

旋光性高分子的合成(上)

刘引烽* 华家栋

(上海科技大学化学系, 上海, 201800)

提要 旋光性高分子是在 G. Natta 实现定向聚合方法以后迅速发展起来的, 它的合成方法遍及高分子聚合反应的所有类型。本文综述了旋光性高分子的各种类型及其合成方法。

关键词 旋光性高分子, 不对称聚合, 手征性

1 前言

物质的旋光性有两种形式。一种见之于材料的结晶形态, 其旋光性由固态结构的不对称性产生。大量的无机物, 如 NaCl 或石英等就显示出该种旋光活性, 尤其是石英中的硅氧以螺旋形式排列, 可以产生很高的旋光能力(旋光度达每毫米材料数百度)。但这种旋光性在晶体溶解或熔融后便消失了。而大多数有机化合物的光学活性与不对称碳原子有关, 如乳酸、氨基酸、樟脑、许多生物碱和类固醇等化合物都是由于分子内存在不对称碳原子而表现出一定的旋光特性的。这种旋光性在溶液中依然存在, 因此可以在溶液中进行测量。而说到旋光性高分子, 则未必明确。旋光性高分子, 其英文名称为 Optically active polymer, 所以又称光学活性高分子。

旋光性高分子是一类具有旋光特性的高分子, 其旋光特性是由其本身构型或构象的不对称性造成的。远在人工合成高分子出现以前, 旋光性高分子就已经广泛地存在于自然界里了。生物体内大量的天然高分子与大量的天然活性小分子一样, 都含有不对称中心结构而具有旋光特性。因此, 19世纪不对称碳立体化学的奠基人 Pasteur 博士就指出: “生命是不对称的。”这一观点说明了生命与不对称之间难分难舍的特殊关系。二次大战以后, 随着高分子科学的飞速

发展, 人们逐渐注意到了天然高分子和合成高分子的不对称碳原子结构以及在其固体或溶液中存在的规整的螺旋结构, 正是这种结构赋予高分子以或多或少的旋光特异性。30年来, 这一领域的研究迅速建立并发展, 研究内容涉及面越来越广, 研究目的各不相同, 目前已发展成为一门与生命科学相接轨的边缘学科。

同旋光性小分子一样, 高分子具有旋光性的必要条件是其结构中必须存在不对称因素。在大量的天然高分子中由于高分子结构上不仅具有不对称的构型, 而且在链的形态上也存在着特定的不对称螺旋构象, 因而它们大多具有很高的旋光能力。如各种蛋白质、RNA 和 DNA 以及各种多糖等, 都是生物体内具有空间不对称构型和构象的旋光性天然高分子。除此之外, 在人工合成旋光性高分子方面, 30多年来, 人们也取得了很大的进展, 所用单体的种类越来越多, 合成的方法遍及高分子聚合反应的所有类型, 而对于合成的机理、合成产物的物理化学性能以及化学结构与旋光性能之间的内在联系尚



刘引烽 讲师。1964年生。大学及研究生阶段均就读于上海交通大学高分子材料专业, 1988年获工学硕士学位。同年2月起在上海科技大学化学系执教, 同时和华家栋教授一起从事高分子金属络合物和旋光性高分子的基础研究及应用开发工作,

其中旋光性高分子的研究得到上海市科委和上海高教局青年基金的资助。目前已发表论文10多篇。

* 通讯联系人。

有很多争议。而所有这些研究的最终目的还在于在仿生的意义上催化有机不对称合成反应、模拟各种生物功能、制备具有生物意义的化合物、探讨生命起源学说、对生命过程进行模拟与解说。

目前,仅就合成而言,我们已可以列出大量的文献报道。根据不对称中心所在的位置,我们可以将旋光性高分子分为主链旋光高分子和侧链旋光高分子两大类。

2 主链旋光高分子

我们平常所接触的通用型乙烯基高分子均具有主链不对称因素: $\left\langle \text{CH}_2-\underset{\text{X}}{\underset{|}{\text{CH}}} \right\rangle_n$ (1) 其结构单元有 *d* 型和 *l* 型两种旋光异构体。但是,由这两种结构单元以不同方式链接而成的高分子却大多没有旋光性。这是因为,在一般自由基引发聚合条件下所得的无规立构,是由于两种旋光异构单元在分子链中的无规连接所造成,最终导致内消旋而使总体不显旋光性;而即便是等规立构高分子,也由于分子内及分子间的相互抵消作用,使其整体结构也无旋光性能。如聚丙烯、聚甲基丙烯酸甲酯、聚苯乙烯等的有规立构和无规立构都没有旋光性。

然而,假若不对称因素在主链上连接时彼此不发生消旋,或者有规立构的高分子可以有单一方向的螺旋形态而附加构象不对称性,这样的高分子依然可能会使偏振光发生旋转。例如,当我们采用带有旋光性的手性单体进行聚合时,便可以得到主链旋光高分子。缩合聚合是一种常用的方法。

2.1 缩合反应

利用缩聚反应可以将单体的手性直接引入高分子主链,旋光性聚酰胺便是这一类的典型例子。

最简单的合成方法是将 *d*-酒石酸与二胺的盐在高温下反应,而得到简单的具有旋光性的聚酰胺。二元胺可以是己二胺、苯二胺等不具旋光性的化合物^[1]。当以己二胺和 *d*-酒石酸为原料合成时,反应按下式进行:

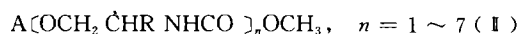


水解高分子的结果表明,在缩聚过程中,*d*-酒石酸没有发生消旋化。

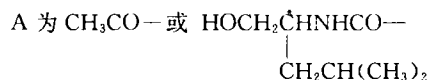
α -氨基酸也是光学活性聚酰胺所常用的单体,几乎所有的 α -氨基酸都制成了旋光性高分子,例如聚 *L*-谷氨酸- γ -苄酯及其水解产物聚 *L*-谷氨酸、聚 *L*-组氨酸-1-苄酯及其水解产物聚 *L*-组氨酸、聚 *L*-丙氨酸、*L*-白氨酸、*L*-脯氨酸、*L*-蛋氨酸、*L*-色氨酸^[2~5]等,都是在缩水剂羰二亚胺的作用下,以三乙胺、吡啶或甲醇钠等作催化剂,在不同的溶剂(如 DMF、氯仿、二氧六环、苯等)中缩合而成的。也有些氨基酸是用活性酯法在 100 °C 以上制备的^[6]。

Overberger 等人还着重研究了聚脯氨酸的合成及其在溶液中的形态与其变旋特性间的关系,并用高分辨核磁共振仪、偶极测量仪、圆二色性等仪器,证明了刚性不对称聚酰胺在溶液中有比较确定的形态^[9]。

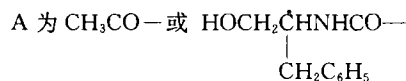
在 1965 年以前,对于旋光性的聚氨酯很少有研究。1966 年开始,Iwakura 等人制备并研究了一系列旋光性的 *L*-齐聚聚氨酯^[7]:



其中, R 为 $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2-$ 时,

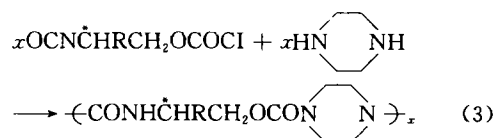
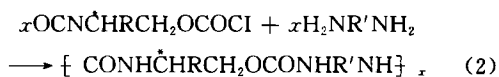


R 为 $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2-$ 时,

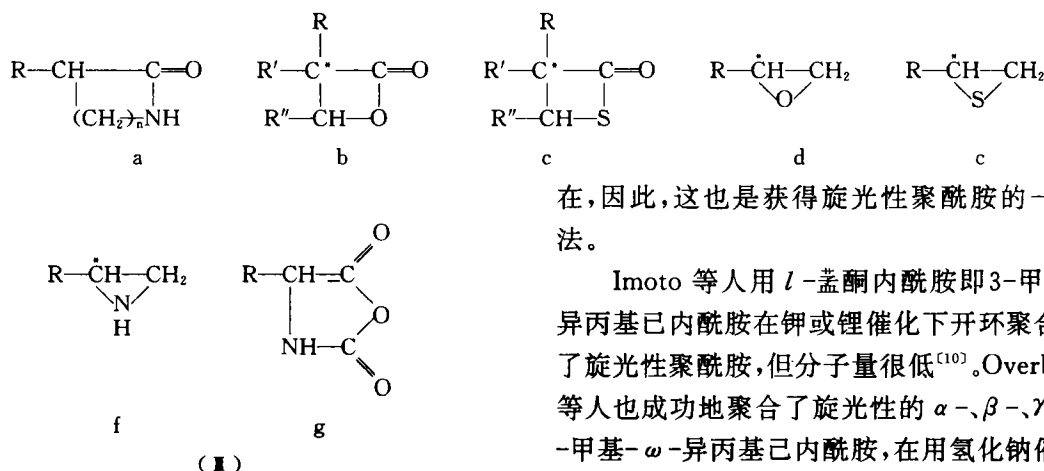


这些产物是采用 (*l*)-1-异丁基(或苄基)-2-乙酰氧基异氰酸酯为原料聚合,并在酸催化下进行醇解除去乙酰基后得到的。对这些齐聚物的光学活性进行研究后发现,*n* 为 1~5 时,其 ORD 曲线(旋光色散谱)符合单项 Drude 方程,而六聚体和七聚体的 ORD 曲线则较反常,此时聚合物恰能形成螺旋构象,说明构象对旋光特性有附加作用。之后,他们又用氨基醇盐酸盐与光气反应,制备了氯甲酸异氰酸酯取代乙酯、并以碳酸钠为电子受体,将其与二元胺进行界

面缩合,制备了更加复杂的旋光性聚氨酯^[8]。



Beaumais 和 Fenyo 等人用1,3-苯二砒酰氯与一系列二元氨基酸如 *L*-赖氨酸、*L*-鸟氨酸等进行缩合,得到主链上含有砒酰胺 α -羧基



2.2.1 内酰胺开环 由二元酸与二元胺通过缩聚法使不对称碳在主链中形成光活性高分子时,两个反应物中至少有一个必需是光学活性的,而在反应过程中,两个反应基团的反应顺序不能被严格控制,因而实际上形成的高分子链中就有两种链接方式,这在开环缩聚中就不存

在,因此,这也是获得旋光性聚酰胺的一种方法。

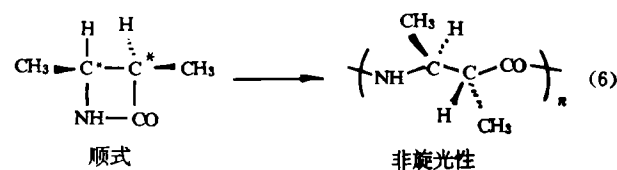
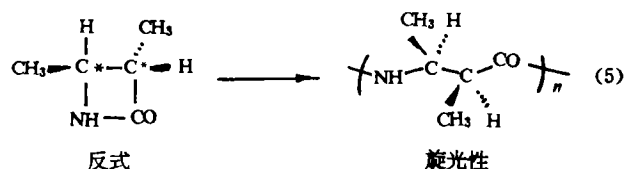
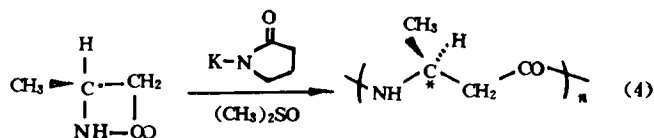
2.2 开环聚合

环中含的不对称因素的单体开环聚合时,可以生成不对称主链高分子。这类单体有旋光性的内酰胺(Ⅲ a)、环内酯(Ⅲ b)、环硫内酯(Ⅲ c)、环醚(Ⅲ d)、环硫醚(Ⅲ e)、亚乙基亚胺(Ⅲ f)、环胺酸酐(Ⅲ g)等。

在,因此,这也是获得旋光性聚酰胺的一种方法。

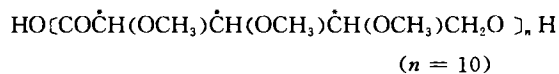
Imoto 等人用 *l*-盖酮内酰胺即3-甲基-6-异丙基己内酰胺在钾或锂催化下开环聚合得到了旋光性聚酰胺,但分子量很低^[10]。Overberger 等人也成功地聚合了旋光性的 α -、 β -、 γ -和 δ -甲基- ω -异丙基己内酰胺,在用氢化钠催化开环反应时,只有 α -甲基取代的单体聚合时会发生消旋现象^[11]。

Schmidt 举了旋光性聚 β -内酰胺的例子^[12]。他用含有一个或两个不对称碳的旋光性 β -内酰胺进行开环聚合〔如式(4)~(6)〕,发现形成的若是旋光性的聚合物,则其熔点较高,且



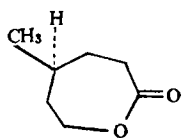
比相应的非活性高分子难以溶解。

2.2.2 内酯开环 早在1927年, Drew 和 Haworth 就合成了下列结晶齐聚物:



(V)

但真正开始对旋光性内酯开环聚合来合成旋光性聚酯的研究则是从 Overberger 小组开始的。这个小组合成了一系列甲基取代的己内酯(如 V), 并在金属氧化物和醋酸盐的共同催化下进行开环聚合, 获得了一系列旋光性聚酯。之后, 还制备了聚- l - α -羟基戊内酯等^[13]。含羟基的聚内酯, 发现在各种金属氧化物催化剂中, 以用 ZnO 催化所得产物的产率和分子量为最高。



(R)-(+)- γ -甲基-己内酯

(V)

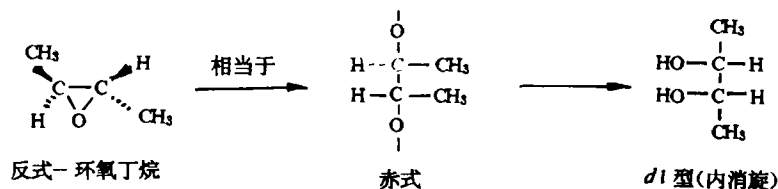
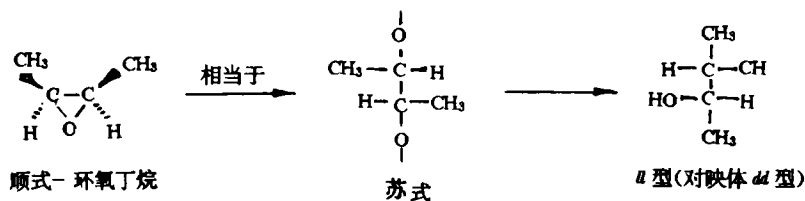
Overberger^[14]、Buehrer^[15]、Jerman^[16]等人还用 n -BuLi 等阴离子催化环硫酯(Ⅲc)开环

聚合, 得到了旋光性的聚硫酯。

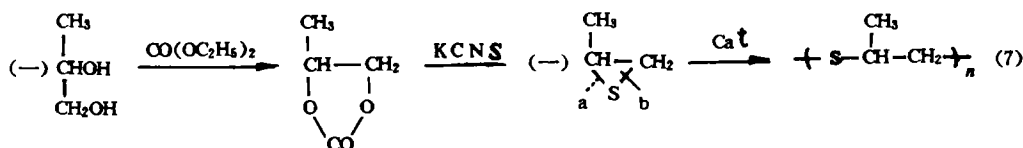
2.2.3 内醚开环 通过环醚开环聚合来合成旋光性高分子已有大量的研究^[17,18]。1956年, Price 等人首先合成了 L -环氧丙烷, 然后在 KOH 粉末催化下进行聚合, 获得了结晶高分子, 转化率为88%。他们发现, 所用催化剂不同, 得到高分子的结晶性和旋光性也不同, 说明催化剂对高分子链上不对称中心的构型和构象起着明显的立体控制作用^[19]。

Vandenberg 等人详细报道了带有两个不对称碳的1,2-二甲基环氧乙烷的合成及聚合。它的顺式和反式两种异构体分别对应于苏式和赤式两种立体构型。在进行阳离子立体规整聚合时, 对于苏式, 可生成 dd - dd -或 ll - ll -的双全同及 dd - ll -的双间同型高分子; 而赤式则可以生成 $dldl$ -型的双间同型高分子, 但由于内消旋的作用, 赤式的聚合产物虽然具有立体规整性, 却没有旋光性能(Ⅵ)^[20]。

2.2.4 环硫醚开环 Spassky 等人^[21]和 Furukawa 等人^[22]分别开发了旋光性环硫醚单体。例如环硫丙烷的制备及聚合是按(7)式进行的。聚合时, a、b 两处均有可能断裂。在 b 处断

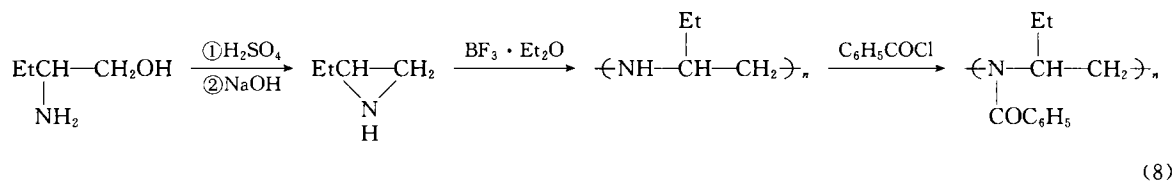


(VI)



裂时,不对称碳不发生构型转化,而a处断裂则会发生构型转变。结果表明,开环时b处优先断裂,所得高分子具有很高的旋光能力。旋光度依赖于所用的聚合催化剂,其中用*d*-酒石酸镉最高,而用1:2的二乙基锌/甲醇体系则较低。结城平明、岡本佳男等也对环硫醚进行了开环聚合,获得了旋光性的聚硫醚^[23]。

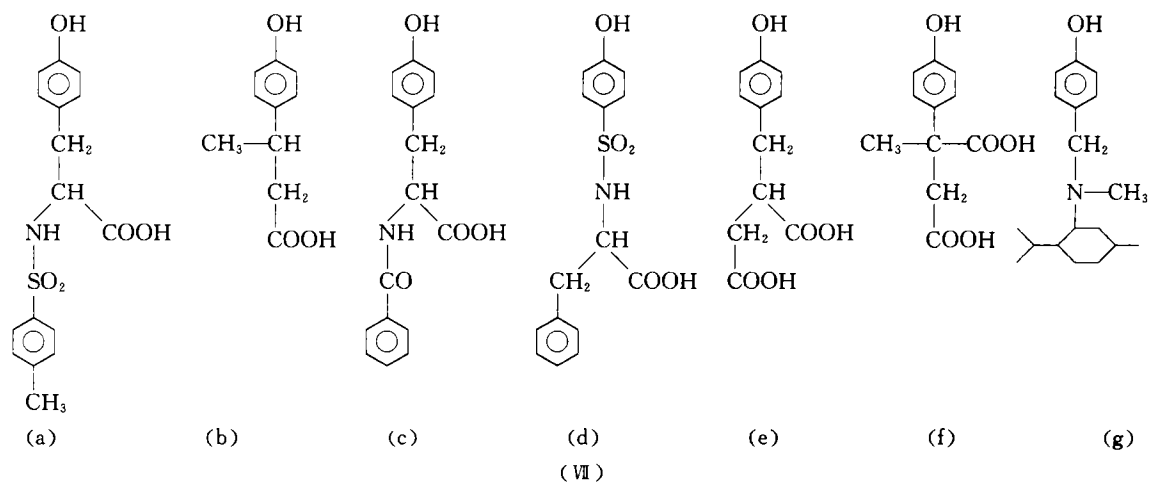
2.2.5 亚乙基亚胺开环 Toy等人采用开环聚合法聚合了丙烯亚胺的两个对映异构体,得



八寻信英等人^[25]用阳离子聚合的方法制备了聚1-(*R*)-2-二乙基亚乙基亚胺、聚(*R*)-1-丁基-2-乙基亚乙基亚胺和聚(*R*)-1-戊基-2-乙基亚乙基亚胺等含有双不对称碳结构单元的高分子,所得旋光方向与单体相反,且其绝对值比单体高6~7倍。继而他们又用(*R*)-2-乙基亚乙基亚胺(第一单体)和1-(*R*)-2-二乙基亚乙基亚胺(第二单体)在 BF_3OEt_2 催化下开环共聚,得到分子量小于第二单体的均聚物,旋光度也随着第二单体单元含量由0到1增加而从负值变为正值。

3 侧链旋光高分子

旋光性高分子的最早的合成方法就是利用



到与单体旋光方向相反而旋光度较高的聚合物 $[\text{NHCH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)]_n$ 。

而 Tsuboyama 等人^[24]则先将氨基醇转化为相应的烷基亚乙基亚胺,经过阳离子加成聚合的方法,得到不同立体规整性的聚亚乙基亚胺,再进一步用 Schotten - Bauman 法将聚合物苯甲酰化以增加刚性,使之具有一定的构象稳定性(如式8)。

含有旋光性侧基的单体进行聚合。这类单体可以由化学方法合成,也可以由消旋体拆分而得到。同样,我们也根据聚合类型来分别加以介绍。

3.1 缩聚反应

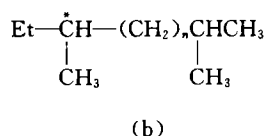
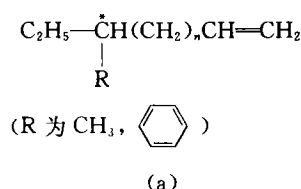
在这一反应类型中,主要就是 Bunnet 和 Marks 等人所制备的酚醛型旋光性高分子(VII)。他们用 *N*-对甲苯磺酰-*l*-酪氨酸(a)或对羟苯丁酸(b)与甲醛在酸介质中进行缩聚,得到了三维离子交换树脂^[26]。此外,甲醛还可以和各种含有旋光性取代基的酚类进行缩合反应而形成线型或体型旋光性高分子^[27],如 *N*-苯甲酰-*l*-酪氨酸(c)、*N*-对羟基苯磺酰-*l*-苯丙氨酸(d)、以及对羟苯基丁二酸(e)、2-甲基-

2-对羟基苯基丁二酸(f)、*N*-甲基-*N*-对羟基苄基-*l*-缬胺(g)等,都有所报道。

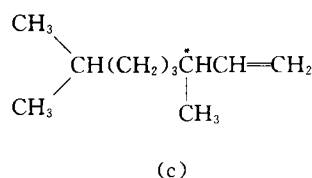
3.2 加聚反应

带有不饱和双键的单体可以打开双键而发生聚合,用这种普通的方法可以将不对称中心引入侧键。光活性原料如果是天然物质则可避免在聚合前的对映体拆分问题,而一般说来,这类旋光性单体往往要靠合成的方法获得。合成光活性单体本身需要花费很多的时间和精力,尤其是带有胺等基团的单体比较难于聚合,因此,对这方面的研究也就富有了挑战性,纵观旋光性高分子领域,最为显著的研究仍然首推乙烯基聚合物。60年代以来,人们已制备并研究了很多具有旋光能力的高分子。

3.2.1 聚烯烃 Pino 及其合作者深入而系统地研究了(*S*)- α -烯烃(VIIIa)和(*R*)-3,7-二甲

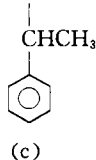
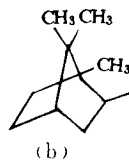
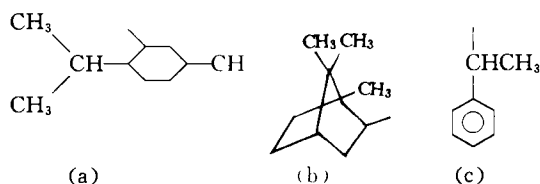


(VIII)

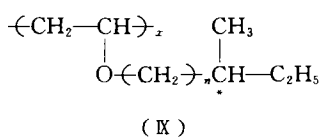


3.2.2 聚乙烯基醚 继 Pino 之后, Basagni 等人^[32]深入研究了这一类单体在 $\text{Al}(i\text{-Bu})_3/\text{H}_2\text{SO}_4$ 或 $\text{Al}(i\text{-OPr})_3/\text{H}_2\text{SO}_4$ 催化体系中的聚合,以前者催化聚合所得产物的旋光值较高。

旋光性取代基除了异丁基外,还有蒽基(Xa)、苄基(Xb)及 *l*- α -甲苄基(Xc)等,采用 $\text{BF}_3 \cdot \text{OEt}_2$ 作催化剂,在 -78°C 下进行规整聚合而得旋光性聚乙烯基醚^[33,34]。



(X)

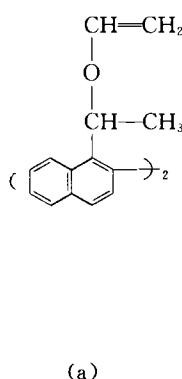


基-1-辛烯(VIIIc)等单体在 Ziegler-Natta 催化剂引发下聚合所得的高分子,并与模型化合物(VIIIb)或单体的旋光性进行比较,发现高分子的旋光度远高于模型化合物的旋光度值^[28]。

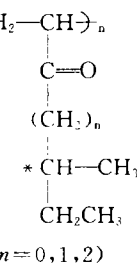
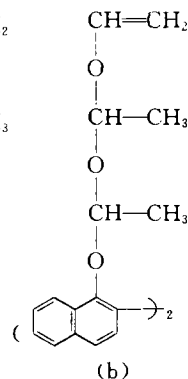
Carlini 等人所报道的聚(*R*)-4-苄基-1-己烯和聚(*S*)-5-苄基-1-庚烯也是用 $\text{Al}(i\text{-C}_4\text{H}_9)_3/\text{TiCl}_3$ 催化聚合而成的^[28]。

Benedetti 等人^[30]和 Janovic 等人^[31]对旋光性基团取代的二烯烃也各自作了研究,并比较了用 Ziegler-Natta 催化剂催化立体规整聚合产物与用 $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 为引发剂引发的乳液聚合产物间旋光值的差别,发现两种方法所得高分子的旋光度与小分子的旋光度都很接近,只是前一种方法以 3,4 聚合为主,而后者则以 1,4 结构居多。

Kakuchi 等人制备了含有蒽基的乙烯醚(XIa,b),并在 SnCl_4 或 $\text{BF}_3 \cdot \text{OEt}_2$ 等催化作用下,得到了结构规整、螺旋含量较高的旋光性高聚物^[35]。



(XI)



(XII)

3.2.3 聚烷基乙烯酮 以自由基聚合方式或阴离子聚合方式聚合旋光性烷基乙烯酮,可以分别获得无规的或全同的旋光性聚烷基乙烯

酮。

Pino^[36]等人用自发聚合以及以 $n\text{-BuLi}$ 、 $\text{Zn}(\text{Bu})_2$ 等阴离子催化聚合的方法合成了一系列(S)-烷基乙烯酮同系单体的聚合物(XI)。Merle^[37]等人也对这一系列的聚合物作了相应的研究,并将聚2-甲基基乙烯酮(即 $n=1$)部分还原成为5-甲基-3-羟基-庚烯与乙烯酮的共聚物,对其还原反应以及共聚物的旋光性能也作了讨论。

Thien 等人又用 LiAlH_4 催化聚合了(S)-1-甲基丙基乙烯酮(即 $n=0$),得到的结果表明,降低反应温度可以使产物旋光能力加强,用阴离子聚合的方法所得产物旋光度远高于单体的比旋光值,但用自由基引发聚合时,则旋光度会大大降低^[38]。

Overberger 等人成功地用4,5-乙烯基咪唑与不易均聚的单体2,5-二甲基-1-庚烯-3-酮实现了共聚反应,也获得了旋光性的聚乙缩酮^[39]。

3.2.4 聚丙烯酸衍生物 对丙烯酸类的旋光性高分子, Schulz^[40]、Beredjick^[41]、Kimura^[42]、Arus^[43]等研究小组已有较多的研究。所用合成方法包括自由基聚合、辐射聚合及离子型聚合等。他们用 AIBN、BPO 或 $\text{C}_6\text{H}_5\text{MgBr}$ 、 $n\text{-BuLi}$ 或紫外线、 γ 射线等作引发催化聚合,分别制备了聚(丙烯酸或甲基丙烯酸-*l*-苄醇酯)^[40]、聚[甲基丙烯酸-(+)-1,3-二甲基丁酯]^[43]、聚[甲基丙烯酸-*l*- α -甲基苄酯]^[41]、聚[甲基丙烯酸-3-(1,2,5,6-二异丙叉)-*D*-呋喃葡萄糖酯]^[42]等聚合物。除甲苄酯外,这类高分子的旋光性比其相应的单体旋光度要小,说明高分子链的构象不仅没有贡献,相反,链长的增加反而导致旋光能力的下降。

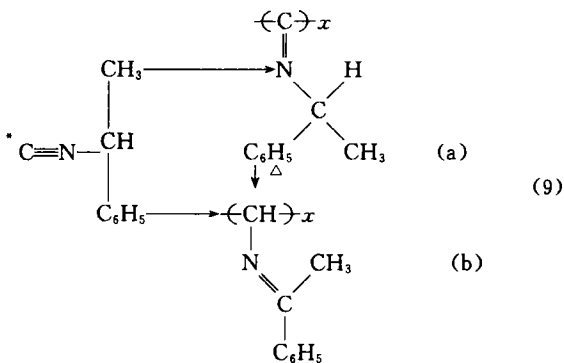
Sato 等人^[44]用 AIBN 引发合成了聚[甲基丙烯酸-(S)-4-甲基-2-*N,N*-二甲胺基戊酯],所得高分子旋光方向与单体相反,但数值相近。

此外,由氨基酸与丙烯酸形成的丙烯酰胺单体也可用来制备旋光性丙烯酸衍生物。例如,

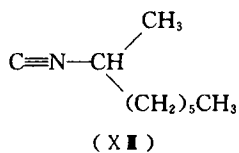
Kulkarni 等人所合成的聚丙烯酰胺-*L*-谷氨酸、聚甲基丙烯酰胺-*D*-丙氨酸等,都是在先制成丙烯酰胺单体后再由自由基引发聚合的^[45]。Sauvage 等人也以同样的方法合成了聚(*N*-甲基丙烯酰胺-*L*-丙氨酸)^[46]。

3.2.5 聚炔烃及三键化合物 F. Ciardelli 等人用不同的炔烃制备了旋光性高分子^[47]。他们比较了用 $\text{Al}(\text{i-Bu})_3$ /乙酰乙酸铁为催化剂时,3-甲基戊炔及其同系炔烃聚合物的旋光度,发现随着不对称碳离主链距离的增加,不仅旋光度发生改变,旋光方向也发生反转。但有一点是肯定的,即在聚合过程中没有发生消旋化现象。

Millich 等人^[48]发现,用三元催化体系可以使异腈聚合,他们用一个特殊的具有筛网结构的固体表面作为催化反应的基体,用浓硫酸和 DBP(过氧化二苯甲酰)、 O_2 共用对 α -苯基乙异腈实施聚合。聚合后存在两种结构(式9),而以(a)式为主,这种结构具有很强的旋光性。但受热后,由于构型发生转化(b),聚合物便丧失旋光能力。



Beijnen 等人用 $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 作催化剂,在冰水浴中对(*l*)- α -苯基乙异腈等一系列旋光性异腈进行固态聚合,产物的旋光度也很高^[49]。但在室温下甲醇溶液中聚合时,(*R*)-2-辛基异腈等则只能获得比单体的旋光度低的聚合物^[50](XII)。



以上所述主链旋光性高分子和侧链旋光性高分子都是由旋光性单体的某一对映异构体进行聚合而得的。然而,利用不对称反应也可直接由混旋的手性单体或潜手性单体来制备旋光性

高分子。

(待续)

(上接第128页)

观。目前,热塑性 IPN 大多用机械共混法制备,而使用化学共混法制备这类 IPN 则研究较少,对两种方法的比较也缺乏足够的认识,希望今由于 IPN 的双交联性质,两种网络极好地控制着相区的尺寸、形状和组成,而 IPN 的形态和两相结构反过来又极大地影响着材料的物理性能和力学性能。因此,对 IPN 相结构理论的研究不论在理论上还是在实际应用上都有十分重要的意义。

3 参考文献

- 1 Sperling L H. Interpenetrating Polymer Networks and Related Materials. New York: Plenum Press, 1981
- 2 Sperling L H. CHEMTECH, 1988, 18: 104
- 3 Wahrmund D C, Paul D R, Barlow J W. J. Appl. Polym. Sci., 1978, 22: 2155
- 4 Nassar T R, Paul D R, Barlow J W. J. Appl. Polym. Sci., 1979, 23: 85
- 5 Cruz C A, Paul D R, Barlow J W. J. Appl. Polym. Sci., 1979, 23: 589
- 6 Mohn R N, Paul D R, Barlow J W. J. Appl. Polym. Sci., 1979, 23: 575
- 7 Davison S, Gergen W P. U. S. Patent 4,041,103. 1977
- 8 Gergen W P, Davison S. U. S. Patent 4,101,605. 1978
- 9 Gergen W P, Kautsch. Gummi, 1984, 37(4): 284
- 10 Siegfried D L, Thomas D A, Sperling L H. J. Appl. Polym. Sci., 1981, 26: 177
- 11 Siegfried D L, Thomas D A, Sperling L H. Polym. Eng. Sci., 1981, 21: 39
- 12 马步勇, 谢洪泉. 合成橡胶工业, 1991, 14(3): 227
- 13 Xie H Q, Xu J G, Zhou S B. Polymer, 1991, 32(1): 95
- 14 An J H, Sperling L H. Coss - Linked Polymers. Washington D C: American Chemical Society, 1988. 269
- 15 韦雨春, 袁惠根, 潘祖仁. 文章待发表
- 16 Sperling L H. Polym. Mater. Sci. Eng., 1988, 59: 150
- 17 Davies W E A. J. Phy., 1971, D4: 1176
- 18 Budiansky B. J. Mech. Phys. Solids, 1965, 13: 223
- 19 Budiansky B. J. Compos. Mater., 1970, 4: 286
- 20 Olabisi O, Robeson L H, Shaw M T. Polymer - Polymer Miscibility. New York: Academic Press, 1979

Advances in Thermoplastic IPN and Morphological Studies

Wei Yuchun, Yuan Huigen, Pan Zuren

(Department of Chemical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, 310027)

Summary This paper reviews the advances in thermoplastic IPN. It also introduces the recent morphological studies on IPN.

Key words Interpenetrating Polymer Networks, Multiphase Morphology, Review