



## 聚丙烯的交联

沈静姝 刘松林

(中国科学院化学研究所, 北京, 100080)

**提要** 本文论述了聚丙烯的辐射交联、化学交联和二步法水交联的研究进展, 特别是对近年来获得成功的二步法水交联法中各种影响因素进行了介绍。

**关键词** 聚丙烯、辐射交联、化学交联、二步法水交联

聚丙烯是一种价格低廉、有较好耐水性、耐药品性且易于加工成型的塑料大品种。为了扩大它的低温应用范围, 近20年来, 很多国内外科研和工程技术人员致力于通过共聚或共混来改善其低温性能, 特别是低温抗冲性, 已经获得了良好的结果。由于聚丙烯的热变形温度较低 ( $18.6 \times 10^5 \text{ Pa}$  负荷下为  $57 \sim 63^\circ\text{C}$ ), 在高温领域的应用受到了限制。80年代初, 随着汽车工业的发展, 对聚丙烯的高温性能包括耐热性、耐久性和耐药品性能提出了更高的要求。要使它的热变形温度提高到  $100^\circ\text{C}$ , 仅靠机械共混的办法是难以达到的。要提高聚丙烯树脂本身的耐热性, 交联是比较有效的途径之一。

交联从方法上可分为辐射交联和化学交联。其主要区别在于引起交联反应活性源的生成机理不同。聚丙烯分子链在辐射或有机过氧化物作用下生成自由基, 进一步分解或起交联反应如图1所示。

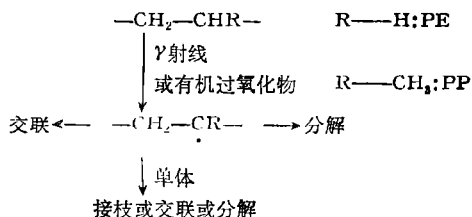


图1 分子结构与反应活性

聚丙烯由于其分子结构的特点, 它的交联比其它聚烯烃如聚乙烯要困难得多。吸收  $100 \text{ eV}$  的能量, 交联数  $G_{cl}$  为  $0.6$ , 而分解数  $G_{dc}$  为

$1.1^{[1]}$ 。因而聚丙烯的大分子自由基优先起分解反应。辐射法交联需要使用昂贵的设备, 且被照射物的厚度又有限制, 因此用辐射法交联聚丙烯是很困难的, 目前很少有实际应用的例子。国外只有极少专利报道用具有特殊组份的聚丙烯可实现辐射交联, 但应用领域颇受限制。用过氧化物进行化学交联也相当困难, 必须添加交联助剂, 这种交联是与加工成型同时完成的。加工成型温度范围很窄, 在实际生产中难以应用。

近年来, 日本<sup>[2]</sup>等国的一些工业研究部门开发了聚丙烯的二步法交联技术, 有较高的实用价值。我们实验室也进行了二步法交联的研究, 得到了交联聚丙烯。本文将综述聚丙烯的这三种交联方法的研究现状, 特别着重介绍二步法交联原理及重要的实验参数对交联的影响以及二步法交联聚丙烯的主要性能。



**沈静姝** 1941年生于江苏无锡市。1963年毕业于中国科学技术大学高分子系高分子物理专业。现为中国科学院化学研究所副研究员。长期从事聚合物力学行为和结构性能关系的研究。主要从事过聚酯薄膜的拉伸取向及力学性能、聚丙烯塑料

和纤维的结构性能关系、聚丙烯的物理和化学改性、共混物的形态和力学性能、聚合物拉伸和结晶过程中的声发射、非晶聚合物的疲劳破坏行为、固体聚合物的力学性能及其它物理性能表征等方面的研究。

## 1 辐射交联

辐射交联是在光或各种高能射线的作用下进行的,比较常用的是 $\text{Co}^{60}$ 产生的 $\gamma$ 射线。

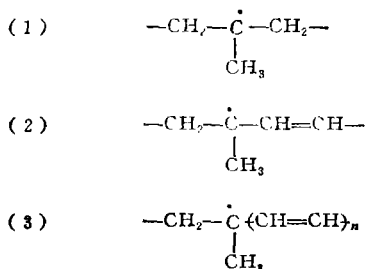
很多研究表明,聚丙烯辐射交联时,降解和交联反应同时发生,因此其交联效率是相当低的。对于无规聚丙烯, $\gamma$ 射线辐射后,其降解和交联反应的比是0.4,全同聚丙烯为0.8<sup>[3]</sup>。

Salovey<sup>[4]</sup>研究了分子量为 $1.1 \times 10^4$ 的无规聚丙烯的辐射效应表明,在电离辐射下,达到凝胶点时,分子量下降不甚明显。Babic<sup>[5]</sup>研究了受辐射后无规聚丙烯本征粘度的变化,表明聚丙烯分子链的断裂速率随辐射剂量的增加而减少。

Black<sup>[6]</sup>研究了全同立构聚丙烯受电离辐射后平均粘度及平均分子量的变化。结果也表明,聚丙烯分子链的断裂和交联的比值并不与辐射剂量成正比。分子链的断裂速率在辐射刚开始时很高,随剂量的增加而减小,交联速率则是开始低,随剂量的增加而升高。他们解释这是由于形成不饱和的端基的裂解反应与受激分子与大分子自由基形成交联的竞争反应的结果。Marans<sup>[7]</sup>也指出,辐射剂量小时裂解占优势,增大剂量时交联占优势。

Williams<sup>[8,9]</sup>等通过电子自旋共振的方法研究了聚丙烯受辐射后的降解过程,指出聚丙烯的辐射降解是一个自动氧化过程。 $\gamma$ 辐射引发的自由基都要消耗一定数量的氧,从而使分子链连锁断裂。

Williams<sup>[10]</sup>的研究指出,聚丙烯在真空中25℃时辐射后主要产生以下3种自由基:



聚丙烯受辐射后首先产生烷基自由基。烷基自由基经过一定时间后可以转化为多烯自由基。研究还表明在聚丙烯的非晶区自由基的活动性较大,容易与氧作用而消失。他们还研究了受 $\gamma$ 辐射聚丙烯的自由基终止速率与结晶度的关系,其结果是随着结晶度的增加自由基终止速率降低。在聚丙烯中加入流动性试剂后,自由基的终止速率可以大大提高。

Nojiri<sup>[11]</sup>研究了在聚丙烯中加入多官能团单体后的辐射交联效应。他们选用了7种多官能团的单体。实验表明,当在聚丙烯中加入的单体含有3~4个官能团时,辐射后聚丙烯的凝胶含量较高,且与单体的种类无关。加入的单体少于2个官能团时,加入少量的单体对产生凝胶影响不大,但当加入大量的双官能团的单体后,可以促进聚丙烯的交联。

Babic<sup>[5]</sup>等研究了聚丙烯受辐射后存放期间平均分子量随时间的变化,表明辐射后的头几个月里分子量有较大幅度的下降,见图2。

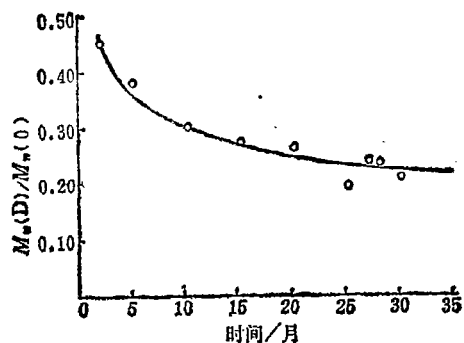


图2 辐射后聚丙烯重均分子量随时间的变化  
 $M_w(0)$ —辐射前的重均分子量;  
 $M_w(D)$ —辐射后不同存放时间的重均分子量

在国内,张石玉等研究了不同温度、不同介质存在时 $\gamma$ 射线辐射对全同立构聚丙烯结构与性能的影响<sup>[12]</sup>,其研究表明聚丙烯的特性粘度随辐射剂量的增加而减小,在室温空气中辐照时,裂解占优势,而在真空中辐照则能提高交联效率。X射线和红外光谱分析表明,聚丙烯的结晶度和等规度随辐射温度的升高而迅

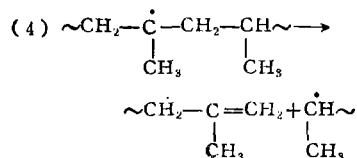
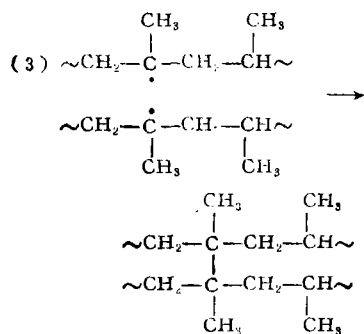
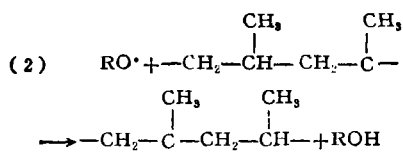
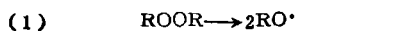
速下降。

王广厚等<sup>[13]</sup>用正电子湮没寿命谱和多普勒增宽方法研究高能电子辐射聚丙烯,结果表明随着电子剂量增加(<160kGy),正电子的短寿命组份的强度变强,中等寿命组份的强度减弱,但最长的寿命组份几乎不随辐射剂量的增加而变化,这与聚乙烯在同样辐射条件下的结果不同。

## 2 化学交联

与辐射交联相比,化学交联应用到聚丙烯中要晚一些。初期研究聚丙烯的化学交联大多在聚丙烯中加入少量的过氧化物,以期引发聚丙烯的化学交联。

聚丙烯在过氧化物的作用下,交联和降解反应同时存在,其反应如下:



但是在聚丙烯中,仅仅加入过氧化物很容易使聚丙烯降解,而不能交联。要想使聚丙烯交联,必须添加合适的交联助剂<sup>[14]</sup>。

Chodak<sup>[15]</sup>研究了在有多功能团的单体存在时聚丙烯的化学交联,他们选用的单体是双

马来亚二丙烯酸(DAm)和四甲基丙烯酸季戊四醇酯(PETM),引发剂是过氧化苯甲酯。在有2.3%的PETM存在时,交联无规聚丙烯中的凝胶含量随着过氧化物浓度线性增加,过氧化物浓度一定时(5%),凝胶含量随PETM的增加而线性增加,但其交联度都较低。用过氧化异丙苯作引发剂交联全同构聚丙烯时,DAM和PETM对提高凝胶含量有不同的贡献。他们的解释是PETM中双键反应活性较大,在过氧化物作用下容易自身加成。

过氧化物的种类对聚丙烯的交联效率有较大的影响<sup>[14]</sup>。烷烃类过氧化物分解产生的自由基对引发聚丙烯的交联似乎是无效的。而那些带有苯环的过氧化物分解产生的自由基对聚丙烯的交联才是有效的。已经定量了自由基的相对反应活性。文献指出<sup>[16]</sup>,甲苯分子中甲基上的氢与聚丙烯中丙烯单元具有相同的反应活性。如果假定自由基在170℃甲苯中的链转移反应速度常数作为相对反应活性的度量,则不同自由基的反应速度常数不同,反应活性分布较宽。从自由基产生到自由基消失所通过的距离 $d$ 可用来粗略地表征自由基活性的大小。几种自由基相对活性的大小见表1。

表1 不同自由基相对活性的比较

|                                                                | $\dot{\text{C}}\text{H}_3$ | $(\text{CH}_3)_3\text{C}\dot{\text{O}}$ |  |  |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| $K^*, (\text{cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$ | $5 \times 10^8$            | $9 \times 10^4$                         | $1 \times 10^6$                                                                      | $1 \times 10^7$                                                                       |
| $d$ , 任意单位                                                     | 45                         | 10                                      | 3                                                                                    | 1                                                                                     |

$K$ 为自由基转移反应速率常数。

具有较大活性的自由基能够提高交联效率,这是因为活性大的自由基进攻聚丙烯分子链的选择性减小,从而导致仲碳及伯碳自由基的生成,而这些自由基在终止时,偶合大于歧化。

对聚丙烯交联效率低的原因的分析表明,断链反应是交联的主要障碍。大分子自由基的消失一般都伴随着伯碳自由基的产生,通过链转移反应又生成叔碳自由基,从而造成重复断

链反应。这种过程会重复多次,自由基的浓度越小,上述过程的循环次数将越多。

在聚丙烯的交联体系中,加入含有双键的单体,可以和大分子自由基发生加成反应,从而使聚丙烯大分子自由基消失。接枝在聚丙烯分子链上的多功能团的单体捕捉另一个大分子自由基时,就会与另一个大分子连接起来,形成交联结构,在有多功能团的PETA存在时,交联效率可以提高3倍就证实了这一点。因此,在聚丙烯的化学交联中,如何使大分子自由基稳定是提高交联效率的关键。

### 3 二步法水交联

这种方法最早是由Dow Corning公司发展起来用于聚烯烃交联的。日本三菱油化公司经过多年研究把这一技术用于聚丙烯的交联获得成功。这种交联方法的原理如图3所示。

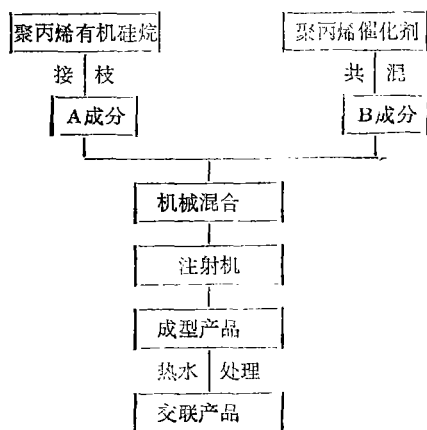


图3 聚丙烯两步法交联示意图

用带有烯类双键的三官能团的有机硅烷在少量过氧化物的存在下,与聚丙烯在挤出机中熔融共混完成接枝反应(或者与丙烯单体共聚),然后在水的作用下,硅烷水解成硅醇,经缩合脱水而交联。技术的关键是在接枝反应时必须严格控制各种因素抑制聚丙烯的降解。

交联产品不仅保持了聚丙烯原有的低密度、优良的电性能,而且耐热性、耐药品性能大大提高。交联聚丙烯的部分性能可与工程塑料尼龙6相媲美<sup>[17]</sup>,见图4。

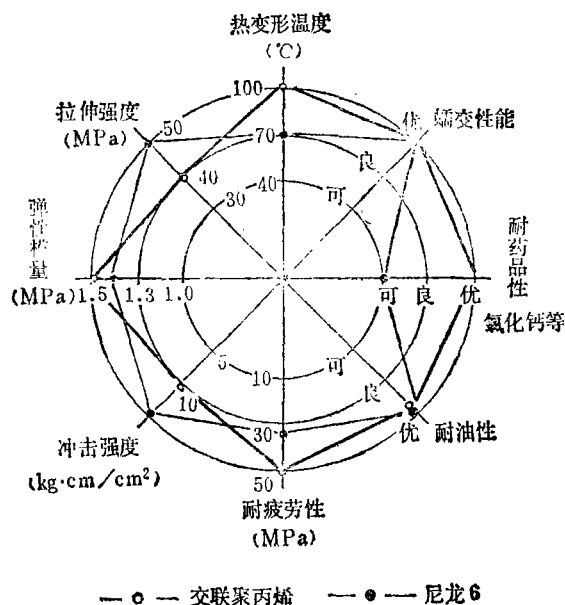


图4 交联聚丙烯与尼龙6性能的比较

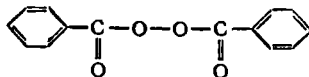
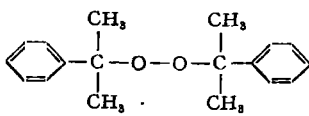
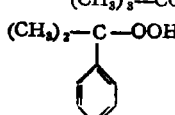
到目前为止,对于聚丙烯水交联的报道已有一些专利<sup>[17,18]</sup>,而有关反应中各种因素如何影响交联过程还尚未见报道。

作者的实验室用乙烯基三甲氧基硅烷在过氧化二异丙苯的存在下进行聚丙烯的接枝反应,用二月桂酸二丁基锡作催化剂,接枝样品进行水交联,得到了交联聚丙烯,并比较详细地讨论了引发剂浓度、有机硅烷含量、反应温度、反应时间对交联后凝胶含量以及交联效率的影响<sup>[19,20]</sup>。

不同的过氧化物具有不同的分解速度,产生的自由基具有不同的活性,因而对聚丙烯的交联有不同的影响。几种常用引发剂的物理常数见表2。

Borsig<sup>[12]</sup>已指出,对聚丙烯交联比较有效的引发剂是那些分解后能够产生带有苯环自由基的引发剂。作者选用在17℃、 $\tau_{1/2}=1s$ 的过氧化二异丙苯(DCP)作为引发剂,在上述硅烷的存在下对聚丙烯进行二步法交联,DCP含量对交联样品中凝胶含量的影响如图5所示。

表 2 几种常用引发剂的物理常数

| 过氧化物    | 结 构 式                                                                             | 分解温度<br>℃半衰期<br>=1min |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 过氧化二苯甲酰 |  | 133                   |
| 过氧化二叔丁烷 | $(\text{CH}_3)_3\text{C}-\text{O}-\text{O}-\text{C}-(\text{CH}_3)_3$              | 193                   |
| 过氧化二异丙苯 |  | 171                   |
| 过氧化叔丁烷  | $(\text{CH}_3)_3\text{C}-\text{OOH}$                                              | >200                  |
| 过氧化异丙苯  |  | >200                  |

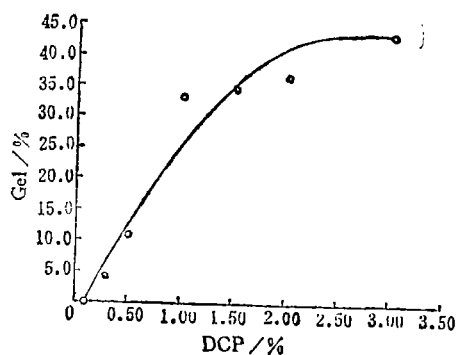


图 5 DCP浓度对凝胶含量的影响

过氧化物含量太低 (低于 0.1%) 时没有凝胶产生, DCP 从 0.5% 提高到 1.5%, 凝胶含量提高较快, 随后趋于平稳。与 Chodake<sup>[15]</sup> 对聚丙烯化学交联的结果相似, 这表明, 要想使聚丙烯交联, 反应体系必须维持一定的自由基浓度。

把 DCP 含量选定为 3%, 反应温度为 220℃, 催化剂二月桂酸二丁基锡 (DBTL) 定为 1%, 改变乙烯基三甲氧基硅烷 (VTMOS) 的含量, 得到凝胶含量与 VTMOS 含量关系 (图 6)。

VTMOS 含量大于 6% 以后, 增加 VTMOS 的含量对提高凝胶没有十分明显的作用。

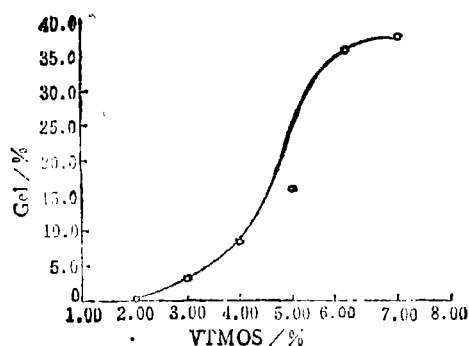


图 6 VTMOS浓度对凝胶含量的影响

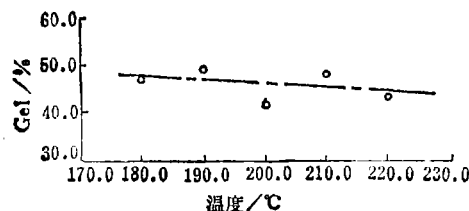


图 7 反应温度对凝胶含量的影响

VTMOS 从 3% 提高到 6%, 凝胶含量提高较快。不同的有机硅烷, 烯类双键的活性不同, 会对交联有不同的贡献。

反应温度对凝胶含量的影响如图 7 所示。在 180~220℃ 之间改变反应温度, 对凝胶含量的影响不大。

升高温度容易引起聚丙烯分子链的断链反应, 这对交联是不利的; 升高温度有利于提高反应体系瞬时自由基浓度, 同时也有利于链转移反应, 这两个因素有利于交联, 从而掩盖了由于升温引起的断链反应。但如果继续提高反应温度, 断链反应将会加快, 从而不利于提高凝胶含量, Chodak<sup>[15]</sup> 等用过氧化苯甲酰在有四丙烯酸异戊醇酯存在时化学交联无规聚丙烯时, 也有类似的结果。

反应时间与凝胶含量的关系见图 8。在一定的时间内, 延长反应时间可以提高凝胶含量, 这是因为可以使接枝反应进行得更

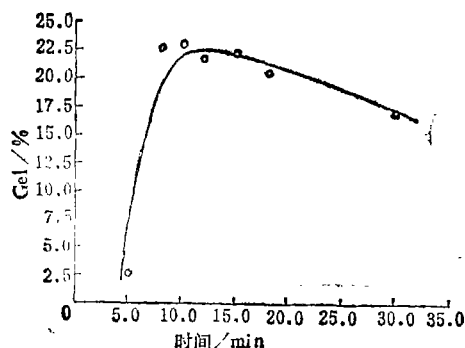


图8 反应时间对凝胶含量的影响

完全。时间过长凝胶含量反而下降,这是由于:(1)高温长时间容易导致聚丙烯分子链的热降解;(2)假定在反应前期,引发剂与有机硅烷成正比例消耗,在反应后期体系中自由基残留浓度较低,而低浓度的自由基容易引起聚丙烯的降解,从而对交联不利。

交联体系中形成交联点的数目与分解的引发剂数目的比值定义为相对交联效率。为了计算的方便,假定引发剂已全部分解,且聚丙烯分子链上每个接枝点都参与了交联反应,则相对交联效率为:

$$R.E. = \frac{n}{[DCP]}$$

$$n = \frac{10^3 \nu}{2M_n} \text{ (mol/kg)}$$

$$\nu = \frac{1 - S^{0.5}}{S^{0.5} - S^{1.5}}$$

式中:  $M_n$  为聚合物交联前的分子量;  $\nu$  为交联度;  $S$  为交联样品中的溶解部分分数。引发剂 DCP 的单位为 mol/kg PP。

引发剂浓度、VTMOS浓度及反应时间对相对交联效率的影响见图9。如前所述,增加引发剂的含量可以提高凝胶含量,也就是有利于交联,但图9(a)表明,增加引发剂浓度交联效率反而下降。其原因推测为(1)当引发剂浓度较高时,在短时间内分解产生的自由基浓度较大,这些自由基不仅可以与聚丙烯分子链及有机硅烷作用而接枝,而且也可能在自由基之间发生碰撞而湮灭;(2)DCP是带有苯

环的引发剂,这类引发剂在浓度较大时容易引起诱导分解<sup>[21]</sup>,从而导致交联效率降低。增加VTMOS含量可以提高交联效率[图9(b)]。

影响聚丙烯交联效率的很重要因素就是聚丙烯大分子自由基歧化及断链比例较高。Ko-

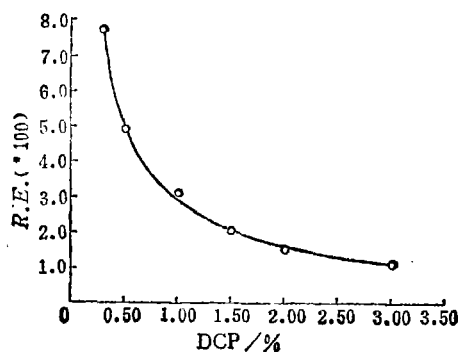
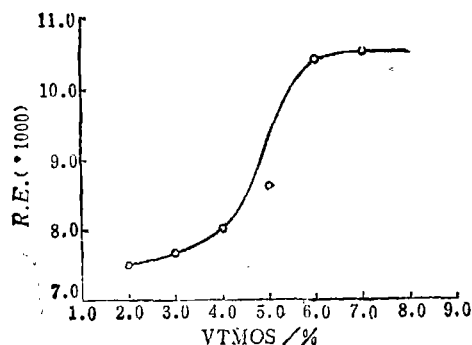
图9 (a) DCP浓度对交联效率的影响  
R.E. — 相对交联效率

图9 (b) VTMOS浓度对交联效率的影响

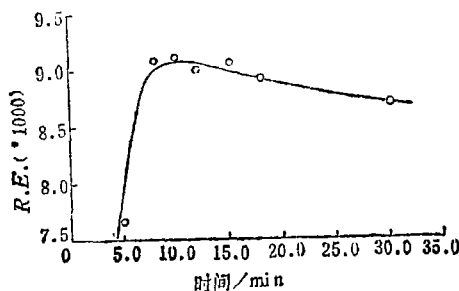


图9 (c) 反应时间对交联效率的影响

chi<sup>[16]</sup>等对聚丙烯大分子自由基歧化速率常数 ( $K_d$ ) 及化合速率常数 ( $K_c$ ) 进行了研究。结果表明歧化速率常数与化合速率常数的比值依赖于:

(1) 含有未成对电子的碳原子的  $\beta$  位上氢原子数目;

(2) 烷基自由基的反应能力;

(3) 被取代氢原子的数目;

$K_d/K_c$  的比值对温度以及终止反应是在液相或气相中进行的依赖性很小, 表 3 是  $K_d/K_c$  的计算值。

表 3 几种六分子自由基  $K_d/K_c$  计算值

| 自由基       | 叔碳自由基 | 仲碳自由基 | 伯碳自由基 |
|-----------|-------|-------|-------|
| $K_d/K_c$ | 2.9   | 0.6   | 0.08  |

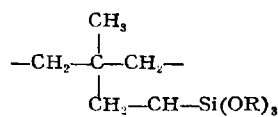
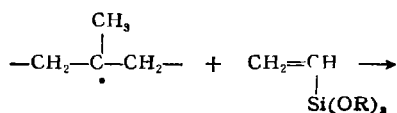
从表 3 中可以看到, 叔碳自由基的  $K_d/K_c$  最大, 即最易发生歧化反应, 因此它的交联效率最低。伯碳自由基的  $K_d/K_c$  最小, 不易发生歧化反应, 但伯碳原子上的氢与碳原子连接比较牢固, 不易被取代。因此就初级自由基而言, 叔烷和仲烷自由基是基本自由基, 这两种自由基的  $K_d/K_c$  相差 1.5, 交联效率相差 0.4。

影响交联效率的另一因素是大分子自由基的裂解, Kochi<sup>[22]</sup>等的研究表明, 原子个数较少的烷基自由基 C—C 键的  $\beta$  位裂解速率常数为:

$$K = 10^{14.1 \pm 0.5} \exp \left[ - \frac{134 \pm 17 (kJ/mol)}{RT} \right] (s^{-1})$$

在 220℃,  $K$  值从  $3.9 \times 10^{-3} s^{-1}$  变化到  $1.6 \times 10^2 s^{-1}$ , 达 5 个数量级的变化, 在引发剂快速分解时, 断链反应是不可避免的。

当有有机硅烷存在时, 聚丙烯大分子自由基可以打开硅烷分子上的双键, 从而使聚丙烯分子链得到稳定。



生成的自由基可以通过转移反应而使自由基消失, 从而形成稳定的接枝点。接枝在聚丙烯主链上的  $-\text{Si(OR)}_3$  在催化剂的作用下易于水解, 生成硅醇, 硅醇脱水形成交联结构, 从而把聚丙烯的分子链连结在一起, 使聚丙烯变成不溶不熔的交联网状结构。

在聚丙烯的二步法化学交联中, 第一步接枝反应是至关重要的, 影响因素很多, 不容易控制。而第二步, 只要有合适的催化剂, 在水中或在潮湿环境下选择适当的温度, 处理足够长的时间, 很容易发生交联反应, 而得到交联的聚丙烯。

## 4 参考文献

- 1 大河原信, 高分子化学反应, 化学同人, 1975
- 2 Deguchi J, Gosei Jushi, 1988, 34: 59
- 3 Borsig E, Fiedlerova A, Lazar M J. Macromol. Sci, 1981, A16: 513
- 4 Salovey R M, Dammont F R. J Polym. Sci, 1963, A1: 2155
- 5 Babic D, Safranji A, Markovic V, Kostoski D, Radiat. Phys. Chem, 1983, 22: 659
- 6 Black R M, Lyons B J. Proc. R. Soc, 1959, A253: 322
- 7 Marans N S, Zapas L J. J. Appl. Polym. Sci, 1976, 11: 705
- 8 Williams J L, Dunn T S, Sugg H, Stannett V. Radiat. Phys. Chem, 1977, 9: 445
- 9 Williams J L, Dunn T S. Radiat. Phys. Chem, 1982, 19: 287
- 10 Williams J L, Dunn T S. Radiat. Phys. Chem, 1979, 14: 625
- 11 Nojiri A, Sawasaki T. Radiat. Phys. Chem, 1985, 26: 339
- 12 张石玉, 罗腊生, 张世枚. 辐射研究与辐射工艺学报. 1985, 3: 48
- 13 王广厚, 滕敏康, 沈德勋, 周永义, 赖启基, 王厚稳, 蒋永兴. 核技术. 1990, 13(1): 14
- 14 后藤邦夫. プテスチックねよびゴム添加剂 实用便覧(日). 化学工业社, 1970. p896
- 15 Chodak I, Fabianoda K, Borsig E, Lazar M. Ang. Makromol. Chem, 1978, 69: 107
- 16 Kochi J K, (ed.), Free Radical, Vol. 1. Wiley-Interscience, New York, 1973
- 17 伊藤一己, 长谷川隆代, 佐野茂树. 公开特许公

(下转第137页)

- Stab, 1987, 18:189
- 21 Harnischfeger P, Kinzel P, Jungnickel B J. Makromol. Chem, 1990, 175:157
  - 22 Thomas S, Gupta B R, De S K, Thomas K T. Radiat. Phys Chem, 1986, 28(3):283
  - 23 张月芳, 葛学武, 孙家珍. 辐射研究与辐射工艺学报. 1985(3):40
  - 24 Van Gisbergen S G M, Meijer H E H, Iemstra P J. Polymer, 1989(30):2153
  - 25 Charlesby A. Radiat. Phys. Chem, 1981, 18(1~2):59
  - 26 Spenadel L. Radiat. Phys. Chem, 1979, 14:683
  - 27 Gordiichuk T N, Gordineko V P. Kompoz. Polim, Mater, 1988(38):33
  - 28 Jubinsky T A, Groele R J, Rodriguez F, Namaste M Y, Obendorf S K. ACS Symp. Ser, 346, 1987:P149
  - 29 Shultz A R, Mankin G I. J. Polym. Sci., Symp, 1976, 54:541
  - 30 Hayward D, Afrossman S, Pethrick R A. Polym. Commun, 1987, 28:344
  - 31 Akhtar S, De P P, De S K. J. Appl. Polym. Sci, 1986, 32:4169
  - 32 Spadaro G, Acierno D, Calderaro E. Radiat. Phys. Chem, 1984, 23(4):445
  - 33 Sawatari C, Matsuo M. Polymer J, 1987, 19(12):1365
  - 34 Trihian M, Daro A, Tacobs R, David C. Polym. Degrad. Stab, 1990, 28:275
  - 35 Minkova L. Dokl. Bolg. Akad. Nauk, 1987, 40(11):99
  - 36 Bhateja S K, Andrews E H. J. Mater. Sci, 1986(20):2839
  - 37 张万喜, 吕英涛, 孙家珍. 辐射研究与辐射工艺学报. 1990, 8(3):155
  - 38 李树忠, 裴玉兰, 何忠达, 刘海英. 辐射研究与辐射工艺学报. 1990, 8(2):65
  - 39 Spenadel L. J. Ind. Irradiat. Technol, 1985, 3(1):7

## Advances in Radiation Effects of Polymer Blends

Zhao Wenwei, Xu Jun, Sun Jiazhen

(Changchun Institute of Applied Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

**Summary** The present paper deals with recent progress in radiation effects of polymer blends both in China and abroad. The content includes the suitability of the application of crosslinking theory to polymer blend systems; the effects of miscibility and morphology of blend systems on radiation effects and also the protection and sensitizing effects between component in polymer blends.

**Key words** Polymer blend, radiation effects, radiation crosslinking and degradation, miscibility, morphology

(上接第176页)

报(日本). 昭63-215709

- 18 约翰. R. 威勒. 发明专利申请公开说明书. CN 86 1 00925 A

- 19 刘松林, 硕士论文. 北京航空航天大学. 1990
- 20 沈静姝, 刘松林, 钱人元. 石油化工. 1991, 9
- 21 Rado R, Simunkova D, Malak L. Vysokomol. Soedin, 1962, 4:304

## Crosslinking of Polypropylene

Shen Jingshu, Liu Songlin

(Institute of Chemistry, Academia Sinica, Beijing 100080)

**Summary** In this paper a general review on the progress of radiation crosslinking, chemical crosslinking and two-step crosslinking by moisture for polypropylene has been given. In particular, for the two-step crosslinking the effects of various factors on gel amount and crosslinking efficiency have been discussed.

**Key words** polypropylene, radiation crosslinking, chemical crosslinking, two-step crosslinking by moisture.