

基于纳米粒子改性塑料性能的研究^{*}

雷 毅 郭建良 余焱群

(石油大学机电工程学院, 东营 257061)

摘要 综述了纳米粒子改性塑料的主要方法和研究进展,总结了纳米粒子改性塑料的力学性能、摩擦学性能、电学性能、阻隔性能、生物学性能、流变性能和加工性能的国内外研究现状,并指出了纳米粒子改性塑料的研究方向。

关键词 纳米粒子 改性 塑料 性能

塑料在各行各业中获得了广泛应用。目前大品种塑料主要包括聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚氯乙烯(PVC)、聚苯乙烯(PS)和丙烯酸类塑料等,它们在众多塑料品种中开发最早、应用领域最广、用量最大。对这类塑料的改性工作已有很长历史,起初为降低成本采用简单填充方法改性,而后多采用增强和增韧的方法改性,以期实现此类塑料的工程化,使其成为工程塑料。塑料改性方法主要分为两大类:一类是化学方法,如共聚、接枝和交联等;另一类是物理方法,如填充、共混和增强等。采用传统的增韧方法如橡胶增韧会使材料的刚性、强度降低;采用填料增强方法会导致材料的韧性降低。随着科学技术的进步,纳米粒子的出现带动了塑料填料的超细化技术的发展,将纳米粒子用于通用塑料的改性,对塑料填充改性的理论和实践、开发新型的功能复合材料具有重要意义。

纳米改性技术不仅使聚合物的强度、刚性和韧性得到明显改善,而且由于粒子尺寸小,可赋予高分子材料透光性、防水性、阻隔性、耐热性及抗老化等功能特性。纳米粒子改性塑料主要是通过将填充物以纳米尺寸分散在聚合物基体中以形成聚合物纳米复合材料,其分散相尺寸至少在一维方向上小于 100 nm。由于分散相的表面效应、体积效应、量子尺寸效应和宏观量子隧道效应使得纳米粒子改性塑料具有一般工程塑料和一般微观复合材料所不具备的优异性能:强度更高、耐热性更好、硬度更高、阻隔性更好,以及更好的电学性能和生物学性能等。纳米粒子改性塑料是目前塑料改性研究中最活跃的领域。

目前,纳米粒子改性塑料按填料种类的不同可分为金属纳米塑料和无机非金属纳米塑料以及有机纳米塑料,主要研究领域集中在乙烯类塑料如低密度聚乙烯(LDPE)、高密度聚乙烯(HDPE)、超高分子量聚乙烯(UHMWPE)、PP、PVC、PS、尼龙(PA)和丙烯酸类塑料等方面。笔者就纳米粒子改性塑料的力学性能、摩擦学性能、电学性能和阻隔性能、生物学性能、流变性能和加工性能等进行综述。

1 力学性能

塑料的力学性能主要包括强度、韧性等物理力学性能,以及机械热力学性能。采用插层技术制备的纳米改性塑料可将无机物的刚性、尺寸稳定性和热稳定性与聚合物的韧

性、可加工性完美地结合起来。含有少量(5%左右)粘土的纳米塑料与常规玻璃纤维或矿物(30%)增强复合材料的刚性、强度、耐热性相当^[1],而纳米塑料具有质量轻、比强度高、比模量高等优点,能够有效使制品轻量化,方便运输。同时由于纳米粒子尺寸小于可见光波长,使得纳米塑料具有高的光泽度和良好的透明度。

S. W. Shang 等^[2,3]系统研究了(乙烯/乙酸乙烯酯)共聚物(E/VAC)/纳米SiO₂复合材料,发现纳米SiO₂粒径越小,复合材料的拉伸强度越高。任显诚等^[4]采用适当的纳米粒子表面预处理技术,通过熔融共混制备了性能优良的PP/纳米CaCO₃复合材料,经力学性能测试表明,当纳米CaCO₃含量较低(0.5%~5.0%)时可使PP的冲击强度提高3~4倍,同时材料的拉伸强度和刚度仍能满足使用要求。Y. Kojima 等^[5]制备的PA6/蒙脱土(MMT)纳米复合材料的拉伸强度比纯PA6提高0.5倍以上,弹性模量提高近1倍。鹿海军等^[6]将累托石(REC)有机化处理后,采用熔融插层合法制备了热塑性聚氨酯弹性体(PUR-T)/REC纳米复合材料,发现REC的有机化处理条件对复合材料的力学性能有重要影响。在其它处理条件不变的情况下,用处理2h的REC制得的纳米复合材料的力学性能最佳。当REC质量分数为2%时,材料的拉伸强度和撕裂强度分别由38.87 MPa和92.80 kN/m提高到57.93 MPa和123.37 kN/m,增幅分别达49%和33%。

纳米改性塑料在加热或冷却时由于热胀冷缩导致内部产生热应力和内应力,从而对其热力学性能产生影响。但目前关于纳米改性塑料热力学方面的研究报道较少,晶格热力学模型研究尚不完善。一些纳米粒子改性塑料在耐热性和热稳定性方面也有显著提高。例如聚二甲基硅氧烷(PDMS)/粘土纳米塑料与纯PDMS相比,其分解温度从400℃提高到500℃(根据其TG谱图分析)。究其原因是由于纳米塑料的透过率很低,PDMS分解的环状低聚物不易扩散出去,从而提高了热稳定性^[7]。PA/纳米粘土复合材料的热变形温度(HDT)随着粘土含量的增加而逐渐提高;用一步

^{*} 中国石油天然气集团公司中青年科技创新基金资助项目
(W020311)

收稿日期:2004-05-21

法合成的纳米复合材料,其 HDT 提高到 160℃;用不同粘土制备的纳米复合材料,在粘土含量相同的情况下,粘土片层厚的 HDT 更高^[7]。Ruiz 等^[8]将聚环氧乙烷(PEO)与具有不同交换性阳离子的蒙脱土溶液混合搅拌,合成了新的具有二维结构的纳米塑料。经不同溶液处理后,该材料的 PEO 含量保持不变,显示出极好的稳定性。热分析结果表明,该材料在惰性气氛中的热稳定温度高达 500~600 K。吕建坤等^[9]以 4,4'-二胺基二苯甲烷为固化剂制备了环氧树脂(EP)基纳米复合材料,对其进行了线胀系数和热变形研究。结果表明,加入有机土后材料的线胀系数降低,尺寸稳定性及 HDT 明显提高。K. Chujo^[10]以 MMT(其阴离子分布在正四面体的层表面上,阳离子交换容量为 98 mmol/100 mg)为填料,用乙酸锑和改性剂 SB 对 MMT 进行处理,然后制备了近似完全剥离型的聚对苯二甲酸乙二酯(PET)/MMT 纳米塑料,其 HDT(在 1.85 MPa 下)从 71℃升高到 104℃。

总之,关于纳米粒子改性塑料力学性能的研究还有待于进一步完善,目前的研究方向:一是采用新制备的纳米粒子对各种塑料进行改性,找出最佳填料加入量,制备出物理力学性能好的纳米塑料;二是建立更符合实际情况的晶格热力学模型。

2 摩擦学性能

在复合材料中,有的填料有很高的强度和刚性,可以改善基体的摩擦磨损性能,并提高其力学性能和使用寿命。由于塑料硬度不高,在硬质磨粒磨损的连续作用下,其表面会产生塑性变形和较多的裂纹,这些裂纹沿着表面层和次表面层扩展而相互连接后就会造成片状磨屑剥离而形成较大的磨损。B. J. Briscoe^[11]将在微凸体作用下的聚合物表层划分为界面区和内聚区,并且指出聚合物的磨粒磨损在很大程度上取决于内聚区的性能。

V. K. Srivastava 等^[12]研究了纳米石墨及短切玻璃纤维填充 EP 复合材料的摩擦学性能,发现这种材料的摩擦磨损性能优于钢,当纳米石墨含量为 10% 左右时,其摩擦系数和磨损量比较低,磨损量随石墨含量的增大而减小,而摩擦系数随载荷的加大而减小,但在高载荷下,摩擦系数趋于稳定值。分析认为,这是由于填充纳米石墨的 EP 与对偶件对磨时其接触表面形成了起润滑作用的石墨层,从而减小了磨损。Lu Z. P 等^[13]在销-盘试验机上研究了不同分子量的聚醚醚酮(PEEK)、PEEK/聚四氟乙烯(PTFE)和 PEEK/纳米碳纤维复合材料等的滑动摩擦磨损特性。研究发现,PEEK 分子量越高,材料的磨损性能越好,并且在高 PV 值场合这种差异更明显;滑动速度对 PEEK 磨损性能的影响不明显。彭旭东等^[14]用热压成型法制备了纳米 Al_2O_3 和 PTFE 填充 PEEK 复合材料,发现纳米 Al_2O_3 使 PEEK/PTFE 复合材料的摩擦磨损特性得到明显改善,当纳米 Al_2O_3 含量为 3% 时,复合材料与钢对偶面产生的磨损以磨粒磨损和犁削为主;当纳米 Al_2O_3 含量为 10% 时,复合材料的磨损主要为粘着磨损;当纳米 Al_2O_3 含量为 5%~7% 时,复合材料的摩擦系数和比磨损

率最低。随着载荷的增加,PEEK/PTFE/纳米 Al_2O_3 复合材料的摩擦系数因纳米粒子效应和表面摩擦温度升高而呈下降趋势。

UHMWPE 具有耐腐蚀性能好、强度高、耐冲击、耐磨损且自润滑性优良、抗粘附和不结焦等优点,是目前公认的综合性能优异的高分子材料。龚国芳等^[15]分别采用机械混合法和釜内聚合在 UHMWPE 中填充纳米级高岭土,得到两种 UHMWPE/高岭土纳米复合材料。研究发现,聚合型的 UHMWPE/高岭土纳米复合材料的浆体冲蚀磨损率小于混合型 UHMWPE/高岭土纳米复合材料及纯 UHMWPE;当纳米高岭土含量约为 6.6% 时,聚合型 UHMWPE/高岭土复合材料的冲蚀磨损率最小,仅为纯 UHMWPE 的 39%~53%。碳纳米管具有极高的强度和独特的电学、力学性能。胡平等^[16]发现在 UHMWPE 中掺入 1% 的碳纳米管就可以显著地(20%~40%)提高 UHMWPE 的冲击强度,并具有增韧效果,摩擦系数也有所减小,但其耐磨性与纯 UHMWPE 相差不大。用透射电子显微镜观察研磨后的碳纳米管改性 UHMWPE,可以看到碳纳米管仍保持纤维状,表明研磨并没有破坏碳纳米管的结构。

由上述可知,研究人员在研究纳米粒子改性塑料的摩擦学方面已经取得了很多重要成果。但鉴于纳米粒子改性塑料的摩擦磨损规律研究才刚刚起步,这方面需更深入地研究。

3 电学性能及阻隔性能

纳米粒子改性塑料的电学性能主要是指塑料经纳米粒子改性后其电导率的变化情况。其阻隔性能是指气体、液体对纳米改性塑料的透过性。

聚合物/层状硅酸盐粘土纳米复合材料已经成为聚合物基复合材料研究领域的一个重要分支。硅酸盐纳米塑料可用作聚合物电解质。对于 PEO 来说,在熔点温度以下,其电导率下降很多(从 $1 \times 10^{-5} \text{ S/cm}$ 下降到 $1 \times 10^{-8} \text{ S/cm}$)。这种下降是由于 PEO 形成了晶体,从而阻止了粒子的运动,而插层则可以阻止晶体的生长,提高 PEO 的电导率。此外,由于在纳米塑料中硅酸盐片层是不能移动的,纳米塑料的导电为单离子传导行为。温度对纳米塑料的电导率影响很小,电导率随温度降低而稍有下降。熔融插层的纳米塑料的电导率比溶液插层的要高,而且各向异性更明显。这可能是由于在熔融插层材料中存在过量的聚合物,提供了一条更容易的导电途径^[7]。

聚吡咯/SiO₂纳米复合材料是一种新型材料,在本征导电聚合物中引入纳米尺寸的无机粒子,不仅在一定程度上改善了聚合物的力学性能,而且使这种材料容易冷压成型。同时,纳米 SiO₂的引入不可避免地要降低聚吡咯的电导率(至少降低一个数量级)^[17]。周宛棣等^[18]用双螺杆挤出机制备 PA6/粘土纳米塑料,并测试了其电学性能。结果表明,加入 2% 和 4% 纳米粘土的纳米塑料,其介电常数和介电损耗均比 PA6 有所降低,且这种趋势随着粘土含量的增加而更加明

显。同时纳米粘土的加入提高了塑料的介电稳定性。

研究发现,纳米粒子改性塑料的阻隔性能提高很大。例如经纳米 MMT 改性的聚己内酯的透过性显著下降,并随着纳米 MMT 含量的增加而迅速下降,即阻隔性能显著提高^[19]。经纳米 MMT 改性的聚酰亚胺(PI)的气体渗透系数(包括水蒸气、氧气和氦气)显著下降,并随着纳米 MMT 含量的增加而下降。这是由于在 PI 基体中存在着分散的、尺寸比大的硅酸盐层,水分子和单体分子不能透过此硅酸盐层,这就迫使溶质绕过硅酸盐粒子才能通过,这样就增长了扩散有机通道的长度,因此阻隔性变好^[20]。PA6 纳米塑料(纳米 MMT 含量 2%)的氧气透过率与纯 PA6 相比降低了一半,水蒸气透过率降低了 1/3 以上^[21]。

4 生物学性能

纳米生物技术是现今材料研究中的一个“热点”。某些塑料经纳米粒子填充改性后,生物相容性、化学稳定性和耐磨性大大提高,能用来制作一些人工组织和器官。

成国祥等^[22]用聚乙二醇(PEG)改性聚羟基丁酸酯(PHB)膜,然后通过自组装技术和模板技术得到了表面具有纳米结构的支架材料,发现部分 PEG 分子能在 PHB 膜上以氢键等方式配合组装,使 PHB 的亲水性得到改善,同时发现细胞可在 PHB 膜表面很好地增殖。这种改性 PHB 材料可用于软骨、皮肤等。许海燕等^[23]分别采用溶液共混法和熔融共混法制备了聚氨酯(PUR)/碳纤维纳米复合材料,观察和测定了血小板在纳米复合材料表面的粘附及血液中血红蛋白浓度、纤维蛋白原浓度的变化,分析了纳米碳纤维对 PUR 与血液相容性的影响。结果表明,在血液灌注 5 min 后, PUR/碳纤维纳米复合材料表面上血小板数目比纯 PUR 明显减少($p=0.04\%$),血小板在 PUR 表面的粘附面积为 0.5%,而在普通纳米复合材料表面的粘附面积为 2.0%,这意味着在 PUR 体系中引入纳米碳纤维有利于抑制血小板在材料表面的粘附。经血泵循环 4 h 后,在与 PUR 基纳米复合材料表面接触的血液中,血红蛋白浓度和纤维蛋白原浓度的变化相对减小,表明纳米复合材料与血液的相容性提高, PUR 材料的抗凝血性能得到改善。

目前,纳米粒子改性塑料的生物学性能研究方向:一是研制出更多的生物学相容材料,用来制造各种人工组织和器官;二是研究各种生物学相容材料在体液中的耐磨耐蚀规律。

5 流变性能及加工性能

纳米改性塑料的流变性能是用来表征它们在加工过程中熔体行为的变化情况。其加工性能与其流变性能的好坏有很大关系。

在聚合物/纳米粘土体系中,层状粘土的尺寸、形状和含量对纳米复合材料的流变性能具有重要影响。一般来讲,在高的剪切速率范围内,纳米复合材料出现剪切变稀行为;在低的剪切速率范围内,纳米复合材料的粘度随粘土含量的增加而升高。

T. D. Fornes 等^[24]应用两种不同的剪切技术在较大剪切速率范围内对 PA6/MMT 纳米复合材料的粘弹性行为进行了分析研究,发现熔体粘度随 PA6 相对分子量的增大而变大。J. W. Cho 等^[25]应用毛细管流变仪对 PA6/粘土复合材料进行了流变性能测试,发现在高的剪切速率范围内纳米改性 PA6 呈现较低的剪切粘度,这对复合材料的加工非常有利,其主要原因是在高剪切速率范围内,层状粘土层与 PA6 基体之间发生了滑移,插层过程中 PA6 基体的热降解也可能导致纳米复合材料出现较低剪切粘度。王庆昭等^[26]用离子交换法制备了 UHMWPE/MMT 纳米复合材料,并研究了纳米复合材料熔体流动性与纳米 MMT 含量的关系。结果表明,纳米复合材料的熔体流动速率(MFR)随纳米 MMT 含量的增加而提高,并且当纳米 MMT 含量在 2% 以上时, MFR 与纳米 MMT 含量呈线性关系;而纳米复合材料的动态粘度随纳米 MMT 含量的增加而降低。

纳米粒子改性塑料的加工制备方法主要有插层复合、溶胶-凝胶、共混和在位分散复合技术等。其中共混法经济性较好,可以降低成本;而插层复合工艺是在传统工艺基础上的技术革新,不需要新的设备投资,工艺简单、操作方便、环境友好,特别适合聚合物的改性,容易实现工业化生产。

大连理工大学正在研究将纳米 CaCO_3 用于 PVC 塑钢门窗,其填充量可达 30%,日本已将填充量提高到 50%。纳米 CaCO_3 的成本只有 PVC 的 1/2,用它作为塑料填充剂和增强剂可减少树脂用量,大大降低成本,而且制品的拉伸强度、极限断裂伸长率等性能指标均有所提高。同时,纳米 CaCO_3 可提高塑料加工时的流变性和挤压速度,改善塑料的加工性能^[27]。中科院化学研究所应用天然丰产的 MMT 层状硅酸盐作为无机分散相,发明了一步法制备纳米 PA6 的专利。与纯 PA6 相比,该法制备的纳米 PA6 具有强度高、模量高、耐热性高、阻透性更好等特性,并且具有良好的加工性能;与普通玻纤增强和矿物增强 PA6 相比,具有相对密度低、耐磨性好、相同无机物含量条件下综合性能好等优点。同时,可进一步用于玻纤增强和矿物增强等改性纳米 PA6。

总体来看,目前我国纳米粒子改性塑料的加工应用仍处在科研开发和试制阶段,距产业化和大批量进入市场还有相当一段距离,而且工艺技术的先进性、产业化的成熟性及产品的经济性均有待论证和验证。另外,关于纳米粒子改进塑料流变性能的机理还有待于进一步研究。

6 结语

纳米材料已成为材料科学和凝聚态物理领域中的“热点”,而纳米粒子改性塑料被认为是 21 世纪材料中的“超新星”,一些普通塑料经过纳米粒子填充改性后将变成性能优异的工程材料,大大扩大了其应用领域。随着新兴纳米技术的不断出现,塑料工业必将发生翻天覆地的变化,材料的性能会越来越完善,材料应用和开发的领域也将越来越宽广。纳米改性塑料的开发应用极具发展潜力,通过不断完善已有的材料改性方法,开发新的方法,研制出更好的材料改性设

备,对提升我国传统塑料的性能水平具有重要意义。

参考文献

- 1 Lee D C, et al. J Appl Polym Sci, 1998, 68: 1 997
- 2 Shang S W, et al. J Mater Sci, 1992, 27: 4 949
- 3 Shang S W, et al. J Mater Sci, 1995, 30: 4 323
- 4 任显诚,等. 化学世界, 2000(2): 83
- 5 Kojima Y, et al. J Polym Sci, Part A: Polym Chem, 1993, 31: 1 755
- 6 鹿海军,等. 复合材料学报, 2003, 20(5): 57
- 7 张玉龙,等. 纳米技术与纳米塑料. 北京: 中国轻工业出版社, 2002.
- 8 Ruiz, et al. Advanced Materials, 1995, 7(2): 180
- 9 吕建坤,等. 高分子通报, 2000(2): 18
- 10 Chujo K. 塑料(日文), 2000, 51(11): 47
- 11 Brinscoe B J. Tribology International, 1981, 14: 231
- 12 Srivastava V K, et al. Wear, 1996, 197: 145
- 13 Lu Z P, et al. Wear, 1995, 181: 624
- 14 彭旭东,等. 石油大学学报, 2004, 28(2): 68
- 15 龚国芳,等. 摩擦学学报, 2001, 21(4): 266
- 16 胡平,等. 工程塑料应用, 1998, 26(1): 1
- 17 Maeda S, et al. Chem, 1994, 4(6): 935
- 18 周宛棣,等. 高分子材料科学与工程, 2004, 20(3): 133
- 19 Orts W J, et al. Phys Rev Lett, 1993, 71: 867
- 20 Mohan Sikka, et al. J Polym Sci(B). 1996, 34: 1 443
- 21 焦宁宁. 化工科技, 2001, 9(4): 59
- 22 成国祥,等. 中国医学科学院学报, 2002, 24(2): 110
- 23 许海燕,等. 材料研究学报, 2003, 17(2): 127
- 24 Fornes T D, et al. Polym, 2000, 42: 9929
- 25 Cho J W, et al. Polym, 2001, 42: 1 083
- 26 王庆昭,等. 工程塑料应用, 2003, 31(10): 46
- 27 曹勇. 当代石油石化, 2001, 9(9): 32

RESEARCH BASED ON THE PROPERTIES OF NANOPARTICLES-MODIFIED-PLASTICS

Lei Yi, Guo Jianliang, Yu Yanqun

(School of Mechanical and Electronic Engineering, University of Petroleum, Dongying 257061, China)

ABSTRACT An overview of nanoparticles-modified-plastics' methods and research advances is presented. The research status of nanoparticles-modified-plastics' mechanical property, tribological property, electrical property, blocking property, biological property, rheologic property and processing property at home and abroad is summarized. Besides, the recent studying direction is pointed out.

KEYWORDS nanoparticle, modification, plastics, property

发展工程塑料须突破玻纤应用瓶颈

热塑性塑料占整个塑料用量的70%以上,其品种繁多、性能优越、易回收再用,若用玻纤增强后还可取得显著的改性效果,可扩大其应用范围。2003年全球玻纤用量达70万t,为玻纤增强热塑性塑料(GFRTP)的27%~29%,预计全球玻纤未来需求增长速度将稳定在4%~5%。我国2003年玻纤的表现需求量为12万t,玻纤为GFRTP的25%~26%,由于我国经济的快速增长,我国玻纤未来的需求量将以10%~15%的速度增长。

扩展塑料应用范围 热塑性工程塑料包括耐热性达到100℃以上、能够作为受力结构件长期使用的热塑性塑料、工程化的改性通用塑料、通用工程塑料及其合金、特种工程塑料等,而玻纤的加入是赋予高分子材料良好热力学性能的最重要手段之一。通常聚对苯二甲酸丁二酯(PBT)的热变形温度(HDT)为56~58℃,尼龙66(PA66)为75~82℃,聚苯硫醚(PPS)为103℃,而经玻纤增强后,它们的HDT分别可达到255、210、260℃,增强PP的HDT能达到130~165℃,完全可以作为高强度的工程塑料使用。

经玻纤增强改性后,热塑性工程塑料的应用范围大大扩展,它能够用于交通运输工具、信息产业终端产品、电子电气、机械、仪器仪表、航空航天、输送管道等领域。

增强技术深入研究 目前我国应用玻纤最多的塑料是PBT、PA,对增强改性PBT、PA的研究已日益深化,主要有玻纤表面处理、短切玻纤与连续玻纤、玻纤的加料方式、玻纤的尺寸分布以及设备的组合等技术。

研究结果表明,经KH-550与KH-560偶联剂处理的玻纤对增强PBT、PA66有一定的效果,其中前者略优于后者,特别是进口短切玻纤增强PBT的效果更好。

三大难题亟待解决 国产玻纤在GFRTP应用中存在较多问题,在玻纤和热塑性塑料产业链中主要有三大难题:一是短切玻纤在GFRTP领域的应用不多。传统认为玻纤长度和性能指标越高越好,使用连续玻纤成本低,从而严重影响了短切纤维的发展。另外,国内绝大多数企业选用普通国产双螺杆挤出机来加工,但玻纤加料方式不过关,且国产玻纤质量一般,改性技术水平与国外有较大差距,不能开发出高性能产品。二是国产玻纤在实际应用中的性能指标与产品外观有较大差距。这主要是与玻纤浸润剂产品单一、专用玻纤少有关。三是国内企业难以开发出与国外相同的高玻纤含量、高性能的GFRTP产品。这主要是由于企业技术投入少、创新能力不足、装备水平较低。长期以来,我国玻纤业存在着一个误区,认为产业做大就能做强,重规模、轻技术。因此企业应当更新价值观,加强产品研发。同时政府部门应当加快建立健全行业标准,以规范行业。

目前,我国工程塑料专用玻纤市场每年为10万~12万t,并且年均市场增长率都在10%以上,年产值超过10亿元,属于利润率较高的产业。玻纤增强塑料的年需求量在2万t以上,又面临与汽车同步发展的良机,尤其是GFRTP材料的中高档产品具有良好的利润空间。但我国目前中高档产品市场的80%以上为国外著名公司占有。因此国内企业应尽快转变观念,抢占高端产品市场。(罗道友)