

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2014.01.003

高强度酚醛层压布板的制备与性能研究

卢爱滨¹, 刘立柱^{1,2}, 翁凌¹, 金镇镐¹, 朱兴松¹

(1. 哈尔滨理工大学材料科学与工程学院, 哈尔滨 150040; 2. 哈尔滨理工大学工程电介质及其应用教育部重点实验室, 哈尔滨 150080)

摘要: 制备了高强度酚醛层压布板, 并研究了其性能。讨论了桐油改性酚醛树脂和针状硅灰石粉对酚醛层压布板冲击强度和弯曲强度的影响, 并对桐油改性酚醛树脂进行了耐热性能分析。研究表明, 将甲阶酚醛树脂和桐油改性酚醛树脂共混, 随着共混树脂中桐油改性酚醛树脂比例的增加, 以此为基体树脂制得的酚醛层压布板的冲击强度在横、纵两个方向上均有大幅度提高。与未添加针状硅灰石粉相比, 添加针状硅灰石粉酚醛层压布板的冲击和弯曲强度均有提高, 横、纵向冲击强度分别提高 23.3%, 9.1%, 弯曲强度分别提高 0.4%, 5.4%。针状硅灰石粉经偶联活化改性后, 与未偶联活化改性针状硅灰石粉相比, 添加改性针状硅灰石粉酚醛层压布板的冲击和弯曲强度进一步得到提高, 横、纵向冲击强度分别提高 3.9%, 15.0%, 弯曲强度分别提高 4.1%, 4.0%。350℃之前, 桐油改性酚醛树脂能保持比较好的热稳定性; 在大于 350℃的高温区, 桐油改性酚醛树脂较甲阶酚醛树脂的热稳定性下降明显。

关键词: 酚醛树脂; 桐油; 硅灰石粉; 层压板

中图分类号: TQ327.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2014)01-0012-06

Preparation and Properties of High Strength Phenolic Cloth Laminated Boards

Lu Aibin¹, Liu Lizhu^{1,2}, Weng Ling¹, Jin Zhengao¹, Zhu Xingsong¹

(1. College of Materials Science and Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150040, China; 2. Key Laboratory of Engineering Dielectric and Its Application, Ministry of Education, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: High strength phenolic cloth laminated boards were prepared and its properties were studied. The tung oil and acicular wollastonite powder on reinforcing and toughening modified resol resin was studied. The impact of tung oil modified phenolic resin and acicular wollastonite powder in phenolic cloth laminated board's impact strength and flexural strength was discussed, and heat resistance of tung oil modified phenolic resin was also carried out. The results show that the impact strength of laminated cloth board has greatly improved with the increase in the blending ratio of tung oil modified phenolic resin after blending resol resin and tung oil modified phenolic resin which as matrix resin. After adding acicular wollastonite powder, laminated board's impact strength and flexural strength are improved. Transverse and longitudinal impact strength are increased by 23.3%, 9.1%, flexural strength are increased by 0.4%, 5.4%. After adding modified acicular wollastonite powder, laminated board have further improve in impact strength and flexural strength if acicular wollastonite powder was modified by coupling agents. Transverse and longitudinal impact strength are increased by 3.9%, 15.0%, flexural strength are increased by 4.1%, 4.0%. Tung oil modified phenolic resin can maintain a relatively good thermal stability before at 350℃, thermal stability of tung oil modified phenolic resin decrease significantly compared to unmodified phenolic resin in the high-temperature region higher than 350℃.

Keywords: phenolic resin; tung oil; wollastonite powder; laminated board

酚醛树脂作为三大通用树脂之一, 具有良好的粘结性, 固化后的酚醛树脂具有较高的耐热性能、良好的介电性能、优异的耐烧蚀性能和较好的力学性能, 但是固化后酚醛树脂的最大缺点是脆性大, 耐冲击性不好^[1]。随着对酚醛树脂性能要求的提高, 普通酚醛树脂已经很难满足许多高新技术领域的要求, 于是酚醛树脂的改性成为当今研究的一大热点^[2]。3025 酚醛层压布板是由专用细棉布浸以酚醛树脂经烘焙、热压而制成, 其力学性能好, 耐热等级为

E 级, 适用于制备机械设备中作运转、抗震的零部件。

制备高强度酚醛层压布板, 需要对酚醛树脂进行增强增韧改性。目前酚醛树脂增韧改性方式主要有两大类: 内增韧和外增韧, 单一改性方式的研究较多, 两者结合复合改性的方式研究较少。桐油是

联系人: 刘立柱, 主要从事电工用高分子材料、聚合物基复合材料的研究

收稿日期: 2013-10-19

我国优势的林产资源,其主要成分是桐油酸三甘油酯,组成桐油的脂肪酸中约含有 85% 的十八碳共轭三烯酸,利用桐油结构中共轭双键具有较大反应活性的特点,可应用于酚醛树脂的增韧改性^[3]。针状硅灰石粉在我国来源丰富,具有高的细度和大长径比,用于填充可起到良好的增强增韧效果^[4],将桐油和针状硅灰石粉两者结合用于复合改性可实现优势互补。甲阶酚醛树脂和桐油改性酚醛树脂属同一类树脂,共混相容性好。笔者对比分析了甲阶酚醛树脂和桐油改性酚醛树脂不同共混比例所制得酚醛层压板的冲击强度和弯曲强度,对针状硅灰石粉的填充改性效果进行了分析评价,为制备高强度酚醛层压板提供借鉴。

1 实验部分

1.1 主要原材料

桐油:蓬莱市特种绝缘材料厂;

细棉布:密度为 123 g/m^3 ,蓬莱市特种绝缘材料厂;

针状硅灰石粉:粒径为 $11\text{ }\mu\text{m}$,长径比为 20,沈阳金岗硅灰石矿业有限公司;

硅烷偶联剂:DB-550,南京奥城化工有限公司;

苯酚、甲醛溶液(37%)、对甲苯磺酸、三乙醇胺、氨水、乙醇(95%):分析纯,天津市瑞金特化学品有限公司。

1.2 主要仪器与设备

平板硫化机:XLB-0400 $\times$ 400 型,上海轻工机械股份有限公司;

冲击试验机:XJJ-5 型,承德试验机有限责任公司;

万能材料试验机:AGS-J 10KN 型,江苏天源试验设备有限公司;

傅立叶变换红外光谱(FTIR)仪:EQUINOX55 型,美国布鲁克公司;

砂磨分散多用机:JSF-400 型,上海浦申化工机械有限公司;

热重分析仪:Pyris 6 TGA 型,美国 Perkin-Elmer 公司。

1.3 试样制备

(1) 甲阶酚醛树脂的制备。

在装有搅拌器、冷凝管、温度器的三口烧瓶中依次加入苯酚 100 g,甲醛 100 g,氨水 4~6 mL,快速升温至沸腾,反应 1~2 h 后乳化分层,进行减压蒸馏,脱除水分和部分未反应的单体,当脱水量接

近理论脱水量(甲醛溶液中的水和缩合反应产生的水共 75 g 左右)时,树脂变得淡黄透明,此时停止脱水。加入溶剂乙醇,调节树脂胶液的黏度和固含量,使胶液的流出时间控制在 20~25 s(使用涂-4 杯,20℃),固含量控制在 45% 左右,测试树脂胶液的凝胶化时间。

(2) 桐油改性酚醛树脂的制备。

在装有搅拌器、冷凝管、温度器的三口烧瓶中加入热熔好的苯酚 125 g,缓慢滴加桐油 60~80 g,以对甲苯磺酸为催化剂,升温至 80~90℃反应 1~2 h,用 NaOH 溶液检验合格(滴加后成白色珠状,无油花现象)后,加三乙醇胺调 pH 值至中性。在 50℃加甲醛溶液 80~100 g,以氨水为催化剂,升温至 90~100℃反应 1~2 h,当反应物出现黄色浑浊时,测其凝胶化时间,合格(在 160℃测定的凝胶化时间为 300~350 s)后,进行减压蒸馏,脱除水分和部分未反应的单体,当脱水量接近理论脱水量(甲醛溶液中的水和缩合反应产生的水共 70 g 左右)时停止脱水。加溶剂乙醇,通过调节乙醇的加入量调节树脂胶液黏度和固含量,使胶液的流出时间控制在 30~35 s(使用涂-4 杯,20℃)固含量控制在 45% 左右,测试树脂胶液的凝胶化时间。

(3) 针状硅灰石粉的偶联活化改性。

在三口烧瓶中加入 10 质量份的针状硅灰石粉和 100 质量份的乙醇,滴加 0.1 质量份的硅烷偶联剂 DB-550,以 200 r/min 的转速进行搅拌,同时在 60~70℃下进行超声处理,时间为 3~5 h,干燥、研磨后得偶联活化改性后的针状硅灰石粉。

(4) 酚醛层压板的制备。

利用砂磨分散机将针状硅灰石粉均匀分散在不同配比的甲阶酚醛树脂和桐油改性酚醛树脂共混胶液中,将树脂胶液涂刷于细棉布表面,使其均匀浸渍,将浸渍后的棉布置于 120℃烘箱中,烘焙 10~15 min。测定烘焙后上胶布的树脂质量分数、可溶性树脂质量分数和挥发物质量分数,通过调整树脂胶液的上胶量,使烘焙后上胶布树脂的质量分数控制在 45%~50%,参考共混树脂胶液的凝胶化时间,调整烘焙时间,使烘焙后上胶布可溶性树脂质量分数控制在 93%~98%,挥发物质量分数控制在 2%~4%。裁剪烘焙后的上胶布,叠成 24 层,先在平板硫化机上预热,预热温度为 120℃,时间为 10~15 min,预压压力为 3~5 MPa,再根据流胶情况加温加压,终压为 9~10 MPa,温度为 160℃,热压时

间为1~2 h。

1.4 性能测试与表征

弯曲强度按 GB/T 4722-1992 测试,试样尺寸为 84 mm×15 mm×4 mm,测试速率为 10 mm/min。

冲击强度按 GB/T 1843-2008 测试,无缺口试样,试样尺寸为 80 mm×10 mm×4 mm。

凝胶化时间测试:采用平板小刀法,将聚速板置于可调电炉上,加热到 160℃,取 1~2 g 倒在聚速板上,记录树脂在恒定温度下由熔融到拉丝的时间,即为树脂在此温度下的凝胶化时间。

树脂胶液固含量测试:取一恒重坩埚,称其质量,记为 m_0 ,取 1 g 左右树脂胶液于坩埚中,再称其总质量,记为 m_1 ,然后将其放入 160℃ 的恒温烘箱中固化处理 60 min,取出,放入干燥器中冷却至室温,称其质量,记为 m_2 。树脂胶液的固含量 S 按式 (1) 计算:

$$S = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100\% \quad (1)$$

烘焙后上胶布树脂质量分数测试:分别取细棉布、未烘焙的浸渍布和烘焙后的上胶布,均裁剪成 50 mm×50 mm,称其质量,分别记为 n_0 , n_1 和 n_2 。烘焙后上胶布的树脂质量分数 W 按式 (2) 计算:

$$W = \frac{n_2 - n_0}{n_1} \times 100\% \quad (2)$$

烘焙后上胶布挥发物质量分数测试:烘焙后上胶布挥发物的质量分数 R 按式 (3) 计算:

$$R = \frac{n_1 - n_2}{n_1 - n_0} \times 100\% \quad (3)$$

烘焙后上胶布可溶性树脂质量分数测试:将裁剪好烘焙后的上胶布置于丙酮溶剂中 30 min,充分溶解后置于 120℃ 的恒温烘箱中 10~15 min,烘除溶剂,称其质量,记为 n_3 。烘焙后上胶布可溶性树脂的质量分数 K 按式 (4) 计算:

$$K = \frac{n_2 - n_3}{n_2 - n_0} \times 100\% \quad (4)$$

FTIR 分析:对桐油、桐油-苯酚加成物、甲阶酚醛树脂和桐油改性酚醛树脂分别取样进行 FTIR 分析,设置分辨率为 10 cm^{-1} ,谱区范围为 500~4000 cm^{-1} 。

热失重分析:对甲阶酚醛树脂和桐油改性酚醛树脂分别取样分析,设定升温速度为 20 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$,从 100℃ 升至 700℃,氮气气氛。

2 结果与讨论

2.1 FTIR 分析

图 1 为桐油和桐油-苯酚加成物的 FTIR 谱图,图 2 为甲阶酚醛树脂和桐油改性酚醛树脂的 FTIR 谱图。

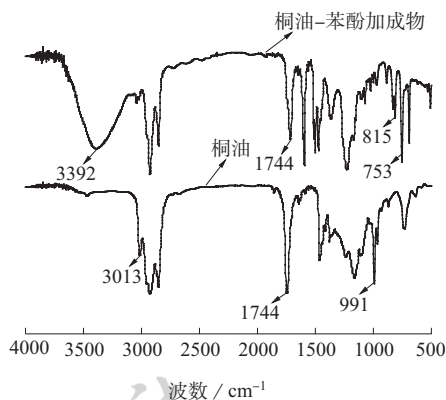


图 1 桐油和桐油-苯酚加成物的 FTIR 谱图

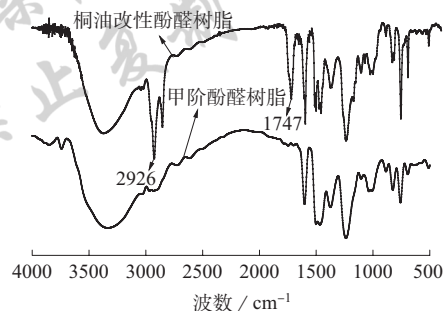


图 2 甲阶酚醛树脂和桐油改性酚醛树脂的 FTIR 谱图

由图 1 可看出,桐油中 3013 cm^{-1} 处 $\text{C}=\text{H}$ 的伸缩振动吸收峰在桐油-苯酚反应产物中消失,991 cm^{-1} 处 $\text{C}=\text{H}$ 的面外弯曲振动吸收峰明显消失;反应后,在 3392 cm^{-1} 处出现酚羟基的伸缩振动吸收峰,1650~1450 cm^{-1} 处出现苯环 $\text{C}=\text{C}$ 骨架振动吸收峰;1744 cm^{-1} 处酯基 $\text{C}=\text{O}$ 伸缩振动吸收峰反应前后均存在,且峰强度无明显变化;在 815,753 cm^{-1} 处出现酚环邻位和对位 $\text{C}-\text{H}$ 弯曲振动吸收峰,且对位氢的峰强度比邻位氢的峰强度小。由此可以确定桐油与苯酚的反应是苯酚中酚羟基的邻、对位氢和桐油分子链中的共轭双键之间的反应,且酚羟基的对位氢和桐油分子链中的共轭双键发生反应的几率比邻位氢大;在反应过程中苯酚的酚羟基和桐油链中的酯基均未参与反应^[5]。

由图 2 可以看出,桐油改性酚醛树脂中在 1747 cm^{-1} 处增加了酯基伸缩振动吸收峰,2926 cm^{-1} 处的亚甲基伸缩振动吸收峰增强。说明

在酚醛树脂分子结构中引入了桐油分子柔性链。酯基的存在使桐油改性酚醛树脂在 $3\,200 \sim 3\,550\text{ cm}^{-1}$ 处可观察到较强的氢键缔合作用。

2.2 热稳定性分析

图3为甲阶酚醛树脂和桐油改性酚醛树脂的热失重曲线。由图3可知,甲阶酚醛树脂从 $168\text{ }^{\circ}\text{C}$ 开始有一失重,这是树脂中残余水分的蒸发和小分子物质的分解引起的;在 $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之前,曲线较为平稳,无明显失重,树脂结构基本保持稳定; $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之后,树脂开始分解,失重比较快,最后炭化,且有很高的质量保持率。桐油改性酚醛树脂在开始阶段热失重不明显,这可能是因为桐油改性后,未参与固化的小分子物质如游离的甲醛和苯酚等都得到了充分的聚合,从而导致开始时热失重较甲阶酚醛树脂不明显;从 $380\text{ }^{\circ}\text{C}$ 开始,失重速率突然加快,树脂开始分解,这是因为引入桐油分子柔性长链后,树脂结构中的酯基和亚甲基开始断裂并氧化分解,从而导致树脂快速分解,失重速率突然加快;最后炭化之后的质量保持率明显低于甲阶酚醛树脂,这主要是因为加入桐油后,活性氢减少而空间位阻增大,羟甲基酚之间更易脱水形成醚键,在高温下醚键易断裂而使聚合物裂解,形成小分子逸出,导致树脂的质量保持率明显降低^[6]。

综合来看, $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之前,桐油改性酚醛树脂的质量保持率与甲阶酚醛树脂基本持平,维持在 90% 以上,能保持比较好的热稳定性;但在大于 $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温区,桐油改性酚醛树脂的热稳定性较甲阶酚醛树脂下降明显。对于酚醛层压板,耐热等级的要求为 E 级,虽然桐油改性酚醛树脂在高温区的热稳定性有所下降,但完全符合酚醛层压板 E 级耐热要求,不会对高强度酚醛层压板的实际应用产生影响。

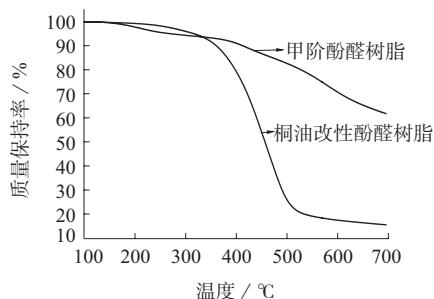


图3 甲阶酚醛树脂与桐油改性酚醛树脂热失重曲线

2.3 桐油改性酚醛树脂用量对共混树脂凝胶化时间的影响

表1为桐油改性酚醛树脂和甲阶酚醛树脂共混后,不同桐油改性酚醛树脂质量分数对共混树脂凝

胶化时间的影响。

表1 桐油改性酚醛树脂质量分数对共混树脂凝胶化时间的影响

桐油改性酚醛树脂质量分数 / %	0	33	50	67	100
凝胶化时间 / s	150	197	240	304	338

由表1可知,随桐油改性酚醛树脂质量分数的增加,共混树脂的凝胶化时间逐渐延长。在 $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下,甲阶酚醛树脂的凝胶化时间为 150 s ,桐油改性酚醛树脂的凝胶化时间为 338 s ,桐油改性酚醛树脂的凝胶化时间是甲阶酚醛树脂的1倍多。这是因为桐油与苯酚上的部分邻、对位氢发生反应,使可与甲醛反应的活化点数量减少,且在酚醛树脂分子结构中引入了桐油柔性大分子链后,产生空间位阻,阻碍了羟甲基与苯环其它两个活性点的碰撞反应,使体系的反应活化能增加,反应速率相应降低,聚合速度减慢,从而使树脂的凝胶时间延长^[7]。在层压过程中,凝胶化时间的延长有利于控制流胶,提高层压板制备工艺的可操作性。

2.4 酚醛层压板的力学性能

本实验所用细棉布为单向布,在横、纵两个方向上布纤维的强弱不同,会导致层压板在横、纵两个方向上的力学性能有一定偏差,这对所有实验结果的影响都是一样的,因此不会对实验结果产生影响。

图4和图5分别为不同质量分数桐油改性酚醛树脂对酚醛层压板冲击强度和弯曲强度的影响。

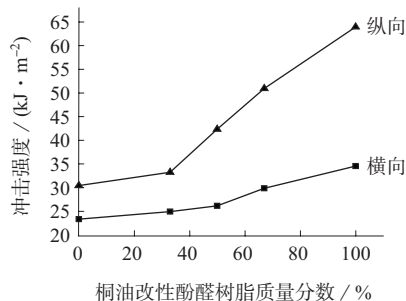


图4 桐油改性酚醛树脂质量分数对酚醛层压板冲击强度的影响

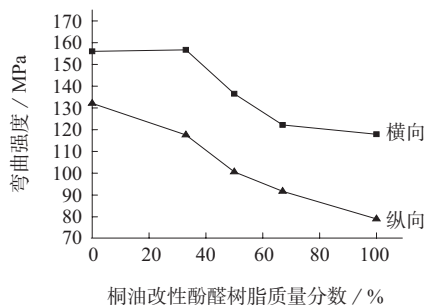


图5 桐油改性酚醛树脂质量分数对酚醛层压板弯曲强度的影响

从图4可看出,将甲阶酚醛树脂和桐油改性酚醛树脂共混后,随着共混树脂中桐油改性酚醛树脂

质量分数的增加,以此为基体树脂制得的酚醛层压布板的冲击强度在横、纵两个方向上均有大幅度提高,说明桐油改性酚醛树脂能明显改善酚醛层压布板的冲击韧性。这是因为桐油柔性长链接入到酚醛树脂分子链结构中,提高了分子链的柔韧性,使快速冲击得到有效的缓冲,从而在宏观上提高了酚醛层压布板的冲击韧性。

桐油改性酚醛树脂虽然能明显提高酚醛层压布板的冲击强度,但从图5可以看出,随着共混树脂中桐油改性酚醛树脂质量分数的增加,以此为基体树脂制得的酚醛层压布板弯曲强度下降明显。在实际应用中,可适当调节甲阶酚醛树脂和桐油改性酚醛树脂的共混比例,以适应不同酚醛层压布板对冲击强度和弯曲强度的要求。

图6和图7分别为针状硅灰石粉对酚醛层压布板冲击强度和弯曲强度的影响。从图6可看出,与未添加针状硅灰石粉的酚醛层压布板相比,加入针状硅灰石粉后,酚醛层压布板的横、纵向的冲击强度分别提高23.3%,9.1%,弯曲强度分别提高0.4%,5.4%,酚醛层压布板的冲击强度和弯曲强度在横、纵两个方向上均有提高,且冲击强度提高更明显。这是因为对酚醛层压布板施加外力时,裂纹扩展除了必须克服纤维布的拉伸和断裂外,还要克服针状粉体的拔出和断裂,而且针状粉体的存在加大了裂纹转向的几率,从而起到增强增韧的作用^[8-9]。与未偶联活化改性针状硅灰石粉相比,添加针状硅灰石粉经偶联活化改性后,酚醛层压布板的横、纵向冲击强度分别提高3.9%,15.0%,弯曲强度分别提高4.1%,4.0%,这是因为针状硅灰石粉经偶联活化改性后,提高了粉体与聚合物的湿润性与界面结合力,从而更好地起到增强与增韧的作用^[10]。

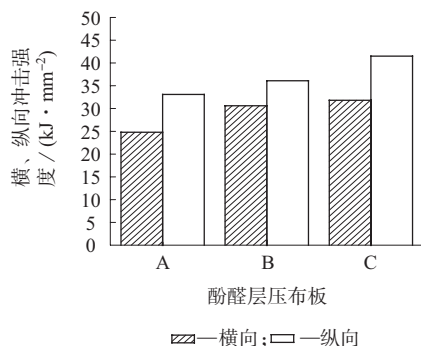


图6 针状硅灰石粉对酚醛层压布板冲击强度的影响
A—无针状硅灰石粉; B—加入未改性针状硅灰石粉质量分数 10%;
C—加入改性针状硅灰石粉质量分数 10%

图6 针状硅灰石粉对酚醛层压布板冲击强度的影响

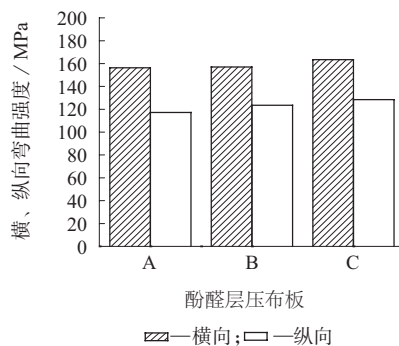


图7 针状硅灰石粉对酚醛层压布板弯曲强度的影响
A—无针状硅灰石粉; B—加入未改性针状硅灰石粉质量分数 10%;
C—加入改性针状硅灰石粉质量分数 10%

图7 针状硅灰石粉对酚醛层压布板弯曲强度的影响

3 结论

(1) 350℃之前,桐油改性酚醛树脂的质量保持率与甲阶酚醛树脂的基本持平,维持在90%以上,能保持比较好的热稳定性;但在大于350℃的高温区,桐油改性酚醛树脂的热稳定性较甲阶酚醛树脂下降明显。

(2) 将甲阶酚醛树脂和桐油改性酚醛树脂共混,随着共混树脂中桐油改性酚醛树脂质量分数的增加,以此为基体树脂制得的酚醛层压布板的冲击强度在横、纵两个方向上均有大幅度提高,桐油改性酚醛树脂可明显改善酚醛层压布板的冲击强度;但酚醛层压布板的弯曲强度在横、纵两个方向上下降明显。

(3) 与未添加针状硅灰石粉相比,添加针状硅灰石粉酚醛层压布板的冲击和弯曲强度均有提高,横纵向冲击强度分别提高23.3%,9.1%,弯曲强度分别提高0.4%,5.4%。针状硅灰石粉经偶联活化改性后,与未偶联活化改性针状硅灰石粉相比,添加改性针状硅灰石粉酚醛层压布板的冲击和弯曲强度进一步得到提高,横、纵向冲击强度分别提高3.9%,15.0%,弯曲强度分别提高4.1%,4.0%。

参考文献

- [1] 王艳志,马勤,冯辉霞. 酚醛树脂的复合改性研究进展[J]. 应用化工,2009,38(2):286-288.
Wang Yanzhi, Ma Qin, Feng Huixia. Development of phenolic resin modified compositely[J]. Applied Chemical Industry, 2009, 38(2):286-288.
- [2] 刘涛. 改性酚醛树脂的制备及其性能的研究[D]. 武汉: 武汉大学材料科学与工程学院, 2009.
Liu Tao. Preparation and study on properties of modified phenolic resin[D]. Wuhan: School of Materials Science and Engineering of Wuhan University, 2009.
- [3] 邵美秀,陈敏,袁新华,等. 桐油改性酚醛树脂及其在刹车片中的

- 应用研究[J]. 工程塑料应用, 2005, 33(7):33-35.
- Shao Meixiu, Chen Min, Yuan Xinhua, et al. Research and application of the brakes of phenolic resin modified with tung oil[J]. Engnerring Plastics Application, 2005, 33(7):33-35.
- [4] 樊世民, 杨玉芬, 盖国胜, 等. 矿物颗粒表面纳米化修饰及其在 PP 复合材料中的应用[J]. 复合材料学报, 2005, 22(1):68-71.
- Fan Shimin, Yang Yufen, Gai Guosheng, et al. Preparation of industrial mineral composite powders and the application in PP composites[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2005, 22(1):68-71.
- [5] 袁新华, 何坤, 陈敏, 等. 桐油改性酚醛树脂的制备及性能[J]. 江苏大学学报, 2007, 28(6):501-503.
- Yuan Xinhua, He Kun, Chen Min, et al. Preparation and characteristic of phenolic resin modified by tung oil[J]. Journal of Jiangsu University, 2007, 28(6):501-503.
- [6] 陈建. 影响液体酚醛树脂残炭率的因素[J]. 炭素技术, 2003, 127(4):8-10.
- Chen Jian. Some factors affecting carbon yield ratio of liquid phenilic resin[J]. Carbon techniques, 2003, 127(4):8-10.
- [7] 马玉峰, 张伟, 王春鹏, 等. 催化剂对酚醛树脂及其泡沫材料性能的影响[J]. 工程塑料应用, 2012, 40(12):7-11.
- Ma Yufeng, Zhang Wei, Wang Chunpeng, et al. Effect of different catalysts on the properties of phenolic resins and foam materials[J]. Engnerring Plastics Application, 2012, 40(12):7-11.
- [8] 王荣国, 武卫莉, 谷万里. 复合材料概论[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004.
- Wang Rongguo, Wu Weili, Gu Wanli. Introduction of composite materials[M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 2004.
- [9] Yi Gewen, Yan Fengyuan. Mechanical and tribological properties of phenolic resin-based friction composites filled with several inorganic fillers[J]. Wear, 2007, 262(3):121-129.
- [10] 张文治, 章文贡, 汤永艳. 硅灰石粉的偶联活化改性研究[J]. 塑料, 2005, 34(1):69-71.
- Zhang Wenzhi, Zhang Wengong, Tang Yongyan. Coupling activation modification of wollastonite powder[J]. Plastic, 2005, 34(1):69-71.

欢迎订阅 2014 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘

邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

也可直接通过邮局或银行汇款向《工程塑料应用》杂志社订阅《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘, 请注明订阅期刊/光盘的名称、收件人、邮编及地址。

《工程塑料应用》国内外公开发行的全国性塑料专业技术类刊物, 月刊, 大 16 开本, 每月 10 日出版。本刊为中文核心期刊, 是中国合成树脂供销协会会刊, 荣获首届、第二届、第三届国家期刊奖等多项国家、省部级优秀期刊奖, 入选美国化学文摘 (CA) 千种表。2014 年定价 15 元/期, 全年 180 元。目前杂志社尚有部分 1986 年以来的单册和合订本库存, 如需订阅, 请联系杂志社。

《化学分析计量》国内外公开发行的全国性分析、计量专业技术类刊物, 双月刊, 大 16 开本, 单月 20 日出版。本刊为中国科技核心期刊, 荣获多项省部级优秀期刊奖, 入选美国化学文摘 (CA) 千种表。2014 年定价 15 元/期, 全年 90 元。目前杂志社尚有部分 1992 年以来的单册和合订本库存, 如需订阅, 请联系杂志社。

《工程塑料应用》、《化学分析计量》合订本光盘 杂志社已将《工程塑料应用》自创刊号 (1973 年) 至 2013 年底共 41 卷 290 期的期刊电子化, 并制成合订本光盘, 现公开发售; 同时也将《化学分析计量》自创刊号 (1992 年) 至 2013 年底

共 22 卷 96 期的期刊电子化, 并制成合订本光盘, 现公开发售。分别利用这两种合订本光盘既可按作者、文题、关键词、年、期等分类查阅各期刊已发表的所有科技文章和科技信息的全文, 又可根据读者自定义的关键词进行全文检索, 非常方便、实用。

《工程塑料应用》合订本光盘优惠售价 530 元; 《化学分析计量》合订本光盘优惠售价 230 元。

邮局汇款:

收款单位: 济南市天桥区田庄东路 3 号杂志社

邮编: 250031

电话: (0531)85878223 85878057 85878278

传真: (0531)85947355

银行汇款:

户 名: 中国兵器工业集团第五三研究所

开户银行: 济南市工商银行经十一路支行

账 号: 1602001229014425546

网上订阅: <http://www.epa1973.com>