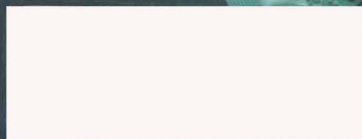
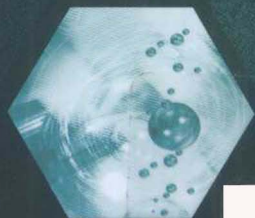


SULIAO CHENGXING WULIAO PEIZHIGONG

塑料成型物料配制工

齐贵亮 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

塑料成型物料配制工

主 编 齐贵亮

副 主 编 夏 敏 张永爱

编写人员 王鲁飞 王 强 付广慧 孙 建
齐贵亮 李树梅 宋秀敏 杜厚波
张永爱 贾洪旭 夏 敏 梁振河



机械工业出版社

本书详细介绍了塑料生产中常用的原材料、塑料原料的选用和配方设计、塑料混合与配制设备、配料工基本操作技能和典型物料配制操作指导等内容,可作为企业塑料成型物料配制的一线操作工人、检验人员,以及从事塑料成型加工和材料改性的技术人员和管理人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

塑料成型物料配制工/齐贵亮主编. —北京:机械工业出版社, 2011. 10

ISBN 978-7-111-35892-3

I. ①塑… II. ①齐… III. ①塑料成型—物料—配制

IV. ①TQ320.66

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第190104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:曲彩云 杨明远

版式设计:张世琴 责任校对:张媛

封面设计:陈沛 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2012年1月第1版第1次印刷

169mm×239mm·18印张·347千字

0 001—4 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-35892-3

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

电话服务

策划编辑:(010) 88379782

社服务中心:(010) 88361066 网络服务

销售一部:(010) 68326294 门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

在塑料的成型加工过程中，塑料制品生产企业在正常生产的同时，还不断地通过对聚合物进行改性来研制新产品、开发新材料，使产品不断更新换代，以便在市场竞争中立于不败之地。在聚合物改性，特别是物理改性——共混、填充和增强中，一项很重要的关键技术就是成型物料的配制。成型物料的配制是塑料成型加工的开始，它包括参与改性物料的选配、混合设备、混合过程、混合工艺以及混合物的结构形态等诸多方面。

为了探讨和揭示塑料配制的基本规律，了解和掌握配料操作的基本技能，我们在查阅大量文献资料的基础上，结合生产实践，通过筛选、提炼，编写了本书，详细介绍了塑料生产中常用的原材料、塑料原料的选用和配方设计、塑料混合与配制设备、配料工基本操作技能和操作注意事项，以及典型物料配制操作指导等内容，是塑料成型物料配制的一线操作工人、检验人员良好的教材，也可供从事塑料成型加工和材料改性的技术人员和管理人员参考。

本书在编写过程中突出实用性、先进性和可操作性，特别强调可操作性。从配料工需要掌握的知识结构出发，按照配料操作的实际过程编写，没有过多涉及复杂的理论，遵循重点、简单、实用的原则，由浅入深，循序渐进，且简单易读，并附有大量的操作实例，以期快速提高配料工人的理论水平和操作技能。本书中物质含量的百分数在无特别说明的情况下均为质量分数。

本书内容参阅了部分近年发表在国内外主要期刊的研究论文和技术资料，同时还参阅了本行业许多资深专家的专著和书目，在此向文献的作者表示衷心的感谢！

由于编者水平所限，书中差错与不足之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 塑料生产常用树脂 1

1.1 聚乙烯 1

1.1.1 聚乙烯的性能 1

1.1.2 聚乙烯的分类 4

1.1.3 聚乙烯的成型加工 6

1.1.4 聚乙烯的改性 6

1.1.5 聚乙烯的应用 9

1.1.6 聚乙烯的简易识别方法 10

1.2 聚丙烯 10

1.2.1 聚丙烯的性能 11

1.2.2 聚丙烯的分类 13

1.2.3 聚丙烯的成型加工 17

1.2.4 聚丙烯的改性 18

1.2.5 聚丙烯的应用 21

1.2.6 聚丙烯的简易识别方法 22

1.3 聚氯乙烯 22

1.3.1 聚氯乙烯的性能 22

1.3.2 聚氯乙烯的分类及表示方法 25

1.3.3 聚氯乙烯的成型加工 27

1.3.4 聚氯乙烯的改性 28

1.3.5 聚氯乙烯的应用 30

1.3.6 聚氯乙烯的简易识别方法 31

1.4 聚苯乙烯 31

1.4.1 聚苯乙烯的性能 31

1.4.2 聚苯乙烯的分类 34

1.4.3 聚苯乙烯的成型加工 35

1.4.4 聚苯乙烯的改性 35

1.4.5 聚苯乙烯的应用 37

1.4.6 聚苯乙烯的简易识别方

法 37

1.5 ABS 37

1.5.1 ABS 的性能 38

1.5.2 ABS 的分类 39

1.5.3 ABS 的成型加工 40

1.5.4 ABS 的改性 41

1.5.5 ABS 的应用 42

1.5.6 ABS 的简易识别方法 43

1.6 聚甲基丙烯酸甲酯 43

1.6.1 聚甲基丙烯酸甲酯的性能 43

1.6.2 聚甲基丙烯酸甲酯的成型加工 45

1.6.3 聚甲基丙烯酸甲酯的改性 47

1.6.4 聚甲基丙烯酸甲酯的应用 50

1.6.5 聚甲基丙烯酸甲酯的简易识别方法 50

1.7 聚酰胺 51

1.7.1 聚酰胺的性能 51

1.7.2 聚酰胺的分类 53

1.7.3 聚酰胺的成型加工 54

1.7.4 聚酰胺的改性 55

1.7.5 聚酰胺的应用 57

1.7.6 聚酰胺的简易识别方法 58

1.8 聚碳酸酯 58

1.8.1 聚碳酸酯的性能 58

1.8.2 聚碳酸酯的分类 60

1.8.3 聚碳酸酯的成型加工 61

1.8.4 聚碳酸酯的改性 62

1.8.5 聚碳酸酯的应用 62

1.8.6 聚碳酸酯的简易识别方

法	63	2.7 增强剂	112
1.9 聚甲醛	64	2.7.1 增强剂的品种、性能和应用	112
1.9.1 聚甲醛的性能	64	2.7.2 增强剂的选择原则	114
1.9.2 聚甲醛的分类	66	2.8 发泡剂	115
1.9.3 聚甲醛的成型加工	66	2.8.1 发泡剂的品种、性能和应用	115
1.9.4 聚甲醛的改性	67	2.8.2 发泡剂的选择原则	118
1.9.5 聚甲醛的应用	68	2.9 阻燃剂	119
1.9.6 聚甲醛的简易识别方法	69	2.9.1 阻燃剂的品种、性能和应用	119
1.10 热塑性聚酯	69	2.9.2 阻燃剂的选择原则	124
1.10.1 聚对苯二甲酸乙二醇酯	69	2.10 着色剂	127
1.10.2 聚对苯二甲酸丁二醇酯	72	2.10.1 塑料着色剂的分类	127
第2章 塑料生产常用助剂	76	2.10.2 塑料着色剂的品种、性能和应用	128
2.1 增塑剂	76	2.10.3 塑料着色剂的选择原则	132
2.1.1 增塑剂的品种、性能和应用	76	2.11 抗静电剂	135
2.1.2 增塑剂的选择原则	81	2.11.1 抗静电剂的品种、性能和应用	136
2.2 热稳定剂	84	2.11.2 抗静电剂的选择原则	138
2.2.1 热稳定剂的品种、性能和应用	84	第3章 塑料原料的选用与配方设计	140
2.2.2 热稳定剂的选择原则	89	3.1 塑料原料的选用	140
2.3 光稳定剂	89	3.1.1 选材原则	140
2.3.1 光稳定剂的品种、性能和应用	90	3.1.2 选材程序	141
2.3.2 光稳定剂的选择原则	93	3.1.3 选材方法	143
2.4 抗氧化剂	94	3.1.4 选材步骤	153
2.4.1 抗氧化剂的品种、性能和应用	94	3.1.5 选材注意事项	153
2.4.2 抗氧化剂的选择原则	97	3.1.6 选材实例	153
2.5 润滑剂	98	3.2 塑料的配方设计	160
2.5.1 润滑剂的品种、性能和应用	98	3.2.1 配方设计的目的	160
2.5.2 润滑剂的选择原则	101	3.2.2 配方设计的基本原则	161
2.6 填充剂	103	3.2.3 配方设计的基本程序	162
2.6.1 填充剂的品种、性能和应用	104	3.2.4 配方设计方法	163
2.6.2 填充剂的选择原则	108	3.2.5 塑料配方中各组分的关系	169

3.2.6 塑料配方的计量表示	171	5.2.1 搅拌	219
第4章 塑料混合与配制设备	173	5.2.2 干掺混	219
4.1 初混合设备	173	5.2.3 捏合	220
4.1.1 静态混合设备	173	5.2.4 塑炼	221
4.1.2 滚筒类混合设备	173	5.3 粉料和粒料的配制	222
4.1.3 转子类混合设备	175	5.3.1 配料前的准备工作	222
4.2 间歇混合设备	179	5.3.2 物料的初混合	226
4.2.1 开炼机	179	5.3.3 初混合物料的塑炼	227
4.2.2 密炼机	182	5.3.4 物料的粉碎和造粒	231
4.3 连续混合设备	185	5.3.5 挤出造粒生产中的不正 常现象及解决方法	232
4.3.1 单螺杆挤出机	185	5.4 塑料糊的配制	233
4.3.2 双螺杆挤出机	191	5.4.1 塑料成型用的塑料糊及 其分类	233
4.3.3 行星螺杆挤出机	199	5.4.2 塑料糊的组成	234
4.3.4 FCM 连续混炼机	200	5.4.3 塑料糊的配制	236
4.3.5 Buss-Kneader 连续混炼 机	200	5.4.4 塑料糊的应用	237
4.4 造粒设备	202	5.5 塑料溶液的配制	237
4.4.1 平板切粒机	202	5.5.1 塑料溶液的组成	237
4.4.2 牵条冷切粒设备	202	5.5.2 高聚物的溶解过程	238
4.4.3 风冷热切粒设备	203	5.5.3 塑料溶液的配制	238
4.4.4 水下热切粒设备	205	第6章 典型物料配制操作指 导	240
4.4.5 水环热切粒设备	205	6.1 色母料的配制	240
4.4.6 偏心切粒设备	206	6.1.1 色母料的组成	240
4.4.7 环形铣刀热切造粒机	206	6.1.2 色母料的分类	240
4.5 其他设备	208	6.1.3 色母料配方参考实例	241
4.5.1 粉碎设备	208	6.1.4 颜料的预分散	243
4.5.2 干燥设备	209	6.1.5 色母料的制备方法	244
4.5.3 筛粉设备	211	6.2 硬质聚氯乙烯塑料的 制备	245
4.5.4 过滤装置	215	6.2.1 硬质聚氯乙烯塑料的配 方设计	245
4.5.5 上料装置	215	6.2.2 配料及混合	255
4.5.6 料位监测系统	217	6.2.3 塑炼	256
第5章 塑料成型物料配制工 基本操作技能	218	6.2.4 粒料的制备	257
5.1 物料的混合与分散	218	6.3 软质聚氯乙烯塑料的 制备	258
5.1.1 混合的目的和任务	218		
5.1.2 混合工艺的基本原理	218		
5.1.3 混合效果的评定	219		
5.2 成型物料的配制方法	219		

6.3.1 软质聚氯乙烯塑料的配方设计	258	6.4.3 玻璃纤维的长度及其分散性	268
6.3.2 配料及混合	262	6.4.4 制备玻璃纤维增强粒料的设备	269
6.4 玻璃纤维增强塑料的制备	263	6.4.5 制备玻璃纤维增强粒料的工艺方法	272
6.4.1 玻璃纤维增强塑料的配方设计	263	参考文献	277
6.4.2 玻璃纤维的表面处理	267		

第 1 章 塑料生产常用树脂

1.1 聚乙烯

化学名称：聚乙烯

英文名称：polyethylene，简称 PE

结构式： $\text{-(CH}_2\text{—CH}_2\text{)}_n\text{-}$

聚乙烯是乙烯经聚合制得的一种热塑性树脂，也包括乙烯与少量 α -烯烃的共聚物。聚乙烯是五大合成树脂之一，是我国合成树脂中产能最大、进口量最多的品种。

1.1.1 聚乙烯的性能

1. 一般性能

聚乙烯为白色蜡状半透明材料，柔而韧，比水轻，无臭、无味、无毒，常温下不溶于一般溶剂，吸水性小，但由于其为线性分子，可缓慢溶于某些有机溶剂，且不发生溶胀。工业上为方便使用和贮存，通常在聚合后加入适量的塑料助剂进行造粒，制成半透明的颗粒状物料。聚乙烯易燃，燃烧时有蜡味，并伴有熔融滴落现象。聚乙烯的性质因品种而异，主要取决于分子结构和密度，也与聚合工艺及后期造粒过程中加入的塑料助剂有关。

2. 力学性能

PE 是典型的软而韧的聚合物。除冲击强度较高外，其他力学性能的绝对值在塑料材料中都是较低的。PE 密度增大，除韧性以外的力学性能都有所提高。低密度聚乙烯（LDPE）由于支化度大，结晶度低，密度小，各项力学性能较低，但韧性良好，耐冲击。高密度聚乙烯（HDPE）支化度小，结晶度高，密度大，拉伸强度、刚度和硬度较高，韧性较差些。相对分子质量增大，分子链间作用力相应增大，所有力学性能，包括韧性也都提高。几种 PE 的力学性能见表 1-1。

表 1-1 几种 PE 的力学性能

性 能	LDPE	LLDPE	HDPE	UHMWPE
邵氏硬度（D）	41 ~ 46	40 ~ 50	60 ~ 70	64 ~ 67
拉伸强度/MPa	7 ~ 20	15 ~ 25	21 ~ 37	30 ~ 50
弹性模量/MPa	100 ~ 300	250 ~ 550	400 ~ 1300	150 ~ 800

(续)

性 能	LDPE	LLDPE	HDPE	UHMWPE
压缩强度/MPa	12.5	—	22.5	—
缺口冲击强度/(kJ/m ²)	80~90	>70	40~70	>100
弯曲强度/MPa	12~17	15~25	25~40	—

注：几种 PE 简称的中文名见 1.1.2 节。

3. 热性能

PE 受热后，随温度的升高，结晶部分逐渐熔化，无定形部分逐渐增多。其熔点与结晶度和结晶形态有关。HDPE 的熔点为 125~137℃，MDPE 的熔点为 126~134℃，LDPE 的熔点为 105~115℃。相对分子质量对 PE 的熔融温度基本上无影响。

PE 的玻璃化温度 (T_g) 随相对分子质量、结晶度和支化程度的不同而不同，而且因测试方法不同有较大差别，一般在 -50℃ 以下。PE 在一般环境下韧性良好，耐低温性（耐寒性）优良，PE 的脆化温度 (T_b) 为 -80~-50℃，随相对分子质量增大脆化温度降低，如超高相对分子质量聚乙烯的脆化温度低于 -140℃。

PE 的热变形温度 (T_{HD}) 较低，不同 PE 的热变形温度也有差别，LDPE 为 38~50℃ (0.45MPa, 下同)，MDPE 为 50~75℃，HDPE 为 60~80℃。PE 的最高连续使用温度不算太低，LDPE 为 82~100℃，MDPE 为 105~121℃，HDPE 为 121℃，均高于聚苯乙烯 (PS) 和聚氯乙烯 (PVC)。PE 的热稳定性较好，在惰性气体气氛中，其热降解温度超过 300℃。

PE 的比热容和热导率较大，不宜作为绝热材料选用。PE 的线性膨胀系数在 $(15 \sim 30) \times 10^{-5} \text{K}^{-1}$ 之间，其制品尺寸随温度改变变化较大。

几种 PE 的热性能见表 1-2。

表 1-2 几种 PE 的热性能

性 能	LDPE	LLDPE	HDPE	UHMWPE
熔点/℃	105~115	120~125	125~137	190~210
热降解温度 (氮气)/℃	>300	>300	>300	>300
热变形温度 (0.45MPa)/℃	38~50	50~75	60~80	75~85
脆化温度/℃	-80~-50	-100~-75	-100~-70	-140~-70
线性膨胀系数/($\times 10^{-5} \text{K}^{-1}$)	16~24	—	11~16	—
比热容/[J/(kg·K)]	2218~2301	—	1925~2301	—
热导率/[W/(m·K)]	0.35	—	0.42	—

4. 电性能

PE 分子结构中没有极性基团, 因此具有优异的电性能, 几种 PE 的电性能见表 1-3。PE 的体积电阻率较高, 介电常数和介质损耗因数较小, 几乎不受频率的影响, 因而适宜于制备高频绝缘材料。它的吸湿性很小, 小于 0.01%, 电性能不受环境湿度的影响。尽管 PE 具有优良的介电性能和绝缘性, 但由于耐热性不够高, 作为绝缘材料使用, 只能达到 Y 级 (工作温度 $\leq 90^{\circ}\text{C}$)。

表 1-3 几种 PE 的电性能

性 能	LDPE	LLDPE	HDPE	UHMWPE
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	$\geq 10^{16}$	$\geq 10^{16}$	$\geq 10^{16}$	$\geq 10^{17}$
介电常数/(F/m) (10^6 Hz)	2.25 ~ 2.35	2.20 ~ 2.30	2.30 ~ 2.35	≤ 2.35
介质损耗因数 (10^6 Hz)	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005	< 0.0005
介电强度/(kV/mm)	> 20	45 ~ 70	18 ~ 28	> 35

5. 化学稳定性

PE 是非极性结晶聚合物, 具有优良的化学稳定性。室温下它能耐酸、碱和盐类的水溶液, 如盐酸、氢氟酸、磷酸、甲酸、醋酸、氨、氢氧化钠、氢氧化钾以及各类盐溶液 (包括具有氧化性的高锰酸钾溶液和重铬酸盐溶液等), 即使在较高的浓度下对 PE 也无显著作用。但浓硫酸和浓硝酸及其他氧化剂对聚乙烯有缓慢侵蚀作用。

PE 在室温下不溶于任何溶剂, 但溶解度参数相近的溶剂可使其溶胀。随着温度的升高, PE 结晶逐渐被破坏, 大分子与溶剂的作用增强, 当达到一定温度后 PE 可溶于脂肪烃、芳香烃、卤代烃等。如 LDPE 能溶于 60°C 的苯中, HDPE 能溶于 $80 \sim 90^{\circ}\text{C}$ 的苯中, 超过 100°C 后二者均可溶于甲苯、三氯乙烯、四氢萘、十氢萘、石油醚、矿物油和石蜡中。但即使在较高温度下 PE 仍不溶于水、脂肪族醇、丙酮、乙醚、甘油和植物油中。

PE 在大气、阳光和氧的作用下易发生老化, 具体表现为伸长率和耐寒性降低, 力学性能和电性能下降, 并逐渐变脆、产生裂纹, 最终丧失使用性能。为了防止 PE 的氧化降解, 便于贮存、加工和应用, 一般使用的 PE 原料在合成过程中已加入了稳定剂, 可满足一般的加工和使用要求。如需进一步提高耐老化性能, 可在 PE 中添加抗氧剂和光稳定剂等。

6. 卫生性

PE 分子链主要由碳、氢构成, 本身毒性极低, 但为了改善 PE 性能, 在聚合、成型加工和使用中往往需添加抗氧剂和光稳定剂等塑料助剂, 可能影响到它的卫生性。树脂生产厂家在聚合时总是选用无毒助剂, 且用量极少, 一般树脂不会受到污染。

PE 长期与脂肪烃、芳香烃、卤代烃类物质接触容易引起溶胀, PE 中有些低

相对分子质量组分可能会溶于其中，因此，长期使用 PE 容器盛装食用油脂会产生一种蜡味，影响食用效果。

1.1.2 聚乙烯的分类

聚乙烯的生产方法不同，其密度及熔体流动速率也不同。按密度大小主要分为低密度聚乙烯（LDPE）、线型低密度聚乙烯（LLDPE）、中密度聚乙烯（MDPE）、高密度聚乙烯（HDPE）。其中线型低密度聚乙烯属于低密度聚乙烯中的一种，是工业上常用的聚乙烯，其他分类法有时把 MDPE 归类于 HDPE 或 LLDPE。

按相对分子质量可分为低相对分子质量聚乙烯、普通相对分子质量聚乙烯、超高相对分子质量聚乙烯。

按生产方法可分为低压法聚乙烯、中压法聚乙烯和高压法聚乙烯。

1. 低密度聚乙烯

英文名称：Low density polyethylene，简称 LDPE

低密度聚乙烯，又称高压聚乙烯。无味、无臭、无毒、表面无光泽、乳白色蜡状颗粒，密度 $0.910 \sim 0.925 \text{g/cm}^3$ ，质轻，性柔，具有良好的延伸性、电绝缘性、化学稳定性、加工性能和耐低温性（可耐 -70°C ），但力学性能、隔湿性、隔气性和耐有机溶剂性较差。分子结构不够规整，结晶度较低（ $55\% \sim 65\%$ ），熔点 $105 \sim 115^\circ\text{C}$ 。

LDPE 可采用热塑性成型加工的各种成型工艺，如注射、挤出、吹塑、旋转成型、涂覆、发泡工艺、热成型、热风焊、热焊接等，成型加工性好。主要用作农膜、工业用包装膜、药品与食品包装薄膜、机械零件、日用品、建筑材料、电线、电缆绝缘、吹塑中空成型制品、涂层和人造革等。

2. 高密度聚乙烯

英文名称：High density polyethylene，简称 HDPE

高密度聚乙烯，又称低压聚乙烯。无毒、无味、无臭，白色颗粒，分子为线型结构，很少有支化现象，是典型的结晶高聚物。力学性能均优于低密度聚乙烯，熔点比低密度聚乙烯高，为 $125 \sim 137^\circ\text{C}$ ，其脆化温度比低密度聚乙烯低，为 $-100 \sim -70^\circ\text{C}$ ，密度为 $0.941 \sim 0.960 \text{g/cm}^3$ 。常温下不溶于一般溶剂，但在脂肪烃、芳香烃和卤代烃中长时间接触时能溶胀，在 70°C 以上时稍溶于甲苯、醋酸中。在空气中加热和受日光影响发生氧化作用。能耐大多数酸碱的侵蚀。吸水性小，具有良好的耐热性和耐寒性，化学稳定性好，还具有较高的刚性和韧性，介电性能、耐环境应力开裂性亦较好。

HDPE 可采用注射、挤出、吹塑、滚塑等成型方法，生产薄膜制品、日用品及工业用的各种大小中空容器、管材、包装用的压延带和结扎带，绳缆、鱼网

和编织用纤维、电线电缆等。

3. 线型低密度聚乙烯

英文名称: Linear low density polyethylene, 简称 LLDPE

线型低密度聚乙烯被认为是“第三代聚乙烯”的新品种, 是乙烯与少量高级 α -烯烃(如丁烯-1、己烯-1、辛烯-1、四甲基戊烯-1等)在催化剂作用下, 经高压或低压聚合而成的一种共聚物, 为无毒、无味、无臭的乳白色颗粒, 密度 $0.918 \sim 0.935 \text{g/cm}^3$ 。与 LDPE 相比, 其具有强度大, 韧性好, 刚性大, 耐热、耐寒性好等优点, 且软化温度和熔融温度较高, 还具有良好的耐环境应力开裂性, 耐冲击、耐撕裂等性能, 并可耐酸、碱、有机溶剂等。

LLDPE 可通过注射、挤出、吹塑等成型方法生产农膜、包装薄膜、复合薄膜、管材、中空容器、电线、电缆绝缘层等。由于不存在长支链, LLDPE 的 65% ~ 70% 用于制作薄膜。

4. 中密度聚乙烯

英文名称: Medium density polyethylene, 简称 MDPE

中密度聚乙烯是在合成过程中用 α -烯烃共聚, 控制密度而成。MDPE 的密度为 $0.926 \sim 0.953 \text{g/cm}^3$, 结晶度为 70% ~ 80%, 平均相对分子质量为 20 万, 拉伸强度为 8 ~ 24 MPa, 断裂伸长率为 50% ~ 60%, 熔融温度 126 ~ 135℃, 熔体流动速率为 0.1 ~ 35 g/10min, 热变形温度 (0.46 MPa) 49 ~ 74℃。MDPE 最突出的特点是耐环境应力开裂性及强度的长期保持性。

MDPE 可用挤出、注射、吹塑、滚塑、旋转、粉末成型加工方法, 生产工艺参数与 HDPE 和 LDPE 相似, 常用于管材、薄膜、中空容器等。

5. 超高相对分子质量聚乙烯

英文名称: Ultra-high molecular weight polyethylene, 简称 UHMWPE

超高相对分子质量聚乙烯冲击强度高, 耐疲劳, 耐磨, 是一种线型结构的具有优异综合性能的热塑性工程塑料。其相对分子质量达到 300 万 ~ 600 万, 密度 $0.936 \sim 0.964 \text{g/cm}^3$, 热变形温度 (0.46 MPa) 85℃, 熔点 130 ~ 136℃。

UHMWPE 因相对分子质量高而具有其他塑料无可比拟的优异性能, 如耐冲击、耐磨损、自润滑性、耐化学腐蚀等性能, 广泛应用于机械、运输、纺织、造纸、矿业、农业、化工及体育运动器械等领域, 其中以大型包装容器和管道的应用最为广泛。另外, 由于超高相对分子质量聚乙烯优异的生理惰性, 已作为心脏瓣膜、矫形外科零件、人工关节等在临床医学上使用, 而且, 超高相对分子质量聚乙烯耐低温性能优异, 在 -40℃ 时仍具有较高的冲击强度, 甚至可在 -269℃ 下使用。超高相对分子质量聚乙烯纤维的复合材料在军事上已用作装甲车辆的壳体、雷达的防护罩壳、头盔等; 体育用品上已制成弓弦、雪橇和滑水板等。

由于超高相对分子质量聚乙烯熔融状态的粘度高达 $108\text{Pa} \cdot \text{s}$ ，流动性极差，其熔体流动速率几乎为零，所以很难用一般的机械加工方法进行加工。近年来，通过对普通加工设备的改造，已使超高相对分子质量聚乙烯由最初的压制-烧结成型发展为挤出、吹塑和注射成型以及其他特殊方法的成型。

6. 茂金属聚乙烯

茂金属聚乙烯 (mPE) 是近年来迅速发展的一类新型高分子树脂，其相对分子质量分布窄，分子链结构和组成分布均一，具有优异的力学性能和光学性能，已被广泛应用于包装、电气绝缘制品等。

1.1.3 聚乙烯的成型加工

PE 的熔体粘度比 PVC 低，流动性能好，无需加入增塑剂，具有很好的成型加工性能。前文已介绍了各类聚乙烯可采用的成型加工方法，下面主要介绍在成型过程中应注意的几个问题。

1) 聚乙烯属于结晶性塑料，吸湿小，成型前一般不需干燥处理，熔体流动性极好，流动性对压力敏感，成型时宜用高压注射，料温均匀，填充速度快，保压充分。不宜用直接浇口，以防收缩不均，内应力增大。注意选择浇口位置，防止产生缩孔和变形。

2) PE 的热容量较大，但成型加工温度却较低，成型加工温度的确定主要取决于相对分子质量、密度和结晶度。LDPE 在 180°C 左右，HDPE 在 220°C 左右，最高成型加工温度一般不超过 280°C 。

3) 熔融状态下，PE 具有氧化倾向，因而，成型加工中应尽量减少熔体与空气的接触及在高温下的停留时间。

4) PE 的熔体粘度对剪切速率敏感，随剪切速率的增大下降得较多。当剪切速率超过临界值后，易出现熔体破裂等流动缺陷。

5) 制品的结晶度取决于成型加工中对冷却速率的控制。不论采取快速冷却还是缓慢冷却，应尽量使制品各部分冷却速率均匀一致，以免产生内应力，降低制品的力学性能。

6) 收缩范围和收缩值大 (一般成型收缩率为 $1.5\% \sim 5.0\%$)，方向性明显，易翘曲变形，冷却速度宜慢，模具应设冷料穴，并有冷却系统。

7) 软质塑件有较浅的侧凹槽时，可强行脱模。

1.1.4 聚乙烯的改性

聚乙烯属非极性聚合物，与无机物、极性高分子相容性弱，因此其功能性较差，通过改性可提高 PE 的耐热老化性、高速加工性、冲击强度、粘接性、生物相容性等性质。常用的改性方法包括物理改性和化学改性。

1. 物理改性

物理改性是在 PE 基体中加入另一组分（无机组分、有机组分或聚合物等）的一种改性方法。常用的方法有增强改性、共混改性、填充改性。

（1）增强改性 增强改性是指填充后对聚合物有增强效果的改性。加入的增强剂有玻璃纤维、碳纤维、石棉纤维、合成纤维、棉麻纤维、晶须等。自增强改性也属于增强改性的一种。

1) 自增强改性。所谓自增强就是使用特殊的加工成型方法，使得材料内部组织形成伸直链晶体，材料内部大分子晶体沿应力方向有序排列，材料的宏观强度得到大幅度提高，同时分子链有序排列将使结晶度提高，从而使材料的强度进一步提高，由于所形成的增强相与基体相的分子结构相同，因而不存在外增强材料中普遍存在的界面问题。如采用超高相对分子质量聚乙烯（UHMPE）纤维增强 LDPE，在加热加压成型的条件下，可以形成良好的界面，最大限度地发挥基体和纤维的强度。

2) 纤维增强改性。由于纤维增强聚合物基复合材料具有比强度高、比刚度高等优点而得到广泛应用。如采用经 KH-550 硅烷偶联剂处理的长玻璃纤维（LGF）与 PE 复合制备的 PE/LGF 复合材料，当 LGF 加入量为 30%、长度约为 35mm 时，复合材料的拉伸强度和冲击强度分别为 52.5MPa 和 52kJ/m²。

3) 晶须改性。晶须的加入能够大幅度提高 HDPE 材料的力学性能，包括短期力学性能及耐长期蠕变性能。晶须对 HDPE 材料的增强作用主要归因于它们之间的良好界面粘接，同时刚性的晶须则能够承担较大的外界应力，使复合材料的弹性模量得到提高。

4) 纳米粒子增强改性。少量无机刚性粒子填充 PE 可同时起到增韧与增强的作用。如将表面处理过的纳米 SiO₂ 粒子填充 mLLDPE-LDPE，SiO₂ 纳米粒子均匀分散于基材中，与基材形成牢固的界面结合，当填充质量分数为 2% 时，拉伸强度、断裂伸长率分别提高了 13.7MPa 和 174.9%。

（2）共混改性 共混改性主要目的是改善 PE 的韧性、冲击强度、粘接性、高速加工性等各种缺陷，使其具有较好的综合性能。共混改性主要是向 PE 基体中加入另一种聚合物，如塑料类、弹性体类等聚合物，以及不同种类的 PE 之间进行共混。

1) PE 系列的共混改性。单一组分的 PE 往往很难满足加工要求，而通过不同种类 PE 之间的共混改性可以获得性能优良的 PE 材料。如通过 LDPE 与 LLDPE 共混，解决了 LDPE 因大量添加阻燃剂和抗静电剂等助剂造成力学性能急剧降低的问题；LLDPE 与 HDPE 共混后可以提高产品的综合性能。

2) PE 与弹性体的共混改性。弹性体具有低的表面张力、较强的极性、突出的增韧作用，因此与 PE 共混后，既能保持 PE 的原有性能，同时也可以制备

出具有综合优良性能的 PE。如 LDPE-聚烯烃弹性体 (POE) 共混物, 当 POE 的质量分数为 30% 时, 共混体系的拉伸强度达到最大值, 为 21.5 MPa。

3) PE 与塑料的共混改性。聚乙烯具有良好的韧性, 但制品的强度和模量较低, 与工程塑料等共混可提高复合体系的综合力学性能。但 PE 和这类高聚物的界面问题也是影响其共混物性能的主要原因, 因此通常需要加入界面相容剂, 以提高共混物的力学性能。

(3) 填充改性 填充改性是在 PE 基质中加入无机填料或有机填料, 一方面可以降低成本达到增重的目的, 另一方面可提高 PE 的功能性, 如电性能、阻燃性能等, 但同时对复合材料的力学性能和加工性能带来一定程度的影响。

无论是无机填料还是有机填料, 填料与 PE 基体的相容性和界面粘接强度是 PE 填充改性必须面临的问题, 而 PE 是非极性化合物, 与填料相容性差, 因此, 必须对填料进行表面处理。填料的表面处理一般采用物理或化学方法进行处理, 在填料表面包覆一层类似于表面活性剂的过渡层, 起“分子桥”的作用, 使填料与基体树脂间形成一个良好的粘接界面。常用的填料表面处理技术有表面活性剂或偶联剂处理技术、低温等离子体技术、聚合填充技术和原位乳液聚合技术等。

PE 中填充木粉、淀粉、废纸粉、滑石粉、碳酸钙等一类填料, 不仅可以改善 PE 的性能, 同时也具有十分重要的健康环保意义。

2. 化学改性

化学改性的方法主要有接枝改性、共聚改性、交联改性、氯化及氯磺化改性和等离子体改性处理等方法。其原理是通过化学反应在 PE 分子链上引入其他链节和功能基团, 由此提高材料的力学性能、耐候性能、抗老化性能和粘接性能等。

(1) 接枝改性 接枝改性是指将具有各种功能的极性单体接枝到 PE 主链上的一种改性方法。接枝改性后的 PE 不但保持了其原有特性, 同时又增加了其新的功能。常用的接枝单体有丙烯酸 (AA)、马来酸酐 (MA)、马来酸盐、烯基双酚 A 醚和活性硅油等。接枝改性的方法主要有溶液法、固相法、熔融法、辐射接枝法、光接枝法等。

(2) 共聚改性 共聚改性是指通过共聚反应将其他大分子链或官能团引入到 PE 分子链中, 从而改变 PE 的基本性能。主要改性品种有乙烯-丙烯共聚物 (塑料)、乙烯-乙酸乙烯酯共聚物 (EVA)、乙烯-丁烯共聚物、乙烯-其他烯烃 (如辛烯 POE、环烯烃) 共聚物、乙烯-不饱和酯共聚物 (EAA、EMAA、EEA、EMA、EMMA、EMAH) 等。通过共聚反应, 可以改变大分子链的柔顺性或使原来的基团带有反应性官能团, 可以起到反应性增容剂的作用。

(3) 交联改性 交联改性是指在聚合物大分子链间形成化学共价键以取代

原来的范德华力,由此极大地改善了诸如耐热性、耐磨性、弹性形变、耐化学药品性及耐环境应力开裂性等一系列物理化学性能,适于制作大型管材、电线电缆以及滚塑制品等。聚乙烯的交联改性方法包括过氧化物交联(化学交联)、高能辐射交联、硅烷接枝交联、紫外光交联。

(4) 氯化及氯磺化改性 氯化聚乙烯是聚乙烯分子中的仲碳原子被氯原子取代后生成的一种高分子氯化物,具有较好的耐候性、耐臭氧性、耐化学药品性、耐寒性、阻燃性和优良的电绝缘性。主要用作聚氯乙烯的改性剂,以改善聚氯乙烯抗冲击性能,氯化聚乙烯本身还可作为电绝缘材料和地面材料。

氯磺化聚乙烯是聚乙烯经过氯化 and 氯磺化反应而制得的具有高饱和结构的特种弹性材料,属于高性能橡胶品种。其结构饱和,无发色基团存在,涂膜的抗氧化性、耐油性、耐候性、耐磨性和保色性能优异,且耐酸碱和化学药品的腐蚀,已广泛应用于石油、化工等行业。

(5) 等离子体改性处理 等离子体是由部分电离的导电气体组成,其中包括电子、正离子、负离子,基态的原子或分子、激发态的原子或分子、游离基等类型的活性粒子。

在聚乙烯等高分子材料表面改性中,主要利用低温等离子体中的活性粒子轰击材料表面,使材料表面分子的化学键被打开,并与等离子体中的氧、氮等活性自由基结合,在材料表面形成含有氧、氮等极性基团,由于表面增加了大量的极性基团,从而能明显地提高材料表面的粘接性、印刷性、染色性等。

1.1.5 聚乙烯的应用

聚乙烯是通用塑料中应用最广泛的品种,薄膜是其主要加工产品,其次是片材和涂层、瓶、罐、桶等中空容器及其他各种注射和吹塑制品、管材和电线、电缆的绝缘和护套等。主要用于包装、农业和交通等部门。

1. 薄膜

低密度聚乙烯总产量的一半以上经吹塑制成薄膜,这种薄膜有良好的透明性和一定的拉伸强度,广泛用作各种食品、衣物、医药、化肥、工业品的包装材料以及农用薄膜。也可用挤出法加工成复合薄膜用于包装重物。高密度聚乙烯薄膜的强度高、耐低温、防潮,并有良好的印刷性和可加工性。线型低密度聚乙烯的最大用途也是制成薄膜,其强度、韧性均优于低密度聚乙烯,耐穿刺性和刚性也较好,透明性稍优于高密度聚乙烯。此外,还可以在纸、铝箔或其他塑料薄膜上挤出涂布聚乙烯涂层,制成高分子复合材料。

2. 中空制品

高密度聚乙烯强度较高,适宜中空制品的成型。可用吹塑法制成瓶、桶、