

PBO 纤维及复合材料研究进展

张 鹏 金子明 宫 平 郭忠仁 钟蔚华 曲志敏

(中国兵器工业集团第五三研究所, 济南 250031)

摘要 介绍了聚对苯撑苯并二恶唑(PBO)纤维国内外研究概况,综述了PBO纤维复合材料的研究概况及应用领域,并对今后PBO纤维复合材料的发展做出展望。

关键词 PBO 纤维 性能 复合材料 应用 展望

随着世界航空航天、武器装备和其它尖端科技的快速发展,以高强度、高模量、耐高温、阻燃为特征,具有战略意义的高性能纤维得到了各国的重视。以芳纶、碳纤维为代表的高性能纤维的应用,极大地提高了欧、美、日等发达国家的国防、科技、经济竞争力。与此同时,强大的经济支撑使他们继续开展性能更加优良的高性能纤维的研究,聚对苯撑苯并二恶唑(PBO)纤维便是其中的翘楚^[1]。

PBO是一种液晶芳香族杂环聚合物,合成PBO主要单体之一为4,6-二氨基间苯二酚(DAR)。目前PBO纤维产品分为两种:一种是直接通过纺丝生成的纤维,称为初生丝或初生纤维(AS);另一种是经热处理的纤维,称为高模丝或高模纤维(HM)。PBO纤维是继Kevlar纤维之后出现的又一种高性能纤维,被誉为21世纪超级纤维^[2]。

1 PBO 纤维性能

PBO纤维具有的5.8 GPa拉伸强度和270 GPa初始模量、68%的极限氧指数以及650℃的分解温度等主要性能指标,均属目前有机和无机纤维之最,有着“纤维之王”的美称。表1为Zylon纤维与其它纤维的性能比较。

表 1 PBO 纤维与其它纤维比较

纤维种类	拉伸强度 / GPa	拉伸弹性模量 / GPa	密度 / g·cm ⁻³	回潮率 / %	极限氧指数 / %	分解温度 / °C
Zylon-AS	5.80	180.0	1.54	2.0	68	650
Zylon-HM	5.80	270.0	1.56	0.6	68	650
对位芳纶	2.82	109.0	1.45	4.5	29	550
间位芳纶	0.68	17.0	1.38	4.5	29	400
PE-HD	2.05	110.0	0.97			
聚苯并咪唑	0.40	5.6	1.40	1.5	41	550
碳纤维 T700	5.10	229.0	1.80			677

2 PBO 纤维发展概况

2.1 国外 PBO 纤维发展概况

20世纪70年代,PBO的研究开始起步。美国空军材料研究室于1980年首先合成出聚芳杂环液晶高分子PBO^[3]。首先由美国斯坦福大学研究所拥有PBO的基本专利,DOW化学公司取得授权进行工业化开发。1991年DOW公司和日本东洋纺公司合作^[4],共同开发PBO纺丝技术,使PBO纤维的强度和模量大幅度上升,达到聚对苯二甲酰对苯二胺(PPTA)纤维的两倍。1995年日本东洋纺公司开始部分工业化生产PBO^[5]。1998年年产200 t的生产装置正式投产,注

册PBO商标为Zylon^[6]。根据东洋纺对Zylon的发展计划,2008年达到1000 t。至今日本东洋纺公司仍然是世界上唯一一家可以进行商业化生产PBO纤维的公司。目前只有日本具有PBO单体DAR的工业生产能力,但同样存在原料有限、价格高、硝化过程废酸处理难、三废处理易产生剧毒物质等问题,PBO主要是作为军需品对欧美和日本销售^[7],对我国禁销,且价格昂贵。

2.2 国内 PBO 纤维发展概况

我国的PBO研究在20世纪90年代已有报道。吴平等^[8]主要研究了由DAR合成PBO的缩聚反应,并对PBO进行性能表征,当时研究的PBO的特性黏度为11.4 dL/g,成膜后拉伸强度仅为1.20 GPa,其性能远未达到Kevlar纤维。由于合成PBO的原料DAR国内没有生产,进口试剂价格昂贵,在一定程度上也限制了PBO研究。90年代后期,该项工作有所停滞。直到90年代末,东洋纺宣布获得高性能Zylon时,国内的高校、科研院所和相关单位开始重视这一课题。华东理工大学^[9]、浙江工业大学^[10]对合成PBO的原料DAR进行了研究;东华大学^[11]、上海交通大学^[12]、哈尔滨工业大学^[13]、西安交通大学^[14]、同济大学^[15]、中国航天科技集团四院四十三所^[16-18]和哈尔滨玻璃钢研究所^[19]等则对PBO的合成工艺、PBO纤维的制备与性能、PBO纤维增强复合材料的性能和应用进行了研究。

2006年2月大连化工研究所宣布,开发成功DAR盐酸盐的合成新工艺。与现有工艺相比,该院研发的全新DAR盐酸盐合成工艺路线具有原料易得、工艺简单、收率高、污染小、产品纯度高明显优点,原料可以回收利用。这一具有国际先进水平的技术目前已得到国家科技部的支持。该技术既填补了我国在PBO中间体方面的空白,也为研制高性能的PBO制品提供了可靠的原料保障^[17]。

2005年北京特斯顿新材料科技发展有限公司的PBO纤维制备技术项目的小试成果通过上海市科委组织的技术鉴定。目前该公司已启动了PBO项目中试前的试验线项目,技术合作方为上海交通大学、东华大学。洗酸和聚合等关键工艺优化工作一旦完成,就将具备进行PBO纤维工业化生产的技术条件^[18]。

3 PBO 纤维复合材料研究概况

PBO 纤维耐热性好、强度和模量高等优异性能,决定了其重要应用价值和广阔发展前景。然而由于单纯的 PBO 纤维存在着表面光滑且呈惰性等缺点,学者展开了对 PBO 纤维复合材料的研究。

3.1 树脂/PBO 复合材料

PBO 纤维的表面十分光滑,没有活性官能团,表现出极强的化学惰性,因而纤维与纤维之间的结合力很低,导致复合材料的剪切强度等力学性能较差,需要对其进行增强处理,树脂增强便是一种有效的方式。

陈艳等^[19]用环氧树脂(EP)对 PBO 纤维进行处理。结果表明,用浓度 70% 的甲基磺酸(MSA)溶液对 PBO 纤维表面进行处理,可改善 PBO 纤维与 EP 基体的粘结强度,但同时使 PBO 纤维的拉伸性能降低;对 PBO 纤维处理 2 h 后,以胺类固化剂固化的 EP/PBO 纤维复合材料的层间剪切强度比处理前提高 41%,以酸酐固化剂固化的 EP/PBO 纤维复合材料的层间剪切强度比处理前提高 48%。

刘丹丹等^[20]采用多聚磷酸/乙酸体系并结合偶联剂处理方法对 PBO 纤维表面进行化学改性研究。研究发现,用多聚磷酸/乙酸体系偶联剂的方法改性后 PBO 纤维表面亲水性明显增强,与水的接触角从大于 90°下降到 42.8°,EP/PBO 纤维的界面剪切强度较未处理样品提高了 45%。

詹茂盛等^[21]用 EP 和双马树脂对 Kevlar29、Kevlar49 和 PBO 纤维束增强复合材料在 96℃水中进行老化实验。结果表明,在热水作用下,复合材料的弯曲强度和弯曲弹性模量随热水老化时间的延长呈下降趋势,纤维与树脂基体间的界面发生破坏;再干燥脱水后,材料的弯曲强度和弯曲弹性模量恢复,但仍低于未老化试样的性能,纤维与树脂基体间的界面破坏情况也类似。

杨进等^[22]在试验中引入高强度、高模量及耐高温树脂聚酰亚胺,使 PBO 纸基复合材料的力学性能和耐高温性能获得较大提高。采用 100℃预固化,250℃、20MPa 热压成型的工艺将获得最佳力学性能,其裂断长达到 12 km。刘轶等^[23]合成了一种含有苯并恶唑侧基的聚酰亚胺树脂,其具有较高的热分解温度和较低的玻璃化转变温度。通过一定的固化和热压工艺,制成改性聚酰亚胺增强 PBO 纸基复合材料。这种材料具有优异的力学性能,空气氛围下 5% 热分解温度达到 574℃,氮气氛围下 5% 热分解温度高达 612℃。可以作为航空航天等特殊领域的耐高温材料。

汪文洋等^[24]以高强度、高模量及耐高温的 PBO 纤维为原料,通过自制 PBO 浆粕制备特种纸基材料。采用浸渍树脂的增强技术,研究了树脂种类、固化条件及热压条件对 PBO 纸基材料力学性能的影响。并在此基础上采用了先进的低温氧等离子体处理技术改善纸基材料中树脂/纤维之间的界面结合,进一步提高了纸张的强度性能。

王飞等^[25]通过自制的专用处理剂处理 PBO 纤维表面,制备了 EP/PBO 纤维复合材料。试验中首先将 PBO 纤维用

无水乙醇浸泡,后用蒸馏水充分清洗并干燥,用苯酚(处理剂 A)、氰酸酯树脂(处理剂 B)、专用处理剂 C 处理 PBO 纤维,并将浓度控制到一定范围。研究表明,处理剂 C 提高了 PBO 纤维表面与树脂基体之间的结合力,复合材料的剪切强度从 15~18 MPa 提高到 27.83 MPa,提高了约 59%。而且, PBO 纤维已经与树脂基体较好地结合成一个整体,其界面粘结性能明显改善。

3.2 PBO 纳米复合材料

聚合物与纳米粒子复合可以得到功能性复合材料,通过制备 PBO 纳米复合材料,可以将 PBO 的性能进一步提高、应用领域进一步扩大。

Satish 等^[26]利用原位聚合法在多聚磷酸(PPA)体系中制备 PBO/SWNT(单壁碳纳米管)复合材料, PBO 与 SWNT 的质量比例为 9:1 时 PBO/SWNT 纤维的热稳定性以及拉伸性能都比 PBO 要好。

李金焕等^[27]也采用原位聚合法在 PPA 体系中制备 PBO/碳纳米管(CNTs)复合材料。研究表明, CNTs 表面活性基团会影响聚合,减少 CNTs 的加入量或推迟其加入的时间可以改善 PBO/CNTs 原位聚合状况。该复合材料保持了 PBO 的优异耐高温性能。纤维拉伸性能与同条件下 PBO 纤维相比提高 40%~70%。

黄玉东等^[28]用原位聚合法制备了 PBO/多壁碳纳米管(MWNTs)纳米复合材料,试验首先将 MWNTs 加入到烧瓶中,在烧瓶中加入强氧化性的浓硫酸与浓硝酸混酸(体积比 1:3)。氮气保护条件下,向新制备的 PPA 中加入二氨基间苯二酚盐酸盐和对苯二甲酸,完全脱出 HCl,加入在室温下用超声清洗器震荡后的 MWNTs 和磷酸的混合物,反应结束,将复合材料溶液拉成纤维丝,经过水凝固、水洗等最后制备成 PBO/MWNTs 复合材料纤维丝。结果表明, PBO/MWNTs 纤维的钩接强度比同条件下 PBO 纤维的钩接强度高出 30%。

朱慧君等^[29]通过原位分散法将不同含量的 MWNTs 引入 PBO 聚合体系,共混产物采用液晶纺丝法纺制成高性能 PBO/MWNTs 纤维。MWNTs 质量分数为 2% 时共混纤维的拉伸强度和拉伸弹性模量分别达到 4.69 GPa 和 128.8 GPa,比相同卷绕速度下 PBO 纤维提高 24.2% 和 23.5%,起始热分解温度也从 668.9℃提高到 700.8℃。MWNTs 的质量分数达到 5% 时由于团聚严重,降低了 PBO 的可纺性,影响了纤维的性能。

3.3 其它复合材料

20 世纪 80 年代就有关于聚合物/粘土复合材料的研究,伴随 PBO 纤维研究的日渐成熟, PBO/粘土复合材料也有了相关报道。S. L. Hsu 等^[30]进行了 PBO/粘土复合材料的研究,利用离子交换反应,将 Na 基蒙脱土与十二烷基铵盐进行反应制成有机粘土,然后将此粘土与 PBO 纤维进行复合得到 PBO/粘土复合材料。研究显示,含有质量分数为 7% 粘土的 PBO/粘土膜的热膨胀系数要比 PBO 膜提高 21%,而且玻璃化转变温度以及热分解温度也都有所改善。

4 PBO纤维及复合材料应用概况

PBO纤维的优异性能决定了它的应用领域十分广阔。目前,国内外逐渐将PBO纤维应用到各重要及关键领域。

4.1 增强材料

日本山阳新干线隧道的钢筋混凝土屡次发生崩塌,造成了严重的社会安全问题,目前已经开始用由PBO制的片材进行加固补强。国内梁希凤等^[31]对PBO纤维片材加固混凝土进行了研究,发现PBO片材的加入显著提高了混凝土的弯曲强度。随后他们又研究了PBO纤维与碳纤维混杂复合材料片材增强加固混凝土,发现两种纤维层间混杂增强后弯曲强度呈现出正的混杂效应,破坏形式由混凝土的脆性断裂转变纤维混凝土的层间韧性断裂。

曹旭等^[32]将PBO应用于平流层飞艇的蒙皮,平流层飞艇蒙皮材料由承重织物层、防氦气渗漏层、耐环境气候层以及粘接层组成。平流层飞艇的工作环境十分严酷,蒙皮材料必须具有高的强度/质量比。将PBO应用于平流层飞艇的蒙皮,满足了蒙皮材料的以下基本要求:拉伸强度大于1000 N/cm,面密度小于110 g/m²。

张春华等^[33]将PBO纤维与碳纤维混杂复合材料应用于高压储氮气瓶,使储气瓶工作压力达35 MPa,循环充放的疲劳次数大于8000次。申屠年^[34]发明一种超级纤维赛艇及其成型工艺。它包括由内蒙皮和外蒙皮与Nomex蜂窝材料组成的夹芯结构,内蒙皮和外蒙皮均采用PBO纤维预浸料制作。利用PBO超级纤维自身的优异力学性能,使得赛艇的比强度、比模量和冲击强度大大高于湿法成型工艺成型的芳纶/碳纤维蜂窝结构赛艇,达到艇身刚度大幅度提高、艇体质量不超重和艇壳冲击强度明显提高的理想状态。

高强度微型光缆在水下机器人、光纤制导武器等中的应用对光缆外径尺寸、拉伸强度提出了越来越高的要求,高强度微型光缆对加强材料的要求也随之提高。日本古河电气工业在2005年成功开发出了在FTTH光缆中具有2倍以上拉伸强度的PBO非金属引入光缆。通过在抗拉构件中采用PBO,生产出将截面积减小50%以上的“细缆型”以及将拉伸强度提高50%以上的“高强度型”2种产品。国内李光、周学军等^[35]也对PBO纤维在高强度微型电缆中的应用做了可行性研究,结果得出PBO纤维将成为目前最好的高强度微型光缆加强材料的结论。

4.2 耐热阻燃材料

美国萨展米尔兹公司利用PBO极高抗燃性,与Technora共聚芳酰胺纤维制成的混纺布作消防服的高级面料,在接触火焰后,仍保持应有的强度,现已以“Millenia”的商标开始销售。在广东佛山地区利用PBO纤维的耐热特点,将其用于制造温度超过350℃以上的耐热垫材,如用于制作铝合金和玻璃加工时的耐高温垫材。当铝型材通过模具被挤压出来时,其温度高达550℃,用一般的材料根本无法长时间承受如此高的温度。于森涵等^[36]发明了一种PBO复合超高温过滤材料。该过滤材料包括基布、迎尘面和底层,由PBO纤维和

玄武岩纤维混纺而成的迎尘面设置在基布上表面,其中PBO纤维质量比例为10%~15%;由100%玄武岩纤维制成的底层设置在由PBO长丝和玄武岩长丝混织而成的基布下表面。此设计减少了纤维的损伤,提高了过滤材料的强度,具有高强、高透气、高过滤精度性能,满足了超高温烟气治理的需要,适用于500℃以上的超高温烟气治理的袋式除尘器中。

4.3 抗弹防护材料

北京宇航通泰应用技术研究、特种纤维复合材料(天津)加工中心、德国ROBUSO公司中国总代理是从事高性能纤维应用产品研发、生产与销售的高科技企业,推出了PBO纤维防弹衣系列产品。防弹衣采用独特的结构设计和制造新工艺,不但能有效地防止不同级别弹头的贯穿,同时能避免或显著地减轻人体受弹击时造成的非贯穿性损伤,能完全吸收高能量子弹射入能量。

4.4 航空航天材料

美国空军研究实验室利用PBO纤维高模量的特性将其运用在橡胶增强领域中,可代替钢丝作为轮胎增强材料,使轮胎轻量化。美国B2轰炸机采用PBO作为吸波隐形材料,美国航天局采用PBO纤维用于金星探测气球。美国布伦斯维克公司采用拉伸强度为5.5 GPa的PBO纤维进行缠绕容器的综合研究,共缠绕6台内径为250 mm的球形高压容器,实测平均爆破压强为91 MPa,纤维发挥应力为4.73 GPa,纤维强度转化率为86%,复合材料特性系数(PV/W)值为65.2 km,与拉伸强度为5.65 GPa的T-400碳纤维缠绕容器(PV/W值为45.2 km)相比,PBO容器的性能要高31%。

5 结语

PBO纤维以其优异的性能,在航空航天、抗弹材料、增强材料等关键领域展现出重要的应用前景。随着其原料的国产化、PBO合成、成纤工艺的改进以及工业化程度的提高,成本也会不断降低,PBO纤维及其复合材料将具有更加广泛的应用前景。

参考文献

- [1] 江建明,等.合成纤维,2008(1):5-9.
- [2] 李霞,等.高分子通报,2004,72(4):102-107.
- [3] Wolfe J F, et al. Macromolecules, 1981, 14(4):909-915.
- [4] 马春杰.高科技纤维与应用,2004,29(3):46-50.
- [5] 周长民.辽宁化工,2005,34(12):531-533.
- [6] 金宁人.浙江工业大学学报,2003,31(1):82-87.
- [7] 黄美荣.合成纤维工业,2000,23(5):35-38.
- [8] 吴平平,等.功能高分子学报,1992,5(3):169-174.
- [9] 雷晖,等.功能高分子学报,2003,16(1):120-125.
- [10] 胡建民,等.合成技术及应用,2003,18(1):19-23.
- [11] 金俊弘,等.东华大学学报:自然科学版,2002,28(6):122-125.
- [12] 张春燕,等.上海交通大学学报,2003,37(5):646-649.
- [13] 李金焕,等.合成树脂及塑料,2003,20(6):16-20.
- [14] 王斌,等.航空材料学报,2003,23(4):35-39.
- [15] 黄美荣,等.合成纤维工业,2000,23(5):35-38.

- [16] 王百亚, 等. 固体火箭技术, 2001, 24(4): 66-68.
- [17] 贾丽霞, 等. 纤维复合材料, 2003(3): 15-16.
- [18] 汪家铭. 石油化工技术与经济, 2009, 25(2): 26-31.
- [19] 陈艳, 等. 工程塑料应用, 2005, 34(1): 23-25.
- [20] 刘丹丹, 等. 化学研究与应用, 2006, 18(10): 1171-1174.
- [21] 詹茂盛, 等. 塑料, 2004, 33(4): 62-68.
- [22] 杨进, 等. 中国造纸, 2008, 27(12): 28-31.
- [23] 刘轶, 等. 中国造纸, 2010, 29(1): 47-51.
- [24] 汪文洋, 等. 中国造纸, 2009, 28(5): 10-13.
- [25] 王飞, 等. 工程塑料应用, 2010, 38(2): 9-12.
- [26] Satish K et al. Macromolecules, 2002, 35(24): 9039-9043.
- [27] 李金焕, 等. 复合材料学报, 2004, 21(5): 62-67.
- [28] 李霞, 等. 固体火箭技术, 2006, 29(3): 214-216.
- [29] 朱慧君, 等. 复合材料学报, 2008, 25(4): 40-44.
- [30] Hsu S L, et al. Polymer, 2002, 43(15): 4097-4103.
- [31] 梁希凤, 等. 玻璃钢/复合材料, 2009(4): 77-79.
- [32] 曹旭, 等. 航天返回与遥感, 2008, 29(3): 57-62.
- [33] 张春华, 等. PBO 纤维与碳纤维混杂复合材料高压储氮气瓶及制备方法: 中国, 200610150986[P]. 2007-04-18.
- [34] 申屠年. 一种超级纤维赛艇及其成型工艺: 中国, CN1746072[P]. 2006-03-15.
- [35] 李光, 等. 电线电缆, 2007(4): 6-9.
- [36] 于森涵, 等. 一种 PBO 复合超高温过滤材料: 中国, CN201760185U[P]. 2011-03-16.

PROGRESS OF PBO FIBER AND ITS COMPOSITES

Zhang Peng, Jin Ziming, Gong Ping, Guo Zhongren, Zhong Weihua, Qu Zhimin

(CNGC Institute 53, Jinan 250031, China)

ABSTRACT The research status of PBO fiber at home and abroad and its performance were introduced. The research status and application of PBO fiber composite materials were summarized. The future development of PBO fiber composite materials was outlooked.

KEYWORDS PBO fiber, performance, composite materials, application, outlook

亚洲 PET 生产商减产应对原料上涨度难关

眼下, 亚洲 PET 瓶级切片生产商正在与持续上涨的原料成本及日趋疲软的市场需求苦苦争斗。东北亚的一位生产商称, 从事 PET 瓶级切片业务 7 年以来, 还未遇到比当前更糟的处境。

受北半球冬季即将来临的影响, 瓶装饮料市场需求下降, PET 瓶级切片市场随之疲软。多数生产商表示, 这种可预知的季节性需求淡季可以承受, 但近来精对苯二甲酸和乙二醇原料价格的异常坚挺却出乎意料。

9 月上旬, 亚洲乙二醇价格升至 1336 美元/t, 创下 44 个月以来的新高。乙二醇价格的坚挺主要是受到来自中国台湾供应短缺的支撑。同时, 精对苯二甲酸价格达到 1363 美元/t, 该产品价格的坚挺源自原料对二甲苯价格的上涨。在此价格基础上, PET 生产的盈亏平衡点为 1776.42 美元。

韩国多数生产商当前提供的 9 月份 PET 瓶级切片报价为 1760 美元/t, 低于生产成本, KP 化学公司甚至报出了 1730 美元/t 的低价。KP 化学公司在蔚山拥有两套 PET 瓶级切片装置, 合计产能为 44 万 t/a。该公司表示, 目前客户甚至不愿接受 1700 美元/t 的价格, 因此报出 1750~1760 美元/t 的价格毫无意义。

在这样的市场环境下, 一些生产商无奈减产。韩国一家 PET 瓶级切片生产商称, 受市场不景气的影响, 后市将削减产量。中国一家大型 PET 瓶级切片生产商江苏三房巷公司已在 8 月下旬将位于江阴的 PET 连续聚合生产线的开工率下调到 90%, 9 月初进一步下调至 75%。三房巷拥有 PET 瓶级切片产能 120 万 t/a, 据该公司一位知情人士称, 公司何时提高产量现在还无法明确, 这将取决于市场情况, 包括原

料成本。

(中化报)

聚氨酯保温材料行业是朝阳行业

我国是世界上最大的建筑市场, 但目前我国新建筑中 95% 以上仍是高能耗建筑。我国城乡住房建设部建筑节能具体目标, 2010 年我国全国城镇新建建筑实现节能 50%, 到 2020 年北方和沿海经济发达地区新建的建筑要实现节能 65%。因此国内硬泡将在建筑领域保温材料中应用比例在 10% 左右。

建材分析师认为, 未来聚氨酯保温材料行业发展可观。聚氨酯保温材料环保, 符合国家发展战略。2011 年我国要开工建设保障房 1000 万套, 以房地产年竣工面积 20 多亿 m^2 , 其中 20% 做外墙外保温, 按外墙外保温 70 元/ m^2 的市场价格算, 将产生约 300 亿元的产值。其中还不包括 450 亿 m^2 既有节能建筑的改造工程。由此看出, 外墙外保温材料作为建筑材料的重要组成部分, 保障性住房的建设将会大大拉动外墙外保温的需求。

但由于国内的建筑节能保温行业起步较晚, 使得整体行业成熟度较低, 大型企业偏少。而且建筑保温行业在我国目前属于新兴产业, 行业制度还不完善, 所以使得整体行业竞争格局较为混乱。由于聚氨酯保温材料行业是朝阳行业, 一些企业开始进入, 使得行业整体竞争较为激烈。

随着新型建材的不断发展, 行业也必将越来越规范, 一些鱼龙混杂的产品势必会被淘汰。同时由于政府对建筑节能相关政策的推进, 对新型建材的认可, 以及聚氨酯自身优异的性能保证, 预计我国建筑节能市场将成为未来几年快速发展的领域, 聚氨酯节能建材将有很大的发展潜力, 市场增长空间非常大。

(中经网)