对不同品种的塑料有时还需对模具进行预热。

(2) 注射过程:完整的注射过程包括加料、塑化、充模、保压、冷却和脱模等几个阶段。

(3) 塑料件的后处理:由于塑化不均匀或塑料型腔内的结晶、取向和冷却不均匀及金属嵌件的影响等原因,塑料件内部不可避免地存在一些应力,从而导致塑料件在使用过程中产生变形或开裂。为了解决这些问题,可对塑料件进行一些适当的后处理。常用的处理方法有退火和调湿两种。

2. 挤出成型 挤出成型是用来生产连续形状的塑料件,所用模具为挤出模具。广泛运用于生产管材、棒料、板材、片材、薄膜、电线电缆包覆层、异型材等。挤出成型所用设备为挤出机。挤出成型方法有以下特点。

(1) 连续成型,产量大,生产率高,成本低,经济效益显著。

(2) 塑料件的几何形状简单,横截面形状不变,所以模具结构较简单,制造维护方便。

(3) 塑料件内部组织均衡紧密,尺寸比较准确。

(4) 适应性强,除氟塑料外,所有的热塑性塑料都可采用挤出成型,部分热固性塑料也可以采用挤出成型。挤出工艺设备结构简单,操作方便,应用广泛。

3. 吹塑成型 吹塑成型常用来生产塑料容器类中空塑料件,如饮料瓶、日化用品等各类包装容器。吹塑成型模具所用模具为吹塑模具,吹塑成型的形式按工艺原理主要有中空吹塑成型、注射吹塑中空成型、注射拉伸吹塑中空成型(俗称注拉吹)、多层吹塑中空成型、片材吹塑中空成型等。中空塑料件吹塑成型所对应的设备通常称为塑料吹塑成型机,吹塑成型只适用于热塑性塑料件的生产。

4. 吸塑成型 吸塑成型是以塑料板、片材为原料生产某些较简单的塑料件,吸塑成型所用模具为吸塑模具,其原理是利用抽真空成型方法或压缩空气成型方法使固定在凹模或凸模上的塑料板、片,在加热软化的情况下变形而贴在模具的型腔上得到所需的塑料件,主要用于一些日用品、食品、玩具包装制品的生产方面。吸塑模具因成型时压力较低,所以模具材料多选用铸铝、木料、石膏或其他非金属材料制造,结构较为简单。

1.3.2 热固性塑料的成型方法

热固性塑料的成型方法包括压缩成型和压注成型两种,其所使用的设备是压力成型机。压塑成型的方法是根据塑料特性,将模具加热至成型温度(一般在 $103 \sim 180^{\circ}\text{C}$),然后将计量好的塑料粉末放入模具型腔和加料室,闭合模具,塑料在高温、高压的作用下呈软化黏

流,经一定时间后固化定型,成为所需的塑料件形状,压注成型与压缩成型不同的是设有单独的加料室,成型前模具先闭合,塑料在加料室内完城预热呈黏流态,在压力作用下高速挤入模具型腔,硬化成型。压缩模具也是用来成型某些特殊的热塑性塑料,如难以熔融的热塑性塑料(如聚四氟乙烯)毛坯(冷压成型)、光学性能很高的树脂镜片、纤维发泡的硝酸纤维素汽车方向盘等。压缩模具主要由型腔、导向机构、推出部件、加热系统等组成。压注模具广泛运用于封装电子元件方面。

1.4 热塑性塑料成型的工艺特性

热塑性塑料成型的工艺特性是指其在成型加工过程中表现出来的特有性质,模具设计者必须对成型工艺有充分的了解。

1.4.1 收缩性

塑料件从温度较高的模具中取出冷却到室温后,其尺寸或者体积发生收缩变化的特性称为收缩性。收缩性的大小以单位长度塑料件收缩量的百分比来表示,称为收缩率。由于成型模具与塑料的线膨胀系数不同,收缩率分为实际收缩率和计算收缩率,其计算公式如下

$$S_s = \frac{a-b}{b} \times 100\% \quad (1-1)$$

$$S_j = \frac{c-b}{b} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中 S_s ——实际收缩率(%) ;

S_j ——计算收缩率(%) ;

a ——模具或塑料件在成型温度时的尺寸(mm) ;

b ——塑料件在室温时的尺寸(mm) ;

c ——模具在室温时的尺寸(mm) ;

实际收缩率表示塑料件实际发生的收缩。因其值与计算收缩率相差很小,且塑料件在成型温度时的单向尺寸难以测量,因此,模具设计时都以计算收缩率为设计参数来计算型腔和型芯尺寸。

影响收缩率变化的因素除了热胀冷缩、脱模时的弹性及塑性变形外,还与注射成型时的许多工艺条件有关。往往不同批次的同品种塑料,其收缩值也经常不同。影响塑料件成型收缩的因素主要有:

(1) 塑料品种:塑料品种不同,其收缩率也各不相同。同种塑料由于其各部分的比例不同,分子量的大小不同,收缩率也不相同。例如:树脂的相对分子质量高,填料为有机物填料,含树脂比例较大,所以该类塑料的收缩率就大。

(2) 塑料件结构:塑料件的形状、大小、壁厚、有无嵌件、嵌件数量及其分布对收缩率的大小都有很大的影响。一般而言,塑料件的形状复杂、尺寸较小、壁薄、有嵌件、嵌件数量多且对称分布,其收缩率较小。

(3) 模具结构:模具的分型面、浇口形式及尺寸等因素直接影响料流方向、密度分布、保压补缩作用及成型时间。采用直浇口或大截面的浇口,可以减少收缩,但是各异性大,沿

料流方向收缩小,沿垂直料流方向收缩大;反之,当浇口的厚度较小时,浇口部分会过早凝结硬化,型腔内的塑料收缩后得不到及时补充,收缩较大。点浇口凝封快,在制件条件允许的情况下,可做多点浇口,可有效地延长保压时间和增大型腔压力,使收缩率减小。

(4) 成型工艺:模具温度、压力和周期是影响成型工艺的主要因素。模具温度高,熔料冷却慢,则塑料件密度低,收缩率大。尤其是结晶型塑料,因其结晶度高,体积变化大,所以收缩率大。模具温度分布与塑料件内外冷却及密度的均匀性有关,直接影响到各部位收缩率的大小及方向性。此外,成型压力及保压时间对收缩也有较大的影响。压力高、时间长的收缩率小,但方向性大;注射压力高、熔料黏度小、层间切应力小和脱模后弹性恢复大的,收缩可相应减小;料温高的,则收缩率大,但方向性小。因此在成型时调整模具温度、压力、注射速度及冷却时间等因素,也可以适当地改变塑料件收缩情况。

以上所述,影响塑料收缩率的因素很多,而且比较复杂,因此收缩率是在一定范围内变化的,在模具设计时根据以上的因素综合考虑选取塑料的收缩率。常用热塑性塑料的收缩率见附录 A。

模具设计时根据不同塑料的收缩范围、壁厚、形状、浇口的形式、尺寸及分布情况,按照实际工作经验和理论分析来确定塑料件各部分的收缩率,再来计算型腔尺寸。特别对高精度塑料件及难以掌握收缩率时,通常采用以下方法来辅助设计模具。

(1) 对塑料件外形取较小收缩率,内径取较大收缩率,内外留有余量便于试模后有修正的余地。发生此类情况的产品主要有:壁薄件、框架形状件等。

(2) 先按初步的浇注形式试模,之后根据塑料件实际存在的问题重新确定新的浇注形式、尺寸和成型条件。此类设计普遍应用于点浇口模具。

(3) 对一些较大产品局部装配位置要求高的,应在该部位做镶件。按照实际收缩情况来修正模具。

1.4.2 流动性

塑料在一定温度和压力下填充型腔的能力称为流动性。塑料流动性差就不容易充满型腔,易产生缺料或熔接痕等缺陷,因此需要较大的成型压力才能成型。相反,塑料的流动性好,用较小的成型压力就能充满型腔。但是流动性好,会在成型过程中产生严重的溢边。所以选用塑料的流动性必须与塑料件大小、性能要求、成型工艺及成型条件相适应。

模具设计时应根据流动性能来考虑浇注系统、分型面及进料方向等。

(1) 热塑性塑料流动性大小一般可通过分子量的大小、熔体指数、阿基米德螺旋线长度、表观黏度及流动比(流程长度/塑料件壁厚)等一系列指数进行分析。分子量小,分子分布宽,分子结构整体性差,熔体指数高、螺旋线长度长、表观黏度小、流动比大的则流动性好。各种塑料的流动性也因成型因素而变,主要影响的因素有:

1) 温度。料温高则流动性增大,但不同塑料也各有差异,PC、PP、PS、PA、PMMA、ABS 等塑料的流动性随温度变化较大。PE、POM 等塑料的流动性随温度变化较小。所以前者在成型时宜用调节温度的方法来控制流动性。

2) 压力。注射压力增大,则熔料受剪切作用大,流动性也增大,尤其是 PE 和 POM 较为敏感。反之,PC 料对压力的反应不敏感。

3) 模具结构。浇注系统的形式、尺寸、结构(如型腔表面粗糙度、浇道截面厚度、型

腔形式、排气系统)、冷却系统的设计和熔料的流动阻力等因素都会直接影响熔料的流动性。凡促使料温降低、流动阻力增加的因素,都会使流动性降低。

(2) 在常用的热塑性塑料中,按照模具设计要求大概可将其流动性分为三类:

- 1) 流动性好的有: PE、PP、PS、PA、乙酸钠纤维素等。
- 2) 流动性中等的有: ABS、改性 PS、AS、PMMA (有机玻璃)、POM、聚氯醚等。
- 3) 流动性差的有: PC、硬 PVC、PPO、PSF、PAS、氟塑料等。

1.4.3 相容性

相容性指两种或两种以上不同品种的塑料,在熔融状态不产生相互分离现象的能力。若两种塑料不相容,则混熔后塑料件会出现分层、脱皮等表面缺陷。不同塑料的相容性与其分子结构有一定关系,分子结构相似者较易相容,如:高压聚乙烯、低压聚乙烯、聚苯乙烯彼此之间的混熔等,分子结构不同时较难相容,如聚乙烯和聚苯乙烯之间的混熔。

塑料的相容性又称共混性。通过塑料的这个性质,可得到类似共聚物的综合性能,这是改进塑料性能的重要途径之一,如 ABS 和 PC 相容,就能改善聚碳酸酯的工艺性。

1.4.4 热敏性

热敏性是指塑料的化学性质对热量作用的敏感程度,热敏性很强的塑料称为热敏性塑料。其在分解时产生单体、气体、固体等副产物,特别是有的气体对人体、设备、模具都具有刺激、腐蚀作用或毒性。所以,模具设计时选择注射机及成型都应注意,应该选用螺杆式注射机,浇注系统截面宜大,料筒和模具应镀铬(或者模具内模镶件选用 S136、S136H、2316、2316H 等防腐蚀性钢材)。

1.4.5 水敏性

有的塑料(如 PC)即使含有少量水分,在高温、高压下也会发生分解,这种性质称为水敏性。因此,塑料在使用前必须预先加热干燥。不同的塑料有不同的干燥时间和干燥温度的规定。常用塑料的含水量与干燥温度见表 1-1。

表 1-1 常用塑料的含水量与干燥温度

塑料名称	允许含水量(w_{H_2O} , %)	干燥温度/℃	塑料名称	允许含水量(w_{H_2O} , %)	干燥温度/℃
PE	0.01	71	PC	最高 0.02	121
PS	0.05 ~ 0.10	71 ~ 79	PP	0.10	71 ~ 82
纤维素塑料	最高 0.40	65 ~ 87	酯类纤维塑料	0.10	76 ~ 87
PVC	0.08	60 ~ 93	PA(尼龙)	0.04 ~ 0.08	71

1.4.6 应力开裂

有的塑料对应力敏感,成型时产生内应力,且质脆易裂,塑料件在外力的作用下或者溶剂作用下即发生开裂现象。因此,除了在原料内加入添加剂提高抗裂性外,对原料还应注意干燥,合理地选择成型条件,以减少内应力和增加抗裂性。应选择合理的塑料件形状,不宜设置嵌件等,尽量减少应力集中。模具设计时应增大脱模斜度,选择合理的进料口及推出机构。成型时应适当地调节料温、模温、注射压力及冷却时间,尽量避免塑料件过于冷脆脱