

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2013.06.002

薄竹面竹纤维增强酚醛泡沫夹芯复合板制备研究^{*}

庄晓伟^{1,2}, 张伟¹, 王春鹏¹, 李守海¹, 储富祥¹

(1 中国林业科学研究院林产化学工业研究所, 国家林业局林产化学工程重点开放性实验室, 南京 210042; 2 浙江省林业科学研究院浙江省森林资源生物与化学利用重点实验室, 杭州 310023)

摘要: 利用竹纤维、薄竹单板等短生长周期的可再生生物质资源制备了薄竹面竹纤维增强酚醛泡沫夹芯复合板材。研究环氧 AB 胶、白胶、万能胶和塑料胶 4 种市场上常见粘合剂对复合板材的胶合强度和耐高温性能的影响, 确定最佳粘合剂为环氧 AB 胶。对无纺布、玻璃纤维布、不锈钢丝网、天然麻纤维网格布、抗裂的确良等 5 种不同网格材料增强薄竹面竹纤维增强酚醛泡沫夹芯复合板材的力学性能和尺寸稳定性进行了对比研究。结果表明, 天然麻纤维网格布是最佳增强材料, 与未用网格材料增强的薄竹面竹纤维增强酚醛泡沫夹芯复合板材相比, 其压缩强度提高 5.55%, 纵向弯曲强度提高 26.28%, 横向弯曲强度提高 28.33%, 冲击强度提高 68.47%。且天然麻纤维网格布增强薄竹面竹纤维增强酚醛泡沫夹芯复合板材性能基本达到 JC/T 1051-2007“铝箔面硬质酚醛泡沫夹芯板”行业标准要求。

关键词: 薄竹单板; 酚醛泡沫; 夹芯复合板; 力学性能

中图分类号: TQ328.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-3539(2013)06-0010-05

Manufacturing of Sliced Bamboo Veneer Faced Bamboo Fiber Reinforced Phenolic Foam Sandwich Panels

Zhuang Xiaowei^{1,2}, Zhang Wei¹, Wang Chunpeng¹, Li Shouhai¹, Chu Fuxiang¹

(1. Institute of Chemical Industry of Forest Products, CAF, Key and Open Laboratory of Forest Chemical Engineering, Nanjing 210042, China; 2. Zhejiang Forestry Academy, Key Laboratory of Forestry Resources Utilization of Zhejiang, Hangzhou 310023, China)

Abstract: Fire-retardant phenolic foam sandwich panels were manufactured by using renewable bamboo fiber and sliced bamboo veneer. Effects of four types of adhesive, including epoxy adhesive, PVAC, decorating-adhesive and polystyrene adhesive on heat resistance and bonding strength of sandwich panels were studied. The results show that four types of adhesives can meet the demand of bonding strength of sandwich panels and the epoxy adhesive demonstrates best properties. Then five types grid fabrics such as non-woven fabrics, fiberglass fabrics, stainless steel wire mesh, natural hemp's fiber mesh fabrics and terylene were used to improve the mechanical properties and the dimensional stability of bamboo fiber reinforced phenolic foamed sandwich panels. It is found that the natural hemp's fibers mesh fabrics shows best results in five types fabrics. Compared the unreinforced composite plates, the compression strength of the sandwich panels reinforced by natural hemp's fibers mesh fabrics increases by 5.55%, lengthways flexural strength increases by 26.28%, transverse flexural strength increases by 28.33%, and impact strength increases by 68.47%. The properties of the sandwich panels reinforced by natural hemp's fibers mesh fabrics can meet closely the demanded of industry standard (JC/T1051-2007) "aluminum foil faced rigid phenolic foam sandwich panels".

Keywords: sliced bamboo veneer; phenolic foam; sandwich panels; mechanical property

酚醛泡沫夹芯复合板是一种新型的阻燃型人造板, 具有绝热、隔声等作用, 是应用于墙体、外墙内外节能保温的理想轻质建材^[1-3]。特别是近十年来我国火灾频繁发生, 2008 年共 13.3 万起, 死亡人数 1 385 人, 且 90% 以上的火灾是由于用火不慎引起室内可燃物燃烧造成的, 火灾严重威胁人民的财产和生命安全, 因此阻燃建材的开发十分重要^[4]。同时, 随着节能保温和阻燃性能指标要求的进一步提高, 阻燃建材的需求将进一步增长, 轻型、节能、环保的阻燃型酚醛泡沫夹芯复合板具有不可估量的市场潜力^[5]。

现阶段市场上酚醛泡沫夹芯复合板其上、下两块起承载作用的面板主要为强度较大的彩钢板、不锈钢板、铝板等金属薄板, 种类相对较单一, 限制了其在建筑方面的应用领域, 因此急需开发新型阻燃型酚醛泡沫夹芯复合板^[6]。笔者利用竹木等可再生生物质资源开发竹纤维增强阻燃泡沫材料、阻燃型薄竹面酚醛泡沫夹芯复合板, 具有重要的理论和现

^{*} 国家科技支撑项目 (2012BAD24B04)

联系人: 储富祥, 研究员, 博士生导师, 主要从事乳液聚合、胶黏剂及生物质材料的研究工作。

收稿日期: 2013-03-19

实意义。

1 实验部分

1.1 主要原材料

苯酚、磷酸、氢氧化钠:分析纯,南京化学试剂有限公司;

多聚甲醛:分析纯,上海凌峰化学试剂有限公司;

对甲基苯磺酸、正戊烷和环戊烷(沃凯):分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

聚山梨酯 80:上海申宇医药化工有限公司;

原竹纤维:采用机械梳解法制备,浙江农林大学工程学院;

旋切薄竹单板:500 mm×500 mm×(0.5~0.55) mm,含水率 8%~12%,安吉恒丰竹木产品有限公司;

天然麻纤维网格布(麻布):网眼尺寸(1~2)×(1~2)mm,市售;

抗裂的确良接缝布带:浙江省东阳市吴宁银龙制袋厂;

玻璃纤维布:面密度为 80 g/m²,网眼尺寸 2.85 mm×2.85 mm,市售;

无纺布:面密度为 60 g/m²,市售;

不锈钢丝网:孔径 1 cm,线径 1~1.5 mm,市售;

全透明环氧 AB 胶(环氧胶):25℃混合黏度 2400 mPa·s,25℃凝胶时间 40 min,室温表干固化时间 3 h,杭州五会港胶粘剂有限公司;

熊猫白胶(白胶):百得牌卓效型,汉高粘合剂有限公司;

万能胶(万能胶):百得牌全效环保型,汉高粘合剂有限公司;

多用塑料胶粘剂(塑料胶):金枪牌,苏州市胶粘剂厂。

1.2 主要仪器及设备

质构仪:Texture-analysis Plus 型,英国 Stable Microsystems 公司;

摆锤式冲击试验机:JBM-100 型,济南时代试金仪器有限公司;

极限氧指数(LOI)测定仪:JF-3 型,南京市江宁区分析仪器厂。

1.3 试样制备

(1) 可发性酚醛树脂合成。

在装有搅拌器、回流冷凝管、温度计的 500 mL

四口烧瓶内加入一定比例苯酚和水,多聚甲醛和氢氧化钠溶液则分三批逐次加入。第一阶段,升温至 90℃开始计时,反应时间 60~90 min;第二阶段,温度维持在 90℃,反应时间 50~70 min;第三阶段,温度维持在 85℃,反应时间 30~50 min;结束阶段调节 pH 值,将反应产物冷却至 40℃以下出料。

(2) 竹纤维增强酚醛泡沫制备。

在可发性酚醛树脂中加入硅烷偶联剂改性的原竹纤维材料,然后依次加入表面活性剂、发泡剂、固化剂,并迅速混合均匀,最后将树脂混合物倒入模具中,并在 70℃下起泡固化。竹纤维增强酚醛泡沫性能如表 1 所示。

表 1 竹纤维增强酚醛泡沫的性能

项目名称	检测标准	指标数值
表观密度/(kg·m ⁻³)	GB/T 6343—1995	46.68
压缩强度/kPa	GB/T 8813—2008	138.87
压缩弹性模量/MPa	GB/T 8813—2008	4.022
弯曲强度/kPa	GB/T 8812—2008	206.99
弯曲弹性模量/MPa	GB/T 8812—2008	5.714
LOI/%	GB/T 2406—1993	48.9

(3) 薄竹面竹纤维增强酚醛泡沫夹芯复合板材制备。

施胶量:180~200 g/m²(双面),人工辊涂。

组坯工艺:夹芯层是竹纤维增强酚醛泡沫,上下表面各 1 层薄竹面板,增强网格材料位于上下薄竹面板和夹芯泡沫层之间,总共 3 层或 5 层整齐排列,组坯后试样总厚度(25±0.5)mm。

冷压工艺:涂胶后闭合 10~15 min,然后常温冷压,压力 1 MPa,冷压时间 4~8 h。

1.4 性能测试及表征

耐高温性能按 GB/T 17657—1999 测试,试样尺寸为 30 mm×20 mm×25 mm,将试样放入 120 及 150℃的空气对流干燥箱中 2 h 取出,用钢尺分别测量试样贴面板与泡沫夹芯的剥离或分层部分的长度,其值超过 2 mm,则记为不合格,以合格率来表示复合板材在固定温度的耐高温性能;

复合板材的表观密度按照 GB/T 6343—1995 测试;

压缩强度及压缩弹性模量按 JC/T 1051—2007 和 GB/T 8813—2008 测试,试样尺寸为 50 mm×50 mm×25 mm;

弯曲强度及弯曲弹性模量按 JC/T 1051—2007 和 GB/T 8812—2008 测试,试样尺寸为 120 mm×25 mm×25 mm;

冲击强度按 GB/T 17657—1999 测试,试样尺

寸 300 mm×20 mm×25 mm;

尺寸稳定性按照 JC/T 1051-2007 以及 GB/T 8811-2008 的方法进行测试,试样尺寸 50 mm×50 mm×25 mm,环境温度为 $(70 \pm 2)^\circ\text{C}$,保温时间为 $(48 \pm 2)\text{h}$ 。

2 结果与讨论

2.1 粘合剂的选择

以环氧 AB 胶、白胶、万能胶、塑料胶等作为薄竹贴面与竹纤维增强酚醛泡沫夹芯的粘合剂,并对制备复合板材的表面胶合强度和耐高温性能进行对比研究,结果如图 1、图 2 和表 2 所示。

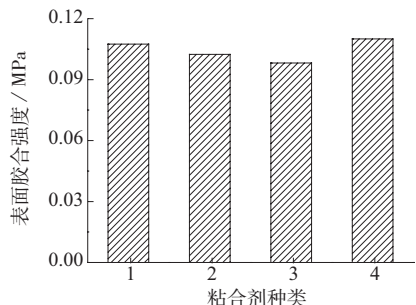


图 1 不同粘合剂对复合板材表面胶合强度的影响



图 2 复合板材的表面胶合强度测试的破坏试样

当基材(竹纤维增强酚醛泡沫夹芯)表层与饰面材料(薄竹单板)间的界面胶合强度大于其任意单一材料自身强度时,试样的基材或饰面材料受到破坏;而当基材表层与饰面材料间的界面胶合强度小于其任意单一材料自身强度时,试样胶层剥离。图 1 所示 4 种粘合剂制备复合板材的表面胶合强度差异非常小,且相对数值偏小。从图 2 试样的破坏情况来看,4 种粘合剂制备的复合板材最先受到破坏的都是竹纤维增强酚醛泡沫夹芯,说明复合板材在表面胶合强度的测试中表现出的最大载荷主要与竹纤维增强酚醛泡沫夹芯自身强度相关,最大载荷小于界面胶层剥离所需要的载荷。因此,4 种粘合剂都能够满足复合板材的胶合强度要求。

以 10 个试样中不存在胶层剥离或开裂的试样百分数来反映复合板材的耐高温性能。由表 2 可见,120℃和 150℃时,耐高温性能从高到低依次为环氧 AB 胶>白胶>万能胶>塑料胶,且环氧 AB 胶制备的复合板材耐高温性能最佳,合格率均达到 100%,

白胶制备的复合板材耐高温性能次之。

表 2 不同粘合剂制备复合板材的耐高温性能合格率 %

耐高温温度 / $^\circ\text{C}$	粘合剂			
	环氧 AB 胶	白胶	万能胶	塑料胶
120	100	90	60	20
150	100	70	50	0

因此,从复合板材的性能角度考虑,薄竹贴面与竹纤维增强酚醛泡沫夹芯的最佳界面粘合剂为环氧 AB 胶。

2.2 网格材料增强复合板材的研究

采用无纺布、玻璃纤维布、不锈钢丝网、天然麻纤维网格布、抗裂的确良等 5 种不同网格材料增强薄竹面竹纤维增强酚醛泡沫夹芯复合板材,并对其增强效果进行了对比分析,结果如图 3~图 6 和表 3 所示。

(1) 压缩性能。

由图 3 可知,5 种不同网格材料使复合板材的压缩强度提高 0.72%~5.97%,提高效果并不明显。其中无纺布和天然麻纤维网格布增强效果最好,分别提高 5.97% 和 5.55%;在压缩弹性模量方面则是天然麻纤维网格布和无纺布增强效果最好,分别提高 4.59% 和 3.71%。主要是因为复合板材在受力压缩过程中,最先受到破坏的都是其夹芯泡沫层,因此复合板材压缩强度和压缩弹性模量的大小主要跟其夹芯泡沫层本身的压缩强度相关,网格材料主要是提高复合板材受力均匀性,增强效果不明显。

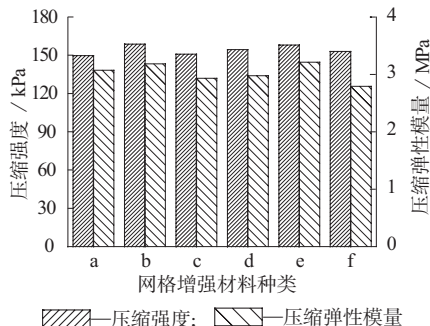


图 3 不同网格材料对复合板材压缩性能的影响

(2) 弯曲性能。

薄竹贴面的单板由于自身的纤维排列特点,其纵向和横向弯曲强度和弯曲弹性模量存在较明显的差异。而酚醛泡沫夹芯的弯曲强度和弯曲弹性模量相对较小,因此复合板材的弯曲强度大小主要取决于薄竹贴面和网格增强材料的力学性能。图 4、图 5

所示结果表明,从纵向弯曲强度来看,麻布、的确良布、玻璃纤维布、无纺布、不锈钢丝网等5种不同网格材料对复合板材的增强效果明显,提高10.89%~56.84%,且不锈钢丝网和麻布的增强效果最佳,分别提高56.84%和26.28%。从横向弯曲强度来看,5种不同网格材料的增强效果差异明显,其中麻布和不锈钢丝网的增强效果最佳,分别提高28.33%和28.09%;而无纺布、抗裂的确良和玻璃纤维布增强效果不明显,分别提高2.17%、3.95%和5.94%。同时,麻布、的确良布、玻璃纤维布、无纺布、不锈钢丝网等5种不同网格材料对复合板材的纵向和横向弯曲弹性模量都具有一定的增强效果,其中不锈钢丝网对纵向弯曲弹性模量增强效果最佳,麻布对横向弯曲弹性模量增强效果最佳。

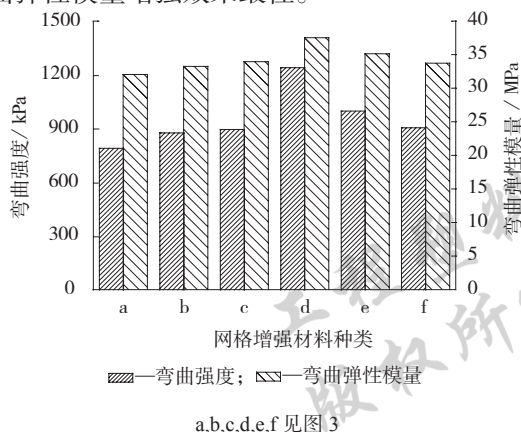


图4 不同网格材料对复合板材纵向弯曲性能的影响

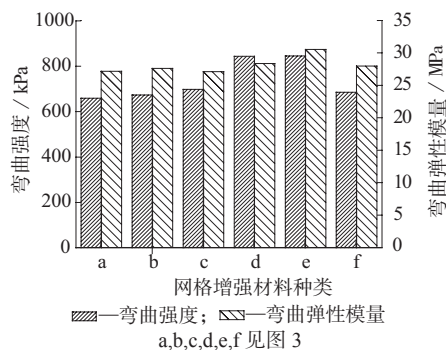


图5 不同网格材料对复合板材横向弯曲性能的影响

(3) 冲击强度。

图6是不同网格材料对复合板材冲击强度的影响。由图6可见,5种不同网格材料对复合板材增韧效果明显,分别提高10.81%~68.47%,说明浸胶固化后的5种不同网格材料具有较好的韧性,其中麻布和不锈钢丝网增韧效果明显好于的确良布、玻璃纤维布和无纺布,其板材冲击强度分别提高68.47%和59.16%。

(4) 尺寸稳定性。

复合板材的长度和宽度方向上的尺寸稳定性主要取决于酚醛泡沫芯材的性能,而厚度方向上的尺寸稳定性跟泡沫夹芯、薄竹贴面、增强网格材料

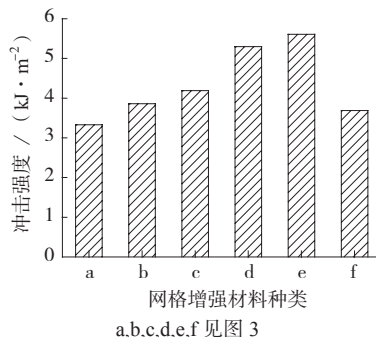


图6 不同网格材料对复合板材冲击强度的影响

以及胶层等元素都具有相关性。表3列出不同网格材料增强复合板材的尺寸稳定性。由表3可知,6种复合板材均呈现较好的尺寸稳定性,长度变化率为0.59%~1.02%,宽度变化率为0.62%~0.99%,厚度变化率为0.82%~1.16%,均小于2%,且不存在面材和芯材分离的现象,符合JC/T1051-2007“铝箔面硬质酚醛泡沫夹芯板”行业标准要求。

表3 不同网格材料增强复合板材的尺寸稳定性

试样名称	尺寸变化率/%		
	长度	宽度	厚度
未增强复合板	1.02	0.89	0.85
无纺布增强复合板	0.75	0.73	0.86
玻璃纤维布增强复合板	0.59	0.79	0.92
不锈钢丝网增强复合板	0.60	0.62	1.16
麻布增强复合板	0.59	0.99	0.82
的确良布增强复合板	0.99	0.79	1.05

(5) 复合板材应用。

由以上研究结果可以看出,天然麻纤维网格布和不锈钢丝网对薄竹面竹纤维增强酚醛泡沫夹芯复合板材的压缩性能、弯曲性能、冲击强度等力学性能的增强效果最佳。结合2种复合板材的实际生产可行性和可加工性的对比分析,确定天然麻纤维网格布为薄竹面竹纤维增强酚醛泡沫夹芯复合板材的最佳增强网格材料,未增强复合板材和天然麻纤维网格布增强复合板材的力学性能及其增强效果的分析如表4所示。与未增强薄竹面竹纤维增强酚醛泡沫夹芯复合板材相比,天然麻纤维网格布增强薄竹面竹纤维增强酚醛泡沫夹芯复合板材的压缩强度及压缩弹性模量提高5.55%和4.59%,纵向弯曲强度及弯曲弹性模量提高26.28%和11.55%,横向弯曲强度及弯曲弹性模量提高28.33%和12.36%,冲击强度提高68.47%。

天然麻纤维网格布增强薄竹面竹纤维增强酚醛泡沫夹芯复合板材的压缩强度 158.41 kPa, 纵向弯曲强度 999.82 kPa, 横向弯曲强度 845.90 kPa,

冲击强度 5.61 kJ/m^2 , 达到或接近 JC/T 1051-2007“铝箔面硬质酚醛泡沫夹芯板”行业标准, 在建筑节能保温领域具有良好的应用前景。

表 4 麻布增强复合板材的力学性能汇总

复合板类型	压缩强度 / kPa	压缩弹性模量 / MPa	纵向弯曲性能		横向弯曲性能		冲击强度 / $(\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2})$
			强度 / kPa	弹性模量 / MPa	强度 / kPa	弹性模量 / MPa	
未增强复合板	150.08	3.072	791.77	32.041	659.17	27.182	3.33
麻布增强复合板	158.41	3.213	999.82	35.741	845.90	30.543	5.61
增强率 / %	5.55	4.59	26.28	11.55	28.33	12.36	68.47

3 结论

(1) 环氧 AB 胶、白胶、万能胶和塑料胶 4 种胶粘剂都能够满足复合板材的胶合强度要求, 但耐 120℃ 和 150℃ 高温性能从高到低依次为环氧 AB 胶 > 白胶 > 万能胶 > 塑料胶, 且环氧 AB 胶耐高温合格率达到 100%。

(2) 无纺布、玻璃纤维布、不锈钢丝网、天然麻纤维网格布、抗裂的确良等 5 种不同网格材料增强的薄竹面竹纤维增强酚醛泡沫夹芯复合板材的试验结果表明, 天然麻纤维网格布和不锈钢丝网对薄竹面竹纤维增强酚醛泡沫夹芯复合板材的压缩性能、弯曲性能、冲击强度等力学性能的增强效果最佳, 但不锈钢丝网增强存在前期生产工艺复杂、不利于后续加工等缺点, 因此天然麻纤维网格布为最佳增强材料。

(3) 天然麻纤维网格布增强薄竹面竹纤维增强酚醛泡沫夹芯复合板材与未增强复合板材相比, 其压缩强度提高 5.55%、纵向弯曲强度提高 26.28%、横向弯曲强度提高 28.33%、冲击强度提高 68.47%。且天然麻纤维网格布增强薄竹面竹纤维增强酚醛泡沫夹芯复合板材的压缩强度 158.41 kPa、纵向弯曲强度 999.82 kPa、横向弯曲强度 845.90 kPa、冲击强度 5.61 kJ/m^2 、尺寸变化率 < 2%, 性能达到或接近 JC/T 1051-2007“铝箔面硬质酚醛泡沫夹芯板”行业标准。

参考文献

- [1] 胡立红, 周永红, 刘瑞杰, 等. 生物质酚醛泡沫塑料的研究进展[J]. 化工新型材料, 2012, 40(1): 44-46.
Hu Lihong, Zhou Yonghong, Liu Ruijie, et al. Progress of bio-based phenolic foam[J]. New Chemical Materials, 2012, 40(1): 44-46.
- [2] 路国忠, 闫晶, 周丽娟, 等. 改性酚醛泡沫板建筑外墙外保温系统的研究[J]. 新型建筑材料, 2012(10): 64-67.
Lu Guozhong, Yan Jing, Zhou Lijuan, et al. Study on building external thermal insulation composite system with modified phenolic foam panel[J]. New Building Materials, 2012(10): 64-67.
- [3] 开波, 郑超, 吕虎, 等. 酚醛树脂在外墙保温防火方面性能研究与应用[J]. 工程塑料应用, 2012, 40(2): 28-30.
Qi Bo, Zheng Chao, Lu Hu, et al. Research and application of phenolic resin in the external thermal insulation and fire resistance composite system[J]. Engineering Plastics Application, 2012, 40(2): 28-30.
- [4] 佚名. 2008 年全国火灾统计情况[J]. 中国急救复苏与灾害医学杂志, 2009(4): 226.
National Fire Statistics in 2008[J]. China Journal of Emergency Resuscitation and Disaster Medicine, 2009(4): 226.
- [5] 钱伯章. 节能保温材料的研发进展[J]. 国外塑料, 2010(2): 32-36.
Qian Bozhang. Progress in energy-saving insulation material's R & D[J]. World Plastics, 2010(2): 32-36.
- [6] 宋新武, 查晓雄. 建筑用绝热金属面夹芯板抗弯承载力的试验研究[J]. 工业建筑, 2011, 41(3): 9-15.
Song Xinwu, Zha Xiaoxiong. Experimental study on the bending capacity of metal surface insulating sandwich panels[J]. Industrial Construction, 2011, 41(3): 9-15.

《工程塑料应用》杂志开设“技术转让与合作”、“企业风采”栏目

为做好广大作者、读者单位最新科研成果及新产品、新技术的推广服务,《工程塑料应用》杂志和“工程塑料网”(www.epa1973.com)网站已开设“技术转让与合作”栏目,以方便买卖双方的有效交流与沟通。栏目内容可涉及科研成果及专利技术的转让,公司新产品、新技术简介等方面。另外,为了全方位宣传塑料行业精英企事业单位形象,《工程塑料应用》杂志增设“企业风采”栏目。报道内容主要是企业发展历史、企业文化、企业管理、研发创新能力、新产品发布、攻关项目介绍,人物专访等。来稿字数控制在 5 000 字以内,可以附带图片。

《工程塑料应用》为中文核心期刊,是中国合成树脂供销协会会刊,国内外公开发行,屡获国家期刊奖,是中国塑料行业的权威媒体,知名度高,发行量大,可确保您发布的信息有足够的浏览量。欢迎各有关企事业单位踊跃投稿!

投稿时请加盖单位公章。具体刊登事宜请与编辑部直接联系。

地址: 济南市天桥区田庄东路 3 号 邮编: 250031

联系电话: 0531-85878223 85878057