

聚丙烯酸酯/无机氧化物型杂化材料的合成与应用

钟毓斌, 吴映辉, 唐和清^{*}

(华中科技大学化学系, 武汉 430074)

摘要:从硅烷偶联剂改性有机相的基本反应原理出发, 综述了聚丙烯酸酯/无机氧化物型杂化材料的主要制备方法及其优缺点, 讨论了无机氧化物对这类材料的热性能、阻燃性、机械性能等方面的影响, 展望了这些材料作为涂料、功能膜、生物材料以及光电材料的应用前景。

关键词:溶胶-凝胶法; 聚丙烯酸酯; 无机氧化物; 有机/无机杂化材料

作为本世纪最有前途的材料, 纳米材料备受关注, 而有机/无机杂化材料更是纳米材料发展的重点^[1]。有机/无机杂化材料是一种均匀多相材料, 其中至少有一相的尺寸至少有一个维度在纳米数量级^[2]。这类材料兼具各组分的不同优点, 从而具有优异的热学、力学、光学等性能^[3]。聚丙烯酸酯类化合物用途广泛^[4], 人们对聚丙烯酸酯/无机氧化物型的有机/无机杂化材料进行了深入的研究。本文从材料的制备方法、基本性能及其主要应用等方面入手, 系统地综述了这一研究领域的最新进展。

1 聚丙烯酸酯/无机氧化物型杂化材料的主要制备方法

聚丙烯酸酯/无机氧化物型杂化材料的制备方法因氧化物原料来源的不同而不同。根据氧化物原料的来源(氧化物纳米粒子、氧化物纳米溶胶、氧化物前驱体), 制备方法主要有: 溶胶-凝胶法、原位聚合法和共混法。表 1 简单地比较了这三种方法的优缺点。

表 1 三种制备方法的比较
Table 1 Comparison of three preparation methods

方法	优点	缺点
溶胶-凝胶法	产物的均匀性好, 化学成分易于调控; 制品纯度高, 高度透明; 烧结温度较传统的固相反应法低约 200℃~300℃	产物容易开裂; 反应中采用共溶剂, 使得反应物溶解性受限; 反应周期长
原位聚合法	一次成型, 后处理工艺简单	纳米粒子分散困难, 容易团聚
共混法	容易控制粒子的形态和尺寸分布	难于寻找共溶剂, 纳米粒子分散困难

1.1 溶胶-凝胶法

对于聚丙烯酸酯/无机氧化物型杂化材料, 有机相的原材料可以是丙烯酸单体或聚合物, 而无机氧化物相的原材料可以是溶胶前驱体或溶胶。因此, 根据无机与有机物原料的不同形态, 溶胶-凝胶法又可分为溶胶-聚丙烯酸酯共混法、前驱体-聚丙烯酸酯原位法、溶胶-丙烯酸酯类单体原位聚合、无收缩杂化材料制备法。

1.1.1 溶胶-聚丙烯酸酯共混法 这种方法首先使金属醇盐水解, 再对水解产物进行胶溶而制成溶胶, 或者使无机盐溶液进行胶溶而得到溶胶, 之后选择共溶剂, 使溶胶与聚丙烯酸酯化合物在共溶剂中共混, 最后, 再凝胶化而制得杂化材料。此方法主要依靠简单的包埋, 聚合物相间不存在化学键。

为了增加两相相容性, 可以在反应中引入功能基团, 如羟基、三烷氧基硅烷基等。在制备杂化材料

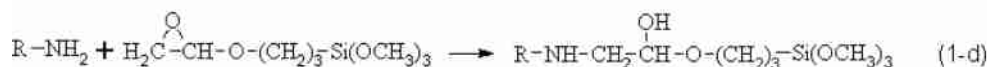
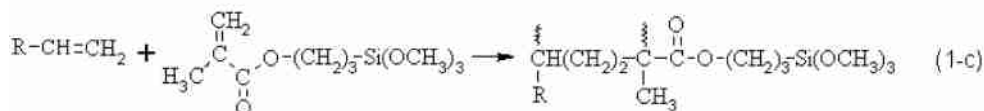
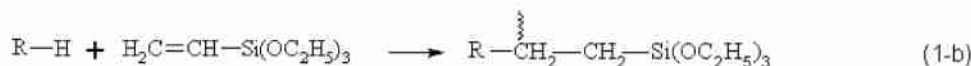
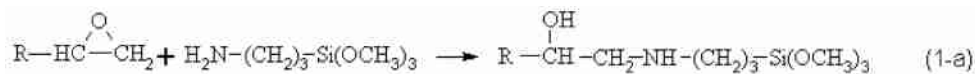
基金项目:教育部留学回国人员科研启动基金重点项目;

作者简介:钟毓斌(1980—), 男, 在读硕士研究生, 目前主要从事杂化功能涂料方面研究。

通讯作者:唐和清, 男, 教授, 博士生导师, E-mail: hqtang62@yahoo.com.cn.

时,有三种方法引入功能化基团。

(1)通过反应 1a-1d 所示,在聚合物的两端或侧链引入功能基团,使有机相功能化;



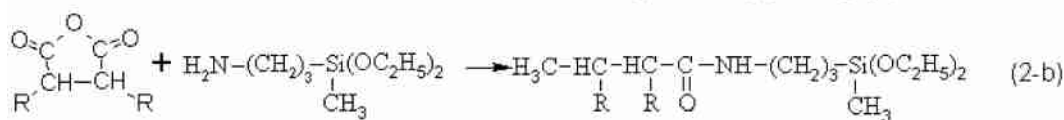
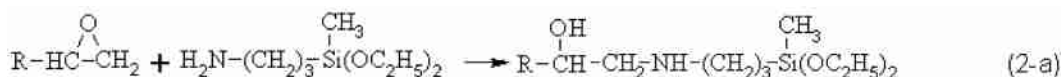
(2)在水解制备溶胶的过程中加入硅烷偶联剂,使溶胶带有功能基团;

(3)在制备有机相时,将偶联剂与单体反应,使有机相带有功能基团。

Xiong 等^[5]以丙烯酸丁酯(BA)、甲基丙烯酸甲酯(MMA)、 γ -甲基丙烯酰氧基丙基三甲氧基硅烷(MPTMS)、钛酸丁酯(TBOT)为原料,先使 MPTMS 与 BA 聚合,得到聚合物 P(MMA-BA-MPTMS),然后与 TBOT 的溶胶共混,制备了纳米杂化材料。Xie 等^[6]采用 MMA 与马来酸酐(MAn)制备出 P(MMA-MAn),然后利用 γ -氨基丙基三甲氧基硅烷改性聚合物,最后改性聚合物与正硅酸乙酯(TEOS)的溶胶共混,制备出 P(MMA-MAn)/SiO₂ 杂化材料。鉴于对环保的日益重视,人们尝试采用水替代有机溶剂。Tong 等^[7]通过乳液法,制备出甲基丙烯酸丁酯的纳米级乳液,然后与 TEOS 的溶胶进行乳液共混,成功制备出杂化材料。

1.1.2 前驱体-聚丙烯酸酯原位法 此方法是将无机前驱体在聚丙烯酸酯化合物溶液中发生水解、缩聚形成无机网络。这种方法制得的杂化材料,聚合物与无机网络间既可以是简单的包埋与被包埋,也可以由化学键相互连接。该法的关键是选择良好的共溶剂,以保证二者具有很好的相容性。

Wang 等^[8]在四氢呋喃(THF)溶液中,在偶氮二异丁腈的催化下,将 MMA 分别与甲基丙烯酸甘油酯(GMA)(反应式 2-a)、MAn(反应式 2-b)聚合,制备出聚合物,然后用 γ -氨基丙基甲基二乙氧基硅烷改性,形成共聚物后再与 TEOS 的在盐酸催化下原位水解,制备出 P(MA-MA5)/SiO₂、P(MMA-GMA5)/SiO₂ 杂化材料。虽然无机相多为 SiO₂,但也可以是 TiO₂ 等。Xu 等^[9]用 MMA 与 MA 在二氧化己环溶液中共聚,制备 P(MMA-MA),然后用 γ -氨基丙基三乙氧基硅烷进行改性,最后将聚合物溶解在 THF 中与 TBOT 原位水解制得 P(MMA-co-MA)/SiO₂-TiO₂ 杂化材料。



1.1.3 溶胶-丙烯酸酯类单体原位聚合 这种方法是指无机物溶胶均匀分散在丙烯酸酯类单体中,进而引发聚合形成杂化材料的方法。这一方法有可能解决共聚或改性聚合物溶解性差的问题。例如, MMA 与 MPTMS 共聚后因水解等原因不溶于 THF, Huang 等^[10]在 THF 中将 MMA、TEOS、MPTMS 在酸性条件下水解,然后引发聚合,制备出 PMMA/SiO₂ 杂化材料,但是仍有轻微的开裂。张超灿等^[11]采用 MMA、TEOS、MPTMS、过氧化苯甲酰(BPO)等为原料,原位引发聚合,制备了均匀透明完整性好的 PMMA/SiO₂ 杂化材料。他们采用预水解与原位聚合相结合的方法有效地克服了开裂的问题。

从原料上看,无机前驱体大多使用的是金属烷氧化合物,此类物质价格昂贵,而且有毒。因此采用非烷氧化合物的前驱体制备杂化材料的方法受到关注。Eusworth 等^[12]以硅酸钠为前驱体,在不同反应物配比条件下,制备出一系列不同分子量分布的聚硅酸(PA)。Habsuda 等^[13]研究了甲基丙烯酸-2-羟基乙酯

(HEMA)与 PA 体系,制备出 PHEMA/SiO₂ 杂化材料。最近, Wang 等^[14] 采用水玻璃、八水二氯化锆和 MMA,制备了 PMMA/SiO₂/ZrO₂ 杂化材料。

1.1.4 无收缩聚丙烯酸酯/无机氧化物型杂化材料的制备法 以上的各种方法都存在一个共同的缺点,即在凝胶干燥过程中,由于溶剂、水、醇等的挥发而产生应力,甚至会导致材料的开裂。为了克服这一弊端, Novak 等提出无收缩性溶胶-凝胶法。井新利等^[15] 用 HEMA 合成四(丙烯酰氧基乙氧基)硅烷(TAES),通过溶胶-凝胶反应制备出 PHEMA/SiO₂ 复合材料。王华林等^[16] 利用甲基丙烯酸-β-羟丙酯(HPMA)与 TEOS 反应,合成 TAES,进而制备出 PHPMA/SiO₂ 杂化材料。他们还采用丙烯醇(AOH)作为有机改性剂,与 TEOS 发生醇交换制备出可聚合的活性单体,然后将活性单体进行自由基聚合,灌模成型,制备无收缩不开裂的 PAOH/SiO₂^[17] 和 PAOH/TiO₂^[18] 杂化材料。这种方法,解决了材料开裂的问题,但所用的反应前驱体要特殊制备,且合成较为困难。

1.2 原位聚合法

原位聚合法是指纳米粒子在丙烯酸酯单体中均匀分散,再引发单体聚合的方法。此方法的关键是如何防止氧化物纳米粒子的团聚。

近来,人们不断开发出各种新奇的杂化粒子。Yu 等^[19] 采用 MMA、BA、甲基丙烯酸(MAA)、纳米 TiO₂、十二烷基磺酸钠等为原料,先通过表面活性剂改性纳米粒子,然后以过硫酸铵为引发剂,在水溶液中乳液聚合,制备了以无机物为核、有机物为壳的纳米复合粒子。复合粒子结构也可相反。Chen 等^[20] 选用碱性的 2-甲基丙烯酰氧基三甲基氯化铵(MTC),利用酸-碱效应,与纳米 SiO₂ 的表面的酸性羟基作用,在乳液聚合过程中 MTC 既是纳米 SiO₂ 的稳定剂,又是反应辅助剂,然后与 MMA 在水溶液自由基聚合,制备出以有机物为核、SiO₂ 为壳的草莓状的纳米微球。前一种纳米微球的制备过程中需要采用表面活性剂以及低温(-90℃),无论是经济还是效率方面都有待于提高;后一种制备方式,无需使用乳化剂,而且反应媒介为水、后处理条件温和,在经济、环保上都是一种很好的方法。

1.3 共混法

共混法是指丙烯酸类聚合物与氧化物纳米粒子溶液共混。该方法的重点在于纳米粒子在共混过程中如何达到纳米级分散及选择合适的共溶剂。共混法可以通过溶液进行,也可以通过乳液进行。作为溶液共混法,其过程是将基体树脂(例如 PMMA^[21])溶于良溶剂中,加入改性纳米粒子,充分搅拌使之均匀分散,最后成膜或浇铸到模具中,除去溶剂制得杂化材料。而在乳液共混法中,则先制备聚丙烯酸酯乳液,再与纳米粒子均匀混合,最后除去溶剂(水)而成型。何其^[22] 等采用球磨法共混法、剪切共混法,制备了丙烯酸/纳米 TiO₂ 复合乳液,并发现剪切分散效果优于球磨分散效果。黄艳等^[23] 采用共混法在水性丙烯酸树脂中制备了纳米 SiO₂ 的复合涂料。

2 聚丙烯酸酯/无机氧化物型杂化材料的主要性能及其应用

2.1 主要性能

2.1.1 热学性能 无机物相对于有机物有较好的热稳定性能。从有机物的角度出发,将无机物引入杂化材料,可提高复合材料的热分解温度。通常,溶胶-凝胶法制备的 PMMA/SiO₂ 纳米复合材料的热分解温度随 SiO₂ 量的增加而升高^[10,11]。当 SiO₂ 量从 5% 增加到 25% 时,最大热分解温度升高约 20℃^[11]。也有报道说,添加 5% 纳米 SiO₂ 粒子,可使由原位聚合法制备的 PMMA/SiO₂ 纳米复合材料的玻璃化温度提高 14℃^[24]。对于 PMMA/TiO₂ 杂化材料来说,其热稳定性也随 TiO₂ 含量的增加而提高^[25]。不过,无论制备方法如何,PMMA/SiO₂ 杂化材料中的 SiO₂ 粒子并不改变有机组分的热降解机理^[26,27]。

2.1.2 相容性能 判断杂化材料相容性好坏的最简单方法是宏观上是否透明。但是,宏观上不是光学透明的材料中,两相也可能是纳米级分散的。此时,最好采用透射电镜(TEM)或小角 X 射线衍射法(SAXS)来判断^[7,28]。TEM 可直接检测出杂化材料中粒子的形状与大小,SAXS 则可检测出纳米粒子间的间距与粒子的内径。相关利用 SAXS 进行的研究工作表明,对于 SiO₂ 的杂化体系,低的水解比例、低的水

解 pH 值时,制备出的杂化材料往往分散性更好、相容性更优^[1,5]。

2.1.3 阻燃性能 聚丙烯酸酯有机材料易燃,对于杂化材料的阻燃研究也是一个研究重点。研究发现 SiO₂ 纳米粒子并没有改变 PMMA/SiO₂ 杂化材料热降解性能,也没有提高其阻燃性能^[26,29]。这可能是因为纳米 SiO₂ 粒子在杂化材料受热过程中向表面移动容易团聚,没有形成完整的 SiO₂ 网络膜层,对氧气没有阻隔作用。因此,仅仅采用纳米 SiO₂ 粒子与 PMMA 复合,难以提高有机玻璃的阻燃性能。

2.1.4 力学性能 材料的力学性能包括拉伸、弯曲、冲击、压缩、剪切、摩擦、蠕变、动态力学性能等,这里仅仅简单比较杂化材料的拉伸力学性能。从涂料软、硬单体的划分来看, MMA 属于硬性单体。对于 PMMA/SiO₂ 纳米复合材料,其拉伸强度随纳米 SiO₂ 粒子(含量<8%)的加入而逐渐减少。即,硬单体与无机氧化物形成杂化材料时,其拉伸性能随无机物含量的增大而下降。例如,添加 4% 纳米 SiO₂ 可使纳米复合材料的拉伸强度下降约一半^[30]。另外,在涂料中加入 SiO₂ 和 TiO₂ 纳米粒子时,涂料的拉伸强度通常会增加。Xiong 等^[31]发现添加 2% 的 TiO₂ 可使杂化材料拉伸强度升高 25%;而柯昌美等^[32]则发现需要添加 5.1% 的 SiO₂ 和 TiO₂,才能达到相同的效果。

2.2 主要应用

聚丙烯酸酯/无机氧化物型的有机/无机杂化材料,往往兼具无机、有机两者的优点,因此,这类材料作为涂料、膜材料、生物材料、光电材料等方面都有良好的应用前景。

2.2.1 作为涂料 聚丙烯酸酯/无机氧化物型杂化材料,往往同时具有有机、无机组分的优点,如丙烯酸酯作为涂料的优异的成膜性能、耐候、粘结性能;无机氧化物的高硬度、耐磨、抗紫外线等性能,为设计制作高性能的涂料提供了方向。

井新利等^[33]以 MMA、TEOS 为主要原料,采用溶胶-凝胶、紫外光固化技术连用,制备出耐磨涂料,它能显著改善有机玻璃的耐磨性能。Xiong 等^[31]用 TBOT、MMA、BA、丙烯酸为主要原料,制备出纳米 TiO₂ 改性丙烯酸树脂,研究发现:与几乎不吸收紫外线的纯树脂相比,加入纳米 TiO₂ 后的树脂紫外线透过率很低,80% 以上的紫外线都被屏蔽,并且随着纳米 TiO₂ 的含量的提高,屏蔽能力越强。柯昌美等^[34]以丙烯酸树脂、TBOT、TEOS 为原料,采用分步控制水解过程,制备出 SiO₂ 包覆 TiO₂ 的无机/有机杂化涂料,当无机物含量少于 8% 时,所得涂层无色透明,但对紫外光有很好的屏蔽效果,并且硬度也有所提高。

2.2.2 作为功能膜材料 有机聚合物膜材料由于存在着不耐高温、易软化等缺陷,在较高的操作温度下,常常表现为较高的融化粘度、或者不耐氧化、或者对常用溶剂缺乏足够的稳定性;而无机膜质脆不易加工,表面基团单一。有机/无机杂化膜材料,兼有有机膜高分离性能和无机膜耐高温等优点,同时又避免了无机膜易脆不易加工和有机膜不耐高温不耐腐蚀等缺陷。利用丙烯酸酯与氧化物制备纳米复合材料,可能形成高硬度、可调折光率^[35,36]、高分离效果的功能膜材料。Lee 等^[35]采用 MPTMS 与 MMA 先在氮气条件下进行自由基聚合,然后将其与 THF、TBOT 原位水解,在硅玻璃上制备出高折光系数的杂化材料薄膜。Du 等^[36]利用无水溶胶-凝胶法,采用硅酸、氯化钛为无机原料制备硅钛溶胶,以 MMA 与 MPTMS 聚合物为有机相,在 THF 溶液中混合。在硅玻璃上,制备高折光率薄膜,并且发现随钛含量增加,薄膜的折光率增加。任洪波等^[37]选用带有活性的丙烯酸酯、TEOS,通过原位溶胶-凝胶法制备出丙烯酸酯/SiO₂ 杂化单层宽带光学增透膜,该膜在 425~1060 nm 的波段范围内透射率均达到 98%。

Tadahiro 等^[38]采用 MMA、BA、TEOS、乙烯基三乙氧基硅烷(VTES)等原料,通过溶胶-凝胶法,制备出 P(MMA-co-VTES)/TEOS、P(BA-co-VTES)/TEOS 体系的多孔材料。当应用于苯水混合物的选择性分离时,后者膜材料的选择效率比前者高 20 倍,因此可望应用于污水处理。

2.2.3 作为生物材料 PMMA、SiO₂ 都是生物低毒性材料,采用硅烷偶联剂改性,将两者进行杂化。杂化后的材料能够保持良好的力学性能,还可能具有良好的生物相容性。Yen 等^[39]以 MMA、TEOS、BPO、MPTMS 为原料,制备 P(MMA-co-MPTMS)/SiO₂ 杂化材料,得出此杂化材料比传统材料具有更好的力学性能(更优的耐压强度、更高的弹性模量),且力学性能可根据原料的比例变化来调节,在牙齿替代材料方面有广泛的应用前景。Rhee 等^[40]采用溶胶-凝胶法制备出含钙 PMMA/SiO₂ 杂化材料,通过体外细胞培养系

统实验,发现这种杂化材料比不含钙的 PMMA 杂化材料具有更高的生物活性。

2.2.4 作为光电材料 针对光电材料的基料,Wei 等^[41]制备出 PMMA/SiO₂、PMMA/TiO₂ 杂化材料,通过改变无机物含量,改变光损耗值;对于前者,其光损耗值由纯 PMMA 的 0.65dB/cm 下降到 0.26dB/cm;对于后者,其光损耗值由纯 PMMA 的 0.65dB/cm 下降到 0.28dB/cm。这类材料可用于调节近红外光。利用纳米 TiO₂,制备核壳的杂化微粒在电子油墨中有广泛应用。为了降低纳米 TiO₂ 的密度,使得与悬浮液密度匹配,Yu 等^[42]以纳米 TiO₂ 为核,以 MMA、MAA、二甲基丙烯酸乙二醇酯共聚物为壳,制备 TiO₂ 有机包覆量为 85.4% 的纳米复合粒子。从纯的纳米 TiO₂ 的密度 4.1g/cm³,降低到 1.60~1.84g/cm³,且在悬浮液中有很好的稳定性,可望用于电泳显示器。

3 结束语

关于聚丙烯酸酯/无机氧化物杂化材料的制备,无机相主要集中于 SiO₂ 和 TiO₂。今后将会逐渐增加其它无机氧化物的使用。应该指出,已有人开始研究 ZrO₂、Al₂O₃、CeO₂ 等无机氧化物粒子。利用这些无机氧化物的亲水性质及其不同的物理化学性质,可以进一步开拓能应用于耐磨、抗菌、防污和催化的杂化材料。在今后一段时间内,研究重点还将集中在材料制备、结构行貌分析等方面,通过深入研究构效-性能的关系,进一步改善其光学、热学及力学方面的性能。在功能化方面,纳米功能微球的研究也已经开始,将成为今后的重要研究课题。再者,对于无机相前驱体的来源,以无机化合物为前驱体的研究开发工作目前主要集中在硅酸盐,对于采用其它无机盐的方法,还有待于进一步的开发。基于环保和高效的要求,水溶剂的使用、新改性剂的开发与研制,都是人们追求的热点。最后,应该指出,由于该领域的研究还是刚刚开始,几乎没有开发出工业化的产品。但随着种类更多、性能更优良的聚丙烯酸酯/无机氧化物型杂化材料的不断被开发,可以预见,在不久的将来,这类新型材料必将实现其工业化。

参考文献:

- [1] 刘晓蕾,刘孝波. 高分子材料科学与工程, 2004, 20(2): 28~31.
- [2] 柯昌美,汪厚植,赵惠忠,等. 精细石油化工进展, 2005, 36(6): 47~52.
- [3] 吴崇浩,王世敏,赵雷,等. 胶体与聚合物, 2003, 21(1): 39~42.
- [4] 徐国财,张立德. 纳米复合材料. 北京: 化学工业出版社, 2002, 194.
- [5] Xiong M N, Zhou S X, Wu L M, et al. J Polym Sci Polym Phys, 2005, 43: 637~649.
- [6] Xie T X, Zhou C G, Feng S Y, et al. J Appl Polym Sci, 2000, 75: 379~383.
- [7] Tong X, Tang T, Zhang Q L, et al. J Appl Polym Sci, 2002, 83: 446~454.
- [8] Wang Y T, Chang T C, Hong Y S, et al. Thermochim Acta, 2003, 397: 219~226.
- [9] Xu J M, Shi W F, Gong M, et al. J Appl Polym Sci, 2005, 97: 1714~1724.
- [10] Huang Z H, Qiu W Y. Polym Bull, 1995, 35: 607~613.
- [11] 张超灿,孙江勤,李曦,等. 玻璃钢/复合材料, 2000, 4: 18~20.
- [12] Eusworth M W, Novak B M. Chem Mater, 1993, 5: 839~844.
- [13] Habsuda J, Simon G P, Cheng Y B, et al. J Polym Sci Polym Chem, 2001, 29: 1342~1352.
- [14] Wang H T, Xu F, Zhong W, et al. Polym Degrad Stabl. 2005, 87: 319~327.
- [15] 井新利,罗金恒,郑茂盛. 应用化学, 1998, 15(4): 109~110.
- [16] 王华林,史铁钧,杨善中,等. 高分子材料科学与工程, 2005, 21(21): 284~287.
- [17] 王华林,程继贵,王长友. 应用化学, 1999, 16(4): 91~93.
- [18] 王华林,史铁钧,李学良. 高分子材料科学与工程, 2001, 17(4): 163~165.
- [19] Yu D G, An J H, Bae J Y, et al. J Appl Polym Sci, 2005, 97: 72~79.
- [20] Chen M, Zhou S X, You B, et al. Macromolecules, 2005, 38: 6411~6417.
- [21] 刘大刚,赵三好. 化工新型材料, 2003, 30(9): 23~25.
- [22] 何其,武利民,顾广新,等. 中国涂料, 2002, 6: 31~34.
- [23] 黄艳,陈国栋,邹其超,等. 中国涂料, 2005, 1: 30~31.
- [24] 钱家盛,陈晓明,何平笙. 应用化学, 2003, 12(20): 1200~1203.
- [25] Yeh J M, Weng C J, Huang K Y, et al. J Appl Polym Sci, 2004, 94: 400~405.

- [26] Kashiwagi T, Morgan A B, Antonucci J M, et al. J Appl Polym Sci, 2003, 89, 2072~2078.
- [27] Liu Y L, Hsu C Y, Hsu K Y. Polymer, 2005, 46, 1851~1856.
- [28] 马洪祥, 王静媛, 于晓强, 等. 高分子学报, 2000, 4, 402~406.
- [29] Yang F, Nelson G L. J Appl Polym Sci, 2004, 91, 3844~3850.
- [30] 张淑梅, 王井志. 化学工程师, 2004, 4(103), 61~62.
- [31] Xiong M N, You B, Wu L M, et al. Polymer, 2004, 45, 2967~2976.
- [32] 柯昌美, 汪厚植, 强敏, 等. 涂料工业, 2005, 33(6), 19~22.
- [33] 井新利, 周根树, 刘海斌, 等. 功能材料, 1995, 26(6), 510~512.
- [34] 柯昌美, 汪厚植, 强敏, 等. 涂料工业, 2005, 36(6), 9.
- [35] Lee L H, Chen C H. Chem Mater, 2001, 13, 1137~1142.
- [36] Du W C, Wang H T, Zhong W, Shen L, et al. J Sol-Gel Sci Techn, 2005, 34, 227~231.
- [37] 任洪波, 张林, 杜爱明, 等. 强激光与粒子束, 2004, 16(5), 623~626.
- [38] Ohshima T, Matsumoto M, Miyata T, et al. Macromol Chem Phys, 2005, 206, 473~483.
- [39] Yen W, Jin D L, Xu J G, et al. Polym Advan Tech, 2001, 12, 361~368.
- [40] Rhee S H, Hwang M H, S H J, et al. Biomaterials, 2003, 24, 901~906.
- [41] Wei M W, Lee C H, Chang C C, et al. J Appl Polym Sci, 2005, 98, 1224~1228.
- [42] Yu D G, An J H, Bae J Y, et al. Colloid Surface A, 2004, 245, 30~34.

Synthesis and Application of Polyacrylate/Inorganic Oxide Hybrids

ZHONG Yu-bin, WU Ying-hui, TANG He-qing^{*}

(*Department of Chemistry, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China*)

Abstract: Synthesis methods of polyacrylate/inorganic oxide hybrids were reviewed by considering the basic modification mechanism of the organic phase using silane coupling agents, along with a comparison between the merits and shortcomings of these methods. The influences of the oxides were discussed on the physical and chemical properties of the hybrids, such as thermal resistance, flame retardance and mechanical properties. The potential applications of these hybrids were prospected as materials such as in paint, functional membrane, biomaterial and optoelectronics.

Key words: Sol-gel process; Polyacrylate; Inorganic oxide; Organic/inorganic hybrids