

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2014.01.022

环氧脂肪酸甲酯增塑剂替代 DOP 用于 PVC 的研究^{*}

陈洁¹, 聂小安^{1,2}, 刘振兴¹, 王义刚¹, 蒋剑春^{1,2}

(1. 中国林业科学研究院林产化学工业研究所, 生物质化学利用国家工程实验室, 国家林业局林产化学工程重点开放性实验室, 南京 210042;

2. 中国林业科学研究院林业新技术研究所, 北京 100091)

摘要: 将自制的橡胶籽油基环氧脂肪酸甲酯 (ERSO) 与邻苯二甲酸二辛酯 (DOP) 混合, 得到不同配比的混合型增塑剂, 考察其对聚氯乙烯 (PVC) 的增塑效果, 评价 ERSO 对 DOP 的有效替代性。测试结果表明, 混合型增塑剂可显著改善 PVC 的柔韧性、耐化学药品性、耐热性及加工流变性, 但耐水性、挥发性及表面硬度略差。经综合比较, 优选的混合型增塑剂配方是 ED-20, 与单独使用 DOP 相比, 其 PVC 的断裂伸长率提高了 29.83%, 热老化整体变色时间提高了近 3 倍, 玻璃化转变温度降至 -1.06°C , 动态热稳定时间延长了 32.59%。ERSO 对传统石油基邻苯类增塑剂的有效替代率可达 50%, 大大拓展了环保增塑剂的应用范围。

关键词: 环保增塑剂; 环氧脂肪酸甲酯; 聚氯乙烯

中图分类号: TQ047.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2014)01-0102-05

Study on Substituting Epoxy Fatty Acid Methyl Ester Plasticizer for DOP Used in PVC

Chen Jie¹, Nie Xiaolan^{1,2}, Liu Zhenxing¹, Wang Yigang¹, Jiang Jianchun^{1,2}

(1. Institute of Chemical Industry of Forest Products, CAF, National Engineering Lab. for Biomass Chemical Utilization, Key and Open Lab. on Forest Chemical Engineering, SFA, Nanjing 210042, China; 2. Institute of New Technology of Forest, CAF, Beijing 100091, China)

Abstract: The self-made rubber seed oil epoxy fatty acid methyl ester (ERSO) plasticizer and the traditional petroleum base plasticizer dioctyl phthalate (DOP) plasticizer were mixed and used in PVC as mixed plasticizers. The effects of plasticizing were studied and the effects of substitution of ERSO for DOP were also evaluated. Results show that the mixed plasticizers can significantly improve the properties of flexibility, chemical resistance, heat resistance and processing rheology of PVC, while the properties of, water resistance volatile, and surface hardness are slightly decreased. On the basis of comprehensive compare, ED-20 is considered as the optimization mixed plasticizer formula. It is indicated that compared with DOP, the addition of the ED-20 could increase the elongation at break of PVC by 29.83%, increase the thermal aging time for nearly 3 times, reduce the glass transition temperature to -1.06°C and prolong the dynamic thermal stability time by 32.59%. The substitution rate of ERSO for DOP could reach 50%, which greatly expand the application range of environmental plasticizer.

Keywords: environmental plasticizer; epoxy fatty acid methyl ester; PVC

邻苯二甲酸二辛酯 (DOP) 通用型增塑剂因其具有增塑性能好、价位低等优势, 其产销量在我国一直位居首位^[1]。但已有研究表明, 其所含的苯环结构对人体具有潜在的生理毒性^[2-5], 并会造成环境污染^[6-7], 在欧美等工业发达国家及地区已经被禁止或限制使用^[8]。近年来, 国内塑化剂事故的频发, 引起社会对塑料助剂行业的高度关注^[9]。同时, 随着石油储量日益减少, 价格逐步攀升, 以及人们对环境、健康及产品性能要求的日益提高, 开发可替代邻苯二甲酸酯类的新型环保无毒增塑剂^[10-14]已成为增塑剂行业发展的主要方向。

环氧脂肪酸甲酯是可代替邻苯二甲酸酯的一类具有发展前景的生物基环保型增塑剂, 具有无毒、环保、可再生、制品韧性优良、对光和热有良好的稳

定作用等优点^[15]。目前国内外的相关研究多集中在其制备工艺方面^[16-20], 但其对传统增塑剂的替代性研究尚未见报道。

笔者将自制的橡胶籽油基环氧脂肪酸甲酯 (ERSO) 增塑剂与 DOP 按不同比例混合, 得到不同配方的混合型增塑剂, 考察其对 PVC 的增塑效果, 分析 PVC 制品的使用性、加工性及稳定性差异, 评

^{*} 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金 (CAFYBB2011010), 科技部农业科技成果转化项目“桐油制备节能环保沥青材料的研究与开发” (2011GB24320017), 浙江省与中国林业科学研究院省院合作林业科技项目 (2010SY05)

联系人: 蒋剑春, 研究员, 博士生导师, 主要从事生物质资源开发利用研究

收稿日期: 2013-10-12

价 ERSO 替代 DOP 的有效性,优化混合型增塑剂的配方,拓展环保型增塑剂 ERSO 的应用范围。

1 实验部分

1.1 主要原材料

低密度聚乙烯:工业品,天津大沽化工股份有限公司;

硬脂酸钙、硬脂酸锌:工业品,常州嘉仁禾化学有限公司;

DOP:工业品,中国石化齐鲁股份有限公司;

ERSO:制备方法参见文献[21]。其红外分析谱图显示,在 3467 cm^{-1} 处是 O—H 伸缩振动吸收峰,在 $2926, 2855\text{ cm}^{-1}$ 处是 C—H 吸收峰,在 1741 cm^{-1} 处为 C=O 伸缩振动峰, 1172 cm^{-1} 处是 C—O 吸收峰,在 843.80 及 724.01 cm^{-1} 处则是 C—O—C 伸缩振动特征吸收峰。核磁共振氢谱 ($^1\text{H NMR}$) 谱图分析表明, $\delta = 2.92 \sim 3.13$ 处为 (m, 2H, —C—O—CH₂), 为环氧基团特征峰; $\delta = 3.66$ 处为 (s, 6H, $2 \times \text{OCH}_3$), $\delta = 0.88$ 为 (m, 9H, CH₃), $\delta = 1.33$ 处为 (m, 6H, CH₃), $\delta = 1.61$ 处为 (m, 6H, CH₃), $\delta = 2.92$ 处为 (d, 2H, CH₂), $\delta = 3.66$ 为 (t, 4H, CH₂)。

增塑剂 ERSO 和 DOP 的理化性质比较如表 1 所示。

表 1 增塑剂 ERSO 和 DOP 的理化性质

项目	ERSO	DOP
密度 / ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) (20℃)	0.932	0.985
酸值 / ($\text{mg KOH} \cdot \text{g}^{-1}$)	0.2	< 0.1
折光率 (n_D^{20})	1.457	1.486
开口闪点 / ℃	188	230
环氧值 / %	4.2	

注: n_D^{20} 表示 20℃ 时,该介质对钠灯的 D 线的折光率。

1.2 主要仪器与设备

双辊开炼机: ZG-200 型,东莞市正工机电设备科技有限公司;

微量注射成型机: MiniJet II 型,德国 HAAKE 公司;

电子万能拉力试验机: CMT4304 型,深圳新三思计量技术有限公司;

邵氏硬度计: A 型,乐清市禾木仪器仪表有限公司;

老化试验箱: DHG-401AZ 型,上海三发科学仪器有限公司;

转矩流变仪: Poly Lab 型,德国 HAAKE 公司;

差示扫描量热 (DSC) 仪: Diamond DSC 型,美

国 Perkin-Elmer 公司。

1.3 试样制备

将 ERSO 与 DOP 按照表 2 配方混合后加入其中,在高速混合机中搅拌 1 min 后,通过双辊开炼机制成一定厚度的 PVC 片材,用于挥发、抽出、热老化等性能测试;将 PVC 片材经切割、注塑成型制得标准制品,进行力学性能测试。

表 2 PVC 配方

编号	PVC	ERSO	DOP	热稳定剂
ED-0	100	0	40	3
ED-5	100	5	35	3
ED-10	100	10	30	3
ED-15	100	15	25	3
ED-20	100	20	20	3
ED-25	100	25	15	3
ED-40	100	40	0	3

注:热稳定剂为硬脂酸钙和硬脂酸锌,其质量比为 1:1。

1.4 性能测试

断裂伸长率依据 GB/T 1040.1-2006 测试;

表面硬度 (邵氏硬度) 依据 GB/T 2411-2008 测试;

耐抽出依据 GB/T 11547-2008 测试;

挥发性测试方法参见文献[22];

烘箱法热老化试验依据 GB/T 9349-2002 测试,烘箱温度为 185℃;

玻璃化转变温度 (T_g): 采用 DSC 仪,试样用量约为 8 mg,升温范围为 $-40 \sim 200\text{℃}$,升温速率为 $10\text{℃} / \text{min}$, N_2 氛围;

动态热稳定性及流变性分析: 采用转矩流变仪,试样用量约为 60 g,温度为 180℃,时间为 50 min,转速为 50 r/min。

2 结果与讨论

2.1 断裂伸长率

不同 PVC 配方试样的断裂伸长率测试结果如图 1 所示。由图 1 可以看出,随着混合增塑剂中 ERSO 比例的增加, PVC 的断裂伸长率总体上呈现明显增加的趋势。与单独使用 DOP 的 ED-0 相比,加入不同比例的 ERSO 后, ED-5, ED-10, ED-15, ED-20, ED-25, ED-40 的断裂伸长率分别提高了 6.04%, 6.77%, 22.37%, 29.83%, 27.27% 及 40.81%。ERSO 中环氧极性基团的引入,可有效减弱 PVC 分子间的次价键力、增加分子链的移动性、降低分子链的结晶性,从而提高增塑体系的柔韧性。比较测试结果可知, ED-20 拥有较佳的柔韧性,仅次于单独使用 ERSO 的 ED-40。其原因可能是,在配方

ED-20 中, ERSO 用量所含的环氧基及长烷基链结构与 DOP 中的芳基和酯基经协同作用, 部分插入 PVC 分子的结晶区, 提高了相容性, 对 PVC 的柔韧性改善优于其它 PVC 配方的混合增塑剂。

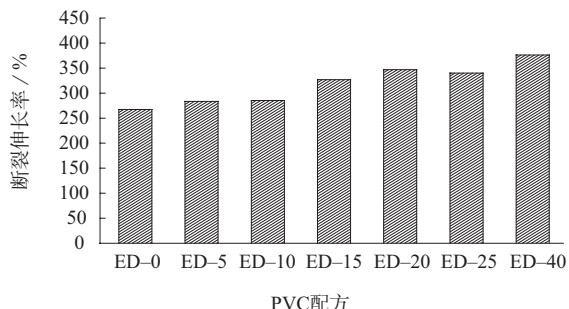


图1 不同 PVC 配方试样的断裂伸长率测试结果

2.2 耐久性

由于大多数增塑剂是通过偶极力与聚合物进行结合, 而不是用化学键结合, 因此, 随着时间的推移, 会发生增塑剂经挥发、抽出等方式从其增塑的制品中移出的倾向, 进而影响制品的使用性能^[14]。

图2为不同 PVC 配方试样中增塑剂的抽出及挥发性能测试结果。经分析可知, 随着 ERSO 含量的逐渐增加, PVC 中的增塑剂向水及肥皂水中迁移的倾向总体上呈现显著增大的趋势。其原因归于 ERSO 中含有亲水性较强的环氧基团, 导致 PVC 的耐水性及耐肥皂水性降低。此外, 由于 DOP 含有苯环结构, 因而 ED-0 中增塑剂的挥发损失率最小, 仅为 0.252%; 而 ERSO 是含直链结构的混合物, 并且含有部分 C18 以下的小分子量组分, 因此随着其含量的增加, PVC 试样中增塑剂的挥发损失率总体上呈现增大的趋势。由于 ED-20 中的 ERSO 部分插入 PVC 分子的结晶区, ED-20 的挥发损失率为 0.304%, 低于 ED-10, ED-15, ED-25, ED-40 中增塑剂的挥发损失率。

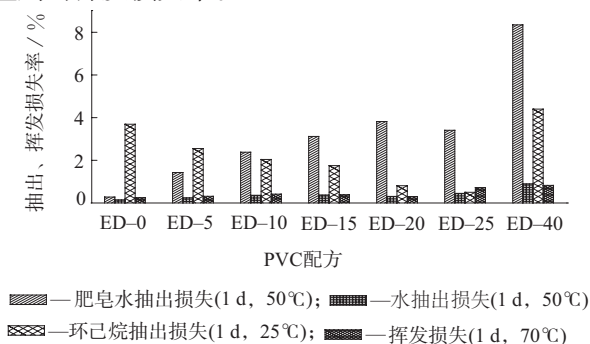


图2 不同 PVC 配方试样中增塑剂的抽出及挥发损失率测试结果

增塑的 PVC 容易被许多化学品侵蚀, 并且随着 PVC 中增塑剂浓度的增加, PVC 的耐化学药品性能

明显降低。图2中的环己烷抽出损失结果显示, 混合增塑剂所增塑的 ED-5, ED-10, ED-15, ED-20, ED-25 的耐环己烷性能良好, 随着 ERSO 用量的增加, PVC 中的增塑剂在环己烷中的抽出损失呈递减趋势, 并且远低于 ED-0 和 ED-40。可知, ERSO 与 DOP 混合使用利于提高 PVC 的耐化学药品性。

2.3 表面硬度

表面硬度是评价物体表面抵抗变形或损伤能力的重要性能指标之一。一般表面硬度越高, 耐磨性越好。表3为不同 PVC 配方试样的表面硬度测试结果。结果表明, 随着 ERSO 用量的增加, PVC 的表面硬度略微降低, 但变化不大。此外, ED-15 与 ED-20 的表面硬度与 ED-0 的颇为接近。

表3 不同 PVC 配方的表面硬度测试结果

配方	表面硬度	
	起始读数	10 s 后读数
ED-0	93	91
ED-5	92	91
ED-10	91	89
ED-15	92	91
ED-20	92	91
ED-25	91	90
ED-40	91	89

2.4 耐热性

利用烘箱法比较不同 PVC 配方试样在 185℃ 时的热老化整体变色时间, 评价其热稳定性, 结果如图3所示。结果表明, PVC 的热稳定性随着 ERSO 用量的增加呈现递增趋势, 并且 ED-20 及 ED-25 的热老化整体变色时间比 ED-0 提高了近 3 倍。这可以解释为混合增塑剂中含有的环氧基团, 不仅可以使 PVC 链上的活泼氯原子稳定, 还可以吸收热降解过程中释放的氯化氢, 从而阻止 PVC 的连续分解, 从而提高了 PVC 热稳定性, 延长其使用寿命。

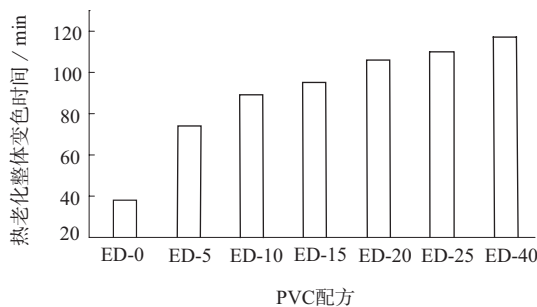


图3 不同 PVC 配方试样的耐热性测试结果

2.5 T_g

在上述研究的基础上, 选取力学性能、耐久性、耐热性等综合性能较佳的混合增塑剂增塑配方 ED-20 与 ED-0 和 ED-40 进行热力学性能比较。

不同 PVC 配方试样的 DSC 曲线如图 4 所示。由图 4 可以看出, ED-40 的曲线在 T_g 之后表现为有双重熔融峰现象,其原因可能是增塑剂用量太大,相容性不佳,体系中产生游离的增塑剂所致。经分析得到 ED-20, ED-0 和 ED-40 的 T_g 数值见表 4。由表 4 可以看出,混合增塑剂 ED-20 可以使 PVC 的 T_g 显著降低至 -1.06°C , 利于提高 PVC 的加工性及使用性。

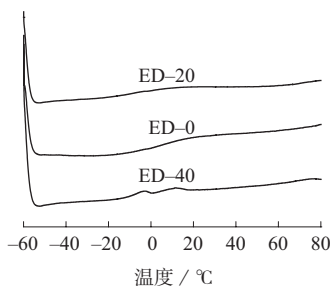


图 4 不同 PVC 配方试样的 DSC 曲线

表 4 DSC 分析结果

项目	ED-0	ED-20	ED-40
$T_g / ^{\circ}\text{C}$	4.12	-1.06	-11.45

2.6 动态热稳定性及流变性

不同 PVC 配方试样的扭矩随时间变化的关系曲线如图 5 所示,动态热稳定性参数如表 5 所示。由图 5 和表 5 可以看出, ED-20 的分解峰值及稳定时间在 ED-0 和 ED-40 之间。ED-20 的热分解峰比 ED-0 延后 7.41 min, 稳定时间延长 32.59 %,显著提高了 PVC 加工过程中的稳定性。此外, ED-20 在转矩流变仪中受恒速转子搅动下的平衡转矩数值与 ED-0 接近,表明其流动加工性较好。

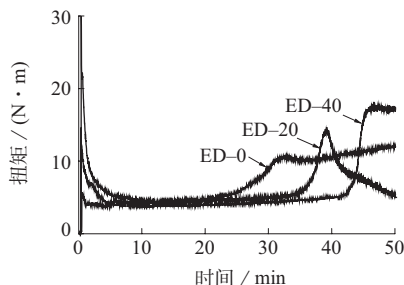


图 5 不同 PVC 配方试样的扭矩随时间变化的关系曲线

表 5 动态热稳定性和流变性参数

配方	分解峰值 / min	平衡扭矩 / (N · m)	稳定时间 / min
ED-0	31.81	4.3	22.52
ED-20	39.22	4.3	29.86
ED-40	45.82	3.8	39.42

3 结论

(1) 增塑剂 ERSO 与 DOP 混合可有效改善 PVC 的柔韧性、耐化学药品性、耐热性及加工流变性;但耐水性、耐挥发性及表面硬度略差。

(2) ED-20 的综合性能最佳,与单独使用 DOP 的 ED-0 相比,断裂伸长率提高了 29.83%,热老化整体变色时间提高了近 3 倍, T_g 降至 -1.06°C , 动态热稳定时间延长了 32.59 %。

(3) ERSO 可实现对传统石油基增塑剂 DOP 的有效替代,替代率可达 50%,大大拓展了环保增塑剂的应用范围及领域,显著提高 PVC 的加工性、使用性及稳定性。

参考文献

- [1] 钱伯章. 增塑剂的国内外发展现状 (上) [J]. 上海化工, 2010, 36(1):36-38.
Qian Bozhang. Development status of the plasticizer in domestic and oversea (part one) [J]. Shanghai Chemical Industry, 2010, 36(1):36-38.
- [2] Sher S, Steven S L. Phthalates: Toxicogenomics and inferred human diseases [J]. Genomics, 2011, 97(3):148-157.
- [3] Liu Kejun, Lehmann K P, Sar M, et al. Gene expression profiling following in utero exposure to phthalate esters reveals new gene targets in the etiology of testicular dysgenesis [J]. Biology of Reproduction, 2005, 73(1):180-192.
- [4] Bonilla E, del Mazo J. Deregulation of the Sod1 and Nd1 genes in mouse fetal oocytes exposed to mono-(2-ethylhexyl) phthalate (MEHP) [J]. Reproductive Toxicology, 2010, 30(3):387-392.
- [5] Kovacic P. How dangerous are phthalate plasticizers? Integrated approach to toxicity based on metabolism, electron transfer, reactive oxygen species and cell signaling [J]. Medical Hypotheses, 2010, 74(4):626-628.
- [6] Fromme H, Lahrz T, Piloty M, et al. Occurrence of phthalates and musk fragrances in indoor air and dust from apartments and kindergartens in Berlin [J]. Indoor Air, 2004, 14(3):188-195.
- [7] Kong Shaofei, Ji Yaqin, Liu Lingling, et al. Diversities of phthalate esters in suburban agricultural soils and wasteland soil appeared with urbanization in China [J]. Environmental Pollution, 2012, 170(11):161-168.
- [8] 雍奎刚, 刘忠科, 刘宝钊. PVC 无毒增塑剂的应用和发展 [J]. 塑料科技, 2007, 35(6):88-91.
Yong Kuigang, Liu Zhongke, Liu Baozhao. Research and application of nontoxic plasticizer for PVC [J]. Plastics Science and Technology, 2007, 35(6):88-91.
- [9] 蒋平平, 张书源, 冷炎, 等. 催化合成环保增塑剂的研究及其应用进展 [J]. 化工进展, 2012, 31(5):953-963.
Jiang Pingping, Zhang Shuyuan, Leng Yan, et al. Research and application progress of the catalytic synthesis of environmental plasticizers [J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2012, 31(5):953-963.
- [10] Greco A, Brunetti D, Renna G, et al. Plasticizer for poly(vinyl

- chloride) from cardanol as a renewable resource material[J]. Polymer Degradation and Stability, 2010, 95(11): 2169–2174.
- [11] Farias M, Martinelli M, Bottega D P. Epoxidation of soybean oil using a homogeneous catalytic system based on a molybdenum (VI) complex[J]. Applied Catalysis A: General, 2010, 384(1–2): 213–219.
- [12] Sinadinović-Fišer S, Janković M, Borota O. Epoxidation of castor oil with peracetic acid formed in situ in the presence of an ion exchange resin[J]. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 2012, 62(12): 106–113.
- [13] Rios L A, Echeverri D A, Franco A. Epoxidation of jatropha oil using heterogeneous catalysts suitable for the Prileschajew reaction: Acidic resins and immobilized lipase[J]. Applied Catalysis A: General, 2011, 394(1–2): 132–137.
- [14] 郭静, 许欢欢, 薛晴, 等. 新型增塑剂对硝基苯甲酸长碳链醇酯的合成及表征[J]. 工程塑料应用, 2012, 40(10): 76–79.
Guo Jing, Xu Huanhuan, Xue Qing, et al. Synthesis and characterization of a new series of plasticizers higher alkyl 4-nitrobenzoates[J]. Engineering Plastics Application, 2012, 40(10): 76–79.
- [15] 石万聪, 石志博, 蒋平平. 增塑剂及其应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
Shi Wancong, Shi Zhibo, Jiang Pingping. Plasticizer and its application[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002.
- [16] Campanella A, Fontanini C, Baltanás M A. High yield epoxidation of fatty acid methyl esters with performic acid generated in situ[J]. Chemical Engineering Journal, 2008, 144(3): 466–475.
- [17] Santacesaria E, Tesser R, Serio M D, et al. A biphasic model describing soybean oil epoxidation with H_2O_2 in a fed-batch reactor[J]. Chemical Engineering Journal, 2011, 173(1): 198–209.
- [18] Poli E, Clacens J M, Pouilloux Y. Synthesis of peroxophosphotungstate immobilized onto polymeric support as heterogeneous catalyst for the epoxidation of unsaturated fatty esters[J]. Catalysis Today, 2011, 164(1): 429–435.
- [19] Cai Shuangfei, Wang Lisheng. Fatty acid methyl esters in the presence of SO_3H -functional brønsted acidic ionic liquid as catalyst[J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2011, 19(1): 57–63.
- [20] de Torres M, Jiménez-Osés G, Mayoral J A, et al. Evaluation of several catalytic systems for the epoxidation of methyl oleate using H_2O_2 as oxidant[J]. Catalysis Today, 2012, 195(1): 76–82.
- [21] 陈洁, 蒋剑春, 聂小安, 等. 环氧脂肪酸甲酯增塑剂的研制及应用[J]. 现代化工, 2013, 33(3): 54–57.
Chen Jie, Jiang Jianchun, Nie Xiaolan, et al. Preparation and application of epoxidized fatty acid methyl[J]. Modern Chemical Industry, 2013, 33(3): 54–57.
- [22] 石万聪. 增塑剂实用手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
Shi Wancong. Plasticizer practical manual[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009.

复旦大学聚合物分子工程国家重点实验室通过验收

不久前, 国家科技部组织专家在上海召开了依托复旦大学建设的“聚合物分子工程国家重点实验室”验收会。专家组认真听取了国家重点实验室的建设总结汇报, 查阅了实验室建设验收申请报告, 审查了相关佐证材料, 现场考察了共享技术平台及各研究单元实验室。专家组高度肯定了实验室取得的成果, 认为实验室完成了建设计划任务书规定的任务, 实现了建设目标, 一致同意通过验收。科技部、上海市科委、复旦大学以及实验室骨干等 30 余人参加了会议。

实验室主任丁建东教授首先介绍了实验室两年来在平台建设、项目研究、人才培养与队伍建设等方面所做的主要工作以及实验室未来的工作计划。实验室以聚合物分子工程为主线, 紧密围绕相关国家需求和学科前沿, 关注国民经济、国家安全和人民生活健康的系列重要科学问题与核心技术, 从“通用高分子的高性能化”、“生物医用高分子的设计”、“高分子相关的功能介孔材料”、“高分子多尺度制备科学与技术”等 4 个方向, 开展了基础和应用基础研究。充分发挥基础研究的优势, 解决了国民经济发展中的重要基础科学问题, 达到高学术水平。研究队伍人才培养和队伍建设初见成效。

实验室现有固定人员 70 名, 包括中国科学院院士 3 人, 973 计划首席科学家 4 人, 国家杰出青年科学基金获得者 13 人, 长江学者特聘教授 6 人。建设期间, 实验室新增国

家重大科学研究计划首席科学家 1 人, 国家杰出青年科学基金获得者 3 人, 新近获批国家青年千人计划人才 2 人。

主管部门和依托单位对实验室建设给予了大力支持。建设期间, 新增用房 2 500 m^2 , 总使用面积近 6 000 m^2 。同时复旦大学江湾校区新建化学楼 2013 年 9 月动工建设, 有望集中和扩大实验室用房。依托单位投入实验室建设经费约 3 400 万元, 新增仪器设备 28 台, 基本建成了水平先进、功能完备、具有特色的技术平台。为实验室长期发展以及国家和地方经济建设和发展提供了有力的硬件支撑。

(慧聪网)

全球聚氨酯市场将全面增长

业内权威专家不久前预计, 2012~2017 年底, 全球聚氨酯浇注制品、粘结剂、密封剂和弹性体等所有市场都将增长。

在荷兰阿姆斯特丹举行的聚氨酯技术国际 CASE 研究会议上, 全球产业情报咨询机构 IAL 顾问公司副总监 Robert Outram 表示, 亚洲氨纶纤维的增长率将最高, 可能会增长 11.8%, 紧随其后的是合成革及热塑性聚氨酯弹性体, 增长率为 6.9%, 浇注型聚氨酯弹性体的增长率为 4% 左右, 增长最慢的是反应注射成型/增强反应注射成型应用领域。

纤维应用之所以增长率最高, 部分是由于棉花的价格相对较高。此外, 受亚太地区应用不断增加的带动, 2012~2017 年底, 全球热塑性聚氨酯市场的复合年增长率或达 5%, 由 42.8 万 t/a 增长至 54.7 万 t/a。(色母粒网)