

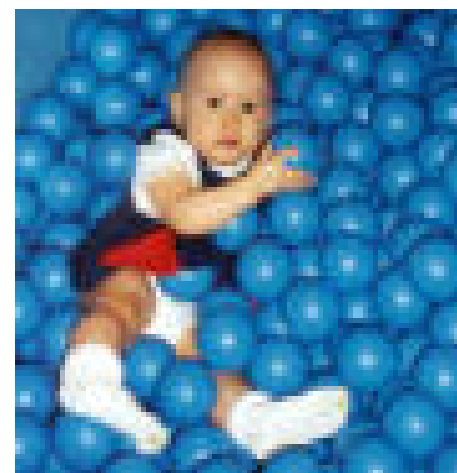
第五章 高分子材料



主要内容

- 高分子的基本概念
- 高分子的合成与制备
- 高分子的结构与性能
- 几种常见高分子材料
- 高分子材料的应用及发展趋势

多种多样的高分子材料



高分子材料



聚氯乙烯(PVC)管



高分子材料

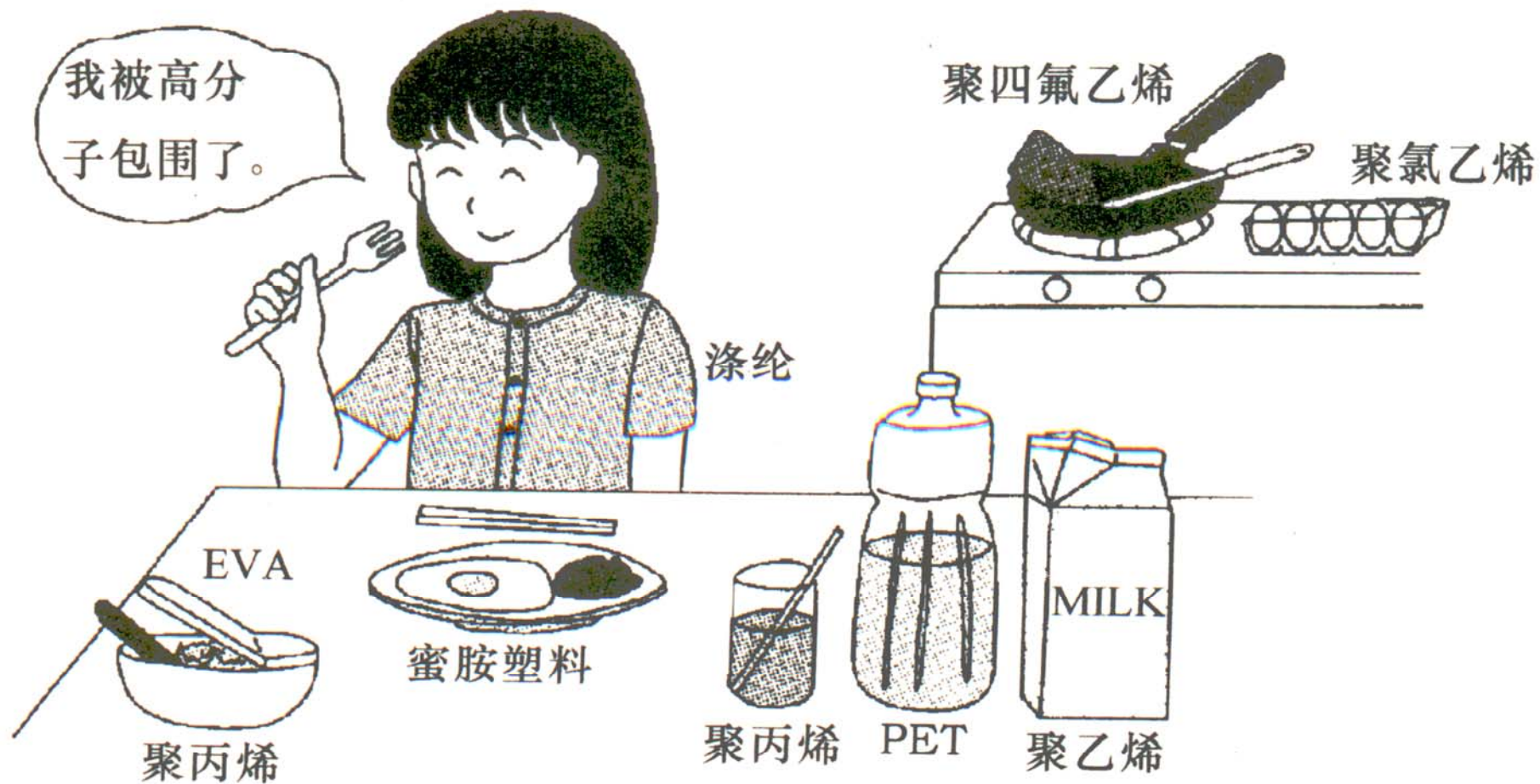


高比强度的降落伞绳索



防弹衣

高分子材料



我被高分子包围了--

高分子材料的现状

2006年，世界合成高分子材料的年总产量已达到2.4亿吨。

其中

- 塑料 1.8亿吨，
- 合成橡胶 0.12亿吨，
- 合成纤维 0.3亿吨。

	世界产量(亿吨)	我国产量(亿吨)
钢	12	4.19
水泥	25	12.5
树脂	2.4	0.25
石油	36.2	1.84

高分子材料发展简史(1)

天然高分子的利用-天然高分子改性

- ❑ 天然橡胶硫化（1839年） Goodyear 美国
- ❑ 硝化纤维赛璐珞（1868年） Hyatt 美国硝化纤维、樟脑、乙醇合成塑料
- ❑ 粘胶纤维（1893-1898年）

高分子材料发展简史(2)

合成高分子

20世纪初 - 酚醛树脂 - 美国人贝克兰 用苯酚与甲醛反应

1920年 - 施陶丁格(Staudinger))提出高分子概念, 32年出版了划时代的巨著《论聚合》,

30年代、40年代 - 飞速发展,美国杜邦公司合成出尼龙,德国合成出橡胶、聚乙烯、聚丙烯、英国合成出聚酯纤维。

70年代 - 特种性能的高分子

高分子材料发展简史(3)

创立高分子化学的施陶丁格

Hermann Staudinger 1881-1965

The Nobel Prize in Chemistry 1953



G. Natta



K. Ziegler

高分子溶液理论的创立者

P. Flory 1910-1985

The NP in Chemistry 1974



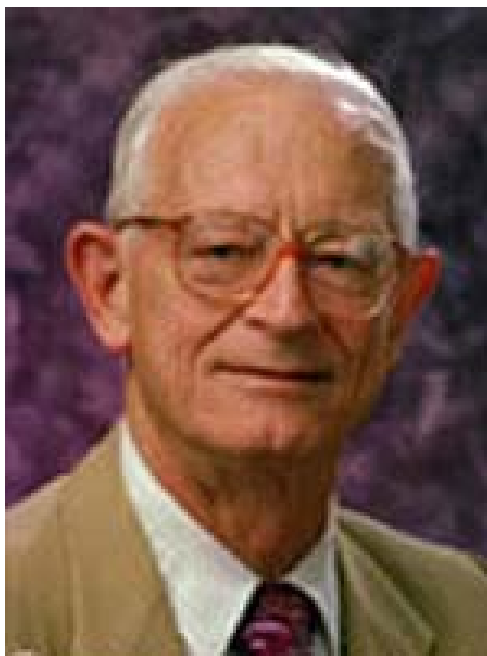
**“for his discoveries in the field
of macromolecular chemistry”**

高分子材料发展简史(4)

2000年化学奖授予了黑格(A.J.Heeger, 美国)、马克迪尔米德(A.G.MacDiarmid, 美国)和白川英树(H. ShiraKawa, 日本)三人, 他们发现了导电聚合物。



A.J.Heeger(美国)



**A.G.Macdiarmid
(美国)**



**H.ShiraKawa
(日本)**

什么是高分子？

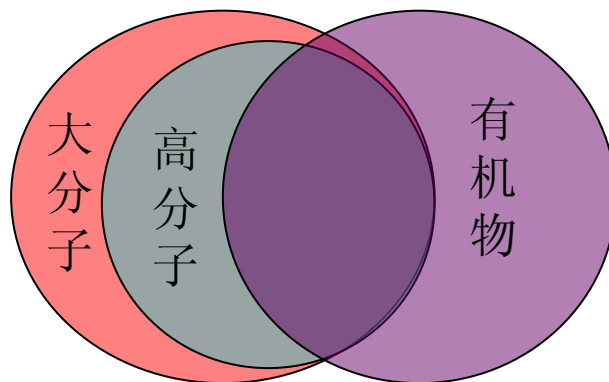
高分子的定义：

有结构单元通过共价键的形式通过聚合反应重复连接而成的链状化合物。

大分子的定义：(macromolecule)

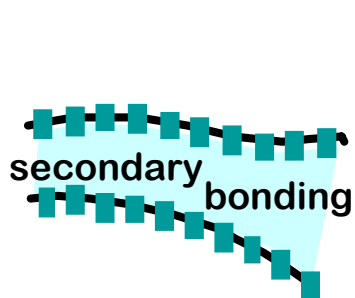
分子量很大的化合物。(注意两者的区别)

高分子也称聚合物或是高聚物，英文都是polymer。

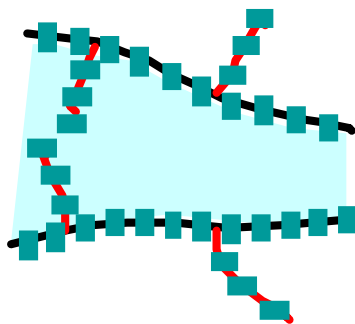


高分子的特点

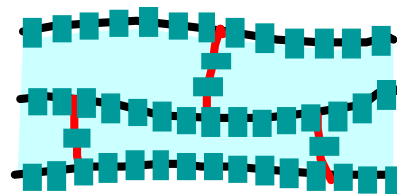
- 组成：主要由C、H、O组成(无机高分子，如玻璃)
- 分子量多分散性，只有一定的范围，是分子量不等的同系物的混合物；分子量很大（ 10^4 - 10^7 ，甚至更大）
- 没有固定熔点，只有一段宽的温度范围；
- 没有沸点和固定的熔点，分子间力很大，加热到 200°C - 300°C 以上，材料破坏（降解或交联）。
- 链式结构
- 柔性分子链 大部分高分子的主链具有一定的内旋转自由度。



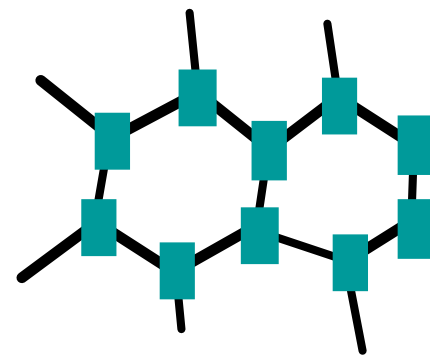
Linear



Branched



Cross-Linked

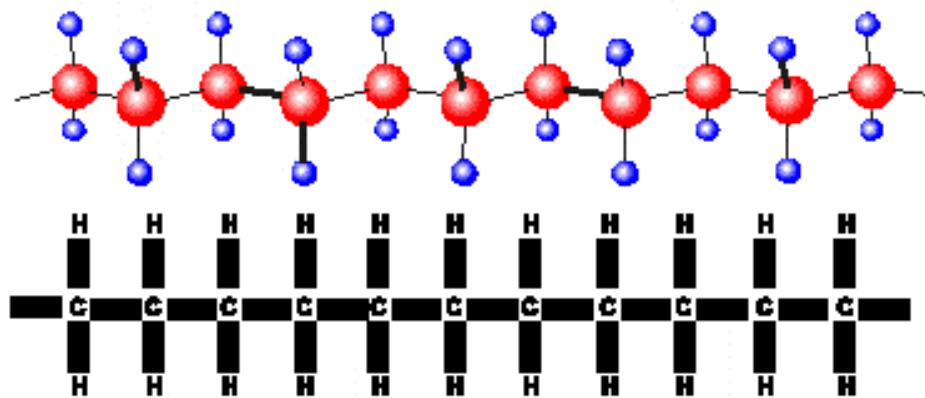
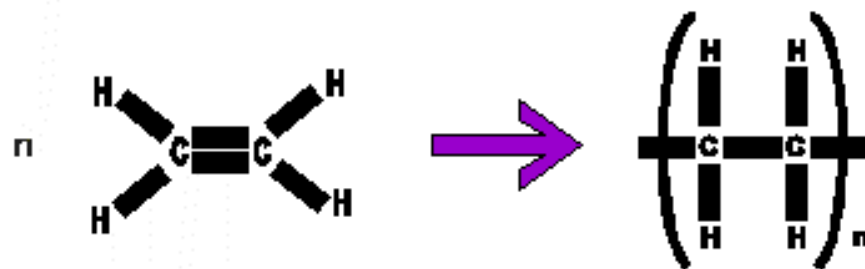
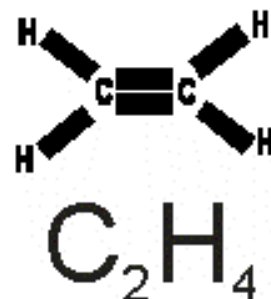
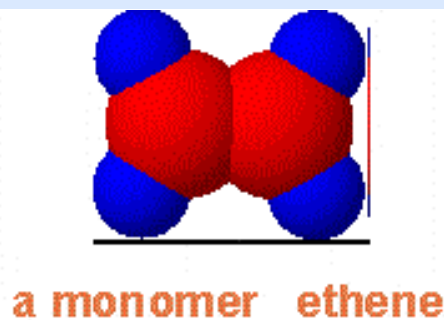


Network

高分子的单体

通过聚合反应能制备高分子化合物的物质称做单体。

例如乙烯是单体，能聚合生成聚乙烯：



a polymer

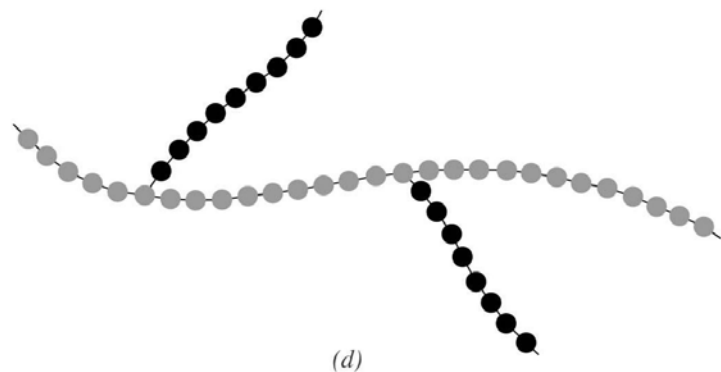
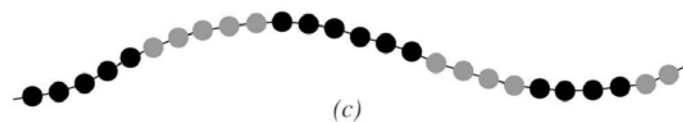
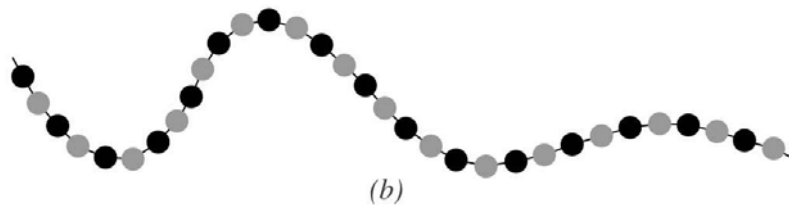
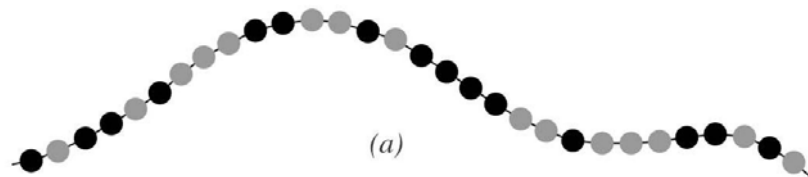
poly(ethene)

高分子材料分类

按材料来源分类 { 天然高分子
合成高分子

按材料性能和用途分类 { 塑料
橡胶
纤维
涂料
粘合剂
功能高分子

按化学组成分类 { 碳链高分子
杂链高分子
元素有机高分子
无机高分子



高分子材料

塑料、橡胶、纤维，称为三大合成材料

- 塑料主要品种有：聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯(四大通用塑料)等
- 合成橡胶主要用途为制造轮胎，约占60%
- 合成纤维主要品种有：涤纶（PET）、尼龙、聚丙烯腈、聚丙烯等；

高分子材料

- **性能**：坚硬、韧性、耐磨、耐热水及蒸气，加工时尺寸稳定性好、化学稳定性好
- **塑料**——聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯等
(四大通用树脂)
- **通用工程塑料**——聚酰胺、聚甲醛、聚碳酸酯、聚酯、改性聚苯醚等。
- **高性能工程塑料**——聚芳醚、聚芳砜、聚芳酯、聚芳杂环类、聚芳酰胺、聚对二甲苯、含氟材料等。

合成橡胶

通用合成橡胶——丁苯、丁基、氯丁、丁腈橡胶等

特种合成橡胶——丁丙橡胶、异戊橡胶、聚硫橡胶、硅橡胶、
氟橡胶、聚氨酯橡胶、氯磺化聚乙烯橡胶、丙烯酸橡胶、氯醇橡胶等。

主要用途——制造轮胎（约占60%），密封件、减震零件、耐油胶管、油箱。人造血管、人造瓣膜和人造心脏 人工心肺机、人造肾脏、输血导管等。

合成纤维

合成纤维 - 以煤、石油、天然气、水、空气、食盐、石灰石等为原料，经化学处理制成的人工纤维。

主要品种 - 涤纶（PET）、锦纶（聚酰胺）、腈纶（聚丙烯腈）、丙纶（聚丙烯）维纶（聚乙烯醇）和氯纶（聚氯乙烯）等六种，其中前三种产量最大，占整个合成纤维产量的90%。

三大合成高分子材料的比较

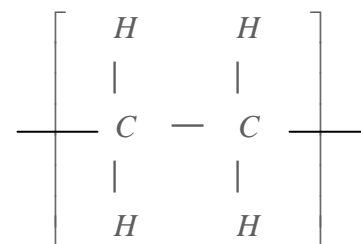
	纤维	塑料	橡胶
分子量	一般 1-7 万	一般 6-30 万	一般 15-30 万
加工方法	熔融纺丝 溶液纺丝	挤出、注塑、吹塑 成型等	硫化交联
机械性能	高强度($>35000\text{N/cm}^2$) 高模量($>35000\text{N/cm}^2$) 低伸长率($<5-50\%$)	介于两者之间	初始模量很低, 高弹 形变 (500-1000%)

按结构单元的化学组成分类

■ 碳链高分子

主链以C原子间共价键

相联接加聚反应制得

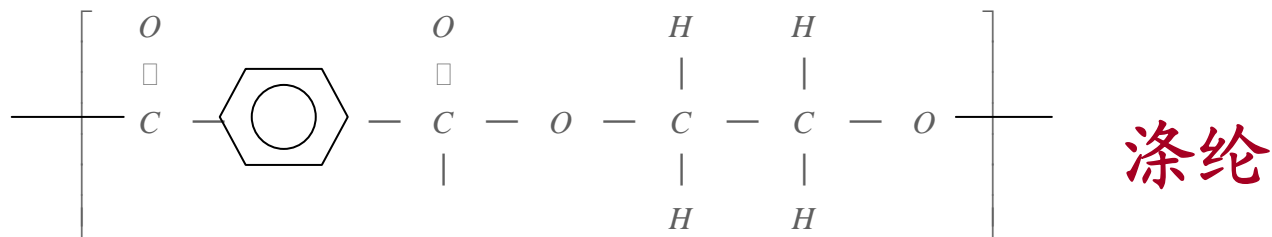


聚乙烯

如 聚乙烯，聚氯乙烯，聚丙烯，聚甲基丙烯酸
甲酯，聚丙烯

按结构单元的化学组成分类

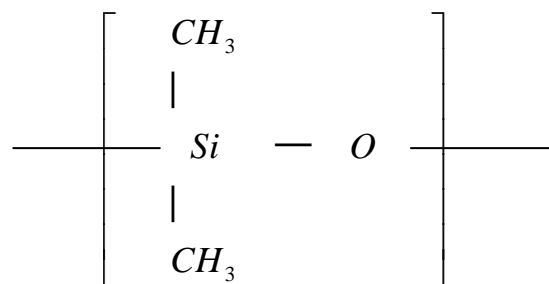
■ 杂链高分子



主链除C原子外还有其它原子如O、N、S等，并以共价键联接、缩聚反应而得，如聚对苯二甲酸乙二酯（涤纶）聚酯聚胺、聚甲醛、聚苯醚、聚酚等

按结构单元的化学组成分类

■ 元素有机高分子

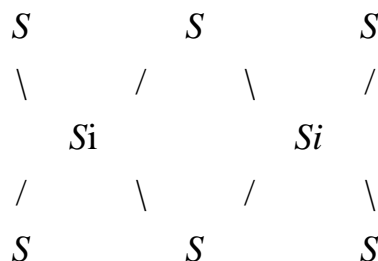


硅橡胶

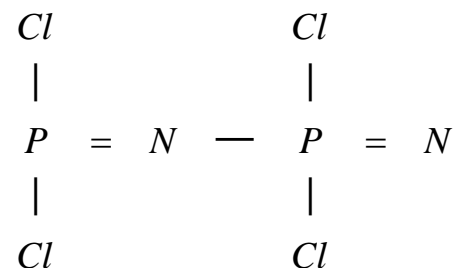
- 主链中不含C原子，而由Si、B、P、Al、Ti、As等元素与O组成，其侧链为有机基团；
- 兼有无机高分子和有机高分子的特性，既有很高耐热和耐寒性，又具有较高弹性和可塑性，如硅橡胶。

按结构单元的化学组成分类

■ 无机高分子



二硫化硅



聚二氯一氮化磷

- 主链既不含C原子，也不含有机基团，而完全由其它元素所组成，这类元素的成链能力较弱，故聚合物分子量不高，并易水解。

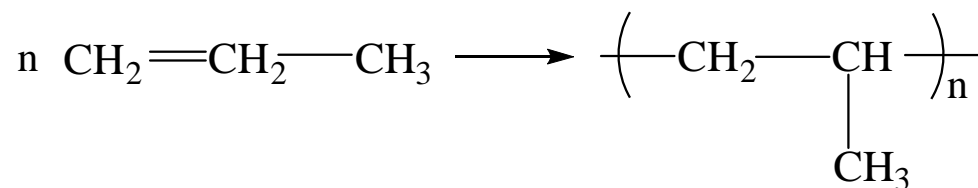
高分子的命名

- 根据单体来源或制法命名
- 根据聚合物的结构特征命名
- 根据商品命名
- IUPAC的系统命名法

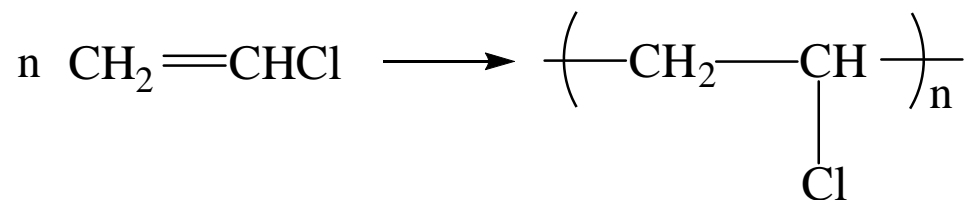
根据单体来源或制法命名

很多聚合物的名称是由单体或假想单体名称前加一个“聚”字而来，例如

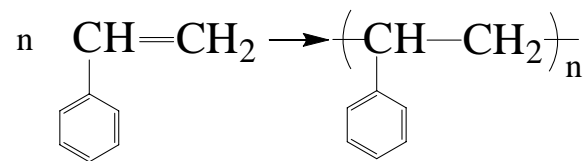
➤ 聚丙烯



➤ 聚氯乙烯



➤ 聚苯乙烯



根据聚合物的结构特征命名

- 很多缩聚物是两种单体通过官能团间缩合反应制备的。

在结构上与单体有差别。可根据结构单元的结构来命名，前面冠以“聚”字。

例如对苯二甲酸和乙二醇制备的聚合物叫聚（对苯二甲酸乙二酯），由己二胺和己二酸反应制备的叫聚己二酰己二胺等等。

- 有一些聚合物结构中已看不出单体来源了。更需要由聚合物的结构特征命名。

根据商品命名

➤ 有机化合物的命名很复杂，聚合物就更复杂了。

在商业生产和流通中，人们仍习惯用简单明了的称呼，并能与应用联系在一起。

例如：聚甲基丙烯酸甲酯---有机玻璃，

塑料类聚合物--酚醛树脂，脲醛树脂，醇酸树脂

有时也将聚氯乙烯--俗称氯乙烯树脂。

将橡胶类聚合物--加上后缀“橡胶”，

例如：丁二烯和苯乙烯共聚物--丁苯橡胶，

丁二烯和丙烯腈共聚物--丁腈橡胶，

乙烯和丙烯共聚物--乙丙橡胶等等。

根据商品命名

➤ 将纤维类的，在我国是用“纶”作后缀的

例如：聚对苯二甲酸乙二酯——涤纶，

聚 ω -己内酰胺——锦纶，

聚乙烯醇缩醛——维尼纶，

聚氯乙烯——氯纶，

聚丙烯腈——腈纶，

聚丙烯——丙纶。

根据商品命名

➤ 还有直接引用的国外商品名称音译，

例如：聚酰胺又称尼龙 (Nylon)，

聚己二酰己二胺----尼龙-66

(nylon-66)，

聚癸二酰癸二胺----尼龙-1010，

第一个数表示二元胺的碳原子数目，第二个数为二元酸的，因此尼龙-610则是己二胺和癸二酸的缩聚产物。

IUPAC的系统命名法

为避免聚合物命名中的多名或不确切，国际纯化学和应用化学联合会（International Union of Pure and Applied Chemistry）提出了以结构为基础的系统命名法，

- （1）确定聚合物的最小重复单元。
- （2）排好重复单元中次级单元的次序。
- （3）按小分子有机化合物的IUPAC命名法则来命名这个重复单元。
- （4）在此重复单元命名前加一个“聚”字。

IUPAC系统命名法的实例 (1)

聚环氧乙烷、 $-\text{[CH}_2\text{-CH}_2\text{-O]}_n\text{-}$ 。

聚乙二醇、 $-\text{[CH}_2\text{-O-CH}_2\text{]}_n\text{-}$ 。

聚氧乙醇、 $-\text{[O-CH}_2\text{-CH}_2\text{]}_n\text{-}$ 。

按原则 2 所排的次级单元为 $-\text{[O-CH}_2\text{-CH}_2\text{]}_n\text{-}$ ，

按原则 3 命名为氧化乙烯，

IUPAC命名，应叫聚氧化乙烯

(Polyoxyethylene) 。

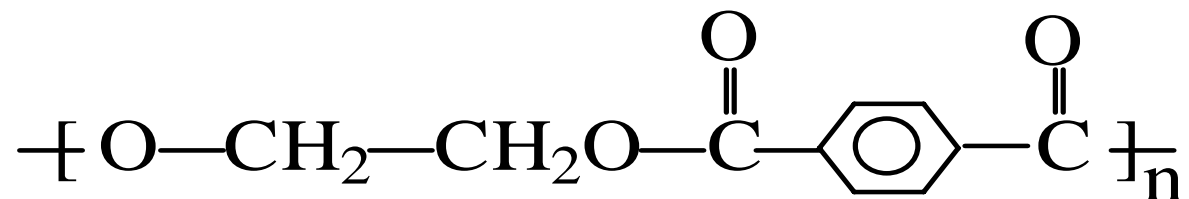
聚丁二烯、 $-\text{[CH=CH-CH}_2\text{-CH}_2\text{]}_n\text{-}$ ，

聚(1-次丁烯基)。

聚氯乙烯、 $-\text{[CHCl-CH}_2\text{]}_n\text{-}$ ，聚(1-氯代乙烯)。

IUPAC系统命名法的实例 (2)

聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)的重复单元应为:



- 称聚（氧化乙烯氧化对苯二甲酰）。
- 聚亚苯基苯并二噻唑的IUPAC命名： Poly{(benzo[1,2-d;4,5-d'] bisthiazole-2,6-diyl)-1,4-Phenylene}，聚{(苯并[1,2-并;4,5-并]二噻唑-2,6-二基)-1,4-亚苯基}。
- 按IUPAC命名比较严谨，但太繁琐。IUPAC不反对继续使用习惯命名。

合成高分子的制备方法

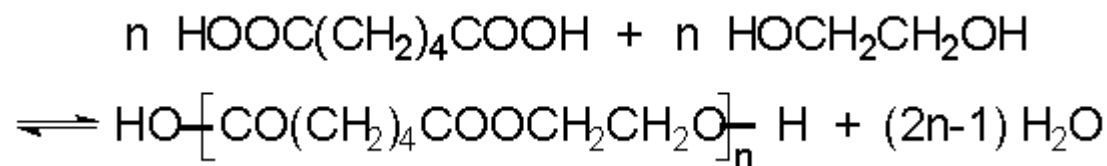
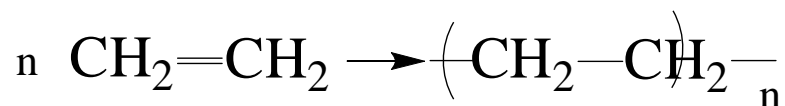
■ 由小分子化合物单体制备聚合物的反应主要分为三类，它们是缩合反应、加成反应和开环聚合。另一类是由一种聚合物经过适当的高分子反应也可转化为另一种高分子化合物。

■ 加聚反应 烯类单体通过加成而聚合起来的反应

■ 缩聚反应 单体通过官能团间的反应而形成高分子和排出小分子物质。

■ 开环聚合反应

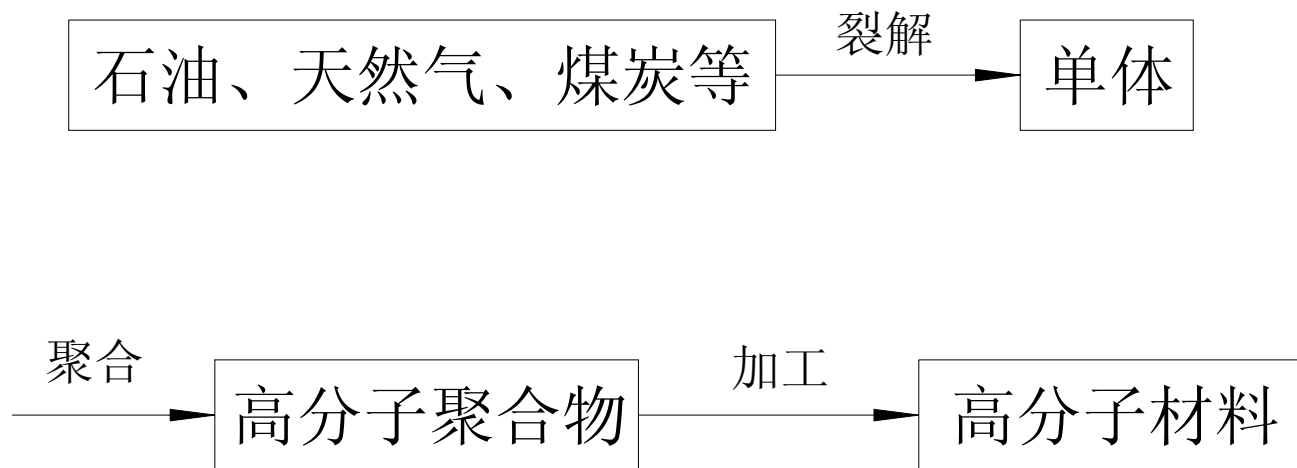
■ 高分子转化反应



聚合反应需要经历三个链引发、链增长和链终止三个过程。

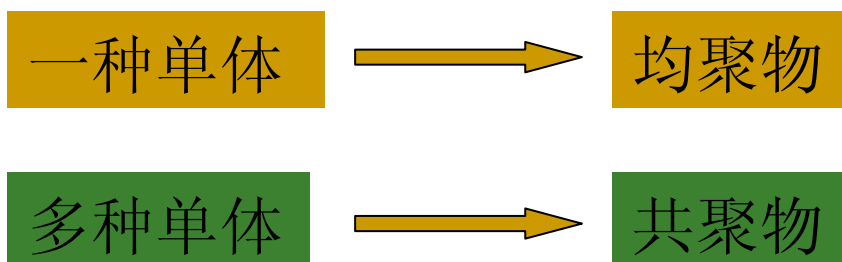
合成高分子的合成工艺

工艺流程如下：



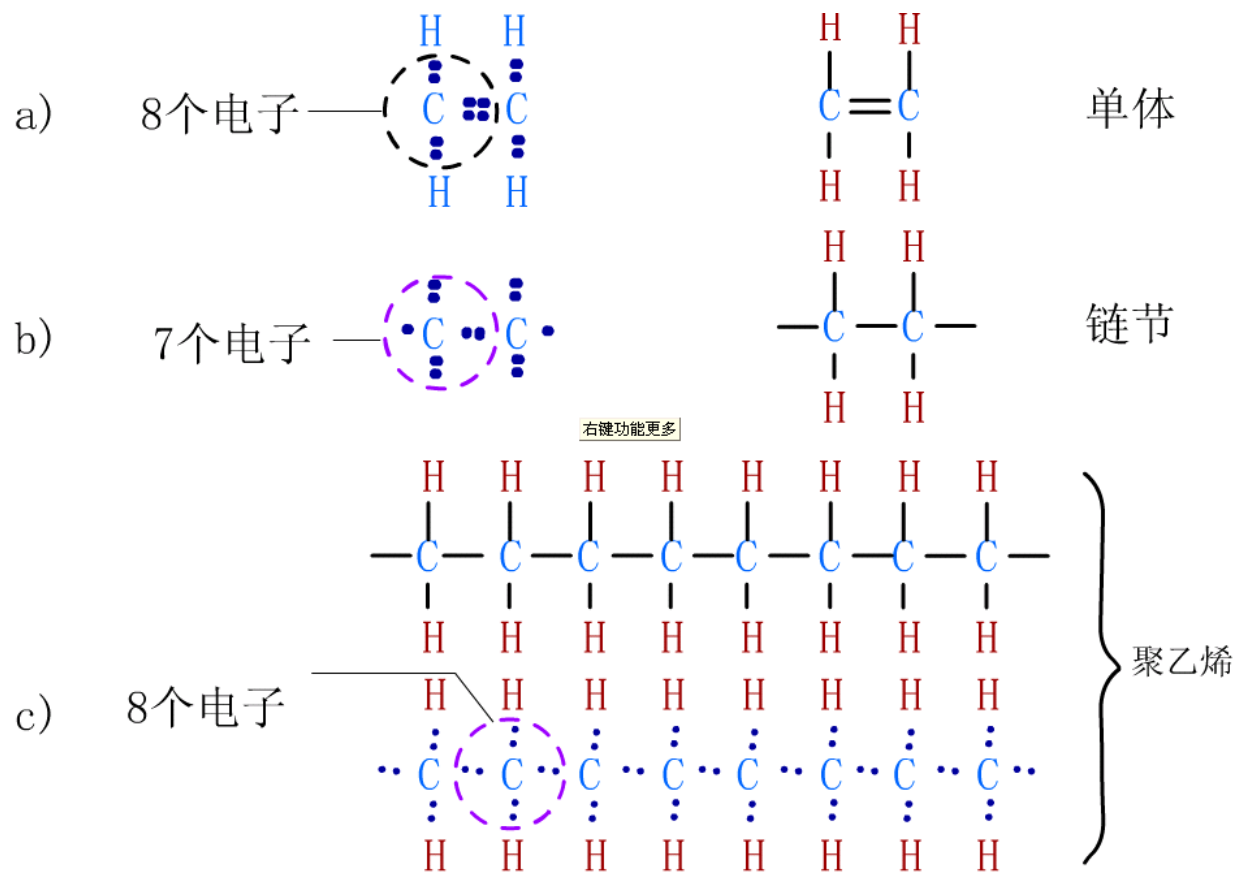
■ 加聚反应:

由不饱和低分子化合物相互加成或由环状化合物开环连接成大分子的反应。



高分子材料的合成反应

加聚反应:



■ 缩聚反应:

由具有两个以上官能团的低分子化合物聚合成高分子化合物，同时析出某些小分子物质(如水、氨、醇、氯化氢等)的反应。

一种单体



均缩聚

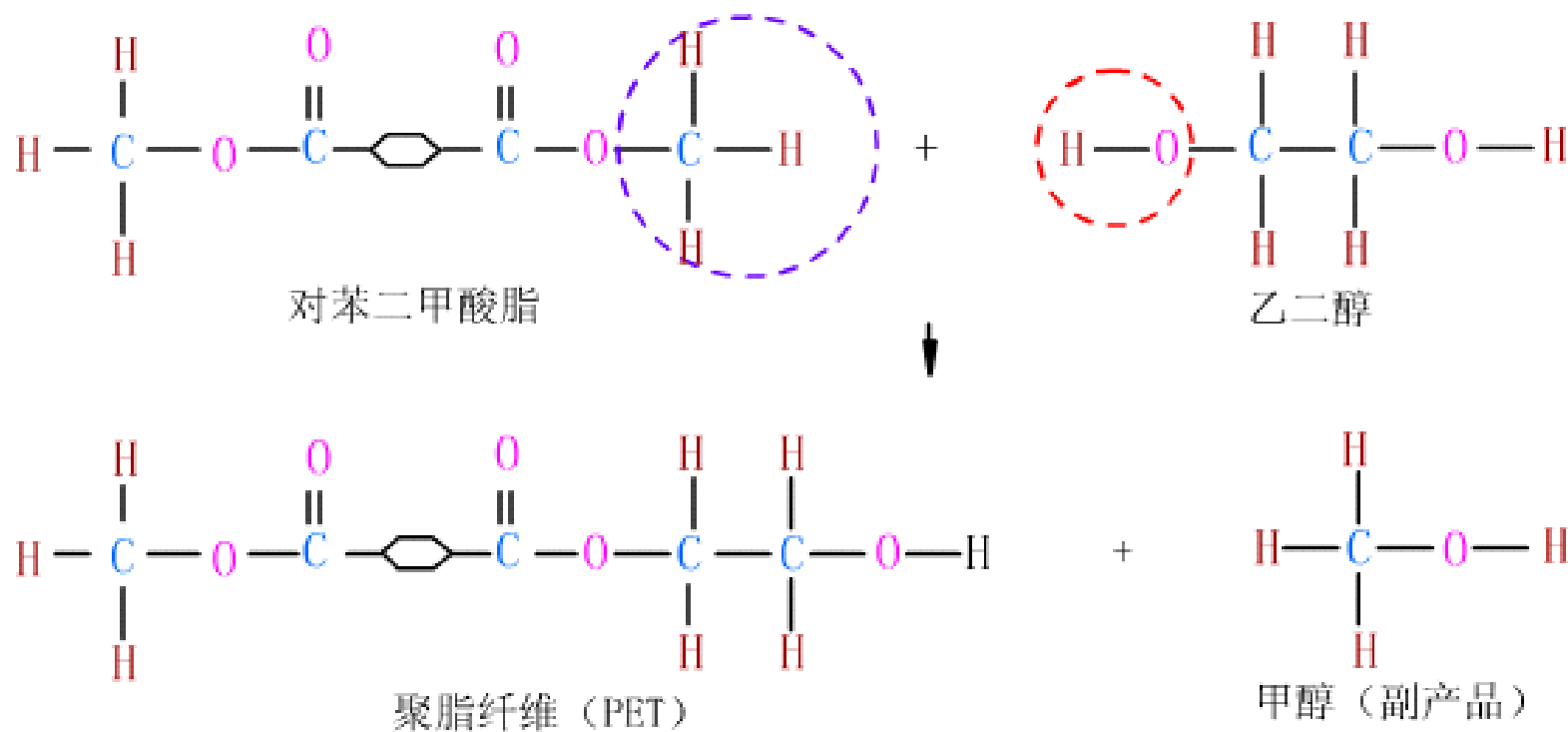
多种单体



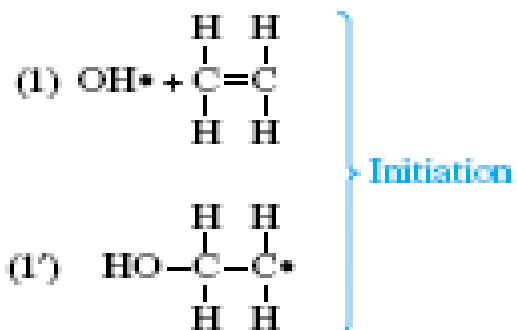
混缩聚、共缩聚

高分子材料的合成反应

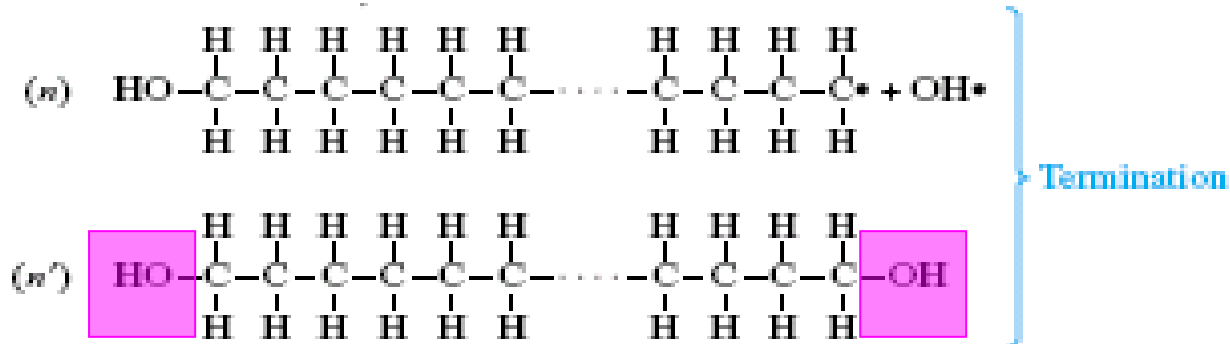
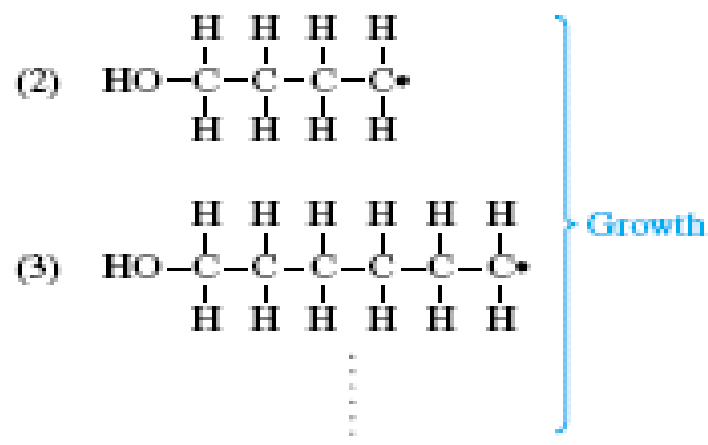
缩聚反应:



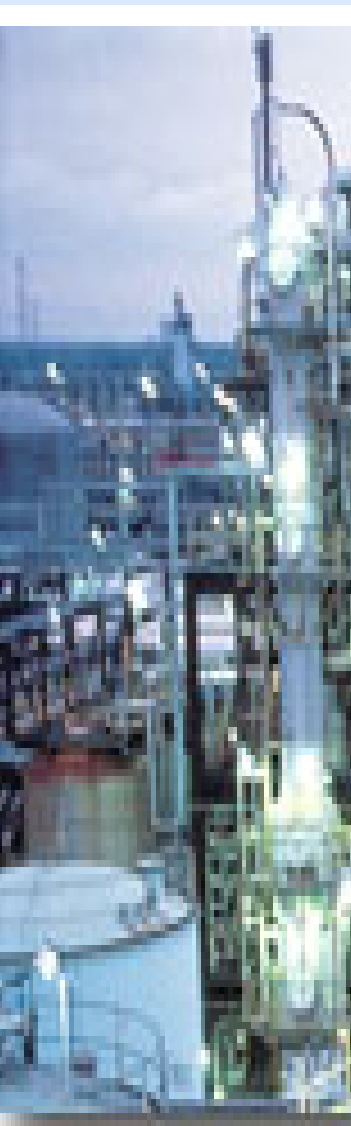
合成高分子的合成反应



高分子是有不同分子量的同系物所组成的“混合物”。



聚乙烯的生产现场图



高分子材料的加工工艺

■ 塑料

成型

注射成型（**注塑**）

定型的塑料制品

挤出成型（**挤塑**）

热塑性的塑料板材、棒材、管材、异型材、薄膜、电缆护层等

模压成型（**压塑**）

大型热固性工程塑料制品

吹制成型（**吹塑**）

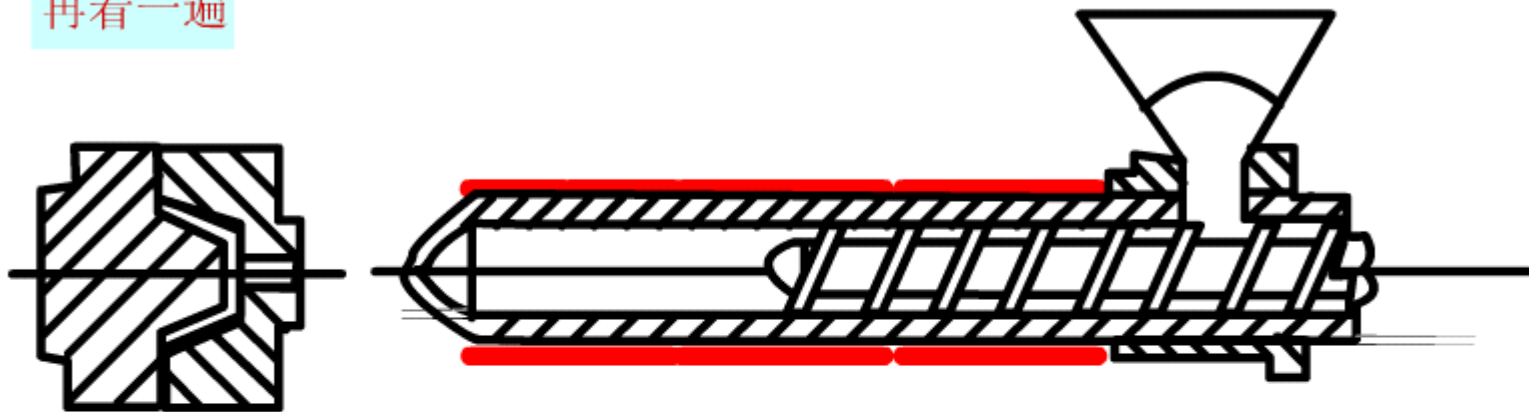
塑料中空制品或薄膜

浇铸成型（**铸塑**）

热固性工程塑料

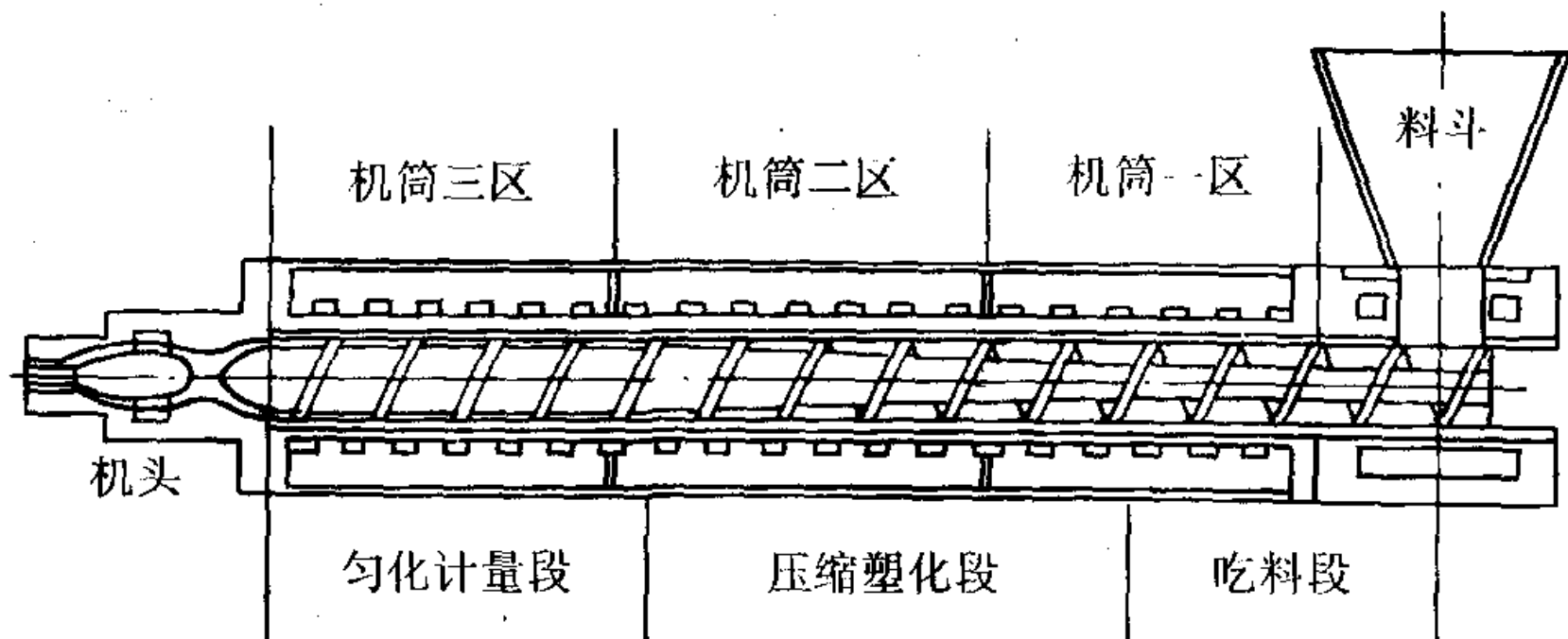
高分子材料的加工工艺

再看一遍



注塑成型示意图

高分子材料的加工工艺



螺杆挤出机结构示意图

高分子材料的加工工艺

■ 橡 胶

塑 炼 生胶塑炼后分子量降低、可塑性增加

混 炼 配合剂+生胶(塑炼胶) → 混炼胶

成 型 { 压延成型 片材(胶片)
 压出成型 轮胎的胎面、内胎、电线和电缆的外套以及各种异形断面的制品等

硫 化 线形链状结构 → 少量交联的网状结构

高分子材料的加工工艺

■ 纤维

纺丝 → 拉伸 → 热定型

纺丝原液制备 → 纺丝 → 初生纤维的后加工

熔体纺丝 熔体，空气中冷却

湿法纺丝 成纤聚合物溶解成纺丝原液，在凝固浴中冷凝

干法纺丝 在热空气套筒中使溶剂挥发

高分子的物理性能

在室温下，为什么有些高分子材料柔软而另外一些刚硬？



高分子的物理性能

■ 微观结构

- 链段的构象 (高分子的分子量及其分布空间排列方式)
- 链段的运动
- 链段的相互作用

■ 宏观性能

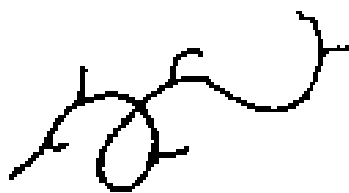
- 力学性能
- 结晶性能
- 热稳定性

热行为——热塑性与热固性

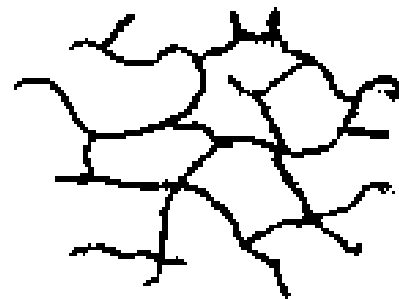
- **热塑性塑料**：塑料加工固化冷却以后，再次加热仍然能够达到流动性，并可以再次对其进行加工成型，也就是说具有良好的再加工性和再回收利用性，可重复循环。
- **热固性塑料**：塑料经过一次加热成型固化以后，其形状就因为分子链内部进行交联而使形状达到稳定，再次对其进行加热也不能让其再次达到粘流态，而对其进行再次加工成型，也就是说热固性塑料不具有再次加工性和再回收利用性。（由单体直接形成网状聚合物或通过交联线型预聚体而形成，一旦形成交联聚合物，受热后不能再回到可塑状态。制品不溶不融。）
- **优点**：质轻、电绝缘、耐化学腐蚀、易成形加工等；
- **缺点**：力学性能比金属材料差，表面硬度低，大多数品种易燃，耐热性差。



(a)



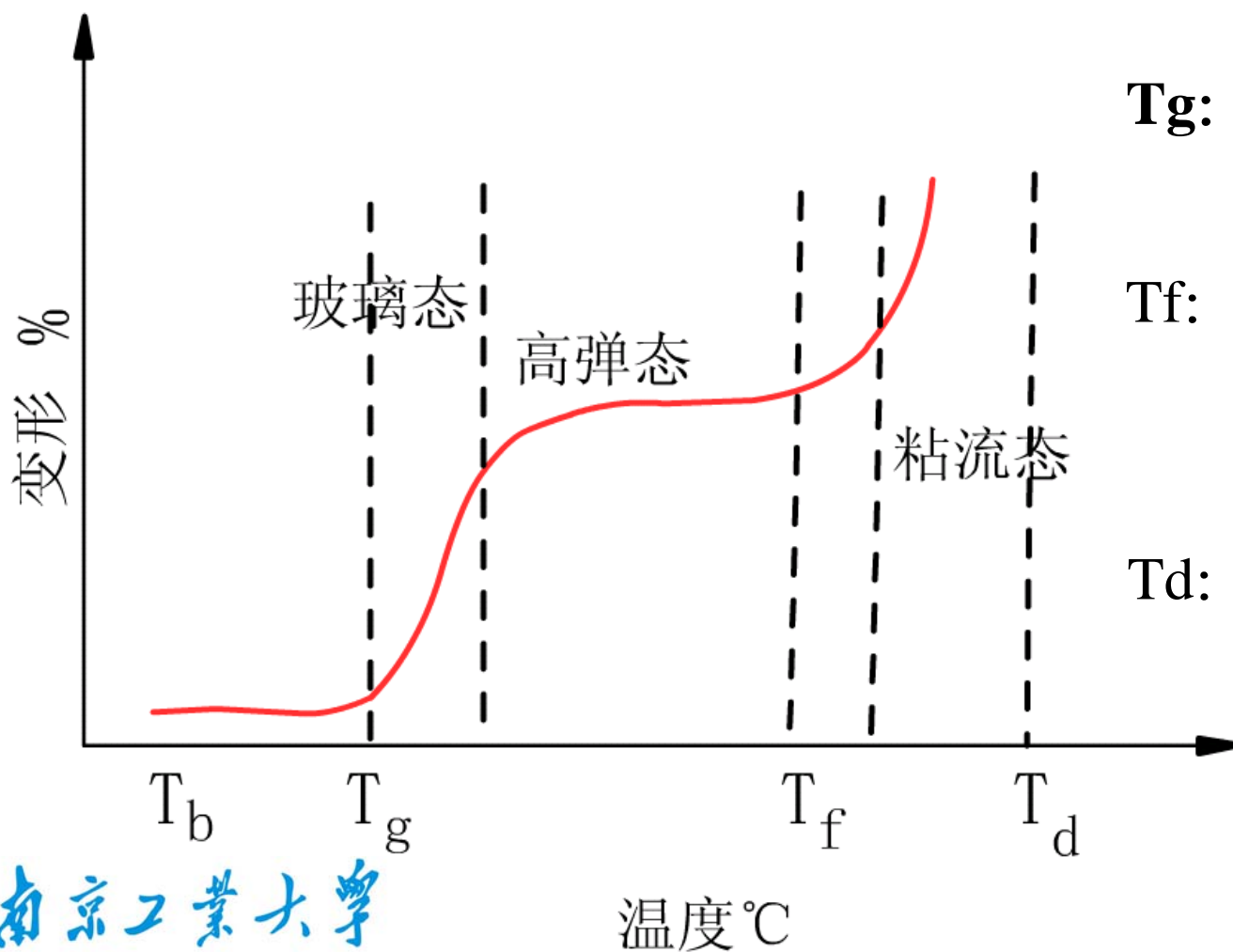
(b)



(c)

力学状态

玻璃态、高弹态和粘流态
称为聚合物的力学三态。



T_g: 玻璃化转变温度
或玻璃化温度

T_f: 高弹态与粘流态间的
转变温度—粘流
温度或软化温度

T_d: 主链发生断裂的化学
分解温度。

力学状态

■ 玻璃态 ($T < T_g$)

- 模量高、形变小。具有虎克弹性行为，质硬而脆
- 链段运动处于“冻结”状态，链节、侧基、原子等在其平衡位置附近做小范围振动。

■ 高弹态 (橡胶态 $T_g < T < T_f$)

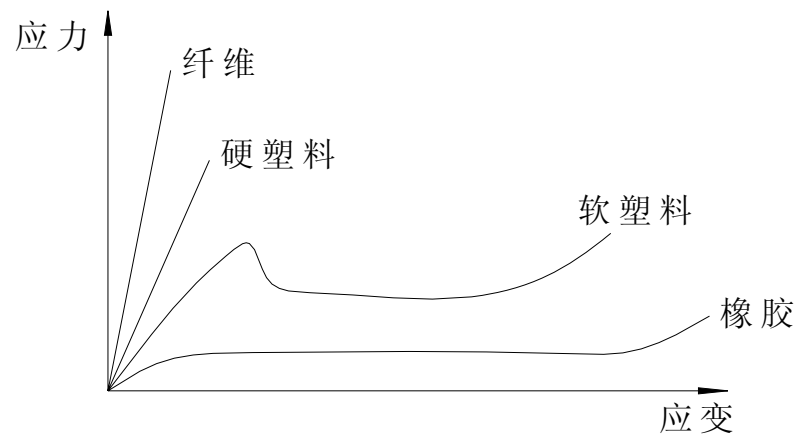
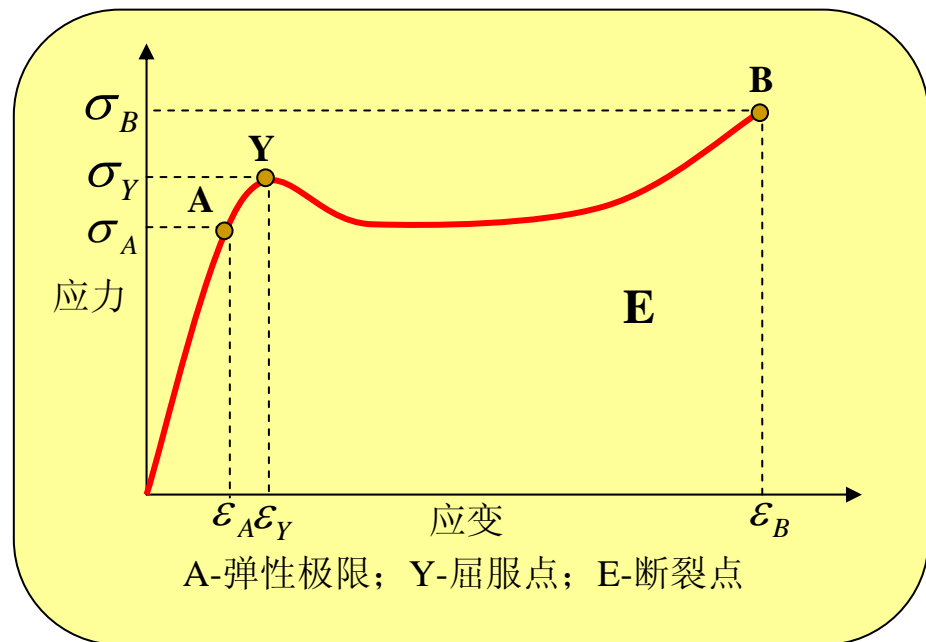
- 弹性变形,在较小应力下，即可迅速发生很大的形变，柔软而富有弹性，外力除去后形变可迅速恢复。
- 链段运动已充分发展。

■ 粘流态 ($T > T_f$)

- 粘性流动，不可逆变形
- 整个分子链的移动

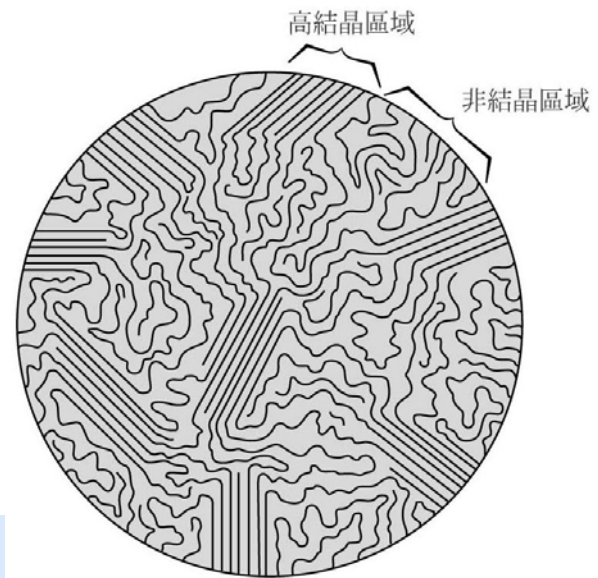
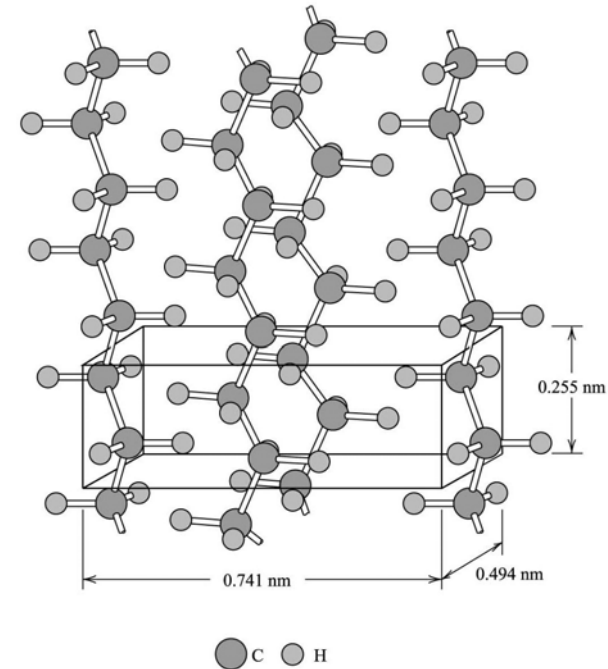
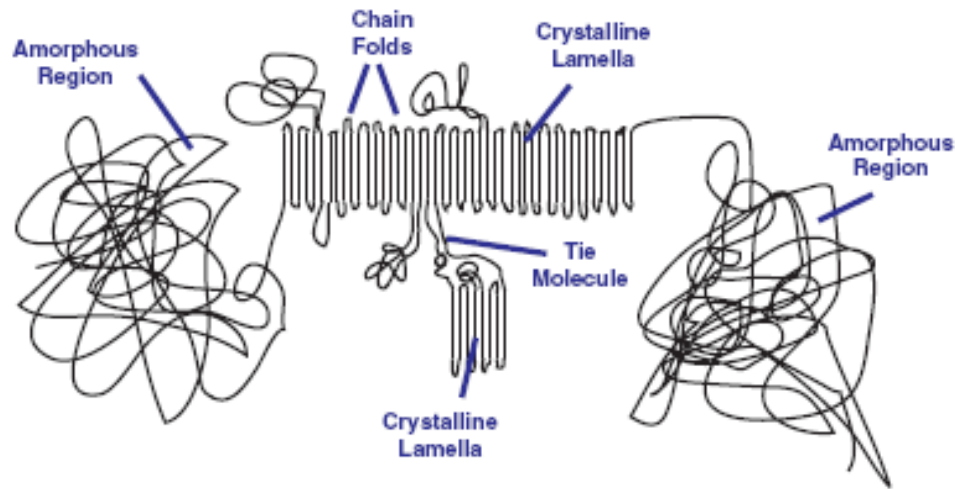
聚合物的典型应力-应变曲线

- ▲ 弹性形变(开始~A点)
服从虎克定律, 具有普弹性能;
运动单元: 键长、键角;
 ϵ_A 为弹性伸长极限。
- ▲ 强迫高弹形变(A点~E点)
大形变, 加热可使形变恢复;
 ϵ_Y : 高聚物对抗永久形变的能力;
运动单元: 链段。
- ▲ 应变硬化
分子链取向排列, 强度提高
运动单元: 链段、大分子链。

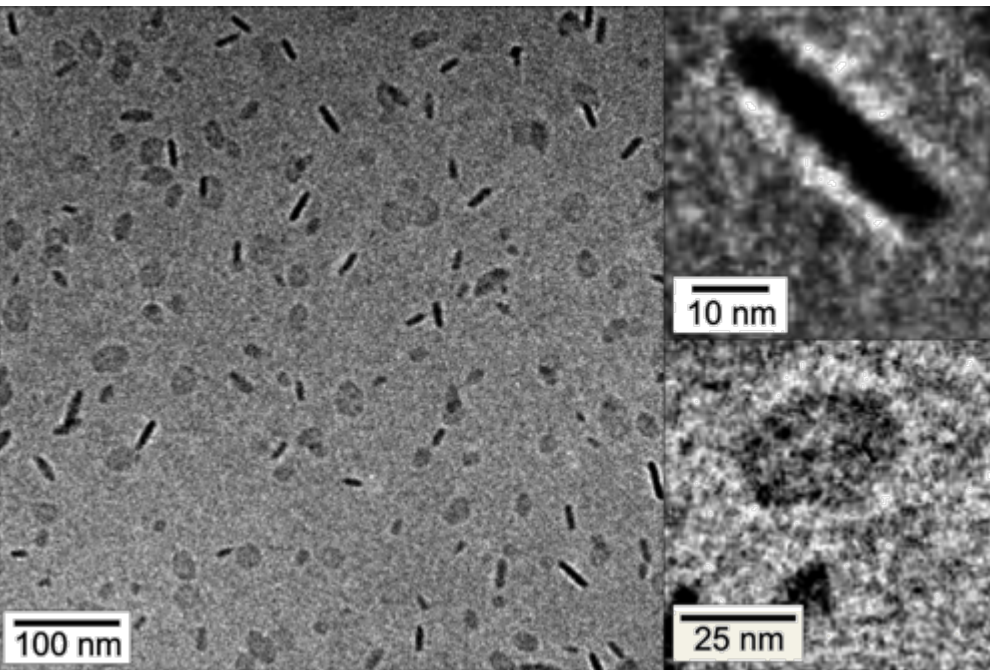


高分子的结晶

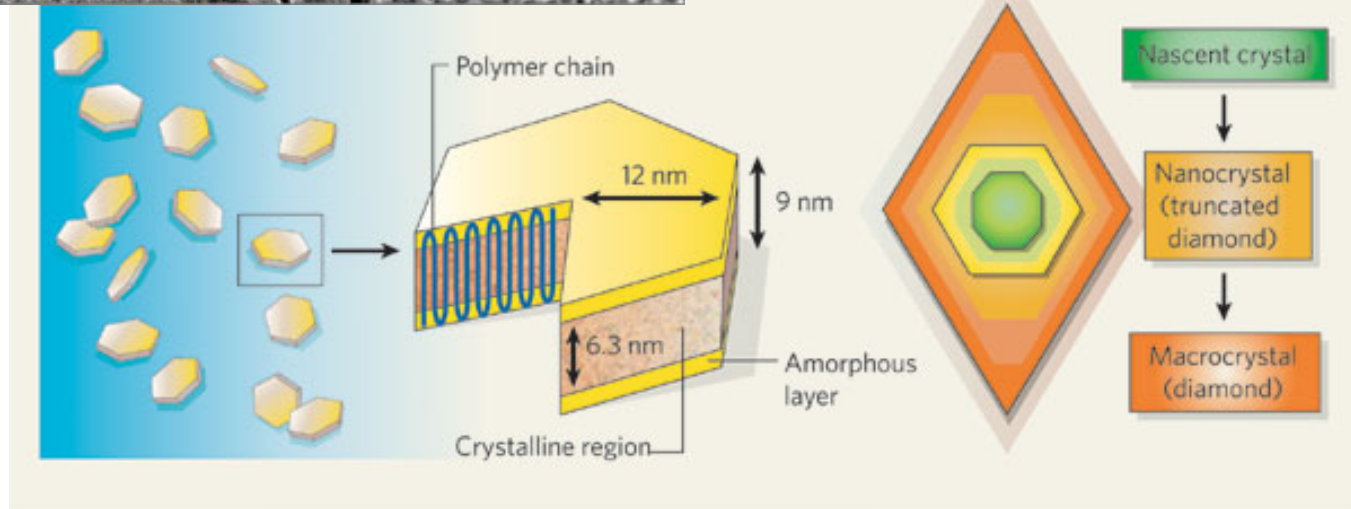
高分子结晶有别于小分子无机物的结晶。高分子结晶是高分子链段折叠有序化的一个过程。通常无法获得100%完美结晶高分子。



目前最小的聚合物晶体



Polyethylene (PE) nanoparticles with a hexagonal shape (lateral size 25 nm, thickness 9 nm) were synthesized and stabilized in water under very mild conditions (15 °C, 40 atm) by a nickel-catalyzed polymerization in aqueous solution.



几种典型的高分子材料

- 聚乙烯
- 聚氯乙烯
- 聚苯乙烯
- 氟塑料
- 合成纤维

聚乙烯制品



聚乙烯(PE-Polyethylene)

聚乙烯 - 1939年开始工业化生产，目前产量最大，应用最广泛。

低密度聚乙烯（LDPE）在各种聚乙烯中产量最大，主要生产薄膜（制造食品袋、垃圾袋、大棚膜等）；约10%用于生产注塑用品。

线型低密度聚乙烯（LLDPE）主要用于生产薄膜，厚度比低密度聚乙烯更薄，制品性能更好。用于生产扁丝，制造编织袋。



聚乙烯

■ 高密度聚乙烯

- 注塑制品：工业容器、家用器皿、玩具等。
- 中空吹塑制品：食品、药品、化妆品的包装瓶等。
- 薄膜制品（约占20%）：大量用于食品包装。

聚乙烯管材

应用领域主要有：生活用水和煤气管道、农业排灌用管道以及圆珠笔内的油墨管子等。

特点 质轻、坚韧耐磨，力学性能良好，使用寿命长，施工安装简便，输送阻力小、安全可靠，铺设费用低。

聚乙烯



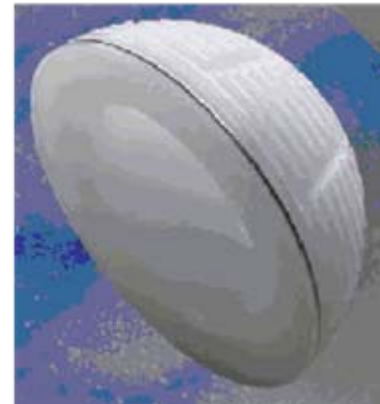
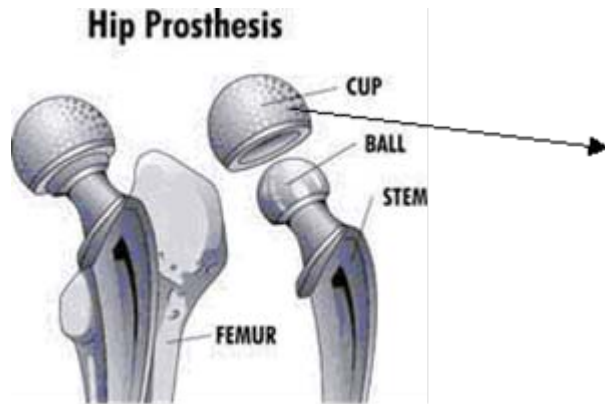
燃气用埋地聚乙烯(PE)管

给水用HDPE管



聚乙烯

- 超高分子量聚乙烯（UHMWPE）——可作为工程塑料
 - 在汽车、机械、原子能以及宇宙飞行等领域得到重要应用。
 - 具有优异的耐冲击和自润滑性，耐腐蚀、抗磨损、不粘着等特性。可作齿轮、轴套、滑板、储罐衬里等。



聚氯乙稀(PVC- polyvinyl chloride)



聚苯乙烯 (PS-polystyrene)



PS保温板



PS光纤



氟塑料

聚四氟乙烯（PTFE- Polytetraflouroethylene）。1950年首先由杜邦公司投产。有“塑料王”之称。是高结晶度聚合物。

无熔融态，分解温度 400°C ，可在 260°C 以下长期使用，耐低温达 -200°C 。

力学性能优异，光滑不粘，摩擦系数极小，具有自润滑性。

耐化学腐蚀性极强，耐强酸、强碱、有机溶剂，能耐王水及沸腾的氢氟酸。具有塑料中最好的电绝缘性能。

用于化工机械和容器的防腐、耐磨密封、电绝缘等。



合成纤维

- 涤纶
- 尼龙（锦纶）
- 聚丙烯腈（腈纶、人造羊毛）



高分子的应用



高分子材料应用极为广泛

应用 防弹背心、火箭发动机外壳、导弹壳体

阿波罗登月飞船软着陆降落伞绳、直升飞机吊绳、人造卫星电子部件等等。

讨论:

也请同学们举一些例子。

想象一下现代生活如果没有高分子材料，如何？

保鲜膜

■ 性能要求

☐ 保鲜、保洁、自粘

☐ 安全、无毒

■ 市场上的保鲜膜

☐ 聚乙烯（PE）、聚氯乙烯（PVC）、偏聚氯乙烯及其他材质



聚合物光盘基片



■ 性能要求

□ 高的透光率、光学纯度、尺寸稳定性和热变形温度，较好的机械性能和加工性能、低的双折射和成本等。

■ 主要材料:

□ 聚碳酸酯、聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）、改性双酚A环氧树脂、非晶态聚烯烃等

功能高分子材料

医用高分子

导电高聚物

液晶高分子

智能聚合物

高吸水性树脂等

■ 医用高分子

- 人工生物体软组织

- 人工生物体硬组织

■ 药用高分子

- 高分子药物

- 高分子载药体系

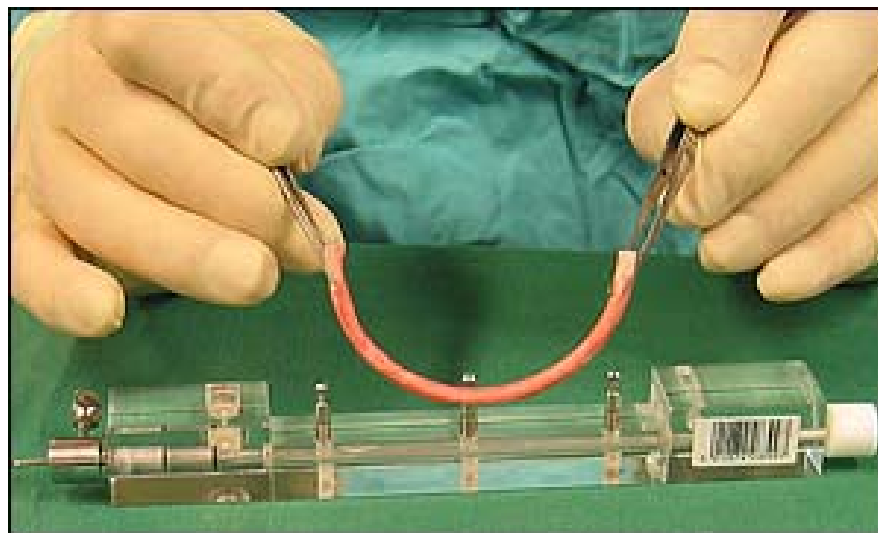
■ 医疗器械与诊断材料

生物医用高分子

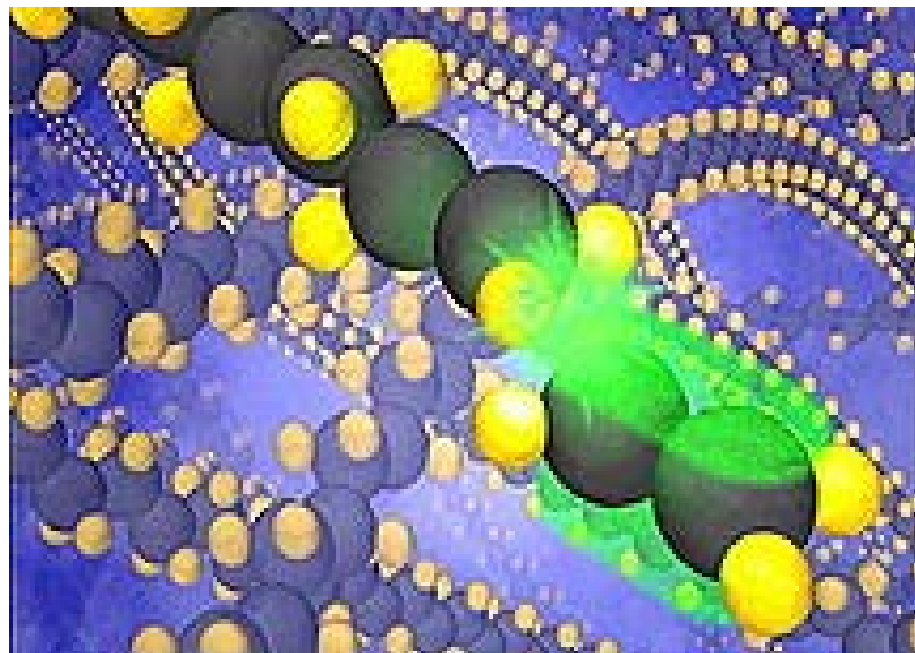
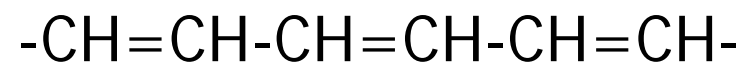
医用修复材料 龋齿密封材料、外科缝合线、
高分子绷托、 眼球人工玻璃体、 隐形眼镜

人工脏器 人造皮肤、人工骨、肌肉腱、角膜、喉、食道、人
工肺、肾、肝、心脏等。

在美国，每年有几百万件人工器件或修复材料
植入病人体内。



■ 共轭结构



导电高聚物应用前景

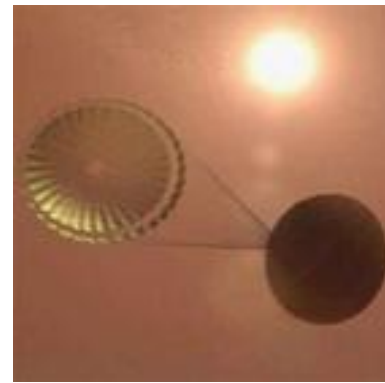
- 二次电池、太阳能电池
- 传感器
- 电磁屏蔽材料
- 隐身材料
- 金属防腐

液晶高分子材料

强度和模量极高

液晶 - 既具有液体的流动性，又有晶体的各向异性。

- 为什么液晶高分子的强度极高？
- 为什么尼龙的强度高于普通的高分子材料？



聚合物分离膜



■ 超滤膜 - 污水处理

食品浓缩、灭菌

药物精制、浓缩，血液过滤等

■ 反渗透膜 - 大规模海水和苦咸水的淡化

制备医药、电子工业用无菌、去离子

和超纯水、气体分离膜等等

高分子材料的可持续性发展

- 废弃物的环境污染
- 可降解聚合物
 - ☐ 部分降解
 - ☐ 完全降解
- 回收利用技术



高分子未来的发展方向

- **生态化** 注意环保与可持续生产、可生物降解以及回收利用，利用淀粉多糖等生物质生产高分子；
- **功能化** 注重光、电、声、磁等功能型高分子的开发；
- **复合化** 不仅与无机材料复合，高分子之间也要复合，探索复合新技术和新工艺；
- **可设计** 在不同层次上的设计，分子设计、组成设计、结构设计、性能设计等多层次全方位的设计。

常见高分子的英文简称

聚合物	英文名称	英文缩写
聚乙烯	Polyethylene	PE
聚丙烯	Polypropylene	PP
聚异丁烯	Poly(iso-butylene)	PIB
聚苯乙烯	Polystyrene	PSt
聚氯乙烯	Polyvinyl chloride	PVC
聚偏氯乙烯	Polyvinylidene chloride	PVDC
聚氟乙烯	Polyvinyl fluoride	PVF
聚四氟乙烯	Poly(tetra-fluoro-ethylene)	PTFE
聚丙烯酸	Polyacrylic acid	PAA
聚丙烯酰胺	Polyacrylamide	PAM
聚丙烯酸甲酯	Polymethacrylate	PMA
聚甲基丙烯酸甲酯	Polymethyl methacrylate	PMMA

常见高分子的英文简称

聚合物	英文名称	英文缩写
聚丙烯腈	Polyacrylanitrile	PAN
聚乙酸乙酯	Polyvinyl acetate	PVAc
聚乙烯醇	Polyvinyl alcohol	PVA
聚丁二烯	Polybutadiene	PB
聚异戊二烯	Polyisoprene	PIP
聚醚	Polyether	
聚甲醛	Polyoxy methylene	POM
聚酯	Polyester	
涤纶	Polyethylene terephthalate	PET
聚碳酸酯	Polycarbonate	PC
聚酰胺, 尼龙	Polyamide, Nylon	PA
聚氨酯	Polyurethane	PU