

环氧树脂改性研究新进展^{*}

胡家朋 熊联明 唐星华 周 韦

(南昌航空工业学院,南昌 330034)

摘要 虽然环氧树脂因具有优异的粘接性能和力学性能等而被广泛应用,但其耐热性较差、脆性大等缺陷限制了其在高性能领域中的应用。为此综述了有机硅树脂、聚氨酯、聚酰亚胺、刚性无机填料、纳米粒子及腰果壳油改性环氧树脂的最新研究进展,对各种改性环氧树脂的优缺点和改性机理进行了探讨,并对其应用前景进行了展望。

关键词 环氧树脂 改性 进展

环氧树脂(EP)是聚合物复合材料中应用最广泛的基体树脂之一。EP具有优异的粘接性、耐磨性、力学性能、电绝缘性、化学稳定性、耐高低温性,以及收缩率低、易加工成型和成本低廉等优点,在胶粘剂、仪表、轻工、建筑、机械、航空航天、涂料、电子电气及先进复合材料等领域得到广泛应用。然而其质脆、韧性差,固化时产生内应力等缺点限制了它在某些高新技术领域的应用。为此,很多科技工作者对其进行了大量的改性研究工作,取得了丰硕的成果^[1,2]。

1 有机硅树脂改性 EP

有机硅树脂有良好的介电性、低温柔韧性、耐热性、耐候性及憎水性,而且表面能低,用其改性 EP 既能提高介电性能,又能提高韧性和耐高温性能、降低内应力,但它与 EP 相容性差。因此,一般使用带有活性基团的有机硅树脂改性 EP。比如,聚二甲基硅氧烷具有卓越的柔性与独特的低表面能特性,是改性 EP 的理想材料,但两者不能互容,通过在聚二甲基硅氧烷分子链上引入能与 EP 的环氧基反应的官能团,如羟基、羧基、氨基等基团可改进二者的相容性^[3]。

张冰等^[4]将带有 N -(β -氨基乙基)- γ -氨基丙基侧基的聚二甲基硅氧烷与 EP 共混,使相界面上的氨基与 EP 上的环氧基反应生成聚硅氧烷接枝 EP 共聚物,从而增加了两相间的相容性。夏小仙^[5]以氨基丙基封端的二甲基二苯基硅氧烷低聚物改性双酚 A 型 EP,随着共聚物中苯基含量的增加,软段的有机硅聚合物的溶解度参数提高,两相相容性增加,达到较好的增韧效果。陈慧宗^[6]合成了一种含有乙氧基、羟基、甲基与苯基的新型聚硅醚,对 EP 进行改性,改性产品可耐高温、抗氧化、粘接力强且稳定性好。

E. M. Yotkgitis 等^[7]使用带有烯端基的聚硅氧烷预聚物与苯乙烯或甲基丙烯酸甲酯经自由基聚合,得到含聚硅氧烷支链的弹性体,用其改性 EP 获得较好效果。张斌等^[8]用氨基硅油和双酚 A 型 EP 为原料合成一种新型的 EP。结果表明,加入氨基硅油合成的改性 EP 具有良好的韧性和耐热性。

李善君^[9]用试验证明由分散聚合制备的有机硅改性邻甲酚 EP 对降低 EP 的内应力有显著效果,EP 的力学性能、热性能和内应力不但与两者比例有关,而且与使用的固化促进剂的品种和用量亦有很大关系。

2 聚氨酯(PUR)改性 EP

互穿聚合物网络(IPN)是制备特殊性能高分子合金的有效方法。PUR 的高弹性、耐磨性与 EP 的高粘接性可通过 IPN 体系互补与强化^[10]。

施利毅等^[11]利用聚合物合金的思想,采用熔体共混法制备出了 EP/PUR 共混体系。他们以异氰酸基封端 PUR 预聚体与 EP 在熔融条件下加入固化剂固化后得到共混改性体系,由于异氰酸基本身能与环氧基反应,因此得到的改性体系两相间有良好的相容性。

Y. Li 等^[12]利用双酚 A 型 EP 与末端为异氰酸酯的聚醚 PUR 低聚物进行改性接枝,二者在四氢呋喃溶液中形成均相溶液,然后在 4,4'-二氨基二苯甲烷(DDM)固化剂作用下形成线性 PUR 贯穿于环氧网络的半互穿网络结构。两者在用量比为 70/30 时具有良好的协同性能,体系的剪切、剥离强度与冲击强度均有较大的提高,体系的断裂伸长率由纯 EP 基体的 2.09% 提升到 211.9%,断裂强度提高了 18.56 MPa。管云林等^[13]用不同的 PUR 和 EP 制备一系列 EP/PUR IPN,通过 DSC 对其进行分析,发现网络互穿程度的提高增加了组分之间的相容性。

杨亚辉等^[14]以聚酯和二异氰酸酯为聚合单体,合成了端异氰酸基聚酯,采用原位多相聚合技术,用芳香二胺将其扩链生成聚氨酯脲,从而与 E-51 EP 形成 IPN,实现对 EP 的增韧。对于 N,N -二甲基苄胺固化体系,加入 12.0 份的聚氨酯脲,可使 EP 的冲击强度提高 35% 左右,拉伸强度提高 12% ~15%;对于 4,4'-二氨基二苯砜(DDS)或 DDM 固化体系,加入 12.0 份的聚氨酯脲,可使 EP 冲击强度提高 92% 左右,拉伸强度提高 20% ~24%。聚氨酯脲在 IPN 中既起到增韧作用又起到类似于微纤维的增强作用,而且由于 IPN 结构中含有刚性硬段结构,交联度较高,体系热稳定性也有所提高。

3 聚酰亚胺改性 EP

聚酰亚胺是一类性能优异的工程塑料。它具有许多优异的性能,如耐高温低温性能、突出的力学性能等,广泛应用

^{*} 航空高校重点科研基金项目(EC200302077)

收稿日期:2005-03-02

于需要高热稳定性、优异的力学性能的领域^[15]。用聚酰亚胺改性 EP, 同样可提高 EP 的热稳定性和韧性。

N. Brolley 等^[16]用稍过量的二苯酮二酐 (BTDA) 和 4, 4'-(9- λ -9 亚基) 双苯胺 (FBPA) 及苯胺合成了玻璃化转变温度 (T_g) 为 350℃ 的苯基封端的可溶性聚酰亚胺。他们将四缩水甘油基二苯甲烷 (TGDDM) 与这种聚酰亚胺的二氧六环溶液混合搅拌均匀, 除去溶剂, 加入 DDS 后搅拌至透明, 即得 EP/聚酰亚胺共混体系, 目的在于利用两种组分的相容性提高固化混合物的 T_g , 同时使 EP 增韧。陈鸣才^[17]先将有高 T_g 的聚酰亚胺溶解在二氯甲烷中, 再与按一定比例混合好的两种 EP (MY0510 和 DEN431) 共混, 然后加入 DDS, 得到共混体系的溶液, 去掉溶剂后固化得到性能优异的固化物。李善君等^[18]用双酚 A 二酐和 4, 4'-[1, 4-苯基二(1-甲基- λ -乙基)] 二苯胺按不同摩尔比合成聚酰亚胺用以改性 EP。加入 20% ~30% 聚酰亚胺的改性体系的相结构发生变化, 使体系剪切强度有较大提高。含量为 20% 时, 形成连续相结构, 含量为 30% 时发生相反转。聚酰亚胺作为连续相有利于力学性能的大幅度提高, 断裂韧性提高 5 倍。改性体系的 T_g 比纯 TGDDM 固化体系提高 10℃ 以上。改性体系作为胶粘剂时剪切强度提高 1 倍左右, 200℃ 高温剪切强度仅下降 10%。

A. Gopala 等^[19]以 2, 2'-双(3, 4-二羧基苯基) 六氟丙烷 (6FDA)、1, 3-双(4-氨基苯氧基) 苯 (TPE-R)、3, 5-二氨基苯甲酸 (m-AP) 为原料制备了以 DAP (邻苯二甲酸酐丙脂)-[(6FDA-DABA (3, 5-二氨基苯甲酸))]-2-DAP 为主链, m-AP-6FDA-TPE-6FDA-m-AP 为侧链的氨基封端梳形聚酰亚胺齐聚物; 并以这种齐聚物为固化剂固化 EP 达到改善耐热性和韧性的目的。

双马来酰亚胺 (BMI) 是一类性能优异的交联型聚酰亚胺, 兼有聚酰亚胺优良的耐高温和耐潮湿性能。向 EP 中引入 BMI 后, 由于两者聚合机理不同和相容性等方面的原因, 在聚合过程中可能形成互穿网络或两相体系, 从而达到增韧和提高耐热性的目的。J. L. Han 等^[20]用本体聚合技术制备了 BMI 和聚氧化丙烯型聚氨酯 [PU (PPG)] 交联 EP 聚合物互穿网络。将 BMI 和 PU (PPG) 交联的 EP 混合, 然后同时聚合形成 IPN。结果表明, 含有较长 PU (PPG) 链段的 BMI/PU (PPG)-EP 互穿网络的拉伸强度随 BMI 含量的增加而降低。因为 BMI 比 EP 具有更大的链刚性, 完全固化后固化物具有很高的 T_g 、优异的热稳定性和热氧化稳定性及相当小的吸水性。

聚酰亚胺改性 EP 与纯 EP 相比在耐热性、韧性方面得到了提高。不仅如此, 在其它性能方面也得到了改善。如可溶聚酰亚胺改性四官能团 EP 胶粘剂的粘接剪切强度是改性前的 2 倍左右, 200℃ 高温剪切强度仅下降 10%, 不均匀剥离强度提高 2.5 倍左右^[21]; 酰亚胺的引入可以提高改性 EP 的高温剪切强度保留率, 150℃ 时为 76% ~84%, 175℃ 时也可达到 75%^[22]; 双羟基聚酰亚胺固化 EP 粘接不锈钢时,

层间剪切强度高达 32 MPa。

4 刚性无机填料改性 EP

在刚性粒子与树脂组成的体系中, 刚性粒子在塑性变形时承受拉伸应力能有效地抑制基体树脂裂纹的扩展, 同时吸收了部分能量, 从而起到增韧作用。在热塑性树脂中加入刚性粒子既能降低材料的成本, 控制材料的热膨胀与收缩, 又能提高材料的拉伸弹性模量。在 EP 中加入刚性粒子, 除了引起上述变化外, 还可提高基体的韧性。

硅微粉是常用的增韧改性无机填料。对于 EP 和硅微粉填料组成的复合体系, 由于两者之间的线胀系数相差较大, 固化过程中必定会产生内应力, 导致 EP 复合体系开裂。在 EP 中加入高韧性基体树脂, 可改善复合体系基体和填料界面状态, 部分松弛复合体系中的残余应力, 但要以损失复合体系的耐热性和强度为代价。

余志伟^[23]提出了一种增韧 EP 的新思路, 预先对填料表面进行增韧处理, 即在硅微粉表面包覆一层具有增韧 EP 功能的增韧剂, 使填料表面柔性化。将它填充到 EP 中会在树脂/填料界面上形成一个应力缓冲层, 并且在整个固化交联体系中形成一个紧密相连的柔性网络结构, 当应力传递到树脂/填料界面时, 则可通过柔性网络结构传递和释放, 从而达到增韧 EP 的目的。

赵世琦等^[24]用石英砂填充 EP, 发现填充体系韧性的增加程度与填料的粒径及表面处理的方法有关。Keiko Koga 等^[25]发现填料与 EP 的粘接性越好, 共混体系的拉伸弹性模量越小。K. Ishizu^[26]发现在橡胶改性的双酚 A 型 EP 中加入玻璃微珠后, 会形成橡胶与玻璃微珠的杂交粒子, 能够进一步提高 EP 的韧性。另外, 经过表面处理的玻璃微珠的改性作用比未处理的要大得多。

李广宇^[27]研究了价格低廉的硫酸钙晶须对 EP 性能的影响, 发现硫酸钙晶须加入到 EP 中能够均匀分散, 起到骨架作用, 辅以适量的硅烷偶联剂固化后形成的复合体系内聚强度大为提高, 表现出强固和坚韧的特性。试验表明, 硫酸钙晶须的用量 10 ~30 份、石英粉 20 ~40 份、硅烷偶联剂 1 ~3 份较为适宜。

5 纳米粒子改性 EP

纳米粒子尺寸界定在 1 ~100 nm 之间, 它具有极高的比表面积, 表面原子具有极高的不饱和性, 因此, 纳米粒子的表面活性非常大, 在利用纳米粒子改性 EP 时, 环氧基团在界面上与纳米粒子产生远大于范德华力的作用力, 形成非常理想的界面, 能起到很好的引发微裂纹、吸收能量的作用^[28]。

纳米粒子改性 EP 的方法有共混法、插层聚合法和反应器就地合成法, 其中插层聚合法在 EP 改性中应用最广。插层聚合法是指将单体或齐聚物插入到层状结构硅酸盐的片层间, 利用聚合反应的放热破坏硅酸盐的片状叠层结构, 从而将微米尺寸的硅酸盐原始颗粒剥离成纳米厚度的片层单元, 并使其均匀分散于聚合物基体中, 实现聚合物和硅酸盐片层在纳米尺度上的复合^[29]。

郑亚萍等^[30]利用 SiO₂ 纳米粒子对 EP 体系进行了大量的改性研究。通过利用分散剂实现了纳米粒子与 EP 的均匀混合,解决了纳米粒子由于粒径过小易团聚的问题。研究结果表明,EP/SiO₂ 复合体系中由于 SiO₂ 粒子表面存在着羟基,两者在界面处存在着较强的分子间力,因此有较好的相容性。通过扫描电子显微镜(SEM)观察分析,在改性体系中纳米粒子呈分散相,EP 呈连续相。纳米粒子以第二聚集体的形式均匀地分散在树脂基体中。由于二者粘接性能好,因而在受冲击时能起到吸收冲击能量的作用,从而达到增韧的目的。

傅万里等^[31]利用 SEM 观察分析纯 EP 冲击断口与 EP/粘土纳米复合体系冲击断口时发现,前者断口为光滑脆性断裂形貌特征;而后者断口则凹凸不平,表现出韧性断裂形貌特征。其原因在于纳米刚性粒子在复合体系中作为应力集中点在受力时既能引发银纹,又能终止银纹,同时由于纳米粒子具有强的刚性,裂纹在扩展时遇到纳米粒子发生转向或偏转而吸收能量达到增韧的目的。研究结果表明,纳米 SiO₂ 粒子可使 EP 的冲击性能和拉伸性能大幅度提高。

6 腰果壳油改性 EP

由天然腰果壳油合成的改性 EP,目前在重防腐涂装体系中得到了相当广泛的应用,已经成为低表面处理,单一配方一年四季都能快速重涂的,高效益的厚浆型 EP 重防腐体系的标准。这种体系既有低分子量脂肪胺体系的硬度和优良的耐化学腐蚀性能,又有低分子量聚酰胺体系的长操作期和良好的韧性及低毒性能,还有一般酚醛胺体系的快速固化和良好的粘接性能。

所有的腰果壳油 EP 体系都是以带有不饱和双键的碳 15 直链取代酚为基础的。弱酸性的酚羟基是 EP 固化反应的催化剂,从而使这种体系在低温下也能快速固化,同时极性的羟基提高了与被涂表面的粘接力。含不饱和双键的碳 15 直链给体系提供了优异的耐水性,从而使体系无需添加重金属防腐涂料就有极好的隔水性能;它同时降低了体系的表面能和粘度,使体系对被涂表面的流动性和渗透性增强,更进一步提高了体系对被涂表面的粘接力 and 固化速度,长直链不但给体系提供了良好的内增韧效果,而且对体系的固化反应有初始的空间位阻效应,从而使体系特别是高固化剂含量的体系在快速固化的同时仍有良好的操作期。由于含有酚结构的特性,这种体系比其它 EP 体系的变色速率要快,因此,在调色时需要提前考虑快速变色的因素,以满足不同色板的要求^[32]。

贺江等^[33]研究了从工业腰果壳油中提取的腰果酚与苯酚在 H⁺ 催化下发生加成反应,形成中间体 DNP(8-对羟基苯基-15-间羟基苯基-4-十五烯),DNP 在 OH⁻ 催化作用下与环氧氯丙烷反应形成腰果酚改性 EP。他们采用的腰果壳油是一种带有碳 15 链的苯环结构,试验中他们将碳 15 链引入到双苯环之间,增加苯环间距离,使其间作用力减弱。另外,碳 15 链的引入形成位阻,C—H、C—C 间作用力及自旋电子

云都干扰苯环间作用力,使其减弱,从而增加树脂的柔韧性。试验得到 EP 改性前后的冲击强度由 4.9 J/cm² 提高到 23 J/cm²;柔韧性由 1 mm 提高到无轴对折。

刘同保等^[34]将从工业腰果壳油中提取的腰果酚与甲醛合成得到一种低聚体,再将这种低聚体溶于环氧氯丙烷中,升温至 50℃。搅拌下于 1 h 内将固体氢氧化钠分批加入溶液中。升温至 60℃,反应 6 h,冷却,加入纯苯稀释,过滤,滤液减压蒸馏,除去过量的环氧氯丙烷和溶剂苯,得棕色透明的腰果酚甲醛 EP。改性后的树脂进行压缩强度试验时,从形变开始还需增加 1 倍以上压力方使材料破裂,表现出良好的韧性。而普通双酚 A 型 EP 则在承受一定压力之后,瞬间就破裂,无形变过程出现。

7 结语

改性 EP 的研究已取得令人瞩目的成就,各类经过改性的 EP 已广泛应用于国民经济的各个领域。随着电子、电气材料及复合材料的飞速发展,对 EP 的性能要求越来越高,需要科研工作者继续不断地努力探索。EP 在人们的日常生活中的应用将越来越广泛。

参考文献

- 1 郑瑞琪,等.合成胶粘剂丛书.北京:化学工业出版社,1985.
- 2 钱军民,等.绝缘材料,2001(5):27
- 3 钱军民,等.工程塑料应用,2001,29(10):50
- 4 张冰,等.功能高分子材料,2000,13(1):69
- 5 夏小仙.有机硅塑料及其应用,1995(4):15
- 6 陈慧宗.中国胶粘剂,1995,4(2):14
- 7 Yotkgitis E M, et al. Polym Mater Sci Eng, 1983, 49: 508
- 8 张斌,等.广州化学,2002,27(1):6
- 9 李善君.热固性树脂,1997,12(1):8
- 10 宣兆龙,等.中国胶粘剂,1998(5):34
- 11 施利毅,等.中国胶粘剂,1998(1):20
- 12 Li Y, et al. J Appl polym Sci, 1996(61):2059
- 13 管云林,等.高分子材料科学与工程,1996(5):122
- 14 杨亚辉,等.中国塑料,2000,14(6):30
- 15 Der-Jang Liaw, et al. Polymer, 2001, 42: 5175
- 16 Biolley N, et al. Polymer, 1994, 35: 558
- 17 陈鸣才.广州化学,1992(3):17
- 18 李善君,等.热固性树脂,2001,16(4):8
- 19 Gopala A, et al. J Appl Polym Sci, 1998, 70: 943
- 20 Han J L, et al. J Appl Polym Sci, 1998, 70: 2635
- 21 赵石林,等.粘接,2000,21(4):7
- 22 Liu W G, et al. J Appl Polym Sci, 1996, 61: 2423
- 23 余志伟.热固性树脂,1998,13(4):15
- 24 赵世琦,等.中国塑料,1999,13(9):35
- 25 Keiko Koga, et al. Journal of Polymer Science, 1993, 25(2):185
- 26 Ishizu K. Progress in Polymer Science, 1998, 23(8):1383
- 27 李广宇.热固性树脂,1998,13(4):24
- 28 付东升,等.热固性树脂,2002,17(5):32
- 29 钱军民,等.中国塑料,2001,15(5):12
- 30 郑亚萍,等.玻璃钢/复合材料,2001(2):34

31 傅万里, 等. 热固性树脂, 2002(2): 19

32 戴志晟. 中国涂料, 2001(5): 43

33 贺江, 等. 涂料工业, 1999(10): 5

34 刘同保, 等. 杭州化工, 1995, 25(1): 10

ADVANCE IN THE MODIFICATION OF EPOXY RESIN

Hu Jiapeng, Xiong Lianming, Tang Xinghua, Zhou Wei

(Nanchang Institute of Aeronautical Technology, Nanchang 330034, China)

ABSTRACT Epoxy resin was widely used in many fields as it had excellent bonding power and mechanical properties. But its poor thermal resistance and brittleness limited its use in the more demanding fields. Recent advances in the modification of epoxy resin were reviewed. The present status of epoxy resin modified by organic silicon resin, polyurethane, polyimide, rigid inorganic filler, nanometer particle and cashew nut shell liquid were introduced in detail. The advantages, disadvantages of modified epoxy resin and the modification mentioned above were discussed, and its application was also prospected.

KEYWORDS epoxy resin, modification, advance

我国生态塑料产业正在兴起

生态塑料是一种以淀粉和纤维素等可再生资源、通过生物技术转化成的聚合物高科技材料。在我国石油资源短缺、进口依存度逐年提高、“白色污染”严重的背景下,推动“生态塑料”的应用及产业化已成为我国化工新材料产业发展的一个重要方向。目前,我国在研究、开发和应用可持续发展的环境友好生物材料领域已经积累了相当多的经验,清华大学、长春应化所、天津大学、同济大学等科研机构在聚乳酸(PLA)和聚羟基脂肪酸酯(PHA)领域的研发工作已取得突破性进展,国内企业已形成的 10 万 t/a 乳酸、100 t/a PHA 的生产能力,为 PLA 和 PHA 的产业化提供了技术和原料储备。为了尽快实现产业化,我国在 PLA 产品的加工、应用和 PHA 的研发等方面应加快自主研发,并积极与拥有知识产权的国外企业合作,共同开发国内外市场。目前华北制药厂、安徽丰原集团、华源生命、北京燕山石化公司等越来越多的大型生物发酵和塑料加工企业加入了 PLA 和 PHA 的研发和生产的筹备工作,为 PLA 和 PHA 产业的发展提供了强大的物质基础和工业基础。但目前 PHA 和 PLA 下游产品的开发力度不够,下游的市场也有待开拓。

据介绍,国家已将工业生物技术列入“十一五”计划,力促 2010 年用生物材料替代 10%~15% 的原油消耗,这将极大地促进我国以生态塑料为代表的工业生物技术的产业化进程。同时,社会各界也开始行动起来,清华大学、汕头大学、中国塑料加工协会降解塑料专委会生态塑料组、北京新材料中心和生物降解材料工作组等正在商讨将降解塑料专委会建设成为一个评价“生态塑料”性能的权威机构,并建议政府推行有利于“生态塑料”产业发展的税收政策,力争在尽可能短的时间内形成一个国际“生态塑料”产业联盟,寻求与国外产业合作发展的机会。(元雨)

美塑料包装机械需求量年增长 5.1%

据美国咨询公司提供的数据显示,美国国内对包装机械的需求量将以每年 5.1% 的速度递增,到 2008 年市场容量将达到 36 亿美元。据了解,随着速食食品需求量的增加,美国市场上超过半数的包装材料都将使用塑料罐、塑料袋、塑料

绳。可回收使用的塑料材料也受到即食果蔬产量增加的带动而上升。经消毒的食品用管、杯和碗的需求量也将增大,而这种增长将大大刺激塑料包装机械的市场需求。(周淑)

波达公司大中径双壁波纹管通过鉴定

杭州波达塑业有限公司研制成功并生产的公称内径 800 mm 大口径硬聚氯乙烯(PVC-U)双壁波纹管材日前通过省级科技成果鉴定。该 PVC-U 双壁波纹管材作为一种新型市政污水管具有环保、节能、防腐、安装简便、施工周期短、连接密封好、使用寿命长等特点。该管材是波达公司针对市场需求,依托企业自身雄厚的科研优势和技术力量及加工 PVC 管材的经验选用国产设备和原料研制成功的。现已申报多项国家专利。(镇平)

全球汽车塑料配件回收水平不高

据美国一家非盈利性机构“生态学中心”最新研究发现,在美国销量最大的 6 家汽车公司中,日本丰田汽车公司在使用安全、可回收塑料方面做得最好。但如果以 A、B、C、D、E、F(即 A 最高、F 最低)来评分,丰田公司也仅能得到 C。

该中心的研究报告表明,一辆汽车上的塑料部件所占比例平均已从 1960 年的 0.6% 增加到 2003 年的 7.5%,但這些塑料配件在安全和可回收利用方面不能令人满意。除丰田公司的得分为 C 外,通用、福特、戴姆勒-克莱斯勒、本田和日产等公司的得分大都为 D+ 或 D。这说明汽车厂商在这方面还有许多工作要做,而且这不仅仅是汽车厂商的任务,更需要汽车配件企业及塑料原料供应商的积极配合。

汽车生产厂商对环保和回收这两个敏感的热门话题并不是视而不见,也不是不能解决技术问题,而成本控制为其中的关键。作为世界最为成熟的汽车市场,美国汽车市场已连续 4 年增幅在 4% 以下,供需早已平衡。但现在美国汽车市场的竞争环境仍近乎残酷,生产商最为关心的是如何打击对手和保持自己的市场份额,几乎一切开发和宣传均以此为出发点。成本控制是市场竞争最为有效的手段之一,如果将汽车总重 7.5% 的塑料都以价格不菲的高档环保塑料代替,总成本也要提高 3% 以上,这一数字对于北美汽车市场几乎是难以承受的。(张帆)