



全国高等职业教育规划教材

塑料模具设计 第2版

陈志刚 编著



电子课件下载网址 www.cmpedu.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国高等职业教育规划教材

塑料模具设计

第2版

陈志刚 编著



机械工业出版社

书中主要介绍了塑料模具的结构设计及计算方法,系统地介绍了注射模、压缩模、压注模及挤出模的设计及计算方法,并且对塑料成型工艺、常用塑料及成型设备也作了简明的介绍。

本书是高职高专模具设计与制造专业教材,亦可作为中职、技校模具专业教材使用,对从事模具设计与制造的工程技术人员也有较大的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

塑料模具设计/陈志刚编著. —2版. —北京:机械工业出版社, 2009.6
全国高等职业教育规划教材
ISBN 978-7-111-26708-9

I. 塑… II. 陈… III. 塑料模具—设计—高等学校:技术学校—教材 IV. TQ320.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第046173号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:祝伟 版式设计:霍永明

责任校对:张晓蓉 责任印制:乔宇

北京双青印刷厂印刷

2009年7月第2版第1次印刷

184mm×260mm·17.75印张·438千字

0001—5000册

标准书号:ISBN 978-7-111-26708-9

定价:29.00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)88379753 88379739

封面无防伪标均为盗版

全国高等职业教育规划教材

机电类专业编委会成员名单

主 任：吴家礼

副 主 任：任建伟 李望云 张 华 梁 栋 盛靖琪

委 员：(排名不分先后)

陈志刚 陈剑鹤 韩满林 李柏青 盛定高 张 伟

李晓宏 刘靖华 陈文杰 程时甘 韩全立 张宪立

胡光耀 苑喜军 李新平 吕 汀 杨华明 刘达有

程 奎 李益民 吴元凯 王国玉 王启洋 杨文龙

秘 书 长：胡毓坚

副秘书长：郝秀凯

出版说明

根据《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国近60所高等职业院校的骨干教师对在2001年出版的“面向21世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补,并更名为“全国高等职业教育规划教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师,针对相关专业的课程设置,融合教学中的实践经验,同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的,具有“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价,并有多品种被列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中,除了保持原有特色外,针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中,核心基础课的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时,根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来,本系列教材具有以下特点:

- (1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- (2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度,强调专业技术应用能力的训练,适当增加实训环节。
- (3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述容易理解、清晰简洁,多用图表来表达信息;增加相关技术在生产中的应用实例,引导学生主动学习。
- (4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新,及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念,并积极支持新专业的教材建设。
- (5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合,提高教学服务水平,为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快,加之我们的水平和经验有限,因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息,以利于我们今后不断提高教材的出版质量,为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

本教材是根据 2000 年面向 21 世纪高职高专机电专业系列教材编委会第一次全体会议审定的模具专业“塑料模具设计”课程教学大纲组织编写的。

本教材参考学时为 100 学时，共有 8 章内容。第 1 章介绍了高聚物的分子结构和特性、热力学性能及在成型过程中的变化、塑料的组成与分类、工艺性能、热塑性塑料和热固性塑料；第 2 章介绍了塑料的注射模塑、压缩模塑、压注模塑和挤出模塑的成型原理、工艺过程及工艺规程的编制；第 3 章介绍了塑件工艺性分析、塑料模的分类和基本结构、分型面的选择、成型零件的设计、结构零件的设计及塑料模的设计程序；第 4 章介绍了注射模的基本结构及各组成部分的设计计算方法；第 5 章介绍了压缩模的基本结构及设计计算方法；第 6 章介绍了压注模的基本结构及设计计算方法；第 7 章介绍了挤塑模的组成、基本结构及设计计算方法；第 8 章介绍了气辅注射模具、热成型模具、泡沫塑料成型模具及中空成型模具。

本教材由陈志刚编著。

本教材在编写过程中得到了面向 21 世纪高职高专机电专业系列教材编委会及天津电子信息职业技术学院的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免还存在错误和欠妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第1章 塑料概述	1	2.2.3 压缩成型工艺条件的选择	39
1.1 高聚物的分子结构与特性	1	2.3 压注成型原理与工艺	40
1.1.1 树脂简介	1	2.3.1 压注成型原理和特点	40
1.1.2 高分子与低分子的区别	1	2.3.2 压注成型的工艺过程和 工艺条件	41
1.1.3 高聚物的分子结构与特性	1	2.4 挤出成型原理与工艺	42
1.1.4 结晶型与非结晶型高聚物的 结构及性能	2	2.4.1 挤出成型原理	42
1.2 高聚物的热力学性能及在成型 过程中的变化	3	2.4.2 挤出成型工艺过程	43
1.2.1 高聚物的热力学性能	3	2.4.3 挤出成型工艺参数	43
1.2.2 高聚物的加工工艺性能	3	2.5 塑料成型工艺的制订	44
1.2.3 高聚物的结晶	4	2.5.1 塑件的分析	45
1.2.4 高聚物的取向	5	2.5.2 塑料成型方法及工艺过程 的确定	45
1.2.5 高聚物的降解	6	2.5.3 成型设备和工具的选择	45
1.2.6 聚合物的交联	6	2.5.4 成型工艺条件的选择	46
1.3 塑料的组成与分类	7	2.5.5 工艺文件的制订	46
1.3.1 塑料的组成	7	2.6 习题	46
1.3.2 塑料的分类	9	第3章 塑料模具设计基础	47
1.4 塑料的工艺性能	10	3.1 塑件的工艺性	47
1.4.1 热塑性塑料的工艺性能	10	3.1.1 塑件的尺寸、精度和 表面质量	47
1.4.2 热固性塑料的工艺性能	14	3.1.2 塑件的几何形状	53
1.5 常用塑料	15	3.1.3 塑料螺纹和齿轮	61
1.5.1 热塑性塑料	15	3.1.4 带嵌件的塑件设计	64
1.5.2 热固性塑料	27	3.2 塑料模的分类和基本结构	68
1.6 习题	30	3.2.1 塑料模的分类	68
第2章 塑料成型原理与工艺	31	3.2.2 塑料模的基本结构	70
2.1 注射成型原理与工艺	31	3.3 塑料模分型面的选择	72
2.1.1 注射成型原理和特点	31	3.3.1 分型面及其基本形式	72
2.1.2 注射成型工艺过程	32	3.3.2 选择分型面的一般原则	72
2.1.3 注射成型工艺条件选择	34	3.4 成型零件的设计	76
2.2 压缩成型原理与工艺	37	3.4.1 成型零件的结构设计	76
2.2.1 压缩成型原理和特点	37	3.4.2 成型零件的工作尺寸计算	88
2.2.2 压缩成型工艺过程	38	3.5 结构零件的设计	103
		3.5.1 合模导向装置的设计	103

3.5.2 支承零件的设计	107	4.5.2 斜导柱分型与抽芯机构	167
3.6 塑料模的设计程序	108	4.5.3 斜滑块分型与抽芯机构	180
3.6.1 接受任务书	109	4.5.4 其他形式的侧向分型抽芯 机构	182
3.6.2 搜集、分析和消化原始 资料	109	4.6 热固性塑料注射模设计 简述	185
3.6.3 设计模塑成型工艺	110	4.6.1 概述	185
3.6.4 熟悉成型设备的技术规范	110	4.6.2 模具设计要点	186
3.6.5 确定模具结构	110	4.7 模具加热与冷却系统设计	188
3.6.6 模具设计的有关计算	110	4.7.1 概述	188
3.6.7 模具总体尺寸的确定与结构 草图的绘制	110	4.7.2 冷却系统设计	188
3.6.8 模具结构总装图和零件工作图 的绘制	111	4.7.3 加热装置设计	190
3.6.9 校对、审图后用计算机 出图	111	4.8 精密注射模具设计	194
3.7 习题	111	4.8.1 精密注射成型概述	194
4.8.2 精密注射成型条件	195	4.8.3 精密注射模具设计要点	196
第4章 注射模设计	113	4.9 习题	198
4.1 注射模的分类及典型结构	113	第5章 压缩模设计	200
4.1.1 概述	113	5.1 压缩模结构及分类	200
4.1.2 注射模的结构组成	113	5.1.1 压缩模的基本结构	200
4.1.3 注射模的分类及典型结构	114	5.1.2 压缩模的分类	201
4.2 注射模与注射机的关系	117	5.2 压缩模与压力机的关系	204
4.2.1 注射机的分类及技术规范	117	5.2.1 压力机种类与技术规范	204
4.2.2 注射机有关参数的校核	122	5.2.2 压力机有关参数的校核	206
4.3 浇注系统设计	129	5.3 压缩模的设计	209
4.3.1 浇注系统的组成及设计 原则	129	5.3.1 塑件在模具内加压方向 的确定	209
4.3.2 普通浇注系统设计	131	5.3.2 凸、凹模的配合形式	211
4.3.3 热流道浇注系统的设计	145	5.3.3 凹模加料腔尺寸的计算	215
4.3.4 排气和引气系统的设计	152	5.3.4 压缩模脱模机构设计	218
4.4 推出机构设计	154	5.3.5 压缩模的侧向分型抽芯 机构	224
4.4.1 推出机构的结构组成	154	5.4 习题	226
4.4.2 简单推出机构	155	第6章 压注模设计	227
4.4.3 推出机构的导向与复位	160	6.1 压注模类型与结构	227
4.4.4 二级推出机构	160	6.1.1 压注模类型	227
4.4.5 双向推出机构	161	6.1.2 压注模结构	228
4.4.6 点浇口自动脱模机构	162	6.2 压注模结构设计	230
4.4.7 带螺纹塑件的脱模机构	163	6.2.1 加料室设计	230
4.5 侧向分型与抽芯机构的 设计	165		
4.5.1 概述	165		

6.2.2 压料柱塞设计	234	模具设计	250
6.2.3 浇注系统设计	236	8.1.1 概述	250
6.2.4 排气槽设计	238	8.1.2 气辅塑件设计	252
6.3 习题	239	8.1.3 气辅注射成型模具设计的 基本原则	255
第7章 挤塑模设计	240	8.2 热成型模具	255
7.1 概述	240	8.2.1 概述	255
7.1.1 挤塑成型模具典型结构 分析	240	8.2.2 热成型的方法	256
7.1.2 挤出成型机头分类和设计 原则	241	8.2.3 热成型模具设计	259
7.1.3 挤出成型机及辅助设备	242	8.2.4 热成型模具材料	261
7.2 管材挤出成型机头	243	8.3 泡沫塑料成型及模具设计	263
7.2.1 挤出成型机头结构	243	8.3.1 概述	263
7.2.2 工艺参数的确定	244	8.3.2 可发性聚苯乙烯泡沫塑料的 生产过程	263
7.2.3 管材的定径	246	8.3.3 可发性聚苯乙烯发泡模 图例	265
7.3 异型材挤出成型机头	247	8.4 中空成型	267
7.3.1 板式机头	247	8.4.1 概述	267
7.3.2 流线型机头	247	8.4.2 吹塑工艺的影响因素	268
7.4 习题	249	8.4.3 挤出吹塑	268
第8章 其他塑料成型方法与模具 设计简介	250	8.4.4 注-拉-吹塑成型模具技术	273
8.1 气辅注射成型工艺与		8.5 习题	274
		参考文献	275

第1章 塑料概述

1.1 高聚物的分子结构与特性

1.1.1 树脂简介

树脂是塑料的主要成分。最早，树脂是指从树木中分泌出的脂物。后来又发现，从热带昆虫的分泌物中也可提取树脂。有些树脂还可以从石油中得到。这些都属于天然树脂，其特点是无明显的熔点，受热后逐渐软化，可溶解于有机溶剂，而不溶解于水。

由于天然树脂无论数量还是质量都不能满足现实需要，因此，在实际生产中所用的树脂都是合成树脂。合成树脂是人们按照天然树脂的分子结构和特性，用人工方法合成制造的。由于合成树脂是由相对分子质量小的物质经聚合反应而制得的相对分子质量大的物质，因此称之为高分子聚合物，简称高聚物。树脂一般在常温常压下为固体，也有的为粘稠液体。

有些合成树脂可以直接作为塑料使用（如聚乙烯、聚苯乙烯、尼龙等），但有些合成树脂必须要在其中加入一些助剂，才能作为塑料使用（如酚醛树脂、氨基树脂、聚氯乙烯等）。

1.1.2 高分子与低分子的区别

不管是天然树脂还是合成树脂，它们都属于高分子聚合物，塑料的许多优异性能都与高聚物的分子结构密切相关。下面从三个方面介绍一下高分子与低分子的区别。

(1) 分子中所含原子数 在低分子物质中，每个分子所含原子数为几个、几十个，最多几百个。而高分子物质中，每个分子所含原子数为几千个、几万个甚至几十万个。

由此可见，高分子所含原子数远远多于低分子。

(2) 相对分子质量 低分子物质的相对分子质量为几十、几百，而且相对分子质量是固定的。而高分子物质的相对分子质量可达几万、几十万、上百万甚至上千万，而且相对分子质量还可以根据需要进行改变。另外，树脂中无数个大分子的相对分子质量并不完全相同，有很大差别，因此高分子化合物的相对分子质量采用平均相对分子质量来表示。

由此可见，高分子的相对分子质量远远大于低分子。

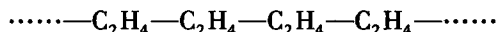
(3) 分子长度 高分子的分子长度远大于低分子的分子长度，如低分子乙烯分子长度为 $0.005\mu\text{m}$ ，而高分子聚乙烯分子长度为 $6.8\mu\text{m}$ ，是前者的12600倍，相差悬殊。

从以上三个方面的区别可知，高分子是含原子数多、相对分子质量大且分子很长的巨型分子，因此高分子有许多不同于低分子物质的特性。

1.1.3 高聚物的分子结构与特性

实际上仅从高分子所含原子个数、相对分子质量的大小和分子的长短上是不足以表达其

本身的结构特性的。因为在每个高分子里都含有一种或数种原子或原子团，这些原子或原子团按一定的方式排列，首先是排列成许多具有相同结构的小单元，称之为结构单元或“链节”，这些结构单元再通过化学键连成一个高分子，这个过程称之为“聚合”。高分子中所含结构单元的数量，称为“聚合度”或“链节数”，用“ n ”来表示。例如，聚乙烯分子里的小单元（链节）为 C_2H_4 ，每个聚乙烯分子中含有 n 个像下面这样连接起来的小单元（链节）：



这种由许多链节（小单元）构成的一个很长的聚合物分子，我们称之为“分子链”。如果聚乙烯的相对分子质量若是 56000，那么一个聚乙烯分子里就含有两千多个乙烯单体分子（单体分子是指用以合成聚合物的小分子）。

高分子从单个分子看有一定聚合度， n 是某一整数，可以从数百个到数万个，相对分子质量是确定的。但对于高分子材料来说，由于树脂在聚合过程中受各种复杂因素的影响，造成无数个高分子的聚合度不可能完全相同，有很大的差别，因此树脂是由许多聚合度相同或不同的高分子组成的，是混合物。

如果高聚物是由一根根分子链组成的，则称为线型高聚物；若是在大分子链之间有一些短链把它们连起来，则称为体型高聚物；介于二者之间的，称为支链型高聚物。图 1-1 所示为高聚物分子链的分子结构示意图。

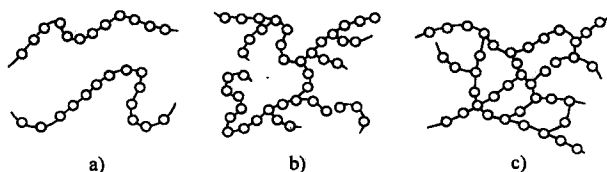


图 1-1 高聚物分子链的分子结构示意图

a) 线型 b) 支链型 c) 体型

高分子聚合物分子结构不同，其性能也不同。线型高聚物具有可溶性和可熔性，成型后性质不变，因此可多次成型。体型高聚物成型前是可溶和可熔的，成型后变成既不溶解又不熔融的固体，所以不能再次成型。

1.1.4 结晶型与非结晶型高聚物的结构及性能

结晶是指聚合物从熔融状态到冷凝时，分子由独立移动的、完全处于无秩序状态变成分子停止自由移动，取得一个略微固定的位置，并有一个使它们自己排列成为规整模型倾向的一种现象。

聚合物由高温熔体向低温固态转变的过程中，若分子链能够稳定规整排列，则称为结晶型；分子链不能得到规整排列，则称为非结晶型。

分子链的排列及相互之间的作用（即结晶）对材料性能有明显影响。结晶聚合物和非结晶聚合物的物理性能及注射性能有很大差别。结晶高聚物一般具有耐热性、非透明性和较好的力学性能，而非结晶型高聚物则相反。

1.2 高聚物的热力学性能及在成型过程中的变化

1.2.1 高聚物的热力学性能

高聚物的分子结构决定了分子运动的多样性,即物理状态。影响高聚物物理状态的因素很多,如分子结构、化学组成、受力情况及环境温度等,但在聚合物及其组成一定时,分子的运动程度和规模主要受温度影响。随着温度的变化,分子热运动表现出三种不同的力学状态,即玻璃态、高弹态和粘流态,在一定条件下它们可以发生转变。图 1-2 表示了聚合物的物理状态与温度的关系。

玻璃化温度 (T_g) 是指非结晶型或半结晶型的高聚物从粘流态或高弹态 (橡胶态) 向玻璃态转变 (或相反转变) 的温度,它是塑件的最高使用温度。

流动温度 (T_f 或 T_m) 是指从高弹态向粘流态转变 (或相反转变) 的温度,它是塑料的最低成型温度。

热分解温度 (T_d) 是指聚合物在高温下开始发生分解的温度,是塑料的最高成型温度。

通常所称的塑料,是指在室温下处于玻璃态的一类高聚物。如果在室温下高聚物处于高弹态,则属于橡胶材料。从实用角度看,玻璃化温度是塑料材料工作温度的上限,超过玻璃化温度,塑料就会丧失或大大降低其力学性能。

从图 1-2 中还可反映出非结晶聚合物与结晶聚合物的物理状态与温度的关系,有两点不同,一是流动温度表示不同,非结晶聚合物与结晶聚合物分别用 T_f 和 T_m 来表示;二是完全结晶聚合物在 T_g 和 T_m 之间基本上不呈高弹态,其形变基本保持不变,有利于扩大聚合物的使用温度范围。

1.2.2 高聚物的加工工艺性能

塑料成型加工与聚合物随温度的三态转变有直接关系,如图 1-3 所示。

高聚物在 T_g 温度以下处于玻璃态,为坚硬的固体,弹性模量和力学强度比较高,在外力作用下,分子链只能发生很小的弹性变形,因此不宜进行较大变形的成型,但可以进行车、铣、刨、磨及锯等切削加工。

在 T_g 温度以下,还存在一个脆化温度,聚合物受力作用易发生断裂破坏,脆化温度是聚合物使用的下限温度。

非结晶聚合物在 $T_g \sim T_f$ 温度之间处于高弹态,聚合物体积膨胀,弹性模量大大降低,虽然仍呈固体状态,

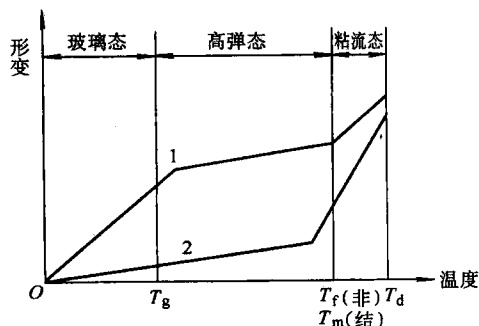


图 1-2 聚合物物理状态与温度的关系
1—线型非结晶聚合物 2—线型结晶聚合物

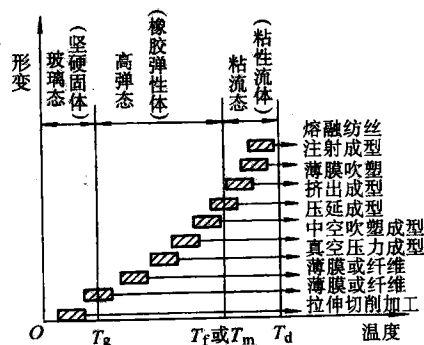


图 1-3 线型聚合物的状态与塑料成型的关系

但在不太大的外力作用下，聚合物变形能力显著增大，弹性变形在外力解除后仍将回复。对于非结晶聚合物，在高弹态中靠近粘流温度 T_f 一侧，高聚物粘性很大，可对某些塑料进行真空成型、压力成型、压延成型和弯曲成型等。对于结晶聚合物，在玻璃化温度 T_g 到流动温度 T_f 之间可成型薄膜或纤维拉伸等成型加工。 T_g 是选择和合理使用塑料的重要参数，也是大多数塑料成型的最低温度。

聚合物在 T_f （或 T_m ）温度到 T_d 温度之间处于粘流态，呈液状熔体，在外力作用下，聚合物出现变形量很大的流动，在外力解除后，这种变形和流动不能回复。从 T_f 温度开始，聚合物在 T_f 温度以上不高的温度范围内，表现为流动性质，可进行某些挤出和吹塑成型等。在 T_f 温度再高一些的情况下，聚合物的弹性模量降到最低值，熔体粘性较小，在不大的外力作用下就能引起熔体的流动变形，可进行挤出、注射及吹塑等成型加工。 T_f 温度过高，会使聚合物粘度大大降低，难以得到良好塑件，接近 T_d 时，易引起聚合物分解，降低塑件力学性能和外观质量。 T_f 也是塑料成型的重要温度参数。

聚合物在 T_d 温度以上，将会发生分解。热分解是指在高温下与氧接触后，聚合物产生可燃性低分子物质及挥发性低分子物质气体，破坏聚合物的组成，影响塑件质量。表 1-1 是部分常用聚合物的分解温度。

表 1-1 部分常用聚合物的分解温度

聚合物	$T_d/^\circ\text{C}$	聚合物	$T_d/^\circ\text{C}$
聚乙烯	335 ~ 450	聚酰胺 - 6	310 ~ 380
聚丙烯	328 ~ 410	聚酰胺 - 66	310 ~ 380
聚氯乙烯	200 ~ 300	聚甲醛	222
聚苯乙烯	300 ~ 400	聚甲基丙烯酸甲酯	170 ~ 300

1.2.3 高聚物的结晶

聚合物是否易于结晶取决于分子链的结构。通常，分子结构简单、对称性高的聚合物，从高温向低温转变时易结晶；一些分子链节虽然较大，但分子间作用力也很大的聚合物，从高温向低温转变时也可以结晶；分子链上有很大大侧基的聚合物，一般较难结晶；分子链刚性大的聚合物则不能结晶。

高聚物的结晶不同于低分子物质的结晶，主要区别是晶体不整齐，结晶不完全，结晶速度慢，没有固定熔点（大多数结晶聚合物熔融温度是一个范围）等。

结晶对聚合物性能有很大影响。由于聚合物结晶使大分子链排列整齐，分子间作用力增强，因而塑件密度、刚度、抗拉强度、硬度、耐热性、抗溶剂性、气密性及耐化学腐蚀性等性能随结晶度的增大而提高，而弹性、伸长率及冲击强度则有所下降。塑件中含有一定量的非结晶部分，可增加塑件的韧性和强度，但也有可能使塑件各部分性能不均匀，甚至使塑件翘曲和开裂。

聚合物的结晶度是指聚合物内结晶组织的质量（或体积）与聚合物总质量（或总体积）之比。大多数聚合物的结晶度为 10% ~ 60%，有些聚合物可达 70% ~ 95%。

具有结晶倾向的聚合物，在成型的塑件中，会不会出现结晶型结构，需由成型时塑料制件的冷却速率来决定。至于出现结晶型结构后其结晶度有多大，各部分的结晶情况是否一

致，在很大程度上取决于冷却控制的情况。由于结晶度能够影响塑件的性能，因而工业上为了改善由具有结晶倾向的聚合物所制的塑件性能，常采用热处理方法（即烘若干时间）以使其由非晶相转变为晶相。将不太稳定的晶型结构转为稳定的晶型结构，微小的晶粒转为较大的晶粒等。但也必须注意，适当的热处理既可以提高聚合物的性能，也可能由于晶粒的过分粗大，使聚合物变脆，性能反而变坏。

1.2.4 高聚物的取向

1. 聚合物的取向

聚合物的取向是指树脂的分子链在外力作用下（如剪切流动），会有不同方式和不同程度的平行排列

在成型过程中，由于受剪切力和拉伸力的作用，聚合物的取向分流动取向和拉伸取向两种。

（1）聚合物的流动取向 成型中聚合物熔体在型腔里的流动是剪切流动。在剪切流动中，不同部位流动速度不同，使蜷曲的聚合物长链分子沿着流动方向伸直和取向。

熔体充模过程中，先与模壁接触的熔体迅速冷却，会形成一个来不及取向或取向甚小的薄壳。聚合物熔体在模腔流动时的取向分布程度如图 1-4 所示。聚合物在流动方向上的取向程度由浇口到熔体前锋逐渐减小，浇口处取向最大。另外，随着熔体向前流动，温度下降，与模腔接触不取向的薄壳厚度逐渐增大。

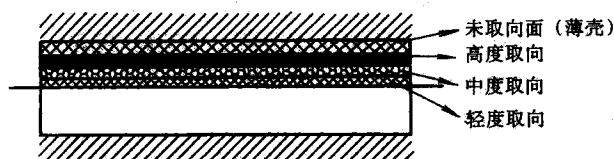


图 1-4 聚合物的取向分布

此外，聚合物中的填料的一般取向总是与熔体的流动方向保持一致。结晶聚合物的流动取向与结晶过程有关，并对结晶产生影响，较为复杂。

（2）聚合物的拉伸取向 聚合物拉伸取向在 $T_g \sim T_f$ 温度范围内，当拉伸到预定要求时，迅速冷却到 T_g 以下，取向就被保存下来了。经过拉伸取向冷却后的聚合物，再加热到 T_g 以上温度，会明显产生收缩，包装用的薄膜采用的就是这一原理。

2. 取向对聚合物性能的影响

非结晶聚合物取向后出现明显的各向异性，即在平行于取向方向上的抗拉强度和冲击强度显著提高，而垂直于取向方向上的强度则显著下降，收缩率前者大于后者。例如，在一般成型温度下，注射塑件在流动方向上的力学强度是垂直方向上的 1~2.9 倍，而冲击强度为 1~10 倍。

结晶聚合物取向后也会呈现各向异性，但与非结晶聚合物稍有不同。结晶聚合物在取向方向上，力学性能和密度得到提高，弹性和韧性也会改善，而伸长率降低。

聚合物取向后的各向异性显著，而双轴取向后的各向异性有可能减小。另外，非结晶聚合物单轴取向后的各向异性程度比结晶聚合物要显著一些。聚合物取向后，其他性能也会随之发生变化。如随取向程度的提高，聚合物弹性模量提高，玻璃化温度上升，沿取向方向线

膨胀系数增大，收缩率与取向程度成正比等。

3. 影响聚合物取向的主要因素（以注射成型为例）

(1) 温度的影响 随着温度升高，一方面聚合物粘度下降，有利于熔体变形和流动，便于聚合物取向；另一方面聚合物解取向（取向后的聚合物大分子在高温下，因大分子运动加剧而恢复原来的蜷曲状态）能力提高。如果熔体温度很高，则与凝固温度之间范围宽，聚合物大分子松弛时间延长，解取向能力加强，取向程度减小。

非结晶聚合物熔体温度下降到 T_g 温度的松弛时间大于结晶聚合物熔体温度下降到 T_m 的松弛时间，因此结晶聚合物的冷却速度快，容易冻结大分子，获得较高的取向程度。

(2) 注射压力和保压压力 增大注射压力和保压压力，提高剪切应力和剪切速率，有利于取向程度的提高。

(3) 浇口冻结时间 采用大浇口时，浇口冻结较晚，流动过程延时，在一定程度上抵消了因分子热运动而引起的解取向，因此浇口附近取向显著。

(4) 模具温度 模具温度较低时，聚合物大分子运动容易冻结，因此解取向能力减小，取向程度提高。

1.2.5 高聚物的降解

聚合物在热、力、氧和辐射等因素作用下而发生的相对分子质量降低或大分子结构改变等称为降解。成型过程中的降解通常是有害的（有意识地利用降解减小聚合物熔体粘度，以改善流动性和成型性能除外），其实质是导致聚合物分子链断裂、交联、侧基变化及相对分子质量下降等一系列结构变化，使聚合物强度下降、变脆、发粘、熔体发生紊流、塑件表面粗糙及使用寿命缩短等。降解主要有以下几种类型。

(1) 热降解 是指在成型中因高温受热时间过长而引起的降解。热降解反应速度随温度升高而加快，因此必须将成型温度和加热时间控制在适当范围内，加热温度不能高于热分解温度，以保证产品质量。

(2) 力降解 是指在成型中因粉碎、高速搅拌、挤压及注射等而受到剪切应力和拉伸应力，使聚合物分子链断裂，相对分子质量降低的现象。力降解发生的同时，常伴有热量的产生，如果热量不能及时扩散出去，也有可能同时发生热降解，因此成型过程中的降解，很多情况下是热、力及氧降解作用的总和。在聚合物中加入溶剂或增塑剂，其流动性增大，力降解作用减弱。

(3) 氧化降解 常温下大多数聚合物都能和氧气发生缓慢作用而氧化降解，成型时由于热的作用加速氧化降解。热氧化降解反应比热降解反应进行得剧烈，对成型过程影响也更大，因此成型时必须严格控制温度和时间，避免过热而发生氧化降解。对热稳定性差的聚合物，应加入抗氧剂，提高聚合物的抗降解能力。

(4) 水降解 是指如果聚合物中含有容易被水解的基团或因聚合物被氧化而形成容易水解的基团，在高温和高压下成型时，被聚合物中的水分分解，这种现象叫聚合物的水降解。为防止水降解，在成型前须对塑料材料进行干燥处理。

1.2.6 聚合物的交联

聚合物的交联是指聚合物在成型过程中，由线型结构交联为体形结构的化学反应过程，

通常也称为“硬化”或“熟化”。

随着交联反应的进行，聚合物的相对分子质量急剧增加，交联完成后整个聚合物成为一个大分子，其物理性能、力学性能及化学性能等方面都得到提高。影响交联的因素有以下几个方面：

(1) 温度和硬化时间的影响 当温度升高时，交联反应速度加快，硬化时间缩短。随着交联反应的形成，聚合物熔体流动性逐渐降低，交联反应越来越难。硬化时间短，交联程度低，塑件性能不好，即“硬化不足”或“欠熟”。交联过度，则塑件发脆、变色和起泡，降低了塑件物理性能，即“硬化过度”或“过熟”。因此，需控制好一定的压力、温度和时间，使聚合物硬化适中，获得好的性能。

(2) 反应基团或反应活性点的影响 热固性聚合物的交联反应是分子链中自带的反应基团（如羟甲基等）或反应活性点（如不饱和键等）与交联剂反应的结果，反应过程中产生的生成物（如水等）会阻缓交联的继续。

(3) 应力的影响 成型过程中熔料间的剪切应力作用，以及粘性物料通过流动和搅拌作用等能增加反应基团或活性点与交联剂的接触机会，有利于加快和提高交联反应速度。

1.3 塑料的组成与分类

1.3.1 塑料的组成

塑料的成分是相当复杂的，按其成分的不同，可分为简单组分塑料和多组分塑料。简单组分塑料基本上以树脂为主要成分，不加或加入少量助剂；多组分塑料除树脂以外，还需加入其他一些助剂。树脂和助剂按不同比例配制，可以获得各种性能的塑料，同一种树脂、不同配方，也可以获得迥然不同的塑料材料及塑件。

1. 树脂

塑料的主要成分是合成树脂，约占塑料总重量的40%~100%。树脂的作用是使塑料具有可塑性和流动性，将各种助剂粘结在一起，并决定塑料的类型（热塑性或热固性）和主要性能（物理性能、化学性能、力学性能等）。

2. 填充剂

填充剂又称填料，一般是对聚合物呈惰性的粉末物质。它的加入可以改善塑料性能，扩大塑料的使用范围，减少树脂用量，降低成本（填料含量可达近40%）。在许多情况下，填充剂所起的作用并不比树脂小，是塑料中的重要但并非必要的成分。

对填料的要求：易被树脂浸润，与树脂有很好的粘附性，性质稳定。填料的颗粒大小和表面状况对塑料性能也有一定影响，颗粒越小对制件稳定性和外观等方面的改善作用就越大。此外，还要求填料分散性良好，不吸油和水，对设备磨损不严重。

填料的加入改变了分子间的构造，降低了结晶倾向，提高了玻璃化温度和硬度，但常会使塑料的强度和耐湿性降低。填料量大时会使加工性能和表面光泽变差，因此需对填料品种和加入量严加控制。

填充剂按其形状可分为粉状的、纤维状的和层状（片状）的。部分常用的填料及其作用如表1-2所示。

表 1-2 部分常用的填料及其作用

序 号	填 料 名 称	作 用
1	碳酸钙 (CaCO_3)	用于聚氯乙烯、聚烯烃等 提高制件耐热性、硬度；塑件稳定性好；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 (Al_2O_3) 高岭土 (Al 、 SiO_2) 滑石粉 (Mg 、 SiO_2) 石棉 (Ca 、 Mg 、 SiO_2) 云母 (硅酸盐)	用于聚氯乙烯、聚烯烃等 改善加工性能，降低收缩率，提高制件的耐热、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 (C)	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 (SiO_2) (白炭黑)	用于聚氯乙烯、聚烯烃、不饱和聚酯、环氧树脂等 提高制件介电性、冲击性能；可调节树脂的流动性
5	硫酸钙 (石膏 CaSO_4) 亚硫酸钙	用于聚氯乙烯、丙烯酸类树脂等 降低成本，提高制件尺寸稳定性、耐磨性
6	金属粉 (铜、铝、锌等)	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
7	二硫化钼 石墨 (C)	用于尼龙浇铸制件等 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
9	玻璃纤维	提高制件机械强度
10	木粉	用于酚醛树脂及聚氯乙烯等塑料的增量。塑件电性能优异，抗冲击性好，但色调、耐水性及耐热性稍差

3. 增塑剂

有些树脂（如硝酸纤维、醋酸纤维、聚氯乙烯等）的可塑性小，柔顺性差，为了降低树脂的熔融粘度和熔融温度，改善其成型加工性能，通常加入能与树脂相溶的不易挥发的高沸点有机化合物，这类物质称为增塑剂。树脂中加入增塑剂后，加大了聚合物分子之间的距离，削弱了大分子之间的作用力，使树脂分子变得容易滑移，从而使塑料能在较低温度下具有良好的可塑性和柔顺性，如图 1-5 所示。

对增塑剂的要求：能与树脂很好地混溶而不起化学反应；不易从制件中析出及挥发；不降低制件的主要性能；无毒、无害、无色、不燃及成本低等。一般需多种增塑剂混用才能满足多种性能要求。

增塑剂是一种低分子化合物或聚合物，通常为高沸点的难挥发性液体或低熔点的固体酯类化合物，如邻苯二甲酸酯类、脂肪族二元酸酯类及磷酸酯类等。目前，塑料工业中使用增塑剂最多的是聚氯乙烯塑料，用的增塑剂占总产量的 80% 以上。