

氟两相体系研究进展

刘朋军

(海南师范学院化学系,海口 571158)

摘要:氟两相体系(FBS)是一种新型均相催化剂固定化(多相化)和相分离技术,独特且对环境友好的性能使 FBS 在诸多领域显示出广泛的应用前景。本文介绍了 FBS 的概念、特性,对 FBS 在催化反应、有机合成、产物分离等方面的研究进展进行了综述,并对其应用前景作了预测。

关键词:氟两相体系;高氟代碳链化合物;均相催化;固定化;相分离

中图分类号:TQ02

文献标识码:A

Progress in research of fluorous biphasic system

LIU Peng-jun

(Department of Chemistry, Hainan Normal College, Haikou 571158, China)

Abstract: The FBS (fluorous biphasic system) is a new nonaqueous immobilization and phase-separation technique. For the unique and environmentally friendly character, FBS shows a wide application for many areas. In this paper, the concept, characteristics of FBS are introduced. The progress in research of FBS for catalytic reaction, organic synthesis, phase separation of products are reviewed. The further applications of FBS are also predicted.

Key words: fluorous biphasic systems; high fluorine substituted hydrocarbon; homogeneous catalysis; immobilization; phase separation

现代化工生产中,均相反应体系因具有诸多优点而被广泛采用,但其最后产物的分离与提纯带来了工程上的困难,同时也有可能产生大量废液而对环境造成污染^[1]。液-液两相体系目前在合成、催化、分离等过程中被大量使用^[2]。通常的液-液两相体系是水两相体系即一相是水,另一相是有机溶剂或其他低极性溶剂。在这种体系里,试剂和催化剂溶解在水相中并在其中进行反应。当反应组分对水敏感或能与水发生副反应时,水两相体系不能使用。有机试剂在水中的低溶解性也限制了水两相体系的应用^[3]。非水溶液两相体系可以在一定程度上克服这类局限性。

近年发展起来的氟两相体系 (fluorous biphasic systems, FBS) 就是一种非水液-液两相反应体系^[4]。其独特之处在于在较高温度下,氟两相体系中的氟溶剂相能与有机溶剂相很好地互溶成单一相,从而

为在其中进行的化学反应提供优良的均相反应条件。反应结束后降低温度,体系又恢复为两相,含反应物和催化剂的氟相与含有机产物的有机相可以方便地进行分离。这样只需单相分离而无须将催化剂锚定在固定基(载体)上就实现了均相催化剂的多相化或固定化,留在氟相中的催化剂和未反应试剂可高效地再循环利用^[5]。而使试剂和催化剂方便高效再生的技术一直是有机合成和绿色化学的前沿课题。另外氟溶剂相与水不混溶,在室温下能大量地溶解很多种气体,还可以作为非水相与水形成两相体系,并能用作有气体参与的反应介质而扩大了应用范围^[6]。在提高反应效率、方便地进行相分离、使均相催化剂多相化而提高反应物和催化剂的利用率及减少环境污染等方面,氟两相体系都具有不可比拟的优点。近年的发展备受关注,研究成果多见诸报道,但目前国内对这方面的研究和相关报道还很

收稿日期:2000-09-19

作者简介:刘朋军,男,1954年生,硕士,副教授,主要从事催化、电化学等方面研究。

少。

1 氟两相体系的组成

氟两相体系包括3个基本元素:氟溶剂(相)、与氟相不溶或极有限混溶的有机或无机溶剂(相)以及在氟溶剂(相)中可溶的试剂和催化剂。

氟溶剂(相)主要是液体全氟代碳链化合物(全氟代烷烃、全氟代烷基醚、全氟代烷基叔胺)或氟代碳氢化合物,其中最有效的是全氟代直链烷烃^[4]。研究表明,高氟代碳链化合物,特别是全氟代的烷烃、烷基醚和烷基叔胺具有化学惰性、热稳定性、阻燃性、无毒性、非极性、较低的分子间作用力、低表面能、较宽的沸点范围以及生物兼容性等性质。虽然其热解可能产生有毒的分解产物,但其热解温度远高于大多数试剂和催化剂的热分解温度,即使在蒸发温度下也能稳定存在,且具有溶解大量非极性反应物如烯烃的能力,所以是一种优良的反应介质。在较低温度如室温下,高氟代碳链化合物与大多数通常的有机溶剂如甲苯、四氢呋喃、丙酮、乙醇等混溶性都很低,可以与这些有机溶剂组成液-液两相体系即氟两相体系。其中氟相含有能选择性地溶解于其中的催化剂或试剂(反应物),化学反应过程主要在此相中进行并由其控制^[4]。

氟两相体系最关键的问题是氟试剂和氟催化剂的开发。氟试剂尤其是氟催化剂应能全部或绝大部分溶解在氟相中,所以它们也应该是氟代碳链化合物或氟代碳氢化合物,其分子内含有足够多的氟代部分,使其能在氟相中有足够的溶解度。氟试剂和氟催化剂可通过对碳氢化合物的氟代修饰、氟代碳链化合物的功能化或新的合成来制备。新的试剂和催化剂可以从一开始就设计制备成氟相可溶的,同时“亲碳氢”的试剂或催化剂,可以通过在其分子的适当位置上联接上数量、形状和大小都适合的氟代分支部分而转化成具有“亲氟”特性。经常使用的氟代分支是全氟代己烷基(C_6F_{13})和全氟代辛烷基(C_8F_{17}),带支链的全氟代烷基一般较少使用。研究表明,氟相可溶的催化剂配体上氟的质量分数应大于60%^[7]。对碳氢部分的适当屏蔽作用可以减少其内部相互间或与非氟相部分的相互吸引作用,将能增加配合物催化剂的氟相分配系数,提高其氟相溶解度。由于 CF_3 基团较高的电负性(3.5),氟催化剂金属中心原子的电子密度必将降低,一般要在氟代侧链与分子主链间接入二三个 $-CH_2-$ 作为阻隔基团以减少氟原子强烈的吸电子作用,保持氟催化

剂与原母体催化剂相当的活性。研究人员已注意到偶极间的相互作用可使全氟代芳烃试剂(反应物)和催化剂在通常的有机溶剂中的溶解性增加,从而不适用于氟两相体系。

2 氟两相体系在催化反应中的应用

与多相催化反应体系相比,人们更愿意选择均相催化反应体系。因为后者具有较多的优点,如催化剂活性高、反应条件温和、反应的选择性高、节省原材料等。但均相催化体系的主要问题是产物与反应体系的分离和催化剂的再生方面存在困难,均相催化剂的多相化是解决这一问题的有效途径。在氟两相体系中进行催化反应,可以通过非常简便而有效的方法(即只需单相分离而不必把催化剂锚定在固体载体上)就能实现均相催化剂的多相化(固定化)转变^[2,8]。

氟两相体系第一次最成功的应用是用于烯烃的氢甲酰化反应(Oxo反应)^[4]。该反应是在催化剂存在下从链烯烃、 CO 、 H_2 生产醇和醛,是现代石油化学工业使用均相催化过程生产的少数几个重要反应之一。此前该反应是在水两相体系中进行的。尽管水溶性催化剂可以方便地从高碳醛里分离出来,但受到链烯烃特别是高碳链烯烃在水中溶解度较低的限制,在碳原子数大于7时水两相体系无法使用。而经氟代修饰的膦-铑催化剂非常适用于高碳烯的氢甲酰化,它们在氟溶剂中的溶解度较高,并可以从产物醛中方便地分离出来。

Horvath等人^[4]于1994年首次报道了癸烯-1氟两相条件下的氢甲酰化反应。Horvath等的研究表明, $HRh(CO)[P[CH_2CH_2(CF_2)_5CF_3]_3]_3$ 在 $C_6F_{11}CF_3$ 中的结构与 $HRh(CO)(PPh_3)_3$ 在甲苯中及 $HRh(CO)[P(m-C_6H_4SO_3Na)_3]_3$ 在水中的情况相似。动力学研究显示,该反应对铑和癸烯-1都是一级反应。产物中正异构比为2.9(在高碳链烯中此比率要更高一些),且随膦浓度的增加而增加,略高于用非氟代催化剂在非氟条件下反应的正异构比(2.3)。虽然选择性有所提高,但氟催化剂的活性则有所降低^[9]。

催化剂 $Rh/P[CH_2CH_2(CF_2)_5CF_3]_3$ 也用于在高沸点氟溶剂中连续的乙烯氢甲酰化反应,可以连续地除去丙醇。这是第一个对高或低分子量的烯烃氢甲酰化反应都适用的催化剂体系,催化剂稳定性高,且对高或低分子量的醛都能方便地分离。也首次证明,在高沸点溶剂中使用同一催化剂体系可以对高和低沸点产物进行分离^[9]。

氟两相体系特别适用于催化氧化反应。氟在氟溶剂中良好的溶解性为氟溶剂中的氧化反应提供了条件。加之氟代烷极耐氧化,绝大多数氧化反应生成极性产物,在氟溶剂中溶解度低,更易于分离。Pozzi 等^[10]用可溶于氟溶剂的 Co-全氟代四烷基卟啉配合物为催化剂,以摩尔比 $n(\text{反应物}):n(\text{催化剂})=1\ 000:1$ 的比率进行烷基烯的环氧化反应(需要一定量的乙醛,最好是异丁基乙醛作还原剂),氟催化剂显示出非常好的活性和选择性。环链烯时产率高达 100%,癸烯-1 时产率达 60%。UV-VIS 光谱测试结果表明,Co-卟啉配合物催化剂在反应结束后仍几乎全部分配在氟相中,可被循环使用。同样配体的 Mn 配合物催化剂在水两相体系中对烯烃的环氧化反应显示了较高的活性和选择性。Klement 等^[6]用全氟代烷烃作氟溶剂,用 Ni 的氟代配合物作催化剂进行金属有机配合物的催化氧化反应,有机硼被氧化成醇。用 Ni, Ru 的氟代配合物作催化剂,把乙醛氧化成乙酸,硫醚氧化成亚砷或砷。并用 Rh-全氟代二酮配合物作催化剂进行环链烯烃的环氧化反应(同样在脂肪族醛的存在下)。Vincent 等^[11]在 O_2 和特丁酸存在下,用 Mn, Co-1,4,7- $[\text{C}_6\text{F}_{17}(\text{CH}_2)_3]_3$ -1,4,7-三氟杂环壬烷配合物作催化剂,氟两相催化氧化环己烯成环己烯-2-醇-1。催化剂活性较高,再生也非常成功,但选择性较低。

氟两相体系也用于铑催化的硼氢化反应(产率高达 95%)^[12],如烯烃和炔烃的催化硼氢化反应,25~40℃,1~40 h,仅有摩尔分数为 0.01%~0.25% 的催化剂就很有效,转化数高达 8 500。烷基硼和烯基硼从氟催化剂中分离出来,随后加入 $\text{H}_2\text{O}_2/\text{NaOH}$,再被转化成醇进入产物相。催化剂溶液重复使用,活性损失很小。Wilkinson 催化剂的氟代同系物 $\text{RhCl}[\text{P}(m\text{-C}_6\text{H}_4(\text{CH}_2)_2(\text{CF}_2)_5\text{CF}_3)_3]_3$ 可催化氟两相体系中的氢化反应^[13]和烯酮、烯醇的氢化硅烷化反应^[14]。

预计很多已知的可溶于碳氢化合物的试剂和催化剂可以通过氟取代功能化的方法转换成氟相可溶的。目前已制备了多种氟试剂和氟催化剂,如氟相可溶的氟代膦^[4,15]、氟代亚磷酸盐^[4]、氟代卟啉^[1,10]、氟代酞菁染料^[4]、氟代二酮^[6]、氟代三吡唑硼酸盐^[16]、氟代联吡啶^[17]、氟代环戊二烯^[7]、氟代 1,4,7-三氟杂环壬烷^[11]等试剂。也合成了若干种过渡金属氟代配合物催化剂,如 $\text{HRh}(\text{CO})[\text{P}[\text{CH}_2\text{CH}_2(\text{CF}_2)_2\text{CF}_3]_3]_3$ ^[4],氟代 Wilkinson 催化剂 $\text{ClRh}[\text{P}[\text{CH}_2\text{CH}_2(\text{CF}_2)_2\text{CF}_3]_3]_3$ ^[12],氟代 Vaska 配合物 ClIr

$(\text{CO})[\text{P}[\text{CH}_2\text{CH}_2(\text{CF}_2)_2\text{CF}_3]_3]_2$ ^[18]和其铑同系物^[19],以 Fe, Co, Mn 为中心原子的氟代卟啉配合物^[10,20],以 Fe, Co, Mn, Re 为中心原子的氟代环戊二烯配合物^[7]。还有以氟相可溶的高聚物为载体的氟催化剂,如含氟丙烯酸酯聚合物在氟两相体系中用作氢化催化剂^[21]。但目前已见报道的氟催化剂的合成方法还为数较少。

氟两相体系的基础是氟溶剂与其他有机溶剂的低混溶性。通过体系相图可以得到氟溶剂与其他有机溶剂的混溶性和临界温度 T_c (两相全部混溶的最低温度)的情况。已研究了若干氟两相体系的相图^[5],结果表明,在靠近但仍低于 T_c 时已有相当多的氟溶剂溶解在有机相里,这必将导致氟两相催化剂的损失。一般对两相体积相等的氟两相体系,相分离温度靠近 T_c 。可以由 Hildebrand-Scatchard 理论(或称为 Regular 溶液理论)粗略计算得出 T_c 值。目前因氟催化剂在非氟相中的溶解(微溶而非绝对不溶)导致的损失量的研究还较少。从经济的观点看,氟催化剂的相分配也是极其重要的。氟催化剂肯定要比非氟催化剂价格更贵,但是氟催化剂如果能很好地再生(延长使用寿命,减少损失),从长远看将会是便宜的。

3 氟两相体系在有机合成及产物分离提纯中的应用

在合成化学中,产品的提纯问题应该在合成的设计阶段就充分考虑到,理想的合成应该是仅用简单的分离技术就能完成产品的分离提纯。氟两相体系用于有机合成时无需用诸如结晶、沉淀、过滤等费时的分离技术便可以方便快捷地把有机主产物与氟试剂和氟催化剂分离开来,且由于环境友好而更受重视^[22,23]。氟溶剂用于化学反应最初的例子之一是用氟溶剂用于被多氯联苯(PCB)污染的固体或液体的氟萃取物的光解^[4]。此后氟溶剂作为惰性介质被用于有机合成中。并注意到,在氟溶剂中有机羰基化合物的缩合反应速度快、产物清洁且易于分离。进行共沸混合物蒸馏时,氟溶剂比其他普通的有机溶剂更为有用。在氟两相体系条件下,敏化剂四苯基卟啉转变为 5,10,15,20-四(六氟代丙基)卟啉的结果与预期的一样^[3],敏化剂化学稳定性的增加与氧化程度和从敏化剂溶液中分离出反应溶液程度成正比。后者防止了敏化剂的进一步分解,产率的增加和敏化剂分解的减少也是非常显著的。

重金属的处理一直是环境化学的一个极其重要

的领域。利用氟相可溶的配体从碳氢化合物相提取铑,是一种新的回收重金属的方法。铑是用于许多均相催化过程的最昂贵的过渡金属之一,用途极大,已经单独形成了铑磷配合物化学。有报道用一种氟两相体系兼容的磷从甲苯中萃取分离出铑^[4]。还有报道用氟化磷($P[CH_2CH_2(CF_2)_5CF_3]_3$)作试剂,使其与铑催化剂生成氟磷合铑配合物,从甲苯中提取铑催化剂 $[Rh(CO)_2(CH_3COCHCOCH_3)]$ 和从乙醇中提取 $RhCl_3$ ^[4,8]。

氟两相体系非常适用于反应物是非极性而产物是极性的反应。非极性反应物在氟相中将有较高的溶解度,而产物在氟相中不易溶解,容易分离出去。随着反应程度的增加,极性的产物量增加,更易于进行分离。当反应物在氟相中的溶解度较低时,化学反应也可在界面进行,加入适当的相转移试剂对反应是有利的。在一些不使用过渡金属催化剂的反应体系中也尝试利用氟两相分离技术并已作了很多研究,例如 Dimagno 等^[24]建议进行环己烯的光引发单线态氧化反应。还有报道利用氟相可溶的高聚物从非氟相反应混合物中分离试剂和催化剂^[25]。

4 预测与展望

目前 FBS 的研究利用还处于初期阶段,很难预计其更广泛的应用。但从氟到水的多种两相体系至少为试剂和催化剂的设计者提供了更大的选择性。全氟代烷烃作为 O_2 的传输介质已在化学反应中得到成功的应用^[6]。现正考虑用它作为人体血液的替代品来传输 O_2 及药物^[25]。一种从血液中除去有害化学物质的新设想是:利用氟代试剂萃取吸收有毒有害物质,或利用氟代试剂和催化剂通过化学转变解除其毒性使其无害^[1]。在生物体系中使用氟试剂和氟催化剂扩展了对人造血液替代品和药物衍生物的研究。生物分子在高氟代碳链化合物载体上的固定化已成功地用于层析技术,结果显示,固定在氟载体上的氟化酶仍保留原活性的 70%^[7]。

氟两相体系能在温和条件下从产物中完全分离出试剂或催化剂,这将扩大液相催化剂或试剂在工业上的应用,也将推进新的具有更高选择性的试剂或催化剂的设计与合成。用氟萃取技术从水、碳氢化合物或二者的混合物中提取毒性金属是环境化学的一个新方向,特别是提取放射性元素的氟试剂的发展,更为引人注目。如已制备出全氟代烷作为分离铀同位素的溶剂^[1]。另一个极具发展前景并已取得一定成果领域是对有机物分子进行选择性功能

化的氟试剂和氟催化剂的开发。尤其在不对称催化领域里,氟相提取技术对于非常昂贵的带有手性配体的催化剂的再生是非常重要的。目前的研究方向是开发具有极高选择性的有机分子功能化的氟试剂和氟催化剂以及不对称合成的手性氟试剂和氟催化剂,这为重要的生物分子的合成提供了新的方式(路线)。氟化学和氟合成也为一些作为有机大分子母体或中间体的有机小分子的合成提供了新的有效途径。总之,随着研究的深入,氟两相体系必将显示出更广泛的应用前景。

参考文献

- 1 Horvath I T. Fluorous Biphasic Chemistry[J]. *Acc Chem Res*, 1998, 31(10): 641 ~ 650
- 2 廖世健,徐筠. 均相催化进展[M]. 北京: 化学工业出版社, 1990. 464 ~ 486
- 3 Cornils B. Fluorous Biphasic System—the New Phase-Separation and Immobilization Technique[J]. *Angew Chem Int Ed Engl*, 1997, 36(19): 2057 ~ 2059
- 4 Horvath I T, Rabai J. Facile Catalyst Separation without Water: Fluorous Biphasic Hydroformylation of Olefins[J]. *Science*, 1994, 266: 72 ~ 74
- 5 Wolf E D, Koten G V, Deelman B J. Fluorous Phase Separation Techniques in Catalysis[J]. *Chem Soc Rev*, 1999, 28: 37 ~ 41
- 6 Klement I, Lutjens H, Knochel P. Transition Metal Catalyzed Oxidations in Perfluorinated Solvents[J]. *Angew Chem Int Ed Engl*, 1997, 36(13&14): 1454 ~ 1456
- 7 Hughes R P, Trujillo H A. Selective Solubility of Organometallic Complexes in Saturated Fluorocarbons: Synthesis of Cyclopentadienyl Ligands with Fluorinated Ponytails[J]. *Organometallics*, 1996, 15(1): 286 ~ 294
- 8 Fish R H. Fluorous Biphasic Catalysis: a New Paradigm for Separation of Homogeneous Catalysis from their Reaction Substrates and Products[J]. *Chem Eur J*, 1999, 5(6): 1677 ~ 1680
- 9 Horvath I T, Kiss G, Cook R A, et al. Molecular Engineering in Homogeneous Catalysis: One-phase Catalysis Coupled with Biphasic Catalyst Separation: the Fluorous-Soluble $HRh(CO)[P[CH_2CH_2(CF_2)_5CF_3]_3]$ Hydroformylation System[J]. *J Am Chem Soc*, 1998, 120(13): 3133 ~ 3143
- 10 Pozzi G, Montanari F, Quici S. Cobalt Tetraarylporphyrin-Catalyzed Epoxidation of Alkenes by Dioxygen and 2-Methylpropanal under Fluorous Biphasic Conditions[J]. *Chem Commun*, 1997(1), 69 ~ 70
- 11 Vincent J M, Rabion A, Yachandra V K, et al. Fluorous Biphasic Catalysis: Complexation of 1,4,7- $[C_6F_{17}(CH_2)_3]_3$ -1,4,7-Triazacyclononane with $[M(C_6F_{17}(CH_2)_2CO_2)_2]$ ($M = Mn, Co$) to Provide Perfluoroheptane-Soluble Catalysts for Alkane and Alkene Functionalization in the Presence of $t-BuOOH$ and O_2 [J]. *Angew Chem Int Ed Engl*, 1997, 36(21): 2346 ~ 2349
- 12 Juliette J J J, Horvath I T, Gladys J A. Transition Metal Catalysis in Fluorous Media: Practical Application of a New Immobilization Principle to Rhodium-Catalyzed Hydroboration[J]. *Angew Chem Int Ed Engl*, 1997, 36(15): 1610 ~ 1612
- 13 Richter B, Deelman B-J, Koten G. Fluorous Biphasic Hydrogenation of 1-

- Alkenes Using Novel Fluorous Derivatives of Wilkinson's Catalyst[J]. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 1999, 145: 317 ~ 321
- 14 Dinh L V, Gladysz J A. Transition Metal Catalysis in Fluorous Media: Extension of a New Immobilization Principle to Biphasic and Monophasic Rhodium-Catalyzed Hydrosilylations of Ketones and Enones[J]. *Tetrahedron Letters*, 1999, 40: 8995 ~ 8998
- 15 Kampa J J, Nail J W, Lagow R J. The Synthesis of Tris(perfluoroalkyl)-Phosphanes[J]. *Angew Chem Int Ed Engl*, 1995, 34(11): 1241 ~ 1243
- 16 Dias H V R, Kim H J. Novel Tris(pyrazolyl)borates Bearing Perfluoroalkyl Pigtailes: Syntheses and Characterization of the Sodium and Copper (I) Complexes of $[\text{HB}(3-(\text{R})\text{Pz})_3]$ ($\text{R} = \text{C}_2\text{F}_5, \text{C}_3\text{F}_7, \text{Pz} = \text{Pyrazolyl}$) [J]. *Organometallica*, 1996, 15(25): 5374 ~ 5379
- 17 Garelli N, Vierding P. Synthesis of New Amphiphilic Perfluoroalkylated Bipyridines[J]. *J Org Chem*, 1992, 57(11): 3046 ~ 3051
- 18 Guillevic M A, Arif A M, Horvath I T, et al. Synthesis, Structure and Oxidative Additions of a Fluorous Analogue of Vaska's Complex, $[\text{IrCl}(\text{CO})\{\text{P}[\text{CH}_2\text{CH}_2(\text{CF}_2)_5\text{CF}_3]_2\}]$ —Altered Reactivity in Fluorocarbons and Implications for Catalysis[J]. *Angew Chem Int Ed Engl*, 1997, 36(15): 1612 ~ 1615
- 19 Fawcett J, Hope E G, Kemmitt R D W, et al. Fluorous-Phase Soluble Rhodium Complexes: X-ray Structure of $[\text{RhCl}(\text{CO})(\text{P}(\text{C}_2\text{H}_4\text{C}_6\text{F}_{13})_2)]$ [J]. *J Chem Commun*, 1997(12): 1127 ~ 1128
- 20 Pozzi G, Banfi S, Manfredi A, et al. Towards Epoxidation Catalysts for Fluorous Biphasic Systems: Synthesis and Properties of Two Mn(III)-Tetraarylporphyrins Bearing Perfluoroalkylamido Tails [J]. *Tetrahedron*, 1996, 52(36): 11879 ~ 11888
- 21 Berghreiter D E, Franchina J G, Case B L. Fluorocrylate-Bound Fluorous-Phase Soluble Hydrogenation Catalysts[J]. *Organic Letters*, 2000, 2(3): 393 ~ 395
- 22 Studer A, Hadida S, Ferritto R, et al. Fluorous Synthesis: a Fluorous-Phase Strategy for Improving Separation Efficiency in Organic Synthesis [J]. *Science*, 1997, 275: 823 ~ 826
- 23 Studer A, Jeger P, Wipf P, et al. Fluorous Synthesis: Fluorous Protocols for the Ugi and Biginelli Multicomponent Condensations [J]. *J Org Chem*, 1997, 62(9): 2917 ~ 2924
- 24 Dimagno S G, Dussault P H, Schultz J A. Fluorous Biphasic Singlet Oxygenation with a Perfluoroalkylated Photosensitizer [J]. *J Am Chem Soc*, 1996, 118(22): 5312 ~ 5313
- 25 Berghreiter D E, Franchina J G. A Soluble Fluorous Phase Polymer Support [J]. *Chem Commun*, 1997(16): 1531 ~ 1532 ■

《现代化工》稿件规范

1. 文稿要字迹清楚, 语句通顺, 数据可靠, 图表清晰准确, 使用国际标准单位。
2. 文中单位要用全称, 国外公司名称中译名后要在括号内附原文名称, 英文缩写第一次出现时要注明全称。
3. 来稿要附中英文摘要和工作单位的英文译名, 摘要一般以 150 ~ 200 个词为宜。
4. 参考文献要齐全, 按标准格式书写, 并在文中引用处按顺序注出, 较旧的文献和非正式出版的文献不要列出。
5. 来稿请附第一作者简介(出生年月、性别、学历、职务、职称、研究领域等)、联系电话、传真、联系地址、邮编、e-mail 等。
6. 对于基金项目的论文, 要注明基金名称及编号。
7. 来稿请勿一稿多投, 并默认可上网发行。
8. 来稿一般在 3 个月之内给出处理意见, 除手写稿外其他打印、复印稿均不退回。