

高性能化改性酚醛树脂的研究进展

赵小玲 齐暑华 杨 辉 张 剑 杨贵忠

(西北工业大学化学工程系, 西安 710072)

摘要 综述酚醛树脂的增韧和耐热改性的新方法。介绍采用聚砒、聚酰胺、腰果壳油/双马来酞亚胺、橡胶、环氧树脂及聚乙烯醇等改进酚醛树脂的韧性;采用碳纳米管、纳米蒙脱土、双马来酞亚胺、硼元素、焦油、有机硅、苯并恶 及酚三 树脂改进酚醛树脂的耐热性。

关键词 高性能化 改性 酚醛树脂

酚醛树脂具有力学强度高、电绝缘性能好、耐热性能优良、难燃等特点,且有很大的改性余地,被广泛用于制备玻璃钢、模塑料、涂料、粘合剂等。但是,酚醛树脂也存在着缺点,即酚羟基和亚甲基容易氧化,耐热性、抗氧化性受到影响;固化后的酚醛树脂因芳核间仅由亚甲基相连而脆性。随着工业的不断发展,对高性能酚醛树脂提出了新的要求,用纯酚醛树脂已不能满足要求。为提高酚醛树脂的性能,扩大其适用范围,国内外酚醛树脂行业及塑料行业对酚醛树脂改性开展了大量的研究工作,提高其韧性和耐热性是酚醛树脂的发展方向。

笔者对近几年来酚醛树脂在增韧及改进耐热性的研究方面进行了综述,其中包括几种新的改性方法。

1 酚醛树脂的增韧改性

1.1 聚砒改性酚醛树脂

聚砒^[1]作为一种耐高温、高强度的热塑性塑料,被誉为“万用高效工程塑料”,具有优良的综合性能,如电绝缘性能优良、耐热性能好、力学强度高、刚性好,有良好的尺寸稳定性和自熄性等。美国联合碳化物公司用双酚 A 型聚砒共混改性酚醛树脂,用这种改性树脂制得摩擦材料,其制品在 200 ~300℃下的摩擦因数始终稳定在 0.49 ~0.53,平均磨耗量比未改性酚醛树脂降低了 24%^[2]。董瑞玲^[3]研究发现用聚砒改性酚醛树脂玻纤增强模塑料具有优良的力学性能和电学性能,耐老化性能也有了一定的提高。其性能见表 1。

表 1 定向玻璃纤维增强酚醛塑料的性能

项 目	酚醛树脂	聚砒改性酚醛树脂
冲击强度/kJ·m ⁻²	200.39	283.66
弯曲强度/MPa	616.06	821.12
拉伸强度/MPa	310.76	476.57
压缩强度/MPa	144.42	151.44
表面电阻率/Ω	6.8×10 ¹¹	6.08×10 ¹²
体积电阻率/Ω·cm	4.7×10 ¹¹	7.83×10 ¹²
介电损耗角正切(1×10 ⁶ Hz)	0.0432	0.0279
介电常数(1×10 ⁶ Hz)	7.08	6.54
介电强度/kV·mm ⁻¹ (50Hz)	13.11	16.07
马丁耐热/℃	>280	>300

齐暑华等研制的聚砒改性酚醛树脂玻纤增强模塑料已成功用于宇航制件上。该模塑料具有优良的力学性能,这是因为聚砒结构中有异丙基和醚键,异丙基为脂肪基,有一定

的空间体积,可减少分子间的作用力,醚键两端的苯基可绕其内旋转,较异丙基更能增加分子链的柔顺性,两个基团的引入均有利于提高改性酚醛树脂的韧性。聚砒改性酚醛树脂玻纤增强模塑料的电性能优于未改性酚醛树脂玻纤增强模塑料,而且耐热性也得到了-定的提高,这是因为聚砒结构中异丙基上两个无极性的甲基使得异丙基极性较小,向酚醛树脂中引入极性小的异丙基使改性酚醛树脂的吸湿性减小,电绝缘性能提高。聚砒结构中的砒基与相邻的两个苯环组成高度共轭的二苯砒结构,形成了一个十分稳固、刚硬、-体化的坚强体系,使得改性树脂能吸收大量热能和辐射能而不致于主链断裂,热稳定性提高,试验测得聚砒改性酚醛树脂玻纤增强模塑料的马丁耐热温度高于 300℃。

1.2 聚酰胺改性酚醛树脂

聚酰胺有较高的韧性和力学性能,与酚醛树脂之间发生共固化或形成部分互穿网络结构,以提高聚酰胺改性酚醛树脂的力学性能^[4]。T. P. Yang^[5]认为酚羟基与酰胺基团间的氢键能促进酚醛树脂和聚酰胺的相互混溶,通过适当的改变聚酰胺结构,可以控制两者混溶程度。以一定量的甲醛,在一定温度和一定时间内处理聚酰胺,可获得羟甲基聚酰胺。这种聚酰胺溶解性能好,粘附性能高,与酚醛树脂的羟甲基基团反应固化,可获得良好的粘结强度。

采用聚酰胺(尼龙 3)增韧酚醛树脂用于摩擦材料的制造已获得了良好的效果,聚酰胺分子中含有酰胺基,可以与酚醛树脂中的羟甲基发生化学反应,从而改善了酚醛树脂的冲击韧性和粘接性,并改善了树脂的流动性,仍保持了酚醛树脂的优点。改性前酚醛树脂的冲击强度、拉伸强度分别为 3.5 ~4.5 kJ/m²、7 ~11 MPa,而改性后分别达到 5 ~12 kJ/m²、15 ~20 MPa^[6]。齐暑华等采用分子结构中含有酰胺基团的耐磨树脂 B 共缩聚改性酚醛树脂。他们认为共缩聚改性酚醛树脂,可以使耐磨树脂 B 羟甲基化,羟甲基化可以使耐磨树脂 B 与酚醛树脂之间能够接枝共聚,相容性增加,因此,耐磨树脂 B 能均匀地以颗粒状分散于酚醛树脂中,颗粒的粒径小,两相的界面模糊,界面强度高^[7]。这样的微观结构更有利于酚醛树脂的增韧。其改性酚醛树脂用玻纤、棉

纤维、棉布增强后冲击强度分别为 387.48 kJ/m^2 、 78.43 kJ/m^2 、 34.50 kJ/m^2 。其中棉纤维、棉布增强改性的酚醛塑料已成功用于滑轮结构件。

1.3 腰果壳油 (CNSL) / 双马来酰亚胺 (BMI) 改性酚醛树脂

CNSL^[8] 的主要结构是在苯酚的间位上带一个 15 个碳的单烯或双烯烃长链, 因此 CNSL 既有酚类化合物的特性, 又有脂肪族化合物的柔性, 用其改性的酚醛树脂的韧性有明显改善。然而长分子链的引入又大大影响其耐热性, 因而在长分子链引入后, 需要再加入耐热性能良好的刚性基团分子, BMI 是一种新型的具有优异耐热性及力学性能的树脂。同时采用 CNSL 和 BMI 改性酚醛树脂, 这种新型的改性树脂既引进了 BMI 的优良性能, 又具有 CNSL 改性酚醛树脂的优点, 所以改性树脂的综合性能优于其它改性树脂, 是一种性能更好的摩擦材料的基体树脂。张垣等^[9] 用 BMI 与 CNSL 加成反应, 然后将此预聚物再与酚醛进行缩合反应, 从而在改性树脂中既采用了 CNSL 增韧又引进耐热性优良的 BMI 基团, 获得了高性能的基体树脂。其制成的摩擦材料的热分解温度超过了 400°C , 这有效地抑制了摩擦材料热衰退现象的发生, 使材料的摩擦性能得到了明显改善。

1.4 橡胶改性酚醛树脂

橡胶增韧酚醛是最常见的增韧体系。橡胶增韧酚醛树脂属物理掺混改性, 但在固化过程中有着不同程度的接枝或嵌段共聚反应, 橡胶的加入量一般控制在 $6\% \sim 15\%$ 。向可溶性和线形酚醛树脂的混合物中加入含羧基的丁腈橡胶, 因可溶性酚醛树脂中的羟甲基和丁腈橡胶中的丁二烯双键、羧基起反应, 使酚醛树脂和丁腈橡胶之间由化学键而紧密联接, 所以既能提高酚醛树脂的力学性能, 又能提高其耐热性。除了丁腈橡胶外, 含有活性基团的橡胶, 如环氧基液体丁二烯橡胶、羧基丙烯酸橡胶、环氧羧基丁腈加成物都可以增韧酚醛树脂, 且增韧效果显著。同时, 由于改性体系交联密度的增加, 耐热性也提高。特别在液体橡胶增韧体系中, 由于液体橡胶容易形成海岛结构, 即酚醛树脂形成连续相, 橡胶形成分散相, 这是一种理想的增韧体系。

李新明等^[10] 通过丁腈橡胶与酚醛树脂共聚反应, 发现当丁腈橡胶用量仅为 2% 时, 就可以使酚醛树脂的冲击强度提高 100% , 当进一步增加丁腈橡胶用量时, 冲击强度进一步增加。银贵晨^[11] 采用丁腈橡胶改性酚醛树脂, 可以大大改善酚醛树脂的冲击强度。含有活性端基的热塑性弹性体对于改善酚醛树脂的力学性能更加有效。如利用液体羧基丁腈橡胶和环氧化酚醛改性酚醛树脂制备胶粘剂可以改善高温力学性能^[12]。

1.5 环氧树脂改性酚醛树脂

酚醛树脂酚核上的酚羟基和羟甲基与环氧树脂中的环氧基及羟基反应, 形成复杂的交联体型结构。因在酚醛树脂上接上了环氧树脂, 增长了链段, 降低了固化产物的交联密度, 使分子的柔韧性增加, 此外, 环氧的羟基和醚键还改善了酚醛树脂的粘接性。蒋德堂等^[13] 的研究表明, 环氧树脂的

加入, 改善了酚醛树脂的脆性, 同时具有酚醛树脂的优良的耐热性。改性后的树脂力学性能有明显提高, 所研制的新型 HF-I 环氧改性酚醛树脂提高了力学性能及耐候性。

1.6 聚乙烯醇改性酚醛树脂

聚乙烯醇改性酚醛树脂是化学改性, 即在苯酚和甲醛缩聚反应期间加入, 使聚乙烯醇分子中的羟基与酚醛缩聚物中的羟甲基发生化学反应, 形成接枝共聚物。蒋德堂等在研制新型 HF-I 环氧改性酚醛树脂时, 加入了聚乙烯醇改性剂, 结果表明, 聚乙烯醇改性剂的加入, 可以提高树脂的粘接力, 改善酚醛树脂的脆性, 降低固化速率, 从而降低成型压力, 对酚醛树脂起到增韧的效果。但是使用量不宜过高, 否则会影响其强度。

2 酚醛树脂的耐热改性

2.1 纳米材料改性酚醛树脂

(1) 碳纳米管改性酚醛树脂

碳纳米管^[14] 自从 1991 年被发现以来, 已引起人们的广泛关注。碳纳米管由于具有较大的长径比(直径为几十纳米以内, 长度为几微米到几百微米), 是到目前为止已知的最细的纤维材料, 具有优异的力学性能和独特的导电性能。由于它具有导电性, 因而由它制备的纳米复合材料也能导电, 且其电导率比用炭黑、微米级填料、不锈钢纤维的更高。同时它本身具有良好的耐高温性能, 并且本身又是一种良好的热导体, 若将这种碳纳米管改性的酚醛树脂制成耐高温的复合材料, 在高温下可将产生的热量通过碳纳米管导出, 从而降低树脂的温度, 起到一定的保护作用。苏志强等^[15] 用碳纳米管改性酚醛树脂, 发现改性树脂的耐热性比普通酚醛树脂的耐热性有了很大的提高, 可以用于制备耐高温的高性能专用酚醛树脂, 树脂中碳纳米管的含量越大, 树脂的耐热性越好, 但是碳纳米管的含量过大, 其分散性变差, 当酚醛树脂中碳纳米管的含量大于 5% 时, 改性树脂的耐热性增加并不十分明显。

(2) 蒙脱土改性线形酚醛树脂

蒙脱土^[16] 是一种纳米厚度的硅酸盐片层构成的粘土, 其基本结构单元是由一片铝氧八面体夹在两片硅氧四面体之间靠共用氧原子而形成的层状结构。研究表明, 聚合物的单体可以进入蒙脱土的硅酸盐片层之间, 在适当的条件下, 可以在其间发生聚合形成聚合物, 从而也就形成了插层聚合, 即先将聚合物单体分散、插层进入层状硅酸盐片层间, 然后原位聚合, 利用聚合时放出的大量热量, 克服硅酸盐片层间的库仑力, 使其剥离, 从而使硅酸盐片层与聚合物基体以纳米尺度相复合。郭江山等^[17] 发现在 300°C 时, 纯线形酚醛树脂和线形酚醛树脂/蒙脱土纳米复合材料的剩余率分别为 85.6% 、 93.5% 。这是由于蒙脱土单片层的纳米尺度效应、大的比表面积及强的界面相互作用, 使得高分子链与片层间有着很强的范德华力, 从而使酚醛树脂中的一些小分子(低聚物等) 不易在加热初期分解出来, 这有利于酚醛树脂的加工。同时, 酚醛树脂的分解温度大幅度提高, 纯线形酚醛树

脂和纳米复合材料的热分解温度分别为 353℃和 370℃,而且 600℃时的剩余率也分别为 16.88%和 45.07%,这是由于在此温度下复合材料的小分子基本挥发完了,同时由于蒙脱土自身的耐热性和其与大分子之间的范德华力,使得复合材料在 600℃时的剩余率比纯酚醛树脂的剩余率要高。

2.2 BMI 改性酚醛树脂

BMI 树脂具有突出的耐热性、耐湿热性,良好的力学性能、电性能、耐化学药品、耐环境及耐辐射等特性^[18]。在酚醛树脂中引入耐热性优良的 BMI,因两者之间发生氢离子移位加成反应,所以对部分酚羟基具有隔离或封锁作用,使得改性树脂的热分解温度显著提高,对于改善摩擦阻材料的耐高温性能有很大作用。阎业海等^[19]合成了 BMI 改性酚醛树脂 I,该固化树脂具有突出的耐热性,热变形温度(HDT)为 273℃,玻璃化转变温度(T_g)为 288℃。高苯环结构含量和高交联密度是固化树脂具有优良耐热性的结构基础。树脂 I 与适量高温固化剂共混后得到酚醛树脂 II,树脂 II 比树脂 I 具有更优异的弯曲性能和更高的热变形温度和玻璃化转变温度(HDT 为 291℃, T_g 为 322℃),这源于高温固化剂的使用进一步提高了固化树脂的交联密度,从而保证了固化树脂的耐热性。基于树脂 I 和树脂 II 与玻璃布的复合材料具有优异的力学性能和耐热性,在 300℃时使用树脂 I 的复合材料的弯曲强度和模量的保持率分别可达 65%和 78%,使用树脂 II 的复合材料的弯曲强度和模量的保持率分别可达 73%和 83%。

2.3 硼改性酚醛树脂

硼元素以结合键形式存在于酚醛树脂中,B—O 键键能很高,为 773.3 kJ/mol,使硼改性酚醛树脂具有很高的耐热性,同时 B—O 键的引入以三相交联树脂,支化度高,因而高温烧蚀时本体粘度大,又能生成坚硬高熔点的碳化硼,所以瞬时耐温好。何筑华^[20]研究发现,从热差分析结果看,硼酚醛树脂的耐热性明显优于普通酚醛树脂,普通酚醛树脂的初始分解温度在 200℃左右,大量分解温度在 280℃左右。而硼酚醛树脂的初始分解温度在 330℃左右,大量分解温度在 540℃左右。车剑飞等^[21]采用原位生成法针对硼酚醛树脂的缺点进行了纳米粒子填充改性,结果表明,纳米粒子填充改性能显著提高树脂的耐热性,提高起始分解温度约 150℃,随着纳米粒子填充量的增加,其耐热性逐步上升,特别是初始分解温度提高较多。并且当填充量为 5% 时,用纳米 TiO_2 、纳米 SiO_2 、纳米 Al_2O_3 改性的硼酚醛树脂冲击强度分别是普通酚醛树脂冲击强度的 231%、202%、182%。

2.4 焦油改性酚醛树脂

在线形酚醛树脂溶液中加入煤焦油高沸点组分(200℃),在甲醛或六亚甲基四胺存在下可发生缩合反应。煤焦油中主要为多取代苯、菲、蒽、甲酚及结构复杂的高分子环状烃和含 S、N、O 的化合物^[22]。其中菲、蒽、茚、甲酚等可与酚醛、甲醛缩合,各缩合产物均可与酚醛树脂进一步缩合成体型结构大分子,因而可提高酚醛树脂的耐热性。郑延

成等^[23]发现线形酚醛树脂用有机硅偶联剂和高沸点煤焦油改性后耐热、耐水、耐介电性能均明显提高。这除了煤焦油的作用外,硅烷偶联剂也起了一定的作用,硅烷偶联剂含有的一 NH_2 可以和酚醛分子中的羟基缩合,而其含有的烷氧基水解产生的羟基可与树脂中的羟基脱水缩合,在树脂中形成“桥键”,从而提高了耐温、耐介电性能。

2.5 有机硅改性酚醛树脂

有机硅树脂^[24]以耐热、耐湿的优良性能而使用了几十年,但它的力学性能较低,且不耐有机溶剂、酸或碱介质的侵蚀。若使用有机硅单体,如 $\text{CH}_3\text{Si}(\text{OR})_3$ 和 $(\text{CH}_3)_2\text{Si}(\text{OR})_2$ 等与酚醛树脂中羟基或羟甲基反应(反应过程中放出 ROH),可改进酚醛树脂的耐热性和耐水性,从而制得耐高温酚醛树脂。周重光等^[25]发现,有机硅改性酚醛树脂的热稳定性明显提高,改性后的酚醛树脂在氮气中 820℃的烧蚀成碳率可超过 70%。

2.6 开环聚合酚醛树脂

苯并恶 是目前最为常见的一种开环聚合酚醛树脂单体,能通过开环聚合反应生成类似于酚醛树脂结构,固化时无低分子挥发物放出,收缩率小,可减少内应力和微裂纹。苯并恶 在聚合前为低分子量、低粘度的环状单体,工艺性好,固化后树脂结构中含有少量的酚羟基,耐热性提高,提高反应温度将酚羟基变为分子主链上的醚键,使韧性提高。因此在许多领域中有着广泛的应用前景。苯并恶 化合物是一类含杂环结构的中间体,一般由酚类化合物、胺类化合物和甲醛经缩合制得。苯并恶 化合物只有在热和含有活泼氢的酚类化合物及阳离子引发剂作用下,才能进行开环聚合反应,生成含氮且类似酚醛树脂的网状结构。为此,采用线形酚醛树脂为活泼氢化合物,同时加入六亚甲基四胺与其共混,在催化剂作用下,进行树脂固化反应,改性树脂固化物热稳定性高,摩擦材料制件性能优良,100~300℃摩擦因数稳定。四川大学在这方面作了大量的研究工作,将其开环聚合酚醛树脂作为基体制作的制动材料具有优良的耐高温摩擦因数和热恢复性。

2.7 酚三 树脂

酚三 树脂^[26]是一种耐热性优异具有三 网状结构的改性酚醛树脂。具有 BMI 的高温性能和酚醛树脂的阻燃特性及环氧树脂的加工工艺性能。酚三 树脂是一种新型高性能复合材料基体树脂,粘度低,凝胶时间长,属自固化体系,收缩率低,无挥发性副产物放出,玻璃化转变温度大于 300℃,使用温度可达 316℃,热氧稳定性高,极限收缩率为 3.5%,力学性能与聚酰亚胺相当,其碳纤维复合材料的耐热性、耐老化性能好,弯曲、剪切强度可称热固性树脂之首。酚三 树脂的制备是氰化卤与酚醛反应生成氰酸酯树脂,再进一步交联成酚三 树脂。其主要缺点是合成反应所用原料毒性大,合成反应的副产物需要回收。

除了上述几种改性酚醛树脂外,还有磷改性酚醛树脂、钼改性酚醛树脂、胺类改性酚醛树脂、二甲苯改性酚醛树脂

和重金属改性酚醛树脂等,都能使酚醛树脂的耐热性有一定程度的提高。

3 结语

随着酚醛树脂改性的不断深入研究,已涌现出许多高性能的改性酚醛树脂,如高力学强度、高耐热、高电绝缘性能、难燃、低烟低毒性等新品种酚醛树脂。可以预言,随着酚醛树脂应用领域的不断拓宽,改性研究的不断深入,高性能改性酚醛树脂将在许多领域发挥其更大的作用。

参考文献

1 程树祥,等.工程塑料应用手册.南京:江苏科学技术出版社,1988.495

2 张亚娟.西北工业大学学报,2002,20(2):193

3 董瑞玲,等.高绝缘高韧性耐热型酚醛塑料的研制:[硕士学位论文].西安:西北工业大学,2001.

4 Hyung Kim, et al. Macromolecules, 1989(22):3374

5 Yang T P, et al. Journal of Applied Polymer Science, 1990(41):1327

6 伊廷会.热固性树脂,2001,16(4):29

7 杨淑丽.热固性树脂,1998,13(2):44

8 伊廷会.化工进展,2001(9):13

9 张垣,等.玻璃钢/复合材料,1999(5):24

10 李新明,等.热固性树脂,2002,17(3):11

11 银贵晨.中国塑料,2001,15(6):50

12 何秀珍,等.河北工业大学学报,1998,27(3):47

13 蒋德堂,等.河南科学,2002,20(2):140

14 Iijima S. Nature, 1991,354:56

15 苏志强,等.碳素技术,2002(1):8

16 陈光明,等.高分子通报,1999(4):1

17 郭江山,等.北京化工大学学报,2001,28(2):34

18 范徽,等.材料导报,1998,12(5):58

19 阎业海,等.高技术通讯,2002(5):56

20 何筑华.贵州化工,1999(3):11

21 车剑飞,等.塑料工业,2001,29(6):15

22 胡才志.石油钻采工艺,1992,12(3):61

23 郑延成,等.粘接,2000,21(4):10

24 殷荣忠.酚醛树脂及其应用.北京:化学工业出版社,1990.101

25 周重光,等.高分子材料科学与工程,2000,16(1):164

26 高良倡.玻璃钢/复合材料,1994(1):14

ADVANCE IN THE RESEARCH OF THE MODIFIED PHENOLIC RESIN WITH HIGH PROPERTY

Zhao Xiaoling, Qi Shuhua, Yang Hui, Zhang Jian, Yang Guizhong

(Department of Chemical Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

ABSTRACT The new methods of the modification for improving the toughness and heat resistance of phenolic resin were introduced. Polysulfone, polyamide, CNSL/BMI, rubber, epoxy resin, polyethleneglycol etc. were used to enhance the toughness of phenolic resin, Carbon nanotube, nanosil, bismaleimide, boron, tar, organic silicon, benzotriazine, phenolic-triazine resin were used to heighten the heat resistance of phenolic resin.

KEYWORDS high property, modification, phenolic resin

军用新材料技术研讨会在北京召开

军用新材料技术研讨会于 2003 年 9 月 16 ~18 日在北京召开,18 个单位的 30 名代表参加了会议。兵器分会徐亚洲秘书长,兵器非金属情报网贾兴华、杨振强、张玉龙副网长、宋学智秘书长参加了会议。张玉龙副网长代表网长单位、徐亚洲秘书长代表领导机关讲了话,宋学智秘书长受网领导小组委托宣读了关于表彰先进的决定。

会议共征集论文 19 篇,内容涉及到军用新材料的各个方面。在大会上 12 篇论文进行了交流,其余论文作了书面交流。研讨会开得生动、活泼、热烈。不少代表对一些感兴趣的技术问题提出意见或建议,与作者进行了面对面的直接交流,达到了相互交流、共同提高的目的。代表们还就一些共同关心的技术问题展开了讨论,各抒己见,相互启发,真正达到了技术交流。不少代表还展望了军用新材料在未来战争中发挥巨大的作用。伴随军事装备的智能化、轻量化、小型化、现代化,军用新材料必将发挥更大的作用。

研讨会期间召开了扩大的第十八次网领导小组会议,研究了 2004 年情报网的工作。经研究决定,2004 年主要做好

两件事:①组织编写一部《现代工程材料手册》;②组织网内成员单位对非金属材料技术需求进行一次普查。(宋学智)

汽车工业推动尼龙需求复苏

BRG Townsend 咨询公司称,2002 年西欧 PA 配混料市场比上一年增加 5%,总量达 71 万 t。该公司预计,2003 年以后的 PA 配混料市场将继续扩大,欧洲以年均 5% ~6% 的速率持续增长。

该公司指出,PA 配混料消费增长主要是 PA6 部分,而不是 PA66 部分,因为欧洲 PA 下游更多地选用 PA6 配混料,PA6 配混料需求增长部分来自于顾客为降低成本,从 PA66 转向采用价格便宜的 PA6。汽车业是 PA 配混料最大的市场,主要应用为机罩下部件,如空气吸入歧管、空气和冷却系统、辅助设备、节流阀外壳、气缸罩和发动机部件。高性能 PA 用于制备罩下管路,如燃油系统管线等。另外,PA 在汽车电器系统、外装件、内装件等方面也有许多应用。未来几年,汽车工业仍将是 PA 最有吸引力的市场,PA 用于汽车市场的份额将继续提高,因为 PA 会进一步进入汽车机罩下制品等应用领域。(毅佳)