

DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20200162

提高机油滤纸纳污容量的研究

赵国栋, 孙哲, 杨乾, 马晓燕, 苏未寅, 惠岚峰
(天津市制浆造纸重点实验室, 天津科技大学轻工科学与工程学院, 天津 300457)

摘要: 通过探究针叶木纤维原料的种类以及针叶木纤维与丝光化纤维、聚酯纤维、玻璃纤维的配抄比例, 制备出高透气、低孔径的机油滤纸原纸, 然后经酚醛树脂浸渍固化得到高耐破度、高纳污容量的机油滤纸. 将自制机油滤纸与市售商品机油滤纸(纳污容量 130 g/m^2) 对比发现: 自制机油滤纸的耐破指数较商品机油滤纸高 21%, 透气度高 30%, 平均纳污容量高 23% 左右, 接触角高 20%; 挺度和平均过滤效率略低, 相比分别降低 6% 和 5% 左右.

关键词: 机油滤纸; 纤维配比; 透气度; 纳污容量

中图分类号: TS761 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6510(2021)04-0026-06

Experimental Study on Improving the Contaminant Capacity of Oil Filter Paper

ZHAO Guodong, SUN Zhe, YANG Qian, MA Xiaoyan, SU Weiyin, HUI Lanfeng
(Tianjin Key Laboratory of Pulp and Paper, College of Light Industry Science and Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: In this experimental study, the types of softwood fiber and the ratio of softwood fiber to mercerized fiber, polyester fiber and glass fiber were investigated to prepare the oil filter paper with high air permeability and low pore diameter, and then the filter paper with high burst resistance and high contaminant capacity was obtained by impregnation and solidification of phenolic resin. Compared the lab-made oil filter paper with commercial oil filter paper (contaminant capacity 130 g/m^2), it is found that the bursting index of the lab-made oil filter paper is 21% higher than that of the commercial oil filter paper, the air permeability is 30% higher, the average contaminant capacity is about 23% higher, and the contact angle is 20% higher. Furthermore, it is also found that the stiffness and the average filtration efficiency are slightly lower, which are reduced by 6% and 5% respectively.

Key words: oil filter paper; fiber ratio; air permeability; contaminant capacity

机油滤清器能够保证机油清洁, 避免发动机磨损, 提高发动机的使用寿命^[1]. 随着节能和环保要求的不断提升, 以及汽车行业的迅猛发展, 对机油滤清器更换里程数的要求逐渐提高, 即对机油滤纸纳污容量的要求越来越高^[2]. 但是, 国内机油滤纸绝大部分被进口产品占据, 国产滤纸所占的市场份额很少, 且普遍存在纳污容量偏低、使用寿命偏短的缺陷.

机油滤纸的纳污容量取决于滤纸内部的空隙结构, 影响滤纸空隙结构的因素包括所用纤维原料的类型^[3]、纤维原料的打浆度以及纤维间的配抄比例^[4]. 其中机油滤纸常用的纤维原料有植物纤维^[5](针叶木、

阔叶木、麻类、棉短绒以及丝光化的针叶木纤维)、合成纤维^[6](聚酯纤维、芳纶纤维和聚丙烯纤维)、无机纤维(玻璃纤维和硅酸盐纤维); 纤维原料的打浆度和配抄比例根据滤纸所需过滤性能的要求而定.

本文首先针对几种不同的针叶木纤维原料, 通过纤维分析以及单独成纸后物理性能的分析, 筛选出性能优异的针叶木纤维原料, 然后对所选原料进行轻微打浆处理^[7], 接着在所选针叶木纤维的基础上, 配抄丝光化纤维、聚酯纤维以及玻璃纤维, 通过分析滤纸原纸的透气度、匀度以及孔径性能, 确定了不同纤维间的配抄比例, 制备得机油滤纸原纸, 最后将所得滤

收稿日期: 2020-10-11; 修回日期: 2020-12-15

作者简介: 赵国栋(1992—), 男, 山东人, 硕士研究生; 通信作者: 惠岚峰, 教授, huipeak@163.com

纸原纸进行浸渍固化处理,得到自制机油滤纸,并与用于汽油发动机的市售商品机油滤纸进行了比较。

1 材料与方法

1.1 原料与仪器

FHP、北极光、阿拉巴马以及玫瑰河 4 种不同品牌的针叶木纤维(以下简称针 1、针 2、针 3、针 4)、玻璃棉、市售机油滤纸(用于汽油发动机),山东万豪纸业有限公司提供;丝光浆,实验室自制(选用银星牌针叶木纤维,处理条件为氢氧化钠浓度 5 mol/L、温度为室温、时间 60 min,仅采用该丝光浆抄造定量 155 g/m² 的机油滤纸原纸,该原纸的透气度为 750 L/(m²·s));聚酯(PET)纤维,纤度 1.5、长度 6 mm,山东滨州龙峰化纤制品有限公司提供;聚氧化乙烯(PEO,平均相对分子质量 400 万),上海阿拉丁生化科技股份有限公司;碳粉,购于鑫耐金属材料有限公司。

2505 型 Valley 打浆机,日本 KPK 株式会社;0701 N014 型 PFI 磨浆机,RK-ZA-KWT 型快速纸页成型器,奥地利 PTI 公司;JH-GZQ 型平板干燥器,东莞贝克检测设备有限公司;Fiber Tester 912 型纤维分析仪、051970243 型厚度测定仪、991739 型抗张强度测定仪、969920 型耐破强度测定仪、9596-01 型挺度测定仪,瑞典 L&W 公司;YG461E 型透气度测定仪,中国宁波纺织厂;Porolux 100 型毛细流孔径仪,比利时 PorometerNV 公司;JSM-IT300 LV 型扫描电子显微镜,日本日立公司;TU-1810 型紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司。

1.2 实验方法

1.2.1 针叶木纤维原料的选择

4 种针叶木纤维单独疏解后,用 PFI 磨浆机分别打浆至 15 °SR,然后将磨好的湿浆装入浆袋,用洗衣机甩干后,装入塑封袋内放入冰箱,在 4 °C 条件下保存 24 h,进行水分平衡;接着取一部分纤维用于纤维分析,剩余纤维疏解后,分别抄造定量 155 g/m² 的机油滤纸原纸;原纸经平板干燥后,放入符合 GB/T 10739—2002《纸、纸板和纸浆试样处理和试验的标准大气条件》要求的恒温恒湿室(温度(23 ± 1) °C、相对湿度(50 ± 2)%)中 4 h 后,检测其性能,并选出一种性能最佳的针叶木纤维作为机油滤纸的原料^[8]。

1.2.2 机油滤纸原纸的抄造及性能检测

取一定比例的丝光浆与上述选出的最佳针叶木

纤维混合疏解,按照工厂滤纸原纸的定量要求,采用快速纸页成型器抄造 155 g/m² 的滤纸原纸;原纸经平板干燥后,放入恒温恒湿室 4 h,测量其性能,确定出丝光浆取代针 1 纤维的比例;在丝光浆取代针 1 纤维 40% 的条件下,继续添加一定比例的 PET 纤维取代针叶木纤维,进行机油滤纸原纸的抄造以及性能检测,确定出 PET 纤维的取代比例;在上述确定的 3 种纤维的配比下,添加 1% 的玻璃棉(所得滤纸原纸的最大孔径 ≤ 70 μm)以及 0.1% 的 PEO^[9],抄造定量 155 g/m² 的滤纸原纸,检测其性能。

1.2.3 机油滤纸原纸的浸渍固化及性能检测

通过对浸渍液质量分数和上胶量关系的探究,确定将上述所得滤纸原纸浸渍于质量分数为 7.2% 的热固性酚醛树脂甲醇溶液中 10 s,使得原纸的上胶量为 25% (所得滤纸的总定量在 194 g/m² 左右),取出滤纸,先放入 80 °C 烘箱中干燥,再放入 160 °C 烘箱中固化 11 min,最后检测滤纸的性能^[10]。

1.2.4 机油滤纸过滤性能的测试

参照 JB/T 5089.3—2010《内燃机·纸质滤芯机油滤清器·第 3 部分:试验方法》中的计重法测量机油滤纸的过滤效率和纳污容量。将 450、600、1000、2500 目的碳粉配制成一系列浓度的悬浮液,测其吸光度,拟合浓度-吸光度标准曲线;将 4 种碳粉分别配制成质量浓度为 0.5 g/L 的悬浮液 1 L,在 40 °C 超声分散器中分散 10 min,同时将机油滤纸裁成直径 4 cm 的小圆片,放在砂芯漏斗上,组装好抽滤装置,倒入悬浮液开始抽滤;当真空泵表上显示的真空度在初始真空度下增加 0.07 MPa 时停止抽滤。通过测量过滤后悬浮液的吸光度得到过滤后悬浮液的质量浓度,代入式(1)计算过滤效率(指含杂的滤料通过滤纸时,被截留的颗粒数占原有颗粒数的百分比)。通过称量过滤前后机油滤纸的质量,算出差值,得出机油滤纸的纳污容量。

$$\eta = \frac{\rho_0 - \rho_1}{\rho_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中:η 为过滤效率;ρ₀ 为过滤前悬浮液的质量浓度, g/L;ρ₁ 为过滤后悬浮液的质量浓度, g/L。

2 结果与讨论

2.1 针叶木纤维原料对滤纸原纸性能的影响

针叶木纤维原料的纤维特性见表 1。从表 1 可以看出:针 1、针 3 纤维的长度较长、宽度较宽,但是针

1 纤维中细小纤维含量比针 3 纤维的低、扭结指数比针 3 纤维的大,说明针 1 纤维比针 3 纤维更加柔软;针 2 和针 4 纤维的长度、宽度以及细小纤维含量都接近,但是针 4 纤维的扭结指数大,说明针 4 纤维比针 2 纤维更加柔软。

表 1 纤维原料的特性

Tab. 1 Characteristics of fiber raw materials

| 纤维编号 | 平均长度/mm | 平均宽度/ μm | 细小纤维含量/% | 平均扭结指数 |
|------|---------|---------------------|----------|--------|
| 针 1 | 3.0 | 47.2 | 3.2 | 1.28 |
| 针 2 | 2.1 | 37.7 | 3.1 | 1.25 |
| 针 3 | 2.7 | 44.4 | 4.5 | 1.07 |
| 针 4 | 2.2 | 33.3 | 3.3 | 1.38 |

4 种针叶木纤维所得滤纸原纸的耐破指数和透气度结果如图 1 所示。由图 1 可知:针 1 纤维成纸的耐破指数居中,且与针 2 和针 3 纤维成纸的耐破指数相差不大;针 1 纤维成纸的透气度最大,且远大于其他纤维成纸的透气度。这是因为原纸耐破指数的大小主要取决于纤维间的结合强度以及纤维自身的长度。针 1 纤维的扭结指数较大,细小纤维含量较少,纤维结合成纸时纤维间的接触面积减少,所得滤纸原纸结构疏松、透气度最大、结合强度较差;针 1 纤维长度最大,使得滤纸原纸耐破指数适中。综合考虑 4 种针叶木纤维自身特性以及抄造所得滤纸原纸的耐破指数和透气度,选择针 1 纤维抄造滤纸原纸。

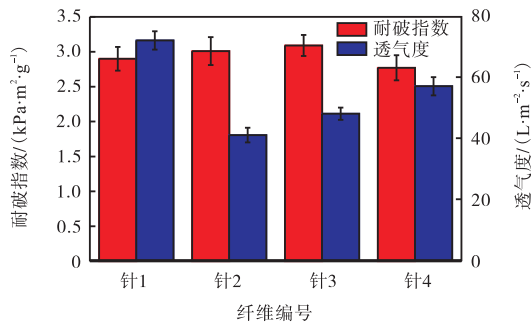
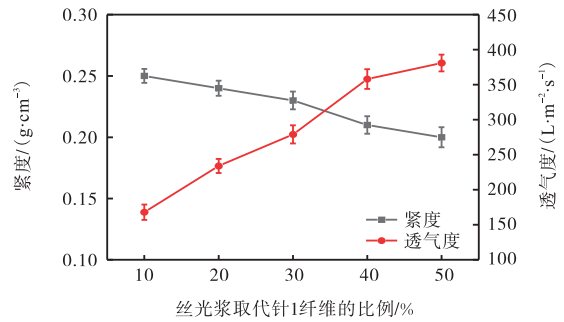


图 1 针叶木纤维种类对原纸耐破指数和透气度的影响
Fig. 1 Effect of different kinds of softwood fiber on bursting index and air permeability of base paper

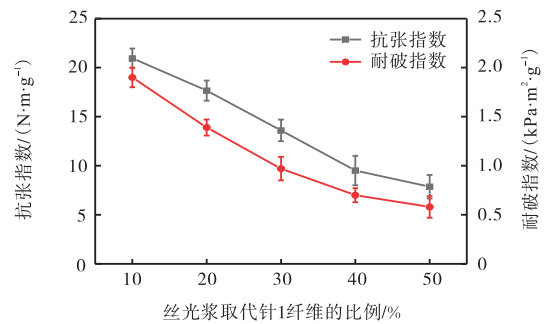
2.2 滤纸原纸的抄造及性能检测

2.2.1 丝光浆取代针 1 纤维的比例对滤纸原纸性能的影响

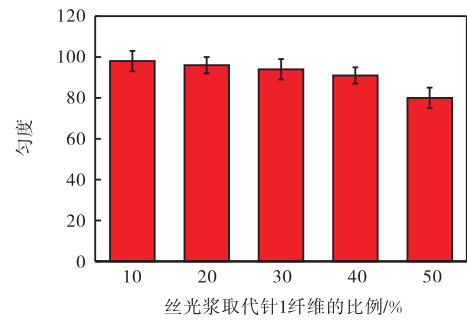
单独采用针 1 纤维制备的机油滤纸原纸的透气度太小,难以满足高纳污容量的要求,因此在原纸定量 155 g/m^2 不变的条件下,添加丝光浆取代部分针 1 纤维混抄滤纸原纸,探究丝光浆的取代比例对滤纸原纸性能的影响,结果如图 2 所示。



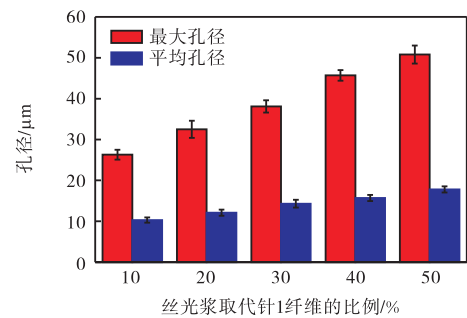
(a) 紧度与透气度



(b) 抗张指数与耐破指数



(c) 匀度



(d) 最大孔径与平均孔径

图 2 丝光浆取代针 1 纤维的比例对原纸性能的影响
Fig. 2 Effect of proportion of mercerized pulp instead of softwood fiber 1 on properties of base paper

由图 2 可知:随着丝光浆取代量的增加,滤纸原纸的透气度与最大孔径、平均孔径不断增大;紧度和抗张指数、耐破指数以及匀度不断减小。原因是丝光化纤维中充当填充物的细小纤维的含量减少,纤维表

面变得光滑,纤维形状由扁平带状变成光滑柱状,而且长度变得更加均一化^[11]。丝光化纤维取代针叶木纤维交织成纸时,纤维间的接触面积变小,结合力减弱,导致原纸透气度、孔径增大,紧度、抗张指数和耐破指数减小,同时丝光化纤维的卷曲、扭结指数变大,纤维更加柔软,容易絮聚成团,随着丝光浆取代量的增加会导致滤纸匀度下降^[12]。当丝光浆取代量为40%时,原纸的匀度和透气度较好,因此确定丝光

浆取代针1纤维的比例为40%。

2.2.2 PET纤维取代针1纤维的比例对滤纸原纸性能的影响

在上述确定的丝光浆取代量40%的条件下,继续添加PET纤维来取代针1纤维,抄造定量155 g/m²的滤纸原纸,探究PET纤维的取代量对滤纸原纸性能的影响,结果如图3所示。

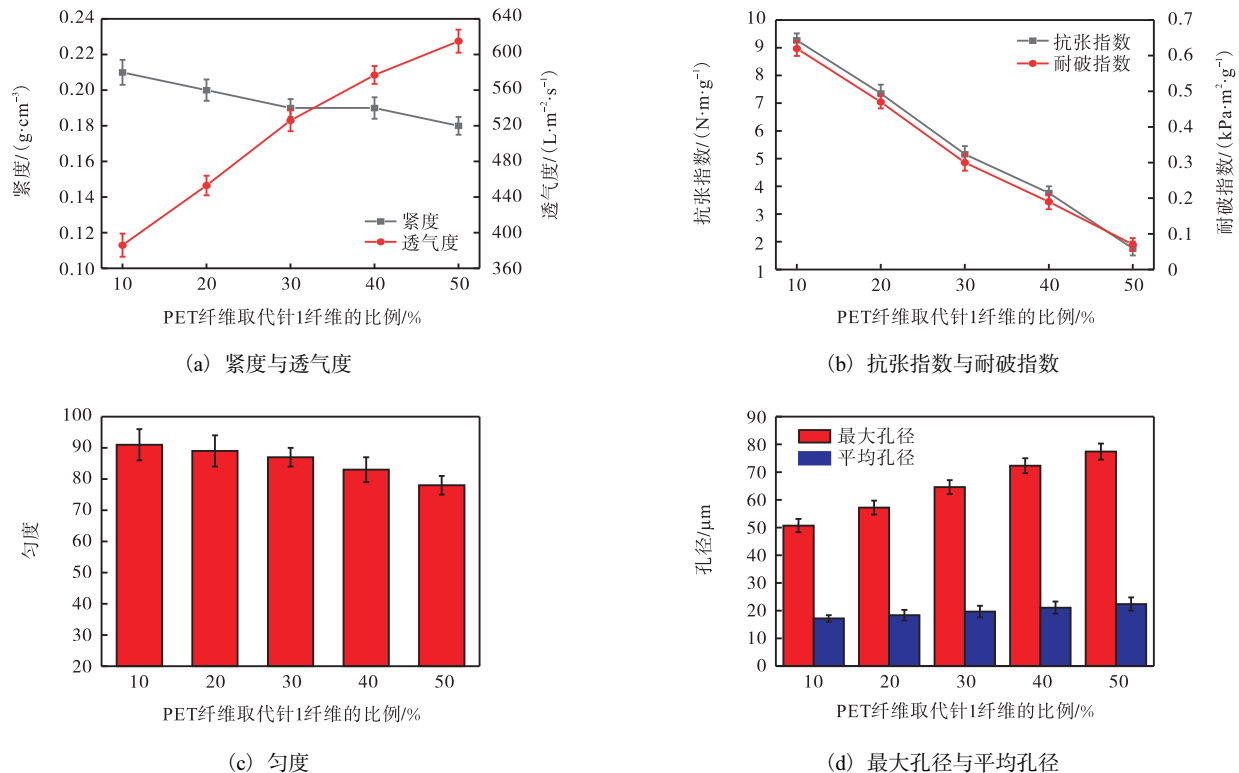


图3 PET纤维取代针1纤维的比例对原纸性能的影响

Fig. 3 Effect of proportion of PET fiber instead of softwood fiber 1 on properties of base paper

由图3可知:随着PET纤维取代量的增加,滤纸原纸的透气度以及最大、平均孔径不断增大;紧度和抗张指数、耐破指数以及匀度不断减小。这是因为PET纤维挺直、光滑,纤维表面没有羟基无法与植物纤维形成氢键结合,导致成纸结构疏松,透气度、孔径增大,抗张指数和耐破指数、紧度降低;同时PET纤维表面没有亲水性基团,PET纤维的密度大于水,在水中容易沉淀,发生缠绕、絮聚成团,随着浆料中PET纤维的不断增多,导致滤纸原纸的匀度下降^[13]。当PET纤维的取代量为40%时,原纸匀度较好,最大孔径为72.3 μm,略大于工厂对于最大孔径的要求($\leq 70 \mu\text{m}$),透气度为577 L/(m²·s),远大于工厂对于透气度的要求($(400 \pm 50) \text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$),而且滤纸原纸的最大孔径可以通过添加部分玻璃棉来降低,因此确

定PET纤维取代针1纤维的比例为40%。此时针1纤维与丝光化纤维以及PET纤维的配抄比例为20%、40%、40%。

2.3 原纸浸渍前后的形貌分析

原纸浸渍前后的扫描电镜结果如图4所示。由图4可知:原纸中纤维的表面比较光滑,多种纤维相互交错呈现出丰富的孔隙结构;浸渍后的滤纸纤维表面覆盖着大量的酚醛树脂,纤维表面变得有些粗糙,同时纤维间也有部分酚醛树脂交织成膜,但滤纸仍然呈现出较清晰的孔隙结构。原因是酚醛树脂是一种热固性树脂,在温度至85℃时,达到凝胶点,开始凝胶交联,形成三维结构。此三维结构主要是将纤维间的交错点进行黏合,起到固定和增强的作用,而基本不会堵塞纤维间交织形成的空隙结构,浸渍后的滤纸

仍然可以保持优良的过滤性能^[14].

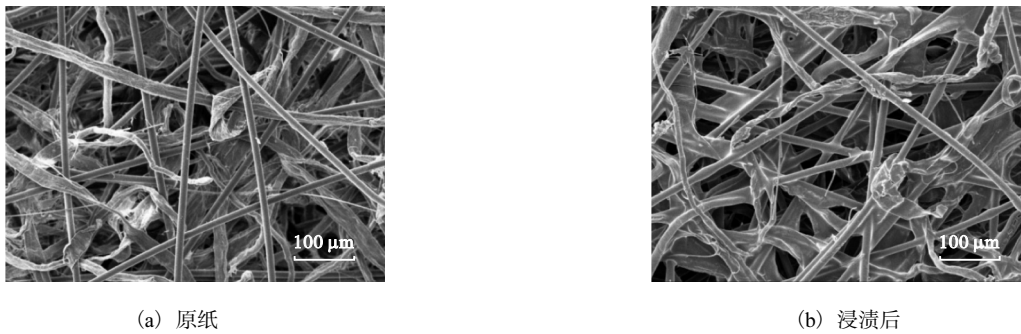


图 4 原纸浸渍前后的扫描电镜图
Fig. 4 Scanning electron microscopy of base paper before and after impregnation

2.4 自制机油滤纸与商品机油滤纸的比较

自制滤纸与商品滤纸的性能见表 2, 其中接触角以水为介质进行检测, 用于反映滤纸的憎水性. 由表 2 可知, 自制机油滤纸和商品机油滤纸相比: 定量几

乎相同, 松厚度略提高 5%、耐破指数提高 21%、透气度提高 30%、接触角提高 20%; 最大孔径和平均孔径分别略高 5% 和 2% (稍差于商品机油滤纸)、挺度略低 6%.

表 2 自制滤纸与商品滤纸的性能

Tab. 2 Performance of lab-made filter paper and commercial filter paper

| 样品 | 定量/(g·m ⁻²) | 松厚度/(cm ³ ·g ⁻¹) | 耐破指数/(kPa·m ² ·g ⁻¹) | 透气度/(L·m ⁻² ·s ⁻¹) |
|-----|-------------------------|---|---|---|
| 自制样 | 194 | 5.26 | 3.30 | 547 |
| 商品样 | 193 | 5.00 | 2.73 | 420 |
| 样品 | 挺度/(mN·m) | 最大孔径/μm | 平均孔径/μm | 接触角/(°) |
| 自制样 | 17.9 | 68.8 | 19.1 | 126 |
| 商品样 | 19.1 | 65.7 | 18.7 | 105 |

自制滤纸和商品滤纸的热重曲线如图 5 所示. 由图 5 可知: 自制机油滤纸和商品机油滤纸的分解温度分别为 322.26 °C 和 319.3 °C, 达到终止温度时, 残炭量分别为 35.48% 和 30.16%. 自制机油滤纸的分解温度和残炭量均高于商品机油滤纸.

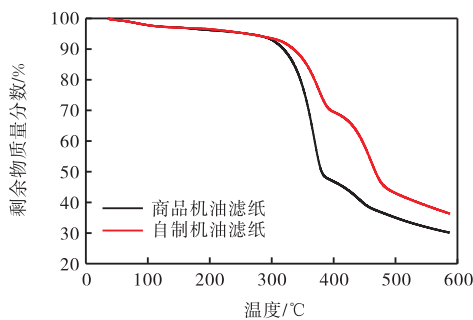


图 5 自制滤纸和商品滤纸的热重曲线

Fig. 5 Thermogravimetric curves of lab-made filter paper and commercial filter paper

两种纸样的热分解具体可分为 4 个阶段: 第一阶段温度从 38 °C 到 120 °C, 此阶段主要为水分的蒸发, TG 曲线失重速率较大; 第二阶段温度从 121 °C 到 260 °C, 此阶段为预炭化, 纤维化学组分部分开始发生变化, 少量的不稳定组分开始分解为低分子化合

物, TG 曲线失重速率变得很小; 第三阶段温度从 261 °C 到 495 °C, 此阶段为炭化, 纤维素等剧烈分解, 不断脱除易挥发物质, 留下碳素残渣, TG 曲线陡峭、失重速率急增; 第四阶段温度从 496 °C 到 587 °C, 为稳定阶段, 酚醛树脂在高温热解过程中生成质地坚实、耐热的玻璃状炭体, TG 曲线失重速率明显减小^[15].

自制机油滤纸与商品机油滤纸的过滤效率与纳污容量见表 3.

表 3 自制滤纸与商品滤纸的过滤效率与纳污容量

Tab. 3 Filtration efficiency and contaminant capacity of lab-made filter paper and commercial filter paper

| 碳粉粒径/目 | 过滤效率/% | | 纳污容量/(g·m ⁻²) | |
|--------|--------|-----|---------------------------|-----|
| | 自制样 | 商品样 | 自制样 | 商品样 |
| 2 500 | 13 | 14 | 9 | 7 |
| 1 000 | 28 | 30 | 28 | 22 |
| 600 | 74 | 76 | 81 | 69 |
| 450 | 80 | 83 | 104 | 88 |

随着碳粉目数的增大, 机油滤纸的过滤效率和纳污容量都在减小, 而且自制机油滤纸对 4 种碳粉的过滤效率均小于商品机油滤纸, 但差距较小, 平均值仅为 5% 左右; 自制机油滤纸对 4 种碳粉的纳污容量均

大于商品机油滤纸,差距较大,平均值为 23% 左右.原因是碳粉目数大,碳粉粒径则小,过滤时,会有更多的小颗粒碳粉穿过机油滤纸,使得滤纸所拦截的碳粉质量减小,过滤效率减小;过滤相同浓度的碳粉悬浮液时,小颗粒的碳粉体积较小,则其微粒数量就多,过滤时吸附在滤材上的小颗粒碳粉的数量就多,而且小颗粒的碳粉对于阻力提升的影响更大^[16],所以过滤小颗粒碳粉时的纳污容量就小.

3 结 论

(1)通过纤维分析以及抄片后滤纸原纸的性能检测,选择采用 FHP 针叶木纤维抄造滤纸原纸.为了提高机油滤纸的纳污容量,添加丝光浆、PET 纤维以部分取代 FHP 纤维抄造机油滤纸原纸,结合滤纸原纸的透气度、匀度以及孔径性能,确定 FHP 针叶木纤维与丝光化纤维以及 PET 纤维的配抄比例为 20%、40%、40%.

(2)自制机油滤纸和商品机油滤纸相比,平均纳污容量高 23%、透气度高 30%、耐破指数高 21%、接触角高 20%、耐温性略高,只是挺度略低 6%、平均过滤效率略低 5%左右.

参考文献:

- [1] 于天,江燕斌,胡健. 发动机油滤纸的性能与发展[J]. 造纸科学与技术,2013,32(6):58-61.
- [2] LOESECKE D V, MURPHEY B. Machinery and processing: an overview of engine filtration[J]. Filtration & separation, 2008, 45(7): 17-19.
- [3] 吴安波. 滤纸原料对滤纸性能的影响[J]. 华东纸业, 2011, 42(2): 36-41.
- [4] 赵璜,屠恒忠. 提高过滤纸用浆质量的可取措施[J]. 纸和造纸, 2003(3): 12-14.
- [5] 吕晓慧,阳路,刘文波. 纸张的孔隙及其结构性能[J]. 中国造纸, 2016, 35(3): 64-70.
- [6] 杨桂珍,黄彩霞,李倩钰,等. 合成纤维改善成纸性能的研究[J]. 造纸科学与技术, 2011, 30(1): 32-34.
- [7] WANG X F, CHEN X M, YOON K, et al. High flux filtration medium based on nanofibrous substrate with hydrophilic nanocomposite coating[J]. Environmental science and technology, 2005, 39(19): 7684-7691.
- [8] 张美云,董和滨,王建. 高低游离度化机浆配抄对成纸性能的影响[J]. 中国造纸, 2011, 30(1): 1-4.
- [9] 胡志斌,谢来苏. PEO 特性及其在造纸中的应用[J]. 黑龙江造纸, 2000(1): 12-15.
- [10] 何迪华. 机油滤纸的开发应用[J]. 华东纸业, 2014, 45(5): 13-16.
- [11] 熊皇伟,惠岚峰,王发焯. 丝光浆对空气滤纸原纸性能的影响[J]. 中国造纸, 2015, 34(11): 11-17.
- [12] 李金宝,马飞燕,修慧娟,等. 碱预处理对制备微晶纤维素的影 响[J]. 中国造纸, 2020, 39(1): 26-32.
- [13] 陈辉,陆国军,李涛,等. 机油滤纸的实验研究[J]. 中国造纸, 2007, 26(4): 16-18.
- [14] 龙爱云. 机油过滤纸结构及成纸性能的研究[D]. 济南:齐鲁工业大学, 2015.
- [15] 胡淑宜,黄碧中. 酚醛树脂浸渍木粉 DTA/TG 曲线解析[J]. 林产化学与工业, 2000(1): 47-51.
- [16] 马鹏杰. 不同粒径分布的粉尘对滤清器过滤比与纳污容量的影响分析[J]. 汽车零部件, 2015(10): 72-74.
- [23] 益慧慧,勾怡娜,尚姣,等. 黄芩总黄酮脂质体的制备及其体外抗肿瘤活性[J]. 中成药, 2018, 40(2): 313-319.
- [24] 杜春阳,赵龙,郭娜,等. 新型嘌呤衍生物 F7 热敏脂质体的制备和评价研究[J]. 国际药学研究杂志, 2018, 45(9): 714-722.
- [25] 刘玉兰. 肉桂醛脂质体的制备及理化性质研究[D]. 长春:吉林大学, 2019.
- [26] 丛佳,冯悦年. 氟维司群治疗一线内分泌治疗失败后晚期乳腺癌的疗效观察[J]. 中国卫生工程学, 2017, 16(2): 240-241.
- [27] 王树森,张刘璐. PALOMA-3 研究分析:氟维司群联合 Palbociclib 显著提高内分泌治疗进展的晚期乳腺癌的无进展生存期[J]. 循证医学, 2016, 16(3): 152-154.

责任编辑:周建军

责任编辑:郎婧

(上接第 13 页)

advances on thermosensitive and pH-sensitive liposomes employed in controlled release[J]. Journal of controlled release, 2019, 315: 1-22.