



塑料制品成型制作工
职业技能鉴定培训教程

塑料制品成型基础知识

何震海 常红梅 主编

紧密结合生产实际

面向国家职业资格培训



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

塑料制品成型制作工职业技能鉴定培训教程

塑料制品成型 基础知识

何震海 常红梅 主编



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

塑料制品成型基础知识/何震海, 常红梅主编. —北京: 化学工业出版社, 2006.3

塑料制品成型制作工职业技能鉴定培训教程
ISBN 7-5025-8337-8

I. 塑… II. ①何…②常… III. 塑料成型-技术培训-教材 IV. TQ320.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 014218 号

丛 书 名 塑料制品成型制作工职业技能鉴定培训教程
书 名 塑料制品成型基础知识
主 编 何震海 常红梅
责任编辑 赵丽霞
责任校对 于志岩
封面设计 于 兵

出版发行 化 学 工 业 出 版 社
工业装备与信息工程出版中心
地 址 北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029
购书咨询 (010)64982530
(010)64918013
购书传真 (010)64982630
网 址 [http: www. cip. com. cn](http://www.cip.com.cn)
经 销 新华书店北京发行所
印 刷 北京云浩印刷有限责任公司
装 订 三河市宇新装订厂
开 本 720mm×1000mm 1/16
印 张 12 $\frac{3}{4}$
插 页 2
字 数 232 千字
版 次 2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月北京第 1 次印刷
书 号 ISBN 7-5025-8337-8
定 价 24.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

**《塑料制品成型制作工职业技能鉴定培训教程》
编写委员会**

主 任： 赵丽梅

副主任： 何震海

**委 员： 赵丽梅 何震海 陈青葵 王艳芳
常红梅 郝连东 卢金重 史兆侠**

化学工业出版社图书推荐

为配合企业对仪表技术工人进行职业技能鉴定及培训,根据国家有关部门职业技能鉴定标准,结合企业技术工人的现状,现推荐化学工业出版社出版的一批培训教材。

《化工工人岗位培训读本	乙烯生产工》	18.00 元
《化工工人岗位培训读本	磷肥生产工》	25.00 元
《化工工人岗位培训读本	合成橡胶生产工》	28.00 元
《化工工人岗位培训读本	硝酸铵生产工》	15.00 元
《化工工人岗位培训读本	合成氨生产工》	26.00 元
《化工工人岗位培训读本	聚酯生产工》	18.00 元
《职业技能鉴定培训教程	油品储运操作工(初级)》	23.00 元
《职业技能鉴定培训教程	油品储运操作工(中级)》	23.00 元
《职业技能鉴定培训教程	油品储运操作工(高级)》	26.00 元
《职业技能决定培训教程	固体包装工》	33.00 元
《催化裂化装置培训教程(中级 高级)》		38.00 元
《催化裂化装置培训教程(技师 高级技师)》		50.00 元
《氨汽提尿素生产工艺培训教材》		62.00 元
《生产现场伤害与急救》		23.00 元
《工伤认定与待遇给付实例剖析》		29.00 元
《企业班组管理攻略》		28.00 元

要了解以上图书的内容简介和详细目录,请浏览我们网站:<http://www.cip.com.cn>

各大书店均有销售 也欢迎直接向出版社邮购(邮费为书价的10%)

地址: (100029)北京市朝阳区惠新里3号 化学工业出版社
邮购:010-64918013,64982530 编辑:010-64929961(赵丽霞)
营销:010-64982532(段志兵)

前言

中国塑料工业经过长期的奋斗和面向全球的开放,已形成门类较齐全的工业体系,成为与钢材、水泥、木材并驾齐驱的基础材料产业,作为一种新型材料其使用领域已远远超越上述三种材料,中国目前已进入世界塑料制造大国行列,中国的塑料企业已具备一定的实力参与国际竞争,面向未来,形势喜人。为了适应塑料工业建设发展的需要,企业需要加快培养塑料工业后备的技术工人,因此建设一支以在职中、高级技术工人为主体的,技术结构比较合理,具有较高政治、文化、技术素质的工人队伍的任务迫在眉睫。为了便于做好技术工人技能鉴定的培训工作,弥补塑料制品成型制作工职业技能鉴定培训教材的空白,化学工业出版社组织编写了《塑料制品成型制作工职业技能鉴定培训教程》系列丛书。具体包括《塑料制品成型基础知识》、《挤出成型》、《注塑成型》、《中空吹塑》和《压延及其它特殊成型》。

在编写的过程中参考中国石化集团公司颁布的《塑料制品成型制作工技能鉴定培训工人技术等级标准》,在该标准中的初、中、高级工人应知应会的要求基础上,增加了成型设备、新技术、新工艺、新材料、设备维护保养、劳动保护与安全生产等知识。

本书是《塑料制品成型制作工职业技能鉴定培训教程》之基础篇,介绍了塑料高聚物的定义、分类及特性等基本概念,阐述了高聚物结构与特性的关系;塑料制品成型中常用的热塑性通用合成树脂以及热塑性工程塑料的种类;塑料制品成型中常见的添加剂的分类、化学结构及作用;塑料的成型特性及加工流变性能,阐述了塑料在成型过程中的物理、化学变化及目前的加工理论基础;塑料初混合的设备及混合机理,并且介绍了目前工业上采用的先进的配混工艺及配混方法;塑料成型的主要方法和成型机理,并且介绍了近几年出现的成型新技术、新工艺的内容以及成型加工的发展方向。

本书共分六章,其中第2章、第5章及第6章由何震海编写,第1章、第3章、第4章由常红梅编写。全书由何震海统稿,赵丽梅审稿。

本书适用于塑料制品成型制作工技能鉴定培训和在职的初、中、高级技术工人的岗位培训,可以作为中、高等职业院校、技工学校塑料工艺专业教材,也可以作为具有初中以上文化程度的技术工人的自学教材。

由于编者水平所限,书中不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2006年2月

目录

第1章 基本概念	1
1.1 高聚物的基本概念	1
1.1.1 高聚物的定义	1
1.1.2 高聚物的分子量及分子量分布	2
1.2 高聚物的分类	3
1.3 高聚物的结构与特性	4
1.3.1 高聚物的结构	4
1.3.2 高聚物的特性	11
思考与练习	11
第2章 塑料用高聚物	13
2.1 通用塑料	13
2.1.1 塑料的类型与特性	13
2.1.2 塑料的组成及其作用	14
2.1.3 塑料的成型加工方法	16
2.2 热塑性通用合成树脂	18
2.2.1 聚氯乙烯	18
2.2.2 聚乙烯	22
2.2.3 EVA等乙烯共聚物树脂	28
2.2.4 聚丙烯	32
2.2.5 聚苯乙烯	36
2.2.6 ABS等苯乙烯共聚类树脂	39
2.3 热塑性工程塑料	43
2.3.1 聚甲基丙烯酸甲酯	43
2.3.2 聚碳酸酯	44
2.3.3 聚酯	48
思考与练习	51
第3章 塑料助剂概述	52
3.1 塑料助剂的类别及其作用	52
3.1.1 塑料助剂的定义	52
3.1.2 塑料助剂的分类	52

3.1.3 助剂在塑料成型加工中的作用	53
3.1.4 选用助剂的基本要求	54
3.2 提高加工性能的助剂	55
3.2.1 增塑剂	55
3.2.2 加工改性剂	62
3.3 稳定化助剂	65
3.3.1 热稳定剂	65
3.3.2 光稳定剂	69
3.3.3 抗氧化剂	73
3.4 提高力学性能的助剂	75
3.4.1 填充剂	76
3.4.2 抗冲击剂	80
3.5 改进制品表面性能的助剂	81
3.5.1 润滑剂	81
3.5.2 活性剂	83
3.5.3 脱模剂	87
3.6 其它助剂	88
3.6.1 着色剂	88
3.6.2 阻燃剂	91
思考与练习	93
第4章 塑料的配制与混合	94
4.1 概述	94
4.2 塑料的混合	94
4.2.1 混合机理	95
4.2.2 塑料混合状态的判定	96
4.2.3 混合方法	102
4.2.4 混合设备	104
4.3 塑料的干燥及输送	112
4.3.1 塑料的干燥	112
4.3.2 塑料的输送	115

4.4 溶液的配制	117
4.4.1 组成及选择	117
4.4.2 聚合物的溶解	118
4.4.3 溶液的制备工艺	118
思考与练习	119
第5章 塑料成型加工理论基础	120
5.1 概述	120
5.2 塑料的成型性能	120
5.2.1 塑料的可挤压性	122
5.2.2 塑料的可模塑性	123
5.2.3 塑料的可延展性	124
5.2.4 塑料在成型过程中的黏弹行为	125
5.2.5 塑料的黏弹性变形与成型条件的关系	125
5.2.6 黏弹性变形的滞后效应	127
5.3 聚合物熔体的流变性质	128
5.3.1 聚合物熔体的流变行为	128
5.3.2 影响聚合物熔体流变行为的主要因素	132
5.3.3 聚合物熔体在流动过程中的弹性行为	135
5.4 聚合物的加热和冷却	139
5.5 塑料在成型过程中的物理和化学变化	141
5.5.1 聚合物的结晶	142
5.5.2 成型过程中的取向	146
5.5.3 成型过程中聚合物的降解	151
5.5.4 成型过程中聚合物的交联	155
思考与练习	157
第6章 塑料成型概述	158
6.1 塑料成型工业	158
6.1.1 塑料成型加工	158
6.1.2 塑料成型工业的过去和未来	160
6.2 塑料成型的主要方法	162

6.2.1 挤出成型	162
6.2.2 注塑成型	168
6.2.3 气动成型	171
6.2.4 压缩成型	174
6.2.5 压注成型	174
6.3 塑料成型的进展	175
6.3.1 塑料成型理论的研究	175
6.3.2 改革创新成型工艺	175
6.3.3 塑料制件的精密化、微型化和超大型化	175
6.3.4 新材料、新技术、新工艺的研制、开发与应用	176
6.3.5 模具的专业化与标准化	177
思考与练习	177
附录1 树脂及塑料英文名称惯用缩写代号	178
附录2 常用塑料的物理性能、热解变化、溶解性和其它实验特征	插页
附录3 塑料制品成型制作工等级标准(中石化)	185
参考文献	192

高分子合成材料正在逐渐地与其它各种材料如：木材、陶瓷、棉、毛、麻等并驾齐驱，在各种工业部门获得日益广泛的应用。同时，对其它新技术的发展作出很大的贡献。

高分子合成材料之所以能得到这样广泛的应用，除了由于其原料来源广泛外，主要是因为它具有很多的优良性能。例如，塑料质地轻盈，可以制成各种日常用品；工程塑料不仅具有较高的强度，有的还具有耐磨性好，阻力系数低的特点；有的塑料还具有优良的吸震和消声作用等，除了以上这些优良性能外，高分子材料还有很好的加工性能。

高聚物之所以具有如此优良的使用和加工性能是由于高聚物的内在因素——大分子的内外结构所决定的。高聚物的物理性能是大分子运动的宏观表现，例如：机械力场作用下的分子运动，表现为高聚物的力学性能；热力场作用下的分子运动，表现为高聚物的热性能；分子力场的分子运动，表现为高聚物的溶液性质；等等。因此搞清高聚物的结构是了解分子运动的基础。所以，研究高聚物的结构，了解分子内和分子间相互作用的本质，就能够了解分子运动的实质，从而建立起微观及亚微观的结构与宏观的性能之间的联系。为掌握现有高聚物的性能规律并能正确地选用，必须从结构入手，认识其结构与性能之间的关系。为了对现有的高聚物进行改性或针对特定的性能要求，合成出相应结构的新型高聚物，也必须对结构和性能有一个深入的了解。总之，结构和性能的研究是沟通高分子合成、改性、加工和应用的桥梁。

1.1 高聚物的基本概念

1.1.1 高聚物的定义

所谓高聚物是指具有聚集态结构的高分子化合物。聚集态结构就是许多高分子聚集成高聚物时，高分子链间相互堆砌排列的状态。高分子化合物是由成千上万个原子通过化学键连接而成的大分子所组成的化合物。

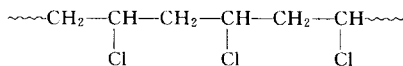
1.1.2 高聚物的分子量及分子量分布

高聚物的分子量是组成高聚物的各原子的原子量的总和。高聚物最根本的特点是其分子量很大，一般总在一万以上，而低分子物的分子量都低于一千。

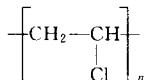
高聚物主要用作材料，材料的基本要求是强度。高聚物的强度与分子量密切相关。根据研究，初具强度的高聚物有一个最低的临界分子量，否则就不能叫做高聚物。例如聚碳酸酯的临界相对分子质量为 1.1 万；聚异丁烯为 1.7 万；聚苯乙烯为 3.5 万。因此在高聚物合成、成型加工、应用等科学技术中，分子量总是需要考虑的重要指标。

虽然高聚物的分子量很大，构成的原子数成千上万，但其每一个高分子大都由许多相同的、简单的结构单元通过化学键（主要是共价键，也有离子键或金属键）重复连接而成，所以高分子的基本结构是比较简单的。

通常将形成高聚物的低分子原料叫做单体。由一种单体形成的高聚物叫做均聚物。例如聚氯乙烯是由氯乙烯单体形成的均聚物，其结构式为：



为方便起见，可简写为：



其中 $\text{—CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}\text{—}$ 是聚氯乙烯高分子链的基本结构单元，简称结构单元。高分子结构单元的数目叫做聚合度。对于聚氯乙烯来说，它的结构单元又是它的高分子链的重复结构单元，简称重复单元。重复单元是高分子链中的一节，所以叫做链节。

低分子化合物一般有固定的分子量，例如水的相对分子质量是 18，但高聚物却是分子量不等的同系物的混合物。这种高聚物分子量大小不均一的特性，称为高聚物分子量的多分散性。这就导致高聚物具有分子量分布范围，以准确地表征高聚物的分子量。例如相对分子质量为 10 万的聚氯乙烯，可能由相对分子质量从 2 万到 20 万不同大小的聚氯乙烯高分子混合组成。因此高聚物的分子量或聚合度是一平均值。

根据采用的统计方法不同，高聚物的平均分子量主要分为数均分子量、重均分子量、Z 均分子量和黏均分子量。正是由于统计平均的方法不同，所得到的同一高聚物的平均分子量也不同。

高聚物的分散指数，通常将重均分子量 (M_w) 和数均分子量 (M_n) 的比值

作为衡量高聚物分子量多分散性的尺度，称为多分散指数，常用 HI 来表示。即： $HI = M_w / M_n$ 。

高聚物分子量的多分散程度，通常用“分子量分布”表示。如图 1-1 所示是两种典型高聚物的分子量分布曲线。

图 1-1 中曲线 1 表示高聚物分子量多分散性小；曲线 2 表示高聚物分子量多分散性大。除了平均分子量外，分子量分布也是影响高聚物性能的重要因素之一。低分子部分将使高聚物强度降低，分子量过高的部分又使成型加工时塑化困难。不同高分子材料应有其合适的分子量分布。合成纤维的分子量分布宜窄，而合成橡胶的分子量分布则不妨较宽。

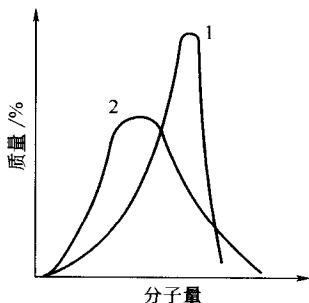


图 1-1 分子量分布曲线

高聚物分子量和分子量的分布又可作为加工过程中各种工艺条件选择的依据。例如，加工温度的选择、成型压力的确定以及加工速度的调节等。此外，分子量分布的测定还可以为聚合反应的机理及其运动学以及老化过程等研究提供必要的信息。

在工业生产中，常用熔体流动速率或熔融指数来表征高聚物熔体的流动性，同时也能间接表征高聚物分子量的大小。

熔体流动速率是热塑性高聚物熔体在一定温度下和载荷下，每 10min 内通过熔体流动速率测定仪标准模口流出的熔体质量（以克计）。

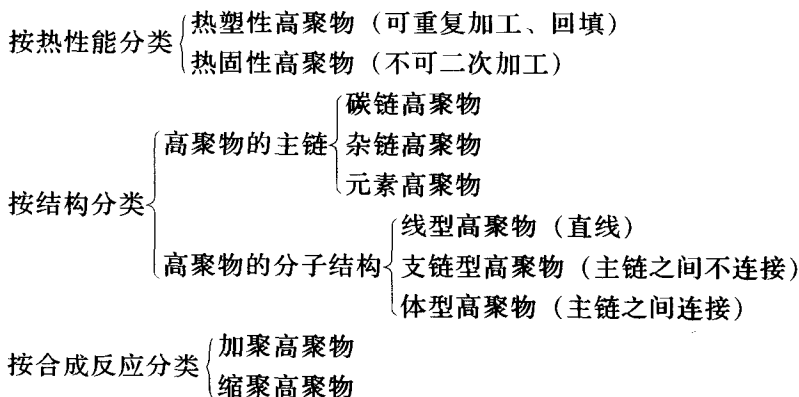
同时，也常用在温度相同但载荷不同的条件下测定的两个熔体流动速率值之比来表征高聚物的分子量分布，此比值常称为流动比。

高聚物熔体的流动性具有分子量依赖性，因此分子量和分子量分布直接影响加工时高聚物熔体的黏度大小。

1.2 高聚物的分类

在有机化学中，高聚物的种类很多，有天然的也有人工合成的，为了便于研究，需要将它们分类。常用的几种分类方法如下：

- | | |
|-------|--|
| 按来源分类 | $\left\{ \begin{array}{l} \text{天然高聚物（橡胶）} \\ \text{人工合成高聚物（塑料、尼龙等）} \end{array} \right.$ |
| 按用途分类 | |
| | $\left\{ \begin{array}{l} \text{塑料（具有可塑性的物质）} \\ \text{合成橡胶（具有高弹性的物质）} \\ \text{合成纤维（具有柔韧、纤细特性的物质）} \end{array} \right.$ |



1.3 高聚物的结构与特性

1.3.1 高聚物的结构

所谓高聚物的结构,指组成高分子的不同尺度的结构单元在空间的相对排列,它包括高分子的链结构和聚集态结构。

链结构又称为一级结构,就是高分子链节的化学结构、空间结构、链节序列和链段的支化度及其分布。它表明一个分子链中原子或基团的几何排列情况,其中包括尺度不同的两类结构。

近程结构即第一层次结构,指单个高分子内一个或几个结构单元的化学结构和立体化学结构。例如:聚氯乙烯和聚苯乙烯,两者化学组成不同,性质当然不同。同是聚氯乙烯,每个分子并非一样,结构上还可以有许多异构。

远程结构即第二层次结构,指单个高分子的大小和在空间所存在的各种形状(构象)。例如:是伸直链、无规线团还是折叠链、螺旋链等。

聚集结构又称为二级结构,指高分子整体的内部结构,包括晶态结构、非晶态结构、取向态结构、液晶态结构和织态结构。前四者是描述高分子聚集体中分子之间是如何堆砌的,称第三层次结构。如相互交缠的线团结构,由折叠链规整堆砌而成的晶体等。织态结构为高层次结构,它是不同高分子间或者高分子与添加剂分子间的排列或堆砌结构。例如:高分子合金和复合材料的结构。

高分子的链结构是反映高分子各种特性的最主要的结构层次,直接影响聚合物的某些特性,例如:熔点、密度、溶解性、黏度、黏附性等。聚集态结构则是决定聚合物制品使用性能的主要因素。

现将高分子的链结构的研究内容及聚合物的结构层次总结于图 1-2。

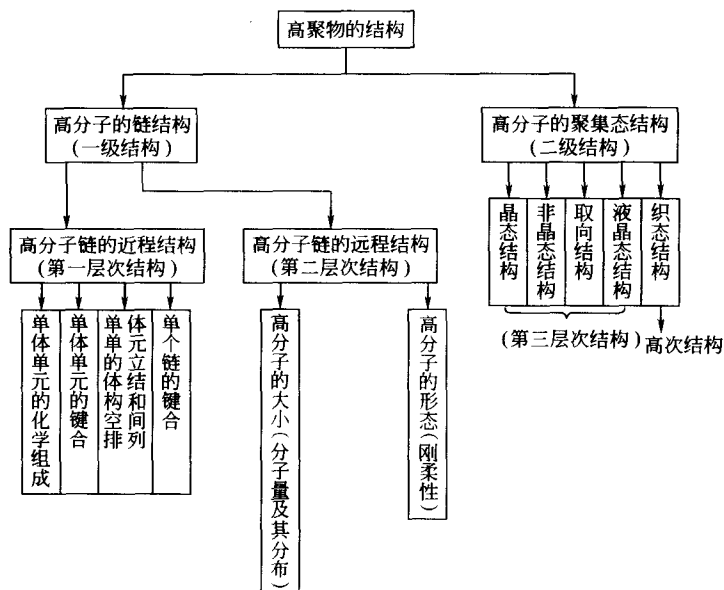


图 1-2 高聚物结构的分类

高聚物的各级结构综合决定了高聚物的各种物理状态和物性。高分子链的近程结构主要通过制备高分子的化学过程（聚合反应）来确定，要改变高聚物的一级结构，就必须改变其化学反应，也就是必须改变价键。高分子链的远程结构和聚集态结构主要受外界物理因素影响，例如：温度、压力和加工过程条件的变化。近程结构是远程结构和聚集态结构的基础，而远程结构和聚集态结构又影响近程结构化学变化的难易程度，因此，这三个层次的结构就彼此相互制约地决定高聚物的各项性能。

1.3.1.1 高分子链一级结构

(1) 高分子链的近程结构

① 单体链节的化学组成 从化学键中组成原子的成分来看，聚合物可以分为两大类。由同一种原子组成的主链为全同链，由不同原子组成的主链叫杂链。一个原子形成全同链或杂链的能力，和它在元素周期表中的位置有关。一般来说，只有少数元素能形成大分子，它们主要是周期表中的ⅣB、ⅤB和ⅥB族的元素。

把高分子分为三类进行讨论。

a. 分子链全部由碳原子以共价键相连接的碳链高分子，如聚苯乙烯、顺-1,4-

聚丁二烯、聚丙烯腈等，它们大多由加聚反应制得，这类高聚物不易分解，较易成型加工，主要缺点是容易燃烧，耐热性较差，容易老化。

b. 分子主链中除含有碳外，还有氧、氮、硫等两种或两种以上的原子并以原子共价键相连接的杂链高分子，如聚甲醛、聚酰胺、聚砜等，这类聚合物是由缩聚反应或开环聚合反应制得的，由于主链带有极性，所以较易水解，但是，耐热性、强度均较高，故通常用作工程塑料。

c. 主链中含有硅、硼、磷、铝、钛、砷、锑等元素的高分子称为元素高分子。其中一大类为元素有机高分子，主链不含有碳原子，而是由上述元素和氧组成，侧链含有机取代基，例如聚硅氧烷等。其优点为具有无机物的热稳定性和有机物的弹塑性，缺点是强度较低。另一类为无机高分子，其大分子主链上不含碳元素，也不含有机取代基，纯由其它元素组成，例如氯化磷腈等。它们的耐高温性能优异，但强度较低。

除了结构单元的组成之外，在分子链的自由末端，通常含有与链的组成不同的端基。由于聚合物链很长，端基虽占聚合物整体的量很少，但却直接影响高聚物的性能，尤其是热稳定性。链的断裂可以从端基开始，所以封闭端基可以提高这类聚合物的热、化学稳定性。

② 构型 分子中各原子在空间的相对位置和排列叫做构型，这种化学结构不经过键的破坏或生成是不能改变的。

a. 理想构型。正四面体的中心原子（如碳、硅、 P^+ 、 N^+ ）上四个取代基或原子如果是不对称的，则可产生异构体，这样的中心原子叫做不对称中心原子。

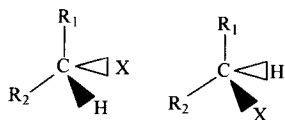


图 1-3 旋光异构示意图

例如：结构单元型的高分子，在每一个结构单元中有一个不对称碳原子 C^* ，每一个链节就有两种旋光异构体，见图 1-3。

它们在分子中有三种键接方式，即将 $C-C$ 键拉伸放在一个平面上，H 和 X 分别处于平面的上下两侧。当取代基在平面两侧作不规则分布或者说两种旋光异构体单元完全无规键接时，称为无规立构；当取代基全部处于主链平面的一侧或者说高分子全部由一种旋光异构单元键接而成，则称全同立构；取代基相间地分布于主链平面的两侧或者说两种旋光异构单元交替键接，称为间同立构。图 1-4 表示了这种取代的乙烯类高聚物分子的三种立体构型。

对小分子物质来说，不同的空间构型常有不同的旋光性。高分子链虽然含有许多不对称碳原子，但由于内消旋或外消旋作用，即使空间规整性很好的高聚物，也没有旋光性。

当主链上存在双键时，形成双键的碳原子上的取代基不能绕双键旋转，否

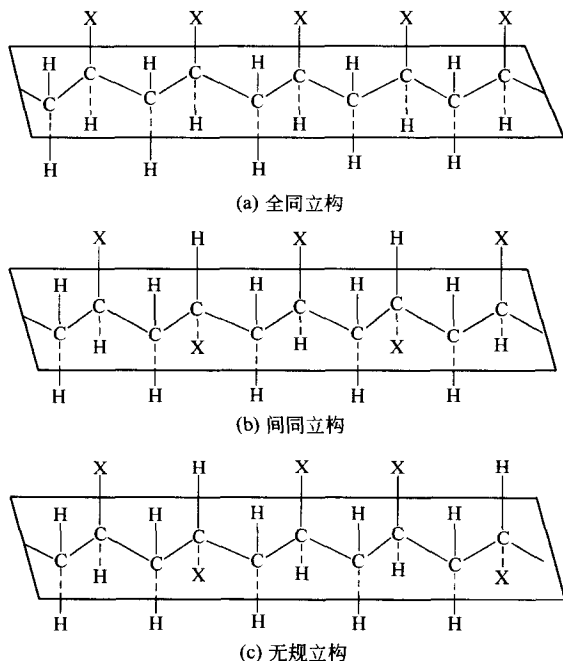
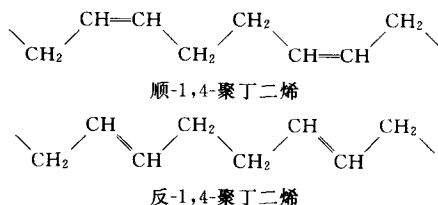


图 1-4 乙烯高聚物分子的三种立体构型

则，将会破坏双键的 π 键。当组成双键的两个碳原子同时被两个不同的原子或基团取代时，即可形成顺反异构。以 1,4-聚丁二烯为例：



b. 实际构型。理想构型是以链为无限长和无构型缺陷为基础的，实际工业生产的聚合物，不仅链上含有端基，而且其空间排列也不可能是完整无缺的。

链节的取代基的定向和异构主要是由合成方法所决定的。当催化体系（包括催化剂或引发剂等）相同时，聚合过程的其它条件如温度、介质、转化率（聚合程度）、调节剂等的作用相对较小。例如：一般自由基聚合只能得到无规立构高聚物，而用 Ziegler-Natta 催化剂进行定向聚合，可得到有规立构高聚物，称之为等规高聚物。又如：双烯类单体进行自由基聚合，既有 1,2-和 3,4-加成，又有顺式和反式加成，且反式结构含量较多。全顺式或全反式 1,4-结构的双烯类