

新版

21世纪

高职高专系列教材

塑料成型工艺 及模具设计

©陈志刚 主编

提供电子教案增值服务

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高职高专系列教材

塑料成型工艺及模具设计

陈志刚 主编



机械工业出版社

本书重点讲解塑料模具的结构及设计方法。书中系统地介绍了注射模、压缩模、压注模的结构及设计,并对塑料成型工艺、常用塑料及成型设备作了扼要的介绍。同时,对挤出模具、气辅注射模具等作了适当的介绍。

本书是高等职业技术学院模具设计与制造专业教材,也可作为模具设计与制造行业工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

塑料成型工艺及模具设计/陈志刚主编. —北京:机械工业出版社, 2007. 5

(21 世纪高职高专系列教材)

ISBN 978 - 7 - 111 - 21268 - 3

I. 塑… II. 陈… III. ①塑料成型 - 工艺 - 高等学校: 技术学校 - 教材
②塑料模具 - 设计 - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. TQ320.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 047583 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: 赵丽欣 版式设计: 张世琴 责任校对: 魏俊云

责任印制: 洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2007 年 6 月第 1 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 25.5 印张 · 627 千字

0 001—5 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 21268 - 3

定价: 35.00 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) 88379739

封面无防伪标均为盗版

21 世纪高职高专机电专业系列教材 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“21世纪高职高专系列教材”。

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,并多个品种被评为普通高等教育“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要容易理解、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

塑料模具的设计与制造水平关系着一个国家经济发展的速度，而塑料模具设计是对塑料材料、成型加工原理、成型设备及塑料模具设计知识的综合运用。本教材根据高职学校培养有较强实践动手能力的高等技术应用型专门人才的要求而编写。在编写过程中，力求做到理论联系实际，并将代表国内外模具设计与制造先进水平的气辅注射等新知识、新技术、新经验及时纳入本教材，从而体现出时代特色。

全书参考学时为 120 学时，共有 11 章内容。第 1 章介绍了高聚物的分子结构与特性、塑料的特性与用途及塑料的组成与分类等内容；第 2 章介绍了塑料成型的理论基础，其中包括高聚物的加工性质、流变性质、流动缺陷、加热与冷却、结晶、取向、降解、热固性塑料的交联、热塑性及热固性塑料的工艺性能等内容；第 3 章介绍了常用的 14 种热塑性塑料及 4 种热固性塑料的组成、性能、加工特性和应用等内容；第 4 章对注射成型原理及特点、注射机、注射成型工艺过程、工艺条件的选择及控制、注射成型制品的质量分析和其他形式的注射成型作了重点介绍；第 5 章主要介绍了塑料压力成型机、压缩成型原理与工艺、压注成型原理与工艺等内容；第 6 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 7 章介绍了各种注射模的基本结构及各组成部分的设计计算方法；第 8 章介绍了压缩模的基本结构及设计方法；第 9 章介绍了压注模的基本结构及设计方法；第 10 章介绍了挤塑模的组成、基本结构及设计方法；第 11 章介绍了热成型模具、泡沫塑料成型模具及中空成型模具。

参加本书编写的有陈志刚、朱自成、王伟、陶群利、张赐杰、李北雁、孙岩、席自华、张文辉、李文艳、吴春玉、王辉、王光印、林福来、吴云飞、高淑苓、曹红云、孙晓林。

由于编者水平有限，书中难免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 塑料材料概论 1

1.1 高聚物的分子结构与特性 1

1.1.1 树脂、高聚物与塑料的概念 1

1.1.2 高聚物的基本特点 2

1.1.3 高聚物的分子结构及分类 3

1.2 塑料的组成与分类 4

1.2.1 塑料的组成 4

1.2.2 塑料的分类 9

1.3 塑料的特性与用途 10

1.3.1 密度小 10

1.3.2 比强度和比刚度高 10

1.3.3 优异的化学稳定性 11

1.3.4 理想的绝缘性能 12

1.3.5 突出的耐磨性和自润滑性 12

1.3.6 多种防护性能 12

1.3.7 卓越的成型性能 12

1.4 习题和思考题 13

第2章 塑料成型的理论基础 14

2.1 高聚物的加工性质 14

2.1.1 高聚物的聚集态及其加工 14

2.1.2 高聚物的可挤压性 15

2.1.3 高聚物的可模塑性 17

2.1.4 高聚物的可纺性 17

2.1.5 高聚物的可延性 17

2.2 高聚物的流变性质 18

2.2.1 剪切流动与剪切粘度 18

2.2.2 拉伸流动与拉伸粘度 20

2.2.3 高聚物在成型过程中的弹性行为 21

2.2.4 粘度的主要影响因素 22

2.3 高聚物的流动缺陷 25

2.3.1 管壁上的滑移 25

2.3.2 端末效应 25

2.3.3 鲨鱼皮症 25

2.3.4 熔体破裂 25

2.3.5 应力开裂 26

2.4 高聚物在成型过程中的加热与冷却 26

2.5 高聚物的结晶 27

2.5.1 高聚物的结晶能力 27

2.5.2 高聚物的结晶度 27

2.5.3 成型对结晶的影响 28

2.5.4 结晶对性能的影响 28

2.5.5 结晶型塑料在模具设计时应注意的问题 29

2.6 成型过程中高聚物的取向 29

2.6.1 高聚物的取向机理 29

2.6.2 流动取向和拉伸取向 30

2.6.3 高聚物取向的影响因素 32

2.6.4 取向对高聚物性能的影响 33

2.7 高聚物的降解 33

2.7.1 影响高聚物降解的因素 33

2.7.2 防止降解的措施 35

2.8 热固性塑料的交联 35

2.9 热塑性塑料的工艺性能 36

2.9.1 塑料的成型收缩性 36

2.9.2 流动性 37

2.9.3 热敏性和水敏性 38

2.9.4 吸湿性 38

2.10 热固性塑料的工艺性能 39

2.10.1 收缩性 39

2.10.2 流动性 39

2.10.3 固化速度 39

2.10.4 水分及挥发物含量 40

2.10.5 颗粒度和均匀性 40

2.10.6 比容和压缩率 40

2.11 习题和思考题 40

第3章 塑料的性能及加工 43

3.1 热塑性塑料的性能及加工 43

3.1.1 聚乙烯 43

3.1.2	聚丙烯	46	4.5.2	注射成型制品的收缩	154
3.1.3	聚氯乙烯	49	4.5.3	注射成型制品的熔接痕	156
3.1.4	聚苯乙烯	51	4.5.4	注射成型制品的缺陷与对策	157
3.1.5	ABS 塑料	55	4.6	其他形式的注射成型	160
3.1.6	聚酰胺	59	4.6.1	排气式注射成型	161
3.1.7	聚碳酸酯	65	4.6.2	流动注射成型	161
3.1.8	聚砜	70	4.6.3	共注射成型	162
3.1.9	聚苯醚	76	4.6.4	热固性塑料的注射成型	162
3.1.10	聚甲醛	80	4.6.5	气体辅助注射成型	164
3.1.11	聚甲基丙烯酸甲酯	85	4.6.6	反应注射成型	168
3.1.12	氟塑料	88	4.7	习题和思考题	169
3.1.13	聚对苯二甲酸乙二酯	93	第5章	压缩、压注成型工艺及设备	171
3.1.14	聚对苯二甲酸丁二酯	98	5.1	塑料压力成型机	171
3.2	热固性塑料的性能及加工	103	5.1.1	压力机的工作原理、结构及分类	171
3.2.1	酚醛树脂及其塑料	103	5.1.2	压力机的主要零部件	173
3.2.2	氨基树脂及其塑料	108	5.1.3	压力机的主要技术参数及选择	175
3.2.3	环氧树脂及其塑料	110	5.1.4	压力机的安装调试及安全使用与维护	177
3.2.4	不饱和聚酯树脂及其塑料	111	5.2	压缩成型原理及工艺	178
3.3	习题和思考题	112	5.2.1	压缩成型的原理及特点	178
第4章	注射成型工艺及设备	114	5.2.2	压缩成型工艺过程	179
4.1	注射成型原理及特点	114	5.2.3	压缩成型的工艺特性和影响因素	182
4.1.1	柱塞式注射机的注射成型原理	114	5.3	压注成型原理及工艺	187
4.1.2	螺杆式注射机的注射成型原理	115	5.3.1	压注成型原理及特点	187
4.2	注射机	117	5.3.2	压注成型的工艺过程及工艺条件	188
4.2.1	注射机的组成、分类及规格表示法	117	5.4	塑料成型工艺的制定	188
4.2.2	注射装置	119	5.4.1	塑件的分析	189
4.2.3	合模装置	128	5.4.2	塑料成型方法及工艺过程的确定	189
4.2.4	注射机的主要技术参数	133	5.4.3	成型设备和工具的选择	189
4.2.5	注射机的安装、调试、操作及维护	137	5.4.4	成型工艺条件的选择	190
4.3	注射成型工艺过程	141	5.4.5	工艺文件的制定	190
4.3.1	成型前的准备	141	5.5	习题和思考题	190
4.3.2	注射成型过程	142	第6章	塑料模设计基础	191
4.3.3	制件的后处理	145	6.1	塑件的工艺性	191
4.4	注射成型工艺条件的选择及控制	146	6.1.1	塑件的尺寸、公差和表面质量	191
4.4.1	温度	146	6.1.2	塑件的几何形状	193
4.4.2	压力	148			
4.4.3	成型周期	151			
4.5	注射成型制品的质量分析	151			
4.5.1	注射成型制品的内应力	151			

6.1.3	塑料螺纹和齿轮	198	7.4.1	推出机构的结构组成	284
6.1.4	带嵌件的塑件设计	200	7.4.2	简单推出机构	285
6.2	塑料模的分类和基本结构	203	7.4.3	推出结构的导向与复位	289
6.2.1	塑料模的分类	203	7.4.4	二级推出机构	289
6.2.2	塑料模的基本结构	205	7.4.5	双向推出机构	290
6.3	塑料模分型面的选择	207	7.4.6	点浇口自动脱模机构	291
6.3.1	分型面及其基本形式	207	7.4.7	带螺纹塑件的脱模机构	292
6.3.2	分型面选择的一般原则	207	7.5	侧向分型与抽芯机构的 设计	294
6.4	成型零件的设计	210	7.5.1	概述	294
6.4.1	成型零件的结构设计	210	7.5.2	斜导柱分型与抽芯机构	296
6.4.2	成型零件的工作尺寸计算	221	7.5.3	斜滑块分型与抽芯机构	307
6.5	结构零件的设计	234	7.5.4	其他形式的侧向分型与抽芯 机构	310
6.5.1	合模导向装置的设计	234	7.6	热固性塑料注射模设计 简述	312
6.5.2	支承零件的设计	238	7.6.1	概述	312
6.6	塑料模的设计程序	240	7.6.2	模具设计要点	313
6.6.1	接受任务书	240	7.7	模具加热与冷却系统设计	314
6.6.2	搜集、分析和消化原始资料	240	7.7.1	概述	314
6.6.3	设计模塑成型工艺	241	7.7.2	冷却系统设计	315
6.6.4	熟悉成型设备的技术规范	241	7.7.3	加热装置设计	317
6.6.5	确定模具结构	241	7.8	精密注射模具设计	320
6.6.6	模具设计的有关计算	242	7.8.1	精密注射模具成型概述	320
6.6.7	模具总体尺寸的确定与结构 草图的绘制	242	7.8.2	精密注射模具成型的工艺 条件	320
6.6.8	模具结构总装图和零件工作 图的绘制	242	7.8.3	精密注射模具的设计要点	321
6.6.9	校对、审核后用计算机出图	242	7.9	气辅注射模具设计	324
6.7	习题和思考题	243	7.9.1	气辅注射的装置	324
第7章	注射模设计	244	7.9.2	气辅塑件设计	324
7.1	注射模的分类及典型结构	244	7.9.3	气辅注射成型模具设计的基 本原则	327
7.1.1	概述	244	7.10	习题和思考题	328
7.1.2	注射模的结构组成	244	第8章	压缩模设计	329
7.1.3	注射模的分类及典型结构	245	8.1	压缩模结构及分类	329
7.2	注射模与注射机的关系	248	8.1.1	压缩模的基本结构	329
7.2.1	注射机的技术规范	248	8.1.2	压缩模的分类	330
7.2.2	注射机有关参数的校核	252	8.2	压缩模与压机的关系	333
7.3	浇注系统设计	259	8.2.1	压机种类与技术规范	333
7.3.1	浇注系统的组成及设计基本 原则	259	8.2.2	压机有关参数的校核	336
7.3.2	普通浇注系统的设计	261	8.3	压缩模的设计	339
7.3.3	热流道浇注系统的设计	275	8.3.1	塑件在模具内加压方向的	
7.3.4	排气和引气系统的设计	282			
7.4	推出机构设计	283			

确定	339	10.3 异型材挤出成型机头	375
8.3.2 凸、凹模的配合形式	340	10.3.1 板式机头	375
8.3.3 凹模加料腔尺寸的计算	344	10.3.2 流线型机头	375
8.3.4 压缩模脱模机构的设计	347	10.4 习题和思考题	376
8.3.5 压缩模的侧向分型抽芯机构	353	第11章 其他塑料成型方法与模具	
8.4 习题和思考题	355	设计简介	377
第9章 压注模设计	356	11.1 热成型模具	377
9.1 压注模类型与结构	356	11.1.1 概述	377
9.1.1 压注模类型	356	11.1.2 热成型的方法	377
9.1.2 压注模结构	357	11.1.3 热成型模具设计	380
9.2 压注模结构设计	359	11.1.4 热成型模具材料	383
9.2.1 加料室的设计	359	11.2 泡沫塑料成型及模具设计	383
9.2.2 压料柱塞的设计	363	11.2.1 概述	383
9.2.3 浇注系统的设计	364	11.2.2 可发性聚苯乙烯泡沫塑料的	
9.2.4 排气槽的设计	366	生产过程	384
9.3 习题和思考题	367	11.2.3 可发性聚苯乙烯发泡模	
第10章 挤塑模设计	368	图例	385
10.1 概述	368	11.3 中空成型	387
10.1.1 挤塑成型模具典型结构		11.3.1 概述	387
分析	368	11.3.2 吹塑工艺的影响因素	388
10.1.2 挤出成型机头的分类和设计		11.3.3 挤出吹塑	389
原则	369	11.3.4 注—拉—吹塑成型模具	
10.1.3 挤出成型机及辅助设备	370	技术	392
10.2 管材挤出成型机头	371	11.4 习题和思考题	394
10.2.1 挤出成型机头结构	371	参考文献	395
10.2.2 工艺参数的确定	372		
10.2.3 管材的定径	374		

第 1 章 塑料材料概论

1.1 高聚物的分子结构与特性

1.1.1 树脂、高聚物与塑料的概念

1.1.1.1 天然树脂和合成树脂

最早，树脂是指从树木中分泌出的脂物，如松香就是从松树分泌出的乳液状松脂中分离出来的。后来又发现，从热带昆虫的分泌物中也可提取树脂，如虫胶。有些树脂还可以从石油中得到，如沥青，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，用人工方法制造合成的树脂。

1.1.1.2 高聚物

高聚物，系指那些由众多原子或原子团主要以共价键结合而成的相对分子质量在一万以上的化合物，一般经聚合反应制得，又称为高分子化合物。同具有相同化学组成和结构的低分子同系物相比，高聚物具有高熔点（或高软化点）、高强度、高弹性以及溶液和熔体的高粘度等特殊物理性能，一般在常温常压下为固体，也有的为粘稠液体。这些都归因于其具有特殊的大分子结构。

高聚物的组成元素中以 C、H、O、N 最为常见，S、Cl、P、Si、F 等元素也存在于一些高聚物中，由此可见，一般合成高分子主要由非金属元素组成。但生物大分子中也存在一些微量元素，如 Fe、Ca、Mg、Na、K、I 等。

天然树脂和合成树脂都属于高聚物。

1.1.1.3 塑料

塑料是高分子材料中产量最大、使用最广的一类。由于塑料的品种多，性能各异，应用性广，且生产塑料的能耗低，因此在当今其他几种材料发展缓慢或停滞不前的状况下，仍保持着良好的发展势头。

对塑料进行确切定义比较困难。国家标准（GB/T 2035—1996）对塑料的定义是：以高聚物为主要成分，并在加工为成品的某阶段可流动成型的材料。弹性材料也可流动成型，但不认为是塑料。随着塑料工业的发展和应用的推广，塑料的定义也将会不断地得到修正或补充。

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 高聚物的基本特点

(1) 相对分子质量很大，一般在一万以上。


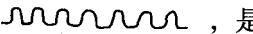
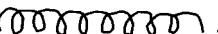
(2) 合成高聚物的化学组成比较简单，分子结构有规律性。

合成高聚物大分子结构的规律性首先体现在它们都是由某些符合特定条件的低分子有机化合物通过聚合反应并按照一定规律连接而成。通常将这些能够进行聚合反应并生成大分子的低分子有机化合物叫做“单体 (monomer)”。不同种类的单体通过聚合反应生成聚合物的时候可能存在两种不同的情况，一种情况是单体的化学组成并不改变而只是化学结构发生变化——这是加成聚合物的一般情况；另一种情况是单体的化学组成和结构都发生一定变化——这是合成缩合聚合物的一般情况。

(3) 各种合成聚合物的分子形态是多种多样的。

由于绝大多数合成聚合物的大分子均为长链线型，所以常常将聚合物的分子称为“分子链”或“大分子链”。将具有最大尺寸、贯穿整个大分子的分子链称为主链；将连接在大分子主链上除氢原子以外的原子或原子团称做侧基；有时将连接在主链上足够长的侧基（往往也是由某种单体聚合而成）称做侧链；将大分子主链上带有数量和长度不等的侧链的聚合物称为支链聚合物。长链线型大分子在通常情况下均呈现卷曲缠绕状，其形态常被描述为“无规线团状”，而并非刚硬的棒状。假设能够将聚烯烃大分子的主链拉伸到“刚硬直线状”，可以发现其分子长度与直径之比在 $10^3 \sim 10^5$ 范围内。由此可见，绝大多数高聚物的分子链是非常细长的。一些聚合物的“分子”具有空间三维网状结构，这类聚合物通常被称为“体型聚合物”。它们的一个具体物件事实上就是一个几乎无限巨大的“分子”，相对分子质量对于这种体型聚合物而言已经失去意义。目前完全平面网状结构的聚合物尚未合成出来。近年来，已有大分子主链呈星形、梯形、环形等特殊类型的新型聚合物的研究报道。

大分子链的形态有以下四种基本类型：

- 伸直链。形如 ，是拉伸结晶的大分子链；
- 折叠链。形如 ，是聚甲醛晶体大分子链；
- 螺旋形链。形如 ，指全同立构聚丙烯、蛋白质、核酸等大分子链；
- 无规线团。大多数合成的线型聚合物在熔融态或溶液中所呈现的状态，是较为典型的大分子链形态。

(4) 一般高聚物实际上是由相对分子质量大小不等的同系物组成的混合物，其相对分子质量只具有统计平均的意义。不仅如此，即使具有相同平均相对分子质量的同一种聚合物的性能也不一定完全相同。原因是高聚物还具有相对分子质量的多分散性的特点。

(5) 由于高聚物相对分子质量很大，因而具有与低分子同系物完全不同的物理性能。例如高聚物具有高软化点、高强度、高弹性、其溶液和熔体的高粘度等性质。

表 1-1 所示为从三个方面所进行的高分子与低分子的比较。

表 1-1 高分子与低分子的区别

比较项目	低分子	高分子
每个分子所含原子数目/个	几个、几十个，最多几百个原子	几千个、几万个甚至几十万个原子

(续)

比较项目	低分子	高分子
每个分子的相对分子质量	几十、几百，而且分子量是固定的	几万、几十万、上百万甚至上千万，而且分子量还可以根据需要进行改变
每个分子的长度/ μm	0.005 (低分子乙烯)	6.8 (高分子聚乙烯) 是前者的 12600 倍

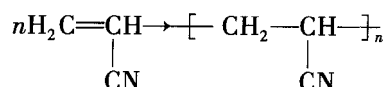
1.1.3 高聚物的分子结构及分类

1.1.3.1 单体单元、结构单元、重复结构单元、链节、聚合度

由于高聚物是一种相对分子质量很大、分子很长的大分子物质，因此要像小分子物质那样将其分子结构式全部写出（如水分子 H_2O 、蔗糖分子 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 、三硬脂酸甘油酯 $\text{C}_{57}\text{H}_{110}\text{O}_6$ 及乙烯分子 $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ）不可能也无必要。这是因为几乎所有的高聚物都是由一种或二、三种结构并不复杂的“基本单元”重复联结而成，犹如用珍珠串链、砖块建房一样。这样就只需按照特定的规范写出这种“基本单元”的结构式，同时注明一个大分子含有这种“基本单元”的数目，用字母 n 或 m 表示也称为聚合度，即可以表示该聚合物的大分子了。

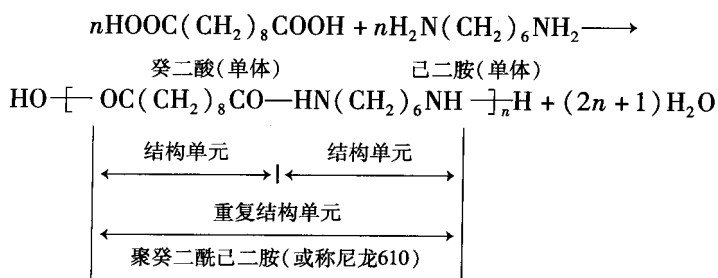
将大分子链上化学组成和结构均可重复的最小单位称做“重复结构单元”或简称“重复单元”，在分子物理学中也称为“链节”。由一种单体分子通过聚合反应而进入聚合物重复单元的那一部分叫做结构单元。显而易见，由一种单体聚合而生成的聚合物（通常称做均聚物）的重复单元也就是结构单元。与单体的化学组成完全相同、只是化学结构不同的结构单元有时也可以叫做单体单元。

例如，丙烯腈的加成聚合反应如下式：



丙烯腈(单体) 聚丙烯腈(聚合物)

癸二酸与己二胺的缩合聚合反应如下式：



1.1.3.2 高聚物的分类

1. 按照高分子的来源 可分为天然高分子和合成高分子两大类。
2. 按照高分子的用途 可分为塑料、橡胶、纤维、涂料、胶粘剂和功能高分子共六大类。
3. 按照高分子主链的元素组成 可分为碳链、杂链和元素有机三大类高分子。

碳链高分子，其分子主链完全由碳原子组成。烯烃、共轭二烯烃单体通过加成聚合反应即得到碳链高分子。

杂链高分子，其分子主链除碳原子外还含有 O、N、S 等杂原子。绝大部分缩聚物如聚酯、聚酰胺、聚氨酯、聚醚等均属于杂链高分子。

元素有机高分子，其分子主链不含碳原子而由 Si、B、Al、O、N、S、P 等原子组成，不过其侧基却是含 C、H、O 的有机基团，如甲基、乙基、苯基等。例如硅橡胶即是元素有机高分子中最重要的品种，其大分子主链由 Si、O 原子交替排列组成。

4. 按照制备高分子化合物的聚合反应类型 包括缩聚反应和加聚反应两大类，可将相应的聚合物分为缩聚物和加聚物。

5. 按照高分子化合物的化学结构类别 可分为聚酯、聚酰胺、聚氨酯、聚烯烃等。

6. 按照聚合物受热时的不同行为 可以分为热塑性聚合物和热固性聚合物。前者受热变软可流动，多为线型高分子；后者受热转化成不溶、不熔、强度更高的交联体型聚合物。

7. 按照聚合物的相对分子质量大小 可以分为高聚物、低聚物、齐聚物、预聚物等。

1.2 塑料的组成与分类

1.2.1 塑料的组成

组成塑料的最基本成分是合成树脂称为基质材料。按实际需要，塑料材料中一般还含有许多其他成分，称为助剂（添加剂），这些助剂用以改善材料的使用性能或工艺性能。热塑性塑料有时也以纯树脂形式使用，热固性塑料则完全以添加助剂的形式使用。

塑料材料所使用的助剂品种很多，包括填充剂、增强剂、增塑剂、润滑剂、抗氧剂、热稳定剂、光稳定剂、阻燃剂、着色剂、抗静电剂、固化剂、发泡剂和其他一些助剂。

对助剂的基本要求是功能上有效，在塑料加工使用条件下稳定，与树脂结合稳固，不渗析和喷霜，无毒无味，价格适宜。渗析是指塑料中某助剂向与之相接触的其他材料中迁移的现象。渗析的发生是由于该助剂既在基质材料树脂中有一定溶解度，也在所接触的材料中有一定的溶解度。喷霜是指塑料中某助剂向制品表面迁移的现象，一般主要是指增塑剂和润滑剂。如果某助剂在加工温度下可在树脂中完全溶解，但在室温下仅部分溶解，则所成型的制品在室温下存放或使用时会发生喷霜现象。

1.2.1.1 树脂

合成树脂作为塑料的基质材料，约占塑料总重量的 40% ~ 100%。其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、力学性能及电性能等）。本书后面章节中将对各种常用树脂做详细介绍。

1.2.1.2 填充剂、增强剂

填充剂又称填料，一般是指聚合物中呈惰性的粉末物质。填充剂可以改善塑料的某些物理性能（例如导热性、膨胀性、耐热性、硬度、收缩性、尺寸稳定性等），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，是塑料中一个重要但并非必要的成分。

增强剂用来提高塑料的力学性能，即提高材料的强度和刚度、硬度等。增强剂在增大材

料承载能力的同时，也往往伴随着改善材料的其他物理性能，如提高耐热性，减小收缩，改善尺寸稳定性，改变导热性和热膨胀性等。

人们往往将填充剂和增强剂这两种含义有所区别的助剂视为同一。实际上，填充剂的含义较广，增强剂的含义较窄，可将增强剂包括在填充剂内，视为专用于改善材料力学性能的填充剂。图 1-1 简单说明了填充剂范畴及其与增强剂的关系。

将增强剂或广而言之将填充剂加入材料后，对材料的增强效果或对其他性能的改善效果主要取决于以下几种基本因素：

(1) 增强剂或填充剂本身的物理力学性能（如强度、模量、硬度、导热性、膨胀性等）。

(2) 增强剂或填充剂的表面性质。只有增强剂或填充剂与树脂牢固地结合时，才能最大限度地产生增强作用或达到对材料其他性能的改善效果。

(3) 增强剂或填充剂的比表面大小。比表面是指一克多孔固体所具有的总表面积（包括外表面积和内表面积）。增强剂或填料的比表面愈大，与树脂所结合的表面愈大，结合的牢固程度就愈大，对材料性能改善愈明显。因此，粒子状填料的粒度越小越好，薄片状和纤维状填料则希望尽可能薄些或细而长些。

对填充剂的要求是：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，对设备不严重磨损。

填充剂的加入改变了分子间构造，降低了结晶倾向，提高了玻璃化温度和硬度。因而常会使塑料的强度和耐湿性降低，填充剂量大时会使加工性能和表面光泽变差，因此需对填充剂品种和加入量严格控制。

1.2.1.3 增塑剂

增塑剂是用以改善塑料塑性，增加成型加工时的流动性，降低制品的脆性，改善材料耐寒性的一种助剂。

增塑剂对塑料的增塑机理主要是增塑剂分子可对树脂大分子起隔离作用，使不同分子链之间的距离增大，减小大分子之间的相互吸引力和缠结，使分子链的内旋转变得容易，进而增加分子链的柔曲性并使分子链相互滑移变得容易，进而增大材料流动性、改善耐寒性、减小脆性等。

根据卫生指标增塑剂可分为有毒、低毒和无毒三类。完全无毒的增塑剂不多，低毒增塑剂根据各国卫生部门允许可以有条件地用于接触食品和医药行业。

根据相容性的大小也可分为主增塑剂、辅增塑剂。主增塑剂与塑料有良好的相容性，可单独使用，辅增塑剂与聚合物相容性较差，一般不能单独使用，常与主增塑剂并用。

根据应用性能还可分为耐寒性、耐热性、耐候性、耐燃性、防霉性、抗静电性等。

对增塑剂的基本要求是挥发性很小，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、不燃以及成本低等。一般需多种增塑剂混用才能满足不同的性能要求。因此，增塑剂实际上是树脂的不挥发性溶剂。欲达

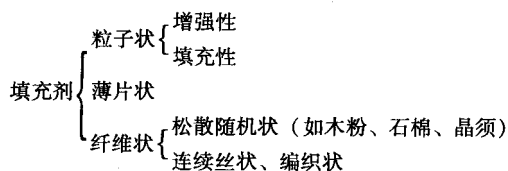


图 1-1 填充剂范畴

到增塑剂与树脂良好的混溶，必须选用那些与树脂溶解度参数接近的品种。增塑剂的分子量不能太小，只有这样才可保证具有很小的挥发性。一般使用的增塑剂，其分子量在 300 左右。

增塑剂的常用品种有以下几类：

1. 苯二甲酸酯类 常用品种包括邻苯二甲酸二丁酯、二辛酯等，这类增塑剂的优点是可使材料保持良好的绝缘性和耐寒性。

2. 磷酸酯类 常用品种有磷酸三甲酚酯、磷酸三酚酯、三辛酯。这类增塑剂的特点是可以使材料保持有较好的耐热性，但耐寒性却较差，且该类增塑剂有毒性。

3. 己二酸、壬二酸、癸二酸等的二辛酯 这类增塑剂可以使材料具有较好的耐寒性，但耐油性却较差。

在现有塑料品种中，使用增塑剂最多的塑料品种是聚氯乙烯、聚乙酸乙烯、丙烯酸酯类塑料、纤维素塑料，其中聚氯乙烯塑料的用量最大，占增塑剂总产量的 80% 以上。

1.2.1.4 热稳定剂

加入到塑料配料中，能改善树脂的热稳定性，抑制其热降解、热分解的助剂称为热稳定剂。由于聚氯乙烯的热稳定性特别突出，一般所述的热稳定剂，多是指对聚氯乙烯塑料的专用热稳定剂。除聚氯乙烯外，聚甲醛塑料的热稳定性问题也较突出，但聚甲醛主要是采用对树脂端基封闭处理的方法提高热稳定性。其他塑料在合理的熔融加工温度范围内，都具有尚好的热稳定性。

对热稳定剂的要求是：热稳定效率高，并兼具一定的光稳定性；与被稳定的塑料相容性好，不升华，不迁移，不喷霜，不易被水、油或溶剂抽提；不与其他助剂反应，不被硫或铜污染；不显著影响聚合物的理化性能；无毒、无污染、无异味；可制得透明制品；加工使用方便；价格低廉。

常用的热稳定剂种类有：盐基铅盐热稳定剂（这类热稳定剂的优点是长时间耐热性优，耐候性优，且价廉，缺点是毒性较大，在树脂中的相容性和分散性较差）、金属皂类热稳定剂（这类热稳定剂的优点是除起热稳定作用外，并可兼起材料的润滑作用）、有机锡化合物热稳定剂（这类热稳定剂的优点是可使塑料制品保持良好的透明性、突出的耐热性，并可与金属皂类热稳定剂产生协同效应，缺点是价格较贵）。

1.2.1.5 光稳定剂

加入到塑料配方中，能改善塑料的耐日光性，防止或降低日光中紫外线对塑料产生破坏的助剂，统称光稳定剂，又称抗紫外线剂。

光稳定剂的类型及作用，按其本质可分为以下三类：

1. 紫外光屏蔽剂 这种光稳定剂也称遮光剂，其作用是可以吸收或反射（主要是反射）紫外光，使塑料材料免受或减小紫外线的损害，这是材料抗紫外线的首道防线。这类光稳定剂的主要品种是 TiO_2 、 ZnO 等无机颜料、无机填充剂和炭黑。

2. 紫外线吸收剂 这类是光稳定剂的主体，可以强烈地吸收紫外光，使光能以热能形式放出，大大减小对材料的损害。这是抗紫外线的第二道防线。这类光稳定剂的主要品种有水杨酸酯类、二苯甲酮类、苯并三唑类等。

3. 紫外线猝灭剂 这类光稳定剂的作用是捕灭紫外线的活性。当射向塑料制品的紫外线尚未被一、二道防线的光稳定剂全部反射和吸收时，剩余部分被材料吸收，使材料中的树

脂分子激发为“受激态”，加入材料配方中的紫外线猝灭剂可以从受激的树脂分子中迅速吸收能量，使之回到低能的稳定状态，将其“猝灭”。

对光稳定剂的具体要求是：能强烈吸收紫外光或有效猝灭激发态分子，或具有捕获自由基的足够能量；热稳定性好，在所用塑料加工温度下不发生变化；具有优良的光稳定性和化学稳定性，不与其他组分发生不利反应；与聚合物有良好的相容性、不挥发、不迁移、不被水和溶剂抽出；无毒、无污染；价廉。

1.2.1.6 抗氧剂

许多树脂在制造、储存、加工和使用过程中都会因氧化而加速降解，我们将添加到塑料配方中，能延缓或抑制塑料氧化降解、抑制其性能变劣的物质统称抗氧剂。

对抗氧剂的具体要求是：有优良的抗氧化性能；与聚合物相容性好，不喷霜；在所用塑料加工温度下稳定，不与其他助剂发生不利反应；无毒、无污染、不变色；不影响聚合物的其他重要性能；耐抽出性好，挥发和迁移性小；价廉。

抗氧剂的分类方法繁多，按作用机理分类比较常用，有三大类：链终止剂、过氧化物分解剂、金属离子钝化剂。另一种常用的分类方法是按抗氧剂的化学结构分类，大致可分为：酚类（含单酚、双酚、三酚、多酚、对苯二酚和硫代双酚等）、胺类（含萘胺、二苯胺、对苯二胺和喹啉衍生物）、亚磷酸酯类、硫酯类、其他。

以上热稳定剂、光稳定剂、抗氧剂和某些塑料配方中使用的抗臭氧剂和抑铜剂合称防老剂。

1.2.1.7 抗静电剂

加入塑料配方中或涂敷在塑料制品表面，防止制品表面聚积电荷的助剂称为抗静电剂。

对抗静电剂的具体要求是：抗静电效果好、持久并稳定；耐热性好，在塑料加工条件下不受热分解；不明显影响塑料的加工性能和使用性能；与塑料具有一定的相容性和适当的渗出速率；不与其他助剂产生对抗效应；无毒、无臭、无污染；价格低廉。

抗静电剂的分类如下：

- (1) 按化学结构可分为离子型和非离子型两类。
- (2) 按使用方法又可分为内添加型和外涂型。

1.2.1.8 阻燃剂

加入到塑料配方中，能够降低材料的燃着倾向和程度，或降低燃烧速率和火焰传播速率的助剂，皆称为阻燃剂。

对阻燃剂的具体要求是：阻燃效率高；在所用聚合物的加工温度下不分解，持久稳定，但在该聚合物热分解时则必须急速分解以发挥其阻燃效果；不显著降低聚合物的物理力学性能；无毒、无污染，阻燃过程中不产生或尽量少产生有毒气体或烟雾；价廉。

阻燃剂按其使用方法分为添加型和反应型两种。添加型阻燃剂是在塑料配制或成型加工过程中掺入塑料中，这种类型多用于热塑性塑料，也可用于热固性塑料。反应型阻燃剂是在塑料内的树脂合成时作为反应组分之一参与合成反应，成为树脂分子链的组成部分。这种阻燃剂只用于热固性塑料。

常用的阻燃剂举例如下：含卤化合物如六溴化苯、四溴丁烷、五溴乙苯、十溴二苯醚等，皆属添加型阻燃剂；含卤化合物又如三溴苯酚、五溴苯酚、四溴双酚 A 等，皆属反应型阻燃剂；含磷化合物多是磷酸三酯类，如磷酸三甲酯、磷酸三(-氯丙)酯、磷酸三(2,