

稀土化合物在分子科学中的应用研究进展

朱连超, 唐功本, 石 强, 殷敬华 *

(中国科学院长春应用化学研究所, 高分子物理与化学国家重点实验室, 长春 130022)

摘要: 综述了稀土化合物在分子科学中的广泛应用: 烯烃聚合/共聚合催化剂、聚氯乙烯的热稳定剂、填充改性聚合物和制备功能材料等, 并涉及了笔者在稀土催化接枝改性领域的最新研究成果。

关键词: 稀土化合物; 催化; 热稳定剂; 填充改性; 功能材料

稀土元素是指元素周期表 IIIB 族中, 第四周期的 Sc、第五周期中的和第六周期中从 La 到 Lu(镧系元素)共 17 种元素的统称。严格地讲, Sc、Y 和 La 不是稀土元素, 因为它们没有 4f 电子。稀土元素的主要特征是从 Ce 到 Lu 新增加的电子都填充在内层 4f 简并轨道上, 除 Sc、Y 外稀土元素原子的价电子结构是 $(n-2)f^{0-14}(n-1)d^{0-1}ns^2$, 其特征价态是 +3 价。稀土元素的性质随其核电荷数增加发生单调变化或周期性变化, 前者与 4f 内层上电子数目的增加有关, 后者则是由于全充满(f^{14})、半充满(f^7)或全空(f^0)的 4f 内层具有特殊稳定性。例如, 随着稀土元素原子序数增加, 其离子半径不断减小(镧系收缩)及由此产生的碱性逐渐减弱; 4f 简并轨道上未成对电子数目所决定的顺磁感应性; La^{3+} 、 Gd^{3+} 、 Lu^{3+} 近邻或次近邻的元素具有可变价态等。早在 20 世纪 60 年代, 国内外许多学者就开始从事稀土化合物在分子科学中的应用研究, 并取得了一系列成果, 相关的文献和专利也很多。按应用领域不同, 本文将分五个专题进行综述, 其中一些研究领域已有学者加以概括, 限于篇幅本文将不再做具体介绍。

1 催化烯烃聚合/共聚合

稀土元素独特的价电子层结构使其在催化化学方面具有独特的作用, 最使人感兴趣的是稀土元素存在可变价态和顺磁感应性。但 1953 年问世的 Ziegler-Natta 催化剂的组成中并未包括位于 IIIB 族的稀土化合物, 最早见诸报道的是 1956 年 Saldick^[1] 用铈盐引发丙烯腈聚合。1960 年 Finch^[2] 率先用稀土催化剂来合成聚乙烯, 以及 Anderson^[3]、Merckling^[4] 和 Stuart^[5] 关于此项技术的专利, 开辟了稀土催化合成聚烯烃的新纪元。我国最早的报道是沈之荃、欧阳均等在 1964 年采用 YCl_3 与 $AlEt_3$ 组成的催化体系制备高顺式含量的聚丁二烯^[6]。1970 年中国科学院长春应用化学研究所开展了应用稀土催化体系合成双烯烃聚合物的研究工作, 发现了该体系的某些突出优点, 并将主要成果汇集成专著^[7, 8]。从 20 世纪 80 年代起, 浙江大学^[9] 又将 Z-N 型稀土催化剂应用于炔烃聚合, 环氧烷烃、环硫丙烷和丙交酯的开环聚合, 二氧化碳与环氧烷烃共聚合成聚碳酸酯, 环氧烷烃与马来酸酐共聚合成不饱和聚酯, α 烯烃和极性单体的齐聚、均聚和共聚等, 还开发了一类聚炔烃导体材料, 获得一系列富有特定性能的新高分子。近半个世纪以来, 国内许多大学、研究所做了大量的研究工作, 已把合成高分子的稀土催化技术发展到了相当巨大的规模和效益, 其中用稀土催化剂合成的异戊橡胶和顺丁橡胶在我国已经工业化, 其工艺和合成橡胶的性能均优于国外通用的钛系、锂系催化剂的产品。稀土催化烯烃聚合/共聚合的文献、专利很多, 欧阳均^[10]、Yasuda^[11, 12]、沈之荃^[6]、滕洪祥^[13]、刘太奇等^[14] 分别作过总结, 这里不再赘述。展望未来, 在稀土金属配合物中引入新型配体必将产生繁花似锦的高效稀土催化剂, 进一步推进催化聚合科学的发展并创造出更多新型的高分子。

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(批准号, 50390090)资助;

作者简介: 朱连超(1976—), 男, 博士, 现在中国科学院长春应用化学研究所从事博士后研究工作, 主要研究方向为高性能高分子材料和医用高分子材料;

* 通讯联系人

稀土氧化物单独用作催化剂时活性很差,但与贵金属和过渡金属混合作为催化剂的助剂时,则显示出很好的协同效应。近年来,作者所在的课题组选取和制备了多种稀土化合物,并将它们用于过氧化物引发的 *i* PP 反应挤出接枝 MAH 的实验中。结果发现:稀土化合物对熔体接枝反应的作用可分为无影响、抑制、促进三种^[15];特别是稀土氧化物(CeO_2 、 Nd_2O_3 ^[16, 17]、 Gd_2O_3 、 Ho_2O_3 和 Er_2O_3)虽不能单独引发接枝反应,却与过氧化物引发剂具有明显的正协同效应,从而起到助催化作用^[18];而在获得相同接枝率时,重稀土氧化物还能在一定程度上减轻 *i* PP 基体的降解。

2 聚氯乙烯的热稳定剂

聚氯乙烯(PVC)的稳定性差,在外界因素如热、光、氧及力的作用下易发生降解和交联反应,致使加工和使用困难。工业上已开发出多种稳定剂,但多是铅、镉、钡、锌、钙、锡及铋的金属化合物,它们不仅污染环境而且危害人体健康。早在 20 世纪 70 年代,国外的研究人员便开始了新型热稳定剂的研究与试验,在稀土稳定剂的机理研究上取得了突出成就。但由于稀土资源贫乏,国外对稀土热稳定剂的深入研究及应用一直受到限制。国内起步较晚,直到 20 世纪 80 年代才开始将稀土化合物用于 PVC 热稳定剂的研究工作,但进展迅速。20 世纪 90 年代以来,我国已研制出了一系列稀土热稳定剂,可取代通用热稳定剂及有机锡稳定剂;而国外由于缺乏稀土资源,至今未见商业化报道。稀土热稳定剂主要分为稀土有机化合物和稀土无机化合物两大类:稀土有机化合物热稳定剂包括硬脂酸稀土、环氧脂肪酸稀土、马来酸单酯稀土、水杨酸稀土、柠檬酸稀土、月桂酸稀土、辛酸稀土、邻苯二甲酸单酯稀土、硫醇盐稀土以及硫醇酯基稀土等;而有关稀土无机化合物对 PVC 热稳定作用的研究还处于探索阶段。稀土热稳定剂投入市场的种类很多:从形态上分有固态和液态;从稀土品种上分有混合稀土和单一稀土;从制品应用上有普通制品、化学建材、透明类制品、半透明和不透明制品等。大量的相关研究工作特别对单一稀土热稳定剂的合成、应用及稳定机理不断见诸报道,许多学者^[19-23]作过总结。大量研究表明,稀土化合物不仅具有热稳定剂的作用,而且还表现出偶联剂、加工改性、增亮增艳等功能^[24, 25],具有较高的性能价格比,因而成功地取代了铅盐及钡、镉稳定剂成为化学建材环境友好化的重要手段。

关于稀土热稳定剂对 PVC 的稳定机理虽有较多报道^[26-29],但仍处于探索阶段。作者综合一下,认为应该从以下几个方面考虑:(1)半径较大的稀土离子与 PVC 分子链上的氯离子之间具有很强的配位能力,发生类似于置换反应的位置变动,从而有效地抑制了 PVC 上的脱 HCl 反应,达到稳定的目的;(2)稀土离子有较强的络合能力,通过离子络合来净化、稳定重金属杂质,降低其在 PVC 老化中的催化作用;(3)稀土离子有空的 4f 轨道,可以迅速捕获生成的不稳定游离基;(4)稀土离子的 4f 能级在紫外、可见、红外区均有吸收,作为填充材料可吸收自然光的大部分,使 PVC 的光降解延缓发生,从而大大提高其耐候性能。为促进稀土助剂的开发和有效利用,今后应加强作用机理方面的研究,以丰富理论认识。

目前,各国的法律、法规在不同程度上限制了传统的重金属类热稳定剂的发展,这为稀土多功能热稳定剂提供了极好的发展机遇;也将为我国实现塑料助剂的高技术化并拥有原始性技术创新的自主知识产权,开拓出一条新途径;对促进我国通用塑料高性能化、低成本化,推动化学建材绿色化,也具有明显的推动作用^[20]。

3 填充改性聚合物

利用稀土化合物来填充改性聚合物的目的是利用稀土的特异性,以改进聚合物材料的某项性能或获得类似“合金”性质的特种复合材料。刘力等^[30, 31]概述了稀土/高分子复合材料的三种主要制备方法:聚合法、简单掺混法和反应加工法,他们分析认为复合材料可能具有离聚物的结构特征。根据稀土化合物在聚合物中所起的作用不同,可分为以下三类:

3.1 结晶促进剂

由 1989 年起,中国科学院长春应用化学研究所^[32, 33]在稀土氧化物微粉、超微粉(粒径小于 100 nm)填充聚合物方面做了许多工作,最早研究的对象是全同聚丙烯(*i* PP),最早应用的稀土氧化物为 La_2O_3 和

Y_2O_3 。此后,深入研究了多种稀土化合物对高聚物的结晶行为、力学性能、动态力学及形态结构的影响,开拓了稀土应用于高分子的新天地。叶春民^[34]已对相关研究工作进行了概括和总结。此外,冯嘉春等^[35]发现硬脂酸镧是诱导 PP 生成较高含量 β 晶型的特效成核剂,他们进一步将 19 种金属单独或与 LaC (镧系离子与硬脂酸的三元络合物)组成的二元共混物加入到 PP 基体中,发现只有含 Ca 的化合物与 LaC 组成的二元共混物才可以诱导 PP 中 β 晶型的生成^[36, 37];广东炜林纳功能材料有限公司和中国科学院广州化学所合作开发了一类稀土有机配合物(WBG)作为 PP 的晶型改性剂,它不但具有高效 β 晶型成核作用^[38],而且具有偶联剂的功能^[39];作者的最近研究发现^[40],稀土氧化物提高了官能化聚丙烯的结晶度,并加速其结晶过程。

3.2 增强增韧

一般的无机填料只起到提高刚度和降低成本的作用,而稀土化合物还可改善聚合物的其它性能。福建师范大学^[41, 42]对不同的烷氧基稀土掺杂改性 PS 或 PMMA 进行了一系列研究,研究结果表明烷氧基稀土对聚合物有较好的韧性作用,并与稀土元素的原子序数、原子半径大小有关。王文等^[43]对相关研究工作进行了综述。王文治^[39]、姜左凤等^[38]的研究发现:稀土有机配合物 WBG 可使均聚、共聚聚丙烯的韧性增强,负荷下热变形温度大大提高,断裂强度及弯曲模量也稍有改善,使材料刚性得到保持。程先华等^[44-50]用稀土表面改性剂处理过的玻璃纤维填充塑料,制得的多层复合材料具有优良的摩擦性能和抗冲击性能,同时拉伸性能也得到明显提高。由我国最早生产的稀土硬脂酸盐改性 PVC 农膜不仅强度高,而且有良好的透明度,从而大大提高了农膜的利用价值。实验研究^[51, 52]发现,在铸型尼龙(MC 尼龙)聚合过程中加入适量的环烷酸稀土或异辛酸稀土化合物,产物的主要力学性能及物理性能都有不同程度的提高,孙向东等^[53]综述了近年来铸型尼龙在减磨、增强、增韧和抗静电四个方面改性研究的新进展。张明等^[54]利用稀土醇盐改性丁苯橡胶乳液反应,并与天然橡胶并用,获得含稀土复合弹性材料,发现硫化胶的物理力学性能有明显提高。

3.3 提高耐热性

王增林等^[55]发现,加入稀土氧化物可以不同程度地提高 PP 的热稳定性,有规律地改变其热分解机理,并对 PP 的热膨胀过程有特殊影响;杜选等^[56]的研究表明:醋酸铜、碘化钾和硬脂酸稀土(镧、铈、镨、钕混合稀土)制成的抗氧剂,能够提高锦纶 66 纤维的耐高温抗氧化性,使其在 240℃下仍能保持良好的物理性能;张明等^[57]将无机稀土有机化后与 PVC 进行接枝共聚,发现经丙烯酸稀土接枝共聚后的 PVC,其耐热性能和韧性都有了明显的提高。

通用高分子材料的高性能化和功能化成为近年来高分子材料科学的重大研究热点课题,稀土化合物也正在成为高分子材料改性的新途径。但目前对稀土化合物填充改性特别是增强增韧的机理探讨还不够深入,这从理论上限制了稀土化合物在此领域的应用。但可以预测,随着对稀土助剂广泛而深入的研究,新技术和新成果也将不断涌现。

4 功能材料

稀土元素因其电子结构的特殊性而具有光、电、磁等特性,这些特性是人们制备稀土/高分子功能材料的强大驱动力。这类材料在一定程度上保持着稀土功能材料的特性,又兼有高分子材料成型加工方便、重量轻和成本低等优点。

4.1 发光材料

早在 1963 年 Wolff 等^[58]对 $\text{Eu}(\text{TAA})_3$ 掺杂 PMMA 的荧光性质和激光性质的研究,开辟了稀土/高分子发光材料研究的先河。稀土/高分子发光材料有许多种,如光致发光材料(包括荧光材料和长余辉材料)、电致发光材料、农用发光材料、温敏发光材料、导电性发光材料和压电光转换材料等,它们在建筑、农业、生物和医学等领域都具有广泛的应用前景。稀土/高分子发光材料的合成方法主要有以下三种:(1)稀土小分子配合物直接与高分子混合得到的掺杂型高分子发光材料;(2)高分子配体和小分子配体协同作用,通过共聚或均聚得到化学键合的高分子发光材料,而在合成方法上,可以先配合后聚合,也可以先聚合再

配合; (3) 稀土配合物通过共价键嫁接于无机基质中, 得到稀土/高分子杂化发光材料。相关的专利和文献也相当多^[59, 60], 许多学者作过总结^[61~67]。值得一提的是, 我国在 20 世纪 80 年代末开始了光功能农膜的研究, 如转光膜是在农膜生产时添加稀土荧光助剂的一种新型农膜, 其主要优点是透光率高有利于光合作用, 延长了农膜的使用寿命, 增产、增收。梁兴泉^[68]、王则民^[69]、吕咏梅^[70]等分别概述了近年来我国在光功能农膜及光转换剂研究方面的进展情况。

4.2 射线屏蔽材料

稀土高分子作为放射性防护材料已有不少专利报道^[71, 72], 特别是北京化工大学^[30]利用混合镧系元素取代铅以弥补铅的弱吸收区, 制得了稀土/弹性体复合材料, 其物理机械性能优异, 在与铅制品具有同样防护能力的情况下密度更小; 他们在研究稀土/高分子屏蔽中子辐射复合材料时, 将稀土化合物用量提高到了 50% 以上, 并从理论上推断: 高稀土含量的高分子复合材料应是目前屏蔽中子辐射的最理想材料。

4.3 磁性材料

有关稀土高分子磁性材料的研究报道较少, 但 Yoshioka 等^[73]证实含钆的丙烯酸类共聚物具有强顺磁性, Cheng 等^[74]的研究也表明含钆的稀土卟啉聚合物在低温下具有铁磁性, 这都为研究稀土高分子复合磁性材料提供了技术基础。聚合物基磁体主要是由磁性粉末、聚合物粘结剂、加工助剂三大部分组成, 现阶段绝大部分作为聚合物基磁体的粘结剂是塑料。稀土磁性塑料制品是将稀土磁粉填充到树脂中并在外磁场作用下成型, 它不仅具有较高的冲击强度和拉伸强度, 而且具有良好的加工性。稀土塑料磁体在加工中的关键问题是磁粉取向问题, 此外稀土磁粉的粒子尺寸、表面改性及填充量的大小也直接影响稀土塑料的磁性能^[75]。在生产方法上, 传统的塑料加工工艺制备的磁性材料的磁性能较低。陈守明^[76]等对聚合物基磁性复合材料组成、制备、用途等进行了综述报道。此外, 如将稀土化合物与高分子材料复合, 在保证良好界面相容的前提下, 可制得稀土/高分子磁致伸缩性的功能材料和具有特殊的光学特性、磁性能、磁电、磁光、磁声转换功能的功能材料。曹渊^[77]等综述了纳米无机/高分子磁功能复合材料的制备方法 & 研究进展。

4.4 导电材料

为了提高高分子导电体的导电性和稳定性, Chen 等^[78]将 15 种无水稀土氯化物作为掺杂剂对聚乙炔 (PA) 薄膜进行掺杂改性。研究表明, 掺杂的 PA 膜导电率提高了 1~3 个数量级, 而且可作为良好的基材进一步与 FeCl₃、I₂ 掺杂而获得稳定性和导电性更好的 PA 膜。

然而, 利用稀土的特殊性能开发稀土/高分子功能材料的应用研究还存在很多问题, 稀土的许多特殊性能还未在功能材料中体现出来, 而且加工手段单一, 机理研究也较少, 这些都制约了稀土/高分子功能材料的开发、应用。因此, 我们期待着更新的、具有更好特异性能的稀土/高分子功能材料的出现, 更期待着制备方面能够具有更丰富的技术手段。

5 其它应用

稀土化合物已在棉、麻、羊毛、丝绸、涤纶、锦纶、腈纶等纤维的染色中获得了不同程度的应用。稀土化合物用作染色助剂具有促染、匀染、缓染的作用, 特别是稀土络合物具有一定的生色性。丁少芬^[79]、查明等^[80]已对近期的相关研究工作加以总结, 这里也不再赘述。除上述五个领域之外, 稀土化合物在分子科学中还有着其它应用, 在此都不能一一列举。

6 结束语

我国是稀土资源大国, 矿藏量占世界已探明总贮量的 80%, 亦是产量大国, 生产分离能力也位于世界首位。素有材料中“味精”之称的稀土元素, 已成为 21 世纪的战略元素, 充分利用我国的稀土资源优势, 开发稀土化合物在分子科学中的应用不仅具有学术意义而且具有实际应用价值, 特别是稀土催化剂和 PVC 多功能热稳定剂已经产业化, 为国民经济可持续、协调发展做出巨大贡献。但正如前文所述,

相关的基础研究和应用研究中仍存在一些缺陷和不足, 需要继续做大量的工作。

参考文献:

- [1] Saldick J. J Polym Sci, 1956, 19: 73
- [2] Finch C A. Int Symp on Macromolecular Chemistry. Mosoow, 1960, 11. 364.
- [3] Anderson A W, Merckling N A. USP, 2953531 1960.
- [4] Merckling N G. USP, 2907157. 1960
- [5] Stuart A P. USP, 2921060. 1960
- [6] 沈之荃, 龚仲元, 仲崇祺, 等. 中国科学, 1964, (13): 1339.
- [7] 中国科学院长春应用化学研究所. 稀土催化合成橡胶文集. 北京: 科学出版社, 1980
- [8] 黄葆同, 欧阳均. 稀土催化聚合合成橡胶. 北京: 科学出版社, 1981.
- [9] 沈之荃, 张一烽. 自然科学进展——国家重点实验室通讯, 1995, 5(4): 397.
- [10] 欧阳均. 稀土催化剂与聚合. 吉林: 吉林科技出版社, 1991.
- [11] Yasuda H, Tamai H. Prog Polym Sci, 1993, 18(6): 1097.
- [12] Yasuda H, Ihara E. Macromol Chem Phys, 1995, 196(8): 2417.
- [13] 滕洪祥, 应来强, 巴晓薇, 等. 高分子通报, 2000, (3): 31
- [14] 刘太奇, 胡友良. 化学世界, 2001, (1): 44.
- [15] 朱连超, 唐功本, 石强, 等. 高等学校化学学报, 2006, 27(5): 970.
- [16] Zhu L C, Tang G B, Shi Q, et al. J Polym Sci, Part B: Polym Phys, 2005, 44(1): 134.
- [17] Zhu L C, Tang G B, Shi Q, et al. React Funct Polym, In press.
- [18] 朱连超, 唐功本, 石强, 等. 2005 年全国高分子学术论文报告会, F-414.
- [19] 吴茂英. 塑料, 2003, 32(5): 18.
- [20] 汪多仁. 有色金属与稀土应用, 2004, (1): 15.
- [21] 王敏. 塑料, 2004, 33(4): 103.
- [22] 江环萍, 刘迎凯, 申建, 等. 山东轻工业学院学报, 2005, 19(1): 50
- [23] 李晶, 吴晓东, 翁端. 稀土, 2004, 25(2): 54.
- [24] 黄少慧, 陆志刚, 邓庆仪, 等. 塑料, 2002, 31(2): 16.
- [25] 赵小玲, 齐暑华, 田建团. 塑料, 2004, 33(2): 18.
- [26] Su Q D, Mao J J, Zhao G W, et al. J Mol Struct, 1997, 403(3): 231.
- [27] 杨占红, 舒万良, 龙怀中. 稀土, 1999, (2): 60.
- [28] 张永祥, 张弘. 塑料开发, 2000, 26(1): 1279.
- [29] 申海燕. 岳阳师范学院学报(自然科学版), 2002, 15(1): 56.
- [30] 刘力, 张立群, 金日光. 中国稀土学报, 2001, 19(3): 193
- [31] 刘力, 吴友平, 田明. 合成橡胶工业, 2001, 24(2): 71.
- [32] Liu J J, Tang G B, Qu G J, et al. J Appl Polym Sci, 1993, 47(12): 2111.
- [33] Ye C M, Liu J J, Mo Z S, et al. J Appl Polym Sci, 1996, 60(11): 1877.
- [34] 叶春民. 高分子通报, 1997, (3): 173
- [35] 冯嘉春, 陈鸣才, 黄志镠. 高等学校化学学报, 2001, 22(1): 154.
- [36] Feng J, Chen M C; Huang, Z T. J Appl Polym Sci, 2001, 82(6): 1339
- [37] Feng J C, Chen M C, Huang Z T, et al. J Appl Polym Sci, 2002, 85(8): 1742.
- [38] 姜左凤, 王小涓, 周澜. 塑料助剂, 2004, (3): 22
- [39] 王文治, 胡红旗, 冯嘉春. 塑料, 2004, 33(2): 29.
- [40] 朱连超, 唐功本, 石强, 等. 应用化学, 2005, 22(7): 715
- [41] Liu W M, Wang L H, Wang J F, et al. J Rare Earth, 2000, 18(2): 97.
- [42] 王文, 林美娟, 章文贡. 稀有金属, 2004, 28(5): 825
- [43] 王文, 林美娟, 章文贡. 高分子材料科学与工程, 2005, 21(2): 37
- [44] Zhang Z Z, Xue Q J, Liu W M, et al. J Appl Polym Sci, 1999, 74(4): 797.
- [45] 程先华, 薛玉君, 谢超英. 中国稀土学报, 2002, 20(3): 261
- [46] 薛玉君, 程先华. 中国稀土学报, 2002, 20(1): 41.
- [47] Cheng X H, Xue Y J, Xie C Y. Wear, 2002, 253(7-8): 869
- [48] Cheng X H, Xue Y J, Xie C Y. Mater Lett, 2003, 57(16-17): 2553.

- [49] Cheng X H, Wu J, Xie C Y. J Appl Polym Sci, 2004, 92(2): 1037.
- [50] Shangguan Q Q, Cheng X H. Wear, 2006, 260(11-12): 1243
- [51] 孙向东, 孙旭东, 张慧波. 工程塑料应用, 2003, (2): 59
- [52] 孙向东, 孙旭东, 张慧波, 等. 工程塑料应用, 2003, 31(12): 69.
- [53] 孙旭东, 张慧波. 工程塑料应用, 2003, 31(2): 59.
- [54] 张明, 张志斌, 邱关明, 等. 中国稀土学报, 2000, 18(3): 233.
- [55] 王增林, 孙万明, 唐功本. 稀土, 1994, 15(2): 13.
- [56] 杜选, 吴明丽, 杨哲, 等. 北京纺织, 2002, 23(3): 32.
- [57] 张明, 陈晓松, 严长浩, 等. 中国稀土学报, 2003, 21(4): 143.
- [58] Wolff N E, Pressley R J. Appl Phys Lett, 1963, 2(8): 152.
- [59] Maí a A, Díaz-Garé a. J Polym Sci, Part B: Polym Phys, 2003, 41(21): 2706.
- [60] Robinson M R, Ostrowski J C, Bazan G C, et al. Adv Mater, 2003, 15(18): 1547.
- [61] Banks E, Okamoto Y, Ueha Y. J Appl Polym Sci, 1980, 25(3): 359.
- [62] 汪联辉, 章文贡. 高分子通报, 1995, (2): 104
- [63] 张洪杰, 符连社, 林君, 等. 发光学报, 2002, 23(3): 228
- [64] 王冬梅, 林权, 张俊虎, 等. 发光学报, 2003, 24(4): 325
- [65] 陈仲清, 郭栋才, 傅仕福. 南华大学学报(自然科学版), 2004, 18(4): 49
- [66] 张明, 张红, 王志峰, 等. 泰州职业技术学院学报, 2005, 5(1): 1
- [67] Yan B, Yao R F, Wang Q M. Mater Lett, 2006, In press.
- [68] 梁兴泉, 曾能. 广西大学学报(自然科学版), 2001, 26(4): 298.
- [69] 王则民. 稀土, 2000, 21(5): 56.
- [70] 吕咏梅. 塑料助剂, 2006, (6): 1
- [71] Ida K. USP, 83 548444, 1983.
- [72] 井田浩三. 日本专利, 公开特许公报, 昭 60-110756, 1985.
- [73] Yoshioka N, Nishide H, Tsuchida E. Inorg Chem Acta, 1987, 128(1): 135.
- [74] Cheng X S. Japan: Osaka University, 1987.
- [75] Xiao J, Otaigbe J. J Alloy Compd, 2000, 309(1-2): 100.
- [76] 陈守明, 章永化, 熊红兵. 合成材料老化与应用, 2003, 32(4): 26
- [77] 曹渊, 陶长元, 刘作华, 等. 压电与声光, 2006, 28(1): 56.
- [78] Chen Z X, Shen Z Q. Inorg Chem Acta, 1986, 122: 249.
- [79] 丁仲芬, 黄少慧. 广州化工, 1997, 25(4): 30.
- [80] 查明, 陈宇岳, 林红. 苏州大学学报(工科版), 2003, 23(5): 12.

Advance in the Application of Rare Earth Compounds in Polymer Science and Engineering

ZHU Lian-chao, TANG Gong-ben, SHI Qiang, YIN Jing-hua

(State Key Laboratory of Polymer Physics and Chemistry, Changchun Institute of Applied Chemistry,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China)

Abstract: Some practical applications of rare earth compounds in polymer science and engineering, such as catalyst for polymerization of olefin, heat stabilizer for PVC, modifier and filler, functional materials, and so forth, are briefly reviewed in this article. In addition, some recently research results of our team are also presented.

Key words: Rare earth compound; Catalyst; Heat stabilizer; Modifier; Functional material