

高等学校试用教材

高分子电介质化学

哈尔滨电工学院于威廉 编

机械工业出版社

高等学校试用教材

高分子电介质化学

哈尔滨电工学院 于威廉编



机械工业出版社

高分子电介质化学

哈尔滨电工学院：于威廉编

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许可证出字第 117 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $2\frac{3}{4}$ · 字数 580 千字

1980 年 7 月北京第一版 · 1980 年 7 月北京第一次印刷

印数 0,001—2,400 · 定价 2.45 元

*

统一书号：15033·4884

前 言

本书是根据1978年4月在天津召开的第一机械工业部高等学校归口专业座谈会确定的教材编写计划和1979年2月一机部在北京召开的电气绝缘、电线电缆和电瓷专业教材座谈会审定的编写大纲编写的。

本书以论述有机高分子电介质的结构与性能为中心，适当介绍高分子的合成原理和研究方法，并对高分子化学的基础理论作了系统的阐述，对电机电器绝缘和电线电缆使用的高分子材料的加工、改性和应用也作了扼要的介绍。

本书为高等院校电气绝缘专业和电线电缆专业试用教材，也可供有关专业的科技人员和高分子科学工作者参考。

本书由哈尔滨电工学院于威廉同志编写，由上海交通大学顾振军教授和西安交通大学巫松楨同志主审。参加审稿的还有上海交通大学张和康副教授、金守礼副教授，高忠婉、朱之康同志；西安交通大学傅玲玲同志；哈尔滨电工学院陆毅宗、汪景璞同志。在审稿会上，大家对书稿提出了宝贵的意见。在书稿修改后，又承顾振军教授详细审阅，并给予大力指导。在此，谨致谢意。

1979年10月

目 录

前 言

第一章 绪论	1
§ 1-1 绪言	1
§ 1-2 高分子化合物及其形成反应	2
§ 1-3 高聚物的分子量	11
§ 1-4 高分子的几何形状和性质	13
§ 1-5 高聚物的分类	14
§ 1-6 橡胶、塑料、纤维的性能和应用	15
§ 1-7 高聚物的介电性能	17
第二章 连锁聚合反应	26
§ 2-1 加聚反应的类型	26
§ 2-2 聚合反应的热力学理论	28
§ 2-3 单体结构对聚合性能的影响	31
§ 2-4 游离基聚合反应历程	35
§ 2-5 链转移反应和调节剂	41
§ 2-6 游离基聚合反应动力学	45
§ 2-7 影响聚合反应速度和聚合物分子量的因素	48
§ 2-8 聚合反应的实施方法	52
§ 2-9 离子型聚合反应概述	58
§ 2-10 阳离子聚合反应	58
§ 2-11 阴离子聚合反应	60
§ 2-12 离子型聚合反应与游离基型聚合反应的比较	63
§ 2-13 定向聚合	64
§ 2-14 共聚合	73
第三章 逐步聚合反应	81
§ 3-1 概述	81
§ 3-2 缩聚反应的分类	83
§ 3-3 缩聚反应的单体	86
§ 3-4 缩聚反应的历程和特点	90
§ 3-5 线型缩聚分子量的控制	96
§ 3-6 体型缩聚反应	99
§ 3-7 缩聚反应的实施方法	102
§ 3-8 酚醛树脂	106
§ 3-9 不饱和聚酯树脂	110
§ 3-10 开环聚合反应	116
§ 3-11 环氧树脂	118
第四章 高聚物结构	135
§ 4-1 高分子的柔顺性	135

§ 4-2 高分子的构象	141
§ 4-3 高聚物的一次、二次和三次结构	146
§ 4-4 高分子链间作用力	149
§ 4-5 线型非晶相高聚物的物理状态	153
§ 4-6 高聚物的结晶态	157
§ 4-7 高聚物的取向态	166
第五章 高聚物的机械物理性能	171
§ 5-1 高聚物的高弹性	171
§ 5-2 高聚物的力学松弛	174
§ 5-3 高聚物的强迫高弹性与脆化温度	182
§ 5-4 高聚物的玻璃化转变	184
§ 5-5 热分析技术	190
§ 5-6 多重转变	194
§ 5-7 高聚物的耐热性	198
§ 5-8 高聚物的粘流态	204
§ 5-9 高聚物的力-化学流动	211
§ 5-10 高聚物的机械强度	213
§ 5-11 填料对高聚物的增强作用	221
§ 5-12 高聚物的表面硬度和耐磨性	227
§ 5-13 高聚物的胶粘性	229
第六章 高聚物溶液	232
§ 6-1 概述	232
§ 6-2 高聚物溶解的热力学理论	232
§ 6-3 高聚物的溶解和溶胀	234
§ 6-4 溶解度参数	236
§ 6-5 高聚物的平均分子量	244
§ 6-6 高聚物的分子量分布及其多分散性	247
§ 6-7 分子量及分子量分布对高聚物性能的影响	251
§ 6-8 端基分析法测定高聚物的分子量	252
§ 6-9 粘度法测定高聚物的分子量	252
§ 6-10 高分子在溶液中的形态和尺寸	257
§ 6-11 高聚物溶液的粘度	261
§ 6-12 渗透压法测定高聚物的分子量	264
§ 6-13 增塑作用和增塑剂	270
§ 6-14 高聚物的共混改性	281
第七章 高聚物的化学变化	287
§ 7-1 概述	287
§ 7-2 聚合度相似的化学变化	289
§ 7-3 降解与解聚	292
§ 7-4 橡胶和橡胶加工的基础知识	298
§ 7-5 不饱和橡胶的硫化反应	303
§ 7-6 氯丁橡胶的硫化反应	309

§ 7-7 用有机过氧化物硫化橡胶	312
§ 7-8 聚乙烯的交联	323
§ 7-9 高分子材料的老化	325
§ 7-10 高分子电介质的电老化	333
§ 7-11 高分子材料的防老原理	337
§ 7-12 抗氧剂(防老剂)	338
§ 7-13 光稳定剂	350
§ 7-14 热稳定剂	353
附录	358
一、高聚物结构的研究方法	358
二、常用物理量符号	359
三、常用单位	360
四、常用缩写语	361
主要参考书刊	372

第一章 绪 论

§ 1-1 绪 言

高分子电介质化学的研究对象是高分子电介质。为此，首先要明确什么叫“电介质”，顾名思义，“介”就是隔离的意思，所以“电介质”就是这样一类物质，可以用它来隔离带电的或不同电位的导体，使电流能按一定的方向流通。习惯上，往往把电介质称为电绝缘材料，或简称绝缘材料。不过，“电介质”这一名词常用于学术方面，而“绝缘材料”这一名词常用于工程技术方面。

一般认为，电绝缘材料是指相对于导电物质而言的材料（实际上，它在电压作用下，仍有极微小的电流通过）。但是，它的更本质的特性是：它在电场中能极化，并且在其中建立电场。由于绝缘材料内能建立电场，因此就能储藏电场能量，这种特性不仅对电容器重要，对于其他绝缘结构也不能忽视。由于极化，电介质在电场作用下会因消耗电能而发热。以后将进一步阐明，掌握绝缘材料的这种性质，对于恰当地应用绝缘材料是相当重要的。

绝缘材料在电机电器制造工业、电线电缆制造工业、电力工程、电讯工程和电子工业上非常重要，而且需用量很大。例如生产一台 30 万千瓦的汽轮发电机，需用绝缘漆、云母制品、层压板、薄膜等绝缘材料 24 吨左右；一台 3200 千伏安的变压器，其中绝缘材料占总重量的 34%；生产一公里长的 220 千伏电力电缆，要消耗 8 吨电缆纸。目前，在电力工程中越来越向高压、超高压方向发展，并努力提高发电设备的单机容量。例如，500 千伏超高压电缆将投入运行，火力发电设备单机容量已达 130 万千瓦，并正向 200 万千瓦迈进。在电机电器制造工业中，目前正向着提高出力（或容量）、减少设备的体积和重量的方向发展，这就要求提供耐热性能好、电绝缘性能和其他机械物理性能兼优的绝缘材料。

由于电介质种类很多，性能各异，因而有各种各样的分类方法。但大致上可分类如下：

按其来源可分为合成电介质和天然电介质；

按其化学组成可分为有机电介质和无机电介质；

按其分子量高低可分为高分子电介质和低分子电介质。

其中合成的有机高分子电介质是目前应用很广、很重要的一类绝缘材料，人们常说的高分子电介质主要是指这一类物质。

“高分子电介质化学”的主要内容是以各种合成有机高分子电介质为中心，阐明高分子电介质的结构与性能的关系，并适当介绍高分子的合成原理和高分子化学的一般理论。这里所说的高分子电介质的结构包括化学结构和物理结构，前者指原子和基团在分子中的排列情况，后者指各个分子在物体中的排列情况。

高分子电介质是高分子材料的一个分支。在电机电器和电缆工业上常用的高分子电介质有各种合成塑料、天然橡胶和合成橡胶、合成纤维、合成薄膜、合成涂料、粘合剂等。这些材料尽管在品种上、产量上只占高分子材料的一部分，但它们在科学技术领域和许多工业部门中占有十分重要的地位。这是因为高分子电介质不但是各种电工产品不可缺少的材料，而

且对于提高产品质量和使用寿命、对于制造新产品和推广新技术都有着决定性的影响。不仅如此，高分子电介质还以各种方式和各种形式应用于机械、化工、电讯、电子、交通、医药、农业、国防、空间技术等科学技术部门，例如耐高温、耐低温、防霉、防辐射、防化学腐蚀、耐高电压、耐高频、高强度、高模量绝缘材料等。

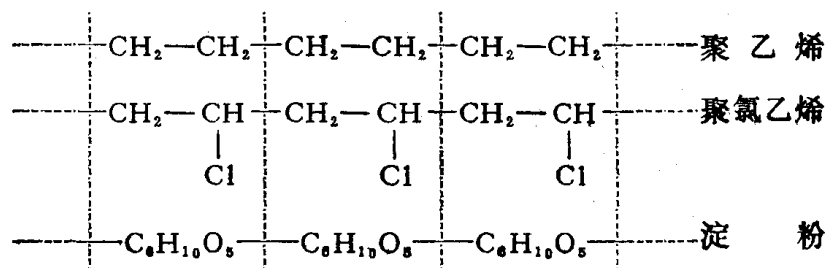
高分子电介质的发展是与高分子材料的发展分不开的。目前在高分子材料科学上已经有了很大进展，不但品种多、质量高，而且出现了很多具有特殊功能的高分子材料，例如具有磁学性能、声学性能和光导、光刻、半导体、导电、烧蚀高分子材料等。但还不能按照人们的意愿合成具有指定性能的高分子材料。这方面还要深入的研究，首先要研究高分子结构与各种性能的关系，知道什么样的性能需要什么样的结构；其次要更深入地研究各种高分子的合成方法，找出影响产物各种结构因素的各种合成条件和控制高分子结构的方法。如果这两个问题都解决了，我们就能进行适当的分子设计和合成具有指定性能的高分子材料。这就是高分子科学的展望，亦是高分子电介质化学的远景。

§ 1-2 高分子化合物及其形成反应

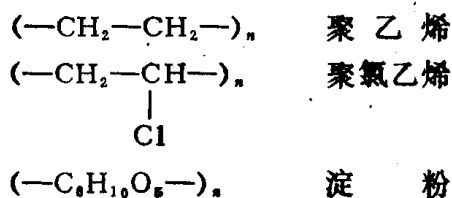
一、高分子化合物的基本概念

高分子化合物这一名称，当然是由于它的分子量很高而区别于低分子化合物而得来的。一般我们所熟知的低分子(或称小分子)化合物如水、氯化钠、乙醇、邻苯二甲酸二辛酯等，都是分子量从几十、几百，甚至于几千的化合物。而高分子化合物则是分子量比较大的化合物，其分子量可从几百、几千到几万、几十万甚至更大。究竟分子量多大才算是高分子呢？实际上高分子与低分子并不是在分子量方面有明确的界限的，因而单凭分子量的大小来区别高分子和低分子是不科学的。

高分子化合物的主要特征是，它的分子是由许多相同的结构单元重复联结而成的，天然的和合成的高分子化合物都是如此，例如



因此，高分子化合物又称高聚物或聚合物。聚合物(Polymer)这一名词，来源于希腊语 poly(许多)和 meros(部分)的意思。所以上面三种高聚物的分子结构可用如下的简式表示：



以上各个分子式括号内的式子表示高分子物的结构单元，这种结构单元叫“链节”或“重复单元”。一个高分子中的链节数叫聚合度(用 DP 表示)。因为一个高分子是由若干个链节

以共价键结合而成的，所以

高聚物的分子量 = 链节分子量 × 聚合度

亦有一些高分子化合物是由二种或几种重复单元组成的。所以高分子化合物(聚合物)的定义应是：由一种或数种类型的结构单元按有规或无规重复特征而构成分子量很大的物质。

一种高分子材料中含有的各个高分子的聚合度有大有小，有相同的(即 DP 相等)，有不同的。因此，高聚物是分子量大小不同的聚合物的混合物，所以它的分子量和聚合度具有统计平均的意义，通常我们用平均分子量(或平均聚合度)或分子量分布来表示。

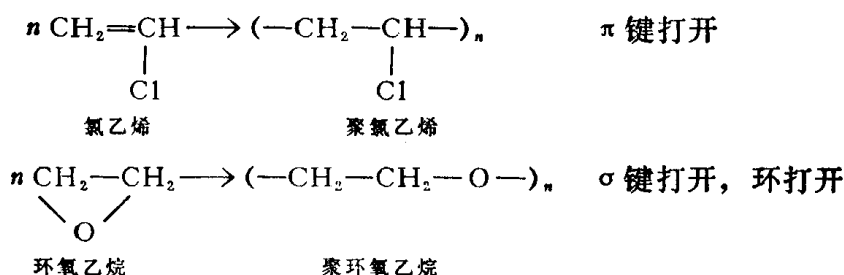
我们所说的高聚物，是指平均分子量比较大的聚合物，其平均聚合度可达几十、几百、几千、几万甚至更高。在实际的高聚物中，往往也含有少量的聚合度较低的聚合物，只要它的含量不超过一定范围，对高分子材料的性能影响不大。

对于仅含有少数单体链节的聚合物，如二聚体、三聚体、四聚体等，或它们的混合物，则称为低聚物。一般所说的齐聚物(英文名：Oligomer)，是指分子量比较均一的低聚物而言的，它们并不具有高聚物的特性，它们或形成晶体，或者是无定形态，或者是粘性液体，并能溶于适当的溶剂中。

二、高聚物的形成反应

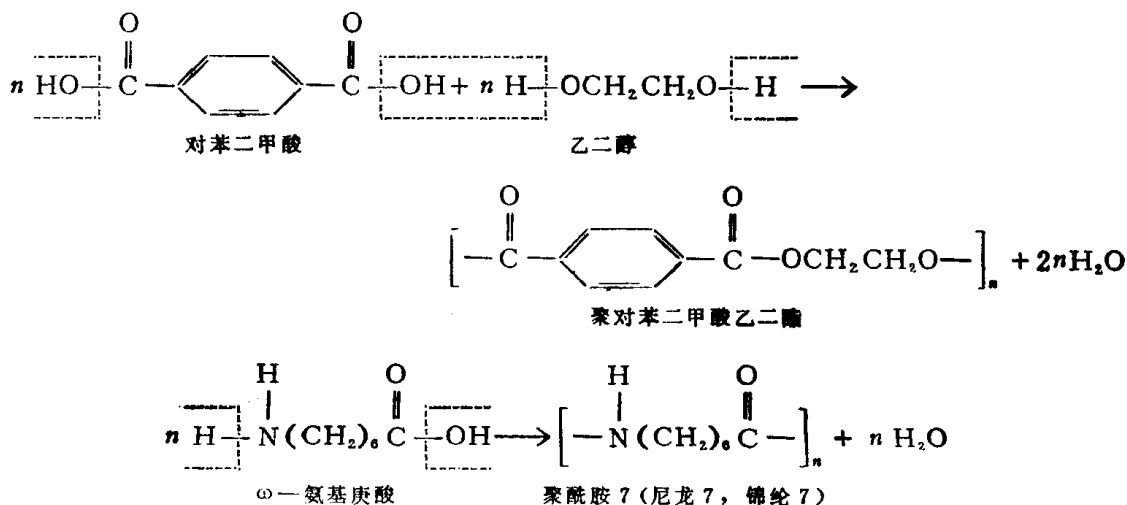
从低分子物合成高聚物的反应，统称为聚合反应。能聚合成高分子的低分子物叫做单体。聚合反应可以分为两大类型：

(一) 加成聚合反应(加聚反应)



低分子物借重键(双键及三键)或环的打开而形成高分子物，在反应过程中无低分子副产物生成，因而高分子物的元素组成与单体相同，这种反应叫加聚反应。

(二) 缩合聚合反应(缩聚反应)



由多官能低分子物间的相互作用以形成高分子物同时析出某些低分子副产物（如 H_2O 、 ROH 、 NH_3 、 HX 等）的反应叫缩聚反应。

重要的加聚反应产物如表 1-1 所示。

表1-1 重要的加聚反应产物表（不包括橡胶）

聚 合 物 名 称	聚 合 物 链 节 结 构	单 体
1. 聚乙烯 (PE)	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$
2. 聚丙烯 (PP)	$-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-$	$\text{CH}_2=\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}$
3. 聚丁烯-1	$-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_2\text{CH}_3}{\text{CH}}-$	$\text{CH}_2=\underset{\text{CH}_2\text{CH}_3}{\text{CH}}$
4. 聚-4-甲基戊烯-1 (TPX)	$-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_3}{\text{CH}}-$	$\text{CH}_2=\underset{\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}_3}{\text{CH}}$
5. 聚异丁烯 (PIB)	$-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-$	$\text{CH}_2=\underset{\text{CH}_3}{\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}}$
6. 聚苯乙烯 (PS)	$-\text{CH}_2-\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}-$	$\text{CH}_2=\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}$
7. 聚- α -甲基苯乙烯	$-\text{CH}_2-\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}}-$	$\text{CH}_2=\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}}$
8. 聚-4-氯苯乙烯	$-\text{CH}_2-\underset{\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}}{\text{CH}}-$	$\text{CH}_2=\underset{\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}}{\text{CH}}$
9. 聚-2, 5-二氯苯乙烯	$-\text{CH}_2-\underset{\text{C}_6\text{H}_2\text{Cl}_2}{\text{CH}}-$	$\text{CH}_2=\underset{\text{C}_6\text{H}_2\text{Cl}_2}{\text{CH}}$
10. 聚氟乙烯 (PVF)	$-\text{CH}_2-\underset{\text{F}}{\text{CH}}-$	$\text{CH}_2=\underset{\text{F}}{\text{CH}}$
11. 聚氯乙烯 (PVC)	$-\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}-$	$\text{CH}_2=\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}$
12. 聚偏二氯乙烯 (PVDC)	$-\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\underset{\text{Cl}}{\text{C}}}-$	$\text{CH}_2=\underset{\text{Cl}}{\underset{\text{Cl}}{\text{C}}}$

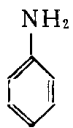
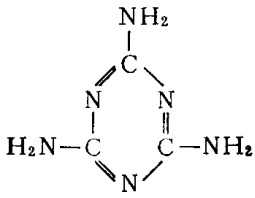
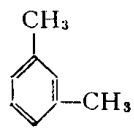
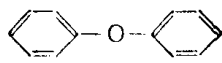
(续)

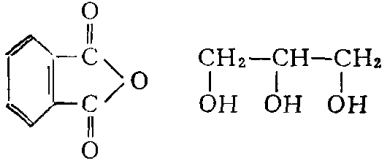
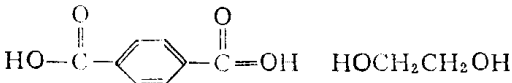
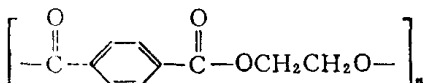
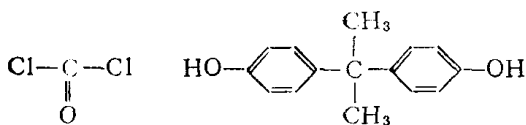
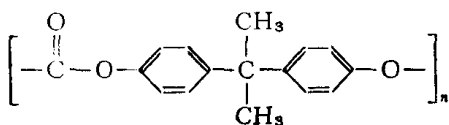
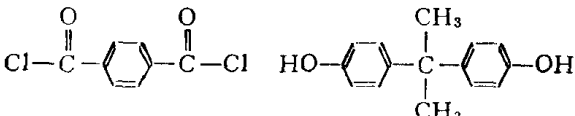
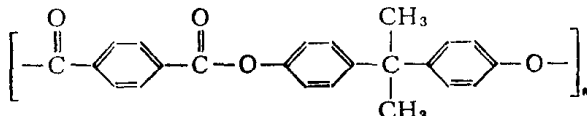
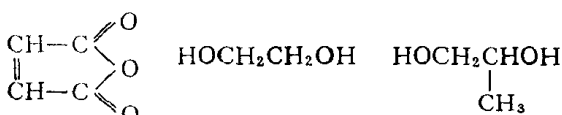
聚 合 物 名 称	聚 合 物 链 节 结 构	单 体
13. 聚三氟氯乙烯 (PCTFE)	$\begin{array}{c} -\text{CF}_2-\text{CF}- \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CF}_2=\text{CF} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$
14. 聚四氟乙烯 (PTFE)	$-\text{CF}_2-\text{CF}_2-$	$\text{CF}_2=\text{CF}_2$
15. 聚六氟丙烯	$\begin{array}{c} -\text{CF}_2-\text{CF}- \\ \\ \text{CF}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CF}_2=\text{CF} \\ \\ \text{CF}_3 \end{array}$
16. 聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{CH}_2-\text{C}- \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{OCH}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2=\text{C} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{OCH}_3 \end{array}$
17. 聚丙烯酸甲酯 (PMA)	$\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{OCH}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH} \\ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{OCH}_3 \end{array}$
18. 聚丙烯酸 (PAA)	$\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{COOH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH} \\ \\ \text{COOH} \end{array}$
19. 聚丙烯酰胺	$\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{CONH}_2 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH} \\ \\ \text{CONH}_2 \end{array}$
20. 聚丙烯腈 (PAN)	$\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{CN} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH} \\ \\ \text{CN} \end{array}$
21. 聚甲基丙烯腈	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{CH}_2-\text{C}- \\ \\ \text{CN} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2=\text{C} \\ \\ \text{CN} \end{array}$
22. 聚丙烯酸酐	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ \diagup \quad \diagdown \\ -\text{CH}_2-\text{CH} \quad \text{CH}- \\ \quad \quad \\ \text{O}=\text{C} \quad \text{C}=\text{O} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{O} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{CH}_2=\text{CH} \quad \text{CH} \\ \quad \quad \\ \text{O}=\text{C} \quad \text{C}=\text{O} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{O} \end{array}$
23. 聚乙酸乙烯酯 (PVAc)	$\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{O}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{O} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH} \\ \\ \text{O}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{O} \end{array}$
24. 聚乙烯醇 (PVAL)	$\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{OH} \end{array}$	(由聚乙酸乙烯酯水解制取)
25. 聚乙烯醚	$\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{OR} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH} \\ \\ \text{OR} \end{array}$
26. 聚甲基乙烯酮	$\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{C}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{O} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{O} \end{array}$

聚 合 物 名 称	聚 合 物 链 节 结 构	单 体
27. 聚乙烯吡啶 (PVK)	$\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{C}_5\text{H}_4\text{N} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH} \\ \\ \text{C}_5\text{H}_4\text{N} \end{array}$
28. 聚-N-乙烯吡咯烷酮	$\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{N} \\ / \quad \backslash \\ \text{CH}_2 \quad \text{C}=\text{O} \\ \quad \\ \text{CH}_2-\text{CH}_2 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2=\text{CH} \\ \\ \text{N} \\ / \quad \backslash \\ \text{CH}_2 \quad \text{C}=\text{O} \\ \quad \\ \text{CH}_2-\text{CH}_2 \end{array}$
29. 1, 2-聚丁二烯 (PB)	$\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{CH}=\text{CH}_2 \end{array}$	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$
30. 茛-氧茛树脂 (古马隆树脂)	$\begin{array}{c} -\text{CH}-\text{CH}-\text{CH}-\text{CH}- \\ \quad \quad \quad \\ \text{C}_6\text{H}_4 \quad \text{CH}_2 \quad \text{C}_6\text{H}_4 \quad \text{O} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_4 \quad \text{CH}_2 \quad \text{C}_6\text{H}_4 \quad \text{O} \\ \text{茛} \quad \quad \quad \text{氧茛} \end{array}$
31. 聚甲醛	$-\text{CH}_2-\text{O}-$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ / \quad \backslash \\ \text{O} \quad \text{O} \\ \quad \\ \text{CH}_2 \quad \text{CH}_2 \\ \backslash \quad / \\ \text{O} \end{array}$ (三聚甲醛)
32. 聚环氧乙烷	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}_2 \\ \backslash \quad / \\ \text{O} \end{array}$
33. 聚酰胺 6 (尼龙 6)	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \text{O} \\ \quad \quad \\ -\text{N}(\text{CH}_2)_5\text{C}- \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \text{O} \\ \quad \quad \\ \text{N}-(\text{CH}_2)_5-\text{C} \end{array}$ (己内酰胺)
34. 氯化聚醚 (盼通Penton)	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{Cl} \\ \\ -\text{CH}_2-\text{C}-\text{CH}_2-\text{O}- \\ \\ \text{CH}_2\text{Cl} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{Cl} \\ \\ -\text{CH}_2-\text{C}-\text{CH}_2- \\ \\ \text{CH}_2\text{Cl} \end{array}$ 3, 3-二(氯甲基)丁氧环

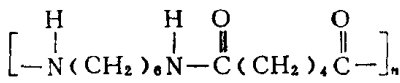
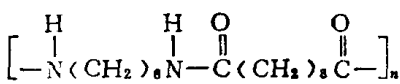
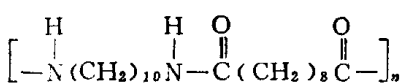
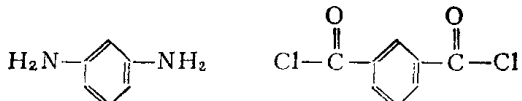
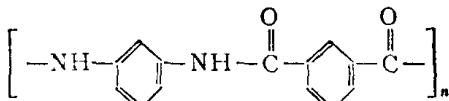
重要的缩聚产物如表 1-2 所示。

表1-2 重要的缩聚产物表

单体的名称和分子式	缩聚产物的名称(代号)或结构式
I 甲醛羟化反应缩聚树脂	
1. 酚类(苯酚、甲酚) + 醛类(甲醛、糠醛)	酚醛树脂(PF)
2. 苯胺 + 甲醛 HCHO 	苯胺甲醛树脂
3. 脲 + 甲醛 HCHO $\text{H}_2\text{N}-\text{C}(=\text{O})-\text{NH}_2$	脲甲醛树脂(UF)
4. 三聚氰胺 + 甲醛 HCHO 	三聚氰胺甲醛树脂(MF)
5. 间-二甲苯 + 甲醛 HCHO 	二甲苯树脂
6. 二苯醚 + 甲醛 HCHO 	二苯醚树脂
7. 丙酮 + 甲醛 HCHO $\text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})-\text{CH}_3$	丙酮树脂 $\left(-\text{CH}_2-\underset{\substack{ \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{CH}_3}}{\text{CH}}- \right)_n$

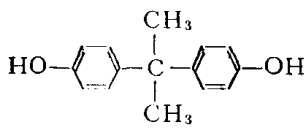
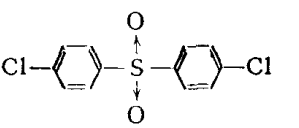
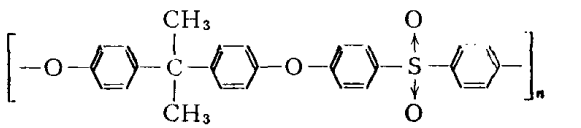
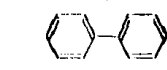
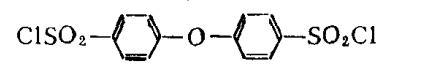
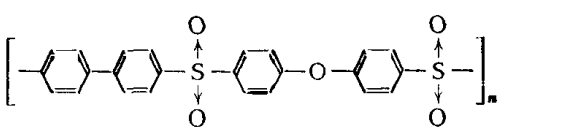
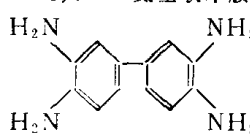
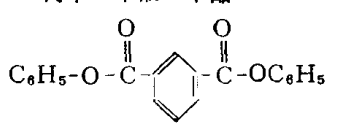
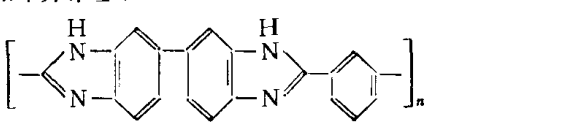
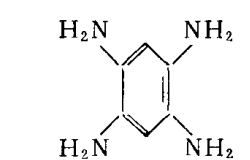
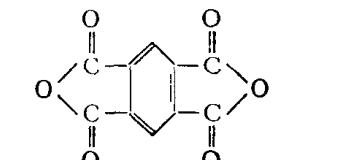
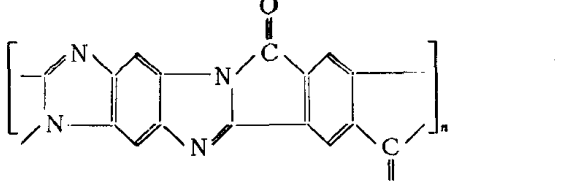
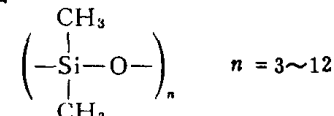
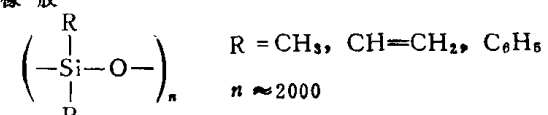
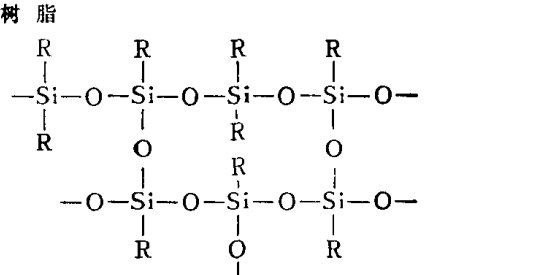
单体的名称和分子式	缩聚产物的名称(代号)或结构式
II 聚酯类	
8. 邻苯二甲酸酐 + 甘油 	苯甘油酯
9. 对苯二甲酸 + 乙二醇 	聚对苯二甲酸乙二醇酯(PETP) 
10. 光气 + 双酚A 	聚碳酸酯(PC) 
11. 对苯二甲酰氯 + 双酚A 	聚芳酯 
12. 顺丁烯二酸酐(马来酸酐) + 乙二醇 + 丙二醇-1, 2 	不饱和聚酯树脂

III 聚酰胺类

13. 己二胺 + 己二酸 $\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_6\text{NH}_2$ $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$	尼龙 66 
14. 己二胺 + 癸二酸 $\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_6\text{NH}_2$ $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	尼龙 610 
15. 癸二胺 + 癸二酸 $\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_{10}\text{NH}_2$ $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	尼龙1010 
16. 间苯二胺 + 间苯二甲酰氯 	聚间苯二甲酰间苯二胺(美HT-1纤维, 商品名 nomex) 

(续)

单体的名称和分子式	缩聚产物的名称(代号)或结构式
IV 聚氨酯①类	
17. 丁二醇 + 己二异氰酸酯 $\text{HO}(\text{CH}_2)_4\text{OH} \quad \begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{C}=\text{N}(\text{CH}_2)_6\text{N}=\text{C} \end{array}$	聚氨酯46(贝纶U) $\left[-\text{O}(\text{CH}_2)_4\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{NH}(\text{CH}_2)_6\text{NH}- \right]_n$
18. $\text{HO}-\boxed{\text{聚醚}}-\text{OH}$ + 二异氰酸酯 $\text{HO}-\text{R}-\text{OH} \quad \begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{C}=\text{N}-\text{R}'-\text{N}=\text{C} \end{array}$	聚氨酯(聚醚型) $\left[-\text{O}-\text{R}-\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{NH}-\text{R}'-\text{NH}- \right]_n$
19. $\text{HO}-\boxed{\text{聚酯}}-\text{OH}$ + 二异氰酸酯 $\text{HO}-\text{R}-\text{OH} \quad \begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{C}=\text{N}-\text{R}'-\text{N}=\text{C} \end{array}$	聚氨酯(聚酯型) $\left[-\text{O}-\text{R}-\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{NH}-\text{R}'-\text{NH}- \right]_n$
V 聚脲	
20. 二异氰酸酯 + 二元胺 $\text{OCN}-\text{R}-\text{NCO} \quad \text{H}_2\text{N}-\text{R}'-\text{NH}_2$	聚脲 $\left[-\text{C}(=\text{O})-\text{NH}-\text{R}-\text{NH}-\text{C}(=\text{O})-\text{NH}-\text{R}'-\text{NH}- \right]_n$
VI 聚酰亚胺	
21. 均苯四甲酸二酐 + 二元胺 $\text{O} \begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{C} \quad \text{C} \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{O} \quad \text{O} \end{array} \text{H}_2\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{NH}_2$	聚酰亚胺(均苯型) $\left[-\text{N}-\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{C} \quad \text{C} \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{O} \quad \text{O} \end{array}-\text{N}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4- \right]_n$
VII 聚醚树脂	
22. 双酚A + 环氧氯丙烷 $\text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OH} \quad \text{CH}_2-\text{CH}(\text{O})-\text{CH}_2\text{Cl}$	双酚A环氧树脂② $\text{CH}_2-\text{CH}(\text{O})-\text{CH}_2-\left\{ \text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_2 \right\}_n$ $-\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{O})-\text{CH}_2-$
23. 2,6-二甲酚 + 氧气 $\text{CH}_3 \quad \text{CH}_3$ $\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})_2$ O_2	聚苯醚(PPO) $\left(-\text{C}_6\text{H}_3(\text{CH}_3)_2-\text{O}- \right)_n$
24. 1,4-二氯苯 + 硫化钠 $\text{Cl}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{Cl} \quad \text{Na}_2\text{S}$	聚苯硫醚 $\left(-\text{C}_6\text{H}_4-\text{S}- \right)_n$

单体的名称和分子式	缩聚产物的名称(代号)或结构式
Ⅷ 聚 砜	
25. 双酚 A + 4,4'-二氯二苯砜  	双酚 A 聚砜 
26. 联苯 + 4,4'-二苯醚二磺酰氯  	聚联苯醚砜 
Ⅸ 聚苯并咪唑	
27. 3,3'-二氨基联苯胺 + 间苯二甲酸二苯酯  	聚苯并咪唑 (PBI) 
X 梯形聚合物	
28. 1,2,4,5-四氨基苯 + 均苯四甲酸二酐  	吡 龙 
Ⅺ 有机硅聚合物	
29. 甲基氯硅烷 $(\text{CH}_3)_x\text{SiCl}_{4-x} \quad (x = 1, 2, 3)$ 甲基烷氧基硅烷 $(\text{CH}_3)_x\text{Si}(\text{OR})_{4-x} \quad (x = 1, 2, 3)$	硅 油  硅 橡 胶  硅 树 脂 

① 聚氨酯的形成反应属于逐步聚合反应,其反应特点和缩聚反应类似。

② 环氧树脂的形成反应属于逐步聚合反应,其反应特点和缩聚反应类似。