

聚四氟乙烯为核的核壳聚合物研究进展^{*}

陈名华 寇开昌 王志超 张冬娜

(西北工业大学应用化学系, 西安 710072)

摘要 通过种子乳液聚合制备以聚四氟乙烯(PTFE)为核的核壳聚合物来改善其表面性能。综述了该方法的基本原理、反应影响因素和核壳聚合物的性质,并提出了发展方向。

关键词 聚四氟乙烯 核壳 种子乳液聚合 表面改性

聚四氟乙烯(PTFE)存在大量低极化率和高结合强度的碳氟键,具有极好的耐温性能、优异的耐化学腐蚀性、低摩擦系数、良好的阻燃性和低吸水性等,可广泛应用于电子、机械、航空航天、生物医学等领域,享有“塑料王”的美称。同时PTFE又是一种结晶度高的非极性聚合物,具有表面能低、润湿能力差和化学惰性强等特点,难以与其它材料粘接或均匀混合,严重限制了其发展。为改善这一缺点,一般可以通过对PTFE进行表面接枝改性的方法来实现。如:化学处理后接枝或物理法处理后接枝。其中,前者工艺简单,成本低廉,但反应程度难以控制,对PTFE自身性能容易产生很大的影响,且带来环境污染问题^[1-2];后者需要高能设备,且操作复杂,成本高,难以实现工业化^[3-7]。

近年来,科研人员发现一种新型的PTFE表面改性方法,即通过种子乳液聚合,制备以PTFE为核、常规聚合物为壳的核壳结构乳胶粒,使PTFE具备了常规聚合物具有的表面极性、亲水性和粘结性等特点。该方法不需要高能设备,乳胶粒的形态和结构容易控制,且操作简单,成本低,无环境污染问题,是一种前景广阔的PTFE表面改性方法,引起了人们的广泛关注^[8-9]。通过种子乳液聚合制备PTFE为核的核壳结构聚合物,把PTFE与壳聚合物两个不相容的体系在微小尺寸上进行均匀混合,是一种新型简单有效的PTFE表面改性方法,此方法显著提高了PTFE的表面亲水性和相容性,因而今后将获得深入研究并得到广泛应用。

为此,笔者综述了该方法的基本原理、反应影响因素和核壳聚合物的性质,并提出了发展方向。

1 PTFE为核的核壳乳胶粒的制备和聚合机理

1.1 制备

核壳乳胶粒的制备一般分为三步:第一步,制备PTFE种子乳液。可以选用工业PTFE分散液、PTFE微乳液或含氟表面活性剂乳化的PTFE微粉。V. Kapeliouchko等^[10]将微乳液聚合得到的PTFE乳液为种子,制备了[PTFE-聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)]核壳聚合物。Cui Xuejun等^[11]采用含氟乳化剂对2 μm 的PTFE微粉进行充分乳化,扫描电子显微镜(SEM)显示,微米级的PTFE经乳化后,变成纳米级的球形或椭圆形。第二步,壳单体的滴加和充分分散。欲制得全部为PTFE核壳乳胶粒的乳液,单体应最好控制在饥饿状态^[12]。第三步,单体进行聚合反应。

1.2 聚合机理

制备PTFE为核的核壳乳胶粒时,由于PTFE一般不溶于壳层单体,容易形成核壳界限明显的乳胶粒^[13]。为防止壳单体单独形成增容胶束,通常采用无皂乳液聚合。聚合机理是,水中单体在引发剂作用下产生自由基,并逐渐形成小增长链,然后沉淀在种子乳胶粒表面;单体不断向乳胶粒表面扩散,继续进行链增长反应形成壳层;同时,随着单体转化率增加,核壳乳胶粒粒径增大,当第二个自由基进入乳胶粒表面时,聚合反应终止^[14-16]。I. S. Kattimuttathu等^[17]认为聚合反应开始时,壳单体开始聚合并成核,导致溶液中颗粒数目增加,这些核会被PTFE种子吸收后颗粒数目减小,然后进一步聚合,形成核壳结构乳胶粒,且在壳形成前后,种子颗粒会发生聚集,使得最终形成的乳胶粒数目小于种子数。

2 种子乳液聚合反应的影响因素

2.1 反应温度和时间

引发剂分解速率取决于反应温度。反应温度低,引发剂分解慢,单体难以聚合;温度过高,引发剂分解快,聚合反应快,反应热难以快速散发,出现凝胶现象。Cui Xuejun等^[18]制备[PTFE-聚丙烯酸酯(PEA)]核壳乳胶粒时,发现65℃时,单体反应速度慢,且最终转化率低于70%,反应温度在85℃时,出现凝胶,并确定最佳反应温度为75℃。此外,在温度不变情况下,随反应时间增加,单体转化率和乳胶粒粒径快速增加,当达到高转化率后,基本不再变化,乳粒的多分散性亦逐渐减小,最终得到尺寸分布较窄的核壳乳胶粒。

2.2 引发剂用量

引发剂的用量影响着聚合反应的速度和乳液的质量。引发剂用量少时,反应速度慢,转化率低,引发剂用量过多时,引发速度快,不易控制,聚合不平稳,容易产生大量凝胶。Cui Xuejun等^[18]在制备PTFE-PEA核壳乳胶粒时,当过硫酸铵低于0.2 g时,随着其用量增加,PEA的转化率增大,乳胶粒的多分散性减小;而过硫酸铵高于0.2 g时,转化速率加快,但最终转化率基本恒定,乳胶粒的多分散性增大。这是因为,随着引发剂的增加,产生更多的自由基,导致单体间的碰撞几率和颗粒形成速度增加,当引发剂浓度过高,单体

^{*} 西北工业大学研究生创业种子基金资助项目(Z200970)

收稿日期:2009-12-17

间碰撞过于激烈,不仅降低了乳液稳定性,也造成颗粒分布不均匀。

2.3 含氟表面活性剂用量

表面活性剂的用量对乳液稳定性和聚合反应的顺利进行影响较大。特别是采用乳化的 PTFE 微粒作为种子时,含氟表面活性剂的用量非常重要。乳化时,表面活性剂吸附在 PTFE 颗粒表面,减小了颗粒与单体、水间的界面张力,提高了相互间的相容性。研究发现,随着表面活性剂用量增加,乳液对水的静态接触角和表面张力迅速降低,直至趋于平稳,此时,PTFE 微粒完全被乳化。当加入单体进行种子聚合后,乳液会出现一些凝胶,但随表面活性剂用量进一步增加,凝胶含量逐渐减小直至消失,而形成核壳乳胶粒的粒径也逐渐减小,这说明单体会吸附一些表面活性剂。如果表面活性剂浓度低,种子或生成的乳胶粒会发生凝聚,因此,PTFE 乳液中应该含有多余的表面活性剂。此外,表面活性剂的用量不能过多,同时使单体保持在半饥饿状态,防止单体自身形成乳胶粒^[19]。如果直接采用 PTFE 乳液作为种子,一般采用无皂乳液聚合来制备核壳乳胶粒。E. Giani 等^[20]以不同含量的含氟表面活性剂制备了 3 种不同 PTFE 微乳液,并对比了微乳液在除去残留含氟表面活性剂前后作种子制备 PTFE-聚苯乙烯(PS)核壳乳胶粒的情况,发现随含氟表面活性剂含量增大,核壳乳胶粒粒径变小,且将表面活性剂透析后,可能导致乳液不稳定,聚合开始不久,便出现凝胶。

2.4 壳单体性质和组成

能够在 PTFE 表面进行种子聚合的单体有:苯乙烯、丁二烯、含氟单体、丙烯酸和丙烯酸酯类等。特别是丙烯酸酯类单体,可选用不同的硬单体(甲基丙烯酸甲酯)和软单体(丙烯酸丁酯)进行组合,以提高核壳乳胶粒的表面强度、硬度和耐磨性等。对于同一种 PTFE 种子乳液,PTFE-PMMA 乳胶粒稳定性高于 PTFE-PS 乳胶粒。Cui Xuejun 等^[18]制备 PTFE-PEA 乳胶粒时发现,加入具有水溶性的甲基丙烯酸会显著增加聚合速度、提高单体转化率、稳定乳液中的乳胶粒,使得粒子的多分散性下降。但甲基丙烯酸含量过多时,又会出现乳胶粒聚集或多分散性增加的情况。M. Okaniwa^[14]制备 PTFE-聚丁二烯(PB)核壳乳胶粒时,发现 PB 二级粒子的形成,取决于 PB 的交联密度。增加交联密度,会减少二级粒子的产生,因为 PB 的交联密度减小,会增加水相中含 1~3 个单体单元的自由基浓度,促进其相互聚合成二级粒子。

2.5 单体与种子的配比

E. Giani 等^[20]通过透射电子显微镜(TEM)研究发现,随着 PTFE 乳液含量增加,种子数量增多,聚合速度加快,核壳乳胶粒的粒径先急剧减小,然后趋于平缓,颗粒多分散性略有增加。同时在核壳乳胶粒中加入四氢呋喃,进行离心分离,发现分离出的 PS 的数均相对分子质量和重均相对分子质量均随 PTFE 含量的增加而略微增加。这可能是增加了苯乙烯的聚合数目的缘故。I. S. Kattimuttathu 等^[17]发现随

种子密度的减小,或者壳单体浓度增加,乳胶粒的聚集程度加剧。原因在于,种子数量减小后,范德华力大于粒子间的排斥力,易于出现聚集,同时单体浓度高,易于生成更多的聚合物,也有利于聚集。

3 核壳乳胶粒的性质与表征

3.1 核壳乳胶粒的结构和形态

核壳乳胶粒的结构和形态主要通过红外光谱分析(FT-IR)、TEM、SEM、原子力显微镜(AFM)、光子关联能谱(PCS)、动态光散射法(DLS)和非对称流分离系统(AFFF)等进行表征。核壳乳胶粒的形态与种子粒径大小、壳单体性质和乳化剂有关。V. Kapeliouchko 等^[10]采用 PCS 法分析乳胶粒的尺寸大小和分布,发现核壳乳胶粒的粒径大于纯 PTFE 乳胶粒,并且不含有纯 PTFE 乳胶粒或壳聚合物的二次粒子,核壳乳胶粒的粒径分布比较均一,并随 PTFE 乳液含量的增加而减小,这表明 PTFE 作为种子十分有效,聚合程度是一致的。AFM 分析显示干燥样品中纳米乳胶粒紧密有序排列,这表明通过控制壳层厚度和层中颗粒自组装,可得到规则的纳米 PTFE 核的有序排列。TEM 显示出两相明显的核壳结构,这说明核壳之间作用力很小。E. Giani 等^[20]通过 TEM 分析发现不规则的半球状核壳结构,这取决于各种界面张力和分散系数,限制了 PTFE 在壳聚合物中规整排列。有研究人员则发现少量的壳中包含两个、三个或多个核的核壳结构,这可能由于单体在已聚集的核上成壳,或者核壳颗粒在反应温度下(78℃)聚集。I. S. Kattimuttathu 等^[17]发现壳不完整覆盖的情况。杨觉明等^[21]以聚偏氟乙烯微粉(PVDF)作增容剂,制备了 PTFE-PEA 乳胶粒,FTIR 显示乳液涂层的丙烯酸酯聚合物在 1150~1255 cm⁻¹处的峰发生了红移,并推断出这是由于 PTFE 中氟原子对 PEA 原子上的电子云发生了吸引,形成了分子间弱作用,减弱了 PEA 中键的振动,减少了所需吸收的能量而产生的。TEM 分析显示了明显的核壳结构。J. Othegraven 等^[22]采用 DLS 和 AFFF 对氟聚合物-PS 核壳乳胶粒乳液进行分析,证明乳液中不存在因二次成核产生的 PS 均聚物。

3.2 核壳乳胶粒的热力学性能

(1) 结晶

V. Kapeliouchko 等^[10]通过差示扫描量热法(DSC)分析研究了 PTFE-PMMA 核壳乳胶粒的结晶行为,发现其在 323℃存在明显的吸热峰,这与 PTFE 的熔点相对应,在 104~105℃存在台阶,对应 PMMA 的玻璃化转变温度(T_g);并且熔点保持不变。这证明了 PTFE 与 PMMA 之间没有相互作用,因而可以通过 PTFE 的吸热峰大小估算 PTFE 的含量;同时还发现 PTFE 具有双重结晶行为,即在缓慢冷却过程中,核壳乳胶粒出现分步结晶,即 310℃的 PTFE 自身结晶放热峰和 270℃被 PMMA 包围的 PTFE 核的结晶放热峰。此外,随着核壳乳胶粒反复加热冷却,发现 310℃时 PTFE 自身结晶放热峰变大,而 270℃结晶放热峰变小,这是因为 PMMA 在高温下降解,导致 PTFE 结合在一起。通过快速升温

和降温的方法防止 PMMA 降解时核壳乳胶粒只出现一个 270℃ 结晶放热峰,证明了核壳乳胶粒非常完整。因此,可以把 PTFE 乳胶粒出现 270℃ 结晶放热峰作为区分 PTFE 核壳结构的标示和 PTFE 分散程度的定量指示器。E. Giani 等^[20]在 PTFE-PS 核壳乳胶粒中也发现了类似现象,且出现的 270℃ 结晶放热峰与组成无关,反映了 PTFE 与 PS 的分散程度,这取决于 PTFE 的尺寸和不良的界面条件。

(2) 热失重

K. Sparnacci^[21]通过热失重(TG)法分析了核壳乳胶粒的 TG 行为,发现热失重温度出现在 400℃ 和 580℃,分别对应壳聚合物和 PTFE 的降解温度,并且 PTFE 失重增加与 PTFE 的含量成正比,PTFE 的出现没有改变壳聚合物的热稳定性,这证明了 PTFE 核与壳聚合物之间不存在或存在非常小的相互作用力。这种现象在 PTFE-PS、PTFE-PMMA 核壳乳胶粒也同样存在。因此,可通过 TG 分析来估算核壳乳胶粒的组成,也说明核壳组成和尺寸可以通过初始 PTFE 和单体浓度进行精确控制。而 Cui Xuejun 等^[11]发现 PTFE-PEA 核壳乳胶粒的热稳定性比纯 PEA 乳胶粒略高,其开始快速失重温度为 370℃,比纯 PEA 高 10℃,这是由于 F—C 键的高键能造成的,也有可能是氟原子与 PEA 中的氢原子形成少量氢键,提高了 PEA 的热稳定性,这还有待进一步验证。

(3) 力学松弛

E. Giani 等^[20]将 PTFE-PS 核壳乳胶粒颗粒在 160℃ 下热压制成试样,进行动态力学分析,发现 PTFE-PS 核壳乳胶粒与 PS 的 T_g 相同,为 115℃。当外界温度高于 T_g 时,乳胶粒的储能模量随 PTFE 的含量增加而增加,这说明在高温区,乳胶粒的松弛过程略有加宽,这进一步证明了 PTFE 与 PS 的界面没有明显作用。I. S. Kattimuttathu 等^[17]发现,通过种子乳液聚合与均聚得到的壳聚合物的 T_g 不同,这可能是由于相对分子质量分布的差异造成的,必须进行进一步研究。

3.3 流变性

近年来,流变实验能够了解聚合物间有用的结构性能方面的信息,可广泛应用于聚合物的微观结构分析。I. S. Kattimuttathu 等^[17]通过对比 PTFE-聚甲基丙烯酸丁酯(PBMA)核壳薄膜和纯 PBMA 薄膜的流变性能,发现以下现象:

(1) 在橡胶态,核壳薄膜的储能模量高于纯薄膜,核壳薄膜出现玻璃化转变对应的频率低于纯薄膜,而粘流温度处,核壳薄膜的储能模量和粘度高于纯薄膜,这表明在橡胶态时核壳薄膜具有更好的弹性行为;(2) 在玻璃态下,纯薄膜的储能模量要高于核壳薄膜,说明在室温条件下纯薄膜具有弹性;(3) 在橡胶态,升高温度,核壳薄膜的储能模量提高很快,这是由氟聚合物的聚集引起的;(4) 储能模量随时间的增加速度取决于退火温度,温度越高,模量变化越快,最终接近种子的储能模量;(5) 种子的储能模量与频率无关,而核壳薄膜的储能模量随退火时间的延长对频率的依赖性下降。这均是由于聚集的 PTFE 核的桥联作用引起的,其作为物理

交联点,起到增强作用,并使整个体系形成一种网络状结构,该体系在橡胶态下体现类固体行为。而在高温下,由于增加了核的移动性,PTFE 晶核聚集更快,导致粘度和模量迅速增加。毛淑才等^[24]测量了核壳 PTFE-PEA 乳液和 PTFE 种子的流变性,发现二者的粘度均随剪切速率的增加先增大后减小,但前者的假塑性增强。

3.4 核壳乳胶粒的物理化学性质

(1) 成膜性

由于 PTFE 是一种刚性晶核,在成膜过程中不发生变形,成膜时,壳聚合物发生变形,形成连续相,因此,核壳乳胶粒的成膜性能与壳聚合物的 T_g 有密切关系。I. S. Kattimuttathu 等^[17]研究 PTFE-PBMA 核壳乳胶粒的常温成膜行为时,发现如果壳聚合物的 T_g 低于室温,膜柔韧无裂纹;高于室温时,由于壳聚合物变形困难导致膜出现裂纹,但经 40℃ 退火处理后,裂纹消失。AFM 显示,核颗粒部分呈球形,并象晶体一样规则分布在壳聚合物中。Cui Xuejun 等^[11]比较了纯 PEA 乳液和 PTFE-PEA 核壳乳液的性能,发现后者的最低成膜温度、表面张力和粘度较低,对温度和 pH 值稳定性高,耐清洗能力强,抗水性能高,其原因为成膜后 PTFE 的低表面能使其易于移动到薄膜表面层中。

(2) 亲水性

通过测量水接触角,可以评价材料的亲水性。PTFE-PEA 核壳乳胶粒成膜后,水接触角小于 90°,说明亲水性明显增强,这是因为膜中含有大量的极性基团,也证明了 PTFE 被 PEA 包围^[7]。V. Kapeliouchko 等^[10]采用同一种种子制备了两种不同的 PTFE-PEA 核壳乳胶粒,第一种采用单体为丙烯酸甲酯、丙烯酸乙酯和甲基丙烯酸,第二种采用单体为丙烯酸丁酯和甲基丙烯酸,发现乳胶粒的粒径明显大于理论值,且第一种乳胶粒粒径大于第二种。原因在于甲基丙烯酸单元使水溶胀了壳聚合物,而丙烯酸甲酯、丙烯酸乙酯的亲水性大于丙烯酸丁酯,故第一种乳胶粒被水溶胀更多。

4 应用与发展

一般来讲,核壳结构的乳胶粒的核、壳之间可能存在接枝、互穿或者离子键合,其不同于一般的共聚物或聚合物混合物,在相同原料组成的情况下,乳胶粒的核壳结构化会显著提高聚合物的耐磨、耐水、耐候、抗污、防辐射性能及拉伸强度、冲击强度和粘接强度,改善其透明性,并可显著降低最低成膜温度,改善其加工性能。对于 PTFE 为核的核壳乳胶粒,虽然核壳间不存在或存在很小的相互作用力,但由于 PTFE 自身的优异性能和粒子的均匀分散,也起到一定的作用,制备的核壳乳液可直接用作涂料和胶粘剂,也可以作为 PTFE 基填充剂,对塑料和橡胶进行改性。如:核壳聚合物在高温下,粘度增加很快,且 PTFE 不易燃烧,可以作为阻燃剂^[25-26]。S. Thomas 等^[27]制备了以 PTFE 为核,多种缩聚聚合物为壳的核壳聚合物颗粒,其既可单独使用,又可用作添加剂,是一种优异的阻燃剂。

PTFE 为核的核壳乳液聚合物发展方向将主要体现在以

下三个方面:

(1) 进一步研究聚合机理及聚合工艺对分子量分布的影响, 解释聚合过程, 判断核壳的界面结合情况。

(2) 开发新型壳聚合物, 制备性能更加优异的核壳颗粒。

(3) 研究核壳颗粒的各种性能, 拓展其应用范围, 开发新型 PTFE 改性产品。

参考文献

- [1] Noh I, et al. Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry, 1997, 35(8) : 1499 - 1514.
- [2] Okuda Y, et al. Journal of Applied Polymer Science, 2004, 94(3) : 923 - 931.
- [3] Yang G H, et al. Langmuir, 2001, 17(1) : 211 - 218.
- [4] Ellyana N, et al. Plasma Process and Polymers, 2006, 3(4) : 338 - 341.
- [5] Nicolas V, et al. Plasma Process and Polymers, 2008, 5(7) : 661 - 671.
- [6] Kang E T, et al. Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry, 1998, 36(17) : 3107 - 3114.
- [7] Nasef M M. Polymer International, 2001, 50(3) : 338 - 346.
- [8] Palamone G, et al. PTFE-based polymers: US, 6780363[P] . 2004-08-24.
- [9] Shimizu T, et al. Binder for batteries, and electrode compositions and batteries incorporating same: US, 5707763[P] . 1998-01-13.
- [10] Kapelioucho V, et al. Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry, 2009, 47(11) : 2928 - 2937.
- [11] Cui Xuejun, et al. Polymers for Advanced Technologies, 2007, 18(7) : 544 - 548.
- [12] 毛淑才, 等. 现代化工, 2004, 24(4) : 31 - 34.
- [13] 曹同玉, 刘庆普, 胡金生. 聚合物乳液合成原理性能及应用[M] . 3 版, 北京: 化学工业出版社, 2000.
- [14] Okaniwa M. Journal of Applied Polymer Science, 1998, 68(2) : 185 - 190.
- [15] Ohtsuka Y, et al. Journal of Applied Polymer Science, 1982, 26(5) : 1637 - 1647.
- [16] Ceska G W. Journal of Applied Polymer Science, 1974, 18(2) : 427 - 437.
- [17] Kattimuttathu I S, et al. Macromolecular Reaction Engineering, 2007, 1(2) : 253 - 263.
- [18] Cui Xuejun, et al. Colloid & Polymer Science, 2007, 285(8) : 935 - 940.
- [19] Chen Zhengxia, et al. Colloid & Polymer Science, 2005, 284(2) : 218 - 223.
- [20] Giani E, et al. Macromolecules, 2003, 36(12) : 4360 - 4367.
- [21] 杨觉明, 等. 西安工业大学学报, 2007, 24(2) : 148 - 152.
- [22] Othegraven J, et al. Macromolecular Symposia, 2000, 151(1) : 515 - 520.
- [23] Sparnacci K, et al. Macromolecules, 2009, 42(10) : 3518 - 3524.
- [24] 毛淑才, 等. 现代化工, 2006, 26(6) : 45 - 47.
- [25] Aten R M, et al. Core/shell polymer: US, 20070117935[P] . 2007-05-24.
- [26] Khan A A, et al. Core/shell fluoropolymer compositions: US, 4469846[P] . 1984-09-04.
- [27] Thomas S, et al. PTFE-based compositions: US, 20080275162[P] . 2008-11-06.

DEVELOPMENT ON CORE-SHELL POLYMERS WITH POLYTETRAFLUOROETHYLENE CORE

Chen Minghua, Kou Kaichang, Wang Zhichao, Zhang Dongna

(Applied Chemistry Department of Northwestern Polytechnical University, Xi' an 710072, China)

ABSTRACT Polytetrafluoroethylene(PTFE) are known as chemically inert materials, because the carbon - fluorine bond is the strongest of all bonds, and fluorine atoms can protect the carbon backbone. It can be used seeded emulsion polymerization to prepare core-shell polymer(PTFE core) for PTFE surface modification. The principle, influence conditions, and the core-shell polymer characterization are described, at last the developing trend is advanced.

KEYWORDS polytetrafluoroethylene(PTFE), core-shell, seeded emulsion polymerization, surface modification

重庆玻璃纤维生产线投产

日前, 云天化重庆国际复合材料有限公司, 设计能力为 5 万 t/a 的 F09 无硼无氟(ECT) 玻璃纤维(GF) 生产线点火投产, 这是该公司的第 10 条玻纤生产线, 投产后将使其玻璃纤维产能提高至 42 万 t/a。ECT GF 是由该公司, 自主研发的环保型无硼无氟玻璃纤维, 具有良好的耐化学侵蚀能力和拉伸弹性模量、拉伸强度、耐高温性高等特点, 生产过程中不产生硼化物、氟化物等。(工塑网)

工程塑料有望造国产大飞机

在我国国产大飞机研制中, 来自南京立汉化学有限公司的特种工程塑料将有望入选大飞机专用材料。该公司高级

工程师说, 目前, 正在测试阶段, 以满足大飞机的要求。

工程塑料强度很高, 可与钢材媲美; 另外, 它还可以耐 300℃ 高温。特种工程塑料一直是汽车材料中的高端产品, 几乎全部被国外产品垄断。2009 年, 南京先进复合材料产业化促进会与南京立汉公司合作, 联合南京航空航天大学、南京师范大学和南京玻璃纤维研究设计院等 4 位专家参与进行技术攻关。

由我国自主研发的大飞机预计在 2016 年适航, 目前正处在研发选材阶段。材料大多选用具有我国自主知识产权的产品, 主体研制单位已经选择一批国内企业参与, 南京立汉公司承担特种工程塑料的研制。(慧聪网)