

塑料在机械工业 中的应用

张云兰 杜万程 编

本书主要介绍塑料的基础知识、塑料的性能及其在机械工业中的应用。

通过实例，按照塑料在机械工业中的应用范围分类阐述常用的热塑性塑料、热固性塑料、增强塑料及胶接材料的组成、性能、特点及应用，以达到合理选材及正确使用的目的。

本书可作为机械、电机、电器工厂工人和技术人员、有关管理人员及中等技术学校师生学习之用，也可供高等院校师生参考。

塑料在机械工业中的应用

张云兰 杜万程 编

责任编辑：程淑华 责任校对：杨淑惠

封面设计：刘代 版式设计：霍永明

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092¹/₃₂·印张7¹/₄·字数168千字

1988年11月北京第一版·1988年11月北京第一次印刷

印数 0,001—5,100·定价：3.80元

ISBN 7-111-00657-7/TQ·1

前 言

在农业、工业、国防和科学技术及人民生活方面，塑料已经是不可缺少的材料。塑料的原料丰富、性能优异、成型简便、价格低廉，在结构材料中所占据的位置日益重要。本书简要介绍塑料的组成，着重介绍塑料性能（包括各种加工性能）及其在机械工业中的应用。

书中共分五章，第一章说明什么是塑料及其组成、特性。第二章按用途分类叙述塑料的品种、性能及其用途，着重介绍成型及加工性能。第三章为增强塑料，说明以纤维为增强材料所组成的增强塑料特点、性能及应用。第四章介绍塑料选材和零件设计的几项注意问题。第五章说明合成胶粘剂的组成、品种及其在机械工业中的应用。

本书第一章、第二章（部分）、第五章为张云兰编写。第二章（部分）、第三章、第四章为杜万程编写。

编写过程中注意到由浅入深、循序渐进，从实际出发，力求用通俗文字，把概念及内容叙述清楚，但书中难免有不妥和不足之处，请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 塑料	1
一、塑料是高分子合成材料	1
1. 什么是高分子合成材料	1
2. 高分子化合物是怎样组成的	1
3. 高分子化合物具有什么样的形状	2
4. 高分子化合物是怎样合成的	5
5. 高分子化合物的结构与性能	8
二、高分子合成材料的力学状态	11
三、塑料及其特性	15
1. 什么是塑料	15
2. 塑料的组成及其作用	16
3. 塑料的特性	20
4. 塑料的分类	21
四、塑料的应用	23
1. 在汽车、机车车辆等方面的应用	23
2. 在机床、矿山机械、农业机械等方面的应用	24
3. 塑料包装材料在机械工业中的应用	25
4. 在通用机械、化工方面的应用	27
5. 在机电和仪表等方面的应用	28
6. 在国防工业方面的应用	28
第二章 机械工业中常用的塑料	30
一、常用的热塑性塑料	30
1. 一般结构零件用塑料	30
2. 耐磨受力传动零件用塑料	30

3. 减摩自润滑和耐腐蚀塑料	51
4. 耐热零件用塑料	58
二、常用的热固性塑料	66
1. 酚醛塑料	66
2. 环氧树脂	69
3. 不饱和聚酯树脂	73
三、塑料零件是怎样成型与加工的	74
1. 热塑性工程塑料的工艺性	74
2. 塑料的几种成型方法	77
3. 塑料制品的加工	93
四、塑料的性能及测试方法	110
1. 机械性能	110
2. 热性能	117
3. 电性能	119
第三章 增强塑料	122
一、增强塑料的组成和特点	122
1. 增强塑料的组成	122
2. 增强塑料的特点	123
二、增强材料	124
1. 玻璃纤维	124
2. 碳纤维	125
3. 硼纤维	126
4. 晶须	126
5. 芳纶纤维	127
6. 增强材料的表面处理	127
三、玻璃纤维增强热塑性塑料	131
1. 特点	131
2. 主要品种	132
四、玻璃纤维增强热固性塑料	133
1. 特点	133

2. 主要种类	134
3. 主要用途	136
4. 成型方法	138
五、碳纤维及硼纤维增强塑料	139
1. 碳纤维增强塑料	139
2. 硼纤维增强塑料	142
六、三层复合材料	143
1. 什么是三层复合材料	143
2. SF-1 轴承材料	144
3. SF-2 轴承材料	146
第四章 塑料零件设计注意事项	148
一、怎样选择塑料零件用材料	148
1. 一般结构零件用塑料	149
2. 摩擦传动零件用塑料	150
3. 耐腐蚀零、部件用塑料	152
4. 耐高温零件用塑料	153
二、怎样进行塑料零件的设计	154
1. 塑料零件的工艺性	154
2. 塑料零件的设计	159
三、塑料零、部件应用实例	166
1. 塑料活塞环	166
2. 机床塑料导轨	169
3. 丝杠螺母和阀杆螺母	170
4. 聚四氟乙烯水泵密封垫	172
5. 滚动轴承保持器	173
第五章 工业上常用的胶粘剂	175
一、胶接的基本概念	175
1. 什么是胶粘剂	175
2. 胶粘剂由哪些材料组成	177
3. 胶粘剂分成哪几类	183

二、胶接原理	185
1. 吸附理论	187
2. 扩散理论	191
3. 静电理论	191
4. 化学键理论	192
5. 机械结合理论	193
三、常用的几种胶粘剂	193
1. 环氧树脂胶粘剂	199
2. 酚醛改性胶粘剂	198
3. 聚氨酯胶粘剂	199
4. 丙烯酸酯胶粘剂	200
四、胶接工艺	203
1. 如何选择胶粘剂	203
2. 胶接接头形式	205
3. 胶接工艺过程	208
五、胶接技术的应用	210
1. 在机械设备维修中的应用	210
2. 在汽车修理中的应用	215
3. 在农机制造与维修中的应用	217
4. 在模具上的应用	219
5. 在电气方面的应用	221
附表一 常用胶粘剂的性能和用途	222
附表二 常用塑料化学名称的代号	238
附表三 各种硬度对照关系	240

第一章 塑 料

一、塑料是高分子合成材料

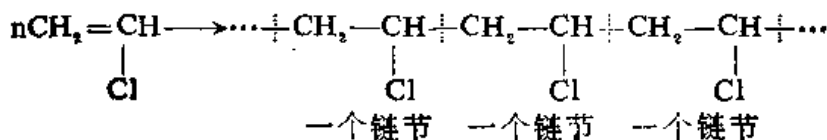
1. 什么是高分子合成材料

高分子合成材料是生活中经常见到和用到的各种塑料、橡胶、纤维等材料的总称。这些材料是分子量很高的高分子化合物，其分子量一般是几万，几十万，以至几百万。

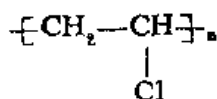
高分子化合物又叫做高聚物或聚合物。它是由千百万个原子彼此以共价键连接而成的大分子化合物。将大体上分子量低于500的物质叫做低分子，大于5000的物质叫做高分子，而介于两者之间的物质就根据具体情况来考虑。也就是说，其中有的是高分子，有的则不是。例如：分子量为1000的多糖，它称为低分子，而分子量同样是1000的石蜡，却称为高分子。一般地说，低分子化合物不具有强度和弹性，但高分子化合物则具有一定的强度和弹性。因此，以高分子化合物为主要组分，适当加入添加剂，用人工方法合成的材料称为高分子合成材料。

2. 高分子化合物是怎样组成的

高分子化合物虽然分子量很大，但化学组成比较简单，都是由简单的结构单元以重复的方式连接着。人们把这种重复结构单元称为链节。例如：聚氯乙烯的结构式如下：



其中 $\text{—CH}_2\text{—CH—}$ 就是一个链节。为了书写方便，通常写成：



下角标 n 是代表组成聚合物分子的链节数。 n 又称为聚合度。一般聚合物的聚合度由几百到几千，分子量由几万到几十万。我们把彼此能够相互连接起来而形成高分子化合物的低分子化合物（如氯乙烯）称为单体。

如果以 M 表示高分子的分子量， m 表示链节的分子量，那么，聚合度 n 和 M 、 m 之间的关系为

$$M = n m$$

如聚氯乙烯，当 $n = 2500$ ，即聚氯乙烯的高分子是由 2500 个链节（ $\text{—CH}_2\text{—CH—}$ ）组成，而链节的分子量 $m = 62$ 。



由此，可以算出聚氯乙烯的分子量：

$$M = n m = 2500 \times 62 = 155000$$

3. 高分子化合物具有什么样的形状

高分子的长链是一种常见的高分子形状，是属于线型高分子结构。线型高分子在拉伸或低温下易呈直线形状，而在较高温度下或稀溶液中则易呈蜷曲形状，如图 1-1a。这种长链形状的高分子的特征是可溶的。它可以溶解在一定的溶剂中，而加热时又可以熔化。属于这类结构的聚合物有聚氯乙烯、聚苯乙烯、尼龙、聚甲醛……等。

在形成线型结构高分子的化学反应中，由于反应条件或原料组成等原因的影响，使线型高分子形成长短不等、数量不同的支链，就好象节上生枝。这种在长链上有支链的高分

子为支链型高分子，如图1-1b所示。

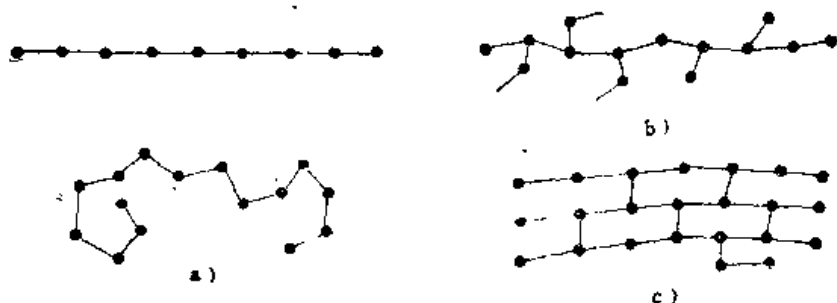
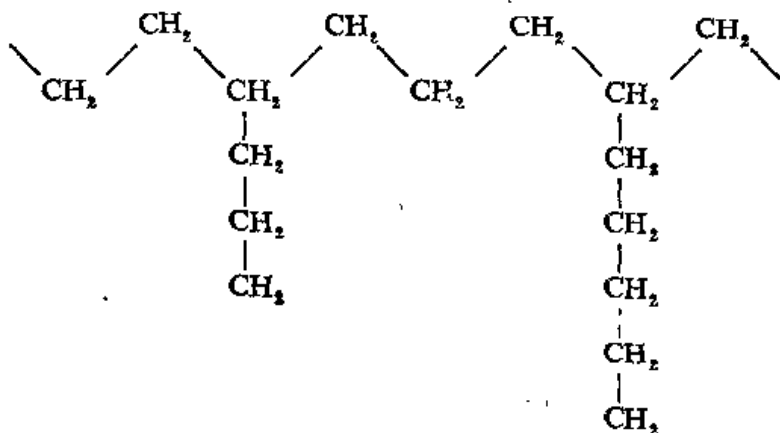


图1-1 高分子化合物的形状

低密度聚乙烯就属于支链型高分子，其结构式为：



它的性质基本与线型高分子一致，但支链的存在对性能产生特殊的影响。支链会造成分子集聚不够紧密，结晶度低（55~65%），熔点低。这种材料通常用于制造薄膜、奶瓶等一些软制品。而另一种高密度聚乙烯，分子为线型，比较规整，排列紧密，结晶度高（74~95%），强度、刚度、熔点均较高。常用于制造质地较硬的水杯、水桶和工程塑料部件、绳缆等。

此外，还有一种称为体型（网型）高分子的，它是由大量线型或支链型高分子通过分子链间的交联而构成的空间立体结构，如图1-1c所示。这种高分子在任何状况下都不熔化，也不溶解。环氧、不饱和聚酯和酚醛塑料等都属于这种类型。

在**高分子化合物**中，分子量的含义与低分子化合物是不同的。每种低分子化合物都按它的分子式有确切的分子量，而且每个分子都相同。而高分子化合物则不然，它们总是由不同大小的大分子组成。例如，生产中所用的聚丙烯，其分子量有1万的，1.5万的，也可能还有2万的等等。也就是说，对于一个高分子化合物，它是由大小不等的分子所组成的。它的分子量往往不能简单地确定，只能用平均分子量来表示。即使是同一种高分子有相同的平均分子量，也可以有多种分子量的组成方式。例如，高密度聚乙烯，其分子量为17.4万，它可以由40%分子量为12万的及60%分子量为11万的两种大小不同的分子所组成；也可以由20%分子量为14万的、30%分子量为12万的及50%分子量为10万的三种大小不同的分子所组成。因此，可以说，任何高分子化合物都是由很多种不同分子量的同系物分子组成的混合物。这一特性通常叫做聚合物分子量的多分散性。

巨大的分子量和分子量的多分散性，是高分子区别于低分子化合物的重要标志，也是高分子具有独特性质的基本原因。这两个基本特点，都会反映到高分子化合物的性能和加工特点上。例如，聚合物的强度、熔化温度、溶液及其熔体粘度^①等。聚合物的熔点不明显，是在一个较宽的范围内。这种分散性大的聚合物对成型加工常有一定好处，使加工时温度范围不需要控制得太严、太窄，熔融过程是逐渐的，容

① 粘度指流体内部抵抗流动的阻力。——编者注

易控制并得到各种加工方法所希望的塑性。

4. 高分子化合物是怎样合成的

聚合物的制备是通过化学反应实现的，其化学反应可归纳为加聚反应和缩聚反应两大类。

(1) 加聚反应

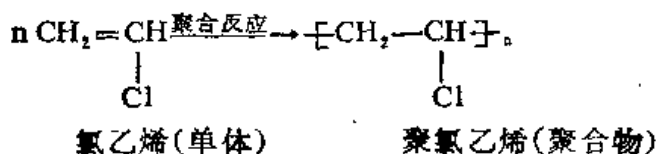
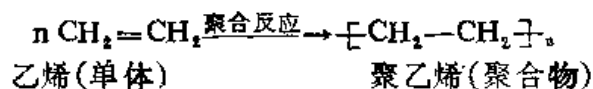
加聚反应是合成聚合物的重要反应。目前，世界上合成的聚合物中，通过加聚反应所得到的产品种类和数量居多。

加聚反应的单体一般是含有双键的有机化合物，即烯烃和二烯烃。它们经过光照、加热或经化学药品等的作用后，把双键打开，通过化学键互相结合起来，成为大分子，而不析出低分子副产物。这种反应，称为加聚反应，又称聚合反应或连锁聚合反应。所制得的聚合物的化学组成与参加聚合反应的低分子化合物的化学组成是一致的。参加加聚反应的单体可能是一种，也可能是两种或多种。前者称为均加聚反应，其生成物为均聚物，后者称为共加聚反应，其生成物为共聚物。

1) 均加聚反应 如果以M表示聚合物的单体，那么均加聚反应生成物的表示式为

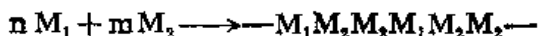


简式为 $\left[M \right]_n$ 。聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯等都是通过均加聚反应制成的。例如：



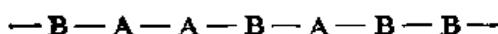
聚合反应是在一定条件下（如温度、压力或催化剂）进行的，它是一个复杂的过程。同一品种的聚合物有几种或十几种聚合方法。按聚合反应介质的不同，聚合反应分乳液聚合、悬浮聚合、溶液聚合、本体聚合几种。例如，聚苯乙烯就有本体聚合聚苯乙烯和乳化聚合聚苯乙烯之分。所谓乳化聚苯乙烯是指以乳液聚合法制得的聚苯乙烯；本体聚苯乙烯是指以本体法聚合制得的聚苯乙烯。其他类同。

2) 共加聚反应 如果以 M_1 、 M_2 分别为聚合物的两种不同单体，其共加聚反应表示式为：



聚合物是由许多重复链节连接起来的。这些由单体结构单元所构成的链节连接方式，受着制备时聚合反应多种因素的影响。链节连接顺序，概括起来，大致有四种共聚物生成。

①无规共聚物 组成高分子化合物的两种单体A和B连接时，完全是无规则排列的，这种共聚物为无规共聚物。



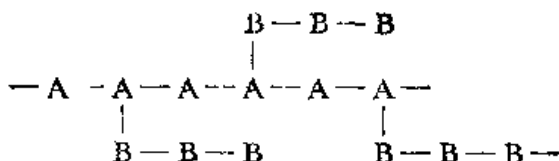
聚甲基丙烯酸甲酯与苯乙烯共聚而成的共聚物属于这一类。

通过共聚物中单体A和B的含量的变动，就可以得到一系列不同的共聚物。

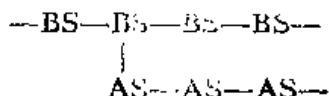
②有规共聚物 组成高分子化合物的两种单体A和B，严格地按照一定顺序排列所组成的共聚物称为有规共聚物，又称交替共聚物。



③接枝共聚物 在组成高分子化合物的单体A所组成的主链上，接上单体B组成的支链，就好象树的枝干上长出了分枝，这种共聚物称为接枝共聚物。



ABS塑料是极典型的接枝共聚物。它是由B、S组成主链，再在B上接A、S的共聚物。其结构式为：



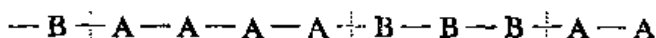
式中 A——丙烯腈；

B——丁二烯；

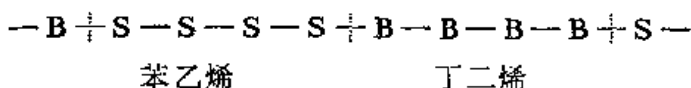
S——苯乙烯。

应当指出，B、S组成的主链也会由于合成条件的差异变为无规均聚物。它的接枝仍在含有双键的B链上。BS主链具有橡胶性质，AS是塑料性质的共聚物。两者结合称为ABS塑料，它既有塑料的强度和耐热性，又有橡胶的韧性和弹性。

④嵌段共聚物 在组成高分子化合物链中，若共聚物是由不同链节组成的，此共聚物称为嵌段共聚物。其结构式为：



BS塑料就是嵌段共聚物的典型例子。如：



这种材料为热塑性的弹性体[⊖]。聚苯乙烯冷却时硬化，聚丁二烯为橡胶，冷却后为弹性体。聚苯乙烯的冷却硬化所起的作用，相当于橡胶的硫化，但在高温时，仍然具有流动性，

⊖ 室温下能反复拉伸到原有长度2倍以上，并当应力解除后能迅速回到接近原始长度或形状的材料，称为弹性体。

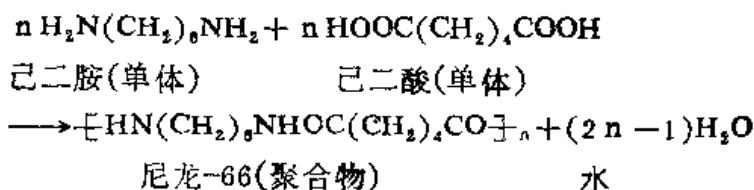
从而可以反复进行成型加工。

上述四种不同分子结构的共聚物，前两种通过单体的共聚化学反应得到，第三种通过聚合物分子与单体分子间的作用得到，第四种通过两种高分子间的作用得到。无论哪一种共聚物都兼有两种单体均聚物的性能。这种特性对于改进均聚物的性能，具有很大意义。同时，也应当指出，两种单体的共聚，不是任意两种单体都可以进行的，而是有一定客观规律，要求一定客观条件的。

(2) 缩聚反应

缩聚反应是制取聚合物的主要方法之一。聚对苯二甲酸乙二醇酯（涤纶）、聚酰胺（尼龙）、聚碳酸酯、聚氨酯、酚醛树脂以及聚砜等高分子化合物都是通过缩聚反应合成的。

缩聚反应比加聚反应要复杂得多。缩聚反应就是由两个或两个以上反应基团的单体，进行化学反应，析出水或其他低分子物（如醇、氨等）而形成高聚物的反应。例如，尼龙-66的缩聚反应为：



缩聚反应对参加反应的原料及用量、反应条件要求较为严格。

两个反应基团的单体进行的缩聚反应是线型缩聚反应，其产物是线型分子的聚合物。如果参加缩聚反应的单体之一含有三个反应基团，则就有可能形成体型结构的聚合物。

5. 高分子化合物的结构与性能

聚合物与低分子化合物一样可以分为晶体和非晶体两

奥。结晶聚合物的分子排列规整有序，如图 1-2 所示。常见的聚乙烯、聚四氟乙烯、聚酰胺（尼龙）等属于这种类型。另一类无定形聚合物，如有机玻璃、聚苯乙烯等，分子排列杂乱，象线团纠缠在一起的状态。

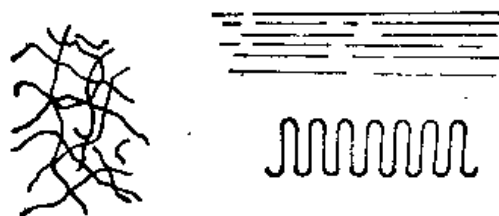


图1-2 无定形和结晶聚合物的分子聚集状态

（1）结晶聚合物的结构

关于结晶聚合物的结构，说法较多，其中比较盛行和比较简单的一种是所谓“晶区”结构模型说（或叫织态结构模型）。这种模型表示了在结晶聚合物中存在着若干所谓“晶区”，在此“晶区”中间还存在着所谓“非晶区”。因为“晶区”和“非晶区”比整个高分子链要小得多，所以每一个聚合物分子，都可以同时穿过几个“晶区”和“非晶区”。在“晶区”里，高分子链的部分是规则而紧密排列的；而在“非晶区”中，高分子链则是蜷曲和排列无序的，如图1-3所示。

聚合物中晶区部分所占的重量分数（或体积分数），叫做结晶度。

己二酸和己二胺缩合所得的尼龙66，很容易结晶，成为很好的纤维材料。低压聚乙烯的结晶度为87%，高压聚乙烯略带支链，结晶度只有65%，而典型的结晶聚合物通常结晶度也只有50%以上。所以，结晶聚合物实际上都是部分结晶物。

影响聚合物结晶度的主要因素是什么呢？

①聚合物的化学结构越简单，越容易形成结晶。如聚乙烯是一个典型的结晶聚合物。

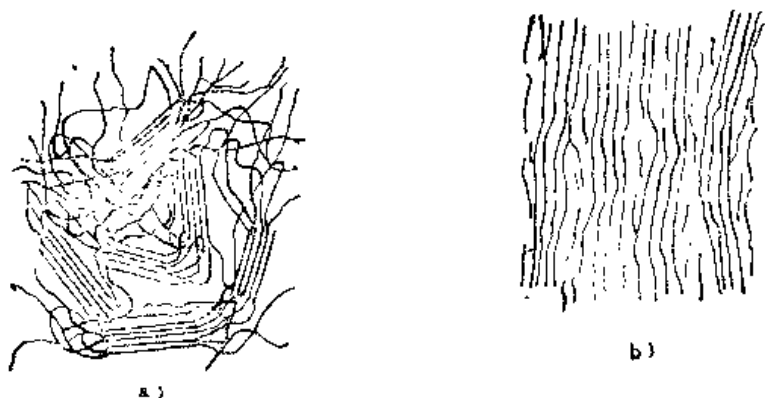


图1-3 结晶聚合物的“晶区”结构

a) 结晶聚合物的“晶区”结晶 b) 拉伸（取向）结晶聚合物的“晶区”结晶

②如果在主链上带有取代基团（或原子），那么取代基团的体积越小，对称性越高，越容易形成结晶。如聚四氟乙烯，氟原子体积小（与氢原子接近），而且分布对称，因此，聚四氟乙烯也是一种典型的结晶聚合物。还有，聚偏二氯乙烯，对称性高，容易结晶。然而，聚氯乙烯、聚苯乙烯、有机玻璃等都不易生成结晶。这些聚合物的取代基不但没有对称性，而且体积又大。因此，空间阻碍大，相邻分子很难靠近。这些聚合物只有采用特殊的聚合方法或在拉伸情况下方可结晶。

③一般说，分子间作用力越大，就容易使分子链互相接近，规整排列的可能性也越大，因此越有利于结晶形成。聚酰胺是一种典型的结晶聚合物。其原因就在于聚酰胺分子中