

尼龙纳米复合材料研究进展

卢会敏, 李小红, 徐翔民, 张治军*

(河南大学特种功能材料重点实验室, 开封 475001)

摘要:综述了尼龙纳米复合材料的制备方法、性能特点以及近几年来国内外对尼龙纳米复合材料产品开发进展情况。重点从纳米粒子对复合材料结晶行为的影响以及纳米粒子与尼龙界面相互作用两方面研究纳米粒子增强增韧尼龙的机理。并展望了尼龙纳米复合材料的应用前景。

关键词:尼龙; 纳米复合材料; 性能特点; 增强增韧

尼龙(PA)因其机械强度高, 耐磨性好, 化学性能稳定, 自润滑性能优越等优点, 广泛用于汽车部件、电子电器、石油化工等行业。但尼龙工程塑料存在耐热性和耐酸性较差, 在干态和低温下抗冲击强度低、吸水率大、透明性差、溶解性差等缺点而影响制品的尺寸稳定性和电性能, 使其应用范围受到了很大的限制。为了提高尼龙的性能以适应不同应用领域的需要, 常采用嵌段、接枝共混、填充等方法对其改性。近年来, 随着纳米技术的不断深入和发展, 聚合物纳米复合材料成为研究的热点^[1~6]。尼龙纳米复合材料具有高强度, 耐热性, 高阻隔性, 阻燃性和优良的加工性等优异的性能而受到工业界和科学界的高度关注。尼龙纳米复合材料也因此成为第一个工业化的聚合物纳米复合材料品种, 也是目前实际用量最大和前景看好的纳米复合材料之一。

最早关于 PA 纳米复合材料的报道始于 1976 年^[7], 由日本尤尼卡公司用插层法得到的 PA6 硅酸盐纳米复合材料(现已工业化生产), 得到的 PA6 /硅酸盐纳米复合材料的密度与纯 PA6 相同, 外观没有差异, 但是性能优异。目前主要用于注射成型制品, 取代聚苯醚等塑料, 生产汽车引擎, 燃烧管^[8~10]等部件。

1 PA 纳米复合材料的制备

PA 纳米复合材料的合成方法主要有插层复合法, 原位复合法, 共混法等。其中插层复合法是当前研究最为活跃, 最为成熟, 最具工业化前景的技术。插层复合法主要有两种: (1)插层聚合: 先将聚合物单体分散, 与经插层剂处理的层状硅酸盐混合, 然后原位聚合。利用聚合释放出的热量使其剥离成厚约 1 nm, 长宽均约 100 nm 的层状硅酸盐基本单元, 均匀分散在聚合物基体中, 实现高分子与硅酸盐在纳米尺度上的复合; (2)聚合物插层: 将聚合物熔体或溶液与硅酸盐混合, 利用力学或热力学作用, 使层状硅酸盐剥离成纳米尺度的片层, 均匀分散在聚合物基体中, 形成纳米复合材料。因插层复合技术能够实现 PA 基体与无机物分散相在纳米尺度上的复合, 所得到的纳米复合材料能够将无机物的刚性、尺寸稳定性和热稳定性与 PA 的韧性、可加工性及介电性完美的结合起来。原位复合法是将纳米材料溶解于单体溶液中再进行聚合, 优点是纳米材料分散均匀。共混法中有乳液共混法、溶液共混法、机械共混法、熔融共混法。其中熔融共混法最具有实际意义和工业化的前景。该法的优点是纳米粒子与复合材料制备分步进行, 可控制纳米粒子的形态、尺寸, 缺点是纳米粒子易团聚, 要用偶联剂、分散剂对其进行表面处理。

2 PA 纳米复合材料的性能特点

尼龙纳米复合材料的主要性能特点是高强度、耐热性、耐阻隔性、阻燃性、优良的成型加工性和可再

基金项目:国家高技术研究发展计划(863)资助项目(2002AA302607);

作者简介:张治军(1958—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事纳米金属材料与复合材料方面的研究;

* 通讯联系人; Tel-0378-2852533, luhui@126.com.

生重复使用。PA 纳米复合材料主要性能特点见表 1。

表 1 PA 纳米复合材料主要性能特点
Table 1 Characteristic of PA-nanocomposites

功能性种类	聚合物名称	分散相种类	备注
气体阻隔性	PA6	蒙脱土	气体包括:水蒸气、氧气、二氧化碳等
阻燃性	PA6, 聚己内酯	硅酸盐	用锥形量热器测定热速率(HRR)燃烧热、发烟量、一氧化碳等
耐摩擦、磨耗性	PA66, PA6	合成云母、黏土	磨耗性、表面硬度等
尺寸稳定性	PA6	蒙脱土	
生物降解性	聚己内酯	黏土	

Liu 等^[11]在研究尼龙 6/多层碳纳米管复合材料的力学性能时发现,在碳纳米管含量为 2%(wt)时复合材料的屈服强度较纯尼龙 6 提高 162 %,杨氏弹性模量提高 214 %,断裂伸长率提高 110 %。何翼云等^[12]将纳米二氧化硅混入己内酰胺单体中,制备了 PA6/纳米二氧化硅复合材料,发现纳米二氧化硅含量在 0.05%~0.5%范围内复合材料的简支梁缺口冲击强度和断裂伸长率均有较大提高,最大值比纯 PA6 分别提高 2.27 倍和 4.65 倍。Garcfa 等^[13]在研究尼龙 6/二氧化硅纳米复合材料的摩擦学性能时发现添加 2%(wt)纳米二氧化硅的尼龙纳米复合材料的摩擦系数是 0.18,而纯尼龙 6 的为 0.5。

工业化方面,继丰田公司和宇部兴产公司合作开发出 PA6 纳米复合材料 1015C 后,日本尤尼奇卡公司于 1995 年利用插层聚合法得到了 PA6/层状硅酸盐纳米复合材料,并推出了一系列工业化产品,其主要牌号及性能见表 2^[7]。

表 2 PA6 纳米复合材料的牌号和性能;
Table 2 Trademark and capability of PA-nanocomposites[‘]

项目	M1030D	M1030B	M1030DG20	M1030DT20
密度	1.15	1.14	1.29	1.09
拉伸强度/MPa	91	85	113	56
断裂伸长率/%	4	20	4	10
弯曲模量/GPa	4.5	3.7	8.2	2.8
悬臂梁冲击强度/(J·m ⁻¹)	45	40	49	154
热变形温度/℃				
1.8MPa	152	120	195	153
0.45 MPa	194	190	212	186

1996 年日本昭和电工公司推出 PA6/合成云母纳米复合材料 SystemerFE2010Z,并用挤出机工业化生产了 PA66 纳米复合材料,开发了摩擦和磨耗特性比纯 PA66 有较大提高的材料,牌号为 FE30100^[14]。另外,该公司还制备了牌号为 SystemerFE30600 和 30602 的不含卤素和磷阻燃材料,其阻燃性能分别达到 UL94V-0 和 UL94V-2 级。

美国 Honeynell 公司也成功开发出 PA6 纳米复合材料,该材料的气体阻隔性特别是高湿度(80%~90%)下的气体阻隔性得到了很大的提高。含 4%的纳米粘土的 PA6 的阻氧性是纯 PA6 的 6 倍,这使得该公司的 Aegis NCPA 纳米复合材料可以作为中等阻隔性饮料瓶和薄膜的原料,用于包装材料时还显示出刚性加倍,热变形温度更高及透明度改进等优点^[15]。

Foster 公司于 2001 年推出了 PA 纳米复合材料的新品种,据称新材料具有均衡的高刚性和断裂伸长率,在增加刚性的同时不会使材料变脆。在 2002 年时该公司又推出了经过改性的 SEP 纳米复合材料,这种新材料以烯烃类弹性体和尼龙 6、11、12 位主要原料,比普通聚合物具有更高的刚性和断裂伸长率,据 Foster 公司称,SEP 纳米复合材料配方为多种用途而设计,对刚性、韧性都有要求,同时也使设计师有更大的设计空间,在导管和其它薄壁医疗制品应用上其优点显而易见^[16]。

此外, BASF 公司、Solu 公司、Tia 公司、荷兰 TNO 公司、美国 Eastman 化学公司及美国 LNP 公司和美国杜邦公司也都分别推出了工业化生产的 PA 系列纳米复合材料^[17]。

在国内工业化方面, 中国科学院化学研究所、岳阳石化总厂研究院、华东理工大学、北京化工大学等单位都对 PA 纳米复合材料进行了研究开发。

中国科学院化学研究所用天然层状硅酸盐为无机分散相, 发明了一步法制备 PA6 纳米复合材料, 该纳米复合材料与纯 PA6 相比具有高强度、高模量、高耐热性、低吸湿性、高尺寸稳定性及阻隔性能好等优点; 并具有良好的加工性能; 与普通玻纤或者矿物增强 PA6 相比, 该复合材料具有密度小, 耐磨性好, 相同无机物含量条件下综合性能优异等优点。同时, 该纳米复合材料还可以进一步用玻纤或普通矿物增强, 其性能更加优越。岳阳石化总厂研究院采用插层原位聚合法制备了 PA6/粘土纳米复合材料, 开发了独特的 PA6 纳米复合材料制备和生产工艺技术。2000 年中试成功, 其产品性能指标均达到国外同类产品(尤尼奇卡公司的 M10301)水平。

3 无机纳米粒子对尼龙的增强增韧机理

无机纳米粒子之所以对尼龙有好的改性作用, 主要原因有两个: 一是因为尼龙是一种结晶性聚合物, 无机纳米粒子的引入起到了成核剂的作用, 对尼龙的结晶行为产生了影响进而影响了材料的最终性能。二是因为聚合物和无机纳米粒子之间有很大的界面, 有机聚合物和无机纳米粒子界面之间存在较强的物理化学作用。因此尼龙/无机纳米材料复合材料兼具无机物优良的力学、耐热性能与聚合物的韧性、介电性能相结合的优点。

3.1 结晶行为的影响

结晶聚合物的结晶行为直接影响着聚合物的性能, 所以考察聚合物的性能应从考察聚合物的结晶行为入手。结晶聚合物的结晶行为主要包括熔点、结晶温度、结晶度、结晶动力学、结晶活化能, 晶型及结构等。

一般来说, 球晶越大, 性质越脆, 因而球晶的大小影响材料的冲击强度。研究表明, 球晶的细化和不完整对提高材料的韧性是有利的, 而结晶度的增大有利于提高力学强度和刚性。因此, 力求细化、分割晶粒的同时, 尽量不降低结晶度成为增强增韧聚合物的一个着眼点^[18, 19]。在研究无机纳米粒子对聚合物结晶的影响时, 通过跟踪聚合物熔体的结晶过程, 发现在结晶速度达到极大值的温度时添加无机粒子的聚合物的熔体降温结晶峰温度比纯聚合物的要高, 并且随添加量的增加逐渐升高, 说明加入无机粒子使聚合物容易结晶; 但随添加量的增多, 熔体降温结晶峰温度又有所下降, 但仍比纯聚合物的要高。形成这种情况的原因是一方面无机粒子与聚合物分子链之间的相互作用限制了聚合物分子链的运动, 使参与结晶的分子链减少, 导致结晶度降低; 另一方面无机粒子作为成核剂可以使晶体结构更加完善^[20, 21]。无机纳米粒子加入到聚合物中有异相成核的作用, 使复合材料的结晶温度升高, 结晶度也有所提高。对尼龙纳米复合材料来说, 无机纳米粒子比如滑石粉、氟化钙、二氧化硅、云母、碳纤维、蒙脱土等都可以改变聚合物的结晶行为, 使聚合物在其表面上异相成核而结晶。Tiong 等^[22]在用差示扫描量热法(DSC)研究尼龙 6/蒙脱土纳米复合材料的非等温结晶动力学时发现, 在复合材料中, 蒙脱土对基体尼龙 6 的结晶具有一定的促进作用, 提高了结晶速率, 使复合材料倾向于形成较为完善和均匀的晶体。

另外, 在聚合物中加入纳米粒子, 结晶活化能随纳米粒子的含量增加而升高, 但增加到一定程度后, 结晶活化能的数值又开始缓慢下降, 这是因为在纳米粒子含量较低时, 球晶生长占主导地位, 纳米粒子与聚合物基体间的强界面相互作用阻碍了聚合物结晶生长所需的链段运动, 结晶活化能随纳米粒子的含量增加而升高; 纳米粒子含量增加到一定程度后, 成核机制占主导地位, 纳米粒子含量继续增加, 结晶活化能又会降低^[23]。刘立敏等^[24]在用 DSC 研究熔体插层制备的尼龙 6/蒙脱土纳米复合材料的等温结晶行为时发现尼龙纳米复合材料的结晶行为符合这一理论。

尼龙和许多结晶聚合物一样在无外力作用时只形成完整的 α 晶。但是由于纳米粒子的异相成核作用, 尼龙纳米复合材料的晶型除 α 晶外还有 γ 晶甚至形成了不太稳定的 α' 晶, 使尼龙纳米复合材料多晶

型化。Fornes 等^[25]通过 XRD 和 DSC 研究尼龙/粘土纳米复合材料的结晶行为时发现,表面区域和内部区域的结晶行为存在很大的差异,表面区域的结晶度要高于内部区域的结晶度,表面区域形成的只有 γ 晶型,而内部区域形成了 α 晶和 γ 晶两种晶型,并证明了这在很大程度上是由于表面的快速冷却限制了聚合物的链迁移率,另外随着表面上粘土含量的不断增大,更进一步的限制了聚合物的链迁移率,从而得出了尼龙/粘土纳米复合材料利于形成 γ 晶的条件:快速冷却、限制迁移率、纳米粘土的加入和高的应变。Cerenözdin 等^[26]在研究尼龙/勃姆石纳米复合材料的结晶行为时发现复合材料形成了 α 、 γ 、 α' 三种晶型,证明了是因为无机纳米粒子的填充导致聚合物分子重排能力变差从而利于形成 γ 晶,另外勃姆石的加入打乱了形成的 α 晶,而形成不太稳定的 α' 晶。因为不同的晶型表现出的物理性能不同,当人们弄清纳米粒子对纳米复合材料晶型和结构影响的机理时,就可以找到有利于形成所希望晶型的条件从而得到期望性能的纳米复合材料。

聚合物形态(morphology)研究进展表明,聚合物的形态和聚合物的性质密切相关,换句话说,人为的改变聚合物的微观形态为开发新牌号提供可能。对尼龙这类结晶性聚合物而言,结晶形态是一个重要的研究领域,结晶形态的调整和控制也将成为开发尼龙牌号的重要手段之一。研究成果发现添加纳米粒子作为成核剂导致的形态变化主要有以下几个方面:(1) 加快结晶速度,提高纳米复合材料的结晶度;(2) 形态比较均一的结晶构造;(3) 形成球晶;(4) 球晶的尺寸微细化;(5) 结晶活化能升高。

尼龙的机械性能和光学性质与聚合物的形态有相当密切的关系,控制尼龙的形态是改善尼龙物理性能的重要手段之一。使用高性能的成核剂使结晶微细化,有可能改变尼龙的热变形温度、刚性、透明性等物理性质,提供开发新牌号的可能。此外,提高结晶化温度,可以缩短加工成型周期,减少毛边,提高加工效率。其中关于提高结晶化温度方面:纯净的尼龙在开始结晶时由于结晶开始点比较少,即使冷却也很少立即开始结晶,通常经过冷却才开始结晶化过程。添加适量的无机纳米粒子后,无机纳米粒子作为结晶的开始点起到促进结晶的作用,使得结晶化温度上升。因此添加无机纳米粒子导致的结晶化温度上升的程度可以表示促进结晶能力的大小,结晶化温度的提高使得在比较高的温度下就能结晶,就可以对复合材料在较高温度下加工,提高加工速度。通常加工条件下得到的尼龙制品大多都是半透明的,这是因为对结晶性树脂而言,树脂结晶的大小大于可见光波长或者结晶部分与非结晶部分的折光率不同时,造成表面光乱反射,导致透明性下降。欲得到透明度高的制品必须满足:结晶度高、结晶取向整齐、结晶的尺寸要小于可见光的波长等要求。为了达到这些要求,可以采用急冷或压延的方法,添加无机纳米粒子作为成核剂也是一种广受关注的方法。添加无机纳米粒子作为成核剂可使尼龙结晶微细化,制品表面与内层的结晶状态均匀,提高了弯曲弹性模量。实验结果表明,添加成核剂还有改善树脂耐冲击强度的效果,特别应该指出的是和其它的改性方法相比,添加无机纳米粒子不但可以提高材料的耐冲击强度而且能使材料的刚性增加,而其它的改性方法却不可两者兼得^[27]。

添加无机纳米粒子后结晶形态发生变化导致尼龙性能的差异化提示我们:通过成核剂和成核技术的研究开发,可以打开一扇开发尼龙纳米复合材料的品种牌号的大门。

3.2 界面的影响

纳米粒子的量子尺寸效应和表面效应使得纳米粒子具有大的比表面积,高的表面活性。这样的效应使得纳米粒子与聚合物基质之间的界面对纳米复合材料的性能有很大的影响,因此界面结合的状况必然对材料的性能有很重要的影响。一般复合材料的界面结合力可分为三类,即机械结合力、物理结合力(包括范德华力和氢键)和化学结合力(包括离子键和共价键),在纳米粒子改性的尼龙基复合材料中,机械结合力都是存在的,而且由于纳米粒子比表面积很大所以机械结合力就达到了一定的数量级。无机纳米粒子增强增韧尼龙类聚合物的机理主要是从界面的物理和化学作用角度解释。不同的纳米粒子对不同的聚合物基质的增强增韧机理是不同的。当材料被分散为纳米尺寸时,材料主要成分集中在其表面,因此纳米复合材料的特性能否得到充分发挥,在相当大的程度上取决于以下因素:第一,对于插层型纳米尼龙基复合材料,在一定意义上说,插层剂除具有以阳离子交换对无机层状硅酸盐进行插层作用外,还类似于传统玻璃纤维复合材料中的偶联剂,因此需要插层剂与尼龙基体熔体间必须有良好的反应性;第二,对

于填充型纳米复合材料,由于纳米粒子大的表面能导致纳米材料之间的团聚作用,而经常无法在尼龙基体中以纳米尺度分散,因此需要特殊的纳米颗粒表面修饰方法。对于聚酰胺/纳米黏土类插层型复合材料,乔放等^[28]认为层状结构的粘土经过离子交换处理膨胀,可引入聚合物单体经阳离子引发开环聚合形成端基为阳离子的高分子,粘土剥离成单层约为 1 nm 厚的片层分散在聚酰胺中,层上阴离子与聚酰胺端阳离子以离子键作用牢牢结合,形成稳定的纳米复合材料。另外对于尼龙基粘土类纳米复合材料的界面相互作用还有尼龙直接吸附到粘土或者硅酸盐片层惰性表面上的硅氧烷原子和有机粘土中的烷基链不同程度“溶解”到聚合物基体中两个方面^[29]。而对于像纳米二氧化硅、云母、氟化钙等填充型无机纳米粒子,一般都要进行表面处理以使其和尼龙基体有强的界面作用。作者实验室近期合成了系列可反应性二氧化硅纳米微粒^[1,30,31],其表面带有可反应性基团,如羟基、羧基、氨基、环氧基、双键等,使纳米微粒可以直接参与化学反应,将表面带有氨基可反应官能团的纳米二氧化硅改性尼龙 66,发现此纳米二氧化硅稳定分散于尼龙 66 基体中并与尼龙 66 以共价键和氢键连接,对尼龙 66 的抗冲击性能和耐磨性能有较大提高,目前正申请国家专利。

此外,关于尼龙基纳米复合材料的增强增韧机理还可从微细观力学角度进行解释(如微裂纹化增韧机理和裂缝与银纹相互转化机理)。但不管哪种解释只能是适用于特定的无机纳米粒子/聚合物体系和特定的制备方法,都是基于部分实验的分析,因而都存在一定的局限性。随着研究的进一步深入,对该类材料的有关机理的认识也将进一步加深和验证。因此,及时的归纳总结、分析有关机理无疑对尼龙基纳米复合材料的研究、设计和应用起到较好的指导作用。

4 展望

决定材料能否进入和站稳市场的主要因素是性能/价格比,在 2000 年的国际纳米复合材料会议上^[32],工业家认为 PA 纳米复合材料大量应用时仅比一般 PA 贵 10 % 左右,随着纳米复合材料制备技术的发展和应用领域的扩展,纳米复合材料的用量将迅速增长:1999 年,世界纳米复合材料的用量为 1000 吨,绝大部分为 PA 系纳米复合材料,预计 2008 年纳米复合材料的市场需求量将达到 23 万吨,PA 系列仍是占绝对主导地位的品种之一。

我国目前在这方面仍处于起步阶段,虽然已有了一些工业化的产品,但与国外还有很大的差距。虽然尼龙纳米复合材料优异的性能使得其应用范围远远超过了原有聚合物应用范围,但近似于金属的高刚性材料开发很少,要实现这种高刚性材料的开发,不仅要有材料方面的技术,而且还要有成型方面的技术。目前,如何提高纳米粒子的分散性以减少其团聚和对粒子表面处理以及开发纳米复合材料的新应用领域仍是当前研究工作的主要课题。

参考文献:

- [1] 李小红,孙蓉,张治军,等. 自然科学进展, 2004, 14(1): 1.
- [2] Gu G T, Zhang Z J, Dang H X. Mater Res Bull, 2004, 39, 1037.
- [3] Li Z W, Zhou J F, Zhang Z J, et al. Chin Chem, 2004, 22, 1133.
- [4] Liu H Z, Zheng S X, Nie K M. Macromolecules, 2005, 38, 5088.
- [5] Gu G T, Zhang Z J, Dang H X. Appl Sur Sci, 2004, 221, 129.
- [6] Zhang S M, He B F, Zhang Z J, et al. Chem Lett, 2004, 33(11), 1498.
- [7] Charles E. Carraher Jr. Engineering Plastics, New York, John & Wiley, 2003, 8, 22, 183.
- [8] Dasari A, Yu Z Z, Mai Y W. Polymer, 2005, 46, 5986.
- [9] Li Y, Guo Z X, Yu J. Macromol Mater Eng, 2005, 290, 649.
- [10] Jia X, Ling X M. Wear, 2005, 258, 1342.
- [11] Liu T X, In Y P, Shen L, et al. Macromolecules, 2004, 37, 7214.
- [12] 何翼云,熊远凡,肖勇,等. 工程塑料应用, 2000, 28(7), 1.
- [13] Monserrat G, Matthijn D R, Louis W et al. J Appl Polym Sci, 2004, 92, 1855.
- [14] 魏京华. 工程塑料应用, 2004, 32(4), 67.

- [15] 福特. 海外快递, 2003, 8, 47.
- [16] 唐伟家, 吴汾. 国外塑料, 2002, 20(3): 11.
- [17] 宋波, 黄锐, 魏刚. 现代化工, 2004, 24(001): 43.
- [18] João B P, Soares, Siripon A. J Polym Sci Part B: Polym Phys, 2005, 43(13): 1557.
- [19] Li Y L, Xie T X, Yang G S. J Appl. Polym. Sci., 2006, 99(5): 2076.
- [20] Zapata-Espinosa A, Medellín-Rodríguez F J, Stribeck N. Macromolecules, 2005, 38(10): 4246.
- [21] 马继盛, 漆宗能, 李革, 等. 高分子学报, 2001, 5: 589.
- [22] Tiong S C, Bao S P. J Polym Sci Part B: Polym Phys, 2004, 42: 2878.
- [23] Malkin A Y, Beghishev V P, Bolgov S A. Polymer, 1982, 23(3): 385.
- [24] 刘立敏, 朱晓光, 漆宗能. 高分子学报, 1999, 3: 274.
- [25] Fornes T D, Paul D R, Polymer, 2003, 44: 3945.
- [26] Cerenözdiek, Krzysztof K, David B, et al. Polymer, 2004, 45: 5207.
- [27] Won J C, Fulchiron R. Poly Engin Sci, 2000, 40: 2058.
- [28] 乔放, 李强, 漆宗能, 等. 高分子通报, 1997, 3: 135.
- [29] 郭敏燕, 周晓东, 戴干策, 等. 现代塑料加工应用, 2004, 16(5): 42.
- [30] Li X H, Cao Z, Liu F, et al. Chem Lett, 2006, 35 (1): 94.
- [31] Li X H, Cao Z, Zhang Z J, et al. Appl Surf Sci, 2006, In Press.
- [32] Brazier L. Eur Plast News, 2001, 28(1): 27.

Advances in Research of Nylon Nanocomposites

LU Hui-min, LI Xiao-hong, XU Xiang-min, ZHANG Zhi-jun

(Key Lab For Special Functional Materials, Henan University, Kaifeng 475001, China)

Abstract: The preparation methods, properties and development progress in recent years of nylon-based nanocomposites materials were introduced in this paper. The reinforcing and toughening mechanisms of nanocomposites were discussed mainly from the influences of nanoparticles on the crystallization behaviors of composites materials as well as the interfacial interaction between nanoparticles and nylons. In addition, the application prospect of nylon-based nanocomposites was also reviewed.

Key words: Nylon; Nanocomposites; Property; Reinforcing; Toughening

(上接第 30 页)

Applications of Microwave Irradiation to Chitosan Polymer Materials

HU Zhang^{1, 2}, ZHONG Jie-ping¹, LI Si-dong¹, ZHANG Chao-hua³

(1. College of Science, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China;

2. School of Pharmaceutical Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310031, China;

3. College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

Abstract: In this paper, the principles and characters of microwave which assisted organic reactions were introduced. And the applications of microwave irradiation to chitosan polymer materials were reviewed.

Key words: Microwave irradiation; Organic reaction; Chitosan