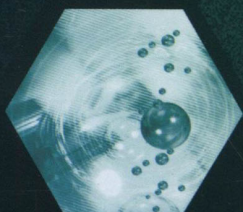


SULIAO CHENGXING WULIAO PEIZHIGONG

塑料成型物料配制工

齐贵亮 主编



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

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 $(15 \sim 30) \times 10^{-5} K^{-1}$ 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/ ($\times 10^{-5} K^{-1}$)	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/ $(\text{F/m}) (10^6 \text{ Hz})$	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 ~ 24MPa, 断裂伸长率为 50% ~ 60%, 熔融温度 $126 \sim 135^\circ\text{C}$, 熔体流动速率为 $0.1 \sim 35 \text{g/10min}$, 热变形温度 (0.46MPa) $49 \sim 74^\circ\text{C}$ 。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 (0.46MPa) 85°C , 熔点 $130 \sim 136^\circ\text{C}$ 。

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°C 时仍具有较高的冲击强度, 甚至可在 -269°C 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-烧结合成型发展为挤出、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。单一无机组分的 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、电缆电线以及滚塑制品等。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、

罐、槽等容器，或用浇注法制成槽车罐和贮罐等大型容器。

3. 管、板材

挤出法可生产聚乙烯管材，高密度聚乙烯管强度较高，适于地下铺设。挤出的板材可进行二次加工，也可用发泡挤出和发泡注射法将高密度聚乙烯制成低发泡塑料，作台板和建筑材料。

4. 纤维

聚乙烯纤维也称为乙纶，一般采用低压聚乙烯作为原料，纺制成合成纤维。乙纶主要用于生产渔网和绳索，或纺成短纤维后用作絮片，也可用于工业耐酸碱织物。超高相对分子质量聚乙烯纤维（强度可达 $3 \sim 4\text{GPa}$ ），可用作防弹背心，汽车和海上作业用的复合材料。

5. 杂品

用注射成型法生产的杂品包括日用杂品、人造花卉、周转箱、小型容器、自行车和拖拉机的零件等。制造结构件时要用高密度聚乙烯。超高相对分子质量聚乙烯适于制作减振、耐磨及传动零件。

1.1.6 聚乙烯的简易识别方法

(1) 外观印象 白色蜡状，半透明，HDPE 透明性更差，用手摸制品有滑腻感；LDPE 柔而韧，稍能伸长，HDPE 手感较坚硬。

(2) 水中沉浮 比水轻，浮于水面。

(3) 溶解特性 一般熔融后可溶于对二甲苯、三氯苯等。

(4) 受热表现 温度达 $90 \sim 135^\circ\text{C}$ 以上变软熔融， 315°C 以上分解。

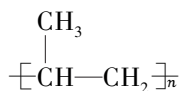
(5) 燃烧现象 易燃，离火后继续燃烧，火焰上端呈黄色，下端蓝色，燃烧时熔融滴落，发出石蜡燃烧时的气味。

1.2 聚丙烯

化学名称：聚丙烯

英文名称：Polypropylene，简称 PP

结构式：



聚丙烯是以丙烯（ $\text{CH}_3\text{—CH=CH}_2$ ）为单体，通过加聚反应得到的高分子聚合物，其反应特征一是瞬间完成，二是没有小分子化合物伴随产生。工业产品以等规聚合物为主要成分，也包括丙烯与少量乙烯的共聚物在内。聚丙烯是五大通用合成树脂中的一个重要品种，在国内外的的发展均十分迅速。因所用催

化剂和聚合工艺不同，所得聚合物性能、用途也不同。

1.2.1 聚丙烯的性能

1. 一般性能

聚丙烯为无毒、无臭、无味的乳白色高结晶的聚合物，密度只有 $0.90 \sim 0.91 \text{g/cm}^3$ ，是目前所有塑料中最轻的品种。它对水特别稳定，在水中 24h 的吸水率仅为 0.01% ，相对分子质量在 8 万 ~ 15 万之间。成型性好，但因收缩率大，厚壁制品易凹陷。制品表面光泽好，易于着色。

2. 力学性能

聚丙烯的结晶度高，结构规整，因而具有优良的力学性能，其强度和硬度、弹性都比 HDPE 高，但在室温和低温下，由于本身的分子结构规整度高，所以冲击强度较差，相对分子质量增加，冲击强度增大，但成型加工性能变差。PP 最突出的性能就是抗弯曲疲劳性，如用 PP 注射成型的铰链，能承受 7×10^7 次的折迭弯曲而无损坏痕迹，干摩擦系数与尼龙相似，但在油润滑下，不如尼龙。PP 的表面硬度在五类通用塑料中属低等，仅比 PE 好一些。当结晶度较高时，硬度也相应增加，但仍不及 PVC、PS、ABS（丙烯腈-苯乙烯-丁二烯共聚物）等。PP 和 HDPE 的力学性能比较见表 1-4。

表 1-4 PP 和 HDPE 的力学性能

性 能	PP	HDPE
邵氏硬度 (D)	95	60 ~ 70
拉伸强度/MPa	30 ~ 40	22 ~ 45
弹性模量/GPa	1.1 ~ 1.6	0.4 ~ 1.3
伸长率 (%)	> 200	20 ~ 1000
压缩强度/MPa	40 ~ 60	22.5
缺口冲击强度/ (kJ/m ²)	2.2 ~ 6.4	10 ~ 40
弯曲强度/MPa	40 ~ 56	25 ~ 40
疲劳强度 (10^7 次) /MPa	11 ~ 22	11 ~ 18

3. 热性能

PP 具有良好的耐热性，熔点在 $164 \sim 170^\circ\text{C}$ ，制品的长期使用温度可达 $100 \sim 120^\circ\text{C}$ ，能在 100°C 以上消毒灭菌，在不受外力的情况下，短期使用温度可达 150°C 。PP 的玻璃化温度 (T_g) 约为 -10°C ，高于 PE，因而低温脆性大，在 T_g 以下易脆裂，耐寒性不如聚乙烯。

PP 的绝热性较好，热导率仅为 HDPE 的 $1/5 \sim 1/3$ ，是理想的绝热材料，但

阻燃性较差。PP 和 HDPE 的热性能比较见表 1-5。

表 1-5 PP 和 HDPE 的热性能

性 能	PP	HDPE
熔点/℃	164 ~ 170	126 ~ 137
热变形温度 (0.45MPa) /℃	95 ~ 115	60 ~ 75
脆化温度/℃	-30 ~ -10	-78
维卡软化点/℃	150	125
线膨胀系数/ ($\times 10^{-5} \text{K}^{-1}$)	6 ~ 10	11 ~ 13
氧指数 (%)	18	—

4. 电性能

PP 属于非极性聚合物，具有良好的电绝缘性，且 PP 吸水性极低，电绝缘性不会受到湿度的影响。PP 的介电常数、介质损耗因数都很小，不受频率及温度的影响。PP 的介电强度很高，且随温度的上升而增大，可用来制作受热的电气绝缘制品，它的击穿电压也很高，适合用作电器配件等。另外，PP 的表面电阻很高，在一些场合使用必须先进行抗静电处理。PP 和 HDPE 的电性能比较见表 1-6。

表 1-6 PP 和 HDPE 的电性能

性 能	PP	HDPE
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	$\geq 10^{16}$	$\geq 10^{16}$
介电常数/ (F/m) (10^6Hz)	2.2 ~ 2.6	2.30 ~ 2.35
介质损耗因数 (10^6Hz)	0.0002 ~ 0.0004	0.0002 ~ 0.0005
介电强度/ (kV/mm)	20 ~ 28	18 ~ 28
耐电弧性/s	135 ~ 185	—

5. 化学稳定性

PP 的化学稳定性优异，对大多数酸、碱、盐、氧化剂都显惰性。例如在 100℃ 的浓磷酸、盐酸、40% 硫酸及其盐类溶液中都是稳定的，只有少数强氧化剂如发烟硫酸等才可能对其产生侵蚀。PP 是非极性化合物，对极性溶剂十分稳定，如醇、酚、醛、酮和大多数羧酸都不会使其溶胀，但在部分非极性有机溶剂中容易软化或溶胀。因此，聚丙烯适合制作各种化工管道和配件，防腐蚀效果良好。

6. 耐候性

PP 分子中存在叔碳原子，在光和热的作用下极易断裂降解。未加稳定剂的 PP 在 150℃ 下加热 0.5h 以上，或在阳光充足的地方曝晒 12d 就会明显变脆。未加稳定剂的 PP 粉料在室内避光放置 4 个月也会严重降解，散发出明显的酸味。

在 PP 粉料造粒之前加入 0.2% 以上的抗氧剂，可以有效地防止 PP 在加工和

使用过程中的降解老化。抗氧剂分为游离基链反应终止剂（也称主抗氧剂）和过氧化物分解剂（也称辅抗氧剂）两大类，主、辅两类抗氧剂的合理配合，将会发挥良好的协同效果。目前推荐使用的 B215 抗氧剂就是主抗氧剂 1010（酚类）和辅抗氧剂 168（亚磷酸酯）按 1:2 的比例复配而成的。

为防止光老化需要在 PP 中加入紫外线吸收剂，它可将波长 290 ~ 400nm 的紫外线吸收激化转化为没有破坏性的较长波长的光线。

对于埋在土壤中或在室内避光使用的 PP 塑料制品，仅加入主辅抗氧剂即可，无需加入紫外线吸收剂。

PP 与其他塑料性能比较见表 1-7。

表 1-7 PP 与其他几种主要的通用塑料的性能比较

塑料种类	PP	PE	PVC	PS	ABS
密度	最小	小于水	较大	略高于水	略高于水
刚性	较好	差	好	好	好
韧性	低温下差	好	差	差	好
强度	较高	低	较高	高	高
耐热性	好	一般	差	较差	较差
化学稳定性	好	好	好	好	好
耐候性	差	差	一般	一般	较差
毒性	无毒	无毒	可以无毒	无毒	无毒
粘合剂粘合性	差	差	好	一般	一般
热合性	一般	好	一般	一般	一般
成型加工性	好	好	一般	好	好

1.2.2 聚丙烯的分类

1. 按甲基排列位置分

聚丙烯按甲基（ $-\text{CH}_3$ ）排列位置可分为等规聚丙烯（isotactic Poly propylene，缩写为 IPP）、无规聚丙烯（atactic Poly propylene，缩写为 APP）和间规聚丙烯（syndiotactic Poly propylene，缩写为 SPP）三种。

（1）等规聚丙烯（全同立构聚丙烯） 从立体化学来看，IPP 分子中每个含甲基（ $-\text{CH}_3$ ）的碳原子都有相同的构型，即如果把主链拉伸，使主链的碳原子排列在主平面内，则所有的甲基（ $-\text{CH}_3$ ）都排列在主平面的同一侧。等规聚丙烯为高度结晶的热塑性树脂，结晶度高达 95% 以上，相对分子质量在 8 万 ~ 15 万之间。我国各石化企业生产的均聚聚丙烯都属于等规聚丙烯，典型产品如北京燕山石化的 PP2401，扬子石化的 F401，齐鲁石化的 T30S 等。

(2) 间规聚丙烯 从立体化学来看, SPP 分子中含有甲基 ($-\text{CH}_3$) 的碳原子分为两种不同构型且交替排列, 如把主链拉伸, 使主链的碳原子排列在主平面内, 则所有的甲基 ($-\text{CH}_3$) 交替排列在主平面的两侧。SPP 是高弹性的热塑性塑料, 有良好的拉伸强度, 它可以像乙丙橡胶那样进行硫化成为弹性体, 力学性能优于一般不饱和橡胶。

(3) 无规聚丙烯 从立体化学来看, APP 主链上所连甲基 ($-\text{CH}_3$) 在主平面上下两方呈无规则排列。纯 APP 为典型的非晶态高分子材料, 相对分子质量低 (3000 ~ 10000), 内聚力较小, 玻璃化温度低, 常温下呈橡胶状态, 而高于 50°C 时即可缓慢流动。APP 是 IPP 生产过程中的副产物, 我国的科技人员曾将其用于制作碳酸钙填充母料的载体树脂, 后来经北京燕山石化技术改造, 改变了聚丙烯生产工艺, 副产物 APP 的来源枯竭, 碳酸钙填充母料用的载体树脂转向其他高分子材料, 但 APP 作为一种聚合物, 仍然有其独特之处, 至今仍有一些进口的 APP 在许多领域使用, 这些 APP 已不再是 IPP 生产过程中的副产物, 而是特殊工艺制造出的真正意义上的无规聚丙烯。

一般生产的聚丙烯树脂中, 等规结构的含量 (称等规度) 约为 95%, 其余为无规或间规聚丙烯。我国现生产的聚丙烯树脂按熔体流动速率和所加入的助剂分类, 表 1-8 中列举了聚丙烯树脂的主要型号。

表 1-8 聚丙烯的主要型号

型号		熔体流动速率 (MFR) / (g/10min)	等规度 (%)	拉伸强度/MPa
吹塑	1200	0.4 ~ 0.7	96 ~ 98	25.5
	1230	0.4 ~ 0.7	96 ~ 98	25.5
注射	1700	10 ~ 14	95 ~ 97	25.5
	1400	2.5 ~ 4	96 ~ 98	29.4
	1300	0.8 ~ 1.4	96 ~ 98	28.4
	1730	10 ~ 15	95 ~ 97	25.5
	1630	8 ~ 11	95 ~ 97	23.5
	1330	1.5 ~ 2.5	95 ~ 97	21.1
	2600	9.5 ~ 12	96 ~ 98	30.4
薄膜、单丝	2601	5.5 ~ 8.5	96 ~ 98	30.4
	2630	8.5 ~ 11	96 ~ 98	23.5
	2635	8.5 ~ 11	96 ~ 98	23.5
	2705	12 ~ 14	96 ~ 98	31.4
	2402	2.0 ~ 3.5	96 ~ 98	29.4
	2302	1.2 ~ 2.0	96 ~ 98	28.4

(续)

型号	熔体流动速率 (MFR) / (g/10min)	等规度 (%)	拉伸强度/MPa
纤维	3701	12 ~ 15	96 ~ 98
	3600	5.5 ~ 8.5	96 ~ 98
	3400	2.0 ~ 3.5	96 ~ 98
	3401	4.5 ~ 6.5	96 ~ 98

注：为北京燕山石油化学工业总公司产品。

2. 按聚合工艺分

等规聚丙烯的聚合可以分为泥浆法、本体法、溶液法和气相等几种方法。目前，由于气相法聚合物以固态粒子形式存在，没有溶剂参与，也不必脱出催化剂残渣，故占据主导地位。具有我国自主知识产权的液相本体法聚合而成的聚丙烯产品为粉状，俗称小本体聚丙烯或称粉状聚丙烯，它是以炼油厂尾气中提取的丙烯为原料聚合而成的。由于直接以粉状产品出售，没有加入抗氧剂等助剂，故存放时间受到限制。粉状聚丙烯的相对分子质量分布比较宽，由于是一釜一釜间歇操作，树脂的性能相互之间差别较大，因此在使用时往往仅作为部分基体树脂使用，以求降低成本，或者经过改性再加以使用。

3. 按用途分

按用途可以分为扁丝（窄带）、纤维、薄膜、挤塑、吹塑、注射等级别。以上海石化股份有限公司生产的聚丙烯为例，各种用途的聚丙烯树脂的主要牌号及性能指标见表1-9。

表1-9 上海石化公司生产的几种聚丙烯树脂的性能

用 途	牌 号	熔体流 动速率 / (g/10min)	拉伸 强度 /MPa ≥	悬臂梁冲 击强度 / (J/m) ≥	弯曲模量 /GPa ≥	维卡软 化点 /℃
扁丝	T300	3.0	31.0	25.5	1.3	150
撕裂膜	Y180L	1.8	31.0	23.5	1.3	—
注射（均聚）	M030	0.3	28.4	68.6	1.2	—
	M150	1.5	29.0	19.0	—	150
	M300	3.0	30.0	17.0	—	150
	M700	7.0	30.5	15.0	—	150
	M1600	16.0	31.4	19.6	1.3	—
	M2600	26.0	18.5	19.6	—	150

(续)

用 途		牌 号	熔体流 动速率 /（g/10min）	拉伸 强度 /MPa ≥	悬臂梁冲 击强度 /（J/m） ≥	弯曲模量 /GPa ≥	维卡软 化点 /℃
注射 （共聚）	周转箱 蓄电池壳 洗衣机内桶	M150R	1.5	21.6	29.5	0.9	—
		M700R	7.0	24.5	29.5	1.1	—
		M2101R	21.0	19.6	39.2	1.2	—
		M3000R	30.0	19.6	35.3	1.2	—
流延膜（无规共聚）		F800E	8.0	25.0	17.6	0.82	—
流延膜及管膜（均聚）		F850EA	8.5	25.0	17.6	0.80	132
吹塑薄膜（均聚）		1900	9.0	31.0	23.5	1.20	—
热收缩膜（无规共聚）		1180E	1.8	23.5	19.6	0.63	—
双向拉伸膜（三元无规共聚）		F500EP	5.0	19.5	35.0	0.43	112
双向拉伸膜（均聚）		F180	1.8	31.0	25.5	1.30	—
		F280	2.8	31.0	25.5	1.20	150
纺丝（烟过滤嘴）		Y2600T	26.0	32.0	16.0	1.30	—

4. 按单体种类分

按单体种类分为均聚聚丙烯和共聚聚丙烯。均聚聚丙烯是指在聚丙烯主链上只有一种链节，而共聚聚丙烯在主链上除丙烯链节外还分布着其他单体反应后形成的链节。共聚聚丙烯在很大程度上可以改变聚丙烯的性能。

丙烯和乙烯共聚的聚丙烯又可分为嵌段共聚和无规共聚两种，其英文缩写分别为 PP-B 和 PP-R。

PP-B 是在单一的丙烯聚合后除去未反应的丙烯，再与乙烯聚合而得到的，实际上是由聚丙烯、聚乙烯和末端嵌段共聚物组成的混合物，它既保持了一定程度的刚性，又提高了聚丙烯的抗冲击性能，特别是低温抗冲击性能，但透明度和光泽度下降明显。

PP-R 是将丙烯及乙烯单体混合在一起聚合，在聚合物主链上无规则地分布着丙烯单体或乙烯单体反应后的链段。乙烯链段的存在使共聚物无法结晶，即使乙烯含量很少，也会使聚丙烯的结晶能力大大降低。例如含 3% 乙烯时，聚丙烯的玻璃化温度下降 11℃，如果用此种聚丙烯为原料制成薄膜，其最低使用温度可降低 10℃ 左右。PP-R 的特征是结晶度低、透明性好，较均聚聚丙烯 (PP-H)，在同样的熔体流动速率情况下，PP-R 的脆化温度显著降低，冲击强度也有所提高。

我国北京燕山石化公司生产的嵌段共聚聚丙烯主要牌号和性能见表 1-10。

表 1-10 北京燕山石化公司生产的 PP-B 牌号与性能

牌号	熔体流动速率 / (g/10min)	拉伸强度 /MPa	断裂伸长率 (%)	弯曲模量 /MPa	悬臂梁冲击强度 (缺口) / (J/m)	热变形温度 /℃	脆化温度 /℃
PP—CM—015	1.5 ~ 2.5	23	200	850	100	90	-25
PP—CM—030	2 ~ 3	25	400	1050	50	100	—

1.2.3 聚丙烯的成型加工

聚丙烯的成型加工性好。PP 属于结晶型聚合物，不到一定温度其颗粒不会熔融，不像 PE 或 PVC 那样在加热过程中随着温度升高而软化。一旦达到某一温度，PP 颗粒迅速融化，在几度范围内就可全部转化为熔融状态。PP 的熔体粘度比较低，因此成型加工流动性良好，特别是当熔体流动速率较高时熔体粘度更小，适合于大型薄壁制品注射成型，例如洗衣机内桶。

PP 在离开口模后，如果是在空气中缓慢冷却，就会生成较大的晶粒，制品透明度低。如果是在水中急冷（如下吹水冷法制薄膜），PP 的分子运动被急速冷冻，不能生成晶体，此时的薄膜就是完全透明的。

PP 的成型收缩率比较大，达到 2% 以上，远大于 ABS 塑料（0.5%）。PP 的成型收缩率随着添加其他材料的种类及添加量而变化，在制作具有配合尺寸的注射制品时需认真加以考虑。

PP 成型的方法很多，如注射、吹塑、真空热成型、涂覆、旋转成型、熔接、机加工、电镀和发泡等，并可在金属表面喷涂。其中采用注射成型的比例大。注射成型工艺条件：

（1）注塑机选用 对注塑机的选用没有特殊要求。由于 PP 具有高结晶性，需采用注射压力较高及可多段控制的注塑机。锁模力一般按 $3800t/m^2$ 来确定，注射量 20% ~ 85% 即可。

（2）干燥处理 如果储存适当则不需要干燥处理。

（3）熔化温度 PP 的熔点为 160 ~ 175℃，分解温度为 350℃，但在注射加工时温度设定不能超过 275℃。熔融段温度最好在 240℃。

（4）模具温度 模具温度 50 ~ 90℃，对于尺寸要求较高的用高模温。型芯温度比型腔温度低 5℃ 以上。

（5）注射压力 采用较高注射压力（68.6 ~ 137.2MPa）和保压压力（约为注射压力的 80%）。大概在全行程的 95% 时转保压，用较长的保压时间。

（6）注射速度 为减少内应力及变形，应选择高速注射，但有些等级的 PP 和模具不适用（出现气泡、气纹）。如刻有花纹的表面出现由浇口扩散的明暗相

间条纹，则要用低速注射和较高模温。

(7) 流道和浇口 流道直径 4~7mm，针形浇口长度 1~1.5mm，直径可小至 0.7mm。扁形浇口长度越短越好，约为 0.7mm，深度为壁厚的一半，宽度为壁厚的两倍，并随型腔内的熔体流动长度逐渐增加。模具必须有良好的排气性，排气孔深 0.025~0.038mm、厚 1.5mm，若想避免收缩痕，就要用大而圆的注口及圆形流道，加强筋的厚度要小（例如加强筋厚度是壁厚的 50%~60%）。均聚 PP 制造的产品，厚度不能超过 3mm，否则会有气泡（厚壁制品只能用共聚 PP）。

(8) 制品的后处理 为防止后结晶产生的收缩变形，制品一般需经热水浸泡处理。

聚丙烯的二次加工性很好，其印刷性比聚乙烯好，照相凸版、胶版、平凹板等印刷方法均可使用，要获得良好的耐热、耐油、耐水等要求的印刷性能，需经电晕放电等处理后再行印刷。

1.2.4 聚丙烯的改性

针对聚丙烯在低温下的抗冲击性能差、耐候性不佳、表面装饰性差，以及在电、磁、光、热、燃烧等方面的功能性与实际需要的差距，可通过填充、增强、共混、共聚、交联等来对聚丙烯加以改性。如添加碳酸钙、滑石粉、无机矿物质等填料，可提高刚性、硬度、耐热性和尺寸稳定性；添加玻璃纤维、石棉纤维、云母、玻璃微珠等可提高拉伸强度，并可改善抗蠕变性、低温抗冲击性；添加弹性体和橡胶等可提高冲击性能、透明性等。

1. 填充

在塑料中添加相对廉价的非金属矿粉体材料或其他材料，可以降低塑料制品的原材料成本，同时还能使塑料材料某些性能得到改善，通常使用的填充材料有碳酸钙（轻钙、重钙）、滑石粉、云母粉、高岭土、硅灰石粉、氢氧化铝、氢氧化镁或水镁石粉、沉淀硫酸钡或重晶石粉等。其他填充材料有木粉、炭黑、金属粉末等。表 1-11 列出了几种主要填充材料及在聚丙烯塑料中的改性效果。

表 1-11 几种主要填料及对 PP 改性效果

填料种类	改性效果
碳酸钙（重钙、轻钙）	增量降低成本，提高抗冲击性能，改善印刷性
滑石粉（片状）	增量降低成本，提高刚性和耐热性，提高尺寸稳定性
云母粉（片状）	显著提高刚性和耐热性，提高尺寸稳定性和耐高温蠕变性
煅烧高岭土	提高电绝缘性
硅灰石（针状）	有一定增强效果，提高表面硬度

(续)

填料种类	改性效果
沉淀硫酸钡（重晶石粉）	提高制品表面光泽，增大材料密度
氢氧化铝、氢氧化镁（水镁石粉）	作为阻燃剂使用，达到填充，阻燃，消烟三重效果
炭黑	制作导电塑料，达到永久抗静电效果，提高耐光照老化性
金属粉末	制作导电塑料，达到永久抗静电效果
木粉	降低成本，有利资源再生利用
石墨、二硫化钼、聚四氟乙烯	提高润滑性，减小摩擦力

填充改性中也存在填料在聚丙烯基体中的分布、分散是否均匀的问题，同时填料颗粒表面需经适当处理才能与非极性聚丙烯的分子有较好的亲合性。填料的表面处理方法及处理剂的选择是决定填充改性成败的关键。

2. 增强

纤维状材料加入到塑料中，可以显著提高塑料材料的强度；大径厚比的材料可以显著提高塑料材料的弯曲模量（刚性）。玻璃纤维是主要的增强材料，可以显著提高 PP 塑料的拉伸强度。玻璃纤维含量一般不超过 40%，一般认为在纤维长度大于 0.2mm 时有改性效果，玻璃纤维的直径在十几微米时效果较好。玻璃纤维含量增大时，增强 PP 的加工流动性相应下降，但仍属流动性较好的塑料。

由于玻璃纤维增强 PP 可以提高力学强度和耐热性，且玻璃纤维增强 PP 的耐水蒸气性、耐化学腐蚀性和耐蠕变性都很好，在许多场合可以作为工程塑料使用，如风扇叶片、暖风机格栅、叶轮泵、灯罩、电炉和加热器外壳等。

3. 共混

以聚丙烯为主体的共混改性可以达到的效果见表 1-12。

表 1-12 PP 共混改性使用的添加物及改性效果

改性效果	改性用添加物
提高抗低温冲击性	乙丙橡胶、EPDM ^① 、POE、EVA、SBS ^②
提高透明性	LDPE、乙丙橡胶、POE
提高着色性	聚酰胺、聚氨酯、聚丙烯酰胺、聚丙烯酸酯、聚酯、聚偏二氯乙烯
提高气密性（气体阻隔性）	聚酰胺、聚偏二氯乙烯
改进抗静电性	聚乙烯醇

① 三元乙丙橡胶。

② 苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物。

在共混改性中必须注意不同聚合物之间的相容性，通过各种聚合物的溶解

度参数可判断其相容性，见表 1-13。

表 1-13 一些聚合物的溶解度参数

高聚物	溶解度参数	
	实测值	理论值
聚四氟乙烯	—	6.2
聚乙烯	7.9	8.1
聚丙烯	—	8.1
乙丙橡胶（乙烯: 丙烯 = 65: 35）	—	8.1
聚异丁烯	8.05	7.7
天然橡胶	7.9	8.15
聚丁二烯	8.4 ~ 8.6	8.38
丁苯橡胶 丁二烯: 苯乙烯 = 85: 15 丁二烯: 苯乙烯 = 75: 25	8.5	8.4
	8.6	8.54
聚苯乙烯	9.1	9.12
丁腈橡胶（丁二烯: 丙烯腈 = 75: 25）	9.4 ~ 9.5	9.25
氯丁橡胶	9.25	9.38
聚甲基丙烯酸甲酯	9.0 ~ 9.5	9.25
聚醋酸乙烯	—	9.4
乙烯-醋酸乙烯共聚体（乙烯: 醋酸乙烯 = 86: 14）	—	8.17
聚氯乙烯	9.5	9.6
聚碳酸酯	—	9.8
聚偏二氯乙烯	—	9.8
聚对苯二甲酸乙二醇酯	10.9	10.7
纤维素二醋酸酯	—	11.35
硝酸纤维素	—	10.48
聚丙烯腈	—	12.75

在相容性较差的两种聚合物共混时，往往需要加入分别和两种聚合物相容性都好的第三组分，称之为相容剂。例如聚丙烯和尼龙 6 的相容性极差，单靠机械的力量不能把二者混匀，此时如加入少许已经接枝有马来酸酐的聚丙烯，由于马来酸酐与尼龙 6 的酰胺基团可发生化学反应，就可以大大改善聚丙烯和尼龙 6 的相容性。

共混改性中需要注意的是，只有形成不完全相容的多相体系，同时又能使两种聚合物达到相互均匀分散时，才能达到预期的改性效果。

4. 共聚

共聚是化学改性的重要手段。除前面丙烯与乙烯单体共聚外,丙烯还可以与氯乙烯、丙烯酸等单体共聚,还可以在 PP 主链上接枝上化学结构与主链完全不同的聚合物链段,称之为接枝共聚。如果接枝的聚合物带有极性基团,可以改善 PP 的粘接特性,以至于在熔融后能牢固地与聚酰胺(尼龙)、金属、玻璃、木材、纸等材料粘合在一起。日本石油化学公司的 QF305 就是可用于 PA(聚酰胺)/PP 复合膜(管)的粘合性树脂, QF500 和 QF551 则可用于 EVOH(乙烯-乙烯醇共聚物,阻隔性极好)/PP 复合膜(板)的粘合。

5. 氯化或酯化

如果在 PP 主链上通过化学反应接枝上氯(Cl)或其他极性基团,同样可以改变 PP 的极性。氯化聚丙烯(CPP)就是将 PP 溶于有机溶剂中,加入少量引发剂(如偶联二异丁腈),在常压和 60℃ 条件下通氯气使之氯化,也可采用悬浮法或悬浮溶剂法氯化。CPP 的氯含量可达 20%~40%,有较高的硬度、较好的耐磨性、耐化学腐蚀性,耐热、耐光、耐老化,还使 PP 具有一定的难燃性。CPP 开发的主要目的是作为油墨的载体使用,这种油墨可直接用于 PP 薄膜或其他制品的印刷。

用马来酸酐或丙烯酸接枝 PP 大大改变了 PP 的极性,所得产物可用作增韧改性剂、相容剂使用。上海日之升新技术发展有限公司的马来酸酐接枝 PP 产品牌号及应用情况见表 1-14。

表 1-14 马来酸酐(MA)接枝 PP 的牌号和用途

牌号	接枝率 (%)	熔体流动速率 /(g/10min)	应 用
CMG9701	0.5	50	填充体系化学偶联和增容; PP/PA 共混相容剂; 改善极性和可漆性、印刷性、颜料分散性; * 可与增强 PP 混合后直接注射成型
CMG9801 *	1	≥100	

1.2.5 聚丙烯的应用

(1) 薄膜制品 聚丙烯薄膜制品透明而有光泽,对水蒸气和空气的渗透性小,它分为吹塑薄膜、流延薄膜(CPP)、双向拉伸薄膜(BOPP)等。

(2) 注射制品 可用于汽车、电气、机械、仪表、无线电、纺织、国防等工程配件,日用品,周转箱,医疗卫生器材,建筑材料。

(3) 挤出制品 可做管材、型材、单丝、渔用绳索、打包带、捆扎绳、编织袋、纤维、复合涂层、片材、板材等。

(4) 中空制品 可吹塑成型各种小型容器等。

(5) 其他 低发泡钙塑板、合成木材、层压板、合成纸,高发泡可作结构泡沫体。

1.2.6 聚丙烯的简易识别方法

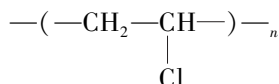
- (1) 外观印象 白色蜡状，半透明，手感较 HDPE 坚硬。
- (2) 水中沉浮 比水轻，浮于水面。
- (3) 溶解特性 室温下不溶于任何溶剂，高温下溶于或部分溶于正己烷、苯乙烯、二氯甲烷等。
- (4) 受热表现 温度达 160 ~ 175℃ 以上熔融，熔融过程中逐渐呈透明状，315℃ 以上分解。
- (5) 燃烧现象 易燃，离火后继续燃烧，火焰上端黄色，下端蓝色，有少量黑烟，燃烧后熔融滴落并发出石油气味。

1.3 聚氯乙烯

化学名称：聚氯乙烯

英文名称：Polyvinyl chloride polymer，简称 PVC

分子结构式：



聚氯乙烯由氯乙烯单体通过自由基聚合而成，聚合度（ n ）一般在 500 ~ 20000 范围内，工业生产的 PVC 相对分子质量一般在 5 万 ~ 12 万范围内，具有较大的分散性。它是当今世界上深受喜爱、颇为流行并且也被广泛应用的一种合成材料。它的全球使用量在各种合成材料中高居第二。

1.3.1 聚氯乙烯的性能

1. 一般性能

聚氯乙烯本色为微黄色半透明状，有光泽。纯聚氯乙烯的密度为 $1.4\text{g}/\text{cm}^3$ ，加入了增塑剂和填料等的聚氯乙烯塑件的密度一般为 $1.15 \sim 2.00\text{g}/\text{cm}^3$ 。无固定熔点，80 ~ 85℃ 开始软化，130℃ 变为粘弹态，160 ~ 180℃ 开始转变为粘流态。透明度优于聚乙烯、聚丙烯，差于聚苯乙烯。随助剂用量不同，分为软、硬聚氯乙烯，软制品柔而韧，手感粘，硬制品的硬度高于低密度聚乙烯，而低于聚丙烯，在屈折处会出现白化现象。

2. 力学性能

由于 PVC 是极性聚合物，分子间作用力较大，PVC 塑料表现出良好的力学性能。力学性能的数值不仅取决于相对分子质量的大小，与所添加塑料助剂的种类及数量也有关。根据在 PVC 树脂中加入增塑剂量的多少，把 PVC 塑料分为

硬质 PVC (UPVC) 和软质 PVC (SPVC)。通常在 100 质量份 PVC 树脂中 UPVC 的增塑剂用量在 5 质量份以下, SPVC 的增塑剂用量大于 25 质量份, 介于二者之间为半硬质 PVC。相对分子质量相同的 PVC, 随着增塑剂含量的增加, 拉伸强度、硬度、刚性降低, 冲击强度、韧性提高。随着相对分子质量的增加, PVC 材料的拉伸强度、撕裂强度提高, 回弹性、耐磨性增强。UPVC 的拉伸强度、刚度、硬度等力学强度较高, SPVC 具有较高的断裂伸长率, 柔韧好。PVC 塑料力学性能见表 1-15。

表 1-15 PVC 塑料力学性能

性 能	硬质 PVC	软质 PVC
邵氏硬度	D75 ~ 85	A50 ~ 95
拉伸强度/MPa	35 ~ 55	10 ~ 24
弹性模量/GPa	2.5 ~ 4.2	—
压缩强度/MPa	55 ~ 90	6.2 ~ 11.7
缺口冲击强度/ (kJ/m ²)	22 ~ 108	随增塑剂而异
弯曲强度/MPa	80 ~ 110	—

3. 热性能

PVC 是无定形聚合物, 其玻璃化转变温度 (T_g) 为 80 ~ 85℃, 在此温度下 PVC 开始软化, 随温度的升高, 力学性能逐渐丧失。 T_g 是 PVC 理论使用温度的上限, 但实际应用中, PVC 的长期使用温度不宜超过 65℃。PVC 的热稳定性差, 热降解温度为 200 ~ 210℃, 受热分解脱出氯化氢 (HCl) 气体, 并形成多烯结构, PVC 加热到 100℃ 就开始脱 HCl, 达到 130℃ 时, 较严重, 超过 150℃, 生成的 HCl 加速 PVC 的降解, 则脱 HCl 十分迅速。与此同时, PVC 的颜色也发生变化, 变化过程为: 白→微红→粉红→浅黄→褐色→红棕→红黑→黑色, 并伴随着力学性能和化学性能降低。PVC 的耐寒性较差, 在低温下 PVC 制品变硬、变脆, 一般 PVC 的使用温度下限为 -15℃, 软 PVC 的使用温度下限为 -30℃。PVC 的阻燃性能较好, 离火自熄。PVC 塑料热性能见表 1-16。

表 1-16 PVC 塑料的热性能

性 能	硬质 PVC	软质 PVC
玻璃化转变温度/℃	80 ~ 85	随增塑剂而异
热降解温度 (氮气) /℃	200 ~ 210	200 ~ 210
热变形温度 (0.45MPa) /℃	54 ~ 79	随增塑剂而异
线性膨胀系数/ (× 10 ⁻⁵ K ⁻¹)	5 ~ 18	7 ~ 25
热导率/ [W/ (m · K)]	0.126 ~ 0.293	0.126 ~ 0.167
氧指数 (%)	45	23 ~ 40

4. 电性能

PVC 电性能良好，是体积电阻率和介电强度较高、介质损耗因数较小的电绝缘材料之一。但由于热稳定性差，分子链具有极性，因而随环境温度升高电性能下降；温度不变时，随着电场频率的增强，体积电阻率下降，介质损耗因数增大。因此，PVC 塑料一般只能作为低频绝缘材料使用。PVC 塑料电性能见表 1-17。

表 1-17 PVC 塑料电性能

性能	硬质 PVC	软质 PVC
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	$10^{12} \sim 10^{16}$	$10^{11} \sim 10^{14}$
介电常数/ (F/m) (10^6Hz)	2.8 ~ 3.1	3.3 ~ 4.5
介电强度/ (kV/mm)	9.85	14.7 ~ 29.5
介质损耗因数 (10^6Hz)	0.006 ~ 0.019	0.04 ~ 0.14
耐电弧性/s	60 ~ 80	—

5. 化学稳定性

PVC 具有良好的化学稳定性。在常温下可耐任何浓度的盐酸、90% 以下的硫酸、50% ~ 60% 的硝酸和 20% 以下的烧碱溶液，具有一定的耐化学腐蚀性；对盐类相当稳定，但能溶解于醚、酮、氯化脂肪烃和芳香烃等有机溶剂。PVC 的耐化学药品性随温度的升高而降低，当温度超过 60℃ 以后，耐强酸的性能明显下降。硬质 PVC 对某些化学介质的稳定性见表 1-18。

表 1-18 硬质 PVC 的化学稳定性

化学介质	浓度 (%)	质量变化 (%)	拉伸强度保持率 (%)	外观变化
硫酸	30	0.007	90.0	无
盐酸	31	0.017	90.4	紫红
磷酸	85	-0.136	92.4	灰
铬酸	30	0.011	94.2	无
醋酸	80	0.004	88.6	无
氢氧化钠	30	-0.042	94.2	无
磷酸钠	饱和	0.043	95.3	无
氯化钠	饱和	0.005	90.9	无
氢氧化铵	25	0.200	90.8	淡灰
甲醛	37	0.020	94.5	发白，失去光泽
乙醇	95	0.020	90.8	无
汽油	120 [#]	-0.026	91.4	无

(续)

化学介质	浓度 (%)	质量变化 (%)	拉伸强度保持率 (%)	外观变化
苯	一天后, 分层失光			
丙酮	2h 即发白、分层			
乙酸乙酯	2h 即发白、分层			
氯磺酸	0.5h 后全部炭化			

注：试样为国产硬质 PVC 板材，条件为室温、360d。

PVC 的化学稳定性与聚合方法、相对分子质量大小、增塑情况有关。悬浮聚合 PVC 树脂的耐溶剂性优于乳液聚合 PVC 树脂；树脂相对分子质量增加，溶解度减小；增塑后耐溶剂性变差。

6. 卫生性

聚氯乙烯是由聚氯乙烯树脂、增塑剂和防老剂组成的树脂，其本身并无毒性，但所添加的增塑剂、防老剂等主要辅料有毒性。日用聚氯乙烯塑料中的增塑剂，主要使用对苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二辛酯等，这些化学品都有毒性。聚氯乙烯的防老剂硬脂酸铅盐也是有毒的。含铅盐防老剂的聚氯乙烯制品和乙醇、乙醚及其他溶剂接触会析出铅。含铅盐的聚氯乙烯用作食品包装与油条、炸糕、炸鱼、熟肉类制品、糕点类食品接触，就会使铅分子扩散到油脂中去，所以不能使用聚氯乙烯塑料袋盛装食品，尤其不能盛装含油类的食品。

另外，聚氯乙烯塑料制品在较高温度下，如 50℃ 左右就会慢慢地分解出氯化氢气体，这种气体对人体有害，因此聚氯乙烯制品不宜作为食品的包装物。

1.3.2 聚氯乙烯的分类及表示方法

1. 聚氯乙烯的分类

根据生产方法的不同，PVC 可分为通用型 PVC 树脂、高聚合度 PVC 树脂、交联 PVC 树脂。通用型 PVC 树脂是由氯乙烯单体在引发剂的作用下聚合形成的；高聚合度 PVC 树脂是指在氯乙烯单体聚合体系中加入链增长剂聚合而成的树脂；交联 PVC 树脂是在氯乙烯单体聚合体系中加入含有双烯和多烯的交联剂聚合而成的树脂。

根据氯乙烯单体的获得方法来区分，可分为电石法、乙烯法和进口（二氯乙烷、氯乙烯单体）单体法（习惯上把乙烯法和进口单体法统称为乙烯法）。

根据聚合方法，聚氯乙烯可分为四大类：悬浮法聚氯乙烯，乳液法聚氯乙烯、本体法聚氯乙烯、溶液法聚氯乙烯。悬浮法聚氯乙烯是目前产量最大的一个品种，占 PVC 总产量的 80% 左右。表 1-19 列出了这四种聚氯乙烯的基本特性。

表 1-19 聚氯乙烯树脂

品种	悬浮法	乳液法	本体法	溶液法
特性	不含金属离子，有良好的电绝缘性及热稳定性	颗粒较细，含杂质较多，电绝缘性及热稳定性不及悬浮法	含杂质极少纯度高。热稳定性和电绝缘性优于悬浮法	含杂质极少纯度高，成本高，价格高。聚合物的相对分子质量不高

2. 聚氯乙烯的命名

悬浮法聚氯乙烯按绝对粘度（指 1% PVC 树脂的 1，2-二氯乙烷溶液，20℃测定的粘度）分 6 个型号：XS—1、XS—2 …… XS—6；XJ—1、XJ—2 ……、XJ—6。型号中各字母的意思：X——悬浮法；S——疏松型；J——紧密型；国产悬浮法聚氯乙烯的特性见表 1-20。

表 1-20 悬浮法聚氯乙烯树脂

树脂型号	绝对粘度/mPa · s	平均聚合度
XS-1 XJ-1	>2. 10	≥1340
XS-2 XJ-2	1. 90 ~ 2. 10	1110 ~ 1340
XS-3 XJ-3	1. 80 ~ 1. 90	980 ~ 1110
XS-4 XJ-4	1. 70 ~ 1. 80	850 ~ 980
XS-5 XJ-5	1. 60 ~ 1. 70	720 ~ 850
XS-6 XJ-6	1. 50 ~ 1. 60	590 ~ 720

悬浮法聚氯乙烯按粘数（指浓度为 0. 005kg/L 的 PVC 环己酮溶液，25℃时测定的粘度值）分 7 个型号，见表 1-21。

表 1-21 悬浮法 PVC 树脂型号与用途

型号	粘数/（L/kg）	级别	用 途
PVC SG1	144 ~ 154	一级 A	高级电绝缘材料
PVC SG2	136 ~ 143	一级 A	电绝缘材料、薄膜
		一级 B、二级	一般软制品
PVC SG3	127 ~ 135	一级 A	电绝缘材料、农用薄膜、人造革
		一级 B、二级	全塑凉鞋

(续)

型号	粘度/ (L/kg)	级别	用 途
PVC SG4	118 ~ 126	一级 A	工业膜、民用膜
		一级 B、二级	软管、人造革、高强度管材
PVC SG5	107 ~ 117	一级 A	透明制品
		一级 B、二级	硬管、硬片、单丝、套管、型材
PVC SG6	96 ~ 106	一级 A	唱片、透明片
		一级 B、二级	硬板、焊条、纤维
PVC SG7	85 ~ 95	一级 A	瓶子、透明片
		一级 B、二级	硬质注射管件、过氯乙烯树脂

注：S 为悬浮法，G 为通用型，A 和 B 为一级品的分档代号。

乳液聚合生产所得的聚氯乙烯称乳液法聚氯乙烯。它是糊状树脂，相对分子质量较高，颗粒较细。乳液法聚氯乙烯的型号为 RH—x—y，其中 R——乳液法；H——糊状树脂；x——树脂稀溶液的绝对粘度；y——糊粘度（指聚氯乙烯与邻苯二甲酸二辛酯为 1:1，在 25℃放置 24h 测定的粘度）。x 分 1、2、3 型，y 分 I、II、III 号，见表 1-22。

表 1-22 乳液聚合法 PVC 树脂型号与用途

型号	绝对粘度/mPa · s	糊粘度/mPa · s	用 途
RH—1—I	2. 01 ~ 2. 04	<3000	制糊加工：人造革、泡沫塑料、手套
RH—2—II	1. 81 ~ 2. 00	3000 ~ 7000	直接加工：硬泡沫塑料、烧结板
RH—3—III	1. 60 ~ 1. 80	7000 ~ 10000	直接用乳液：抽丝、纸上光、涂料

本体法聚氯乙烯的透明度和绝缘性高于其他方法。溶液聚合聚氯乙烯树脂多用于表面涂层方面。在温度 20 ~ 30℃或 0℃以下的低温下进行悬浮法、乳液法或本体法聚合均称低温聚合。低温聚合的聚氯乙烯相对分子质量高，结晶度高，结构规整性好，玻璃化温度高，耐热性、耐溶剂性好。但比普通聚氯乙烯难加工，冲击强度稍低，用作纤维及特殊塑料制品。

1.3.3 聚氯乙烯的成型加工

由于聚氯乙烯的熔融温度接近分解温度，因此成型困难。需要加入稳定剂来提高分解温度，使之易于成型加工。聚氯乙烯塑料可以采用多种方法加工成制品，悬浮聚合的 PVC 树脂可以挤出成型、压延成型、注射成型、吹塑成型、粉末成型或压塑成型。分散型树脂或糊树脂通常只采用糊料涂布成型，用于织物的涂布和生产地板革。糊树脂也可以用于搪塑成型、滚塑成型、蘸塑成型和热喷成型。

聚氯乙烯塑料的成型温度范围较窄，通常控制在 $160 \sim 185^{\circ}\text{C}$ 之间。加工时一般情况下可不用干燥（若需干燥，在 $60 \sim 70^{\circ}\text{C}$ 下进行）。模具温度尽可能低（ $20 \sim 40^{\circ}\text{C}$ ），以缩短成型周期以及减小塑件出模后变形。由于 PVC 本身耐热性差，PVC 料在高温机筒中停留时间不能超过 15min，否则会降解析出氯化氢（HCl）使制件变黄甚至产生黑点，并且 HCl 对型腔有腐蚀作用，因此，停机前需及时用 PS 料（或 PE 料）清洗机筒，防止 PVC 分解产生的 HCl 腐蚀螺杆、机筒内壁。

注射成型 PVC 制品时，所有常规的浇口都可以使用。如果加工较小的部件，最好使用针尖型浇口或潜入式浇口；对于较厚的部件，最好使用扇形浇口。针尖型浇口或潜入式浇口的最小直径应为 1mm；扇形浇口的厚度不能小于 1mm。

1.3.4 聚氯乙烯的改性

聚氯乙烯是一种性能良好，价格便宜，用途广泛的塑料。它的主要缺点是性脆，热稳定性差，易老化，耐寒性不佳和加工性能差。为了改善其性能，增加品种，需进行改性，改性的有效方法是共聚、共混和氯化，改性的主要品种有氯乙烯共聚物、聚氯乙烯共混物和氯化聚氯乙烯等。此外，聚氯乙烯还可以通过交联和增强等方法改进其性能。

1. 氯乙烯共聚物

氯乙烯可以和乙烯、丙烯、醋酸乙烯酯、偏二氯乙烯、丙烯腈和丙烯酸酯类等单体共聚，共聚物的产量占聚氯乙烯总产量的 25% 以下。共聚合一般有两种情况：

（1）氯乙烯与其他单体共聚 在聚氯乙烯主链上引入其他单体基团。目前主要的共聚物有氯乙烯-醋酸乙烯、氯乙烯-丙烯酸酯等共聚物。这些共聚物成型温度较低，加工性能较好。此外，还具有一些特殊性能，能满足使用上的需要。

1) 氯乙烯-醋酸乙烯酯共聚物。采用悬浮共聚法，一般生产醋酸乙烯酯含量 3% ~ 5% 和 13% ~ 15% 的两个品级，可用于制造塑料地板、涂料、薄膜、压塑制品、唱片及短纤维等。

2) 丙烯-氯乙烯或乙烯-氯乙烯共聚物。丙烯含量约 10% 的共聚物，用于吹塑成型和注射成型等。与氯乙烯-醋酸乙烯酯共聚物相比，加工温度较低、且与热分解温度间隔大，熔体流动性好，无毒，透明。乙烯-氯乙烯共聚物，也是用悬浮法在 75°C 和压力 $1.2 \sim 96\text{MPa}$ 下共聚而成，乙烯含量为 4% ~ 43%，具有高耐冲击性，高透明度和优良的加工性能，无毒，可制透明度高的薄膜、容器等。

3) 氯乙烯-偏二氯乙烯共聚物。偏二氯乙烯含量在 50% 以上的氯乙烯共聚物，商品名莎纶 B（Saran B）。这种共聚物耐老化，耐臭氧，力学性能好，能溶

于四氢呋喃、环己酮及氯苯等有机溶剂，溶液具有较好的粘合性与成膜性。用这种共聚物制得的薄膜无毒、透明，具有极低的透气性与透湿性，是极好的食品包装材料。这种共聚物也是一种优良的防腐蚀材料。由其制造的纤维称偏氯纶，可做渔网、座垫编织物和化工滤布等。

(2) 氯乙烯接枝共聚物 氯乙烯的接枝共聚主要是指以其他聚合物为主链，与氯乙烯单体的接枝共聚。其作用主要有两个方面：一是改进硬质 PVC 的抗冲性能，二是改进软质 PVC 的增塑稳定性。前者包括乙烯-乙酸乙烯酯共聚物 (EVA)、氯化聚乙烯 (CPE)、聚丙烯酸酯 (ACR)、乙丙橡胶 (EPR) 等与氯乙烯的接枝共聚。后者包括热塑性聚氨酯 (TPU) 等与氯乙烯的接枝共聚。

例如，以乙烯-醋酸乙烯酯树脂为基材的氯乙烯接枝共聚物 (EVA-g-VC) 是产量最大的接枝共聚改性 PVC 品种，其性能主要取决于 EVA 含量、PVC/EVA 组成比、接枝率、PVC 相对分子质量和相态结构等，EVA 含量在 6% ~ 10% 的为硬质抗冲型，EVA 含量在 30% ~ 60% 时为软质增塑型。作为硬质塑料使用时，可以改进抗冲击性、低温脆性、耐候性和加工性等，主要用于挤出成型建材、上下水管、排污管、电缆护套、窗框、面板、板条、家具、注射管件、室外标牌、配电盘、电器外壳等，压延成型高透明包装片材，或再加工成包装容器。

聚丙烯酸酯与氯乙烯的接枝共聚物 (ACR-g-VC) 是以 ACR 为主链、PVC 为支链的聚合物，但体系中同时存在未参加接枝反应的 ACR 和 VC 均聚物。因此实际上是 ACR 与 VC 的接枝物、ACR 和 VC 均聚物的共混物。ACR-g-VC 共聚物可用于生产抗冲性能要求较高的 PVC 硬制品。同时，由于 ACR-g-VC 共聚物中不含双键，其耐候性优异，故特别适宜制造户外使用的制品，如壁板、门窗框、雨水槽、输送管和导线管等。

2. 聚氯乙烯共混物

用其他树脂与 PVC 共混，是一种能多方面改进 PVC 性能的好方法。用机械共混法使 PVC 与乙烯-醋酸乙烯酯树脂共混，能起到长效的增塑作用，改善冲击强度、耐寒性及加工性。PVC 与丁腈橡胶、氯化聚乙烯或 ABS 树脂共混，也可以显著改善韧性、耐寒性和加工性。PVC 与甲基丙烯酸甲酯-丁二烯-苯乙烯共聚物 (MBS) 的共混物，不仅冲击强度高，而且可以得到透明制品。

3. 氯化聚氯乙烯

氯化聚氯乙烯是 PVC 经氯化而得的一种热塑性树脂，俗称过氯乙烯，简称 CPVC。一般由溶液氯化法制得，含氯量 61% ~ 68%，氢原子没有全部被氯取代。外观为白色或淡黄色粉末，溶解性比聚氯乙烯好，能溶于丙酮、氯苯、二氯乙烷和四氯乙烷。耐热性比聚氯乙烯高 20 ~ 40℃，耐寒性比聚氯乙烯约

低 25℃，不易燃烧，耐气候、耐化学药品及耐水性均优，可以用挤出法生产管材，主要作热水上水管使用。氯化聚氯乙烯的溶液有良好的粘合性、成膜性和成纤性，可用于胶粘剂、清漆和纺丝。胶粘剂主要用于粘接 PVC 板及其制品，清漆的漆膜能耐腐蚀、柔软、耐磨且剥离强度高，用它纺成的丝称过氯纶，对酸、碱、盐皆稳定，适于作耐化学腐蚀的滤布、工作服、筛网、渔网和运输带等。

1.3.5 聚氯乙烯的应用

PVC 已广泛应用于化工、建筑、电气、电子工业和日常生活中。具体应用如下：

1. PVC 一般软制品

利用挤出机可以挤成软管、电缆、电线等；利用注塑机配合各种模具，可制成塑料凉鞋、鞋底、拖鞋、玩具、汽车配件等。

2. PVC 薄膜

PVC 与添加剂混合、塑化后，利用三辊或四辊压延机制成规定厚度的透明或着色薄膜，用这种方法加工的薄膜，称为压延薄膜。也可以通过剪裁，热合加工包装袋、雨衣、桌布、窗帘、充气玩具等。宽幅的透明薄膜可以供温室、塑料大棚及地膜之用。经双向拉伸的薄膜，具有热收缩的特性，可用于收缩包装。

3. PVC 涂层制品

有衬底的人造革是将 PVC 糊涂敷于布上或纸上，然后在 100℃ 以上塑化而成的，也可以先将 PVC 与助剂压延成薄膜，再与衬底压合而成。无衬底的人造革则是直接由压延机压延成一定厚度的软质薄片，再压上花纹即可。人造革可以用来制作皮箱、皮包、书的封面、沙发及汽车坐垫等；地板革用作建筑物的铺地材料。

4. PVC 泡沫制品

软质 PVC 混炼时，加入适量的发泡剂做成片材，经发泡成型为泡沫塑料，可作泡沫拖鞋、凉鞋、鞋垫、及防振缓冲包装材料。也可用挤出机挤出成低发泡硬 PVC 板材和异型材，替代木材使用，是一种新型的建筑材料。

5. PVC 透明片材

PVC 中加入冲击改性剂和有机锡稳定剂，经混合、塑化、压延而成为透明的片材。利用热成型可以做成薄壁透明容器或用于真空吸塑包装，是优良的包装材料和装饰材料，如月饼包装盒。

6. PVC 糊树脂

将 PVC 分散在液体增塑剂中，使其溶胀塑化而成增塑溶胶，通常用乳液或

微悬浮树脂，还需加稳定剂、填料、着色剂等，经充分搅拌，脱气泡后，配成PVC糊，再通过浸渍、浇注或搪塑等加工成各种制品。如衣架、工具手柄、圣诞树等。

7. PVC硬板和板材

PVC中加入稳定剂、润滑剂和填料，经混炼后，用挤出机可挤出各种口径的硬管、异型管、波纹管，用作下水管、饮水管、电线套管或楼梯扶手。将压延好的薄片重叠热压，可制成各种厚度的硬质板材。板材可以切割成所需的形状，然后利用PVC焊条用热空气焊接成各种耐化学腐蚀的贮槽、风道及容器等。

1.3.6 聚氯乙烯的简易识别方法

(1) 外观印象 悬浮法为白色粉末，乳液法一般呈糊状；制品有软、硬和透明、不透明之分，种类较多。

(2) 水中沉浮 密度比水大，在水中下沉。

(3) 溶解特性 溶于四氢呋喃、环己酮、甲酮等。

(4) 受热表现 温度达82℃以上缓慢变软，材料和制品200℃以上分解。

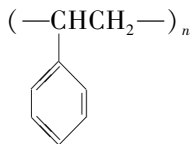
(5) 燃烧现象 难燃，离火即熄，火焰呈黄色，下端绿色，白烟，燃烧时塑料变软，发出刺激性酸味。

1.4 聚苯乙烯

化学名称：聚苯乙烯

英文名称：Polystyrene，简称PS

分子结构式：



聚苯乙烯是指由苯乙烯单体经自由基缩聚反应合成的聚合物，是一种无色透明的热塑性树脂，具有优异的介电性和电绝缘性。作为塑料材料，其价格低廉、模塑性能好、透明、容易着色、刚度好、吸湿低等。PS的缺点是脆性大、耐热性低、耐化学试剂和耐溶剂性差。

1.4.1 聚苯乙烯的性能

1. 一般性能

PS 原料为无毒、无色透明粒状物，非晶态密度 $1.04 \sim 1.06 \text{ g/cm}^3$ ，晶体密度 $1.11 \sim 1.12 \text{ g/cm}^3$ ，吸水率约为 0.05% 。通常的聚苯乙烯为非晶态无规聚合物，宏观上质硬似玻璃，落地或敲打时发出金属般的清脆声音。易燃，燃烧时软化、起泡，有浓黑烟，并伴有苯乙烯单体的甜香味。

2. 力学性能

PS 在热塑性塑料中是典型的硬而脆的材料，弹性模量和弯曲强度较高，是刚性较大、抗弯能力较强的塑料品种。但是，冲击强度较低，常温下脆性大，并且在成型加工中容易产生内应力，制品在较低的外力作用下即产生应力开裂，故 PS 制品在使用中常表现出较低的力学强度。相对分子质量对 PS 的力学性能有较大影响，相对分子质量增大，力学性能提高。但当相对分子质量超过 10 万时，拉伸强度的改善就不明显了。PS 对缺口、尖角等敏感，耐磨性差，不宜用于大负荷耐磨零件，退火处理可提高力学强度。PS 力学性能见表 1-23。

表 1-23 PS 的力学性能

性 能	数 值
洛氏硬度 (M)	65 ~ 90
拉伸强度/MPa	36 ~ 52
弹性模量/GPa	3.3
弯曲强度/MPa	70 ~ 105
压缩强度/MPa	115
缺口冲击强度/ (kJ/m ²)	1.3 ~ 1.9

3. PS 的热性能

PS 的玻璃化转变温度 (T_g) 为 $80 \sim 90^\circ\text{C}$ ，脆化温度约 -30°C ，熔融温度为 $140 \sim 180^\circ\text{C}$ 。PS 分子链是刚性链，由于是无定形结构，超过玻璃化温度即开始软化，软化点仅 95°C 左右， 120°C 开始成为熔体， 180°C 后具有流动性，热稳定性好，超过 300°C 才开始分解，因此，有比较宽的成型加工温度区间。PS 的连续使用温度不宜超过 80°C 。

PS 的热变形温度在 $70 \sim 98^\circ\text{C}$ 之间，与材料配方及热处理有关。对 PS 进行退火处理，可减少内应力，不仅可提高力学强度，也可提高热变形温度、降低受溶剂侵蚀而引起的开裂。一般采用的退火温度略低于实际的热变形温度 $5 \sim 6^\circ\text{C}$ 。

PS 的热导率较小，在 $0.04 \sim 0.15 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ 之间，且基本上与温度无关，是较良好的绝热保温材料，如 PS 泡沫是应用广泛的优质绝热材料。PS 的线性膨胀系数为 $(6 \sim 8) \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ ，与金属相差较大，不宜用作金属嵌件，易产生应力开裂。PS 易燃烧，燃着后离开火焰可持续燃烧，火焰呈橙黄，伴有浓烟。

PS 的热性能见表 1-24。

表 1-24 PS 的热性能

性 能	数 值
玻璃化转变温度/℃	80 ~ 90
热降解温度 (氮气) /℃	> 300
热变形温度 (0.45MPa) /℃	70 ~ 98
脆化温度/℃	- 30
线性膨胀系数/ ($\times 10^{-6} \text{K}^{-1}$)	6 ~ 8
氧指数 (%)	20

4. 电性能

PS 是弱极性聚合物, 具有优异的介电、电绝缘性能。其体积电阻率 $> 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$, 介电常数为 $2.4 \sim 2.7 \text{F/m}$, 介质损耗因数小于 5×10^{-4} , 介电强度超过 20kV/mm , 并且不受频率和环境温度的影响。PS 具有良好的耐电弧性, 但抗静电性较差, 使用时宜加抗静电剂降低其表面电阻。在用不同的聚合方法所获得的 PS 中, 本体聚合的 PS 杂质含量最少, 因而电性能较好。但由于 PS 的耐热性差, 限制了它在电气方面的应用。PS 的电性能见表 1-25。

表 1-25 PS 的电性能

性 能	数 值
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	$10^{14} \sim 10^{16}$
介电常数/ (F/m) (10^6Hz)	$2.4 \sim 2.7$
介电强度/ (kV/mm)	$20 \sim 26$
介质损耗因数 (10^6Hz)	$(4 \sim 5) \times 10^{-4}$
耐电弧性/s	$60 \sim 135$

5. 光学性能

PS 树脂的密度和折射率均一, 对可见光没有特殊的选择吸收, PS 的折射率为 $1.59 \sim 1.60$, 透光率达 $88\% \sim 92\%$, 具有优良的光学性能和透明性, 在塑料中其折射率、透明性仅次于丙烯酸类聚合物。但 PS 受阳光、灰尘作用后, 会出现浑浊、发黄等现象, 因而用作光学部件时可加入 1% 的不饱和脂肪酸胺、环胺或氨基醇类化合物, 以改善 PS 的耐候性, 制得高透明度的制品。

6. 化学稳定性

PS 是饱和的碳氢聚合物, 具有一定的化学稳定性。可耐许多碱和盐的腐蚀, 可耐硫酸、磷酸、硼酸及稀盐酸, 但是浓硝酸和其他氧化剂能破坏 PS。许多非溶剂物质, 如高级醇类和油类, 可使 PS 产生应力开裂或溶胀。PS 能溶于芳烃 (苯、甲苯、乙苯)、氯代烃 (二氯乙烷、氯苯、氯仿) 酮类、酯类等。不溶于

某些脂肪烃类（如己烷、庚烷等）、乙醚、丙酮、苯酚等，但能被它们溶胀。

PS 具有较 PP、HDPE 更优的耐辐射性，能耐较大的辐射剂量，但大剂量辐射会使材料产生交联，使性能进一步变脆。PS 在热、氧及大气条件下易发生老化现象，尤其是在 PS 中含有微量的单体、硫化物等杂质情况下更易造成大分子链的断裂和显色。

1.4.2 聚苯乙烯的分类

PS 树脂既有均聚物也有改性品种，种类较多。我国工业生产的 PS 主要有三类：通用级 PS（GPS）、高抗冲击级 PS（HIPS）和可发性 PS（EPS）。

1. 通用聚苯乙烯

GPS 属无定形高分子聚合物，主要指以本体聚合和悬浮聚合的 PS 均聚物。根据挥发物的含量、相对分子质量、所加助剂不同，工业上常把 GPS 分为耐热型、中等流动型和高流动型三类。耐热型 GPS 树脂的相对分子质量较高，残存苯乙烯单体含量低，适合于挤出成型和注射高质量的制品；中等流动型和高流动 GPS 的相对分子质量较低，加有一定的润滑剂，流动性提高，耐热性降低，特别适合成型薄壁制品和形状复杂的制品。

GPS 主要用于注射和挤出成型，也可用于模压、压延等方法成型。注射成型时，物料温度控制在 170 ~ 250℃，注射压力 60 ~ 120MPa，模具温度 40 ~ 80℃。GPS 注射成型制品表面光泽度高，具有良好的尺寸稳定性，产品精致美观，广泛用于工业和日常生活中。挤出成型用 GPS 的相对分子质量偏高，便于制品的挤出定型。PS 易于着色、印刷、雕刻和表面金属化处理，制品图案清晰，色彩丰富，可增加制品的美观性。

2. 高抗冲聚苯乙烯

HIPS 实质上是 PS 的改性品种，通过 PS 与橡胶共混或苯乙烯与橡胶共聚来改善 GPS 的脆性，提高冲击强度。HIPS 具备 GPS 的大多数特点，如刚性、易加工性、易染色性等，但拉伸强度有所下降，透明度丧失殆尽。HIPS 突出的性能是卓越的冲击韧性，冲击强度比 GPS 高出 7 倍以上。

HIPS 主要用于生产电视机、录音机、电话机、吸尘器和各种仪表的机壳和部件，也可用于生产板材、冰箱内衬、电器零件、设备罩壳、容器、家具、玩具及其他对韧性要求较高的文教和生活用品。

3. 可发性聚苯乙烯

EPS 是在一定条件下使苯乙烯单体进行悬浮聚合而制得的珠状产品。该种 PS 易于加入发泡剂制得整体内含有无数微孔的泡沫塑料。发泡剂可在聚合过程中加入，也可在成型时加入，前者称为一步法，后者称为两步法。

生产 EPS 泡沫塑料常采用两步法。成型时，在 EPS 中加入低沸点脂肪烃类

或卤代脂肪烃类发泡剂，通过加热加压使发泡剂渗入 PS 珠粒中并使其溶胀，冷却后发泡剂便存留在珠粒中，由此制得 EPS 珠粒。制得的 EPS 珠粒经熟化后可通过模压和挤出成型制得各种 PS 泡沫塑料材料或制品。

4. 间规聚苯乙烯 (SPS)

间规聚苯乙烯为间同结构，采用茂金属催化剂生产，是近年来发展的聚苯乙烯新品种，性能好，属于工程塑料。

1.4.3 聚苯乙烯的成型加工

聚苯乙烯最重要的特点是熔融时的热稳定性和流动性非常好，所以易于成型加工，特别是注射成型容易，适合大量生产。成型收缩率小，成型品尺寸稳定性也好。

(1) 注射成型 选用普通注塑机即可，制品厚度在 2.3 ~ 3mm 范围内时，极限流动长度和厚度比为 200:1，脱模斜度不小于 1°，排气孔排气槽的深度小于 0.03mm，动、定模具温度差小于 3 ~ 6℃。具体的注射工艺条件：成型温度 180 ~ 215℃，注射压力 30 ~ 150MPa，模具温度低于 70℃。

(2) 挤出成型 PS 可以在普通的挤出机上加工，挤出的制品有管材、棒材、片材、薄膜、纤维等。成型后未拉伸时强度低、性脆，拉伸后透明度、光泽、强度、韧性都明显提高。PS 的挤出成型温度在 150 ~ 200℃之间。

(3) 发泡成型 用 EPS 为原料，发泡剂分为化学发泡剂和物理发泡剂两种。采用一步法挤出，直接将发泡剂与 PS 混合好或在挤出熔融段将物理发泡剂注入 PS 熔体内，挤出发泡、冷却即可。用 EPS 制成泡沫塑料具有泡孔细腻、强度高等优点。高发泡材料的主要产品为吸塑包装材料，如快餐饭盒、美术装饰板和发泡网，低发泡材料则有仿木型材、片材、板材等。

PS 的吸水率比较低，在加工前一般不需要干燥；如果有特殊需要时（比如要求高透明性）才干燥，具体干燥温度为 70 ~ 80℃，干燥时间 1.5h。PS 在加工中容易产生内应力，除了选择正确的工艺条件、改进制品设计与合理的模具结构外，还应对制品进行热处理。热处理的条件是在 65 ~ 85℃ 热风循环干燥箱或热水中处理 1 ~ 3h。

1.4.4 聚苯乙烯的改性

PS 具有透明、成型性好、刚性好、电绝缘性能好、易染色、低吸湿性和价格低廉等优点，在包装、电子、建筑、汽车、家电、仪表、日用品和玩具等行业已得到广泛应用。但 PS 较脆，耐环境应力开裂及耐溶剂性能较差，热变形温度相对较低（70 ~ 98℃），冲击强度也不高。因而，在不显著损失模量的前提下增加其韧性，获得综合性能优良的 PS 合金材料就成为当前人们关注的一个重要

课题。PS 的改性方法主要有共混改性、共聚改性和纳米改性。

1. 共混改性

共混不仅是聚合物改性的重要手段, 而且也是开发新材料的重要途径。

(1) PS 与 PE 共混 PE 具有优良的柔性和抗冲击性能, 因而有利于提高聚苯乙烯的韧性。但是 PS 和 PE 是两种不相容的高聚物, 简单共混得不到理想高分子合金, 必须加入相容剂。

(2) PS 与 PP 共混 聚丙烯拉伸强度高于 PS, 表面硬度也高于 PS 和 ABS, 耐热性能也较好。因而将其与 PS 共混可提高 PS 热性能。但 PP 与 PS 不相容, 故 PP 和 PS 共混必须加入增容剂。用表面处理后的硅填充 PS/PP 体系能增加聚合物界面间的粘合力, 提高 PS/PP 体系拉伸强度。RPS-MPP (马来酸酐官能化聚丙烯) 对 PS/PP 体系有较好的增容效果。

(3) PS 与 PC 共混 PC (聚碳酸酯)、PS 均为透明塑料, PC 性能优异, 抗蠕变性能好, 使用温度为 $110 \sim 140^{\circ}\text{C}$, 可见光透过率达 90% 以上, 并且, PS、PC 折光率相近, 两者共混, 可取长补短, PS 的热稳定性、强度及韧性也可得到提高。

(4) PS 与 PA 共混 尼龙是结晶性聚合物, 拉伸强度高于金属, 压缩强度与金属接近。其抗冲击强度比通用塑料高得多, 并且随水分含量的增多抗冲击强度提高, 耐油、耐溶剂性能好, 使用温度为 $-40 \sim 100^{\circ}\text{C}$ 。因而对提高 PS 的韧性非常有利。

(5) PS 与 PMMA 共混 PMMA (聚甲基丙烯酸甲酯) 是透明性和耐候性均较好的塑料。PS 与之共混可提高其耐热性而不影响体系的透明性。将 St-MMA (苯乙烯和甲基丙烯酸甲酯无规共聚物)、PS-g-MMA 和 P (St-b-MMA) (苯乙烯和甲基丙烯酸甲酯嵌段共聚物) 相比, P (St-b-MMA) 对 PS-PMMA 体系有较好的增容效果。

2. 共聚改性

PS 与其他聚烯烃的共混相容性较差, 通过共聚方法使苯乙烯单体与第二单体共聚, 通过引入柔性链段既保持了间规聚苯乙烯原有的优良性能, 又提高了它的韧性, 并改善了加工性能。共聚方法主要为嵌段共聚或接枝共聚。但目前还存在着催化共聚活性较低、产物多为共聚物和均聚物的混合物等问题, 且组成较难控制。

3. PS 的纳米改性

纳米无机粒子由于自身独特的表面效应、体积效应、量子尺寸效应, 其性能与一般的粉体材料和块状材料有显著的区别。纳米粒子的超微尺寸和表面活性效应能够对聚合物材料的内部缺陷进行极好的修饰, 并可最大限度地减少内部残留的活性基团, 从而大幅度提高聚合物材料的强度、韧性、耐老化性能和

耐热性能。有的层状纳米无机化合物改性塑料还会表现出各向异性的特性。将纳米填料以共混、原位聚合、插层复合、溶胶-凝胶等方法均匀地分散在 PS 基体中，利用填料的纳米尺寸效应、大比表面积以及强的界面作用力将填料的刚性、尺寸稳定性、热稳定性与 PS 的韧性、加工性能结合起来，可获得具有优异综合性能的 PS 纳米塑料。

1.4.5 聚苯乙烯的应用

PS 主要应用于制备装饰、照明制品、仪器仪表壳罩、仪表板、汽车灯罩等；高频电容器、高频绝缘用品及传输器件，光导纤维；绝热保温材料、冷藏冷冻装置绝热层、建筑用绝热构件；防振、抗冲击的泡沫包装垫层；日用杂品等。

1.4.6 聚苯乙烯的简易识别方法

(1) 外观印象 通用物料为透明粒状物，制品质硬似玻璃，性脆易断裂，落地或敲打时发出金属般的清脆声音。

(2) 水中沉浮 密度与水相似，在水中悬浮，或在器皿底部似沉似浮。

(3) 溶解特性 溶于苯、甲苯、三氯甲烷等。

(4) 受热表现 温度达 100℃ 以上逐渐变软，140 ~ 180℃ 以上熔融，300℃ 以上分解。

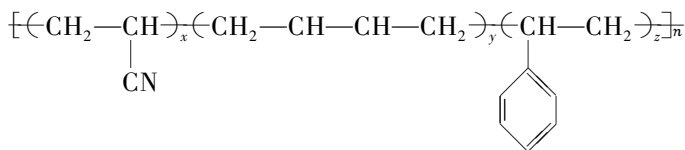
(5) 燃烧现象 易燃，燃烧时软化、起泡，有浓黑烟，并伴有苯乙烯单体的甜香味。

1.5 ABS

化学名称：丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物

英文名称：Acrylonitrile Butadiene Styrene，缩写为 ABS

结构式：



ABS 树脂是丙烯腈、1, 3-丁二烯、苯乙烯三种单体的接枝共聚物，A 代表丙烯腈，B 代表丁二烯，S 代表苯乙烯，其中，丙烯腈占 15% ~ 35%，丁二烯占 5% ~ 30%，苯乙烯占 40% ~ 60%，最常见的比例是 A: B: S = 20: 30: 50。

ABS 树脂是五大合成树脂之一，其抗冲击性、耐热性、耐低温性、耐化学

药品性及电气性能优良，还具有易加工、制品尺寸稳定、表面光泽性好等特点，容易涂装、着色，还可以进行表面喷镀金属、电镀、焊接、热压和粘接等二次加工，因而被广泛地用作通用工程塑料。

1.5.1 ABS 的性能

1. 一般性能

ABS 树脂外观为浅象牙色、不透明粒料，无毒无味，密度为 $1.05\text{g}/\text{cm}^3$ 左右，吸水率为 $0.2\% \sim 0.7\%$ 。其制品可着成五颜六色，并具有高光泽度。ABS 同其他材料的结合性好，易于表面印刷、涂层和镀层处理。ABS 的氧指数为 $18\% \sim 20\%$ ，属易燃聚合物，火焰呈黄色，有黑烟，并发出特殊的肉桂味。

2. 力学性能

ABS 具有良好的综合物理力学性能（见表 1-26）。其显著特点是抗冲击性能优良，且抗冲击性能随温度的变化较小，能在较宽的温度范围内保持刚性和韧性，即使在 -40°C 的温度时，仍能保持原冲击强度的 $1/3$ 以上。ABS 作为一种无定形塑料，具有良好的耐蠕变性。ABS 耐磨性好、尺寸稳定性优良，又具有耐油性，可用于中等载荷和转速下的轴承。ABS 的力学性能受温度的影响较大。

表 1-26 ABS 的力学性能

性能	高冲击型	中冲击型	耐热型
洛氏硬度 (R)	65 ~ 125	60 ~ 90	105 ~ 120
拉伸强度/MPa	35 ~ 44	42 ~ 65	45 ~ 57
伸长率 (%)	5 ~ 60	—	3 ~ 20
弹性模量/GPa	1.6 ~ 3.3	2.3 ~ 3.0	2.3 ~ 3.0
压缩强度/MPa	49 ~ 64	73 ~ 88	65 ~ 71
弯曲强度/MPa	52 ~ 81	69 ~ 97	70 ~ 85
悬臂梁缺口冲击强度/ (J/m)	16 ~ 44	—	11 ~ 25
弯曲模量/GPa	1.6 ~ 2.5	—	2.1 ~ 3.0
压缩模量/GPa	1.2 ~ 1.4	—	1.7

3. 热学性能

ABS 的耐热性一般，在 1.86MPa 压力下的热变形温度为 85°C 左右，在 0.45MPa 压力下的热变形温度为 $90 \sim 120^\circ\text{C}$ ，高于 PS。制品经热处理后，热变形温度可提高 10°C 。ABS 具有良好的耐寒性，脆化温度低于 -18°C ，在 -40°C 仍然有较好的冲击强度，一般使用温度为 $-40 \sim 100^\circ\text{C}$ 。ABS 的热导率为 $0.16 \sim 0.29\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，线膨胀系数为 $(6.2 \sim 10) \times 10^{-5}\text{K}^{-1}$ ，线膨胀系数在热塑性塑料中属于较小的品种，易制得尺寸精度较高的制品。ABS 具有可燃性，引燃

后可缓慢燃烧。ABS 热性能数据见表 1-27。

表 1-27 ABS 的热性能

性能	高抗冲击型	中抗冲击型	耐热型
热变形温度 (0.45MPa) /℃	96 ~ 102	93 ~ 105	104 ~ 120
脆化温度/℃	-60 ~ -18	-60 ~ -18	-60 ~ -18
线性膨胀系数/ ($\times 10^{-5} \text{K}^{-1}$)	7 ~ 10	7 ~ 8	6.5 ~ 8.5
氧指数 (%)	20	20	20

4. 电性能

ABS 具有较好的电性能，可以作为电绝缘材料使用。其电性能指标与 ABS 的组成结构有关，并且几乎不受温度、湿度和频率的影响，可在大多数环境下使用。ABS 的电性能见表 1-28。

表 1-28 ABS 的电性能

性能	高抗冲击型	中抗冲击型	耐热型
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	10^{16}	10^{16}	10^{16}
介电常数/ (F/m) (10^6Hz)	2.4 ~ 5	2.3 ~ 5	2.7 ~ 3.5
介电强度/ (kV/mm)	13 ~ 20	13 ~ 20	13 ~ 20
介质损耗因数 (10^6Hz)	$(4 \sim 5) \times 10^{-4}$	$(2 \sim 5) \times 10^{-4}$	$(4 \sim 12) \times 10^{-4}$
耐电弧性/s	50 ~ 85	50 ~ 85	70 ~ 80

5. 化学稳定性

ABS 具有良好的耐化学试剂性，除了浓的氧化性酸之外，对各种酸、碱、盐类都比较稳定，与各种食品、药物、香精油长期接触也不会引起变化。不溶于醇类、烃类溶剂，长期接触会缓慢溶胀，醛、酮、酯、氯代烃等极性溶剂可以使 ABS 溶解或形成乳浊液；受冰醋酸、植物油等侵蚀会产生应力开裂。

由于结构中有双键存在，ABS 树脂的耐候性较差，在紫外线和热氧的作用下易发生氧化降解，材料变硬发脆。例如，ABS 制品在室外暴露于大气中半年，冲击强度降低 45%。为了提高其耐候性，常加入炭黑和酚类抗氧剂等。炭黑成本低，稳定效果好，是 ABS 常用的稳定剂兼着色剂。

1.5.2 ABS 的分类

ABS 是一种多组分聚合物，组成十分复杂，由于 ABS 合成和改性技术的不断发展，新品种不断出现。根据冲击强度可分为超高抗冲型、高抗冲击型、中抗冲型等品种；根据成型加工工艺的差异，又可分为注射、挤出、压延、真空、吹塑等品种；依据用途和性能的特点，还可分为通用级、耐热级、电镀级、阻燃级、透明级、抗静电、挤出板材级、管材级等品种。我国生产的 ABS 树脂品

种主要有通用型、挤出型、高流动型、耐热型、耐寒型、阻燃型和电镀型等，特征见表 1-29。

表 1-29 不同类型 ABS 的特征

类型	特 征
通用型	无特殊添加剂和功能，流动性好（ <i>MFR</i> 一般为 1.5 ~ 10g/10min），产量大，根据橡胶含量和冲击强度高低，分为中抗冲击型（橡胶质量分数 8% ~ 14%）、高抗冲击型（橡胶质量分数 14% ~ 18%）和超高抗冲击型（橡胶质量分数大于 18%），主要用于注射成型
挤出型	无特殊添加剂和功能， <i>MFR</i> 通常小于通用型，一般为 0.2 ~ 2.0g/10min，主要有板材级和管材级两种；板材级耐环境应力开裂性和低温韧性好，卫生性和外观良好，管材级综合性能好，冲击强度高，有较好的耐光氧化性能，用于挤出成型
耐热型	一般采用在体系中加入空间位阻大、具有刚性的分子制得，或与耐热性好的高聚物（如聚碳酸酯）共混，耐热性优于通用型 ABS 树脂，使用温度可提高 10 ~ 20℃
耐寒型	比一般 ABS 具有更好的耐低温性能，耐低温可达 -60℃，并且有较高的冲击强度，能在严寒地区和零度以下的环境中使用
透明型	由 ABS 合成中引入甲基丙烯酸甲酯或用甲基丙烯酸甲酯取代丙烯腈而制得，具有透明性
电镀型	橡胶含量高，粒径较大，镀层与基材粘接力强，热膨胀系数小，易于电镀
阻燃型	主要采用添加阻燃剂和与难燃聚合物共混而制得，阻燃型可达 UL94V—0 标准
其他	增强 ABS、耐低温 ABS、高刚性 ABS、高光泽 ABS、高流动 ABS、消光 ABS、抗静电及电磁屏蔽型 ABS、气体阻隔性 ABS、食品及医用级 ABS、发泡 ABS 等，可根据性能要求选用

1.5.3 ABS 的成型加工

ABS 为无定形聚合物，无明显熔点，粘流温度在 160℃ 左右，分解温度达 270℃ 以上，具有良好的成型加工性能，不易出现降解现象。适宜于注射、挤出、吹塑、压延、发泡、真空等多种成型方法。ABS 树脂成型加工的工艺条件视 ABS 树脂的性能指标而定。

通用型 ABS 树脂的品种牌号较多，性能有所不同，可满足不同的用途，大多采用注射成型，注射成型温度在 160 ~ 240℃；挤出型 ABS 与通用型 ABS 相似，熔体流动速率（*MFR*）较低，相对分子质量较高，挤出温度在 160 ~ 210℃。

ABS 树脂因有腈基（—CN）而易于吸湿，吸水率为 0.3% 左右，有时表面吸水率可达 0.8%，因而在成型前需进行干燥处理，使吸水率降低至 0.2% 以下。

一般制品的干燥条件为温度 80 ~ 85℃, 时间 2 ~ 4h; 对特殊要求的制品 (如电镀) 的干燥条件为温度 70 ~ 80℃, 时间 18 ~ 18h。使用干燥后的树脂可获得表面高度光洁的制品。

成型后的制品通常可以不进行热处理, 如果有特殊要求, 例如制件需电镀等表面装饰时, 可在 75 ~ 90℃ 下热处理 2 ~ 4h, 再冷却至室温, 以消除内应力, 得到外观完好的装饰性制品。

1.5.4 ABS 的改性

ABS 树脂产品的改性, 主要在热变形、阻燃性以及耐候变色性、光泽控制、导电性等方面。改性的主要方法是共聚、共混以及用玻璃纤维增强等。

1. 共聚

(1) ABS 与 MMA 共聚制备透明 ABS 树脂 ABS 树脂是一种不透明的树脂, 将甲基丙烯酸甲酯 (MMA) 引入树脂相, 可以降低其折光率而使之与橡胶相的折光率相近。从制造工艺来说, 橡胶分散粒子的大小应以不发生可见光散射为宜。乳液法、本体法和本体-悬浮法都可以用来制取透明 ABS。

(2) ABS 与 α -甲基苯乙烯或 *N*-苯基马来酰亚胺共聚制备耐热性 ABS 树脂用 α -甲基苯乙烯代替苯乙烯以提高 ABS 的耐热性, 这是最典型的方法。ABS 的热变形温度随加入的 α -甲基苯乙烯的比倒增加, 可自 100℃ 提高到 116℃。*N*-苯基马来酰亚胺可通过乳液、本体、本体-悬浮等聚合方法与 ABS 的 3 个单体组分进行共聚, 所得产品在不降低 ABS 其他性能的前提下, 可显著提高其耐热性, 制得热变形温度最高可达 150℃ 的超耐热 ABS, 且热分解温度、玻璃化温度也明显提高。另外所得产品成型性好, 并可提高耐药品性和耐紫外线性等。

(3) ABS 与饱和弹性体共聚制备耐候性 ABS 树脂 由于 ABS 树脂的丁二烯橡胶组分中残留双键, 在光、氧等的作用下容易老化, 为了改进这一缺点, 采用不含双键的丙烯酸酯弹性体、氯化聚乙烯 (CPE) 和乙烯-丙烯-二烯烃橡胶等代替丁二烯类橡胶而分别制得耐候性优良的 AAS 树脂、ACS 树脂和 AES 树脂。

2. 共混

ABS 树脂可与多种树脂配混成共混物, 如 PC-ABS、ABS-PVC、PA-ABS、PBT (聚对苯二甲酸丁二醇酯)-ABS 等, 赋予共混物新性能和新的应用领域。

(1) ABS 与 PVC 共混 ABS 与 PVC 共混的主要目的是改善 ABS 的阻燃性。ABS 本身不能阻燃, 这一缺点使其作为电气绝缘材料受到一定的限制。ABS-PVC 共混物有突出的耐冲击强度、阻燃性, 韧性和其他树脂无法比拟的性价比。该共混物可用注射成型或挤出成型的方法进行加工。主要用于建筑材料、汽车工业、电气电子工业和医疗设备等。

(2) ABS 与 PC 共混 ABS 树脂与 PC 共混, 所得共混物综合了 ABS 与 PC 的优点, 具有较高的冲击强度、挠曲性、刚性和耐热性; 具有较宽的加工温度范围, 改善了耐化学品性及低温韧性。广泛用于注射成型以制造机械零件, 电器部件、盔帽以及挤出成型后再二次真空成型, 生产汽车车身等要求同时兼有优良冲击性和刚性的制品。

(3) ABS 与 PBT 共混 ABS 树脂与 PBT 共混, 是 ABS 树脂高性能化的一个重要手段。这种共混物有效地利用了 ABS 树脂的非结晶性和 PBT 的结晶性, 使其具有优良的成型性, 尺寸稳定性, 耐药品性和耐油性。特别是用玻璃纤维增强的材料, 耐热性最高可达 200℃ 以上, 因而能满足多方面的需要。

(4) ABS 与尼龙的共混 在目前广泛应用的所有工程材料中, ABS 与尼龙的共混物的冲击强度最高。ABS-尼龙共混物是一种非结晶与结晶聚合物的共混物, 改善了在高温条件下 ABS 的化学稳定性。该材料具有耐热翘曲性, 良好的流动性和漂亮的外观。

(5) ABS 与热塑性聚氨酯共混 ABS 与少量的热塑性聚氨酯 (TPU) 共混, 可提高其耐磨性、韧性和低温柔顺性。

(6) ABS 与聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 共混 ABS 与 PMMA 的共混物具有优良的透明性和高表面硬度, 其表面硬度是 ABS 树脂的两倍, 与 PMMA 和 SAN 树脂 (苯乙烯-丙烯腈树脂) 相同。另外, 这种共混物在硬度和强度之间达到很好的平衡, 耐化学品性能与 ABS 和 SAN 树脂相同。可用来代替聚碳酸酯和 PMMA 树脂。

3. 玻璃纤维增强 ABS

一般说, 经玻璃纤维增强后的 ABS, 其弯曲强度、拉伸强度增加 2~3 倍, 挠曲强度提高 3 倍, 蠕变、疲劳强度也有所增加, 屈服强度和弹性模量与金属相似。在耐热性能方面, 其热变形温度比纯 ABS 提高 10~15℃。线膨胀系数和成型收缩率比纯 ABS 减少 1/4~1/2。线膨胀系数与铅、铜、锌等金属近似, 故与金属组合容易, 可涂各种金属。在耐候性方面也比纯 ABS 有所改善。玻璃纤维增强的 ABS 主要应用于电子技术领域、汽车领域以及办公室自动化设备, 如打印机、传真机、复印机等。

1.5.5 ABS 的应用

ABS 树脂的最大应用领域是汽车、电子电气和建材。汽车领域的使用包括汽车仪表板、车身外板、内装饰板、方向盘、隔音板、门锁、保险杠、通风管等很多部件。在电气方面则广泛应用于电冰箱、电视机、洗衣机、空调器、计算机、复印机等电子电器中。建材方面, ABS 管材、ABS 卫生洁具、ABS 装饰板广泛应用于建材工业。此外 ABS 还广泛地应用于包装、家具、体育和娱乐用

品、机械和仪表工业中。

1.5.6 ABS 的简易识别方法

(1) 外观印象 不透明，物料和制品呈浅象牙色，一般制品有高度光泽性，手感坚韧。

(2) 水中沉浮 密度比水略大，在水中缓慢下沉。

(3) 溶解特性 溶于丙酮、二甲苯、四氢呋喃、乙酸乙酯等，如制品开裂或破碎，可以用毛笔蘸取少量溶剂，小心地涂在破裂处，合拢待干后便可以粘牢。

(4) 受热表现 温度达 110℃ 以上逐渐变软，150 ~ 160℃ 以上熔融，270℃ 以上分解。

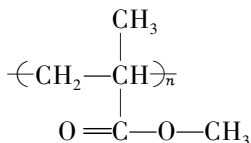
(5) 燃烧现象 燃烧缓慢，离火后继续燃烧，火焰呈黄色，有黑烟，燃烧后塑料软化、焦化，伴有橡胶燃烧气味，无熔融滴落现象。

1.6 聚甲基丙烯酸甲酯

化学名称：聚甲基丙烯酸甲酯

英文名称：Polymethylmethacrylate，简称 PMMA

结构式：



聚甲基丙烯酸甲酯又称压（亚）克力或有机玻璃，在香港多称作阿加力胶，具有高透明度，低价格，易于机械加工等优点，是常用的玻璃替代材料。

1.6.1 聚甲基丙烯酸甲酯的性能

1. 一般性能

PMMA 是一种无毒环保的无定形热塑性塑料，密度为 1.15 ~ 1.19 g/cm³，熔点为 130 ~ 140℃，折射率较小，约 1.49。透光率达 92%，雾度不大于 2%，是优质有机透明材料。

2. 力学性能

聚甲基丙烯酸甲酯具有良好的综合力学性能，在通用塑料中居前列，拉伸、弯曲、压缩等强度均高于聚烯烃，也高于聚苯乙烯、聚氯乙烯等，但冲击韧性较差，具有缺口敏感性，在应力下易开裂，属于硬而脆的塑料。PMMA 的强度

随应力作用时间的增加而下降。经拉伸取向后的聚甲基丙烯酸甲酯（定向有机玻璃）的力学性能有明显提高，缺口敏感性也得到改善。PMMA 的表面硬度低，易于被硬物擦伤、擦毛而失去光泽。PMMA 的主要力学性能见表 1-30。

表 1-30 PMMA 的力学性能

项 目	数 值
洛氏硬度（M）	85 ~ 105
拉伸强度/MPa	50 ~ 77
弹性模量/GPa	2.4 ~ 2.8
断裂伸长率（%）	2 ~ 3
压缩强度/MPa	130
缺口冲击强度/（kJ/m ² ）	12 ~ 14
弯曲强度/MPa	90 ~ 130
疲劳强度（10 ⁷ 次）/MPa	27.8

3. 热性能

聚甲基丙烯酸甲酯的耐热性并不高，它的玻璃化温度虽然达到 104℃，但最高连续使用温度却随工作条件不同在 65 ~ 95℃ 之间改变，热变形温度为 90 ~ 110℃（0.45MPa），维卡软化点 100 ~ 102℃。可以用 MMA 单体与甲基丙烯酸丙烯酯或双酯基丙烯酸乙二醇酯共聚的方法提高耐热性。聚甲基丙烯酸甲酯的耐寒性也较差，脆化温度约 9.2℃。聚甲基丙烯酸甲酯的热稳定性属于中等，优于聚氯乙烯和聚甲醛，但不及聚烯烃和聚苯乙烯，热分解温度略高于 270℃，其流动温度约为 160℃，故尚有较宽的熔融加工温度范围。聚甲基丙烯酸甲酯的热导率和比热容在塑料中都属于中等水平，分别为 0.14 ~ 0.20W/（m·K），和 1464J/（kg·K）。PMMA 属易燃材料，点燃离火后不能自熄，火焰呈浅蓝色，顶端为白色。燃烧时起泡、熔融滴落，分解产生甲基丙烯酸甲酯等单体，并伴有腐烂水果、蔬菜的气味。PMMA 的热性能数据见表 1-31。

表 1-31 PMMA 的热性能数据

性 能	数 值
熔点/℃	130 ~ 140
玻璃化转变温度/℃	104
热降解温度（氮气）/℃	>270
热变形温度（0.45MPa）/℃	90 ~ 110
脆化温度/℃	9.2
线性膨胀系数/（×10 ⁻⁵ K ⁻¹ ）	4.5 ~ 7
氧指数（%）	17.3

4. 光学性能

PMMA 有均一的折射率 (1.49)，透光率达 92%，比普通无机玻璃高 10%，透明性是常用塑料中最好的。PMMA 可透过大部分紫外线和部分红外线，着色性好，色调范围广，热作用下几乎不变色、褪色，表面光泽好，可制成发光图案的装饰品。

5. 电性能

PMMA 含有极性的甲酯基，极性不太大，具有良好的介电和电绝缘性能，电性能不及聚烯烃和 PS 等非极性塑料。PMMA 的表面电阻率比其他大多数塑料高，而且在一定的范围内不受气候和温度的影响，适于用作室外电气材料。PMMA 具有良好的耐电弧性，具有减弧能力。PMMA 的电性能见表 1-32。

表 1-32 PMMA 的电性能

性 能		数 值
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$		$> 10^{15}$
表面电阻率/ Ω		$> 10^{16}$
介质损耗因数 (10^6 Hz)		0.02 ~ 0.06
介电强度/ (kV/mm)		18 ~ 22
相对介电常数	(60Hz)	3.7
	(10^3 Hz)	3.0
	(10^6 Hz)	2.3
耐电弧性/s		不漏电

6. 化学稳定性

PMMA 能耐较稀的无机酸，但浓的无机酸可使它侵蚀，能耐碱类，但温热的氢氧化钠、氢氧化钾可使它侵蚀，能耐盐类和油脂类，耐脂肪烃类，不溶于水、甲醇、甘油等，但可吸收醇类溶胀，并产生应力开裂；不耐酮类、氯代烃和芳烃。溶于二氯乙烷、三氯乙烯、氯仿、甲苯、乙酸乙烯和丙酮等溶剂。

PMMA 具有优异的耐大气老化性，随老化时间的延长，力学性能、光学性能略有下降，质量基本保持不变，外观色泽泛黄，但无裂纹、翘曲、起泡等现象。

1.6.2 聚甲基丙烯酸甲酯的成型加工

聚甲基丙烯酸甲酯的成型加工方法主要有浆液浇注成型和模塑料熔融挤出、注射成型及热成型等。PMMA 的成型加工温度范围较窄，一般为 180 ~ 250℃，温度超过 260℃ 易引起材料分解，因而成型加工中必须严格控制温度。由于

PMMA含有极性侧甲基，具有较明显的吸湿性，吸水率一般在0.3%~0.4%，成型前必须干燥，干燥时，可采用循环鼓风干燥或远红外线干燥等方法，干燥温度80~95℃，干燥时间视料层厚度而定，一般4~10h。

1. 浇注成型

PMMA的浇注成型是先将甲基丙烯酸甲酯单体预聚成一定粘度的浆液，再浇注于一定温度的模具中，经本体聚合直接得到制品或型材的方法。该种PMMA的相对分子质量较高，性能较好，是有机玻璃的主要品种。产品有透明、半透明或不透明的各种颜色及珠光的板、棒、管等。浇注成型后的制品需要进行后处理，后处理条件是60℃下保温2h，120℃下保温2h。

2. 注射成型

注射成型采用悬浮聚合所制得的颗粒料，可成型出尺寸精确、表面光洁的零件和制品。注射成型在普通的柱塞式或螺杆式注塑机上进行。聚甲基丙烯酸甲酯注射成型的典型工艺条件见表1-33。

表 1-33 PMMA 注射成型工艺条件

项 目		工艺参数	
		螺杆式注塑机	柱塞式注塑机
机筒温度/℃	后部	180~200	180~200
	中部	190~230	—
	前部	180~210	210~240
喷嘴温度/℃		180~210	210~240
模具温度/℃		40~80	40~80
注射压力/MPa		80~120	80~130
保压压力/MPa		40~60	40~60
螺杆转速/(r/min)		20~30	—

由于PMMA熔体粘度较高，流动性较差，成型后制品易产生较大内应力。如需要可用红外线灯或在鼓风电热干燥箱中将制品加热到75~85℃，保温3~4h后缓慢冷却至室温，可消除内应力。

3. 挤出成型

挤出成型使用PMMA模塑料，用于生产板、管、棒等型材。有机玻璃板材挤出成型生产线主要由单螺杆挤出机、扁平机头、三辊压光机、牵引机、切边机、裁切机等组成，生产中温度控制见表1-34。

挤出成型除生产一般平板有机玻璃外，还可生产彩色、花纹、波纹、中空及复合有机玻璃板。

表 1-34 有机玻璃板材挤出成型中温度的控制

项 目		温度控制
机筒温度/℃	加料段	200 ~ 220
	压缩段	220 ~ 250
	减压段	220 ~ 230
	均化段	220 ~ 230
机头连接器温度/℃		220 ~ 230
口模温度/℃		225 ~ 245
三辊压光机温度/℃	上辊	110 ~ 120
	中辊	100 ~ 110
	下辊	90 ~ 110

4. 热成型

热成型是将有机玻璃板材或片材制成各种尺寸形状制品的过程，将裁切成要求尺寸的坯料在模具框架上夹紧，加热使其软化，再加压使其贴紧模具型面，得到与型面相同的形状，经冷却定型后修整边缘即得制品。加压可采用抽真空牵伸或用对带有型面的凸模直接加压的方法。热成型温度可参照表 1-35 推荐的温度范围。采用快速真空低牵伸成型制品时，宜采用接近下限温度，成型形状复杂的深度牵伸制品时宜采用接近上限温度，一般情况下采用正常温度。

表 1-35 热成型的温度范围

下限温度	上限温度	正常温度	冷却温度
149℃	193℃	177℃	85℃

1.6.3 聚甲基丙烯酸甲酯的改性

PMMA 是一种重要的透明高分子材料。它具有很多优良的性能，且密度小、韧性好，因此广泛应用于航空、建筑、农业、光学仪器等领域。但是，PMMA 自身的一些缺点，例如耐热性、耐磨性和耐有机溶剂性均较差，使用温度低、吸水率较高、容易燃烧等，限制了它的应用范围。PMMA 的改性就是对该聚合物的分子链结构、分子链的聚集态结构和（或）织态结构进行某些调整和改变，从而使材料的某些性能得以改善和提高。从实际应用的角度来看，PMMA 的改性主要集中在耐热性、耐磨损、增韧、阻燃等方面。

1. PMMA 耐热改性

PMMA 是典型的无定型高分子材料，改善其耐热性的最有效方法是使大分子链段活动性减小。根据这一原理，在保持 PMMA 原有性能，尤其是透明性的前提下，通常采用以下几种途径来提高 PMMA 的耐热性能。

(1) 增加链段刚性 增加聚合物分子链段刚性的主要方法有:

① 在 PMMA 主链上引入大体积基团的刚性侧链。大体积基团刚性侧链的引入可以抑制大分子主链的内旋转,降低链段活动能力,从而提高有机玻璃的耐热性。引入大体积侧基所用的主要方法是以甲基丙烯酸甲酯(MMA)为主要单体,以具有大体积基团的烯类化合物为第二单体,两者共聚。通常采用的第二单体有:甲基丙烯酸多环降冰片烯酯(NMA)、甲基丙烯酸环己基酯、甲基丙烯酸双环戊烯酯、甲基丙烯酸苯酯、甲基丙烯酸对氯苯酯、甲基丙烯酸金刚烷酯(AdMA)和甲基丙烯酸异冰片酯(IBOMA)等。

② 在 PMMA 主链上引入环状结构。环状结构的引入使聚合物主链变得僵硬,对链段运动具有较大的阻碍作用。这种方法既能显著提高有机玻璃的耐热性能,又不会明显降低其力学性能。常用的途径有:MMA 与马来酸(MAn)、*N*-取代马来酰亚胺等环状结构的单体进行共聚,均可在 PMMA 主链上引入环状结构。

(2) 形成主价交联 PMMA 为线型结构,加入交联剂后分子链之间直接成链,使其由线型结构变为体型结构,大大降低了分子链段的活动能力,从而可以显著提高有机玻璃的耐热性能、力学强度和耐磨性能。交联剂的种类有很多,如甲基丙烯酸丙烯酯、乙二醇二丙烯酯、丁二醇二丙烯酯等丙烯酯类,二乙烯基苯、二乙烯基醚等二乙烯基类以及甲基丙烯酸封端的聚酯、聚醚、聚醚砜等。

(3) 增强高分子链间的相互作用力 增强高分子链间的相互作用力,也就是使高分子链之间形成副价交联,与主价交联相比,副价交联既能提高聚合物的性能又能保持聚合物的线型结构,不影响其加工成型。利用副价交联提高有机玻璃耐热性的主要方法是使高分子链间形成氢键。当 MMA 与具有活泼氢原子的单体共聚时,活泼氢原子便与 MMA 羰基上的氧原子形成氢键,从而能提高其耐热性。具有活泼氢原子的单体主要包括某些羧酸类和酰胺类化合物,如丙烯酸、甲基丙烯酸、丁烯酸、顺丁烯二酸、 α -氯丙烯酸、丙烯酰胺、甲基丙烯酰胺等。

2. PMMA 耐磨损改性

PMMA 虽然具有良好的透明性,但是其表面硬度低,耐磨性差,使用过程中易产生擦伤磨损,致使透明性下降,不仅严重影响制品的外观质量,而且使其耐应力开裂性和力学强度都明显降低,使制品的使用寿命大大缩短。因此,必须对其进行耐磨损改性。目前常用的方法有以下几种。

(1) 改进分子链结构 利用新基团的功能和性质增加有机玻璃自身的耐磨性,如在主链上引入极性基团、在主链引入苯环、在分子链上引入金属元素,或通过共聚的方法,将聚合物由线型结构变为体型结构,或者在分子链之间形成氢键,增大分子间作用力以增加表面硬度。以二乙烯基苯为交联剂,由甲基

丙烯酸甲酯、苯乙烯、甲基丙烯酸以适当比例共聚后,可以显著增强材料表面的抗划伤能力和耐磨损性能。

(2) 纳米复合改性 近年来,利用碳纳米管改善 PMMA 耐磨损性能的研究引起了越来越多的关注。通过原位本体聚合方法可以把纯化后的多壁碳纳米管均匀分布在 PMMA 基体中,形成纳米复合材料。该纳米复合材料不仅具有更强的耐磨损能力,而且具有更小的摩擦因数。碳纳米管的引入有效地提高了 PMMA 的表面硬度,显著减小了材料表面的摩擦损耗,使材料的耐磨性明显增强。

(3) 利用表面涂层改性 对 PMMA 进行表面涂层可提高板材的表面硬度、耐磨性、耐候性和抗静电性等。提高表面硬度和耐磨性的涂层材料,欧美多采用含硅的聚合物,日本则多采用多官能团丙烯酸系单体的聚合物。目前主要采取的制造涂层的方法有以下 4 种:

1) 聚硅氧烷路线。有机硅氧烷水解后形成硅醇,涂覆后通过加热使硅醇的羟基之间发生缩合反应,脱去水分而形成硅氧键。当采用 3 个或 3 个以上官能团的有机硅氧烷充分水解并缩合后,形成复杂的交联网状和体型结构。

2) 多官能团丙烯酸酯路线。通过多个丙烯酸酯基团中的双键之间发生聚合反应,形成较致密的网状和体型结构,以达到提高硬度的目的。

3) 聚氨酯路线。采用大分子多元醇、小分子多元醇和二异氰酸酯发生加聚反应,生成含长链和短链基团的氨基甲酸酯分子,构成聚氨酯涂料中的软段和硬段。

4) 等离子体化学气相沉积(PCVD)路线。利用低温等离子体(非平衡等离子体)作能量源,工件置于低气压下辉光放电的阴极上,利用辉光放电(或另加发热体)使工件升温到预定的温度,然后通入适量的反应气体,气体经一系列化学反应和等离子体反应,在工件表面形成固态薄膜。

3. PMMA 阻燃改性

PMMA 的氧指数只有 17%,是一种极易燃烧的聚合物材料,因此对其进行阻燃改性具有十分重要的意义。同其他聚合物材料一样,PMMA 的阻燃改性正朝着低烟、无毒、无卤和环境友好的方向发展。采用的主要方法有外加阻燃剂或对 PMMA 分子链进行化学改性,赋予聚合物本身以适当的阻燃性能。目前常用的方法有以下几种:

(1) 纳米粘土改性阻燃 用有机粘土(如有机蒙脱土,OMMT)改性聚合物后得到的纳米复合材料具有插层型或剥离型结构。自然界中粘土来源广泛、价格低廉、环境友好,且形成的 PMMA-OMMT 纳米复合材料质量轻、力学性能和气体阻隔性优良、不影响聚合物的透明度;另一方面,由于聚合物-粘土纳米复合材料的阻燃性能主要来源于粘土片层的物理阻隔作用,其阻燃性能的提高有一定的限度,大多数情况下不如卤素阻燃剂、磷系阻燃剂等传统方法。因此,

要进一步提高插层复合材料的阻燃性能，使其达到实际应用的效果，需要在插层改性的基础上考虑其他途径。将传统阻燃剂与插层方法结合起来用于 PMMA 的阻燃已经成为 PMMA 阻燃改性的重要方向。

(2) 无机金属氢氧化物填充阻燃 传统的无机金属氢氧化物阻燃剂（如微米氢氧化镁、氢氧化铝等）颗粒尺寸大、阻燃效率低、填充量大，影响 PMMA 材料的物理力学性能、成型加工性能和透明性，所以必须使用纳米无机金属氢氧化物粒子，并且粒子必须在聚合物基体中具有良好的分散性。

(3) 化学改性阻燃 通过与阻燃性单体进行共聚反应，把阻燃性基元接到 PMMA 分子链的主链或侧链上，既能提高 PMMA 的阻燃性能，同时还能保持其优良的透明性和其他优越性能。目前最常用的阻燃性单体为含磷单体。

1.6.4 聚甲基丙烯酸甲酯的应用

PMMA 为性能优异的透明材料，广泛应用在航空、交通、建筑、仪表、采光、照明、光学等领域。表 1-36 给出了在这些领域的具体用途。

表 1-36 PMMA 的应用

应用领域	具体实例
照明	室内外照明器具、荧光灯罩、汽车尾灯、信号灯罩等
采光	太阳能集热器的外罩、林业温室、水族馆海底隧道等
光学	光学镜片（如眼镜、放大镜、棱镜、各种透镜）、激光防护镜、光导纤维、电视屏幕等
建筑	彩色有机玻璃浴缸、洗脸盆等高级卫生洁具、大理石等
仪表	仪表零件、指示灯罩、表面覆盖板、仪表盘等
装饰	各种制图用具、标本防护罩、发卡、纽扣、广告牌、灯箱、陈列橱窗、化妆品包装等
交通	汽车、船舶的防弹玻璃及窗玻璃、汽车及摩托车的挡风玻璃、路标等
航空	飞机座舱盖、风挡、机舱、舷窗、宇航器械等
医用	义齿、义肢、义鼻、义眼、医用导光管、婴幼儿保护箱、储血容器等

1.6.5 聚甲基丙烯酸甲酯的简易识别方法

(1) 外观印象 俗称有机玻璃，高度透明，色彩丰富，表面硬度低，容易磨毛、划伤。

(2) 水中沉浮 密度比水大，在水中下沉。

(3) 溶解特性 溶于三氯甲烷、二氯乙烷、四氯化碳、丙酮等。

(4) 受热表现 温度达 105℃ 以上逐渐变软，170℃ 以上熔融，260℃ 以上分

解。

(5) 燃烧特性 能缓慢燃烧, 离火后不能自熄, 火焰呈浅蓝色, 顶端白色。燃烧时塑料融化, 有烂花果臭和腐烂蔬菜的臭味。

1.7 聚酰胺

化学名称: 聚酰胺, 俗称尼龙 (Nylon)

英文名称: Polyamide, 简称 PA

结构式:

尼龙 6 $-\text{[NH}-(\text{CH}_2)_5-\text{CO}]_n-$

尼龙 11 $-\text{[NH}-(\text{CH}_2)_{10}-\text{CO}]_n-$

尼龙 12 $-\text{[NH}-(\text{CH}_2)_{11}-\text{CO}]_n-$

尼龙 66 $-\text{[NH}(\text{CH}_2)_6\text{NH}-\text{CO}(\text{CH}_2)_4\text{CO}]_n-$

尼龙 610 $-\text{[NH}(\text{CH}_2)_6\text{NH}-\text{CO}(\text{CH}_2)_8\text{CO}]_n-$

尼龙 1010 $-\text{[NH}(\text{CH}_2)_{10}\text{NH}-\text{CO}(\text{CH}_2)_8\text{CO}]_n-$

聚酰胺是分子主链上含有重复酰胺基团 $-\text{[NHCO]}$ —的热塑性树脂总称。包括脂肪族 PA, 脂肪-芳香族 PA 和芳香族 PA。其中, 脂肪族 PA 品种多, 产量大, 应用广泛, 其命名由合成单体具体的碳原子数而定。尼龙是最重要的工程塑料, 产量在五大通用工程塑料中居首位。

1.7.1 聚酰胺的性能

1. 一般性能

PA 无毒、无味、不霉烂, 外观为半透明或不透明的乳白色或淡黄色粒料。密度较小, 不同聚酰胺密度在 $1.01 \sim 1.36\text{g/cm}^3$ 之间。PA 具有吸水性, 吸水率为 $0.3\% \sim 9.0\%$, 酰胺基密度越大, 吸水率越大。纤维增强可降低树脂吸水率, 使其能在高温、高湿下工作。尼龙与玻璃纤维亲和性十分良好。

2. 力学性能

PA 是典型的硬而韧聚合物, 综合力学性能优于通用塑料。PA 具有较高的拉伸强度、压缩强度, PA66 较 PA6、PA610、PA1010 大, PA66 的缺口冲击强度较 PA6、PA610、PA1010 低。与金属材料相比, PA 的刚性比较低, 但它的比拉伸强度大于金属, 比压缩强度与金属相当, 可代替某些金属材料使用。尼龙中 PA66 的硬度、刚性最高, 但韧性最差。各种尼龙按韧性大小排序为 $\text{PA66} < \text{PA6} < \text{PA610} < \text{PA11} < \text{PA12}$ 。几种 PA 的综合力学性能见表 1-37。

PA 具有良好的耐磨性, 是优良的耐磨材料之一, 尤以 PA1010 的耐磨性最佳。PA 结晶度愈高, 材料硬度愈大, 耐磨性愈好。PA 具有良好的耐疲劳性,

在 12 ~ 40MPa 交变循环应力作用下的疲劳寿命达 10^7 次，与铸铁和铝合金等金属材料相当，显示了适宜于制作承受循环载荷部件的特性。

表 1-37 几种 PA 的力学性能

性能	PA6	PA66	PA610	PA1010	PA11	PA12
洛氏硬度 (R)	114	118	116	111	—	—
拉伸强度/MPa	60 ~ 80	60 ~ 85	55	50 ~ 69	55	43
弹性模量/GPa	—	2.9	1.6	2.0	1.3	1.8
断裂伸长率 (%)	130	60	200	250	300	300
压缩强度/MPa	55 ~ 90	120	79	90	—	—
缺口冲击强度/ (kJ/m ²)	3.1	3.9	4 ~ 5	2.5 ~ 5.5	4.1	11.3
弯曲强度/MPa	80 ~ 110	55 ~ 120	70 ~ 80	90	70	—
弯曲模量/GPa	2.7	3.0	2.2	1.3	1.0	1.4
疲劳强度/MPa (10^7 次)	12 ~ 19	—	—	23 ~ 25	—	—

3. 热学性能

PA 是半结晶型聚合物，结晶度一般小于 PE、PP、PTFE（聚四氟乙烯）等高结晶度聚合物。由于分子间作用力大，熔点较高，熔融温度范围窄，有明显的熔点，通常在 180 ~ 280℃ 之间，随品种和结构的不同而异。PA 稳定性较差，制品一般只能在 80 ~ 100℃ 下使用；若在高于 120℃ 温度下长期与氧接触会引起热降解，制品逐渐呈现褐色，丧失使用性能。芳香族 PA，长期使用温度可达 200℃。线性膨胀系数一般大于 $6 \times 10^{-5} \text{K}^{-1}$ ，比金属的热膨胀系数大。不同聚酰胺的氧指数在 24% ~ 30% 之间，多数聚酰胺具有自熄性，即使燃烧，火焰传播速度也很慢。几种 PA 的热性能见表 1-38。

表 1-38 几种 PA 的热性能

性能	PA6	PA66	PA610	PA1010
熔点/℃	225	260	213	200
热降解温度 (氮气) /℃	—	—	—	> 350
热变形温度 (0.45MPa) /℃	155	180	160	—
脆化温度/℃	-30 ~ -20	-30 ~ -25	-20	-60
线性膨胀系数/ ($\times 10^{-5} \text{K}^{-1}$)	6.5	7	11	10
氧指数 (%)	24.5	—	25	—

4. 电性能

PA 在低温及低湿度条件下是较好的电绝缘体，一般而言，各种脂肪族聚酰胺的介电常数在 3 ~ 4F/m 之间，介质损耗因数为 2×10^{-2} ，体积电阻率在 $10^{12} \sim 10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$ 之间，介电强度在 15 ~ 25kV/mm 之间。当温度和湿度增加时，绝缘

性能有所降低,介电常数和介质损耗因数与此相反,随吸水率的增加而增大,因此,PA 不适合作为高频和在潮湿环境下工作的电绝缘材料。几种 PA 的电性能见表 1-39。

表 1-39 几种 PA 的电性能

性能	PA6	PA66	PA610	PA1010
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	1.7×10^{16}	$>4.2 \times 10^{12}$	4.8×10^{16}	2×10^{14}
介电常数/(F/m) (10^3 Hz)	3.8	3.9	3.6	3.6
介电强度/(kV/mm)	22	15~19	10~15	18
介质损耗因数 (10^6 Hz)	0.02	0.02	0.02	0.02
耐电弧性/s	121	118	—	—

5. 化学稳定性

PA 在室温下耐稀酸、弱碱和大多数盐类,但强酸和较高浓度的酸及强氧化剂对 PA 有侵蚀作用。酸类的破坏作用会引起大分子链断裂,使制品表面产生不同深度的细裂纹或网状裂纹,PA 中酰胺基分布密度越大,耐酸性越差。

PA 的耐溶剂性优良,能耐烃类、油类及一般溶剂,如四氯化碳、乙酸甲酯、环己酮、苯、四氢呋喃等。耐油性好是 PA 的一个重要特性,特别是对于汽油、煤油、润滑油等具有优异的抵抗性。对矿物油、植物油和油脂均呈惰性。只有甲酸、甲酚等少数与它们形成氢键的溶剂,才能使它们溶解。但水和醇及其类似的化合物能使 PA 产生溶胀。

PA 的耐候性一般。制品在室内或不受阳光照射的地方使用,其性能随时间的延长变化不大,但直接暴露在大气中或在热氧的作用下则易老化,导致制品表面变色,力学性能下降。通常加入炭黑、胺类和酚类稳定剂可明显提高其耐候性,也能使耐热性得到改善。

1.7.2 聚酰胺的分类

PA 品种繁多,根据酰胺间的烃基的不同分为芳香族聚酰胺、脂肪族聚酰胺、含杂环的聚酰胺等。

根据生产原料的不同脂肪族聚酰胺分为:

1) MP 型聚酰胺。PA66 (己二胺与己二酸缩聚而成)、PA610 (己二胺与癸二酸缩聚而成)、PA1010 (癸二胺与癸二酸缩聚而成) 等。

2) P 型聚酰胺。PA6 (己内酰胺合成)、PA9 (壬内酰胺合成) 等。

尼龙中的主要品种是 PA6 和 PA66, 占绝对主导地位, 占总量的 80% 以上。其次是尼龙 11, 尼龙 12, 尼龙 610, 尼龙 612, 另外还有尼龙 1010, 尼龙 46, 尼龙 7, 尼龙 9, 尼龙 13, 新品种有尼龙 6I, 尼龙 9T 和特殊尼龙 MXD6 (阻隔

性树脂)等,尼龙的改性品种数量繁多,如增强尼龙,单体浇注尼龙(MC 尼龙),反应注射成型(RIM)尼龙,芳香族尼龙,透明尼龙,高抗冲(超韧)尼龙,电镀尼龙,导电尼龙,阻燃尼龙,尼龙与其他聚合物共混物和高分子合金等,满足不同特殊要求,广泛用作金属,木材等传统材料代用品,作为各种结构材料。

1.7.3 聚酰胺的成型加工

PA 的品种虽多,但都具有相似的成型加工性能,可采用一般热塑性塑料的加工方法来成型,如注射、挤出、吹塑、模压等,也可采用特殊的工艺来成型,如烧结、浇注、涂覆等。其中以注射成型应用最为广泛,约占其制品总量的 65% 左右,PA6 与 PA66 的成型加工工艺不尽相同,PA66 基本都采用注射加工,占 95%,挤出成型仅占 5%;PA6 的注射制品占 70%,挤出成型占 30%。

(1) 注射成型 通过注射成型可以制得各种形状复杂、尺寸精度较高的 PA 制品。由于 PA 的品种较多,各类注射制品在材料选择上既要注意其共性,又要了解各品种的特性,根据实际使用环境和条件进行选用。

玻璃纤维增强 PA 的成型工艺与未增强时大致相同,但因流动性较增强前差,所以注射压力和注射速度要适当提高,机筒温度提高 10 ~ 40℃。由于玻璃纤维在注射过程中会沿流动方向取向,引起力学性能和收缩率在取向方向上增强,导致制品变形翘曲,因此,模具设计时,浇口的位置、形状要合理,工艺上可以提高模具的温度,制品取出后放入热水中让其缓慢冷却。另外,加入玻璃纤维的比例越大,对注塑机的塑化元件的磨损越大,最好是采用双金属螺杆、机筒。

(2) 挤出成型 挤出制品占 PA 塑料制品总量的 25% 左右,产品主要有薄膜、管材,棒材,单丝,片材等。生产薄膜主要采用 PA6、PA 66 以及 PA66-PA 6 共聚物。PA 管材有两类:一类是采用 PA11、PA12 或增塑过的 PA6 生产的柔软管材,另一类是采用 PA6 或 PA66 生产的硬质管材,主要用于汽车、石油、天然气方面;挤出生产的 PA 棒材可以通过二次加工制成各种机械零件,弥补小批量 PA 产品的需要。

(3) 浇注成型 单体浇注是指己内酰胺采用碱为催化剂,直接在模具内聚合成型,一般简称为单体浇注尼龙(MC 尼龙)。MC 尼龙相对分子质量是 PA6 的 2 倍左右,因而其力学性能、尺寸稳定性、耐热性、电性能等大大高于 PA6。由于 MC 尼龙成型设备及模具简单,可直接浇注,特别适合于大件、多品种和小批量制品的生产,如大型齿轮,高负荷轴承、辊轴、导轨等。

在 PA 的成型加工中首先会遇到吸水率的问题,吸水率较高的树脂不仅使熔体粘度下降,制品表面出现气泡、银丝、斑纹,而且制品的力学性能和电性能

也显著降低。因此,成型前必须对树脂进行干燥,使吸水率降低至 0.2% 以下。为避免氧化,通常采用真空干燥法,干燥温度 80 ~ 100℃,干燥时间 6 ~ 10h。

PA 的结晶性使其具有较大的成型收缩率,一般为 1.5% ~ 2.5%,同时,由于结晶的不完全性和不均匀性,往往还会导致制品在成型后出现收缩,产生内应力。这些也是导致 PA 制品尺寸稳定性差的因素。因此,对于使用温度高于 80℃ 或精度要求较高的制品,成型后可以进行退火处理,即将制品置于高于使用温度 20℃ 的非氧化性油中停留适当时间。通常不超过 0.5h。为了提高制品的尺寸稳定性和冲击强度,也可以将制品放入水或醋酸钾水溶液中进行调湿处理,调湿温度为 80 ~ 121℃,时间随制品的厚度而定。

1.7.4 聚酰胺的改性

聚酰胺是工程塑料中历史最悠久、性能较优、产量最大、应用最广泛的品种。随着汽车的小型化、电子电气设备的高性能化、机械设备轻量化的进程加快,对尼龙的需求量将会更大。特别是尼龙作为结构性材料,对其强度、耐热性、耐寒性等方面提出了很高的要求。尼龙的固有缺点也是限制其应用的重要因素,特别是对于 PA6、PA66 两大品种来说,与 PA46、PA12 等品种比具有很明显的价格优势,尽管某些性能不能满足相关行业发展的要求。因此,必须针对某一应用领域,通过改变分子结构、共聚和添加增强剂、填充剂、助剂和其他聚合物等方法来提高其某些性能,扩大其应用领域。

1. 共混改性

PA 借助共混方法易形成高分子合金,所谓高分子合金,是指两种或两种以上聚合物组成的复合体系。聚合物合金化的目的是使通用塑料功能化,工程化,特种塑料实用化。就尼龙合金而言,主要的研究集中在以下几个方面:

(1) 尼龙与聚烯烃、烯烃共聚物、弹性体等共混 此类合金可以提高尼龙在低温、干态下的冲击强度,降低吸湿性,特别是尼龙与含有烷基的烯烃弹性体或弹性体的接枝共聚物等组成的共混合金可得到超韧性的尼龙材料。如 PP-PA 合金结合了 PA 的热、力学性能和 PP 对湿环境的不敏感性,比 PP 耐热性高出 50℃,冲击强度等于或略高于 PA,加工性能接近 PP,密度低于 PA。

PA-ABS 合金如 Triax1120、1180 均为注射级,低温冲击性好,制品外观佳,作计算机底盘可节省模具费 30% 以上,耐断裂破裂、冲击和弯曲能力均优于 ABS;2000 系列是专为汽车市场开发的牌号,加工性能良好并具有高抗冲击性、刚性、耐热性。

(2) PA 与高性能工程塑料的共混 此类共聚物可以提高 PA 的耐热性并改善其综合性能,多用于汽车外壳、内装制品的生产。如 PA-PPS 合金具有 140 ~ 170℃ 的长期耐热性能、较好的刚性和成本低等特点,且比 PA66 树脂的长期使

用温度提高了 30 ~ 60℃。PA/PPO 合金由于兼具了 PA 与 PPO (聚苯醚) 的优点, 因此具有优良的力学性能、耐热性能、电气绝缘性能等。

(3) 各种尼龙之间的共混 用各种高韧性的尼龙进行共混, 可以平衡各种尼龙的特性, 拓展其应用领域。如将质量比为 80: 20 的 PA46 与 PA6 进行共混, 获得了冲击强度高达 100J/m 的材料。

此外, PA 合金还有 PA-EPDM, PA-PBT, PA-乙烯基聚合物, PA-有机硅 IPN (互穿聚合物网络), PA-PC 等。

2. 填充增强改性

填充、增强是改性 PA 最常用的方法, 可以提高冲击性能、尺寸稳定性、耐热性、阻燃性等。

(1) PA 主要的增强剂

1) 玻璃纤维。在 PA 中加入 30% 的玻璃纤维, PA 的力学性能、尺寸稳定性、耐热性、耐老化性能有明显提高, 耐疲劳强度是未增强的 2.5 倍。PA66、PA6 中最多可加 50%, PA6、PA10、PA11、PA12 中最高加入量为 30%。

2) 玻璃微珠。PA66、PA12 中可加 50%。

3) 碳纤维和石墨纤维。PA6 中可加 20%, PA66、PA11、PA12 中可加 40%, 炭黑和石墨添加量一般不超过 5%。

4) 金属粉末 (铝、铁、青铜、锌、铜)。可提高树脂热变形温度和导电性。

5) 二氧化硅和硅酸盐。最多可加 40%。

6) 液晶聚合物 (LCP)。最高加入量为 30%。

其中最常用的增强剂是玻璃纤维, 这是因为 PA 熔体粘度较低, 且玻璃纤维与 PA 亲和性好, 当添加较多的玻璃纤维时, 仍能保持在良好的加工粘度范围内, 且增强效果显著。

以一种无机物作为增强剂, 有可能使同种增强剂之间由于自聚而影响增强效果。若用两种增强剂, 则可通过不同增强剂之间的作用力而相对削弱同种增强剂的集束力。掺混过程中易于进行力和能量的传递而形成良好的分散, 充分发挥不同增强剂的各自优势, 体现了良好的堆砌作用, 使材料的宏观力学性能得到提高。

(2) 添加不同的助剂 PA 可通过填料、增强剂或添加增韧剂、润滑剂、热稳定剂、加工助剂和着色剂来改进和提高性能, 或同时使用添加剂和改性剂进行改性。加入不同的添加剂, 可制取阻燃、尺寸稳定、增强、增韧、抗静电、导电、耐溶剂和加工性能 (包括脱模性) 好的树脂。

3. 共缩聚改性

将不同的尼龙通过共缩聚, 可获得综合性能优良的尼龙制品。根据所得共聚物结构的不同, 可将改性工艺分为无规共聚、嵌段共聚、接枝共聚以及交替

共聚等。目前,尼龙的无规共聚改性研究比较成熟,有些产品已经实现了工业化生产,如利用无规共聚得到的透明尼龙已广泛应用于精密光学仪器、观察镜、仪表盘及体育器材等诸多领域。

PA 作为工程材料的一大优点在于它不溶于大多数非极性溶剂,但为了提高其加工灵活性,拓宽其应用范围,人们还利用无规共聚原理,研制了水溶和醇溶性尼龙。

嵌段与接枝共聚通过调节各链段的组成、长度、嵌段数目、接枝率及聚集结构来调整产品性能,以满足不同场合的需要,在高性能 PA 的合成中常用此法。

4. 阻燃改性

汽车、电子电气、家用电器、办公室和通信设备等领域要求阻燃 PA。采用无毒、低发烟性、高耐热、使 PA 力学性能下降少的无卤阻燃剂和各种阻燃剂的协同效应是无卤阻燃 PA 的开发重点。如荷兰 DSM 工程塑料公司开发的不含卤素和磷的未增强 PA6 牌号 AKULON K225—KS,密度小,流动性极好,0.75mm 样片达 UL94V—0 级。

5. 纳米复合改性

纳米尼龙复合材料可显著提高尼龙材料的弯曲模量、热变形温度和阻隔性。如纳米 PA6 复合材料 M1030D,具有以下特点:①刚性、强度高,耐热性强;②密度小,与一般未增强 PA 几乎相等;③成型时飞边小,因为在低剪切速率下熔体粘度高;④成型周期短,因为其结晶速度快;⑤制品外观良好。

总之,通过上述改进,实现尼龙复合材料的高性能化与功能化,进而促进相关行业产品向高性能、高质量方向发展。

1.7.5 聚酰胺的应用

作为耐磨和自润滑材料,PA 齿轮在各方面得到了广泛应用,而各种 PA 齿轮的性能有所不同,具有各自的适应范围:PA 66 齿轮具有较高的力学强度和刚性,优良的耐磨性、自润滑性、耐疲劳性及耐热性,可在中等负荷、较高温度(100~120℃)、无润滑或少润滑条件下使用;而 PA 1010 齿轮的力学强度、刚度和耐热性稍低于 PA 66,但它的吸水率低,具有较好的尺寸稳定性、突出的耐磨性和自润滑性,可在轻负荷、温度不高、湿度波动大,无润滑或少润滑的条件下使用。除齿轮外,PA 还用来制造轴承、轴瓦、凸轮、滑块、涡轮、接线柱、滑轮、导轨、脚轮、螺栓、螺母、打字机框架等,广泛用于汽车、机械、电子电气、精密仪器等工业;此外,还可用于制备耐腐蚀耐油管道、输油管、储油容器、过滤器以及窗、门、窗帘导轨、滑轮、安全帽、绳索、片材、棒材、薄膜等。与其他薄膜相比,PA 薄膜的力学强度高,气密性好,尤其是对香味、

油脂和氧的阻隔性能突出，但成本稍高，主要用于价值较高的食品包装，如肉类、奶酪和药品等。

1.7.6 聚酰胺的简易识别方法

(1) 外观印象 外观为半透明或不透明的乳白色或淡黄色粒料，制品微黄，有角质感，手感润滑，耐磨。

(2) 水中沉浮 密度比水大，在水中下沉。

(3) 溶解特性 溶于甲酸、苯酚、2-苯酚、间苯二酚等。

(4) 受热表现 各品种熔点不同，温度达熔点（180 ~ 280℃）以上熔融，熔融过程中逐渐呈透明状，300℃以上分解。

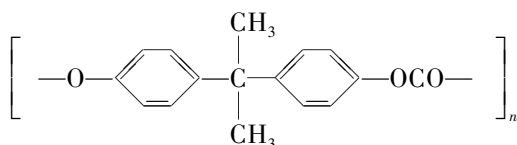
(5) 燃烧特性 慢燃，离火后缓慢熄灭，火焰呈蓝色而上端为黄色，燃烧时熔融滴落，起泡，有特殊的羊毛或指甲烧焦气味。

1.8 聚碳酸酯

化学名称：2, 2'-双（4-羟基苯基）丙烷聚碳酸酯

英文名称：Polycarbonate, 简称 PC

结构式：



聚碳酸酯是分子链中含有碳酸酯基的高分子聚合物，由于聚碳酸酯结构上的特殊性，现已成为五大工程塑料中增长速度最快的通用工程塑料。

1.8.1 聚碳酸酯的性能

1. 一般性能

PC 是一种无味、无臭、无毒、透明的无定形热塑性聚合物，密度为 1.2g/cm³，吸水率小于 0.2%。燃烧缓慢，离火自熄，燃烧时熔融、起泡，伴有腐烂花果臭气味。

2. 力学性能

PC 是典型的硬而韧的聚合物，具有良好的综合力学性能，尤为突出的是它的冲击强度，高出 PA 3 倍，属于冲击强度优异的工程塑料品种。拉伸、压缩、弯曲强度均相当于 PA6、PA66。与其他热塑性塑料比较，PC 的刚性大，蠕变值很小，具有良好的尺寸稳定性，性能优于 PA 和聚甲醛。PC 的不足之处是疲劳

强度和耐磨性一般，易产生应力开裂，长期使用强度低，缺口敏感性较明显，耐磨性欠佳，PC 的耐磨性不如 PA 和聚甲醛等工程塑料，属于中等耐磨材料。PC 的力学性能见表 1-40。

表 1-40 PC 的力学性能

性 能	数 值
洛氏硬度 (R)	112 ~ 128
拉伸强度/MPa	60 ~ 70
弹性模量/GPa	2.1 ~ 2.5
断裂伸长率 (%)	70 ~ 120
压缩强度/MPa	70 ~ 100
缺口冲击强度/ (kJ/m ²)	17 ~ 24
弯曲强度/MPa	90 ~ 120
疲劳强度/MPa	9.8

3. 热性能

PC 具有良好的耐热性能和耐寒性能，玻璃化温度 (T_g) 较高 (约 150℃)，熔融温度为 220 ~ 230℃，略高于 PA6，但低于 PA66，熔体粘度高，不易加工，且高温时对水分非常敏感。PC 的热分解温度在 320℃ 以上，耐热性优于聚甲醛 (POM)、脂肪族聚酰胺和 PBT，与聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 相当。脆化温度低至 -100℃，可以在 -70℃ 条件下长时间工作，使用温度范围较宽 (-100 ~ 130℃)。缓慢燃烧，起泡，黄色火焰，离火自熄。PC 的热性能见表 1-41。

表 1-41 PC 的热性能

性 能		数 值
熔点/℃		230
热变形温度/℃	(0.45MPa)	145 ~ 155
	(1.82MPa)	126 ~ 135
分解温度/℃		340
脆化温度/℃		-100
线性膨胀系数/ (×10 ⁻⁵ K ⁻¹)		6 ~ 7
热导率/ [W/ (m · K)]		0.145 ~ 0.220
氧指数 (%)		25 ~ 27

4. 电性能

PC 是极性聚合物，电性能比非极性的碳氢聚合物稍差，但因其耐热性优于聚烯烃，可在较宽温度范围保持良好的电性能，使其在电气方面有一定应用。

PC 的电性能见表 1-42。

表 1-42 PC 的电性能

性 能	数 值
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	2.1×10^{16}
介电常数/ (F/m) (10^6 Hz)	2.9 ~ 3.2
介电强度/ (kV/mm)	18 ~ 22
介质损耗因数 (10^6 Hz)	0.008
耐电弧性/s	120

5. 光学性能

纯净的 PC 无色透明，具有良好的透过可见光的能力。其透光率与光线的波长、制件厚度有关。2mm 厚度的薄板可见光透过率可达 90%，制件厚度减小，透过率增大。对于波长 290nm 附近的紫外线会引发光氧化反应而导致 PC 逐渐老化，如长期在光照环境中使用，需加入紫外线吸收剂以提高其防老化性能。此外，透光率还与制品的表面粗糙度有关，若表面磨毛，透光率降低。

6. 化学稳定性

室温下，PC 耐无机和有机的稀酸溶液、食盐溶液、饱和的溴化钾溶液，耐脂肪烃、环烷烃及大多数醇类和油类。尤其是耐油性优良，在 123℃ 的润滑油中浸泡 3 个月，尺寸和质量不发生变化。但是，它不耐碱液、浓硫酸、浓硝酸、王水和糠醛等。稀的氢氧化钠水溶液能使它缓慢破坏，浸入 70℃ 的 70% 硝酸溶液中，一周后会变黄，并发生尺寸和质量的变化。耐沸水性很差，仅能耐 60℃ 的水温，进一步升高水温，PC 就可因水解而失去韧性，力学性能大大下降。

PC 分子结构中含有酯基，易于和极性有机溶剂作用。它溶解于四氯乙烷、二氯甲烷、1, 2-二氯乙烷、三氯甲烷、三氯乙烯、三氯乙烷、二氯六环、吡啶、四氢呋喃、三甲酚、噻吩、磷酸三甲酯等溶剂中，能被氯化烃类（如四氯化碳）、芳香族溶剂（如苯）、酮（如丙酮）和酯（如乙酸乙酯）等所溶胀。甲酸和乙酸对其也有轻微侵蚀作用。

PC 的耐候性较好，具有较高的氧化稳定性和耐臭氧性，制品在室外暴露一年，力学性能没有明显的改变。在紫外光和热水的作用下易老化变黄、脆化、龟裂。

1.8.2 聚碳酸酯的分类

根据酯基（R）的结构 PC 可分为脂肪族、芳香族、脂肪族-芳香族等多种类型。

（1）脂肪族聚碳酸酯（R 为脂肪烃基） 熔点低，亲水性强，热稳定性和

力学性能差，不作为工程塑料使用。

(2) 脂肪-芳香族聚碳酸酯 (R 为带有芳香基团的脂肪烃基) 易结晶、性脆、力学强度差，没有什么使用价值。

(3) 芳香族聚碳酸酯 (R 为芳香烃基) 透明、坚韧、耐热、耐寒、耐候性优异，现在已工业化的主要是双酚 A 型聚碳酸酯。

双酚 A 型聚碳酸酯是无色或微黄色透明的刚硬、坚韧固体，带微黄色，透光率可达 89%，无臭、无味、无毒，密度约 $1.20\text{g}/\text{cm}^3$ ，硬度大于 PMMA，作为透明材料，表面不易划伤。

1.8.3 聚碳酸酯的成型加工

PC 可注射、挤出、模压、吹塑、热成型、印刷、粘接、涂覆和机加工，最重要的加工方法是注射。注射成型一般选用平均相对分子质量为 2 万 ~ 4 万的 PC；挤出成型可选用相对分子质量较高的 PC，通常在 3 万 ~ 4 万以上，相对分子质量提高不但有利于挤出成型，而且有利于提高制品的力学性能，尤其是耐环境应力开裂性。

尽管 PC 的吸水率不大（正常使用吸水率 0.18%），但由于酯基易发生高温水解，在成型加工温度（220 ~ 300℃）下微量的水分也能导致其降解，放出 CO_2 等气体，产生变色，相对分子质量急剧下降，制品表面出现银丝、气泡等，因此，PC 在成型前必须进行干燥，使其含水质量分数降低到 0.03% 以下。通常干燥温度应在 135℃ 以下，干燥时间因干燥方法不同而异。

PC 熔体冷却时收缩均匀，成型收缩率小，一般在 0.4% ~ 0.8% 的范围内。通过正确控制熔体温度、模具温度、注射压力和保压时间等工艺条件，可制得尺寸精度较高的制品。若需要进一步提高制品的尺寸稳定性，可将制品在 110 ~ 135℃ 下进行热处理。热处理可减小 PC 在成型加工中产生的内应力，提高其拉伸强度、弯曲强度、硬度和热变形温度等。对 PC 制品进行热处理是提高其尺寸稳定性和耐环境应力开裂性的常用方法。但需注意的是热处理后常因结晶增多而导致冲击强度降低。聚碳酸酯的性能以及成型参数见表 1-43（仅供参考）。

表 1-43 聚碳酸酯注射成型工艺参数

项 目		参 数
使用注塑机类型		螺杆式
预热温度/℃		110 ~ 120
预热时间/h		8 ~ 10
机筒温度/℃	前段	240 ~ 285
	中段	230 ~ 280
	后段	210 ~ 240

(续)

项 目	参 数
喷嘴温度/℃	240 ~ 250
模具温度/℃	50 ~ 80
注射压力/MPa	80 ~ 130
注射时间/s	20 ~ 90
保压时间/s	0 ~ 5
冷却时间/s	20 ~ 90
总周期/s	40 ~ 190
螺杆转速/ (r/min)	28

PC 冲击韧性高，因此可进行冷压，冷拉，冷辊压等冷成型加工。挤出用 PC 相对分子质量应大于 3 万，要采用渐变压缩型螺杆，长径比 1: (18 ~ 24)，压缩比 1:2.5，可采用挤出吹塑、注-吹、注-拉-吹法成型高质量，高透明瓶子。

PC 对缺口敏感，因而制品设计中应尽量减少尖角、缺口以及厚度突变的区域，以免产生应力集中而导致制品破坏。

1.8.4 聚碳酸酯的改性

由于 PC 熔体粘度大，流动性差，使成型制件的残余应力大，容易产生应力开裂。PC 与不同聚合物形成合金或共混物，可以改进 PC 熔体粘度大和制品易应力开裂等缺陷，提高材料性能。具体有 PC/PE 合金、PC/PP 合金、PC/ABS 合金、PC/ASA 合金、PC/PBT 合金、PC/PET 合金、PC/PET/弹性体共混物、PC/MBS 共混物、PC/PTFE 合金、PC/PA 合金等，利用两种材料性能优点，并降低成本，如 PC/ABS 合金中，PC 主要贡献高耐热性，较好的韧性和冲击强度，高强度、阻燃性，ABS 则能改进可成型性，表观质量，降低密度。

1.8.5 聚碳酸酯的应用

由于聚碳酸酯无色透明和优异的抗冲击性，广泛应用于机械、电子、电气、医疗器械、仪表和军工等方面。

(1) 汽车工业 聚碳酸酯具有良好的抗冲击、抗热畸变性能，而且耐候性好、硬度高，因此适用于生产轿车和轻型卡车的各种零部件，其主要集中在照明系统（汽车前灯、侧灯、尾灯）、车窗玻璃、仪表板、加热板、除霜器及 PC/PBT 合金制的保险杠、PC/ABS 等合金制的内外装饰件等。

(2) 光学应用 用于光学透镜领域。聚碳酸酯以其独特的高透光率、高折射率、高抗冲性、尺寸稳定性及易加工成型等特点，在该领域占有极其重要的

位置。采用光学级聚碳酸酯制作的光学透镜不仅可用于照相机、显微镜、望远镜及光学测试仪器等,还可用于电影投影机透镜、复印机透镜、红外自动调焦投影仪透镜、激光打印机透镜,以及各种棱镜、多面反射镜等诸多办公设备和家电领域,其应用市场极为广阔。聚碳酸酯在光学透镜方面的另一重要应用领域便是作为儿童眼镜、太阳镜和安全镜和成人眼镜的镜片材料。

(3) 电子电气 由于聚碳酸酯在较宽的温、湿度范围内具有良好而恒定的电绝缘性,是优良的绝缘材料。同时,其良好的难燃性和尺寸稳定性,使其在电子电气行业形成了广阔的应用领域。聚碳酸酯树脂主要用于生产各种食品加工机械,电动工具外壳、机体、支架、冰箱冷冻室抽屉和真空吸尘器零件等。而且对于零件精度要求较高的计算机、视频录像机和彩色电视机中的重要零部件方面,聚碳酸酯材料也显示出了极高的使用价值。

(4) 机械设备 用于制作传递中、小负荷的机械零件,如齿轮、齿条、蜗轮、蜗杆、凸轮、棘轮、直轴、曲轴、杠杆;以及受力不大的紧固件和转速不太高的耐磨件,如螺钉、螺帽、铆钉、轴套、管套、保持架、导轨、防护壳体。

(5) 医疗器材 由于聚碳酸酯制品可经受蒸汽、清洗剂、加热和大剂量辐射消毒,且不发生变黄和物理性能下降,因而被广泛应用于人工肾血液透析设备和其他需要在透明、直观条件下操作并需反复消毒的医疗设备中。如生产高压注射器、外科手术面罩、一次性牙科用具、血液分离器、药品容器、手术器械以及医用杯、桶、瓶等。

(6) 包装领域 在包装领域出现的新增长点是可重复消毒和使用的各种型号的储水瓶。由于聚碳酸酯制品具有质量轻,抗冲击和透明性好,用热水和腐蚀性溶液洗涤处理时不变形且保持透明的优点,目前一些领域 PC 瓶已完全取代玻璃瓶。

(7) 建材行业 聚碳酸酯板材具有良好的透光性,抗冲击性,耐紫外线辐射及其制品的尺寸稳定性和良好的成型加工性能,使其比建筑业传统使用的无机玻璃具有明显的技术性能优势。

(8) 航空、航天领域 随着航空、航天技术的迅速发展,对飞机和航天器中各部件的要求不断提高,使得 PC 在该领域的应用也日趋增加。据统计,仅一架波音型飞机上所用聚碳酸酯部件就达 2500 个,单机耗用聚碳酸酯约 2 吨。而在宇宙飞船上则采用了数百个不同构型并由玻璃纤维增强的聚碳酸酯部件及宇航员的防护用品等。

1.8.6 聚碳酸酯的简易识别方法

(1) 外观印象 透明,显微黄色,制品手感刚、韧,与有机玻璃相比表面

不易划伤；具有良好的尺寸稳定性，耐蠕变。

(2) 水中沉浮 密度比水大，在水中下沉。

(3) 溶解特性 溶于四氯乙烷、二氯甲烷、1, 2-二氯乙烷、三氯甲烷、三氯乙烯、三氯己烷、四氢呋喃、三甲酚等。

(4) 受热表现 温度达 150℃ 以上逐渐变软，220℃ 开始熔融，320℃ 以上分解。

(5) 燃烧特性 慢燃，离火慢熄，火焰呈黄色，黑烟碳束，燃烧后塑料熔融、起泡，发出特殊的烂花果臭气味。

1.9 聚甲醛

化学名称：聚甲醛，又称聚氧亚甲基

英文名称：polyformaldehyde，简称 POM

结构式：

均聚甲醛 $\left[\text{CH}_2\text{O} \right]_n$

共聚甲醛 $\left[\left(\text{CH}_2\text{O} \right)_n \left(\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O} \right)_m \right]$

聚甲醛是指分子链中以—(CH₂O)—链节为主的热塑性线型结晶聚合物。因具有优异的综合力学性能、良好的尺寸稳定性和成型加工性，被誉为“超钢”或者“赛钢”，现在已成为工程塑料中的一个重要品种，产量在工程塑料中仅次于 PA 和 PC 居第三位。

1.9.1 聚甲醛的性能

1. 一般性能

聚甲醛为白色粉末状或粒状固体，表面光滑且有光泽和滑腻感，硬而致密，呈现出半透明或不透明的特点。密度为 1.42g/cm³，很易结晶，结晶度 70% 以上，吸水率小于 0.25%。POM 易燃，燃烧时，火焰上端呈黄色，下端蓝色，有熔融滴落现象，并伴有刺激性甲醛味和鱼腥臭味。

2. 力学性能

POM 的硬度大、模量高，冲击强度、弯曲强度、疲劳强度和耐磨性均较优异。POM 的表面硬度与铝合金接近；较高的弹性模量是其突出的特性，使得 POM 表现出较好的刚性，可代替金属材料；具有优异的抗冲击性能，在热塑性树脂中是最坚韧的，且受温度、湿度的影响小，对缺口敏感；具有优良的耐蠕变性，回弹性好，在热塑性工程塑料中疲劳极限强度最大；具有优良的自润滑性能和耐磨损性能，适用于长期经受滑动的部件。POM 的力学性能见表 1-44。

表 1-44 POM 的力学性能

性 能	均聚 POM	共聚 POM
洛氏硬度 (M)	94	80
拉伸强度/MPa	65 ~ 70	55 ~ 60
弹性模量/GPa	3.1 ~ 3.6	2.8 ~ 3.0
伸长率 (%)	40	60
压缩强度/MPa	127	112
缺口冲击强度/ (kJ/m ²)	7.6	6.5
弯曲强度/MPa	100	92
弯曲模量/GPa	2.88	2.64
疲劳强度 (10 ⁷ 次) /MPa	30 ~ 35	25 ~ 30

3. 热性能

POM 是结晶性聚合物, 均聚甲醛熔点为 175℃, 共聚甲醛熔点为 165℃。POM 属热敏性聚合物, 在成型温度下的热稳定性差, 易分解 (分解温度 230 ~ 240℃), 一般在造粒时加入 0.1% 双氰胺和 0.5% 的抗氧剂 2246 作为稳定剂。POM 具有较高的热变形温度, 在 0.46MPa 负荷下, 均聚甲醛和共聚甲醛的热变形温度分别为 170℃ 和 158℃, 在 1.82MPa 负荷下均聚甲醛和共聚甲醛的热变形温度分别可达 124℃ 和 110℃。但 POM 的使用温度不宜过高, 长期使用温度不超过 100℃, 均聚甲醛在 82℃ 可连续使用 1 年, 在 121℃ 可连续使用 3 个月; 共聚甲醛可在 114℃ 下可连续使用 2000h, 在 130℃ 可连续使用 1000h, 在 160℃ 时可短时间使用。POM 的热性能见表 1-45。

表 1-45 POM 的热性能数据

性 能	均聚 POM	共聚 POM
熔点/℃	175	165
热降解温度 (氮气) /℃	230 ~ 240	230 ~ 240
热变形温度 (1.82MPa) /℃	124	110
脆化温度/℃	-50	-40
线性膨胀系数/ (×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	8 ~ 9	10 ~ 14
氧指数 (%)	16	15.4

4. 电性能

POM 具有优良电性能, 温度和湿度对介电常数、介质损耗因数和体积电阻率影响不大; 均聚甲醛还具有好的耐电弧性, 电弧作用后不产生炭化导电通路, 而是逸出了甲醛气体。但其耐候性差, 因而它的电性能不如其他工程塑料。POM 的电性能见表 1-46。

表 1-46 POM 的电性能

性 能	均聚 POM	共聚 POM
体积电阻率/ $\Omega \cdot \text{cm}$	$10^{15} \sim 10^{16}$	$10^{13} \sim 10^{14}$
介电常数/ (F/m) (10^6 Hz)	3. 8	3. 7
介电强度/ (kV/mm)	18 ~ 24	17 ~ 20
介质损耗因数 (10^6 Hz)	0. 005	0. 007
耐电弧性/s	220	240

5. 化学稳定性

POM 是弱极性结晶型聚合物，在室温下具有良好的耐溶剂性，特别能耐非极性有机溶剂（如烃类、醇类、醛类、酯类和醚类等）的侵蚀，对油脂类（如汽油、润滑油）也有较好的稳定性。尤其是均聚甲醛耐有机溶剂的性能更为突出，在 70℃ 以下还没有发现使其溶解的有效溶剂，在温度大于 70℃ 以后，能被某些酚类（如卤代酚）、酰胺（如甲酰胺）等有效溶解。均聚甲醛只能耐弱碱，共聚甲醛可耐强碱及碱性洗涤剂，但它们都不耐强酸和强氧化剂。POM 的耐候性不理想，在大气环境下和日光曝晒会使分子链降解，表面粉化，变脆变色，耐射线辐照性也不好，经 X 射线、 γ 射线、高速电子流等高能射线照射后，会出现分子链断裂和力学性能下降的现象。

1.9.2 聚甲醛的分类

根据组成的不同可分为均聚甲醛和共聚甲醛两大类。均聚甲醛是甲醛或三聚甲醛的均聚体，主链是由甲醛单元（ $-\text{CH}_2\text{O}-$ ）构成的聚合物；共聚甲醛是三聚甲醛和少量共聚单体（常用 1, 3-二氧五环）的共聚物，主链是以甲醛单元（ $-\text{CH}_2\text{O}-$ ）为主，其间含有少量 $-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}-$ 、 $-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}-$ 链节的聚合物。由于共聚甲醛分子结构中具有部分 C—C 键，因而其大分子链的敛集紧密程度和规整性稍差，影响了它的结晶性。通常，均聚甲醛的结晶度为 75% ~ 85%，共聚甲醛为 70% ~ 75%，因此，共聚甲醛的结晶度、密度、力学强度不如均聚甲醛的高。但共聚甲醛中的 C—C 键对降解有终止作用，使其具有较好的热稳定性，而均聚甲醛则较差。

1.9.3 聚甲醛的成型加工

POM 是热塑性塑料，可以进行注射、挤出、中空吹塑、压制等成型加工。其中以注射成型应用最为广泛。挤出成型多用于型材的生产，如板材、棒材等，通过机械加工制得最终产品。无论采用哪种成型加工方法，均需注意 POM 下述成型工艺特性。

1) POM 的结晶度高, 熔融温度范围窄, 有明显的熔点。其熔体的流变行为属非牛顿型, 熔体粘度对剪切速率较敏感。

2) 热稳定性差, 加工温度不宜大于 250°C , 若温度过高, 受热时间长, 会引起物料分解, 逸出强烈刺激性的甲醛气体, 再进一步氧化成甲酸使制品产生变色和气泡。因此在加工 POM 制品时, 在保证物料充分塑化条件下应尽量降低温度, 缩短物料在高温下的停留时间。

3) 吸湿性。POM 吸水率低, 一般为 $0.2\% \sim 0.25\%$, 因此成型前可不进行干燥处理。但对于成型大面积的薄壁制品及制品要求有较高的表面质量或树脂表面吸附水分时, 必须进行干燥。干燥温度控制在 $90 \sim 100^{\circ}\text{C}$, 时间约 5h。

4) POM 结晶度高, 成型收缩率较大, 为 $1.8\% \sim 3.5\%$, 因此在加工 POM 制品时应适当延长保压时间, 防止收缩, 以保证制品尺寸和形状的稳定性的。一般来说, 成型后 POM 制品的尺寸稳定性好, 受温度和湿度的影响较小。但若制品的使用环境温度较高, 可对制品进行热处理, 以提高制品的尺寸稳定性。

5) POM 结晶能力强, 凝固速率快, 固体表面硬度和刚性大, 摩擦因数小, 可快速脱模。但控制不当会造成充模困难, 制品表面出现皱褶、斑纹、熔接痕等, 因而成型时, 应加大充模速度, 控制模具温度在 80°C 以上。

1.9.4 聚甲醛的改性

POM 作为五大工程塑料之一, 具有优良的综合性能, 但也存在一些不足之处, 如 POM 的冲击韧性低、缺口敏感性大、热稳定性差、摩擦因数较高等。这些缺点极大地限制了 POM 在各个领域中的应用。POM 的改性方法主要有共混、填充和增强改性。

1. 共混改性

共混是 POM 改性常用的一种方法, 也是目前国内研究最为活跃的方法。一般来说, 在聚合物共混形成的多组分聚合物体系中, 各组分始终以自身聚合物的形式存在, 各聚合物组分之间主要靠分子间作用力结合, 即物理结合。然而, POM 的分子链呈弱极性无分枝结构, 分子链结构中既没有可以与其他聚合物反应的官能团, 也难以形成氢键, POM 这种特殊的分子链结构导致 POM 无法与其他聚合物相容。到目前为止, POM 树脂仍是公认的最难实现合金化的树脂。

(1) POM-TPU (热塑性聚氨酯弹性体) 合金 由于 POM 结晶度较高, 晶晶粒较大, 在受冲击时, 往往以脆性方式遭到破坏。热塑性聚氨酯弹性体是一种既具有橡胶弹性又具有热塑性塑料加工性能、综合性能优良的弹性体, 是一类理想的增韧改性剂。一般向 POM 大分子中引入弹性体, 通过共混改性来达到增韧 POM 的目的。

(2) POM-EPDM (三元乙丙橡胶) 合金 由于 TPU 的价格较高, 用

EPDM 代替 TPU 则能有效降低 POM 合金生产成本。但 EPDM 与 POM 的相容性很差, 因此制备 POM-EPDM 合金, 首先要解决 POM 与 EPDM 相容性的问题。MEPDM (顺酐化三元乙丙橡胶) 和 EPDM-g-MMA 可作为 POM-EPDM 共混物的增容剂。

(3) POM-聚烯烃合金 POM 的高结晶性使其缺口敏感性大, 制品易残留应力, 因此对 POM 进行增韧或利用成核技术对 POM 进行成核改性, 以降低 POM 的缺口敏感性, 可扩大 POM 的应用领域。如采用增容剂 (EVA) 来改性 POM-LDPE 共混体系, 增容剂的加入使 LDPE 在 POM 中分散更均匀, POM 球晶细化, 合金的综合性能得到改善。

(4) POM-PTFE (聚四氟乙烯) 合金 POM 的摩擦性能较好, 但尚不能满足制作精密仪器和设备的需要。而 PTFE 的摩擦因数较小, 具有独特的自润滑性, 在 POM 树脂中加入 PTFE, 研制耐磨高润滑的综合性能优良的 POM 合金, 是 POM 改性研究方向之一。

2. 填充与增强改性

国外早期的研究发现, 纯 POM 经碳纤维和玻璃纤维填充的复合材料在低速状况下, 摩擦因数有所上升, 随着速度的增加而有所下降。我国中科院研究了玻璃纤维、碳纤维填充 POM 的摩擦磨损性能, 发现添加一定量玻璃纤维、碳纤维可降低 POM 的磨损, 但添加碳纤维效果更好。同时他们还研究了铜粉及纳米铜粉填充 POM 的摩擦学性能, 研究结果表明, 添加一定量的铜粉或纳米铜粉均可降低 POM 的磨损, 但添加纳米铜粉效果更好。

1.9.5 聚甲醛的应用

由于聚甲醛具有硬度大、耐磨、耐疲劳、冲击强度高、尺寸稳定性好、有自润滑特点, 因而被大量用于汽车、电子电气、机械、农业、建筑等方面。

1. 汽车工业

聚甲醛在汽车工业中的应用量较大。用聚甲醛制作的零件具有减少润滑点、耐磨、便于维修、简化结构、提高效率、降低成本、节约铜材等良好效果。代替铜制作汽车上的半轴、行星齿轮等不但节约了铜, 而且提高了使用寿命。在发动机燃油系统, POM 可以制造散热器水管阀门、散热器箱盖、冷却液的备用箱、水阀体、燃料油箱盖、水泵叶轮、气化器壳体、油门踏板等零件。

2. 电子电气

由于聚甲醛的介电强度和绝缘电阻较高, 具有耐电弧性等性能, 广泛应用于电子电气领域。如可用聚甲醛制造电扳手机壳、电动羊毛剪外壳、煤钻外壳和开关手柄等, 还可制造电话、无线电、录音机、录像机、电视机、计算机和传真机的零部件、计时器零件, 录音机磁带座。

3. 机械工业

广泛用于要求耐磨、润滑、高刚性的机械部件，如齿轮、链条、链轮、阀门、轴承、轴、凸轮、滚轮、输送带、弹簧及各种泵体、壳体、衬套、管接头和机械构件等。

4. 农业方面

POM 能代替金属制作手动喷雾器部件、播种机的连接与联运部件、排灌水泵壳、进出水阀、接头套管等。也可制成浮球阀、喷头等用于农业灌溉和草坪维护的喷灌设施。

5. 建筑方面

可做自来水龙头、窗框、洗漱盆、水箱、门帘滑轮、水表壳体和水管接头等。

除上述用途外，POM 卫生无毒，可用于医疗方面，如人工心脏瓣膜、起搏器及义肢等医用修补物；此外，POM 也可以挤出片材、棒和管材等制品。

1.9.6 聚甲醛的简易识别方法

(1) 外观印象 原料为白色粉料或白色淡黄色粒料，制品表面光滑、有光泽，硬而致密，比大多数塑料手感沉。

(2) 水中沉浮 密度大，在水中快速下沉。

(3) 溶解特性 溶于二甲基酰胺（150℃）、二甲基亚砩等。

(4) 受热表现 温度达 165 ~ 175℃ 以上熔融，熔融过程中逐渐呈透明状，250℃ 以上分解。

(5) 燃烧特性 易燃，燃烧时，火焰上端呈黄色，下端蓝色，有熔融滴落现象，并伴有刺激性甲醛味和鱼腥臭味。

1.10 热塑性聚酯

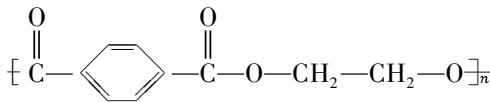
聚酯是指大分子链节中含有酯基的一类聚合物，主要分为饱和聚酯和不饱和聚酯两大类。饱和聚酯又称为热塑性聚酯或线型聚酯，主要品种有聚对苯二甲酸乙二醇酯和聚对苯二甲酸丁二醇酯；不饱和聚酯是重要的热固性树脂。本节仅介绍热塑性聚酯。

1.10.1 聚对苯二甲酸乙二醇酯

化学名称：聚对苯二甲酸乙二醇酯

英文名称：polyethylene terephthalate，简称 PET

结构式：



PET 是对苯二甲酸或对苯二甲酸二甲酯与乙二醇进行酯交换反应制得的热塑性树脂，是高度结晶的聚合物。外观为乳白色或浅黄色，表面平滑有光泽。

1. PET 的性能

(1) 力学性能 PET 具有较高的拉伸强度、刚度和硬度，良好的耐磨性和耐蠕变性，能在较宽的温度范围内保持这种良好的力学性能。未增强的 PET 主要应用于薄膜和纤维。其力学性能受结晶度大小、晶粒大小、形态及取向的影响。例如：未取向薄膜的拉伸强度为 175 ~ 176MPa；经过拉伸定向，拉伸强度可增大到 280MPa。

(2) 热性能 PET 的玻璃化转变温度不高，仅为 75℃，软化温度为 230 ~ 240℃，熔点 255 ~ 260℃，它的长期使用温度可达 120℃，能在 150℃下短时间使用；未增强的 PET 热变形温度较低，在 75 ~ 80℃之间，经玻璃纤维增强后的热变形温度大幅度提高，可达到 220 ~ 245℃之间。

(3) 电性能 PET 分子结构规整，具有较高的结晶能力，尽管含有极性酯基，但由于酯基的运动受到苯环和晶区的限制，对材料电性能影响不大。PET 具有良好的电性能，温度升高，电性能略有降低，电场频率改变对介电性能影响不大。

(4) 化学稳定性 PBT、PET 含有酯基，易受强酸、强碱的侵蚀，水蒸气亦可引起水解，可在低于 60℃的水中长期使用；但对大多数有机溶剂和油类具有良好的化学稳定性，室温下不受丙酮、氯仿、三氯乙烯、乙酸、甲醇、乙酸乙酯等极性溶剂的影响。苯甲醇、硝基苯、三甲酚可以使 PBT、PET 溶解。

PBT 和 PET 具有优良的耐候性，耐光老化性优于 PA、POM 等，具有较好的氧气阻隔性。PET 树脂具有结晶速度慢、模塑周期长、成型收缩率大、尺寸稳定性差等缺点。

PET 的综合性能见表 1-47。

表 1-47 PET 和 PBT 的综合性能

性 能	PET		PBT	
	纯树脂	30% 玻璃纤维	纯树脂	30% 玻璃纤维
洛氏硬度	M83	M90	R100	R116
密度/(g/cm ³)	1.2 ~ 1.3	1.5 ~ 1.6	1.31 ~ 1.32	1.52
拉伸强度/MPa	73	140 ~ 160	60	130 ~ 140
弹性模量/GPa	1.96	9 ~ 10	—	8.5 ~ 9.0
伸长率(%)	50 ~ 200	5	200	2.5

(续)

性 能	PET		PBT	
	纯树脂	30% 玻璃纤维	纯树脂	30% 玻璃纤维
压缩强度/MPa	90 ~ 100	110 ~ 130	85 ~ 90	100 ~ 110
弯曲强度/MPa	117	200 ~ 205	87	140 ~ 150
缺口冲击强度/(kJ/m ²)	4 ~ 5	8	5	10
吸水率(%)	0.08 ~ 0.2	0.08	0.08	0.05
熔点/℃	256	256	227	227
热变形温度(1.81MPa)/℃	85	215	58	203
玻璃化温度/℃	75	75	30	30
线膨胀系数/(×10 ⁻⁵ K ⁻¹)	7	3	9	5
氧指数(%)	21	20	20.5	18
介电常数/(F/m)	3.15(1MHz)	3.5 ~ 4.5(1MHz)	3.1(1kHz)	3.6(1kHz)
体积电阻率/Ω·m	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	10 ¹⁵	10 ¹⁴
介电强度/(kV/mm)	30	30 ~ 35	17	20 ~ 25

2. PET 的成型加工

PET 主要采取注射成型法加工，其他方法还有挤出、吹塑、涂覆和焊接、封接、机加工、真空镀膜等二次加工方法。成型前须充分干燥。

(1) 挤出成型 用挤出机塑化挤出成型厚片，然后经纵、横向拉伸成型薄膜，也可用挤出吹塑和挤出拉伸吹塑成型各种瓶制品。

(2) 注射成型 注射成型瓶制品可采用以下工艺：

1) 注射预塑瓶坯，然后直接进行拉伸吹塑成型。

2) 注射预塑瓶坯，冷却定型，然后在吹塑成型机上进行瓶坯预热、双轴向拉伸、吹塑成型制品。

3) 用增强 PET 树脂直接在注塑机上注射成型各种机械设备配件。

3. PET 的改性

工程塑料级 PET 耐有机溶剂、耐候性好。缺点是结晶速率慢，成型加工困难，模塑温度高，生产周期长，冲击性能差。一般通过增强、填充、共混等方法改进其加工性和物性，以玻璃纤维增强效果明显，可提高树脂刚性、耐热性、耐药品性、电气性能和耐候性。采取添加成核剂和结晶促进剂等手段，改进结晶速度慢的弊病。加阻燃剂和防燃滴落剂可改进 PET 阻燃性和自熄性。

此外，为改进 PET 性能，PET 可与 PC、弹性体、PBT、PS 类、ABS、PA 形成合金。

4. PET 的应用

作为塑料 PET 主要有三大应用领域：薄膜、饮料瓶、工程制件。

(1) 薄膜 PET 经挤出成型可制得双轴拉伸薄膜和透明基材。PET 双轴拉伸薄膜为无色、透明、光泽度高、力学性能好的薄膜，有优良的电气和耐热性能，拉伸强度与铝箔相似。常用在绝缘胶带、磁带、感光胶片、录像带、金属镀膜、电工膜和软磁盘等方面。

(2) 饮料瓶 PET 饮料瓶常称为聚酯瓶，它是采用注-拉-吹成型，先注射成型得到型坯，再进行拉伸、吹胀、冷却而制得中空制品。聚酯瓶强度高、韧性好、透明、无毒卫生，对 H_2O 、 H_2 、 CO_2 等的阻隔性好，便于回收利用，符合环保要求。目前聚酯瓶不仅用于饮料包装，而且用于食用油和调味类商品包装及热充包装。此外，采用共聚、复合、共混、涂覆等改性方法还可制得新型阻隔包装瓶，用于啤酒、白酒和其他酒类包装。

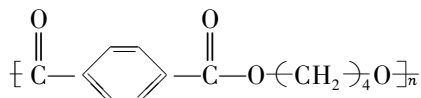
(3) 工程制件 PET 进行增强、填充改性后具有优异的强度、刚性和耐热性，良好的尺寸稳定性和成型加工性能，称为工程级 PET，这种材料主要用于注射成型，其制品应用于电子电气、汽车行业和家具诸方面。

1.10.2 聚对苯二甲酸丁二醇酯

化学名称：聚对苯二甲酸丁二醇酯

英文名称：polybutylene terephthalate，简称 PBT

结构式：



PBT 是由 1,4-丁二醇与对苯二甲酸（PTA）或者对苯二甲酸酯（DMT）缩合而成，并经由混炼程序制成的半透明或不透明、结晶型热塑性聚酯树脂。外观为乳白色或淡黄色，表面有光泽，密度为 $1.31 \sim 1.55 \text{g/cm}^3$ ，相对分子质量为 3 万 ~ 4 万。PBT 以其良好的成型加工性能和较高的性价比成为工程塑料的后起之秀，具有优良的综合性能。

1. PBT 的性能

(1) 力学性能 PBT 拉伸强度、压缩强度、弯曲强度、弹性模量等不如 PET，韧性比 PET 好。但经过玻璃纤维增强后力学性能提高幅度很大，增强效果超过玻璃纤维增强的 POM、PC、PPO、PA 等工程塑料。

(2) 热性能 PBT 的玻璃化转变温度更低，只有 30°C 左右。具有明显的熔点，熔点为 $225 \sim 235^\circ\text{C}$ ，是结晶型材料，结晶度可达 40%。未增强的 PBT 热变形温度较低，在 $55 \sim 60^\circ\text{C}$ 之间，经玻璃纤维增强后的热变形温度大幅度提高，可达到 $200 \sim 215^\circ\text{C}$ 之间，玻璃纤维增强后明显改善 PBT 的短时耐热性。使

PBT 具有优良的性能, 成为性价比很高的工程塑料而得到广泛使用。

(3) 电性能 PBT 的电性能与 PET 相似, 但 PBT 酯基密度比 PET 小些, 故对电性能的影响稍小些。未增强的 PBT 介电常数在 $3.1 \sim 3.3$ F/m 之间, 增强后的 PBT 介电常数在 $3.3 \sim 3.8$ F/m 之间。

PBT 主要性能见表 1-47。

2. PBT 的成型加工

PBT 结晶速度快, 最适宜加工方法为注射成型, 其他方法还有挤出、吹塑、模压、涂覆和各种二次加工成型, 成型前需预干燥, 将含水质量分数控制在 0.02% 以下。采用热风循环干燥时, 当温度为 105°C 、 120°C 或 140°C 时, 所对应的时间不超过 6h、4h、2h。料层厚度低于 30mm。

注射成型采用单螺杆注塑机, 机筒温度一般控制在 $230 \sim 270^{\circ}\text{C}$ 之间, 机筒温度过高, 会使拉伸强度下降。未增强 PBT 模具温度为 60°C 左右, 增强 PBT 为 80°C 左右。在上述模具温度下, 能得到表面光泽度很高的制品, 有利于脱模。注射工艺参数:

1) 注射温度。PBT 的分解温度为 280°C , 所以实际生产中一般控制在 $240 \sim 260^{\circ}\text{C}$ 之间。

2) 注射压力。注射压力一般为 $50 \sim 100\text{MPa}$ 。

3) 注射速率。PBT 冷却速度快, 因此要采用较快的注射速率。

6) 螺杆转速和背压。成型 PBT 的螺杆转速不宜超过 80r/min , 一般在 $25 \sim 60\text{r/min}$ 之间。背压一般为注射压力的 $10\% \sim 15\%$ 。

5) 模具温度。一般控制在 $70 \sim 80^{\circ}\text{C}$, 各部位的温度差不超过 10°C 。

6) 成型周期。一般情况下为 $15 \sim 60\text{s}$ 。

注意事项:

1) 再生料的使用。再生料与新料的比例一般在 $25\% \sim 75\%$ 。

2) 脱模剂的使用。一般情况下不使用脱模剂, 必要时可采用有机硅脱模剂。

3) 停机处理。PBT 的停机时间在 30min 以内, 可将温度降到 200°C 时停机。长期停机后再生产时, 要将机筒内的料排空, 再加入新料才能进行正常生产。

4) 制品的后处理。一般情况下不需要进行处理, 必要时在 120°C 时处理 $1 \sim 2\text{h}$ 。

3. PBT 的改性

PBT 虽然具有优良的综合性能, 但若单独使用也存在热变形温度低、易燃烧、制件收缩翘曲、力学性能不突出, 特别是制品缺口冲击强度不高等不足之处。所以 PBT 很少单独使用, 大都要经过改性才能应用。PBT 树脂的改性方法有无机材料填充改性、阻燃改性、共混改性、化学扩链和液晶改性等。

(1) 无机材料填充改性 在 PBT 树脂中加入 20% ~40% 的玻璃纤维后，不仅保持了 PBT 树脂的耐化学性、加工性等原有优点，而且力学性能大幅度提高，拉伸强度和弯曲强度提高 1 ~1.5 倍，弹性模量提高 2 倍，并克服了 PBT 树脂的缺口敏感性，耐热性大大提高，耐蠕变性、耐疲劳性能优良，成型收缩率低、尺寸稳定性好。

玻璃纤维增强虽然能提高和改进 PBT 树脂的综合性能，但不足之处是在成型加工过程中由于玻璃纤维的取向产生各向异性现象，而引起制品翘曲变形。为了解决这一问题，可采用矿物填充、矿物与玻璃纤维复合填充增强改性或在玻璃纤维增强 PBT 中加入其他聚合物共混改性，从而达到实现低翘曲化的目的。

(2) 阻燃改性 PBT 是结晶性芳香族聚酯，无论是 PBT 还是增强 PBT，如不加入阻燃剂，其阻燃性均属 UL94HB 级，只有加入阻燃剂后，才能达到 UL94V—0 级。常用的阻燃剂有溴化合物、磷化物、氯化物、Sb₂O₃ 等。

(3) 共混改性 PBT 树脂与其他树脂共混改性是以不显著损害树脂本身性能为前提，来提高缺口冲击强度，改善成型收缩所造成的翘曲变形，提高耐热性等。目前研究较多的是 PBT/PC、PBT/PET、PBT/PA、PBT/ABS、PBT/PP 和 PBT/弹性体等共混体系。共混改性 PBT 的开发应用情况见表 1-48。

表 1-48 共混改性 PBT 的开发应用情况

合金名称	性能特征	主要用途
PBT-ABS	低温冲击强度高，尺寸稳定性、成型性、综合性能好，成本低	汽车内装件；家电外壳、盖及管件；电子电气和仪器仪表零部件
PBT-聚烯烃	高冲击强度，高刚性，耐磨，耐翘曲性好	汽车部件
PBT-PET	强度高，刚性好，热变形温度高，尺寸稳定性好，耐湿耐溶剂，电性能优异，表面光泽度好，价格低	方向盘连接件，反光镜等；电气接插件，开关；家电零部件；机械设备外壳及配件；工业齿轮等
PBT-聚丁二烯	低温冲击性能好，热变形温度高，耐化学性好，流动性好，表面光泽度好	汽车保险杠
PBT-PC	低温冲击性能好，流动性好，表面光泽度好	汽车前后保险杠
PBT-PPO-弹性体	耐热性好，冲击性能好，尺寸精度高，可联机涂装	汽车外装部件；电子电气和仪器仪表零部件
PBT-EPDM	高冲击强度，耐磨，减振，吸音，高刚性，耐应力开裂性好	汽车减振套管、散热器支撑系统、驱动和传动杆、电动活塞、车门把手、减振轴承

(4) 化学扩链 由于电缆、光缆包覆材料等方面对高相对分子质量 PBT 树

脂的需求,而单纯从PBT的生产工艺中很难获得高相对分子质量PBT,因此常采用对PBT进行化学扩链的方法来提高其相对分子质量。化学扩链不仅能提高PBT相对分子质量,同时能降低PBT的端羧基含量,提高其水解稳定性。采用化学扩链法进行熔体增粘,可在聚酯生产后缩聚釜、熔体纺丝、螺杆挤出和注射成型等过程中实施。

(5) 液晶改性 采用液晶高分子(LCP)对PBT改性,可提高PBT的结晶度,并改善其加工性能,提高样品的强度和模量。

4. PBT 的应用

PBT发展的历史还不长,但由于性能优良,目前已得到较为广泛的应用。主要是制作电子电气、汽车、机械设备以及精密仪器的零部件,以取代铜、锌、铝等金属材料和热固性塑料以及一些热塑性的塑料。

(1) 电子电气 PBT制作电子电气零部件,主要利用其优良的耐热性、阻燃性、电气绝缘性、成型加工性。具体应用:节能灯灯头、连接器、开关零件、家用电器、配件零件、小型电动罩盖。

(2) 汽车 ①外装零件。主要有转角格栅、发动机放热孔罩等。②内部零部件。主要有内镜撑条、刮水器支架和控制系统阀。③汽车电气零件。如汽车点火线圈绞管和各种电气连接器等。

(3) 机械设备 在机械设备上,玻璃纤维增强PBT主要用来制作一些使用于有耐热、阻燃要求部位上的零部件,如视频磁带录音机的带式传动轴、电子计算机罩、水银灯罩、电熨斗罩、烘烤机零件以及大量的齿轮、凸轮、按钮、电子表外壳、照相机的零件等。

第 2 章 塑料生产常用助剂

2.1 增塑剂

增塑剂是现代塑料工业最大的助剂品种，对促进塑料工业特别是聚氯乙烯工业的发展起着决定性作用。凡添加到塑料中能使塑料的塑性增加的物质都可以叫做塑料增塑剂。增塑剂的主要作用是削弱聚合物分子之间的次价键，即范德华力，从而增加了聚合物分子链的移动性，降低了聚合物分子链的结晶性，即增加了聚合物的塑性，表现为聚合物的硬度、模量、软化温度和脆化温度下降，而伸长率、挠曲性和柔韧性提高。

2.1.1 增塑剂的品种、性能及应用

由于增塑剂的种类繁多，性能不同，用途各异，因此分类方法也有多种。下面按化学结构详细介绍各类增塑剂的性能和用途。

(1) 邻苯二甲酸酯类 邻苯二甲酸酯类增塑剂具有理想的工作特性，成本较低，品种多，产量大，其产量占增塑剂总产量的 80% 左右，常作为主增塑剂使用。邻苯二甲酸酯类增塑剂的主要品种、性能和应用见表 2-1。

表 2-1 邻苯二甲酸酯类增塑剂的主要品种、性能和应用

品种	性能	应用
邻苯二甲酸二辛酯 (DOP)	无色液体、密度为 $0.986\text{g}/\text{cm}^3$ (20℃ 时)，沸点 387℃，不溶于水，易溶于乙醇、乙醚等，与许多高聚物相容，光热稳定性和电绝缘性好，挥发性和吸水性小，低温柔软性好，毒性低，符合大多数通用塑料制品要求	应用广泛，薄膜、片、板和电绝缘材料等制品中都用此种增塑剂
邻苯二甲酸二异辛酯 (DIOP)	密度 $0.986\text{g}/\text{cm}^3$ (25℃ 时)，沸点 370℃，无色液体，不溶于水，易溶于乙醇、乙醚等，与 DOP 相近，但性能均低于 DOP，毒性比 DOP 低，价格低廉，可作 DOP 的低价代用品，有臭味	可替代部分 DOP，降低制品成本，特别适用于 PVC 糊
邻苯二甲酸二丁酯 (DBP)	密度 $1.045\text{g}/\text{cm}^3$ (25℃ 时)，沸点 335℃，无色油状液体，微溶于水，溶于乙醇、乙醚等有机溶剂，与 PVC 相容性好，柔软性好，低温性能好，价格低廉。缺点是挥发性大，加热损耗大，被水抽出性较大，影响制品使用寿命	广泛用于 PVC 中，但不能单独使用，一般与其他增塑剂配合使用，降低制品成本

(续)

品种	性能	应用
邻苯二甲酸二丙烯酯 (DAP)	挥发性、物理性和低温性能与 DOP 接近, 但电性能差, 有臭味, 价格便宜。	可用于聚氯乙烯薄膜、板制品原料中, 但不宜用在电绝缘材料中
邻苯二甲酸二仲辛酯 (DCP)	光热稳定性和耐低温性能与 DOP 性能接近, 其他性能均略低于 DOP。	与 DIOP 相同
邻苯二甲酸二异癸酯 (DIDP)	挥发性、迁移性均小, 电绝缘性能好, 耐水抽出, 是一种耐热性增塑剂	适用于在较高温度下使用, 并要求有适当低温性能的制品
邻苯二甲酸二壬酯 (DNP)	性能基本与 DOP 相似, 其增塑效率大于 DOP, 但挥发性及被水抽出性比 DOP 低, 在高温下具有较好的耐久性, 但低温性能差	为优良的通用、无毒型主增塑剂, 主要用于聚氯乙烯
邻苯二甲酸丁苄酯 (BBP)	具有很强的溶剂能力, 能够与绝大多数工业用树脂相容, 具有良好的耐污染性, 塑化速度快, 填充剂容量大, 耐水和油抽出, 光、热稳定性好, 可获得具有优良透明性和光滑表面的制品	可作主增塑剂用, 常与其他增塑剂配合 (用量占增塑剂总量的 25% ~ 50%) 用于含大量填充剂的塑料地板料、铺面装饰材料、瓦楞板等; 也可用于制造薄膜、板材和管材
邻苯二甲酸二异丁酯 (DIBP)	除挥发性和水抽出损失较大外, 其他性能与 DBP 接近	可作 DBP 的代用品
邻苯二甲酸二庚酯 (DHP)	与 DOP 相比, 与树脂的相容性和增速效率高, 但挥发性大	可代替 DOP 用作主增塑剂

(2) 脂肪族二元酸醇类 这是一类辅助增塑剂, 其最突出的优点是耐寒性好, 常用于耐寒制品中。主要品种有 DOA、DOZ 和 DOS (见表 2-2), 其中 DOS 的耐寒性最佳。这三种增塑剂一般均和 DOP 并用, 效果较好。

表 2-2 脂肪族二元酸醇类增塑剂的主要品种、性能和应用

品种	性能	应用
己二酸二辛酯 (DOA)	无色或略有颜色液体, 密度 0.921 ~ 0.924g/cm ³ (25℃时), 沸点 210℃, 是良好的耐低温增塑剂, 有一定的耐热、耐光性, 润滑性能好, 制品手感良好, 但相容性较差, 耐抽出性差	常用于耐寒膜、电缆、人造革及冷冻食品包装材料等
壬二酸二辛酯 (DOZ)	无色液体, 密度 0.918g/cm ³ (25℃时), 沸点 376℃, 相容性较差, 耐低温性能优异, 挥发性很低, 耐热、耐光、绝缘性能好, 价格较贵	适用于薄膜、板材、塑料糊等

(续)

品种	性能	应用
癸二酸二辛酯 (DOS)	淡草黄色液体，密度 $0.910\text{g}/\text{cm}^3$ (25℃ 时)，沸点 270℃，不溶于水，溶于乙醇、乙醚、苯等有机溶剂，耐低温性能良好，挥发性低，能在较高温度下安全加工，电绝缘性能好，耐热、耐光性能好，但相容性较差，易迁移，易被烃类所抽出	除作耐寒增塑剂外，还可用作发动机润滑油；作为辅助增塑剂与 DOP 配合混用，加入量不应大于主增塑剂的 1/3

(3) 磷酸酯类 磷酸酯类增塑剂也为一类主增塑剂，其突出特点为阻燃性和抑菌性，常用于要求阻燃的制品中，部分代替 DOP。磷酸酯类增塑剂的主要缺点为毒性大，除磷酸二苯辛酯外，都有毒性，不宜用于同食品、皮肤接触的制品中。磷酸酯类增塑剂的主要品种、性能和应用见表 2-3。

表 2-3 磷酸酯类增塑剂的主要品种、性能和应用

品种	性能	应用
磷酸三甲苯酯 (TCP)	无色液体，密度 $1.162\text{g}/\text{cm}^3$ (25℃ 时)，沸点 $241\sim 255^\circ\text{C}$ ，不溶于水，能溶于普通有机溶剂及植物油，是重要的主增塑剂，相容性很好，还能帮助原来相容性不好的物质提高相容性，阻燃性好，耐水性、耐霉性、耐抽出性好，低温性能差，有毒，加入量为三分之一以下，再配合耐低温型增塑剂最好。应注意，若同时加入有机锡稳定剂易起副作用	常用于电缆、人造革、薄膜及板材中
磷酸三苯酯 (TPP)	相容性好，阻燃性能好，耐寒性差	用于电线电缆
磷酸三辛酯 (TOP)	耐候性和相容性好，挥发性大，有迁移性，加工性差	常与 DOP 并用
磷酸二苯-2-乙基己酯 (DPOP)	俗称磷酸二苯辛酯，为唯一无毒磷酸酯类增塑剂品种，密度 $1.08\sim 1.09\text{g}/\text{cm}^3$ ，沸点 375°C ，相容性好，光稳定效果好，阻燃性，耐低温性，耐抽出性均好	常与 DOP 并用，不宜和硬脂酸钡镉稳定体系并用

此外还有磷酸三（二甲苯）酯（TXP）和磷酸三丁酯（TBP）等。

(4) 环氧酯类 主要品种为环氧油类和环氧酯类，耐热性、耐迁移性及耐光性好，并兼增塑与润滑作用于一体，主要品种、性能和应用见表 2-4。

(5) 含氯类增塑剂 主要品种为氯化石蜡，突出优点为阻燃性好，且价格低，又具有良好的电绝缘性。但这类增塑剂增塑效率低，与 PVC 相容性差，又有毒性，一般作为辅助增塑剂用，常用于电线、板材。

表 2-4 环氧酯类增塑剂的主要品种、性能和应用

品种	性能	应用
环氧大豆油（ESO）	浅黄色油状液体，是辅助增塑剂兼稳定剂，有良好的热、光稳定作用，挥发性低，耐抽出性能好，无毒，其化学成分复杂，是甘油脂肪酸酯混合物，与树脂的相容性较差	常用于透明制品，用量一般控制在增塑剂总用量的三分之一，太多易渗出
环氧硬脂酸辛酯（ED3）	也叫环氧脂肪酸辛酯，为浅黄色油状液体，是优良的辅助增塑剂兼稳定剂，热稳定性和耐候性优良，耐低温性、耐挥发、耐抽出性好，缺点是相容性差	常用于农用薄膜、塑料糊，用量为 2~5 质量份
环氧四氢邻苯二甲酸二辛酯（EPS）	无色至浅黄色油状液体，密度 1.007g/cm ³ （20℃时），具有邻苯二甲酸酯及环氧酯两种结构，因此具有 DOP 类的全面性能及环氧类的增塑兼稳定双重性能，相容性优于 DOP，防霉性能也好	可以作为主增塑剂，用于薄膜（包括农用薄膜）、人造革、薄板、电缆料等
环氧油酸丁酯（EBST）	也叫环氧硬脂酸丁酯，油状液体，相对分子质量 348~356，密度 0.9g/cm ³ ，碘值小于 6，为 PVC 的耐热性和耐寒性增塑剂，耐寒性比 DOA 好，而且挥发性较低，其他性能良好，相容性好，增塑效率高，还具有一定的润滑性，可改善配合料的操作性能	适用于低温农业透明薄膜、人造革等，一般添加量为 5%~10%
环氧棉籽油	密度 0.916~0.970g/cm ³ ，加热损失量不大于 0.3%，闪点不小于 280℃，酸值不大于 0.5mg/g，折光率 1.4675（25℃），环氧值不小于 4.5%，毒性 15g/kg（环氧大豆油毒性 22g/kg），与酯类增塑剂并用，可减少迁移，与有机锡稳定剂并用，有很好的协同效应，可减少主稳定剂用量	可代替环氧大豆油等，用作 PVC 的增塑剂兼稳定剂

1) 氯化石蜡。含氯量 30%~70%，常用含氯 42% 类型、52% 类型，其挥发性低，不燃，无臭，无毒，价廉，但耐寒性及耐候性较差，加入 0.2 质量份酚类稳定剂可提高氯化石蜡的热稳定性。广泛用于电缆料、地板料、压延板材、软管、薄膜、人造革、塑料鞋等。

2) 五氯硬脂酸甲酯（MPCS）。浅黄色油状液体，耐油性和耐水性较好，阻燃，但稳定性、耐寒性差，有特殊臭味。可用于电线、耐油软管等。

(6) 烷基磺酸苯酯类 主要品种是烷基磺酸苯酯，也叫石油酯（M-50，或 T-50），浅黄色透明液体，平均相对分子质量 390，密度 1.03~1.07g/cm³（25℃

时),凝固点小于 -10°C ,不溶于水,溶于大多数有机溶剂,作辅助增塑剂,性能比较全面,但耐寒性不及 DOP,一般多和 DOP 并用,受强光照射易变黄。

(7) 多元醇酯类 主要品种有一缩二乙二醇二苯甲酸酯 (DEDB)、甘油三醋酸酯、甘油三丁酸酯。DEDB 耐污染,耐油、水抽出性好,但耐寒性差,适用于地板料、床板;甘油三醋酸酯、甘油三丁酸酯均无毒,多用于纤维素塑料。

(8) 聚合型增塑剂 这类增塑剂的突出优点是耐热性及耐久性好,主要用于高温和耐油场合。具体品种有:

1) 己二酸丙二醇聚酯 (G50)。相对分子质量一般在 $1500 \sim 4000$,黄色透明粘稠液体至固体状物,因为相对分子质量大,所以挥发性小,耐抽出性、耐迁移性好,常用于耐久性制品,但缺点是相容性差,塑化效率低。

2) 癸二酸丙二醇聚酯 (G25)。密度 $1.06\text{g}/\text{cm}^3$ (4°C 时),与 G50 相似。一般均与 DOP 类并用,多用于汽车、电线电缆、电冰箱等长期使用的制品中。

(9) 偏苯三酸酯类 偏苯三酸酯类增塑剂,兼有单体型和聚合型两种增塑剂的优点,挥发性低,迁移性小,耐抽出、耐久性类似聚酯型增塑剂,而相容性好,加工性良,耐低温性类似于 DOP。

1) 偏苯三酸三辛酯 (TOTM)。无色至淡黄色粘稠油状液体,密度 $0.988\text{g}/\text{cm}^3$ (25°C 时),着火点 290°C ,粘度 $0.3\text{Pa} \cdot \text{s}$ (20°C 时)。

2) 偏苯三酸三 (正辛正癸酯) (NODTM)。无色至淡黄色油状液体,平均相对分子质量 589,密度 $0.980\text{g}/\text{cm}^3$ (25°C 时),闪点 266°C ,着火点 299°C ,粘度 $11.5 \times 10^{-3}\text{Pa} \cdot \text{s}$ (20°C)。

(10) 其他增塑剂

1) 季戊四醇脂肪酸酯。密度 $0.9974\text{g}/\text{cm}^3$ (25°C 时),沸点 261°C ,闪点 247°C ,着火点 272°C ,为耐热性增塑剂,热稳定性及电绝缘性都极好,常用于耐高压电线电缆中。

2) 季戊四醇四苯甲酸酯。固体状物,相对分子质量 552,密度 $1.2801\text{g}/\text{cm}^3$ (25°C 时),熔点 95°C ,为 PVC 的固体增塑剂,性能全面,还可作为加工助剂,改善压延缠卷性。

3) 马来酸二丁酯 (顺丁烯二酸二丁酯)。透明油状液体,密度 $0.99\text{g}/\text{cm}^3$ (20°C 时),沸点 175°C ,可与多种树脂共聚,即所谓内增塑剂,对一般不容易增塑的树脂,如聚丙烯腈、聚甲基丙烯酸酯类,可有效地增塑,还可以提高 PVC 制品的光洁度和透明度,缺点是挥发性大。

4) 对苯二甲酸二辛酯 (DOTP)。相对分子质量和 DOP 一样为 390.3,挥发性低于 DOP,为 0.04% (DOP 为 0.19%),闪点高于 DOP,为 209°C (DOP 为 191°C),耐热性能优于 DOP,DOP 用于电缆料时,长期使用温度为 65°C ,而采用 DOTP 则可达到 70°C ,其相容性、电气绝缘性、耐寒性、热稳定性均良好。

5) PVC 用高分子增塑剂。除前述聚合型增塑剂外,还有适于 PVC 用的高分子增塑剂,如聚己内酯 PCL—300 和 PCL—700; 乙烯-醋酸乙烯酯-一氧化碳三元共聚物 ELVALOY—741 和 ELVALOY—742; 乙烯-二氧化碳共聚物 (ES02); 乙烯-醋酸乙烯共聚物 (EVA) 等, EVA 也起增韧剂作用。其中 PCL—300 的相对分子质量为 15000, PCL—700 的相对分子质量为 40000, ELVALOY—741 的相对分子质量为 2500000。

6) 废天然油代替增塑剂。如废茶子油、废芝麻油、废鱼油、废贝肉油、麦麸油等,均可代替三分之一用量以下的 DOP 类增塑剂,若替代量超过三分之一,则影响制品的性能,如易脆、易渗出油。如果制品有特殊气味,可以在配方中添加微量的香料。

(11) 特殊性能增塑剂

1) 耐寒性增塑剂。能够使塑料制品在较低温度环境中具有较好柔软性的增塑剂有癸二酸二辛酯、己二酸二辛酯和磷酸三辛酯等。

2) 耐热性增塑剂。能够使塑料制品在受热时提高耐高温性能的增塑剂有苯二甲酸双十三醇酯、偏苯三酸酯等。

3) 耐热耐光性增塑剂。能够抑制塑料制品在高温、光照下分解、变色老化用增塑剂有环氧硬脂酸丁酯、环氧硬脂酸辛酯和环氧大豆油等。

4) 阻燃性增塑剂。能够阻止塑料制品燃烧的增塑剂有磷酸三甲苯酯和含氯量为 52% 的氯化石蜡等。

5) 无毒性增塑剂。食品包装和医疗器械用塑料制品的成型原料配方中要加无毒性增塑剂。如苯二甲酸酯、环氧大豆油和环氧四氢苯二甲酸酯等。

6) 耐菌性增塑剂。塑料制品用耐菌性增塑剂有磷酸酯、氯化石蜡和苯二甲酸酯等。

2.1.2 增塑剂的选择原则

选择增塑剂时,应注意以下基本原则:

(1) 与树脂的相容性 所谓相容性是指两种或两种以上的物质相混合时,不产生相斥分离的能力。选择增塑剂时,首先考虑的是相容性这个基本性质,而增塑剂与树脂相容性好坏的判断方法,尚没有可靠的依据,只能凭试验和经验来确定。常用以下三种方法大致判断,但都有一定的局限性。

1) 观察法。将增塑剂与树脂及适量溶剂混合成均匀溶液后,流延制成薄膜,观察薄膜的透明状况。也可加热使之塑化后,冷却至室温,观察表面有无渗出物。

2) 溶解度参数法。利用增塑剂的溶解度参数与树脂的溶解度参数大小相比较,两者愈接近,并且两者之间差值不超过 1,则相容性好。表 2-5 是常用增塑

剂的溶解度参数。

表 2-5 常用增塑剂的溶解度参数

增塑剂	溶解度参数	增塑剂	溶解度参数
樟脑	7.5	邻苯二甲酸二丁酯（DBP）	9.4
己二酸二异辛酯（DIOA）	8.7	磷酸三苯酯（TPP）	9.8
癸二酸二辛酯（DOS）	8.7	磷酸三甲苯酯（TTP、TCP）	9.8
邻苯二甲酸二异癸酯（DIDP）	8.8	磷酸三二甲苯酯（TXP）	9.9
癸二酸二丁酯（DBS）	8.9	二苯甲醚	10.0
邻苯二甲酸二辛酯（DOP）	8.9	三醋酸甘油酯	10.0
邻苯二甲酸二异辛酯（DIOP）	8.9	邻苯二甲酸二甲酯（DMP）	10.5
邻苯二甲酸二丁氧基乙酯（DBEP）	9.3		

3) 介电常数法。用介电常数来判断相容性，或者把介电常数与溶解度参数相结合，来判断相容性。

(2) 增塑效率 增塑效率是指增塑剂对聚合物的增塑能力大小或增塑效果好坏，不同增塑剂增塑效率大小是一个相对概念。增塑效率一般用改变定量柔性指标所需加入增塑剂量的多少来评定，增塑剂加入量越少，其增塑效率越高。通常以邻苯二甲酸二辛酯作为比较标准，设其值为1，其他增塑剂与它相比，称为效率比值。效率比值愈小，则表示该增塑剂的效率愈高。常用增塑剂的增塑效率比值见表 2-6。

表 2-6 常用增塑剂的增塑效率比值

增塑剂	效率比值	增塑剂	效率比值
癸二酸二丁酯（DBS）	0.78	邻苯二甲酸二异辛酯（DIOP）	1.03
邻苯二甲酸二丁酯（DBP）	0.85	石油磺酸苯酯（M-50）	1.15 ~ 1.20
环氧脂肪酸丁酯	0.91	环氧油	1.23
癸二酸二辛酯（DOS）	0.93	磷酸三甲苯酯（TCP）	1.25
己二酸二辛酯（DOA）	0.94	磷酸三二甲苯酯（TXP）	1.31
邻苯二甲酸二丙烯酸酯（DAP）	0.97	己二酸丙烯酸酯	1.34
邻苯二甲酸二辛酯（DOP）	1.00	氯化石蜡（含氯 53%）	1.40

值得注意的是，用不同方法测出的相对效率比值并不相同，但排列顺序基本不变。表 2-6 中数据是采用弹性模量法测出的，测试条件：温度为 25℃，伸长率为 100%，弹性模量为 7.031MPa。

知道了各增塑剂的相对效率比值后，就可以估算出用一种增塑剂替代另一种增塑剂时的用量。

(3) 耐久性 耐久性是指增塑剂在增塑制品中持久存在的能力。主要包括

耐挥发性、耐迁移性和耐抽出性三个方面。

1) 耐挥发性。指增塑剂受热时,从制品表面向空气中扩散的倾向。增塑剂的挥发性与其相对分子质量有关,一般相对分子质量越小,挥发性越大。从分子结构来看,直链烷基结构较支链烷基结构增塑剂的耐挥发性好;分子内含有环状等大体积基团的增塑剂耐挥发性好。一般聚酯类、环氧类、DIDP、TCP及季戊四醇等增塑剂的耐挥发性好。

2) 耐迁移性。增塑剂的迁移性包括两个方面:一是增塑剂由制品内部向外部表层渗出;二是增塑剂向与其接触固体转移。增塑剂的迁移性与其相容性有关,相容性越差则迁移性越大。另外,相对分子质量大、含有支链或环状结构的增塑剂耐迁移。

3) 耐抽出性。指增塑剂扩散到与之接触液体介质中的倾向。介质主要有水、溶剂、洗涤剂及润滑油等。就耐油、耐溶剂性而言,非极性烷基所占比重大较大的增塑剂耐抽出性差,苯基、酯基及支化程度高的增塑剂耐抽出性好;而耐水性则正好相反,聚酯类是耐抽出性优良的增塑剂品种。

(4) 耐寒性 指增塑剂增塑制品的耐低温性能。增塑剂的耐寒性与其结构有关,以亚甲基($-\text{CH}_2-$)为主体的脂肪族二元酸酯的耐寒性最好,是最常用的耐寒增塑剂,而含环状和支化结构的增塑剂因低温下在聚合物中运动困难而使其耐寒性极差。常用增塑剂的耐寒性顺序为: $\text{DOS} > \text{DOZ} > \text{DOA} > \text{ED3} > \text{DBP} > \text{DOP} > \text{DIOP} > \text{DIDP} > \text{DNP} > \text{M}-50 > \text{TCP}$ 。

(5) 阻燃性 磷酸酯类和氯化石蜡类属于阻燃增塑剂,其阻燃性顺序为: $\text{TCP} > \text{TPP} > \text{TOP} > \text{DPOP}$ 。

(6) 绝缘性 增塑剂的绝缘性不如PVC树脂,随着增塑剂加入量的增大,PVC电绝缘性下降。在PVC绝缘制品选用增塑剂时,要注意其绝缘性。常用增塑剂的绝缘性顺序为: $\text{TCP} > \text{DNP} > \text{DOP} > \text{M}-50 > \text{ED3} > \text{DOS} > \text{DBP} > \text{DOA}$ 。

(7) 卫生性 指增塑剂的毒性,大部分增塑剂都无毒或低毒,环氧类和柠檬酸酯类为无毒增塑剂,苯二甲酸酯类和二元羧酸类为低毒增塑剂,但DOP、DOA有致癌嫌疑;磷酸酯类增塑剂大都有毒,只有磷酸二苯-2-乙基己酯例外;氯化石蜡也属有毒类增塑剂。

(8) 成型加工性 所谓成型加工性是指增塑剂与树脂体系成型加工的难易程度。增塑剂的相容性与成型加工性密切相关。一般来说,相容性良好的增塑混合物,其成型加工性也较好。

(9) 对热和光稳定性 指在高温下或日光照射下,不分解,不变质。

(10) 料源丰富,价格低廉 一般能同时满足以上条件的增塑剂是不存在的,只能根据制品性能要求,选择主要指标来满足,或是几种增塑剂相互配合,取长补短来使用。

2.2 热稳定剂

广义地说，凡以改善聚合物热稳定性为目的而添加的助剂均可称为热稳定剂。狭义地讲，主要是指保持高聚物塑料、橡胶、合成纤维等稳定，防止其分解、老化的试剂。但由于 PVC 的热稳定问题非常突出，因此通常所说的热稳定剂即专指 PVC 及氯乙烯共聚物使用的热稳定剂，也可简称为稳定剂。

2.2.1 热稳定剂的品种、性能和应用

热稳定剂可分为主热稳定剂（如碱式铅盐、金属皂和有机锡等）和辅助热稳定剂（如亚磷酸酯、环氧化合物等）。加之目前各种复合型与新型热稳定剂不断问世，因此热稳定剂的品种繁多。按化学结构来分，PVC 常用的热稳定剂主要有以下几类。

1. 铅类稳定剂

铅类稳定剂是 PVC 最常用的热稳定剂，也是十分有效的热稳定剂，其用量可占 PVC 热稳定剂的 70% 以上。它是带有未成盐的氧化铅（PbO）的无机酸或有机酸的铅盐。PbO 本身具有很强的吸收氯化氢的能力，可作为主热稳定剂。由于 PbO 呈黄色，故一般不用 PbO 而用呈白色的碱式铅盐作热稳定剂。碱式铅盐类热稳定剂的主要作用是捕获 PVC 分解出的 HCl，从而抑制 HCl 对分解反应所起的催化作用。

此类热稳定剂的主要优点：长期热稳定性好，电气绝缘性好，具有白色颜料的性能，覆盖力大，因此耐候性好，可作为发泡剂的活化剂，价格低廉。但其缺点也较明显：所得制品透明性差，毒性大，分散性差，易发生硫化污染。由于分散性差，密度大，所以其用量亦较大，常达 2~7 质量份。

常用的铅盐类稳定剂主要品种、性能和应用见表 2-7。

表 2-7 铅盐类稳定剂的主要品种、性能和应用

品种	性能	应用
三碱式硫酸铅 (三盐基性硫酸铅) ($3\text{PbO} \cdot \text{PbSO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	代号为 TLS，简称三盐，白色细粉末，最为常用，热稳定性能好，加工性能好，电绝缘性优良，对氯化氢的吸收能力强，价格低廉。缺点是光稳定性略差，有毒，无润滑性，不透明	主要用于不透明 PVC 硬板、硬管、注射件、人造革、电缆外层绝缘材料等，不能用于食品包装
二碱式亚磷酸铅 (二盐基性亚磷酸铅) ($2\text{PbO} \cdot \text{PbH-PO}_3 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$)	代号为 DL，简称二盐，也是常用的热稳定剂，为白色结晶粉末，对氯化氢的吸收性能稍低于三盐，耐候性较好，防氧化和吸收紫外线能力较强，但缺乏润滑性，不透明，有毒	用于不透明软、硬 PVC 制品中，常与三盐并用，用量一般为三盐的 1/2

(续)

品种	性能	应用
二碱式硬脂酸铅 [2PbO · Pb (C ₁₇ H ₃₅ COO) ₂]	代号为 DLS，白色粉末，具有良好的热稳定性及电绝缘性，有优良的润滑性、耐水性，缺点是硫化物污染性较严重，初期着色性较大，有毒	主要用于挤出制品，如塑胶管、波纹板、片材、异型材、电缆料及注射制品等，用量为 0.5 ~ 1.5 质量份

2. 金属皂类稳定剂

为用量仅次于铅盐的第二大类主稳定剂，其热稳定性虽不如铅盐类，但兼具润滑性。金属皂类可以是脂肪酸（月桂酸、硬脂酸、环烷酸等）的金属（铅、钡、镉、锌、钙等）盐，其中以硬脂酸盐最为常用，其活泼性大小顺序为 Zn 盐 > Cd 盐 > Pb 盐 > Ca 盐 > Ba 盐。金属皂类一般不单独使用，常为金属皂类之间或与铅盐及有机锡等并用。除 Cd、Pb 外都无毒，除 Pb、Ca 外都透明，无硫化污染，因而广泛用于软质 PVC 中，如无毒类、透明类制品等。常用的金属皂类稳定剂的主要品种、性能和应用见表 2-8。

表 2-8 金属皂类稳定剂的主要品种、性能和应用

品种	性能	应用
硬脂酸铅 (PbSt)	光稳定性好，价格低廉，是一种高效率热稳定剂和低温加工润滑剂，缺点为易析出，透明差，有毒且硫化污染严重	广泛应用于电缆料、管材、板材、鞋底和薄膜制品，但不能用于食品包装
硬脂酸钙 (CaSt)	有优良的润滑性，热稳定性略低于其他硬脂酸盐，加工性好，无毒，价格低廉，耐候性、透明性差，用量多时易析出，与其他稳定剂并用有协同作用，可提高热稳定性	可用于食品包装和医疗器具，多用作润滑剂和脱模剂等
硬脂酸镉 (CdSt)	光稳定性好，透明性好，还有较好的润滑性，但长期耐热性差，毒性较大，不耐硫化污染，价格比较贵	用于塑料鞋、薄膜和板材及透明制品，用量不大于 1%
硬脂酸锌 (ZnSt)	无毒且透明，润滑性较好，能抑制初期着色，稳定性差，用量大时，易引起“锌烧”制品变黑	应用于吹塑薄膜配方中，用量少时能起稳定作用，用量多时效果相反
硬脂酸钡 (BaSt)	稳定性和润滑性较好，抗硫化污染，溶于苯但不溶于水，热稳定性不如硬脂酸铅，常与 Pb、Ca 皂并用。复合品种常用的有：Ba/Zn（无毒、透明）、Ba/Cd（有毒、透明）及 Ba/Cd/Zn	用于透明薄膜、电缆料和人造革

3. 有机锡类稳定剂

有机锡类稳定剂主要用于食品包装膜和其他透明 PVC 制品中。有机锡通过配位反应可置换 PVC 分子中不稳定的烯丙基氯原子，引入稳定的酯基，消除 PVC 中热降解的引发源，使 PVC 稳定化。其突出优点为热稳定性好，透明性好，大多数无毒。缺点为价格高，无润滑性。这类稳定剂大部分为液体，只有少数为固体。可以单独使用，也常与金属皂类并用。添加量一般为 1~4 质量份。有机锡类热稳定剂主要包括含硫有机锡和有机锡羧酸盐两类。

(1) 含硫有机锡类 含硫有机锡主要为硫醇有机锡和有机锡硫化物。这类稳定剂具有突出的耐热性和良好的透明性，没有初期着色性，特别适用于硬质透明制品，还能改善由于使用抗静电剂所造成的耐热性降低的缺点，起霜现象较小。但价格昂贵，耐候性比其他有机锡差，且不能和含铅、镉的热稳定剂并用。其主要品种、性能和应用见表 2-9。

表 2-9 含硫有机锡类稳定剂的主要品种、性能和应用

品种	化学组成	性能	应用
T-108 (防热灵 108)	硫醇丁基锡化合物	具有良好的初期色相及持续稳定性，非常适合长时间操作的加工过程。因其加工流动性好，用于加入白色颜料的制品可改善制品的洁白程度，用在彩色制品中可防止颜色堆积	主要用作非食品包装瓶、板材和薄膜，一般加入量为 1.5~2.5 质量份
T-831 (京锡-8831)	硫醇辛基锡化合物	具有极高的透明性和杰出的加工性能，热稳定性好，无初期着色性，耐水性优良，但耐候性差，可与皂类润滑剂并用	主要用于食品及药品包装用的透明片材和饮料用透明 PVC 瓶，一般加入量为 1.5~2.0 质量份
T-137 (防热灵 137)	硫醇丁基锡化合物	是低价多功能稳定剂，在多螺杆加工系统中具有优异的加工性能和较好的初期色相，微具润滑性并具有一定的耐候性	主要用于挤出 PVC 管材及注塑管件，在挤出管材中加入量为 0.4~0.6 质量份，在注塑管件中加入量为 1.5~2.5 质量份
181	硫醇甲基锡化合物	是有机锡稳定剂中性能价格比最好的产品，具有良好的初期及持续的热稳定性和优异的透明性，已被美国 FDA 批准用于食品、药品包装及医用制品	主要应用于 PVC 片材热收缩膜及 PVC 上水管等，一般加入量为 1.2~1.8 质量份

(2) 有机锡羧酸盐 这种稳定剂的稳定性不如含硫有机锡，但无硫污染，主要包括脂肪酸锡盐和马来酸锡盐。主要品种、性能和应用见表 2-10。

表 2-10 有机锡羧酸盐稳定剂的主要品种、性能和应用

品种	性能	应用
二月桂酸二正丁基锡 (DBTL)	淡黄色液体或半固体，润滑性优良，耐候性和透明性好，与多数增塑剂相容性很好，与硬脂酸镉并用有协同效果。常与 Ba、Cd 皂并用，用量 1~2 质量份；与马来酸锡及硫醇锡并用，用量 0.5~1 质量份。缺点是有毒，热稳定性差，初期有色泽	用于软质 PVC 制品，如薄膜、半软片、人造革、透明软管、波纹板等
二月桂酸二正辛基锡 (DOTL)	有毒且价格高，润滑性优良	常用于硬 PVC 中，用量小于 1.5 质量份
马来酸二正丁基锡 (DBTM)	白色粉末，具有优良的耐热性和透明性，无硫化污染，有毒，无润滑性，加工性能差	常与月桂酸锡并用，可改善制品的透明性和耐热性，不可与金属皂类并用于透明制品中

4. 有机铈热稳定剂

铈稳定剂具有优秀的初期着色性、色调保持性，尤其是在低用量时，热稳定性优于有机锡类，特别适于用双螺杆挤出机的 PVC 配方使用。但润滑性、耐光性较差。有机铈类主要包括硫醇铈盐类、巯基乙酸酯硫醇铈类、巯基羧酸酯铈类及羧酸酯铈类等。国内的铈稳定剂主要以三巯基乙酸异辛酯铈（ST）和以 ST 为主要成分的复合稳定剂 STH—I 和 STH—II 两种为主。五硫醇铈为透明液体，可用作透明片、薄膜、板材、中空制品、透明粒料的热稳定剂。STH—I 可以代替京锡 C—102，可抑制 PVC 的初期着色，热稳定性好，制品透明，颜色鲜艳；STH—II 无毒，主要用于 PVC 水管等。

5. 稀土类热稳定剂

稀土类热稳定剂是由我国开发的一种新型热稳定剂。其作用机理为捕捉 HCl 和置换烯丙基氯原子。稀土热稳定剂可以是稀土的氧化物、氢氧化物及稀土的有机弱酸盐（如硬脂酸稀土、脂肪酸稀土、水杨酸稀土、柠檬酸稀土、酒石酸稀土及苹果酸稀土等）。其中以稀土氢氧化物热稳定效果最好，稀土有机酸中水杨酸稀土要好于硬脂酸稀土。

稀土热稳定剂的热稳定性与京锡 8831 相当，好于铅盐与金属皂类，是铅盐的 3 倍，是 Ba-Zn 复合稳定剂的 4 倍；它无毒，透明，价廉，可以部分代替有机锡类热稳定剂而广泛应用，用量为 3 质量份左右。但要注意，有的稀土中含放射性元素，有的含有大量重金属，应尽量避免使用这类物质。稀土热稳定剂无润滑作用，应与润滑剂配合使用。

6. 辅助热稳定剂

辅助热稳定剂本身不具有热稳定作用,只有与主稳定剂一起并用,才会产生热稳定效果,并促进主稳定剂的稳定效果。辅助热稳定剂一般不含金属,因此也称为非金属热稳定剂。辅助热稳定剂的主要品种如下:

(1) 亚磷酸酯类 亚磷酸酯是重要的辅助热稳定剂,与金属皂类稳定剂配合使用时,能提高制品的耐热性、着色性、透明性、耐压折性、耐候性,如亚磷酸三苯酯(TPP)、亚磷酸-苯二异辛酯(PDOP)、亚磷酸二苯异辛酯(DPOP)、磷酸三壬基苯酯(TNPP)等,与主抗氧化剂酚类配合,能发挥协同作用。

亚磷酸酯广泛用于液体复合稳定剂中(一般添加质量分数为10%~30%);用于农业薄膜、人造革等软质PVC制品中,用量为0.3~1质量份;在硬质PVC制品中主要用于瓦楞板,用量为0.3~0.5质量份。

(2) 环氧化合物类 用作辅助热稳定剂的环氧化合物有增塑剂型和树脂型两大类。增塑剂型主要有环氧大豆油、环氧硬脂酸酯、环氧四氢邻苯二甲酸酯和缩水甘油醚等。树脂型主要是环氧氯丙烷双酚A型环氧树脂与高环氧值低粘度的液状酚醛环氧树脂。

环氧化合物单独作为稳定剂使用时,其应用性能较差,但与其他热稳定剂(如金属皂、铅盐、有机锡类)配合使用时,则有良好的协同效果。特别是与镉-钡-锌复合稳定剂并用时效果尤为突出,用量为2~5质量份,常用的品种为环氧大豆油。

(3) 多元醇 与环氧化合物相似,多元醇(如季戊四醇、木糖醇、甘露醇等)也是很早就用作辅助热稳定剂。它与金属皂或有机锡化合物配合使用,对提高PVC的热稳定性具有一定的作用。

(4) β -二酮化合物 β -二酮化合物能与金属皂和有机锡稳定剂并用,提高配合体系的热稳定性,尤其是具有良好的抑制初期着色的能力。在与金属皂并用时, β -二酮化合物的作用机理是在金属盐的催化作用下,迅速置换PVC分子链中的 β -氯原子,提高其热稳定性。

7. 复合热稳定剂

所谓复合热稳定剂是指有机金属盐类、亚磷酸酯、多元醇、抗氧化剂和溶剂等多组分的混合物,一般呈液状,其中金属皂类稳定剂是其主体成分。

(1) 复合铅盐稳定剂 复合铅盐稳定剂包含了加工所需要的热稳定剂组分和润滑剂组分,被称为全包装热稳定剂,其热稳定性、润滑性、光稳定性均优,有助于改善加工性能和制品外观。复合铅盐稳定剂的一个重要指标是铅的含量,目前所生产的复合铅盐稳定剂铅含量一般为20%~60%;主要用于PVC管材、异型材、板材、电缆料等。在PVC塑料门窗型材生产中的用量为3.5~6质量

份。

(2) 固体钙锌复合稳定剂 热稳定性较好, 无毒, 润滑性好。用于 PVC 无毒、透明制品, 如 PVC 薄膜、片材、管材, 型材、中空制品、电线电缆绝缘料, 允许与食品接触, 可包装药品、食品。

(3) 液体钙锌复合稳定剂 热、光稳定性和透明性好, 无毒, 但初期着色性和热稳定效能稍差, 可采用环氧化合物、 β -二酮并用改善。用于无毒、透明 PVC 制品, 如 PVC 管材、片材、中空容器、运输带, 用于无毒可接触食品、药品的制品。

(4) 稀土复合稳定剂 经复配后, 热稳定性、耐候性、耐光性均优, 热稳定效率高, 低毒, 透明。用于 PVC 管材、异型材、板材、电缆料、鞋料、层压板等。

2.2.2 热稳定剂的选择原则

理想的热稳定剂应具备以下基本条件:

- 1) 热稳定效能高, 并具有良好的光稳定性。
- 2) 与聚合物树脂的相容性好, 挥发性小, 不升华, 不迁移, 不起霜, 不易被水、油或溶剂抽出。
- 3) 有适当的润滑性, 加工时热稳定性和化学稳定性好, 耐久, 不与其他助剂发生化学反应。
- 4) 不降低制品的电性能、印刷性、高频焊接性和粘合性等二次加工性能。
- 5) 无毒、无臭、无污染, 可以制得透明制品。
- 6) 加工使用方便, 价格低廉。

当然, 没有哪一种热稳定剂能同时满足以上所有条件, 单独使用一种热稳定剂有时难以满足要求或热稳定效能低, 而当两种或两种以上热稳定剂配合使用时, 可大大提高其热稳定效能, 这就是热稳定剂的协同效应。热稳定剂的协同效应主要是以金属皂为中心进行的, 它涉及以下几个方面: 金属皂之间的配合; 金属皂与环氧化合物的配合; 金属皂与亚磷酸酯的配合; 金属皂与多元醇的配合。

由于热稳定剂的品种繁多, 性能各异, 在配方选用时需根据制品要求、成型工艺及设备特点加以适当选择, 从而生产出性能优异、成本较低的 PVC 制品。

2.3 光稳定剂

塑料及其他高分子材料, 暴露在阳光或高能射线, 由于吸收了紫外光能量, 会发生光氧化降解, 导致制品变色、性能下降。能够抑制或减缓光氧化作用的物质叫做光稳定剂, 或称为抗紫外线剂。

2.3.1 光稳定剂的品种、性能和应用

根据光稳定剂的作用机理，可分为四类：光屏蔽剂、紫外线吸收剂、猝灭剂和自由基捕获剂。

1. 光屏蔽剂

光屏蔽剂能反射或吸收太阳光紫外线，其作用就像在聚合物与光源之间设置了一道屏障，阻止紫外线辐射到聚合物内部，从而有效地抑制聚合物光氧化降解。常用的光屏蔽剂有炭黑、二氧化钛（金红石型）、氧化锌等，氧化铝厂生产时的废渣、赤泥也有光屏蔽作用，如在 PE 瓦楞纸箱中添加 20% 的赤泥，在日光下曝晒 14d 后，添加普通碳酸钙填料的 PE 箱，伸长率完全丧失，而添加赤泥的 PE 箱，伸长率损失很少。

炭黑的添加量一般为 2% 以下，超过 2% 时，光稳定效果并不明显增大，反而降低其他性能，粒度在 15 ~ 25nm 为好。

氧化锌即锌白，是一种价廉、耐久、无毒的光屏蔽剂，与二乙基二硫代氨基甲酸锌、亚磷酸三壬基苯酯、硫代二丙酸二月桂酯等过氧化物并用，可发挥良好的协同作用。

2. 紫外线吸收剂

紫外线吸收剂能强烈地吸收聚合物敏感的紫外光，并将能量转变为无害的热能形式放出。按化学结构可分为二苯甲酮类、水杨酸酯类、苯并三唑类、取代丙烯腈类和三嗪类等。紫外线吸收剂主要品种、性能和应用见表 2-11。

表 2-11 紫外线吸收剂主要品种、性能和应用

品种	性能	应用
UV—531（2-羟基-4-辛氧基二苯甲酮）	淡黄色粉状结晶，熔点 48℃，能强烈吸收 270 ~ 330nm 的紫外线，与各种树脂相容性好，挥发性低，溶于丙酮、苯、乙醇，不溶于水，毒性小，可以接触食品，与少量抗氧剂 2246—S 并用有协同效应	适用于各种塑料，特别是 PE、PP、PS、ABS、PVC、PA 等，可用于制造浅色和透明制品，用量为 0.1% ~ 1%，也可用于食品包装薄膜原料配方中，用量不超过 0.5%
UV—9（2-羟基-4-甲氧基二苯甲酮）	白色至淡黄色粉状结晶，熔点 63℃，能强烈吸收 290 ~ 400nm 紫外线，对光、热稳定性好，几乎不吸收可见光，故适用于浅色透明制品，无毒，不溶于水，溶于有机溶剂	用于 PVC、PS、PMMA、PET、ABS 等树脂中，用量 0.1% ~ 1.5%，用于接触食品的制品时，最大用量不得超过 0.3%
UV—O（2,4-二羟基二苯甲酮）	淡色针状结晶或白色粉末，熔点 136 ~ 149℃，溶于丙酮、甲醇、乙醇、甲乙酮、二恶烷、N-甲基吡啶酮和醋酸乙酯，极难溶于水、正庚烷和苯，最大吸收波长范围 280 ~ 340nm，但其光稳定效果并不突出	适用于 PVC、PS、环氧树脂、纤维素树脂、不饱和聚酯、涂料和合成橡胶等，一般用量 0.1% ~ 1%

(续)

品种	性能	应用
双水杨酸双酚A酯	提高制品耐候性，迁移性小，能够有效地吸收对植物有害的短波紫外线，透过对植物生长有利的长波紫外线，料源丰富，价格低廉	可用于PVC、PE和PP树脂配方中，生产农用薄膜或食品包装薄膜，用量不大于4%
水杨酸苯酯	吸收最大波长290~330nm的紫外线，光稳定效果欠佳，但价廉，无毒，用于接触食品	用于聚酯、纤维素、PVC、PVDC、PS、PE、PUR等
UV—326（氯代苯并三唑）	淡黄色结晶粉末，熔点137~141℃，不溶于水，溶于有机溶剂，毒性低，能有效地吸收270~380nm的紫外线，稳定效果好，兼有抗氧化性能	可用于多种树脂，用量0.1%~3%
UV—327〔2-(2'-羟基-3',5'-二叔丁基苯基)-5-氯代苯并三唑〕	强烈吸收300~400nm紫外线，化学稳定性好，挥发小，与聚烯烃的相容相好，耐抽出，耐高温，毒性低，允许接触食品	特适用于PE、PP，也用于PVC、POM、PMMA、ABS、PU、UP、EP等塑料制品或纤维。一般用量为1%~3%
2,4,6-三(2'-正丁氧基苯基)-1,3,5-三嗪	淡黄色粉末，熔点156~165℃，能吸收波长为300~380nm的紫外线，其光稳定效能优于UV—9和UV—531，但该产品有着色性，可使制品带淡黄色，而且与树脂的相容性也较差	适用于PVC、POM、氯化聚酯等多种塑料，一般用量为0.1%~1%
紫外线吸收剂UV—P（邻硝基苯胺、对甲苯酚的反应产物）	无色或淡黄色结晶，熔点130~131℃，能溶于汽油、苯、丙酮等多种有机溶剂，在水中溶解度极小，不被浓碱、浓酸分解，能吸收270~280nm波长的紫外线	主要用于聚酯、含氯聚酯、醋纤、PVC、PS、PMMA、聚丙烯腈等树脂中。在透明制品中的稳定性比着色制品的好。在制品中的用量为0.05%~0.5%

3. 猝灭剂

猝灭剂能有效转移聚合物中光敏发色团激发态能量并将其以无害的形式消散掉，从而使聚合物避免发生光降解反应。猝灭剂大多是镍有机络合物，如AM—101、NBC等。这类光稳定剂对聚烯烃有突出的稳定效果，多用于薄膜和纤维。它们在溶剂中溶解度很小，用于纤维时耐洗性优良，与二苯甲酮类、苯并三唑类等紫外线吸收剂并用，有良好的协同效应。由于镍络合物具有绿色，因此不适于透明制品。常用的猝灭剂主要品种、性能和应用见表2-12。

4. 自由基捕获剂

自由基捕获剂是能够与化学反应过程中产生的不能长时间稳定存在的活性自由基作用，形成可长时间稳定存在的自由基或稳定分子的物质。主要是受阻胺类衍生物，国内品种有LS—770、LS—744、GW—540、PDS等（见表2-13），

国外品种有：TINU—VIN770、770SPR、MB218、292、744、144、622、MB192、MB198、MB248、MB302 等牌号。

表 2-12 猝灭剂主要品种、性能和应用

品种	性能	应用
AM—101（2，2'-硫代双（4-叔辛基酚氧基）镍）	绿色粉末，在紫外线区域的吸收波峰为 290nm（氯仿中），与紫外线吸收剂并用有良好的协同效应，而且能改善加工性能。缺点是有毒，颜色较深，使制品着色，同时在高温下与硫代酯类辅助抗氧化剂作用，使制品发灰黑色	适用于 PE、PP 等聚烯烃塑料，对薄膜和纤维制品的光稳定作用尤佳
光稳定剂 2002（双（3，5-二叔丁基-4-羟基苄基磷酸单乙酯）镍）	淡黄色或淡绿色粉末，光稳定和热氧化稳定效能高，与聚合物相容性好，耐抽出，着色性小，易溶于有机溶剂，对 PP 纤维有助染作用，与酚类抗氧化剂、紫外线吸收剂有协同效应，但有毒	主要用于 PE、PP 纤维、薄膜、编织带，也用于 PET、PA、EVA 等
NBC（N，N-二丁基二硫代氨基甲酸镍）	深绿色粉末，熔点 86℃，闪点 263℃，不溶于水，溶于有机溶剂，光稳定性优良，但制品略带黄绿色	用于聚烯烃纤维、薄膜和窄带中，用量为 0.3 ~0.5 质量份
2，2 硫代双镍正丁基氨（CRA-SORB—1084 或镍Ⅲ）	淡绿色粉末，易流动，熔点 258 ~ 261℃，与烯烃相容性好	适用于 PE、PP 等聚烯烃薄膜和纤维

表 2-13 自由基捕获剂主要品种、性能和应用

品种	性能	应用
LS—770 [癸二酸双（2，2，6，6-四甲基-4-哌啶）酯]	无色或微黄色结晶粉末，熔点 79 ~ 84℃，光稳定效果好，毒性低，与抗氧化剂并用能提高耐热性，与紫外线吸收剂并用能进一步提高耐光性，与颜料配合使用不会降低耐光效果，特别是对 PP 和 HDPE 的耐大气老化性能远较一般紫外线吸收剂及猝灭剂优越	适用于 PP、PE、PS、HIPS、ABS 树脂及 PU 等塑料，参考用量为 0.3 ~ 0.5 质量份
GW—540 [三（1，2，2，6，6-五甲哌啶基）亚磷酸酯]	白色结晶粉末，熔点 122 ~ 124℃，溶于乙醇、氯仿、丙酮、苯等溶剂，难溶于水，毒性低，与树脂的相容性好，加工性能亦佳，除具有光稳定作用外，还兼有良好的抗热老化性能。缺点是耐热性较差，不宜在热水介质中长期使用；此外，最好在 270℃ 以下的温度加工和使用，超过此温时失重较为严重	适用于 PE、PP 等树脂，尤其适于 LDPE 农膜，用量为 0.3 ~0.5 质量份

(续)

品种	性能	应用
LS—744 (4-苯甲酰氧基-2, 2, 6, 6-四甲基哌啶)	白色结晶粉末, 熔点 95 ~ 98℃, 分解温度 280℃ 以上, 溶于丙酮、乙醇、醋酸乙酯、甲苯, 不溶于水。耐光性为一般紫外线吸收剂的数倍, 不着色, 不污染, 耐热加工性良好, 与抗氧剂和紫外线吸收剂并用, 具有优良的协同效应	适用于 PP、PE、PS、PU、PA 和聚酯等多种塑料, 在聚烯烃中效果尤为突出
HS—944 (聚 { [6- [(1, 1, 3, 3-四甲基丁基) 氨基]] - 1, 3, 5-三嗪-2, 4-双 [(2, 2, 6, 6-四甲基-哌啶基) 亚氨基] -1, 6-己二胺 [(2, 2, 6, 6-四甲基-4-哌啶基) 亚氨基] })	为聚合型高效受阻胺光稳定剂, 与聚合物有良好的相容性和耐抽出性, 热稳定性好, 与颜料和其他热稳定剂有良好的协同效应, 无毒, 允许接触食品	用于 PE、PP、PVC 等聚烯烃制品和尼龙、聚缩醛、聚酯等制品, 特别是 PE 薄膜、片材、纤维

受阻胺类不污染树脂, 用量少稳定效果高 (添加量为 0.1% ~ 0.6%), 耐抽出性好, 与树脂相容性好, 与二苯甲酮类、苯并三唑类光稳定剂并用, 协同效果很好, 但是遇到含硫的化合物, 如 DLDP、DST-DP 硫代醇酯类, 会削弱其光稳定效果。

2.3.2 光稳定剂的选择原则

选择光稳定剂应考虑以下因素:

- 1) 能有效地吸收 290 ~ 400nm 波长范围的紫外线, 或能猝灭激发态分子的能量, 或具有捕获自由基的能力。
- 2) 与树脂相容性好, 不与其他助剂反应, 使用过程中不渗出。
- 3) 自身的光稳定性和热稳定性好, 其光稳定作用具有长期性。
- 4) 耐水解、耐水和其他溶剂抽出。
- 5) 挥发性低, 污染性小。
- 6) 无毒或低毒, 价廉易得。

不同的树脂对紫外线敏感的波长范围也不同, 见表 2-14。

表 2-14 常用塑料品种的敏感波长

树脂名称	敏感波长/nm	树脂名称	敏感波长/nm
聚乙烯	310	聚甲醛	300 ~ 320
聚丙烯	300	聚甲基丙烯酸甲酯	290 ~ 315
聚氯乙烯	310	热塑性聚酯	290 ~ 320
聚苯乙烯	318	不饱和聚酯	325
聚碳酸酯	295	乙烯-醋酸乙烯共聚物	322 ~ 364

2.4 抗氧剂

抗氧剂是指一些能够抑制或者延缓高聚物和其他有机化合物在空气中热氧化的有机化合物。通俗来说，就是能防止聚合物材料因氧化引起变质的物质。用于塑料中称为抗氧剂，而用于橡胶中则称为防老剂。

2.4.1 抗氧剂的品种、性能和应用

1. 主抗氧剂

主要包括受阻酚类和受阻胺类抗氧剂。

(1) 受阻酚类抗氧剂 受阻酚类抗氧剂是一些具有空间阻碍的酚类化合物，它们的抗热氧化效果显著，不会污染制品，发展很快。这类抗氧剂的品种很多，主要品种、性能和应用见表 2-15。

表 2-15 受阻酚类抗氧剂主要品种、性能和应用

品种	性能	应用
抗氧剂 1010 [四- [3- (3, 5-二叔丁基-4-羟基苯基) 丙酸] 季戊四醇酯]	白色粉末，熔点 119 ~ 123℃，微毒，不挥发，抗氧效果好，是最常用的抗氧剂品种	常用于 PP、PE、PS、POM、PA、ABS、PU 、PET 等，用量为 0.1% ~ 0.5%，与辅助抗氧剂（DLTP 或 DSTP）并用，主辅比例为 1:3，可节省主抗氧剂用量
抗氧剂 264 即 BHT (2, 6-二叔丁基-4-甲基苯酚)	白色结晶粉末，遇光变黄，熔点 70℃，易溶于苯、醇、丙酮、汽油、四氯化碳、脂肪，不溶于水，无毒，不着色，不污染，但挥发性大	可用于 PE、PP、PS、ABS、PVC，用量为 0.5% ~ 2%
抗氧剂 1076 [β (3, 5-二叔丁基-4-羟基苯基) 丙酸十八醇酯]	白色结晶，熔点为 49 ~ 55℃，不污染，不变色，毒性低，热稳定性好，抗氧效果不如抗氧剂 1010	适用于 PE、PP、PS、ABS、PMMA、PA、PVC 等，用量为 0.1% ~ 0.5%

(续)

品种	性能	应用
抗氧剂 CA, 也叫 TCA [1, 1, 3-三(2-甲基-4-羟基-5-叔丁基苯基)丁烷]	白色结晶粉末、熔点 185 ~ 188℃, 低毒, 挥发性小、不污染, 耐热性好, 具有优良的抗氧化性和抑制铜离子催化氧化的功能	适用于 PE、PP、PVC 中铜电 缆电线的绝缘层, 一般用量 0.1% ~ 1%
抗氧剂 2246, 即 MMB [2, 2'-甲撑双(4-甲基-6-叔丁基苯 酚)]	白色结晶粉末, 熔点 130 ~ 132℃, 毒性低, 稍有酸味, 无污 染, 不变色	常用于 PP、PE、PA、POM、 PS 及 ABS 中, 用量为 0.2% ~ 1%
抗氧剂 300 [4, 4'-硫代双 (6-叔丁基-3-甲基苯酚)]	白色至浅灰色粉末, 熔点大于 150℃, 分解温度 250℃, 低毒	作食品包装材料时, 在 PS 中 添加量为 0.6% 以下, PE、PP、 PVC 中添加量为 0.3% 以下, 也 可用于 ABS、PA、PET、EP、 PU 等
抗氧剂 330 [1, 3, 5-三甲基- 2, 4, 6-三(3, 5-二叔丁基-4- 羟基苯基)苯]	白色粉末, 熔点 200℃ 以上, 高 效, 不污染, 无毒	常用于 PP、PE、PS 及 POM 中, 用量为 0.1% ~ 0.5%

其他受阻酚类抗氧剂还有抗氧剂 246、抗氧剂 3114、抗氧剂 ATP、双酚 A、双酚 C、抗氧剂亚甲基 4426—S 等。

(2) 受阻胺类抗氧剂 受阻胺类抗氧剂对氧、臭氧的防护作用很好, 对热、光、铜的防护作用也很突出。但由于其在使用中易变色而污染塑料制品, 又加上有毒性, 所以在塑料中应用比较少, 只用于一些深色塑料制品中。受阻胺类抗氧剂的主要品种、性能和应用见表 2-16。

表 2-16 受阻胺类抗氧剂主要品种、性能和应用

品种	性能	应用
抗氧剂 DNP [N, N'-二(β-萘基)对苯二胺]	淡灰色粉末, 熔点 235℃, 有毒, 为胺类抗氧剂中污染最小者, 但遇日光仍会变红, 故仅适用于深暗色制品	用于 PP、氯化聚醚, 用量为 0.1% ~ 1%, 也可用于 ABS 及 POM 中, 用量为 0.5%
抗氧剂 H (N, N'-二苯基对苯二胺)	银白色片状结晶, 熔点 152℃, 可溶于有机溶剂, 不溶于水, 有污染性, 有毒	可用于 ABS、POM 及 PA 等工程塑料中, 用量为 0.2% ~ 0.3%
抗氧剂 4010 (N-苯基-N'-环己基对苯二胺)	有变色性, 不适于浅色制品	可用于 PP、PA 及 POM 中, 用量为 0.1% ~ 1%

其他受阻胺类抗氧剂有抗氧剂 E、抗氧剂 RD、抗氧剂 AW、抗氧剂 BLB、抗氧剂 A、抗氧剂 288、抗氧剂 4030、抗氧剂 4010NA 及抗氧剂 4020 等。

2. 辅助抗氧剂

辅助抗氧剂若单独加入则无抗氧作用，只有同主抗氧剂一起加入才可以发挥抗氧作用。它不仅可以增加主抗氧剂的抗氧效果，还可以减少主抗氧剂的使用量。辅助抗氧剂主要有两类，即亚磷酸酯类和硫代酯（硫代醚）类。

（1）亚磷酸酯类 亚磷酸酯类抗氧剂可与多种助剂协同使用，除提高防老化效果外，还可以提高加工稳定性、耐热稳定性、色泽改良及耐候性，缺点是容易水解。其主要品种、性能和应用见表 2-17。

表 2-17 亚磷酸酯类抗氧剂主要品种、性能和应用

品种	性能	应用
亚磷酸三苯酯（TPP）	浅黄色透明液体，具有苯酚味，不污染，与许多酚类抗氧剂有较好的协同作用，并具有光稳定效果	主要适用于 PVC、PE、PP、PS、硅树脂、ABS 树脂、EP 和聚酯等，用量为 0.3% ~ 1%
亚磷酸三壬基苯酯（TNP 或 TNPP）	淡黄色透明粘稠液体，微具酚味，不变色，不污染，是唯一可用于食品包装的无毒亚磷酸酯类抗氧剂	用于聚烯烃、PS、PVC、ABS、PET、EP 等，与酚类抗氧剂并用，用量 0.1% ~ 0.3%
三（2，4-二叔丁基苯基）亚磷酸酯（抗氧剂 168）	白色结晶粉末，熔点为 180 ~ 186.5℃，耐水解性好，挥发性低，主要与抗氧剂 1010 配成复合抗氧剂，如 B—125、B—225 等	用于 PE、PP、PVC、PET 及 ABS 中

（2）含硫酯类 主要为硫代酯类及硫代醚类。其主要品种、性能和应用见表 2-18。

表 2-18 含硫酯类抗氧剂主要品种、性能和应用

品种	性能	应用
抗氧剂 DLTP 或 DLTDP（硫代二丙酸二月桂酸酯）	白色结晶粉末，不溶于水，溶于丙酮、四氯化碳、苯、石油醚等有机溶剂，气味小，相容性好，微毒，可用于食品包装膜	广泛用于 PP、PE、PVC 和 ABS 等材料中，常与酚类抗氧剂 1010 等并用，并有增塑作用，用量为 0.05% ~ 1.5%
抗氧剂 DSTP（硫代二丙酸双十八酯）	白色结晶粉末，熔点 63 ~ 69℃，溶于苯、氯仿、二硫化碳和四氯化碳，难溶于二甲基甲酰胺和甲苯，不溶于丙酮、乙醇和水，低毒，不着色，不污染	可用于白色和艳色制品，相容性低于 DLTP。可作为聚烯烃等的辅助抗氧剂，与酚类抗氧剂 1010、1076、CA 等并用，一般用量为 0.1 ~ 1 质量份
抗氧剂 MB（2-硫醇基苯并咪唑）	淡黄色粉末，可溶于乙醇，丙酮和醋酸乙酯，不溶于四氯化碳、苯和水，不污染，无毒	可用于 PE 及 PP 中，用量低于 0.5%

3. 金属离子钝化剂

金属离子钝化剂主要应用于电线电缆和镶有金属件的制品中。其主要作用是抑制金属离子对合成树脂的催化氧化作用,当聚合物与金属尤其是铜金属接触时,即使聚合物中含有大量受阻酚类抗氧剂,也无法抑制金属离子的催化作用,只有加入金属离子钝化剂方可有效地防止金属对包裹的合成树脂的催化氧化反应。主要品种如下:

(1) *N*-水杨叉-*N'*水杨酰肼 (SSE) 淡黄色粉末,熔点 281℃,常用于 PP、PE,添加量为 0.5%。

(2) 1,2 双(2-羟基苯甲酰)肼 (BHH) 白色粉末,熔点 301℃,与 PE、PP 相容性好,不挥发,不污染,用量为 0.5%。

此外,二乙酰基硫代二丙酰基双肼 (DTD)、二乙酰基己二酰基二酰肼 (DAD) 等与 BHH 性质相似,均为聚烯烃的有效金属钝化剂。

2.4.2 抗氧剂的选择原则

不同的抗氧剂在同一种树脂体系中的抗氧化效果不同,而同一抗氧剂在不同的树脂体系中也显示出不同的抗氧化效果。因此,在选择抗氧剂时应遵循以下原则:

1. 充分考虑抗氧剂的性质

理想的抗氧剂应具备以下使用条件:

- 1) 抗氧效率高,与树脂的相容性好,挥发性、迁移性小。
- 2) 耐热性能好,在成型加工时稳定,不与其他助剂起化学反应。
- 3) 无毒,不刺激皮肤,污染性小,价格低廉。

2. 重视加工和环境因素对抗氧剂的影响

在选用抗氧剂时,不仅要考虑抗氧剂本身的特性及使用对象的性能,还应考虑高聚物的加工、贮存及使用环境因素对抗氧剂的影响。如塑料材料的结构决定了它对大气中氧的敏感程度,不饱和、带支链多的高聚物易被氧化,故应选用抗氧效能高的抗氧剂;加工温度高的则需耐热抗氧剂;对使用温度高、力学强度要求高、光照强度大的制品则应选用高效和兼具光稳定作用的抗氧剂品种。

3. 抗氧剂的配合

所谓协同效应就是指当两种或两种以上的抗氧剂配合使用时,其总效能大于单独使用时各自效能之和的现象;反之则称为对抗效应。在实际生产中,胺类或酚类主抗氧剂经常与过氧化物分解剂配合使用,以提高制品抗热氧化的性能,如受阻酚类主抗氧剂与亚磷酸酯类辅助抗氧剂并用时,具有明显的协同效应。而当受阻酚与炭黑在 PE 中配合作用时,由于炭黑能催化酚的直接氧化而使

其抗氧能力降低，故它们的配合非但没有提高其抗氧效能，反而使其降低，此为对抗效应。

4. 正确使用抗氧剂的用量

大多数抗氧剂都有一个最适宜的浓度范围，在此范围之内，随着抗氧剂用量的增加，抗氧效能增加到最大值，超过此范围，则会带来不利的影响，故适当的抗氧剂用量是非常重要的。抗氧剂的用量取决于高聚物的性质、抗氧剂的效率、协同效应、制品的使用条件与成本价格等诸多因素。

2.5 润滑剂

高聚物在熔融之后通常具有较高的粘度，在加工过程中，聚合物熔体之间、聚合物熔体与加工设备表面之间易产生摩擦，这些摩擦使熔体流动性降低，而且严重的摩擦会使制品表面变得粗糙，缺乏光泽或出现流纹等。为此，需要加入以提高润滑性、减少摩擦、降低界面粘附性能为目的的助剂，这就是润滑剂。一般聚烯烃、PS、PA、ABS、PVC 和醋酸纤维素等在成型过程中都需要加入润滑剂，其中尤以 PVC 最为需要。润滑剂除了改进流动性外，还可以起熔融促进剂、防粘连和防静电剂、爽滑剂等作用。塑料润滑剂无毒，适用范围广，得到了广泛应用。

2.5.1 润滑剂的品种、性能和应用

塑料润滑剂按功能分为内润滑剂和外润滑剂两类。按化学结构可分为烃类、脂肪酸及其酯类、脂肪酸酰胺、金属皂、有机硅化合物、复合润滑剂等。

1. 烃类润滑剂

用作润滑剂的烃类是一些相对分子质量在 350 以上的脂肪烃，包括石蜡、合成石蜡和低相对分子质量的聚乙烯蜡等。烃类润滑剂具有优良的外润滑性，无毒，能用于食品包装，但由于和高聚物相容性差，内润滑性不显著。其主要品种、性能和应用见表 2-19。

表 2-19 烃类润滑剂主要品种、性能和应用

品种	性能	应用
液体石蜡， 俗称白油	无色透明液体，凝固点 -35 ~ -15℃，润滑效果较高，热稳定性好，无毒，但和高聚物的相容性差，用量不宜过多	在挤出、注射成型加工时，作为 PVC、PS 等的内润滑剂，用量一般为 0.3 ~ 0.5 质量份
固体石蜡， 又称天然石蜡	白色固体，熔点为 57 ~ 70℃，多用作外部润滑，能使制品表面具有光泽。缺点是在树脂中的分散性、相容性、热稳定性均差，且易影响制品的透明度，用量不能过大，最好与内润滑剂并用	可作为多种塑料的润滑剂，在硬质 PVC 挤出制品中使用最多，用量一般为 0.2 ~ 1.0 质量份

(续)

品种	性能	应用
微晶石蜡， 又称高熔点石蜡	白色或淡黄色固体，因结晶微细而称为微晶石蜡。润滑效果和热稳定性优于一般石蜡，无毒。缺点是凝胶速度慢，影响制品的透明性	可用作 PVC 等塑料的外润滑剂，用量一般为 0.1 ~ 0.2 质量份
氯化石蜡	与 PVC 相容性好，但透明性差，与其他润滑剂并用效果好	可用作 PVC 等塑料的外润滑剂，用量在 0.3 质量份以下为宜
聚乙烯蜡， 又称低相对分子质量聚乙烯	白色或淡黄色固体，比其他烃类润滑剂的内润滑作用强，可提高加工效率，防止薄膜等粘连，改善填料或颜料的分散性，缺点是透明性差	适用于 PVC 挤出和压延成型，用量一般为 0.5 质量份以下
氧化聚乙烯蜡	为聚乙烯蜡部分氧化产物，外观为白色粉末，具有优良的内、外润滑作用，透明性好，价格低	主要用于 PVC 外润滑剂，用量为 0.1 ~ 1.0 质量份

2. 脂肪酸酰胺类润滑剂

用作塑料加工用润滑剂的脂肪酸酰胺主要是高级脂肪酸酰胺。此类润滑剂由脂肪酸与氨直接反应制备，大都同时具有外部和内部润滑作用。脂肪酸酰胺类润滑剂的主要品种、性能和应用见表 2-20。

表 2-20 脂肪酸酰胺类润滑剂主要品种、性能和应用

品种	性能	应用
硬脂酸酰胺	无色结晶，熔点 109℃，内、外润滑效果均好，透明且制品有光泽，与高级醇并用，可改善润滑性和热稳定性	可用于透明制品，用量 0.3 ~ 0.8 质量份。还可作聚烯烃的滑爽剂
油酸酰胺， 即油酰胺	白色结晶，熔点 75 ~ 76℃，闪点 210℃，着火点 235℃，内、外润滑效果均好	主要用于 PE、PP、PA 中，用量 0.2% ~ 0.5%，还可作为 PE 和 PP 的滑爽剂及薄膜的抗粘连剂
己烯基双硬脂酰胺，即乙撑基双硬脂酰胺（EBS）	淡黄色片状，熔点 140 ~ 145℃，具有较好的内、外润滑作用，是一种高熔点润滑剂。此外还具有抗静电性能	主要用于 PVC、PP、PS、ABS、PF、PE 等树脂中，用量为 0.5 ~ 2 质量份

3. 金属皂类润滑剂

常用作润滑剂的脂肪酸金属皂主要是硬脂酸盐，包括硬脂酸锌、硬脂酸钙、硬脂酸铅等。既是优良的热稳定剂，又是一种润滑剂，其内、外润滑作用兼有，不同品种侧重稍有不同（见表 2-21）。

表 2-21 金属皂类润滑剂主要品种、性能和应用

品种	性能	应用
硬脂酸锌	白色粉末，熔点 120℃，无毒，兼具内、外润滑作用，可保持透明 PVC 制品透明度和初期色泽，在橡胶中兼具硫化活性剂、润滑剂、脱模剂和软化剂等功能	适于聚烯烃，ABS 等，用量为 0.3 质量份
硬脂酸钙	熔点 150℃，无毒，外润滑用	适于通用塑料、硬质和软质 PVC 混料的挤出、压延和注射加工，用量 0.2 ~ 1.5 质量份，在 PP 的加工中，作为润滑剂和金属清除剂使用
硬脂酸钡	熔点 200℃，热稳定性好	适用于多种塑料，用量为 0.5 质量份左右
硬脂酸铅	铅盐有毒，使用时要加以注意	常与硬脂酸钙复合使用，作为硬质 PVC 混料的润滑剂和稳定剂

其他硬脂酸镉、硬脂酸镁、硬脂酸铜与上述皂类一样，既有热稳定作用，又有润滑作用。

4. 脂肪酸类润滑剂

直链脂肪酸具有多种功能，其中硬脂酸和月桂酸常作为润滑剂使用。它们均为白色固体，无毒，主要由油脂水解而得。除作润滑剂外，还兼具软化剂和硫化活性剂等多种功能。由于其对金属导线有腐蚀作用，一般不用于电线电缆等塑料制品。主要品种为硬脂酸，俗称十八烷酸，是仅次于金属皂类而广泛应用的润滑剂，可用于 PVC，用量少时，起内润滑作用；用量大时，起外润滑作用。一般硬脂酸的加入量低于 0.5 质量份。

其他有羟基硬脂酸、蓖麻油酸，其稳定性稍差。

5. 脂肪酸酯类润滑剂

作为润滑剂的酯类主要是高级脂肪酸的一元醇酯和多元醇单酯。此类润滑剂多数兼具润滑剂和增塑剂性质，如硬脂酸丁酯便是氯丁橡胶的增塑剂。脂肪酸酯多和其他润滑剂并用或组成复合润滑剂使用。

(1) 硬脂酸丁酯 无色或淡黄色油状液体，凝固点 20 ~ 22℃，在 PVC 中以内润滑为主兼具外润滑作用。适用于透明制品，用量 0.5 ~ 1.5 质量份。

(2) 单硬脂酸甘油酯 (GMS) 白色蜡状固体，熔点 60℃，无毒，对透明性影响小，与外润滑剂并用效果好。为 PVC 优良的内润滑剂，用于透明制品，用量为 0.25% ~ 1.5%。

(3) 酯蜡和皂化蜡 主要指以褐煤蜡为主要原料，经漂白等工序制成的后续产品。漂白蜡有 S 蜡和 L 蜡，酯蜡有 E 蜡和 EG 蜡，皂化蜡有 O 蜡和 OP 蜡。

主要用于硬质 PVC, 用量 0.1 ~ 0.3 质量份。

6. 脂肪醇类润滑剂

高级脂肪醇具有初期和中期润滑效果, 和其他润滑剂混合性良好, 能改善其他润滑剂的分散性, 故经常作为复合润滑剂的基本组成之一。高级醇与 PVC 的相容性好, 具有良好的内润滑作用, 与金属皂类、硫醇类及有机锡类稳定剂并用效果良好。此外, 由于高级醇类透明性好, 也可用作 PS 的润滑剂。多元醇的热稳定性略次于高级醇, 在硬质 PVC 辊压加工时, 如与其他外润滑剂并用, 也有一定的润滑效果。

(1) 硬脂醇 外观为白色细珠状物, 起内润滑作用, 透明好, 在 PVC 中用量 0.2 ~ 0.5 质量份。还可用于 PS 中。

(2) 季戊四醇 PVC 高温润滑剂, 用量 0.2 ~ 0.5 质量份。

7. 有机硅氧烷类润滑剂

有机硅氧烷俗称硅油, 是低相对分子质量含硅高聚物, 因其具有很低的表面张力、较高的沸点和对加工模具的惰性, 常作为脱模剂和润滑剂使用。具有代表性的品种有聚二甲基硅氧烷、聚甲基苯基硅氧烷等。

8. 聚四氟乙烯润滑剂

聚四氟乙烯 (PTFE) 是一种适用于各种介质的通用型润滑性粉末, 可快速涂覆形成干膜, 以用作石墨、钼和其他无机润滑剂的代用品, 适用于热塑性和热固性高聚物的脱模剂, 承载能力优良。此外, 在弹性体和橡胶工业中也广泛使用。

9. 复合润滑剂

复合润滑剂不仅使用方便, 而且润滑性能好, 能够使内部和外部润滑性能相平衡, 在挤出过程中, 使初期润滑效果、中期润滑效果和后期润滑效果相互平衡。常见的复合润滑剂有如下几类: 金属皂类和石蜡烃类复合润滑剂; 稳定剂与润滑剂复合体系; 以酯蜡和皂化蜡为主体的复合润滑剂; 脂肪酰胺与其他润滑剂复合物等。

2.5.2 润滑剂的选择原则

在生产中选择润滑剂时, 应考虑到润滑剂的特性、高聚物的性质、加工工艺、加工设备、制品性能等多种因素。不同的应用对润滑剂有着不同的要求, 但总的来说, 应遵循以下原则:

1. 依润滑剂本身的特性选择

优良的润滑剂应满足以下要求:

1) 润滑效能高而持久。

2) 与树脂的相容性大小适中, 内部和外部润滑作用平衡, 不喷霜, 不易结

垢。

3) 表面张力小, 粘度低, 在界面处的扩展性好, 易形成界面层。

4) 尽量不降低高聚物的力学强度及其他性能, 不影响塑料的二次加工性能。

5) 本身的耐热性和化学稳定性优良, 在高温加工中不分解, 不挥发, 不和树脂或其他助剂发生有害反应。

6) 不腐蚀设备, 不污染制品, 无毒, 价廉。

但是, 单纯使用一种润滑剂, 往往很难满足以上所有要求, 实际应用中多将几种润滑剂配合使用。近年来复合润滑剂发展很快, 在选择时, 可以多角度地看待润滑剂的作用。

2. 依不同加工方法选择

(1) 压延成型 目的是防止粘辊, 降低熔体粘度, 提高流动性。润滑剂应以内润滑剂和外润滑剂配合使用, 常以金属皂为主, 并适当配以硬脂酸。

(2) 挤出及注射成型 目的是降低粘度, 提高流动性, 易于脱模。一般以内润滑剂为主, 主润滑剂以酯、蜡配合使用。

(3) 模压及层压成型 以外润滑剂为主, 常用蜡类润滑剂。

(4) 糊制品的成型 润滑剂用量较少, 以内润滑剂为主, 并以液体润滑剂为宜。

3. 依不同加工设备选择

从加工机械角度来看, 在混炼、压延、搪塑等成型加工中, 外润滑剂有重要作用, 在挤出、注射成型中, 内润滑剂则更有效果。

4. 依制品性能选择

(1) 软制品 软制品中因含有大量增塑剂, 而增塑剂大都兼有良好的润滑性, 所以润滑剂的用量较少。在透明膜配方中, 选用金属皂类和液体复合稳定剂, 配合使用硬脂酸, 其用量小于 0.5 质量份; 对于吹塑膜, 为防止粘连, 可选用单硬脂酸甘油酯; 在电缆料配方中, 如加入填料, 可采用高熔点蜡为润滑剂, 用量为 0.3 ~ 0.5 质量份。

(2) 硬制品 润滑剂的使用量大于软制品, 对润滑性能要求较高。对于透明无毒制品, 如吹塑瓶及透明片材等, 常用 OP 蜡、E 蜡等, 加入量为 0.3 ~ 0.5 质量份, 也可与 0.5 质量份硬脂酸正丁酯或 0.5 质量份硬脂酸配合; 对于不透明制品, 如板材、管材等, 常用金属皂、石蜡、硬脂酸并用。金属皂加入量为 1 ~ 2 质量份, 石蜡和硬脂酸加入量为 0.3 ~ 0.5 质量份。

5. 依共混高聚物的性质选择

为改善 PVC 的冲击性能, 常共混 ABS、CPE 及 MBS 等树脂, 但由于这些共混树脂与润滑剂相容性大, 故需相应增加润滑剂使用量。

为改善 PVC 的表面光泽, 常加入氯乙烯-乙酸乙烯酯共聚物, 也需要相应增

加润滑剂用量。

6. 依润滑剂与其他助剂的关系选择

PVC 中的热稳定剂有一定的润滑作用，不同的热稳定剂的润滑性大小如下：金属皂 > 液体复合金属皂类 > 铅盐 > 月桂酸锡 > 马来酸锡 ≈ 硫醇有机锡。因此，对于热稳定剂润滑作用大的，可相应减少润滑剂的用量。

有机硫醇锡类热稳定剂缺乏外润滑性，配方中需适当加入外润滑剂；而二丁基锡羧酸酯热稳定剂的外润滑作用突出，可适当减少外润滑剂用量。

加工助剂大都兼有外润滑功能，可相应减少润滑剂加入量。

配方中含有大量非润滑填料时，应相应增加内、外润滑剂的加入量。

7. 润滑剂的用量

润滑剂的用量一般在 0.5% ~ 1%，一个配方中，一般应选用内、外润滑剂并用。当聚合物的流动性能已满足成型工艺的需要时，则主要考虑外润滑的作用，以保证内外平衡；外润滑是否有效，应以它能否在成型温度时，在塑料面层形成完整的液体薄膜为准，因此，外润滑剂的熔点应与成型温度相差 10 ~ 30℃，才能形成完整的薄膜。

润滑剂的用量随加工方法不同而异。压延成型时，内润滑剂为 0.3 ~ 0.5 质量份，外润滑剂为 0.2 ~ 0.8 质量份；挤出、注射成型时，内润滑剂为 0.5 ~ 1.0 质量份，外润滑剂为 0.2 ~ 0.4 质量份。

表 2-22 是不同聚合物所适合的润滑剂，供选用时参考。

表 2-22 不同聚合物所适合的润滑剂

聚合物	润 滑 剂
聚氯乙烯	液体石蜡，固体石蜡，高熔点石蜡，聚乙烯蜡，乙撑双硬脂酰胺，酯蜡，硬脂酸丁酯，单硬脂酸甘油酯，金属皂，硬脂酸，硬脂醇
聚乙烯，聚丙烯	乙撑双硬脂酰胺，硬脂酰胺，油酰胺，硬脂酸钙，硬脂酸锌，高沸点石蜡，微晶石蜡，脂肪酸
聚苯乙烯	硬脂酸锌，乙撑双硬脂酰胺，高熔点石蜡，硬脂酸丁酯
ABS 树脂	硬脂酸镁，乙撑双硬脂酰胺，高熔点石蜡，聚乙烯蜡
酚醛，氨基树脂	硬脂酸锌等金属皂，脂肪酰胺，乙撑双脂肪酰胺，高熔点石蜡
聚酯类树脂	硬脂酸锌，硬脂酸钙，脂肪酰胺，高熔点石蜡，聚乙烯蜡
聚酰胺	油酰胺，硬脂酰胺，乙撑双硬脂酰胺

2.6 填充剂

填充剂又称填料、填充物。塑料中添加填充剂主要是降低产品成本，减少

树脂的消耗量,提高塑料的加工性能,还可以改善塑料的某些性能,如尺寸稳定性、阻燃性、电气绝缘性、导热性、不透明性和刚性等。

2.6.1 填充剂的品种、性能和应用

填充剂种类繁多,其特性也极复杂,根据其来源通常分为矿物性填料、植物性填料和工业填充剂。工业填充剂又可分为合成型和废渣型;根据其形状分为粉末状、球状、片状、柱状、针状及纤维状填充剂;根据其效能分为增量填充剂(或增量剂)、增强填充剂(或增强剂)和功能型填充剂;根据其化学组成分为无机填充剂和有机填充剂。一般说,塑料填充剂用作增量剂时较多,本节重点介绍增量填充剂,增强填充剂见2.7节。

1. 无机填充剂

(1) 碳酸钙(CaCO_3) 碳酸钙是目前最常用的粉状无机填料,其价格低廉,来源丰富,无毒无味,白度可达到96%,可自由着色,且化学稳定性好,易干燥,故在许多塑料中得到广泛应用。从填料角度碳酸钙可分为三类:重质碳酸钙、轻质碳酸钙和活性碳酸钙。

1) 重质碳酸钙,简称重钙,由石灰石等经机械粉碎、筛选、分级、表面处理而制得。按其粉碎方法又分为干式重质碳酸钙(商品名双飞粉)和湿式重质碳酸钙。因其是机械粉碎,其形状无规则,粒子大小也不一,平均粒径为 $1 \sim 10\mu\text{m}$,其中 $3\mu\text{m}$ 以下的占50%,密度 $2.7 \sim 2.9\text{g}/\text{cm}^3$,几乎不溶于水。近年来,由于粉碎(如气流粉碎)和分级技术的进步,可以制得更微细的产品,甚至制得了 $0.1\mu\text{m}$ 超细重质碳酸钙。重质碳酸钙常用于PVC中。

2) 轻质碳酸钙,简称轻钙,是用化学方法生产的碳酸钙,又称沉淀碳酸钙,粒子形状多为纺锤形、针形或柱形,粒径为 $1 \sim 10\mu\text{m}$,其中 $3\mu\text{m}$ 以下的占80%,密度 $2.65\text{g}/\text{cm}^3$ 。轻质碳酸钙常用于聚烯烃中。

3) 活性碳酸钙,又称胶质碳酸钙、改性碳酸钙,日本将其称为白艳华,是采用表面处理剂(硬脂酸,约3%质量分数)对轻质碳酸钙或重质碳酸钙粉体表面进行改性活化处理而成。外观为白色、细腻、软质的粉末,密度为 $1.99 \sim 2.01\text{g}/\text{cm}^3$ 。活性碳酸钙填充的塑料制品,具有一定的强度和光滑的表面,且润滑性良好,容易加工。

碳酸钙按粒度分级规定为:粒径为 $1 \sim 5\mu\text{m}$ 时,称之微粒碳酸钙;粒径为 $0.1 \sim 1\mu\text{m}$ 时,称之微细碳酸钙;粒径在 $0.02 \sim 0.1\mu\text{m}$ 时,称之超细碳酸钙;粒径小于 $0.02\mu\text{m}$ 时,称之超微细碳酸钙。目前生产超细级碳酸钙多采用连续喷雾炭化和喷雾干燥工艺(即双喷工艺),这样可使碳酸钙表观团粒微细化,且粒子表面活化均匀。当粒径为 $0.005 \sim 0.02\mu\text{m}$ 时,其补强作用与白炭黑相当。

(2) 滑石粉($3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 主要成分为水合硅酸镁,由天然滑石

粉碎精选而得。外观为白色或淡黄色片状结晶，化学性质不活泼，有滑腻感，密度 $2.7 \sim 2.8 \text{ g/cm}^3$ 。滑石粉是一种用量仅次于 CaCO_3 的填料，作为塑料填料，可提高制品的硬度、阻燃性、耐酸碱性、电绝缘性、尺寸稳定性、耐蠕变性，但用量过多，会影响产品的焊接性。由于滑石粉是片状填料，所以填充塑料时制品的刚性大，制品的各向异性小，可用于加工大型和平面制品。滑石粉主要用于 PP，也可用于 PVC、PE、PA 及 PC 等树脂中。

(3) 硅灰石 (CaSiO_3) 硅灰石是仅次于 CaCO_3 和滑石粉的第三大填料。天然硅灰石具有 β 型硅酸钙化学结构，是针状、棒状及粒状混合体，其中以针状为主。外观为白色晶体，不带结晶水，吸湿性小，无毒，热膨胀系数小，热稳定性高，耐化学腐蚀、耐气候老化，力学性能及电性能优良。硅灰石的折光指数为 1.62，与 PVC 混合料接近，是 PVC 透明制品的首选填料。由于硅灰石的针状结构，它对塑料具有一定的补强作用，可部分代替价格昂贵的玻璃纤维。硅灰石可用于 PVC、PP、PE、PA、聚酯、环氧树脂 (EP) 及酚醛等树脂中，加入量一般在 40% 以下，并常用硅烷类偶联剂进行表面处理。

(4) 高岭土 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 高岭土属于粘土中的一种，即粘土矿物的粉末，又称膨润土、白土、瓷土，是以含水硅酸铝为主要成分的硅酸盐之一，呈层状结构，质软且有滑腻感，密度为 2.6 g/cm^3 ， $\text{PH} = 5 \sim 6$ ，无毒，具有阻燃性。其成型加工性优于 CaCO_3 ，添加量达到树脂的 3 倍仍可以成型，而 CaCO_3 填充量达到 1 倍即成型困难。高岭土有吸湿性，所以要注意贮藏条件，避免受潮。

作为塑料填料，高岭土具有优良的电绝缘性能，可作为 PVC 电线包皮，PE、PP 电缆，薄膜复合材料等。例如在聚氯乙烯中加入质量为 10% 的高岭土，可提高电绝缘性能 5~10 倍；高岭土还可掺入到聚苯乙烯基的薄膜复合材料中，用来制造印刷纸张；高岭土作为聚丙烯的结晶成核剂，效果较好；用于聚酯和环氧树脂方面有耐磨及吸水性低的优点。

(5) 云母 云母的组成十分复杂，是铝、钾、钠、镁、铁等金属硅酸盐化合物的总称。云母填料为天然云母碎片经粉碎加工而成的云母粉，其粒径通常为 $8 \sim 10 \mu\text{m}$ ，长径比通常为 30 左右，是典型的片状结构，具有玻璃光泽，含水量为 1%~4.2%，无毒。作为塑料填充剂，可赋予制品优良的电绝缘性、抗冲击性、耐热性和尺寸稳定性，提高其耐湿性和耐蚀性。缺点为价格较高，一般应尽可能少选用。云母填料可用于 PE、PP、PVC、PA、ABS、聚酯等热塑性塑料和 EP、酚醛树脂 (PF) 等热固性塑料，加入量一般为 10%~40%。

(6) 硅藻土 是由单细胞藻类积沉于海底或湖底所形成的一种化石，主要成分为 SiO_2 ，多孔，质轻，极易研磨成粉，外观为白色或浅黄色粉末，粒径为 $25 \sim 40 \mu\text{m}$ ，密度为 $1.6 \sim 2.3 \text{ g/cm}^3$ 。硅藻土为一种优质的轻质填料，可用于

PVC、环氧丙烷 (PO) 及热固性树脂; 还可作为防粘连剂, 用于轻质、隔音、隔热等建筑复合材料。缺点是吸油量及吸树脂量较大。

(7) 炭黑 是在控制条件下不完全燃烧烃类化合物生成的物质, 品种较多, 按制法可分为槽法炭黑、炉法炭黑和热裂解法炭黑等。炭黑加入聚合物中既有保护光降解和抗热氧化作用, 又能提高塑料制品的刚性。炭黑的细度影响着制品的性能, 炭黑的颗粒越细, 黑度越高, 紫外线屏蔽作用越强, 耐老化性能越好, 制品的表面电阻率越低, 但在某种程度上分散较困难。作为填料用的炭黑, 可以使用较大粒径的炉法炭黑, 一般为 $25 \sim 75 \mu\text{m}$ 。

(8) 二氧化硅 (SiO_2) 是一类岩石粉末, 可分为石英粉和硅石粉。天然 SiO_2 粉, 主要用于热固性树脂中, 如可用于不饱和聚酯及 EP 中, 生产人造玛瑙和人造大理石。 SiO_2 也可以合成, 一般称为白炭黑, 是一种补强作用仅次于炭黑的填料, 具有消光作用, 但因价高而少用。

(9) 二氧化钛 俗称钛白粉, 是一种白色颜料, 后来作为塑料填料使用, 钛白粉中的二氧化钛约占 97%, 它具有优良的光学性能及物理、化学稳定性能, 无毒, 平均粒径 $0.1 \mu\text{m}$, 呈球状结晶。根据晶型结构二氧化钛可分为锐钛型、金红石型、板钛型。金红石型二氧化钛作为塑料填料效果较好, 它能使光的反射率增大, 保护高分子材料内层免遭紫外光的破坏, 从而起到光屏蔽剂的作用。另一个明显的作用是可作白色颜料, 使制品达到相当高的白度, 此时也可和其他填料并用, 提高材料的寿命。添加二氧化钛可提高材料的硬度、耐磨性。

(10) 硫酸钡 (BaSO_4) 可分为两种, 一种是天然硫酸钡, 即重晶石粉, 密度 $4.4 \sim 4.5 \text{g/cm}^3$, 白色或灰色粉末, 粒子较粗, 粒径一般为 $2 \sim 5 \mu\text{m}$, 性脆; 另一种是合成硫酸钡, 也叫沉淀硫酸钡, 粒径为 $0.2 \sim 5 \mu\text{m}$, 是无色斜方晶系结晶或无定形白色粉末, 几乎不溶于水、乙醇及酸, 溶于热浓硫酸中, 干燥时易结块。作为塑料填料使用的硫酸钡大多为后者, 可提高塑料的密度和耐蚀性, 减少制品的 X 射线透过率。

(11) 硫酸钙 (CaSO_4) 又名石膏, 有天然石膏和化学沉淀硫酸钙。白色晶体, 无味, 无毒, 经粉碎的天然石膏密度为 2.36g/cm^3 , 平均粒径 $4 \mu\text{m}$; 天然无水石膏密度为 2.95g/cm^3 , 平均粒径 $2 \mu\text{m}$; 沉淀无水硫酸钙密度 2.95g/cm^3 , 平均粒径 $1 \mu\text{m}$ 。可广泛用于填充与食品接触的工程塑料和 PVC、PE 及 PP 塑料制品中。

(12) 氢氧化铝 [$\text{Al}(\text{OH})_3$] 也叫水合氢氧化铝, 白色结晶粉末, 不溶于水和醇, 表面粗糙, 呈不规则形状, 热分解温度 340°C , 可作为塑料阻燃填料。

(13) 氢氧化镁 [$\text{Mg}(\text{OH})_2$] 和氢氧化铝一样, 也是难燃性填料, 热分解温度 340°C 。但应用不及 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 广泛。适于填充混炼温度较高的聚丙烯

等。

(14) 石棉 白色至灰白色纤维状物质, 化学性质稳定, 耐碱性强、耐酸性差, 绝缘、绝热性能好。作为塑料填料可提高制品的刚性、尺寸稳定性及高温时的防蠕变性。一般石棉的添加量为 30% 左右。

(15) 玻璃微珠 可以从粉煤灰中提取, 也可以人工合成。玻璃微珠作为一种轻质塑料填料, 由于其表面光滑、球状、中空、密度小, 所以使得填充制品的流动性能好, 残留应力分布均匀, 常作为标准型填料。可用于 PA、ABS、PS、PE、PP 及 PVC 中。中空玻璃微球主要用于热固性树脂中, 用于热塑性树脂时, 受加工剪切易破碎。

(16) 稀土矿物填料 稀土矿物填料是一种无机增韧填料, 具体品种有氧化钼、氟碳铈、硝酸稀土盐、脂肪酸稀土盐、硬脂酸稀土盐、水杨酸稀土盐、苹果酸稀土盐、柠檬酸稀土盐及酒石酸稀土盐等。用于 PA 中可同时提高冲击强度和拉伸强度; 填充聚四氟乙烯, 可提高耐磨性; 填充 PVC 提高耐热性。

(17) 粉煤灰 粉煤灰是燃煤电厂所排放出来的废渣, 其化学成分中 SiO_2 和 Al_2O_3 是其主要活性成分, 平均粒径 $80\mu\text{m}$, 密度 $2.0 \sim 2.4\text{g}/\text{cm}^3$, 熔点 $1250 \sim 1450^\circ\text{C}$ 。粉煤灰作为塑料填料, 由于其中含有圆而光滑的微珠, 颗粒间聚集力很小, 易于在树脂中均匀分散, 填充量一般为 40% 以下。

(18) 红泥 又称为赤泥, 代号 RM, 是用铝土矿碱法生产氧化铝时所排放出来的废渣, 是一种价廉易得的填料。红泥粒径比较小, 一般粒径为 $20\mu\text{m}$ 左右, 且部分接近胶体微粒的尺寸, 并且有多孔性。红泥易吸水, 填充前要进行干燥处理, 干燥条件为: 105°C 下干燥 3h, 然后在 1000°C 以上烧结 1h。红泥作为塑料填料, 可大大降低塑料制品的成本, 还可作为廉价的热稳定剂和光屏蔽剂, 提高耐光、热老化性能, 延长塑料制品的寿命。红泥所用偶联剂以硅烷效果最好, 使用量为 0.5% ~ 1.0%。

红泥在塑料中的添加量大于 CaCO_3 , 在软质 PVC 中, 红泥可适当提高拉伸强度和断裂伸长率。红泥主要用于 PVC、PE 及 PP 中。对 PVC 而言, 红泥不仅为填料, 还可兼做廉价的热稳定剂和光屏蔽剂, 可提高 PVC 的耐光、热老化性能。

(19) 污泥废渣 制糖厂滤泥、硫酸厂制酸污泥、炼铁厂矿渣泥、硼砂泥, 制碱厂苛化泥、造纸厂白泥等经过处理加工都可以作为塑料填料。这种用滤泥和污泥作填料的聚乙烯、聚氯乙烯复合材料可用来制造外观要求不高的农用管道、水勺、粪勺等。

2. 有机填充剂

有机物填充剂一般分天然有机物和合成有机物两种。天然有机填充剂有碎纸、木粉、果壳粉、贝壳粉及棉、麻、稻等农副产品的粉末等, 其主要成分是

纤维素和少量的木质素及其他化合物。合成有机物填充剂主要为合成材料的边角废料、纺织工业的合成纤维及其下脚料、交联塑料和热固性塑料的边角料等。

有机填料可起到增强、降低成型收缩率、提高尺寸稳定性等作用，但由于耐加工温度性差，只可用于加工温度低的树脂，如 PVC、PE、PP 及大部分热固性树脂中。

(1) 碎纸 可用牛皮纸、白纸、着色纸等废纸为填充剂。一般是将纸张浸泡于树脂中，干燥后切片，然后以此为材料压制成板材。

(2) 木粉 木粉是最常用的有机类填料，其粒度为 $20 \sim 80\mu\text{m}$ ，呈针状或纤维状，含水量大，加工前需要进行干燥。木粉填充塑料，使制品具有木材性质，比无机填料轻，所以可降低制品的密度。但会引起拉伸强度、耐热性、耐水性等性能下降。

木粉常用于 PF 树脂的填充，用木粉填充的 PF 压缩粉具有良好的综合性能及电性能，可用于机器零件、手柄、文具、开关，灯头、插座及纽扣等。此外木粉还可用于其他热固性树脂及少数热塑性树脂中。

(3) 棉屑 棉屑是由棉布剪裁或棉纺净化后所获得，填充棉屑的塑料制品抗冲击性能有改善，而且体积大。

(4) 花生壳 花生壳是含酚量高、来源丰富的廉价填充剂。花生壳粉表面无极性特征，吸水性也较木粉小。可适当改进 HDPE、PS、PP 的性能并降低成本。

(5) 胡桃壳 胡桃粉是加工胡桃时产生的废料，由于含有大量木质树脂和角质蜡，所以它是不吸水的，且加工性能好，可提高填充制品表面的光泽度。

(6) 棉、麻、稻草等粉末 属于纤维状填料，可提高填充制品的力学性能及耐磨性能等。

(7) 玉米淀粉 玉米淀粉作为聚乙烯填料，目前发展也很快，一般玉米淀粉先制成加工母料，淀粉用量 10 质量份，然后再添加到 LDPE 中去，可代替纸张作包装薄膜。

3. 金属粉末

金属粉末也可作为塑料填料，如铁粉、铅粉、铜粉、铝粉、锌粉等，粉末细度一般为 $325\mu\text{m}$ 。在塑料中加入金属粉末可提高材料的耐磨性及负载能力。加入铅粉可制出能屏蔽中子和 γ 射线的制品；在聚酯、环氧树脂、酚醛树脂、聚酰胺中，加入青铜粉，可获得导热、导电性能良好的塑料制品。

2.6.2 填充剂的选择原则

塑料的用途不同，所选用的填充剂也不一样，在选用填充剂时除了要满足本身化学性质稳定；对耐水性、耐化学药品性、耐候性、耐热性等无妨碍；不

降低塑料制品的物理性能；填充量大，密度小；价廉易得等基本要求外，还应注意以下几点。

1. 填充剂的吸油性和吸树脂性

填充剂的吸油性是指填充剂本身对配方组成中的液体助剂（如增塑剂等）的吸收性，其大小由吸油量来决定，吸油量定义为 100g 填充剂吸收液体助剂的最大体积数（mL）。填充剂的吸油性主要影响配方体系中液体助剂的加入量，吸油性越大，相应地应加大液体助剂的加入量，以弥补被填料吸收而不能发挥作用的液体助剂。

填充剂的吸树脂性是指填充剂对液态树脂（如不饱和聚酯等）的吸收性，其大小用 100g 填充剂吸收树脂的最大体积（mL）来表示。填充剂的吸树脂性大小依赖于填充剂的性质、粒度、形状、有无吸附性及表面处理情况等。

由于填充剂具有吸油性和吸树脂性，在选择填充剂时应注意以下两点：

- 1) 配方体系中含有液体助剂时，要选用吸油性小的填料。
- 2) 配方体系中含有液体树脂时，要选用吸树脂性小的填料。

常用填充剂的吸油量和吸树脂性分别见表 2-23 和表 2-24。

表 2-23 主要填充剂的吸油量

填充剂名称	吸油量（DOP）/mL	填充剂名称	吸油量（DOP）/mL
硫酸钡	16	白炭黑	42
硅灰石	31 ~ 32	粘土	46
滑石粉	33	高岭土（膨润土）	66
白云石	33	云母	79
轻质碳酸钙	36	活性碳酸钙	125
重质碳酸钙	36	硅藻土	148

表 2-24 主要填充剂的吸树脂性

填充剂名称	吸树脂量/mL	
	烯丙基系不饱和聚酯	苯乙烯系不饱和聚酯
轻质碳酸钙	32	36
重质碳酸钙	30	34
滑石粉	46	72
硅藻土	112	112
粘土	54	73
高岭土	49	48
云母	85	60
石棉	69	37

(续)

填充剂名称	吸树脂量/mL	
	烯丙基系不饱和聚酯	苯乙烯系不饱和聚酯
玻璃粉	47	15
硫酸钡	28	31
石膏	32	37
铝矾土	73	69

2. 填充剂的形状

填充剂的形状一般可分为球状、粒状、片状、纤维状、柱状及中空微球等六种。除球状及中空微球两种外，其他形状都表现出各向异性，这些各向异性的填充剂纵横比越大，越有利于力学性能及热性能的提高。

纤维状、柱状、片状等纵横比大的填充剂对力学性能提高有利，因此有时也称为增强剂，但这类填料对成型加工不利。

球状、粒状等纵横比小的填料对成型加工有利，但对材料的力学性能不利。

3. 填充剂的粒度

填充剂的粒度对填充复合材料的性能影响很大，粒度越小，对材料的拉伸强度、冲击强度、光的散射、透光性及流变学行为都有正面影响。尤其是对拉伸强度和冲击强度，当填充剂的粒度较大时，两者都下降；当粒度小到一定值时，两者都上升，但随着填充量增大达到一个极限值后，即开始下降；极限值的大小，即最高填充量与粒度有关，粒度越小，极限值越高。

超细填料为材料的改性提供了一个十分有效的方法，它可以同时提高材料的刚性与韧性。目前常规填充剂的粒度为 0.1 ~ 15μm，对于超细填料，如纳米级材料，其粒度可达 10nm 左右。

4. 填充剂的改性功能

填充剂在降低复合材料成本的同时，还可以提高其刚性及耐热性，有些填充剂还可以赋予材料一些特殊的性能，因此，在具体选择填充剂时，除了考虑成本外，还要考虑其改性功能。常用填充剂的改性性能参见表 2-25。

表 2-25 常用填充剂的改性性能

填充剂品种	改性性能
石棉、硅灰石、纤维素、棉纤维、GF、黄麻纤维等	抗冲击性
石墨、云母、高岭粘土、MoS ₂ 、滑石粉等	润滑性
铝矾土、石棉、硅灰石、煤粉灰、GF、石墨、高岭土、云母、滑石粉等	耐药品性
Al 粉、氧化铝、青铜粉、炭黑、碳纤维、石墨、铝纤维、AlN、BN、BeO 等	导热性
铝矾土（板状）、石棉、CaCO ₃ 、硅灰石、硅酸钙、炭黑、GF、高岭土、煅烧膨润土、云母、滑石粉等	耐热性

(续)

填充剂品种	改性性能
玻璃微珠、硅石中空微球、石英中空微球等	绝热性
氧化钼、Al (OH) ₃ 、Mg (OH) ₂ 、硬硅钙石、碳酸锌、水滑石等	阻燃性
炭黑、石墨、碳纤维、金属粉及纤维、SnO ₂ 、ZnO 等	导电性
钛酸钡、钛酸锆、钛酸铝	压电性
Al (OH) ₃ 微粉、石棉、硅灰石、棉纤维、GF、云母、二氧化硅（无定形）、滑石粉及木粉等	电绝缘性
各种铁酸盐（Sr ⁺ 、Ba ⁺ 等铁酸盐）、磁性氧化铁、Nd-Fe-B 等	磁性
铁酸盐、石墨、木炭粉、金属粉或纤维	电磁屏蔽
云母、石墨、钛酸钾、硬硅钙石、碳纤维、铁酸盐	抗振性
氧化钙、氧化镁	吸湿性
铁粉、铅粉、硫酸钾、硫酸钡、氧化铁	隔声性
氧化镁、水滑石、MoS ₂ 、Al 粉、氧化铝、木炭粉	热辐射
氧化钛、玻璃珠、碳化钙、铝粉	光散射和反射
铅粉、BaSO ₄	放射线防护
氧化钛、氧化锌、氧化铁	紫外线防护
活性白土、沸石等	脱臭

5. 填充剂与其他助剂的关系

填充复合体系中有许多不同助剂时，要注意填充剂不能影响其他助剂作用的发挥。例如填充剂往往影响固化剂固化作用的发挥。因为填充剂能吸附固化剂和促进剂，因此含有填充剂的固化体系，固化剂的加入量应适当增加。此外还有 PVC 配方中含有填充剂时，增塑剂的加入量要适当增大。

6. 填充剂与树脂的关系

1) 填充剂的加入降低了树脂的加工流动性，增加了熔料之间、熔料与机筒或螺杆之间的摩擦，因此要加入润滑剂或加大原有润滑剂使用量。但有些填充剂，如滑石粉、石墨等本身具有润滑性，可不加或少加润滑剂。

2) 填充剂的加入提高了树脂的加工温度，往往降低了树脂的热稳定性，因此要加入热稳定剂或加大原有热稳定剂的用量。

3) 填充剂的加入大都降低了制品的表面光泽，为保证制品表面光亮，常加入一些可以提高光泽的物质，如白油等。

4) 填充剂的加入会影响树脂的加工性能，可以加入 3% ~5% 的加工助剂加以改善。

7. 填充剂之间的协同作用

不同填充剂之间复合加入填充体系，比各自等量单独加入效果好。例如， CaCO_3 和滑石粉协同加入，在加入量 10% ~ 45% 范围内，两者具有协同作用。

2.7 增强剂

增强剂又称增强材料，是指添加到树脂中能与树脂紧密地结合，并使制品的力学性能显著提高的物质，是制造增强塑料的重要材料。在改性塑料方面，增强剂与填充剂往往是很相似的，其主要区别在于增强剂能明显提高塑料的拉伸强度和弯曲强度，而填充剂只能对这些性能有所改善。有的物质（如云母、滑石粉等）既是增强剂，也是填充剂，因此两者之间并无绝对的界限。

2.7.1 增强剂的品种、性能和应用

现在应用的增强剂绝大多数是高强度纤维状的惰性物质。如玻璃纤维、石棉、碳纤维、硼纤维、陶瓷纤维、不锈钢纤维、晶须及有机纤维等。

1. 玻璃纤维（GF）

玻璃纤维是增强塑料中最有代表性的增强材料，是熔融的玻璃经快速拉伸并冷却所形成的纤维状物质。直径为 $5 \sim 13 \mu\text{m}$ ，密度为 2.54g/cm^3 。玻璃纤维增强塑料的主要特点是比强度大、电绝缘性好，耐热、耐腐蚀、化学稳定性高。缺点是脆性大，耐磨性和柔性差，表面光滑度不好等。作为增强材料使用的玻璃纤维，按化学成分可分为以下几种：

（1）无碱玻璃纤维（E 型） 含碱量低于 0.7%，电绝缘性、强度和化学稳定性优良，是玻璃钢最重要的增强材料。

（2）低碱玻璃纤维 含碱量小于 2%，电性能、强度和化学稳定性略逊于无碱玻璃纤维。

（3）中碱玻璃纤维 含碱量 12% 左右，因含碱量高，电绝缘性差，但化学稳定性和强度尚好，可作为对电性能和强度要求不高的玻璃钢增强材料。

（4）高碱玻璃纤维 含碱量超过 15%，只用作低级玻璃钢增强材料。

（5）特种成分玻璃纤维 由于在配方中添加了特种氧化物，因而赋予玻璃纤维各种特殊性能。如高强度玻璃（S 玻璃）纤维、高弹性模量玻璃（M 玻璃）纤维、耐高温玻璃纤维、低介电常数玻璃纤维、抗红外线玻璃纤维、光学玻璃纤维、导电玻璃纤维等。

为了适应不同性能和不同用途玻璃钢制品的要求，玻璃纤维增强材料的形式多种多样，广泛使用的有无捻粗纱及其织物、玻璃布、连续玻璃纤维纱、短切纤维、切碎纤维、增强毡片、三向织物等。

玻璃纤维能够添加在多种树脂中，如 PP、PA 和 PET/PBT 等，添加量一般

为 10% ~ 40%。

2. 碳纤维 (CF)

碳纤维是由碳元素构成的一类纤维材料,最常用的制造方法是有机纤维高温炭化法。碳纤维增强塑料的主要特点是质量轻,强度高,韧性高,模量高,刚性高,耐蠕变,耐摩擦,耐疲劳,导电性和导热性好,热膨胀性小,尺寸精度和稳定性高,X射线透过率高,抗静电,耐蚀性和耐热性好。缺点是价格高,冲击强度不及玻璃纤维增强塑料,层间剪切强度差,有电腐蚀性。

碳纤维可作为热塑性树脂和热固性树脂的增强材料,如用于 EP、PF、UP、PA、PC、ABS、PS、PE、PP 等。用量一般为 10% ~ 40%。

3. 硼纤维 (BF)

硼纤维是最先出现的质轻高强增强材料之一。目前,生产硼纤维的最好方法是化学沉积法。它具有密度小、强度和比刚度高,对于发展质轻高强的复合塑料具有重要价值。硼纤维的主要问题是直径较大,伸长率较小,而且价格昂贵,因此应用尚不普遍,主要用于特殊场合。如用于增强环氧树脂,其比刚度和比强度是钢的 3 倍,它是宇航和飞机部件的良好材料。

4. 石棉纤维

石棉纤维是一种天然的白色或灰色纤维,适宜作热塑性增强材料的是一种温石棉,它是一种水和氧化镁硅酸盐类化合物。以石棉纤维增强的塑料在高温下表现出良好的刚性、尺寸稳定性能。与玻璃纤维增强塑料相比,石棉增强塑料制品阻燃性增加,对成型机磨损减小,并且价格低廉;但制品电气性能、着色性变差。

5. 晶须

晶须极细又近乎完全结晶,力学强度极高,既有玻璃纤维的伸长率,又具有像硼纤维那样高的弹性模量,可作为热固性和热塑性塑料的增强材料,制造轻质高强的复合塑料,用于航空、航天、机械、汽车、电子、建材等工业结构件。

6. 碳纳米管 (CNT)

在增强塑料中,碳纳米管材料的应用逐渐多了起来。碳纳米管是一种导电石墨中空管,其尺寸比碳纤维小数千倍,能够使材料在较低的添加量下获得较高的增强性能。经碳纳米管增强的复合材料可在低温条件下进行薄壁成型,从而减轻制品的质量。

7. 有机纤维

(1) 天然有机纤维 天然有机纤维,如棉、羊毛等也可用作塑料的增强材料,多以编织物的形态使用,但近年来大部分逐渐被合成有机纤维所取代。

(2) 合成有机纤维 合成有机纤维可以改善制品的抗冲击强度,但耐水性

及电气性能较差。重要的合成有机纤维主要有以下三种：

1) 聚酯纤维。即涤纶纤维，常与玻璃纤维并用，以改善制品的抗冲击强度、硬度和耐磨性能。

2) 维尼纶。经甲醛处理过的聚乙烯醇纤维，不溶于水，虽然其强度远低于玻璃纤维，但由于具有吸附力强、抗冲击强度高、密度小、柔韧性好、不会磨损加工设备等优点，适宜于强度要求不高的制品中。

3) 芳酰胺纤维。简称芳纶，是美国杜邦公司推出的一类增强用纤维，商品名为“Kevlar”。它最大的特点是密度低、强度高。此外，还具有良好的热稳定性，适用于环氧树脂等热固性塑料和工程塑料，可制得质量轻、强度高、耐磨损的增强塑料，主要应用于汽车、电子电气、火箭、飞机、赛艇等领域。

8. 金属纤维

金属纤维又称金属细丝，也可作为塑料的增强材料，主要用于需要导电或抗静电的增强塑料中。

9. 陶瓷纤维

是一种以三氧化二铝和二氧化硅为主要成分的无机纤维。最突出的优点是耐高温和耐蚀性好，导热性和热膨胀性小，弹性模量高等。与玻璃纤维和其他纤维相比，陶瓷纤维增强复合材料的物理性能更好一些，尤其是高温下的压缩强度和性能稳定性。氧化铝纤维和石棉纤维很相似，可以添加在航空所用的氟聚合物和热固性树脂中，也可以用于制造化工设备中的部件，还可用于制造制动部件的衬里。

10. 复合增强材料

复合增强材料是指增强剂或填充剂的复合物，如玻璃纤维与云母并用，总用量 20% ~ 40% 增强 PET，PBT；10% 玻璃纤维与 30% 碳酸钙并用，增强 PP；10% 聚酯纤维与 30% 云母并用，增强 PP，PS，HDPE，ABS 等。

除以上介绍的各种纤维外，增强塑料还可采用木材、纸张和纸板、麻纤维织物以及滑石粉、玻璃珠、氧化铝、碳化硅等作为增强材料。

2.7.2 增强剂的选择原则

增强材料的种类、性能、物理状态等直接影响增强效果，因此，在选用增强材料时应遵循以下基本原则：

1) 增强剂必须具有大的长径比和足够的强度和韧性，对塑料的增强具备良好的功效。

2) 具有与聚合物的粘合性和亲和性，有比较低的密度，能增大制品的拉伸强度和弹性，增加材料的弯曲强度。

3) 具备良好的尺寸稳定性，耐磨、耐蠕变和改善耐热性，如提高热变形温

度,使线膨胀系数下降等。

4) 提高抗冲击强度和增大表面硬度。

5) 无毒、无臭、无污染,价廉易得。

除此之外,还应注意以下三点:

1) 一般增强塑料选择无碱玻璃纤维,在力学和其他性能有较高要求时才选用碳纤维等高性能增强材料。在必要时增强材料可复合使用,例如,玻璃纤维和碳纤维复合,碳纤维作芯层,玻璃纤维作表层,进行双层增强;玻璃纤维10%和超细 CaCO_3 30% 复合用于 PP 填充增强等。

2) 玻璃纤维用量通常为 10% ~ 40%,玻璃纤维含量高可提高增强塑料的力学强度和耐热性,降低成型收缩率,增加尺寸稳定性。但玻璃纤维含量高会增加熔体粘度,降低流动性。

3) 对纤维状增强材料而言,长径比的大小对增强效果影响很大,一般情况下,长径比越大,增强效果越好。对于粒状增强材料而言,粒度的大小对增强效果影响很大,粒度越小,其添加量极限值越大,反之,添加量极限值越小。

2.8 发泡剂

泡沫塑料作为一种高性能塑料,广泛应用于人们的日常生活中,尤其是在包装领域已成为不可替代的材料。可用于发泡的塑料主要有 PS、PU、PE、PVC、EVA、PP、PF、ABS 等。塑料发泡过程中的气体一般来源于发泡剂,发泡剂是指能在塑料中形成泡孔结构而添加的一类助剂。

2.8.1 发泡剂的品种、性能和应用

根据发泡气体的来源,可将发泡剂分为物理发泡剂和化学发泡剂两大类。在实际生产中,这两种发泡剂可以同时使用。

1. 物理发泡剂

此类发泡剂在塑料发泡过程中,自身不发生任何化学变化,只是通过物理状态的改变产生大量气体使塑料发泡。物理发泡剂又可以分为:压缩性气体发泡剂;低沸点液体发泡剂;固态发泡球;超临界流体及水等,其中低沸点液体发泡剂最为常用。

(1) 压缩性气体发泡剂 这类发泡剂的化学活性弱,无毒、惰性、不燃,对大多数聚合物都具有低穿透性。常用的有 N_2 和 CO_2 。用压缩性气体进行发泡时,一般都要经过强烈的机械搅拌,使气体在聚合物熔体或液体中混合均匀。用于挤出发泡和注射发泡时,需设置专用的输送装置。压缩性气体发泡剂主要用于聚烯烃、PVC 及 PS 等树脂中。

(2) 低沸点液体发泡剂 这类发泡剂在常压下沸点低于 70℃。在被注入聚合物熔体时呈液态, 这样有利于发泡剂与聚合物熔体均匀混合, 然后通过减压, 使熔体中的发泡剂汽化, 形成气泡。表 2-26 为常用的低沸点发泡剂。

表 2-26 常用的低沸点发泡剂

发泡剂	相对分子质量	密度/(g/cm ³) (25℃)	沸点/℃	适用的塑料
丙烷	44	0.531	-42.5	—
丁烷	58	0.599	-0.5	PS、PE
戊烷	72.15	0.616	30~38	PS、PE
异戊烷	72.15	0.613	9.5	—
己烷	86.17	0.658	65~70	—
异己烷	86.17	0.655	55~62	—
二氯甲烷	84.94	1.325	40	PS、PVC、环氧
二氯四氟乙烷 F114	170.90	1.440	3.6	PE、PS、PU、环氧
三氯氟甲烷 F11	137.38	1.476	23.8	PE、PS、PU、环氧
三氯三氟乙烷 F112	187.39	1.565	47.6	PE、PS、PU、环氧
二氯二氟甲烷 F12	120.90	1.311	-29.8	PE、PS、PU、环氧

表 2-26 所示的低沸点发泡剂中, 前 6 种发泡剂毒性低, 戊烷和丁烷具有很高的发泡效率, 但易燃; 二氯甲烷具有阻燃性, 但毒性大。后四种发泡剂统称为氟利昂。由于氯氟烃类物质消耗臭氧层, 导致全球气候恶化, 1987 年《蒙特利尔议定书》签署, 发达国家在 2003 年前禁用, 我国规定在 2005 年前完全停止使用氯氟烃类化合物作为发泡剂。

(3) 固态发泡球 固态发泡球是利用发泡球直接在聚合物中形成空穴来实现发泡成型的。其成型过程与其他发泡剂不同, 不用经过发泡过程, 而只是一个复合过程, 大多采用浇注法成型。这种成型方法只适用于少数塑料。

(4) 超临界流体 超临界流体是指温度和压力均高于其临界点的流体, 该流体既有类似气体的扩散性及液体的溶解能力, 又具有低粘度、低表面张力的特性。用来发泡的超临界流体有 N₂、丁烷、CO₂ 等, 其中超临界 CO₂ 的研究较为广泛, 因为其无色、无味、无毒、价廉且临界条件容易达到。但是 CO₂ 气体对某些聚合物熔体 (如 LDPE、HDPE、PP 等) 的渗透性较大, 会影响发泡效率, 而且使用 CO₂ 作为发泡剂对环境也有影响。众所周知, 温室效应就是 CO₂ 引起的。

(5) 水发泡 目前, 国内外对水发泡泡沫塑料的热分解研究日益重视, 但研究工作还不够全面, 尤其在水发泡泡沫热分解动力学研究方面还不够, 而且生产水发泡泡沫塑料的原料和工艺正处在探索阶段, 很难得出普遍结论。目前,

水发泡应用最多的是聚氨酯 (PU)。PU 的全水发泡实际上属于化学发泡, 通过水与异氰酸酯反应生成 CO_2 气体作为发泡气源。水发泡技术将是今后泡沫塑料生产的一个重要发展方向。

2. 化学发泡剂

此类发泡剂在发泡过程中, 自身发生化学变化, 分解放出气体 (如 CO_2 、 N_2 或 NH_3) 使聚合物发泡。化学发泡剂又分为无机化学发泡剂和有机化学发泡剂。

(1) 无机化学发泡剂 无机化学发泡剂在聚合物中不易分散均匀, 产生的 CO_2 容易透过膜壁散逸, 分解放出气体的温度范围也难控制, 常被用作助发泡剂。无机化学发泡剂种类有限, 常用的品种有碳酸氢钠、碳酸氢铵、碳酸铵、亚硝酸钠及硼氢化钠等。具体性能见表 2-27。

表 2-27 无机发泡剂的性能

名称	分子式	分解温度/℃	产生的气体	适用的塑料
碳酸氢钠	NaHCO_3	60 ~ 150	CO_2 、 H_2O	酚醛塑料、PVC
碳酸铵	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	40 ~ 120	CO_2 、 NH_3 、 H_2O	酚醛塑料、脲醛塑料
碳酸氢铵	NH_4HCO_3	36 ~ 60	CO_2 、 NH_3 、 H_2O	—
亚硝酸钠	NaNO_2	不稳定	—	—
硼氢化钠	NaBH_4	400	H_2	—

(2) 有机化学发泡剂 有机化学发泡剂一般为固体粉末, 它们在加热时即分解放出气体 (通常为 N_2 或 NH_3), 使塑料产生细胞状结构。这是目前应用最广泛的发泡剂, 它在树脂中分散性好, 分解温度范围窄, 产生的气体不易从泡孔中逸出。缺点是价格稍高, 有些品种有毒, 残渣在树脂中有增塑作用。可供选择的有机化学发泡剂品种繁多, 物理形态也各自不同, 主要有偶氮化合物、磺酰肼类化合物、亚硝基化合物、叠氮化合物和三嗪类等。其中偶氮类是最常用的一类发泡剂, 代表产品为偶氮二甲酰胺 (即 AC 发泡剂), 其发气量大, 泡孔均匀, 适用于各类闭孔泡沫塑料; 亚硝基类发泡剂为仅次于偶氮类的第二大发泡剂。具体品种、性能和应用见表 2-28。

表 2-28 有机发泡剂品种、性能和应用

发泡剂名称	分解温度/℃	发气量/(mL/g)	适用的塑料
偶氮二甲酰胺 (AC)	180 ~ 210	215 ~ 235	PVC、PE、PP、PS、PA、ABS
偶氮二异丁腈 (AIBN)	98 ~ 102	120 ~ 140	PVC、PS、ABS、环氧、酚醛
偶氮二甲酸二异丙酯 (DIPA)	100 ~ 200	200 ~ 350	PE、PP、PVC
偶氮甲酰胺甲酸钾 (AP)	175 ~ 185	400 ~ 430	PVC
偶氮双甲酸胺 (AZO 或 AZ)	190 ~ 200	220	PO、PVC、PS
N, N'-二亚硝基五次甲基四胺 (DPT) (发泡剂 H)	200 ~ 205	232 ~ 252	PE、PP、PS、PVC、PA、ABS

(续)

发泡剂名称	分解温度/℃	发气量/(mL/g)	适用的塑料
N, N-二甲基-N, N-二亚硝基对苯二甲酰胺 (NTA 或 DNTA)	90 ~ 105	126 ~ 216	PVC、PVC 糊、PU、PS
4, 4'-氧代双苯磺酰肼 (OBSH)	157 ~ 162	115 ~ 135	PVC、PP、PE、PS、ABS、环氧
对甲苯磺酰肼 (TSH)	103 ~ 111	105 ~ 125	PVC、LDPE、环氧树脂等
苯磺酰肼 (BSH)	90 ~ 95	115 ~ 130	PVC、PE、PP、PS、PET、酚醛
对甲苯磺酰叠氮 (TSAZ)	140	200	PE、PS
三胍基均三嗪 (THT)	260 ~ 270	170 ~ 190	PE、PP、PA、PS、ABS

2.8.2 发泡剂的选择原则

在选择发泡剂时,最重要的原则就是:在可控制速度和可预计温度的条件下,所释放的气体不仅量大,而且再现性好;反应产生的气体和固体均无毒,而且对于发泡的聚合物不能有任何不良影响,例如,产生颜色或不良气味;价廉易得,这也是相当重要的一条准则。除此之外,还应注意以下几点:

1. 发泡剂的分解温度

对于热塑性树脂而言,发泡剂的分解温度应稍高于树脂的熔融温度,以保证气体在熔体中产生,有足够的膨胀空间发泡。

对于热固性树脂,发泡剂的分解温度应稍高于树脂的固化温度。

对于聚烯烃等熔体粘度随温度下降而下降迅速,且熔体强度低的树脂,为提高熔体强度需加入交联剂,交联剂的交联温度应低于发泡剂的分解温度。交联与发泡的最佳温度范围是发泡剂分解温度的下限到交联剂分解温度的上限,如 DCP 分解温度为 140 ~ 170℃,AC 分解温度为 160 ~ 200℃,最佳匹配温度为 160 ~ 170℃。

2. 发泡剂的加入量

发泡剂的加入量依泡沫密度要求和自身发气量而定。发泡体密度要求低时,发泡剂加入量要相应增大。发泡剂加入量的大小与泡沫结构有关,发泡剂加入量少,泡孔增大。发泡剂加入量的大小还影响发泡温度,发泡剂用量少,发泡温度可适当提高。如 AC 用量从 1 质量份下降到 0.5 质量份,发泡温度可升高 15℃左右。

3. 发泡剂与发泡助剂

对于固体树脂的发泡,如分解温度与熔融温度不相匹配,可加入发泡促进剂进行调整,为改进泡沫质量,一般加入成核剂调整。

对于液体树脂的发泡,为了促进发泡,可加入催化剂,为改进泡沫质量可加入泡沫稳定剂。

4. 发泡剂的并用

几种不同的发泡剂并用效果好。如无机发泡剂和有机发泡剂并用、不同物理发泡剂之间并用效果都很好。

5. 发泡剂与其他助剂

树脂配方体系中,有许多助剂会影响发泡剂的分解温度。如PVC所用热稳定剂基本上都是分解温度调节剂,可使发泡剂分解温度下降;同时由于发泡剂消耗PVC中部分热稳定剂,影响其热稳定性,所以PVC发泡配方中应相应增加稳定剂的用量。

6. 发泡剂的粒度

发泡剂的粒度越小,在树脂中分散越均匀,单位体积内产生的泡孔数量越多,泡孔越细小。

2.9 阻燃剂

塑料制品的缺点是易燃,其燃烧性能可用氧指数来评估。一般认为:氧指数21%以下为可燃性,22%~25%为自熄性,26%以上为阻燃性,但有时根据制品需要,还要再提高氧指数,以达到更高的阻燃要求。阻燃剂是一类能够阻止塑料引燃或抑制火焰传播的助剂,它是塑料阻燃配方中常用的助剂之一。阻燃剂大多是元素周期表中第Ⅴ、Ⅶ和Ⅲ族元素的化合物,特别是磷、溴、氯、锑和铝的化合物。目前阻燃剂的用量仅次于增塑剂和填充剂。消耗阻燃剂最多的塑料品种是PVC、PS、PU泡沫塑料、不饱和聚酯、ABS树脂和PP等。

2.9.1 阻燃剂的品种、性能和应用

阻燃剂依应用方式分为添加型阻燃剂和反应型阻燃剂。根据化学组成,添加型阻燃剂主要包括高分子阻燃树脂、无机阻燃剂和有机阻燃剂;反应型阻燃剂多为含反应性官能团的有机卤和有机磷的单体。此外,具有抑烟作用的钼化合物、锡化合物和铁化合物等亦属阻燃剂的范畴。下面按阻燃剂的化学组成分类介绍各类阻燃剂。

1. 添加型阻燃剂

添加型阻燃剂通常以添加的方式配合到基础树脂中,它们与树脂之间仅仅是简单的物理混合,常用于热塑性塑料中,是目前世界各国产量最大的阻燃剂,占阻燃剂总产量的85%。其特点是使用方便、适应性强,但由于添加量达10%~30%,常会影响塑料的性能。

(1) 高阻燃树脂 原则上凡是氧指数高于30%的塑料都可以作为高阻燃树脂与低阻燃树脂共混而达到阻燃目的。聚四氟乙烯虽阻燃性十分好,但由于其

本身流动性太差,加入量受到限制,因此很少使用。纯聚氯乙烯阻燃性也十分好,但由于分解温度低(140℃左右),不能单独使用,需要同热稳定剂一起加入。常用的高阻燃树脂为CPE、PVC、NBR、EVA,其中尤以CPE最常用,用于阻燃的CPE要求含氯量要大于30%,可用于PVC、PE及PP中。

(2) 无机类阻燃剂 无机阻燃剂热稳定性好,不挥发,不析出,无毒,价廉,不产生腐蚀性气体,且大都具有不同程度的消烟效果。缺点是添加量较大,易导致聚合物材料的加工性能和物理力学性能下降。代表性产品有氢氧化铝、氢氧化镁、聚磷酸铵、氧化锑、硼酸锌和赤磷等。

1) 氢氧化铝 $[\text{Al}(\text{OH})_3]$ 。也叫三水合氧化铝(ATH),其本身具有阻燃、消烟、填充三个功能,因其不挥发、无毒,又可与多种物质产生协同阻燃作用,被誉为无公害无机阻燃剂。 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 热分解温度为210~320℃,由于热分解温度低,不宜用于加工温度高的塑料中。但是, $\text{Al}(\text{OH})_3$ 需要大填充量,一般高达50%以上时,才具有明显的阻燃效果。为了克服这一缺点,可采用改进造粒技术,向超细化方向发展,使粒度分布变窄;改进包覆技术以改善其在聚合物中的分散性;用大分子键合方式处理等方法。 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 主要用于PP、PE及PVC中。

2) 氢氧化镁 $[\text{Mg}(\text{OH})_2]$ 。 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 是目前发展较快的一种添加型阻燃剂,低烟、无毒,能中和燃烧过程中的酸性、腐蚀性气体,是一种环保型绿色阻燃剂。其阻燃作用与 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 相似,热分解温度为340~430℃,可用于加工温度高于250℃的工程塑料的阻燃,且还有促进聚合物成炭的作用。但要达到一定的阻燃效果,添加量需要在50%以上,对材料的性能影响很大。为减少聚合物中 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的添加量,一种办法是将 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 颗粒细微化,另一方法是采用包覆技术对 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 表面进行改性,以提高其与聚合物的相容性。 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 与 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 按1:1比例并用,协同阻燃效果好。

3) 无机磷类阻燃剂。无机磷主要品种为红磷和磷酸盐。

红磷也叫赤磷,是一种性能优良的阻燃剂,具有高效、抑烟、低毒的阻燃效果,但易吸潮、氧化、并放出剧毒的气体,粉尘易爆炸,制品呈深红色等,因此红磷很少单独使用,常与其他阻燃剂协同加入,如红磷— $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 和 $\text{Al}(\text{OH})_3$,水合氢氧化物高温下脱水,可促进红磷充分转化为磷酸及偏磷酸,而偏磷酸又可促进水合氢氧化物的脱水作用。

磷酸盐主要包括磷酸铵、聚磷酸铵(APP)及磷酸锌、磷酸铜、磷酸镍等。聚磷酸铵是一种性能良好的无机阻燃剂,是目前磷系阻燃剂中比较活跃的研究领域。其分子通式为 $(\text{NH}_4\text{PO}_3)_n$,外观为白色粉末,分解温度>256℃,价廉,毒性低,热稳定性好,分散性优良,可单独或与其他阻燃剂复合用于塑料的阻燃。聚磷酸铵的聚合度是决定其作为阻燃剂产品质量的关键,聚合度越高,阻

燃效果越好。

磷酸铵可与季戊四醇并用，构成膨胀阻燃体系；而金属磷酸盐主要用于消烟。

4) 含锑类阻燃剂。金属锑的氧化物是最常用的阻燃剂，它本身单独使用时，阻燃效果不明显，因此常作为其他阻燃剂的协效剂或消烟剂使用。最常用的为三氧化二锑 (Sb_2O_3)，常与含溴阻燃剂或含磷阻燃剂并用，可降低 PVC、PE、PS 的烟雾。 SbCl_3 、 SbBr_3 等锑的卤化物也常用作阻燃剂，不同卤化锑复合作用效果好。用于 PMMA 中，可先将 SbCl_3 和 SbBr_3 溶于二甲基甲酰胺、甲乙酮、丙酮或乙酸丁酯中，配成 15% ~ 20% 溶液，再与 PMMA 混合。此外还有 Sb_2O_5 ，它属透明性阻燃剂。

5) 含硼类阻燃剂。它是一类多功能阻燃剂，兼有阻燃、消烟两种功能。主要品种有硼酸锌、硼酸铵及偏硼酸钡等。

硼酸锌（分子式为 $2\text{ZnO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 3.5\text{H}_2\text{O}$ ），也称水合硼酸锌，它应用最普遍，具有抑烟、无毒、价廉等优点，常用于 Sb_2O_3 的廉价代用品（阻燃效果不如 Sb_2O_3 ）。硼酸锌可作为主阻燃剂，它不影响制品的透明性和电绝缘性，还可提高耐电弧性，是一种透明阻燃剂。但同 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 一样，热分解温度低，易使制品产生气泡。硼酸锌可用于 EP、PBT、PET 及 PA 中，可单用，也可与 Sb_2O_3 等并用。

6) 含钼类阻燃剂。钼类的氧化物是塑料最有效的消烟剂，常用的有 MoO_3 ，此外还有 MoO 、八钼酸铵和钼酸锌等。 MoO_3 与 Sb_2O_3 按 1:1 质量比并用，协同阻燃效果好。与 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 并用，消烟、阻燃效果也很好。

7) 含锡类阻燃剂。主要有 SnO_2 、卤化锡（如 SnCl_4 、 SnBr_4 和 SnI_4 ）、羟基锡酸金属盐（如羟基锡酸钠、镁、钙及锌）、锡酸及锡酸金属盐等，其中卤化锡类不影响制品的透明性，可用于 PMMA。不同品种卤化锡阻燃剂复合使用效果更好。另外，锡类阻燃剂毒性小，与卤系有协同作用，还具有抑烟和降低 CO 浓度等功效。

8) 含铁类阻燃剂。主要有 Fe_2O_3 、二茂铁及卤化铁等，一般不作为阻燃剂，而常用于复合消烟剂。用于阻燃剂的 Fe_2O_3 常与卤化物并用。卤化铁如 FeCl_3 可用于 ABS，可使氧指数从 18% 增加到 30%。

9) 含锌类阻燃剂。主要有氧化锌、碳酸锌、硼酸锌及均苯四酸锌等，常用于消烟方面。

10) 硅系阻燃剂。主要为 SiO_2 ，兼有补强和阻燃作用，其阻燃机理为塑料在燃烧时，形成二氧化硅覆盖层，起到绝热、屏蔽双重作用， SiO_2 常与卤化物并用。

11) 可膨胀石墨。可膨胀石墨是近年出现的一种新型无卤阻燃剂，它是由

天然石墨经浓硫酸酸化处理,然后经水洗、过滤、干燥后,再在 $900 \sim 1000^{\circ}\text{C}$ 下膨化制得。可膨胀石墨在阻燃过程中主要起到以下作用:①在高聚物表面形成坚韧的炭层,将可燃物与热源隔开;②在膨胀过程中大量吸热,降低了体系的温度;③在膨胀过程中释放夹层中的酸根离子,促进脱水炭化,并能结合燃烧产生的自由基从而中断链反应。可膨胀石墨与磷化合物、金属氧化物复合使用,能产生协调作用,加入少量就能达到阻燃目的。

其他无机阻燃剂还有氧化钙、氧化镁、氧化铋等一些金属氧化物;铅类如三碱式硫酸铅、二碱式亚磷酸铅;草酸系如草酸铬、草酸铜等。

(3) 有机类阻燃剂 有机阻燃剂种类繁多,发展速度也非常快,可分为卤素阻燃剂和无卤阻燃剂。卤素阻燃剂是使用最早的一类阻燃剂,阻燃效果和热稳定性能好、添加量小、与树脂相容性佳,对制品性能影响较小,性价比优,但由于分解放出有毒气体,所以使用受到很大限制。无卤阻燃剂不含卤素,阻燃效果好,受热分解时产生的气体低烟、低毒,受到广泛欢迎。无卤阻燃剂又可分为磷系阻燃剂、氮系阻燃剂、有机硅系阻燃剂和膨胀型阻燃剂等。

1) 卤系有机阻燃剂。卤系阻燃剂可分为氯系和溴系两大类,其中溴系阻燃效果好于氯系。

氯系阻燃剂最常用的品种为氯化石蜡,淡黄色粉末,含 Cl 质量分数为 $65\% \sim 70\%$,密度为 $1.6 \sim 1.7\text{g}/\text{cm}^3$,主要用于 PVC、PE 及 PP 中。此外氯系阻燃剂还有全氯环戊癸烷、六氯环戊二烯衍生物及氯化芳基二胺等。

溴系为最常用的卤系有机阻燃剂,与氯系相比,同等量的 Br 是 Cl 阻燃效果的二倍。溴系阻燃剂的种类很多,其中脂肪族、脂环族溴化物的热稳定性不高,只适用于加工温度较低的塑料;而芳香族溴化物耐热性好,可广泛用于工程塑料。最常用的溴系阻燃剂为十溴二苯醚 (DBDPO,含 Br 质量分数为 83.3%)、四溴双酚 A 及其衍生物 (TBBPA,含 Br 质量分数为 58.8%)、六溴环十二烷 (HBCD) 等。前两者的产量占溴系阻燃剂的 50% 左右,主要用于 HIPS、ABS、PE、PP、PBT 等热塑性塑料及各种热固性塑料,但耐候性差。此外溴系阻燃剂还有八溴二苯醚 (OBDPO,含 Br 质量分数为 79.8%)、六溴环十二烷 (HB-CD)、六溴联苯、五溴氯环己烷等。

一些传统的溴系阻燃剂由于受到日益严格的环保压力,迫使用户寻找溴阻燃剂的代用品,同时促进了新阻燃体系的问世,为溴化环氧树脂、十溴二苯乙烷、溴化聚苯乙烯等环境友好型溴系阻燃剂产品提供了市场空间。

十溴二苯乙烷 (DBPE) 相对分子质量、热稳定性和溴含量与 DBDPO 相当,但不属于多溴二苯醚系的阻燃剂,在燃烧过程中不产生多溴二苯并二恶英 (PB-DD) 和多溴代二苯并呋喃 (PBDF),而且其耐热性、耐光性和不易渗析性等特点都优于十溴二苯醚。用它阻燃的塑料可以回收使用,这是众多溴系阻燃剂所

不具备的特点。目前该产品已在 ABS、PBT、PA 和 HIPS 中应用,效果良好。

溴化环氧树脂具有优良的熔体流动速率、较高的阻燃效率、优异的热稳定性和光稳定性,又能使被阻燃材料具有良好的物理力学性能、不起霜,因此,广泛应用于 PBT、PET、ABS、PA66 等工程塑料、热塑性塑料以及 PC-ABS 塑料合金的阻燃改性中。溴化环氧树脂按相对分子质量分为低、中、高三大类,按端基结构又可分为 EP 型、EC 型,可分别应用于不同的塑料材料中。

溴化聚苯乙烯(简称 BPS)具有高阻燃性、热稳定性及光稳定性等良好的物理和化学性质,广泛应用于 PBT、PET、聚苯醚、PA66 等工程塑料。

2) 磷系有机阻燃剂。磷系有机阻燃剂是阻燃剂中最重要的品种之一,具有阻燃和增塑双重功能,阻燃效果好,耐低温,抗氧、抗静电,可以改善塑料成型中的流动性能,抑制燃烧后的残余物,产生的毒性气体和腐蚀性气体比卤素阻燃剂少。按其分子内是否含有卤素,磷系有机阻燃剂又可分为无卤磷系阻燃剂和卤代磷系阻燃剂两类。

无卤磷系有机阻燃剂要与卤系一起加入,才有协同作用。主要品种为磷酸酯类,如磷酸三苯酯(TPP)、磷酸三甲苯酯(TCP)、磷酸三辛酯(TOP)、磷酸三异丙苯酯、甲基二苯基磷酸酯、磷酸三丁酯等。磷酸酯的品种多,用途广,但大多数磷酸酯产品为液态,耐热性较差,且挥发性很大,与聚合物的相容性不太理想。

卤代磷系阻燃剂是指含有卤元素的磷系阻燃剂,由于阻燃剂分子内同时含有卤、磷两种元素,因而具有分子内协同作用,可单独使用。主要品种有:三氯乙基磷酸酯(TCEP)、三氯丙基磷酸酯(TCPP)、磷酸三(2,3-二氯丙基)酯(TDCPP)及磷酸三(2,4-二溴苯基)酯(PB-460,含 Br 质量分数 60%,含 P 质量分数 4%)等。

3) 氮系有机阻燃剂。氮系有机阻燃剂具有挥发性小、无毒、与聚合物相容性好、分解温度高、适合加工等优点,成为很受欢迎的一类阻燃剂。其阻燃机理为吸热降温 and 释放出 N_2 、 CO_2 、 NH_3 等不燃气体,冲淡可燃气体,从而阻止燃烧。氮系有机阻燃剂与磷系有机阻燃剂之间有协同作用。常用的氮系品种主要有三聚氰胺、三聚氰胺氰尿酸酯、三聚氰胺甲醛缩合物等。氮系有机阻燃剂在 PA 和 PU 中有较好的阻燃性能。

4) 有机硅系阻燃剂。有机硅阻燃剂是一类高分子阻燃剂,它具有高效、无毒、低烟、防滴落、无污染等优点,尤其是它本身为高分子材料,因此对制品的性能影响很小,是一类十分有前途的有机阻燃剂。其闪点都在 $300^{\circ}C$ 以上,具有难燃性。主要品种有硅油、硅树脂、硅橡胶及有机硅烷醇酰胺等。

5) 膨胀型阻燃剂(IFR)。IFR 是以 C、N、P 为核心成分的一类阻燃剂。IFR 主要由三部分组成:①碳源(成炭剂):一般为含碳丰富的多官能团物质,

如淀粉、季戊四醇及其二缩醇；②酸源（脱水剂）：一般为无机酸或在加热时能在原位生成酸的盐类，如磷酸、聚磷酸铵等；③气源（发泡剂）：一般多为含氮的多碳化合物，如尿素、密胺、双氰胺及其衍生物。

IFR 的阻燃机理是在受热时成炭剂在酸源作用下脱水成炭，并在发泡剂分解的气体作用下，形成蓬松有孔封闭结构的炭层，炭层可减弱聚合物与热源间的热量传递，并阻止气体扩散。聚合物由于没有足够的燃料和氧气，因而终止燃烧。已商品化的膨胀型阻燃剂有美国 GreatLake 公司开发的 CN—329 和 Borg-Warner 化学品公司开发的 Melabis。CN—329 适用于 PP，在 PP 的加工温度下比较稳定，且具有良好的电性能。Melabis 具有丰富的酸源和碳源，改善了酸源、碳源、气源的比例，使得 Melabis 的吸潮性比 CN—329 低得多，是一种优秀的阻燃剂。

2. 反应型阻燃剂

反应型阻燃剂一般为分子内包含阻燃元素和反应性基团的单体，如用于聚酯的卤代酸酐、用于环氧树脂和聚碳酸酯的四溴双酚 A、用于聚氨酯的含磷多元醇等。由于具有反应性，可以化学键合到树脂的分子链上，成为塑料树脂的一部分，所以对塑料性能的影响较小，阻燃性能持久，缺点是应用面窄，品种少。反应型阻燃剂主要用于热固性塑料中，有时也用于热塑性塑料中。主要品种如下：

（1）卤代酚 如四溴双酚 A、四氯双酚 A 及三溴苯酚等。四溴双酚 A 含溴质量分数为 58.8%，熔点 173℃，分解温度 240℃，可用于 EP、PU、PC 中，也可作为添加型阻燃剂用于 PS、ABS 中。四氯双酚 A 熔点 134℃，常用于 EP、PET、PC 中。

（2）卤代酸酐 如四溴邻苯二甲酸酐、四氯邻苯二甲酸酐及氯桥酸酐等。氯桥酸酐熔点 235℃，常用于 PET、PU 中。

（3）卤代醇 如三溴新戊二醇、三溴新戊醇及二溴丙醇等。

（4）卤代酯或醚 如五溴二苯醚、二溴苯基缩水甘油醚、丙烯酸三溴苯酚酯、五溴苄基丙烯酸酯等。

（5）含磷多元醇 如磷酸三（2-氯乙基）酯、磷酸三（1-氯-2-丙基）酯等。

其他反应型阻燃剂还有卤代环氧化合物、卤代乙烯基单体等。

2.9.2 阻燃剂的选择原则

阻燃剂的阻燃机理各不相同，阻燃剂的品种又有几百种，而且不同品种之间又有协同作用，因此，对于一个特定的阻燃塑料品种而言，选择高效、价廉而又不影响原有性能的阻燃剂十分重要。

首先，作为性能良好的阻燃剂，应具备下列条件：

- 1) 阻燃效率高。可以使所阻燃的材料达到应有的阻燃等级。
- 2) 对材料的性能影响小。使所阻燃的材料物理性能,如热学性能、力学强度和电学性能等不发生太大改变。
- 3) 与材料的相容性好。能够在所阻燃的材料中均匀分散,并有较好的亲和力。
- 4) 加工工艺可行。应用传统的加工工艺可以成型。
- 5) 有较高的性价比。制得的阻燃材料成本可以被市场所接受。
- 6) 环保,无毒性,无有害物质释放。

此外,在阻燃配方设计时,还应考虑以下几个方面:

(1) 主、辅阻燃剂的选择 主阻燃剂往往是一些阻燃效果好,发挥主阻燃作用的阻燃剂;而辅阻燃剂是一些阻燃效果不太好,或单独使用效果不好,而协同使用效果明显的阻燃剂。辅阻燃剂往往还起到消烟剂的作用。

主阻燃剂常为有机卤系、磷系、无机氢氧化物、硼酸锌或阻燃树脂等。在具体选择主阻燃剂时,一般尽量选择两个或两个以上互相配合使用,如溴系和氯系配合,卤系和磷系配合,有机类和无机类配合以及无机金属氢氧化物之间的配合。

主阻燃剂的加入量一般较大,如阻燃树脂的加入量为 30 ~ 40 质量份;金属氢氧化物的加入量最大可达 60 质量份,最小也要 30 质量份以上;有机类阻燃剂加入量一般为 20 质量份左右。

辅阻燃剂可分为两类,一类为主阻燃剂的协效剂,另一类为消烟剂。主阻燃剂的协效剂主要有 Sb_2O_3 及有机氮类。消烟剂主要为钼化物及 CuO 、 ZnO 、 Fe_2O_3 等金属氧化物。选择辅阻燃剂也尽可能多选几个品种,起到优势互补的作用。

一般辅阻燃剂的加入量远远小于主阻燃剂,如金属氧化物只需加入 5 质量份左右,有机氮类也只需加入 10 质量份左右。

(2) 阻燃剂之间的协同作用 不同阻燃剂并用,可以起到协同作用,具体协同作用实例有:

1) 卤系与锑系。 Sb_2O_3 单独加入阻燃效果不好,同卤素阻燃剂一起加入,具有优异的阻燃效果。但要按一定的比例配合,一般为 3:1 (质量比,下同)。

2) 卤系与磷系。在卤、磷复合体系中,卤系主要发挥气相阻燃效果,而磷系则主要发挥固相阻燃效果,两者一起形成一个完整的气-固相阻燃体系,从而提高了两者单独使用效果。卤系与磷系两者的配合比例一般为 3:2。

3) 磷系与氮系。氮系的加入可以促进磷系的炭化作用。

4) $\text{Al}(\text{OH})_3$ 与 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 。两者一起加入,除各自发挥作用外, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 还有促使塑料表面炭化的作用,而 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 也可以促进 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的

炭化。两者配合比例一般为 2:1 ~ 3:1 之间。

此外,磷系与锑系、氮系与锑系、红磷与炭黑、有机硅类同二碱式亚磷酸铅或三碱式硫酸铅、金属氢氧化物与红磷、聚磷酸酰胺等无机磷系均有协同作用。

(3) 阻燃剂之间的加合作用 阻燃剂之间的加合作用是指阻燃剂之间无明显的协同作用,但一起加入会起到互相补充的作用。比较典型的实例有:

1) 金属氢氧化物和金属氧化物搭配使用能增大消烟功能。

2) Sb_2O_3 价格高,与其他金属氧化物搭配使用,可以调整 Sb_2O_3 协同体系的分解温度,常用的有 Sb_2O_3 - SiO_2 及 Sb_2O_3 - ZnO 等。

3) MoO_3 消烟效果十分好,但价格太高,常同其他价廉消烟剂搭配使用,从而降低价格。常用的有 MoO_3 - ZnO 、 MoO_3 - MgO 、 MoO_3 - Cu_2O 、 MoO_3 - ZnO (MgO) 等。

4) 有机阻燃剂与消烟剂搭配,具有阻燃、消烟双重功效。

(4) 阻燃剂之间的对抗作用 有些阻燃剂之间具有对抗作用,若一起加入,会降低阻燃效果。比较典型的实例有:硬脂酸锌不宜同溴系一起加入;有机硅不宜同卤化物或红磷一起加入;比表面积较大的炭黑,会加剧聚烯烃的燃烧,因此,要求炭黑不应同阻燃剂一起加入,如必须一起加入,要同时加入硼酸锌和偏硼酸钡,以改善其阻燃;在溴系阻燃体系中,不应加入 CaCO_3 ,尤其是 MgCO_3 ,两者有对抗作用。

此外,还应考虑阻燃剂的粒度,粒度越小,阻燃效果越好;对于透明制品,应尽量选用透明有机阻燃剂,如必须选择无机阻燃剂,应选用 Sb_2O_3 、硼酸锌及卤化锡类;当选择无机阻燃剂时,要进行偶联处理,以增大同树脂的相容性。表 2-29 列出了各树脂适用的阻燃剂,供选择时参考。

表 2-29 各树脂适用的阻燃剂

材 料	可采用的阻燃剂
PE、PP	氢氧化镁,氢氧化铝,TDCPP,聚磷酸铵,八溴醚,磷酸三苯酯,六溴环十二烷,MPP,硼酸锌,十溴二苯乙烷,包覆红磷,TBC
PVC	TCEP,TCPP,TDCPP,IPPP,MCA,八溴醚,磷酸三苯酯
PS	TCPP,TDCPP,HBCD,MCA,TBC,MPP,十溴二苯乙烷,十溴二苯醚,硼酸锌
ABS	八溴醚,磷酸三苯酯,十溴二苯乙烷,十溴二苯醚,TBC
PA6、PA66	MCA,MPP,FB,十溴二苯乙烷,十溴二苯醚,包覆红磷
PC	磷酸三苯酯,HBCD,MCA
POM	MCA

(续)

材 料	可采用的阻燃剂
PBT、PET	TDCPP，磷酸三苯酯，MPP，十溴二苯乙烷，十溴二苯醚，包覆红磷
PU	TCEP，TCPP，TDCPP，DMMP，磷酸三苯酯，MPP，FB
UPR（不 饱 和 树 脂）	TCPP、TDCPP、DMMP、HBCD、TBC
EP（环氧树脂）	TCPP，TDCPP，IPPP，十溴二苯醚，DMMP，磷酸三苯酯，十溴二苯乙烷
PF（酚醛树脂）	TCEP，TCPP，TDCPP，磷酸三苯酯，硼酸锌

2.10 着色剂

塑料着色是塑料行业重要的组成部分，是影响制品质量的重要环节，不但可以美化产品外观，而且可赋予塑料多种功能，改善塑料的某些性能（如提高耐候性、改善电性能和光学性能）。另外，还可起到标识、驱虫、增产等功效。

2.10.1 塑料着色剂的分类

着色剂按其溶解性能分为两大类：染料和颜料，其中颜料又分为无机颜料和有机颜料。

（1）染料 可以在水、油或有机溶剂中溶解的着色剂称为染料，染料一般都是有机化合物。染料的优点是色泽鲜艳，色彩夺目，色谱齐全，缺点是耐热性、耐候性、耐溶剂性皆差，在塑料加工温度下或较高的使用温度过程中易分解变色，或在制品使用过程中易渗析、迁移，造成串色或对其他接触物的污染。

染料是纤维、织物等纺织品的主要着色剂，在塑料中应用较少，主要用在光学塑料制品中（聚苯乙烯、丙烯酸树脂、聚碳酸酯等），可以使透明塑料保持较好的透明性，如汽车的尾灯。

染料分为偶氮、紫环酮、喹啉和蒽醌几类。以蒽醌染料和萘环酮染料的光和热稳定性比较好。染料比颜料好用，因为它们牢固，而且没有颜料不易分散的问题。

（2）颜料 颜料是塑料中应用最为广泛的一类着色剂。与染料不同，颜料为固体物质，不溶于水和溶剂，它与树脂以机械混合方式均匀分散，因遮盖作用而着色，它只是表面着色。颜料的耐热、光、气候、溶剂性都很好，只是色泽及透明性不如染料。颜料分为无机颜料和有机颜料两大类。无机颜料耐热性好，价格便宜，但透明度和着色力差，常用于不透明制品的着色。有机颜料耐热性、耐候性、耐溶剂性等皆不及无机颜料，但色彩鲜艳夺目，在塑料中分散性较好，是塑料中最理想的着色剂品种。有机颜料、无机颜料和染料的性能比

较见表 2-30。

表 2-30 有机颜料、无机颜料和染料的性能比较

项目	有机颜料	无机颜料	染料
密度/ (g/cm ³)	1.2~2.0	3.5~5.0	2.0~3.5
着色力	中等	小	大
耐光性	中等	强	差
耐热性	200~260℃ 分解	500℃ 以上分解	170~200℃ 分解
耐迁移性	中等	小	大
化学稳定性	中等	高	低
溶解性	难溶或不溶	不溶	溶
透明性	不透明, 低浓度时半透明	不透明	能透明
亮度	中等	小	大

2.10.2 塑料着色剂的品种、性能和应用

塑料用着色剂品种很多, 但常用的品种主要是红、黄、蓝、白、黑五种颜色。

1. 红色类着色剂

(1) 红色无机颜料 (见表 2-31)

表 2-31 红色无机颜料主要品种、性能和应用

品 种	性 能	应 用
氧化铁红 (又称铁丹、铁红等)	不透明, 可单用或拼色, 着色力、遮盖力强, 耐热好, 价格低, 但促进 PVC 分解	适于聚烯烃、ABS、PA、PS、PF 及 EP 等
镉红 (又称硒红)	组成为 CdS + CdSe (混合物), 色泽鲜艳, 遮盖力强, 耐热性、耐候性、分散性等都很好, 适于耐晒、耐热制品	适于 PVC、聚烯烃、PS、ABS、PA、PC、EP 及聚酯等。不适于透明制品, 不应与含铅的助剂一起使用
钼铬红 (又称铬朱红)	常用于红色配色, 不单用	适于 PVC、PS 及 EP, 不适于 PE 及 PP
镉银朱	组成为 CdS + HgS (混合物), 价格高, 可同 BaSO ₄ 混用	适于 PVC、聚烯烃、ABS、PA、EP 及聚酯等

(2) 红色有机颜料 (见表 2-32)

(3) 染料类 主要有盐基性玫瑰精、还原桃红 R (又称硫靛玫瑰红, 色彩鲜艳, 耐晒 6 级)、分散红 3B (色彩鲜艳, 耐晒 7~8 级) 及分散红玉 2GFL 等。

表 2-32 红色有机颜料主要品种、性能和应用

品 种	性 能	应 用
永固红 F ₅ R（嘉基 R ₃₂ ）	耐晒 6~7 级，耐热 170~180℃	适于 PVC、LDPE，也可用于 PS、ABS、PP、POM；在透明制品中用量 0.08%
永固红 2BL（永固红-2B-Mn）	耐晒 6~7 级，耐热 180℃	可用于硬质 PVC、LDPE、PS 等
立索尔宝红（罗宾红、立索尔宝红 BK）	色泽鲜明，耐晒差，带蓝光	适于 PS、PF，也可用于 PVC、聚烯烃、EP，一般不宜作浅色或拼色，透明制品用量 0.8%
酞菁红（喹吖啶酮红）	色泽不十分艳，用量 0.1% 时耐热 6~7 级；用量 1% 时耐热 7~8 级	适于 PVC 及 PVC 共聚物等
荧光红 6B、荧光橘红 B、荧光橘红 R	具有鲜艳的荧光色彩，是荧光颜料中应用较为广泛的产品之一，其粒径非常细微，色度非常均匀	适于 PS、硬质 PVC、PMMA 及 ABS，不适于 PE、PP。PS 中透明用量 0.01%，PVC 中红色 0.01%，PS 中粉红 0.01% + 0.2% 钛白粉

2. 黄色类着色剂

(1) 黄色无机颜料（见表 2-33）

表 2-33 黄色无机颜料主要品种、性能和应用

品 种	性 能	应 用
铬黄，即铬酸铅	有多种色相，可分为柠檬黄、浅铬黄、中铬黄、深铬黄及橘铬黄 5 种。颜色鲜明，着色力、遮盖力较强，耐水、耐溶剂性优良，耐热、耐光性中等，对碱敏感，有毒，遇硫化物产生化学反应，应避免与含硫着色剂并用，如镉黄等	可用于不透明制品如 PVC 及 PS 等，也可用于 PF 及 EP 等热固性塑料，但颜色发暗
镉黄	颜色鲜艳，耐光、耐热性好，不迁移，不渗色，耐水、耐溶剂性亦好，不耐酸，着色力、遮盖力中等	适于多种塑料，可用于户外，不宜用于 PVC 着色，也不应和含铅的助剂并用
钛黄（钛镍黄）	耐光和耐候性好，对环境、人体无毒、无害；但粒径较大，着色强度较低，色浅，分散性差，色相较暗	用于各种塑料，可与硫化物并用；可用于户外塑料制品，塑钢门窗型材，色母粒等
锌黄（锌铬黄）	淡黄色或中黄色粉末，耐光性较铅铬黄好，但遮盖力和着色力稍低，无毒	用于 PS，还可用于 PE、EP 及 PF 等；但不可用于 PVC、PP、PA 及 PC

(2) 黄色有机颜料（见表 2-34）

表 2-34 黄色有机颜料主要品种、性能和应用

品 种	性 能	应 用
荧光黄 YG—51	最高耐热温度为 300℃，耐光性（天然日晒）6~7 级，耐候性 3 级，耐酸性、耐碱性均为 5 级，在空气中稳定	适于 PS、PE、PP、硬质 PVC、PMMA 及 ABS。在 PS 和 PVC 中加入量 0.015%，在 PE 和 PP 中加入量 0.04%
荧光黄 G1003	最高耐热温度为 250℃，耐光性（天然日晒）5~6 级，耐候性 3 级，在空气中稳定	适于 PS、硬质 PVC、PMMA 及 ABS，用量 0.015%；不适用于 PE、PP
荧光黄 S101	色泽鲜明，耐热差，有迁移	单用拼色都可，单用量 0.02%
耐晒黄 G（汉沙黄 G、颜料黄 G）	耐热 160℃	主要用于热固性树脂
耐晒黄 10G（汉沙黄 10G、颜料黄 10G）	带绿光，性能同耐晒黄 G	同耐晒黄 G
永固黄 GG	带绿光，耐晒 6~7 级，耐热 160~170℃	可通用
永固黄 HR	带红光，透明好，色泽美艳，耐热 200℃，耐晒 7~8 级	可单用或拼色，用量 0.06%
永固黄 GR（耐晒黄 GR、1137 永固黄、6203 永固黄）	耐热 200℃，耐晒 6~7 级	用于塑料薄膜
联苯胺黄 G	耐晒 4~5 级，耐热 170~180℃，颜色鲜丽	适于软质 PVC、ABS 及 PE 等

（3）染料类 主要有还原黄 4GF（可用于 PE、PP 及 PS），汽巴黄 3G 等。

3. 蓝色类着色剂

（1）无机颜料类

1) 群青（佛青、云青）。色彩鲜艳美丽，耐热性、耐光性均优良，分散性、透明性也较好，用量少时有增白作用，但着色力和遮盖性均较差，不能与含硫、铅类着色剂并用。适于 PE、PP、PS、ABS、PA、PC 及 PF 等。

2) 铁蓝（普鲁士蓝、华蓝）。着色力强，透明性好，有增白作用，适于低温加工制品使用。

3) 钴蓝。有透明感，但着色力低，价格高。

（2）有机颜料类 酞菁蓝最为常用，它着色力大，易分散，适于聚烯烃、PVC、PS、PC、PA、ABS、PF 及 EP 等，用量 0.02%，可单用或拼色，可用于透明制品。

(3) 染料类 主要有溴靛蓝(溴化靛蓝、溴靛)、还原蓝 RSN(士林蓝 RSN)等。

4. 绿色类着色剂

(1) 无机颜料类 主要是氧化铬绿(铬绿),具有优良的耐热性、耐光性、耐酸碱性,无毒。可用于热塑性及热固性树脂,用于不透明制品时,色彩不艳,价格高。

(2) 有机颜料类

1) 酞菁绿(酞菁绿 G)。着色力强,色彩鲜艳,与白色拼用可得鲜绿色;与黄色拼用可得果绿色,用量 0.005%。适于 PVC、PE、PP、PS、PA、PC、ABS、PE 及 EP 等,用于不透明制品。

2) 荧光绿 GG。适于 PE、PP、PS、硬质 PVC、PMMA 及 ABS 等。在 PS、PVC 中用量 0.015%,在 PE、PP 及 ABS 中用量 0.04%。

(3) 染料类 主要是还原色绿 FFB 等。

5. 白色类着色剂

均为无机颜料,主要有以下品种:

(1) 钛白粉(学名二氧化钛, TiO_2) 有金红石型(R型)和锐钛型(A型)两种晶型。遮盖力强,金红石型耐热、耐候,可屏蔽紫外线,适于户外制品;锐钛型白度好,但耐热、耐光性差,用于室内制品。

钛白粉不能和有机染料、钴蓝、硫化镉等颜料同用,因为在光的影响下,它能引起这些颜料褪色等。

(2) 锌钡白(立德粉) 组成是 $\text{ZnS} + \text{BaSO}_4$ (混合物),价格低,性能不及钛白粉,适于聚烯烃、ABS、PS、PC、PA 及 POM 等。

(3) 氧化锌(锌白, ZnO) 也是一种紫外线吸收剂,价格低,性能不及锌钡白,可用于 PS、ABS、EP、PE 及 PVC 中,不可用于 PA、POM、HIPS 中。

6. 黑色类着色剂

无机颜料有炭黑,用槽法炭黑,着色力强,遮盖力大,耐光,可单用,也可拼成咖啡色或灰色,无毒。有机颜料有联苯胺黑。

7. 特殊着色剂

(1) 金属粉类着色剂 主要是金粉和银粉。金粉实际上是铜粉和青铜粉(铜锌合金粉)。铜粉的着色效果也因颗粒粗细不同而异。粗粉直径 $50 \sim 100\mu\text{m}$,它所着色的塑料呈明亮金色;细粉直径 $10 \sim 20\mu\text{m}$,可使色调及感觉如绸缎的光泽。但铜元素易使聚丙烯降解,故不宜用于聚丙烯。

银粉实际上是铝粉。由于铝表面能强烈地反射包括蓝色光在内的整个可见光谱,因此,铝颜料可产生很亮的蓝、白镜面反射光。

(2) 珠光类着色剂 珠光着色剂是一种高折射率的片状材料,只是由于特

殊的色光效应，可发出像珍珠一样色泽，因而又称为珠光剂。目前使用的珠光剂有天然与合成两种，其中以合成为主。

1) 天然珠光剂。主要为鱼鳞浆。由于资源有限，加入溶剂易燃，加工性差等原因，天然珠光剂已逐步被合成珠光剂所取代，目前应用较少。

2) 合成珠光剂。主要品种有碱式碳酸铅、氧氯化铋、砷酸铅、磷酸铅和云母型珠光颜料等。其中碱式碳酸铅呈六方晶系薄片，颗粒大小为 $5 \sim 10\mu\text{m}$ ，应用较广，但耐热性差，在 230°C 以下稳定性好，使用时一般配成浆状，有毒。可用于 PMMA、PET、PS、PVC 等塑料中。氧氯化铋也呈六方晶系薄片状，是目前常用的珠光剂，但耐光性差，主要用于 PVC。砷酸铅和磷酸铅主要用于要求化学稳定性好的塑料中。云母型珠光颜料，俗称珠光粉，是用二氧化钛或三氯化铁涂覆过的云母薄片，具有一层高折射层，在塑料中产生珠光效应。云母型珠光颜料几乎适于所有树脂，在透明性好的树脂中，珠光感最好，用量为 $0.7 \sim 1.5$ 质量份。

值得注意的是珠光剂不能与不透明着色剂相混合（炭黑和群青例外），只能与透明性好且遮盖力低的着色剂相混合，如酞菁系及耐晒艳红等。

(3) 荧光增白剂 荧光增白剂是一类能吸收紫外线从而产生极明亮蓝紫色荧光的白色染料，它能消除白色塑料制品的微黄光，从而提高其白度。适用于塑料的荧光增白剂主要有 PEB 和 DBS 等。

1) 荧光增白剂 PEB。黄褐色粉末，不溶于水、乙醚、石油醚，可溶于苯、丙酮、氯仿、乙醇、醋酸等，在 170°C 短时间内受热不分解。在透明 PVC 中荧光增白剂的用量一般为 $0.05\% \sim 0.1\%$ ，不透明制品中为 $0.01\% \sim 0.1\%$ 。

2) 荧光增白剂 DBS。绿黄色粉末，分解温度 $>360^\circ\text{C}$ ，耐强酸、强碱，微溶于乙醇、二甲基甲酰胺、苯、甲苯、水等，无毒。适用于 PP、PS、ABS、PVC 等。

3) 荧光增白剂 Hostalux KSN。该增白剂是一种略带黄色的粉末，化学名称为二苯并恶唑衍生物，熔点大于 300°C ，热稳定性好，用于塑料及涤纶，能产生明显的增白光亮效果，同时带有偏蓝紫的色光，耐晒性能好。在塑料着色时，每千克塑料仅用 $0.02 \sim 0.30\text{g}$ ，若为透明制品，则用 $0.005 \sim 0.2\text{g}$ 。

2.10.3 塑料着色剂的选择原则

可用于塑料的着色剂品种繁多，不同的树脂，适用的着色剂品种不同。对于一个特定的塑料制品，选择合适的着色剂主要从以下几个方面考虑。

1. 着色力

着色力是着色剂以其本身的颜色影响整个混合物颜色的能力，用标准样品着色力的百分数表示。着色力取决于颜料本身的性质，相似色调的颜料，有机

颜料比无机颜料着色力强,同样化学结构的颜料,着色力取决于颜料粒子大小、形状、粒度分布、晶型结构。一般情况下细小粒子有较高的着色力,而且在某一值时有极大值,但太细时遮盖力下降。表 2-35 为部分着色剂的着色力。

表 2-35 部分着色剂的着色力

100 质量份氧化锌为基准	100 质量份铬黄为基准	100 质量份铁蓝为基准	100 质量份铬绿为基准
铅白 200	镉黄 33.3	群青 1200	氧化铬绿 480
锌钡白 7.7	镉黄 222 ~ 250	酞菁蓝 50	酞菁绿 50
硫酸铅 235.3	汉沙黄 20	—	—
锐钛型钛白粉 16.0	—	—	—
金红石型钛白粉 12.5	—	—	—

2. 遮盖力

着色剂的遮盖力是指其遮盖物体表面底色的能力。常以底色完全被遮盖时单位表面积 (m^2) 所需的颜料质量 (g) 表示。着色剂中的无机颜料遮盖力最大,而染料因其透明性而无遮盖力,要想使染料具有遮盖力,一般与钛白粉相混即可。颜料的遮盖力与着色塑料的折射率、颜料的吸光特性、粒径、晶型等因素有关。

3. 耐热性

耐热稳定性是塑料着色剂的重要指标,不同种类的着色剂耐热性不同,其大致耐热顺序为,无机颜料 > 有机颜料 > 染料。大多数无机颜料的耐热性都比较好,基本能够满足塑料加工要求,几乎可适用于所有树脂品种;有机着色剂的耐热性能较差;染料由于耐热性差,所以只适用于加工温度低的树脂品种,如 PVC、PMMA、PS 及热固性树脂。

另外,由于各种树脂的化学结构不同,在进行成型加工过程中要求不同的加热温度(软化点以上),温度的高低影响着色剂的选择。表 2-36 为树脂成型加工温度及对着色剂的要求。

表 2-36 树脂成型加工温度及对着色颜料的要求

树脂名称	加工温度/℃	对着色剂性能的要求
低密度聚乙烯	160 ~ 230	坚牢度优良、不迁移
高密度聚乙烯	150 ~ 220	耐热稳定性好、不迁移
聚氯乙烯	180 ~ 250	分散性好、坚牢、耐酸
聚苯乙烯	180 ~ 240	坚牢、溶解性好
ABS	230 ~ 310	耐热、分散性好
聚碳酸酯	150 ~ 200	耐热、分散性好、不含水
聚氨酯	210 ~ 270	耐光、耐酸、耐还原
聚甲基丙烯酸酯	200 ~ 230	坚牢、耐热、不迁移
聚酰胺	270 ~ 290	耐热、不含水、分散性好
聚酯	270 ~ 290	耐热、不迁移、不呈碱性

其他一些树脂的加工温度分别为，氟树脂 350℃；丙烯酸酯类树脂 180 ~ 200℃；有机硅树脂 180℃；酚醛树脂 150 ~ 160℃；环氧树脂 150℃；纤维素塑料 180℃等。可以根据不同的温度选用适合的着色剂。

使用金粉、银粉时，由于成型过程中易引起氧化，使制品色泽变暗，因此，应严格控制加工温度。

4. 耐光性

对于户外使用的塑料制品，要求具有良好的耐光性和耐气候性，而某些颜料在光的照射下，颜色会有不同程度的变化，其中无机颜料大部分具有良好的耐光性，仅少数品种在受光照射后，因其晶型或化学组成发生了变化而变暗。有机颜料受光照射后，会引起颜料分子构型的变化等，进而影响饱和度，甚至会褪色变成灰色和白色。

5. 耐酸、碱、溶剂、化学药品性

工业用塑料制品常用于贮存化学药品及用作输送酸、碱等的泵和管道，因此要考虑着色剂的耐酸、碱等性质。群青及镉系颜料着色的塑料制品不宜接触酸；铬黄则不宜接触碱。

着色塑料制品中着色剂的耐化学品性还应包括树脂分解产物，制品中其他的添加剂，如抗氧剂、分散剂等，以及使用环境中的洗涤剂、漂白剂等物质。

6. 迁移性

着色剂的迁移性是指其从树脂中渗出到制品表面，产生浮色的现象，它是衡量着色剂与树脂相容性的具体指标。着色剂的迁移性越大，同树脂的相容性越差。着色剂在塑料制品中的迁移性严重时，会出现起霜现象。一般可在制品制成半年后发生，PVC、PE、PP 最易起霜，而 PS、PMMA 不会起霜。一般染料和有机颜料的迁移性都比较大，而无机颜料的迁移性比较小。

着色剂的迁移性除与着色剂本身有关外，还与树脂分子链的刚性及分子间的紧密性相关，如 PVC 树脂中增塑剂用量增加时，分子间距离大，结构更为松散，因而迁移性增大。

7. 卫生性

着色塑料制品有的做成各种容器、薄膜盛装食物，有的做成玩具、医疗器械，因此必须重视着色剂的毒性问题。对于食品容器、包装薄膜、儿童玩具、医疗器械所用着色剂，各国均有标准规定其安全要求，若有必要可以进行毒性试验。一般着色剂中钛白粉、炭黑、氧化铁红、群菁、酞菁蓝、酞菁绿、永固红等无毒。

8. 混合相容性

塑料制品着色往往采用两种以上的着色剂配色，因此必须了解它们的混合相容性能，同时还需了解着色剂是否与树脂本身或其中的添加剂（助剂）起化

学反应。一般凡含铜、含铝的颜料与含硫的颜料混合后,颜色往往会变暗黑色。含铬颜料通常含有铅化合物,因此不能与含硫热稳定剂一起使用。有 Cu、Sn、Zn、Mn、Fe、Cr、Cd 等金属的着色剂易促进有些树脂分解。对于高活性树脂,如 PA 等,容易使着色剂改变颜色,因此,只有少数着色剂可供选择。

9. 需要拼色的着色剂的选择

- 1) 尽可能选用红、黄、蓝、白、黑五种基本颜色进行配色。
- 2) 尽可能选用性能相近的着色剂相互拼用,以免在制品使用过程中,耐热、耐光性较差的先发生结构或组成变化,造成色泽变化不一。
- 3) 不同着色剂之间的密度差别应不大。
- 4) 在具体配色时,尽可能选择明暗度有差别的同色彩的着色剂相拼,这样可以形成有主有次,明暗协调的颜色。
- 5) 着色剂之间不相互产生某种反应。
- 6) 注意不同着色剂之间的相互遮盖性。
- 7) 为提高色彩纯正度,拼色时可加入适量遮盖力大的白色,以遮盖其中少量的杂色。
- 8) 为提高色泽鲜艳度,拼色时可加入适量染料。
- 9) 同一配方中,着色剂的品种应尽可能少,以免带入补色,使色泽灰暗。

10. 树脂本身颜色的影响

- 1) 树脂本身透明,如要制品透明,选择着色剂也要透明,一般不用无机颜料,而用染料或有机颜料,并可着成任何颜色;如不要求制品透明,可选择透明着色剂。
- 2) 树脂本身无色,可以配成任意颜色,如纯正白色。
- 3) 树脂本身浅色,只能配成浅色至深色,配成纯白十分困难。
- 4) 树脂本身深色,只能配成深色,如棕、褐、墨绿、深咖啡及黑色,配不成浅颜色。

2.11 抗静电剂

抗静电剂就是能防止或消除高聚物表面静电的一类物质。通常将其添加到树脂中或涂覆于制品表面,其作用是将高聚物的电阻率降低到 $10^{10}\Omega$ 以下,从而减轻高聚物在成型和使用过程中的静电积累。抗静电剂在塑料中耗用量最大的是聚烯烃树脂,其次是 PS 及 ABS,第三是 PVC。

2.11.1 抗静电剂的品种、性能和应用

抗静电剂的种类繁多,按使用方法可分为外涂型和内添加型两种,按化学结构可分为表面活性剂型、高分子永久型及导电填料三大类。其中,表面活性剂型抗静电剂又可分为阳离子型、阴离子型、两性型和非离子型。目前常用的主要是表面活性剂型。

1. 阳离子型抗静电剂

该类抗静电剂的阳离子通常是长链的烷基,阴离子为氧、硫酸酯基、硝基等。它们在极性树脂中,如硬质聚氯乙烯和苯乙烯类聚合物中效果很好,但对塑料的热稳定性有不良影响,而且一般都具有一定的毒性,不得用于与食物接触的制品中。这类抗静电剂主要包括胺盐、季铵盐、烷基咪唑啉及其盐类等化合物。其中以季铵盐类抗静电剂应用的最多,它与树脂有较强的附着力,抗静电性能优良,热稳定性较阴离子型抗静电剂好。

(1) 抗静电剂 SN 即二甲基羟乙基硬脂酰胺代乙基季铵硝酸盐。淡黄色液体, pH 值 4~6, 180℃ 开始轻微分解, 250℃ 剧烈分解。可用于 PVC、HIPS、ABS、PE、PP、PET 及 PBT 中, 用量为 0.5%~2%。

(2) 抗静电剂 LS 即(3-月桂酰胺丙基)三甲基铵硫酸甲酯盐。白色结晶粉末, 抗静电效果好, 热稳定性优良, 并与树脂相容, 235℃ 开始分解。常用于 PVC、PS、ABS、PE、PP 及 PU 中, 加入量为 0.5%~2%。

(3) 抗静电剂 TM 即三羟乙基甲基季铵甲基硫酸酯。淡黄色粘稠油状液体, 易溶于水, 有吸湿性, 一般用量为 0.5%~2%。使用时, 最好先配成母料再用。

(4) 抗静电剂 SP 即二甲基羟乙基硬脂酰胺代丙基季铵磷酸二氢盐。淡黄色透明液体, pH 值 6.3~7.2, 在树脂中加入量为 0.5%~1.5%。

(5) 抗静电剂 SH—105、SH—102 是一种季铵盐型阳离子表面活性剂, 外观为淡黄色粘稠透明液体, 分解温度 264℃, 可用于 PVC 中, 抗静电效果好, 用量为 5~7 质量份。

2. 阴离子型抗静电剂

该类抗静电剂通常是烷基磺酸、磷酸或二硫代氨基甲酸的碱金属盐。由于其耐热性差, 混入树脂中抗静电效果不太好, 所以用量远远小于阳离子型抗静电剂, 主要用于聚氯乙烯和苯乙烯类树脂中。它们在聚烯烃类树脂中的应用效果与阳离子抗静电剂相似, 大部分用作外处理型抗静电剂。在阴离子抗静电剂中, 烷基磺酸钠已广泛应用于苯乙烯系树脂、PVC、PET 和 PC 中, 另外聚合型阴离子抗静电剂, 如马来酸酐与其他单体共聚物盐类、聚丙烯酸盐、聚苯乙烯磺酸盐等与被处理的基料具有良好的粘附性, 是性能良好的永久性外处理抗静

电剂。

阴离子抗静电剂的主要品种有：抗静电剂 NP，即对壬基苯氧基丙基磺酸钠；抗静电剂 DPE，即对壬基二苯醚磺酸钾。

3. 两性型抗静电剂

该类抗静电剂主要包括季铵内盐、两性烷基咪唑啉盐和烷基氨基酸等。它们既有阳离子型活性剂作用，又有阴离子型活性剂作用，并可与这两种活性剂配合使用。两性型抗静电剂同阳离子型抗静电剂一样，抗静电效果好，同树脂的相容性好，但耐热性差，故在加工中受到限制。两性型抗静电剂可用于 PP、PE 及 ABS 中，一般不用于卫生要求较高的塑料包装产品中。

常用的两性型抗静电剂品种有烷基二羟乙基铵乙内盐、十二烷基二甲基季铵乙内盐、十二烷基二甲基甜菜碱、N-烷基氨基酸盐等。

4. 非离子型抗静电剂

该类抗静电剂分子本身不带电荷，而且极性很小，通常具有一个较长的亲油基，与树脂有良好的相容性，如乙氧基化脂肪族烷基胺是其代表品种。它们广泛应用于 PE、PP、ABS 和其他苯乙烯系聚合物中。现在生产销售的有好几种乙氧基化烷基胺，其区别在于烷基链的长度和不饱和度的大小。乙氧基化烷基胺是很有效的抗静电剂，即使是在相对湿度低的情况下亦然，而且长期有效。这类抗静电剂已获联邦食品医药管理局批准，应用于与食品间接接触的物品中。

其他商业上有价值的非离子型抗静电剂还有乙氧基化烷基酸胺，如乙氧基月桂酸胺、磷酸二月桂酯、单硬脂酸甘油酯（GMS）等。乙氧基月桂酸胺适用于在湿度小的环境里使用的 PE 和 PP，而且要求有速效、长效抗静电的场合。GMS 类抗静电剂则只用于加工过程中的静电保护。尽管 GMS 向聚合物表面迁移的速度快，但它不能像乙氧基化烷基胺或乙氧基化烷基酸胺那样发挥持久的抗静电作用。

5. 高分子永久型抗静电剂

该类抗静电剂主要是各种亲水性聚合物，加入到基体树脂中经加工成型制得聚合物合金型永久抗静电树脂。与低分子型抗静电剂相比，具有成型后效果显著、不挥发、不受接触污染、清洗后效果不降低等特点，缺点是要比低分子型抗静电剂的添加量大，成本较高。

高分子永久型抗静电剂有聚醚型、季铵盐型等，代表性的产品有 Ciba 的 Irgastat P 系列。

6. 导电填料

导电填料包括导电炭黑、碳纤维、金属及金属氧化物填料等。与表面活性剂类抗静电剂和高相对分子质量永久型抗静电剂相比，此类材料能够显著降低制品的体积电阻和表面电阻，并可使材料具有导电及电磁屏蔽作用，属于一类

强抗静电剂。通常应用于电磁波屏蔽制品等。

国内外抗静电剂主要生产厂家及产品见表 2-37 和表 2-38。

表 2-37 国内主要抗静电剂品种及生产厂家

商品名	生 产 公 司	适 用 树 脂
抗静电剂 SN	上海华溢塑料助剂合作公司	PE PP ABS PVC
ASA（ASB）系列	北京市化工研究院	PE PP BOPP ABS PVC PA
KJ-210	山西省化工研究院	PE PP ABS 软 PVC PS
抗静电剂 HZ-1	杭州市化工研究所	PE PP
JH-非离子型抗静电剂	济南市化工研究所	PP PE ABS
JS 系列	上海锦山化工有限公司	PP PE PET ABS PVC
HDC 系列	杭州临安德昌化学有限公司	PP PE ABS PVC 等
导电炭黑	自贡炭黑工业研究所	PE PP 等

表 2-38 国外抗静电剂生产厂家及其产品

商 品 名	生 产 公 司	适 用 树 脂
Atmer 系列	ICI Am 公司	PE PP PS ABS PU PVC
Cyastat 系列	Cytec 公司	PVC ABS
Eiec 系列	花王化成	PVC PE PP
Markstat	Wicto	POM PU
Lutostat	Henkel	PS
Glycolube 系列	Lonza	PP PE PVC PS
Zelec 系列	Du Pont	PP PE
Iragastat 系列	Ciba-Geigy	PE PP PS

2.11.2 抗静电剂的选择原则

抗静电剂的选择和添加量取决于聚合物的品种、性质、加工方式、加工条件、与其他助剂的关系、相对湿度和聚合物的最终用途。

1. 根据聚合物制品的最终用途选择抗静电剂

- 1) 对于一般抗静电用途，选用表面活性剂类抗静电剂。
- 2) 对于电磁波屏蔽用途，选用碳类填料、金属填料及导电聚合物等。
- 3) 当抗静电制品使用在干燥地区时，抗静电剂往往效果差或无效，最好的办法是加入导电性添加物，如炭黑、金属类等。
- 4) 对于无毒抗静电剂制品，要选用无毒抗静电剂，常用的品种有烷基胺环氧乙烷加合物、烷基酚环氧乙烷加合物、硬脂酸聚乙二醇酯、山梨醇酐月桂酸环氧乙烷加合物等。

2. 根据聚合物的品种选择抗静电剂

1) 极性树脂如 PVC、PS 等,一般选用离子型及亲水性高分子聚合物类抗静电剂。

2) 非极性树脂如 PE、PP 等,一般选用非离子型抗静电剂。

3) 对于透明性树脂,要控制抗静电剂的加入量,以免影响其透明性。如 PMMA,当抗静电剂 SN 用量超过 0.5% 后,即影响其透明性。

3. 根据聚合物的性质选择抗静电剂

1) 对于结晶性树脂,抗静电剂的加入量要比非晶性树脂大,因为抗静电剂一般存在于树脂的非结晶区,通过非晶区向制品表面扩散。

2) 对于加工温度高的树脂,要选用耐热性好的抗静电剂,如高分子型抗静电剂及炭黑等。

3) 玻璃化温度 (T_g) 低于室温的树脂,抗静电剂借助于分子微布朗运动向制品表面迁移,抗静电效果好,一般加入量少,此类树脂有 PE、PP 及 PA 等。

4) 玻璃化温度 (T_g) 高于室温的树脂,如 PVC、PC 等,在室温下无大分子布朗运动,处于冻结状态,妨碍抗静电剂迁移,抗静电效果差,因而抗静电剂的加入量大。

4. 抗静电剂与其他添加剂的关系

1) 季铵盐类抗静电剂容易络合 PVC 中的金属热稳定剂,从而影响其耐热老化性。

2) 光稳定剂中的镍猝灭剂会阻滞抗静电剂向制品表面迁移,因此在含有镍猝灭剂的配方中要加大抗静电剂的加入量。

5. 抗静电剂的协同效应

需要选用抗静电剂时,一般选用几种抗静电剂协同使用。

第3章 塑料原料的选用与配方设计

3.1 塑料原料的选用

塑料种类很多，已投入工业化生产的树脂达几百种，其中常用的近40种，而且每年都有新的品种不断出现。面对如此繁多的品种，如何正确地选择塑料材料，以满足制品使用性能和成型加工性能的要求，是一项比较复杂的系统工程。

3.1.1 选材原则

对塑料材料加以选择的目的是保证制品在使用过程中能正常发挥作用，有合理的使用性能、适宜的加工性能和最低的经济支出等。因此在选择塑料材料时，应参照以下原则。

1. 物理原则

塑料材料的各种物理性能应满足使用要求，主要指以下四点：

(1) 力学性能应满足使用要求 即要求在对制品工作运行时的受力类型和受力状态进行正确分析的基础上来选择材料。该指标是在选用塑料材料时都应予以考虑的。

(2) 热性能应满足使用要求 由于塑料制品在工作时均处在一定的环境温度下，故设计选材时，热性能是应着重考虑的性能之一。

(3) 电磁性能应满足使用要求 电气电子工业制品均为涉电制件，故在选材时必须考虑此性能的要求。

(4) 光学性能应满足使用要求 此性能对于通信光纤是至关重要的。

2. 化学原则

材料的化学稳定性应满足使用要求。由于塑料制品的种类多，工作环境千变万化，故应视制品的具体工作环境选材，以保证制品的正常工作。

3. 制造工艺原则

选用材料时，应充分考虑并满足材料对制造工艺的适应性。

4. 经济原则

选择材料时应考虑最大限度地降低塑料制品的成本，以达到最优化的经济效果。

5. 安全原则

针对电气电子工业制品的工作环境 with 特点, 主要涉及以下问题:

(1) 电气安全问题 涉电制品会因电压与电流过高而引起发热和局部过热, 严重时引起过热部分燃烧并导致火灾事故, 所以电气电子工业用塑料的绝缘性、耐电晕性、耐温性、阻燃性等性能指标都必须符合有关标准所规定的要求。

(2) 火灾安全问题 制品应满足防火及环境等安全性的要求, 因此所选材料要具有难燃性、自熄性、发烟量少且毒性小等特点。

(3) 卫生安全问题 有些制品, 如用作厨房用具的电器、食品包装材料等, 会直接或间接接触食品, 这类制品的选材应考虑材料本身的稳定性、毒性, 以及残余单体、添加剂、填料等的毒性和迁移性等, 选择符合卫生安全规定的材料。

3.1.2 选材程序

塑料品种繁多, 它们的性能又具有可变性, 因此, 塑料的选材常常要综合考虑各种性能 (包括工艺与成本) 和使用性能之间的关系。而某些性能数据, 如磨损性、冲击性尚不能完全预测其使用性, 有时又缺乏准确可靠的设计公式, 因此, 大多数塑料的选材过程是比较复杂的。为了能选择出性能和加工工艺均符合使用要求, 同时又尽量能恰如其分地量材使用的品种, 就要求采用系统、综合的分析方法来选材。

(1) 进行初步功能设计, 绘制制品形状草图 一个完整的设计过程, 应从构思、草图开始 (如图 3-1 所示)。选材在设计过程中是个关键步骤, 对于指定部件的选材, 最主要的是考虑部件的功能和决定部件功能的有关材料性能。同时还要考虑诸如部件的特点和禁忌、使用时的外界条件、有无临界条件、使用寿命和使用方式、维修方法、制品尺寸和尺寸精度、成型加工工艺、生产数量、生产速度、成本、原料来源和经济效益等。

(2) 充分考虑各种影响因素, 确定制品所要求的综合性能 设计中应充分考虑各种因素的影响, 防止产品在使用过程中出现故障或失效。这些因素包括两方面: 一方面是使用环境介质和环境条件, 如构件承受的载荷和自重, 冲击和振动等机械作用的影响; 接触的气体、液体、固体及化学药品; 暴露的大气环境 (气温、湿度、降雨、阳光、冰雪以及有害气体等) 的影响; 贮存环境条件和长期贮存的影响。此外, 除静态破坏影响外, 还要考虑摩擦升温、蠕变、成型收缩等引起的变形、应力松弛, 以及反复应变而引起的疲劳、高应变率引起的力学性能变化等。另一方面是搬运、运输或使用操作时, 制品可能受到外力作用, 甚至是意外的外力作用的影响。充分考虑这些因素才能明确所要求的综合性能。

(3) 根据产品产量, 确定制品加工工艺 了解生产数量是为了从经济上考

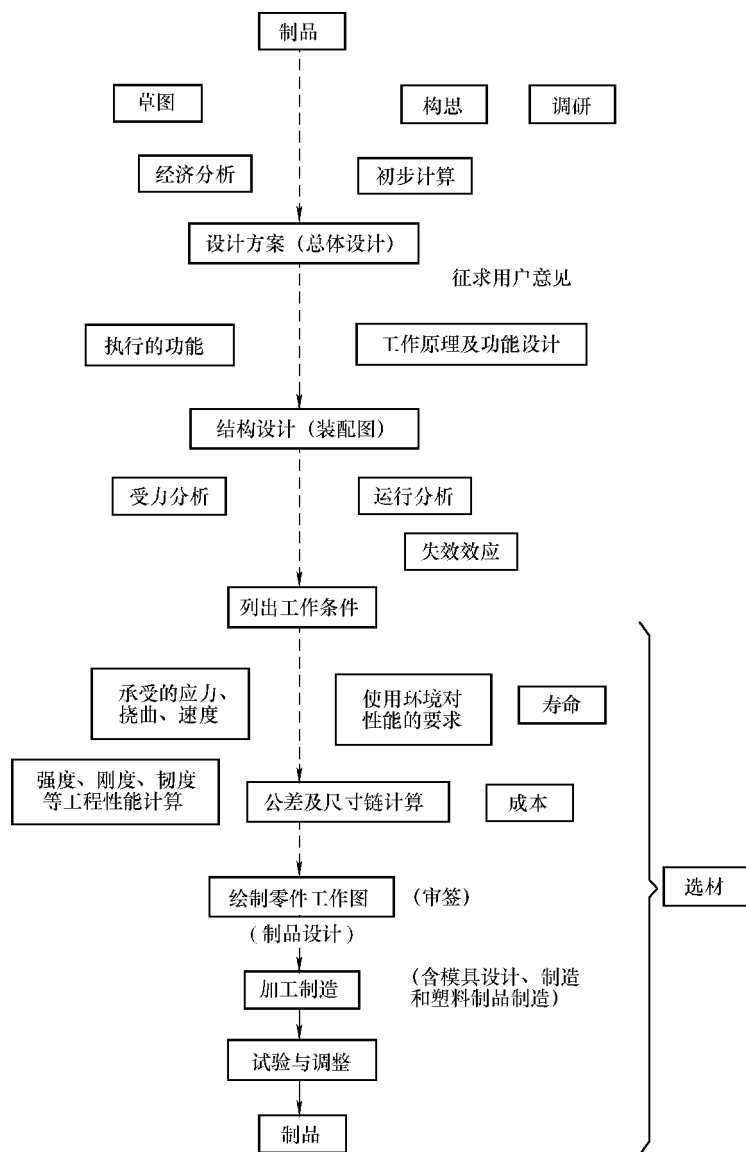


图 3-1 设计过程中选材阶段示意图

虑恰当的成型加工方法。比如所需数量是几个至几十个，就没必要制造模具，可直接用板材或棒材加工；需要数量是几百个左右时，可酌情采用简易模具或树脂-金属模、低熔点合金模等；当需要量更多时则应采用正规的模具成型。

(4) 形成制品设计选材方案，必要时加以评审 图 3-2 所示的选材程序示意图中列出了主要选材因素（材料性能、材料货源和经济核算）。这些因素的主次关系要根据实际要求而定，比如，设计的部件要急于使用，则考虑材料货源

是主要的；如要设计宇航零件，则性能因素是最重要的；如设计通用产品，则应综合考虑性能和成本。

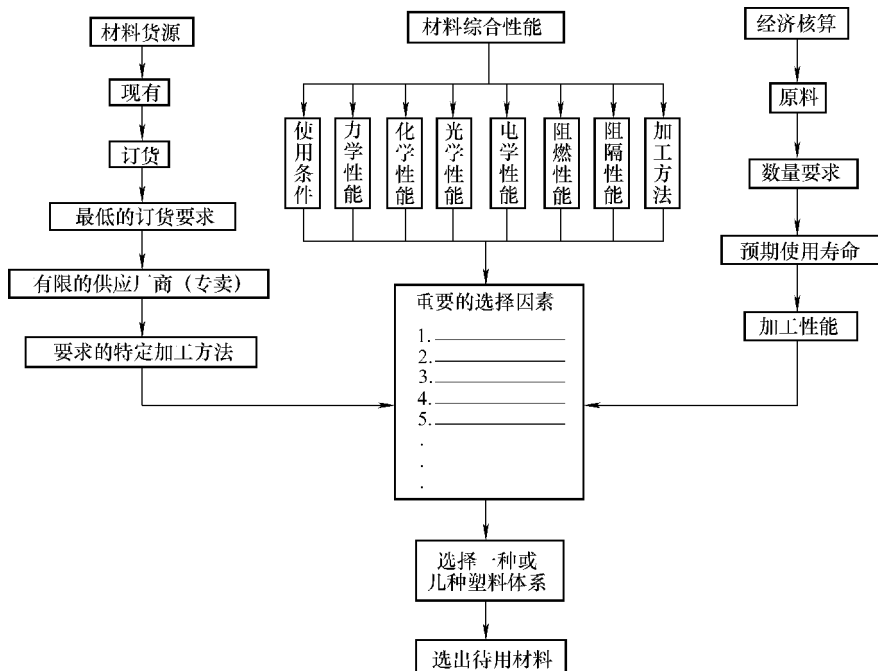


图 3-2 选材程序示意图

3.1.3 选材方法

1. 根据塑料原料的性能选材

树脂的性能是决定塑料用途最关键的一条。对于特定的塑料制品而言，都有特殊的性能要求。如塑料农膜，则要求耐候、耐光性好，透光性要高，还要有耐低温使用性；如要生产汽水瓶，一方面要求透明性要高，另一方面还要求有良好的阻隔性，使瓶内 CO_2 气体不逸出，同时又要求有良好的冲击性，不至于落地即破。对于树脂的性能，在选材时主要从以下几方面考虑。

(1) 树脂本身的性能 树脂本身的性能通常指树脂的力学性能，如拉伸强度、弯曲强度、冲击强度、自润滑性、刚性及耐磨性等；耐热性，如最高使用温度、最低使用温度；耐环境性能，如耐酸、碱性，耐溶剂性，耐氧化性，耐日光、紫外光、臭氧、二氧化硫、湿气、酸气等。比如，对于工业配件如轴承，要求原料具有耐冲击、耐磨、耐热、耐润滑油及自润滑性等性能；对于化工配件，则主要要求其耐腐蚀性好，能耐酸、碱液及各种溶剂。

(2) 树脂的适用性 主要指塑料的污染性及毒性。有些树脂本身或其添加剂具有低毒性，在医疗及食品包装方面的应用受到限制。如 PVC 中单体氯乙烯

(VC) 含量高, 则有低毒性, 所以用于医疗及食品方面时要求用无毒 PVC, 即 PVC 中 VC 单体含量要小于 10×10^{-6} , 而且要选用无毒助剂。PE、PP、PET、PI 等可用于医疗及食品的树脂毒性都十分低。

(3) 树脂的透明性 对于有些应用场合, 如农膜、光学仪器、灯具材料等, 要求树脂具有良好的透明性。但大部分树脂都不具有透明性, 有的也只是薄膜透明而制品不透明。

(4) 树脂的着色性 对于有些场合, 塑料外观也是十分重要的。有些树脂不易制成各种鲜艳的颜色, 限制了其应用范围。如有些树脂本身的固有颜色比较深, 如 PF、UP 等, 难以制成各种浅颜色, 只能制成黑色、棕色、深蓝等。又如氯化聚醚本身带稻草黄色, PSF 及 PPO 本身带琥珀色, EP 为黄色至青铜色等, 它们都很难制成白色制品, 只有 PS、ABS、MF 等可制成各种美丽的颜色。

(5) 树脂的成型收缩率 一般收缩率大的树脂, 产品精度不高, 但收缩率可以精确计算者例外, 如 PC 的收缩率虽为 $0.5\% \sim 0.7\%$, 但通过精确计算, 可以用于高精度产品的生产。一般情况下, 收缩率大的树脂进行玻璃纤维增强后, 收缩率可大大降低, 如 PP、PA 及 PBT 等。未增强的 PP 树脂, 因收缩率大, 难以用于工程塑件, 玻璃纤维增强后, 可广泛用于各种工业配件。常见树脂收缩率见表 3-1。

表 3-1 常见树脂收缩率

树脂品种	收缩率 (%)	树脂品种	收缩率 (%)
HDPE	1.5 ~ 3.6	PA610	1.2 ~ 2.0
PP	1.0 ~ 2.5	PA11	1.2 ~ 1.5
硬质 PVC	0.6 ~ 1.5	PET	1.5 ~ 2.0
PS	0.6 ~ 0.8	PBT	1.0 ~ 2.2
PMMA	0.5 ~ 0.7	PPO	0.7 ~ 1.0
ABS	0.3 ~ 0.8	PSF	0.5 ~ 0.7
PC	0.5 ~ 0.8	PI	0.5 ~ 1.0
POM	1.2 ~ 3.0	PF 压缩粉 (木粉填充)	0.6 ~ 1.0
PA6	0.8 ~ 2.5	PF (注射料)	1.0 ~ 1.3
PA66	1.5 ~ 2.2		

(6) 耐蠕变性能 有些树脂制成制品后, 产品精度很高, 可以满足要求。但在应用中, 受到外力作用时, 则发生变形, 影响原有的精度, 难用于工业配件。几种树脂在 70°C 下的压缩变形见表 3-2。从表中可以看出, PA 的压缩变形最大, 且随温度升高, 其压缩变形还会增大。因此, PA 难用于生产工业配套零件。而大多数树脂的耐蠕变性都很好。如 POM、ABS、PSF 及 PC 等, 可用于生产工业配套零件。

表 3-2 几种树脂的压缩变形

树脂品种	压缩变形 (%)	树脂品种	压缩变形 (%)
ABS	0.7 ~ 0.9	PA6	4 ~ 5
PC	0.6 ~ 0.8	PA66	3 ~ 4
POM	1.0 ~ 1.2	PSF	0.1 ~ 0.2

2. 根据塑料制品的用途选材

根据制品用途选材实质上是按制品的性能选材，不同的用途，要求塑料制品具有不同的特性。塑料制品的性能通常包括力学性能、热稳定性、尺寸稳定性、耐化学腐蚀性、光学性能、气体阻隔性、电绝缘性等诸多方面。下面从塑料的几个主要应用领域出发，分析根据制品性能和用途进行选材的一般思路，在实际生产中应综合各方面因素，并经反复试验方能得到合适的材料。

(1) 制品的力学性能 对制品的力学性能要求需从三个方面考虑：一是受力的大小，可分为中低载荷和高载荷；二是受力的类型，有拉伸、压缩、弯曲、冲击、剪切等；三是受力的性质，包括固定载荷和间歇载荷。不同的制品因受力的情况不同，对塑料材料的力学性能要求也不同，见表 3-3。

表 3-3 塑料制品受力类型对材料力学性能要求

制品用途	力学性能要求
汽车保险杠、仪表等制品	冲击强度高
体育器材，单、双杠等制品	弯曲强度高
转动轴等制品	扭转强度高
轴承、导轨、活塞	耐磨损性好
螺栓等制品	剪切强度高
饮料瓶、上水管、煤气管	材料的耐爆破强度高
绳索、拉杆	拉伸强度高
垫片、密封圈	压缩强度高

在选材时首先要考虑塑料制品的受力类型和性质，结合使用环境，最终选取合适的塑料品种。举例如下：

1) 一般结构零件。主要包括螺母、螺栓、垫片、支架、管件、手柄、方向盘等，受力不大，一般为固定载荷，可选用硬质 PVC、HDPE、PP、HIPS 及热固性塑料；对力学性能要求较高的特殊场合可选用 PA、POM、PC 及玻璃纤维增强塑料。

2) 受间歇载荷作用的制品。如齿轮、齿条、链轮、链条、活塞环、凸轮等。这类制品要具有较高的抗弯、耐冲击、耐疲劳性，优良的耐磨性，一定的耐热性，对有些场合还要求有自润滑性，以保证长期使用中的性能稳定。常用

材料有 PA、GFPA、POM、PPO、PC、GFPC、GFPET、GFPBT、UHMWPE、PTFE、PEEK、PI 及布基酚醛等。

(2) 制品的热性能 衡量制品耐热性能好坏的指标有热变形温度、马丁耐热温度、维卡软化点和玻璃化转变温度 (T_g) 等, 其中以热变形温度最为常用。同一种塑料上述耐热性指标数值并不相同, 一般关系如下: 维卡软化点 > 热变形温度 > 马丁耐热温度, 见表 3-4。

表 3-4 塑料材料的热性能

材料	线膨胀系数 / $(\times 10^{-5} \text{K}^{-1})$	比热容/ [kJ/(kg · K)]	热导率/ [W/(m · K)]	维卡软化点 /℃	热变形温度 /℃	马丁耐热温 度/℃
PMMA	4.5	1.39	0.19	120	100	—
PS	6 ~ 8	1.20	0.16	105	85	—
PU	10 ~ 20	1.76	0.31	—	—	—
PVC	5 ~ 18.5	1.05	0.16	—	—	—
LDPE	13 ~ 20	1.90	0.35	95	50	—
HDPE	11 ~ 13	2.31	0.44	120	80	—
PP	6 ~ 10	1.93	0.24	110	102	—
POM	10	1.47	0.23	141	98	55
PA6	6	1.60	0.31	180	70	48
PA66	9	1.70	0.25	217	71	50
PET	—	1.01	0.14	—	98	80
PTFE	10	1.05	0.27	110	260	—
EP	6	1.05	0.17	—	—	—
PSU	3.1	1.05	0.17	180	185	150

根据热变形温度的大小, 可把塑料的耐热性分成四种类型, 见表 3-5。应注意的是影响塑料耐热性的因素很多, 热变形温度是在一定负载下测得的数据, 负载不同, 塑料的耐热性相差甚远, 并不能完全代表材料的使用温度。

表 3-5 部分塑料品种的耐热性

耐热性	品 种
低耐热类塑料, 热变形温度小于 100℃	PE PS PVC PET PBT、ABS、PMMA、PA
中耐热类塑料, 热变形温度 100 ~ 200℃	PP PVDC PSU、PPO、PC
高耐热类塑料, 热变形温度 200 ~ 300℃	PPS、CP、PAR、PTFE、PEEK、PF (增强)、EP (增强)
超高耐热类塑料, 热变形温度大于 300℃	LCP、PI、聚羟基苯甲酰、聚苯并咪唑、聚硼二苯基硅氧烷

在根据制品的耐热性选取塑料材料时还应考虑下述问题:

1) 通过填充、增强、共混、交联改性的塑料,耐热性可大大提高。如 PA6 填充质量分数为 5% 云母,热变形温度由 70℃ 提高到 145℃,用质量分数为 30% 的玻璃纤维增强后可提高到 215℃;ABS 与 PC 共混后,热变形温度由 93℃ 提高到 125℃;HDPE 交联改性后,热变形温度由原来的 80℃ 提高到 90~110℃。

2) 充分考虑受热环境,如受热时间长短及受热介质等。如湿式耐热,应选用低吸水性塑料品种,而不宜选用 PA 类,以免高温降解;与化学物质接触应考虑塑料的耐蚀性。

3) 制品受热时的载荷大小。无载荷或低载荷时耐热性好,高载荷时耐热性低。

由于耐热性好的塑料品种价格较高,生产中应尽量选用通用塑料中耐热性好的品种,或通过改性来达到较高的耐热性要求。

(3) 制品的化学稳定性 制品的化学稳定性包括耐化学药品性、耐溶剂应力开裂性、耐环境应力开裂性。影响塑料材料化学稳定性的因素很多,材料因素主要有化学组成、聚集态和所含助剂;环境因素主要有温度、湿度、受力状况等。

对一些大分子中存在酯基、酰胺基、醚基及硅氧基的塑料,在酸、碱及水存在的环境中,易发生水解反应。如 PET 不耐酸、碱及高温水;PA 易吸湿,不耐酸;PF 和 UP 不耐碱;而 PVC、PE、PP 及 PS 等树脂的耐酸、碱、水性均很好。大分子主链或支链含有 $-\text{CH}_3$ 、 $-\text{C}_6\text{H}_5$ 基团,往往不耐汽油、苯、甲苯等非极性溶剂。对于强氧化剂(如浓硫酸、浓硝酸和王水等),除 PTFE 外,其他塑料品种几乎均易受到侵蚀。溶剂介质的腐蚀主要与塑料的溶度参数有关,这在非晶塑料的选用中尤其重要。综合来看,常用塑料的耐化学腐蚀性可表示为:氟树脂 > 氯化聚醚 > PPS > PVC、PE、PP > PC、PET、POM、PA、PSU、PI > PF、EP、UP。

在塑料防腐材料的实际选用中要针对介质的种类、状态、浓度、温度及氧化性,视制品的受力及强度要求,以及成本和成型加工等各方面因素,做出综合评定,最终选取合适的塑料材料。

(4) 制品的光学性能 材料光学性能的指标常用透光率、雾度、折射率等来表征。一般纯净的无定形塑料,大都无色透明,结晶高聚物的结晶度越大,透光性和透明性越差。但通过加入成核剂和拉伸等方法改变结晶结构,可获得透明的结晶塑料制品,如 PET 和 PP 双轴拉伸薄膜等。

除透明性外,在选用中还应注意制品的应用场合和具体要求。用于光盘材料时要求其性能受环境影响小,耐蠕变性能好,具有长期的力学稳定性;用于隐形眼镜时则要求高度稳定的光学性能,高吸水率,高透氧性,卫生无毒,生

理相容性好，柔软而有弹性。常用透明塑料选用实例见表 3-6。

表 3-6 常用透明塑料材料的选用举例

用途	选用品种
日用透明材料	透明包装：PE、PP、PS、PVC、PET
	透明片、板类：PP、PVC、PET、PMMA、PC
	透明管类：PVC、PA
	透明瓶类：PVC、PET、PP、PS、PC
光学镜片	眼镜、透镜、放大镜、望远镜、隐形眼镜，选用 CR-39 ^① 、HEMA ^② 、PC、PMMA 等
其他	照明器材类：PS、AS、PMMA、PC 等
	光纤材料：PMMA
	有机玻璃类：PMMA、PC
	光盘材料：PC、PMMA、EP、PETG、茂金属聚烯烃（mPE、mPP）

① 二甘醇双烯丙基碳酸酯。

② 聚甲基丙烯酸羟乙酯。

（5）制品的阻隔性 是指制品对气体、液体、香味、药味等具有的一定屏蔽能力，一般用透过系数来表征，即一定厚度（1mm）的塑料制品，在一定压力（1MPa）、一定温度（23℃）、一定湿度，单位时间（1d = 24h）、单位面积（1m²）内透过小分子物质的体积或质量，通常以透过 O₂、CO₂ 和水蒸气三种小分子物质为标准。塑料的透过系数越小，阻隔性能越好。几种阻隔性能较好的塑料品种的透过系数及其应用见表 3-7。

表 3-7 几种塑料的透过系数及其应用举例

塑料品种	透过系数			应用举例
	O ₂ /[cm ³ ·mm /(m ² ·d·MPa)]	CO ₂ /[cm ³ ·mm /(m ² ·d·MPa)]	H ₂ O/[g·mm /(m ² ·d·MPa)]	
EVOH ^①	0.1~0.4	1.56	20~70	保鲜包装材料
PVDC	0.4~5	1.2	0.2~6	防潮、保鲜、饮料包装
PAN ^②	8	16	50	保鲜、饮料包装
PEN ^③	12~22	—	5~9	食品及医用、饮料包装
PET	49~90	180	18~30	碳酸饮料包装
PA6	25~40	150~200	150	食品及肉类包装
PA66	15~38	50~70	—	食品及肉类包装

① 乙烯-乙烯醇共聚物。

② 聚丙烯腈及其共聚物。

③ 聚苯二甲酸乙二醇酯。

选择阻隔性塑料时，除要考虑阻隔性大小外，还应考虑制品的环境适应性、

加工性能和成本高低等因素。在实际选用中可采用多种材料复合的方法,如 LDPE/PP/LDPE、LDPE/PET/LDPE、PE/EVOH/PE、PP/EVOH/PP、PE/PA/PE、PP/PA/PE、BOPP/PP 等,以求得性能、加工及成本等诸方面的平衡。也可通过拉伸、共混、表面电镀、表面涂覆、表面化学处理等来提高塑料的阻隔性能,以满足不同的包装要求。

(6) 制品的电性能 可以用介电常数、体积电阻率、介电强度、耐电弧性等参数表征。总体来说,塑料材料的电性能优异,而且品种多,适应于不同电性能要求的场合。

塑料都是优良的电介质,介电常数较小,但不同塑料介电常数也有明显差别。非极性塑料介电常数在 $1.8 \sim 2.5\text{F/m}$ 之间,如 PE、PP、PS、FA;弱极性塑料在 $2.5 \sim 3.5\text{F/m}$ 之间,如 PMMA、PBT、PET、PC;极性塑料在 $3.5 \sim 8\text{F/m}$ 之间,如 PVC、PF、PA 等。作为绝缘电线电缆等为减少能量损耗宜选用介电常数较小的塑料品种,用作电容器则可选用介电常数稍大的品种,目前常用于电容器的是双向拉伸 PP 和 PET 薄膜。

电阻率有表面电阻率和体积电阻率,作为绝缘材料一般电阻率应大于 $10^{10}\Omega \cdot \text{cm}$ 。塑料材料的电阻率绝大多数符合绝缘材料的要求。一般用途的电线电缆可选用 PVC;对于高频高压场合,需选用电阻率高、介电常数小、高介电强度的 PE 和 XLPE;硬质制品可选用 HDPE、PP、PTFE、PI 等;作为电工类绝缘材料和制品(如闸盒、继电器、接触器、封装材料等),要求有较高的介电强度、耐电弧性和耐热性,一般选用热固性塑料,常用氨基塑料、酚醛塑料和环氧塑料等;在电子工业,对各种元器件除电气性能要求外,还对力学性能、耐热性和成型加工性能有较高的要求,可根据具体情况选用,常用的塑料品种有 PP、PA、PC、POM、PET、PBT、PSU、PPS、PI、PTFE 等。

(7) 制品的燃烧与阻燃性 塑料是有机化合物,分子内含有大量碳、氢等可燃元素,有些品种易燃,阻燃性差。但大分子结构中若含有卤素及氮、磷、硫等原子或主链结构中含有芳环类,则材料具有一定的阻燃性或自熄性。一般塑料的燃烧与阻燃性能可用氧指数(OI)表征。OI $< 22\%$ 属易燃塑料,OI 在 $22\% \sim 27\%$ 之间为自熄性塑料,OI $> 27\%$ 为阻燃性塑料。常用塑料的 OI 值见表 3-8。

对于要求制品阻燃的场合,除可根据制品的性能选用阻燃塑料品种外,还可采用添加阻燃剂的方法来达到阻燃的目的。

3. 根据塑料制品的成本选材

经济适用性是塑料选材中的一个重要因素,只有物美价廉的制品才具有市场竞争力。塑料制品的成本主要包括原料价格、加工费用、使用寿命、维护费用几方面。

表 3-8 常用塑料的 OI 值

塑料	OI (%)	塑料	OI (%)
POM	14.9	PA66	24.3
PU	17	PC	24.9
PMMA	17.3	软质 PVC	26
PE	17.4	PA6	26.4
PP	18	PF	30
PS	18.1	PPO	30
ABS	18.2	PSF	32
EP	19.8	PI	36
PBT	20	PPS	40
PET	20.6	PBI	58
氯化聚醚	23	PTFE	95

(1) 原料价格 制品成本中原料价格占的比例最大, 占注射制品的 60% ~ 70%、挤出制品的 70% ~ 80%。一般市场上常见的通用塑料的价格都比较低, 如 PP、HDPE、PS、PVC、LDPE、LLDPE、PET、PF、EP 和 UP 等, 属于低价格一类; 而工程塑料, 如 ABS、EVA、POM、PMMA、PBT、PA6、PA66、PA610、PC、PPO 及 PU 等是中等价格一类; 一些特种塑料, 如 PTFE、PPS、PEK、PEEK、LCP、阻隔树脂、耐热树脂等为高价塑料。因此, 我们在选用时, 首先考虑如下五点:

- 1) 通用塑料可不可以选用, 如果可以, 则尽量选用通用塑料。
- 2) 如通用塑料大部分性能可以满足需要, 而只有小部分性能不能满足需要, 则可以通过改性来提高其性能, 这样既可满足需要, 成本又没有太大提高。
- 3) 如通用塑料通过改性也满足不了需要, 则考虑选用工程塑料。
- 4) 如工程塑料也有几项性能满足不了要求, 则通过玻璃纤维增强改性, 使其满足需要, 成本提高不大。
- 5) 工程塑料也满足不了要求, 则必须选择功能树脂。

对于已选树脂, 降低树脂成本的方法主要有两种。

第一种, 添加填料。在不影响使用性能要求的前提下, 应尽可能加一些填料, 降低成本。常用的填料有 CaCO_3 、滑石粉等, 详见第 2 章。

第二种, 共混。高价格的树脂往往可以共混一些价格比较便宜的通用塑料品种, 如在工程塑料中混入一些 HDPE 及 PP 等, 可降低成本。具体实例有 ABS-PS、ABS-PVC 等。

实际上, 同一种塑料不同规格和牌号的品种之间, 性能和价格也有较大差异, 应引起注意。

(2) 加工费用 主要包括设备成本、加工能耗和废品废料等,是制品成本的重要组成部分,因此,应尽量以低加工成本来完成制品。

1) 设备成本。生产中尽量选用现有设备。如要生产农用大棚膜,可选用 LDPE、LLDPE 和 PVC 树脂。这三种树脂的价格、性能及来源都相差不多,而加工方法则不同,LDPE、LLDPE 常用吹塑方法成型,PVC 则常用压延方法成型。若工厂现有压延机,则选用 PVC 为原料;若有挤出机,则选用 LDPE、LLDPE 为好。同时,不同的加工方法,加工设备的价格不同,从减少投资来看,应依次选择下列方法:真空吸塑成型、压制成型、中空吹塑成型、挤出成型、注射成型、压延成型。

2) 加工能耗。主要是指在成型加工中因加热和提供动力而消耗的电能。一般工程塑料成型前需进行干燥处理,成型后制品易残留内应力而要求进行后处理,相应能耗就会增加。通用塑料较少需要干燥处理和后处理,能耗较低。此外,成型加工温度较高的塑料品种,如 PC、PSU、PPO 等加工能耗也会增大。

3) 废品废料。塑料加工废料产生率因成型方法不同而不同,具体顺序如下:真空吸塑成型>中空吹塑成型>注射成型>压延成型>压制成型>挤出成型。其中真空吸塑成型产生废料最多,如成型一次性口杯废料率高达 30%。生产中的废料应尽量重新利用,以提高材料的利用率,降低原料成本。

(3) 使用寿命。对于非一次性使用的塑料制品,使用寿命的延长就意味着价格的降低。如普通大棚膜一般使用一季,长寿大棚膜可使用两季,尽管后者的售价是前者的 1.5 倍,但在整个使用寿命期限内采用长寿大棚膜价格却降低了 25%。选用合适的塑料原料,对塑料进行稳定化处理均可延长制品的使用寿命,但制品的售价往往会提高。

4. 根据制品的使用环境条件选材

使用环境是指材料或制品在使用时所经受周围环境的温度、湿度、介质等条件,以及风、雨、雪、雾、阳光及有害气体等因素的影响。所以,在塑料选材时,应考虑拟选用材料对环境的适应能力。

(1) 环境温度 塑料材料的性能对温度有较大的依赖性,常用塑料品种的使用温度大多在 150℃ 以下,环境温度超过 150℃ 后只有增强塑料和特种工程塑料可选。在具体选用时应注意环境温度不能超过塑料的使用温度和脆化温度。

(2) 环境湿度 环境湿度对塑料的性能影响不大,但对易吸湿性塑料品种,如 PA 类等则有较大影响,吸湿后会使力学强度、电性能和尺寸稳定性下降。

(3) 接触介质 塑料制品与大气、水、化学药品、生物、食品等接触,其性能会发生一定变化。如与化学药品接触会受到腐蚀,与微生物接触会产生生物降解等,因而在塑料材料选用中应针对不同的接触介质选用不同的品种。另

外,当塑料用于与食品及与人体等接触的物品时,要求其卫生、无毒,尤其是长期用于与人体接触或需植入人体内用作人体器官的医用塑料制品,除要求绝对无毒外,还要求与人体的生理相容性好,无副作用。

对于长期在户外使用的塑料制品,如大棚膜、汽车保险杠等需加入稳定剂来提高其耐候性。

5. 根据塑料制品的特殊要求选材

(1) 铰链制品 要求选用的原料耐疲劳性能好,常选用 PP,也可以选用 PA、POM、PET、PE 及 PEVA 等,一般不选用 PC。

(2) 带嵌件制品 有些树脂不易放入嵌件,如 PS、PP 及 POM 等,这些树脂生产的塑料制品容易产生应力集中,并且对缺口敏感程度大。

(3) 厚壁制品及大平面制品 不宜选择收缩率大的树脂品种,收缩率太大,制品容易产生翘曲和凹痕。

(4) 不准加润滑油的场合 要求树脂具有自润滑性,具有自润滑性的树脂有氟树脂、PA、POM 及 PI 等,它们常用于无油真空泵及拉链等制品。

6. 根据塑料原料的来源选材

在选择树脂时,要考虑所选原料是否容易得到,尤其对几个价格相近的树脂品种,要尽可能选择来源广泛的树脂。在具体选择时,主要从以下几个方面考虑:

- 1) 尽可能选用本工厂库存的原料。
- 2) 尽可能选用通用塑料,因为通用塑料生产厂家多,容易买到。
- 3) 尽可能选用市场上不紧俏的树脂。
- 4) 尽可能选用产地近、运程短的树脂,以节省运费。
- 5) 尽可能选用国产树脂品种,以节省关税和运费。
- 6) 最后才选择进口树脂。

7. 根据计算机辅助设计专家系统选材

随着计算机技术的应用越来越广泛,给塑料制品设计及塑料材料选择带来了福音。计算机辅助选材是建立在塑料品种的性能数据库和全面分析制品使用条件和环境的基础上的,因而数据库的大小和准确性、输入制品使用条件和环境的可靠性,以及能否兼顾制品的加工、成本、安全、外观等因素,就成了其选材是否成功的关键。由于计算机辅助选材涉及面广,影响因素复杂,各方面情况波动大,目前还难以代替人工选材,但正在不断地发展和完善中。目前,有关选材方面的国产化支持软件已逐渐成熟并开始应用。

总而言之,要给塑料制品选择一个合适的树脂原料,是一项十分复杂的工作,要考虑很多方面的因素,进行归纳和综合评价,最终选出所需材料。

3.1.4 选材步骤

- 1) 分析制品使用环境、影响因素及其相关塑料性能和加工性,筛选出几种材料。
- 2) 通过经验分析、专家分析或计算机模拟分析,从中选出候选材料。
- 3) 通过实际试制,制造出样品,在类似使用条件下进行模拟试验或进行理化测试,根据测试结果对比性能、确定材料。
- 4) 进行制品样品设计与试制。
- 5) 测试制品物理化学性能和动态性能,依据测试结果评价材料。
- 6) 确定材料技术规格和检验方法。
- 7) 形成选材方案,必要时加以评审。

有时上述步骤可以缩短,尤其是在制品要求简单或新制品与老制品的差别很小的时候。然而,有时选材步骤更为复杂,特别是在新产品开发应用时或在塑料所承受的应力很复杂的情况下,系统、综合的分析方法不仅是可靠的成功办法,而且是节省开发费用的途径。

3.1.5 选材注意事项

- 1) 必须对选用塑料的性能有较全面的了解,然后根据使用条件去考虑配方、工艺和制品设计等。
- 2) 塑料一般导热性低,选用和设计时要充分注意。
- 3) 塑料的线膨胀系数一般比金属大,有的易吸水,因此尺寸变化较大,选用和设计时要考虑恰当的配合间隙和公差范围。
- 4) 有的塑料有应力开裂的倾向,选用和设计时要尽量减少应力,制品设计要避免应力集中,或作适当的后处理,并要严格控制加工工艺。
- 5) 有的塑料有蠕变和后收缩或变形的倾向,选用和设计时应充分注意。
- 6) 各种塑料有一定的使用强度范围和允许接触的介质以及能承受的压力和速度极限,选用和设计时应该考虑。

3.1.6 选材实例

按前面介绍的选材方法,可以很顺利地选择到需要的原料。下面介绍一些选材实例,供读者参考。

1. 按塑料制品的一般用途选材

所谓一般用途,即各方面性能要求不高的一类制品,主要包括以下几个方面:

- (1) 塑料薄膜、片材、板材类产品

1) 塑料薄膜。塑料薄膜的类型和可选用的材料见表 3-9。

表 3-9 塑料薄膜的类型和可选用的材料

薄膜的类型	可选用的材料	备注
农用地膜	LDPE、LLDPE	其中 LLDPE 为超薄型
农用地棚膜	LDPE、LLDPE、PVC	
软包装膜	LDPE、LLDPE	
重包装膜	PP、HDPE、LDPE	具体产品有背心袋、手提袋等
防潮包装膜	BOPP、PET	
阻氧包装膜	EVOH、PVDC	
日用膜	PVC	可印成各种花纹
光学膜	PET	用于胶片、磁带、色带
热收缩膜	PVC、LDPE	
扭结膜	HDPE、PVC	可代替玻璃纸，用于糖果包装
自粘膜	HDPE/EVA 共聚物	
双向拉伸膜	PP、PET	

2) 片材。一般片材主要有 PP、PVC；发泡片材主要有 PS。

3) 板材。一般板材主要有 PVC 板、ABS 板；透明板材有 PC 板、PMMA 板及 PS 板。

(2) 塑料管材类

1) 硬管。主要有硬质 PVC、HDPE、ABS，具体产品有上下水管、煤气管及输油管等。

2) 软管。主要有 LDPE、软质 PVC，其中软质 PVC 可为透明。

3) 透明管。主要有软质 PVC、PET、PC、PA。

(3) 异型材 主要有硬质 PVC、低发泡硬质 PVC 和低发泡 PS 等。如硬质 PVC 制塑料门窗、建筑装饰材料、家具等；低发泡硬质 PVC 和低发泡 PS 等制包装材料等。

(4) 中空制品

1) 不透明。主要为 HDPE、ABS、HIPS。

2) 透明。主要为 PVC、PET、PMMA、PC。

(5) 吸塑制品

1) 透明。主要为 PVC、PP、PS、PMMA。

2) 不透明。主要为 PVC、ABS、HIPS。

3) 发泡。主要为 PS、ABS、PVC。

(6) 纤维材料

1) 编织袋。主要有 PP、HDPE、LLDPE。

- 2) 打包带。主要有 PP、HDPE、PVC。
- 3) 撕裂膜。主要有 PP、HDPE。
- 4) 地毯。主要有 PP、PET。
- (7) 电缆料 绝缘级主要为 PVC、PA、PE；护套级主要为交联 PE、PA。

2. 按塑料制品的特殊用途选材

(1) 耐热塑料的选材

- 1) 耐热塑料的应用范围。较高温度下使用的电热部件、机械零件等。
- 2) 耐热塑料的性能要求。热变形温度高，力学性能好，而且随温度的增加变化不大。
- 3) 可供选取的树脂。增强 PA、增强 PBT、增强 PET、均聚 POM、EP、PF、MF、PSF、PPO、PEEK、PI、氯化聚醚等。耐热塑料的主要性能见表 3-10。常用塑料的耐热等级见表 3-11。

表 3-10 耐热塑料的主要性能

品种	拉伸强度/MPa	热变形温度/℃	备注
增强 PA	170	210	有自润滑性，不耐水
增强 PBT	120	240	—
增强 PET	110 ~ 130	210	—
增强聚醚	143	213	耐燃、透明
增强聚苯硫醚	137	260	刚性大、阻燃、无毒
均聚 POM	72	124	耐疲劳，耐磨
氯化聚醚	40	210	阻燃、耐候性好
聚苯醚	73	172	耐水性好
聚苯砜	72	205	阻燃、溶于酸性溶剂
聚芳砜	90	275	耐药品性好
聚酰胺酰亚胺	190	274	耐冲击、电性能好
聚酰亚胺	190	300	尺寸稳定性好
聚氨基双马来酰亚胺	100	320	电性能好
氨基塑料	80	180	表面光泽好
环氧树脂	70	230	电性能好
酚醛树脂	60	200	阻燃性好
热固性聚丁烯	—	250	电性能好、耐药品性好

表 3-11 塑料的耐热等级

耐热等级	塑料名称
70℃	PS、改性 PS、PVC、ABS、低温环氧复合材料、PMMA
90℃（Y 级）	LDPE、POM、PA1010、改性 PVC、改性 PMMA
105℃（A 级）	HDPE、氯化聚醚、PP、耐热 PMMA、MC 尼龙

(续)

耐热等级	塑料名称
120℃（E级）	木粉填充酚醛塑料粉、增强尼龙、PC、增强PP、聚苯醚、聚三氟氯乙烯、氨基塑料
130℃（B级）	矿物填充酚醛塑料粉、增强PC、芳香尼龙
155℃（F级）	聚砒、改性聚苯醚、DAP塑料、三聚氰胺玻璃纤维模塑粉
180℃（H级）	有机硅树脂、聚酯料团、增强涤纶
180℃以上（C级）	聚四氟乙烯、聚苯砒、聚酰亚胺、酚醛玻璃纤维模塑粉、聚芳砒、增强聚苯硫醚

(2) 耐蚀塑料的选材

- 1) 耐蚀塑料的应用范围。各种化工储罐、合成釜、化工设备，如耐酸阀门等。
- 2) 耐蚀塑料的性能要求。具有优良的耐蚀性，对所接触的溶剂、酸、碱、盐和水基本无影响或影响较小。
- 3) 可供选择的树脂。聚四氟乙烯、氯化聚醚、聚苯硫醚、PF、EP、HDPE及PP等。常用塑料的耐蚀性相对指数见表3-12。

表 3-12 常用塑料的耐蚀性相对指数

塑料品种	相对耐力					相对耐热性
	有机溶剂	酸类	碱类	盐类	氧化	
PE	5	10	10	10	8	1
PP	5	10	10	10	8	3
软质PVC	4	10	9	10	6	3
硬质PVC	6	10	10	10	6	4
PS	2	10	10	10	4	3
PMMA	4	9	7	10	4	3
ABS	4	9	8	10	4	3
POM	9	3	3	10	3	7
PC	6	7	1	10	6	8
PA66	7	3	7	10	2	6
聚酯	6	7	4	10	6	5
增强聚酯	6	7	4	10	8	6
聚四氟氯乙烯	10	10	10	10	10	9
聚三氟氯乙烯	10	10	10	10	10	8
烯丙基树脂（DAP）	8	10	8	10	6	8

(续)

塑料品种	相对耐力					相对耐热性
	有机溶剂	酸类	碱类	盐类	氧化	
增强 DAP	7	9	4	10	4	8
氯化聚醚	9	10	10	10	9	8
PU	8	6	6	10	4	6
环氧树脂	6	9	7	10	2	7
增强环氧树脂	6	9	7	10	2	8
酚醛树脂	9	10	3	10	3	8
增强酚醛树脂	9	10	3	10	4	10
醇酸树脂	7	8	3	10	5	6
呋喃树脂	10	10	10	10	2	8
三聚氰胺甲醛树脂	8	7	8	10	4	8
脲醛树脂	8	7	8	10	4	7

注：相对指数为1~10，数值越大，耐力越大。

(3) 耐磨塑料的选材

1) 耐磨塑料的应用范围。各类垫圈、垫片、密封材料，如缓冲环、密封圈及轴承、齿轮、滑轮等机械零件。

2) 耐磨塑料的性能要求。除耐磨性好外，还要求耐冲击性、压缩强度、耐疲劳性、耐溶剂和油性好，尺寸稳定性好，自润滑性好。

3) 可供选择的树脂。聚四氟乙烯、PA、POM、ABS 及超高相对分子质量聚乙烯等。耐磨塑料的主要性能见表 3-13。几种塑料对钢的摩擦因数见表 3-14。

表 3-13 耐磨塑料的主要性能

塑料品种	洛氏硬度	摩擦因数	热变形温度/℃	备注
聚四氟乙烯	R18	0.09	260	耐腐蚀性好
增强 PA	R121	0.15~0.34	210	强而韧
POM	R120	0.15~0.35	124	耐药性好、耐疲劳
ABS	R113	0.21	103	冲击性好

表 3-14 几种塑料对钢的摩擦因数

塑料品种	摩擦因数
聚四氟乙烯	0.05
共聚甲醛	0.15
聚碳酸酯	0.39
热塑性聚酯	0.13~0.23
聚酰亚胺（石墨粉）	0.24
聚氨酯	0.32（动摩擦），0.37（静摩擦）
酚醛树脂	0.16（动摩擦），0.26（静摩擦）

(4) 透明塑料的选材

1) 透明塑料的应用范围。各种灯具、光学仪器、医疗器械、工艺美术品及高档包装膜、瓶等。

2) 透明塑料的性能要求。透光率高、表面硬度高、抗冲击、耐药性好、加工性良好、能成型薄壁制品。

3) 可供选取的树脂。主要有 PMMA、PS、PC、PET，另外还有 PP、PVC、PE 透明膜。透明树脂的主要性能见表 3-15。

表 3-15 透明树脂的主要性能

品种	折射率	透光率（%）	洛氏硬度	备注
PMMA	1.49	93	M90	电性能及表面光泽好
PS	1.59 ~ 1.60	88 ~ 92	M70	着色性好、易加工
PC	—	93	M75	无毒、难燃
PET	1.64	90	R118	电性能好
PP	—	膜透明	R92	—
PE	1.51 ~ 1.54	膜透明	—	—
PVC	1.52 ~ 1.55	膜透明	—	—

(5) 绝缘塑料的选材

1) 绝缘塑料的应用范围。各种电缆、插头、插座、绝缘工具、电器配件等。

2) 绝缘塑料的性能要求。电性能好，如电阻要高，随着频率、温度、湿度的变化，电性能不变或变化不大，耐电弧、电晕性好，耐热、耐疲劳性好，阻燃性要好。

3) 可供选择的树脂。主要有氨基树脂、PF 树脂、环氧树脂、PVC、PBT、PC、PS、PP 等。电子工程中绝缘零件常用塑料见表 3-16，绝缘塑料的主要性能见表 3-17。

表 3-16 电子工程中绝缘零件用塑料

工作频率	应用举例	推荐塑料
高频	线圈骨架	聚丙烯、改性聚苯醚、聚砜（耐热要求高用）
	天线罩、辐射器填充物、介质片、带状线	聚苯乙烯泡沫塑料、聚氨酯泡沫塑料、蜂窝夹层结构玻璃钢、聚丙烯、聚砜、氟塑料、聚苯乙烯
	插头座	聚丙烯、聚乙烯、聚四氟乙烯
	吸收材料	含石墨、木粉填料的酚醛塑料粉、碳纤维增强塑料

(续)

工作频率	应用举例	推荐塑料
低频	骨架	聚丙烯、聚碳酸酯、增强聚碳酸酯、增强聚酯、玻璃纤维模压塑料粉、注射酚醛塑料粉、耐热要求高用聚砒
	接插件	聚砒、增强聚碳酸酯、湿热条件用 DAP 塑料
	开关	三聚氰胺注射料、聚酯料团、酚醛塑料粉、聚丙烯

表 3-17 绝缘塑料的主要性能

品种	热变形温度 /℃	相对介电常数 (60Hz)	体积电阻率 / (Ω · cm)	备注
氨基树脂	180	6.2 ~ 7.6	10 ¹²	坚硬，白色
EP	230	3.5 ~ 6.0	10 ⁸ ~ 10 ¹⁴	粘附性好
PF	200	5.0 ~ 13.0	10 ⁹ ~ 10 ¹²	—
PVC	80	2.45 ~ 3.1	10 ¹⁴ ~ 10 ¹⁶	阻燃好，电性能受温度影响
PS	105	—	10 ¹⁷ ~ 10 ¹⁹	透明，适于低温低频
PP	115	2.2 ~ 2.6	10 ¹⁶ ~ 10 ²⁰	—
PC	139	3.2 ~ 3.5	2.1 × 10 ¹⁶	透明
PBT	59	3.3 ~ 3.5	10 ¹² ~ 10 ¹⁴	—

(6) 发泡塑料的选材

1) 发泡塑料的应用范围。防振材料、隔音材料、隔热材料、弹力材料及轻质材料。

2) 发泡材料的性能要求。密度低，具有一定的强度，易于成型。

3) 可供选取的树脂。隔音类：酚醛树脂、PVC、氨基树脂；防振类：PU、PS；隔热类：酚醛树脂、PS、环氧树脂、PVC；弹性类：PU、PE、PVC、PA。泡沫塑料的主要性能见表 3-18。

表 3-18 泡沫塑料的主要性能

塑料品种	密度/(g/cm ³)	热导率 × 10 ⁻⁴ /[W/(m · K)]	耐温/℃	备注
聚苯乙烯	0.017	0.31	80	用于防振
聚氯乙烯	0.043	0.31	60	坚硬
聚氨酯	0.025	0.20	100	主要用于弹性材料
酚醛树脂	0.034	0.33	130	隔热，可用于漂浮材料
环氧树脂	—	0.27	100	夹心材料等
氨基树脂	—	0.14	110	吸音材料、防振材料等

(7) 壳体类塑料的选材

1) 壳体类塑料的应用范围。家用电器外壳、办公设备（如电话机、复印

机、传真机壳)、装饰材料、家具及儿童玩具等。

2) 壳体类塑料的性能要求。具有良好的冲击性能,表面耐磨性好,并可进行电镀、抛光处理,耐环境性能好,易着色,且色泽鲜艳,具有一定的硬度,易成型薄壁制品。

3) 可供选择的树脂。ABS、HIPS、PP、POM、PC 及氨基塑料。

3.2 塑料的配方设计

3.2.1 配方设计的目的

配方设计是指在原材料(即树脂)选定后,为进一步提高制品的使用性能,运用树脂的可配制性强的特点,在充分了解和分析塑料各组分功能特性的基础上,经合理计算或实验,选定组分用量的过程。对于特定的用途而言,有些性能优良,但成本较高;有些经济适用,但性能不佳;而有些性能和成本均能满足要求,但又难以成型加工。因此,需要通过塑料配方设计进行改性,使之在各方面均能满足应用与加工的要求。此外,开发一个新的合成树脂品种,通常需要几年甚至更长时间,而通过合成树脂与助剂的合理配合,在较短时间里即可得到所需要的塑料材料。由此可见,塑料配方技术是塑料工业获得新材料的主要手段。具体地说,塑料配方设计主要实现如下几方面的目的。

1. 改善成型加工性能

有些树脂品种本身的加工性不好,通过合理选择增塑剂、润滑剂和加工改性剂,可改善物料在成型加工中的流动性,防止熔体与加工机械表面的粘连。

PVC 树脂是典型的一种,其熔点与分解温度十分接近,在 PVC 熔化温度前已经导致热分解。因此,PVC 树脂在加工时,必须加入增塑剂,以降低其熔点;加入稳定剂,以提高其热分解温度,从而拓宽其加工温度范围。

LLDPE 的熔体粘度大,熔体流动不稳,导致难于加工出合格制品。在 LLDPE 加工时,也要加入合适的弹性体、低分子蜡等加工改性剂,以改善其加工性能。

对于一般树脂若进行适当的配方设计,也可提高制品的表面光泽度,起到节能增效的作用。

2. 改善制品的使用性能

制品使用环境千差万别,从而对制品的性能提出了多种多样的要求,通常单一品种的树脂性能很难满足,必须对某些性能进行改进,使之既能满足制品的使用要求和经济要求,又能满足成型加工的需要。另外,通过配方设计还可以在很大程度上弥补塑料本身的不足,赋予制品新的性能。

一般树脂的改性主要集中在如下几方面:

- (1) 外观性 指颜色、光泽等,主要用于日用品、装饰材料、玩具、仪器壳等。
- (2) 耐热 工业配件。
- (3) 耐磨 轴承、齿轮、垫片、刹车片、密封圈等。
- (4) 防老化 农膜、建材、装饰材料、日用品等。
- (5) 阻燃性 用于装饰材料、电缆、汽车配件、输气管等。
- (6) 抗静电性 用于仪器、仪表、地板、矿井下输气管、防爆制品、电器外壳等。
- (7) 导电性 电磁屏蔽、电导体等。
- (8) 阻隔性 用于啤酒、碳酸饮料包装,药品、香精包装,保鲜制品的包装。
- (9) 增强改性 工业配件等。
- (10) 增韧改性 用于汽车保险杠等要求耐冲击场合。
- (11) 降解改性 农膜、包装膜、手术线等。
- (12) 发泡改性 用于降重、隔热、隔音、高弹性、防振等场合。

3. 降低成本

合理的性价比是企业追求的目标。这就是说,树脂在满足制品性能要求时,价格越低越好。从塑料配方设计方面来说,主要是降低制品原材料成本,其途径大致有三个方面:一是选择成本较低的助剂,二是减轻制品质量,三是对相对价格较低的塑料材料进行改性,以替代价格较高的塑料品种及功能塑料。常用的填充、发泡、增强等功能化配方即属于此类。

3.2.2 配方设计的基本原则

1. 满足制品使用性能的原则

任何材料与制品都是为了应用而研制的。配方设计时,首先要考虑制品的应用环境,如在户外应用,在湿热条件下应用,在高温下应用,在受力状态下应用等,并根据应用环境,决定应用性能,选择性能适当的原材料进行合理的配方设计。对高密度聚乙烯(HDPE)桶而言,用于装油品时,要进行耐油改性;用于装碳酸饮料时,要进行阻隔改性;用于装光敏药品时,要涂成黑色。再如PP注射椅子,用在北方要进行低温冲击改性;用在矿井下,要进行抗静电、阻燃改性。

2. 满足制品设计性能的原则

在众多应用情况下,要求制品必须具备一定的形状和尺寸,以满足安装或有利于受力形式的需要,在某些结构中还要布置仪器或装置,要求留有一定的

空间等条件,这些条件是不能更改的。配方设计时必须遵守这些设计规定。作为配方设计的作用就是如何在设计范围内,通过合理设计充分发挥所选原材料各组分的功能特性,使之既满足制品设计的要求,又满足使用性能的要求。

3. 满足成型工艺条件要求的原则

满足成型工艺条件要求,就是要求配方能适应产品成型加工工艺、设备和模具的特点,使物料在塑化、剪切中不产生或少产生挥发和分解现象,同时使物料的流变特性与设备和模具相匹配。因此,在配方中对成型加工性能有较大影响的组分,如稳定剂、润滑剂、填充剂、加工改性剂、抗静电剂等,要在用量和品种上合理选用,使配方满足成型加工的要求。如PVC薄膜,可以用吹塑法和压延法两种方法生产。两种不同的加工方法,对润滑剂的要求不同。吹塑法常选内润滑剂,加入量少;而压延法常选外润滑剂,且加入量稍大。

4. 满足制品性价比平衡的原则

配方设计者通常追求产品的性能完美,而企业则更注重产品的经济效益,因而,时常造成有些配方由于成本过高而不能投入实际生产。由此可见,使配方具有合理的性价比是十分重要的。一般,在不影响或对主要性能影响不大的情况下,应尽量降低配方成本,保证制品的经济合理性,只有这样产品才有竞争力。

5. 满足用户需求的原则

用户是上帝,只有用户满意的商品才是好商品。选择廉价的原料组分,通过合理有效的配方设计,制备出物美价廉且用户称赞的商品来,这是配方设计务必遵循的重要原则。

3.2.3 配方设计的基本程序

配方设计的基本程序如图3-3所示。

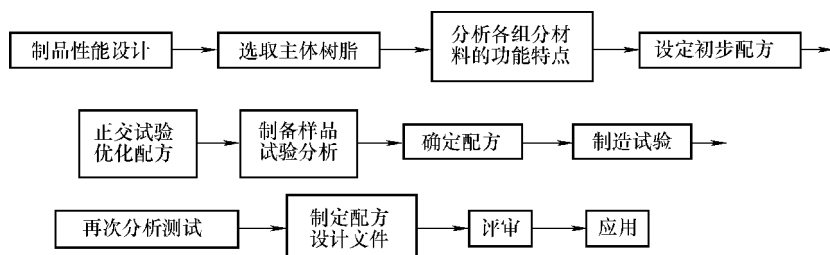


图3-3 配方设计的基本程序

1. 主体树脂的选取

主体树脂的性能决定塑料制品的性能和加工工艺。应根据制品设计性能、使用环境、使用性能、性价比和用户要求等各种因素条件来选取树脂,可选一

种也可选几种树脂,一般新产品开发要选几种树脂进行对比试验。

2. 分析各组分材料的功能特点

主体树脂选定后,根据树脂性能和在加工过程中对助剂的需求以及树脂性能改善和提高对增强材料、填料、增韧剂或改性剂的需求,在充分分析各组分功能特点的情况下,选取助剂和添加剂。各组分用量,应以满足主体树脂性能改善和加工过程需要为目的。选取的种类应尽量少,用量适宜,以降低成本和保证制品质量为准。

3. 设定初步配方

在上述分析研究的基础上,设计出初步配方,规定出各组分用量。若是开发新产品,用量设定应多取几个值,便于进行对比试验。通过优化设计选取最佳配方。

4. 正交试验优化配方

初步配方设计后,最好进行计算机仿真模拟制造,或实际制备,从各组分用量范围内,进行正交试验,优化最佳配方。

5. 制备样品试验分析

在各组分用量基本确定后,即可试制样品,将制备的样品进行静态和动态分析测试,看其结果是否满足制品设计性能指标。若能满足设计要求,配方设计基本成功,若不能满足制品设计要求,需进行重新设计。

6. 确定配方与试制

一旦配方确定后,便可进行试制,将试制样品进行静态和动态分析试验,验证配方的性能重复性和适应批量生产的能力。并制定出工艺规范。

7. 试制样品的分析测试

将试制样品进行各方面的分析测试,优化出关键性能指标和测试方法,制定出产品验收规范和测试标准等。

8. 制定制品文件和评审

将配方设计过程中形成的配方、测试方法、工艺规范以及制品验收和测试标准形成文件,经评审后指导生产。

3.2.4 配方设计方法

配方设计方法是指确定配方中各种助剂加入量的方法,涉及试验步骤安排、变量选择和变量范围的确定。一个配方中往往有很多组分,各组分之间还可能存在着复杂的化学作用和物理作用,因此,各组分之间加入量如何搭配,如何减少试验次数,节省工作量,以最低的成本、最高的工作效率确定最佳配方,是一项充满激情的工作。

1. 配方设计前的准备

(1) 充分了解各组分的功能特性 配方设计时, 配方设计人员首先应掌握并了解树脂和助剂的特性和功能, 特别是树脂。树脂是决定制品性能的主导因素, 决定制品的基本性能; 而助剂的性能对制品性能影响很大, 不同的助剂可以制造出用途完全不同的塑料制品来, 如弹性材料、导电材料、透明材料、耐磨材料等。

(2) 充分了解制品的性能要求

- 1) 制品设计的各项性能指标。
- 2) 制品的使用环境、使用方法及使用过程中可能发生的问题。
- 3) 市场信息、消费者的兴趣、爱好及销售趋势等。

(3) 充分了解所用的原材料

- 1) 原材料在配方中的作用与性质。
- 2) 原材料在配料混合时的相互影响, 发挥材料间的协同作用, 获得最佳效果。

- 3) 原材料的质量标准与检验规范。
- 4) 原材料的用量与制品性能、成型工艺的关系。
- 5) 各种原料的价格, 在不影响制品质量的前提下, 尽量降低成本。

(4) 对成型设备和成型工艺条件要有足够的认识

- 1) 物料在成型设备中的受热过程和受热行为。
- 2) 加工中的受力方式, 受力过程和受力行为。
- 3) 物料在成型设备中的停滞时间。
- 4) 机头、模具的结构特点与物料流变行为的关系等。

塑料成型方法很多, 即使同一制品也有几种不同的成型方法, 如注射、挤出、模压、浇注、缠绕、树脂传递模塑等。由于成型方法不同, 物料在成型设备中承受的压力、剪切应力、温度、时间也不同, 因此, 配方设计时应注意原材料的品种、用量, 以满足成型工艺的要求, 使成型顺利进行。

2. 配方设计方法

(1) 单变量配方设计方法 单变量配方是指只有一种助剂的用量对制品性能产生影响的配方。这类配方一般采用消去法来确定。消去法的原理是假定函数 $f(x)$ 是塑料制品性能指标, 它是助剂用量范围 (a, b) 内的单值函数, 即 $f(x)$ 在变量区间 (a, b) 内只有一个极值点, 这个点就是所要求的性能指标最佳点, 对应的助剂用量即为最佳配方用量取值。单变量配方设计方法较多, 常用的有以下几种:

1) 爬山法。也称逐步提高法, 适用于工厂小幅度调整配方, 对生产影响较小。具体做法是: 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。这样一步步向好的方向逐渐增加或减小助剂用量, 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, 即为配方的最佳用量。

该法的关键是起点位置、试验范围和步长的选择。起点和试验范围选得好, 可减少试验次数; 步长一般开始时大, 接近最佳点时改小些。

2) 黄金分割法。该方法是根据数学上黄金分割定律演变来的。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 (a, b) 的 0.382 处作第二次试验, 比较两点试验结果, 去掉“坏点”以外的部分, 对剩余部分照上述做法继续进行试验、比较和取舍, 由此, 可逐步缩小试验范围, 用较少的试验配方, 快速找出最佳用量范围。

该法的每一步试验配方都要根据上一次配方试验的结果决定, 所以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。应用该法可大大减少配方试验次数, 快速找到最佳配方。

3) 平分法。也叫对分法。采用平分法的前提条件是: 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, 还应预先知道该变量对制品物理性能的影响规律, 这样才能根据试验结果判断该原材料用量的多或少。

该法与黄金分割法相似, 只是在试验范围内, 每次试验都取在范围的中点, 根据试验结果, 去掉试验范围的一半, 再进行下一次试验, 直至逼近最佳点。此法试验速度快, 而且取点也极方便。

4) 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。前者是把每批试验配方均匀地同时安排在试验范围内, 将试验结果进行比较, 留下好的结果范围, 再做下一批试验, 找到最佳的配方范围。在窄小范围内, 等分的结果较好, 且又相当接近, 即可终止试验。这种方法的优点是试验总时间短、快, 但总的试验次数较多。后者的区别在于试验点不是均匀划分, 而是按一定比例划分。该法由于试验效果及试验误差等原因, 鉴别较困难, 当原材料添加量变化较小, 而制品物理性能变化显著时, 用该法较好。

5) 分数法。即斐波那契搜索法。该法是先给出试验点数, 或知道试验区间或精确度, 再用试验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。斐波那契数为 $1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, \dots$ (即后一个数是前两个数之和)。当以前一数为分子, 后一数为分母, 则得一批渐进分数: $1/2, 2/3, 3/5, 5/8, 8/13, 13/21, 21/34, 34/55, \dots$ 。如在试验范围内, 由一些不连续的, 间隔不等的点组成, 试验点只能取某些特定点时, 可用分数法进行试验, 将性能优选变为排列序号的优选, 得到理想结果。

一旦确定第一个试验点后,可用类似黄金分割法安排试验。

6) 抛物线法。是在用其他方法已将试验区间缩小后,希望更精确时采用。它是利用做过三点试验后的三个数据,作此三点的抛物线,以抛物线顶点横坐标作下次试验依据,如此连续试验而达目标。

(2) 多变量配方设计方法 在实际配方设计中,影响材料和制品的因素较多,常需要同时考虑几个因素,这就需要进行多变量配方设计。多变量试验设计方法较多,目前常用于塑料配方设计的是正交设计法和中心复合试验法。

1) 正交设计法。此法是一种应用数理统计原理进行科学地安排与分析多因素变量的一种试验方法。其优点是可大幅度减少试验次数。因素越多,减少程度越明显。它可以在众多试验次数中,优选出具有代表性的试验,通过尽可能少的试验,找出最佳配方和工艺条件。有时最佳配方可能并不在优选的试验中,但可以通过试验结果处理,推算出最佳配方。下面简单介绍正交设计的一般实施方法。

① 根据制品用途制定配方性能指标体系。性能指标体系是指配方所得到的材料和制品最终的性能指标,是检验配方是否满足设计要求的依据,也是多变量配方设计最终选择最佳配方的依据。指标体系应由配方设计人员根据制品用途和有关标准认真制定。

② 选择合适的正交表。正交设计的核心是正交设计表,简称正交表。一个典型的正交表可由下式表达:

$$L_M(b^K)$$

式中 L ——正交表的符号,表示正交;

K ——影响试验性能指标的因素,称为因子,即变量的数目;

b ——每个因子所取的试验数目,一般称为水平;

M ——试验次数,一般由因子和水平数确定,例如,二水平试验,通常 $M = K + 1$,三水平试验 $M = b(K - 1)$ 。

上述规律并不全部适用,有时也有例外,具体可参照标准正交表。常用的典型正交表有:

二水平: $L_4(2^3)$ 、 $L_8(2^7)$ 、 $L_{12}(2^{11})$ 等;

三水平: $L_6(3^3)$ 、 $L_9(3^4)$ 、 $L_{18}(3^7)$ 等;

四水平: $L_{16}(4^5)$ 等。

具体正交表排布参见表 3-19 ~ 表 3-23。

正交表的选用没有严格规定,表选得太小,要考察的因子和水平放不下;选得过大,试验次数又太多。一般情况下,应尽量选用较小的正交表,以减少试验次数。对于影响因素较多的配方,设计者可根据专业知识和经验进行取舍。

表 3-19 二水平 $L_4 (2^3)$ 正交表

试验号	列 号		
	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

表 3-20 二水平 $L_8 (2^7)$ 正交表

试验号	列 号						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

表 3-21 二水平 $L_{12} (2^{11})$ 正交表

试验号	列 号										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
4	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2
5	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1
6	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1
7	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
8	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2
9	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1
10	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2
11	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2
12	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1

表 3-22 三水平 $L_9 (3^4)$ 正交表

试验号	列 号			
	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

表 3-23 四水平 $L_{16} (4^5)$ 正交表

试验号	列 号				
	1	2	3	4	5
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3
4	1	4	4	4	4
5	2	1	2	3	4
6	2	2	1	4	3
7	2	3	4	1	2
8	2	4	3	2	1
9	3	1	3	4	2
10	3	2	4	3	1
11	3	3	1	2	4
12	3	4	2	1	3
13	4	1	4	2	3
14	4	2	3	1	4
15	4	3	2	4	1
16	4	4	1	3	2

③ 试验。根据正交表安排进行试验，取得性能指标数据。

④ 正交设计配方结果分析。一个最佳的配方可能在所做的试验中，也可能在其之外，但可通过试验结果的分析找出最佳配方。配方结果分析主要解决

三个问题：一是确定各个因子对指标影响的主次；二是确定各个因子的最佳水平；三是各因子水平如何组合得到最佳配方。常用的分析法有直观分析法和方差分析法。

直观分析法直观、简便，只需对试验结果作少量计算，再通过综合比较，即可得出最优化配方，但不能区分因子与水平作用的差异。其方法为首先按所用正交表计算出各个因子不同水平时试验所取得指标的平均值，比较不同因子水平数据大小，找出对指标最有影响的因子，同时找出每个因子的最佳水平，几个因子的最佳水平组合起来进行综合考虑，即可得到最佳配方，获得最佳配方后，再经试验进行检验。

方差分析法计算结果精确，但很繁琐。其方法为通过偏差的平方和及自由度等一系列计算，将因子和水平的变化引起试验结果间的差异与误差的波动区分开来。这样来分析正交试验的结果，对下一步试验或投入生产的可靠性很大。

2) 中心复合试验法。此法因在中心点做许多重复试验而得名。它是自变量（配方组分）与因变量（制品物理性能）之间关系的一种数学方程（回归方程式），因而又称为回归分析法。一般来说，可用一个完全的二次多元式表示制品性能与添加剂用量的关系，然后再求出数个回归系数，进行线性变换，按设计表安排试验，在中心点作重复试验，再进行显著性统计检验。若有问题，可改变数学模型进一步研究。中心复合试验法可以解决如下几方面问题：

① 可以确定几个特定的配方因子变量之间是否存在相关性。如没有相关性，就只好单独处理每个因子问题；如存在相关性，则可找出合适的数学表达式。

② 根据用户提出的几种塑料制品性能指标值，预测出配方因子变量的值，或根据配方因子变量的值，预测出制品性能指标的范围。

③ 另外还可找出这些因子之间的相互关系，找出主要因子、次要因子或可忽略的因子，通过方程式求出所需性能的配方因子最佳组合，画出某种性能的等高线等。分析各配方因子变量对性能的影响，从而预测物理性能。

总之，塑料配方设计是一件复杂而繁琐的工作，需要缜密的思考，深入细致的调查研究，详细地分析对比，在条件许可的情况下应建立一套完整的配方性能评价体系。同时，试验所获得的配方还需经小试、中试及生产的检验，在此过程中经反复修正才能最终正式投入生产。

3.2.5 塑料配方中各组分的关系

大多数塑料配方都是由两种或两种以上的组分组成。这些不同的组分之间往往会产生一定的相互作用，从而影响整个配方性能的发挥。配方中各种组分之间的相互作用主要有如下三类，即协同作用、加合作用和对抗作用。

1. 协同作用

协同作用是指塑料配方中两种或两种以上助剂一起加入时相互间增效的作用。这种现象在稳定剂、阻燃剂中特别显著。不同添加剂之间产生协同作用的原因主要是它们之间产生了物理或化学作用。如链终止型抗氧剂的抗氧机理是向过氧自由基施放氢原子，使其形成氢过氧化物。当两种抗氧效果不同的主辅抗氧剂并用时，主抗氧剂与过氧自由基反应，使其活性终止时，产生一个抗氧剂自由基。此时辅抗氧剂向此抗氧剂自由基提供氢原子，使主抗氧剂再生，重新发挥主抗氧剂的抗氧作用。

在防老化配方中，协同作用的例子有：两种位阻程度不同的羟基邻位取代基酚类抗氧剂并用；两种结构和活性不同的胺类抗氧剂并用；一种仲二芳胺与一种受阻酚类抗氧剂并用；主抗氧剂 HALS 与辅助抗氧剂亚磷酸酯并用。

在阻燃配方中，协同作用的例子也很多，如在卤素-锑系复合阻燃体系中，卤系阻燃剂可与 Sb_2O_3 发生反应而生成 SbX_3 ， SbX_3 可以隔离氧气从而达到增大阻燃效果的目的；又如在卤素-磷系复合阻燃体系中，两类阻燃剂也可以发生化学反应而生成 PX_3 、 PX_2 、 POX_3 等高密度气体，这些气体可以起到隔离氧气的作用。另外，这两类阻燃剂还可分别在气相、液相中相互促进，从而提高阻燃效果。

2. 加合作用

加合作用是指塑料配方中两种或两种以上不同添加剂一起加入的效果等于其单独加入效果的平均值，一般又称叠加作用和搭配作用。

加合作用比较常见，在增塑剂、稳定剂、润滑剂、抗氧剂、光稳定剂、阻燃剂及抗静电剂中都有。如不同类型的防老剂并用后，可以提供不同类型的保护作用。如抗氧剂可防止热氧化降解，光稳定剂可防止光降解，防霉剂可防止生物降解等。

在热稳定剂中，也常将三盐基性硫酸铅和二盐基性亚磷酸铅并用，Ca 和 Zn、Cd 和 Zn、Ba 和 Zn 等并用。

润滑剂也常用内润滑剂和外润滑剂并用，从而发挥内部和表层的双润滑效果。

在阻燃配方中，常将气相型阻燃剂与固相型阻燃剂并用、阻燃剂与消烟剂并用等。

此外，不同类型增塑剂、抗氧剂、光稳定剂、抗静电剂并用都是加合作用。

3. 对抗作用

对抗作用是指塑料配方中两种或两种以上的添加剂一起加入时的效果低于其单独加入时的平均值。产生对抗作用的原理同协同作用一样，也是不同添加剂之间产生物理或化学作用的结果，不同的是，其作用的结果不但没有促进各

自作用的发挥，反而削弱了其应有的效果。

在防老化塑料配方中，对抗作用的例子很多，如 HALS 类光稳定剂不与硫醚类辅抗氧剂并用，原因是硫醚类产生的酸性成分抑制了 HALS 的光稳定作用；芳胺类和受阻酚类抗氧剂一般不与炭黑类紫外光屏蔽剂并用，因为炭黑对胺类或酚类的氧化有催化作用，抑制抗氧效果的发挥；常用的抗氧剂与某些含硫化合物，特别是多硫化物之间，存在对抗作用，其原因也是多硫化物有助于氧化作用。

在阻燃塑料配方中，也有对抗作用的例子，如卤系阻燃剂与有机硅类阻燃剂并用，会降低阻燃效果；红磷阻燃剂与有机硅类阻燃剂并用，也存在对抗作用。

3.2.6 塑料配方的计量表示

正确地设计一个配方很重要，如何准确地将各组分的加入量表示出来也不可忽视，它关系到一个配方的成败。一个精确、清晰的塑料配方计量表示，会给试验和生产中的配料、混合带来极大的方便，并可大大减少因计量差错造成的损失。塑料配方的计量表示方法主要有份数法、百分比法及比例法等。无论采取哪种方法，各组分的计量单位通常以质量来表示，即多少千克或克、多少质量百分数、多少质量比等。只有少数情况下才以体积、摩尔等计量，如以体积表示的计量方式适合于所有组分都是液体的配方，如聚氨酯发泡塑料配方。

1. 质量份表示法

质量份表示法是以配方中树脂的质量为 100 份，其他组分的用量则以相对于树脂的质量份数表示。如在 PVC 异型材配方中（见表 3-24），PVC 树脂加入质量为 100 份，轻质碳酸钙的加入质量为 6 份。此法是塑料配方中最常用的表示方法，常称为基本配方，优点是计量容易，便于操作，主要用于配方设计和试验阶段。

表 3-24 PVC 异型材配方

原材料	质量份表示法	质量分数表示法 (%)	质量表示法/kg
PVC (SG-5)	100	85.03	50
三盐基性硫酸铅	2.5	2.13	1.25
二盐基性亚磷酸铅	1.5	1.28	0.75
硬脂酸钙	0.8	0.68	0.4
硬脂酸单甘油酯	0.4	0.34	0.2
硬脂酸	0.4	0.34	0.2
CPE	6	5.10	3
CaCO ₃ (轻质)	6	5.10	3
合计	117.6	100	58.80

2. 质量分数表示法

质量分数法是以整个配方物料总质量为 100%，其中树脂和各组分用量均以占整体混合物总质量的百分数来表示。如在表 3-24 PVC 异型材配方中，整个配方混合物总质量为 100%，其中 PVC 加入的质量分数为 85.03%，轻质碳酸钙加入的质量分数为 5.10%。这种配方表示法可直接由基本配方导出，用于计算配方原料成本和配方分析较为方便。

3. 质量表示法

顾名思义，质量表示法是按各组分的实际投料质量数来表示。如在表 3-24 PVC 异型材配方中，PVC 的加入量为 50kg，轻质碳酸钙的加入量为 3kg。该法便于直接计量，符合生产实际，缺点是不能直接看出各组分之间的比例。

4. 比例表示法

比例表示法是以一种组分的加入量为参照物，另一种与之相关的组分的加入量与之相比，以两者比例表示。如阻燃剂 Sb_2O_3 : 阻燃剂 $\text{ZnO} = 2:1$ 。这种表示法常用于表示配方中添加剂之间有协同作用时，特别强调两者之间的添加比例。一般不单独使用，而是与质量份表示法或质量分数表示法结合使用。

5. 质量和体积混合表示法

对于有些含少量液体组分的非润性配方，常将大量的固体组分用质量表示，而液体组分用体积表示，即采用质量体积混合表示法。此法常用于着色配方中，主要目的是方便少量液体组分的计量。如 PP 的着色配方为：PP100kg，群青 15g，酞菁绿 GN5g，增塑剂 DOP100mL。

第 4 章 塑料混合与配制设备

混合设备是成型物料混合与配制操作工序中必不可少的工具，混合物的混合质量指标、经济指标（产量及能耗等）及其他各项指标在很大程度上取决于混合设备的性能。由于混合物的种类及性质各不相同，混合的质量指标也有所不同，所以出现了各式各样的具有不同性能特征的混合设备。

4.1 初混合设备

这里所说的初混合设备，是指物料在非熔融状态下进行混合所用的设备。初混合设备很多，下面介绍几种常见的初混合设备。

4.1.1 静态混合设备

静态混合设备主要有重力混合器和气动混合器，这类混合器的混合室是静止的，靠重力和气动力促使物料流动混合，是温和的低强度混合器，适用于大批量固态物料的分布混合。

4.1.2 滚筒类混合设备

滚筒类混合设备是利用混合室的旋转来达到混合目的，如转鼓式混合机、双锥形混合机和 V 形混合机。滚筒类混合设备是中、低强度的分布混合设备，主要用于粉状、粒状固态物料的初混合，如混色、配料和干混，也可用于向固态物料中加入少量液态添加剂的混合。

1. 转鼓式混合机

（1）结构与工作过程 这是最简单的滚筒式混合设备。该机的混合室两端与驱动轴相连接，如图 4-1 所示。当驱动轴转动时，位于混合室底部的物料随之运动。当物料上升到一定高度时，在重力作用下落到底部，然后又上升，如此循环往复，使物料在竖直方向反复重叠、换位，达到分布混合的目的。

转鼓式混合机的混合效果与混合室的安装形式有关。图 4-1a 中，混合室轴线是水平的，当混合机工作时，物料在混合室内的混合作用仅仅发生在垂直方向，在水平方向很少产生物料的混合作用。为了消除这一缺点，常将混合室的轴线与水平旋转轴线成一定的角度（一般为 $14^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ），如图 4-1b 所示。该混合机在工作时，原本在垂直方向运动的物料受到了一个倾斜方向的作用力而发

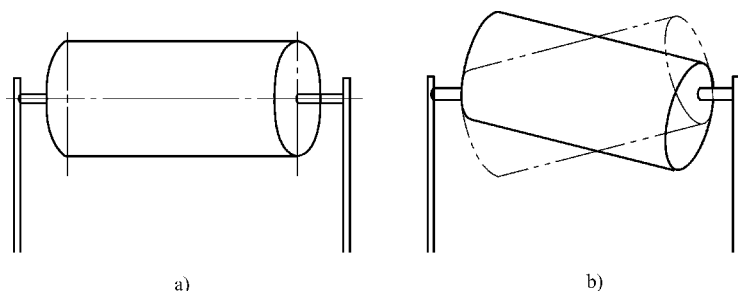


图 4-1 转鼓式混合机

a) 水平式 b) 斜轴式

生水平方向的运动，产生了上、下、左、右的交叉混合作用。

(2) 操作特点 混合室的回转速度一般为 $3 \sim 30 \text{ r/min}$ ，对于小型混合机，其转速可以取高值。对于粉状物料，填充率一般控制在 $30\% \sim 40\%$ 之间，对于颗粒状的物料，填充率一般控制在 $70\% \sim 85\%$ 之间。

2. 双锥形混合机

(1) 适用范围 该机主要用于固态物料的分布混合，也可以用于固态物料与少量液态物料之间的混合。

(2) 结构与工作过程 双锥形混合机是一种混合室由圆柱形（或棱柱形）筒体与两个截圆锥（或棱锥）构成的滚筒类混合设备，如图 4-2 所示。如果混合室内装有折流板，也可以使物料的团块粉碎。混合室也可设计成夹套式，通入冷却介质或加热介质，以适应冷混或热混不同的要求。

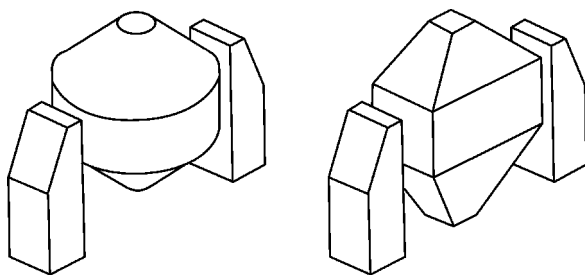


图 4-2 双锥形混合机的结构

双锥形混合机工作时，驱动轴带动混合室转动，物料随之在混合室内上下翻转运动。由于混合室的双锥结构，迫使物料在上下翻腾的同时，还产生轴向位移，形成了纵、横向的分布混合。

(3) 操作特点 双锥形混合机的转速大约为 21 r/min （混合室容积为 1.4 m^3 ） $\sim 40 \text{ r/min}$ （混合室容积为 29 m^3 ），混合强度较低，一般用于对物料的冷混操作。

3. V 形混合机

(1) 结构与工作过程 V形混合机的混合室实际上可以看成是由两个倾斜放置的转鼓式混合机的混合室组合而成,如图4-3所示。在工作时,混合室绕旋转轴旋转,物料的运动与在斜轴转鼓式混合机内物料的运动类似。但在每一个旋转周期中,当混合室的连接部位位于最高点时,连接部位的物料将分别进入不同的混合室,当连接部位位于最低点时,物料又将从不同的混合室重新汇集于连接部位。如此循环往复,促进了物料的交换与混合。为了提高混合效果,V形混合机的两个混合室并不做成等长的,以利于有效地扰乱物料在混合室内的运动形态,增大物料的湍流程度。

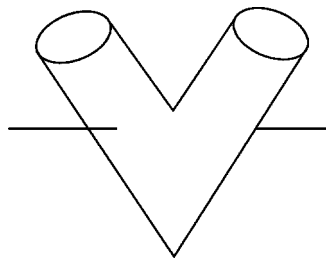


图4-3 V形混合机结构示意图

(2) 操作特点 该机的混合性能与两个混合室的夹角有关。一般,每个混合室的轴线与垂直方向的夹角为 40° 。为了提高混合效果,混合室内还可以设置增加物料混合的增强杆和流体喷淋装置,也可以另外增加加热和冷却夹套。

4.1.3 转子类混合设备

转子类混合设备是利用混合室内的转动部件——转子的转动进行混合的,如螺带混合机、锥筒螺杆混合机、犁状混合机、双行星混合机、Z形捏合机、高速混合机等,其中,用得最多的是Z形捏合机和高速混合机。螺带混合机和锥筒螺杆混合机主要用于粉状或粒状物料的混合,或粉状、粒状物料与少量液态添加剂的混合;犁状混合机主要用于块状物料混合。

1. Z形捏合机

(1) 适用范围 可用于PVC的配料,热塑性塑料的初混,以及粉状、糊状或高粘度液态物料的混合。一般而言,转子相切式安装的Z形捏合机适用于主要以剪切分散为主的混合过程,如片状、条状或块状物料的混合;而相交式安装的Z形捏合机更适合于以分布、搅拌为主的混合过程,如粉状、糊状或高粘度的液态物料的混合。

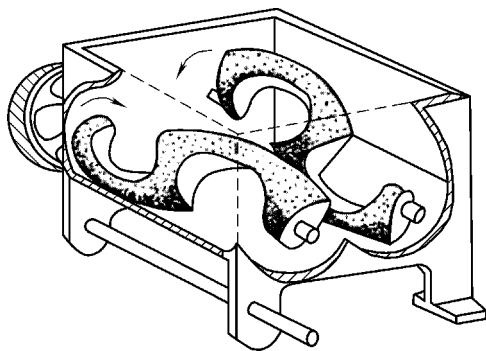


图4-4 Z形捏合机的结构示意图

(2) 结构 Z形捏合机又称双臂捏合机或sigma桨叶捏合机,主要由转子、混合室及驱动装置组成,其结构如图4-4所示。转子安装在混合室内,和驱动装置相连,混合室是一个W形或鞍形底部的钢槽,上部有盖和加料口,下部一般

设有排料口。钢槽呈夹套式，可通入加热冷却介质。有的混合室还设有真空装置，可以在混合操作过程中排除水分与挥发物。

转子在混合室内的安装形式有两种：相切式安装和相交式安装。当转子采用相切式安装时，两转子的运动轨迹是相切的，工作时，两转子可以同向旋转，也可以是异向旋转，转子间的转速比一般为 1.5:1、2:1 或 3:1。当转子采用相交安装时，两转子的运动轨迹是相交的。转子只能同速旋转。

(3) 工作过程 混合时，物料借助于相向转动的一对搅拌器沿着混合室的侧壁上翻而后在混合室的中间下落，然后，再次上翻和下落，这样，周而复始，物料得到重复折叠和撕捏作用，从而获得均匀的混合。用捏合机混合，一般需要较长时间，半小时至数小时不等。

(4) 操作特点 既有小型的实验室捏合机，也有大型捏合机。转子的转速一般在 10 ~ 35r/min，驱动功率由转子的构型和材料的性质所决定，一般在 10 ~ 300kW 之间。具体操作时应注意以下三点：

1) 开车前，应检查减速机的油位、各转动部件的润滑情况，尤其是转子轴承处的润滑情况，加注适量的润滑油（脂），检查蒸汽及水管道是否畅通和无泄漏，通入蒸汽升温并保温一段时间后方可投料。

2) 开机后，观察空机运转时电流是否在范围内，观察机械传动部件运转情况是否良好，若有振动或异响等情况，应立即停机检查，排除故障。

3) 停车时，应排尽蒸汽，并缓慢通水冷却，冷却时，转子应该保持转动，然后再关闭水、汽管道。

(5) Z 形捏合机的日常维护 应注意转子轴承及密封装置、减速机齿轮的磨损情况，同时应该注意转子及混合室内壁是否有损伤。

(6) Z 形捏合机常见故障及其原因（见表 4-1）

表 4-1 Z 形捏合机常见故障及其原因

常见故障	原 因
减速机噪音大	减速机齿轮接触不良，联轴器同轴度超标，联接螺钉松动
减速机温度过高	润滑不良，轴承磨损
转子轴承温度过高	润滑不良，轴承磨损

2. 高速混合机

(1) 适用范围 高速混合机是一种使用极为广泛的塑料混合设备，可以用于混色、制取母料、配料和共混材料的预混，如 PVC 树脂的混合与着色，PE、PP、PS 粒料的着色，ABS 的混合等。

(2) 结构 高速混合机又称强力混合器，主要由混合室（又称混合锅）、搅拌桨、折流板、回转盖、排料装置和传动装置等组成，其结构如图 4-5 所示。

混合室呈圆筒形，由内层、加热冷却夹套、绝热层和外套组成。内层具有

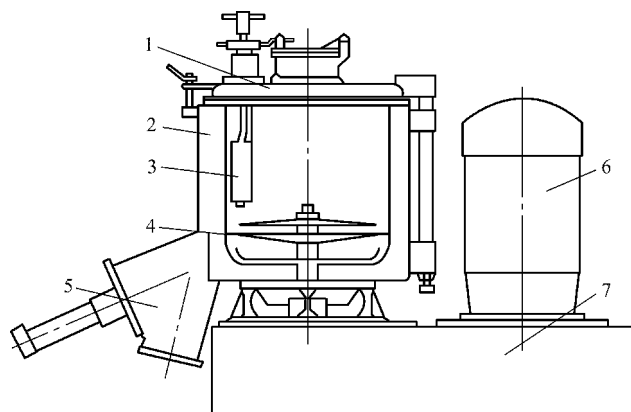


图 4-5 高速混合机的结构示意图

1—回转盖 2—夹套 3—折流板 4—搅拌装置 5—出料口
6—驱动电动机 7—机座

很高的耐磨性，表面光滑。上部与回转盖连接，下部有排料口，为了排除混合室内的水分与挥发物，有的还装有抽真空装置。搅拌桨是高速混合机的主要部件，与驱动轴相连，可在混合室内高速旋转。折流板断面呈流线型，悬挂在回转盖上，可根据物料的多少调节悬挂高度。折流板内部为空腔，装有热电偶，以测试物料温度。混合室下部有排料口，排料口接有气动排料阀门，可以迅速开启阀门排料。

(3) 工作过程 高速混合机工作时，高速旋转的搅拌桨借助表面与物料之间的摩擦力和侧面对物料的推力，使物料沿搅拌桨切向运动；与此同时，由于离心力的作用，物料被抛向混合室内壁，并且沿壁面上升，到达一定高度后，又在重力作用下回落到搅拌桨的中心，然后又被抛起。由于搅拌桨转速很高，物料运动速度很快，物料间相互碰撞、摩擦，团块物料被破碎，物料温度相应升高，同时迅速地进行着交叉混合，这些作用促进了组分的均匀分布和对液态添加剂的吸收。混合室内的折流板进一步搅乱了物流态，使物料形成无规运动，并在折流板附近形成很强的涡旋，更利于充分混合。

(4) 操作特点 高速混合机的混合效率较高，所用时间远比捏合机短，通常一次混合时间只需 8 ~ 10min，主轴转速一般为 200 ~ 2000r/min。混合时物料的填充率一般为 50% ~ 70% 之间。对于高位搅拌桨，填充率可达 90%。

(5) 高速混合机的操作规程

1) 开机前准备：

① 保持机器各部位整洁，尤其混合容器及排料阀；内腔应清扫干净，确保无任何硬物、脏物。

② 详细检查机器各连接部件无松动，加热蒸汽管路及压缩空气管路的连

接严密无泄漏，各压力表指示正常。

③ 检查各个转动零部件是否有磨刮、卡滞等缺陷，严格按润滑规程润滑各部位。

④ 检查排料阀门开启及关闭动作是否灵活，无阻滞。

⑤ 检查搅拌桨安装是否牢固，刮料器与锅底之间无磨削现象，并保持一定间隙，当用手盘动时，主轴应转动轻盈、灵活。

⑥ V带应均匀拉紧，电动机底板螺栓应拧紧、无松动。

⑦ 检查电气设备是否安全、可靠。

2) 机器运行中的注意事项及安全规程：

① 经常注意电流表指示值不超过额定值，如发现电流表指示值急剧增加应立即停车，查清原因，排除故障后再继续生产。

② 注意电动机运转是否平稳，无异常噪音，温升是否正常。

③ 监视测温计指示值，适时调节蒸汽压力，使混合容器保持某一适当的工作温度。

④ 当更换树脂或颜料时，必须将混合容器排料阀及排料筒壁清扫干净。

⑤ 必须将混合容器内的混合物料清除干净后，方可关闭排料阀门，以免物料卡在阀门前，造成漏料。

⑥ 注意检查主轴轴承，V带等传动零件是否正常，如有异常音响及振动，应立即停止转动，对损伤的零件应及时更换修理。

⑦ 机器起动前，不得投料，以减小起动阻力。在机器运转中增塑剂应缓慢加入，不得将增塑剂突然倾入机内，避免局部物料结块，致使负荷骤然增加。

(6) 高速混合机的维护与保养 高速混合机在使用过程中易损坏的零件有搅拌桨、底部刮料器、出料气缸、主轴轴承、电机轴承、锅盖密封圈、气缸密封圈及操纵阀门的阀芯等，其维护与保养的关键在于上述零件的定期维护、检查及维修。

1) 一级保养。时间周期为3个月，具体工作内容见表4-2。

表4-2 高速混合机一级保养工作内容及要求

保养部位	保养内容及要求
外表部分	擦洗机器外表，保持清洁；检查并补齐各部位的操作件、紧固件；拧紧锅盖各螺栓
传动部分	检查V带的松紧程度
出料部分	阀门灵活可靠；气缸运行可靠、无爬行现象；空气管路整齐、牢固无泄漏
电器	清扫电动机、电控柜；检查电器元件是否紧固、齐全、完好，仪表灵敏、准确

2) 二级保养。工作时间间隔一般为6~9个月，具体工作内容见表4-3。

(7) 高速混合机常见故障及其原因（见表4-4）

表 4-3 高速混合机二级保养工作内容及要求

保养部位	保养内容及要求
传动部分	检查传动轴的工作情况，清洗或更换磨损的轴承及密封件，各注油部位注入新油
出料部分	检查气缸的磨损情况，更换密封圈；检查操纵阀门的工作情况，研磨阀芯
测温部分	检查折流板是否紧固；检查热电偶接线是否良好；检查锅盖能否轻松转动
转轴部分	检查并修理转轴部分的轴和球面垫块等零件
锅体	检查是否漏气、漏料
电器	检查电动机、电控柜；拆洗或更换电动机轴承，根据情况更换电器元件

表 4-4 高速混合机常见故障及其原因

常见故障	原 因
噪音大	紧固件松动、搅拌桨主轴偏置
物料经转轴处泄漏	密封件损坏
排料不尽	排料口吹气嘴堵塞
温度升、降速度过慢	蒸汽、水管路堵塞、热电偶损坏

4.2 间歇混合设备

间歇混合设备的混合过程是不连续的。混合过程主要有三个步骤：投料、混炼、卸料，此过程结束后，再重新投料、混炼、卸料，周而复始。上述的初混合设备，即是非熔融状态下的间歇混合设备。这里所说的间歇混合设备是指物料在熔融状态下混合所用的设备。主要包括开炼机和密炼机。

4.2.1 开炼机

开放式炼塑机简称开炼机，又称双辊炼塑机或炼胶机。它是塑料制品加工过程中的基本设备，通过两个转动的辊筒将物料混合或使物料达到规定状态。主要用于塑料的混合与塑化、填充与共混改性物的混合、为压延机送料、母粒的制备、对物料进行补充混炼、混合与冷却等场合。

1. 开炼机的结构

开炼机的结构如图 4-6 所示。它的主要工作部分是两个辊筒。两个辊筒并列在一个平面上，分别以不同的转速作向心转动，两辊筒之间的距离可以调节。辊筒为中空结构，其内可通入介质加热或冷却。

2. 开炼机的工作过程

开炼机工作时，两个辊筒相向旋转，且速度不等。放在辊筒上的物料由于与辊筒表面的摩擦和粘附作用以及物料之间的粘接力而被拉入辊隙之间，在辊

隙内物料受到强烈的挤压和剪切,这种剪切使物料产生大的形变,从而增加了各组分之间的界面,产生了分布混合。该剪切也使物料受到大的应力,当应力大于物料的许用应力时,物料就会分散开。通过辊隙时,料层变薄且包在温度较高的辊筒上,加上承受剪切时产生的热量,物料即渐趋熔融或软化。此过程反复进行,直至达到预期的熔融塑化和混合状态,塑炼即告完成,随即可出片造粒或为其他设备供料。

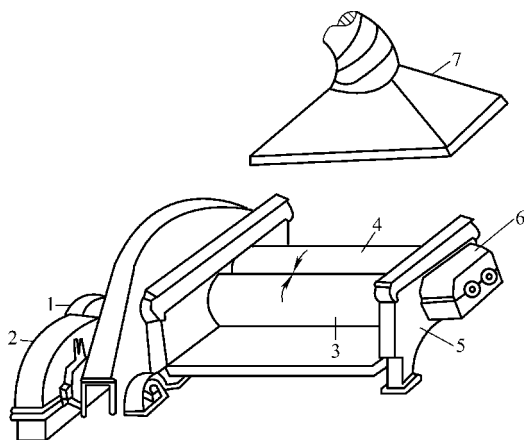


图 4-6 双辊筒炼塑机

1—电动机 2—减速箱 3—前辊 4—后辊
5—机架 6—速比齿轮罩 7—排风罩

影响开炼机熔融塑化和混合

质量的因素有辊筒温度、辊距、辊筒速度及速比、物料在辊隙上方的堆放量以及使物料沿辊筒轴线方向的分布和换位等。

3. 开炼机的操作规程

(1) 基本操作方法

- 1) 开车前检查所有润滑部位,并检查各传动部分有无阻碍。
- 2) 机器未起动前,应先起动油泵运转数分钟,使减速器获得充分润滑,方可开动主电动机。
- 3) 调距。利用电动调距装置调节辊隙至合适位置。
- 4) 温度调节。在机器运转中缓慢通入蒸汽,加热至工艺温度。
- 5) 进料。炼塑时塑料从两个相对运转的辊筒上方投入,两侧有挡料板以防止塑料外泄,挡料板还可用来控制轧炼的材料幅面宽度。
- 6) 停车。在日常生产完毕或交接班时需使机器停止运转。

(2) 机器运行中注意事项

- 1) 辊筒的加热与冷却必须在运转中缓慢进行,不得在静止状态时进行加热和冷却。否则冷铸铁辊筒会因温度的突变产生变形甚至断裂。另外,在加热时应使辊隙有一定距离,以防止受热膨胀的影响。
- 2) 调节辊距时左右两端要均匀,不要相差太大,否则易损坏辊筒轴颈和铜瓦。

(3) 安全操作规程

- 1) 操作者应注意周围环境清洁,以免将杂物带入辊缝中轧坏辊筒和机器。一旦有其他物品混入时,禁止用手或其他工具攫取,应立即拉动安全拉杆,使

机器停车。

2) 在开炼机上整理塑料落片时, 应特别小心。在紧急事故刹车后, 应将两辊间隙中的塑料取下后再起动。欲取出塑料, 可将刀开关转向“反车”位置, 再按“反车”按钮, 使辊筒反转, 将塑料排出, 但反车使用时间不宜过长。

3) 事故停车装置主要用于发生故障或事故时才用。一般停车时不要使用, 以免制动带磨损。

4) 投料时不要使用过小辊距, 并且两端辊距应尽量均匀, 避免机器超载。

5) 操作中应注意安全装置中安全片完好情况, 以免在安全片损坏后继续使用调距装置造成不良后果。

4. 开炼机的常规维护

(1) 机械部件的维护 开炼机在使用过程中主要受载零件有辊筒、辊筒轴承、调距机架、机架及刹车装置, 在工作时均承受较大的载荷。合理、科学地使用与维护设备是保护机器主要零部件免受损坏、延长机器使用寿命的必备条件。通常对开炼机的维护工作应从以下几方面着手:

1) 辊筒的加热与冷却必须在运转中缓慢进行, 不得在静止状态下进行。特别是冬季或停放一段时期后再使用时更须注意。

2) 要经常检查调距装置, 检定刻度与实际辊距是否相符, 以免造成左、右端辊距相差太大, 因而造成辊筒轴颈和铜瓦的破坏。

3) 每次开车前, 应先起动油泵电动机, 使减速机获得充分的润滑, 然后再开动主电动机。在工作中要注意减速机的润滑情况, 当压力表的压力过高或过低时, 都应检查是否有管路渗漏或堵塞, 并及时消除故障。

4) 万向联轴器要经常补加润滑油。若调距时万向联轴器有阻碍现象, 则应及时检修。

5) 注意经常调节制动器制动轮间的间隙, 以保证在使用事故停车装置时, 辊筒继续转动不大于 $1/4$ 转。

6) 使用中要经常注意辊筒轴承的温度, 其最高温度不应大于 70°C 。如果温度过高, 应适当减少负荷量并补加润滑油, 然后还应检查轴承润滑系统和轴承座冷却系统情况。

7) 每月至少检查 1~2 次减速机、万向联轴器以及辊筒轴承等。即打开视孔盖或盖板检查齿轮工作面情况及润滑油的清洁情况。

8) 新机器使用三个月后 (以后每隔半年), 至少要详细检查一次减速机、调距装置等使用情况, 打开箱盖或盖板检查齿面或工作面有无麻点, 擦伤, 胶合等缺陷, 轮齿、滚动轴承及密封装置的磨损情况及润滑油的质量等。并将减速机内壁进行清洗, 换新油。

9) 如机器停用时间较长 (如数十天) 则应将减速机内及万向联轴器的润滑

油及辊筒内部积水排除干净。并在辊筒工作表面、轴承等处涂上防锈油。

(2) 电器设施的维护

1) 定期检查控制柜内各接触器及继电器等触点，其接触必须良好，动作灵活。如有烧损等情况，应及时加以修复。

2) 注意各导线接头是否松动脱落，各电器的温升和绝缘是否符合标准，电磁铁制动器的动作是否灵活，运行是否可靠。

3) 确保各电器设备的外壳可靠接地。

4) 电器设备必须保持清洁，定期进行清扫和检修，并检验绝缘电阻值。

5) 按电动机专用维护保养规则对电动机进行保养。

6) 按润滑细则要求进行定期加油及换油。

5. 开炼机常见故障处理（见表 4-5）

表 4-5 开炼机常见故障及排除措施

故障现象	产生原因	解决办法
突然闷车不动	温度不足	首先“反车”取出物料，待温度达到后，找出故障部位予以修理后再开车
	进料太多	
	某处机械故障	
调距失灵	安全片损坏	更换安全片
辊筒轴颈处漏油严重	铜瓦或辊颈磨损	维修或更换
油压表压力不正常	喷嘴、管路阻塞或某处泄漏	查找故障点予以排除
轴承座温度过高	负荷太大	减少负荷
	水冷却不畅	检查和维修冷却管路
	润滑系统故障造成润滑不良	检查润滑油情况及润滑管路
万向联轴器处有异常撞击声	闸片、堵头严重磨损	检查、维修、更换

4.2.2 密炼机

密炼机即密闭式炼塑机或炼胶机。是在开炼机基础上发展起来的一种高强度间歇混合设备。是目前高分子材料加工中典型的混合设备之一。主要用于一般树脂和各种助剂的混合、混炼和塑化，使其达到所要求的分散度和可塑性。由于密炼机的混炼室是密闭的，在混合过程中物料不会外泄，因此，避免了物料中的添加剂在混合过程中的氧化与挥发，并且可以加入液态添加剂。

1. 密炼机的结构

密炼机的结构如图 4-7 所示，其主要工作部件是一对表面有螺旋形突棱的转子和一个密炼室。两个转子以不同的速度相向旋转，转子在密炼室里，密炼室由室壁和上顶栓、下顶栓组成，室壁外和转子内部有加热或冷却系统。两个转子的侧面顶尖以及顶尖与密炼室内壁之间的间距都很小，因此转子对物料施有

强大的剪切力。

2. 密炼机的工作过程

密炼机工作时, 物料由加料口加入, 上顶栓在气压驱动下将物料压入密炼室, 工作过程中, 上顶栓始终压住物料。混合完毕, 下顶栓开启, 物料由排料口排出。密炼室中的各种物料在转子作用下进行强烈的混合, 其中大的团块被破碎, 逐步细化, 达到一定的粒度, 这一过程为分散过程。在混合过程中, 粉状与液体添加剂附在聚合物表面, 直到被聚合物包围, 这一过程称为浸润或混入过程。混合物中各组分在密炼室中进行位置更换, 形成各组分均匀分布状态, 这一过程称为分布过程。混合中, 由于剪切、挤压作用, 聚合物逐步软化或塑化, 达到一定流动性, 这一过程称为炼塑过程。这四个过程在混合中不是独立的, 而是相互伴随着存在于混合过程的始终, 并且相互影响。

3. 密炼机的操作规程

(1) 开机前准备

1) 仔细检查所加工的物料, 确保清洁无异物。

2) 确保机器各部位清洁卫生, 尤其加料

门、压料装置、卸料门等与物料接触部位, 应注意保持清洁, 若有物料粘住则影响该部件的运动和密封性能, 应及时清理。

3) 每次开车前应检查压缩空气、冷却水或蒸汽的压力是否符合要求, 否则不应投料混炼。

4) 检查压料装置、加料门及卸料门等运动情况, 其运动应灵活、可靠, 不得有卡紧现象。

5) 确保各润滑系统管路畅通无阻, 润滑点出油正常。各润滑部位应根据润滑细则灌注规定量的润滑剂。

6) 检查电器设备安全、可靠性。

(2) 整机操作程序 工作时, 通过气控系统把上顶栓提升, 打开加料门, 进行投料, 然后关闭加料门, 重锤下压, 使物料压在密闭的混炼室内进行混炼。混炼结束后, 通过气动系统, 打开卸料门, 卸出物料, 卸料完毕后, 关闭卸料

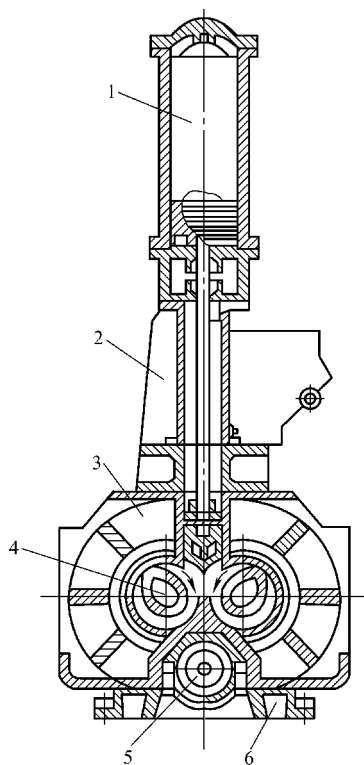


图 4-7 密炼机结构示意图

1—压料装置 2—加料斗 3—密炼室
4—转子 5—卸料装置 6—底座

门并锁紧，进行下一次混炼。

(3) 机器运行中的注意事项

1) 检查机器各部分的运动情况。齿轮减速机及整个传动装置应传动平稳，无异常杂音和冲击声。

2) 检查密封装置是否良好（在混炼过程中有少量油糊状物料，从密封装置中漏出属正常现象）。

3) 各连接部件应无松动。

4) 机器各部分温度不应有骤升现象，各部分壳体温度不得超过如下规定值：转子轴承最高温度 $\leq 120^{\circ}\text{C}$ ；减速机轴承最高温度 $\leq 70^{\circ}\text{C}$ 。

(4) 安全操作注意事项

1) 如因事故临时停车，混炼室物料无法卸出时，必须先提起上顶栓，将转子反转，卸出物料，以免第二次启动时过载。

2) 加料斗内粘有污物造成上顶栓卡住时，在进行检查前必须将上顶栓提起，插上安全销，然后才能进行检查和清洁。

4. 密炼机的常规维护

1) 经常检查转子密封装置的润滑情况，以免形成干摩擦。密封装置应每季度拆检一次，检查和清洗密封面。如漏料严重，应及时清洗。密封装置的六个弹簧压力应均匀一致，弹簧不宜压得太紧。

2) 经常检查压料装置，加料门、卸料门等机构运动情况，检查压料气缸、卸料气缸、加料门气缸密封圈的密封性。

3) 机器各润滑部位应确保润滑良好。

4) 若机器长时间不用，应在加热系统中通入压缩空气，将各部分残存的冷凝水排出。

5. 密炼机常见故障及排除措施（见表4-6）

表 4-6 密炼机常见故障及排除措施

故障现象	产生原因	解决办法
轴头漏油	轴瓦磨损；转子轴颈磨损	拆卸查看，予以修理
侧壁密封处漏料	密封装置故障，密封件破损；轴颈磨损	更换、修复密封装置、轴颈
		重新检查润滑情况
密炼室内异常响声	转子与密炼室间隙不当	调整间隙
	间隙装置中青铜环破损，转子调隙失效	更换青铜环并重新检查润滑系统
蒸汽系统旋转接头处漏气	密封圈失效	予以更换并检查供汽系统
上顶栓驱动气缸动作失灵	密封圈损坏	更换密封圈
	活塞磨损	修复活塞

(续)

故障现象	产生原因	解决办法
上顶栓驱动气缸动作失灵	上顶栓入口通道不畅,有粘料阻塞	予以清洁
	电气故障	查找电气故障,予以维修
	气缸压力不足	检查并维修压缩空气供应系统
加料门动作不灵	加料门气缸故障(气缸磨损或密封件失效)	查找故障,予以维修
	压缩空气压力不足	检查供气系统
齿轮泵漏油	轴封损坏	予以维修

4.3 连续混合设备

连续式混合设备的混合过程是连续的,故可提高生产能力,易实现自动控制,减少能量消耗,混合质量稳定,降低操作人员的劳动强度,所以连续式混合设备是目前的发展趋势。连续混合设备主要有单螺杆挤出机、双螺杆挤出机、行星螺杆挤出机以及由密炼机发展而成的各种连续混炼机,如 FCM 混炼机等。

4.3.1 单螺杆挤出机

单螺杆挤出机是聚合物加工中应用最广泛的设备之一,主要用来挤出造粒,成型板、管、丝、膜、中空制品、异型材等,也可用来完成某些混合任务。

1. 单螺杆挤出机的基本结构

单螺杆挤出机的结构如图 4-8 所示。它主要有由挤出系统(即塑化系统)、传动系统、送料系统、加热冷却系统和控制系统五大部分组成。

挤出系统主要由螺杆和机筒组成,是挤出机的关键部分,其作用是使塑料塑化成均匀的熔体,并定量、定压地挤出机头。传动系统主要由电动机、调速装置与传动装置组成,其作用是向螺杆提供所需的转矩和转速。送料系统由原料干燥机、上料机和料斗组成,其作用是机筒提供原料,使挤出平稳进行。加热冷却系统由加热器和冷却装置构成,其作用是保证挤出过程在工艺要求的温度下进行。控制系统由各种电器、仪表和相关的执行机构组成,其主要作用是保证挤出过程在设定的工艺条件下进行。

2. 单螺杆挤出机的工作过程

塑料自加料装置经料斗进入机筒中(此时机筒已加热到工艺所要求的温度),在旋转的螺杆推进作用下(物料受机筒内壁和螺杆表面的摩擦拖曳的作用),物料被向前输送并压实。在加料段的末端,塑料由于不断经过被加热的机

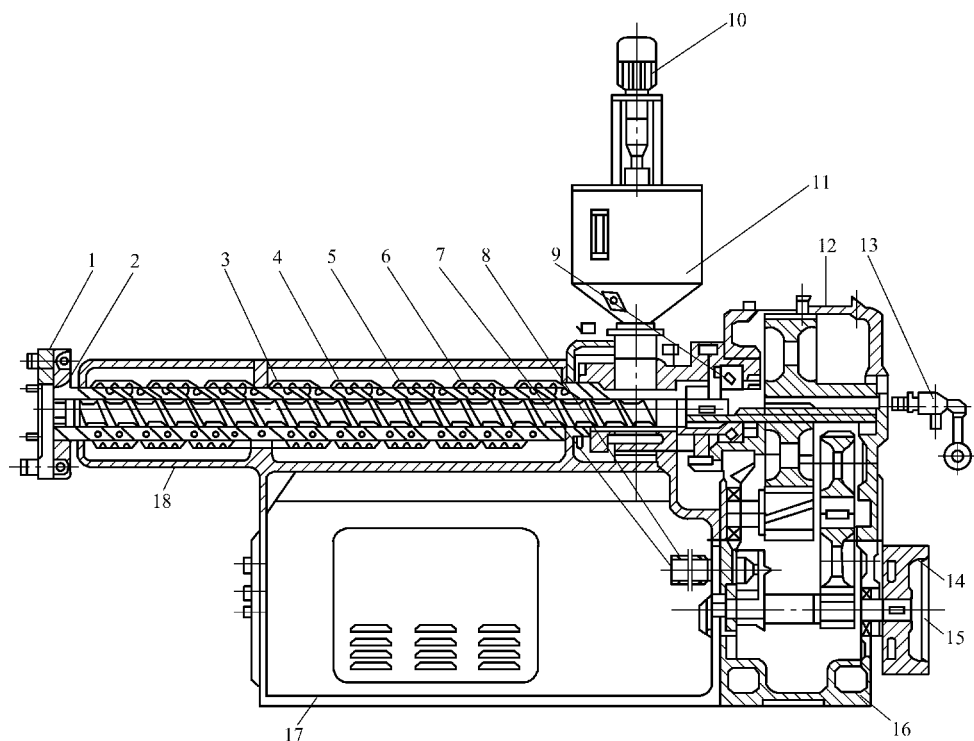


图 4-8 单螺杆挤出机的典型结构

- 1—法兰 2—分流板 3—螺杆 4—冷却水管 5—加热器 6—机筒 7—齿轮泵
8, 10—电动机 9—轴承 11—料斗 12—齿轮减速箱 13—旋转接头
14—V 带轮 15—主电动机 16—减速箱体 17—机体 18—安全防护罩

筒内壁及摩擦热的作用而逐渐达到粘流态温度，并开始熔融。当塑料从加料段进入熔融段后，由于螺槽逐渐变浅（螺槽的容积逐渐变小），以及过滤网、分流板和机头的阻碍作用，塑料被进一步压实并形成了高压。与此同时，塑料受到来自机筒外热、螺杆和机筒的强烈搅拌、混合、剪切及摩擦作用，温度不断升高，熔融的塑料量不断增加，未熔融的塑料固体不断减少。到熔融段的末端时，固态的塑料已绝大部分或全部熔融。熔融的塑料在进入均化段后将进一步被塑化和均匀化，并使之能被定压、定温、定量地从机头挤出，而后经机头口模、冷却、定型、牵引等辅机，最后得到所需的塑料挤出制品。

3. 常规单螺杆挤出机用于混合时存在的问题

在单螺杆挤出机中，物料自由料斗加入到由口模挤出，经历了固体输送、熔融、熔体输送、混合等区段。在固体输送区，不会发生固体粒子间的混合；在熔融区的固相内各颗粒之间仍没有相对移动，因而也不会发生混合；而在熔体输送区，物料在前进方向的横截面上形成了环状层流混合，因此在单螺杆挤出机中，只有当物料熔融后，混合才得以进行。就分散混合而言，其关键是剪

切应力。要想获得大的剪切应力，必须提供高的剪切速率，这就要求在熔体输送区有小间隙的高剪切区，而且要使熔体多次通过这样的高剪切区。而常规单螺杆挤出机一方面因为螺槽较深，无高剪切区；另一方面在其挤出过程中，固液相共存于一个螺槽内并形成两相流动，且这种两相流动不能打破。所以，常规单螺杆挤出机的混炼效果不理想。

4. 新型单螺杆挤出机

为提高常规单螺杆挤出机的混炼效果，人们在以下两方面做了努力：一是对螺杆和机筒的结构进行改型设计，二是在螺杆上设置各种类型的混炼元件，从而产生了一批以分离型螺杆、屏障型螺杆、销钉型螺杆、DIS 螺杆、波状螺杆等为代表的新型螺杆（如图 4-9 ~ 图 4-13 所示）。这些新型的螺杆和混炼元件，在工作过程中，一方面能提供大应变、高剪切，并不断调整料流的界面取向，使之与剪切方向处于最佳角度；另一方面，能破坏两相流动，把固液相搅和在一起，并对熔融料流进行分割，增加界面，打乱了常规螺杆上熔体的稳态流动，从而大大有利于熔体的均化，提高了混炼效果。

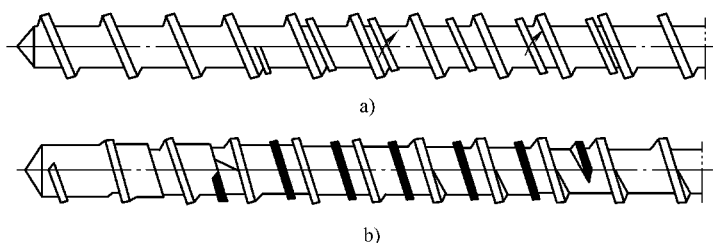


图 4-9 分离型螺杆

a) BM 型螺杆 b) 等距 Barr 螺杆

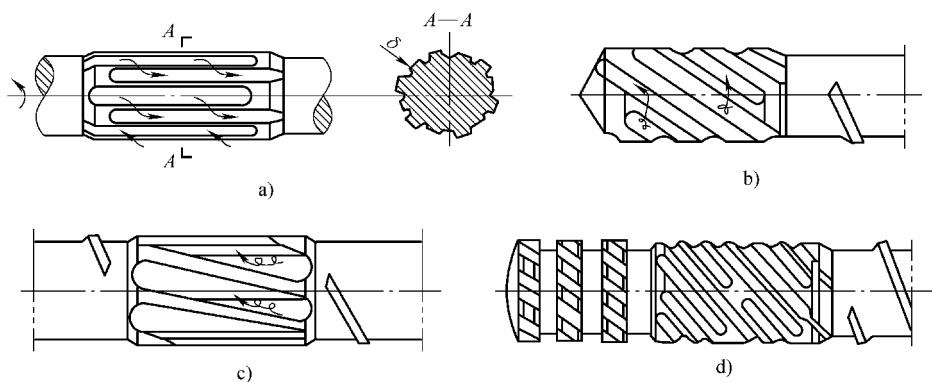


图 4-10 屏障型螺杆

a) 直槽屏障型螺杆 b) 斜槽屏障型螺杆

c) 三角槽屏障型螺杆 d) 双屏障带混炼头螺杆

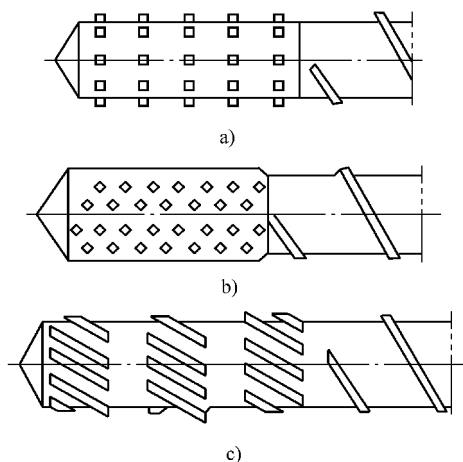


图 4-11 销钉型螺杆

a) 方销形螺杆 b) 菠萝形螺杆 c) 斜齿形螺杆

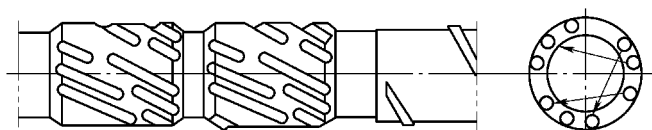
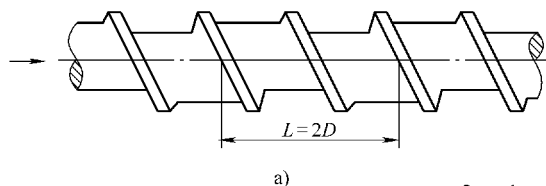
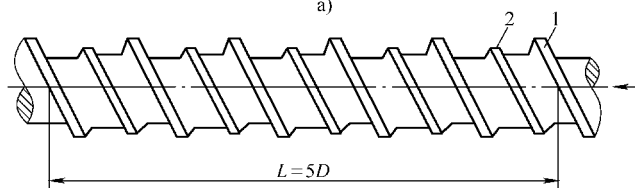


图 4-12 DIS 螺杆



a)



b)

图 4-13 波状螺杆

a) 偏心波状螺杆 b) 轴向波状螺杆

1—主螺纹 2—附加螺纹

目前,应用较多的新型螺杆结构是在螺杆的均化段前端设置屏障段,如图 4-10 所示。另外一种结构是在螺杆的前段设置一些不规则的销钉,从而打乱熔料的流动方式,分成多股乱流,然后再重新组合,结构如图 4-11 所示。

5. 单螺杆挤出机主要技术参数

(1) 螺杆直径 指螺杆的公称外径, 一般用 D 表示, 单位 mm。

(2) 螺杆的长径比 指螺杆工作部分的长度 L (有螺纹部分的长度, 即由加料口中心线到螺纹末端的长度) 与螺杆的外径 D 之比, 即 L/D 。

(3) 螺杆的转速范围 一般用 $n_{\min} \sim n_{\max}$ 表示, 其中, $n_{\min}$ 表示最低转速, $n_{\max}$ 表示最高转速, 单位 r/min。

(4) 螺杆驱动电动机功率 用 P 表示, 单位 kW。

(5) 挤出机机筒加热功率 用 E 表示, 单位 kW。

(6) 挤出机的生产能力 用 Q 表示, 单位 kg/h。

6. 单螺杆挤出机的操作规程

(1) 开机前的准备工作

1) 用于挤出生产的物料应达到所需干燥要求, 必要时还需进一步干燥。

2) 根据产品的品种、尺寸, 选好机头规格, 按下列顺序将机头装好: 装机头法兰→模体→口模→多孔板及过滤网。

3) 接好压缩空气管, 装上芯模电热棒及机头加热圈, 检查用水系统。

4) 调整口模各处间隙均匀, 检查主机与辅机中心线是否对准。

5) 起动各运转设备, 检查运转是否正常, 发现故障及时排除。

6) 开启电热器, 对机头、机身及辅机均匀加热升温, 待各部分温度比正常生产温度高 10°C 左右时, 恒温 $30 \sim 60\text{min}$, 使机器内外温度一致。

(2) 开机操作 开机是生产中的重要环节, 控制不好会损坏螺杆和机头, 温度过高会引起塑料的分解, 温度太低会损坏螺杆、机筒及机头。开机步骤如下。

1) 以低速起动开机, 空转, 检查螺杆有无异常及电动机、安培表电流有无超载现象, 压力表是否正常。机器空运转时间不宜过长, 以防止螺杆与机筒刮磨。

2) 逐步少量加料, 待物料挤出口模时, 方可正常加料。在塑料未挤出之前, 任何人不得处于口模前方, 防止出现人员伤亡事故。

3) 塑料挤出后, 即需将挤出物慢慢引上冷却定型、牵引设备, 并事先开动这些设备。然后根据控制仪表的指示值和对挤出制品的要求, 将各环节作适当调整, 直到挤出操作达到正常的状态为止。

4) 切割取样, 检查外观是否符合要求, 尺寸大小是否符合标准, 快速检测性能, 然后根据质量要求调整挤出工艺, 使制品达到标准要求。

(3) 停机操作

1) 关闭上料系统, 停止加料。

2) 将挤出机内的塑料尽量挤净, 以便下次操作。

3) 待物料基本排空后, 关闭主机电源。

4) 关闭各段加热器、冷却水泵电源、润滑油泵电源,最后关闭总电源。

5) 关闭各进水管阀门。

(4) 注意事项

1) 挤出聚烯烃类塑料时,通常在挤出机满载的情况下停机(带料停机),这时应防止空气进入机筒以免物料氧化,从而在继续生产时影响产品的质量。对聚氯乙烯类塑料,也可采用带料停机,届时先关闭料门,降低机头连接体(法兰)处温度 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$,待机身内物料挤净后停机。

2) 停机后需要清理机头时,打开机头连接法兰,清理多孔板及机头各个部件。清理时,应使用铜棒、铜片,清理后涂少许机油。螺杆、机筒的清理,必要时可将螺杆从机尾顶出,清理后复原,一般情况下可用过渡料清理。

7. 单螺杆挤出机的维护和保养

1) 物料内不允许有杂物,严禁金属和砂石等坚硬物进入料斗和机筒。

2) 挤出机系统内使用的冷却水通常是软水。硬度小于 5DH ,无碳酸盐硬度小于 2DH , pH 值 $7.5\sim 8$ 。

3) 开机时应注意安全启动,螺杆只允许在低速下启动,停机时先停加料装置,严禁无料空运转。

4) 停机后应及时清理机筒、螺杆及主辅料加料口,并检查是否有结料块存在,严禁低温开机及带料反转。

5) 日常应注意各润滑点及两个串列推力轴承处的润滑,螺杆密封接头是否有泄漏等,如发现问题应及时停机整修。

6) 经常注意电动机中电刷的磨蚀,及时维护或更换。

7) 长时间停车时,对机器要有防锈、防污措施。

8. 单螺杆挤出机常见故障及处理方法(见表4-7)

表 4-7 单螺杆挤出机常见故障及处理方法

故障现象	产生原因	解决办法
启动主电动机,主电动机不动或瞬间停机	1. 主电动机电源没接通	1. 检查主电动机电源接线
	2. 加热升温时间不足或某加热器不工作,造成转矩过大,使电动机过载	2. 检查各段温度显示并查找有关记录,确认预热升温时间
		3. 检查各加热器是否有损坏或接线不良
主电动机转动,但螺杆不转动	1. 传动带松,打滑	1. 调整两带轮中心距,张紧带
	2. 安全键切断	2. 检查安全键,分析切断原因,更换
螺杆有转速显示但挤不出物料	1. 料斗没有物料	1. 向料斗内加料
	2. 加料口被异物堵住或产生“架桥”,不能下料	2. 排除料斗口的异物或消除“架桥”现象

(续)

故障现象	产生原因	解决办法
螺杆有转速显示但挤不出物料	3. 螺杆内掉进金属等坚硬物（如螺母等）堵塞螺槽，不能输送物料	3. 如确认确有硬物进入挤出机内，应停机拆卸螺杆，排除堵塞硬物
	4. 螺杆从加料段根部被扭断	4. 检查从动带轮是否转动，如转动正常且排除了“不加料”或“硬物堵塞”，则可能为螺杆扭断，应立即停机，拆卸螺杆更换、修理
	5. 螺杆、机筒温度过高，螺杆内冷不良，形成“抱轴”现象	5. 检查螺杆冷却水系统，加大螺杆冷却水量
挤出制品中有污物	1. 物料内有污物	1. 更换物料
	2. 挤出机螺杆积碳过多	2. 清理螺杆、轻者可用螺杆清洗剂直接挤出清理；重者可将螺杆拆卸下来，人工清理
挤出机主电动机电流波动大	1. 某段加热器不工作，转矩不稳	1. 检查各段加热器是否有损坏，如有，更换；检查各段加热器的接线是否正确或牢固
	2. 主电动机轴承润滑不好或损坏，振动大	2. 检查电动机轴承，加润滑剂或更换轴承
挤出物料不稳	1. 原料加料口“架桥”	1. 清除料斗下料口的架桥
	2. 主电动机转速不匀，有波动	2. 检查主电动机及控制系统
	3. 加热冷却系统匹配不好或热电偶误差太大	3. 对加热功率进行调整或检查热电偶的接触及安装情况以及热电偶是否损坏，必要时更换热电偶

4.3.2 双螺杆挤出机

1. 双螺杆挤出机的结构

双螺杆挤出机是在单螺杆挤出机的基础上发展起来的。它是由螺杆、机筒、加热器、机头连接器（包括多孔板）、传动装置（电动机、减速器、推力轴承等）、加料装置（料斗、加料器等）和机座等部件组成。各部件的职能与单螺杆挤出机基本相同。双螺杆挤出机的结构如图 4-14 所示。

2. 双螺杆挤出机的类型

双螺杆挤出机按照两根螺杆的相对位置，可分为啮合型和非啮合型；在啮合型双螺杆中，根据啮合的程度分为部分啮合型和完全啮合型。按照螺杆旋转的方向，可分为同向旋转和异向旋转；异向旋转又分为向内和向外两种。按两根螺杆轴线相交还是平行，可分为平行双螺杆和锥形双螺杆。双螺杆挤出机转

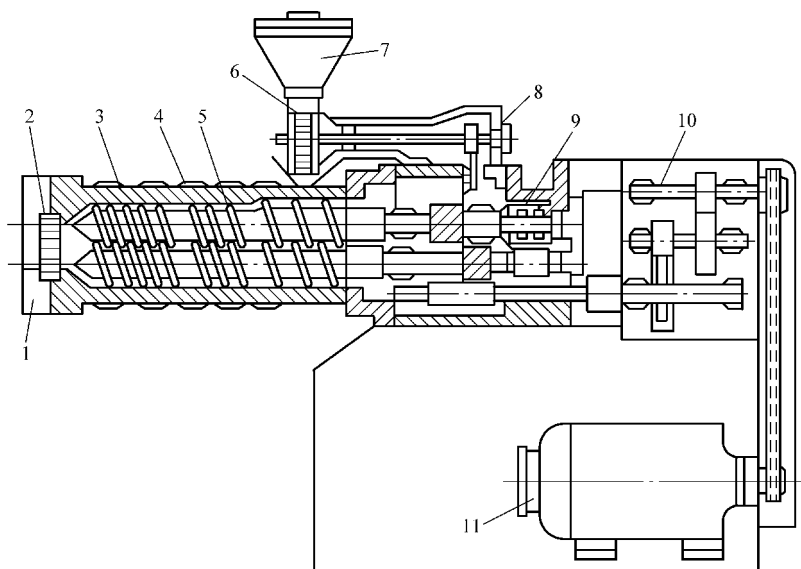


图 4-14 双螺杆挤出机结构示意图

1—机头连接器 2—多孔板 3—机筒 4—加热器 5—螺杆 6—加料器
7—料斗 8—加料器传动机构 9—推力轴承 10—减速机 11—电动机

向与啮合的关系如图 4-15 所示。它们的工作机理和性能及用途有很大不同，选用时必须弄清。

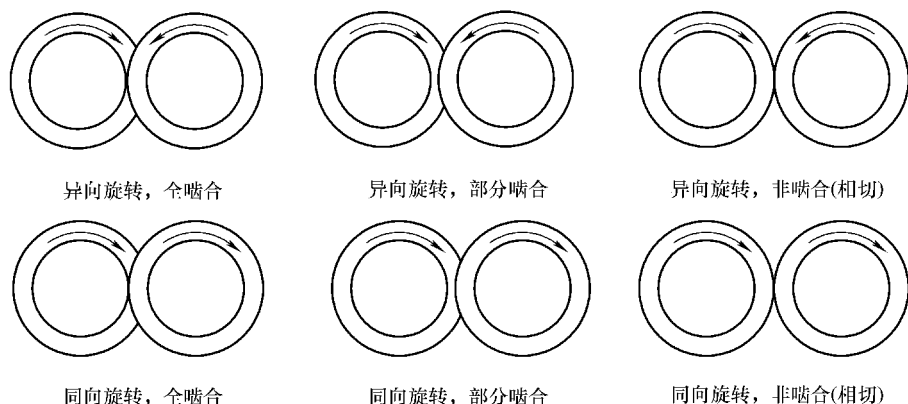


图 4-15 双螺杆挤出机转向与啮合的关系

(1) 啮合型同向旋转双螺杆挤出机 这种双螺杆挤出机采用组合式，螺杆和机筒都是组合的。其长径比大 ($L/D = 36 \sim 48$)，螺杆转速高（新一代最高可达 1200r/min ），配有各种混合元件和剪切元件。通过科学的组合，可以提供高的剪切速率和切应力，能进行分布混合和分散混合；可对不同聚合物（两种及两种以上聚合物）和配方（聚合物中加有各种添加剂）进行共混、填充、增强

改性；也可进行反应挤出。它比单螺杆挤出机的混合能力有大幅度的提高，是目前塑料改性中用得最多的一种机器。

这里应当指出，虽然这种机器性能好，但若不会应用，就发挥不了它应有的作用。当前最突出的现象是，有的使用单位自机器买回来，不管是什么物料，什么配方，完成什么混合作业，都是用一种螺杆（机筒）组合，从来就没有拆过螺杆（机筒），进行过重新组合。一种螺杆（组合）到底，这是很不应该的，完全违背了这种双螺杆的设计用意，也不会有好的使用效果。正确地使用应当是根据不同的物料和配方，以及要完成的混合工艺目标，选用不同的螺杆（机筒）元件，对螺杆（甚至机筒）进行组合。当然，这种组合是一种专门的技术和诀窍，是要根据对各种螺杆元件性能以及物料性能的了解，通过实验-经验-理论分析结合的方法得出的。有的双螺杆生产厂家，在卖给使用单位时会提供1~2种螺杆组合，但更多的螺杆组合要靠用户自己的实验和经验。

(2) 啮合型异向旋转双螺杆挤出机 这种双螺杆挤出机又分平行的和锥形的两种。目前国内使用的异向双螺杆挤出机主要用于 RPVC 制品的挤出和造粒。

1) 用于 RPVC 制品挤出的啮合异向平行双螺杆挤出机。其工作机理和啮合同向双螺杆挤出机不同。啮合异向平行双螺杆挤出机是靠正位移输送物料的。螺杆是整体式，各区段一般由螺纹组成，螺槽较深，在啮合区纵横向都是封闭的。螺杆长径比 L/D 要比啮合同向双螺杆挤出机小得多， $L/D = 20 \sim 25$ 。螺杆转速低，大约几十转/分，分布混合能力较差。但在两螺杆的压延间隙中有拉伸流动和剪切流动，故有较好的分散混合能力。但若将这种双螺杆挤出机用作专用混炼机，其混合能力还是有限的。

锥形双螺杆挤出机的性能和用途与啮合异向平行双螺杆挤出机相同。其混合能力也有限，主要用于 RPVC 制品的挤出。

2) 用于配混料的啮合异向平行双螺杆挤出机。不同于用于 RPVC 制品挤出的啮合异向平行双螺杆挤出机，它的螺杆构型中组合了许多非常规螺纹元件（螺棱窄，螺槽宽，在啮合区纵横向皆开放）、特殊混合元件及剪切元件。螺杆长径比大（ $L/D = 30 \sim 40$ ），螺杆转数高达几百转/分，设有排气区，可以有几个加料口。这种双螺杆挤出机的混合效果可与啮合同向双螺杆挤出机比美，其分散混合性能甚至优于啮合同向双螺杆挤出机。

(3) 非啮合双螺杆挤出机 这是另一类双螺杆挤出机。它与啮合型双螺杆挤出机不同，两螺杆外径相切，不啮合，作异向向内旋转。在两个机筒孔之间有通道，因而两螺杆之间有物料交换。其长径比大， L/D 可达 100。螺杆转数高，可达几百转/分。这种双螺杆挤出机的分布混合性能好，但因无窄间隙的高剪切区，分散混合能力较差，其建压能力也较低，可用于混料造粒。如想建压，则两根螺杆不一样长，长出的那根螺杆就是单螺杆，可以建立较高压力。这种双

螺杆挤出机适用于共混、填充、增强改性，脱挥发分，塑料回收，更适于反应挤出。

3. 双螺杆挤出机主要技术参数

(1) 螺杆直径 指螺杆上螺纹的外径。用 D 表示，单位为 mm。锥形螺杆的外径分大端直径和小端直径，一般是用小端直径来表示锥形螺杆直径的规格。

(2) 螺杆长径比 指螺杆的有效长度与外径之比。用 L/D 表示， L 为螺杆螺纹部分长度， D 为螺杆直径。一般整体式双螺杆挤出机的长径比在 7 ~ 18 之间。对于组合式双螺杆挤出机，长径比是可变的。

(3) 螺杆转向 螺杆的转向有同向和异向之分。一般同向旋转的双螺杆挤出机多用于原料的混合；异向旋转的挤出机多用于塑料制品的挤出成型。

(4) 螺杆转速范围 指螺杆工作的最高转速和最低转速。用 $n_{\min} \sim n_{\max}$ 表示，单位为 r/min。

(5) 电动机功率 指驱动螺杆转动的电动机功率。用 P 表示，单位为 kW。

(6) 生产率 生产率的高低与挤出塑料的性质和成型模具的结构有关，它是按塑料制品种类标明的单位时间产量。用 q 表示，单位为 kg/h。

(7) 机筒的加热功率和加热段 加热功率指用电阻加热机筒时所用的总功率。用 P 表示，单位为 kW。加热段是指机筒被分段加热或温度控制段。

(8) 螺杆中心距 指两根螺杆装配后的中心线距离。用 n 表示，单位为 mm。

(9) 螺杆承受转矩 标明的是螺杆承受的最大转矩。单位为 $N \cdot m$ 。为确保挤出机安全生产，工作时不允许超过其最大转矩值。

(10) 螺杆轴承的承受力 指支承螺杆传动轴的轴承能承受的最大轴向力。单位为 N。

4. 双螺杆挤出机的操作规程

(1) 开机前的准备

- 1) 检查电器配线是否准确，有无松动现象。
- 2) 检查各热电偶、熔体传感器等检测元件安装是否良好。
- 3) 检查所有润滑点，并对所有需连接的润滑点再次清洁。
- 4) 起动润滑油泵，检查各润滑支路油流是否均匀稳定。
- 5) 检查所有上下水管、油管、真空管路，均应畅通、无泄漏，各控制阀门均应调节灵便。
- 6) 检查整个机组地脚螺栓是否旋紧。
- 7) 确认主机螺杆、机筒组合构型是否适合于将要进行挤出的配方，若不适合，则应进行重新组合调整。
- 8) 通电将主机加热到指定温度并保温 20min 后，按螺杆正常转向手动盘

车,两根螺杆与机筒、两螺杆之间,在转动数圈中均无异常响声和摩擦。若有异常,应抽出螺杆重新组合后装入。

9) 检查主机和喂料电动机的旋转方向,面对主机出料机头,如果螺杆元件是右旋,则螺杆为顺时针方向旋转。各喂料机按配套要求检查运转情况。

10) 清理储料仓及料斗。确认无杂质异物后,将储料仓加满物料,起动自动上料机。料斗中物料达到预定料位后,上料机将自动停止上料。

11) 对有真空排气要求的作业,应在冷凝罐内加好洁净自来水至规定水位,关闭真空管路及冷凝罐各阀门,检查排气室密封圈是否良好。

12) 机头可装也可不装过滤板(网),若工艺要求加过滤网时,可自备过滤网。

13) 主机冷却方式分为风冷或水冷(油冷)两种。对于风冷式,应检查风机运转是否正常。对于水冷式,一般都有配套的软水(或导热油)循环冷却系统。使用前应在水箱内加注软水(或导热油)至规定液位。初次使用时应待系统工作后再补加适量软水(或导热油)至正常液位。使用前须将各机筒段冷却管路阀门旋紧关闭。

(2) 开机操作

1) 预热升温。按工艺要求对各加热区温控仪表进行参数设定。

2) 各段加热温度达到设定值后,继续保温 30min,以便加热螺杆,同时进行确认各段温控仪表和电磁阀(或冷却风机)工作是否正常。

3) 起动润滑油泵,再次检查系统油压及各支路油流,打开润滑油冷却器的冷却水开关(当气温较低或工作后油箱温升较小时,冷却水亦可不开)。

4) 用手盘动电动机联轴器,正常(螺杆至少转动三转以上)后方可起动主电动机,调整主机转速旋钮(注意开车前首先将调速旋钮设置在零位),逐渐升高主螺杆转速,在不加料的情况下空转转速不高于 40r/min,时间不大于 1min,检查主机空载电流是否稳定。

5) 主机转动若无异常,即可少量加料,以尽量低的转速开始喂料,待机头有物料排出后再缓慢升高喂料螺杆转速和主机螺杆转速,升速时应先升主机速度,待电流回落平稳后再升速加料,并使喂料机与主机转速相匹配。每次主机加料升速后,均应观察几分钟,无异常后,再升速直至达到工艺要求的工作状态。

6) 待主机运转平稳后,则可起动冷却系统水泵,然后微微打开需冷却的机筒段截流阀,待数分钟后,观察该段温度变化情况。

7) 在主机进入稳定运转状态后,再起动真空泵。从排气口观察螺槽中物料塑化充满情况,若正常即可打开真空管路阀门,将真空控制在要求的范围之内。若排气口有“冒料”现象,可通过调节主机与喂料机螺杆转速,或改变螺杆组

合构型等来消除。

8) 塑料挤出后, 即需将挤出物料慢慢引上冷却定型、牵引设备, 并事先启动这些设备。然后根据控制仪表的指示值和对挤出制品的要求, 将各环节作适当调整, 直到挤出操作达到正常状态为止。

9) 切割取样, 检查外观是否符合要求, 尺寸大小是否符合标准, 快速检测性能, 然后根据质量要求调整挤出工艺, 使制品达到标准要求。

(3) 停机操作

1) 正常停车顺序:

① 将喂料螺杆转速调至零位, 按下喂料机停止按钮。

② 关闭真空管路阀门。

③ 逐渐降低螺杆转速, 尽量排尽机筒内残存物料。对于受热易分解的热敏性物料, 停车前应用聚烯烃料或专用清洗料对主机清洗, 待清洗物料基本排完后将螺杆主机转速调至零位, 按下主机停止按钮, 同时关闭真空室旁阀门, 打开真空室盖。

④ 若不需拉出螺杆进行重新组合, 可依次按下主电机冷却风机、油泵、真空泵、水泵的停止按钮, 断开电器控制柜上各段加热器电源开关。

⑤ 关闭切粒机等辅机设备。

⑥ 关闭各外接进水管阀, 包括加料段机筒冷却水、油润滑系统冷却上水、真空泵和水槽上水等 (主机机筒各软水冷却管路节流阀门不动)。

⑦ 对排气室、机头模面及整个机组表面进行清扫。

2) 紧急停车。遇有紧急情况需要停主机时, 可迅速按下电器控制柜红色紧急停车按钮, 并将主机及各喂料调速旋钮旋回零位, 然后将总电源开关切断。消除故障后, 才能再次按正常开车顺序重新开车。

(4) 安全生产注意事项

1) 开机时操作人员不得站在机头前面, 要在侧面操作, 以免机头喷料, 烫伤人体。

2) 机器运转中发现机头漏料时应及时进行停机检修, 装机头时要注意装紧, 以免开车挤料时将机头挤出。

3) 挤出机过滤网应根据工艺要求合理选用并定期更换。

4) 在全部生产过程中应随时检查机器设备仪表和工作部分, 坚持巡回检查, 确保设备安全运转。

5) 辅助设备发生故障要停止运转后再修理。

6) 停机后应做必要的清理和检修, 停机时间长时要做好各部位的防锈工作。

7) 挤出机停机时, 机筒内除烯烃类物料外, 对热敏性塑料 (如聚氯乙烯),

必须将机筒的剩料挤出。

5. 双螺杆挤出机的维护和保养

为了确保挤出机的安全稳定生产,延长其使用寿命,必须加强对双螺杆挤出机的维护保养工作,具体内容如下:

- 1) 物料内不允许有杂物,严禁金属和砂石等坚硬物进入料斗和机筒内。
- 2) 打开机筒盖或抽气室盖时,严防有异物进入主机内。
- 3) 预热升温时间要充足,一般达到工艺设定温度后,应恒温 2~3h。开车之前手动盘车应轻快。
- 4) 螺杆只允许在低速下起动,空转时间不应超过 2min,喂料机在采用饥饿方式唯料后,方可逐渐提高转速。
- 5) 经常检查各润滑部位和油位,新机器开始运转时,第一年每季度换油一次,以后每半年换油一次。
- 6) 经常检查螺杆、机筒的磨损情况,必要时更换。
- 7) 一年检查一次齿轮箱的齿轮、轴承和油封。
- 8) 每月清理润滑油过滤器、吸油箱等,并检查油箱内磁铁表面是否有铁屑。
- 9) 每天应进行巡检。内容有:各润滑部位的润滑情况和油位显示;各转动部位轴承的温升及噪音情况;机组的振动情况;电动机、电加热器的电流、电压显示;润滑油、冷却水的温度、压力显示及其管路的泄漏情况;挤出产品的质量等。
- 10) 长时间停机时,对机器应有防腐、防污措施。

6. 双螺杆挤出机常见故障和处理方法 (见表 4-8)

表 4-8 双螺杆挤出机常见故障及处理办法

故障现象	产生原因	处理方法
主电动机不能启动	1. 开车程序有误	1. 检查程序,按正确开车程序重新开车
	2. 主电动机电路故障,如熔断丝烧断	2. 检查主电动机电路,特别是熔断丝是否损坏
	3. 与主电动机相关联的联锁装置未开启	3. 检查润滑油泵与主电动机联锁装置的工作状态。检查主电动机冷却系统与主电动机联锁装置的工作状态
主电动机起动电流过高	1. 加热时间不足,转矩过大	1. 延长加热时间
	2. 某段加热器不工作或已损坏	2. 检查各段加热器是否工作正常
	3. 螺杆组合有误,相互干涉	3. 重新组合螺杆

(续)

故障现象	产生原因	处理方法
主电动机电流不稳	1. 喂料不均匀	1. 检查喂料机, 排除故障
	2. 主电动机轴承损坏或润滑不良	2. 检查主电动机, 必要时更换轴承
	3. 某段加热器失灵, 不加热	3. 检查各加热器是否正常, 必要时更换
主电动机发出异常声音	1. 主电动机轴承损坏	1. 更换主电动机轴承
	2. 主电动机电源电路故障	2. 检查主电动机电源电路, 排除故障
主电动机轴承温升过高	1. 轴承润滑不良	1. 检查并加润滑油
	2. 轴承磨损严重	2. 检查电动机轴承, 必要时更换
机头出料不畅或堵塞	1. 加热器中有个别段不工作, 物料塑化不好	1. 检查加热器, 必要时更换
	2. 操作温度设定偏低, 或物料的对分子质量分布宽, 性能不稳定	2. 核实各段设定温度, 必要时与工艺技术员协商, 提高温度设定值
	3. 可能有异物(如较小的金属块或砂石)进入挤出机并堵塞机头	3. 清理检查挤出机挤压系统及机头
机头压力不稳	1. 主电动机转速不均匀	1. 检查主电动机控制系统及轴承
	2. 喂料电动机转速不均, 使喂料量有波动	2. 检查喂料系统电动机及控制系统
润滑油压偏低	1. 润滑油系统调压阀压力设定值过低	1. 检查并调整润滑油系统压力调节阀
	2. 油泵故障或吸油管堵塞	2. 检查油泵、吸油管
自动换网装置速度慢或不灵活	1. 气压(或油压)低	1. 检查换网装置的动力系统(压缩空气或液压油)是否符合规定
	2. 气缸(或液压缸)漏气(或漏油)	2. 检查气缸或液压缸密封
安全销或安全键切断	挤压系统转矩过大	1. 检查挤压系统是否有金属等坚硬物进入卡住螺杆
		2. 如果是刚一开车发生此现象, 应核查预热升温时间是否充足及设定温度值是否符合加工要求
挤出产品量突然明显下降	1. 喂料系统故障, 停机或料斗中没料	1. 检查喂料系统及料斗中的料位
	2. 挤压系统中进入坚硬异物, 使物料不能正常输送	2. 检查清理挤压系统

4.3.3 行星螺杆挤出机

这是一种应用越来越广泛的混炼机械，具有混炼和塑化双重作用。特别适于加工对热敏感的物料（如硬质聚氯乙烯），如作为压延机的供料装置。它可以同时满足在尽可能低的温度下熔体有良好的均匀混合性，能对物料提供低但又具有足够强度的剪切力，停留时间短、产量高、能耗低以及所添加的助剂、改性剂分散得好等各种要求。

这种挤出机结构特点是挤压系统分为两段，第一段为常规螺杆（螺杆直径等于机筒内径），第二段为行星螺杆，此段螺杆由多根螺杆组成，中心一根是主螺杆，在其周围安置着与之啮合的若干根（7~18根不等，取决于螺杆直径大小和用途）小直径的螺杆，这些小螺杆同时又与机筒内壁上加工出来的内螺纹相啮合。小螺杆除自转外，还绕主螺杆作公转，故称为行星螺杆。当物料通过啮合的齿侧间隙时，形成0.2~0.4mm的薄层，其表面不断更新，非常有利于塑化

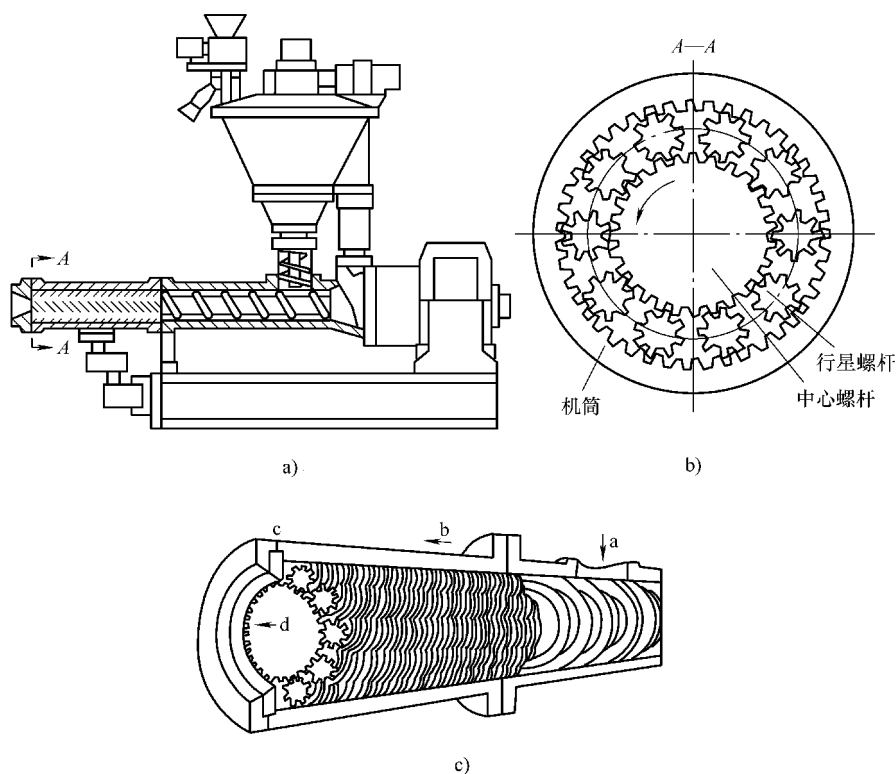


图 4-16 行星螺杆挤出机结构示意图

a) 行星螺杆挤出机 b) 行星螺杆剖面图 c) 行星螺杆的构造

熔融。图 4-16 所示为行星螺杆挤出机及行星螺杆的构造。

4.3.4 FCM 连续混炼机

FCM (Farrel Continuous Mixer) 是由间歇式密炼机发展而来的两转子连续混炼机。它克服了密炼机间歇工作的缺点, 保留了密炼机的优异混炼特性, 并使之成为连续工作的混炼机。其传统形式是 2 阶式, 第 1 阶是混炼机, 第 2 阶是单螺杆挤出造粒机。FCM 混炼机的结构如图 4-17 所示。

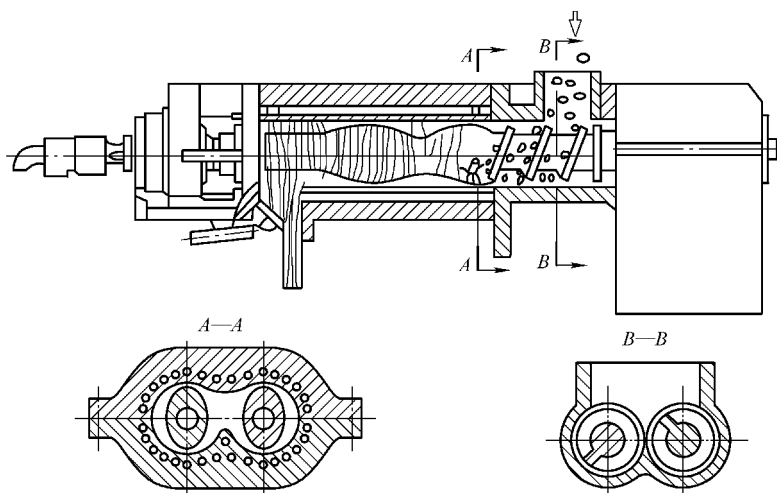


图 4-17 FCM 混炼机的结构示意图

FCM 机筒内装有两个反向旋转的转子, 每个转子均分三个功能段, 即进料段、计量段和塑化段。进料段在结构上与密炼机的椭圆形转子相似, 预混料在转子与筒壁间受到剪切, 转子的翅片把完全熔融的物料送向计量段, 在此, 翅片又把物料刮下, 送向卸料孔。物料的塑炼程度取决于转子的旋转速度。

该机器可以用于对填充高聚物、未填充高聚物、增塑高聚物、未增塑高聚物、热塑性高分子材料、橡胶掺混料、色母料等进行混合, 也可以用于含有挥发物的聚烯烃或合成橡胶的混合, 具有能连续工作、操作灵活简便、对工艺的适应性强、维护方便、效率高、产量大, 物料质量均匀等特点。

4.3.5 Buss-Kneader 连续混炼机

Buss-Kneader 连续混炼机属于单螺杆挤出机 (如图 4-18 所示)。其特点是螺杆除了做旋转运动外, 还做往复运动, 螺杆每转一转, 轴向往复运动一次。其机筒是剖分的, 在机筒内表面上装有按一定规律排列的许多销钉, 而螺杆上的三条螺纹是断开的, 当螺杆旋转时, 销钉通过断开的螺纹, 销钉和断开的螺纹间有很小的间隙, 螺杆旋转时, 该间隙中有很高的相对运动速度, 可以产生很

高的剪切速率。

当物料由加料段进入混合段时，在机筒外加热和螺杆与销钉的剪切作用产生的热量作用下，得以融熔，同时物料在螺杆的旋转和轴向往复运动中产生的剪切、拉伸、分流、合并、折叠、再取向等作用下，得以混合，混合过程产生的气体也得以排除。

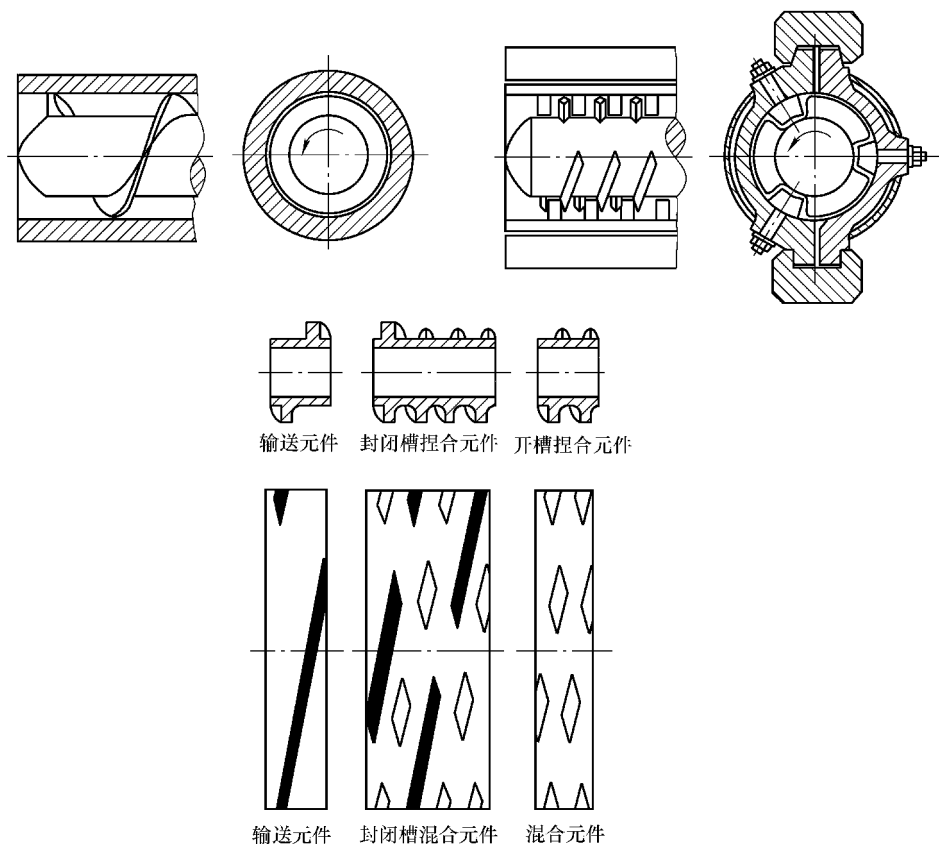


图 4-18 Buss-Kneader 连续混炼机的结构示意图

Buss-Kneader 的螺杆长径比较短 $L/D = 7 \sim 23$ ，转速高，可达几百转/分，是一种性能优异的连续混炼机，它能提供良好的分布混合和分散混合。用它进行共混、填充、增强等物理改性和化学改性可以得到良好的效果。其综合性能可以和啮合同向双螺杆挤出机比美，二者价格也差不多。除了由国外进口这种机器外，我国江阴新达塑料机械有限公司已批量生产这种机器。

但是，由于其螺杆的往复运动，在螺杆末端出料是脉动的，压力是脉动的，而且建压能力低，故不能直接接机头进行造粒和挤出制品。通常在螺杆末端接熔体齿轮泵，用以建压和稳定压力。在齿轮泵后接造粒机头；或在 Buss-Kneader

下游接一台单螺杆熔体挤出机，进行造粒的同时，还可在两台机器之间进行排气。

4.4 造粒设备

4.4.1 平板切粒机

平板切粒机适用于 PE、PP、ABS、PVC、PA 及各种电缆料的造粒。其优点是操作简单，设备费用低；粒子为方形，无需干燥。缺点是粒子形状不易得到保证。

4.4.2 牵条冷切粒设备

牵条冷切粒设备通常与挤出机配合使用，主要适用于对 PA、PE、ABS、PVC、PP、PS 等物料的造粒，塑料共混、增强混合后的造粒和非吸水性色母料的造粒。

1. 牵条冷切粒设备的结构

牵条冷切粒设备由造粒机头、冷却水槽、吹风干燥机、冷切粒机等部分组成，如图 4-19 所示。

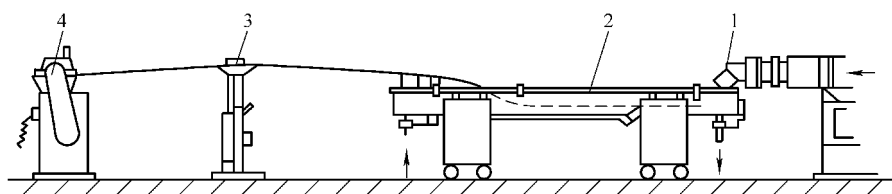


图 4-19 牵条冷切粒设备示意图

1—造粒机头 2—冷却水槽 3—吹风干燥机 4—冷切粒机

2. 牵条冷切粒设备的特点

优点：设备结构简单，操作维护方便；颗粒相互之间不粘连，颗粒形状整齐、美观；适应范围广。

缺点：功率消耗较大；刀具磨损较严重，不适用于对物料的绝缘性要求较高的场合；因为塑料条在切粒以前需要经过水槽冷却，因此，本设备不适用于对含水要求较高的场合；产量不高，需要相对大的空间。

3. 牵条冷切粒设备的操作

(1) 安装 将机器置于地面（水磨石地坪），调整机架高度调整垫，使机器大致水平即可。

(2) 试车

1) 接通电源, 观察电动机的旋转方向是否符合说明书的要求, 本设备严禁逆转。

2) 检查机器的轴承、齿轮的润滑情况和定刀与旋转刀片的间隙。

(3) 操作

1) 首先接通气源, 调节气压至 0.4MPa, 夹紧胶辊。

2) 接通电源, 调整刀片的转速至 100 ~ 200r/min。

3) 将由挤出机挤出, 并经水槽冷却的直径约 4mm 的塑料条平行送入切粒机的入口, 开始切粒。

4) 观察塑料条的粗细程度, 并调节切刀的转速 (即切粒速度), 直至塑料条的直径保持在 3mm 左右。

5) 生产结束前, 随着挤出机的减速减量, 切粒机的切粒速度也应该同步降低。

6) 切断气源, 抬起胶辊。

7) 将切粒速度平稳地降至零, 然后再关闭电动机, 切断电源。

(4) 维护与保养

1) 轴承的润滑。旋转刀的轴承与牵引辊的轴承必须每 1000h 加注 ZG—2 钙基润滑脂一次, 连续工作 7000h 后, 应该拆卸清洗一次。

2) 刀片的保养。定期检查刀片的间隙与磨损情况, 运行 500h 以后, 检测定刀与旋转刀片之间的间隙, 并调整至 0.03 ~ 0.1mm。

3) 胶辊的保养。胶辊表面因磨损而表面不平时, 应及时对胶辊表面进行车加工后再使用。

(5) 注意事项

1) 切粒机使用时不可超负荷运行。

2) 操作工人不得戴手套进行操作。

3) 所加工塑料条料中不得掺夹硬物, 否则应立即停机, 待问题解决后方可继续开机。

4) 如果操作过程中发现所加工的颗粒出现毛头或剪不断的现象时, 应检查并调整旋转刀片与定刀的间隙。

5) 塑料条的出水温度应控制在 80℃ 以内。

4.4.3 风冷热切粒设备

风冷热切粒又称为模面切粒, 通常与挤出机配合使用, 主要适用于对 PVC、PE、ABS、PP、PS 等物料的造粒, 以及填充母料、色母料、电缆料的造粒, 产量较低 (100kg/h)。

1. 风冷热切粒设备的结构

风冷热切粒设备主要由造粒机头、模面切粒装置、冷却筛分装置等部分组成。机头通常为圆形，出料孔分布在以螺杆轴线为圆心并垂直于螺杆轴线的圆周上，如图 4-20 所示。

2. 风冷热切粒设备的特点

优点：塑料粒子的形状为圆柱形或腰鼓形，形状良好；设备所消耗的功率低，结构简单，刀具磨损量小，操作、维护方便；塑料粒子不需要进行干燥处理。

缺点：粒子之间可能会出现粘附现象，所加工物料的熔体流动速率不宜过低。

3. 风冷热切粒设备的操作

(1) 设备的安装

1) 将造粒机头安装在挤出机机头上，拧紧所有紧固件。

2) 将模面切粒装置放置于挤出机的前面，调整与挤出机的相对位置，使其与挤出机处于同一条直线上，并使旋转刀片的轴线与挤出机的轴线重合。

3) 将冷却筛分装置安放于与挤出机平行的位置。注意：在移动时，其吊装的受力点应该在机架上。

4) 用管道将各部分连接起来。

(2) 试车与操作

1) 检查模面切粒装置的旋转刀片与挤出机的同轴度，调整刀片与机头模面的距离至 0.15mm。

2) 启动挤出机和造粒机，检查旋转刀片、送料风机、冷却风机和振动筛的转动方向是否正确。

3) 当物料从模面挤出后，调整刀片与机头模面的距离和旋转转速，以得到所需要的几何形状的物料颗粒，并检查物料的冷却情况。

4) 停车时，拆卸机头以前，必须将挤出机螺杆中的物料排尽。

(3) 维护与保养

1) 该设备工作时不需压缩空气，但是必须配备气源，以备在定期清理造粒机中的灰尘、残留物料时使用。

2) 定期清理冷却筛分装置及管道，当更换物料种类时，必须仔细清理振动

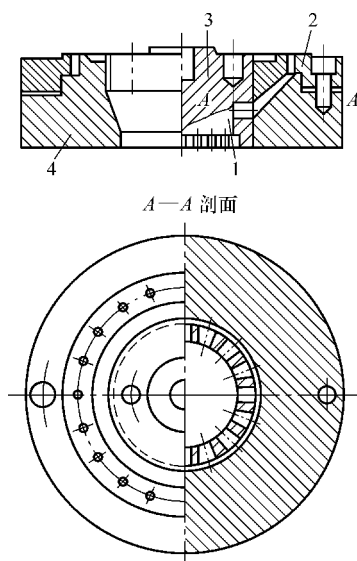


图 4-20 造粒机头结构示意图

1—多孔板 2—出条孔板
3—分流锥 4—模体

筛和输送管道,防止新物料受到污染。

3) 定期给各转动部件加润滑油。

4) 定期检查旋转刀片的完好性,对已经钝口的刀片,应该及时重磨。重新安装刀片时,应认真检查刀片与模面的相对位置,并拧紧紧锁螺钉。

4.4.4 水下热切粒设备

水下热切粒设备通常与挤出机配合使用,主要适用于对 PE、ABS、PP、PS、PVC 等物料的造粒。

1. 水下热切粒设备的结构

水下热切粒设备由水下切粒机头、温水循环系统、分离系统、筛分系统等部分组成,如图 4-21 所示。

2. 水下热切粒设备的特点

优点:颗粒外形美观、均匀,不易粘接;产量高;切下的颗粒可以由水输送到任何地方,操作无噪音;密闭操作,颗粒质量好,无灰尘、杂物混入。

缺点:附属设备(如温水循环系统、颗粒脱水干燥系统等)庞大、复杂;由于机头与温水接触,运行过程中,为了保持机头的温度,需要消耗大量的热量;旋转切刀与多孔模板表面的间隙较小,对操作条件要求高,操作不当会引起模孔的堵塞。

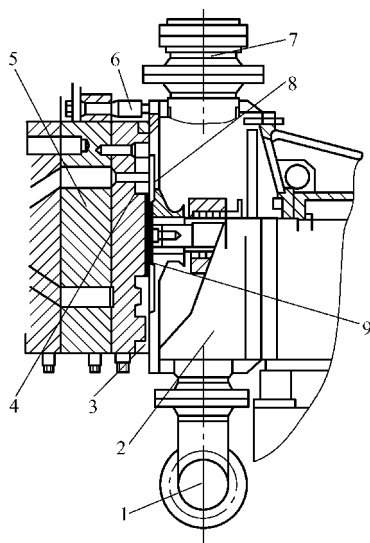


图 4-21 水下热切粒装置

- 1—进水管 2—切粒水箱壳体 3—密封螺栓 4—口模 5—机头分流板 6—连接螺栓 7—粒子与水的出口管 8—刀片 9—隔热板

4.4.5 水环热切粒设备

适用于 EVA 热熔胶、TPU 弹性体、电缆料等物料的造粒。

1. 水环热切粒设备的结构

水环热切粒设备由水环切粒机头、温水循环系统、分离系统、筛分系统等部分组成。其中,水平、垂直水环切粒机头的结构如图 4-22、图 4-23 所示。

2. 水环切粒设备的结构特点

优点:颗粒外形美观、均匀,不易粘接;产量高;切下的颗粒可以由水输送到任何地方,操作无噪音;密闭操作,颗粒质量好,无灰尘、杂物混入。

缺点:附属设备(如温水循环系统、颗粒脱水干燥系统等)庞大、复杂。

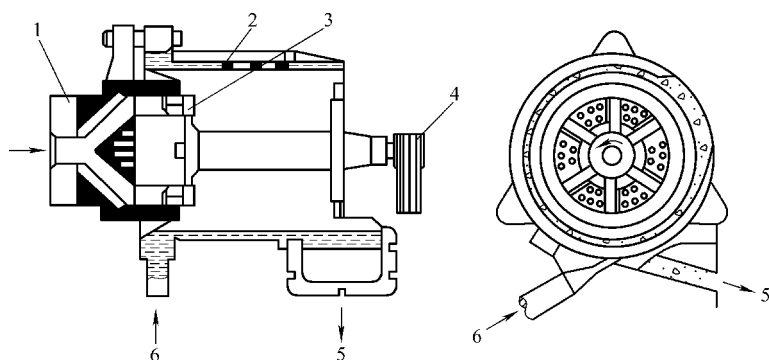


图 4-22 水平水环热切粒机头结构示意图

1—机头 2—水环管壳体 3—切口 4—传动系统
5—水和粒料出口 6—高速水进口

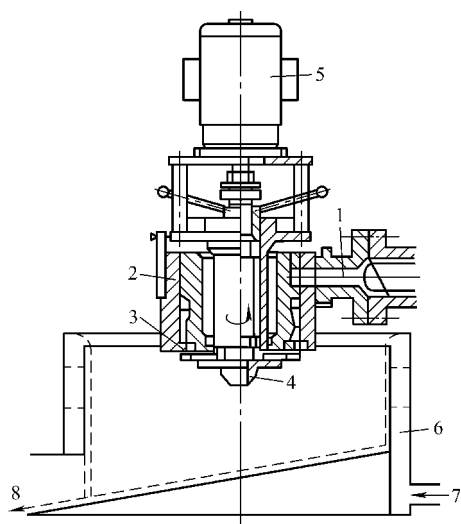


图 4-23 垂直水环热切粒机头结构示意图

1—熔体 2—机头 3—模板 4—切刀体 5—电动机
6—水环室 7—进水口 8—料、水混合物排出口

4.4.6 偏心切粒设备

偏心热切粒机头结构示意图如图 4-24 所示。该切粒装置由于切刀是由上往下切粒，避免了塑料粒子的四处飞散，常为大型造粒机所采用。

4.4.7 环形铣刀热切造粒机

环形铣刀热切造粒机的结构如图 4-25 所示，用螺旋铣齿切刀作切粒机构，机头出料孔直线排列，适合于所有热塑性塑料，包括聚酰胺、PET、聚氯乙烯等

的造粒。

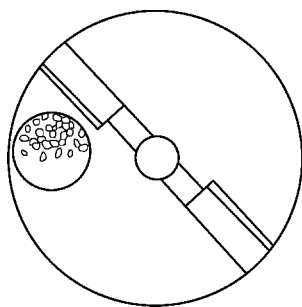


图 4-24 偏心热切粒机头结构示意图

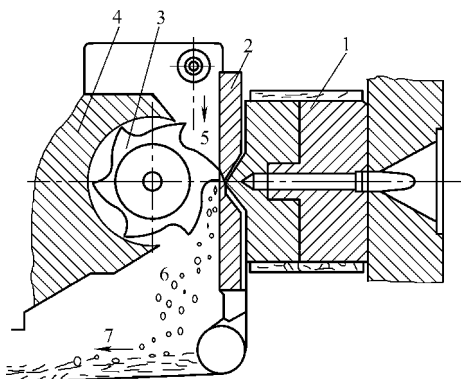


图 4-25 环形铣刀热切造粒装置

1—机头体 2—模板 3—切刀 4—切粒机构
5—喷水 6—粒料 7—排水

以上各种造粒设备的比较见表 4-9。

表 4-9 不同造粒设备的比较

造粒方法		产量 /(kg/h)	适用材料	粒料直径 /mm	长度 /mm	粒料形状	主要特点
冷切造粒	平板	5~1000	PE, PP, ABS, PVC, PA 等	1~6	1~6	正方体	起动容易, 切口形状不良, 粒料流动性差, 不需后干燥
	牵条	5~1000	PE, PP, ABS, PS, PA 等	1~6	1~6	圆柱体	适用于多种树脂, 产量大, 不需后干燥, 可空气冷却
热切造粒	风冷热切粒	20~100	PVC 等	4~6	1~2.5	圆柱体	操作简单, 颗粒形状好, 切粒动力小, 限于 PVC 或高粘度物料挤出
	水下热切粒	500~10000	PE, PP 等	2.5~6	1~3	围棋子状圆柱体	粒料外形美观、均匀, 粒料不易粘接, 操作简单, 产量大
	偏心热切水冷	20~3000	PE 等	2~6	1~3	围棋子状圆柱体	机头较小, 产量高, 切刀相对较大
	铣齿环刀切粒	10~1000	PP, PE, ABS, PVC, PS 等	1.5~6	1~3	围棋子状圆柱体	几乎适用于所有热塑性塑料的造粒
	水环热切粒	500~5000	几乎所有热塑性塑料	1.5~6	1~3	围棋子状球体	适用于高产量场合, 适合所有热塑性物料

4.5 其他设备

4.5.1 粉碎设备

1. 粉碎设备的类型

对于品种众多的塑料，其力学性能相差很大，断裂机理也各不相同，导致出现了不同类型的塑料粉碎机，以适应不同塑料材料的粉碎加工。按粉碎机安置形式分有立式和卧式两种；按粉碎机的主要粉碎机理分有剪切式、冲击式、压缩式、涡流式、涡轮式等多种形式；按操作方式分有低温操作粉碎机和常温操作粉碎机。下面仅就几种较为典型的粉碎机进行简要介绍。

(1) FB 系列塑料破碎机。FB 系列塑料破碎机（如图 4-26 所示）适用于破碎各种热塑性塑料和橡胶，如塑料异型材、管、棒、丝线、薄膜、废旧橡胶制品等。使用时可调整相应剪切角度，具有节能、高效、低噪声、价廉、刀具寿命长、破碎能力大、产量高、工作性能稳定等特点，特别是对薄膜、编织袋、丝等的破碎效果尤佳。

(2) SFJ 系列塑料粉碎机。SFJ 系列塑料粉碎机（如图 4-27 所示）主要用于热塑性塑料，如聚乙烯、聚丙烯、聚丁烯、聚氯乙烯、尼龙、聚酯等的常温粉碎，细度为 $25 \sim 120\mu\text{m}$ 。具有产量高、能耗低、运转平稳、噪音小、维修简单、安装方便等特点。



图 4-26 FB 系列塑料破碎机

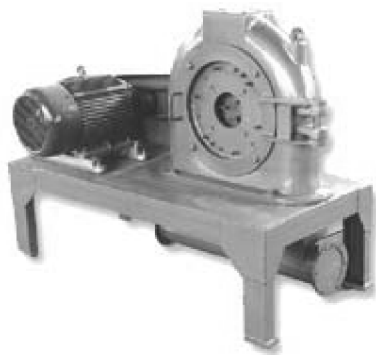


图 4-27 SFJ 系列塑料粉碎机

(3) 低温粉碎机 低温粉碎机（如图 4-28 所示）是一种微粉生产设备，特别适合加工热塑性塑料、纤维等热敏性物料（如聚乙烯、橡胶、尼龙等）。该机由冷却、输送、粉碎、分离、收集等系统组成。与常温粉碎机相比具有以下特点：可以防止被粉碎物料发热而变质、变性等；对几种不同性能组成的复合材

料或混合物，可以进行选择性粉碎，最终各自分离成纯净单一的物质；可明显减小粉碎机所需动力，提高生产率和降低能耗；对热敏性物料的可回收次数和回收率大大提高。

(4) CWM 系列涡流磨 CWM 系列涡流磨（如图 4-29 所示）具有超声波粉碎和喷射功能，能产生高频振动，能连续工作，并具有同时进行干燥和粉碎的双重功能。它不但粉碎效率高，产品细，还能自动调节细度，适合特殊物料和热敏性物料的粉碎，能加工一般微粉机难于粉碎的韧性、纤维性和含水较多的潮湿物料，解决了常温下对塑料等有机材料的超细粉碎。

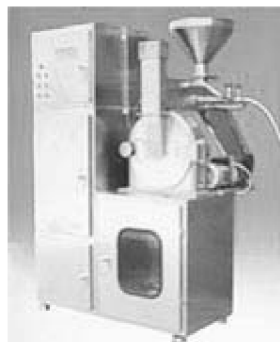


图 4-28 DFJ 系列低温粉碎机

2. 粉碎设备的选择原则

粉碎设备的选用主要取决于被粉碎物料的种类、形状以及所需的粉碎程度等，不同材质的塑料就应采用不同的粉碎设备，硬质聚氯乙烯、聚苯乙烯、有机玻璃、酚醛树脂、脲醛树脂、聚酯树脂等是脆性塑料，质脆易碎，一旦受到压缩力、冲击力的作用，极易脆裂，破碎成小块，对于这类塑料宜采用压缩式或冲击式粉碎设备进行粉碎；而对于在常温下就具有较高延展性的韧性塑料，如聚乙烯、聚丙烯、ABS 塑料等，则只宜采用剪切式粉碎设备，因为它们受到外界压缩、折弯、冲击等力的作用，一般不会开裂，难以破碎，不宜采用脆性塑料所使用的粉碎设备。此外，对于弹性材料、软质材料，则最好采用低温粉碎。另外应根据物料需要粉碎的程度来确定粉碎设备，若将大块破碎成小块时，应采用压缩式、冲击式或剪切式粉碎设备；若将小块粉碎成细粉、细粒时，则主要采用研磨式粉碎设备。



图 4-29 CWM 系列涡流磨

4.5.2 干燥设备

干燥是将材料中所含的水分、溶剂等可挥发成分气化除去的操作，它在塑料加工过程中是很重要的环节，很多树脂在常温下易吸收水分，使其含水率较高，如 ABS 树脂、PA 树脂等，在成型加工前必须干燥，否则成型的制品会产生

气泡、强度下降等质量问题，成为不合格品。干燥方式很多，可根据材料的特性、形态、干燥过程中材料变化、干燥机理等情况选择合适的干燥装置和干燥条件。

1. 普通烘箱

普通烘箱是经常使用的一种干燥设备，尤其在生产物料的批量小时，用普通烘箱干燥的优越性就显露出来。

2. 料斗式热风塑料干燥机

对于非吸湿性物料，可使用热风干燥机（如图 4-30 所示）进行干燥。因为水分只是被物料与水的界面张力松散地约束，易于去除。热风干燥机技术参数见表 4-10，其工作方式是：当开动风机后，风机把经过电阻加热的空气由料斗下部送入干燥室，热风由下往上吹，热风在原料中通过时，把原料中的水分加热蒸发并带走，潮湿的热气流由干燥室顶部排出。这种热风连续进出，把原料中的水分一点点蒸发带走，达到干燥原料的目的。不同原料的干燥处理温度见表 4-11。

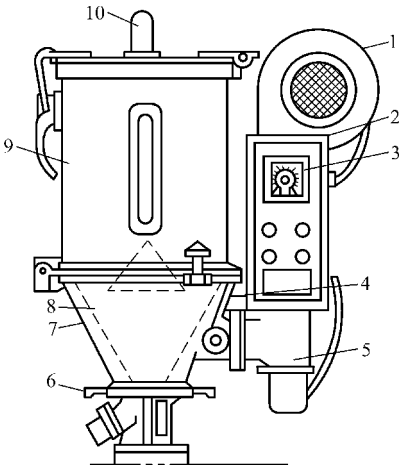


图 4-30 料斗式热风塑料干燥机

- 1—风机 2—电控箱 3—温度控制器
4—热电偶 5—电热器 6—放料闸板
7—集尘器 8—网状分离器 9—干燥室 10—排气管

表 4-10 热风干燥机技术参数

型号	容量 /L	装料量 /kg	电热 /kW	风机 /W	桶径 /mm	高度 /mm	质量 /kg	底座尺寸 /mm	电源（50Hz）
GZ 102	20	12	1.8	60	260	700	20	110×110	220V
GZ 104	40	25	2.7	100	345	960	40	160×160	220V
GZ 108	80	50	3.9	130	420	1160	50	160×160	220V
GZ 112	120	75	5	180	490	1240	60	180×180	380V（三相）
GZ 116	160	100	6	180	550	1320	72	180×180	380V（三相）
GZ 132	320	200	9	370	685	1660	112	230×230	380V（三相）
GZ 164	640	400	18	550	890	1940	180	280×280	380V（三相）
GZ 196	960	600	24	750	950	2260	250	280×280	380V（三相）
GZ 1128	1280	800	30	1100	1000	2900	300	280×280	380V（三相）

表 4-11 不同原料的干燥处理温度

原料名称	PE、PP	PS	丙烯酸树脂、ABS、AS	纤维素塑料	PC	PA
干燥温度/℃	65～80	70～80	70～90	65～75	100～120	70～75

对吸湿性物料的干燥一般分为三个干燥段：第一个干燥段是将物料表面的水分蒸发掉；第二个干燥段则将蒸发的重点放在材料内部，此时干燥速度缓慢降低，而被干燥物料的温度开始上升；在最后一个阶段，物料达到与干燥气体的吸湿平衡，在这个阶段，内部和外部的温度差别将被消除。在第三段末端，如果被干燥物料不再释放出水分，这并不意味着它不含水分，而只是表明胶粒和周围环境之间已经建立起了平衡。

3. 真空干燥器

目前，真空干燥也应用到塑料加工领域当中，这种连续操作型的机器由安装在旋转传送带上的三个腔体组成。在第一腔体处，当物料被填满后，通入被加热至干燥温度的气体以加热物料。在气体出口处，当物料达到干燥温度时即被移至抽成真空的第二腔体中。由于真空降低了水的沸点，所以水分更容易变成水蒸气被蒸发出去，因此，加速了水分的扩散过程。一般情况下，物料在第二腔体中的停留时间为20~40min，而对于一些吸湿性较强的物料而言，最多需要停留60min。最后，物料被送到第三腔体，并由此被移出干燥器。圆桶形、方形真空干燥器如图4-31所示。



图4-31 真空干燥器

a) 圆桶形 b) 方形

4. 红外线干燥器

干燥物料的另一种方法是红外线干燥工艺。在对流加热中，气体与物料之间、物料与物料之间以及物料内部的热导率都很低，因此热量的传导受到极大的限制。而采用红外线干燥时，由于分子受到红外线辐照，所吸收的能量将直接转换成热振动，这意味着物料的加热比在对流干燥中更快。与对流加热相比，在干燥过程中，除了环境空气和胶粒中水分的局部压力差以外，红外线干燥还有一个逆向的温度梯度。通常，干燥气体和受热微粒之间的温度差愈大，干燥过程就愈快。红外线干燥时间通常在5~15min。

4.5.3 筛粉设备

筛粉设备又称为筛分设备。按操作方法可分为固定筛和运动筛两类。按筛

网的形状分为转筒式和平板式；而转筒式又可分为圆盘式、滚筒式和链式等，平板运动筛则有摇动式和簸动式两种。

1. 固定栅式筛

固定栅式筛也称为栅筛，它是由许多倾斜放置的钢制栅条构成，其间隔通常为 75 ~ 300mm。适用于极粗物料的筛分。

2. 圆盘筛

圆盘筛用于筛分粗料。它由固定于横轴上的一排圆盘构成，如图 4-32 所示。在两圆盘之间留有空隙，当圆盘转动时，筛过物从空隙落下，经漏斗排出。

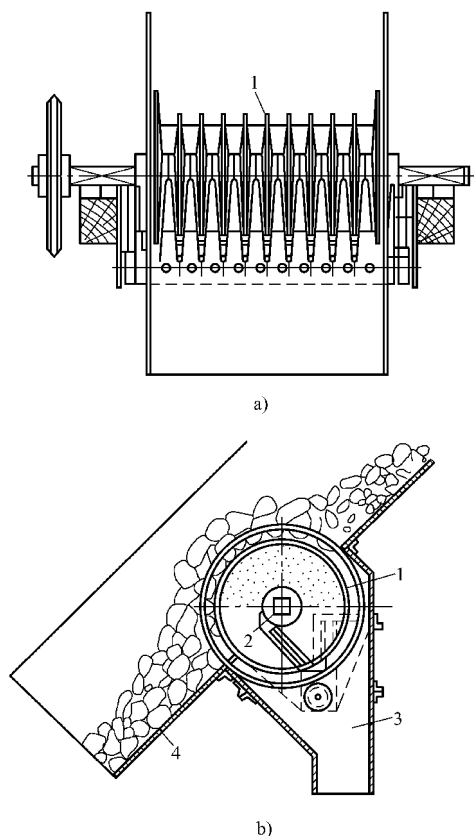


图 4-32 圆盘筛

a) 正面 b) 侧面

1—圆盘 2—横轴 3—筛过物取出漏斗 4—未筛过物排出槽

如图 4-33 所示为圆形振动筛，其原理是利用在旋转轴上配置不平衡重锤或配置有棱角形状的凸轮使筛产生振动。圆形振动筛分离效率高，处理能力大，维修费用低，占地面积小，质量轻，故被广泛应用。

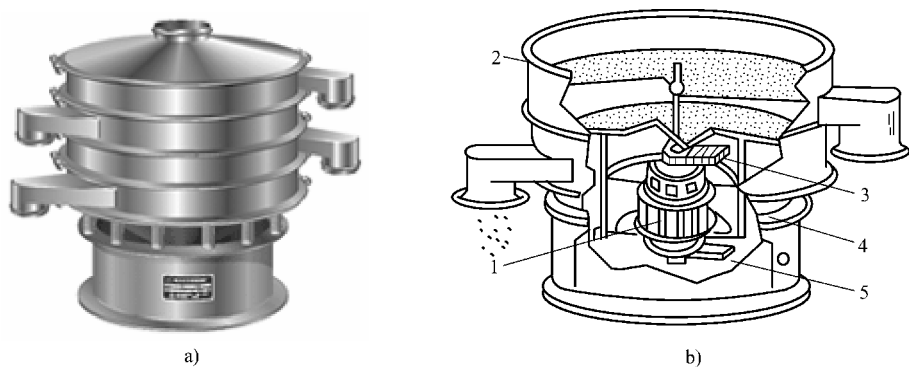


图 4-33 圆形振动筛

a) 实物图 b) 示意图

1—电动机 2—筛网 3—上部重锤 4—弹簧 5—下部重锤

3. 滚筒筛

滚筒筛又称回转筛，主要有电动机、减速机、滚筒装置、机架、密封盖、进出料口组成，如图 4-34 所示。滚筒筛滚筒装置倾斜安装于机架上，倾斜角一般为 $2^{\circ} \sim 9^{\circ}$ ，筒面上装有筛网。电动机经减速机与滚筒装置通过联轴器连接在一起，驱动滚筒装置绕其轴线转动。通过变速减速系统使筛分筒在一定的转速下旋转，物料自上而下通过筛分筒得到分离，细料从滚筒筛前端下部排出，粗料从筛分筒下端尾部排出。由于物料在滚筒内的翻转、滚动，使卡在筛孔中的物料可被弹出，防止筛孔堵塞。



图 4-34 滚筒筛

滚筒筛在使用过程中,运转缓慢均匀,冲击振动很小、工作平稳、安装简单,有时甚至不需要专门的基础。可以直接放置于平整的地面或楼板上及料仓下。

4. 摇动筛

摇动筛广泛用于细料的筛分,是一种平放或略带倾斜度的筛,如图 4-35 所示。操作时,依靠曲柄连杆机构使筛箱作往复运动。筛箱的振幅和运动轨迹由传动机构确定,即振幅一定(等于偏心距的一倍),不受偏心轴转速和筛上物料质量大小的影响。筛面上的物料由于筛的摇动而获得惯性力,克服与筛面间的摩擦力,产生与筛面的相对运动,筛过物经过筛孔,未筛过物则逐渐向卸料端移动。

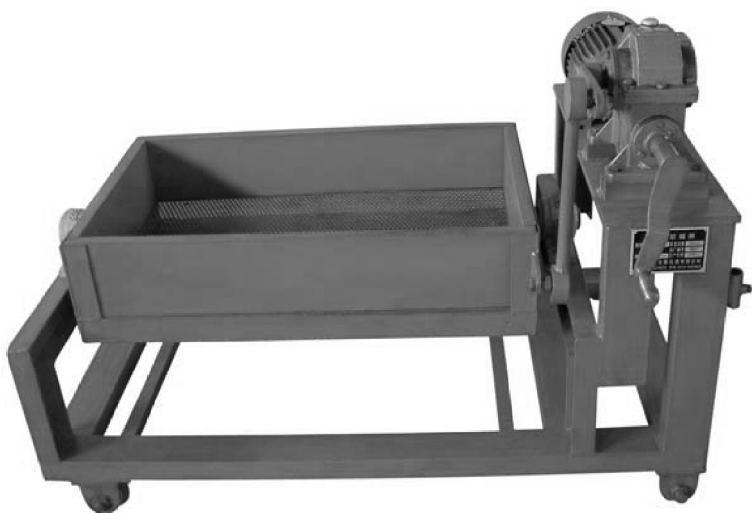


图 4-35 摇动筛

摇动筛的特点是摆动力大,振幅不随给料量的多少而变化。可以避免由于给料过多(或给料不均匀)而降低振幅和堵塞筛孔等现象。

5. 簸动筛

簸动筛由外壳、筛和振动机构组成,如图 4-36 所示。外壳的支撑为弹性支撑,筛网略微倾斜。操作时,由振动机构引起筛板上下簸动,使筛上的物料也作上下颠簸运动,筛过物通过筛孔落下,未筛过物则沿着筛面逐渐向前移动,最后从筛的

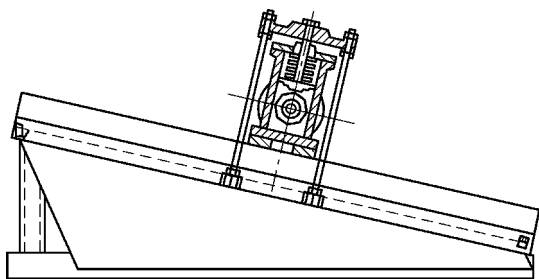


图 4-36 簸动筛

另一端落入粉碎机重新粉碎。

4.5.4 过滤装置

塑料挤出过程中，塑料熔体经长时间的塑化和受热，将会产生残渣，加上原材料中的杂质和未塑化颗粒，一旦进入挤出模具中，就会造成流道阻塞或制品缺陷，乃至不能正常生产。为了消除这些颗粒状杂质，使纯净的熔体顺利地进入挤出模具，并获得优质的制品，必须在挤出机螺杆头部和模具之间放置过滤网，随着挤出时间的延续，过滤网上就会堆积越来越多的垢污，此时熔压升高，熔体流量下降，当超过一定的熔压时过滤网被击破或堵塞而失效，就必须更换过滤网。塑料挤出机换网器大致可分为两大类：一类是非连续型换网器，在换网时熔体料流或瞬时中断，或停机换网；另一类是连续型换网器，可连续、自动、不停机换网，料流无中断。

4.5.5 上料装置

上料装置又称上料机，或塑料上料机。它是塑料生产流水线中必备的设备之一。上料装置有多种形式，生产中应用较多的是弹簧上料装置、鼓风上料装置和真空上料装置。

1. 弹簧上料装置

弹簧上料装置如图 4-37 所示。这种装置是把一根弹簧装在软管内，弹簧直接由电动机驱动旋转，使弹簧各点产生向上的轴向力和离心力，软管下端口与原料箱连通，上端有一开口，原料借助于弹簧的高速旋转，沿螺旋上升，至软管开口处，靠离心力把粒料抛入料斗内。

弹簧上料装置的能力取决于弹簧转速、弹簧外径及节距、弹簧外径与软管内壁的间隙等。弹簧上料装置的主要参数见表 4-12。

表 4-12 弹簧上料装置技术参数

弹簧内径 /mm	弹簧外径 /mm	软管直径 /mm	弹簧节距 /mm	输送能力 / (kg/h)	电动机		物料
					功率 /kW	转速 / (r/min)	
6	40	50	19	600	0.6	1410	粉料
8	55	65	30	—	2.8	1410	粉料
6	62	62	14	600	—	1410	粉料
6	38	50	20	420	1.5	1410	PVC 粒料

这种装置因结构简单、体积小、质量轻、成本低，使用方便可靠，能输送粒料、粉料以至流质体等，已被广泛应用于大型挤出机及注塑机。其缺点是噪声大，输送弹簧易折断。

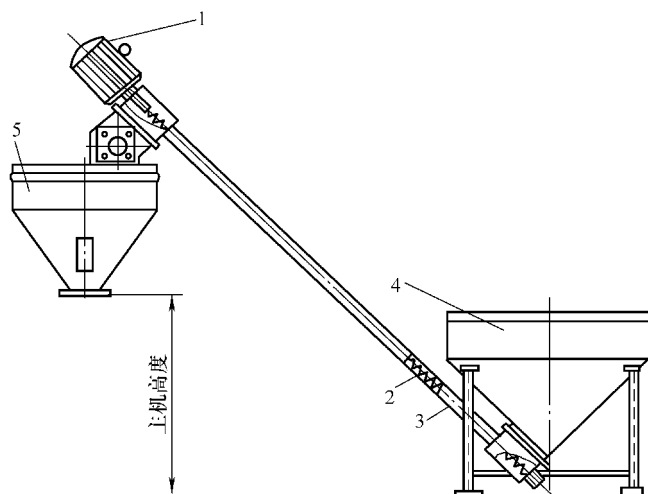


图 4-37 弹簧上料装置结构示意图

1—电动机 2—弹簧 3—软管 4—原料箱 5—料斗

2. 鼓风上料装置

鼓风上料装置如图 4-38 所示。它是在鼓风机的风力作用下，将塑料吹入输送管道，再经设在料斗上的旋风分离器进入料斗。这种上料装置仅适合粒料的输送。一般鼓风机风口的中心线与水平方向的倾斜角不要小于 30° 。

3. 真空上料装置

对于体积密度较小的物料，很容易夹带空气。如空气不能在进料斗排出，将会被带入挤出机，最终在口模处造成不良的挤出物表面。克服这一问题的方法之一是用真空上料装置。这种上料装置尤其适用于粉料的供料，同时还具有排出物料中水分及气体的作用，其结构如图 4-39 所示。

真空上料装置的工作过程是：当上料风机 2 起动时，通过吸气管 4 和过滤网 3，使中间储料仓 5 内成为负压；与此同时，与中间储料仓 5 和原料箱 9 连接的吸料管 8 把原料箱 9 内的原料吸入中间储料仓 5 内，当吸入一定量时，上料继电器动作，风机停止工作，吸料停止；然后，排料活门 6 打开，为挤出机料斗 7 供料。

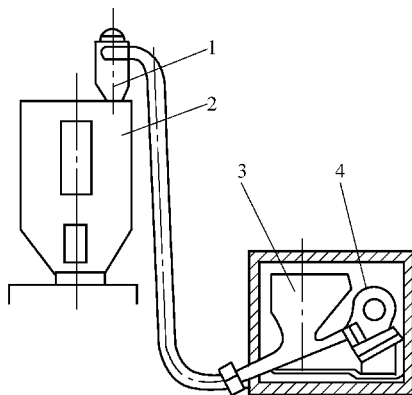


图 4-38 鼓风上料装置

1—旋风分离器 2—料斗
3—储料罐 4—鼓风机

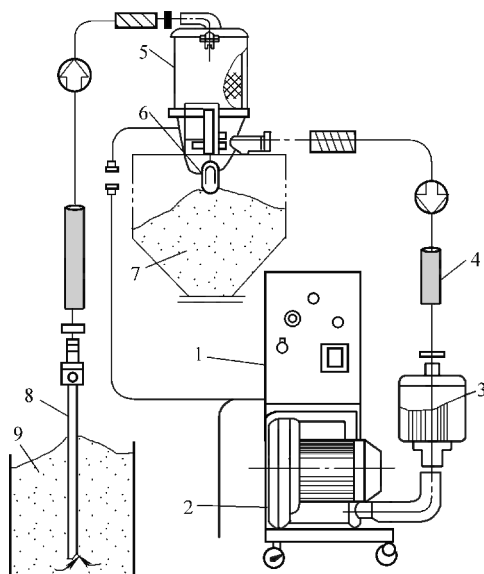


图 4-39 真空上料装置结构示意图

1—电控箱 2—风机 3—过滤网 4—吸气管 5—中间储料仓
6—排料活门 7—料斗 8—吸料管 9—原料箱

4.5.6 料位监测系统

在现代化程度较高的企业，料仓中必有料位监测系统用来监测料仓中的料位，常用的料位监测系统有电容式料位仪、阻旋式料位仪、超声波料位仪、重锤式料位仪、称重式料位仪等。这些监测仪有测量精度高、可靠性高、连续性好等优点，还具有高低位及溢流报警功能，操作简便。

第5章 塑料成型物料配制工基本操作技能

塑料配方的实施是通过物料配制来实现的。物料配制是指根据配方设计把树脂与助剂或与其他树脂混合均匀，制成适宜于成型加工用物料的过程。制得的物料可以是粒状、粉状、溶液和糊状物。一般来说粒状和粉状适宜于注射和挤出成型，粉料适宜于模压和喷涂成型，溶液适宜于铸塑成型，而糊状物适宜于压延成型。

物料配制中最重要的操作是物料的混合与分散，因此本章主要介绍物料的混合与分散，成型物料的配制方法，以及粉状、粒状、溶液和糊状物料配制过程中的基本操作技能。

5.1 物料的混合与分散

混合是指多组分体系中各个组分相互进入到其他组分所占空间之中的过程，分散是指参加混合的一种组分或几种组分发生粒子尺寸减小的变化，混合与分散一般是同时进行也同时完成的。

5.1.1 混合的目的和任务

混合的目的是将树脂、增塑剂、稳定剂、润滑剂、填充剂、着色剂、偶联剂等组分充分混合均匀，并通过一定的加料顺序，保证增塑剂等特定的添加剂充分地渗入树脂的分子链中，以保证各组分分散均匀。

5.1.2 混合工艺的基本原理

混合在成型物料的配制工艺中占有特别重要的地位，混合过程依靠扩散、对流和剪切三个作用来完成。扩散是指物料各组分从其浓度较高区域向浓度较低区域的迁移。对于气体之间或液体之间的混合，这种扩散作用才较明显，而高聚物与其他组分之间的混合即使在熔融状态下也难以依靠扩散作用来完成。对流是指多变组分物料在相互占有的空间内发生迁移的过程，对流一般要借助外力来推动，如搅拌就是明显的对流。剪切是依靠机械力产生的剪切促使物料各组分达到均一的过程，剪切会使物料形状变化、表面积增大、物料占有其他物料空间的可能性增加，因而特别适合于塑性物料的混合。事实上成型用塑料的混合主要是依靠对流和剪切两种作用过程来实现的，因而外力在混合过程中

是不可缺少的。

5.1.3 混合效果的评定

混合操作完成的好坏,混合料的质量是否达到了预定的要求,混合终点如何判断等,这些都涉及混合效果的评定,即涉及分析与检验混合体系内各组分单元分布的均匀程度。

对于塑性物料,混合效果的评定应从组成物料的均匀程度和分散程度两个方面来考虑。均匀程度是指取样中混入物占混合料的比率与理论上比率之间的差异大小,分散程度是指混入组分的粒子在混合后的物料中微观分布的均匀性,一般用同一组分相邻粒子间平均距离来描述。

混合分散程度将直接影响塑料产品的性能,特别是物理力学性能和加工过程的进行。例如,加入某填料能显著提高塑料制品的强度,但如果加进的填料混合分散不均匀,则会在制品中造成薄弱点,反而会使制品强度降低。生产中应根据所配物料的种类和使用要求来确定混合与分散的程度,并应尽量做到:第一,在混合过程中尽量增大不同组分的接触面积,减小同一组分料层的平均厚度;第二,应使各组分的交界面均匀地分布在被混合的物料之中;第三,力争使混合物的任意部分中各组分的比率与整体比率相同。

5.2 成型物料的配制方法

成型物料的配制依物料的组成不同有一定的区别,但共同的配制方法却离不开搅拌、干掺混、捏合和塑炼四种。

5.2.1 搅拌

将固体、液体或气体物料混入液体介质中的操作称为搅拌,实现搅拌操作的设备称为搅拌器。搅拌常用于配制聚合物溶液、悬浮液、乳液和糊状物,所用搅拌设备有气流搅拌器、桨式搅拌器、旋桨式搅拌器等。

5.2.2 干掺混

两种或两种以上粉状固体物的混合称为干掺混。干掺混过程中允许加进很少量的液体组分,干掺混主要用于制备粉状成型物料,也常用于塑料或胶料配制时粉料组分的预混合。常用的干掺混设备是转鼓式混合机、桨叶式混合机和螺带式混合机。

1. 转鼓式混合机

转鼓式混合机是由传动部件和一个可密封的转动容器所组成,结构简单,

制造和维修方便。其混合作用是靠盛载混合物料容器的转动来完成。为了强化混合作用，容器的内壁也可加设曲线型挡板，以便在容器转动时引导物料自容器的一端转到另一端。

2. 桨叶式混合机

桨叶式混合机靠桨叶转动时翻动容器内的物料实现混合。桨叶式混合机对粉状物料有较强的拌和能力，其结构与桨式搅拌器相近。与转鼓式混合机相比，其混合周期短，生产效率高，缺点是混合操作时粉尘飞扬严重。

3. 螺带式混合机

螺带式混合机的基本结构如图 5-1 所示。其混合室为两端封闭的半圆筒形槽，槽上部有可启闭的盖以便装料。槽体常附有夹套，可通入蒸汽加热或通入水冷却。混合室内设有一根或两根反向转动的螺带。当螺带转动时，槽内物料各部分的位移发生错乱，从而达到使各组分均匀混合的目的。这种混合机的结构简单，混合效果好，但换料时清洁混合室比较困难。

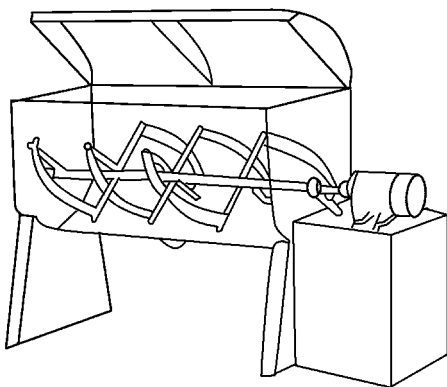


图 5-1 螺带式混合机

5.2.3 捏合

通常将粉状固体物或少量的液状物与粉体介质、纤维状固体介质以及糊状介质的混合称为捏合。捏合主要用于湿粉状、纤维状和糊状物料的制备。最常用的捏合机是桨式捏合机和高速捏和机。

1. 桨式捏合机

桨式捏合机的主体部分是一个带有鞍形底的混合室和一对桨式搅拌器。搅拌器的形状有很多的变化，最常见的是 S 形和 Z 形（Z 型捏合机详见第 4 章）。当搅拌器转动时，物料沿混合室的侧壁上翻而在中间下落，由于受到重复折叠和撕捏作用而达到均匀地混合。捏合机的卸料孔设在混合室的底部，无卸料孔时靠混合室的倾斜来实现出料。混合室外若附有夹套，亦可通入蒸汽或水对物料进行加热或冷却。

2. 高速混合机

高速混合机是一种既适合于掺混操作也适合于捏合操作的高效混合设备（详见第 4 章）。其主体由一个圆筒形混合室和一套设在混合室内的搅拌装置组成。搅拌装置包括位于混合室下部的快转叶轮和可以垂直调整高度的挡板。混合时室内的物料受到高速搅拌，在离心力的作用下，上升和落下，从而使料粒

间产生较强的剪切作用和热量。挡板的作用是使料粒的运动呈流化状,这有利于物料的均匀分散。混合室所附夹套可用于外加热或冷却。在冷却条件下操作时,叶轮的转速不宜过高。这种混合设备每批料的混合时间要比捏合机短得多,通常仅需5~10min。

5.2.4 塑炼

塑炼也称混炼,是指塑性状态的聚合物与液状物或粉状及短纤维状固体物的塑性混合。目前生产中采用的塑炼设备主要有双辊开炼机,密炼机和塑化挤出机等。

1. 双辊开炼机

双辊开炼机中起塑炼作用的主要部件是一对能作相向转动的平行排列的辊筒,辊间间隙可以调节(详见第4章)。辊筒内有加热或冷却介质进出的通道。两辊转动时,进入辊隙的物料中存在速度梯度,即物料受到一定剪切力的作用,这种剪切力对物料的塑化与混合起主导作用。

减少辊隙,剪切作用增大,塑化和混合效果提高,但生产能力下降。为达到加大剪切作用又不过度减小辊隙的目的,通常是使两辊转速不等。由于双辊对物料的剪切作用是单向的,很少能对流混合。生产中为克服这一缺点,多采用割刀和切割装置不断地划开辊出的料片,经交叉叠合后再投入辊隙,即通过不断改变物料受剪切的方向,以提高塑炼的混合效果。

2. 密炼机

密炼机的主要塑炼部件是一对转子和一个塑炼室,转子的横截面呈犁形,二者以螺旋的方式沿着轴向排列(详见第4章)。转子的转动方向是相反的,转速也略有差别,而且两转子的棱峰之间以及棱峰与塑炼室内壁之间的间隙都很小;加之塑炼室顶部的上顶栓能对室内物料施以压力,因此物料在密炼室内的塑炼过程比在开炼机上复杂得多。在密炼机的塑炼室内,预混料不仅在两个相对回转的转子间隙中,而且还在转子与塑炼室内壁的间隙中和转子与上下顶栓的顶隙中受到不断变化的剪切作用,还受到两转子的折卷和往返切割作用,从而达到更好的混炼效果。密炼机的特点是在较短的时间内给予物料大量的剪切能,而且是在隔绝空气的条件下工作。所以用密炼机塑炼物料,在劳动条件、塑炼效果和防止物料氧化等方面均比开炼机好。密炼后的物料一般呈团状,为了便于粉碎或粒化,通常需用双辊机将团状料辊成片状物。

3. 塑化挤出机

单螺杆挤出机是挤出成型最常用的主机。这种塑料和橡胶的成型设备也可以用于塑炼物料。挤出机的主要塑炼部件是螺杆与机筒。进入机筒的物料一方面受筒壁的加热而渐渐升温熔融,另一方面则在螺槽内绕着螺杆向前移动。物

料被转动的螺杆导引前进时, 由于受到挤压剪切而在螺槽内作复杂的运动。物料在挤出机内的塑炼就是在受热与受复杂剪切作用的条件下完成的。由于物料在挤出机内的塑炼是连续作业, 无法实现大范围的均匀混合, 所以一般都用经过预混的物料作为进料。

除单螺杆挤出机外, 还可以用双螺杆挤出机进行物料的塑炼, 与单螺杆挤出机相比, 物料在双螺杆挤出机内受热时间较短, 无滞留区, 发生降解的可能性减小, 塑化的质量也得到提高。

5.3 粉料和粒料的配制

粉料和粒料的制备是塑料成型物料配制的重要组成部分。为了实现塑料制品生产的连续化和自动化, 提高劳动生产率, 改善劳动条件, 应对整个配制过程作出精心地选择, 包括选择合理的生产流程, 以实现各种原料的密封输送和自动计量, 初混合和塑炼过程的密闭化和连续化等。

5.3.1 配料前的准备工作

配料前的准备工作一般有粉碎、过筛、过滤、磨浆、干燥、称量及输送等。

1. 粉碎

粉碎是将松散物料用机械方法变成小粒度的过程。通常, 粉碎产物粒度在 1 ~ 5mm 以上的作业称为破碎; 粒度在 1 ~ 5mm 以下的作业称为磨碎。破碎和磨碎统称为粉碎。

(1) 粉碎的目的 粉碎的目的有如下几种: ①使物料的比表面积增加。②为原料下一步加工做准备。③便于使用。④便于贮存和运输。⑤细粉料可作为添加剂。⑥为了保护环境。

(2) 粉碎对物料性质的要求 对于常温下不能或极难粉碎的粘性或柔性物料和发热变质及挥发的物料, 常采用深冷粉碎。深冷粉碎是利用物料的低温脆性进行粉碎。以干冰或液氮等作冷却剂, 在物料粉碎之前或粉碎过程中将物料冷却, 使物料呈脆性, 用粉碎机将其粉碎。对于有污染粉尘的物质, 常采用闭路粉碎或湿法粉碎。

(3) 粉碎操作

1) 清理粉碎机, 换上所选用的筛板 (大多数情况下筛板是固定的), 调节好各个部件。

2) 粉碎时, 先空车起动, 待转速正常后再加入物料。

3) 加料时, 不要一次加得太多, 要少量分批多次加入。

4) 停机前, 尽量将机内的物料粉碎完再停车。

5) 停车后,要打开筛板,清理粉碎机。

2. 过筛

高聚物树脂在生产、包装、运输过程中,可能混入机械杂质或其他杂质,为了保证安全生产和提高产品质量,树脂必须过筛后使用。

(1) 粉状树脂的过筛 粉末状聚氯乙烯树脂粒径较小,常用振动筛过筛。筛网一般为40目,若树脂质量差,如颗粒大小不均匀,树脂受污染,应选更细一点的筛网过筛。当流水线生产量较大时,可以用滚筒筛过筛,滚筒筛过筛产量可达500~600kg/h。

(2) 颗粒状树脂的过筛 颗粒状聚乙烯或聚丙烯粒料过筛,可用比树脂粒径稍大的细丝网过筛。

(3) 粉料助剂的过筛 按有关标准,选用适当目数的振动筛,将物料倒入振动筛内。用量极少的物料,有时也要手工过筛。

3. 增塑剂过滤

为防止增塑剂内的杂质混入制品,影响产品性能(例如电性能),在生产电缆料时,增塑剂需用较细的过滤网过滤。一般过滤网为60~120目。例如氯化石蜡粘度较大,用60目过滤网,苯二甲酸酯类可用120目过滤网。

另外,在混合前通常还要对增塑剂预热,以降低其粘度并加快其向树脂中扩散的速度,同时强化传热过程,使受热的树脂加速溶胀,以提高混合效率。

4. 粉末状添加剂磨浆

对颗粒较粗或容易结团的粉末状添加剂(如稳定剂、填充剂和着色剂等),要将其分散在树脂中比较困难,并且容易造成粉尘飞扬,影响加料的准确性,而且,有些添加剂(如铅盐)会危害人体健康。因此,最好是事先把它们制成浆料或母料后再加到混合料中混合。在配制成型物料时,用适量的浆料或母料与树脂掺和,以便达到最终的准确浓度和均匀分散。浆料的制备方法是先将粉末状添加剂和增塑剂按比例称取,然后搅拌均匀,有的搅匀后还需再用三辊研磨机或胶体磨研细。浆料细度指标为60~80 μm 。

磨浆配方实例:

稳定剂磨浆:三盐基硫酸铅:增塑剂=1:1(质量比,下同)

填充剂磨浆:碳酸钙:增塑剂=1:1.5

着色剂磨浆:中铬黄:增塑剂=1:0.8

酞菁绿:增塑剂=1:1

浆料配方比例大小主要根据粉状料的表观密度大小来定。粉状料表观密度大,需要加入的增塑剂量就多。增塑剂一般用粘度较小的邻苯二甲酸二辛酯。应该指出,在增塑剂投料量中,应扣除磨浆时加入的量。

5. 色母料粉的配制

对硬质聚氯乙烯制品，因不加入增塑剂，所以一般是先制造高浓度的聚氯乙烯色母料粉，然后加入捏合机混合。例如，硬质聚氯乙烯管材染色均采用此办法。用捏合机制造色母料粉时，应适当加入稳定剂，防止树脂分解。

6. 原材料干燥

对易吸潮的树脂及添加剂，在捏合或挤出之前必须先干燥除水。例如，PA、PC、ABS 等树脂均易吸潮，使用前必须进行干燥，使其含水质量分数 $<0.1\%$ 。有些功能性母料，如抗静电母料、抗粘连母料、珠光母料、填充剂母料等都易吸潮，加入挤出机前均应干燥除去水分，否则会影响挤出生产的正常进行或降低产品质量。

(1) 干燥操作 如果是隧道式烘箱，则要将物料均匀地铺放在输送带上，控制好烘箱的温度和速度。如果是普通烘箱，则将物料按一定的量装入料盘，并使料层厚度均匀，放入烘箱，按工艺卡调节烘箱温度。由于烘箱内料盘较多，故需要将料盘编号，根据工艺卡上的时间，按一定的顺序放入和取出料盘。

应该注意：

1) 普通烘箱内各部位有一定的温差，有时温差还较大。

2) 拿取料盘时一定要戴手套，有时还要戴双层手套。

(2) 干燥工艺参数 常见塑料干燥工艺参数见表 5-1。

表 5-1 常见塑料干燥工艺参数

塑料名称	干燥温度/℃	干燥时间/h	料层厚度/mm	要求含水量 (%)
ABS	80 ~ 85	2 ~ 4	30 ~ 40	<0.1
PA	90 ~ 100	8 ~ 12	<50	<0.1
PC	120 ~ 130	6 ~ 8	<30	<0.015
PMMA	70 ~ 80	4 ~ 6	30 ~ 40	<0.1
PET	130	5	20 ~ 30	<0.02
聚砜	110 ~ 120	4 ~ 6	<30	<0.05
聚苯醚	110 ~ 120	2 ~ 4	30 ~ 40	—

不易吸湿的塑料原料，如 PE、PP、PS、PVC、POM 等，如果贮存良好，包装严密，成型前可不干燥。

7. 块状添加剂加热熔化

硬脂酸和石蜡都是塑料加工用得较多的润滑剂，硬脂酸的熔点为 69.6°C ；石蜡熔点为 60°C 。它们是块状固体，若直接加入捏合机，会在高速捏合机内高速旋转撞在折流板上，损坏折流板，所以必须先加热熔化后再加入捏合机。

8. 原料的输送

对液体物料（如各种增塑剂）常用泵通过管道输送到高位槽贮存，使用时再定量放出。对固体粉状或粒状物料（如树脂）则常用风机输送到高位仓，使

用时再向下放出,进行称量,这有利于密闭式的连续化生产。

9. 配方称量

根据投料量精确称量,称量必须准确无误,否则等于修改配方,会使制品质量不稳定。称量操作过程如下:

(1) 原料的检查 按配方中的需要,将所用的原辅材料集中放在一起,并且什么原料放在什么位置也是需要考虑的。例如,树脂用量较多,要放在靠近磅秤的附近;颜料用量较少,要放在靠近架盘天平附近;将暂时不用的物料先放在另一处,以免在称料时称错。

一般来说,未开封的包装,内容物和标注的名称、规格是一致的;而已开封的包装,尤其是袋内只剩下少量物料时,内容物和标注的往往不一致。有的时候,有些人将用剩下的物料随手拿来一只空袋一装。细心的人,在袋上写上所装物料的名称,或在袋内放一张写上名称的纸条。如果是粗心的人,什么也不写,过了几天以后,连他自己也搞不清是什么物料。所以,对已开封的包装,要多留神,要多问问有关人员。

(2) 称量器具的调零 凡是用过天平的人都知道,用天平称量之前必须调零。在实际生产中,用磅秤或台秤之前也必须调零,并按时对磅秤进行计量检验。对自动计量装置也应定期检查与校正,防止因计量错误造成产品质量不稳定或不合格。

如果在同一场所有几台不同型号的磅秤或台秤时,一种秤只能配一套砝。切不可将另一种秤上的砝拿来放在这台秤上使用。即使是同一种型号的两台秤之间,秤砣最好也不要换用。

(3) 称量误差 在称量过程中,如果皮(即物料的盛放物)的质量和被称物相比,占有很大的比例。一般情况下,“去皮”这一过程人们是不会忘记的。如果皮的质量很轻,是否记得去皮,往往被人们忽略。塑料配料操作对相对误差的要求是:手工配料时,相对误差不超过2%。

例如,在要称取1g颜料时,按要求,架盘天平左右的托盘上都要放一片同样大小的纸片。如果在盛物盘中放了一张纸片,而在砝码盘中未放纸片(因为称1g重的物料,不需要加砝码,只移动游码即可),假设一张150mm×150mm纸的质量是0.1g,则这时称取1g颜料的相对误差就达10%。这在成型物料配料操作中是绝不允许的。况且,这种误差是人为的过失误差,要杜绝发生。

又例如,在要称取10g环氧大豆油(ESBO)时,ESBO是液体助剂,一般是用计量器具量,假设ESBO的密度为1g/mL,则只需要量取10mL的ESBO即可。取一支满度为10mL的量筒,量好10mL,倒入物料中,若此时正当严冬季节,室内温度较低,ESBO的粘度较高,结果在量筒壁上粘附了2mL的ESBO,实际倒入物料中的ESBO只有8mL,此时的相对误差就达20%,这也是人为的

过失误差。因此,在配料操作时,必须清楚在这种状态下,量筒壁上粘附了多少量,在量取时必须将粘附的料量补上。

(4) 称量顺序 如果称量操作是边称量边加料,则称量顺序就是加料顺序,此时称量顺序就很重要。如果是在所有物料称量完后再加料,则此时的称量顺序就不那么重要,只要加料顺序正确就行了。

(5) 称量后的检查 如果是初次配料,所有物料称完后应对照配方总体上再检查一次称量情况。首先,要检查被称量物料的种类,要做到不错不漏,准确无误。千万不能将某种料称了两遍,而将另一种料漏称。其次,要抽样检查所称量物料的量,是否和称量的数值相符。

5.3.2 物料的初混合

1. 初混合的必要性

物料的初混合是在聚合物熔点以下,以及较为缓和的剪切应力下进行的一种简单混合。混合过程仅在于增加各组分微小粒子空间的无规则排列程度,而并不减小粒子本身尺寸。成型物料也可以不经混合而直接塑炼,但塑炼要求的条件比较苛刻,所用设备受料量有限,要使大批生产时质量上能达到满意的结果,则在塑炼前用初混合先求得原料组分间的一定均匀性是合理的;另外,由于受现有塑炼设备特性的限制,对某些不很均匀的物料,即使其质量小于塑炼设备的受料量,如果单凭塑炼而要求得到合格的均匀性,则塑炼时间必须延长,这样不单延长了生产周期,而且会使树脂因长时间受热而发生降解。基于这些理由,所以要求先进行初混合。经过初混合的物料,在某些场合下也可直接用于成型,但一般单凭一次初混合很难达到要求。

2. 混合操作

(1) 清理混合机的筒体 将吸附在筒体内壁的浮尘刷掉。对于粘附在筒内壁不易清扫的物质,可放少许(一般为容积的 $1/40 \sim 1/20$)带棱角的粒料,如ABS颗粒料,关闭后高速转动几分钟,利用这些颗粒的冲击力,可将粘附在筒壁上的物质清除掉。如果此时还有少量的物质粘附在内壁上,那只好用铜质刮刀或铜质铲刀人工将其去掉。如果是同一种配方的物料,不必清理,可进行下锅的混合。

(2) 计算加料量 投入混合机的原材料,首先应按设备容积和投料系数,估算出投料量。然后根据配方计算每种原料的投料量。例如200L高速混合机,聚氯乙烯电缆料每车投料量为80~90kg。

(3) 混合操作 在进行混合时,要检查混合机的功能状态,如温度显示状态、行程关开的灵敏程度等。加料时,先将树脂放在混合机的筒体底部,加入增塑剂,先混合5~7min,然后停机,将其余的物料全部加入到筒内再混合8min

左右。

3. 混合注意事项

混合时要求各种原料的密度和细度比较接近，其次是加料的次序也很重要，通常是按下列次序逐步加入的：树脂，增塑剂，稳定剂，由润滑剂、染料和增塑剂（所用数量应计入规定用量中）调制的混合物和其他固态物料（填料）等。

混合终点按理应取样分析测定其混合的均匀程度，但实际生产中初混合终点一般凭经验判断，也可通过混合时间来控制。

4. 典型混合工艺举例

典型混合工艺见表 5-2 ~ 表 5-4。

表 5-2 硬聚氯乙烯混合工艺

工艺条件	500L 高速混合机	500L Z 型捏合机
加料量/kg	200	250
加热蒸汽压力/MPa	0.2	0.3 ~ 0.4
捏合时间/min	3 ~ 8	40
卸料温度/℃	90 ~ 100	95 ~ 110

表 5-3 半硬聚氯乙烯混合工艺

工艺条件	500L 高速混合机	500L Z 型捏合机
加料量/kg	150	200
加热蒸汽压力/MPa	0.2 ~ 0.3	0.3 ~ 0.4
捏合时间/min	6	50
卸料温度/℃	105 ~ 110	105 ~ 110

表 5-4 软聚氯乙烯混合工艺

工艺条件		吹塑薄膜	压延薄膜	电缆料	模压发泡	注射泡沫鞋
500L 高速混合机	加料量/kg	250	250	<150	100 ~ 125	100
	加热蒸汽压力/MPa	0.2 ~ 0.2	0.2 ~ 0.2	0.2 ~ 0.3	—	—
	捏合时间/min	4 ~ 6	4	5 ~ 7	4 ~ 5	6 ~ 10
	卸料温度/℃	90 ~ 105	90 ~ 105	90 ~ 100	90 ~ 100	约 90
500L Z 型捏合机	加料量/kg	150	150	<250	100	—
	加热蒸汽压力/MPa	0.3 ~ 0.4	0.3 ~ 0.4	0.3 ~ 0.4	—	—
	捏合时间/min	40 ~ 60	40 ~ 60	50 ~ 60	50 ~ 60	—
	卸料温度/℃	90 ~ 100	90 ~ 100	90 ~ 105	—	—

5.3.3 初混合物料的塑炼

塑炼的目的是为了改变初混合物料的性状，使之在加热和剪切力的作用下，

经熔融、剪切混合等作用达到适当的柔软度和可塑性，使各种组分的分散更趋于均匀，同时利用这些塑炼条件除去其中的挥发物（如残存的单体和催化剂残余物等），以利于输送和成型，保证制品的性能均匀一致。

1. 塑炼工艺路线的确定

(1) 普通捏合开炼塑化工艺路线 普通捏合开炼塑化的混合造粒过程为：原料处理→普通捏合机捏合→开炼机塑化→开炼机冷却下片→平板造粒机切粒，如图 5-2 所示。

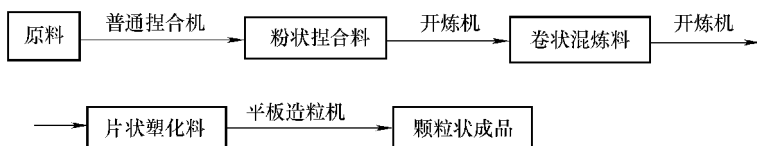


图 5-2 普通捏合开炼塑化混合造粒工艺流程

(2) 高速捏合密炼塑化工艺路线 高速捏合密炼塑化混合造粒过程为：原料处理→高速捏合机捏合→密炼机塑化→开炼机冷却下片→平板造粒机切粒，如图 5-3 所示。

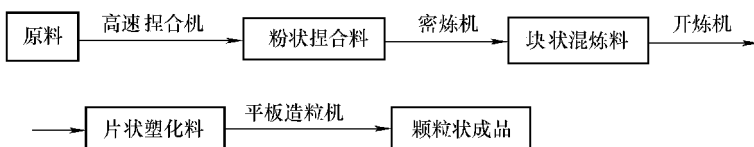


图 5-3 高速捏合密炼塑化混合造粒工艺流程

(3) 高速捏合单螺杆挤出工艺路线 高速捏合单螺杆挤出造粒的工艺流程为：原材料经过称量，按照一定顺序加入高速捏合机捏合，然后再通过螺旋强制喂料机加入单螺杆挤出机，混合挤出造粒，如图 5-4 所示。

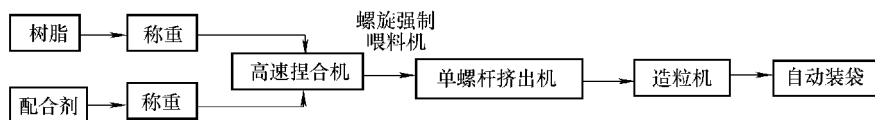


图 5-4 高速捏合单螺杆挤出造粒工艺流程

(4) 高速捏合双螺杆塑化挤出工艺路线 高速捏合双螺杆配混料挤出造粒的工艺流程为：原材料经过称量，按照一定顺序加入高速捏合机捏合，然后经计量喂料机加入双螺杆配混料挤出机，混合挤出造粒，如图 5-5 所示。

(5) 多路计量喂料双阶塑化挤出工艺路线 多路计量喂料双阶挤出造粒的工艺流程为：各种原材料分别经过称量、混合后，按照要求，分别通过计量喂

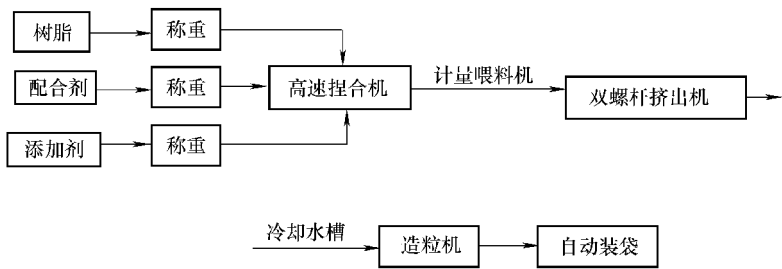


图 5-5 高速捏合双螺杆配混料挤出造粒工艺流程

料机加入双螺杆配混料挤出机，或连续混炼机的不同加料口进行混合，然后熔融的物料进入热喂料单螺杆挤出机挤出造粒，如图 5-6 所示。

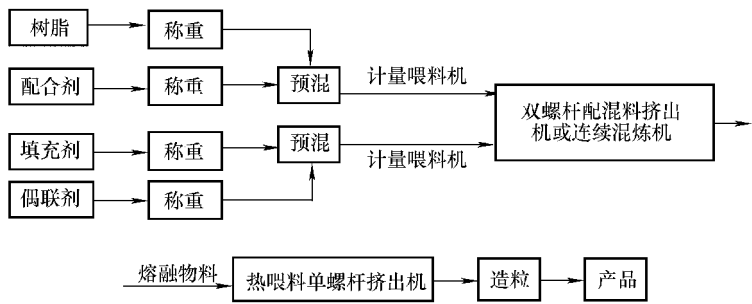


图 5-6 多路计量喂料双阶挤出造粒工艺流程

2. 塑炼工艺特点

塑炼是在树脂的流动温度以上和较高的剪切速率下进行的。这些条件可能会使聚合物大分子发生热降解、力降解、氧化降解以及分子取向作用等。这些物理和化学变化还取决于聚合物的结构和化学活性。另外，助剂对塑炼作用也有影响，如果塑炼条件控制不当，助剂本身也会发生变化。因此，必须严格控制塑炼条件，包括塑炼温度、时间和剪切力等。对双辊筒塑炼机，翻料次数也是塑炼条件之一。不同品种的塑料有各自相适合的塑炼条件，这些塑炼条件可根据塑料配方和试验来制定。

(1) 开炼机塑炼工艺特点 开炼机的塑炼效果，不仅取决于辊筒的转速，而且与辊筒的间隙大小、入口料的形状、表面形态、包辊情况等因素有关。产量和混合所消耗的功率与辊筒的转速、辊筒的间隙、辊筒的温度有关。辊筒的间隙越小，剪切作用越强烈，塑化效果越好，但生产能力将下降。一般出片时将辊距控制在 2 ~ 3mm，以利于切粒。辊筒的温度控制既不宜过高，也不宜过低，以控制在使物料既能够包住前辊，又能在下片时不粘附辊面为宜。一般前辊的温度高于后辊的温度 5 ~ 10℃，以便于操作。软聚氯乙烯、硬聚氯乙烯、电缆料的塑炼工艺见表 5-5。

表 5-5 开炼机典型塑炼工艺

开炼机技术参数		工艺条件			
辊筒直径/mm	550	项目	硬聚氯乙烯	软聚氯乙烯	电缆料
辊筒长度/mm	1500	前辊温度/℃	180 ~ 190	170 ~ 180	160 ~ 170
前辊转速/ (r/min)	13	后辊温度/℃	170 ~ 180	160 ~ 170	150 ~ 160
后辊转速/ (r/min)	16	初期辊隙/mm	1 ~ 2	2 ~ 3	2 ~ 3
速比	1: 1. 23	后期辊隙/mm	3 ~ 4	3	3
一次投料量/kg	50 ~ 60	混炼时间/min	15 ~ 20	10 ~ 15	10 ~ 15

(2) 密炼机的塑炼工艺特点 为了取得良好的塑炼效果，要求塑炼时的一次装料量要适当。装料量太多，物料在密炼室内会因为没有充分的活动空间而影响混炼效果和延长塑炼时间，增大功率消耗；装料量过少，也会因为密炼室内的物料太少而不能形成足够的阻力，从而减弱了塑炼效果，延长了塑炼时间。因此，密炼操作时的装料量与物料的组成和性质、机器的结构、操作方式、运转条件等因素有关。密炼机操作工艺条件的控制，即物料温度与密炼时间的控制，一般与物料的配方有关。操作时，既要塑炼均匀，又要防止聚合物分子热氧降解。密炼操作一般控制在 4 ~ 5min。经过密炼以后的物料一般呈团状，通常需要借助开炼机将其辊压成片状，以便于粉碎或切粒。硬聚氯乙烯、电缆料的塑炼工艺见表 5-6。

表 5-6 密炼机典型塑炼工艺

工艺条件	硬聚氯乙烯	电缆料
蒸汽压力/MPa	0. 5 ~ 0. 6	0. 4 ~ 0. 6
压缩空气压力/MPa	0. 3 ~ 0. 5	0. 3
加料量/kg	95	85
混炼时间/min	4 ~ 6	3 ~ 5
卸料温度/℃	175 ~ 180	160 ~ 170
出料状态	松散小块	中大块的韧料

(3) FCM 连续混炼机的塑炼工艺特点 FCM 连续混炼机既保持了密炼机优异的混合特性，又可以连续工作，通过控制加料量，可以调节物料在混炼机中的停留时间及其产量。该机器的可调工作参数有加料速度、转子转速、背压、温度、卸料口开启度等。塑炼物料的卸料温度随着转子转速的增加而增加，随着卸料门开启度的增加而降低；塑炼功率随着产量（加料速率）、转子转速的增加而增加，随着卸料门开启度的增加而减少。其典型塑炼工艺见表 5-7。

3. 塑炼终点的判定

塑炼终点可以采用测定试样的均匀性和分散度的方法来判定，也可通过测

定塑料试样的撕裂强度来判断。在实际生产中一般靠经验来判定，即用刀切开塑炼料，观察其截面，如截面上不显毛粒，没有气孔而且颜色和质量都很均匀，即可认为塑炼合格。

表 5-7 FCM 连续混炼机的典型塑炼工艺

转子直径/mm	工艺条件	LDPE（30%） + CaCO ₃ （70%）	LDPE（58%） + 炭黑（42%）	PVC
100	加料量/kg	450	340	455
	转子转速/（r/min）	500	450	500
	卸料口开启度（%）	11	100	61
	机筒温度/℃	125	120	45
	混炼功率/kW	27	51	50
	卸料温度/℃	150	210	202

5.3.4 物料的粉碎和造粒

塑炼好的物料经粉碎和切粒即可得到粉料和粒料。粉料一般是将片状塑炼物用切碎机先进行切碎，然后再用粉碎机粉碎。粒料是将片状塑炼物冷却后用切粒机分别纵切和横切，而呈粒状。生产中多采用挤出造粒，即将初混合物料由挤出机挤出条状物，然后用安装在口模处的旋转刀在热状态下切成颗粒，或将挤出条状物经冷却后切成颗粒。粉碎和切粒都是使塑炼物的固体尺寸减小，所不同的是前者所成的颗粒大小不等，并且较细小，而后者比较整齐并且有固定的形状，其目的均是为了便于输送和成型。

挤出造粒可用单螺杆和双螺杆挤出机。主要控制挤出温度、螺杆转速、切刀转速和粒料冷却，使粒料不发生粘粒，颗粒尺寸均匀，塑化较好。切刀转速调整到使粒料长度为 3 ~ 4mm。螺杆转速调整到粒料不发生粘粒。

粒料的制备既可先制得粉料再进行粒化，也可根据配方把树脂和助剂分别计量直接加入设备进行塑炼和粒化。

（1）由粉料制备粒料 由粉料制备粒料的典型工艺流程为：根据配方准确称量原料，按照规定的加料次序加入高速混合机中混合后，再通过单螺杆挤出机或双螺杆挤出机挤出造粒，如图 5-4 和图 5-5 所示。

（2）由配方直接制备粒料 由配方直接制备粒料是较先进的粒料制备工艺，一般是按配方要求把原料分别称量，必要时把相关组分进行预混合，然后分别通过计量加料装置定量地加入到双螺杆配料挤出机中，挤出的熔融物料送入热喂料单螺杆挤出造粒机制得所要粒料（其工艺流程如图 5-6 所示）。

软质聚氯乙烯电缆料挤出造粒温度见表 5-8。单螺杆挤出机螺杆转速为 20 ~ 30r/min；双螺杆挤出机螺杆转速为 15 ~ 20r/min。双螺杆造粒产量可达 80 ~

90kg/h，比单螺杆产量高一倍以上。切粒方法为干热切粒。

表 5-8 软质 PVC 电缆料挤出造粒温度

挤出机	机身温度/℃			机头温度/℃
	1	2	3	
φ65mm 单螺杆	140 ~ 150	160 ~ 170	150 ~ 160	150 ~ 160
φ51 ~ φ105mm 双螺杆	130 ~ 140	140 ~ 145	150 ~ 155	145 ~ 155

聚乙烯绝缘粒料或护套粒料造粒温度见表 5-9。所用设备为同向旋转排气式双螺杆混炼挤出机组，螺杆结构为组合式，螺杆直径为 60mm。造粒方法为向下挤条，水箱冷却。拉条出水箱后用吹风方法将塑料条表面水分吹掉，再用干布条擦干后切粒。该挤出机组造粒能力可达 2 ~ 2.5t/d。

表 5-9 聚乙烯绝缘粒料或护套粒料挤出造粒温度

挤出机	机身温度/℃			机头温度/℃
	1	2	3	
φ60mm 平行双螺杆	200 ~ 220	230 ~ 240	240 ~ 250	250 ~ 260

5.3.5 挤出造粒生产中的不正常现象及解决方法

现以最普遍、用得最多的干热切粒方法为例，分析挤出造粒生产过程中，产生不正常现象的原因和解决这些质量问题的方法（见表 5-10），指导正确控制生产操作及工艺。对于其他挤出造粒方法，主要是粒料冷却方法不同，但影响粒子质量的因素是相同的，也可参考此表。

表 5-10 挤出造粒不正常现象、原因及解决方法

不正常现象	产生原因	解决办法
粒子表面不光洁，毛糙或疏松	1. 机身温度偏低	1. 提高机身温度
	2. 机头温度偏低	2. 提高机头温度
	3. 过滤网孔太粗	3. 提高过滤网目数
	4. 过滤网破裂	4. 更换过滤网
	5. 多孔模板不合适	5. 提高孔径压缩比或平直部分长度
	6. 螺杆压缩比偏小	6. 提高螺杆压缩比
	7. 螺杆转速太快	7. 降低螺杆转速
粒子粘接，连粒	1. 机头温度偏高	1. 降低机头温度
	2. 螺杆转速太快	2. 降低螺杆转速
	3. 粒子冷却太慢	3. 提高冷却速度
	4. 切刀刀口太钝	4. 换切刀刀片

(续)

不正常现象	产生原因	解决办法
粒子根部有尾巴	1. 切刀架高低不平	1. 调整切刀架
	2. 切刀安装高低不平或松动	2. 调整切刀或拧紧切刀
	3. 切刀太钝	3. 调换切刀刀片
	4. 挤出量不稳定	4. 调节挤出量，使其稳定
粒子直径偏大	1. 多孔板孔径太大	1. 调换孔径小的多孔板
	2. 多孔板孔径压缩比太大	2. 调换多孔板
	3. 螺杆转速太快	3. 降低螺杆转速
粒子直径相差太大	1. 多孔板料孔排列不恰当	1. 调换多孔板，重新修改孔径排列
	2. 多孔板料孔孔径尺寸不恰当	2. 调换多孔板，修改孔径尺寸
	3. 机头四周温度不均匀	3. 调整机头温度均匀
粒子太长	1. 机身温度偏低	1. 提高机身温度
	2. 螺杆转速太快	2. 降低螺杆转速
	3. 切刀数量太少	3. 增加切刀数量
	4. 切刀转速太慢	4. 提高切刀转速
粒子太短	1. 机身温度偏高	1. 降低机身温度
	2. 螺杆转速太慢	2. 加快螺杆转速
	3. 切刀数量太多	3. 减少切刀数量
	4. 切刀转速太快	4. 降低切刀转速

5.4 塑料糊的配制

塑料成型加工的必要条件是流动性，某些制品的成型方法常使用塑料糊和塑料溶液作为原料来获得流动性。

5.4.1 塑料成型用的塑料糊及其分类

1. 塑料糊

塑料糊又称溶胶塑料，是固体树脂稳定地悬浮在非水溶性液体介质中形成的分散体（悬浮体）。聚氯乙烯糊是最重要的和最具有代表性的一种，它通常是由乳液聚合的聚氯乙烯树脂与液体增塑剂等非水溶性液体组成。非水溶性液体主要是在室温下对树脂溶剂化作用很小而在高温下又很易增塑树脂的增塑剂或溶剂，也称为分散剂。有时还可加入非溶剂性的稀释剂，必要时也可加入热固性树脂或其单体。除此之外，塑料糊还因不同的要求加入胶凝剂、填充剂、表面

活性剂、稳定剂、着色剂等各种配合剂，因此，塑料糊的组成是比较复杂的，其在室温下是非牛顿液体，具有一定流动性。

塑料糊可适合多种方法来成型制品，成型时经历塑型和烘焙两个过程。塑型是利用模具或其他设备，在室温下使塑料具有一定的形状，这一过程不需要很高的压力，所以塑型比较容易。烘焙则是将塑型后的坯料进行高温热处理，使溶胶塑化，并通过物理或化学作用定型为制品。

2. 塑料糊的分类

塑料糊组成不同，其性质也不同，通常可分为四类。

(1) 塑性溶胶 由固体树脂和其他固体配合剂悬浮在液体增塑剂里而成的稳定体系，其液相全是增塑剂，因此又称为增塑糊。为保证流动性，一般增塑剂含量较高（质量分数在 40% 以上），这类溶胶应用较广，主要制作厚壁的软制品。

(2) 有机溶胶 在塑性溶胶基础上加入有挥发性而对树脂无溶胀性的有机溶剂，即稀释剂，也可以全部用稀释剂而无增塑剂，因此又称为稀释增塑糊。稀释剂的作用是降低粘度，提高流动性并削弱增塑剂的溶剂化作用，便于成型，适用于成型薄型和硬质制品。

(3) 塑性凝胶 在塑性溶胶基础上加入胶凝剂（如有机膨润土和金属皂类），因此又称为增塑胶凝糊。胶凝剂的作用是使溶胶变成凝胶体，降低其流动性，使凝胶在不受外力和加热情况下，不因自身的质量而发生流动，只有在一定剪切作用下才发生流动。这样，在塑型后的烘焙过程中，型坯不会发生形变，可使最终制品的型样保持原来的塑型。

(4) 有机凝胶 在有机溶胶的基础上加入胶凝剂，因此又称为稀释增塑胶凝糊。有机凝胶与塑性凝胶的区别和有机溶胶与塑性溶胶的区别相同。

5.4.2 塑料糊的组成

塑料糊一般由树脂、分散剂（包括增塑剂）、稀释剂、胶凝剂、稳定剂、填充剂、表面活性剂及其他助剂组成。

1. 树脂

要求树脂成糊性能好，塑性溶胶和塑性凝胶用的树脂粒度为 $\phi 0.2 \sim \phi 2.0 \mu\text{m}$ ；其他两类用的则为 $\phi 0.02 \sim \phi 0.2 \mu\text{m}$ 。颗粒太大时，在配制好的分散体中容易下沉，而且在加热处理后不易得到质量均匀的制品。相反颗粒太小，成糊比较容易，但在室温下常因过度溶剂化而使塑料糊的粘度偏高，同时也不耐贮存。

2. 分散剂

包括增塑剂和挥发性溶剂两类。增塑剂的粘度对所配制塑料糊的粘度有直

接影响，粘度高，所配塑料糊的粘度也高。增塑剂对树脂的溶解能力则影响塑料糊的存放时间，溶解能力强，不利于存放，因为存放时粘度增加很快。用邻苯二甲酸酯类作分散剂时，塑料糊的粘度适中；磷酸酯类溶解能力一般偏高；己二酸等二元脂肪酸的酯类，随连接两个酯基的烷基链的增长，溶解能力减小；环氧油类和聚合型增塑剂只能少量配合使用。

挥发性溶剂的粘度和溶解能力对塑料糊的影响与增塑剂相同，常用的溶剂为酮类，如甲基异丁基甲酮和二异丁基甲酮等，有时也采用某些酯类和二醇醚类。一般溶剂的沸点在 100 ~ 200℃ 之间。

3. 稀释剂

使用稀释剂的目的在于降低塑料糊的粘度和减少分散剂的溶解能力，一般使用烃类作稀释剂，其沸点应在 100 ~ 200℃，但应低于分散剂。这样在热处理时，稀释剂就会先逸出，余下的分散剂能充分溶解树脂而使制品具有较好的性能。

4. 胶凝剂

胶凝剂的作用是使塑料糊变成凝胶体。凝胶体在静态下具有三维结构，但在一定应力作用下三维结构被破坏又重新具有液体的流动性能，应力解除后又能恢复三维结构。常用的胶凝剂有金属皂盐和有机膨润土，用量为树脂质量的 3% ~ 5%。

5. 填充剂

一般使用磨细或沉淀的碳酸钙、煅烧白土和云母粉等作填充剂。含水量高的物质不能作填充剂，用量一般不超过树脂的 20%。

6. 表面活性剂

用于稳定或降低塑料糊的粘度，一般用量不超过树脂质量的 4%。

7. 其他助剂

为特殊的使用要求而加入的添加剂，其目的是有利于成型，或提高制品的性能和使用价值，或扩大塑料糊的用途等。如为增加制品硬度而加入的热固性树脂；为使塑料糊能够用作制造泡沫塑料而加入的发泡剂等。

表 5-11 中列出了四类塑料糊的具体配方。

表 5-11 四类塑料糊的配方

组成	原料名称	塑性溶胶（质量份）		有机溶胶 （质量份）	塑性凝胶 （质量份）	有机凝胶 （质量份）
		a	b			
树脂	乳液法聚氯乙烯	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
分散剂	邻苯二甲酸二辛酯 （增塑剂）	80	50	40	40	40

(续)

组成	原料名称	塑性溶胶 (质量份)		有机溶胶 (质量份)	塑性凝胶 (质量份)	有机凝胶 (质量份)
		a	b			
分散剂	环氧脂 (增塑剂)		50		40	
	二异丁酮(挥发性溶剂)			70		40
稀释剂	粗汽油 (沸程 155 ~ 193℃)			70		10
稳定剂	二盐基性亚磷酸铅	3	3	3	3	3
填充剂	碳酸钙		20			
着色剂	镉红	2	2			
	炭黑				0.9	0.9
胶凝剂	有机膨润土				5.0	5.0

5.4.3 塑料糊的配制

塑料糊的配制，关键是将固体物料稳定地悬浮分散在液体物料中，并将分散体中的气体含量减至最小。配制工艺通常由研磨、混合、脱泡和贮存等工序组成。

1. 研磨

首先将颗粒较大而又不易分散的固体配合剂（如颜料、填料、稳定剂等）与部分液体增塑剂在三辊研磨机上研磨成浆料。研磨的作用一方面使附聚结团的粒子尽可能分散；另一方面使液体增塑剂充分浸润各种粉体料的表面，以提高混合分散效果。

2. 混合

这是配制塑料糊的关键工序，为使各组分均匀分散，要求混合设备对物料有一定的剪切作用。常用的设备为调漆式混合釜、捏合机和球磨机等。塑性溶胶通常用捏合机或行星搅拌型立式混合机。有机溶胶则常用球磨机在密闭下进行，以防溶剂的挥发。钢制球磨机因钢球密度大，可获得较大的剪切效率，所以捏合效果好；瓷球球磨机则可使树脂避免因铁质而引起的降解作用。

配制溶胶时，将树脂、分散剂和其他配合剂以及上述在三辊研磨机上混匀的浆料加入到混合设备中，通过搅拌使其混合，直至成为均匀的糊状物为止。增塑剂含量较大时，宜分步加入，但对有机溶胶或有机凝胶，增塑剂应一起加入，以免有机溶剂挥发。

为了避免混合过程中分散剂的溶剂化作用而增大溶胶的粘度，混合温度不得超过 30℃。由于混合过程中温度会升高，设备最好附有冷却装置。搅拌速度要均匀，不宜过快，防止卷入过多的空气。混合终点视配方和要求而定，一般

混合在数小时以上。混合操作质量可通过测定溶胶的粘度和固体粒子的细度来检验。

3. 脱泡

由于塑料糊在配制过程中总会卷入一些空气，所以配制后需将气泡脱除。常用的方法是抽真空或利用离心作用排除气体。为了进一步提高制品质量，也可将制成的塑料糊用三辊研磨机以薄层方式再研磨一至两次。

4. 贮存

在通常情况下塑料糊是稳定的，但随着贮存时间的延长或贮存温度的升高，由于分散剂的溶剂化作用，溶胶的粘度会慢慢增加。因此贮存时的温度不宜超过30℃，也不可直接与光线接触。在较低温度下，一般可贮存数天至数十天。此外，贮存容器以搪瓷、玻璃等器具为宜，应避免与铁、锌等接触，以免树脂降解。

5.4.4 塑料糊的应用

塑料糊的用途很广，常用的聚氯乙烯糊可用来制造人造革、地板、涂层、泡沫塑料、浸渍和搪塑制品等。

5.5 塑料溶液的配制

5.5.1 塑料溶液的组成

塑料溶液主要是由合成树脂、各种配合剂和溶剂组成。

用于配制塑料溶液的树脂种类并不多，一般为某些无定型树脂，结晶型的应用较少。例如：三醋酸纤维素薄膜广泛用作照相底片和电影胶片，但三醋酸纤维素的熔融粘度较高，难以采用一般的薄膜加工方法来成型，往往配成溶液，以便进行流延成膜；酚醛树脂的乙醇溶液可用来浸渍连续片状填料，然后经压制成型生产层压塑料。

常用的溶剂有醇类、酮类、烷烃、卤代烃类等。溶剂的作用是将树脂分散并溶解成具有一定粘度的液体，成型时挥发排除。因此要求溶剂无色、无毒、无臭、容易挥发、化学稳定性好、成本低、对聚合物的溶解能力强等，其中溶剂对聚合物的溶解性是最重要的，因此常采用混合溶剂来提高对聚合物的溶解能力。

此外，溶液组成中还可以添加增塑剂、稳定剂、着色剂和稀释剂等。前三种配合剂的作用如同其他塑料配方，稀释剂往往是有机性的非溶剂，其作用可以是与溶剂组成混合溶剂，降低溶液的粘度，利于成型；也可以是提高溶剂的

挥发性或降低成本。

5.5.2 高聚物的溶解过程

高聚物在溶解过程中，产生溶解及溶胀的状态取决于物系组成、温度和压力。高聚物试样在溶胀及溶解时的质量变化如图 5-7 所示。

从图 5-7 中看出，高聚物的不同溶胀曲线取决于溶解速度，而溶解速度随温度的上升而增加，相对分子质量低的高聚物溶胀最快（如曲线 3），经过一定的时间后，一部分相对分子质量低的高聚物发生溶胀后，曲线出现下降。当试样溶胀达最大值以后，高聚物的质量下降（曲线 4），表现为有限溶胀转为溶解，直到高分子完全溶解。当溶胀速度不大时，只能产生有限的溶胀（曲线 1，2）。

显然，如果溶解过程是自然的，则时间漫长。然而，这在工业上是不允许的。加速溶解过程的关键是加速溶胀和扩散作用。其办法通常有：采用疏松或颗粒较小的高聚物材料作原料；加热溶解；利用搅拌防止团块的产生或摧毁团块等。

结晶型高聚物的溶解虽然也是溶胀和扩散两个过程，但由于结晶型结构中的分子排列规整性好，分子间的作用力较大，所以溶解比无定型高聚物更要困难和复杂些，即使是具有结晶倾向的高聚物也有显著的影响。许多结晶型高聚物于室温时在溶剂中只能轻微溶胀而不溶解，只有当温度升高甚至要升高到其熔点以上，待晶相消失后才能溶解；温度下降时结晶型高聚物则又会从溶液中析出。

5.5.3 塑料溶液的配制

配制塑料溶液时所用的设备是带有强力搅拌器和加热夹套的溶解釜，釜内往往有各式挡板，以增加搅拌作用。配制的方法一般分为慢加快搅法和低温分散法两种。

1. 慢加快搅法

先将溶剂置于溶解釜内加热至一定温度，然后在强力高速搅拌下缓慢地投入粉状或片状树脂，直到加完为止。加料速度以聚合物在溶剂中不出现结块为

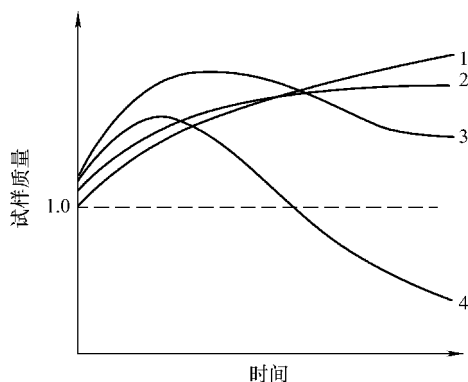


图 5-7 高聚物试样在溶胀及溶解时的质量变化

1—有限溶胀（速度小） 2—有限溶胀（速度大）

3—有限溶胀，伴随萃出低分子级组分

4—有限溶胀转化成溶解

宜。快速搅拌是为了加速聚合物的分散和扩散作用。

2. 低温分散法

先在溶解釜内将溶剂的温度降到使其失去对聚合物的溶解能力时的温度，而后将聚合物一次投入釜中，并使其很好地分散在溶剂中，在不断搅拌下再将温度升到溶剂具有溶解聚合物的活性，这样就能使已经分散的聚合物很快地溶解。

不论采用哪一种方法，溶解釜内的温度应尽可能低一些，以防在溶解过程中溶剂挥发损失，造成环境污染和影响生产安全。另外，溶解过程时间过长，在过高的温度下会造成聚合物降解，过激烈的搅拌作用产生的剪应力也会促使聚合物降解。

配制的溶液要经过过滤和脱泡，去除溶液中可能存在的杂质和空气，然后才可用于成型。

树脂溶液的性质因树脂种类不同而不同，因而采用的成型方法和制品的性能也不相同。例如，用流延法生产薄膜、胶片，以及用浇注法生产某些铸塑制品的树脂溶液，与采用浸渍织物通过压制法生产层压塑料的酚醛树脂溶液的性质就不尽相同。适用于不同成型方法的溶液的主要控制指标是固体含量和粘度。

第 6 章 典型物料配制操作指导

6.1 色母料的配制

6.1.1 色母料的组成

色母料是一种多组分的混合物，它是在某种塑料介质中含有一种或多种着色剂和其他组分的颜料分散体。

1. 树脂

树脂是色母料中颜料的载体，可以是粉状、颗粒状、球状或片状。常用的树脂有 LDPE、HDPE、LLDPE、PP、PS、ABS、PVC 和 PA 等。载体树脂与被着色树脂的相容性要好，其流动性要大于被着色的树脂，着色后基本上不影响被着色树脂的性能。

不同的被着色树脂要选择不同的载体：PE、PP 树脂选择 LDPE；PS、ABS 树脂选择 HIPS；PVC 树脂选择 CPE 或 SPVC。着色母料也可以选择复合载体，也可以无载体或万用载体，如 EVA、CPE、SBS 等。载体的加入量为母料的 30% ~ 70%。

2. 着色剂

可用有机颜料、无机颜料、特殊颜料，透明色母料则需用染料（详见第 2 章）。着色剂的加入量一般占母料的 15% ~ 40%。

3. 分散剂

分散剂的主要作用是对颜料进行包覆，有利于颜料的细化和分散，促使颜料均匀分散在塑料中。同时它与树脂的相容性好，不影响产品质量。通常以硬脂酸盐居多，也可用白油（液体石蜡）、松节油、PE 蜡等。分散剂的加入量占母料的 15% 左右。

6.1.2 色母料的分类

按色母料的适用范围不同，可将其分为专用色母料及万用色母料两大类。

1. 专用色母料

专用色母料是指载体与树脂的相容范围小，只与一种或两种树脂相容，而与大部分树脂不相容或相容性不好的一类色母料，这类色母料的用途仅局限于一种或几种树脂。如以 LDPE 为载体的色母料，只适于 PE 及 PP，而不适用于

ABS、PS、PVC 等树脂。

2. 万用色母料

万用色母料又称为通用色母料，这类色母料适用范围广，几乎适用于所有树脂的着色。万用色母料又可分为有载体万用色母料和无载体万用色母料两种。

(1) 有载体万用色母料 这种色母料往往选择一种能同所有树脂相容的载体，如 EVA、CPE、SBS、羧化 PP、马来酸酐接枝 PE 及苯乙烯-丁二烯共聚物（K 树脂）等；或者选择两种或两种以上相容范围不同的载体复合使用，以增大其相容范围，使之与所有树脂都具有良好的相容性。

(2) 无载体万用色母料 这种色母料又称为着色晶，由于其色母料内无载体，所以可与所有树脂相容，适于所有塑料的着色。

着色晶的组成：着色剂 + 分散剂 + 粘附剂。

着色晶的特点：着色剂浓度高，在树脂中加入量少；色泽鲜艳；成本低。

6.1.3 色母料配方参考实例

(1) PE、PP 色母料配方（见表 6-1）

表 6-1 PE、PP 色母料配方（质量份）

色泽	载体（LDPE）	分散剂	着色剂
蓝色	4	3 ~ 4	3 ~ 2
红色	4	3 ~ 5	3 ~ 1
黑色	7	1 ~ 1.5	2 ~ 1.5
黄色	6	1 ~ 3	3 ~ 1
白色	5	3 ~ 1	2 ~ 4

(2) PS、ABS 色母料配方（见表 6-2）

表 6-2 PS、ABS 色母料配方（质量份）

色泽	载体（HIPS）	分散剂	着色剂
蓝色	4	2 ~ 4	4 ~ 2
红色	7	1 ~ 2	2 ~ 1
黑色	6	1 ~ 3	3 ~ 1
黄色	6	1 ~ 3	3 ~ 1
白色	5	1 ~ 3	4 ~ 2

(3) PVC 色母料配方（见表 6-3）

表 6-3 PVC 色母料配方

原材料	用量（质量份）
SPVC（P = 840 ~ 1100）	100
DOP 或 DBP（增塑剂）	90 ~ 100
无机颜料（或有机颜料）	60 ~ 70（40 ~ 50）
Ba/Zn（复合稳定剂）	2. 5
硬脂酸（润滑剂）	0. 5

（4）聚烯烃色母料配方（见表 6-4）

表 6-4 聚烯烃色母料配方

原材料	用量（质量份）
LDPE（MFR 为 20 ~ 50g/10min）	65
酞菁蓝	60
硬脂酸盐	6

（5）银色母料配方（见表 6-5）

表 6-5 银色母料配方

原材料	用量（质量分数，%）
银粉（600 目）	42 ~ 45
表面处理剂（咪唑类） + 偶联剂（铝酸酯 + 硼酸酯） + 分散剂（低分子 PE）	5. 5 ~ 14
载体（羧化 PP + 马来酸酐接枝 PE）	25 ~ 35

注：银粉表面需要处理。具体方法是用等比例的 NaOH 和过氧化氢（双氧水）混合液侵蚀、酸洗，去掉表面氧化层。

（6）炭黑色母料配方（见表 6-6）

表 6-6 炭黑色母料配方

原材料	用量（质量分数，%）
LDPE 和 LLDPE	30 ~ 70
聚乙烯蜡	10 ~ 20
炭黑（15 ~ 40μm 色素炭黑）	20 ~ 40
润滑剂、抗氧化剂	适量

注：炭黑需经干燥、细化、活化处理。

（7）通用浓色母料配方（见表 6-7）

表 6-7 通用浓色母料配方

色母料品种	载体（质量分数，%）	着色剂（质量分数，%）	分散剂（质量分数，%）
瓷白	60 ~ 35	30 ~ 50	10 ~ 15
深蓝	65 ~ 50	20 ~ 30	15 ~ 20
果绿	55 ~ 40	30 ~ 40	15 ~ 20
深灰	60 ~ 55	30	10 ~ 15
黑色	55 ~ 50	30	15 ~ 20

注：1. 载体为苯乙烯-丁二烯共聚物和 EVA 复合载体。

2. 分散剂以氧化 PE、PE 蜡为主，白油、硬脂酸为辅。

6.1.4 颜料的预分散

1. 颜料分散的基本条件

为使塑料着色均匀,必须满足两个条件:颜料颗粒充分细化和细化的颗粒均匀地分布在塑料中。一般来说,颜料的均匀分布并不困难,关键在于分散。颜料的粒径大于 $30\mu\text{m}$ 时,制品表面产生斑点、条纹;粒径在 $10\sim 30\mu\text{m}$ 时,制品表面无光泽;粒径小于 $5\mu\text{m}$ 时,对一般制品可以满足使用要求,但对要求严格的制品,还会影响到制品的力学性能、电性能及加工性能等。例如,对单丝直径为 $20\sim 30\mu\text{m}$ 的纤维和厚度小于 $10\mu\text{m}$ 的超薄薄膜来说,颜料的粒径应小于 $1\mu\text{m}$ 。在一定范围内,颜料的粒径越小,则着色力越强,但也存在一个最佳值,即当粒径在某一值时,着色力最强。

2. 颜料的分散过程

颜料的分散过程可分为三步:第一步是使用润湿剂润湿颜料,使颜料颗粒之间的凝聚力减小,便于颜料的粉碎和细化;第二步是颜料颗粒的粉碎和细化,并对粉碎和细化后的颜料作进一步包覆处理,降低新形成颗粒的界面表面能,以便于在进一步加工时不会使颜料的细颗粒再凝集;第三步是细化后的颜料在高分子熔体中的均匀分散。

颜料的润湿过程是用润湿剂(或表面处理剂)润湿颜料的表面。润湿过程可简单地分为三个阶段:吸附→渗透→扩散。

颜料的细化是将团聚体颗粒破碎。破碎主要依靠颜料颗粒之间的自由运动(冲击应力)和颜料团聚体通过周围介质的应力(剪切应力)来完成。颜料细化的基本方法有干混法、液体介质法和熔体剪切法三种。

(1) 干混法 所谓干混法是将树脂与颜料加入高速、高强度研磨设备中,利用颗粒之间的冲击使颜料细化。干混法常用的设备有高速搅拌机等。干混时所采用的颜料应容易分散或经过表面处理,以保证干混后颜料的粒径为 $100\mu\text{m}$ 左右,然后再通过双螺杆挤出机的作用使之进一步细化到 $1\mu\text{m}$ 左右。干混时所用的树脂以粉状为好,同时,还应加入少量的白油、松节油等液体,以润湿颜料并使其粘附于树脂上,这样有利于颜料的细化和树脂熔融后的分散混合。配制色母粉料时常用此法。

(2) 液体介质法 所谓液体介质法是通过液体介质(通常是增塑剂、聚合物溶液、低相对分子质量聚合物等)传递剪切力,使颜料团聚体破碎的方法。常用的设备有三辊研磨机和砂磨机等。经过三辊研磨机三次研磨后,颜料颗粒的细度可达 $10\sim 20\mu\text{m}$ 。砂磨机是将颜料在水(加有少量扩散剂)或有机溶剂存在下,用天然砂或玻璃砂作砂磨介质,通过高速搅拌,使砂不断地冲击颜料,从而使颜料的粒度减小,其细度可小于 $1\mu\text{m}$ 。经过这样处理的颜料适用于细纤

维和超薄膜。配制色母浆料时常用此法。

(3) 熔体剪切法 所谓熔体剪切法是在颜料团聚体和熔融状树脂通过高剪切区时, 剪切力通过熔体使颜料团聚体破碎、均匀分散, 然后再进行造粒的方法。此法常用的设备为开炼机、密炼机和单(双)螺杆挤出机。配制色母粒料时常用此法。

实际生产中, 在对颜料进行预分散时, 常将上述方法联合使用, 如先将颜料与树脂进行强烈地干混, 再采用熔体剪切法对其进行混合、造粒, 以提高分散质量。

6.1.5 色母料的制备方法

1. 色母料的生产工艺流程

色母料的制造方法有四种: 油墨法、冲洗法、捏合法与金属皂法。

(1) 油墨法 油墨法是在色母料生产中采用油墨色浆的生产方法, 即采用 PE 蜡、白油(液体石蜡), 通过三辊研磨, 在颜料表面包覆一层低分子保护层, 其工艺流程如图 6-1 所示。

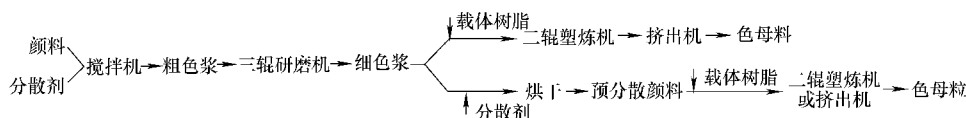


图 6-1 油墨法生产色母料工艺流程

油墨法生产的色母料主要靠三辊研磨机的剪切作用, 使色浆中的颜料颗粒团聚体打开。但由于设备性能限制, 颜料经三辊研磨后, 颗粒大小仅能达到 $10 \sim 30 \mu\text{m}$ 。

由于颜料性质不同, 研磨次数也不同, 如二氧化钛易磨碎, 而炭黑较难磨碎, 后者至少研磨三次。

(2) 冲洗法 冲洗法是颜料、水和分散剂通过砂磨, 使颜料颗粒小于 $1 \mu\text{m}$, 并通过相转移法, 使颜料转入油相, 然后干燥制得色母料。转相时还需要用有机溶剂, 以及相应的溶剂回收装置, 其工艺流程如图 6-2 所示。



图 6-2 冲洗法生产色母料工艺流程

(3) 捏合法 捏合法是将颜料和油性载体掺混后, 利用颜料亲油这一特点, 通过捏合使颜料从水相冲洗进入油相, 同时由油性载体将颜料表面包覆, 使颜料分散稳定, 防止颜料凝聚。其工艺流程如图 6-3 所示。

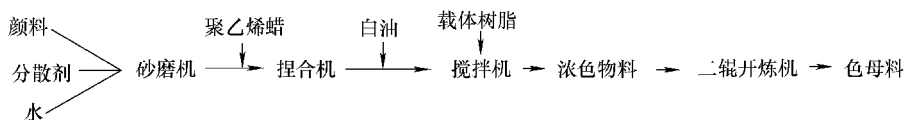


图 6-3 捏合法生产色母料工艺流程

(4) 金属皂法 金属皂法是将颜料经过研磨后粒度达到 $1\mu\text{m}$ 左右，并在一定温度下加入皂液，使每个颜料颗粒表面层均匀地被皂液所润湿，形成一层皂化液，当加入金属盐溶液后，与颜料表面的皂化层发生化学反应，生成金属皂的保护层（一般为硬脂酸镁），使经磨细后的颜料颗粒不会引起絮凝现象，保持一定的细度。这种方法不仅可以制得色母料，还可制得预处理颜料。其工艺流程如图 6-4 所示。

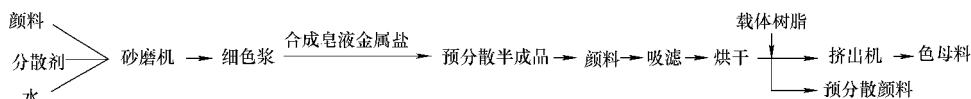


图 6-4 金属皂法生产色母料工艺流程

除上述方法外，也可利用高速混合机和高效配料双螺杆挤出机生产色母料。

2. 常用色母料混合造粒技术

(1) 一段混合造粒工艺 所谓一段混合造粒工艺是指母料经过混合、造粒等过程而得到产品的生产工艺。该工艺混合过程简单，生产效率高，但混合效果一般。如果对混合要求较高，应该采用混合能力较强的混合设备。

(2) 二段混合造粒工艺 所谓二段混合造粒工艺是指母料经过一段混合后，又通过混炼设备进行补充混合，然后再造粒，从而得到产品的生产工艺。该工艺混合能力强，分散混合效果好，采用一般的混合设备也可以获得高质量的色母粒。但是，混合效率不高。

6.2 硬质聚氯乙烯塑料的制备

6.2.1 硬质聚氯乙烯塑料的配方设计

硬质聚氯乙烯塑料的组成是以聚氯乙烯树脂作为主要组分，并添加较多的添加剂，以使其具有良好的加工性能和最终使用特性。聚氯乙烯塑料的性能差异较大，配制时的任何失慎都可引起其性能的改变。因此，为适应各类用途要求，仔细设计配方是十分重要的。

1. 配方设计要点

由于硬质聚氯乙烯的性能变化很大，因而对组分的选择和用量的确定是非

常重要的。要根据产品的使用性能和加工方法选择树脂、热稳定剂、润滑剂、填充剂、加工助剂和冲击改性剂等。

(1) 树脂的选择 从加工观点看,选择树脂是一件十分重要而又严格的工作。树脂有均聚物、共聚物以及氯化聚氯乙烯之分,但大多数硬质制品采用均聚物。相对分子质量、颗粒的大小及结构都会影响硬质塑料的加工性能和制品的使用性能,其中最重要的是聚合物的平均相对分子质量。工业上常用粘度或 K 值表示平均相对分子质量(或平均聚合度)。相对分子质量越高,制品的拉伸强度、冲击强度、弹性模量越高,但树脂熔体的流动性与可塑性下降。低相对分子质量的 PVC,粘度低,容易加工。大多数硬质 PVC 挤出加工是采用中等相对分子质量的树脂,如 SG5。对于吹塑、注射和压延加工,一般采用低相对分子质量的树脂,如 SG7。同时,合成工艺不同,导致了树脂的形态也有差异,我们常见的是悬浮法生产的疏松型树脂,俗称 SG 树脂,其组织疏松,表面形状不规则,断面多孔呈网状。因此,SG 型树脂吸收增塑剂快,塑化速度快。悬浮法树脂的主要用途见表 6-8。乳液法树脂宜作 PVC 糊,生产人造革等。

表 6-8 悬浮法 PVC 树脂型号及主要用途

型号	级别	主要用途
SG1	一级 A	高级电绝缘材料
SG2	一级 A	电绝缘材料、薄膜
	一级 B、二级	一般软制品
SG3	一级 A	电绝缘材料、农用薄膜、人造革表面膜
	一级 B、二级	全塑凉鞋
SG4	一级 A	工业和民用薄膜
	一级 B、二级	软管、人造革、高强度管材
SG5	一级 A	透明制品
	一级 B、二级	硬管、硬片、单丝、导管、型材
SG6	一级 A	唱片、透明片
	一级 B、二级	硬板、焊条、纤维
SG7	一级 A	瓶子、透明片
	一级 B、二级	硬质注射管件、过氯乙烯树脂

(2) 稳定剂体系 PVC 在高温下加工,极易放出 HCl,形成不稳定的聚烯结构,同时,HCl 具有自催化作用,会使 PVC 进一步降解。另外,如果有氧存在或有铁、铝、锌、锡、铜和镉等离子存在,都会对 PVC 降解起催化作用,加速其老化,使 PVC 塑料出现各种不良现象,如变色、变形、龟裂、力学强度和电绝缘性能下降、发脆等。为了解决这些问题,配方中必须加入稳定剂,尤其热稳定剂更是必不可少。PVC 用的稳定剂包括热稳定剂、抗氧剂、紫外线吸收

剂和螯合剂。配方设计时根据制品使用要求和加工工艺要求选用不同品种、不同数量的稳定剂。

1) 热稳定剂。热稳定剂必须能够捕捉 PVC 树脂放出的具有自催化作用的 HCl,或是能够与 PVC 树脂产生的不稳定聚烯结构起加成反应,以阻止或减轻 PVC 树脂的分解。一般在配方中选用的热稳定剂的特点、功能应根据制品的要求来考虑。例如:铅盐稳定剂主要用在硬制品中,铅盐类稳定剂具有热稳定性好、电性能优异、价廉等特点,但是其毒性较大,易污染制品,只能生产不透明制品。复合稳定剂的特点是专用性强,污染小,加工企业配料简便等,其中钡镉类稳定剂是性能较好的一类热稳定剂,在 PVC 农膜中使用较广,通常是钡镉锌和有机亚磷酸酯及抗氧剂并用;钙锌类稳定剂可作为无毒稳定剂,用在食品包装与医疗器械、药品包装中,但其稳定性相对较低,钙类稳定剂用量大时透明度差,易喷霜,钙锌类稳定剂一般用多元醇和抗氧剂来提高其性能。有机锡类热稳定剂性能较好,是用于 PVC 硬制品与透明制品的较好品种,尤其辛基锡几乎成为无毒包装制品不可缺少的稳定剂,但其价格较贵。环氧类稳定剂通常作为辅助稳定剂,这类稳定剂与钡镉钙锌类稳定剂并用时能提高光与热的稳定性,其缺点是易渗出。作辅助稳定剂的还有多元醇、有机亚磷酸酯类等。近年来还出现了稀土类稳定剂和水滑石类稳定剂,稀土类稳定剂主要特点是加工性能优良,而水滑石则是无毒稳定剂。

2) 抗氧剂。PVC 制品在加工使用过程中,因受热、紫外线的作用发生氧化,其氧化降解与产生游离基有关。主抗氧剂是链断裂终止剂或称游离基消除剂,其主要作用是与游离基结合,形成稳定的化合物,使连锁反应终止,PVC 用主抗氧剂一般是双酚 A。还有辅助抗氧剂或过氧化氢分解剂,PVC 辅助抗氧剂为亚磷酸三苯酯与亚磷酸苯二异辛酯。主辅抗氧剂并用可发挥协同作用。

3) 紫外线吸收剂。在户外使用的 PVC 制品,因受到其敏感波长范围的紫外线照射,PVC 分子成激发态,或其化学键被破坏,引起游离基链式反应,促使 PVC 降解与老化。为了提高抗紫外线的能力,常加入紫外线吸收剂。PVC 常用的紫外线吸收剂有三嗪—5、UV—9、UV—326、TBS、BAD、OBS。三嗪—5 效果最好,但因呈黄色使薄膜略带黄色,加入少量酞菁蓝可以改善。在 PVC 农膜中常用 UV—9,一般用量 0.2~0.5 质量份。属水杨酸类的 TBS、BAD 与 OBS 作用温和,与抗氧剂配合使用,会得到很好的耐老化效果。对于非透明制品,一般通过添加遮光的金红石型钛白粉来改善耐候性,这时如果再添加紫外线吸收剂,则需要很大用量,很不合算。

4) 螯合剂。在 PVC 塑料稳定体系中,常加入的亚磷酸酯类不仅是辅助抗氧剂,而且也起螯合剂的作用。它能与促使 PVC 脱 HCl 的有害金属离子生成金属络合物。常用的亚磷酸酯类有亚磷酸三苯酯、亚磷酸苯二异辛酯与亚磷酸二苯

辛酯。在 PVC 农膜中，一般用量为 0.5 ~ 1 质量份，单独用时初期易着色，热稳定性也不好，一般与金属皂类并用。

(3) 润滑剂 润滑剂的作用在于减少聚合物和设备之间的摩擦力，以及聚合物分子链之间的内摩擦。前者称为外润滑作用，后者称为内润滑作用。具有外润滑作用的如硅油、石蜡等，具有内润滑作用的如单油甘酯，硬脂醇及酯类等。至于金属皂类，则二者兼有。内润滑剂能促进熔融过程，而外润滑剂将推迟熔融。需要说明的是，内外润滑的说法只是我们的一种习惯称谓，并没有明显的界限，有些润滑剂在不同的条件下起不同的作用，如硬脂酸，在低温或少量的时候，能起内润滑作用，但当温度升高或用量增加时，它的外润滑作用就逐渐占优势了。还有一个特例是硬脂酸钙，它单独使用时作外润滑剂，但当它和硬脂酸铅及石蜡等并用时就成了促进塑化的内润滑剂了。在硬质 PVC 塑料中，润滑剂过量会导致强度降低，也影响工艺操作。对于注射制品会产生脱皮现象，尤其是在浇口附近会产生剥层现象，对注射制品，硬脂酸和石蜡总用量一般为 0.5 ~ 1 质量份；挤出制品一般不超过 1 质量份，在软制品配方中，润滑剂用量太多，会起霜并影响制品的强度及高频焊接性和印刷性，而润滑剂太少则会粘辊；对吹塑薄膜而言，润滑剂太少会粘住口模，易使塑料在模内焦化，同时，为了改善吹膜的发粘现象，宜加入少量的内润滑剂单甘油酯。生产 PVC 软制品时，润滑剂加入量一般小于 1 质量份。

(4) 填充料 在 PVC 中加入某些无机填料作为增量剂，以降低成本，同时提高某些物理力学性能（如硬度、热变形温度、尺寸稳定性与降低收缩率），增加电绝缘性和耐燃性。近年来，将无机填料纳米化，并将它运用到塑料中成为改性剂一直是研究的热点，并已经有了部分研究成果，如纳米碳酸钙增韧增强 PVC，其中要解决的重要问题就是如何将纳米产品均匀地分散于塑料中。在硬质挤出成型过程中，PVC 制品一般的填料为碳酸钙和硫酸钡。对注射制品，要求有较好的流动性和韧性，一般宜用钛白粉和碳酸钙。硬质制品的填料量在 10 质量份以内对制品的性能影响不大，填料过多对制品的性能不利。在软制品方面，加入适量的填料，会使薄膜具有手感很好的弹性，光面干燥而不显光亮，并有耐热耐压性好和永久形变小等优点。软制品配方常用的填料有滑石粉、硫酸钡、碳酸钙、钛白粉与膨润土等。其中滑石粉对透明性影响较小。生产薄膜时，填料用量可达 3 质量份，多了会影响性能。同时要注意填料细度，否则易形成僵块，使薄膜破裂。在普通附层级电缆中主要添加碳酸钙；绝缘级电缆附层中加入煅烧膨润土，可以提高塑料耐热性和电绝缘性。此外，三氧化二锑也可作为填料加入软制品中，以提高制品耐燃性。

(5) 加工助剂 在聚氯乙烯中加入少量通用型加工助剂能促进物料的熔融，缩短熔融时间，而熔体的拉伸粘度也显著提高，但剪切粘度和离模膨胀也会增

加。对于润滑型加工助剂，除有促进 PVC 熔融外，主要起外润滑作用，对粘度也有降低作用。此外，加工助剂可改进制品的外观，降低结垢，提高熔体的热强度。因此，在硬质 PVC 加工中得到广泛的应用，其用量可达 3 质量份，但管材生产中一般不采用。

(6) 冲击改性剂 硬质 PVC 塑料的冲击强度是很高的，但对缺口很敏感。另外，低温冲击性能也不好。为此，需在 PVC 中添加适量的冲击改性剂，以达到需要的冲击强度。在选择冲击改性剂时，冲击强度当然是主要指标，但也要兼顾其他性能和经济性。对于一定类型的冲击改性剂来说，冲击强度也随 PVC 相对分子质量 (K 值) 的增大而提高。冲击改性剂在许多硬质 PVC 制品中得到应用，但管材生产中一般不采用。

(7) 着色剂 用于 PVC 塑料的着色剂主要是有机颜料和无机颜料。PVC 塑料对颜料的要求较高，如加工时耐高温，不受 HCl 影响，加工中无迁移，耐光等。常用的有：①红色，主要是可溶性偶氮颜料、镉红无机颜料、氧化铁红颜料、酞菁红等。②黄色，主要有铬黄、镉黄和荧光黄等。③蓝色，主要有酞菁蓝。④绿色，主要是酞菁绿。⑤白色，主要用钛白粉。⑥紫色，主要是永固紫 RL。⑦黑色，主要是炭黑。另外，荧光增白剂用于增白，金粉、银粉用于彩色印花，珠光粉使塑料具有珍珠般散光。

(8) 发泡剂 PVC 用的发泡剂主要是 AC 发泡剂和偶氮二异丁腈及无机发泡剂。另外，铅盐和镉盐也有助于发泡作用，可使 AC 发泡剂的分解温度降到 150 ~ 180℃。发泡剂的用量根据发泡倍率而定。

(9) 阻燃剂 用于建材、电气、汽车、飞机的塑料，均要求有阻燃性。一般含卤素、锑、硼、磷、氮等的化合物均有阻燃作用，可作阻燃剂。硬质 PVC 塑料由于含氯量高，本身具有阻燃性，对于 PVC 电缆、装饰建材等掺入阻燃剂，可增加其耐火焰性。常用的阻燃剂有氯化石蜡、三氧化二锑 (2 ~ 5 质量份)、磷酸酯等。含氯增塑剂也有阻燃性。

2. 基本配方实例 (质量份)

(1) 挤出制品

1) 管材：

① 普通硬管 (见表 6-9)。

表 6-9 普通硬管配方

PVC 树脂 (SG—5)	100	碳酸钙	4 ~ 6
三盐基硫酸铅	3 ~ 5	石蜡	0.7 ~ 1.5
硬脂酸钡	0.6 ~ 1.0	炭黑	0.01 ~ 0.03
硬脂酸铅	0.6 ~ 1.0	—	—

② 无毒饮水管 (见表 6-10)。

表 6-10 无毒饮水管配方

PVC 树脂 (XS—4 型或 XS—6 型)	100	硬脂酸钙	1
CZ—310	2.5	E 蜡 (或氧化聚乙烯蜡)	0.5
环氧大豆油	1	钛白粉 (金红石型)	2
亚磷酸酯	0.5	轻质碳酸钙	1.0
CPE	5	着色剂	适量
ACR	4	—	—

③ 超白 PVC 硬管 (见表 6-11)。

表 6-11 超白 PVC 硬管配方

PVC 树脂	100	轻质碳酸钙	8.0
三盐基硫酸铅	2.0	硬脂酸丁酯	2.0
硬脂酸铅	2.0	硬脂酸	0.4
聚乙烯蜡	0.4	钛白粉	3.0
增白剂	适量	—	—

④ 建筑用冷弯穿线管 (见表 6-12)。

表 6-12 建筑用冷弯穿线管配方

PVC 树脂 (S—1000)	100	氯化石蜡	0.8
三盐基硫酸铅	5	CPE (135A 型)	10
二盐基亚磷酸铅	2	轻质碳酸钙	10
硬脂酸铅	0.6	钛白粉	2.0
硬脂酸钡	0.6	三氧化二锑	3

⑤ PVC 耐酸管 (见表 6-13)。

表 6-13 PVC 耐酸管配方

PVC 树脂 (SG—5)	100	硬脂酸钙	0.8
三盐基硫酸铅	4	石蜡	0.8
硬脂酸钡	1.2	硫酸钡	10
硬脂酸铅	0.5	—	—

⑥ 难燃电线导管 (见表 6-14)。

表 6-14 难燃电线导管配方

PVC 树脂	100	Sb ₂ O ₃	1 ~ 3
铅盐复合稳定剂	5 ~ 7	MoO ₃	1 ~ 3
CPE	10 ~ 15	碳酸钙	5 ~ 10

⑦ 红泥填充硬质 PVC 管 (见表 6-15)。

表 6-15 红泥填充硬质 PVC 管配方

PVC 树脂 (SG—5 或 SG—6 型)	100	红泥	10 ~ 15
铅系稳定剂	6	ACR	少量
金属皂类稳定剂	2	CPE (含氯质量分数 36%)	少量
润滑剂	1	—	—

⑧ 双壁波纹管 (见表 6-16)。

表 6-16 双壁波纹管配方

PVC 树脂	100	CPE (135A 型)	12
三盐基硫酸铅	6	碳酸钙	4
二盐基亚磷酸铅	1	硬脂酸	0.6
硬脂酸铅	1	石蜡	1
硬脂酸钙	1	聚乙烯蜡	0.5
甲基丙烯酸酯-丁二烯-苯乙烯共聚物 (MBS)	8	钛白粉	1

⑨ 结皮低发泡硬质 PVC 管 (见表 6-17)。

表 6-17 结皮低发泡硬质 PVC 管配方

PVC 树脂 (平均聚合度 700 ~ 800)	100	ACR—401	2 ~ 5
三盐基硫酸铅	4.0	活化剂	1 ~ 3
硬脂酸钡	1.8	成核剂	5 ~ 15
硬脂酸铅	0.8	分散剂 (均泡剂)	2 ~ 4
偶氮二甲酰胺 (AC)	0.2 ~ 0.6	改性剂 (MBS)	4 ~ 6
润滑剂	2 ~ 3		

2) 型材:

① PVC 推拉窗型材 (见表 6-18)。

表 6-18 PVC 推拉窗型材配方

PVC (XS—4)	100	氯化石蜡	0.1 ~ 5.0
CPE (含氯质量分数 36%)	8 ~ 10	硬脂酸	0.1 ~ 3.0
ACR—401	0.5 ~ 5	轻质碳酸钙	1 ~ 25
马来酸二丁基锡	0.5 ~ 4.0	钛白粉 (金红石型)	1 ~ 10
UV—9	0.1 ~ 2.0	三氧化二锑	0.5 ~ 8.0

② PVC 门窗异型材 (见表 6-19)。

表 6-19 PVC 门窗异型材配方

PVC 树脂 (SG—5)	100	二盐基亚磷酸铅	2
CPE (含氯质量分数 36%)	8 ~ 10	金属皂类稳定剂	1.2
ACR—201	3 ~ 4	润滑剂	适量
碳酸钙	4	紫外线吸收剂	0.5
三盐基硫酸铅	3	着色剂	适量

③ 室内型材（见表 6-20）。

表 6-20 室内型材配方

PVC 树脂（K 值 67）	100	硬脂酸钙	0.8
冲击改性剂	6 ~ 10	石蜡	1.2
丙烯酸加工助剂	1.0	CaCO ₃	3 ~ 5
润滑型丙烯酸加工助剂	1.0	着色剂	适量
有机锡稳定剂	1.5	—	—

3) 板材：

① 工业用 PVC 板（见表 6-21）。

表 6-21 工业用 PVC 板配方

PVC（S—700）	100	润滑剂	1
铅稳定剂	4	ACR	3
增塑剂	5	MBS	4
碳酸钙	8	色料	适量

② PVC 装饰板（见表 6-22）。

表 6-22 PVC 装饰板配方

PVC（S—1000）	100	活性重质碳酸钙	50
三盐基硫酸铅	4.0	邻苯二甲酸二辛酯	4.0
二盐基亚磷酸铅	2.0	ACR—401	2.0
硬脂酸铅	1.0	CPE（135A）	5.0
硬脂酸钙	1.0	钛白粉	2.0

③ PVC 低发泡板（见表 6-23）。

表 6-23 PVC 低发泡板配方

PVC 树脂（XS 型）	100	邻苯二甲酸二辛酯	1.6 ~ 2.0
偶氮二甲酰胺（AC）	0.6 ~ 0.7	硬脂酸钙	0.3 ~ 0.6
三盐基硫酸铅	2.5	硬脂酸	0.5
二盐基硬脂酸铅	0.5	液体石蜡	0.2 ~ 0.4
二盐基亚磷酸铅	0.2 ~ 0.5	PE 蜡	0.2
硬脂酸铅	0.2	轻质碳酸钙	2.0 ~ 3.0
CPE	7.0	钛白粉（金红石型）	1.4 ~ 2.0

④ 隔热减振用硬质 PVC 结皮发泡板（见表 6-24）。

表 6-24 隔热减振用硬质 PVC 结皮发泡板配方

PVC (S—700)	100	MBS	5
三盐基硫酸铅	3	AC 发泡剂	0.6
二盐基亚磷酸铅	1.5	ZB—530	6
硬脂酸铅	0.5	钛白粉	1.2
硬脂酸锌	0.3	碳酸钙	6
硬脂酸	0.5	碳酸氢钠	0.2
PE 蜡	0.8	环氧大豆油	10
ACR	6	—	—

⑤ 护墙板 (见表 6-25)。

表 6-25 护墙板配方

PVC 树脂	100	碳酸钙	5 ~ 30
铅盐稳定剂	5 ~ 7	润滑剂	1 ~ 2.5
CPE	4 ~ 10	增塑剂	0 ~ 6

(2) 注射制品

① PVC 无毒饮水管件 (见表 6-26)。

表 6-26 PVC 无毒饮水管件配方

PVC 树脂 (XS—6 型)	100	硬脂酸钙	1.5
CZ—310	3	E 蜡	0.3
环氧大豆油	0.5	氧化聚乙烯蜡	0.5
亚磷酸酯	0.5	钛白粉 (金红石型)	1
CPE	6	着色剂	适量
ACR	6	—	—

② PVC 排水管件 (见表 6-27)。

表 6-27 PVC 排水管件配方

PVC (S—700)	100	CPE	5
三盐基硫酸铅	3	ACR	3
二盐基亚磷酸铅	1	PE 蜡	0.6
邻苯二甲酸二辛酯	5	轻质碳酸钙	4
环氧大豆油	2	颜料	适量
金属皂类稳定剂	1.5	—	—

③ 普通管件及阀门 (见表 6-28)。

表 6-28 普通管件及阀门配方

PVC	100	硬脂酸钡	1.5
三盐基硫酸铅	5	硬脂酸钙	1.0
邻苯二甲酸二辛酯	4	钛白粉	10
环氧大豆油	3	石蜡	0.5 ~ 1.0

④ 雨水槽接头（见表 6-29）。

表 6-29 雨水槽接头配方

PVC	100	硬脂酸钙	1.0
三盐基硫酸铅	3	硬脂酸	1.0
邻苯二甲酸二辛酯	3	有机锡稳定剂	1.0
硬脂酸铅	2.0	炭黑	0.02
碳酸钙	10	—	—

(3) 吹塑制品

① 普通瓶（见表 6-30）。

表 6-30 普通瓶配方

PVC 树脂（K 值 58）	100	丙烯酸加工助剂	2.0
丁基锡稳定剂	2.0	润滑型加工助剂	0.5
硬脂酸单甘油酯	0.5	冲击改性剂（MBS）	12 ~ 14
酯蜡（OP 蜡）	0.5	—	—

② PVC 食用油瓶（见表 6-31）。

表 6-31 PVC 食用油瓶配方

PVC（S—700）	100	润滑剂：GH—4	0.8
MBS（BTA—730 或 B—22）	12	G—78	0.5
ACR（ZB—1）	1.7	ESBO—D82	1
热稳定剂（TM—181—FS）	1.6	颜料	适量

③ 饮料瓶（见表 6-32）。

表 6-32 饮料瓶配方

PVC 树脂（S—700 ~ 800）	100	MBS	8 ~ 12
辛基锡	1.5 ~ 2.5	丙烯酸加工助剂	1.5 ~ 2.5
液体钙锌复合稳定剂	1 ~ 3	环氧大豆油	1 ~ 3
硬脂酸单甘油酯	0.2 ~ 0.6	硬脂酸	0.4 ~ 0.7
十八醇	0.3 ~ 0.5	—	—

(4) 压延制品

① PVC 压延片材（见表 6-33）。

表 6-33 PVC 压延片材配方

PVC 树脂（K 值 60）	100	硬脂酸单甘油酯	0.5 ~ 0.8
冲击改性剂（MBS、ACR、ABS）	6 ~ 12	酯蜡（OP 蜡）	0.2 ~ 0.4
丙烯酸加工助剂	1.6 ~ 2.0	酯蜡（E 蜡）	0.02 ~ 0.2
润滑型丙烯酸加工助剂	0.5 ~ 1.0	钛白粉	0 ~ 6
有机锡稳定剂	1.6 ~ 2.0	—	—

② 透明压延片材（见表 6-34）。

表 6-34 透明压延片材配方

PVC 树脂（K 值 60）	100	硬脂酸单甘油酯	0.5 ~ 0.8
冲击改性剂（MBS 或 ABS）	10 ~ 15	酯蜡（OP 蜡）	0.2 ~ 0.4
丙烯酸加工助剂	1.6 ~ 2.0	酯蜡（E 蜡）	0.05 ~ 0.2
润滑型丙烯酸加工助剂	0.5 ~ 1.0	补色剂	微量
有机锡稳定剂	2.0	—	—

6.2.2 配料及混合

1. 配料

按照配方中规定的树脂、稳定剂、填料和着色剂等进行称量。通常树脂用电子秤或机械秤自动称量。稳定剂浆通过柱塞泵计量加入到高速混合器中，填料浆也同样用计量泵打入高速混合机，也可以用称量包法手工投入高速混合机中或密炼机中。至于色浆，由于经常换色，所以一般用手工称量，包成包，用手工方式投入。

2. 混合

在所有的主辅料加入高速混合机中后即可混合，混合通常在 200L 高速混合器中进行。高速混合是一种间歇操作。由于高剪切作用，物料升温很快，混合周期相当短，因此，控制出料温度是关键。如采用最低的出料温度（90℃），应保证分散适当、除掉残余水分和密实度。从高速混合机中卸出的干混料（90 ~ 115℃），必须在搅拌下冷却到 30 ~ 40℃。如果从混合机卸出的干混料立即装袋，或不在搅拌下冷却就进入料仓，就会产生两个问题：首先，干混料缓慢冷却到室温，物料会结块；其次，由于 PVC 对热很敏感，物料会降解而变红。

高速混合的方法有多种，建议按以下步骤进行：

- 1) 在低速搅拌下向混合机中加入树脂。
- 2) 加完树脂，立即加入液体稳定剂，升高混合机的搅拌速度。
- 3) 在 60℃ 下，加入加工助剂、冲击改性剂和着色剂。

- 4) 在 75℃ 下加入润滑剂。
- 5) 在 85℃ 下加入填充剂和钛白粉。
- 6) 在 90 ~ 110℃ 下, 将物料放进冷却混合机, 冷至 40℃ 以下。

6.2.3 塑炼

混合后的粉料, 有时还要经过密炼、开炼等塑炼过程, 制成粒料, 也可经过挤出造粒, 制成粒料。本节以开炼机塑炼操作为例介绍塑炼过程。

1. 操作前的准备

(1) 升温 在对开炼机加热前先要检查辊距是否为零, 为零时不能加热。如果辊距为零时加热, 辊筒受热要膨胀, 轴颈被卡死时, 则轴颈处可能被剪切断。如果辊距为零时, 将辊距松开一些, 并以最快的升温速率进行升温, 如在最大的蒸汽压力下升温或在最大的电压下升温。在升温过程中, 每隔一定的时间 (如 5min) 要测量辊筒相同部位的温度数据, 直到温度达到预定的温度数值时为止。

应当注意的是开炼机的升温 and 降温都有惯性。例如, 要将辊筒温度升到 170℃, 这个 170℃ 是预定的工艺参数, 不能将温度升到 170℃ 才停止加热, 而要在 170℃ 之前的某一温度下 (如 160℃) 停止加热, 由于加热的惯性, 温度会继续上升到 170℃。至于这个惯性温差值有多大, 要根据不同的环境温度通过实践测量确定。

(2) 挡板距离的调节 在小试时, 如果所配的料较少, 不足以覆盖全部辊筒表面, 即使勉强进行塑炼操作, 也因料量不足而使辊筒对料的压力不大, 而影响塑炼质量。在这种情况下, 需要将挡板的距离调小。

(3) 工艺参数的制定

1) 加料量。加料量与塑料的品种、辊筒的规格、辊距有关, 可由下式计算:

$$Q = KDI$$

式中 Q ——每一次的加料量 (L);

K ——经验系数, 0.0065 ~ 0.0085 (L/cm²);

D ——辊筒直径 (cm);

L ——辊筒工作部分的长度 (cm)。

2) 辊筒温度。辊筒温度和塑料的品种有关。它包括两个方面的含义: 一方面是辊筒的中心温度, 即这种塑料习惯上所说的开炼温度, 如塑炼 ABS 时, 辊筒的中心温度可设定为 170℃, 塑炼 HDPE 时, 辊筒的中心温度为 135℃; 另一方面是温度范围, 例如, 塑炼 ABS 时可以在 (170 ± 10)℃, 而塑炼 HDPE 时的温度范围为 (135 ± 3)℃, 温度范围越小, 控制就越困难。

3) 塑炼时间。用开炼机塑炼时,时间不能过长,否则塑料就要发生严重的降解。一般在5~6min即可。

2. 粉、粒料的成片操作

到了规定的温度后,戴上纱手套(戴一层、两层还是三层,取决于温度状态,温度较低,如低密度聚乙烯,只有100℃,戴一层也可以)。在粉、粒料未成片之前,需要将辊距调到稍小些,将物料倒入两辊筒上的间隙处;下方用托盘接收从辊筒间隙落下的物料,然后将落下的粉、粒料再倒入辊筒间隙的上方,下方继续用另一只盘接料,直到粉、粒料全部成片为止,记录下这段时间,作为该物料的成片时间。

3. 割料和翻料操作

这是一种带有操作技巧的操作,必须反复练习,方能掌握。操作要点如下:

1) 割刀的角度要适当。割刀的平面与刀尖和辊筒接触点的切平面的夹角在30°~50°之间。如果角度太大,刀切下去,片头不向外翻卷,另一只手就取不到料。

2) 刀尖从一端切入物料后,仍然是刀尖部分与辊筒表面接触,向另一端移动,直到割完。注意,只是刀尖的点接触,千万不能用刀口,不要变成线接触,否则有些就无法切开。

3) 当用刀割下料并向外翻卷时,赶紧用另一只手接住片头向外拉。

4) 当片全部割断时,两只手不断地拉着料片向中心处贴,叠加在一起形成三角包,俗称打三角包。

4. 出料操作

在不断翻料的情况下,到了规定的时间就要准备出料。出料分两种形态:一种是出平整的片,另一种出块状料。

1) 出平整的片。当料片拉出辊筒后,用一块板托在下面,将片拉在板上,使片保持平整,以便进行下一道工序的作业。

2) 出块状料。用割刀从一端切入料中,向另一端走一定距离再转回到开始的这一端,割下一块料,直到割完为止。注意,刚割下来的热的块状料不能堆放在一起,否则就会粘在一起。

6.2.4 粒料的制备

塑炼好的物料经粉碎和切粒即制得粒料。粒料工艺性能好,使用方便,且进一步经过剪切、拉伸、挤压混合,物料各组分分散更为均匀,有利于制得性能均一的制品。此外,配方中既有粉状又有粒状原料时,通过简单的混合也难以制得符合工艺要求的混合物料,也需进一步粒化。

1. 密炼机或开炼机塑炼造粒

采用密炼机或开炼机塑炼，通过拉片，经冷却，再用切粒机切粒，见图 5-2 和图 5-3。如果用低相对分子质量 PVC 配制硬质 PVC 粒料，如注射料和吹瓶料，由于熔体粘度低，熔融混合容易进行。如果用相对分子质量较高的 PVC 配制粒料，如挤出料，由于熔体粘度较高，在塑炼时熔体温度的控制就较难。同时，对于型材料，保持低的塑炼温度更为重要，这是因为过度塑炼而使熔体温度过高，就可能在挤出型材时出现表面粗糙或外观不良。因此，在配制挤出级硬质 PVC 粒料时，必须注意控制剪切、熔体温度和停留时间。

2. 挤出造粒

可用单螺杆和双螺杆挤出机，主要控制挤出温度、螺杆转速、切刀转速和粒料冷却等，见图 5-4、图 5-5 和图 5-6。

6.3 软质聚氯乙烯塑料的制备

6.3.1 软质聚氯乙烯塑料的配方设计

1. 配方设计要点

一般的软质聚氯乙烯塑料除了添加硬质聚氯乙烯塑料所用的稳定剂、润滑剂等外，还添加较大数量的增塑剂，以使塑料具有柔软性。

一般软质聚氯乙烯塑料的性能在很大程度上取决于增塑剂的品种和用量。例如在高温条件下使用的电线电缆，通常选用最高连续使用温度为 105℃ 的耐热增塑剂，如偏苯三酸酯、均苯四酸酯和双季戊四醇酯等。作为低温条件（如 -40℃ 以下）使用的薄膜，其耐寒性主要与选用增塑剂的化学结构、粘度与流动活化能有关，常用的耐寒增塑剂有己二酸二辛酯、癸二酸二辛酯、环氧酯、磷酸二苯异辛酯等。软质聚氯乙烯的耐候性、耐油性、耐溶剂性、迁移性、电绝缘性等也与增塑剂密切相关。一些主要增塑剂与所要求特性之间的关系见表 6-35 所示。

表 6-35 增塑剂的特性与选择

项 目	结 果 对 比
相容性	(好) DBP > DOP > TCP > DOA > TCP > 氯化石蜡 (差)
耐寒性	(好) DOA, DOS > DOP > DBP > 氯化石蜡 > TCP (差)
挥发性	(大) DBP > DOA > DOP > 氯化石蜡 > TCP > 聚酯 (小)
绝缘性	(高) 聚酯, TCP > 氯化石蜡 > DOP > DOA > DBP (低)
增塑效率	(高) DBS > DOP > DNP > DOA > DOS (低)
燃烧性	(大) DBP, DOP, DOA > 聚酯 > 氯化石蜡, TCP (小)
热老化性	(好) 聚酯 > TCP, DOP > 氯化石蜡 > DOA > DBP (差)

(续)

项 目	结 果 对 比
吸水性	(大) DOA > DOS > DBP > DOP > 氯化石蜡 > TCP (小)
硬度	(硬) 聚酯, 氯化石蜡 > TCP > DOP > DOA > DBP (软)
拉伸强度	(大) TCP > DOP > DBP > 氯化石蜡 > DOS > DOA (小)
伸长率	(大) DBP > DOP > DNP > DOA > DOS > 氯化石蜡 (小)
耐水抽出性	(大) TCP, 氯化石蜡 > DOP > 聚酯 > DOA > DBP (小)
耐油性	(大) 聚酯 > TCP, 氯化石蜡 > DBP > DOP > DOA (小)
无毒性	(低) BPBG, BBPDEP < ESO, DOA, DBS, DOP (无)

此外，塑料中增塑剂的品种及用量对成型加工也有明显的影响。例如配方中相容性差的增塑剂用量增加时，会引起捏合塑化操作困难，这在吹塑、压延、挤出等成型工艺中都会遇到。为了获得良好的成型性能，必须合理地组合使用增塑剂，并控制一定的用量。

与硬质 PVC 塑料相同，在软质 PVC 塑料中也需要添加一定量的稳定剂，但由于软质 PVC 塑料中添加了大量的增塑剂，流动性好，加工容易，因此对于稳定体系的要求不像硬质 PVC 塑料那样严格。在软质 PVC 塑料中，为了抑制聚氯乙烯和增塑剂在成型和使用过程中，在空气氧化和紫外线作用下发生降解老化变质，往往要添加抗氧剂；对于那些软质薄细制品，还要添加紫外线吸收剂。软质 PVC 塑料中所用的填充剂除要考虑价格、分散性、热稳定性、耐候性等外，还要考虑其对增塑剂的吸收量，这对于软质塑料的性能影响较大。另外软质 PVC 塑料的阻燃性、毒性等也与增塑剂及稳定剂的品种和用量有关。

2. 基本配方实例

由于 DOP 综合性能好，一般在设计软质 PVC 配方时，先以 DOP 为基础，结合制品的使用要求，再选择性能突出的增塑剂配合，经过试验并加以调整，以取得最佳效果。

(1) 薄膜

1) 压延薄膜配方（见表 6-36）。

表 6-36 压延薄膜配方（质量份，下同）

原 料	民用薄膜 (≥0.3mm)	雨衣薄膜 (加 NBR)	工业包装 薄膜	农业薄膜
PVC 树脂(SG—2)	100	100	100	100
丁腈橡胶(NBR)		5		
邻苯二甲酸二辛酯	12	40	15	16.5
邻苯二甲酸二仲辛酯	12			16.5

(续)

原 料	民用薄膜 (≥0.3mm)	雨衣薄膜 (加 NBR)	工业包装 薄膜	农业薄膜
邻苯二甲酸二丁酯	12		20	
癸二酸二辛酯	5	10	5	
环氧脂肪酸辛酯		5		3
氯化石油酯	10			20
氯化石蜡(含氯质量分数 52%)			15	
硬脂酸铅	1	1.25	1	1.2
硬脂酸钡	1	1.25	1	
硬脂酸镉				0.8
三盐基性硫酸铅	1		1	
螯合剂				0.5
MB 防老剂		0.1		
轻质碳酸钙	5			
硬脂酸	0.2	0.2	0.2	0.2

2) 吹塑薄膜配方(见表 6-37)。

表 6-37 吹塑薄膜配方

原 料	民用透明封面膜	日常用品薄膜	工业用薄膜	雨衣薄膜
PVC 树脂(SG—3)	100	100	100	100
邻苯二甲酸二丁酯	7	10	15	8
邻苯二甲酸二辛酯	31	18	20	30
烷基磺酸苯酯(M—50)		8		
癸二酸二辛酯		8	5	5
环氧脂肪酸辛酯	6	2		3
有机锡	1	0.8		
螯合剂	0.5	0.5		
硬脂酸钡	0.9		1.8	1.6
硬脂酸镉	0.6			
硬脂酸锌	0.2	0.15		
硬脂酸钙		0.06		
液体铅钡复合稳定剂		2	2	2
硬脂酸	0.06		0.15	0.15
三盐基性硫酸铅			1	1

(2) 电缆料配方（见表 6-38）

表 6-38 电缆料配方

原 料	绝 缘 级	护 套 级
PVC 树脂（SG—2）	100	
PVC 树脂（SG2—3）		100
邻苯二甲酸二辛酯	22	30
烷基磺酸苯酯（M—50）	20	
癸二酸二辛酯		10
磷酸二甲酚酯（TCP）		10
三盐基性硫酸铅	2	3
二盐基性亚磷酸铅	4	3
环氧酯	5	
硬脂酸钡	0.7 ~ 1	
硬脂酸铅		2
二盐基性硬脂酸铅	0.3	
碳酸钙		3
着色剂		适量

(3) PVC 鞋类配方（见表 6-39）

表 6-39 PVC 鞋类配方

原料	全塑鞋(黑、棕)	注射泡沫鞋	半透明鞋	透明鞋	珠光童鞋
PVC 树脂	100	100	100	100	100
邻苯二甲酸二丁酯	30	30	35	35	34
邻苯二甲酸二辛酯	25	30	30	30	34
石油酯	10	12			
三盐基性硫酸铅	3	1	1		
二盐基性亚磷酸铅	2				
硬脂酸钡	1	0.6	1	1	
硬脂酸铅	0.5	0.4			
硬脂酸镉			0.6	0.6	0.6
有机锡				1	1
珠光粉					1.5
亚磷酸三苯酯				0.5	
AC 发泡剂		1.2			
颜料	适量	适量	适量	适量	适量

(4) 管材配方

1) 透明软管（无毒），见表 6-40。

表 6-40 透明软管配方

PVC 树脂（K 值 65 ~ 70）	100	钙/锌稳定剂	1.5 ~ 2.0
环氧大豆油	2	聚酯增塑剂	37
邻苯二甲酸二辛酯	10	甘油单酯	0 ~ 0.6

2) 耐油软管（见表 6-41）。

表 6-41 耐油软管配方

PVC 树脂	100	硬脂酸铅	2
磷酸三甲酚酯（TCP）	30 ~ 40	硬脂酸钡	1
邻苯二甲酸二辛酯	10	硬脂酸	0.5
粉状丁腈橡胶	40	—	—

3) 电器导管（见表 6-42）。

表 6-42 电器导管配方

PVC 树脂（S = 1100 ~ 1200）	100	三盐基性硫酸铅	3 ~ 6
邻苯二甲酸二辛酯	35	双酚 A	0.5
磷酸三甲酚酯	15	着色剂	适量
煅烧陶土	10	—	—

(5) 建筑用密封嵌条（见表 6-43）

表 6-43 建筑用密封嵌条配方

PVC 树脂（S = 1300 ~ 1500）	100	亚磷酸酯	0.5
邻苯二甲酸二辛酯	50 ~ 60	碳酸钙	30
癸二酸二辛酯	10	钡锌复合稳定剂	1.5
环氧大豆油	3	硬脂酸	0.3 ~ 0.4

6.3.2 配料及混合

软质 PVC 塑料的配料操作规程和硬质 PVC 塑料大同小异，只是增加了增塑剂的贮存和计量。

按配方要求先将各种增塑剂逐一称量，然后混合（一次混合量不宜太多），配好的混合型增塑剂用罐存储起来，并在罐中通入压缩空气吹气搅拌均匀，防止增塑剂因密度不同而分层。在冬季可以在罐内用蒸汽盘管加热，使用时用计量泵将混合体按配方的数量进行计量。

原材料经过计量进入高速混合机，在进行高速混合时，先加入树脂和稳定

剂, 然后加入增塑剂 (一次、部分或连续添加), 最好在温度 $70 \sim 80^{\circ}\text{C}$ 下缓缓加入, 其速率不应使驱动电动机的电流上升太快。加完增塑剂后继续混合 1min , 以使增塑剂完全被吸收。接着加入浆料, 最后加入填充剂。

有些小剂量组分可先制成浆料, 再加入。例如, 稳定剂可制成稳定浆, 颜料可制成色浆。稳定浆的配比一般为: 稳定剂: 增塑剂 = $1: (1.5 \sim 3)$, 经三辊研磨机研磨成浆料。色浆的配比一般为: 颜料: 增塑剂 = $1: (1 \sim 2)$, 经三辊研磨机研磨后形成浆料。

混合温度和时间取决于配方、混合机类型和对物料最终温度的要求。对于高速混合机, 混合时间一般为 $10 \sim 20\text{min}$ 。在混合时应避免升温太快 (每分钟不应超过 15°C), 否则, 会使物料局部过热, 引起分解。此外, 物料适宜的最终温度也与增塑剂的类型和用量、树脂的相对分子质量和颗粒形态有关。例如, DBP 对 PVC 的溶胀起始温度为 75°C , DOP 为 82°C , 而 DOS 则为 92°C 。疏松型树脂吸收增塑剂的速度较紧密型快。

由于高速搅拌, 物料受到剪切而升温, 增塑剂初步吸收, 各组分混合均匀而形成干混料 (温度低于 85°C), 放入中间储料槽, 然后经挤出机塑炼、造粒、冷却, 即得粒料。如将高速混合得到的物料冷却至 $30 \sim 40^{\circ}\text{C}$, 则得到干混料。

若用密炼机塑炼时, 操作规程和硬质 PVC 塑料塑炼时相同, 但工艺参数不同。

若用开炼机塑炼时, 温度约比硬质 PVC 低 15°C 。在开炼机上翻料操作的难度比硬质 PVC 翻料操作时稍难些。

6.4 玻璃纤维增强塑料的制备

用玻璃纤维增强的热塑性塑料有两类: 一类是将短玻璃纤维分散在热塑性聚合物中制成可注射成型的材料 (模塑料); 另一类是用连续的玻璃纤维或相当长的短切原丝经热塑性聚合物浸渍而制成可成型的片材。

6.4.1 玻璃纤维增强塑料的配方设计

玻璃纤维增强热塑性塑料 (GFTP) 已开发出许多品种, 如玻璃纤维增强聚酰胺 (GF-PA)、玻璃纤维增强聚丙烯 (GF-PP)、玻璃纤维增强聚碳酸酯 (GF-PC)、玻璃纤维增强聚对苯二甲酸丁二酯 (GF-PBT)、玻璃纤维增强聚苯乙烯 (GF-PS)、玻璃纤维增强聚甲醛 (GF-POM) 和玻璃纤维增强 ABS (GF-ABS) 等。在配制这些玻璃纤维增强热塑性塑料时, 首先要根据增强塑料品种的不同而进行配方设计。

1. 配方设计要点

由于 GFTP 的品种多, 其配方随基体树脂及使用要求而异。玻璃纤维增强聚

丙烯（GF-PP）是 GFTP 中质优价廉的产品，其应用广泛，下面以它为例说明配方设计，其他增强聚合物可以从中借鉴。

GF-PP 的主要组成是聚丙烯、玻璃纤维，次要组成是各种添加剂，其中尤以稳定剂和偶联剂最为重要。

（1）聚丙烯树脂 聚丙烯的结构对 GF-PP 的性能有显著影响：均聚物的刚性和耐热性较高，嵌段共聚物的韧性则优于均聚物；用 30% 短切玻璃纤维增强的马来酸酐接枝聚丙烯在拉伸强度和弯曲模量方面均较均聚物的高。另外，这些材料的冲击强度随熔体流动速率的降低而提高。因此，根据使用要求可选择熔体流动速率范围为 1 ~ 20g/10min 的聚丙烯。

（2）玻璃纤维 玻璃纤维应选择无碱无捻粗纱或短切原丝，玻璃纤维用量一般为 10% ~ 40%，若玻璃纤维含量高，强度和耐热性提高，但对耐碱性不利。

（3）偶联剂 用于 GFTP 的偶联剂多为有机硅化合物，其烷氧基经水解后可以与玻璃纤维表面的硅羟基结合，所要选择的主要是与硅结合的有机官能团的结构，必须使其与树脂有较强的亲和力。对于聚烯烃，可选用含乙烯基、甲基丙烯酰基及阳离子苯乙烯胺基的硅烷，对于工程塑料（如 PA、PC），可选用含氨基、脲基和环氧基的硅烷，而聚苯硫醚（PPS）则可选用含硫醇基的硅烷。

（4）稳定剂 聚丙烯树脂在热氧和光的作用下容易降解，根据使用条件的不同，可加入抗氧化剂或光稳定剂。此外，有时还需添加润滑剂及其他改性剂。

2. 基本配方实例

GFTP 的配方由玻璃纤维和塑料两部分组成，塑料部分以 100 质量份树脂为基础来表示其他组分，而玻璃纤维和塑料两者之间按质量分数计。

（1）玻璃纤维增强聚丙烯（GF-PP）配方

1) 通用 GF-PP 配方（见表 6-44）。

表 6-44 通用 GF-PP 配方

组 分	原材料	塑料配比（质量份）	GF-PP 配比
塑料	丙烯-乙烯共聚物	100	70% ~ 90%
	马来酰亚胺	0.5 ~ 1.5	
玻璃纤维	玻璃纤维（用氨基丙基三乙氧基硅烷处理）		10% ~ 30%

2) 长玻璃纤维增强聚丙烯配方（见表 6-45）。

表 6-45 长玻璃纤维增强聚丙烯配方

组 分	原材料	塑料配比（质量份）	长玻璃纤维增强 PP 配比
塑料	PP 树脂（MFR = 18g/10min）	100	70% ~ 90%
	马来酸酐接枝聚丙烯	0.5 ~ 5	
	抗氧化剂	0.2 ~ 0.3	

(续)

组 分	原材料	塑料配比 (质量份)	长玻璃纤维增强 PP 配比
玻璃纤维	玻璃纤维 (1200Tex, 经增强型浸润处理)		10% ~ 30%

(2) 玻璃纤维增强高密度聚乙烯 (GF-HDPE) 配方 (见表 6-46)

表 6-46 GF-HDPE 配方

组 分	原材料	塑料配比 (质量份)	GF-HDPE 配比
塑料	HDPE 树脂	100	70% ~ 90%
	马来酸酐接枝高密度聚乙烯	5 ~ 20	
	抗氧剂	0.1 ~ 0.3	
玻璃纤维	玻璃纤维 (无碱无捻粗纱, 经增强型浸润剂处理)		10% ~ 30%

(3) 玻璃纤维增强聚氯乙烯 (GF-PVC) 配方 (见表 6-47)

表 6-47 GF-PVC 配方

组分	原材料	塑料配比 (质量份)	GF-PVC 配比
塑料	PVC 树脂	100	70% ~ 80%
	三盐基性硫酸铅	2 ~ 5	
	二盐基性亚磷酸铅	2 ~ 4	
	硬脂酸钡	0.8 ~ 1.5	
	硬脂酸铅	0.5 ~ 1.0	
	硬脂酸钙	0.8 ~ 1.5	
	增塑剂	5 ~ 12	
	石蜡	0.8 ~ 1.5	
玻璃纤维	玻璃纤维 (经有机硅烷处理)		20% ~ 30%

(4) 玻璃纤维增强聚酰胺 (GF-PA) 配方

1) 通用 GF-PA 配方 (见表 6-48)。

表 6-48 通用 GF-PA 配方

组分	原材料	塑料配比 (质量份)	通用 GF-PA 配比
塑料	聚酰胺树脂	100	70% ~ 80%
	稳定剂	0.1 ~ 0.5	
	抗氧剂	0.2 ~ 0.3	
玻璃纤维	玻璃纤维 (无碱无捻粗纱, 经含 A1100 的增强型浸润剂处理)		20% ~ 30%

2) 阻燃 GF-PA 配方 (见表 6-49)。

表 6-49 阻燃 GF-PA 配方

组分	原材料	塑料配比 (质量份)	阻燃 GF-PA 配比
塑料	聚酰胺树脂	100	70%
	十溴联苯醚	1.5 ~ 2.5	
	FR-M 型阻燃剂	4 ~ 10	
	三氧化二锑	2 ~ 10	
	硼酸锌	2 ~ 6	
玻璃纤维	玻璃纤维 (无碱无捻粗纱, 经增强型浸润剂处理)		30%

(5) 玻璃纤维增强聚碳酸酯 (GF-PC) 配方

1) 通用 GF-PC 配方 (见表 6-50)。

表 6-50 通用 GF-PC 配方

组分	原材料	塑料配比 (质量份)	通用 GF-PC 配比
塑料	聚碳酸酯树脂	100	70%
	抗氧化剂及其他添加剂	适量	
玻璃纤维	玻璃纤维 (无碱无捻粗纱, 用 A1100 浸润剂处理)		30%

2) GF-PC-ABS 配方 (见表 6-51)。

表 6-51 GF-PC-ABS 配方

组分	原材料	塑料配比 (质量份)	GF-PC-ABS 配比
塑料	聚碳酸酯树脂	100	80% ~ 90%
	ABS 树脂	5 ~ 30	
	抗氧化剂	0.2 ~ 0.5	
玻璃纤维	玻璃纤维 (无碱无捻粗纱, 经增强型浸润剂处理)		10% ~ 20%

(6) 玻璃纤维增强热塑性聚酯配方

1) GF-PET 配方 (见表 6-52)。

表 6-52 GF-PET 配方

组分	原材料	塑料配比 (质量份)	GF-PET 配比
塑料	PET 树脂	100	45% ~ 70%
	冲击改性剂	5 ~ 12	
	成核剂	适量	
玻璃纤维	玻璃纤维 (无碱无捻粗纱, 经增强型浸润剂处理)		30% ~ 55%

2) 阻燃 GF-PET 配方 (见表 6-53)。

表 6-53 阻燃 GF-PET 配方

组分	原材料	塑料配比 (质量份)	阻燃 GF-PET 配比
塑料	PET 树脂	100	70%
	聚二溴联苯醚	10 ~ 20	
	三氧化二锑	4 ~ 8	
玻璃纤维	玻璃纤维 (用 A1100 处理)		30%

3) GF-PBT 配方 (见表 6-54)。

表 6-54 GF-PBT 配方

组分	原材料	塑料配比 (质量份)	GF-PBT 配比
塑料	PBT 树脂	100	70% ~ 80%
	着色剂及其他添加剂	适量	
玻璃纤维	玻璃纤维 (E 玻璃纤维, 平均直径 13 μ m, 经增强型浸润剂处理)		20% ~ 30%

6.4.2 玻璃纤维的表面处理

树脂与玻璃纤维粘接性能的好坏,直接影响到增强塑料的力学性能。提高基体树脂与玻璃纤维表面粘接力的方法是对玻璃纤维进行表面处理。

1. 纤维表面处理的基本原则

(1) 极性相近原则 无机增强材料的表面与聚合物基体有较大的差别,聚合物基体不易浸润增强材料的表面,造成复合过程中基体材料难以完全排除纤维表面吸附的气体,使复合材料孔隙率高、性能差。因此,对增强材料改性,使两者极性相近。

(2) 界面酸碱匹配原则 接触体系界面电子斥引作用要相匹配,界面酸碱相匹配,这样可以增加粘合力,提高复合材料界面的粘接强度。

(3) 形成界面化学键原则 为了使复合材料既有优良的物理力学性能,又具有耐腐蚀、耐湿热老化性能,粘接的界面必须具备既有分子间作用力又有化学键力。处理纤维表面时,必须考虑选用的表面处理剂是否同时具有能与纤维表面和聚合物表面起化学反应的反应性基团和反应的可能性。

2. 玻璃纤维的表面处理方法

玻璃纤维的表面处理,就是在光洁的玻璃纤维表面涂上一层均匀的表面处理剂 (或称粘合剂、偶联剂)。生产中常采用偶联剂来对玻璃纤维进行表面处理。处理方法有三种。

(1) 前处理法 即将表面处理剂 (偶联剂) 加入到玻璃纤维浸润剂配方中,

或用偶联剂直接代替石蜡乳化型浸润剂，在拉丝作业中处理，主要用于无捻粗纱及其纺织品。

(2) 后处理法 也叫热—化学处理法，首先将玻璃纤维纺织制品的石蜡乳化型浸润剂烧掉，然后再用表面处理剂对其表面进行处理，主要用于有捻纺织制品。

(3) 迁移法 将表面处理剂直接加入到基体树脂中使用，主要用于缠绕、模压成型。

3. 表面处理剂

在玻璃纤维中，除有含 Si—O 网状结构外，还分散着大小为 1.5 ~ 20nm 的碱金属或碱土金属等氧化物微粒，而这些微粒吸湿性较大，严重削弱了玻璃纤维与基体树脂界面的粘接强度。表面处理剂（偶联剂）的功能在于偶联剂分子的一端与玻璃纤维表面作用，而另一端则与基体树脂有很强的亲和力，致使粘接力提高。从而在宏观上使增强塑料的强度特别是湿强度得到显著提高。目前常用的表面处理剂主要是有机络合物处理剂和有机硅烷处理剂。

(1) 有机络合物处理剂 即在玻璃纤维表面涂以一种混合的无机-有机络合物，最常用的是甲基丙烯酸氯化铬络合物（Volan 沃兰）。由于玻璃纤维表面具有高负电价的硅氧键，而络合物含有活性铬原子的一端具有较大的正电位，两者产生吸引而牢固结合。在络合物另一端的丙烯酸基团则与高分子基体树脂的极性基团发生作用而牢固结合。

(2) 有机硅烷处理剂 有机硅烷处理剂在玻璃纤维上的应用效果比用有机络合物处理剂在干湿度方面都有所提高，因而有机硅烷处理剂应用更为广泛。

能和玻璃纤维表面起作用的有机硅化合物基本上可以用 R_nSiX_{4-n} 通式表示。式中 R 为有机基团，通常为单价的脂肪基、脂环基、芳基、脂基芳基混合基，或杂环基；X 是随时能够水解的卤基、胺基、烷氧基、芳氧基、酰氧基等；n 可为 1, 2 或 3。

用于玻璃纤维表面处理的有机硅烷处理剂应具有下列功能，它的无机部分可以通过卤素或烷氧基的水解使硅原子牢固地键接于玻璃纤维表面的硅酸盐结构中，而另一端有机基团可呈单体、或产生不同程度的交联而形成不同性质的保护膜，如防水、耐磨以及和高分子树脂发生不同程度的亲和力等作用。

对于有些基体树脂本身不带极性基团，必须对树脂本身进行改性，增加极性基团，或加入过氧化物、或加入其他第三组分。否则，即使对玻璃纤维进行表面处理，增强塑料的性能也得不到明显的提高。

6.4.3 玻璃纤维的长度及其分散性

玻璃纤维增强作用的好坏，与它在聚合物混合料或制品中的长度、分散状

态或分布均匀性、取向以及被聚合物润湿的均匀性有关。

玻璃纤维在制品或混合料中长度太短，只起填料作用，不起增强作用；太长，会影响玻璃纤维在混合料或制品中的分散性、成型性能和制品的使用性能。一般认为，增强热塑性塑料中玻璃纤维的理想长度应为其临界长度的5倍。所谓临界长度，是指对于给定直径的纤维增强热塑性塑料中玻璃纤维承受的应力达到其冲击断裂时的应力值所必需的最低长度。因为在玻璃纤维增强塑料中，玻璃纤维只有达到一定长度才能传递应力，起到增强材料的作用，而低于临界长度时只起填料作用。一般来说，制品中玻璃纤维的平均长度在0.1~1.0mm之间为好，这样既能保证良好的制品性能，又能使玻璃纤维具有良好的分散性。

影响玻璃纤维在制品中的平均长度的因素很多，如塑料和玻璃纤维的种类，玻璃纤维加入量及其表面处理，还有混合设备和工艺等。

分散性好的标志是：玻璃纤维以单丝而不是以原纱存在于制品中；制品任意单位体积内的玻璃纤维含量大致相等；制品中玻璃纤维长度分布范围大致相同。分散性不但影响制品的外观，而且影响制品的性能。影响分散性的因素有合适的玻璃纤维（单丝直径及支数）及浸润剂、玻璃纤维含量（粒料中玻璃纤维含量越大，制品中玻璃纤维分散性越差）、合理的造粒工艺等。

6.4.4 制备玻璃纤维增强粒料的设备

用于制备玻璃纤维增强粒料的设备包括单螺杆挤出机、双螺杆挤出机和其他连续混炼挤出机等。其中，啮合同向双螺杆挤出机以其优异的混合性能、方便而灵活的积木式结构、高的生产能力和自动化操作等，在玻璃纤维增强粒料的生产中得到广泛应用。用啮合同向双螺杆挤出机制备玻璃纤维增强粒料时有以下几个问题特别重要：

1. 玻璃纤维的加入方法

玻璃纤维有长纤维和短切纤维之分，将它们加入到双螺杆挤出机时，可采用不同的方法。短切纤维一般用计量加料装置加入，但并不是所有计量加料装置都能用来加入玻璃纤维，特别是当短切玻璃纤维长度大于6mm时，这时可以采用振动计量加料装置，将聚合物和短切纤维的预混物由加料口一起加入，否则会造成纤维和树脂的分离。通过调节振动速度来控制加入量，但难以精确。为提高加入量，可采用侧加料装置由侧加料口加入。

用双螺杆挤出机制备玻璃纤维增强粒料时，多采用长纤维（也叫粗纱），它比较容易加入，不需要特别的加料装置，只要把架挂起来的粗纱卷的纱条引入双螺杆的加料口，将粗纱绕到螺杆上，纱条会自动由粗纱卷上放开，被旋转的螺杆自动拉到机筒中（如图6-5所示）。长纤维加入量可以精确地控制，知道粗纱单位长度的质量、股数和螺杆转数后，就可知道玻璃纤维的加入量，因为玻

玻璃纤维加入量和螺杆转数成正比。

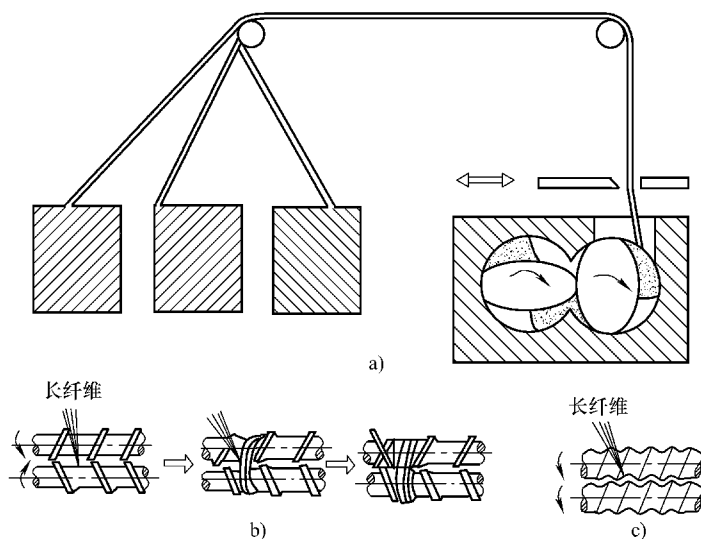


图 6-5 长纤维（粗纱）加入双螺杆挤出机的工艺过程

a)、c) 加入啮合同向双螺杆挤出机 b) 加入非啮合异向双螺杆挤出机

2. 玻璃纤维加入的部位

一般情况下，聚合物是在主加料口加入，待其熔融塑化后，再将玻璃纤维由下游加料口加入，即采用后续加料。这是因为，如果把玻璃纤维和固态聚合物都由主加料口加入，会造成在固体输送过程中玻璃纤维过度折断，螺杆和机筒内表面也因与玻璃纤维直接接触而造成严重磨损。采用后续加料，因玻璃纤维是加到已熔融的聚合物中，熔体与纤维混合后，把纤维包起来，起到润滑保护作用，减少了纤维的过度折断和螺杆、机筒的磨损，而且有利于玻璃纤维在熔体中的分散和分布。加入玻璃纤维时，要控制聚合物和玻璃纤维的温度，确保聚合物粘度变化最小，避免聚合物在玻璃纤维上冷硬，引起额外的玻璃纤维折断。方法是将聚合物加热到正常水平以上，或将玻璃纤维预热后再加入。

3. 制备玻璃纤维增强粒料的螺杆构型和机筒配置

适于制备玻璃纤维增强粒料的双螺杆构型设计和机筒配置的总目标是：防止基体树脂降解，螺杆构型应能将每根纤维均匀分布于基体树脂中，把纤维束分散开；在确保粘接性良好的条件下，使每根纤维都被聚合物熔体所润湿，将纤维切短到合适的长度，使混合物达到最高的增强效果；把挤出过程中产生的挥发物排除干净；尽力减少对螺杆、机筒的磨损。最佳螺杆构型和机筒配置取决于所用聚合物的性能、纤维类型、相容剂和纤维添加量等。图 6-6、图 6-7 所示是用于玻璃纤维增强粒料制备的两种典型螺杆构型，其中图 6-6 表示出了各区段的作用。由图 6-6 可见，整根螺杆自主加料口向下游依次分为预热和固体输

送、熔融、玻璃纤维加入、玻璃纤维混合、脱挥计量、口模成型等区段。在熔融段采用由不同厚度捏合盘组成的正向捏合块，在玻璃纤维入口和排气口之间的螺杆区段采用了两个由薄捏合盘组成的捏合块，对纤维进行均化、混合、排气，下游到出料端，皆采用正向螺纹元件，对物料进行计量和建立压力。图6-7是玻璃纤维增强尼龙66的工艺流程及螺杆构型。

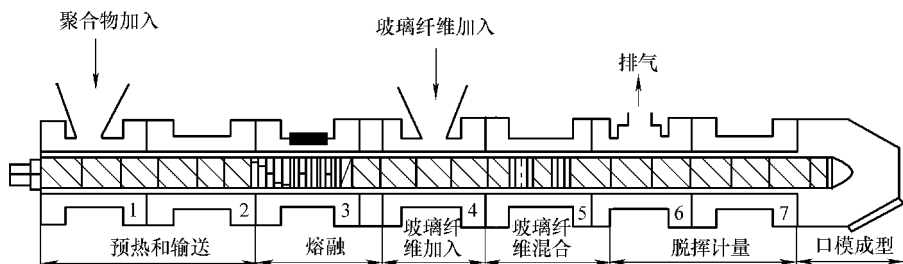


图6-6 用玻璃纤维增强的典型螺杆构型

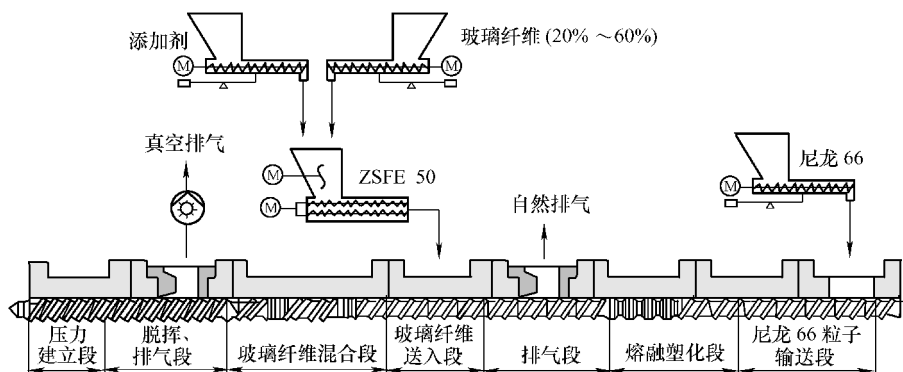


图6-7 玻璃纤维增强尼龙66 工艺流程及螺杆构型

(1) 玻璃纤维加入处的螺杆构型 玻璃纤维加入处的螺槽应采用大导程，使聚合物在此处为半充满状态，以留出空间容纳加入的玻璃纤维。为避免玻璃纤维入口被聚合物熔体堵死，短切玻璃纤维用反螺纹元件导入，长玻璃纤维可用至少一对捏合盘元件导入。

(2) 玻璃纤维的切断和分散 玻璃纤维入口下游的螺杆构型设计应主要着眼于有利于玻璃纤维长度的变化和均化。长纤维是无头的，有无限长，加入螺杆后必须切成一定长度并与熔体很好混合，混合段应当由分布混合元件组成，或是薄捏合盘，或是齿形混合元件。长纤维加入后，被位于加料口下游的捏合盘元件切成一定长度。其平均长度取决于聚合物和玻璃纤维的比例，也取决于剪切、混合元件的选择。至少应安装一组捏合盘元件。粘度高的聚合物或加有高玻璃纤维含量（质量分数大于40%）的螺杆构型比低粘度聚合物或玻璃纤维

含量低的螺杆构型提供的剪切要柔和一些。对于短切纤维，不需要像长纤维那样强的剪切，而主要是靠熔体将纤维润湿和分散开来，故混合段可由薄的捏合盘组成的捏合块或在螺棱上开槽的螺纹元件或齿形盘元件组成。适于玻璃纤维增强的螺杆元件一般是双头的，因为它们的剪切比较柔和，对玻璃纤维不会造成过度的折断。

(3) 排气段的设置 因为有的玻璃纤维是经过预处理的，如长纤维中的加捻纤维是经石蜡乳化型浸渍剂处理的，而无捻纤维是经强化剂处理的。在一定温度下，玻璃纤维与熔体混合后，玻璃纤维上的浸渍剂和强化剂在挤出过程中受高温后会变成挥发组分，需设排气段予以排出。排气段应位于纤维加入口的下游。为使排气有效，在排气段上游接近排气口处，应设置密封性螺杆元件，如反向螺纹元件或反向捏合块，以防止真空泵作用下粒子被抽出。反向螺纹元件或反向捏合块上游应采用小导程的建压螺纹元件。排气口对着的排气段的螺杆区段应采用大导程的螺纹元件，使含有玻璃纤维的熔体半充满螺槽，有较大的自由空间，使物料有表面更新的机会，以利排气。

(4) 螺杆的最后区段（均化和建压段） 为使混合物挤出口模造粒，应采用小导程正向输送螺纹元件，以建立挤出压力。在排气口和螺杆最后区段之间，有时要设置齿形盘元件，对纤维进行均化，保证玻璃纤维均匀分布。

(5) 聚合物的熔融塑化 聚合物的熔融塑化以及与聚合物一起由主加料口加入的其他助剂（如阻燃剂、颜料、稳定剂等）的混合，是在主加料口和排气段之间的螺杆区段的主要任务。为促进熔融和混合，这一段的螺杆构型除应有下向螺纹元件（减导程）进行输送外，还应当采用捏合块、反向螺纹元件等熔融塑化元件和齿形盘等均化混合元件。

6.4.5 制备玻璃纤维增强粒料的工艺方法

制造热塑性增强塑料粒料的工艺方法有许多种。长纤维增强粒料一般采用经典的电缆包覆方法制造，它适宜于螺杆式注塑机成型用。而短纤维增强粒料（或称分散型增强粒料）是指玻璃纤维和高分子树脂通过混炼，在此过程中玻璃纤维被折断，它以长度为 0.25 ~ 0.5mm 的短玻璃纤维形式，均匀地分散于树脂中。它适宜于柱塞式注塑机用（当然也可以用于螺杆式注塑机）。另外，也可将短切玻璃纤维与树脂粉料混合，直接用于注射成型。

1. 长纤维增强塑料粒料的制备

目前比较常见的长纤维增强塑料粒料的生产方法是电缆包覆法，该方法所需设备简单、操作连续、增强粒料质量优异，其生产装置如图 6-8 所示。

(1) 长纤维增强用挤出机 长纤维增强用挤出机采用一般的单螺杆挤出机即可，它的主要作用是塑化基体树脂，并定量、定压、定温地将物料挤入包覆

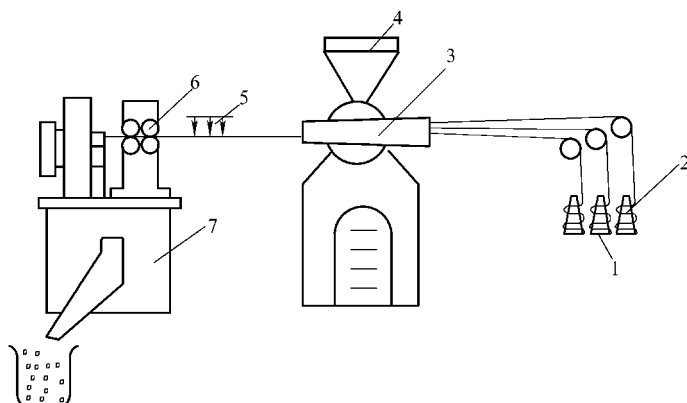


图 6-8 长纤维增强塑料粒料生产装置（包覆式）示意图

1—玻璃纤维 2—送丝机构 3—机头 4—挤出机 5—风冷（水冷）
6—牵引装置 7—干燥装置

机头。挤出机的产量应比较稳定，压力波动小。

(2) 长纤维增强塑料包覆机头 机头的结构形式是影响长纤维增强粒料的主要因素。品种不同的高分子基体树脂，在熔融状态下的粘度相差极大，而且不同树脂的加工温度范围有宽有窄，因而要根据具体的基体树脂来设计机头结构。典型的机头由三部分组成，即型芯、型腔和集束装置，如图 6-9 所示。

玻璃纤维粗纱通过型芯中的小孔进入机头型腔，与熔融树脂相交而浸渍。为使其充分浸渍，通常需给以一定的压力，而集束板（或管）能使熔融树脂进一步渗透到玻璃纤维粗纱中，并使熔体料条密实。

(3) 包覆法长纤维增强塑料制造工艺过程 将树脂干燥后加入到挤出机中，挤出机挤入包覆机头的物料已呈粘流态，呈粘流态的树脂在压力的作用下，将由送丝装置送来的纤维束包覆，包覆好的纤维束在牵引装置的作用下继续向前移动，纤维束自机头出来后通过冷却水槽，冷却后由切粒机切粒，经干燥，包装后即得到包覆纤维增强塑料。包覆式长纤维增强塑料制造工艺流程如图 6-10 所示。

长纤维增强粒料的切粒方式，以剪刀式最好。因为包覆好的料条中的玻璃纤维用通常的滚切方式难以切断，而容易将玻璃纤维从粒料中拉出。此外，切刀必须锋利且耐磨。

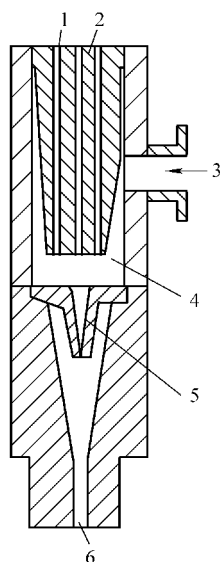


图 6-9 长纤维增强塑料包覆机头结构示意图

1—穿丝孔 2—型芯 3—熔融物料入口 4—型腔
5—集束装置 6—出料口

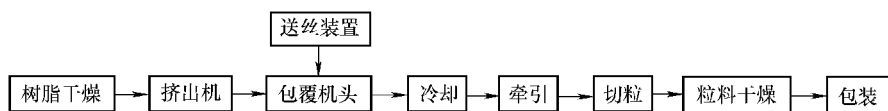


图 6-10 包覆式长纤维增强塑料制造工艺流程图

2. 短纤维增强粒料制备

对于熔融粘度高的树脂，如聚烯烃类、聚苯乙烯类、聚氯醚等，由于玻璃纤维在树脂中的分散情况不良，长纤维增强塑料制品性能及外观皆不太理想，因而需要分散型增强粒料来加工制品，这就形成了短纤维增强粒料生产工艺。通常用来制造短纤维增强粒料的设备有单螺杆挤出机、双螺杆挤出机、传递式混合机和 Buss 混合机等。

(1) 用单螺杆挤出机制造玻璃纤维增强粒料 用单螺杆挤出机制造玻璃纤维增强粒料的方法有两种：一种是在单螺杆挤出机中直接加入粗纱纤维或短纤维与基体树脂混合造粒来生产增强粒料；另一种是将长纤维增强粒料在单螺杆挤出机中回挤，再一次造粒来制造增强粒料。由于混合过程中有挥发性物质产生，必须排除，一般采用排气挤出机挤出。

1) 在单螺杆挤出机中直接加入粗纱纤维或短纤维生产增强粒料。排气式挤出机螺杆可看作由两根不同长度的单螺杆同轴串联而成，将粗纱从加料斗与基体树脂一起加至螺杆第一输送段后，随之进入第一压缩段和第一计量段。基体树脂在前进过程中受热而熔融塑化，玻璃纤维也被切断、粉碎并与熔融的基体树脂混合在一起。进入排气段时，包含于熔体中的水分、或其他低分子挥发物被脱走。脱去低分子挥发物的物料继续被螺杆推向前进，通过第二压缩段和第二计量段，得到进一步均化，最后进入机头，挤出成致密的料条，通过冷却，由切粒机切成粒料。

在单螺杆挤出机中加长纤维（粗纱）比较困难，一般是加短纤维。将短纤维加入单螺杆排气挤出机的方法也有两种：一种是在加料口上方通过切断装置把粗纱切成短纤维，然后与基体树脂一起加入到挤出机中去，如图 6-11 所示；另一种方法是将购来的短纤维与基体树脂直接加到挤出机中，由于短纤维易飞扬，一般不对短纤维和基体树脂进行预混。

在单螺杆挤出机中直接加短纤维生产增强粒料，对机器的磨损比较严重，由于螺杆的剪切作用易造成玻璃纤维的过度破碎。研究结果表明玻璃纤维的破碎主要发生在加料口处、进入机头口模处和熔融段。因此从提高混合质量、减少纤维过度破碎、降低机器磨损角度来看，纤维最好在基体树脂熔融后加入，这样加入的玻璃纤维直接与熔体混合，熔体很快将纤维包围起来，防止玻璃纤维与螺杆、机筒表面接触，避免了纤维的过度破碎。但设置加入口时必须注意，加入口前应形成高压密封区（可以通过螺杆设计来满足此要求），玻璃纤维加入

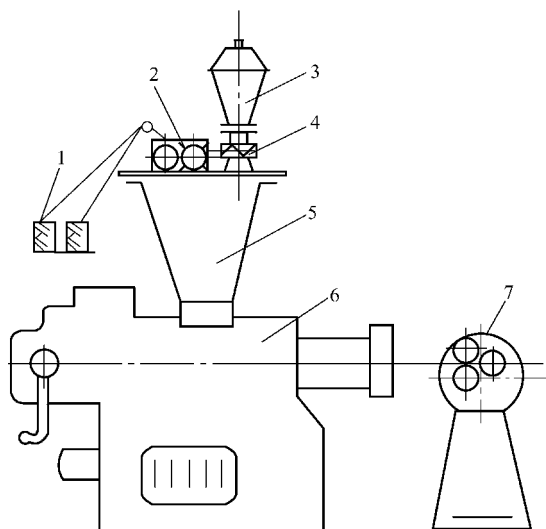


图 6-11 用排气单螺杆挤出机生产短纤维增强粒料的工艺示意图

- 1—粗纱 2—粗纱切断装置 3—基体树脂加料斗 4—计量装置
5—混合料斗 6—排气挤出机 7—牵引装置

口区螺槽的容积应加大（加深槽深和加大螺距），使熔体在螺槽中处于半充满状态，便于玻璃纤维的加入。

2) 将长纤维增强粒料加入到挤出机中回挤造粒生产增强粒料。目前国内普遍采用排气式单螺杆挤出机将长纤维增强粒料回挤的工艺路线来生产短纤维增强粒料。生产过程是：当长纤维粒料从料斗中加至螺杆第一输送段后，随之进入第一压缩段和第一计量段。在前进过程中粒料受热而成熔融流体，压力逐步升高，当它继续前进进入第二输送段（排气段）时，由于螺槽突然变得很深，受压的熔体突然降压，从而物料膨胀，包含于熔体内的水汽或其他低分子挥发物随之逸出。此段螺纹设计为双头螺纹，并沿轴向铣出两条平槽，更利于熔体中的气体逸出。在螺杆排气段上方设有排气口，并连接真空泵，因而熔融物料中低分子挥发物的逸出速度极快。脱去低分子挥发物的物料继续被螺杆推向前进，通过第二压缩段和第二计量段进入机头，挤出成致密料条，通过冷却，由切粒机切成粒料。

为使挤出机工作平稳，进料与出料达到平衡，防止排气口溢料，通常在螺杆第一计量段与第二输送段（排气段）之间装有节流阀。

由于熔融物料在排气段停留时间很短，要在短时间内尽可能将低分子挥发物除尽，这就需要一定的真空度。生产实践证明，当真空度高于 0.8MPa 时，即可得到光洁致密的短纤维增强粒料。

(2) 用双螺杆挤出机制造短玻璃纤维增强粒料 同向啮合双螺杆挤出机比

单螺杆挤出机更适于短玻璃纤维增强粒料的生产。

双螺杆挤出机生产短玻璃纤维增强塑料粒料的工艺流程非常简单，基体树脂经计量加料装置计量后，加入到挤出机中去，在外加热器和物料与物料、螺杆、机筒的剪切摩擦热的作用下熔融塑化，在物料已基本熔融的区域设置第二加料口，玻璃纤维粗纱（长纤维）由第二加料口加入，并与熔融聚合物混合。由于树脂已充分塑化，对玻璃纤维提供了润滑保护作用，大大减轻了对螺杆、机筒的磨损。开始放纱时，是用手将玻璃纤维粗纱引入第二加料口，以后便利用螺杆旋转的作用力将粗纱连续地拉入机内。

玻璃纤维加入量的大小由送入机内的粗纱根数及螺杆转速加以控制。粗纱被螺杆及捏和装置所破碎并混合均匀，然后除去挥发性物质（排气），经口模挤出、冷却、干燥并切成粒料。双螺杆挤出机的机筒和螺杆采用积木式构造，通过改变螺杆结合方式及改变玻璃纤维送入后的螺杆长度，可以在一定范围内改变玻璃纤维的平均长度。对于易磨损的几节筒身和螺杆，可及时更换而不必报废整个机筒和螺杆。对于不同的基体树脂，可采用不同的螺杆组合。

双螺杆挤出机具有自洁作用。避免了在挤出机内部的死点，保证所有物料在挤出机内停留时间一致，螺杆螺纹可以是不连续的，可以在这些不连续的区段设置一些特殊构型的捏合元件，以适应复合工艺要求。机筒可以有一个或一个以上的排气口，以便将水分及聚合物、浸润剂分解物排除，以利于树脂对纤维的润湿。

用双螺杆挤出机进行玻璃纤维增强热塑性塑料的加工，比单螺杆挤出机能更有效地挤出并复合疏松的物料。单螺杆挤出机几乎完全靠机头压力来产生均质熔体，而双螺杆挤出机则几乎完全是靠螺杆作用使树脂充分塑化并与纤维均匀复合。它是热塑性增强塑料粒料制造的一个发展方向。

参 考 文 献

- [1] 周达飞, 唐颂超. 高分子材料成型加工 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2002.
- [2] 吴培熙, 王祖玉, 张玉霞, 等. 塑料制品生产工艺手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [3] 何震海, 常红梅, 郝连东. 挤出成型 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [4] 王文广. 塑料改性实用技术 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2000.
- [5] 桑永. 塑料材料与配方 [M]. 2 版. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [6] 杨明山, 李林楷. 塑料改性工艺、配方与应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [7] 段予忠, 谢林生. 材料配合与混炼加工 (塑料部分) [M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
- [8] 王加龙. 塑料配料工与塑料捏合工 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [9] 耿孝正, 张沛. 塑料混合及设备 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1992.
- [10] 林师沛. 塑料配制与成型 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1997.
- [11] 王文广. 塑料配方设计 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
- [12] 周殿明. 塑料成型与设备维修 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [13] 刘廷华. 塑料成型机械使用维修手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [14] 张广成. 塑料成型加工技术讲座 (2) 常用塑料品种简介 [J]. 电子工艺技术, 1994 (2): 36-49.
- [15] 张广成. 塑料成型加工技术讲座 (3) 成型物料的配制 [J]. 电子工艺技术, 1994 (3): 37-42.
- [16] 申长雨, 陈静波, 刘春太, 等. 塑料成型加工讲座 (第二讲) 塑料添加剂及成型物料配制 [J]. 工程塑料应用, 1999, 27 (4): 25-28.
- [17] 刘生鹏, 张苗, 胡昊泽, 等. 聚乙烯改性研究进展 [J]. 武汉工程大学学报, 2010, 32 (3): 31-34.
- [18] 姚海军, 杨永青, 常新林, 等. 聚苯乙烯改性方法及其应用研究进展 [J]. 化学工程与装备, 2009 (7): 142-145.
- [19] 闫铁奇, 孙忠成. 聚甲基丙烯酸甲酯改性研究进展 [J]. 内蒙古石油化工, 2010 (5): 8-9.
- [20] 刘继纯, 李晴媛, 付梦月, 等. 聚甲基丙烯酸甲酯改性研究进展 [J]. 化工新型材料, 2009, 37 (1): 5-7.
- [21] 钟明强, 徐立新, 益小苏, 等. ABS 塑料阻燃改性研究 [J]. 中国塑料, 2001, 15 (5): 30-32.
- [22] 郭秀春. ABS 树脂的改性及其应用进展 [J]. 化工进展, 1990 (2): 25-29.
- [23] 张秀斌, 房桂明. POM 共混增韧改性研究 [J]. 塑料科技, 2004 (6): 9-12.
- [24] 刘雨晴. 我国聚甲醛改性研究进展 [J]. 上海塑料, 2002 (2): 3-6.
- [25] 黄棋尤. 工程塑料改性及成型加工技术特集之五——聚酯的改性及应用 [J]. 国外

塑料, 2003, 21 (2): 16-23.

- [26] 罗毅, 肖勤莎. 改性 PBT 的发展现状 [J]. 现代塑料加工应用, 1998, 10 (3): 52-56.
- [27] 刘生鹏, 童身毅. 聚对苯二甲酸丁二醇酯的改性方法及其进展 [J]. 武汉化工学院学报, 2002, 24 (3): 40-42.
- [28] 李国林, 吴水珠, 赵建青, 等. 聚对苯二甲酸丁二醇酯的改性及功能化研究 [J]. 化工新型材料, 2010, 38 (8): 21-23.
- [29] 何晓东, 余万能, 姚志敏. 聚对苯二甲酸丁二醇酯的合成及其改性 [J]. 化工新型材料, 2003, 31 (11): 20-22.
- [30] 李昕, 黄利强, 邱庆文. 尼龙改性的研究进展 [J]. 中国塑料, 2001, 15 (2): 16-18.

● ISBN 978-7-111-35892-3

封面设计 / 电脑制作 : 陈沛

上架指导 工业技术 / 机械工程 / 塑料

地址: 北京市百万庄大街22号
电话服务
社服务中心: (010)88361066
销售一部: (010)68326294
销售二部: (010)88379649
读者购书热线: (010)88379203

邮政编码: 100037
网络服务
门户网: <http://www.cmpbook.com>
教材网: <http://www.cmpedu.com>
封面无防伪标均为盗版

定价: 38.00元

ISBN 978-7-111-35892-3



9 787111 358923 >