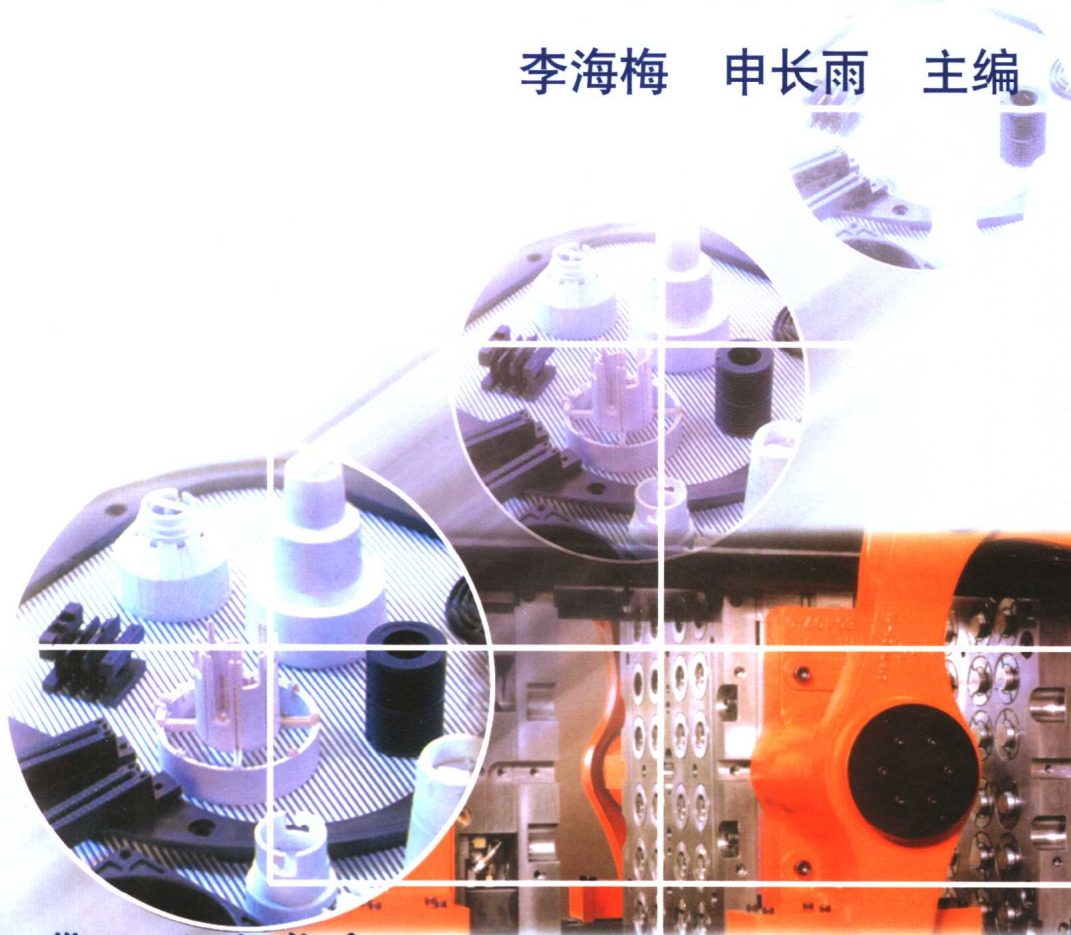


注塑成型 及模具设计 实用技术

李海梅 申长雨 主编



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

注塑成型及模具设计实用技术

李海梅 申长雨 主编

化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

注塑成型及模具设计实用技术/李海梅, 申长雨主编. —北京:
化学工业出版社, 2002.5

ISBN 7-5025-3741-4

I. 注… II. 李… III. ① 注塑-工艺 ② 注塑-塑料模具-
设计 IV. TQ320.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 014589 号

注塑成型及模具设计实用技术

李海梅 申长雨 主编

责任编辑: 龚浏澄

责任校对: 顾淑云

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

北京市管庄永胜印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 15¼ 字数 374 千字

2002 年 6 月第 1 版 2002 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3741-4/TQ·1508

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前言

塑料加工是将原料转变为制品的关键环节。只有迅速地发展塑料加工业,才可能把各种性能优良的高分子材料变成功能各异的制品,在国民经济各领域充分地发挥作用。模具是塑料成型加工的一种重要的工艺装备,同时又是原料及设备的“效益放大器”,模具生产的最终产品的价值,往往是模具自身价值的几十倍、上百倍。因此,模具工业是国民经济的基础工业,被称为“工业之母”,模具生产技术水平的高低,已成为衡量一个国家产品制造业水平高低的重要标志。模具工业的重要性已引起国家的高度重视,国务院 2000 年 7 月 27 日颁布的《当前国家鼓励发展的产业、产品和技术目录》中,信息产业、机械工业、汽车工业、轻纺工业四大领域,均把模具放在重要位置。

塑料成型加工及其模具技术是一门不断发展的综合学科,不仅随着高分子材料合成技术的提高、成型设备成型机械的革新、成型工艺的成熟而进步,而且随着计算机技术、数值模拟技术等塑料成型加工领域的渗透而发展。

注塑成型作为一种重要的成型加工方法,在家电行业、汽车工业、机械工业等都有广泛应用,且生产的制件具有精度高、复杂度高、一致性高、生产率高和消耗低的特点,有很大的市场需求和良好的发展前景。但由于注塑制品和成型模具结构方案的千变万化,再加上传统的注塑模具设计多以人工经验为主,注塑模具的结构和设计的要点不易在短期内掌握。

作者根据注塑成型及模具设计的学习与教学体会,结合河南省的“面向 21 世纪教改项目”完成了此书。本书的初衷是让高分子材料与工程专业的学生针对注塑制品种类及成型模具方案的多样性,能快速地入门,掌握注塑模具的结构和设计的要点。

本书在编写过程中,侧重易于理解及实用性,主要特点体现在以下诸方面。

(1) 在结构体系和编排上全面、系统,符合现代教育思想的要求。本书共分三篇:上篇,塑料及注塑成型工艺;中篇,注塑模具结构设计;下篇,计算机技术在现代注塑成型及模具设计中的应用,这样可使学生从注塑加工对象、注塑成型过程、成型加工装备(模具结构)、注塑成型的发展趋势、注塑成型及注塑模的现代设计方法(计算机技术的应用)等方面纵深把握注塑成型与模具设计的要点。

同时,注重各个章节之间的横向联系。上篇介绍了塑料原料的组成、作用、分类,及常规注塑成型工艺的特点和参数,使读者领悟到材料、工艺、设备是互相联系的;中篇,先总体介绍模具的分类,再介绍成型模具与注塑机的关系,然后讲述浇注系统、成型零部件、导向机构与定位机构、脱模机构、侧向分型与抽芯机构、注塑模具温度调节系统的组成与设计思想,最后强调模具标准化等零件设计的补充要点,及基于注塑成型工艺的特种注塑技术及模具结构,使读者能用发展的观点看待注塑模具设计。下篇,介绍计算机技术在现代注塑模设计中的应用,强调了注塑模 CAD/CAE/CAM 的概念及区别,并举例说明 CAD、CAE、CAM 技术的具体应用,使读者对比中篇的传统设计方法,理解现代设计理论的必要性及局限性,能动地吸取现代与传统设计的精华。

(2) 在内容上易于理解,强调自学能力。由于现行的大多数注塑模教材脱胎于塑料工程手册或专著,有的地方跳跃过大,有的地方过于繁琐,系统性、整体性不强,不便于整体把

握，给初学塑料模具的人设置了许多障碍；而技校、中专的培训教材又过于简单，知其然而不知其所以然，不利于读者的后续学习。因此在本书的编写中，对于工程化的名词，尽量避开较少见的专业词汇，或加入一些深入浅出的解释，使本书的内容适用于初学者。对于模具设计中所用的公式、计算，将原理详细说明，并讲解必要的推导过程，让读者有掌握专业知识的拓展空间。

本书可作为高分子材料与工程专业的教材，也可供高分子材料、模具行业的工程技术人员及相关专业的研究生、本科生、专科生参考。

感谢根据自然科学基金委员会、河南省自然科学基金委员会、河南省教育厅的项目支持以及郑州大学橡塑模具国家工程中心的领导、同志的支持，正是他们的工作成果丰富了本书的内容。

感谢《工程塑料应用》杂志社的张震副主编，感谢化学工业出版社的龚浏澄老师，没有他们的鼓励，难有本书的问世。

参与本书工作的主要人员有：李海梅、申长雨、逯晓勤、王亚明、翟震、刘保臣、郗向丽、李倩、丁雪佳、李占伟、石军、曹伟、高峰、余晓容、王利霞、董斌斌、韩健、谢英、田中、杨扬等。

注塑成型及模具设计是一门发展迅速的学科，由于计算机技术的渗入，更具边缘学科的性质，涉及的内容较多，限于编者水平，书中的错误与不妥之处在所难免，诚恳地希望读者批评指正。

本书为配合教学特制作了多媒体光盘，以保证学习内容的明晰、生动。为配合读者的理解，特制作了多媒体光盘，配合本书的发行。通过虚拟教材的声音、动画，学生能在计算机上直观、清晰地了解各种模具结构及动态的脱模方式，获得模具结构体系有感性认识。有意购买光盘者，请直接与郑州大学橡塑模具国家工程研究中心李海梅老师联系，邮编 450002。

编者

2002 年 4 月

目 录

上篇 塑料及注塑成型工艺

第一章 塑料	1
一、塑料的组成及分类.....	1
(一) 塑料的组成及其作用	1
(二) 塑料的分类	4
二、塑料的实用性能及技术指标.....	4
(一) 塑料的实用性能	4
(二) 塑料的技术指标	6
三、塑料成型工艺特性及相关参数.....	6
(一) 温度、聚合物的力学状态与成型加工的关系	6
(二) 与成型加工有关的主要参数	8
四、成型加工原料的选用原则	12
第二章 注塑成型	14
一、注塑系统及注塑原理	14
(一) 常规注塑成型加工系统.....	14
(二) 注塑成型的特点.....	14
(三) 注塑成型基本过程.....	15
(四) 注塑原理.....	17
二、注塑成型工艺条件	21
(一) 温度.....	21
(二) 压力.....	23
(三) 成型周期(时间、速度)	25
三、注塑制品常见缺陷及对策	26
(一) 注塑制品的常见缺陷.....	26
(二) 注塑成型出现的问题及解决办法.....	29
第三章 常用塑料、制品的注塑成型	34
一、常见塑料的注塑成型	34
(一) ABS(丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物)	34
(二) PC(聚碳酸酯)	34
(三) PC/ABS(聚碳酸酯和丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物的共混物)	35
(四) PA6(尼龙6)	35
(五) PA66(尼龙66)	36
(六) PBT(聚对苯二甲酸丁二醇酯)	36
(七) HDPE(高密度聚乙烯)	37

(八) LDPE (低密度聚乙烯)	38
(九) PMMA (聚甲基丙烯酸甲酯)	38
(十) POM (聚甲醛)	38
(十一) PP (聚丙烯)	39
(十二) PS (聚苯乙烯)	39
(十三) PVC (聚氯乙烯)	40
二、典型制品的注塑成型	40
(一) 塑料箱体类	40
(二) 管件阀门类	42
(三) 风叶类	44
(四) 玻璃纤维增强工程塑料	45
(五) 灯座、首饰等工艺美术制品	46

中篇 注塑模结构设计

第四章 注塑模分类与典型结构	47
一、注塑模分类	47
二、注塑模的典型结构	48
三、设计注塑模应考虑的问题	50
第五章 注塑模与注塑机的关系	51
一、注塑机的技术规范	51
二、工艺参数的校核	52
三、注塑模安装尺寸的校核	53
四、开模行程的校核	54
第六章 浇注系统设计	56
一、浇注系统设计原则	56
二、流道设计	56
(一) 主流道设计	56
(二) 冷料井设计	57
(三) 分流道设计	58
三、浇口设计	59
(一) 浇口的形式及特点	60
(二) 浇口尺寸确定	65
(三) 浇口位置的选择	67
四、浇注系统的平衡	69
五、浇注系统截面尺寸的计算公式	70
(一) 普通浇注系统截面尺寸的确定	70
(二) 热流道浇注系统尺寸计算	72
六、型腔压力(充模力)估算	73
第七章 成型零部件设计	76
一、型腔数目的确定	76

二、分型面的设计	77
三、排气系统的设计	81
四、凹模结构设计	82
五、凸模结构设计	83
六、螺纹型芯或螺纹型环的结构设计	85
七、成型零件工作尺寸的计算	87
八、型腔壁厚的计算	88
(一) 圆形型腔厚度计算	89
(二) 矩形型腔尺寸计算	91
第八章 导向机构与定位机构	93
一、导向、定位机构的作用	93
二、结构设计	93
第九章 脱模机构设计	98
一、脱模机构的分类及设计原则	98
二、脱模阻力计算	100
三、简单脱模机构 (一次顶出脱模机构)	101
(一) 推杆脱模机构	101
(二) 推管脱模机构	105
(三) 推板脱模机构	106
(四) 推块脱模机构	106
(五) 利用成型零件的脱模机构	106
(六) 多元件联合脱模机构	107
(七) 气动脱模机构	107
(八) 推出零件的尺寸确定	108
四、二次脱模顶出机构	110
五、双脱模机构	115
六、顺序脱模机构	116
七、定模顶出脱模机构	117
八、浇注系统凝料的脱出机构	118
九、带螺纹塑件顶出脱模机构	121
(一) 设计带螺纹塑件顶出机构的注意事项	121
(二) 带螺纹塑件的顶出机构	121
(三) 脱出螺纹塑件所需扭矩和功率的计算	127
第十章 侧向分型与抽芯机构设计	130
一、侧向抽芯机构的分类及特点	130
二、抽芯机构抽拔力、抽拔距的计算	130
三、手动分型抽芯机构	131
四、液压或气压抽芯机构	133
五、机动式侧分型抽芯机构	134
六、斜导柱侧向分型抽芯机构的设计	139

第十一章 注塑模具温度调节系统	148
一、温度调节系统的必要性.....	148
二、模具冷却系统的计算.....	149
三、模具冷却系统设计原则.....	152
四、冷却系统的结构形式.....	154
五、加热装置.....	157
六、模具温度调节系统的外围设施.....	158
第十二章 模具零件设计的补充要点	159
第十三章 其他注塑成型工艺及模具简介	161
一、原材料范围拓宽的注塑加工.....	162
二、工艺、装备革新的注塑加工.....	169
三、按制品要求形成的注塑加工.....	177

下篇 计算机技术在注塑模设计中的应用

第十四章 注塑模 CAD/CAE/CAM 概述	180
一、CAD /CAE /CAM 的意义	180
二、注塑模 CAD /CAE /CAM 的系统配置	180
三、注塑模 CAD、CAE、CAM 的概念及特点	184
四、注塑模 CAD、CAE、CAM 的内容	185
五、注塑模 CAD、CAE、CAM 的软件功能	186
六、几种商品化注塑模软件简介.....	187
第十五章 注塑模 CAD 技术	190
一、注塑模 CAD 的内容	190
二、注塑模 CAD 中的数据处理	191
三、注塑模 CAD 软件的应用	193
第十六章 注塑模 CAE 技术	201
一、注塑模 CAE 的内容	201
二、注塑模 CAE 的应用	206
三、注塑模 CAE 软件 Z-mold 的工程应用实例	210
第十七章 注塑模 CAM 技术	218
一、注塑模生产加工的特点.....	218
二、注塑模 CAM 的构成	220
三、CAM 中的数控加工技术	221
四、CAM 软件 MasterCAM 的应用	223
第十八章 发展趋势	230
参考文献	232

上篇 塑料及注塑成型工艺

第一章 塑 料

塑料是一种以树脂为主体的高分子材料。由于树脂的相对分子质量很大，故又被称为聚合物或高聚物。单纯的聚合物性能往往不能满足加工成型和实际使用的要求，因此根据需要，可适当地加入助剂（增塑剂、稳定剂、色料、填料等）。由树脂和助剂组成的塑料具有一系列优异特性，在一定的温度和压力下可加工成符合使用要求的各种各样的制品和零件。

一、塑料的组成及分类

（一）塑料的组成及其作用

1. 聚合物（树脂）

聚合物有天然和合成两大类型，常呈液状、粉状和粒状。作为塑料的主要成分聚合物大多是合成树脂，它决定了制件的基本性能，在制件中为均一的连续相。树脂的作用在于将各种助剂粘结成一个整体，使之具有一定的物理、机械性能。

聚合物的种类很多，可满足各种制件的要求而具有不同的性能；但另一方面，即使一种聚合物也可能因为合成方法不同而产生性能差异。因此从配料的角度来讲，对聚合物的选择要求主要是分子量大小及分布，颗粒大小、结构以及与增塑剂、溶剂等相互作用的难易程度等因素。

聚合物分子量大，则强度好而流动性差，需用的配料和成型温度的要求高；分子量小，聚合物的配料和成型虽方便，但制件的使用性能降低。当聚合物和增塑剂配合时，其分子量增大引起混合物溶胀和塑化速度减小，物料配制将变得困难。一般情况下，分子量的分布不宜过宽，大分子量组分有可能因配料温度低未经塑化而纳入制件；或者小分子量组分有可能因配料温度过高而引起热降解。这都影响到制件的成型性能和实际使用性能，并影响到配料的过程。

聚合物颗粒大小匀称、表面粗糙、形状不规则和结构疏松，则容易吸收增塑剂，且配料温度较低，配料时间较短。但是，大颗粒者有可能混合不均或塑化不完全；细颗粒者也容易引起尘埃。

此外，聚合物的水分、密度、结晶度和挥发物含量等对成型性能和成型后的实际使用性能也会带来影响，故在配料和成型工艺过程中都应给予关注。

聚合物种类众多，由它们组成的塑料可达数百种，其符号表示可见 GB1844—80 的规定。要注意的是，一个代号又包含了多个品种。例如，PE（聚乙烯）代表了 LDPE（低密度聚乙烯）、LLDPE（线型低密度聚乙烯）、MDPE（中密度聚乙烯）、HDPE（高密度聚乙烯）和 UHMPE（超高相对分子质量聚乙烯）等。

2. 增塑剂

增塑剂是为了改善聚合物成型时的流动性能和增进制件的柔顺性所添加的助剂。它能降

低聚合物分子之间的作用力，因而被称为增塑剂，这种作用就称为增塑作用。

增塑剂通常是一类对热和化学试剂都很稳定的有机物，大多数是挥发性低的液体，少数则是熔点较低的固体。从化学组分来看，有邻苯二甲酸酯、脂肪族二元酸酯、石油磺酸苯酯、磷酸酯、聚酯、环氧化合物等。对增塑剂的要求是与聚合物相容性良好，挥发性低；此外还要兼颜色、臭、毒、可燃和吸水性能。

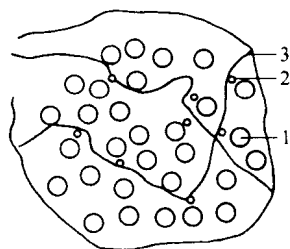


图 1-1 聚合物增塑示意图

1—聚合物分子；2—增塑剂分子；
3—增塑剂与聚合物分子的连接点

增塑的机理可用图 1-1 来说明。聚合物大分子链以次阶力的形式形成的联结点在分子热运动中呈解而复结的动平衡，而聚合物整体具有刚性。加入增塑剂后，增塑剂分子“插入”聚合物分子之间，并与它们的活性中心形成解而复结的动平衡。相对地说，原来的“聚合物—聚合物”联结点，由于“增塑剂—聚合物”联结点的介入而减少。因此分子间的作用力降低，导致聚合物性能的变化。

3. 稳定剂

阻缓塑料变质的物质称为稳定剂，其添加的目的是制止或抑制聚合物因受外界因素（光、热、霉菌等）影响所引起的破坏作用，因此有热稳定剂、光稳定剂、抗氧剂等种类，以满足工程应用的需要。但如果按稳定剂的作用原理来分类，则有紫外线抗御剂、抗氧剂、转变降解催化剂的物质和去除活性中心的物质四类。这里简要说明紫外线抗御剂的使用，以便防止塑料光学元件的光降解。

日光中的紫外线含量约占 5%，波长范围为 290~400 nm。因光子能量与波长成反比例关系，其辐射能量足以引起一般有机物化学键的破坏。户外或照明用塑料制品常因此而变质、开裂、变色、起泡，乃至完全粉化。为此，需用紫外线抗御剂以防所害。

最常用的透明塑料聚甲基丙烯酸甲酯具有很强的抵抗紫外线能力，但透明度略逊；而机械强度高得多的聚碳酸酯，可用羟基二苯甲酮类、羟基苯基连三氮杂茛取代丙烯酸酯类作抗御剂。

紫外线抗御剂的作用形式有两种：其一是比聚合物先吸收了入射的紫外线而放出光能或热能，减缓或免除聚合物的降解，这类物质被称为紫外线吸收剂或蔽光剂；其二是移出聚合物吸收的光能量，使内储的光能量不足以引起光降解，这类物质称为能量转移剂。

4. 填料（填充剂）

填料一般都是对聚合物呈惰性的粉末状物质。它的加入是为了改善塑料的成型性能，提高制件的使用性能，赋予塑料新的特性和降低成本（含量可达近 40%）。

与聚合物相似，填料的颗粒大小和表面状况对塑料性能有一定影响，粒子愈细对制件稳定性和外观等的改善作用就愈大。此外，还要求填料分散性良好，不吸油和水（潮气），稳定且不严重磨损设备等。填料的加入并不是单纯的混合，而且有次价力的存在，当聚合物分子量较大时则显得相当可观，从而改变了分子间的构造，降低结晶倾向，提高玻璃化温度和硬度。但是填料的使用常会使塑料的强度和耐低温性降低，量大时会使加工性能和表面光泽变差。所以需对品种和加入量进行严格控制。常用的填料及其作用如表 1-1 所列。

5. 增强剂

加入聚合物中的纤维类材料以使其机械性能得到补强而称之为增强剂。实际上它也是一种填料，往往用于热固性塑料，近来也在热塑性塑料中广泛地应用，但对成型性能和设备腐蚀大。

表 1-1 常用的塑料填料及其作用

序 号	填料名称	作 用
1	碳酸钙	用于聚氯乙烯、聚烯烃等 提高制件耐热性、硬度；降低收缩率、降低成本 因遇酸易分解，不宜用于耐酸制件
2	粘土 高岭土 滑石粉 石棉 云母	用于聚氯乙烯、聚烯烃等 改善加工性能、降低收缩率，提高制件的耐药物、耐燃、耐水性及降低成本；提高制件刚性、尺寸稳定性以及使制件具有某些特性（如滑石粉可降低摩擦系数，云母可提高介电性能）
3	炭黑	用于聚氯乙烯、聚烯烃等 提高制件导热、导电性能，也作着色、光屏蔽剂
4	二氧化硅 (白炭黑)	用于聚氯乙烯、聚烯烃、不饱和聚酯、环氧树脂等 提高制件介电、抗冲击性能；可调节树脂的流动性
5	硫酸钙(石膏) 亚硫酸钙	用于聚氯乙烯、丙烯酸类树脂等 降低成本，提高制件尺寸的稳定性、耐磨性
6	金属粉	用于各种热塑性工程塑料、环氧树脂等 提高塑料导电、传热、耐热等性能。铅粉可使塑料具有遮蔽 x 或 γ 射线的作用
7	二硫化钼 石墨	用于尼龙浇铸件等 提高表面硬度，降低摩擦系数、热膨胀系数，提高耐磨性
8	聚四氟乙烯粉 (或纤维)	用于聚氯乙烯、聚烯烃及各种热塑性工程塑料 提高制件的耐磨性、润滑性等

主要使用的增强剂是玻璃纤维及其织物。由于玻璃纤维是由玻璃制成，其许多物理、化学性能与玻璃完全相同，而强度要比玻璃高得多，这是因为玻璃拉成细丝后，内部细微裂纹大为减少。玻璃纤维的耐热温度高达 300°C ，线膨胀系数为 $4.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，热导率又小，因此能提高耐热、绝热性能；而且抗腐蚀性能（除氢氟酸和热的浓磷酸外）、电绝缘性能也都很好。

此外，木材、纸、石棉、棉麻和合成纤维也用作增强剂。为满足某些尖端技术的需要（如宇航、火箭、原子能方面），也使用耐高温、高强度的特种玻璃纤维和无机材料为增强剂。

6. 色料（着色剂）

色料赋予塑料以色彩或特殊的光学性能，不仅能使制件鲜艳、美观，有时也能改善制件的耐候性。

给予色彩的色料主要有颜料（无机、有机）和染料；给予特殊光学性能的有金属絮片，珠光、磷光、荧光色料等。一般要求色料性能稳定、不分解、易扩散、耐光和耐候性优良，不发生从制件内部向表层析出、移向与其接触的其他物质的迁移现象。

7. 润滑剂

为改善塑料熔体的流动性能，减少、避免对成型设备的摩擦、磨损和粘附，以及改进制品的表面粗糙度而加入的一类助剂称为润滑剂。

润滑剂分为内、外两类。前者在聚合物中具有有限的相溶性，主要作用是减少聚合物分子的内摩擦；后者与聚合物的相溶性很低，能保留在塑料熔体的表面以降低与成型设备间的摩擦。

8. 其他主要助剂

防静电剂、阻燃剂、驱避剂等助剂也是塑料组成中不可缺少的成分。通常塑料在成型过

程中与模具或设备表面间都有静电荷积蓄（在后继的加工或传输中还有可能增强）。携带静电表面容易吸尘，过强时会危及人身，甚至引起火灾。于是，为使制件表面具有导电的分子层消除带静电现象而采用防静电剂。而驱避剂的添加是为了抵御、避免和消灭制件在储运、使用中可能遭受鼠、虫、菌等的侵蚀。

对热固性塑料而言，有时需加交联剂（硬化剂），使树脂分子向三维发展并逐渐构成巨型网状结构。

9. 特殊助剂

在某些场合，为使塑料制件能够满足特殊需要而加入一些特殊用途助剂，最典型的一种是发泡塑料制件中的发泡剂。

（二）塑料的分类

塑料因其聚合物不同而品种繁多，且每一品种又具有多种牌号。为了便于识别和使用，需对之进行分类。常用分类方法的有如下几种。

（1）根据塑料的来源分：天然树脂、合成树脂。

（2）根据制造树脂的化学反应类型分：加聚型塑料、缩聚型塑料。

树脂合成的加聚反应是指在一定的条件下，单体分子的活性链发生相互作用，“加聚”成一条大分子链的过程；而缩聚反应是靠单体中的可反应基团等来反应的，其反应是逐步缩合的，并伴有水、氨、甲醇、氯化氢等某种小分子物质析出。

（3）根据聚合物链之间在凝固后的结构形态分：非结晶型（无定型）、半结晶型、结晶型。

结晶型塑料在凝固时，有晶核到晶粒的生成过程，形成一定的形态结构，如聚乙烯、聚丙烯、尼龙等。无定型塑料在凝固时，没有晶核的形成、晶核的成长过程，只是自由的大分子链的“冻结”，如聚苯乙烯、聚氯乙烯、有机玻璃、聚碳酸酯等。

（4）从应用角度来区分：通用塑料、工程塑料两大类。

其中，工程塑料中又可细分出特种工程塑料以及用在特殊场合的功能塑料，如医用塑料、光敏塑料、珠光塑料、导磁塑料、离子体塑料等。

（5）按塑料成型方法来分：有模压塑料、层压塑料、注塑、挤塑和吹塑塑料、浇铸塑料、反应注射模塑材料等。

（6）从化学结构及其基本行为分：热固性塑料、热塑性塑料两大类，这是比较科学的分类法。热固性塑料成型前是可溶可熔的，即为可塑的，在一定的温度和压力条件下，经历一定时间的固化，能成型为不溶不熔的物质；而热塑性塑料是指在特定温度范围内可反复加热软化和冷却硬化（成型）的塑料，或者说是反复可溶可熔、可以多次成型的塑料。

二、塑料的实用性能及技术指标

塑料在实用性能上的多样化特征，不但来源于塑料大分子的结构以及其组成特点，而且来源于塑料性能的可调性，即可通过许多不同途径改变其性能（简称改性），以满足使用上的不同要求。常用的改性方法有共混、共聚、增强、添加不同助剂和进行不同的加工处理等。

（一）塑料的实用性能

从塑料在工程中的应用角度出发，可以将塑料的主要实用性能归纳为以下几项。

（1）轻巧美观 普通塑料的密度都在 $(0.9 \sim 2.3) \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 之间，大约是铝材的 $1/2$ ，钢材的 $1/5$ 。如泡沫塑料，其密度可以小到 $(0.01 \sim 0.5) \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。利用这一特点，以塑

代钢应用于汽车工业,已经取得重大的经济效益。美国汽车发展史 40 余年的经验表明,每减少 10% 重量,可以节约燃料 10%~20%。据统计,1975~1985 年美国因减轻汽车自重而节约能耗达 900 亿美元。此外,由于大多数塑料还具有美观大方的颜色,如光亮、纯洁透明、刚柔得宜,给人以典雅的感受;更兼塑料着色容易,可以获得绚丽多姿的色彩。

(2) 电气绝缘 各种塑料的几种电气性能参数的范围变化很大:介电常数低至 2.0 (比空气高一倍),而高可达十几甚至更高;介电损耗(常用 $\text{tg}\delta$ 表示,故工程中称为介质损耗角正切值)低的为万分之几,高的为百分之几甚至更高;体积电阻率通常在 $10^{14} \sim 10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$ 范围内。大多数塑料都有较高的介电强度,但对高低压和高低频的适应性却十分悬殊。

(3) 热物理性能 与金属等传统材料相比较,由于塑料的结构原因,分子运动特性、力学状态等呈现很大差异。首先在不太高的温度范围内表现多种性能的转变,利用这种特性可导致一系列的成型加工技术。其次,从实用的角度来看,塑料的熔点或软化点都不高,因而限制了它的应用范围。此外,它的热膨胀系数很大,比金属等材料大几倍或十几倍。显然这对用它来制作精密结构件是不利因素,但特殊场合可用作热敏感结构件的原材料。

(4) 机械力学性能 塑料的机械性能相对金属要差,变化范围也很大,从柔顺到坚韧、刚脆。制件的刚度与木材相近,拉伸强度从 10~500 MPa ($100 \sim 5\,000 \text{ kg/cm}^2$) 甚至更大。经过高倍拉伸的薄膜、纤维和纤维增强塑料,它们的拉伸强度甚至可以增加一个数量级,这就是化纤织物耐穿的原因所在。

按单位质量计算的强度称为比强度。由于塑料的密度小,所以其比强度比较高。若按比强度大小来评价材料的使用性能,则一些特殊的塑料品种将出类拔萃。例如,玻璃纤维增强塑料拉伸比强度可高达 170~400 MPa,比一般钢材(约为 160 MPa)要高得多。通常,塑料的比强度接近或超过传统的金属材料,故用它制造某些受力不大的一般性结构件。

塑料的应力-应变行为随着温度、热过程、环境条件和作用时间的不同有很大的变化。

(5) 减震消音 塑料树脂大分子的柔韧而富于弹性的特点,能将外界振动的机械能转变为热能,从而起到吸振、减振和消音作用。这一特点使它能在高速运转和办公自动化设备中独占鳌头。

(6) 减摩、耐磨 大多数塑料具有优良的减摩、耐磨和自润滑特性。塑料摩擦件可以在各种液体(水、油和腐蚀介质等)中工作,也能在边界摩擦和干摩擦条件下有效地工作,这是一般金属件无法比拟的。塑料的摩擦系数值与金属相比,从百分之几到 50% 的范围内变化。在耐磨、耐摩擦塑料中加入某些固体润滑剂和其他填料时,可以降低其摩擦系数或提高其耐磨性能。例如,采用特殊配方来制造自润滑轴承。

(7) 防腐耐蚀 一般金属材料的耐腐蚀能力很有限;而多数塑料通常在浓度、温度都不高的酸、碱、盐类介质中都具有良好的防腐耐蚀性能。俗称“塑料王”的聚四氟乙烯甚至能耐“王水”等极强腐蚀电解质的侵蚀。

(8) 透光及其他防护性能 在各类光学仪器和系统中,如照相机、摄像机、传真机、家用 CD 和 VCD 机等,常用透明塑料来代替玻璃做成像元件;在太阳能电池和集热器上用来采集阳光的辐射能。丙烯酸类塑料(如聚甲基丙烯酸甲酯)对太阳光的透过率可达 92%~93%,超过无机玻璃的透过率(90%~91%)。而其余的几种光学塑料大致在 90% 左右变化。

此外,塑料还有绝热性、可电镀性、可焊接性;其中不少塑料还具有防水、防潮、防辐射等优异特性。深刻认识并充分掌握上述的各种特性,对从事塑料成型技术的工程人员是很有价值的。

(二) 塑料的技术指标

塑料的技术指标很多,现摘录 GB2035—80 的主要技术性指标以供参考。

(1) 密度 制件单位体积的质量,单位为 kg/m^3 。

(2) 比容 1 kg 塑料所具有的容积 (m^3),单位为 m^3/kg 。比容大的材料,对应的体积亦大,是模具型腔设计考虑的因素。

(3) 吸水率 通常用塑料试样浸入一定温度 $[(25 \pm 5)^\circ\text{C}]$ 的蒸馏水中 24 h 后,试样中水含量的变化百分率。

(4) 拉伸强度 对试样做拉伸试验直至断裂为止所受的最大拉伸应力,单位为帕 (Pa)。

(5) 冲击强度 指材料承受冲击负荷的最大能力,以材料在破坏时所消耗的功与试样的横截面积之比来度量,单位为帕 (Pa)。

(6) 弯曲强度 材料在弯曲负荷作用下破裂或达到规定挠度时能承受的最大应力,单位为帕 (常用的工程单位为 MPa)。

(7) 弹性模量 在比例极限内,材料所受应力 (如拉和压、弯曲、剪切等) 与产生的相应应变之比,单位为帕 (常用工程单位为 GPa)。

(8) 马丁耐热 当材料试样承受一定的悬臂梁式弯曲应力并按一定温升速度升温时,试样受热而向下弯曲达到规定数值的温度 (常用单位为摄氏度 $^\circ\text{C}$)。

(9) 热变形温度 将试样浸在一种等速升温的传热介质 (如硅油) 中,在简支梁式的静弯曲负荷下弯曲变形达到规定值的温度 (常用单位为摄氏度 $^\circ\text{C}$)。

(10) 维卡软化点 规定形状的试样浸于耐热介质 (如硅油) 中等速升温 ($50^\circ\text{C}/\text{h}$) 条件下,用一根平顶针 (截面积为 1 mm^2) 以规定负荷 (1 kg 或 5 kg) 放于试样上,当刺入试样 1 mm 时的温度。

(11) 介电常数 通常指的是相对介电常数。它是以绝缘材料为介质与真空为介质同尺寸电容器的电容量之比。这是一个无量纲的单位,用 ϵ 表示,又称介电系数。

(12) 介质损耗角正切值 交流电场中的电介质以内部发热形式表现出来的能量损耗与其储藏的能量之比,通常用 $\text{tg}\delta$ 表示,单位 $\Omega\cdot\text{cm}$ 。

(13) 介电强度 材料抵抗电击穿能力的度量。以试样电击穿时电压与其厚度之比来表征,通常用 E_v 表示,单位为 kV/mm ,又称之为击穿强度。

三、塑料成型工艺特性及相关参数

针对每一种材料,一般都有成分和分子结构、制备方法、使用性能、工艺性能等几方面的考虑。对于塑料制备工程师来说,考虑比较多的是塑料的成分和分子结构及其制备方法;对塑件设计工程师来说,考虑比较多的是塑料的使用性能及用途;对于模具工程师来说,考虑比较多的是塑料的工艺性能。

(一) 温度、聚合物的力学状态与成型加工的关系

绝大多数塑料在成型时,为使成型材料获得良好的流动性都要借助加热等手段,使成型材料温度升高。其中的树脂即聚合物在温度变化时,其所处的力学状态也必然随之发生变化,即由室温下的坚硬固体 (玻璃态) 变为类似橡胶的弹性体 (高弹态),最后,当温度高于其粘流温度 T_f 后,成型材料即成为粘性流体 (粘流态)。当聚合物处于玻璃态、高弹态、粘流态等不同的力学状态时,其力学性质的差别也较大,主要表现在材料的变形能力显著不同,因而在不同状态下所适合的成型加工方法也随之不同。下面按照温度从低到高的顺序,

依次讨论聚合物在所处的三种力学状态下的变形特点及适合的成型加工方法。

1. $T < T_g$ 聚合物处于玻璃态

玻璃态聚合物的力学行为特点是内聚能大，弹性模量高（一般可达 $10^{10} \sim 10^{11}$ Pa）。在外力作用下，只能通过高分子主链键长、键角的微小改变发生变形，因此变形量很小，断裂伸长率一般在 $0.01\% \sim 0.1\%$ 范围内，在极限应力范围内形变具有可逆性。

上述力学特点决定了在玻璃态下聚合物不能进行大变形的成型，但适于进行机械加工，如车削、铣削、制孔、切螺纹等。如果将温度降到材料的脆化温度 T_b 以下，材料的韧性会显著降低，在受到外力作用时极易脆断，因此， T_b 是塑料加工使用的最低温度。

2. $T_g < T < T_f$ 线型非结晶型聚合物所处的力学状态为高弹态

高弹态下聚合物力学行为的特点为：弹性模量与玻璃态相比显著降低（一般在 $10^5 \sim 10^7$ Pa）；在外力作用下，分子链段可发生运动，因此变形能力大大提高，断裂伸长率为 $100\% \sim 1000\%$ ，所发生的形变可恢复，即外力去除后，高弹形变会随时间延长而逐渐减小，直至为零。

聚合物在高弹态下的力学行为特点决定了在该状态下可进行较大变形的成型加工，如压延成型、中空吹塑成型、热成型等。但须特别注意的是，因为此状态下发生的形变是可恢复的，因此，将变形后的制品迅速冷却至玻璃化温度以下是确保制品形状及尺寸稳定的关键。同时，由于高弹态下聚合物发生的形变是可恢复的弹性变形，因此，骤冷容易使制品内部产生内应力。

3. $T > T_f$ 线型非结晶型聚合物所处的力学状态为粘流态

粘流态下聚合物力学行为的特点为：整个分子链的运动变为可能，在外力的作用下，材料可发生持续形变（即流动）。此时的形变主要是不可逆的粘流形变，因此，在粘流态下可进行变形大、形状复杂的成型，如注塑成型、挤出成型等，而且由于此时发生的形变主要是不可逆的粘流形变，因此，当制品温度从成型温度 T_m 迅速降至室温时不易产生热内应力，制品的质量易于保证。

当聚合物熔体温度高于其降解温度 T_d 后，聚合物发生降解，使制品的外观质量和力学性能降低。从图 1-2 可更直观地理解温度、聚合物的力学状态以及成型加工三者的关系。

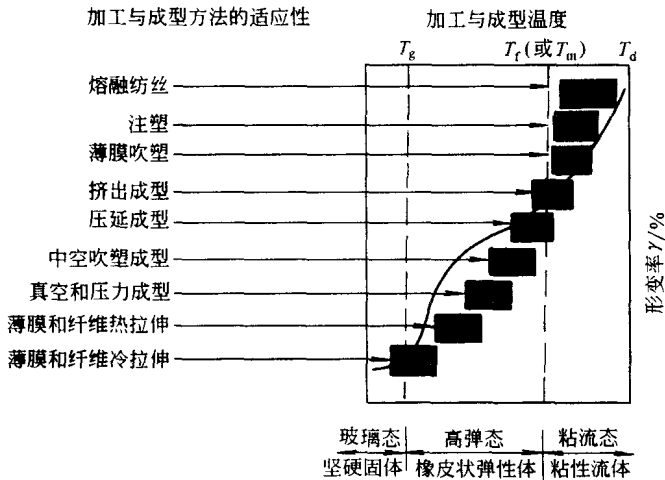


图 1-2 线型非晶型聚合物的温度、力学状态及成型加工的关系

(二) 与成型加工有关的主要参数

塑料在常温下是玻璃态,若加热则变为高弹态,进而变为粘流态,从而具有优良的可塑性,可以用许多高生产率的成型方法来制造产品,这样就可节约原料,节省工时,简化工艺过程,且对工人技术要求低,易于组织大批量生产。下面介绍成型加工中常用的一些参数。

1. 收缩率

塑料从热的模具中取出并冷却到室温后,其尺寸发生变化的特性称为收缩率。由于收缩率不仅是树脂本身的热胀冷缩,而且还与各种成型因素有关,因此成型后塑件的收缩被称为成型收缩。

成型收缩主要表现在以下几个方面。

① 塑件的线尺寸收缩 由于热胀冷缩、塑件脱模时的弹性恢复、塑性变形等原因,导致塑件脱模冷却到室温后其尺寸缩小。为此,型腔设计时必须考虑予以补偿。

② 收缩方向性 塑料在成型时由于各个方向的收缩不同,致使塑件的性能呈各向异性。例如沿料流方向收缩大,强度高,而与料流垂直方向则收缩小,强度低。此外,成型时由于塑件各部位密度及填料分布不均匀,使各部位的收缩也不均匀。这种由于收缩的方向性而产生的收缩不一致,容易使塑件发生翘曲、变形、裂纹,尤其在挤塑及注塑成型时方向性更为明显。

③ 后收缩 塑料成型时,由于受成型压力、剪切应力、各向异性、密度不均、填料分布不均;模温不均、硬化不均及塑件变形等因素的影响,引起一系列应力的作用,这些应力在粘流态时不能全部消失,故塑件在应力状态下成型时存在残余应力。当脱模后,由于应力趋向平衡及储存条件的影响,残余应力发生变化而使塑件发生再收缩,这种收缩称为后收缩。通常挤塑及注塑成型的后收缩比压塑成型的大,热塑性塑料的后收缩比热固性塑料的大。

④ 后处理收缩 有时按性能及工艺要求,塑件成型后需要进行热处理,而热处理后也会导致塑件尺寸发生变化。故在模具设计时,对高精度塑件应考虑后收缩及后处理收缩的误差,并予以补偿。

收缩率用成型尺寸相对收缩的百分数来表示。由于金属与塑料的线胀系数不同,收缩率分为实际收缩率和计算收缩率。实际收缩率表示模具或塑件在成型温度时的尺寸与塑件在室温时的尺寸之间的差别;而计算收缩率则表示室温时模具尺寸与塑件尺寸的差别。这两种收缩率的计算可按下列公式求得:

$$\Delta\delta_{\text{实际}} = (a - b) / b \times 100\% \quad (1-1)$$

$$\Delta\delta_{\text{计算}} = (c - b) / b \times 100\% \quad (1-2)$$

式中 $\Delta\delta_{\text{实际}}$ 是实际收缩率; $\Delta\delta_{\text{计算}}$ 是计算收缩率; a 是模具或塑件在成型温度时的尺寸, mm; b 是塑件在室温时的尺寸, mm; c 是模具在室温时的尺寸, mm。

工程应用时,实际收缩率与计算收缩率相差不大,但在模具设计中,常用计算收缩率。影响收缩率变化的因素主要有以下几个方面。

① 塑料品种 各种塑料都有各自的收缩率。同种塑料由于树脂的相对分子质量、填料及配方比等的不同,收缩率及各向异性也不同。如,热塑性塑料成型过程中存在结晶引起的体积收缩,因此与热固性塑料相比收缩率较大、收缩率范围宽、方向性明显。此外成型后的收缩、退火或调温处理后的收缩一般也都比热固性塑料大。

② 塑件结构 塑件的形状、尺寸、壁厚、有无嵌件、嵌件数量及其分布对收缩率大小