

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.05.026

## 固化剂对酚醛模塑料性能影响

吉康, 卢禹彤, 王浏浏, 张伟, 张德荣

(木质材料科学与应用教育部重点实验室, 木材科学与工程北京市重点实验室, 北京林业大学, 北京 100083)

**摘要:** 六亚甲基四胺(乌洛托品)受热分解为二胺类物质,其通过与热塑性酚醛树脂的羟基进行缩合脱水,形成交联网状结构,发生固化反应。通过对热塑性酚醛树脂/固化剂的质量比进行单因素分析,重点研究其对酚醛模塑料的电绝缘性能、阻燃性能、力学性能和耐水性能的影响。结果表明,当热塑性酚醛树脂/固化剂的质量比为100/12时,制得的酚醛树脂模塑料的体积电阻率为 $1.27 \times 10^{10} \Omega \cdot m$ ,极限氧指数为30.20%,弯曲弹性模量为3910.46 MPa,冲击强度为1.9 kJ/m<sup>2</sup>,吸水率小于0.71%,表面接触角大于120°。

**关键词:** 酚醛模塑料; 固化剂; 质量比; 电绝缘性能; 阻燃性能

**中图分类号:** TQ323.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2021)05-0137-06

### The Effect of the Curing Agent on the Properties of Phenolic Moulding Plastic

Ji Kang, Lu Yutong, Wang Liuliu, Zhang Wei, Zhang Derong

(Key Laboratory of Wood Materials Science and Application, Ministry of Education, Beijing Key Laboratory of Wood Science and Engineering, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract :** Hexamethylenetetramine (Urotropine) was decomposed into diamines by heating. It was dehydrated by condensation with hydroxyl group of thermoplastic phenolic resin to form cross-linked network structure, and curing reaction takes place. Through the single factor analysis of the mass ratio of thermoplastic phenolic resin to curing agent, the effects of the mass ratio on the electrical insulation, flame retardancy, mechanical properties and water resistance of phenolic molding compound were studied. The results show that when the mass ratio of thermoplastic phenolic resin to curing agent is 100 / 12, the volume resistivity, limiting oxygen index, flexural modulus, impact strength, water absorption and surface contact angle of the phenolic resin molding compound are  $1.27 \times 10^{10} \Omega \cdot m$ , 30.20%, 3910.46 MPa, 1.9 kJ/m<sup>2</sup>, 0.71% and 120°, respectively.

**Keywords :** phenolic moulding plastic ; curing agent ; mass ratio ; electrical insulation property ; flame retardation

近年来,伴随着国家节能环保战略的提出和低碳经济的发展,电绝缘性能和阻燃性能均优异的酚醛模塑料由于其价格低廉、合成方便,固化后性能优异,逐渐成为了研究热点<sup>[1-3]</sup>。但热塑性酚醛树脂分子结构为线性结构,具有受热熔融且自身无法交联固化的特点,无法作为塑料产品直接应用。加入固化剂后,热塑性酚醛树脂能快速固化,制备的模塑料具有较好的刚度、耐磨和稳定性<sup>[4]</sup>,但对于固化过程中热塑性酚醛树脂与固化剂之间比例对固化体系综合性能影响的研究不够系统和全面<sup>[5-6]</sup>。固化程度及固化体系的分子结构直接决定了酚醛模塑料的各

项性能,因此合理使用固化剂,并控制固化剂的用量成为了影响酚醛模塑料性能的关键因素。

Deng Peng<sup>[7]</sup>为了提高环氧树脂(EP)的炭化性能和阻燃性能,采用含硼酚醛树脂(BPR)代替传统固化剂,用线性酚醛树脂(LPR)固化EP。R. S. Ramesh等<sup>[8]</sup>采用热压法制备不同树种、不同配比的化学处理木塑复合材料。将废木屑与酚醛在旋转搅拌机中充分混合后,再用热压法制成厚度为6 mm的木塑复合试件。Zhang Na等<sup>[9]</sup>采用晶须硅对木质素基酚醛树脂进行改性,制备了酚醛泡沫材料。崔学林<sup>[10]</sup>采用不同物质的量之比的甲醛与

**基金项目:** 中央高校基本科研业务费专项(2016ZCQ01)。

**通信作者:** 张德荣: 博士,高级实验师,从事木质复合材料研究 E-mail : zhdr666666@sina.com.cn

**收稿日期:** 2021-03-09

**引用格式:** 吉康, 卢禹彤, 王浏浏, 等. 固化剂对酚醛模塑料性能影响[J]. 工程塑料应用, 2021, 49(5) : 137-142.

Ji Kang, Lu Yutong, Wang Liuliu, et al. The effect of the proportion of curing agent on the properties of phenolic moulding plastic[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(5) : 137-142.

苯酚为反应原料,催化剂为氢氧化钡,制备酚醛树脂,以羟基化碳纳米管(MWCNTs-OH)为添加剂,通过超声分散,机械搅拌和化学预处理的方式修饰MWCNTs-OH,采用原位聚合法工艺制备了酚醛树脂/MWCNTs-OH。陈士年等<sup>[11]</sup>研究了一种耐热型环保酚醛树脂的玻纤增强模塑料,其发明方法合理,配比清晰,拉伸强度高,弯曲强度好,热变形温度低。由于固化剂的不同,以及固化比例的不同,得出的结论并不绝对,而笔者采用一种市场上常见的固化剂,探究了其固化比例对酚醛模塑料基体的影响,很大程度上保证了实验结果的准确性。

通常市场上使用六亚甲基四胺(乌洛托品)作为固化剂,目前,其与热塑性酚醛树脂的固化机理存在几种假设:(1)六亚甲基四胺受热分解为二胺类物质后与酚醛发生脱水反应,形成交联网络从而固化;(2)六亚甲基四胺水解出游离的甲醛单体,甲醛使热塑性酚醛树脂固化;(3)六亚甲基四胺受热分解出甲醛与酚醛树脂中未反应的邻、对位活性点结合,从而交联形成网状结构<sup>[12-13]</sup>。为了验证以上猜想,在前期预实验中,笔者探究了六亚甲基四胺的热分解实验,结果显示,六亚甲基四胺的热分解过程中并没有甲醛的释放,而固化过程中也并没有水的参与,故而更倾向于第一种假说,以此为基础进行的后续一系列实验。因此笔者以热塑性酚醛树脂/六亚甲基四胺的质量比在100/9~100/21之间的比例为考察因素,着重研究了其绝缘性能、阻燃性能、力学性能、耐水性能等。

## 1 实验方法

### 1.1 原材料

95%乙醇:分析纯,上海麦克林生化科技有限公司;

热塑性酚醛树脂:分析纯,市售;

六亚甲基四胺:分析纯,上海阿拉丁试剂有限公司。

### 1.2 实验设备

电子天平:YP20002型,上海越平科学仪器有限公司;

真空干燥箱:DZF-6050型,上海一恒科学仪器有限公司;

高速混合机:SHR-10A型,张家港市曙光机械厂;

傅里叶变换红外光谱(FTIR)仪:Nicolet 6700型,美国赛默飞世尔科技公司;

热重(TG)分析仪:Q500型,美国仪器公司;

万能力学试验机:3366型,德国英斯特朗公司;

平板硫化机:50T型,青岛亚东机械集团有限公司;

电阻测试仪:ST2643型,苏州晶格电子有限公司;

极限氧指数(LOI)测定仪:JF-3型,南京江宁区分析仪器厂;

悬臂梁冲击试验机:ZBC1000型,美特斯工业系统(中国)有限公司;

接触角测量仪:OCA20型,德国Dataphysics公司。

### 1.3 试样制备

取热塑性酚醛树脂150g,分成5份,放入烘箱烘干,4h后,取出研磨成粉与六亚甲基四胺粉末按照100/9,100/12,100/15,100/18,100/21的质量比进行共混,具体的配方见表1。将共混后的粉末放入自制的模具中;热压机预热150℃,压力10MPa,热压45min,模压成型,即可得到完整的样条,样条尺寸80mm×10mm×4mm,样条质量3.5~3.7g。

表1 热塑性酚醛树脂及固化剂的配方

| 热塑性酚醛树脂 | 六亚甲基四胺 | 共混粉末 |
|---------|--------|------|
| 30      | 2.7    | 32.7 |
| 30      | 3.6    | 33.6 |
| 30      | 4.5    | 34.5 |
| 30      | 5.4    | 35.4 |
| 30      | 6.3    | 36.3 |

### 1.4 性能测试

LOI按GB/T 2406.2-2009测试;

体积电阻率按GB/T 1410-2006测试;

弯曲强度和弯曲弹性模量按GB/T 9341-2000测试,测试速度为5mm/min;

冲击强度按GB/T 1043.1-2008测试;

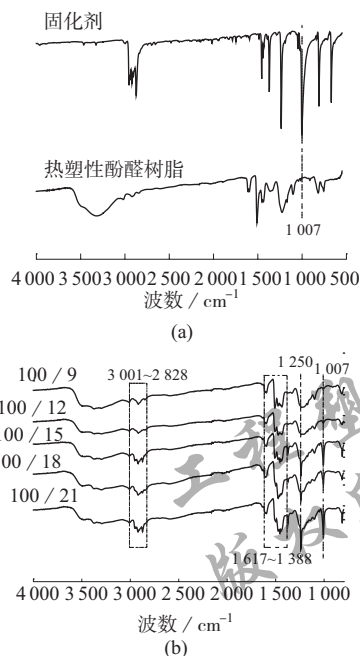
吸水率按GB/T 1034-2008测试。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同固化剂用量的酚醛模塑料的FTIR谱图

图1为热塑性酚醛树脂和固化剂及不同固化剂比例的酚醛模塑料的FTIR谱图。由图1a可见,热塑性酚醛树脂中3500~3200cm<sup>-1</sup>为—OH的伸缩振动,1388~1617cm<sup>-1</sup>区域内是典型的芳香环C—C骨架的伸缩振动峰,由图1b可见,其中3500~3200cm<sup>-1</sup>,1388~1617cm<sup>-1</sup>和1007cm<sup>-1</sup>处峰强均明显减少,这是因为热塑性酚醛树脂与固化剂发

生了反应。在固化后的热塑性酚醛树脂模塑料中,存在  $2828 \sim 3001 \text{ cm}^{-1}$  为亚甲基 ( $-\text{CH}_2-$ ) 和甲基 ( $-\text{CH}_3$ ) 的 C—H 的伸缩振动峰<sup>[14]</sup>,证明六亚甲基四胺与热塑性酚醛树脂进行反应生成了亚甲基键。同时在  $1007 \text{ cm}^{-1}$  处存在羟甲基 ( $-\text{CH}_2\text{OH}$ ) 的伸缩振动峰。在  $1250 \text{ cm}^{-1}$  为芳香环和脂肪族链上的 C—O 振动峰<sup>[15-16]</sup>。随着固化剂比例的增加,其各个峰的峰值也逐渐变强。固化剂热解出二胺类物质,而其并不稳定,在高温下与游离酚反应,释放  $\text{NH}_3$ ,形成亚甲基键交联树脂。



a—热塑性酚醛树脂和固化剂;b—不同固化剂比例的酚醛模塑料

图1 热塑性酚醛树脂和固化剂及不同固化剂比例的酚醛模塑料的 FTIR 谱图

## 2.2 固化剂用量对酚醛模塑料性能的影响

### (1) 固化剂用量对酚醛模塑料绝缘性能的影响。

图2为热塑性酚醛树脂/固化剂的体积电阻率。绝缘材料的电阻率很高,通常在  $1 \times 10^9 \Omega \cdot \text{m} \sim 1 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{m}$  的范围内。

图2可知,随着热固化剂用量的增加,酚醛模塑料的体积电阻率分别为  $0.98 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{m}$ ,  $1.27 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{m}$ ,  $1.09 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{m}$ ,  $1.14 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{m}$ ,  $1.09 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{m}$  且当热塑性酚醛树脂/固化剂质量之比为 100/12 时,酚醛模塑料的体积电阻率为  $1.27 \times 10^{10} \Omega \cdot \text{m}$ 。测试的体积电阻率普遍在绝缘材料的阻值之上,表明热塑性酚醛树脂模塑料具有优异的绝缘性。

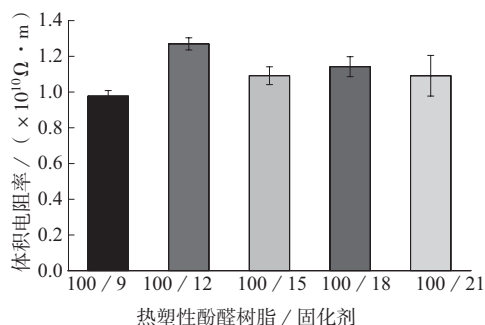


图2 热塑性酚醛树脂/固化剂的体积电阻率

### (2) 固化剂用量对模塑料阻燃性能的影响。

在电子、电器领域要求材料具有良好的阻燃性能,而 LOI 是允许火焰在氧气和氮气混合气体中燃烧的所需最小氧气浓度,是表征物质阻燃性一个重要指标。当 LOI 大于 27% 时,材料是阻燃的<sup>[17-19]</sup>。热塑性酚醛树脂/固化剂的 LOI 由图3所示。由图3可见,随着固化剂用量的增加,酚醛模塑料的 LOI 逐渐升高,阻燃性逐渐增强,在空气中材料燃烧的可能性逐渐降低,且当热塑性酚醛树脂/固化剂质量之比为 100/12 时,酚醛模塑料的 LOI 为 30.2%。这主要是因为酚醛模塑料的立体网状结构,主要由苯环基础单元和亚甲基键组成,随着固化剂用量的增加,网状结构中苯环含量增加,含碳量增加,燃烧时形成一层覆盖聚合物表面的碳层且碳层不断增加,不易燃烧,从而热塑性酚醛树脂/固化剂的 LOI 增加。

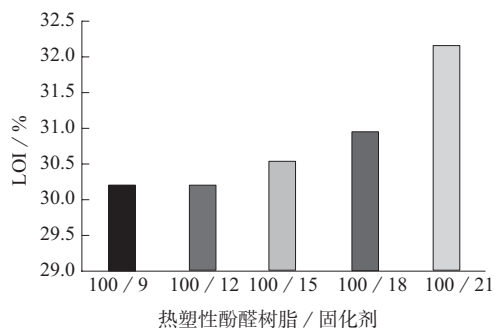


图3 热塑性酚醛树脂/固化剂的 LOI

### (3) 固化剂用量对酚醛模塑料力学性能的影响。

图4为热塑性酚醛树脂/固化剂的冲击强度和弯曲弹性模量。由图4a可见,随着固化剂用量的增加,热塑性酚醛模塑料冲击能量呈现不规则的变化,且断裂面均为完全断裂,这也证明了热塑性酚醛树脂具有脆性大的特点。这是因为随着固化剂的增大,羟甲基含量在酚醛树脂分子中逐渐增多,其交联固化程度逐渐增大,交联密度逐渐增强,但固化剂过量的加入,会使其释放更多的氨气在材料表面起泡,并

发生肿胀现象,降低其产品密度,降低其力学性能。但热塑性酚醛树脂/固化剂质量之比为100/21的冲击强度突然增大,可能是由于热压时间过长导致在反应中逐步形成大分子链,且产物分子量随时间的延长而增多,故而表面性能良好<sup>[20]</sup>。

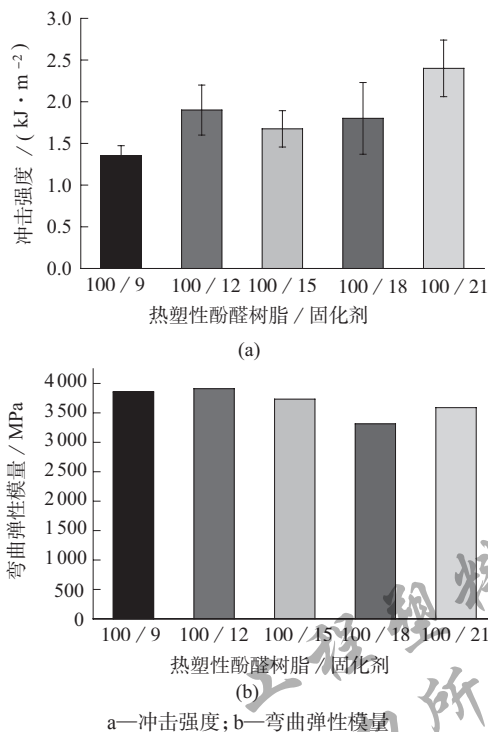


图4 热塑性酚醛树脂/固化剂的冲击强度和弯曲弹性模量

由图4b可见,随着固化剂用量的增加,热塑性酚醛模塑料的弯曲弹性模量先增大后减小,且当热塑性酚醛树脂/固化剂质量之比为100/12时,弯曲弹性模量为3910.46 MPa。这是因为随着固化剂用量的增加,羟甲基含量在酚醛树脂分子中逐渐增多,其固化交联程度逐渐增大,连接作用越来越强,但固化剂过量的加入,会使其释放更多的氨气在材料表面起泡,并发生肿胀现象,降低其产品密度,从而导致弯曲弹性模量下降。

#### (4) 固化剂用量对酚醛模塑料耐水性能的影响。

图5是不同比例的热塑性酚醛树脂/固化剂的吸水率和接触角。由图5a可见,将不同比例的热塑性酚醛树脂/固化剂模塑料放在蒸馏水中浸泡1, 2, 4, 8 d,可以看出热塑性酚醛树脂模塑料在吸水方面基本未发生吸水,在热塑性酚醛树脂/固化剂质量比为100/12时,其吸水率最大不超过0.71%,吸水率极小。由图5b可见,不同比例的接触角均大于120°,证明其表面为超疏水结构。这是因为六亚甲基四胺受热分解为二胺类物质,通过与酚醛的羟基

发生脱水反应,形成交联的网状结构,使其变成了不溶不熔的表面憎水的热固性酚醛树脂。

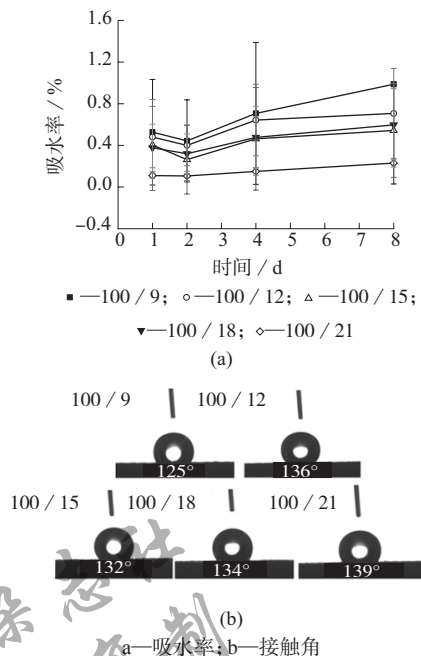


图5 不同比例的热塑性酚醛树脂/固化剂的吸水率和接触角

#### 2.3 固化剂用量对酚醛模塑料的热稳定性的影响

图6为热塑性酚醛树脂/固化剂的TG曲线和DTG曲线。

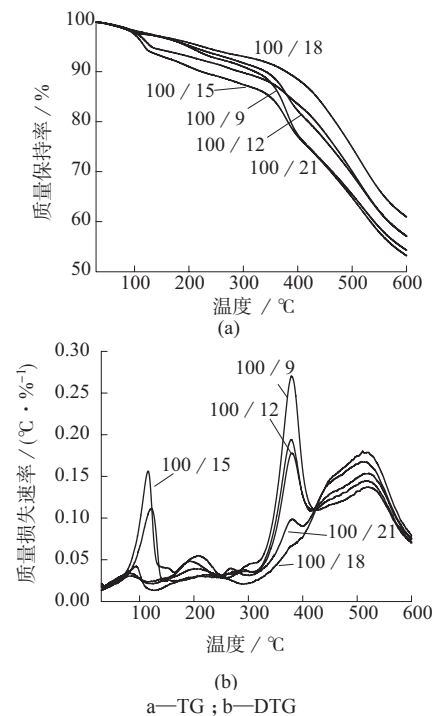


图6 热塑性酚醛树脂/固化剂的TG曲线和DTG曲线

热塑性酚醛树脂/固化剂降解主要分三个阶段,在110~210℃为第一降解阶段,质量损失是由羟甲基的缩聚反应产生的水分的蒸发造成的;210

~380℃为第二降解阶段,质量损失是由于固化剂的降解所致;380~570℃为第三降解阶段,质量损失是由于亚甲基桥的降解而产生CO和甲烷等一些低分子物质的挥发所致。根据图6a的TG曲线观察到酚醛树脂在600℃以下的质量保持率在50%以上,这主要是由于酚醛树脂受热燃烧时发生碳化和交联,故受热失重较小,发烟量较少,这是酚醛树脂的一个特点<sup>[21]</sup>。由图6b的DTG曲线可以看出,在质量比100/12时降解速率较为平稳,热稳定性更好。

### 3 结论

制备了热塑性酚醛树脂/固化剂质量之比分别为100/9,100/12,100/15,100/18,100/21的热塑性酚醛树脂模塑料并探究其电绝缘性能、阻燃性能、力学性能、耐水性能等。固化后的热塑性酚醛树脂模塑料的吸水性保持不变,均具有良好的阻燃和绝缘性能且测试结果普遍超过了国家标准,力学性能也符合模塑料的国家标准。综合分析后得出:当热塑性酚醛树脂/固化剂质量之比为100/12时,酚醛模塑料的综合性能最佳。制得的酚醛树脂模塑料的LOI为30.20%;体积电阻率为 $1.27 \times 10^{10} \Omega \cdot m$ ;弯曲弹性模量为3910.46 MPa;冲击强度为1.9 kJ/m<sup>2</sup>;吸水率小于0.74%;表面接触角大于120°,可以作为工程及民用领域的电绝缘和阻燃型塑料应用。

### 参考文献

- [1] 张伟,庄晓伟,许玉芝,等. 甲醛/苯酚比对酚醛泡沫塑料性能的影响[J]. 工程塑料应用,2010,38(7):4-7.  
Zhang Wei, Zhuang Xiaowei, Xu Yuzhi, et al. Effect of formaldehyde/phenol ratio on properties of phenolic foam[J]. Engineering Plastics Application, 2010, 38(7):4-7.
- [2] 王瑛,段景宽,杨小瑞,等. 环氧树脂/空心玻璃微珠复合浮力材料制备及性能[J]. 工程塑料应用,2020,48(9):44-48,55.  
Wang Ying, Duan Jingkuan, Yang Xiaorui, et al. Preparation and properties of epoxy resin/hollow glass beads composite buoyancy material[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(9):44-48, 55.
- [3] 郭正波,夏利平,何正宏,等. 阻燃热塑性聚酯弹性体复合材料制备及性能[J]. 工程塑料应用,2020,48(4):20-24,36.  
Guo Zhengbo, Xia Liping, He Zhenghong, et al. Preparation and properties of flame retarding thermoplastic polyester elastomer composites[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(4):20-24, 36.
- [4] 高琴. 覆膜砂法制备导热绝缘复合材料的研究[D]. 绵阳:西南科技大学,2016.  
Gao Qin. Study on preparation of thermal insulation composites by coating sand method[D]. Mianyang:Southwest University of Science and Technology, 2016.
- [5] 顾澄中,林永渭,施美玲,等. 热塑性酚醛树脂中固化剂用量与性能关系探讨[J]. 非金属矿,1991(2):43-45.  
Gu Chengzhong, Lin Yongwei, Shi Meiling, et al. Discussion on the relationship between the dosage of curing agent and properties of thermoplastic phenolic resin[J]. Non-Metallic Ore, 1991(2):43-45.
- [6] 杨浩,黄文煜,周栋,等. EP/MeTHPA/TAP树脂体系固化动力学[J]. 工程塑料应用,2020,48(12):67-71.  
Yang Hao, Huang Wenyu, Zhou Dong, et al. Curing kinetics of EP/MethPA/TAP resin system[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(12):67-71.
- [7] Deng Peng, Shi Yan, Liu Yuansen, et al. Solidifying process and flame retardancy of epoxy resin cured with boron-containing phenolic resin[J]. Applied Surface Science, 2017.doi:10.1016/j.apsusc.2017.07.278.
- [8] Ramesh R S, Sadashivappa K, Sharanaprabhu L. Physical and mechanical properties:Hot pressed phenol formaldehyde based wood plastic composite[J]. Materials today:proceedings, 2018, 5(11):25 331-25 340.
- [9] Zhang Na, Li Zhuo, Xiao Yanan, et al. Lignin-based phenolic resin modified with whisker silicon and its application[J]. Journal of Bioresources and Bioproducts, 2020, 5(1):67-77.
- [10] 崔学林. 碳纳米管改性酚醛树脂的阻燃性能研究[D]. 沈阳:沈阳航空航天大学,2018.  
Cui Xuelin. Study on flame retarded properties of carbon nanotubes modified phenolic resin[D]. Shenyang:Shenyang Aerospace University, 2018.
- [11] 陈士年,陈树,陈瑞. 一种耐热型环保酚醛树脂的玻纤增强模塑料:CN104194257B[P]. 2016-09-14.  
Chen Shinian, Chen Shu, Chen Rui. A kind of heat-resistant environmental-friendly phenolic resin glass fiber reinforced molding plastics:CN104194257B[P]. 2016-09-14.
- [12] 谢林志,廖聪艳,石燕,等. 铸造用热塑性酚醛树脂固化反应机理的探究//绿色铸造与持续发展——2015(第25届)重庆市铸造年会论文集[C]. 重庆:重庆市机械工程学会铸造分会, 2015:289-292.  
Xie Linzhi, Liao Congyan, Shi Yan, et al. Study on curing mechanism of thermoplastic phenolic resin for casting // Green Foundry and Sustainable Development —Proceedings of 2015(25th) Chongqing Foundry Annual Conference[C].

- Chongqing:Chongqing Mechanical Engineering Society Casting Branch,2015:289-292.
- [13] 彭敬东.对两种热塑性酚醛树脂固化反应机理研究.中国铸造协会//第十二届中国铸造协会年会摘要集[C].北京:中国铸造协会,2016:1.
- Peng Jingdong. Study on curing mechanism of two kinds of thermoplastic phenolic resins // China foundry association[C]. Beijing:China Foundry Association,2016:1.
- [14] 孙如芳,骆苗地,乔倩,等.红外光谱法测定磨具用酚醛树脂粉中乌洛托品含量[J].金刚石与磨料磨具工程,2016,36(2):84-88.
- Sun Rufang, Luo Miaodi, Qiao Qian, et al. Determination of ulotropine in phenolic powder for abrasives by infrared spectroscopy[J]. Diamond & Abrasives Engineering,2016,36(2):84-88.
- [15] Li B, Feng Shanghuan, Niasar H S, et al. Preparation and characterization of bark-derived phenol formaldehyde foams[J]. RSC Advances,2016,6(47):40 975-40 981.
- [16] Li Bing, Wang Yuyang, Mahmood N, et al. Preparation of bio-based phenol formaldehyde foams using depolymerized hydrolysis lignin[J]. Industrial Crops and Products,2017,97:409-416.
- [17] 徐星驰,张伟,吴玉成.协效阻燃剂和增韧剂对无卤阻燃PC/ABS合金性能的影响[J].工程塑料应用,2020,48(10):129-134.
- Xu Xingchi, Zhang Wei, Wu Yucheng. Effect of flame retardant and toughening agent on properties of halogen-free flame retardant PC / ABS alloy[J]. Engineering Plastics Application,2020,48(10):129-134.
- [18] Bo Caiying, Wei Shikang, Hu Lihong, et al. Synthesis of a cardanol-based phosphorus-containing polyurethane prepolymer and its application in phenolic foams[J]. RSC Advances,2016,6(67):62 999-63 005.
- [19] Liu Jun., Chen Riqing, Xu Yuzhi, et al. Resorcinol in high solid phenol-formaldehyde resins for foams production[J]. Journal of Applied Polymer Science,2017.doi:10.1002 / app.44881.
- [20] 张国玉,王雷.酚醛树脂复合材料在轨道交通车辆上的应用[J].城市轨道交通研究,2021,24(2):138-139,143.
- Zhang Guoyu, Wang Lei. Application of phenolic resin composites in rail transportation vehicles[J]. Urban Rail Transit Research,2021,24(2):138-139,143.
- [21] 江凤珍.阻燃耐高温酚醛树脂的研究[J].绿色建筑,2001,17(5):43-44.
- Jiang Fengzhen. Study on flame retardant and high temperature resistant phenolic resin[J]. Green Building,2001,17(5):43-44.

## 优惠销售中国工程塑料复合材料技术研讨会《论文集》及论文集光盘

中国合成树脂供销协会加工与应用分会为了配合2000~2019年先后召开的中国工程塑料复合材料技术研讨会,共编辑、出版了20本《论文集》。其内容涉及工程塑料及通用塑料的合成与改性、加工、应用、测试、模具、设备新技术,以及文献综述、评论等,突出了我国工程塑料行业发展规划、热点分析。现尚有部分《论文集》,以及应广大读者要求加工制作的论文集光盘,现以优惠价格(含邮费)销售,欢迎订阅。

1. 2004~2019年中国工程塑料复合材料技术研讨会《论文集》,优惠价400元/套。

2. 2000~2019年中国工程塑料复合材料技术研讨会论文集光盘,优惠价300元/盘。本光盘除收录2000~2019年20本《论文集》的全部内容外,还包括约4000人次的会议代表通讯录。

### 邮局汇款

收款地址:山东济南市天桥区田庄东路3号

收款单位:《工程塑料应用》杂志社

邮编:250031

电话:(0531)85878223 85878057 85878278

传真:(0531)85947355

### 银行汇款

户名:山东非金属材料研究所

开户银行:济南市工商银行经十一路支行

帐号:1602001229014425546

网上订购:<http://www.epa1973.net>