

绪 论

(1) 通 性

大多数天然和合成的高分子化合物的分子量是在 10^4 到 10^7 之间，它们的特性主要和巨大的分子尺寸有关系，顾名思义，高分子化学是研究这些高分子化合物的化学。如果高分子化合物是无定型的，则呈玻璃态；特别在结晶状态时，则具有纤维结构；如果它在应力下呈晶态或至少呈取向状态，除去应力后能自行恢复到无定形态的则是高弹态。高分子化合物的聚集态（玻璃态，纤维态，高弹态）和分子结构及温度有关。高分子化合物形成胶体溶液，一般说来，胶体溶液中胶体颗粒与大分子相同。胶体溶液或悬浮液是指粒度介于 $50 \text{ \AA}$ 到 $200 \text{ \AA}$ 之间的溶解颗粒或悬浮颗粒所形成的溶液，牛奶和橡胶胶乳是典型的实例。大分子本身可以比作一根长而细的线或一长串珠子，形成稍许稠密的缠结线团（无规线团），这些线团能浸透溶剂，开始形成凝胶，最后形成高粘度的溶液，而溶液的粘度随分子量增加而增大。

表 1 介绍了天然的和合成的高分子化合物的分类，它们的结构式见表 14。

表 1 高分子化合物的分类

天 然 高 分 子

橡胶：古塔波胶。

多糖：纤维素（棉花、木材），淀粉，糖原，果胶，壳质，肝素。

核酸：核糖核酸（RNA），脱氧核糖核酸（DNA）。

蛋白质：丝，角朊（羊毛、头发、羽毛），骨朊和动物胶（连接组织），肌球蛋白（肌

肉)、白朊(血清、卵)、球朊(血液、精液)、酪朊(牛乳)、病毒蛋白质、激素蛋白质、毒素。

合 成 高 分 子

C—C 链聚合物：

聚乙烯、聚丙烯、聚异丁烯、聚丁二烯、聚苯乙烯、聚对二甲苯撑。

聚氯乙烯、聚偏氯乙烯、聚氟乙烯、聚四氟乙烯(Teflon)。

聚丙烯酸及其酯类、聚甲基丙烯酸及其酯类(Lucite, Plexiglas)、聚丙烯腈(Orlon, Acrilan, PAN)。

聚乙烯酯类(聚酯酸乙烯酯)。

聚乙烯醇、聚乙烯醇缩醛类。

聚乙烯基醚、聚乙烯基吡咯烷酮、聚乙烯基吡唑。

共聚物、三聚物、接枝和嵌段的共聚物。

链中有杂原子的聚合物：

聚酯(Dacron, Terylene, Trevira, Mylar)。

聚碳酸酯(Lexan, Makrolon)。

聚酰胺(Nylon, Perlon, Rilsan, Caprolan)。

聚氨酯、聚脲(Lycra, Moltoprene-泡沫)。

苯酚甲醛树脂、三聚氰胺甲醛树脂、脲甲醛树脂。

聚醚、聚甲醛(Delrin, Celcon)、聚苯撑醚(PPO)。

聚硅氧烷(聚硅酮)、聚硅酸盐(无机玻璃)。

聚酰亚胺(Kapton)。

(2) 高分子的概念

在分子化学中，一般说来和有机化学一样，分子(高分子)被定义为最小的单位，分子中的原子是通过共价键连接在一起的。然而这一定义和分子的物理定义经常不相符合，后者的分子是原子的聚集体，它在气态或溶液中总是保持在一起。但是在高分子的溶液中，有时也发现高分子的聚集体，这就是发生了通常所说的缔合作用，而这些粘度与溶剂种类、浓度以及温度有关。不仅是高分子化合物能形成分子聚集体，而且如肥皂和某些染料这类低分子化合物也能形成。由于多聚集作用，这些化合物在某些溶剂中形成胶体的粒度。这些胶束或分子聚

表 3 化学组成不同而物理性质相似的高分子化合物

聚 合 物 名 称 (或商品名称)	化 学 键 类 型 及 单 体	物 理 性 质
纤维素	聚缩醛键(葡萄糖)	硬, 可成纤
石 棉	$-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-$ 链(硅酸)	
尼龙-66	聚酰胺-链 $-\text{CONH}-$ (己二酸/己二胺)	
尼龙-6(Caprolan, Perlon)	聚酰胺-链 $-\text{CONH}-$ (己内酰胺)	
Dacron, Mylar	聚酯-链 $-\text{COOR}-$ (乙二醇/对苯二甲酸)	
PAN, Orlon	$-\text{C}-\text{C}-$ 链(丙烯腈)	
Saran	$-\text{C}-\text{C}-$ 链(偏氯乙烯共聚物)	软, 高弹态
合成橡胶 SBR 或 Coral, Ameripol- SN, 等	$-\text{C}-\text{C}=\text{C}-\text{C}-$ 链(苯乙烯/丁二烯)或 (顺-1,4-聚异戊二烯, 顺-1,4-聚丁二烯)	
丁腈橡胶(NBR, Buna N)	$-\text{C}-\text{C}=\text{C}-\text{C}-$ 链(丁二烯/丙烯腈)	
丁基橡胶	$-\text{C}-\text{C}-$ 链(异丁烯)	
Nordel(EPR)	$-\text{C}-\text{C}-$ 链(乙烯/丙烯)	
Hypalon	$-\text{C}-\text{C}-$ 链(氯磺化聚乙烯)	
Vulcollan	具有某些氨基甲酸酯基的聚酯链	
Lycra, Vyrene	具有某些氨基甲酸酯基及脲基的聚醚或聚 酯链(一种嵌段共聚物)	
硅橡胶	$-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-$ 链 (二烷基二氧硅烷)	
聚氯化磷氮	$-\text{P}-\text{N}-\text{P}-\text{N}-\text{P}-$ 链	

集体的溶液和高分子化合物溶液相似, 往往非常粘稠并形成凝胶, 所以在这种情况下说它是次价高分子也无可非议。当然, 这意味着分子的物理定义是正确的。然而由于次价力的稳定性较低, 这些多聚集体只有在非常窄的温度和 pH 范围内方是稳定的, 所以人们并不把这些胶束状胶体计入高分子化合物之内。氢键是一种特殊类型的次价键, 它的强度是在一般次价键和非极性主价键之间。因此, 由氢键形成的分子聚集体是非常稳定

的，所以它和共价键大分子之间不再有明显区别。氢键对聚酰胺来说起着特别重要的作用，这里不仅指尼龙这样的合成聚酰胺，而且还有天然聚酰胺，即蛋白质。所以在蛋白质化学中，“高分子”和“分子聚集体”的现象在许多方面是一致的。

但是，只有对那些分子量能够测定的，也就是能溶解的化合物，谈论分子才有意义。对象金刚石、石英这类所有原子都用主价键结合在一起，并具有晶格结构的物质，我们不能用分子的概念。但是，象酚醛树脂，聚酯树脂和环氧树脂等热固性树脂则不属于此类。之所以仍可把这些树脂当作高分子化合物，这是因为它们是由高分子通过共价键交联而形成的，而交联反应可以和聚合反应同时发生，或者一般地可以和高分子的合成相联系。

高分子化学中最重要的结构实体是链分子，它是由相同或不同的链节或结构单元用共价键连接在一起的，多少是规则的连续序列所构成。例如纤维素是由几百或几千个脱水葡萄糖残基通过缩醛键连接在一起的链状高分子所组成。链分子不一定是线型的，有些高分子化合物（天然和合成的都有）程度不同地含有高度支化的分子，例如淀粉就是含有支链的多糖。对某些高分子化合物的典型性能，如成膜性、成纤性和高弹性等，起主要作用的是这些分子的链状结构，而不是这些分子的化学组成，见表 3。

含有酯键、饱和或不饱和 C—C 链的许多种橡胶 虽然它们的化合物在化学组成上是不同的，却表现出非常相似的物理性能；而属于同一类型化合物（例如聚酯）的聚合物，却会表现出完全不同的物理性能，例如合成纤维 Dacron（聚对苯二甲酸乙二酯）和以聚酯为基础的聚氨酯橡胶（Vulcollans）。在给定温度下，一个高分子材料究竟是弹性的还是硬而透明的，与链的内部流

动性（柔韧性）和链结构的规整度有关（在下册第四章讲到分子的聚集现象时将予以详细的讨论）。

（3）分子量和多分散性

“纯化合物”的概念之一是该物质具有一确定的分子量，且构成该化合物的每一分子的分子量都相同。此外，分子量不仅可以直接测定，而且还可由分子中所包含的原子的原子量的总和来更精确地求得。但是对一高分子化合物，不可能给出确定的分子量。所以不能说“纤维素的分子量是 500,000”或“聚苯乙烯的分子量是 200,000”之类的话。可以有許多不同分子量的聚苯乙烯——有的分子量是 10,000 有的分子量是 1,000,000 大量的聚苯乙烯的分子量在这两者之间，或者还有高于或低于这些数值的，但是所有这些化合物都叫聚苯乙烯。此外，从更普遍的意义上来说，因为所有高分子化合物（除有些天然产物和某些通过特殊方法制备的聚合物外）的分子是多分散性的，也就是说，即使对确定的高分子化合物来说，其中每一个分子的大小也是不相同的，所以并不能对它们给出一确切、均一的分子量。所以，一个高分子物质的分子量是代表一平均值，这个平均值是从不同类型分布曲线所得到的。在非常不均匀的物质中，可以有最小的（单体）一直到分子量为几百万的巨大分子，而所有这些分子可能以差不多的机会出现，结果是得到一平坦的分布曲线。另一方面，较均匀的物质主要包含某一平均大小的分子，其分布曲线有一陡峭最大值（陡峰）。所以对于任何一个完整的分子量数据来说，都应该给出得到这一平均分子量的分布曲线。

（4）按照分子大小分类

根据以上的讨论，人们显然不能在低分子和高分子物质之

间划一条明显的界限。可以由单体所形成的尺寸越来越大的高分子化合物，也可以由高分子化合物再分解成单体来划分。这一点首先是由 H. Staudinger 用聚氧化甲烷（由甲醛）的例子所证明。Staudinger 把所得到的、具有相同化学结构而分子量不断增加的一系列聚合物称为聚合物的同系物。除了少数天然产物和由离子型聚合制备的聚合物以外，可以把高分子化合物说成是聚合物的同系物或同系聚合物的混合物。这是由这种分子的不均匀性和多分散性所造成的，即把苯乙烯、联苯乙烯或者含 4 到 10 个单糖单元的低糖这样一些完全确定的低分子化合物也看成是高分子化合物的一部分，而在高分子化合物中也确实经常发现它们。实际上，通常把这些低分子量的聚合物看成是杂质，并尽量试图除去它们。即便如此，究竟到哪儿为止算是低分子聚合物（低聚物）杂质，从哪儿开始算是高分子物质的一个组分，这个界限只能通过真空处理和溶剂抽提等进行分离后来确定。由低分子量的低聚物向高分子量聚合物的转变是没有任何可供识别的手段的。在分子量达某一值以前，通常是在 10,000~100,000 范围内，象溶液的粘度、软化范围以及机械性能等这样一些物理性能是以连续的方式变化的。在这一值以上，某些物理性能变化缓慢或者根本不变，而另一些物理性能却连续改变。在达某一确定分子量范围后，拉伸强度和软化点（软化范围）这样一些性能的曲线就变得平坦，但溶液和熔体的粘度等性能曲线并不呈现平坦。当然这也并不意味着这些性能总能保持线性增长。

对 C—C 链的聚合物（聚苯乙烯，聚氯乙烯等等）曲线转成平坦的转捩点在 150,000~200,000 分子量范围内。链中含杂原子的聚合物在分子量低得多的范围内，也就是 15,000~20,000 内，曲线呈现平坦。

虽然对应于水平转捩点的分子量是随聚合物的不同而不同，但它确可作为在分子量基础上对整个领域进行有意义的再分类的某一参考点，或许也是唯一的参考点。

由于聚合物溶液和熔体的高粘度给高分子材料的工业生产和加工造成很大困难，所以人们试图使分子量尽量低一些。这可将分子量定在重要的工艺性能与分子量间的曲线刚转变成水平的那一点。图 7 中的曲线说明了有关苯乙烯的这种情况。我们一方面选择弯曲强度和溶液粘度数；另一方面选择抗冲击性和热变形性（维卡数）作为工业上的重要性能。后两种性质和粘度不同，在聚合度达到 1000 以后就很少再改变了，而粘度随分子量增大继续增大，不出现平坦区。

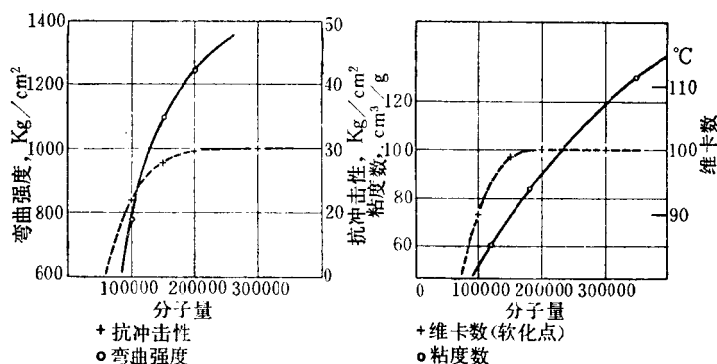


图 7 聚苯乙烯的物理性能与分子量的关系

(5) 无机和有机聚合物

虽然有象聚硫或聚氯化磷氮这样的纯无机高分子化合物，通常还是把高分子化学看成是有机化学的一部分。这是因为大部分高分子化合物，特别是最重要的天然和合成高分子，象纤

纤维素、橡胶、淀粉、蛋白质和几乎所有的塑料以及其它合成的聚合物，是以熟知的有机化合物如葡萄糖、氨基酸、丁二烯和苯乙烯为基础的，并可由它们来制备。而且在实验研究和高分子化合物合成中所用的实验步骤和有机实验室中所用的基本相同。当然也采用胶体化学所用的大部分物理鉴定法。然而，不管有机高分子化合物占多大的比例，把高分子化学仅仅看成是有机化学的一部分是错误的。高分子化学既不是有机化学也不是无机化学，而它是包含有巨大链分子化合物的化学。正是这些巨大的链分子结构，而不是形成大分子的原子的化学性质，赋予高分子化合物诸典型物理性能，如橡胶高弹性，溶液高粘度以及形成凝胶。形成长链状分子的能力和某一元素的存在没有关系（见表 3）。只是由于碳原子具有自相结合的强烈倾向，因而碳原子特别适合于形成聚合物链。的确，在分子化学中含碳聚合物占有重要地位，链中不含碳的所有其它高分子化合物只占次要的地位。

(6) 天然和合成高分子

高分子化合物是否应分成天然与合成物质二类（参见表 1）并不是一个原则问题，而主要是一个有无益处的问题。

象蛋白质、天然纤维和其它多糖类等许多天然产物，具有特殊的结构特征。这些结构特征是分子长度均一（例如所有胰岛素具有相同的分子量或链长）以及分子的化学结构完全相同。在这些化合物中，每一个分子具有不同单体单元构成的完全相同的序列（例如在一个蛋白质分子中有 20 种不同的氨基酸，在每一个分子中这些不同氨基酸彼此间都遵循完全相同的序列）。在天然高分子中，其结构起重大作用的另一个突出的例子是核酸。因此在脱氧核糖核酸分子（DNA）链上的嘌呤和嘧啶碱的

序列就构成“遗传密码”通过“遗传密码”将有关构成每一有生命的物质或生物的蛋白质分子的合成信息，由一个分子传递到另一分子。

天然高分子的另一特征是它们的二次和三次结构具有特殊的重要性。每一个血红蛋白分子直到最小的细微部分都具有完全相同的形状。

当然，一旦能够合成天然橡胶，多糖，蛋白质和核酸，按上面的理由来区分天然和合成高分子就失去其意义。顺式-1,4聚异戊二烯与天然橡胶相当的合成于1950年已用特殊催化体系实现了，而蛋白质与核酸，由于其中链单元间以特有的方式相连接，它们的合成要困难得多。在羊胰岛素的合成中(Zahn/katsoyannis和Dixon)必须进行224次反应来制备胰岛素分子(分子量=5734)，而胰岛素分子还是一个比较小的分子。其它天然聚合物，如核酸，其分子量 $>10^6$ 。一经明了有成千上万种不同的蛋白质、核酸和多糖，就会知道要合成一个可以生长的高分子体系或制造出一个活的细胞显然还有一段漫长的路程。

与这些费力的逐步合成的蛋白质相比，在实验室或工厂里制备一种合成聚合物，和在一个生命细胞中进行大分子的生物合成就都是轻而易举的事了。

所以把天然高分子当作聚合物领域中的一个特殊分支看来还是有道理的。在我们这个世界上，如果能保留和“生命”息息相关的任何事物以一特殊地位的话，我们甚至更乐于让天然高分子享有它。

1. 结 构 原 理

11 链结构、聚合度

高分子①具有的最简单形式是一个没有分支的链。人们之所以用“链状”高分子或“链”分子这样一些说法，是因为高分子是由许多链节组成的，也就是说高分子具有链结构。但是，在一真实的链中，链节与链节之间并不是以完全相同的方式彼此相连的。此外，链节彼此间还能移动。所以还是把高分子链看成是一串珠项链更好一些，而珠项链中链的劲度则由珠子的种类和用以穿珠子的材料所决定。但是这并不排除线型高分子在溶液中具有和无规缠结线团相类似的结构这一事实。由于热运动，这些线团经常在改变它们的形状。这种形状改变的速度和温度有关。一个高分子伸展或蜷曲到什么程度是和链单元的性质、链化学键的种类及溶剂有关②。

在最简单的情况下，链状大分子是由一种元素的原子构成，

- ① “macromolecule” 或 “macromolecular compound” 这些专门名词是由 Staudinger 首先提议的，现在已是国际上公认的专门名词。在英语文献中，常发现用 “polymer” 这个字。在德语文献中常用 “polymer molecule” 来代替 “macromolecule” 尤其是想指出与单体的对比时，通常还常用 “the polymer” 或甚至常用 “the macropolymer” 来代替 “macromolecular compound”。只含很少几个链节的（由 5~10）聚合物称为 “Oligomers” 中文译低聚物或齐聚物），这些名称都是由希腊文来的。“polys” 意思是许多，“meros” 意思是部分，“oligos” 意思是很少。

译者注：上述名称译成中文时，“macromolecule” 一般译成高分子，“macromolecular compound” 一般译成高分子化合物，“polymer” 一般译成聚合物，有时也译成高分子。总之高分子、聚合物间无根本区别，在译文中一般可把它们看成是等同的。

- ② 进一步的细节可在下册第三章 32“大分子的形状”和第四章 42“在溶液中的大分子”中找到。

聚硫就是这种情况。另外，由重氮甲烷分解或通过乙烯聚合而得到的线型聚乙烯链^①也同样很简单。

这个 $-\text{CH}_2-$ 基团（在聚乙烯中是 $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ ）称为结构单元、重复单元或大分子的链节。结构单元的数目（包括链分子头和尾在内）称为聚合度， P 。正如过去指出过的，在大多数情况下， P 就是平均聚合度（ $\bar{P}$ ）。对 $\bar{P}$ 的详细讨论可见下册313 分子量分布”一节。

$\bar{P}$ 与聚合物分子量 $\bar{M}$ ，有如下关系： $\bar{M} = \bar{P} \cdot M_{\text{单}}$

式中， $\bar{M}$ = 聚合物的平均分子量； $\bar{P}$ = 平均聚合度 = 每个聚合物链的平均结构单元数； $M_{\text{单}}$ = 结构单元（链节）的分子量。

当然，从化学组成上讲，链的起始和最末尾的单元必定和链分子的其余部分的结构单元不同，而链端和链起始单元的本性常可从聚合物的制备情况推测出来。因此，根据缩聚反应是在二元醇还是二元羧酸过量下进行的，就可以预计聚酯链端是 COOH 还是 OH 基团。在加成自由基聚合中如果终止不是通过歧化反应（见2113节）或采用一外加链终止剂来进行，则链的两端是由引发剂碎片构成。

用平均聚合度表示的结构单元的数目，通常不等于链分子中的碳原子数。因此，通常不是根据链中的原子数，而是根据单体分子数或形成聚合物链的基础分子数来表示聚合度。所以，聚苯乙烯只有一种简单的结构单元 $-\text{CH}_2-\text{CH}-$ ，而 不 是

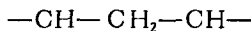
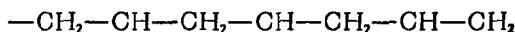


① 在乙烯聚合中既可得到线型大分子（低压法，Ziegler 或 Phillips）也可用高压聚合得到支化程度不同的分子（大部是 4 个碳原子的支链）。

—CH₂—和—CH—二种单元。而聚合度是指这一简单重复单



元的数目。

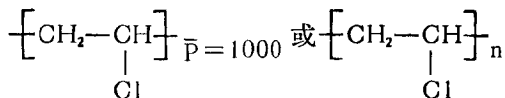


对许多聚合物，例如对所有的乙烯基单体的聚合物来说，结构单元的分子量等于单体的分子量。然而，通过消除水或其它小分子的缩聚反应所制备的聚合物（聚酰胺，聚酯等）显然就与此不同。表 14 列出了大部分重要的高分子化合物，它们的结构重复单元以及形成它们的单体。

既然在大多数情况下，链的两端是不相同的，在许多情况下甚至并非确知，加之由于链非常长，使链端的种类对聚合物的性质影响甚微，因此，如表 14^① 中所示，只用链的片断来表示聚合物结构的做法是正确的和通用的。通常只写出结构单元，并在它的周围打一个方括弧来表明是一个聚合物。例如聚氯乙

① 高分子量聚合物的端基只对那些能用极端灵敏的方法所量测的性质，如介电性质，会有显著的影响（当塑料用作为绝缘体，尤其是在高频下工作时，这一点是很重要的）

烯可以写成：



如果知道端基，可以写成：



用 $\text{H}(\text{BF}_3\text{OH})$ 引发，用 H_2O 或 NH_3 终止 用 $\text{C}_6\text{H}_5\text{Li}$ 引发，用水或酸终止

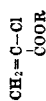
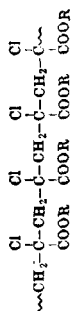
表 14 中所给出的高分子化合物，按其化学组成可分为两种类型：在一些高分子中有连续的 C 链；在另一些高分子链中，在 C—C 链间隔处有或大或小的其它原子（杂原子）或含杂原子的基团（官能团）规则地隔开。在这两种类型中，聚合物又可根据有机化学中诸如酯，醚，酰胺，氨基甲酸酯，脲，酸酐，醇，胺和羧酸等不同的化合物基团来进行分类。在第一种情况下，特征官能团包括在链中，它们在链的合成中起重要作用。在另一种情况下，特征官能团是侧链（或取代基）的一部分。把链中有官能团的那类聚合物称为聚醚，聚酰胺，聚酯等等，而另一类（有取代基的）称为聚乙烯基醚，聚偏氯乙烯，聚丙烯酸酯等等来加以区别。

由于纯 C—C 链的聚合物一般是通过自由基或离子型聚合而成，而那些在链中有官能团的聚合物通常是通过产生出水的反应（缩合反应）形成的，因此在第一种情况下常说成是加聚物，而在第二种情况下为缩聚物或缩合聚合物。但是 C—C 链聚合物有时也能通过缩合反应生成，而链中有杂原子的聚合物也能通过加成反应生成。所以按照分子的合成方法将高分子分

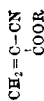
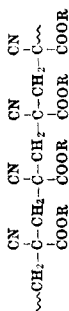
表 14 高分子化合物的结构式

名称	链结构	单体
1,3-丁二烯 聚乙炔 (Alathon, Hostalen, Marlex)	$\sim\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2\sim$	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$
聚丙烯	$\sim\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)\sim$	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$
聚异丁烯 (Vistanex)	$\sim\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)_2\sim$	$\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)_2$
聚顺式1,4-丁二烯	$\sim\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_2-\text{CH}_2)-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2\sim$	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$
聚顺式1,4-异戊二烯 (天然橡胶)	$\sim\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)\sim$	$\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{CH}_2$
聚反式1,4-异戊二烯 (古塔波胶, Balata)	$\sim\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)\sim$	$\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{CH}_2$
聚氯丁二烯 (氯丁橡胶, 氯丁二烯橡胶)	$\sim\text{CH}_2-\text{C}(\text{Cl})=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{C}(\text{Cl})=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{C}(\text{Cl})=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{C}(\text{Cl})=\text{CH}-\text{CH}_2\sim$	$\text{CH}_2=\text{C}(\text{Cl})-\text{CH}=\text{CH}_2$
聚苯乙烯	$\sim\text{CH}_2-\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)\sim$	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_5$

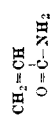
聚 α -氯代丙烯酸酯



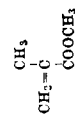
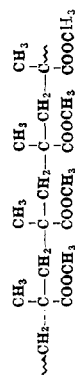
聚 α -氰基丙烯酸酯



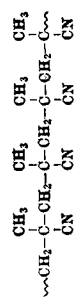
聚丙烯腈



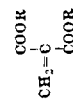
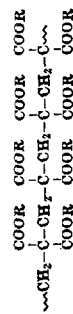
聚甲基丙烯酸甲酯
(Pexiglas, Lucite)



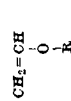
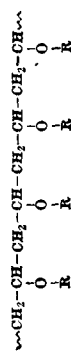
聚甲基丙烯腈



聚甲基丙二酸酯



聚丙烯腈



聚乙烯基甲酮

