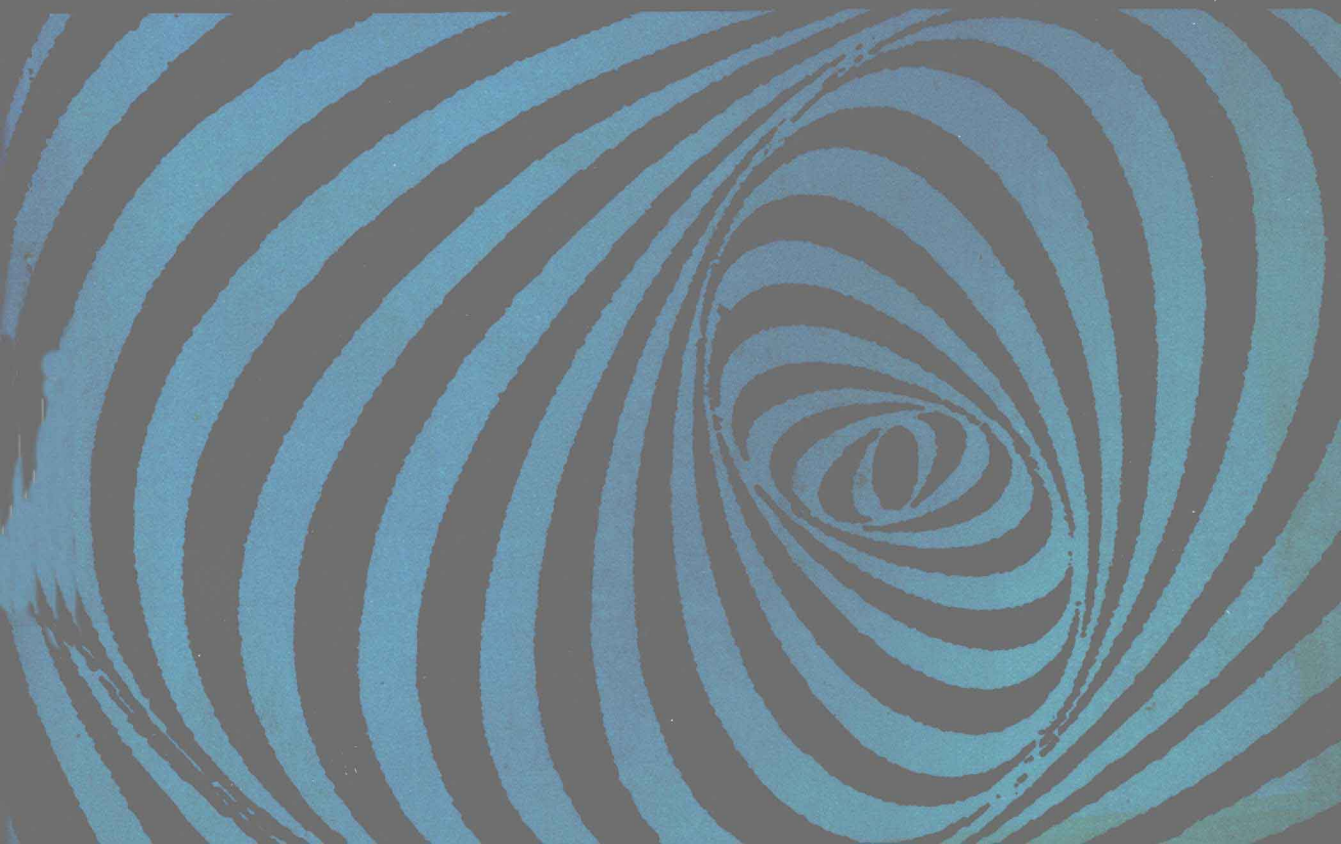


化工职业技术教育教材

化学工业出版社

高分子物理及化学

李玉瑛 主编



化工职业技术教育教材

高分子物理及化学

李玉瑛 主编



化学工业出版社

·北京·

1/1800
(京)新登字039号

化学工业出版社

高分子物理及化学

图书在版编目(CIP)数据

高分子物理及化学/李玉瑛主编.-北京:化学工业出版社, 1995

化工职业技术教育教材

ISBN 7-5025-1382-5

I. 高… II. 李… III. ①高分子物理-技术教育-教材②
高分子化学-技术教育-教材 IV. 0631

中国版本图书馆CIP数据核字(94)第02412号

责任编辑: 玉秀鸾

封面设计: 李玉芳

*

化学工业出版社 出版

(北京市朝阳区惠新里3号)

北京市燕山联营印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本787×1092 1/16 印张14 1/4 字数362千字

1995年5月第1版 1995年5月北京第1次印刷

印 数 1—4000

定 价 12.40元

前 言

本教材是根据全国化工中专橡胶专业教材编审会1992年12月通过的《高分子物理及化学》教材编写大纲编写的。

全书除绪论以外共包括七章，第一章主要通过常用合成橡胶的聚合反应介绍，链锁聚合反应与逐步聚合反应机理；通过橡胶大分子的扩链、降解、改性反应讲解了大分子的化学反应。从第二章至第七章讲述了高聚物的链结构、高聚物聚集态结构、高聚物大分子的热运动，及其溶液性能、力学性能、高聚物流体的流变性能、电、热、粘合等性能。在讲解高分子材料共同特征基础之上，突出橡胶的特征加以讨论。并根据中等专业学生的知识水平、接受能力，及其中等专业学校主要的任务是培养实用型的生产管理人员这一目标为依据，删掉了有关末端距的几何计算、高弹性的统计力学分析、断裂强度理论等高深理论部分，尽量与生产实践相结合。各章节都提供了适当的图、表，每章后有思考题，以帮助学生理解问题，巩固知识，并能理论联系实际。

本教材由天津橡胶工业学校李玉璞主编，并编写了绪论，第二、三、五、六、七章，四川泸州化工学校杨宗伟任参编，编写了第一、四章，吉林化工学校胡学贵任主审。全书在编写过程中藩成春、杨春秀等同志均参加审稿，并提出了宝贵意见，在此一并致谢。

本书由于编者业务水平、教学经验、生产实践经验有限，难免有错误或不当之处，请各位师生、同仁给以批评指正。

编 者 1993. 10.

内 容 提 要

本书内容主要包括绪论、高聚物的聚合反应、高聚物结构、高聚物热运动及力学状态、橡胶溶液、橡胶的弹性、橡胶的流变性质、橡胶的其它性能。

本书可供中等专业学校橡胶专业使用，也可供橡胶加工厂技术人员、管理人员以及职工教育、中技师生参考。

目 录

绪论	1
一、橡胶及橡胶工业发展概况	1
二、高聚物的基本概念	1
三、高聚物的命名与分类	4
思考题	5
第一章 高聚物的合成反应	6
第一节 聚合反应的分类	6
一、链锁聚合反应	6
二、逐步聚合反应	6
第二节 链锁聚合反应	6
一、自由基型聚合反应	6
二、离子型聚合反应	20
三、有规立构聚合反应	28
四、共聚反应	37
五、链锁聚合反应特点	44
六、聚合反应实施法	45
第三节 逐步聚合反应	51
一、缩聚反应	51
二、逐步加聚反应	57
三、逐步聚合反应特点	58
第四节 开环聚合反应	59
一、八甲基环四硅氧烷的开环聚合	60
二、 ϵ -己内酰胺的水解开环聚合	60
第五节 高聚物的化学反应	62
一、概述	62
二、聚合度不变的反应	63
三、聚合度增大的反应	66
四、聚合度降低的反应	71
思考题	72
第二章 高聚物结构	74
第一节 高聚物结构概述	74
第二节 高聚物分子链结构	75
一、高分子链近程结构	75
二、高分子链远程结构	83
第三节 高聚物聚集态结构	93
一、高聚物分子间的作用力	93

二、高聚物的聚集态结构	94
思考题	109
第三章 高分子热运动及力学状态	111
第一节 概述	111
一、运动单元具有多重性	111
二、分子运动的时间依赖性	111
三、分子运动的温度依赖性	112
第二节 高聚物的力学状态及其转变	112
一、线型非晶高聚物温度-形变曲线	113
二、结晶高聚物温度-形变曲线	117
第三节 玻璃化转变	117
一、玻璃化转变温度的测定原理	117
二、玻璃化转变的自由体积理论	119
三、玻璃态特征	119
四、影响 T_g 的因素	120
五、高聚物使用温度范围	125
思考题	126
第四章 橡胶溶液	128
第一节 概述	128
一、研究橡胶溶液的意义	128
二、橡胶溶液的主要特点	128
三、橡胶溶液的分类	128
第二节 橡胶的溶解	129
一、橡胶的溶解过程	129
二、橡胶溶解的热力学解释	130
第三节 橡胶溶剂的选择	131
一、溶剂的选用原则	131
二、选择溶剂时的其它注意事项	134
第四节 橡胶分子量及其分布与硫化橡胶交联密度的测定	135
一、粘度法测橡胶分子量	135
二、凝胶渗透色谱法测橡胶分子量分布	139
三、溶胀法测硫化橡胶交联密度	140
第五节 橡胶浓溶液	142
一、橡胶的增塑	142
二、橡胶的并用	144
思考题	149
第五章 橡胶的弹性	150
第一节 应力、应变和弹性模量	150
一、简单拉伸	151
二、简单剪切	151
三、均匀压缩	152
第二节 橡胶的高弹性	152

一、橡胶高弹性特点	153
二、橡胶高弹性能分析	154
三、影响橡胶高弹性的因素	158
四、提高橡胶制品最高使用温度的方法	160
第三节 橡胶粘弹性	162
一、概述	162
二、粘弹现象	163
思考题	179
第六章 橡胶的流变性质	181
第一节 高聚物的粘性流动特点与流动类型	181
一、高聚物粘性流动特点	181
二、高聚物粘性流动类型	182
三、非牛顿流体的幂指定律	183
四、假塑性流体的流动曲线	184
五、影响高聚物粘流温度的因素	184
第二节 影响高聚物熔体粘度和流变性的因素	185
一、分子量	185
二、分子链的支化	186
三、温度	187
四、剪切速率	189
五、压力	190
六、补强剂	190
七、时间	191
八、并用	191
第三节 橡胶流动过程中的弹性记忆效应	192
一、挤出物胀大现象	192
二、熔体破裂	196
三、包轴现象	196
第四节 拉伸流动	197
思考题	197
第七章 橡胶的其它性能	199
第一节 橡胶的强度与破坏	199
一、基本概念	199
二、拉伸破坏行为	200
三、撕裂破坏行为	204
四、疲劳破坏	205
五、磨耗破坏	207
第二节 橡胶的电性能	208
一、橡胶的极化	208
二、介电常数	210
三、介电损耗	212
四、体积电阻与表面电阻	213

五、电击穿	215
第三节 橡胶的粘合性能	216
一、粘合理论	216
二、影响胶粘性因素	217
第四节 橡胶的透气性	219
一、气体的透过原理	219
二、影响橡胶透气性的因素	220
第五节 橡胶的热学性能	222
一、橡胶的热膨胀	222
二、橡胶的导热性	223
三、导热系数	223
思考题	224

绪 论

高分子物理及化学是高分子科学中的一个分支。橡胶作为高分子材料之一,有着和其它高分子材料的共同特征,而在结构、分子运动、力学性能、化学转化、加工性能及使用性能等方面又具有独特的特点。因此本教材在介绍高分子材料的共同规律性能的基础上,将突出橡胶的特征并加以讨论。

一、橡胶及橡胶工业发展概况

从21世纪洪都拉斯人发现三叶橡胶树胶乳具有弹性,直至1820年汉考克发明炼胶机和1839年固特异发明硫黄硫化方法以后,橡胶工业便发展起来,至今已有100多年的历史,橡胶产品广泛用于工业、农业、尖端科学、医学、人类生活等方面。

天然橡胶大分子结构的研究经历了几十年的漫长时间。1926年法拉第详细分析了天然橡胶的化学组成,确定其分子式是 $(C_5H_8)_n$,具有不饱和结构。1860年威廉士通过蒸馏天然橡胶得到异戊二烯,在空气中放置后,可得到海绵状弹性体。1879年布查德特做了类似的实验,1884年蒂尔登从松节油提取了异戊二烯,并制取了弹性体。1881年范霍夫用2,3-二甲基-1,3-丁二烯聚合了弹性体。这期间由于测试技术的不断发展,到1930年施陶丁格等确定了天然橡胶是分子量很大的线型高分子。

第一次世界大战期间德国于1917年用二甲基丁二烯生产了2350t合成橡胶。20世纪30年代德国人通过自由基聚合制得了丁苯橡胶、丁腈橡胶,同时美国人合成了聚硫橡胶、氯丁橡胶、丁基橡胶。第二次世界大战期间,英国、美国、加拿大量发展合成橡胶,生产了100万吨合成橡胶。第二次世界大战后冷聚丁苯橡胶产量超过了天然橡胶。30~50年代中期生产丁氟橡胶和丙烯酸酯橡胶,50年代中期齐格勒-纳塔发明了配位阴离子聚合制取了顺丁橡胶和异戊橡胶,其结构与性能均和天然橡胶相近。

与此同时树脂、合成纤维也得到了发展,如1909年生产了酚醛树脂、1929年脲醛树脂、1931年聚氯乙烯、1938年聚苯乙烯、聚酰胺、1942年聚酯、高压聚乙烯、1947年环氧树脂、1948年ABS树脂、1950年腈纶、维尼龙、1954年低压聚乙烯、1957年聚丙烯、聚碳酸酯、1974年芳香族聚酰胺、1958年热塑性弹性体。

二、高聚物的基本概念

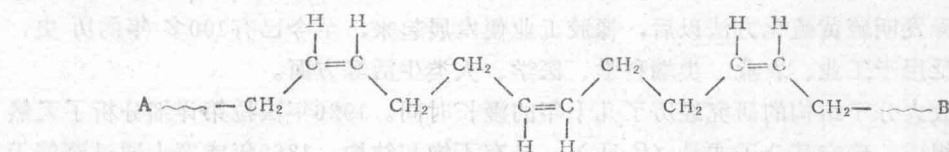
人们在日常生活中,衣食住行都离不开高分子化合物(高聚物),如米面、蔬菜、水果、鱼肉,穿的棉、毛、麻、丝、皮革等为天然高分子物质,而常用的一些塑料雨衣、塑料鞋,以及尼龙、涤纶等化学纤维纺织物等为合成高分子物质。各种高分子物质和低分子物质水、氧、糖、醋等相比较,主要是低分子物质分子量小而高分子物质分子量大,如表1所示。因此高分子物质是由分子量高达 $10^4 \sim 10^7$ 的大分子组成,低分子物质是由分子量低于 10^4 的分子组成。

虽然高分子物的分子量很大,但每一个高分子都是由许多化学组成相同或不同的简单

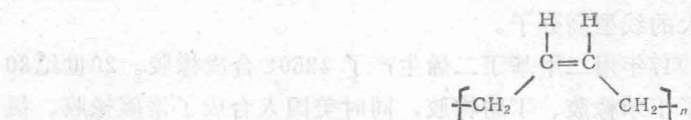
表 1 一些高分子化合物和低分子化合物分子量

物 质	分 子 量	物 质	分 子 量
水	18	淀 粉	$1 \sim 8 \times 10^4$
氧	32	果 胶	2.7×10^4
乙 醇	46	天然纤维	2.0×10^4
醋 酸	60	涤 纶	$1.5 \sim 2.5 \times 10^4$
葡萄糖	198.09	天然橡胶	$3.0 \times 10^4 \sim 1.0 \times 10^6$
蔗 糖	342.50	聚氯乙烯	$5 \times 10^4 \sim 3.0 \times 10^5$

的结构单元通过化学键连接而成，如顺丁橡胶是由 $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$ 一种单体聚合而成的均聚物，大分子结构式为：



结构式中的波纹线 (——) 表示大分子主链的骨架，两端的 A 与 B 表示大分子两端的原子或原子团，其结构决定于聚合反应，因与整个大分子相比很小，所以写结构式和计算分子量时往往忽略不计，为了方便可简写为：



式中两端的 “——” 表示连接端基的化学键，括号表示重复连接的意思， n 表示重复单元数，

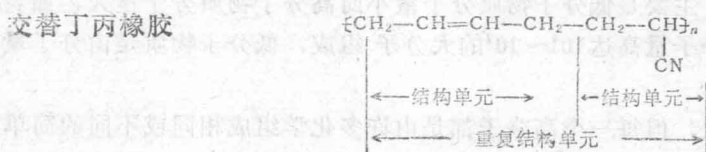
$\text{CH}_2 - \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ | \quad | \\ \text{C} = \text{C} \end{array} - \text{CH}_2$ 表示大分子上重复出现的最小结构，简称为重复结构单元，又称为链节。大分子上与单体结构有关的最小结构称为结构单元，所以

$\text{CH}_2 - \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ | \quad | \\ \text{C} = \text{C} \end{array} - \text{CH}_2$ 又是顺丁橡胶的结构单元，即：

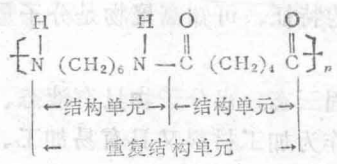


由两种以上单体生成的共聚物或缩合聚合物大分子，重复结构单元由两个或两个以上结构单元组成，如：

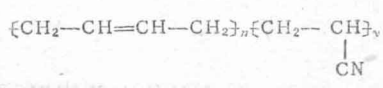
交替丁丙橡胶



聚己二酰己二胺



许多共聚物大分子中的结构单元是无规排列的，一般，无重复结构单元，如丁腈橡胶是由丁二烯和丙烯腈无规排列而成：



大分子上重复结构单元的数目为聚合度 (DP)，大分子的分子量 M 是重复单元分子量 M_0 与聚合度的乘积，如顺丁橡胶的 $M_0=54$ ， $DP=2000\sim6000$ 分子量为 $10\sim30$ 万。又如聚己二酰己二胺聚合度 $DP=120$ ，求大分子分子量，因为 $\text{---CO(CH}_2)_4\text{CO---}$ 分子量为 112，

$\text{---NH(CH}_2)_6\text{NH---}$ 分子量为 114，所以 $M_0 = \frac{114+112}{2} = 113$

大分子分子量

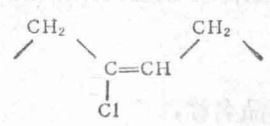
$$M = DP \cdot M_0 = 120 \times 113 = 13560$$

高聚物具有许多低分子物所没有的特征。

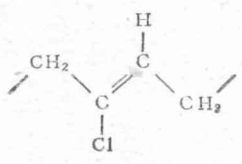
如表 1 所示，低分子物不仅分子量低，而且每个分子的分子量是一致的，即具有单分散的特征。高分子物不仅分子量大，而且每个分子所含结构单元数很少是相同的，即高聚物是由分子量不同的各种大分子组成的混合物。高聚物这种分子量不均一特性称为分子量的多分散性。所以实际上高聚物的聚合度一般为平均聚合度。

低分子物中每一个分子的原子种类、原子数目及其结构完全相同。高分子化合物中的不同分子，原子种类虽相同，但结构不尽相同，如氯丁橡胶大分子中可具有四种结构形式。

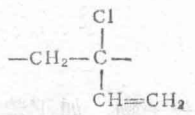
顺式1, 4-结构



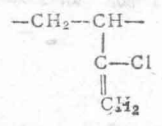
反式1, 4-结构



1, 2-结构



3, 4-结构



不同的氯丁橡胶大分子所含四种结构单元的数目很难相同。又如无规共聚物丁苯橡胶大分子不仅具有线型结构，而且具有支链型和交联型结构。高聚物这种结构上的不均一性

称为结构多分散性。

由上述高聚物分子量与结构的特征,可知高聚物是分子量不等,结构不等的同系混合物。

一般低分子物具有气、液、固三态,高分子物只有液态、固态、无气态,而且具有高强度、高弹性、耐溶剂等性能,作为加工材料又具有易加工、易成型的工艺加工性能。

三、高聚物的命名与分类

(一) 命名

1. 通俗命名法

①由一种单体聚合而成的塑料、纤维一般在单体名前冠以“聚”字。如由单体乙烯聚合而成的高分子物称为聚乙烯,由单体氯乙烯聚合成的称为聚氯乙烯,由单体己内酰胺聚合成的称为聚己内酰胺。

由一种单体聚合而成的橡胶一般在单体名前冠以“聚”字,后附“橡胶”二字,如由异戊二烯聚合成的橡胶称为聚异戊二烯橡胶,由丁二烯聚合成的橡胶称为聚丁二烯橡胶,由二甲基二氯硅烷聚合成的橡胶称为聚二甲基硅氧烷橡胶;有时也可不加“聚”,如氯丁橡胶。

②由两种单体聚合而成的塑料,一般在两单体名后缀以“树脂”二字,如苯酚与甲醛合成的高分子物称为酚醛树脂,由甘油和邻苯二甲酸酐合成的称为醇酸树脂,由尿素和甲醛合成的称为脲醛树脂。

由两种单体聚合而成的橡胶一般在单体名后缀以“橡胶”二字,如由丁二烯与苯乙烯合成的橡胶称为丁苯橡胶,由乙烯和丙烯合成的橡胶称为乙丙橡胶。

2. 以高分子的结构特征命名法

如己二酸与己二胺合成的产物因大分子上含有氨酯基 —OC—NH— , 所以称为聚氨酯, 由对苯二甲酸与乙二醇合成的产物, 因大分子上含有酯基 —OCO— , 所以称为聚酯, 大分子上含酰氨基 —NHCO— 为聚酰胺, 大分子上含酰胺基为聚酰胺, 含脲基 —NH—C(=O)—NH— 为聚脲, 含砒基称为聚砒等。

除此之外, 有些高分子物还具有商品名称,

如: 聚对苯二甲酸乙二(醇)酯	涤纶
聚己乙酰己二胺	尼龙66
聚丙烯腈纤维	腈纶
聚乙烯醇缩甲醛纤维	维尼纶

(二) 分类

1. 按来源分类

包括天然高分子物如天然橡胶与纤维素和合成高分子物, 如丁苯橡胶、聚氯乙烯。

2. 按用途分类

橡胶, 如各种合成橡胶与天然橡胶。

塑料, 如聚乙烯、聚氯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯。

纤维, 如尼龙、涤纶、维尼纶。

涂料, 醇酸树脂油漆, 聚氨酯油漆。

除此之外还有生物高分子、医用高分子等。

3. 按高分子主链结构分类

碳链高分子, 如天然橡胶、丁苯橡胶、聚乙烯、聚丙烯腈。

元素有机高分子, 如聚硅氧烷 $\begin{array}{c} \text{R} \\ | \\ \text{[Si-O]}_n \\ | \\ \text{R} \end{array}$ 、聚钛 $\begin{array}{c} \text{R} \\ | \\ \text{[Ti-O]}_n \\ | \\ \text{R} \end{array}$ 。

杂链高分子, 如聚氨酯橡胶、聚硫橡胶、聚酰胺。

无机高分子, 如聚二氟氮磷 $\begin{array}{c} \text{F} \\ | \\ \text{[P=N]}_n \\ | \\ \text{F} \end{array}$ 。

除此之外, 还可按高分子几何形状、反应机理等把高分子物进行分类。

思 考 题

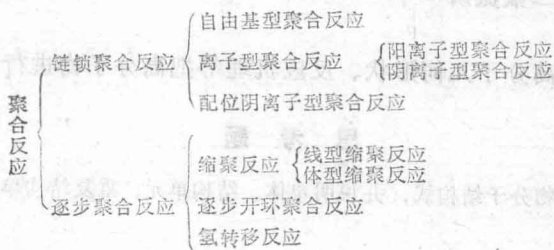
1. 请写出下列各高聚物分子结构式, 并说明单体、结构单元、重复结构单元。
 - a. 聚异戊橡胶
 - b. 聚甲基丙烯酸甲酯
 - c. 氯丁橡胶
 - d. 聚己二酰己二胺
 - e. 丁苯橡胶
2. 已知天然橡胶与涤纶的分子量分别是 $3.0 \times 10^6 \sim 1.0 \times 10^6$ 万与 $1.5 \sim 2.5 \times 10^4$ 万请分别计算聚合度。
3. 高聚物与低分子物相比较分子量和结构的主要特征是什么?
4. 高分子物的主要分类方法有哪些? 举例说明。

第一章 高聚物的合成反应

第一节 聚合反应的分类

由单体合成高聚物的化学反应叫聚合反应。

按聚合反应机理的不同可以将聚合反应分为链锁聚合反应与逐步聚合反应。



一、链锁聚合反应

单体经过一定形式的引发形成活性种，瞬间即与单体链锁聚合生成高聚物的聚合反应叫链锁聚合反应。链锁聚合反应的中心是活性种，根据活性种的不同可将链锁聚合反应分为自由基型聚合反应、离子型聚合反应（又分为阳离子聚合与阴离子聚合）和配位阴离子型聚合反应。

二、逐步聚合反应

单体之间相互反应生成二聚体、三聚体、四聚体……，逐步形成高聚物的聚合反应叫逐步聚合反应。根据参加反应的单体种类的不同可将逐步聚合反应分为缩聚反应、开环逐步聚合反应和氢转移反应（又称为逐步加聚反应）。

按参加聚合反应的单体种类的不同可将聚合反应分为均聚合反应和共聚合反应两类。只由一种单体参加的聚合反应叫均聚合反应；由两种或两种以上单体参加的聚合反应叫共聚合反应。

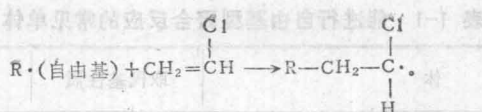
按聚合反应产物的分子结构不同可将聚合反应分为线型聚合反应和体型聚合反应。

第二节 链锁聚合反应

一、自由基型聚合反应

（一）概述

一切带有独电子的中性基团叫自由基。自由基可以通过共价键的均裂而产生。自由基性质活泼，能参与一系列的反应。如：



将单体在热、光、高能射线或引发剂作用下变成活性自由基，然后按自由基型聚合机理进行的聚合反应称为自由基型聚合反应。按机理分它属于链锁聚合反应。若按参加反应的单体种类分，自由基型聚合反应又可以分为均聚反应和共聚反应。

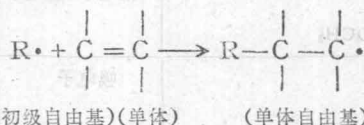
自由基型聚合反应是聚合反应中重要的一类反应。目前，由自由基型聚合反应制备的高聚物占高聚物总量的大约60%。合成橡胶中的氯丁橡胶、丁苯橡胶以及高压聚乙烯、聚氯乙烯、聚丙烯腈、聚醋酸乙烯酯、聚甲基丙烯酸甲酯、ABS树脂等，都可以由自由基型聚合反应来制备。

(二) 自由基型聚合反应单体

含碳-碳双键的烯类、二烯类单体在一定条件下能进行自由基型聚合反应。

在含碳-碳双键的烯类单体中，取代基的性质、数量、位置、体积等对单体参加自由基型聚合反应的能力有很大影响。

烯类单体中碳-碳双键的键能约610kJ/mol，其中， σ 键键能约为350kJ/mol， π 键键能约260kJ/mol。因此，当活性很大的初级自由基 $R \cdot$ 遇到烯类单体时， $R \cdot$ 很容易使 π 键发生均裂生成单体自由基：



然后按自由基型聚合反应机理进行聚合。因此，单体能否参加自由基型聚合反应，取决于

单体中 $\overset{\text{R}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}} = \overset{\text{H}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}}$ 是否容易被初级自由基作用产生均裂。而 $\overset{\text{R}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}} = \overset{\text{H}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}}$ 上取代基的共轭效应、极性效应以及位阻效应是决定这一条件的主要因素。表1-1为能进行自由基聚合的常见单体。

$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$ 分子上无取代基，分子结构对称，偶极矩为零， π 键很难断裂。因此，只有在高温高压条件下才能发生自由基型聚合反应。

当 $\overset{\text{R}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}} = \overset{\text{H}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}}$ 上带有一CN、—F、—Cl、—COOR等吸电子取代基时，由于取代基的

极性效应降低了双键电子云密度，使 π 键易于均裂。并且，不论取代基的体积有多大，初级自由基 $R \cdot$ 都能向未被取代的双键碳原子发起进攻实现 π 键的均裂。故单取代烯类单体一般都能进行自由基型聚合反应。

对1,1-双取代烯类单体，由于取代基的极性效应增强，分子结构更不对称， π 键更容易发生均裂。并且，若两取代基的体积不是太大（如苯、碘）时，初级自由基 $R \cdot$ 同样能从未被取代的双键碳原子上发起进攻实现 π 键的均裂。故1,1-双取代烯类单体除苯、碘取代外一般都能进行自由基型聚合反应。

对1,2-双取代烯类单体、三取代、四取代烯类单体，它们的双键碳原子上都有取代基，结构对称，极化程度低。并且，由于取代基的空间位阻效应，除氟取代外，初级自由

表 1-1 能进行自由基聚合反应的常见单体

单 体	取代基性质	偶极矩, D ^①	聚合情况
乙烯(E) $\text{CH}_2=\text{CH}_2$		0.0	工业化
丁二烯(B) $\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$	吸电子	0.0	工业化
异戊二烯(IP) $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{CH}_2$	推电子, 吸电子	0.38	工业化
氯丁二烯(CP) $\text{CH}_2=\text{C}(\text{Cl})-\text{CH}=\text{CH}_2$	推电子, 吸电子	1.42	工业化
苯乙烯(S) $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_5$	推电子, 吸电子	0.37	工业化
乙烯酯(VA) $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COOR}$	推电子		工业化
丙烯酸酯(A) $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COOR}$	吸电子		工业化
甲基丙烯酸甲酯(MMA) $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{COOCH}_3$	推电子, 吸电子		工业化
羟甲基乙烯酮 $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}(=\text{O})\text{CH}_2\text{OH}$	吸电子		能聚合
丙烯腈(AN) $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN}$	吸电子	3.88	工业化
氯乙烯(VCl) $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{Cl}$	吸电子	1.44	工业化
偏二氯乙烯(VDC) $\text{CH}_2=\text{C}(\text{Cl})_2$	吸电子	1.70	工业化
氟乙烯(VF) $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{F}$	吸电子	1.36	工业化
四氟乙烯(TFE) $\text{CF}_2=\text{CF}_2$	吸电子	0.0	工业化
全氟丙烯(PFP) $\text{CF}_2=\text{CF}-\text{CF}_3$	吸电子		工业化

① $1\text{D}=3.33564 \times 10^{-30} \text{C} \cdot \text{m}$.