

原材料·配方

# 废芳纶蜂窝粉末在阻燃天然橡胶胶料中的应用研究

董延茂<sup>1</sup>, 王聪迪<sup>1</sup>, 袁妍<sup>1</sup>, 赵丹<sup>2</sup>

(1. 苏州科技大学 化学生物与材料工程学院, 江苏 苏州 215009; 2. 苏州科技大学 环境科学与工程学院, 江苏 苏州 215009)

**摘要:**研究废芳纶蜂窝粉末在阻燃天然橡胶(NR)胶料中的应用。结果表明:随着废芳纶蜂窝粉末用量的增大,NR胶料的阻燃性能和拉伸性能呈规律性的变化;当NR/膨胀型阻燃剂WX-P28/废芳纶蜂窝粉末用量比为100/70/5时,NR胶料的阻燃性能和拉伸性能较好。

**关键词:**芳纶蜂窝;阻燃剂;天然橡胶;阻燃性能;拉伸性能

**中图分类号:**TQ330.38<sup>+</sup>7;TQ332.1

**文献标志码:**A

**文章编号:**1000-890X(2021)06-0415-06

**DOI:**10.12136/j.issn.1000-890X.2021.06.0415



OSID开放科学标识码  
(扫码与作者交流)

芳纶蜂窝材料由聚间苯二甲酰间苯二胺和酚醛树脂等制成,具有超高强度、高模量、耐高温、耐酸碱、质量小、绝缘和耐老化等性能,是高端装备轻量化的重要材料,广泛应用于飞机、舰船和高速铁路等领域。废芳纶蜂窝材料难以通过焚烧等方法处理,其回收利用成为困扰行业的难题。废芳纶蜂窝材料仍具有高强度,可以将其用于高分子补强和阻燃等领域<sup>[1-3]</sup>。废芳纶蜂窝材料一般含有树脂胶、油脂和灰尘等物质,通过去除芳纶蜂窝材料表面的树脂胶、油脂和其他杂质,回收的芳纶材料可被用来重新制成芳纶纸,或将其作为高分子添加剂。刘石等<sup>[4]</sup>将芳纶浆粕加入膨胀型阻燃聚丙烯中,增大了阻燃聚丙烯的极限氧指数(LOI)和提高了力学性能。

本工作将废芳纶蜂窝粉末与阻燃剂共混后加入天然橡胶(NR)胶料中以提高其阻燃性能和拉伸性能。

## 1 实验

### 1.1 主要原材料

NR,SCR10,云南天然橡胶产业集团西盟有限

公司产品;废芳纶蜂窝粉末(粒径为75~150 μm),苏州芳磊蜂窝复合材料有限公司提供;无水乙醇,江苏强盛功能化学股份有限公司产品;硅烷偶联剂KH-550,南京创世化工助剂股份有限公司产品;膨胀型阻燃剂WX-P28[磷-氮无卤阻燃剂(磷和氮质量分数分别大于0.15和0.25,分解温度不低于270℃)],东莞市汇意化工材料有限公司提供;氧化锌和氧化镁,上海阿拉丁生化科技股份有限公司产品;硬脂酸,天津博迪化工股份有限公司产品;过氧化二异丙苯(硫化剂DCP),常州诺德化工新材料有限公司产品;硫黄,上海统亚化工科技发展有限公司产品。

### 1.2 试样制备

#### 1.2.1 废芳纶蜂窝粉末与阻燃剂WX-P28共混

按照1/20质量比将废芳纶蜂窝粉末与无水乙醇混合,所得混合物A磁力搅拌4 h后抽滤并烘干备用。将硅烷偶联剂KH-550与无水乙醇配成质量分数为0.05的溶液,按照100/2的质量比将经过无水乙醇处理的废蜂窝粉末与溶液混合,得到混合物B,再将阻燃剂WX-P28与混合物B混合,所得混合物C磁力搅拌1 h后抽滤并在80℃下干燥4 h,

**基金项目:**苏州市重点产业技术创新项目(SYG201744);江苏省住建厅科技资助项目(2017ZD238)

**作者简介:**董延茂(1970—),男,辽宁大连人,苏州科技大学教授,博士,主要从事高分子复合材料的研究工作。

**E-mail:**dongyanmao@163.com

**引用本文:**董延茂,王聪迪,袁妍,等.废芳纶蜂窝粉末在阻燃天然橡胶胶料中的应用研究[J].橡胶工业,2021,68(6):415-420.

**Citation:** DONG Yanmao, WANG Congdi, YUAN Yan, et al. Application of waste aramid honeycomb powder in flame retardant NR compound[J]. China Rubber Industry, 2021, 68(6): 415-420.

得到偶联剂改性的阻燃剂WX-P28/废芳纶蜂窝粉末共混物。

### 1.2.2 胶料混炼和硫化

先将NR置于辊温50℃的两辊开炼机上塑炼5 min,然后依次加入阻燃剂WX-P28或阻燃剂WX-P28/废芳纶蜂窝粉末共混物、氧化镁、氧化锌、硫化剂DCP或硫黄,打三角包4次,混炼均匀后出片。混炼胶放置24 h后在平板硫化机上硫化,硫化条件为140℃/10 MPa×30 min。

所用的4个基本配方见表1。

表1 基本配方  
Tab.1 Basic formulations

| 组 分    | 1 <sup>#</sup> 配方 | 2 <sup>#</sup> 配方 | 3 <sup>#</sup> 配方 | 4 <sup>#</sup> 配方 |
|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| NR     | 100               | 100               | 100               | 100               |
| 氧化锌    | 0                 | 0                 | 5                 | 5                 |
| 氧化镁    | 0                 | 2                 | 0                 | 2                 |
| 硬脂酸    | 2                 | 2                 | 2                 | 2                 |
| 硫化剂DCP | 2                 | 2                 | 2                 | 2                 |

### 1.3 测试分析

(1)拉伸性能:按照GB/T 528—2009,采用美国英斯特朗公司的Instron 3345型拉力试验机测试试样的拉伸性能,拉伸速率为500 mm·min<sup>-1</sup>。

(2)LOI:按照GB/T 2406.2—2009,采用中诺质检仪器设备有限公司的ZY6155型氧指数仪测试试样在氧氮混合气流中有焰燃烧损毁长度达50 mm时所需的最低氧浓度(体积分数),即为试样的LOI。试样尺寸为120 mm×10 mm×4 mm,燃烧桶内混合气体流速为(4±1) cm·s<sup>-1</sup>,混合气体流量为14.1 L·min<sup>-1</sup>。每个配方测试5个试样,取平均值。

(3)表面形貌分析:采用德国宝视德有限公司的88-55008型显微镜观察试样的表面形貌。

(4)红外光谱分析:采用美国PerkinELmer公司的Spectrum BXII型傅里叶变换红外光谱仪测试试样的红外光谱。取1~2 mg的试样,将其在玛瑙研钵中研磨成细粉末后与干燥的溴化钾粉末(约100 mg,粒径75 μm)混合均匀,混合物装入模具并在压片机上压制成片后测试,扫描波数范围为400~4 000 cm<sup>-1</sup>。

(5)热分析:采用北京恒久科学仪器厂的PRT-IA型热重分析仪对试样进行热重分析。试样质量

为4~8 mg,测试温度为室温~800℃,升温速率为10℃·min<sup>-1</sup>,氮气流量为40 mL·min<sup>-1</sup>。

(6)燃烧性能:按照GB/T 16172—2007,采用苏州菲尼克斯仪器有限公司的PX-07-007型锥形量热仪测试试样的燃烧性能,试样尺寸为100 mm×100 mm×5 mm,辐射通量为35 kW·m<sup>-2</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 基本配方选择

在前面基本配方试验中,用硫黄等量替代1<sup>#</sup>—4<sup>#</sup>配方中硫化剂DCP的胶料的拉伸强度均远大于相应配方的胶料。因此,硫化剂选用DCP。

不同基本配方胶料的拉伸性能如表2所示。

表2 不同基本配方胶料的拉伸性能  
Tab.2 Tensile properties of different basic formulation compounds

| 项 目      | 1 <sup>#</sup> 配方 | 2 <sup>#</sup> 配方 | 3 <sup>#</sup> 配方 | 4 <sup>#</sup> 配方 |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 拉伸强度/MPa | 5.24              | 5.90              | 6.58              | 4.67              |
| 拉断伸长率/%  | 30                | 37                | 38                | 39                |

从表2可以看出,采用氧化锌和硬脂酸的3<sup>#</sup>配方胶料的拉伸强度和拉断伸长率均大于采用氧化镁和硬脂酸的2<sup>#</sup>配方胶料,说明氧化锌比氧化镁对NR具有更好的促进硫化作用。由4<sup>#</sup>配方胶料的数据可知,氧化镁与氧化锌没有产生明显的协同作用。

因此,基本配方确定为NR 100,氧化锌 5,硬脂酸 2,硫化剂DCP 2。此基本配方胶料在温度为140℃和压力为10 MPa下硫化,硫化时间对胶料拉伸性能的影响如表3所示。

表3 硫化时间对胶料拉伸性能的影响  
Tab.3 Effect of curing time on tensile properties of compounds

| 项 目      | 硫化时间/min |      |      |      |      |
|----------|----------|------|------|------|------|
|          | 10       | 20   | 30   | 40   | 50   |
| 拉伸强度/MPa | 0.43     | 1.96 | 3.43 | 5.92 | 5.63 |
| 拉断伸长率/%  | 13       | 30   | 39   | 43   | 45   |

从表3可以看出,随着硫化时间由10 min延长至50 min,胶料的拉伸强度先增大后减小,拉断伸长率逐渐增大,硫化时间为40 min时胶料的拉伸强度达到最大值。因此,本研究胶料的最佳硫化时间为40 min。

采用上述确定的基本配方和硫化条件,研究

阻燃剂用量对胶料拉伸性能和LOI的影响,结果如表4所示。

表4 阻燃剂WX-P28用量对胶料拉伸性能和LOI的影响  
Tab. 4 Effect of flame retardant WX-P28 dosages on tensile properties and LOI of compounds

| 项 目      | 阻燃剂WX-P28用量/份 |      |      |      |      |      |
|----------|---------------|------|------|------|------|------|
|          | 0             | 50   | 55   | 60   | 65   | 70   |
| 拉伸强度/MPa | 5.63          | 4.62 | 4.66 | 5.63 | 5.71 | 6.53 |
| 拉断伸长率/%  | 45            | 23   | 22   | 20   | 20   | 20   |
| LOI/%    | —             | —    | —    | —    | 22.4 | 23.0 |

从表4可以看出,随着阻燃剂WX-P28的用量由50份增大到70份,胶料的拉断伸率先减小后稳定,拉伸强度和LOI逐渐增大。考虑胶料的综合性能,阻燃剂WX-P28用量取70份为宜。

2.2 废芳纶蜂窝粉末对胶料物理性能的影响

将用量比为70/0,70/3,70/5,70/7和70/10的阻燃剂WX-P28/废芳纶蜂窝材料粉末共混物加入基本配方,对胶料(试样编号分别为AF-0,AF-3,AF-5,AF-7和AF-10)性能进行研究。

废芳纶蜂窝粉末用量对胶料(硫化胶)表面形貌的影响见图1。

从图1可以看出:未加废芳纶蜂窝粉末的AF-0试样的表面平整;AF-3,AF-5,AF-7和AF-10试样

的透光率较好,废芳纶蜂窝粉末分布较均匀。  
对AF-5试样进行红外光谱分析,结果见图2。

从图2可以看出,硫化前试样在波数为2 898 cm<sup>-1</sup>处出现—CH伸缩振动峰,在波数为2 355 cm<sup>-1</sup>处出现C=C伸缩振动峰,在波数为1 726 cm<sup>-1</sup>处出现C=O伸缩振动峰,在波数为1 455 cm<sup>-1</sup>处出现硅烷偶联剂KH-550的—CN伸缩振动峰,在波数为1 375 cm<sup>-1</sup>处出现—CH<sub>2</sub>弯曲振动峰,在波数为1 256 cm<sup>-1</sup>处出现—COOH中C—O伸缩振动峰,在波数为1 163 cm<sup>-1</sup>处出现Si—O伸缩振动峰,在波数为997 cm<sup>-1</sup>处出现CH<sub>2</sub>=CH—中C=C变形振动峰。硫化后试样的C=C伸缩振动峰位于波数为2 346 cm<sup>-1</sup>处,相对于硫化前红移,说明交联后C=C伸缩振动减弱;在波数为2 244,2 037和1 943 cm<sup>-1</sup>等处出现较宽的特征峰,说明胶料硫化后官能团的相互作用增强,形成了氢键或发生了缔合作用<sup>[5]</sup>。

废芳纶蜂窝粉末用量对胶料拉伸性能的影响如表5所示。

从表5可以看出:相较于AF-0试样,AF-3试样的拉伸强度有所减小,拉断伸长率有所增大;随着废芳纶蜂窝粉末用量的增大,试样的拉伸强度和

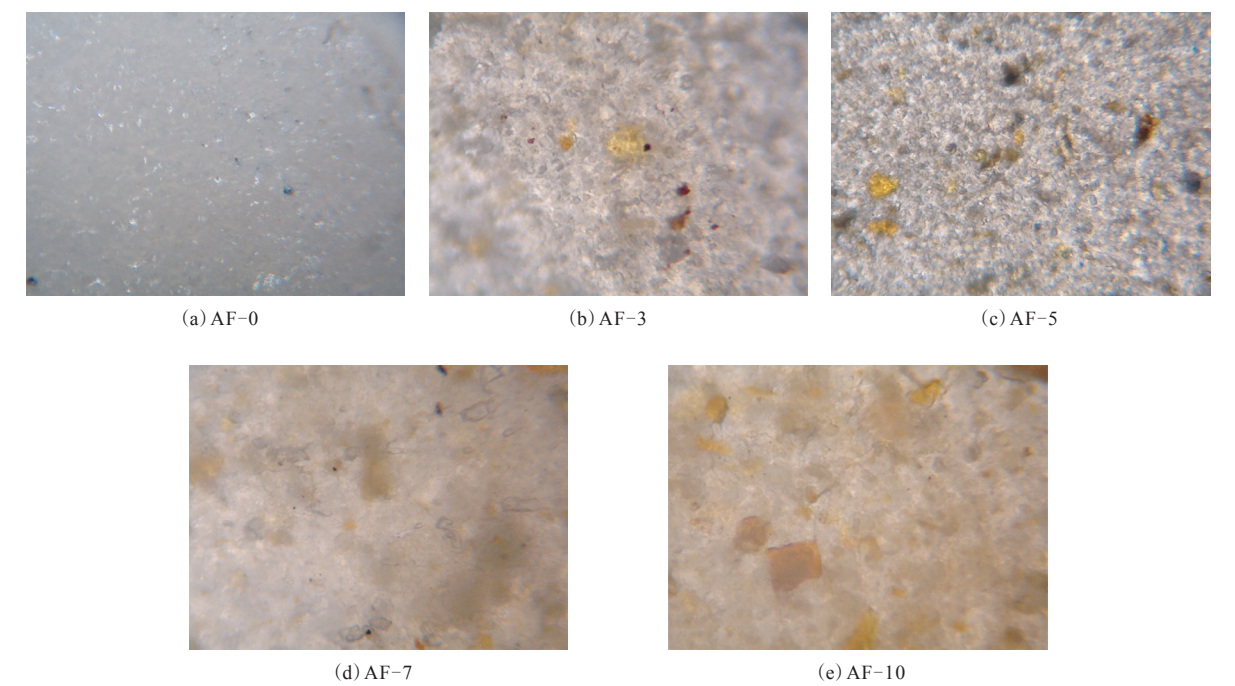


图1 不同废芳纶蜂窝粉末用量的胶料表面形貌(放大800倍)  
Fig. 1 Surface morphologies of compounds with different waste aramid honeycomb powder dosages(magnification 800)

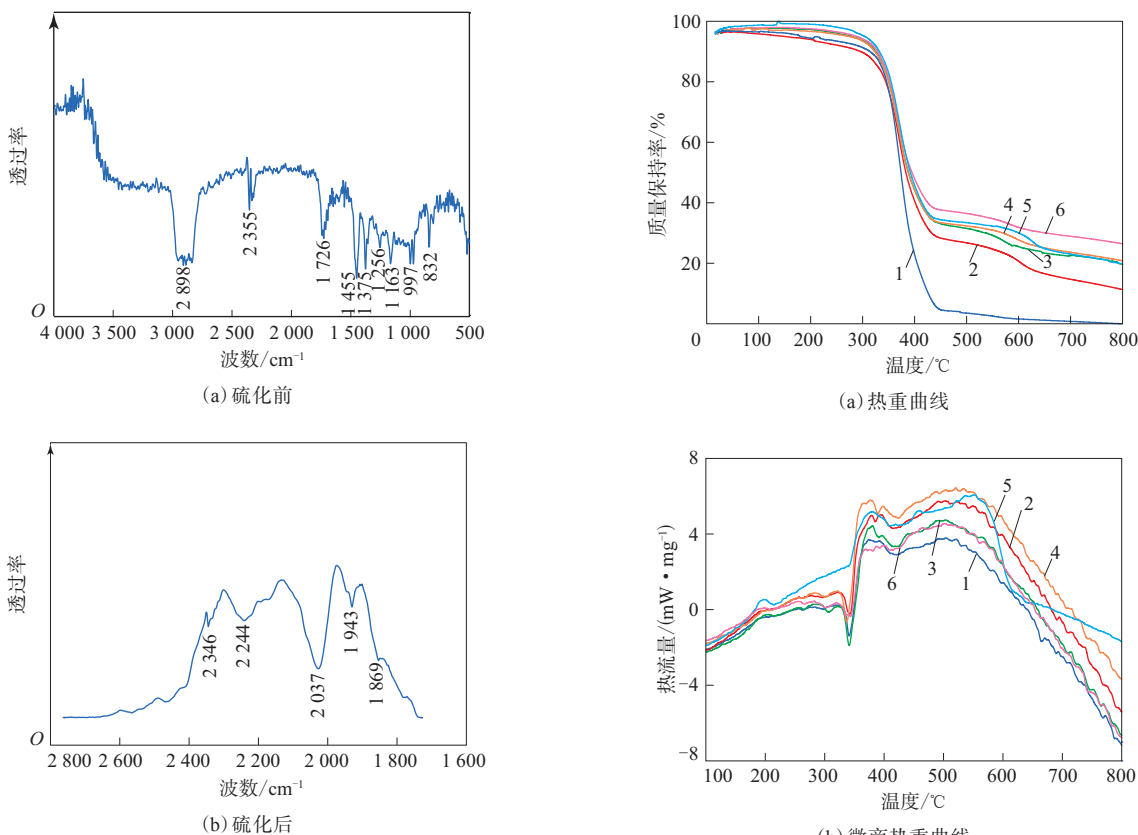


图2 AF-3试样的红外光谱  
Fig.2 Infrared spectra of AF-3 sample

表5 废芳纶蜂窝粉末用量对胶料拉伸性能的影响  
Tab.5 Effect of waste aramid honeycomb powder dosages on tensile properties of compounds

| 项 目      | 试样编号 |      |      |      |       |
|----------|------|------|------|------|-------|
|          | AF-0 | AF-3 | AF-5 | AF-7 | AF-10 |
| 拉伸强度/MPa | 6.53 | 6.12 | 5.23 | 4.85 | 3.83  |
| 拉断伸长率/%  | 20   | 22   | 19   | 18   | 13    |

拉断伸长率逐渐减小,说明废芳纶蜂窝粉末与NR和阻燃剂WX-P28的相容性较差<sup>[6]</sup>。

2.3 废芳纶蜂窝粉末对胶料热性能的影响

废芳纶蜂窝粉末用量对胶料热性能的影响如图3和表6所示。其中, $T_5$ 为试样质量损失5%时的温度,为起始分解温度; $T_{50}$ 和 $T_{70}$ 分别为试样质量损失50%和70%时的温度; $T_{\max 1}$ 和 $T_{\max 2}$ 分别为试样质量损失峰1和2的温度; $W_{500}$ 和 $W_{800}$ 分别为500和800℃时试样的质量残余率。

从图3(a)和表6可以看出,各试样有两个质量损失区域, $T_{\max 1}$ 均在380℃左右,而 $T_{\max 2}$ 相差较大,这是因为在第1个质量损失区域主要是NR基体分

图3 不同废芳纶蜂窝粉末用量的胶料热分析曲线  
Fig.3 Thermal analysis curves of compounds with different waste aramid honeycomb powder dosages

表6 不同废芳纶蜂窝粉末用量的胶料热分析参数  
Tab.6 Thermal analysis parameters of compounds with different waste aramid honeycomb powder dosages

| 项 目                     | NR(基本配方) | 试样编号   |        |        |        |        |
|-------------------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                         |          | AF-0   | AF-3   | AF-5   | AF-7   | AF-10  |
| $T_5/^\circ\text{C}$    | 312.47   | 340.58 | 331.41 | 335.45 | 330.44 | 329.34 |
| $T_{50}/^\circ\text{C}$ | 390.01   | 403.53 | 399.87 | 405.67 | 395.63 | 399.63 |
| $T_{70}/^\circ\text{C}$ | 406.75   | 514.75 | 447.34 | 584.14 | 432.04 | 463.71 |
| $T_{\max 1}$            | 386.08   | 384.10 | 383.11 | 382.28 | 385.11 | 382.28 |
| $T_{\max 2}$            | 635.02   | 629.53 | 576.63 | 584.89 | 599.13 | 608.40 |
| $W_{500}/\%$            | 5.07     | 23.02  | 28.28  | 30.23  | 31.26  | 33.88  |
| $W_{800}/\%$            | 1.31     | 10.03  | 20.30  | 20.32  | 20.10  | 22.28  |

解,在第2个质量损失区域则为生成的不稳定碳层分解<sup>[7]</sup>。

从图3(b)和表6可以看出:阻燃剂WX-P28和废芳纶蜂窝粉末的加入使试样的分解速率峰值大大减小;AF-10试样的 $T_{\max 2}$ (608.40℃)比AF-3试样(576.63℃)有大幅度提高;添加阻燃剂WX-

P28和废芳纶蜂窝粉末的试样的 $T_{50}$ 均高于基本配方试样,而 $T_{70}$ 更是大幅提高。

从表6可以看出,随着废芳纶蜂窝粉末用量的增大,试样的 $T_{max2}$ 先降低后升高,但均未超过阻燃基本配方试样。由图3(a)可知,在380℃之前只有AF-7试样的质量保持率小于基本配方试样,在380℃之后,添加阻燃剂WX-P28和废芳纶蜂窝粉末的试样的质量保持率大于基本配方试样,且最终残炭质量分数远高于基本配方试样,说明添加阻燃剂WX-P28和废芳纶蜂窝粉末的试样热稳定性良好。

综上所述,添加废芳纶蜂窝粉末的胶料阻燃性能比基本配方胶料更好<sup>[8-9]</sup>。

2.4 废芳纶蜂窝粉末对胶料阻燃性能的影响

对不同废芳纶蜂窝粉末用量的胶料的LOI进行测试,结果为:AF-0,AF-3,AF-5,AF-7和AF-10试样的LOI分别为23.0%,25.0%,25.9%,25.4%和23.1%,说明废芳纶蜂窝粉末可协同阻燃剂WX-P28提高胶料阻燃性能。当废芳纶蜂窝粉末用量达到5份时,试样的LOI开始减小,这是因为废芳纶蜂窝粉末用量较大时,其在NR中分散不均匀,导致试样的阻燃性能下降(见图4),并且使生成的碳层更易脱落<sup>[10]</sup>。



左边为2个AF-0试样,右边为2个AF-5试样。

图4 试样燃烧后形貌

Fig.4 Morphologies of samples after combustion

2.5 废芳纶蜂窝粉末对胶料燃烧性能的影响

废芳纶蜂窝粉末用量对胶料燃烧性能的影响如表7所示。

从表7可以看出,随着废芳纶蜂窝粉末用量的增大,试样的热释放总量、平均热释放速率和总耗氧量逐渐减小。AF-0试样的热释放总量仅为基本配方试样放热总量的30.55%,平均热释放速率为基本配方试样的30.51%,最大热释放速率为基本配方试样的47.22%,总耗氧量为基本配方

表7 废芳纶蜂窝粉末用量对胶料燃烧性能的影响  
Tab.7 Effects of waste aramid honeycomb powder dosages on combustion performances of compounds

| 项 目                                            | NR(基本配方) | 试样编号    |         |         |         |         |
|------------------------------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                                                |          | AF-0    | AF-3    | AF-5    | AF-7    | AF-10   |
| 热释放总量/(MJ·m <sup>-2</sup> )                    | 7.254    | 2.216   | 1.178   | 0.932   | 0.820   | 0.701   |
| 平均热释放速率/(kJ·s <sup>-1</sup> ·m <sup>-2</sup> ) | 24.070   | 7.345   | 3.944   | 3.098   | 2.848   | 2.344   |
| 最大热释放速率/(kJ·s <sup>-1</sup> ·m <sup>-2</sup> ) | 104.847  | 50.561  | 47.463  | 54.217  | 46.365  | 31.354  |
| 平均烟释放速率/(m <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup> )     | 0.3438   | 0.2668  | 0.2466  | 0.2328  | 0.2922  | 0.3425  |
| 烟释放总量/m <sup>2</sup>                           | 3689.00  | 2542.90 | 2730.82 | 2529.12 | 2880.83 | 3441.14 |
| 总耗氧量/g                                         | 553.755  | 169.160 | 89.923  | 71.145  | 62.595  | 53.511  |

试样的30.55%,并且烟释放总量较基本配方试样减小31.07%,说明阻燃剂WX-P28提高了胶料的阻燃性能。与基本配方试样相比,AF-10试样的最大热释放速率减小了70.09%,总耗氧量减小了90.34%。随着废芳纶蜂窝粉末用量的增大,试样的烟释放总量呈现先减小后增大的趋势<sup>[11-15]</sup>。

3 结论

随着废芳纶蜂窝粉末用量的增大,NR胶料的热稳定性和拉伸性能呈规律性的变化。当NR/阻

燃剂WX-P28/废芳纶蜂窝粉末用量比为100/70/5时,胶料的阻燃和拉伸性能较好。

参考文献:

[1] ZHAO Y Y, SUN Q R, FENG J T, et al. Internal-structure-model based simulation research of aramid honeycomb sandwich panel subjected to intense impulse loading[J]. Engineering Fracture Mechanics,2018,204:1-14.  
[2] MINKOOK K, JAECHEO C, DAI G L. Development of the fire-retardant sandwich structure using an aramid/glass hybrid composite and a phenolic foam-filled honeycomb[J]. Composite Structures,

- 2016, 158: 227–234.
- [3] 郝巍, 马科峰, 罗玉清, 等. 芳纶纸蜂窝及其夹层结构的研究进展[J]. 材料开发与应用, 2011, 26(6): 81–85.
- HAO W, MA K F, LUO Y Q, et al. Research progress of aramid paper honeycomb and its sandwich structure[J]. Development and Application Materials, 2011, 26(6): 81–85.
- [4] 刘石, 任强, 李锦春, 等. 芳纶浆粕对膨胀阻燃聚丙烯性能影响[J]. 复合材料学报, 2013, 30(5): 79–85.
- LIU S, REN Q, LI J C, et al. Influence of Kevlar pulp on the properties of intumescent flame-retardant polypropylene[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2013, 30(5): 79–85.
- [5] 敖宁建, 陈美, 廖远琰, 等. 原位红外技术研究天然橡胶/粘土复合材料热降解产物[J]. 复合材料学报, 2002, 19(5): 38–42.
- AO N J, CHEN M, LIAO Y Y, et al. Study on the thermal degradation products of natural rubber/clay composites by means of situ infrared spectroscopy[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2002, 19(5): 38–42.
- [6] 张春梅, 翟天亮, 姜婷丽, 等. 不同形貌纳米纤维素对天然橡胶力学性能的影响[J]. 橡胶工业, 2019, 66(7): 517–520.
- ZHANG C M, ZHAI T L, JIANG T L, et al. Effect of nanocellulose with different morphologies on the mechanical properties of NR[J]. China Rubber Industry, 2019, 66(7): 517–520.
- [7] 吕明哲, 杨子明, 罗勇悦, 等. 环氧化天然橡胶硫化胶在不同气氛下的热降解行为[J]. 合成材料老化与应用, 2014, 43(6): 1–6, 80.
- LYU M Z, YANG Z M, LUO Y Y, et al. Thermal degradation behavior of ENR vulcanizates in different atmosphere[J]. Synthetic Materials Aging and Application, 2014, 43(6): 1–6, 80.
- [8] 宋君萍, 田开艳, 李锡腾, 等. 炭黑/碳纳米管并用比对天然橡胶复合材料物理性能和导热性能的影响[J]. 橡胶工业, 2019, 66(6): 430–434.
- SONG J P, TIAN K Y, LI X T, et al. Effect of carbon black/carbon nanotubes blend ratio on physical properties and thermal conductivity of NR composites[J]. China Rubber Industry, 2019, 66(6): 430–434.
- [9] 汪传生, 张鲁琦, 边慧光, 等. 碳纤维/天然橡胶复合材料的性能研究[J]. 橡胶工业, 2018, 65(11): 1243–1247.
- WANG C S, ZHANG L Q, BIAN H G, et al. Study on properties of carbon fiber NR composites[J]. China Rubber Industry, 2018, 65(11): 1243–1247.
- [10] 潘勇军, 张承启, 雷宽宏, 等. 氢化天然橡胶/氢氧化镁/环氧化天然橡胶复合材料的制备及性能研究[J]. 橡胶科技, 2016, 14(12): 19–23.
- PAN Y J, ZHANG C Q, LEI K H, et al. Preparation and properties of HNR/magnesium hydroxide/ENR composites[J]. Rubber Science and Technology, 2016, 14(12): 19–23.
- [11] 李博, 刘岚, 罗鸿鑫, 等. 有机蒙脱土/天然橡胶纳米复合材料的阻燃性能研究[J]. 高分子学报, 2007(5): 456–461.
- LI B, LIU L, LUO H X, et al. Study on flame retardancy of the organoclay/natural rubber nanocomposites[J]. Acta Polymerica Sinica, 2007(5): 456–461.
- [12] 杜仕国. 聚合物共混相容性研究进展[J]. 现代化工, 1994(5): 20–24.
- DU S G. Research progress on compatibility of polymer blends[J]. Modern Chemical Industry, 1994(5): 20–24.
- [13] 刘权, 谭莲影, 陈晓艳. 硅烷偶联剂KH550对炭黑填充天然橡胶性能的影响[J]. 橡胶工业, 2018, 65(1): 51–55.
- LIU Q, TAN L Y, CHEN X Y. Effect of silane coupling agent KH-550 on properties of carbon black filled natural rubber[J]. China Rubber Industry, 2018, 65(1): 51–55.
- [14] 徐文总, 陆波, 杜先柄, 等. 阻燃天然橡胶研究进展[J]. 中国橡胶, 2010, 26(6): 35–38.
- XU W Z, LU B, DU X B, et al. Flame-retardant natural rubber research progress[J]. China Rubber, 2010, 26(6): 35–38.
- [15] CHEN X L, WANG W D, JIAO C M. A recycled environmental friendly flame retardant by modifying para-aramid fiber with phosphorus acid for thermoplastic polyurethane elastomer[J]. Journal of Hazardous Materials, 2017, 331: 257–264.

收稿日期: 2020-12-01

## Application of Waste Aramid Honeycomb Powder in Flame Retardant NR Compound

DONG Yanmao, WANG Congdi, YUAN Yan, ZHAO Dan

(Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215009, China)

**Abstract:** The application of waste aramid honeycomb powder in flame retardant natural rubber (NR) compound was studied. The results showed that, the flame retardancy and tensile properties of NR compound changed regularly with the increase of the dosage of waste aramid honeycomb powder. When the dosage ratio of NR/intumescent flame retardant WX-P28/waste aramid honeycomb powder was 100/70/5, the flame retardancy and tensile properties of the NR compound were better.

**Key words:** aramid honeycomb; flame retardant; NR; flame retardancy; tensile property