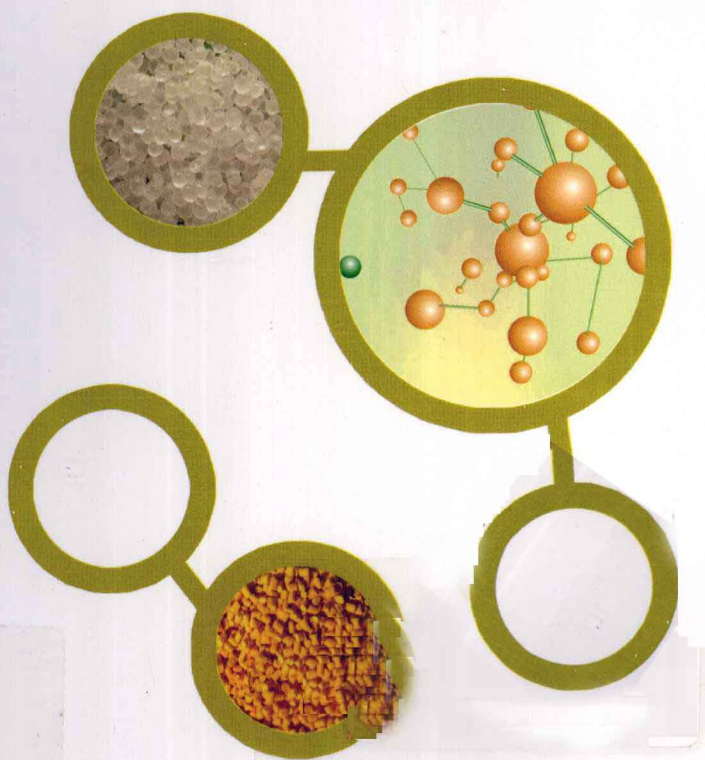


# 实用通用塑料

# 手册



张玉龙 主编  
石磊

机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



# 实用通用塑料手册

主 编 张玉龙 石 磊

副主编 李 可 张文栋 李 萍 杨守平 王学琴

编写人员

王四清	王志强	王国义	王学琴	王 玲	王敏芳
王 晶	孔祥海	石 磊	刘向平	刘宝玉	刘朝辉
许劲松	齐 昕	闫 焯	闫惠兰	孙英富	孙德强
连军涛	杜仕国	岳松堂	李 可	李旭东	李学文
李 丽	李桂变	李 萍	李 燕	吴建全	杨 耘
杨振强	杨晓冬	张文栋	张文栓	张玉龙	张用兵
张军营	张然治	张健康	张德琪	邵颖惠	周 力
周敏华	官周国	段金栋	郝英华	赵媛媛	姚春臣
唐 华	陶文斌	黄晓霞	黄 晖	曹根顺	康 敏
喻腊梅	普朝光	路香兰	戴均平		



机械工业出版社

本书主要介绍了聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯 (ABS) 和聚甲基丙烯酸甲酯的主要品种与性能及制品成型工艺等。在主要品种与性能部分侧重介绍了国内外各主要生产厂家的通用塑料牌号与产品性能, 加工性能与应用; 在制品成型工艺中介绍了配方设计、制品设计、加工机械与模具、成型工艺及常见缺陷、产生原因与解决的方法, 并按照选材、配方、制备方法、性能、效果评价阐述了每一实例。

本书是塑料行业材料研究、产品设计、制造加工、管理销售等人员的工具书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

实用通用塑料手册/张玉龙, 石磊主编. —北京:  
机械工业出版社, 2012. 6  
ISBN 978-7-111-38858-6

I. ①实… II. ①张…②石… III. ①通用塑料-技  
术手册 IV. ①TQ322.2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 186586 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: 张秀恩 责任编辑: 张秀恩 李建秀

版式设计: 霍永明 责任校对: 李锦莉 刘秀丽

封面设计: 赵颖喆 责任印制: 杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2012 年 8 月第 1 版·第 1 次印刷

169mm × 239mm · 33.75 印张 · 775 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-38858-6

定价: 88.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

# 前 言

通用塑料（包括聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、ABS、聚甲基丙烯酸甲酯和氨基塑料等）是塑料工业应用最早，应用量最大，应用范围最广，产品类型最多的一类塑料。其产量及用量占整个塑料产量及用量的90%以上，属于大宗类塑料品种。在国民经济建设、国防建设和人们日常生活中发挥着巨大的作用，已成为国计民生中不可或缺的重要材料之一。近年来，随着高新技术在塑料工业中的应用，特别是塑料改性技术和配方设计技术逐步地深入发展及使用，使得通用塑料品种或等级与日剧增，产品质量与性能不断提高，功能化和智能化技术应用范例日趋增多，展现出一种光明的发展前景。

为了进一步普及通用塑料基础知识，推广并宣传高新技术应用成果，中国兵工学会科技出版协作委员会、山东兵工学会和兵工学会非金属专业委员会联合组织编写了《实用通用塑料手册》一书。全书共八章，较为详细地介绍了聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、ABS聚甲基丙烯酸甲酯和氨基塑料的主要品种与性能，改性技术与制品成型加工技术，并侧重介绍了各品种的国内外生产厂家、牌号与各产品性能。而在改性技术中则详细介绍了接枝、交联、共混、填充、增强与纳米改性技术与实例。在制品及其成型工艺中，侧重介绍了配方设计、制品设计、加工机械、模具、工艺及常见缺陷产生的原因及解决的方法。并按照选材、配方、制备方法、性能与效果评价的编写方式，逐一对每一实例加以阐述，是塑料工业材料研究、产品设计、制造加工、管理销售等人员的工具书，也可作为相关专业教材使用。

本书突出实用性、先进性和可操作性，理论叙述从简，侧重于实例与实用数据；结构清晰严谨，语言简练流畅，信息量大，数据翔实，图文并茂。若本手册的出版发行能对我国塑料产品的更新换代和质量提高起到促进作用，作者将感到十分欣慰。

由于作者水平有限，文中不妥之处在所难免，敬请读者批评指教。

编 者

# 目 录

## 前言

<b>第一章 概述</b> .....	1
<b>第一节 基础知识</b> .....	1
一、简介 .....	1
二、性能 .....	1
三、特性与应用 .....	7
<b>第二节 通用塑料配方设计技术</b> .....	8
一、配方设计的基本内容 .....	8
二、配方设计的基本原则 .....	9
三、配方设计方法 .....	9
四、配方设计的基本程序 .....	11
<b>第三节 塑料成型加工技术</b> .....	13
<b>第二章 聚乙烯</b> .....	21
<b>第一节 主要品种与性能</b> .....	21
一、简介 .....	21
二、低密度聚乙烯 .....	28
三、高密度聚乙烯 .....	68
四、线型低密度聚乙烯 .....	99
五、超高相对分子质量聚乙烯 (UHMWPE) .....	120
<b>第二节 聚乙烯制品及其成型工艺</b> .....	127
一、聚乙烯注射成型 .....	127
二、聚乙烯挤出成型 .....	135
三、聚乙烯吹塑成型 .....	149
四、聚乙烯模压成型 .....	176
<b>第三章 聚丙烯</b> .....	180
<b>第一节 主要品种与性能</b> .....	180
一、基本特性 .....	180
二、国内生产厂家、牌号与性能 .....	184
三、国外生产厂家、牌号与性能 .....	206
四、PP成型加工性能 .....	230
五、应用 .....	232
<b>第二节 聚丙烯制品及其成型工艺</b> .....	232
一、聚丙烯注射成型 .....	232
二、聚丙烯制品的挤出成型 .....	241
三、聚丙烯制品的吹塑成型 .....	260

四、聚丙烯制品的模压成型	270
<b>第四章 聚氯乙烯</b>	278
第一节 主要品种与性能	278
一、基本特性	278
二、国内生产厂家、牌号与性能	279
三、国外生产厂家、牌号与性能	289
四、PVC的成型加工性能	292
五、应用	293
第二节 聚氯乙烯制品及其成型工艺	294
一、聚氯乙烯注射成型	294
二、聚氯乙烯挤出成型	306
三、聚氯乙烯吹塑成型	332
<b>第五章 聚苯乙烯</b>	345
第一节 主要品种与性能	345
一、聚苯乙烯树脂	345
二、聚苯乙烯珠粒发泡料	390
第二节 聚苯乙烯制品及其成型工艺	405
一、聚苯乙烯注射成型	405
二、聚苯乙烯制品挤出成型	418
三、聚苯乙烯制品吹塑成型	430
<b>第六章 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料</b>	432
第一节 主要品种与性能	432
一、基本特性	432
二、国内生产厂家、牌号与性能	435
三、国外生产厂家、牌号与性能	442
四、ABS成型加工性能	451
五、应用	452
第二节 ABS制品及其成型工艺	452
一、ABS注射成型	452
二、ABS挤出成型	461
三、ABS吹塑成型	473
<b>第七章 聚甲基丙烯酸甲酯</b>	475
第一节 主要品种与性能	475
一、基本特性	475
二、国内生产厂家、牌号与性能	475
三、国外生产厂家、牌号与性能	478
四、PMMA的成型加工性能与应用	485
第二节 聚甲基丙烯酸甲酯制品及其成型工艺	487
一、PMMA注射成型	487
二、PMMA模压成型	497

---

三、抗静电 PMMA 板材的浇注成型 .....	504
四、PMMA 板材吸塑成型 .....	507
五、有机玻璃晴雨挡的热成型工艺与质量控制 .....	509
<b>第八章 氨基塑料 .....</b>	<b>511</b>
<b>第一节 主要品种与性能 .....</b>	<b>511</b>
一、脲醛塑料 .....	511
二、三聚氰胺甲醛模塑料 .....	514
<b>第二节 氨基塑料成型加工 .....</b>	<b>517</b>
一、模压成型 .....	517
二、注射成型 .....	525
<b>参考文献 .....</b>	<b>530</b>

# 第一章 概 述

## 第一节 基础知识

### 一、简介

通用塑料主要包括聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、ABS、聚甲基丙烯酸甲酯塑料等，是目前产量最大、应用范围最广、成型工艺简便、成本低廉的一类塑料品种，其产量占整个塑料产量的90%以上，故又称之为大宗塑料品种。

通用塑料具有良好的耐化学药品性、电性能等功能特性，其成型加工性能和可调节性突出，然而耐热性均低于100℃以下，力学性能一般。由于其结构特征和优越的可加工性、可调节性、可通过不同的改性方法对其改性，使之能满足工程结构应用需求而作为工程结构材料使用，有的还可用作功能材料。

通用塑料产品繁多、性能各异，主要包括管材与管件、板（片）材、型材与异形材，还有薄膜、人造革、中空产品、泡沫塑料产品、工业零配件、日用消费品、粘合剂、涂料和微胶囊等。这些产品在工业、农业、国防工业应用广泛，特别是建材、包装、石油、化工、家电、电子、电器、玩具、家具、农田水利等方面用量甚大。目前已成为国民经济建设和国防建设不可或缺的重要材料之一。随着高新技术的发展，性能优越、功能齐全的通用塑料产品不断涌现，将为国民经济和国防建设的发展发挥愈来愈大的作用。

### 二、性能

#### 1. 塑料的特点（见表1-1）

表1-1 塑料的特点

特点	说 明
优点	质轻。塑料一般都比较轻，其密度在0.83~2.3g/cm <sup>3</sup> 范围内，只有钢铁的1/7~1/4、铝的1/2。这对于减轻机械设备的重量是非常有利的，尤其对要求减轻自重的车辆、船舶、飞机、火箭、导弹、人造卫星和其他尖端技术，具有更重要的意义
	比强度高。通常的情况下塑料的强度都低于金属，但各种增强塑料的力学性能却可以与金属相比，由于其密度远小于金属，因此其比强度（即强度密度）则与金属相当，甚至远比金属高
	耐化学腐蚀性好。塑料的耐化学腐蚀性优于金属，它对酸、碱等化学药品具有良好的抗腐蚀能力
	电绝缘性优异。塑料是电的不良导体，其电绝缘性优良，介电常数较低，介电损耗很小，为电气工业及电信、雷达、航天等领域提供了优异的材料



(续)

特点	说 明
优点	减摩、耐磨性好。大部分塑料的摩擦因数都很小, 可用作减摩、耐磨材料, 有的甚至能在无润滑剂的情况下有效工作, 因自润滑性能良好, 适宜作有磨粒或杂质存在的恶劣条件下工作的摩擦材料
	消声和隔热性优良。塑料具有优良的消声、隔热性能、用塑料制成的传动摩擦件能减少噪声、降低振动、改善劳动条件, 尤其是泡沫塑料常用来作隔声、隔热或保温材料
缺点	一般工程塑料的机械强度较低 (特别是刚性差), 远不及金属材料高
	耐热性较低, 大多只能在 100℃ 左右使用, 仅有少数品种在 200℃ 左右使用
	导热性极差、线胀系数大、易老化、易燃烧, 常温下的蠕变值 (即所谓冷流性) 也比较大

## 2. 塑料的性能术语 (见表 1-2)

表 1-2 塑料的性能术语

类别	性能名称	性能含义及其在使用上的意义
物理性能	密度	在一定温度下, 物质单位体积的质量称为密度, 单位以 $g/cm^3$ 表示
	吸水性	塑料吸水性是指规定尺寸的试样浸入一定温度 ( $25^\circ C \pm 2^\circ C$ ) 的蒸馏水中, 经过一定时间 (24h) 后所吸收的水量, 吸水量与试样质量之比称吸水率
	透明度	透明度通常以透光度来表示。所谓透光度是指透过物体的光通量和射到物体上的光通量的百分数比值 (%), 它是在光度计上测定出来的
	摩擦因数	根据摩擦定律, 通常把摩擦力 ( $F$ ) 与施加在摩擦部件上的垂直载荷 ( $N$ ) 的比值称为摩擦因数 ( $\mu$ ), 即 $\mu = F/N$ , 良好的减摩耐磨材料应当具有最低的摩擦因数和最小的磨耗量
	磨耗	磨耗是塑料在摩擦过程中微粒从摩擦表面不断地被分离, 引起摩擦件尺寸不断改变的机械破坏过程, 也可称磨损或磨蚀, 磨耗量大小表示塑料的耐磨耗程度, 常用质量磨耗、体积磨耗、磨痕宽度等指标来表示
力学性能	拉伸强度	拉伸强度表示材料破坏时所承受的最大拉伸应力, 它是衡量材料强度的一项重要指标
	弹性模量	弹性模量是一种表示材料刚性大小, 是否容易拉伸变形的物理量, 弹性模量愈高, 就意味着刚性愈大, 不易变形
	伸长率	伸长率是指材料断裂破坏时的长度变化率, 它表示材料的韧性大小, 伸长率愈大, 就表明这种塑料愈柔软
	弯曲强度	指试样放在两支点上, 在两支点间施加集中载荷, 使试样变形直至破裂时的强度
	弯曲屈服强度	对非脆性塑料而言, 当载荷达到某一值时, 其弯曲变形继续增加, 而载荷不增加的强度, 此时的载荷即为破坏载荷
	弯曲弹性模量	在屈服之前的比例极限内, 弯曲应力与应变之比值, 表示该塑料是否容易弯曲变形的物理量
	压缩强度	对材料施加压缩负荷直至破坏或产生屈服现象时, 试样原单位横截面积上所能承受的载荷称为抗压强度

(续)

类别	性能名称	性能含义及其在使用上的意义
力学性能	冲击强度	冲击强度是以极快的速度对试样施加载荷(冲击力)使之破坏的应力,以单位断裂面积所消耗的能量大小来表示,单位为 $\text{kJ}/\text{m}^2$ ,塑料冲击试验用的试样有两种:一种试样中间刻有缺口,一种没有缺口,对于强度较高的塑料多用带有缺口的试样进行测定
	疲劳强度	塑料在一定循环次数( $10^7$ 次)的交变应力作用下发生破坏的极限强度,称为塑料的疲劳强度。也可以用实际循环次数下的破坏应力来表示
	硬度	硬度是指物体抵抗其他物体压入表面的能力,物体硬度越高,其他物体越难压入,塑料硬度与金属硬度的测定方法相同,都可用布氏硬度、洛氏硬度和邵氏硬度表示。常用的是布氏硬度和洛氏硬度两种,其洛氏硬度以M和R标尺表示
热性能	比热容	比热容是1kg塑料升高温度 $1^\circ\text{C}$ 所需要的热量,单位为 $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
	热导率	所谓热导率即当两个平行传热面间的垂直距离为1m,其间温差为 $1^\circ\text{C}$ 时,单位时间内在 $1\text{m}^2$ 面积上传递的热量,单位为 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。塑料的热导率一般只有 $0.23\sim 0.7\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ,是优良的隔热、保温材料,但对于要求散热的制品,例如摩擦零件,热导率小是一个缺点
	线胀系数	物质温度升高 $1^\circ\text{C}$ 时所增加的长度与它原来长度之比,称为线胀系数。塑料的线胀系数是比较大的,一般比金属大3~10倍。这样,在制造带有金属嵌件的、或者与金属件紧密结合在一起的塑料制品时,往往会因二者之间线胀系数相差过大而造成开裂、脱落或松动等不良后果,在选择使用塑料制品时应予注意
	耐热性	塑料能够耐受较高的温度而仍保持其优良的物理力学性能的能力称为耐热性,衡量塑料耐热性的指标通常有马丁耐热温度、热变形温度和维卡软化点三种,前两种适用于热固性塑料和硬质热塑性塑料,后者适用于均一的热塑性塑料
	脆化温度	把塑料经低温冷冻一段时间后,用一定的外力冲击,塑料开始断裂时的温度称为脆化温度,脆化温度愈低,就表明这种塑料的耐寒性愈好
	耐燃烧性	这是衡量塑料在火焰中燃烧难易程度和离开火焰后熄灭快慢程度的一个性能指标,一般用不燃、燃烧及自熄等字样来表示
	熔融指数	又称熔体流动速率,是指热塑性塑料在一定温度和一定压力下,熔体在10min内通过标准毛细管的质量值,以 $\text{g}/10\text{min}$ 表示
电性能	表面电阻率	指电流沿材料表面流动时所受的阻力,单位为 $\Omega$ 。表面电阻率愈大,表明这种材料的绝缘性能愈好
	体积电阻率	指电流流过材料体内所受的阻力,单位为 $\Omega\cdot\text{cm}$
	介电常数	在电压相同的两个金属平板之间分别测定塑料和空气(或真空)为介质时的电容量( $C_s$ 、 $C_k$ )。这两个电容量之比,就是该塑料的介电常数。介电常数愈小,这种塑料的绝缘性能就愈好
	介电损耗	塑料在电场作用下,单位时间内消耗的能量,也就是引起材料发热所消耗的能量,称为介电损耗,常以介电损耗角正切值( $\tan\delta$ )表示。介电损耗角正切值 $\tan\delta$ 愈小,则其介电损耗也愈小,这种塑料的绝缘性能也就愈好

(续)

类别	性能名称	性能含义及其在使用上的意义
电性能	击穿强度	任何电介质放在电场中, 当电场电压超过某一临界值时, 都会丧失其绝缘作用, 这种现象称为介质的击穿, 单位厚度的介质发生击穿时的电场电压称为击穿强度, 单位为 kV/mm。击穿强度愈大, 这种材料的绝缘性能就愈好
	耐电弧性	借高电压在两电极间产生的电弧作用, 致使绝缘材料表面形成导电层所需的时间 (s), 以此来判断绝缘材料的耐电弧性
工艺性能	成型收缩率	是指塑料制品从热模中取出冷却后, 制品尺寸缩减的百分比 (%)。收缩率是设计塑料制品压模时必须考虑的一项重要数据, 否则压制出来的制品尺寸会不符合图样的要求
	流动性	塑料受一定的温度及压力作用能流入并充满整个压模型腔的能力, 称为塑料的流动性。它是衡量塑料模压制品工艺性能的一项重要指标

## 3. 塑料的主要性能 (见表 1-3 ~ 表 1-6)

表 1-3 塑料的物理性能

塑料名称	相对密度	收缩率 (%)	吸水性 (%)	硬度
聚乙烯				
低密度	0.91 ~ 0.92			
高密度	0.942 ~ 0.968	—		
超高相对分子质量	0.935 ~ 0.945		0.01	50HR
20% ~ 30% 玻璃纤维增强	1.17		0.04	
聚丙烯				
注射级	0.903 ~ 0.904	1 ~ 2		60 ~ 90HR
20% ~ 30% 玻璃纤维增强		0.4	0.05	166 ~ 210MPa (HBW)
聚氯乙烯				
软质				75 ~ 85HD
硬质	1.35 ~ 1.60	—	—	
碳酸钙填充	1.6 ~ 1.7			120 ~ 220 (HBW)
赤泥填充	1.35 ~ 1.60			
ABS				
通用型				100 ~ 109HR
高流动型				100HR
挤出型				98 ~ 108HR
耐热型				102 ~ 103HR
耐寒型				87HR
电镀型				103HR
阻燃型				94 ~ 100HR
20% 玻璃纤维增强	1.16	0.2		

(续)

塑料名称	相对密度	收缩率(%)	吸水性(%)	硬度
有机玻璃				
普通	1.17~1.19	0.5	0.2	180~240HBW
珠光	1.18			140~190HBW

表 1-4 塑料的力学性能

塑料名称	拉伸强度 /MPa	弯曲强度 /MPa	压缩强度 /MPa	冲击强度 (缺口) /(kJ/m <sup>2</sup> )	拉伸弹性模量 /MPa	弯曲弹性模量 /MPa	伸长率 (%)
聚乙烯							
低密度	15~18						500
高密度	20~35	90~110	19~25	3~35			100~500
超高分子量	30~40			150	442~785	928~1000	300~525
30%玻璃纤维增强	77	84	42	24	$6.3 \times 10^3$		3.5
聚丙烯							
注射级	25~32			10~100J/m	—	800~1550	200~500
挤塑、吹塑级	23~80			40J/m		1000~1500	800
20%~30%玻璃纤维增强	45~100	50~180		5~25		2700~4400	
聚氯乙烯							
软质	12~18						200~320
硬质	50	90		3	—	—	
碳酸钙填充	38	60~90	70~72	11~13	—	—	
赤泥填充	50	90					
20%玻璃纤维增强	85.7	100		47.6			
聚苯乙烯							
本体法		85~90	—	4.5~5	—	—	
悬浮法		80		4.5~5			
高冲击	20~30	40~70		10~15			35~45
ABS							
通用型	35~48	59~75		60~310J/m			
高流动型	36	59		140J/m			
挤出型	35~45	52~69		90~300J/m			
耐热型	40~41	64~66	—	90~130J/m	—	—	
耐寒型	30	50		330J/m			
电镀型	36	63		220J/m			
阻燃型	34	54		70~90J/m			
20%玻璃纤维增强	80	95		6		3800	5

(续)

塑料名称	拉伸强度 /MPa	弯曲强度 /MPa	压缩强度 /MPa	冲击强度 (缺口) /(kJ/m <sup>2</sup> )	拉伸弹性模量 /MPa	弯曲弹性模量 /MPa	伸长率 (%)
有机玻璃							
普通	55 ~ 77	110	130	19.5(无缺口)	2400 ~ 2800	—	—
珠光	50 ~ 77	110	130	18 ~ 19.4 (无缺口)	2500	—	—

表 1-5 塑料的热性能

塑料名称	热导率 /W · m <sup>-1</sup> · K <sup>-1</sup>	线胀系数 /(×10 <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup> )	热变形温度 /°C	马丁耐热温度 /°C
聚乙烯 低密度 高密度 超高相对分子质量 20% ~ 30% 玻璃纤维增强		3.1	126	—
聚丙烯 注射级 挤塑、吹塑级 20% ~ 30% 玻璃纤维增强	—	—	90 ~ 110 110 115 ~ 149	70 ~ 145
聚氯乙烯 硬质 碳酸钙填充	—	5.2	—	65 60 ~ 67
聚苯乙烯 悬浮法 高冲击	—	—	65 ~ 75	68 65
ABS 通用型 20% 玻璃纤维增强	—	—	62 ~ 70 95	55 ~ 60
有机玻璃 普通	0.14 ~ 0.20	7	65 ~ 85.5	60

表 1-6 塑料的电性能

塑料名称	表面电阻率 / $\Omega$	体积电阻率 / $\Omega \cdot \text{cm}$	介电强度 / $\text{kV} \cdot \text{mm}$	介电常数 (1MHz 下)	介电损耗 角正切 (1MHz 下)
聚乙烯 低密度 高密度 超高相对分子质量	$10^{14} \sim 10^{16}$	$10^{16} \sim 10^{17}$	35 20 ~ 35	2.3 2.2 ~ 2.7	$4.5 \times 10^{-4}$ $5 \times 10^{-4}$ $5 \times 10^{-4}$
聚丙烯 注射级 挤塑、吹塑级 20% ~ 30% 玻璃纤维增强	$10^{12} \sim 10^{16}$	$10^{14} \sim 10^{15}$	7.5 ~ 16	2.5 ~ 4(60Hz)	$1 \times 10^{-3}$ $1 \times 10^{-3}$ $3 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-3}$ (60Hz)
聚氯乙烯 软质 赤泥填充	—	$10^9 \sim 10^{14}$	16 ~ 20 37.9	5(50Hz)	0.1(50Hz)
聚苯乙烯 本体法 悬浮法	—	$1.0 \times 10^{16}$	—	2.73 2.7	$4 \times 10^{-4}$ $5 \times 10^{-4}$
有机玻璃 普通	$1 \times 10^{16}$	$1 \times 10^{15}$	20	3.5 ~ 4.5(60Hz)	

### 三、特性与应用

塑料的特性与应用见表 1-7。

表 1-7 塑料的特性与应用

种类	主要特性	应用举例
高压聚乙烯 (LDPE)	柔软性、伸长率、冲击强度和透明性较好,其他性能同 HDPE, 抗拉强度 98MPa	电缆电线绝缘, 高强度薄膜, 管材和其他型材, 一般注塑制品
低压聚乙烯 (HDPE)	相对密度 0.94 ~ 0.96, 使用温度 -60 ~ 100℃。电绝缘尤其是高频绝缘性好, 可用玻璃纤维增强, 耐腐蚀, 室温下不被有机酸溶剂、各种强酸(除浓硝酸外)侵蚀, 抗水性好, 拉伸强度 19.8MPa	日用工业品, 耐蚀性、绝缘涂层
聚丙烯 (PP)	相对密度 0.9 ~ 0.91, 力学性能、耐热性均优于低压聚乙烯, 可在 100℃ 左右使用。除浓硫酸、浓硝酸外, 不被其他酸、碱侵蚀, 高频绝缘性好, 抗水性好, 但低温发脆, 不耐磨, 较易老化, 成型收缩大, 对紫外线敏感	机械零件, 绝缘件, 耐腐蚀件, 化工容器, 衬里涂层

(续)

种类	主要特性	应用举例
硬聚氯乙烯 (硬 PVC)	有一定强度, 价廉, 耐腐蚀, 电绝缘性优良, 耐老化性能较好, 天冷易裂, 使用温度 $-15 \sim 60^{\circ}\text{C}$ , 应用广	板、管、棒、焊条等型材、耐腐件, 化工机械零件
软聚氯乙烯 (软 PVC)	强度较硬聚氯乙烯为低, 伸长率较高, 天冷会变硬, 其他与硬聚氯乙烯相同	板、管、薄膜、焊条, 电器绝缘材料, 密封件
聚苯乙烯 (PS)	电绝缘性尤其是高频绝缘性优良。透光率 $75\% \sim 88\%$ , 仅次于有机玻璃, 耐碱及浓硫酸、磷酸、硼酸、 $10\% \sim 36\%$ 的盐酸、 $25\%$ 以下的醋酸、 $10\% \sim 19\%$ 甲酸及其他有机酸, 不耐氧化性酸, 可溶于苯, 甲、乙苯, 酯类, 汽油等。质脆, 着色性好, 强度不高, 耐热性低, 工作温度 $-20 \sim 65^{\circ}\text{C}$	绝缘件, 透明件, 装饰件, 泡沫保温材料, 耐腐蚀件
丙烯腈-丁二烯-苯乙烯 (ABS)	力学性能好, 拉伸强度 $38 \sim 50\text{MPa}$ , 电绝缘性好, 易于成型和机械加工, 不被水、无机盐、酸、碱浸蚀, 但不耐浓硫酸、硝酸、冰醋酸, 工作温度 $-20 \sim 50^{\circ}\text{C}$	电绝缘件, 机械零件, 纺织器材, 减摩、耐磨件及传动件
聚甲基丙烯酸甲酯(有机玻璃) (PMMA)	透光率 $99\%$ , 透过紫外线光达 $73.5\%$ , 布氏硬度 $140 \sim 180\text{HBW}$ , 拉伸强度 $54 \sim 63\text{MPa}$ , 优良的耐候性、绝缘性、耐蚀性, 有一定耐热性, 易成型及机械加工, 耐磨性差, 着色性好	板、棒、管型材, 透明件, 装饰件

## 第二节 通用塑料配方设计技术

### 一、配方设计的基本内容

塑料配方设计是以改善或提高树脂的性能特性, 使之满足欲加工制品或特定应用的使用性能和耐久性要求为目的, 在吸收前人经验与教训的基础上, 运用先进而有效的技术或方法, 确定在所选用树脂中要添加其他物质或组分量的过程。

塑料配方设计的基本内容是: 首先应充分了解树脂性能特点, 尤其是已选定树脂的优缺点, 并根据应用或制品对材料的使用性能要求, 找出树脂的不足或缺陷, 并将要解决的问题按照主次加以排序。然后, 再选择改性技术或方法, 即如前所述的技术。最后是选定添加组分(又称为添加剂或助剂)并确定其用量。目前常用的添加组分(助剂)较多, 既有无机物质, 又有有机物质, 既可是大分子材料, 也可以是小分子物质, 具体有增强剂、填充剂、增韧剂、增塑剂、稳定剂、固化剂、着色剂、阻燃剂、抗氧剂、发泡剂等。针对树脂存在的缺陷选用添加组分并确定其用量, 是配方设计的核心工作。通常要借鉴前人的配方设计和制品加工经验教训, 选定添加组分并确定其用量, 必要时还要进行试制, 以求配方设计合理, 在确保最终制品使用性能的前提下, 尽量降低成本。可以说, 塑料配方设计工作就是对添加组分的选用和用量的确定工作。以最少的组分, 最合理的用量, 设计出最佳配方, 制备出性能优异的制品是配方设计的最终目标。

## 二、配方设计的基本原则

塑料配方设计是充分运用添加组分（添加剂或助剂）来改善树脂性能和弥补树脂缺陷或不足的过程，是一项艰苦细微的工作过程，必须进行精心的分析研究、反复试验才能设计出满足使用性能要求的配方，为此在配方设计时应坚持如下原则：

(1) 满足最终产品使用性能与耐久性的原则 塑料制品制备过程中的选材、配方设计、产品设计、配制和成型加工及制品的后处理等工序，最终目的就是制备出质量优良，满足应用要求的制品。配方设计时的主要任务是弄清使用环境条件、使用性能要求，才能选择合适的树脂。

(2) 抓主要矛盾的原则 选定树脂后，通过对树脂性能的了解和分析，用于制备所需制品的树脂可能存在许多缺陷或不足，这时就应根据制品性能要求，找出主次矛盾加以解决。一般情况下，解决了主要矛盾，其他矛盾也就迎刃而解。

(3) 充分发挥添加组分（添加剂或助剂）功能的原则 这是配方设计的中心任务，对添加组分选择力求要准，用量适当。要做到这一点，除具有丰富的实践经验外，还要吸取前人的经验和教训，弄清各添加组分功能，结合应用性能要求与树脂本身特性，制订几套用量方案，再进行试验加以确定，用一个添加组分能解决的就不用两个组分。

(4) 降低成本的原则 配方设计时，除考虑性能外，还必须认真考虑到原材料的来源与成本。在同等性能条件下，要选择原材料来源广、产地近、价格低廉的品种。

(5) 依据添加组分性能的设计原则 首先，配方设计时，要充分考虑到添加组分（添加剂或助剂）与树脂的相容性。只有添加组分物质与树脂具有良好的相容性，才会均匀地分散于树脂体系中，才能与树脂形成一良好的整体结构，从而发挥其应有的功能与作用。其次，要考虑到添加组分的耐加工性，这是因为添加组分（添加剂或助剂）多为小分子物质，其热分解温度不高，特别是小分子的有机物质，更易分解。应确保小分子溶液添加组分物质在加工中不蒸发，固体物质不分解（发泡剂除外），液体物质不逸出。再次，就是应考虑到添加组分的毒性，添加组分物一般都有毒性或低毒性，选择时应在不影响制品性能的情况下，尽量选择低毒物质，以免影响工作环境，特别是与食品和药物接触的塑料制品，更要选择无毒或低毒添加物质。另外，对某些特殊功能的塑料制品，如透明制品，所选用添加组分不能影响其透明性，要选用折光指数与树脂相近的物质，对制品透明性的影响越小越好。

## 三、配方设计方法

### 1. 去除法——单组分调整配方设计法

在配方设计时，树脂中只需添加单一组分（助剂）就可完成配方的设计，这种配方设计一般常用去除法来确定添加组分及其用量。去除法的基本原理是：假定 $f(x)$ 是塑料制品的物理性能指标，它是调整区间中单峰函数。即 $f(x)$ 在调整的区间 $(a, b)$ 中只有一个极点，这个点就是所寻求的物理性能最佳点。通常用 $x$ 表示因素取值， $f(x)$ 表示目标函数。根据具体问题要求，在该因素的最优点上，目标函数取最大值、最小值或某种规定的要求，这些都取决于该塑料制品的具体情况。

在寻找最优试验点时，常利用函数在某一局部区域的性质或一些已知的数值来确定下一个试验点。这样一步步搜索、逼近，不断去除部分搜索区间，逐步缩小最优点的存



在范围，最后达到最优优点。

在搜索区间内任取两点，比较它们的函数值，舍去一个。这样搜索区间缩小后再进行下一步，使区间缩小到允许误差之内。常用的搜索方法有以下几种：

(1) 爬高法（逐步提高法）爬高适合于工厂小幅度调整配方，生产损失小。其方法是：先找一个起点  $A$ ，这个起点一般为原来的生产配方，也可以是一个估计的配方。在  $A$  点向该原材料增加的方向  $B$  点做试验，同时向该原材料减少的方向  $C$  点做试验。如果  $B$  点好，原材料就增加，如果  $C$  点好，原材料就减少。这样一步步改变，如爬到  $W$  点，再增加或减少效果反而不好，则  $W$  点就是要寻找的该原材料的最佳值。选择起点的位置很重要，起点选得好时，则试验次数可减少，选择步长大小也很重要，一般先是步长大一些，待快接近最佳点时，再改为小的步长。该爬高法比较稳妥，对生产影响较小。

(2) 黄金分割法（0.618 法）该方法是根据数学上黄金分割定律演变来的。其具体做法是：先在配方试验范围（ $A, B$ ）的 0.618 点作第一次试验，再在其对称点作第二次试验，比较两点试验的结果（指制品的物理力学性能），去掉“坏点”以外的部分。在剩下的部分继续取已试点的对称点进行试验，再比较，再取舍，逐步缩小试验范围，达到最终目的。该法的每一步试验都要根据上次配方试验结果而决定取舍，因此每次试验的原材料及工艺条件都要严格控制，不得有差异，否则无法决定取舍方向。该法试验次数少，较为方便，适于推广。

(3) 均分法 采用均分法的前提条件是：在试验范围内，目标函数是单调的，即该塑料制品应有一定的物理性能指标，以此标准作为对比条件。同时，还应预先知道该组分对制品的物理性能影响的规律，这样才能知道其试验结果表明该原材料的添加量是多或少。该法与黄金分割法相似，只是在试验范围内，每个试验点都取在范围的中点上，根据试验结果，去掉试验范围的某一半，然后在保留范围的中点做第二次试验，再根据第二次试验结果，又将范围缩小一半，这样逼近最佳点范围的速度很快，而且取点也极为方便。

(4) 分批试验法 分批试验法可分为均分分批试验法和比例分割分批试验法两种。均分分批试验法是把每批试验配方均匀地同时安排在试验范围内，将其试验结果比较，留下好结果的范围。在这留下的部分，再均匀分成数份，再做一批试验，这样不断做下去，就能找到最佳的配方质量范围。在这个窄小的范围内，等分点结果较好，又相当接近，即可中止试验。这种方法的优点是试验总时间短、速度快，但总的试验次数较多。比例分割分批试验法与均分分批试验法相似，只是试验点不是均匀划分，而是按一定比例划分。该法由于试验效果、试验误差等原因，不易鉴别，所以一般工厂常用均分分批试验法，但当原材料添加量变化较小，而制品的物理性能却有显著变化时，用该法较好。

(5) 其他方法 分数法（即斐波那契搜索法）是先给出试验点数，再用试验来缩短给定的试验区间，其区间长度缩短率为变值，其值大小由斐波那契数列决定。抛物线法是在用其他方法试验，将配方试验范围缩小之后，还希望再继续精确时，可采用该法。它是利用做过三点试验后的三个数据，做此三点的抛物线，以抛物线顶点横坐标做