



塑料产品设计

张子成 邢继纲 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

塑料产品设计

张子成 邢继纲 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

· 北京 ·

著作权合同登记 图字：军-2010-123号

内 容 简 介

本书先介绍塑料材料的高分子物理性能、化学性能及力学性能，进而探讨如何选择适当的塑料材料来设计产品，将塑料模具制作中容易遇到的不良状况一一解说，并提供相应的解决方法。书中也介绍了对日益严重的废弃物再回收、再制作的各种方法。对学习塑料模设计及从业人员而言是值得大力推荐的一本好书，而且适合从事塑料模具设计工作者及相关专业的高校师生使用。

图书在版编目（CIP）数据

塑料产品设计 / 张子成，邢继纲编著. — 北京：
国防工业出版社, 2012.1
ISBN 978-7-118-07784-1

I. ①塑… II. ①张… ②邢… III. ①塑料制品-工
业设计 IV. ①TQ320.63

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第248257号

本书中文简体字版由台湾全华图书股份有限公司独家授权，仅限于中国大陆地区出版发行，不含台湾、香港、澳门地区。

※

国防工业出版社 出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码 100048)
北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 14.25 字数 223千字
2012年1月第1版第1次印刷 印数 1—5000册 定价 36.00元

(本书如有印装错误，我社负责调换)

国防书店：(010) 88540777
发行传真：(010) 88540755

发行邮购：(010) 88540776
发行业务：(010) 88540717

序 言

设计是产品的核心，好的设计不仅能充分发挥产品的品质，更能具有实质的价值而在市场上创造利润。所以，产品设计是企业经营的核心，也是工业界不断进步的法宝。

由于塑料材料的多样适用性、易加工性及低成本高附加值性，故而使得塑料产品设计成为一种精致的艺术与能满足消费者期望的工具。鉴于市场上此类书籍如凤毛麟角，故而愿献绵薄之力帮助业界，以提高塑料产品设计水平。

本书先介绍塑料材料的高分子物理性能、化学性能及力学性能，进而探讨如何选择适当的塑料材料来设计产品，将塑料模具制作中容易遇到的不良状况一一解说，并提供相应的解决方法。书中也介绍了对日益严重的废弃物再回收、再制作的各种方法。对学习塑料模设计及从业人员而言是值得大力推荐的一本好书，而且适合从事塑料模具设计及对塑料产品设计有兴趣者使用。

本书在编写过程中，参考了多种国外期刊、技术文献及相关书籍，并承蒙邢继刚先生编写了“塑料纳米基础与设计应用”的内容，在此谨表致谢。

有感于科技的进步，一日千里，本书在内容上也需要不时添入新内容。并请各位读者提供宝贵意见，以互相交流、提高。在此谨表万分谢意。

书中难免会有错误和疏漏之处，敬请广大读者批评指正！

编著者

目录

第1章 塑料概论

1-1	分类.....	5
1-2	高分子的物理和化学性能与结构的关系.....	6
1-3	高分子的力学性能.....	7
1-3-1	应力与应变.....	8
1-3-2	蠕变与松弛 (creep & relaxation)	11

第2章 设计原则与方法

2-1	概述.....	14
2-2	原型的设计.....	16
2-2-1	机械加工圆杆或平板、块法 (machining from rod or slab stock)	16
2-2-2	铸模法 (die casting tool)	16
2-2-3	原型模具法 (prototype tool)	17
2-2-4	生产试模法 (preproduction tool)	17
2-3	产品设计.....	17
2-3-1	壁厚 (wall thickness)	17
2-3-2	半径 (radius)	20
2-3-3	倾斜角 (draft angle)	21

2-3-4	加强肋及角板 (gussets)	21
2-3-5	凸起部分 (bosses)	22
2-3-6	孔洞及镂空 (holes & coring)	24
2-3-7	螺纹 (threads) 与镶件 (inserts)	26
2-3-8	尺寸公差 (dimensional tolerance)	28
2-4	模具设计	29
2-4-1	流道衬套及其拉出机构 (sprue bushings & sprue pullers)	29
2-4-2	传统模具 (conventional molds)	30
2-4-3	无流道模具 (runnerless molds)	33
2-4-4	浇口 (gates)	35
2-4-5	排气 (vents)	38
2-4-6	顶出结构 (ejection mechanisms)	39
2-4-7	冷却 (cooling)	40
2-5	组装设计 (assembly design)	41
2-5-1	机械组装 (mechanical assembly)	42
2-5-2	溶剂粘接 (solvent bonding)	50
2-5-3	胶黏剂粘接 (adhesive bonding)	51
2-5-4	焊接组装 (welding assembly)	51
2-6	设计方程式 (design equation)	54
2-6-1	应力方程式	56
2-6-2	材料的强度 (strength of material)	57
2-6-3	等刚挠度的设计 (designing for equal stiffness)	73
2-6-4	耐冲击的设计	74
2-6-5	热应力的设计	75

第3章

塑料材料及加工方式的选择

3-1	塑料材料的选择	78
------------	----------------	-----------

3-2	塑料加工方式的选择.....	84
-----	----------------	----

第4章 塑料零件设计

4-1	塑料轴承 (bearing)	94
4-2	铰链与带环 (hinges & straps)	96
4-3	塑料齿轮 (plastic gears)	101
4-3-1	齿轮材料 (gear material)	102
4-3-2	模塑齿轮的设计.....	106

第5章 热固性制品设计

5-1	概论.....	114
5-2	塑料制品设计的原则.....	116

第6章 结构泡沫塑料的设计

6-1	结构泡沫塑料成型方法.....	124
6-1-1	低压法.....	124
6-1-2	高压法.....	125
6-1-3	三明治/共注射成型法.....	125
6-1-4	结构网状法 (structural web)	126
6-2	结构泡沫塑料设计的原则.....	127
6-2-1	结构设计.....	127
6-2-2	耐冲击性的设计原则.....	129
6-2-3	化学环境的设计原则.....	131
6-2-4	高温环境下的设计原则.....	131
6-3	塑料制品设计.....	132
6-3-1	壁厚.....	132

6-3-2	圆角及半径.....	133
6-3-3	公差及翘曲的控制.....	133
6-3-4	倾斜角.....	134
6-3-5	加强肋及凸起物.....	134
6-3-6	放热孔 (louvers)	135
6-3-7	按压嵌合 (snap fits)	135
6-4	组装方法.....	136

第7章 异型材挤出产品设计

7-1	概论.....	140
7-2	材料选择.....	141
7-3	设计建议.....	143
7-4	泡沫塑料异型材挤出.....	145
7-5	拉挤成型 (pultrusions)	146

第8章 热成型 (thermoforming) 产品设计

8-1	概论.....	148
8-2	材料选择.....	151
8-3	设计原则.....	151
8-4	尺寸因素与公差.....	154

第9章 中空成型产品设计

9-1	概论.....	156
9-2	模具设计.....	158
9-2-1	模具材料.....	158
9-2-2	冷却系统.....	159

9-2-3	型腔与分型线.....	160
9-2-4	接合缝与夹断料.....	161
9-2-5	收缩与尺寸公差.....	162
9-3	产品设计原则.....	163
9-3-1	壁厚.....	163
9-3-2	倾斜角.....	163
9-3-3	拐角.....	164
9-3-4	底部设计.....	165
9-3-5	双墙式.....	166
9-3-6	垂直负荷强度.....	166
9-3-7	形状刚（韧）性化.....	168

第10章 紧密公差设计（tight-tolerance design）

10-1	材料的影响.....	172
10-2	机器的影响.....	175
10-3	模具的影响.....	175
10-4	浇口的影响.....	177

第11章 产品设计在废塑料回收中的应用

11-1	概述.....	182
11-2	对废塑料回收性的评估.....	182
11-2-1	单种塑料的回收.....	183
11-2-2	多种混合塑料的回收.....	184
11-2-3	热固性塑料的回收.....	186
11-3	塑料制品的拆卸设计.....	187
11-3-1	材料的选择.....	188

11-3-2 嵌合法与拆卸的关系.....	189
11-3-3 二次加工法.....	190
- 11-4 成功的产品设计回收实例.....	191

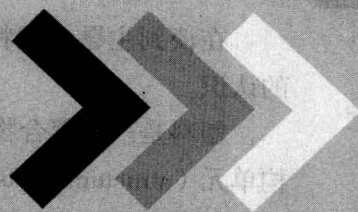
第12章 纳米塑料的基础与应用

- 12-1 什么是纳米.....	194
- 12-2 纳米材料特征.....	194
12-2-1 表面效应.....	194
12-2-2 小尺寸效应.....	195
12-2-3 量子效应.....	196
12-2-4 宏观量子隧道效应.....	196
- 12-3 塑料常用纳米粉体.....	197
12-3-1 纳米二氧化硅 (SiO_2)	197
12-3-2 纳米二氧化钛 (TiO_2)	198
12-3-3 纳米氧化锆 (ZrO_2)	199
12-3-4 纳米氧化铝 (Al_2O_3)	200
12-3-5 纳米黏土 (Clay)	200
12-3-6 纳米氧化锌 (ZnO)	202
12-3-7 纳米碳酸钙 (CaCO_3)	203
- 12-4 纳米粉体制造技术.....	204
12-4-1 真空冷凝法.....	205
12-4-2 机械球磨法.....	205
12-4-3 物理粉碎法.....	206
12-4-4 气相沉积法.....	206
12-4-5 化学沉淀法.....	206
12-4-6 溶剂蒸发法.....	206

12-4-7	水热合成法.....	207
12-4-8	溶胶—凝胶法.....	207
12-4-9	微乳液法.....	207
12-5	纳米塑料的性质.....	208
12-5-1	纳米塑料的力学特性.....	208
12-5-2	纳米塑料的阻燃特性.....	209
12-5-3	纳米塑料的阻隔特性.....	209
12-5-4	纳米塑料的化学催化特性.....	210
12-5-5	纳米塑料的加工特性.....	210
12-6	纳米塑料材料种类.....	211
12-6-1	纳米聚乙烯塑料 (PE)	211
12-6-2	纳米聚丙烯塑料 (PP)	212
12-6-3	纳米聚酯塑料 (PET)	213
12-6-4	纳米尼龙塑料 (PA)	214
参考文献.....		216
附录 法定计量单位换算表.....		218

第1章

塑料概论



- 1-1 分类
- 1-2 高分子的物理和化学性能与结构的关系
- 1-3 高分子的力学性能

在谈到主题“塑料产品设计”之前，需要对塑料及其特性有一个基本的认识。

塑料是一种聚合物（polymer）又称高分子（macromolecules），是由结构单元（structural units）与重复单元（repeating units）所组成。例如，Nylon 66，其单体是 $\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_6\text{NH}_2$ 及 $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$ ，经由缩合反应而得，而结构单元是 $-\text{HN}(\text{CH}_2)_6\text{NH}-$ 及 $-\text{OC}(\text{CH}_2)_4\text{CO}-$ ，重复单元则是 $-\text{HN}(\text{CH}_2)_6\text{NHOC}(\text{CH}_2)_4\text{CO}-$ ，通常相对分子质量大于 10^4 。

塑料根据温度不同而显示不同的行为，可分为以下几种。

一、热塑性塑料（thermoplastics）

受热后可以软化，此时施加压力可使其流动。当再次冷却后，它将回复其固态，如表1-1所列的聚合物。

表1-1 热塑性塑料

聚合物	重复单元	用途
聚乙烯（polyethylene, PE）	$\left(\text{CH}_2 - \text{CH}_2 \right)$	家庭用品、绝缘材料、塑料管、塑料布、塑料膜、容器
聚丙烯（polypropylene, PP）	$\left(\text{CH}_2 - \underset{\text{CH}_3}{\text{CH}} \right)$	水管、塑料膜、塑料布、纤维、电线包覆材料、容器、汽车、保险杆、仪表盘
聚氯乙烯（polyvinyl chloride, PVC）	$\left(\text{CH}_2 - \underset{\text{Cl}}{\text{CH}} \right)$	唱片、瓶子、人造皮、地板材料、薄板、塑料膜、热缩套管、鞋子
聚苯乙烯（polystyrene, PS）	$\left(\text{CH}_2 - \underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}} \right)$	电气用品外壳、文具、玩具、壁砖、餐具
聚四氟乙烯（polytetrafluoroethylene, PTFE）	$\left(\text{CF}_2 - \text{CF}_2 \right)$	垫圈、绝缘材料、衬里材料、无粘接表面（如“不粘锅”的表面）

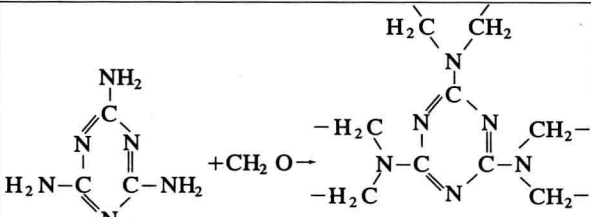
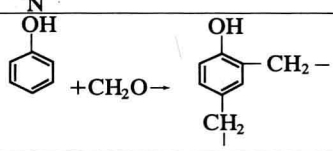
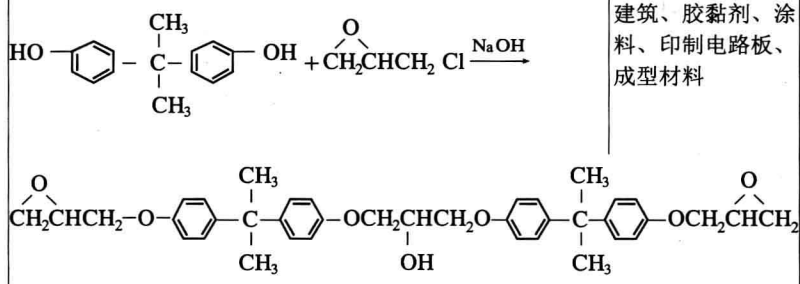
(续)

聚合物	重复单元	用途
聚甲基丙烯酸甲酯 (poly methyl methacrylate, PMMA)	$\left(\text{CH}_2 - \underset{\begin{array}{c} \\ \text{C} - \text{O} - \text{CH}_3 \\ \\ \text{O} \end{array}}{\text{C}} \right)$	汽车零件、光学透镜、灯罩、窗玻璃、按钮、标识牌、硬式隐形眼镜
聚碳酸酯 (polycarbonate, PC)	$\left(\text{O} - \text{C}_6\text{H}_4 - \underset{\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}}{\text{C}} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{O} - \overset{\text{O}}{\parallel} \text{C} \right)$	电机、机械零件、打火机、安全帽、绝缘材料、透镜、特殊包装材料
聚甲醛 (poly acetaldehyde, POM)	$\left(\text{O} - \text{CH}_2 \right)$	手表外壳、玩具机械齿轮、塑料拉链、打火机、精密机械零件
聚对苯二甲酸乙二醇酯 (polyethylene terephthalate, PET)	$\left(\overset{\text{O}}{\parallel} \text{C} - \text{C}_6\text{H}_4 - \overset{\text{O}}{\parallel} \text{C} - \text{O} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{O} \right)$	饮料瓶、磁盘、录音带、录像带、打字机键盘、合成纤维
聚砜 (polysulfone, PSO)	$\left(\text{C}_6\text{H}_4 - \underset{\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}}{\text{C}} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{O} - \text{C}_6\text{H}_4 - \overset{\text{O}}{\parallel} \text{S} - \overset{\text{O}}{\parallel} \text{C}_6\text{H}_4 - \text{O} \right)$	咖啡壶、外科医用器皿、照相机零件
聚苯醚 (polyphenyleneoxide, PPO)	$\left(\text{C}_6\text{H}_4 - \underset{\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}}{\text{C}} \right)$	电器、电子零件、汽车轮圈盖、电视旋转钮、水龙头、分流板
聚醋酸乙烯酯 (polyvinyl acetate, PVA)	$\left(\text{CH}_2 - \underset{\begin{array}{c} \\ \text{CH} \\ \\ \text{OOCCH}_3 \end{array}}{\text{CH}} \right)$	胶黏剂、漆料、口香糖
聚苯硫醚 (polyphenylene sulfide, PPS)	$\left(\text{C}_6\text{H}_4 - \text{S} \right)$	精密电子配件、电缆线 (cable) 接头、轴承、发动机绝缘零件
聚醚醚酮 (polyether ether ketone, PEEK)	$\left(\text{O} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{O} - \text{C}_6\text{H}_4 - \overset{\text{O}}{\parallel} \text{C} - \text{C}_6\text{H}_4 \right)$	船用电缆涂料、航空发动机用复合材料、纤维、薄膜 (印制电路板用)

二、热固性塑料 (thermosets)

加热后也会软化, 施加压力也可造成流动, 但此过程不可逆, 也就是热固性塑料在合成反应后是以交联状态出现的, 进一步加热, 将使其裂解, 而无法造成软化与流动。表1-2为一些热固性塑料的例子。

表1-2 热固性塑料

聚合物	结构	用途
脲—甲醛树脂 (urea-formaldehyde resins)	$\text{H}_2\text{N}-\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\text{NH}_2 + \text{CH}_2\text{O} \rightarrow -\text{CH}_2-\text{NH}-\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\text{NH}-\text{CH}_2-$	电线、照明装置、色浆、胶黏剂、餐具
三聚氰胺—甲醛树脂 (melamine-formaldehyde resins)		碗盘器皿、齿轮、电器零件、色浆、胶黏剂
酚醛树脂 (phenol-formaldehyde resins)		电线装置、汽车零部件、电器用品外壳、胶黏剂、涂料
不饱和聚酯 (unsaturated polyesters)	$\text{HO}-\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\text{CH}=\text{CH}-\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\text{O}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\text{O}-$	电气、建筑、运输、医学等成型材料
环氧树脂 (epoxy resins)		建筑、胶黏剂、涂料、印制电路板、成型材料
邻苯二甲酸二烯丙酯 (diallylphthalate resins)	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\text{O}-\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}_2$	连接器、通信部件、涂料、层压板

热塑性塑料和热固性塑料的加工方式差异较大,产品物理性能各有利弊,在产品设计的材料选择时,应慎重考虑,本书将在第3、5章详加探讨。

1-1 分类

简单的高分子分类如下。

一、按分子链结构分类

- (1) 线形 (linear), 如图1-1 (a) 所示。
- (2) 支链形 (branch), 如图1-1 (b) 所示。
- (3) 交联或网状 (crosslinking or network), 所有的链以三维空间的方式结合, 如图1-1 (c) 所示。

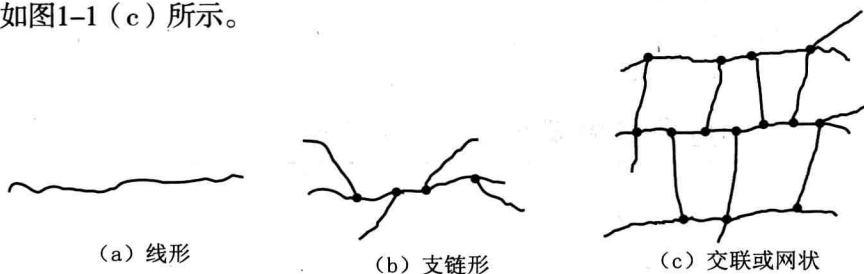


图1-1 依分子链结构分类的高分子

二、按结晶结构分类

- (1) 非结晶性或无定形 (amorphous)。

聚合物分子链之间以杂乱、纠缠、卷曲的方式聚集在一起,一般而言,无定形态区域的密度约为结晶区域的0.85倍~0.95倍,无定形聚合物没有半结晶性聚合物所具有的结晶熔点,而其物理性能则受玻璃化温度 T_g (glass transition temperature) 的高低及聚合物本身耐热性的影响。其代表材料如PS、ABS、SAN、PC等。

- (2) 结晶性 (crystalline)。

聚合物分子链的部分原子和其他分子链的部分原子互相以位置精确的、有规则的排列方式聚集在一起;若分子链处于被拉伸的状态,使得分子链以平行的方式排列,则此种状态称为定向拉伸状态 (oriented state)。

结晶性的聚合物有明显的熔点，可由热扫描分析测得，如Nylon 66的熔点为265℃，PP为176℃，PVC为212℃。

三、按相变化的可逆性分类

- (1) 热固性。
- (2) 热塑性。

四、按聚合方式分类

- (1) 加成聚合反应（连锁反应）。
- (2) 缩合聚合反应（逐步反应）。

五、按功能分类

- (1) 通用塑料：如PE、PP、PS、PVC、PMMA等。
- (2) 工程塑料：如PC、PET、PBT、PPO、POM、Nylon、PPS等。
- (3) 高性能工程塑料：如PES、PSF、PAR、PEEK、PI、LCP等。

1-2 高分子的物理和化学性能与结构的关系

图1-2所示为从单体到成型品的流程图。

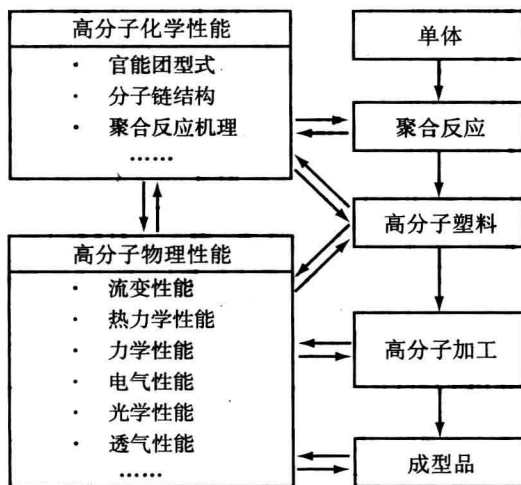


图1-2 从单体到成型品流程

聚合物的物理性能包括聚合物在加工前、加工中的树脂阶段，以及加工后制品的性质、性能，其中包括：