

橡胶塑料加工成型与制品应用工程手册

材料配合

段予忠 谢林生 主编

与混炼加工

塑料部分

3-62



化学工业出版社

橡胶塑料加工成型与制品应用工程手册

材料配合与混炼加工

(塑料部分)

段子忠 谢林生 主编

化学工业出版社

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

橡胶塑料加工成型与制品应用工程手册.材料配合与混炼加工.塑料部分/段予忠,谢林生主编.—北京:化学工业出版社,2001.10
ISBN 7-5025-3381-8

I.橡… II.①段…②谢… III.①橡胶制品-成型-技术手册②塑料制品-成型-技术手册 IV.TQ330.6-62②TQ320.6-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 045730 号

橡胶塑料加工成型与制品应用工程手册
材料配合与混炼加工
(塑料部分)

段予忠 谢林生 主编
责任编辑:武志怡 周国庆
责任校对:蒋 宇
封面设计:于 兵

化学工业出版社出版发行
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)
发行电话:(010) 64918013
<http://www.cip.com.cn>

新华书店北京发行所经销
北京市彩桥印刷厂印刷
北京市彩桥印刷厂装订
开本 787×1092 毫米 1/16 印张 19 $\frac{1}{4}$ 字数 488 千字
2001 年 10 月第 1 版 2001 年 10 月北京第 1 次印刷
印 数:1—4000
ISBN 7-5025-3381-8/TQ·1398
定 价:40.00 元

版权所有 违者必究
该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

《橡胶塑料加工成型与制品应用工程手册》

主 编：程 源

副主编：吕柏源 黄汉雄

《材料配合与混炼加工》 (塑料部分)

本分册主编：段予忠 谢林生

本分册编写人员：段予忠 谢林生

前 言

在化学工业出版社的大力支持下，我们组织编写了《橡胶塑料加工成型与制品应用工程手册》(以下简称《手册》)。《手册》共分 11 分册，分别为：

- 材料配合与混炼加工；
- 挤出成型与制品应用；
- 注射成型与制品应用；
- 压延成型与制品应用；
- 模压成型与制品应用；
- 涂覆成型与制品应用；
- 复合成型与制品应用；
- 反应加工与交联定型；
- 加工机械与成型模具；
- 原料与制品性能检测；
- 加工与制品常用数据。

《手册》具有以下几个特点：

- (1) 以加工设备为主线，打破以往按产品为目录编写的成书体系，并注重工程应用。
- (2) 以设备—工艺—制品为编写顺序，把手册和制品合二为一。
- (3) 兼顾加工成型与制品应用，以加工成型为主，制品应用为副，但都单列使用说明和故障排除。

(4) 橡塑有分有合。每一分册上篇为橡胶，下篇为塑料。对于二者的结合点，如并用共混制品，以塑料为主，加橡胶改性的，放在下篇；以橡胶为主，加塑料改性的，放在上篇。

《手册》由北京化工大学博士生导师、有突出贡献专家程源担任主编，各分册主编也分别由橡胶、塑料工艺和机械模具领域的专家担任。

《手册》适合于从事橡胶塑料加工成型技术人员和加工设备设计和维修人员使用。

在《手册》的编写过程中，各分册主编和编写人员虽然尽了很大努力，恐仍有不当之处，希望读者批评指正。

程 源

2001 年 3 月于北京化工大学

内 容 提 要

本书内容翔实，结构合理，语言简练，以设备—工艺—制品为主线，以加工成型为主，讲解了塑料配合与混炼加工。

全书共包括6章。第1章讲解了塑料常用树脂品种；第2章为塑料用加工助剂；第3章为常用塑料混合设备；第4章为塑料的配合与造粒；第5章为典型混合工艺举例；第6章为常用塑料制品配方举例。

本书适合从事塑料加工的工程技术人员及大、中专院校师生使用。

目 录

第1章 塑料用树脂品种	1	10.2 改性酚醛	41
1. 概论	1	11. 环氧树脂	41
2. 聚乙烯	2	11.1 改性环氧树脂	42
2.1 低密度聚乙烯	2	11.2 应用举例	43
2.2 高密度聚乙烯	3	12. 聚甲醛	43
2.3 线性低密度聚乙烯	5	12.1 改性聚甲醛	44
2.4 很低密度聚乙烯和超低密度聚乙烯	8	12.2 应用举例	45
2.5 超高分子量聚乙烯	10	13. 聚碳酸酯	45
2.6 改性聚乙烯	12	13.1 改性聚碳酸酯	46
3. 聚氯乙烯	13	13.2 应用举例	47
3.1 基本性质	14	14. 其他塑料原料	47
3.2 改性聚氯乙烯	15	14.1 氟塑料	47
3.3 应用举例	16	14.2 密胺塑料	50
4. 聚丙烯	16	14.3 聚甲基丙烯酸甲酯	50
4.1 基本性质	16	14.4 有机硅	51
4.2 改性聚丙烯	17	14.5 聚酰亚胺	52
5. ABS	21	14.6 聚砜	53
5.1 基本性质	21	14.7 阻隔性树脂	54
5.2 应用举例	22	14.8 聚苯醚和聚苯硫醚	56
5.3 改性ABS	22	14.9 聚芳醚酮	56
6. 聚苯乙烯	23	14.10 邻苯二甲酸二烯丙酯	57
6.1 基本性质	23	14.11 MBS和AMS树脂	57
6.2 改性聚苯乙烯	24	14.12 液晶聚合物	57
6.3 应用举例	25	14.13 聚甲基戊烯	58
7. 聚酰胺	25	15. 汽车用塑料种类	58
7.1 基本性质	25	15.1 应用部件	58
7.2 改性尼龙品种	26	15.2 成型方法	59
7.3 应用举例	29	16. 废旧塑料回收利用	60
8. 聚酯树脂	30	16.1 分离技术	60
8.1 不饱和聚酯	30	16.2 应用实例	60
8.2 聚对苯二甲酸乙二醇酯	31	第2章 塑料用加工助剂	62
8.3 聚对苯二甲酸丁二醇酯	35	1. 助剂的分类	62
9. 聚氨酯	37	2. 增塑剂	63
9.1 聚氨酯泡沫塑料	37	2.1 增塑剂的性质	63
9.2 非聚氨酯泡沫塑料制品	39	2.2 增塑剂的分类方法	65
10. 酚醛树脂	40	2.3 常用增塑剂品种与性能	65
10.1 基本性质	40	3. 热稳定剂	68
		3.1 铅类稳定剂	69

3.2 金属皂类稳定剂	69	13.3 EVA 和 SBS	97
3.3 有机锡稳定剂	70	13.4 橡胶类增韧剂	97
3.4 铈稳定剂	71	14. 助剂母料	98
3.5 有机辅助稳定剂	71	14.1 母料的种类	98
3.6 其他稳定剂	71	14.2 常用母料品种	98
4. 抗氧化剂	72	15. 其他助剂	100
4.1 主抗氧化剂	72	15.1 着色剂	100
4.2 辅助抗氧化剂	73	15.2 相容剂	103
5. 光稳定剂	74	15.3 发泡剂	103
5.1 光屏蔽剂	74	15.4 交联剂	104
5.2 紫外线吸收剂	75	15.5 防霉剂	104
5.3 猝灭剂	75	15.6 防雾滴剂	104
5.4 自由基捕获剂	75	15.7 铜抑制剂	104
6. 润滑剂	76	15.8 成核剂	104
6.1 润滑剂的分类	76	第3章 常用塑料混合设备	105
6.2 主要润滑剂品种及性质	76	1. 间歇混合设备之一——预混设备	105
7. 偶联剂	78	1.1 滚筒类混合设备	105
7.1 偶联剂的分类	78	1.2 转子类混合设备	107
7.2 主要偶联剂品种及性质	79	1.3 高速混合机	114
7.3 应用举例	79	1.4 塑料混合机国家标准 (GB 10902—89) 的主要内容	118
8. 填充剂	80	1.5 塑料混合机	121
8.1 填充剂的种类	80	2. 间歇混合设备之二——开炼机	122
8.2 影响填充改性能的因素	85	2.1 开炼机的基本结构与工作过程	122
9. 增强剂	86	2.2 开炼机的安装与调整	123
9.1 增强剂的种类	86	2.3 开炼机的试车	123
9.2 影响增强改性能的因素	88	2.4 开炼机的炼塑操作	124
10. 阻燃剂	89	2.5 开炼机的保养与维护	124
10.1 阻燃剂的分类	89	2.6 开炼机的规格及主要性能参数	128
10.2 主要阻燃剂品种及性质	90	3. 间隙混合设备之三——密炼机	128
10.3 应用举例	92	3.1 概述	128
11. 抗静电剂	92	3.2 Banbury 型密炼机工作原理与基本结构	129
11.1 抗静电剂的分类	92	3.3 密炼机的操作条件对混合质量的影响	129
11.2 常用导电填料	93	3.4 Shaw 型密炼机结构及工作原理	130
11.3 主要抗静电剂品种及性质	93	3.5 MC 型混炼机的结构及工作原理	130
11.4 影响填充型导电性的因素	94	3.6 密炼机的主要技术参数与选择	130
12. 加工改性剂	94	3.7 密炼机的安装与维护	131
12.1 ACR	95	3.8 密炼机的国家标准 (GB9707—88、GB9708—88) 的主要内容	135
12.2 P83	96	4. 连续混合设备之一——单螺杆挤出机	139
12.3 820-G	96		
12.4 AMS	96		
12.5 NPA	96		
13. 抗冲改性剂	96		
13.1 氯化聚乙烯	97		
13.2 ABS 和 MBS	97		

4.1 普通单螺杆挤出机的结构	139	8.5 偏心造粒设备	190
4.2 常规螺杆的混合特点	141	8.6 平板切粒机	190
4.3 新型螺杆的工作原理及工作特点	142	9. 造粒设备的比较	191
4.4 单螺杆挤出机的控制系统	150	第4章 塑料的混合与造粒	192
4.5 单螺杆挤出机的安装、操作	151	1. 塑料的预混	192
4.6 单螺杆挤出机的维护与保养	153	1.1 预混的目的与任务	192
4.7 单螺杆挤出机的常见故障及其排除方法	153	1.2 预混设备的选择	192
4.8 单螺杆挤出机的国家标准	154	1.3 典型预混工艺举例	192
4.9 国内主要制造厂生产的单螺杆挤出机的主要技术性能指标	155	2. 塑料的混合	193
5. 连续混合设备之二——双螺杆挤出机	155	2.1 混合机理与混合的分类	193
5.1 双螺杆挤出机的结构	155	2.2 混合物性质的预测	198
5.2 双螺杆挤出机的特点	156	2.3 塑料混合状态的判定	201
5.3 双螺杆挤出机的分类	157	2.4 混合设备及方法的选择	206
5.4 啮合异向旋转双螺杆配混料挤出机	158	2.5 切粒方法的选择	209
5.5 啮合同向旋转双螺杆配混料挤出机	162	3. 混合、造粒常见故障分析	210
5.6 双螺杆配混料挤出机的挤出造粒机组	170	3.1 水下热切粒、水雾热切粒、水环热切粒、风冷热切粒常见故障分析	210
5.7 双螺杆挤出机的安装与使用	171	3.2 牵条冷切粒常见故障分析	210
5.8 双螺杆挤出机的维护	173	第5章 典型混合工艺举例	212
5.9 国内部分双螺杆挤出机生产厂家产品的主要技术参数	175	1. 色母料的制备	212
6. 连续混合设备之三——其他连续混合设备	176	1.1 色母料制备的优点	212
6.1 行星螺杆挤出机	176	1.2 色母料的组成	213
6.2 Buss-Kneader 连续混炼机	177	1.3 生产设备(混合造粒设备)的选择	217
6.3 双转子连续混炼机	179	1.4 颜料的预分散	218
6.4 双阶配混料挤出造粒设备	180	1.5 色母料的生产技术	218
7. 几种混炼设备的比较	182	1.6 色母料的等级及其混合质量的评定	221
7.1 从剪切速率和混炼时间比较	182	2. 增强塑料的制备	221
7.2 从物料停留时间比较	183	2.1 概论	221
7.3 举例	183	2.2 增强材料	223
7.4 同向平行双螺杆配混料挤出机与双转子连续混炼机适用场合	184	2.3 玻璃纤维的表面处理	229
8. 造粒设备	185	2.4 热塑性增强塑料粒料的制备	230
8.1 风冷热切粒设备	185	3. 填料母料的制备	235
8.2 牵条冷切粒设备	186	3.1 填料的种类	235
8.3 水下切粒设备	188	3.2 填料改性效果	236
8.4 水环切粒设备	189	3.3 影响填料改性的因素	238
		3.4 填料改性的作用和机理	239
		3.5 填料改性母料的制备及工艺	241
		3.6 填料改性母料生产设备的选择	242
		第6章 常用塑料制品配方举例	243
		1. 管材类	243
		1.1 聚氯乙烯管	243
		1.2 聚氯乙烯管件、阀门	248

1.3 特殊聚氯乙烯管	248	6.2 聚氨酯泡沫塑料	273
1.4 聚乙烯管	249	6.3 聚乙烯泡沫塑料	274
1.5 聚丙烯管	250	6.4 聚丙烯泡沫塑料	275
1.6 其他材料管	250	6.5 聚氯乙烯泡沫塑料	275
2. 板材、片材类	251	6.6 其他泡沫塑料	276
2.1 聚氯乙烯板材、片材类	251	7. 塑料丝及带类	277
2.2 聚烯烃板材、片材	253	7.1 聚氯乙烯丝	277
2.3 其他材料板材、片材	254	7.2 其他材料丝、带、网类	278
3. 异型材类	254	8. 电线、电缆料类	278
3.1 门窗异型材	254	8.1 聚氯乙烯电线电缆料	279
3.2 其他异型材	256	8.2 聚乙烯电缆料	281
4. 薄膜类	257	8.3 聚丙烯及其他电缆料	282
4.1 聚氯乙烯膜	257	9. 鞋料类	283
4.2 聚乙烯膜	262	9.1 聚氯乙烯鞋料	283
4.3 聚丙烯膜	264	9.2 其他塑料鞋料	286
4.4 其他材料膜	264	10. 塑料容器类	288
5. 人造革及壁纸类	265	10.1 聚氯乙烯中空容器	288
5.1 人造革	265	10.2 聚乙烯及其他容器	289
5.2 壁纸	270	11. 其他制品类	290
5.3 地板革	271	附录 1 常用国产塑料树脂主要生产厂	303
6. 泡沫塑料类	272	附录 2 常用国产塑料助剂品种主要生产厂	305
6.1 聚苯乙烯泡沫塑料	272		

第1章 塑料用树脂品种

1. 概 论

目前在高速发展能源技术、信息技术的同时，材料技术也得到了迅速发展。材料是国民经济发展的基础。随着新技术、新产品的不断出现，对材料质和量的要求，提出了更高的标准，这是以往天然材料所不能满足的，于是人们就开始研究、制造和生产新型材料，以适应社会的需求。

与其他材料相比，塑料材料具有重量轻、耐腐蚀、比强度高、电性能优异、容易加工成外观美丽、色彩鲜艳的各种制品等特点，因而成为一种新型材料，发展速度已名列前茅，其应用领域逐步扩大，已涉及到国民经济的各个方面，乃至人们的日常生活，如以塑料代替木材、以塑料代替钢材、代替铝材、以塑料代替玻璃、以塑料代替陶瓷、以塑料代替皮革、以塑料代替石料、以塑料代替漆器等，广泛应用于农业、渔牧业及电气、机械仪表、汽车、航空航天、国防尖端、化工、建筑等工业部门。

目前塑料材料为18大类树脂，200多个品种左右，不能满足目前形势发展的需要，因为不同用途、各种制品的要求，往往提出不同的苛刻条件，于是改性复合塑料材料就成为目前较好的候选材料，近些年来，这种改性材料在应用上占绝对优势，已成为塑料材料明显的发展方向。

改性塑料材料是用化学的方法或物理的方法，或两者同时并用，对现有的树脂品种进行改性，利用各组分的特点，互相取长补短，赋予制品新的性质。

共聚、接枝、交联是常用的化学改性方法。

填充、增强、共混是常用的物理改性方法。

由于各式各样改性的结果，通用塑料与工程塑料之间的分界线也开始模糊起来了。如聚丙烯是典型的通用塑料品种，但是经过添加乙丙橡胶及玻璃纤维进行改性，就可作为工程塑料用，如汽车上的保险杠。又在聚丙烯中添加20%的碳纤维，则耐磨损量为6~7mg，而同样的部件用工程塑料尼龙制作，则耐磨损量增加到10~12mg。聚乙烯的另一个品种为超高分子量聚乙烯，主要用在工程部件上。各种塑料合金的出现，如工程塑料ABS添加进聚氯乙烯、工程塑料聚碳酸酯添加进聚乙烯，这些都使得通用塑料与工程塑料间的界限，越来越不明显了。

另外随着微电子技术、光电技术、空间技术、生物工程、新能源等一系列尖端技术的发展，随之而来的功能性塑料材料被逐渐开发出来了，如二氟化乙烯和醋酸乙烯共聚制成的压电塑料、聚乙炔、聚对苯硫醚等结构型导电塑料、电磁波屏蔽塑料、光塑料、塑料光导纤维、医用生物功能性塑料、塑料太阳能电池、功能性塑料分离膜等。

此外超高强度、超高模量的液晶塑料，由于具有高性能化、高效化、小型化、轻量化和节能化，也是一类大有发展前途的新型材料。

伴随着塑料材料工业的兴起，作为塑料加工所需要的辅助材料——各种成型加工助剂几乎是同步发展起来的，因为它可以改善塑料原料的工艺性能，提高加工效率，改进制品的性

能，延长其使用寿命，所以在工业上已成为一个品目十分繁杂而又颇具规模的精细化工行业。就世界范围而言，每年塑料助剂的耗用量约为塑料消费量的9%。

目前，许多助剂厂家、研究部门在努力提高助剂效能和低毒化的同时，又开发出许多新型的具有独特功能或综合功能的助剂。如各种色母料、填充母料、专用母料、成型加工改性剂、相容剂、增韧剂等。

这些新型助剂有的应用范围较广，如无规聚丙烯填充母料，可用在聚乙烯、聚丙烯、ABS、聚苯乙烯等多种树脂中；也有应用范围较窄，有一定的针对性，如成型加工改性剂ACB，针对聚氯乙烯硬制品成型加工用的；又如相容剂氯化聚乙烯CPE，作为聚氯乙烯和另外高聚物共混时而添加的第三组分；像ABS色母料，只适用于ABS制品的染色用等。

塑料成型加工助剂，有液体状，也有粉末状；有小分子结构的，也有大分子高聚物的，因此在先用加工助剂时，一定要有针对性，否则事倍功半。

加工助剂的添加量，根据制品性能的要求而定，悬殊很大。如有的助剂，像抗氧化剂、偶联剂等，添加量为千分之几到百分之几；而有的助剂如相容剂添加10%以上才能有效，像CPE常加到15%左右；有的助剂添加量非常大，大到添加50%~60%，如填充聚氯乙烯地板砖时的填充剂，像轻质碳酸钙，可以加到60%，才能使材料成本及制品性能同时达到要求。

添加助剂时的方式方法，对塑料制品的性能影响也很大，有时加料顺序错时，就达不到预期目的，如在高填充时，聚氯乙烯树脂与填充剂碳酸钙先混好后，再加进增塑剂，这样增塑剂的作用就不能充分发挥，使制品的硬度增大，应该是树脂先与增塑剂混合，混合后再与填充剂混合。

因此，只有在正确掌握各种塑料原料及成型加工助剂的特点、应用范围、成型加工条件、添加量、方式方法等基本性质后，能够在生产实际中，设计出科学的配方，研制、开发、生产出性能优异、价格合理新型塑料制品来。

2. 聚 乙 烯

聚乙烯是世界塑料品种中产量最大的品种，其应用面也最大，约占世界塑料总产量的三分之一，发展速度很快。

目前聚乙烯的发展，已由原来的高压聚乙烯，发展到低压聚乙烯，又发展到第三代聚乙烯，即线性低密度聚乙烯，之后又发展到第四代聚乙烯，即很低密度聚乙烯。

同时聚乙烯又向着工程塑料方向发展，即超高分子量聚乙烯，与此同时，各种聚乙烯的改性研究，即各种改性聚乙烯也在突飞猛进的发展。

2.1 低密度聚乙烯

低密度聚乙烯(LDPE)也叫做高压聚乙烯。聚乙烯是由乙烯单体聚合而成。乙烯单体可由石油高温裂解，天然气或炼油厂中废气，即乙烷、丙烷裂解而成，或由酒精脱水而成，或是从废气中回收而得。大部分为石油裂解路线制备乙烯单体。

乙烯经高压聚合而成了聚乙烯，单体浓度要求99.95%，聚合时压力为100~300MPa，聚合温度160~270℃，按游离基历程反应，工业上采用本体聚合的方法，即气相法；用偶氮化合物或有机过氧化物，氧作为引发剂。

LDPE的牌号主要由树脂的聚合度而定，而聚合度又被反应压力、反应温度、引发剂

量、调节剂（常用丙烷）等所支配。

LDPE 的聚合反应器类型可分为管式法和釜式法。目前多用管式法。

LDPE 由于按游离基聚合历程进行反应，所以易发生链转移，产品中存在大量支链结构，分子结构缺乏规整性，因此 LDPE 的结晶度较小，为 65%~75%，密度较低为 0.91~0.93g/cm³，分子量一般为 25000 左右。

LDPE 的生产工艺流程较短，工艺条件易控制，产品成本低，生产规模大，产品的一般性能好，所以目前高压法生产的 LDPE 仍有很大的市场。

高压法生产 LDPE 的缺点是，对生产设备的要求高、无论对设备材质及设备结构上，都要求很严，另外生产时对安全防护措施也要求很严格。

LDPE 的电绝缘性能良好，基本不受温度和频率的影响，力学性能、化学性能均良好，热性能、透气性、耐老化性能基本上可以，具体和高密度聚乙烯等对比数据在下节叙述。

LDPE 主要用于制造农用膜、地膜，另外少部分用于各种轻、重包装膜，如食品袋、货物袋、工业重包装袋、复合薄膜或编织内衬、涂层、各种管材、电线、电缆绝缘层、作为其他聚乙烯的改性料等。

LDPE 可通过化学或物理的方法进行改性，改善某些性能，或是成为某些制品的专用料。

例如通过辐射交联的方法提高 LDPE 的耐热性及蠕变性；与高密度聚乙烯、线性低密度聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚碳酸酯、天然橡胶、丁苯橡胶等塑料或橡胶进行共混改性，可提高某些性能，如热封性、韧性、耐穿刺性、耐环境应力龟裂性、弹性、机械强度等。

LDPE 还可以作为各种各样的专用料，如耐候母料、色母料、抗静电专用料、阻燃专用料、彩色农膜专用料、多种功能农膜专用料等。

例如 LDPE 可用硅烷进行交联，制作电缆料，该法工艺简单，而且交联设备投资小，比用化学交联、辐射交联要优越些。

LDPE 树脂与硅烷、引发剂、催化剂等助剂在热和水的作用下，经熔融混合、挤出造粒即可生产出电缆料。PE 树脂熔融指数应高于 2。引发剂用过氧化二异丙苯或过氧化苯甲酰，添加量为 0.1%~3%；硅烷可用乙烯基三烷氧基硅烷，添加量也为 0.1%~3%；催化剂用二月桂酸二丁基锡等；抑制剂用双酚硫化物等；其他加些填料、颜料、紫外线吸收剂等。

工艺路线可用“二步法”或“一步法”。从专用料生产角度看“二步法”较好。

2.2 高密度聚乙烯

2.2.1 基本性质

高密度聚乙烯（HDPE）也叫低压聚乙烯，是在较低的压力下，0.3~10MPa 压力时，将乙烯单体进行聚合。若采用齐格勒-纳塔催化体系，则用压力偏低，常压或 0.3~0.4MPa，若用金属络合物、金属氧化物，如氧化钨则压力常在 10MPa 以下。

HDPE 要求乙烯单体浓度也在 99.95%，按离子聚合反应历程，工业上用溶液聚合法，调节剂采用氢，溶剂用汽油，反应温度一般在 50~70℃。

低压聚乙烯还可以再细分成中压聚乙烯和低压聚乙烯，一般中压法生产较少。

HDPE 生产时由于采用了新的高效催化剂，这样就简化或省去了脱去催化剂残渣的工序，使投资费用大大降低，既进一步完善了溶液聚合法，又开发了悬浮聚合法、气相聚

合法。

HDPE 生产时的设备要求低，容易投产，催化剂的效率较高，但缺点是催化剂不易制造，不易保存，后处理工序较多，这些正逐渐得以改善。

HDPE 的平均分子量较高，支链短而且少，因此密度较高，为 $0.92 \sim 0.965 \text{g/cm}^3$ ，结晶度也比较大 $80\% \sim 95\%$ ，强度也大。

LDPE 与 HDPE 的性质对照如表 1-1 所示。

表 1-1 LDPE 与 HDPE 性质对照

项目	品种		项目	品种	
	LDPE	HDPE		LDPE	HDPE
制造工艺	高压法	低压法	断裂伸长率(%)	100~600	20~100
密度(g/cm^3)	0.91~0.93	0.92~0.97	缺口冲击强度(kJ/m)	20~50	10~30
结晶度(%)	65~75	80~95	平均分子量	25000	10000~350000
相对硬度	1~2	3~4	线膨胀系数($\times 10/\text{C}$)	20~24	12~13
结晶熔点($^{\circ}\text{C}$)	108~125	126~136	介电常数	2.28~2.32	2.34~2.36
软化温度($^{\circ}\text{C}$)	105~120	124~127	击穿电压(kV/mm)	大于 20	大于 20
拉伸强度(MPa)	10~25	20~40			

2.2.2 应用举例

由于 HDPE 的出现，大大开拓了聚乙烯的用途，不仅用于薄膜和包装，还用于中空吹塑和注塑容器、鱼网丝、管材、机械零件、代木产品，如塑料周转箱、瓦楞箱等。

最近又开发了许多新产品，如 HDPE 微薄薄膜、单向拉伸薄膜、交叉复合薄膜、大型中空容器、编织袋、网眼袋、背心袋、波纹管、缠绕管、煤气管、输油管护套管等。

例如微薄薄膜可用于似纸包装膜、各种规格包装袋、工业用内衬袋及超薄地膜等。

单向拉伸膜，也有叫 HDPE 扭结薄膜，代替玻璃纸用于糖果包装。

交叉复合薄膜，即垂直正交复合重包装膜，是采用管膜 HDPE，切开单向位伸、再正反面复合，这种薄膜纵、横向强度都较高，可用于重包装袋，其中间层为乙烯-醋酸乙酯(即 EVA) 粘合层。

其他还有各种水果、蔬菜保鲜膜、农用耐老化膜、彩色膜、光降解膜、生物降解膜、无滴膜等。

HDPE 用于管材方面有上水管、输送热水管、煤气管、油田输油管、航道输泥管、抗冲矿用管、抗静电矿用管、双抗(指既抗冲击又抗静电)矿用管、双壁管(指外管是一种波纹管，内管是平滑管，两种结构相组合的管材)、缠绕管(指用两种塑料材质进行复合缠绕而成，这种管可用于排污管、通风管)。

HDPE 还用于各种周转箱、瓦楞箱、大型托盘、鸡蛋蛋架、HDPE 热熔衬布、各种编织袋、网眼袋、交叉网塑料无纺布、复合塑料水泥袋、渔网丝(代替尼龙丝)、大、中、小型中空容器、工业零部件等。

下面具体说明 HDPE 成型加工时的注意要点。

(1) HDPE 薄膜加工技术分析

从薄膜的机械强度、透气率、抗溶剂渗透性等方面要求看，HDPE 的分子量越大越好，但是由于分子量高，熔体表现粘度高，流动性差，造成挤出产量明显下降。

例如在同样挤出机、同样配方、同样挤出工艺参数条件下，不同分子量的 HDPE，可用熔融指数表示，熔融指数越低，则分子量越大，如熔融指数分别为 0.05g/10min 与 0.6g/10min 两种 HDPE，则挤出量分别为 6kg/h 及 8kg/h。

此外 HDPE 膜在加工时还受：冷凝线高度、加工温度、牵伸比、吹胀比、口模尺寸等工艺参数的影响。

(2) HDPE 化肥包装袋的生产

一般来说，普通级分子量的 HDPE 不易满足内衬袋所需树脂的要求，最好采用超高分子量级的 HDPE，如选择熔融指数为 0.046、0.053 这种 HDPE 为好。

吹膜设备参数：螺杆直径 50mm，长径比 25~30，压缩比 1.3，模头口径 75mm，模口间隙 1.2mm，模芯为螺旋型，挤出功率为 15kW，最大挤出量 45kg/h。

吹膜工艺参数：吹胀比 3.5~5，螺杆转速 12~120r/min，牵引速度 12~70m/min，成型温度 200~230℃，冷凝线高度 400~600mm，卷绕速度 15~65m/min，制袋焊接温度 200~240℃。内衬膜厚度为 0.025~0.04mm，比用 LDPE 膜厚度减小一半，另外 HDPE 膜的开口性能也好。

(3) HDPE 泡沫塑料

HDPE 泡沫塑料在抗张模量、挠曲模量、拉伸强度、断裂伸长率等方面要优于 LDPE 泡沫，从价格上低于聚氨酯泡沫。因此 HDPE 泡沫常用于城市集中采暖系统热水管的保温、空调设备的保温、包装材料，在铸造工业中，用以代替木模型；在电缆工业中，低发泡 HDPE 可作海底同轴电缆的护套、通讯电缆的绝缘层；还可作为导电泡沫材料，用在电磁屏蔽中；还开发高吸水性泡沫材料，增大膨胀率，用作土壤调节剂；还可作为高速公路和建筑用嵌缝材料。

HDPE 泡沫塑料作为绝热保温材料时，一般要求树脂的密度大于 0.935g/cm³，密度小时，制品的强度差。树脂的熔融指数要小于 30g/10min，树脂的熔点应大于 117℃ 为好。这样得到的泡沫制品，其泡孔直径为 0.03~3mm；表观密度为 0.0067~0.012；比抗张强度 150kg/cm²；压缩 25% 时的回复率大于 80%；加热时收缩率小于 50%。

有时为改善 HDPE 泡沫的成型性能，可添加一些助剂来改性。例如加入 0.1~8 份分子量为 1700 的氧化乙烯-氧化丙烯嵌段共聚物，作为发泡阻缓剂来调整反应速度。

有时添加 0.005~3 份粘土、滑石粉、二氧化硅、硬脂酸钙、硬脂酸锌等作为泡沫调节剂。

有时添加云母、碳酸盐、碳酸氢盐作为泡沫成核剂。

2.3 线性低密度聚乙烯

被称为第三代聚乙烯的线性低密度聚乙烯 (LLDPE) 树脂，除具有一般聚烯烃树脂的性能外，其抗张强度、抗撕裂强度、耐环境应力开裂性、耐低温性、耐热性和耐穿刺性，尤为优越，获得了引人注目的发展。

LLDPE 虽与过去的 LDPE 同属于同一密度范围，但由于它们之间的分子结构不同，熔融流变学行为也不同，因此他们的物理基本性质及成型加工特点也不相同。

LLDPE 是在二氧化硅为载体的铬化合物高效催化剂，或用钛、钒为载体的铬化合物的催化体系存在情况下，使乙烯与少量的阿耳法烯烃共聚（约含量 8%），形成在线性乙烯主链上，带有非常短小的共聚单体支链的分子结构。

LLDPE 的聚合工艺主要有气相聚合、溶液聚合、悬浮聚合、高压悬浮聚合等方法，目前应用最广泛的是低压气相聚合，主要是因为其成本低廉。

LLDPE 的合成工艺简单、工艺流程较短、消耗能源少、占地面积小，投资只有同规模的 LDPE 的一半左右，但产品的物理机械性能在许多方面优于 LDPE，并且具有良好的加工性能。

目前对 LLDPE 又进行了许多改性，除现在的辛烯支链产品外，还产生了乙烯/丙烯、甲基戊烯/丁烯支链的品级，乙烯支链型树脂有称为第二代、第三代新型 LLDPE。

2.3.1 基本性质

LLDPE 树脂的分子结构为线型、分支少、支链短、其分子结构与 HDPE 相似，但其密度又与 LDPE 相似。LLDPE 与 LDPE 的主要性质对照如表 1-2 所示。

表 1-2 LLDPE 与 LDPE 主要性质对照

项目 \ 品种	LLDPE	LDPE	项目 \ 品种	LLDPE	LDPE
分子量分布	窄	宽	耐环境应力龟裂性	好	差
熔点(℃)	110~125	105~115	耐热性	好	稍差
相对抗张力大小	1.5~1.75	1	耐油性	好	稍差
相对弹性率大小	1.4~1.80	1			

一般来说 LDPE 的支化度较高，在每 1000 个碳原子中含有 15~30 个甲基侧链以及少量的乙基和丁基侧链，而 LLDPE 支化度低，其结构近似于 HDPE，其侧基数在 LDPE 和 HDPE 之间约 10~20 个 (HDPE 支化度很低，每 1000 个碳原子的主链上只含有 5~7 个乙基侧链)。

LLDPE 的剪切粘度随速度增加，粘度下降，对剪切速度的依赖性小，在中等剪切速率下，LLDPE 的剪切粘度是 LDPE 的 2.5 倍，而随着剪切速度的降低，两种树脂剪切粘度的差别越来越明显，在低剪切速率范围内，LLDPE 的剪切粘度是 LDPE 的 4~5 倍。

LLDPE 的密度为 0.920~0.935g/cm³；其断裂强度为 16~33MPa；断裂伸长率为 800%~1000%；邵氏硬度为 55~57；软化点 105~113℃；脆化温度小于 -75℃；熔融指数分一般薄膜 0.9、包装薄膜 2、挤出级 0.3、滚塑级 4、注射成型级 8 等大致范围。

LLDPE 的耐环境应力龟裂性 (ESCR) 较好，在同样熔融指数下要比 LDPE 高几十倍，比 HDPE 还好。所以 LLDPE 适宜用它来制作要求耐高 ESCR 的洗涤剂或盛油性的容器。

LLDPE 的耐低温性能优于乙烯-醋酸乙烯共聚树脂 (EVA)，在 0℃ 以下，其冲击强度高于 EVA 制品 20%，而在常温时，EVA 的冲击强度高。

LLDPE 的刚性和强度均高于 LDPE。如在同一密度情况下，抗张力能高出 50%~75%，弹性率高出 40%~80%。

LLDPE 的透明性稍差于 LDPE。在制造收缩膜及挤出涂层等方面 LDPE 均优于 LLDPE，因此 LLDPE 估计只能取代三分之一的 LDPE。

2.3.2 成型加工性能

从原则上讲，加工 LDPE 的设备，均可用来加工 LLDPE，尤其是在注塑、吹塑和旋转成型时，一般用原设备即可，但是应注意到两种树脂最明显的差别在于剪切粘度，在普通挤出机内挤出薄膜时，一般剪切速度范围为 10²~10³s⁻¹，LLDPE 的粘度

较高，这时挤出成型时易发热，造成加工功率消耗大，加工温度高及生产率低，容易使LLDPE熔体破裂，造成挤出制品表面粗糙，为此需要适当加宽吹塑成型的口模，一般可宽到1.3~2.6mm。

降低LLDPE成型加工时的功率消耗，实质上是使树脂在挤出机内受到的过大剪切降低到最低程度，这时可适当加长螺杆的压缩段、缩短螺杆的均化段。例如压缩段由通用螺杆的3D（D为螺杆直径）加长到7D；均化段由通用螺杆的13D缩短到9D。

另外加深均化段的深度，采用较小的压缩比，既采用长螺杆也可以降低剪切能量的消耗。这是因为随着较平缓的锥度，固体床在压缩段逐渐变窄而熔掉，进入均化段后，不再受较强的剪切作用而产生热量，这样由熔体带出口模的热量损失要少一些。

也可采用窄模隙装置，它由加热系统制成，而这种加热系统是利用一个套在模隙边上的合金环中的连续环状加热件起作用。该系统在模隙出口处直接对聚合物进行加热，减少了界面层的粘度，降低了剪切应力，这样就可以不添加加工助剂，同时避免了熔体的破裂，不影响LLDPE的吹膜挤出生产率。

LLDPE的熔体张力较小，则其膜泡的稳定性不如LDPE的膜泡稳定性好。在同样熔融指数情况下，LDPE的熔体张力大。为改善膜泡的不稳定，可采用双风口风环。

除此以外，还可通过改变齿轮箱传动比，或提高传动马达功率等方法来改善LLDPE的高粘度造成的功率消耗大等缺点。

另外采用共混改性的方法，也能解决LLDPE的成型加工难的问题，如在其中掺混15%~30%的LDPE，就可利用现有设备生产出共混薄膜。

添加一些成型加工助剂，可以降低LLDPE的粘度作用，而且还能保持制品的主要性能指标水平。例如PPA加工母料、ACPE加工母料、脂肪酰胺与无机物复合体系等。

2.3.3 应用举例

(1) LLDPE 编织袋生产

聚丙烯编织袋缺点是低温脆性及耐老化性差，另外在涂聚乙烯膜进行复合时，两者粘性差，因此剥离强度低。采用LLDPE作编织袋原料，则可改善上述缺点。

LLDPE加工成扁丝时，工艺条件如下：螺杆转速38~55r/min；挤出机机身四段温度130℃、140℃、180℃、180℃；机头发兰温度165℃；模头温度155℃；拉伸弓板前后温度90℃、75℃；热定型温度70℃；拉伸比8；模口间隙0.8mm；单风口风环冷却；原料熔融指数1.5。

在原料中加进5%~10%的聚丙烯进行共混改性，则效果较好。

若冷却风环采用双风道，则效果更为理想。

(2) LLDPE 吹塑薄膜的生产

LLDPE熔融指数为1，密度为0.918g/cm³，添加2%~8%的降粘剂PPA。

挤出机螺杆直径90mm，长径比25:1，机头结构为螺旋式，模口直径200mm，口模间隙1.5mm。

挤出工艺条件：三段加工温度180℃、200℃、220℃，螺杆转速60r/min，吹胀比2，牵引速度31m/min。

产品宽度（折径）650mm，厚度0.03mm。

添加一定量的有机硅可提高吹塑薄膜的生产率。