

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.02.001

# 氰酸酯 / 环氧树脂泡沫塑料的制备与性能表征 \*

范纯纯<sup>1,2</sup>, 田春蓉<sup>2</sup>, 高霞<sup>1,2</sup>, 梁书恩<sup>2</sup>, 陈可平<sup>2</sup>, 王建华<sup>1,2</sup>

(1. 西南科技大学材料科学与工程学院, 四川绵阳 621010; 2. 中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川绵阳 621900)

**摘要:** 采用两步法, 以双酚 A 型氰酸酯和双酚 A 型环氧树脂为主要原料制备了一种新型的氰酸酯 / 环氧树脂泡沫塑料。利用傅里叶变换红外光谱、扫描电子显微镜、动态热机械分析仪、差示扫描量热分析和热失重分析等分别对氰酸酯 / 环氧树脂泡沫塑料的化学结构、泡沫泡孔结构和热力学性能进行了表征。结果表明, 氰酸酯 / 环氧树脂泡沫已固化完全, 观察不到  $2272\text{ cm}^{-1}$  /  $2236\text{ cm}^{-1}$  处的氰酸酯基团吸收峰和  $913\text{ cm}^{-1}$  处的环氧基团吸收峰。氰酸酯 / 环氧树脂泡沫塑料为闭孔结构, 泡孔均匀且基本上呈规则的球形; 力学性能优异, 比压缩强度为  $10.22\text{ MPa} \cdot \text{cm}^3 / \text{g}$ ; 玻璃化转变温度为  $223^\circ\text{C}$ , 失重 5% 的分解温度为  $309^\circ\text{C}$ , 具有优良的耐热性。

**关键词:** 氰酸酯; 环氧树脂; 泡沫; 泡孔; 热性能; 力学性能

**中图分类号:** TQ328.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)02-0001-06

## Preparation and Characterization of a Novel Cyanate/Epoxy Foams

Fan Chunchun<sup>1,2</sup>, Tian Chunrong<sup>2</sup>, Gao Xia<sup>1,2</sup>, Liang Shuen<sup>2</sup>, Chen Keping<sup>2</sup>, Wang Jianhua<sup>1,2</sup>

(1. Material Science and Engineering College, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China; 2. Institute of Chemical Materials, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

**Abstract:** A new type of cyanate / epoxy foam with bisphenol-A dicyanate ester prepolymer and diglycidyl ether of bisphenol-A as main materials was successfully prepared through a two-step process. The chemical structure, morphology and size of cell, thermal and mechanical properties of the foam were characterized by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), scanning electron microscope, dynamic mechanical analysis, differential scanning calorimeter and thermal gravimetric analysis, respectively. The results show that the cyanate / epoxy foam is cure completely, and the characteristic peak of the  $-\text{OCN}$  group ( $2272\text{ cm}^{-1}$  /  $2236\text{ cm}^{-1}$ ) and epoxide group ( $913\text{ cm}^{-1}$ ) are not observed on FTIR spectrum. The foam has relatively uniform closed cell and all the cells can be clearly observed and the cells are almost sphere. The foam has excellent mechanical properties, and the specific compressive strength is  $10.22\text{ MPa} \cdot \text{cm}^3 / \text{g}$ . Glass transition temperature is  $223^\circ\text{C}$  and temperature of 5wt% weight loss is  $309^\circ\text{C}$ , which reveals the excellent thermal properties.

**Keywords:** cyanate; epoxy; foam; cell; thermal property; mechanical property

泡沫塑料是以气体为填料的复合材料, 因其具有质轻、隔热、隔音、热导率低、比强度高且能吸收冲击载荷等优点而被广泛应用于吸附材料、结构材料、包装缓冲材料、能量吸收材料等领域<sup>[1-4]</sup>。然而, 随着社会的进步, 航空航天和航海等科技领域飞速发展, 传统泡沫塑料如聚氨酯、酚醛、脲醛、聚氯乙烯、聚苯乙烯等在强度、刚度及耐热性等方面已无法满足使用要求<sup>[5-6]</sup>, 因此高性能泡沫塑料已成为该领域的研究方向和热点。

氰酸酯树脂是 20 世纪 80 年代开发出来的一类高性能热固性树脂, 其固化后形成的三嗪环结构具有优异的尺寸稳定性和热稳定性、优良的力学性能和粘结性能、高的玻璃化转变温度 ( $T_g$ )

( $220\sim 290^\circ\text{C}$ )、低的吸湿率 ( $<1.5\%$ )、低毒性、小的热膨胀系数、极低的介电常数 ( $2.6\sim 3.2$ ) 和极小的介电损耗角正切值 ( $0.002\sim 0.008$ )<sup>[7-9]</sup>。此外, 氰酸酯树脂不但有比环氧树脂和双马来酰亚胺树脂更优越的耐湿热性能, 而且拥有与环氧树脂相似的工艺性能<sup>[10-13]</sup>。然而, 氰酸酯树脂单体聚合后交联密度大, 加上分子中三嗪环结构的高度对称性和网络结构的刚性, 使得树脂固化后韧性不足, 再加上其价格较高, 限制了其直接使用的范围<sup>[14]</sup>。因此, 需对其提高韧性并降低成本。与环氧树脂共聚是氰酸酯树脂最主

\* 国家自然科学基金项目 (51273183)

联系人: 田春蓉, 研究员, 主要从事高分子材料设计与制备研究

收稿日期: 2014-12-16

要的改性方法之一,其不仅可以提高树脂的性能/价格比,还由于两者之间存在的固有化学反应,使得共聚物的某些性能,如吸湿性和韧性等比两者的均聚物都要优异<sup>[15-18]</sup>。如今,大多数商品化的氰酸酯树脂预浸料都是氰酸酯/环氧树脂共聚物<sup>[11,12,19]</sup>。然而,前人大多关注氰酸酯/环氧树脂体系及其固化树脂产品的性能,很少有人拓展氰酸酯/环氧树脂应用领域方面做研究。笔者针对航空、航天制造业对高性能聚合物基泡沫塑料的发展需求,以市场上易得到的双酚 A 型氰酸酯预聚物和双酚 A 型环氧树脂为主要原料,偶氮二甲酰胺为发泡剂,采用两步法制备了一种新型的氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料,并对其泡孔结构、耐热及力学性能等进行了表征。

## 1 实验部分

### 1.1 主要原材料

双酚 A 型氰酸酯预聚物:扬州天启化学股份有限公司;

双酚 A 型环氧树脂:环氧值 0.51,晨光化工厂;

催化剂:二月桂酸二丁基锡(DBTDL),美国阿拉丁工业公司;

丙酮:分析纯,成都市联合化工试剂研究所;

发泡剂:偶氮二甲酰胺(分解温度 150℃),昆山雅场复合材料科技有限公司;

泡沫稳定剂:硅油 AK8807,工业级,南京德美世创化工有限公司。

### 1.2 仪器及设备

傅立叶变换红外光谱(FTIR)仪:Nicolet 6700 型,美国 Thermo Fisher 公司;

差示扫描量热(DSC)仪:Q200 型,美国 TA 公司;

热重(TG)分析仪:TA2050 型,美国 TA 公司;

动态热机械分析(DMA)仪:RSA-III 型,美国 TA 公司;

扫描电子显微镜(SEM):Apollo 300 型,英国 CAMSCAN 公司;

电子万能试验机:Instron 5500 型,美国 Instron 公司。

### 1.3 氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料的制备

预先配制一定浓度 DBTDL 的丙酮溶液,封口胶封口后冰箱内存储备用;分别将氰酸酯预聚物和环氧树脂放入 80℃ 的烘箱内干燥 10 min 左右,待两者黏度变低后,分别称取一定量的氰酸酯预

聚物和环氧树脂共 220 g 于 500 mL 烧杯中;再加入一定量的 DBTDL 丙酮溶液和用量为树脂质量 1.5% 的 AK8807,然后放回 80℃ 烘箱内,10 min 后,待丙酮挥发将尽,取出烧杯,搅拌均匀后移入 140℃ 油浴中预聚并不断搅拌,搅拌速率为 500 r/min;预聚 1 h 后加入用量为树脂质量 1% 的发泡剂,6~10 min 后,倒入模温为 150℃ 的模具并放入 155℃ 的烘箱中,待泡沫形成后,在 155℃ 环境下固化 2 h,自然冷却至室温并脱模后,将得到的泡沫样品再放入烘箱内后固化,后固化工艺为:180℃/2 h+200℃/2 h+220℃/2 h,自然冷却至室温,制得氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料。

### 1.4 测试与表征

FTIR 分析:使用 FTIR 仪测试,其中氰酸酯/环氧树脂共混物采用涂膜法,泡沫样品采用 ATR 法,分别在 400~4 000  $\text{cm}^{-1}$  范围测试;

DSC 分析:氮气氛围,升温速率 10℃/min,由室温升温至 300℃ 测试;

TG 分析:氮气环境,从 25℃ 开始以 20℃/min 升温速率升至 800℃ 测试;

DMA 分析:用双悬臂梁法测试,样品尺寸为 45 mm×10 mm×2 mm,从室温以升温速率为 3℃/min 升温至 280℃,频率为 1 Hz,应变为 0.1%;

泡孔结构分析:采用 SEM 观察并拍照,其中在氰酸酯/环氧树脂泡沫样品上取自然断裂面为观察面,经喷金制得,测试电压为 5 kV,泡孔尺寸通过 Image-Pro Plus 软件分析;

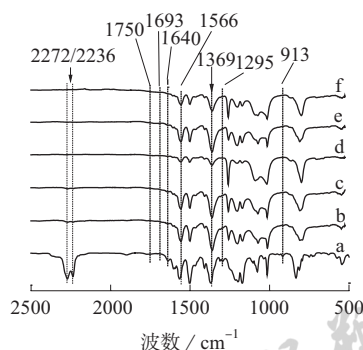
压缩性能分析:采用电子万能实验机进行压缩性能测试,试样尺寸为  $\varnothing 20 \times 20$  mm,温度为 23℃,湿度为 65%,横梁速度为 2 mm/min。

## 2 结果与讨论

### 2.1 氰酸酯与环氧树脂的反应

不同温度条件下固化所获得泡沫的 FTIR 谱图如图 1 所示。在测量氰酸酯官能团或环氧官能团的反应程度时,选用受其它官能团影响较小的苯环的吸收峰(1 500  $\text{cm}^{-1}$ )的面积作为基准。从图 1 中可以看出,氰酸酯/环氧共混物中 2 272  $\text{cm}^{-1}$  和 2 236  $\text{cm}^{-1}$  处有明显的氰酸酯官能团的特征吸收峰,913  $\text{cm}^{-1}$  处有明显的环氧官能团吸收峰,由于原料使用的是氰酸酯预聚体,所以共混物在 1 566  $\text{cm}^{-1}$  和 1 369  $\text{cm}^{-1}$  处有明显的三聚氰酸酯吸收峰,这是体系中主要官能团的特征吸收峰。同时,氰酸酯/环氧共混物在 1 640  $\text{cm}^{-1}$  和 1 295  $\text{cm}^{-1}$  处

出现了恶唑啉的特征吸收峰,在  $1750\text{ cm}^{-1}$  处出现了较弱的恶唑烷酮的特征吸收峰,这可能是由于在氰酸酯预聚体和环氧树脂混合过程中氰酸酯单体与环氧树脂发生了反应生成了恶唑啉,而少量恶唑啉通过重排产生了恶唑烷酮。当制备的泡沫样品在  $155^\circ\text{C}$  反应 1 h 后,氰酸酯官能团、环氧官能团和恶唑啉的特征吸收峰的强度都明显减弱。在  $180^\circ\text{C}$  反应 2 h 后,氰酸酯官能团、环氧官能团和恶唑啉的特征吸收峰都已完全消失,而恶唑烷酮的相对强度增加。在  $200^\circ\text{C}$  和  $220^\circ\text{C}$  各反应 2 h 后,样品中恶唑烷酮、三聚氰酸酯相对苯环的吸收峰 ( $1500\text{ cm}^{-1}$ ) 的面积和强度基本不变,表明泡沫样品已完全固化。



a—无处理; b— $155^\circ\text{C}$  / 1 h; c— $155^\circ\text{C}$  / 2 h; d— $155^\circ\text{C}$  / 2 h+ $180^\circ\text{C}$  / 2 h; e— $155^\circ\text{C}$  / 2 h+ $180^\circ\text{C}$  / 2 h+ $200^\circ\text{C}$  / 2 h; f— $155^\circ\text{C}$  / 2 h+ $180^\circ\text{C}$  / 2 h+ $200^\circ\text{C}$  / 2 h+ $220^\circ\text{C}$  / 2 h

图1 不同温度条件下固化所获得泡沫的 FTIR 谱图

## 2.2 氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料的泡孔结构

氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料微观形貌的 SEM 照片如图 2 所示。

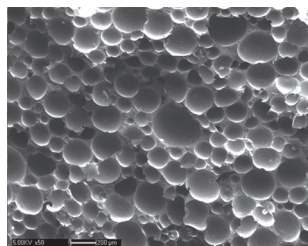


图2 氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料的 SEM 照片

从图 2 可以看出,氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料的闭孔结构十分明显,泡孔之间均有泡壁相隔,泡孔大部分为球形且堆积紧密,未见到有塌泡和裂泡现象,泡孔均匀性好。图 3 是通过测量得到的氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料的泡孔尺寸分布,泡孔平均直径为  $120.05\text{ }\mu\text{m}$  且尺寸分布较为集中,表明该氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料是一种均匀性较好的闭孔泡沫塑料。

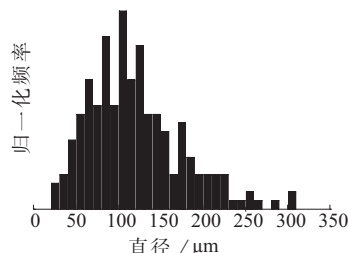


图3 氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料的泡孔尺寸分布

## 2.3 氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料的力学性能

密度为  $0.268\text{ g/cm}^3$  的氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料的压缩性能曲线如图 4 所示。表 2 是通过进一步计算得到的氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料的压缩强度、压缩弹性模量和比强度。由表 2 可见,氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料具有优异的力学性能,压缩强度和压缩弹性模量分别为  $2.74\text{ MPa}$  和  $105\text{ MPa}$ , 比压缩强度为  $10.22\text{ MPa}\cdot\text{cm}^3/\text{g}$ 。M.V. Alonso 等<sup>[20-21]</sup>报道的密度为  $0.3\text{ g/cm}^3$  的环氧树脂泡沫,其压缩强度和压缩弹性模量仅为  $2.66\text{ MPa}$  和  $63\text{ MPa}$ 。Shen Hongbing 等<sup>[22]</sup>报道的酚醛泡沫塑料的比压缩强度为  $9.5\text{ MPa}\cdot\text{cm}^3/\text{g}$ 。可见与类似的泡沫材料相比,氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料的力学性能更加优异,是一种力学性能较好的泡沫材料。

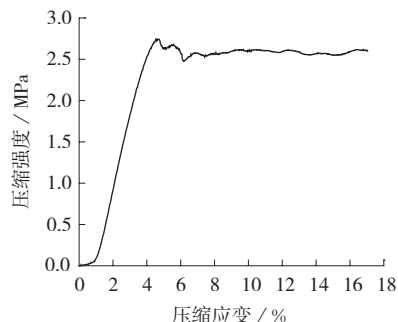


图4 氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料的压缩性能曲线

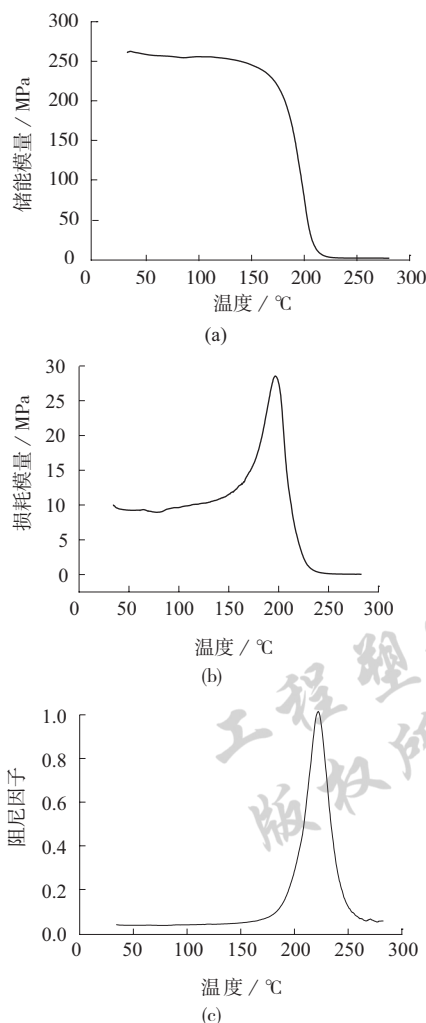
表2 氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料的压缩性能

| 密度 /<br>( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) | 压缩强度 /<br>MPa | 压缩弹性<br>模量 / MPa | 比压缩强度 /<br>( $\text{MPa}\cdot\text{cm}^3\cdot\text{g}^{-1}$ ) |
|-------------------------------------------|---------------|------------------|---------------------------------------------------------------|
| 0.268                                     | 2.74          | 105              | 10.22                                                         |

## 2.4 氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料的动态力学性能

图 5 是氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料的 DMA 曲线,由图 5 可以看出,氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料在  $35^\circ\text{C}$  的储能模量为  $261\text{ MPa}$ ,明显高于密度为  $0.330\text{ g/cm}^3$  的环氧泡沫塑料在  $35^\circ\text{C}$  的储能模量 ( $160\text{ MPa}$ ),这主要是因为氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料与环氧泡沫塑料相比,其有大量的三嗪环结构的存在,不但增加了整个网络结构的交联密度而且在整个网络中引入了“硬段”部分。储能模量随着

温度的增加而下降,其急速下降的地方表明是玻璃化转变;损耗模量往往比储能模量对聚合物链中的分子运动更加敏感<sup>[23]</sup>,图 5 中只出现一个损耗模量峰,表明环氧树脂与氰酸酯已经完全共聚成了单相。



a—储能模量; b—损耗模量; c—阻尼因子

图 5 氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料的 DMA 曲线

## 2.5 氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料的热性能

测得 25℃ 下氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料的热导率为 0.059 W/(m·K),比 Solimide TA-301 聚酰亚胺泡沫材料<sup>[24]</sup>减小了 88.2%,其热导率很小,是优良的隔热保温材料。

图 6 为氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料的 DSC 曲线。DSC 和 DMA 测得的玻璃化转变温度见表 3,可见  $T_{g-E'}$  和  $T_{g-E''}$  分别为 183℃ 和 197℃,  $T_{g-DSC}$  为 208℃,明显小于  $T_{g-tan\delta}$  (223℃),主要的原因可能是因为 DMA 是通过检测不同长度的聚合物链的运动来工作的,其对应于聚合物材料动态模量的改变,对环境的变化更加敏感<sup>[25]</sup>。而 DSC 是通过测试聚合

物中链节的局部运动所引起热焓的变化来有效测试  $T_g$  的,仅适用于玻璃化转变较窄的材料,所以对于氰酸酯/环氧共聚物型的泡沫材料其  $T_{g-DSC}$  小于  $T_{g-tan\delta}$ 。与传统的聚氨酯泡沫、聚乙烯泡沫和聚氯乙烯泡沫 ( $T_g$  均小于 180℃) 比较,该氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料具有更好的耐热性。

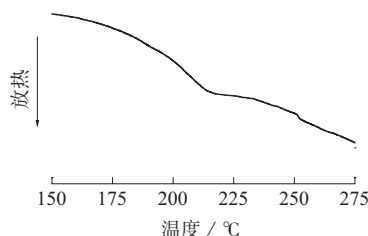


图 6 氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料的 DSC 曲线

表 3 氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料的热性能

| $T_{g-DSC}/$<br>℃ | $T_{g-E'}/$<br>℃ | $T_{g-E''}/$<br>℃ | $T_{g-tan\delta}/$<br>℃ | $T_{d5}/$<br>℃ | $T_{d10}/$<br>℃ | $T_{max}/$ ℃ |     | 残炭率/<br>% |
|-------------------|------------------|-------------------|-------------------------|----------------|-----------------|--------------|-----|-----------|
| 208               | 183              | 197               | 223                     | 309            | 339             | 436          | 517 | 26.6      |

注:表中  $T_{g-DSC}$  为 DSC 曲线测得的玻璃化转变温度;  $T_{g-E'}$  为 DMA 测试时储能模量对应的玻璃化转变温度;  $T_{g-E''}$  为 DMA 测试时损耗模量对应的玻璃化转变温度;  $T_{g-tan\delta}$  为 DMA 测试时的阻尼因子对应的玻璃化转变温度;  $T_{d5}$  为氰酸酯/环氧泡沫失重 5% 的分解温度;  $T_{d10}$  为失重 10% 的分解温度;  $T_{max1}$  为质量分解速率第一个峰值所对应的温度;  $T_{max2}$  为质量分解速率第二个峰值所对应的温度; 残炭率为氮气氛围下 800℃ 时的残炭率。

图 7 是氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料的 TG 和 DTG 曲线,当温度接近 250℃ 时,氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料开始缓慢分解,在 350℃ 左右其分解速率加快。

表 3 给出了氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料热分解参数。由于体系中有大量刚性的三嗪环存在,氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料失重 5% 的分解温度  $T_{d5}$  和失重 10% 的分解温度  $T_{d10}$  分别高达 309℃ 和 339℃,800℃ 的残炭率高达 26.6%。其热分解温度比王雁国等<sup>[26]</sup>所报道的硬质 PVC 泡沫塑料高 100℃ 左右,比曲春艳等<sup>[27]</sup>报道的 PMI 泡沫塑料高 80℃ 左右,具有优异的热稳定性。

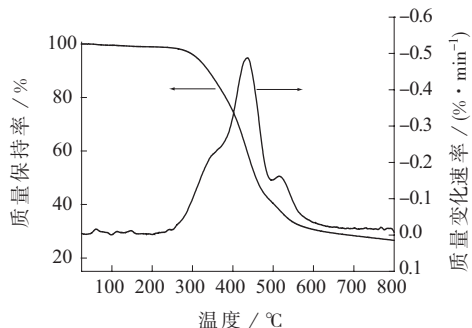


图 7 氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料的 TG 和 DTG 曲线

### 3 结论

采用两步法,以氰酸酯和环氧树脂为主要原料制备了氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料。在此工艺条件下,氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料固化反应完全;所得的泡沫塑料呈闭孔结构,泡孔多为球形且结构均匀;泡沫塑料具有优良的压缩强度和压缩弹性模量;玻璃化转变温度高达 223℃,热导率仅为 0.059 W/(m·K),失重 5% 的分解温度  $T_{d5}$  高达 309℃,800℃ 的残炭率高达 26.6%。所制备的氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料是优良的耐热型泡沫材料,未来可通过改性或填加不同功能性的填料,制备具有不同功能的氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料或进一步提高其热力学性能,可以预见本实验所制备的氰酸酯/环氧树脂泡沫塑料将具有更广阔的应用和研究价值。

### 参考文献

- [1] Yang Jintao, Huang Lingqi, Zhang Yuefang, et al. A new promising nucleating agent for polymer foaming: Applications of ordered mesoporous silica particles in polymethyl methacrylate supercritical carbon dioxide microcellular foaming[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2013, 52: 14 169–14 178.
- [2] Seibert Hermann F. Applications for PMI foams in aerospace sandwich structures[J]. Reinforced Plastics, 2006, 50 (1): 44–48.
- [3] Solórzano E, Rodríguez - Pérez M A. Structural Materials and processes in transportation[M]. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co KGaA, 2013.
- [4] Song B, Chen W, Lu W Y. Compressive mechanical response of a low-density epoxy foam at various strain rates[J]. Journal of Materials Science, 2007, 42 (17) : 7 502–7 507.
- [5] Demir H, Sipahioğlu M, Balköse D, et al. Effect of additives on flexible PVC foam formation[J]. J Mater Process Technol, 2008, 195 (1–3): 144–153.
- [6] Xu Zhongbin, Tang Xiling, Gu Aijuan, et al. Novel preparation and mechanical properties of rigid polyurethane foam / organoclay nanocomposites[J]. J Appl Polym Sci, 2007, 106(1): 439–447.
- [7] Yu Hao, Shen Changjiang, Tian Mengzhe, et al. Microporous cyanate resins: synthesis, porous structure, and correlations with gas and vapor adsorptions[J]. Macromolecules, 2012, 45(12): 5 140–5 150.
- [8] Grande D, Grigoryeva O, Gusakova K, et al. Novel mesoporous high-performance films derived from polycyanurate networks containing high-boiling temperature liquids[J]. Eur Polym J, 2013, 49(8): 2 162–2 171.
- [9] Chen Feng, Yuan Li, Gu Aijuan, et al. Low-temperature cure high-performance cyanate ester resins / microencapsulated catalyst systems[J]. Polymer Engineering & Science, 2013, 53(9): 1 871–1 877.
- [10] Zhang Bufeng, Wang Zhonggang, Zhang Xia. Synthesis and properties of a series of cyanate resins based on phenolphthalein and its derivatives[J]. Polymer, 2009, 50(3): 817–824.
- [11] Fang T, Shimp D A. Polycyanate esters: science and applications[J]. Prog Polym Sci, 1995, 20(1): 61–118.
- [12] Hanerton I. Chemistry and technology of cyanate ester resins[M]. London: University of Surrey, 1994.
- [13] Mangalgiri P. Polymer-matrix composites for high-temperature applications[J]. Defence Science Journal, 2005, 55(2): 175–193.
- [14] Nair C R, Mateew D, Ninan K. Cyanate ester resins, recent developments[J]. New Polymerization Techniques and Synthetic Methodologies Springer, 2001, 155: 1–99.
- [15] Prokopec R, Humer K, Fillunger H, et al. Qualification of a cyanate ester epoxy blend supplied by Japanese industry for the ITER TF coil insulation [C]//Advances in Cryogenic Engineering: Transactions of the International Cryogenic Materials Conference-ICMC, Volume 58. Spokane. Washington: AIP Publishing, 2012.
- [16] Zeng Minfeng, Lu Cuiyun, Wang Baoyi, et al. Free volume hole size of cyanate ester resin / epoxy resin interpenetrating networks and its correlations with physical properties[J]. Radiat Phys Chem, 2010, 79(9): 966–975.
- [17] Liang Guozheng, Ren Penggang, Zhang Zengping, et al. Effect of the epoxy molecular weight on the properties of a cyanate ester / epoxy resin system[J]. J Appl Polym Sci, 2006, 101(3): 1 744–1 750.
- [18] Karad S K, Attwood D, Jones F R. Moisture absorption by cyanate ester modified epoxy resin matrices. Part V: effect of resin structure [J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2005, 36(6): 764–771.
- [19] Hamerton I, Hay John N. Recent technological developments in cyanate ester resins[J]. High Perform Polym, 1998, 10 (2): 163–174.
- [20] Alonso M V, Auad M L, Nutt S R. Short-fiber-reinforced epoxy foams[J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2006, 37(11): 1 952–1 960.
- [21] Alonso M V, Auad M L, Nutt S R. Modeling the compressive properties of glass fiber reinforced epoxy foam using the analysis of variance approach[J]. Compos Sci Technol, 2006, 66(13): 2 126–2 134.
- [22] Shen Hongbing, Nutt S. Mechanical characterization of short fiber reinforced phenolic foam[J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2003, 34 (9): 899–906.
- [23] Sheng Xia, Hanus Riley, Bauer Amy, et al. Effect of PEGDE addition on rheological and mechanical properties of bisphenol E cyanate ester[J]. J Appl Polym Sci, 2013, 130(1): 463–469.
- [24] 丁孟贤. 聚酰亚胺 + 化学、结构与性能的关系及材料 [M]. 北京: 科学出版社, 2006: 563.
- Ding Mengxian. Polyimides: Chemistry, relationship, between

- structure and properties and materials[M]. Beijing: Science Press, 2006: 563.
- [25] Lei Zhouyue, Xing Wang, Wu Jinrong, et al. The proper glass transition temperature of amorphous polymers on dynamic mechanical spectra[J]. J Therm Anal Calorim, 2013, 116(1): 447-453.
- [26] 王雁国, 汪艳, 张慧. 硬质交联 PVC 泡沫塑料的制备[J]. 工程塑料应用, 2014, 42(6): 13-16.
- Wang Yanguo, Wang Yan, Zhang Hui. Preparation of rigid cross-linking PVC foam plastics[J]. Engineering Plastics Application, 2014, 42(6): 13-16.
- [27] 曲春艳, 谢克磊, 马瑛剑, 等. 聚甲基丙烯酸酯亚胺 (PMI) 泡沫塑料的制备与表征[J]. 材料工程, 2008(11): 19-23.
- Qu Chunyan, Xie Kelei, Ma Yingjian, et al. Preparation and characterization of polymethacrylimide foams[J]. Journal of Materials Engineering, 2008(11): 19-23.

## 我国首个大型 PET 再生塑料加工项目将于 9 月投产

广西省梧州国龙塑料化工有限公司(以下简称国龙公司)的年产处理 15 万 t 聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 再生塑料加工项目将于 2015 年 9 月投产。

该项目的主要功能是“消化”废旧 PET 塑料瓶, 通过分选、漂洗、脱标、拆扎、破碎、挤压、熔融、制片、定型等工序后, 重新生产出能应用于汽车、食品、服装、包装、电子电器、医疗卫生等行业的再生塑料。

该项目第一条 PET 再生塑料加工生产线将于 2015 年 6 月安装完毕后试产, 9 月份正式投产。第一条 PET 再生塑料加工生产线投产后, 可年处理 6 万 t 废旧 PET 塑料瓶, 生产再生 PET 瓶片 4.8 万 t, 并利用再生 PET 瓶片加工生产 4.8 万 t 的 PET 食品级片材、食品级再生颗粒等产品。

该项目正式投产后, 国龙公司将成为我国第一家能利用废旧 PET 塑料瓶生产出应用于食品、医疗卫生方面塑料的公司。

(中国塑料橡胶)

## 高性能环氧乙烯基树脂获上海产学研项目一等奖

日前, 上海召开“2014 年上海产学研合作优秀项目奖表彰”大会, 对 10 个上海产学研合作中小微企业优秀项目进行表彰, 同时表彰了 3 个上海产学研合作大企业优秀项目。其中由华昌公司董事长刘坐镇教授领衔的研发团队与华东理工大学产学研合作的“高性能环氧乙烯基酯树脂”项目荣获“上海产学研合作优秀项目奖”一等奖。

据介绍, “高性能环氧乙烯基酯树脂”项目是华昌公司依托高分子材料、复合材料、化学工程、有机化学和环境工程等众多学科优势, 共同建立“华东理工大学防腐蚀技术中心”, 各单位在产业链中协同创新, 解决了产业化过程中的诸多难题。

华昌公司的 MFE 高性能环氧乙烯基酯树脂连续十多年居我国市场占有率第一, 批量出口德国、法国、荷兰、西班牙、加拿大、日本、澳大利亚、东南亚、中东等 35 个国家和地区, 已成为全球防腐蚀树脂的主要品牌。

近年来, 华昌公司作为建设具有全球影响力的科技创新中心的先行者, 正在努力探索将“研发、技术咨询和服务留在上海, 将制造基地放在海外”的科技创新模式。2014 年华昌已实现了从产品销售海外向技术品牌出口的跨越, 已授权了法国和马来西亚树脂厂商生产“MFE 树脂”。

据了解, “上海产学研合作优秀项目奖”是依据《国家科学技术奖励条例》、《社会力量设立科学技术奖管理办法》及《上海市社会力量设立科学技术奖管理办法》的有关规定, 经上海市科学技术委员会批准由社会力量设立的奖项。旨在发现、总结产学研合作模式及机制创新的成功经验, 并总结、表彰和推广, 进一步激发以企业为主体、市场为导向, 产学研相结合技术创新体系的各方积极性, 提高产学研合作的实效, 推进产学研互动协调发展, 有效促进科技成果的转化、产业化。

该奖是目前上海市针对产学研合作而设立唯一的年度荣誉奖。

(雅式橡塑网)

## 扬子塑料厂同比增产 3.7 万 t 新品专用料

2014 年面临巨大的效益挑战, 扬子塑料厂调整产品结构, 增加专用料品种, 着力打造品牌, 力争多生产具有市场竞争力的高附加值的产品。全年生产新产品和专用料共 47.5 万 t, 比 2013 年增产 3.7 万 t, 新品专用料比例达 55.7%, 取得了很好的经济效益。

扬子塑料厂按照“优化工作要紧跟市场”的思路, 收集市场的相关信息, 制定出了新的产品优化调整方案。在 1PE 装置上恢复了 7000F 的生产和调整了 YEM-4902T 的生产产能, 最大限度地提高了 YEC-5505T 的生产负荷和月度产量, 适度调整 5000S 产量, 保持了较高盈利能力。在 2PE 装置上扩大了 YLJ-2650 的生产并尽可能地根据效益情况提高粉料产量。1PP 装置中, 在 A 线仅进行 C180 和 YPR-503 过渡模式, 有效地减少了牌号切换的过渡料的产量。在 2PP 装置上, 高熔抗冲牌号、冷水管材料得到了扩大生产。生产难度大及质量不易控制的三元共聚牌号经过攻关也取得了阶段性的成功。

与此同时, 根据市场需求, 扬子塑料厂加强与研究院、北化院的技术交流, 不断开发具有高附加值的新产品。在 1PE A 线开发了 C 型氯化聚乙烯专用料, 各项指标均达到目标值。1PP 装置 B 线上的超细粉体改造完成后, 分别对 C180, J340 产品质量改进进行了两次工业化试验, 产品性能得到持续提高。在 2PP 装置上试用高温催化剂生产超柔无纺布和柔软无规抗菌料, 下游厂家使用后, 普遍反映布料柔软度优良。在 2PP 装置上完成了造粒机增设熔融泵和装置适应性改造后, 组织开发了 PP-R 管材专用料和高性能化专用树脂, 其各项指标均达到目标值。

(慧聪塑料网)