


高等学校教材

现代模具系列培训教材

塑料成型工艺 及模具设计

骆志高 陈嘉真 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高等学校教材
现代模具系列培训教材

塑料成型工艺及模具设计

主 编 骆志高 陈嘉真
参 编 李子明 李学军
 曾湘云 王海才
主 审 刘元义



机械工业出版社

本书共分十五章。其中包括塑料成型的基础知识；塑料成型工艺；塑料制件设计；注射模浇注系统设计；注射模成型零部件设计；注射模的导向及脱模机构设计；侧向分型与抽芯机构设计；注射模温度调节系统；热固性塑料、低发泡、精密与气辅注射模；塑料压缩成型模具；塑料压注成型模具；热塑性塑料挤出成型机头；塑料中空吹塑成型与气压成型模具；塑料模具标准化及 CAD 技术等。

本书可供高等院校机械设计制造及其自动化专业、机械设计与制造（模具）专业及材料成型及控制工程专业等高年级学生学习使用；也可供从事塑料模具设计与制造工作的工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

塑料成型工艺及模具设计/骆志高，陈嘉真主编. —北京：机械工业出版社，2009.8

（高等学校教材现代模具系列培训教材）

ISBN 978-7-111-27766-8

I. 塑… II. ①骆…②陈… III. ①塑料成型—工艺—技术培训—教材②塑料模具—设计—技术培训—教材 IV. TQ320.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 119760 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：曲彩云 责任编辑：李建秀

版式设计：霍永明 责任校对：张 媛

封面设计：姚 毅 责任印制：邓 博

北京机工印刷厂印刷（三河市南杨庄国丰装订厂装订）

2009 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·17.75 印张·434 千字

0 001—3 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-27766-8

定价：38.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
销售服务热线电话：（010）68326294

购书热线电话：（010）88379639 88379641 88379643

编辑热线电话：（010）68351729

封面防伪标均为盗版

前 言

进入 21 世纪，科学技术以迅猛的速度向前发展，推动了塑料成型工艺及模具设计方面的技术革新。编者在长期的教学过程中发现，以往的塑料成型工艺及模具设计方面的知识已不能满足当前的教学及生产的实际需求，新的成型工艺及模具设计手段陆续出现。一本能够适应当前生产力发展的塑料成型工艺及模具设计方面的书籍亟待面世。

本书是在陈嘉真主编的《塑料成型工艺及模具设计》一书的基础上改编而成，塑料成型工艺部分主要增加了新工艺，如气体辅助成型、真空成型工艺；补充了塑件表面质量缺陷的熔接痕的形成机理介绍；模具设计部分中增加了聚物流变学分析内容；改进了对注射模浇注系统和冷却系统的设计；补充了挤出成型方面异型材挤出模具设计；并简要介绍了塑料模具设计与 CAD/CAE/CAM 技术。全书包括塑料成型工艺及模具设计两部分内容，主要介绍塑料成型的理论基础、成型工艺、模具设计原理和方法等知识。编写时力求理论联系实际，深入浅出，既结合国内外中小型企业实际，又反映国内外先进水平。

本书可供高等院校机械设计制造及其自动化专业、机械设计与制造（模具）专业及材料成型及控制工程专业等高年级学生学习使用；也可供从事塑料模具设计与制造工作等的工程技术人员参考。

全书共十五章，第一、二章由天津科技大学李子明编写；第三、五、九、十五章由江苏大学骆志高编写；第四、六、八章由江苏大学陈嘉真编写；第七、十章由江苏大学李学军编写；第十一、十二章由广东机械学院曾湘云编写；第十三、十四章由南昌大学王海才编写。全书由山东理工大学刘元义教授主审。

本书在修订过程中得到了江苏大学及兄弟院校的大力支持，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使得本教材增色不少。

由于编者实际经验及理论水平有限，加之时间仓促，书中难免有不当和错误之处，敬请使用本书的教师和广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言	
绪论	1
一、塑料制件生产	1
二、塑料成型模具	1
三、塑料成型技术发展趋势	2
四、本课程的学习目的和要求	3
第一篇 塑料成型工艺	
第一章 塑料成型的基础知识	4
第一节 概述	4
一、塑料的成分	4
二、聚合物的分子结构	5
三、塑料的分类	5
四、塑料的成型工艺特性	6
第二节 塑料流变学性质	9
一、聚合物的流变性质	9
二、粘度的影响因素	13
三、聚合物在简单导管内的流动	14
第三节 聚合物熔体在模内的弹性行为	19
一、聚合物熔体的弹性类型	19
二、聚合物液体流动过程中的弹性行为	19
第四节 聚合物的物理化学变化	21
一、聚合物的加热和冷却	21
二、聚合物的结晶	23
三、聚合物的取向	26
四、聚合物的降解	29
五、聚合物的交联	30
思考题	31
第二章 塑料成型工艺	32
第一节 注射成型	32
一、注射成型原理及工艺过程	32
二、注射成型工艺参数的确定	36
三、其他注射成型	38
第二节 压缩成型	43
一、压缩成型原理及其适应范围	43
二、压缩过程及其控制因素	44
三、压缩物料的预处理	46
第三节 压注成型	47
一、压注成型原理	47
二、压注成型的主要工艺参数	48
第四节 挤出成型	49
一、挤出成型原理及工艺过程	49
二、挤出成型的工艺参数	52
三、各种塑料制品的挤出成型工艺	53
第五节 其他塑料成型工艺	56
一、中空塑件吹塑成型	56
二、铸塑成型	60
三、压延成型	61
四、发泡成型	62
五、真空成型	64
思考题	65
第三章 塑料制件设计	66
第一节 塑料制件的尺寸和精度	66
一、塑料制件的尺寸	66
二、塑料制件尺寸精度	66
第二节 塑料制件的表面质量	70
一、塑料制件的表面粗糙度	70
二、塑料制件的表观质量	71
三、熔接痕的形成机理及控制措施	71
第三节 塑料制件的结构设计	72
一、塑料制件的几何形状	72
二、螺纹设计	79
三、嵌件设计	79
四、齿轮设计	82
五、标记符号与表面彩饰设计	83
思考题	84
第二篇 塑料注射成型模具	
第四章 概述	85
第一节 注射模的基本结构与分类	85
一、注射模的结构组成	85

二、注射模的分类	87	第二节 脱模机构设计	148
第二节 注射模与注射机的匹配	89	一、脱模机构的分类及设计原则	148
一、型腔数的确定	89	二、一次推出脱模机构	150
二、最大注射压力的校核	91	三、二次推出脱模机构	154
三、注射机安装模具部分的尺寸校核	91	四、浇注系统凝料的脱出和自动脱落 机构	157
四、开模行程的校核	91	五、塑料制件螺纹的脱模机构	158
五、顶出装置的校核	93	思考题	163
第三节 注射模分型面的选择	94	第八章 侧向分型与抽芯机构设计	164
一、分型面的形式	94	第一节 侧向分型与抽芯机构的分类	164
二、分型面选择原则	95	一、手动侧向分型与抽芯机构	164
思考题	98	二、机动侧向分型与抽芯机构	164
第五章 注射模浇注系统设计	99	三、液压或气动侧向分型与抽芯机构	164
第一节 普通浇注系统	99	第二节 斜导柱侧向分型与抽芯机构	165
一、浇注系统的组成及设计要求	99	一、工作原理	165
二、普通浇注系统设计	100	二、斜导柱侧向分型与抽芯机构主要 参数的确定	165
第二节 无流道浇注系统	115	三、斜导柱侧向分型与抽芯机构结构 设计要点	171
一、无流道浇注系统的结构与分类	115	第三节 弯销侧向分型与抽芯机构	176
二、无流道模具设计注意事项	118	第四节 斜滑块侧向分型与抽芯机构	177
思考题	118	一、斜滑块侧向分型与抽芯机构的结 构形式	177
第六章 注射模成型零部件设计	120	二、斜滑块侧向分型与抽芯机构设计 要点	179
第一节 成型零部件的结构设计	120	第五节 齿轮齿条侧向分型与抽芯机构	181
一、凹模	120	思考题	181
二、凸模（型芯）	121	第九章 注射模温度调节系统	182
三、螺纹型芯与螺纹型环	122	第一节 温度调节的重要性	182
第二节 成型零件的工作尺寸计算	125	一、模具温度对塑料制件质量的影响	182
一、影响塑料制件尺寸精度的因素	125	二、模具温度对生产率的影响	182
二、成型零部件工作尺寸计算	126	第二节 模具温度调节系统的设计	183
三、螺纹型芯与螺纹型环	132	一、模具温度场基本理论	183
第三节 型腔壁厚的计算	136	二、冷却管道的设计原则	185
一、型腔侧壁厚度计算	137	三、冷却管道传热面积及管道 数目的确定	187
二、型腔底板厚度计算	140	四、冷却回路的形式	189
第四节 排气结构设计	142	思考题	191
一、排气方式	142	第十章 热固性塑料、低发泡、精密 与气辅注射模	192
二、排气槽设计要点	142		
三、引气系统	143		
思考题	143		
第七章 注射模的导向及脱模机构设计	145		
第一节 导向机构设计	145		
一、导柱导向机构	145		
二、锥面和合模销定位机构	147		

VI

第一节 热固性塑料注射模	192	四、挤出机头设计原理	225
一、普通热固性塑料注射模	192	五、挤出成型机头设计原则	226
二、热固性塑料的冷流道模	194	六、挤出成型机头流道计算	226
第二节 低发泡注射模	196	第二节 管材挤出成型机头设计	228
一、低发泡注射成型对模具的要求	196	一、机头的典型结构	228
二、低发泡注射模的典型结构	197	二、管材机头主要零件尺寸及其 工艺参数	229
三、低发泡注射模的设计要点	197	三、定径套设计	233
第三节 气体辅助注射成型模	199	第三节 异形材成型机头设计	235
一、成型原理	199	一、异形材挤出成型机头设计	235
二、成型特点	199	二、异形材定型模设计	239
三、成型制件与模具的设计原则	200	第四节 其他挤出成型机头设计	240
思考题	200	一、板材、片材挤出成型机头	240
		二、线缆敷层挤出成型机头	243
		三、薄膜挤出吹塑成型机头	244
		思考题	246
第三篇 其他的塑料成型模具		第十四章 塑料中空吹塑成型与气压 成型模具	247
第十一章 塑料压缩成型模具	201	第一节 中空吹塑成型模具	247
第一节 概述	201	一、中空吹塑模的典型结构	247
一、压缩模的结构组成	201	二、中空吹塑模的设计要点	247
二、压缩模与压力机的关系	201	第二节 气压成型模具	249
第二节 压缩模成型零部件设计	204	思考题	250
一、塑料制件加压方向的确定	204	第十五章 塑料模具标准化及 CAD 技术	251
二、凸、凹模的结构设计	205	第一节 塑料模具标准化	251
三、成型零部件设计	208	一、模具标准化是现代模具生产的 技术基础	251
第三节 压缩模结构零部件设计	208	二、我国塑料模具标准简介	251
一、脱模机构	208	三、模架选择	253
二、侧向分型与抽芯机构	210	第二节 塑料注射模具 CAD 技术	254
思考题	214	一、塑料注射模具 CAD 简介	254
第十二章 塑料压注成型模具	215	二、Pro/ENGINEER 在注射模具设计中 的应用	255
第一节 概述	215	思考题	259
一、压注模的结构组成	215	附录	260
二、压注模的分类	216	附录 A 塑料及树脂缩写代号	260
三、压注模与压力机的关系	217	附录 B 热塑性塑料注射机型号和主要 技术规格	262
第二节 压注模结构设计	218	附录 C 热塑性塑料注塑机锁模机构与	
一、加料腔设计	218		
二、浇注系统设计	220		
思考题	223		
第十三章 热塑性塑料挤出成型机头	224		
第一节 概述	224		
一、机头的作用	224		
二、机头的分类	224		
三、挤出成型模具的结构组成	224		

装模尺寸	263	附录 F 热塑性塑料注塑成型制品缺陷及 产生原因	267
附录 D 部分国产液压机的主要技术 参数	266	附录 G 热固性塑料注塑成型制品缺陷及 产生原因	270
附录 E 国产塑料挤出机的主要技术 参数	267	参考文献	272

绪 论

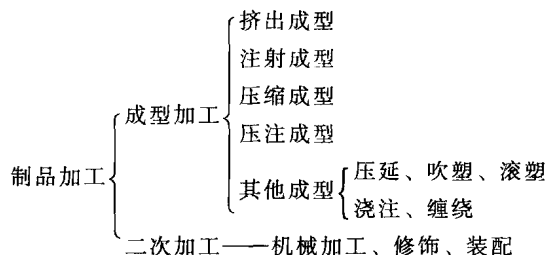
塑料作为应用广泛的高分子合成材料，是现代社会经济发展的基础材料之一，是农业、工业、能源、交通运输等经济领域不可缺少的重要材料，其用途已渗透到经济和生活的各个领域，和钢铁、木材、水泥成为材料领域的四大支柱。模具是工业生产的基础工艺装备，被各行业广泛用于生产最终产品，其产生的价值往往是模具自身价值的几十倍、上百倍，被誉为“效益放大器”。模具生产技术水平的高低，已成为衡量一个国家产品制造水平高低的重要标志之一。

一、塑料制件生产

塑料工业含塑料生产和塑料制件生产两大部分。塑料生产是指树脂或塑料制件原材料的生产，通常由树脂厂来完成。塑料制件生产（即塑料成型加工）是根据塑料性能，利用各种成型加工手段，使其成为具有一定形状和使用价值的物件或定型材料。

塑料制件生产主要包括成型加工和二次加工两个生产过程。成型加工是将各种形态的塑料，制成所需形状的制件或型坯的过程，它是塑料制件生产中最重要且必不可少的过程。

塑料制件生产过程与成型方法如下：



二、塑料成型模具

塑料成型模具是成型塑料制件的主要工艺装备之一。它使塑料获得一定的形状和所需性能，对达到塑料加工工艺要求、塑料制件使用要求和造型设计要求起着重要的作用。对应不同工艺要求的塑料制件加工，塑料模具可分为以下几类：

(1) 塑料注射成型模具 塑料注射成型模具的加工设备是注射成型机，塑料首先在注射机料筒内受热熔融，然后在螺杆或柱塞推动下，经喷嘴和模具的浇注系统进入模具型腔，塑料冷却固化成型，脱模后得到制件。注射成型加工通常多适用于热塑性塑料制件生产，它是塑料制件生产中应用最广的一种加工方法。

(2) 塑料挤出成型模具 利用挤出机的加热加压装置，使处于粘流状态的塑料在高温高压下通过具有特定截面形状的机头口模，并经冷却定型装置硬化成型，以获得具有所需截面形状连续型材，这种成型方法称为挤出成型，其所使用的模具称为挤出成型模具或挤出模，也称挤出机头。挤出工艺通常只适用于热塑性塑料制件的生产。

(3) 塑料压缩成型模具 将计量好的成型物料放入成型温度下的模具型腔或加料室中，闭合模具，塑料在高温、高压作用下呈软化粘流状态，经一定时间后固化成型，成为所需制

品形状。压缩模具多用于成型热固性塑料制品，也可用于成型热塑性塑料制品。

(4) 塑料压注成型模具 通过柱塞使在加料腔内受热塑化熔融的热固性塑料，经浇注系统压入被加热的闭合型腔并固化成型，这种成型方法称为压注成型，其所使用的模具称为压注成型模具或压注模具。压注模具多用于成型热固性塑料制品。

(5) 中空吹塑成型模具 将挤出或注射出来的熔融状态的管状坯料置于模具型腔内，借助压缩空气使管坯膨胀贴紧于模具型腔壁上，冷硬后获得中空塑件，这种成型方法称为中空吹塑成型，其所使用的模具称中空吹塑模或吹塑模。

(6) 气压（真空或压缩空气）成型模具 此类模具为单一的阴模或阳模。借助真空泵或压缩空气，使固定在模具上并被加热软化的塑料板材、片材紧贴在模具型腔，冷却定型后即得塑件，这种成型方法称为气压成型，其所使用的模具称为气压成型模具。

三、塑料成型技术发展趋势

随着工业产品塑料化趋势的不断增强，塑料制件应用范围的不断扩大，对塑料制件在数量、质量、精度等方面均提出了越来越高的要求，并促使塑料成型技术不断向前发展。目前塑料成型技术正朝着精密化、微型化、超大型化和自动化生产方向发展。现就塑料成型技术的发展趋势简述如下：

1) 提高大型、精密、复杂、长寿命模具的设计制造水平及比例。以适应塑料制件微型化、大型化、复杂化和高精度以及高生产率要求。

2) 在塑料模设计制造中全面推广应用 CAD/CAM/CAE 技术。CAD/CAM 技术已发展成为一项比较成熟的共性技术，近年来模具 CAD/CAM 技术的软件与硬件价格已降低到中小企业可以接受的程度，为其进一步普及创造了良好的条件；基于网络的 CAD/CAM/CAE 一体化系统结构初见端倪，其将解决传统混合型 CAD/CAM 系统无法满足实际生产过程分工协作要求的问题；CAD/CAM 软件的智能化程度将逐步提高；塑料制件及模具的 3D 设计与成型过程的 3D 分析将在我国塑料模具工业中发挥越来越重要的作用。

3) 推广应用热流道技术、气辅注射成型技术和高压注射成型技术。采用热流道技术的模具可提高制件的生产率和质量，并能大幅度节省塑料制件的原材料和节约能源，所以广泛应用这项技术是塑料模具的一大变革。加快制订热流道元器件的国家标准，积极生产价廉和高质量的元器件，是发展热流道模具的关键。气体辅助注射成型可在保证产品质量的前提下，大幅度降低成本。目前在汽车和家电行业中正逐步推广使用。气体辅助注射成型比传统的普通注射工艺有更多的参数需要确定和控制，常用于较复杂的大型制件，其模具设计和控制的难度较大，因此，开发气体辅助成型流动分析软件，显得十分重要。另一方面为了确保塑料制件的精度，继续研究高压注射成型工艺与模具也非常重要。

4) 开发新的塑料成型工艺和快速经济模具，以适应多品种、小批量的生产方式。

5) 提高塑料模标准化水平和标准件的使用率。我国模具标准件水平和模具标准化程度仍较低，与国外差距甚大，在一定程度上制约着我国模具工业的发展，为提高模具质量和降低模具制造成本，模具标准件的应用要大力推广。为此，首先要制定统一的国家标准，并严格按标准生产；其次要逐步形成规模生产、提高商品化程度、提高标准件质量、降低成本；再其次是要进一步增加标准件规格品种。

6) 应用优质模具材料和先进的表面处理技术以提高模具寿命和质量。

7) 研究和应用模具的高速测量技术与逆向工程。采用三坐标测量仪或三坐标扫描仪实现逆向工程是塑料模 CAD/CAM 的关键技术之一。研究和应用多样的、可调整的、廉价的检测设备是实现逆向工程的必要前提。

四、本课程的学习目的和要求

本课程包括塑料成型工艺与塑料成型模具设计两大主题。根据专业的特点，侧重于模具设计方面。通过本课程的学习，要求了解塑料成型理论知识、各种常用塑料成型基本原理及工艺特点；并在此基础上，掌握各种成型模具的结构特点、设计计算方法，达到能够独立设计一般复杂程度的塑料模具的目的。此外还要求能分析各种塑料制件缺陷的原因及其解决方法。

本课程中的主要内容是在生产实践中逐步总结和丰富起来的，因此学习本课程除重视书本的理论学习外，应特别注意理论联系实际，配合必要的现场教学、实验、实习和课程设计等教学环节。

第一篇 塑料成型工艺

第一章 塑料成型的基础知识

塑料成型是将塑料原材料转变为所需形状和性能的塑件的一门工程技术。为了获得合格的塑件，必须对塑料的成型工艺特性及其在成型过程中的物理化学行为有足够的认识。

第一节 概 述

塑料是一种用途广泛的合成高分子材料，塑料以它优异的性能逐步地代替了许多已经使用了几十年、几百年的材料。塑料集金属的坚硬性、木材的轻便性、玻璃的透明性、陶瓷的耐腐蚀性、橡胶的弹性和韧性于一身，因此除了日常用品外，塑料更广泛地应用于航空航天、医疗器械、石油化工、机械制造、国防、建筑等各行业。

一、塑料的成分

我们通常所用的塑料是由高分子聚合物和助剂两类物质复合而成，其中高分子聚合物（或称合成树脂）是塑料的主要成分，为了改进塑料的性能，还要在聚合物中添加各种辅助材料，称之为助剂，如填料、增塑剂、稳定剂、着色剂、润滑剂等，才能成为性能良好的塑料。

(1) 合成树脂 合成树脂是塑料的最主要成分，起着胶粘剂的作用，能将塑料和其他成分胶结成一个整体，其在塑料中的含量一般在40%~100%。由于含量大，所以树脂的性质常常决定了塑件的基本性能。

(2) 填料 填料又称为填充剂，它主要用于改善塑料的成型性能和降低成本。常用的填料有木粉、纸浆、云母、石棉、炭黑、玻璃纤维等。填料在很大程度上决定着塑料的物理力学性能、工艺性能。例如酚醛树脂中加入木粉后可大大降低成成本，同时还能显著提高机械强度。填料在塑料中的用量一般约占10%~50%。

(3) 增塑剂 增塑剂可增加塑料的可塑性和柔软性，从而易于加工成型。常用的增塑剂有：邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二辛酯、磷酸三甲酚酯、樟脑、二苯甲酮等。

(4) 稳定剂 为了防止或抑制聚合物在加工和使用过程中受光、热和氧的作用而分解和破坏，延长使用寿命，要在塑料中加入稳定剂。一般稳定剂可分为光稳定剂、热稳定剂和抗氧化剂等。常用的有硬脂酸盐、铅白、环氧化物等。稳定剂用量一般在2%~5%之间。

(5) 着色剂 在塑料中加入着色剂，可使塑料具有各种鲜艳、美观的颜色。要求着色剂与塑料中的其他成分不起化学作用，成型过程中不因温度、压力变化而分解变色，而且在塑料的使用中长期保持稳定。其用量一般为0.01%~0.02%之间，常用有机染料（如油溶苯胺黑等）和无机颜料（如氧化铁红等）作为着色剂。

(6) 润滑剂 润滑剂的作用是改善塑料溶体的流动性，减少或避免对设备的摩擦与粘附，并改善制品的表面粗糙度。常用的润滑剂有硬脂酸及其钙镁盐等。常用的润滑剂有烃类、酯类、金属皂类、脂肪酸类和脂肪酸酰胺类等，一般用量在 0.05% ~ 0.15% 之间。

除了上述助剂外，为了使塑料制品具有更好的性能，以适应各种使用要求，塑料中还可加入阻燃剂、发泡剂、抗静电剂等。

二、聚合物的分子结构

聚合物的分子结构一般有三种形式：线型、带支链型及体型。线型聚合物分子链呈线状，如图 1-1a 所示。在性能上，线型聚合物具有弹性和塑性，在适当的溶剂中可溶胀或溶解，升高温度时则软化至熔化而流动，而且，可反复多次熔化成型。高密度聚乙烯、聚苯乙烯等聚合物分子链属此种结构形式。

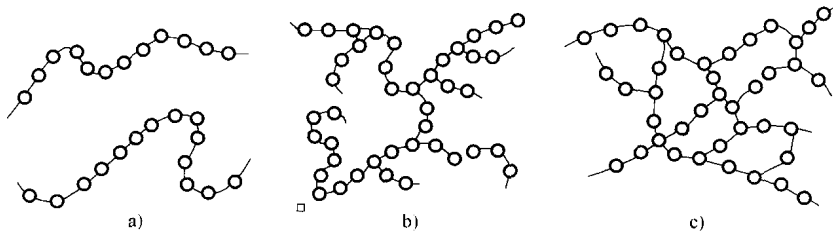


图 1-1 聚合物分子链结构示意图

a) 线型 b) 带支链型 c) 体型

如果在大分子链之间有一些短链把它们互相交联起来，成为立体网状结构，则称为体型聚合物（或称为网型聚合物），如图 1-1c 所示。体型聚合物脆性大，硬度高，成型前是可溶又可熔的，一经成型硬化后，就成为既不溶解又不熔融的固体，所以不能再次成型。

此外，还有一些聚合物的大分子主链上带有一些或长或短的小支链，整个分子链呈枝状，如图 1-1b 所示，称为带支链的线型聚合物。因为存在支链，结构不太紧密，因此，聚合物的机械强度较低，但溶解能力和塑性较高。低密度聚乙烯等聚合物分子链属此种结构形式。

聚合物不但分子链很长，具有不同结构，而且其分子的排列也具有不同的几何特点。据此可将聚合物的分子排列分为两种聚集态：一种是聚合物的分子有规则紧密的排列，称为结晶型聚合物；另一种是聚合物的分子排列处于无序状态，成为无定形聚合物。

三、塑料的分类

(1) 根据塑料的性质分类

1) 热塑性塑料。这种塑料由不互相交织在一起的长链分子组成，在受热时发生软化或熔化，可塑制成一定的形状，冷却后变硬。在受热到一定程度后又重新软化，冷却后又变硬，这种过程理论上能够反复进行多次。

属于热塑性塑料的有聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯 (ABS)、有机玻璃、尼龙、聚甲醛、聚碳酸酯、聚砜、聚苯醚、聚四氟乙烯、聚三氟乙烯、聚全氟乙烯、氯化聚醚等。

2) 热固性塑料。这种塑料是呈链状结构有交叉的聚合物，在受热时也发生软化，可以塑造成一定的形状，但受热到一定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。热固性塑料加工成型后，受热不再软化，因此不能回收再用，但其耐热性好、

不容易变形，而且价格比较低廉。

常见的热固性塑料有酚醛塑料、氨基塑料、环氧塑料、聚邻苯二甲酸二烯丙酯、有机硅塑料、硅酮塑料等。

(2) 根据塑料的用途分类

1) 通用塑料。指产量大、价格低、应用范围广的塑料。通用塑料一般皆具有良好的成型工艺性，可采用多种工艺成型出多种用途制品，主要包括聚烯烃、聚氯乙烯、聚苯乙烯、酚醛塑料和氨基塑料五大品种。

2) 工程塑料。指具有较高的力学性能、耐热性、化学稳定性或电绝缘性的塑料，例如聚酰胺、聚碳酸酯、聚甲醛、ABS树脂、聚四氟乙烯、聚酯、聚砜、聚酰亚胺等。工程塑料具有密度小、化学稳定性高、力学性能良好、电绝缘性优越、加工成型容易等特点。广泛应用于汽车、电器、化工、机械、仪器、仪表等工业；也应用于宇宙航天、火箭、导弹等方面。

3) 特种塑料。指具有某一方面特殊性能的塑料。这类塑料有高的耐热性、绝缘性、耐腐蚀性和耐磨性等。如氟塑料、聚酰亚胺塑料、聚苯塑料、导电塑料、导磁塑料及有机硅塑料等。

四、塑料的成型工艺特性

塑料的成型工艺特性是指塑料在成型过程中表现出的特有性能，影响着成型方法及工艺参数的选择和塑件的质量，并对模具设计的要求及质量影响很大。

(一) 塑料的加工适应性

图 1-2 所示为聚合物的温度—形变特性曲线，随着温度的升高，塑料由玻璃态到高弹态，再到粘流态，直至分解。处于不同状态下的塑料表现出不同的性能，这些性能在很大程度上决定了塑料对加工的适应性。

由图 1-2 可见，当在室温时，温度低于玻璃态温度，聚合物呈坚硬固体，即为玻璃态，可进行车削、铣削、刨削、钻削等切削加工。

当加工温度高于玻璃态温度，而低于粘流态温度时，塑料呈现弹性，为高弹态，可进行中空吹塑、真空成型和压力成型等。

当温度高于粘流温度，而低于分解温度，聚合物呈可流动的粘稠液体，即粘流态，可进行变形大、形状复杂的成型，如注射成型、挤出成型、薄膜吹塑、熔融纺丝等。

由上可见，在一定的加工温度下，塑料具有可挤压性、可模塑性、可延展性、可纺性和可机加工性。所谓可延展性或称为可拉伸性，是指在压延力或拉伸力作用下变形的能力，主要用于生产薄膜和片材。而可纺性是指可形成连续的固态纤维的能力，主要用于生产单丝或扁丝，如打包带等。

塑料的可挤压性是指塑料在受到挤压力作用时获得形状和保持形状的能力。塑料在注射机料筒、挤出机料筒和模具内均受到挤压，借助挤压获得宏观变形。在挤压过程中塑料熔体主要受剪切作用。因此挤压性主要取决于熔体的剪切粘度，粘度太低虽然流动性好，但保持形状的能力差，可挤压性不好，粘度太高，虽然保持形状的能力强，但挤压困难，流动与成

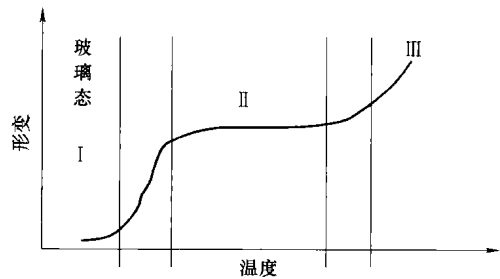


图 1-2 聚合物温度—形变特性曲线

型不易，挤压性也不好。

(二) 流动性

塑料熔体在一定温度与压力作用下充填型腔的能力称为流动性。所有塑料都是在熔融塑化状态下加工成型的，因此流动性是塑料加工为制件的过程中应具备的基本特性。塑料流动性的好坏，在很大程度上影响着成型工艺的许多参数的选择，如成型温度、压力、模具浇注系统的尺寸及其他结构参数等。

流动性对塑件形状、模具设计和成型工艺都有很大影响。流动性小，将使填充不足，不易成型，所需成型压力大；流动性大，则易使溢料过多，填充型腔不密实，塑件组织疏松，易粘模，脱模及清理困难。

从分子结构上来讲，流动的产生实质上是分子间相对滑移的结果。聚合物熔体的滑移是通过分子链段运动来实现的。显然，流动性主要取决于分子组成、相对分子质量大小及其结构。只有线型分子结构而没有或很少有交联结构的聚合物流动性好，而体型结构高分子聚合物一般不产生流动性。

流动性大小除取决于聚合物本身的结构外，还受到填料、添加剂、模具结构和成型工艺条件等多种因素的影响。聚合物中加入填料会降低树脂的流动性，而加入增塑剂、润滑剂则可以提高流动性。当填料粒度细且呈球状、湿度大、增塑剂和润滑剂含量高、预热及成型条件适当、模具型腔表面粗糙度小、模具结构适当等都将使流动性提高。

成型工艺参数对流动性的影响，如料温高，则流动性增大，注塑压力增大，熔体受的剪切作用大，流动性也增大。因此在成型时，应合理选择料温、模温，成型压力等工艺参数以调节流动性，以满足成型需要。模具零件设计应根据成型塑料的流动性，选择合理的模具结构，包括浇注系统形式、尺寸、冷却系统等。工业生产中，用熔融指数 MI ($g/10min$) 值评价热塑性塑料流动性的好坏。所谓“熔融指数”是指在一定的温度下，塑料熔体在 10min 内，从熔融指数测定仪（图 1-3）出料孔挤出的质量（g）。

实际上，熔融指数反映了聚合物在挤压力作用下的流动程度。通常对注射成型要求 MI 达 1~2g，对薄壁件则要求 3~6g。

热固性塑料的流动性用拉西格压模测定，也称拉西格流动性。它是将一定质量的欲测塑料预压成圆锭放入压模中，在规定时间内，在一定的温度与压力下，测定从模孔中挤出物光滑部分的长度 L ，粗糙度不计。

按模具设计要求，大致可将常用热塑性塑料分为三种类型：

- (1) 流动性好的塑料 有聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、尼龙、醋酸纤维素等。
- (2) 流动性中等的塑料 有改性聚苯乙烯、ABS、苯乙烯-丙烯腈共聚物（AS）、有机玻璃、聚甲醛、氯化聚醚等。
- (3) 流动性差的塑料 有聚碳酸酯、硬聚氯乙烯、聚苯醚、聚砜氟塑料等。

(三) 收缩性

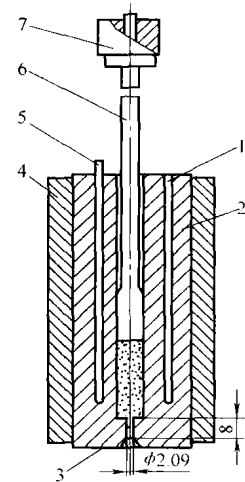


图 1-3 熔融指数测定仪

- 1—热电偶测温管 2—料筒 3—出料孔
4—保温层 5—加热棒 6—柱塞
7—重锤（重锤加柱塞共重 2160g）

所谓收缩，一般是指制件尺寸对注塑模型腔尺寸的绝对减少量或相对减少量。注塑制件冷却时的收缩可分三个阶段，第一、二阶段在注塑模内进行，从充模到脱模为止，第三阶段在脱模后进行。收缩主要取决于模内压力、模温所决定的冷却速率以及脱模时的温度与环境介质温度之差。

(1) 成型收缩的形式 成型收缩主要表现在以下几个方面：

1) 塑料制件的线尺寸收缩。由于热胀冷缩、塑料制件脱模时弹性恢复等原因导致塑料制件脱模冷却到室温后，其尺寸缩小。为此模具型腔设计时必须考虑予以补偿。

2) 收缩的方向性。成型时由于分子的取向作用，使塑料制件呈现各向异性，沿料流方向收缩大、强度高，与料流垂直方向收缩小、强度低。另外，成型时由于塑料制件各部位密度及填料分布不均匀，故收缩也不均匀，方向性表现的更为明显。因此，模具应考虑收缩的方向性，按塑料制件形状和料流方向选取收缩率。

3) 后收缩。塑料制件成型时，由于受成型压力、切应力、各向异性、密度不均、填料分布不均、模温不一致、硬化不一致和塑性变形等因素的影响，塑料制件内存在残余应力。当脱模后，由于应力趋向平衡及储存条件的变化，使残余应力发生变化而导致塑件再次收缩，这种收缩称为后收缩。一般塑料制件在脱模后 10h 内变化最大，24h 后基本稳定，但最后稳定要经 30 ~ 60 天。热塑性塑料的后收缩较热固性塑料大，挤出成型比压缩成型后收缩大。

4) 后处理收缩。在某些情况下，塑料制件按其性能和工艺要求，成型后要进行热处理，处理后也会导致塑料制件尺寸变化，这种变化叫后处理收缩。因此，在模具设计时，对于高精度塑料制件应考虑后收缩和后处理收缩引起的误差并予以补偿。

(2) 收缩率计算 目前确定各种塑料收缩率（成型收缩 + 后收缩）的方法，一般都以 $23^{\circ}\text{C} \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 时模具型腔尺寸与成型后放置 24h，在温度为 23°C ，相对湿度为 $50\% \pm 5\%$ 的条件下测量出的相应塑料制件尺寸之差算出。即模腔尺寸与成品在室温时的尺寸两者之差与模腔尺寸之比，叫做收缩率，见式 (1-1)

$$S = \frac{L_m - L}{L_m} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 S ——塑料收缩率；

L ——塑料制件在室温时的尺寸；

L_m ——模具在室温时的型腔尺寸。

因实际收缩率与计算收缩率数值相差很小，所以模具设计时常以计算收缩率为设计参数计算型腔及型芯的尺寸。

(3) 影响收缩率变化的因素 在实际成型时，不仅塑料品种不同其收缩率不同，而且同一品种塑料的不同批号，或同一塑料制件的不同部位的收缩率也常不同。影响收缩率的主要因素有成型工艺、塑料品种、塑料制件结构、模具结构等，其中主要影响因素如下：

1) 压力。提高注射压力能够降低制品的收缩率。这是因为压力增大，使注射速度提高，充模过程加快后，一方面因塑料熔体的剪切发热而提高了熔体温度、减小了流动阻力；另一方面还可以在熔体温度尚高、流动阻力较小的状态下较早进入保压补料阶段。较高的保压压力使型腔内制品密实，收缩减小，这是因为熔融树脂在成型压力作用下受到压缩，压力越高，发生的压缩量越大，压力解除后的弹性恢复也越大，使得塑件尺寸更加接近型腔尺

寸，因此收缩量越小。

2) 温度。它对热塑性塑料成型收缩率的影响主要表现在浇口冻结后制件脱模之前这段过程。而在浇口冻结之前，模温升高虽有增大热收缩的趋势，但也正是较高的模温使得浇口冻结时间延长，导致注射压力和保压力的影响增强，补缩作用和负收缩量均会增大。所以，总收缩是两种反向收缩综合作用的结果，其数值不一定随着模温的升高而增大。如果浇口发生冻结，注射压力和保压压力的影响将会消失，随着模温的升高，冷却定型时间亦将延长，故脱模后制品收缩率一般都会增大。

3) 冷却时间。在热塑性塑料注射成型中，成型制品在模腔内的冷却时间对制件成型收缩率的影响因树脂种类、制品厚度、熔体温度、模内温度和结晶方式等而不同。模具内冷却时间长能使收缩率减小。对于非结晶性聚合物来说，冷却时间对制件收缩的影响不大；然而对于结晶性聚合物，若冷却时间过长，结晶得到充分进行，结晶度高，成型收缩就会增大。但一般来说，冷却时间过长，冷却可以均匀进行，模具内的物料得以充分固化，从模内脱出的制件尺寸与模腔尺寸接近，因而成型收缩率小。

除上述成型工艺参数对收缩率的影响外，塑料品种不同收缩率也不同，同种塑料也因分子量、填料及配比之差异，使收缩率不同。热塑性塑料较热固性塑料收缩率大，是因其在成型过程中常有结晶化，引起的体积收缩，内应力强、分子取向强，故收缩率大，收缩率范围宽。

塑料制件结构形状如壁厚、有无嵌件、嵌件的布局也影响收缩率。热塑性塑料成型时，熔体与型腔表面接触，外层立即冷却，形成低密度固态外壳，使塑件内层冷却缓慢，而形成高密度固态外层，所以壁厚大、冷却慢、高密度层厚，故收缩大。有嵌件时将影响收缩的大小和方向。

模具结构对收缩率的影响，如浇注系统的浇口形式、布局及尺寸，对收缩率和收缩的方向性影响很大，因它直接影响料流的流动方向、保压补缩作用及成型时间，如直接浇口或进料口大，收缩率较小，但方向性大；浇口短且小，方向性小，距进料口近且平行于料流，收缩率则小。

由上述分析可知，影响收缩率大小的因素很多，相当复杂，因此收缩率不是一个固定值，而是在一定范围内变化。模具设计时应综合考虑，并留有试模后修正的余地。

第二节 塑料流变学性质

塑料在成型过程中，将表现出各种物理和化学行为，这些基本的物理和化学行为包括：聚合物的流变性质、结晶、取向、降解、以及热固性塑料的交联等，下面将分别予以讨论。

一、聚合物的流变性质

聚合物在正常使用中主要是结晶态或玻璃态，而成型过程中，除少数工艺外，均要求处于粘流态，如注射成型、挤出成型等均依靠熔体的变形与流动来实现。流动与变形是聚合物成型过程最基本的工艺特征。流变学是研究物质变形和流动与造成物质流变的各因素之间的关系的一门学科。研究聚合物在外力作用下应力与变形的关系及其影响因素的科学即聚合物流变学。对成型加工而言，研究聚合物流变学的目的是研究和测定聚合物熔体、溶液及分散体的流变特性，并应用其理论指导选择合理的成型方法，确定合理的成型工艺，以及设计合