

汉麻秆基多孔碳的制备及其聚酯针刺毡吸声复合材料性能研究

宋鹏帅¹, 王青弘², 张欣¹, 王迎^{1*}

(1. 大连工业大学纺织与材料工程学院, 辽宁 大连 116034; 2. 吉林星源环保材料有限公司, 吉林 吉林 132300)

摘要: 为提升汉麻秆综合利用价值, 优化生物碳预处理工艺, 基于汉麻秆芯特性, 以KOH为制孔剂, 原位碳化活化协同制备多孔碳, 并探索其在吸声复合材料领域的应用。结果表明: 最佳预处理工艺为KOH质量分数18%、麻秆粉与KOH溶液质量比1.0:16.5、浸泡时间2 h, 经800 °C高温烧制的汉麻秆基碳材料为微孔、中孔混合的多孔结构, 平均孔径为2.36 nm, 比表面积为1 507.71 m²/g。采用浸渍、热轧覆膜构筑涤纶针刺毡为底层、负载碳粉涤纶针刺毡为中间层、尼龙(PA)纳米纤维膜为表层的吸声复合材料。相对于针刺毡基材、针刺毡/PA覆膜材料, 低碳粉负载量(5.4%)即可较大程度提升复合材料的吸声性能, 其平均吸声系数为0.43。

关键词: 汉麻秆; KOH活化; 生物碳; 吸声复合材料

中图分类号: TQ127.1

文献标志码: A

文章编号: 1005-3360(2026)02-0039-06

DOI: 10.15925/j.cnki.issn1005-3360.2026.02.007

Preparation of Hemp Stalk-based Porous Carbon and Study on Properties of Polyester Needle-punched Felt Sound Absorption Composites

SONG Pengshuai¹, WANG Qinghong², ZHANG Xin¹, WANG Ying^{1*}

(1. School of Textile and Material Engineering, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China;

2. Jilin Xingyuan Environmental Protection Material Co., Ltd., Jilin 132300, China)

Abstract: To enhance the comprehensive utilization value of hemp stalk and optimize the biochar pretreatment process, Based on the characteristics of hemp stalk core, KOH was used as the porogen agent to synergistically prepare porous carbon through *in-situ* carbonization and activation, and its application in the field of sound absorption composites was explored. The results indicated that the optimal pretreatment process involved a KOH mass fraction of 18%, a mass ratio of hemp straw powder and KOH solution 1.0 : 16.5, and an immersion time of 2 h. The resulting hemp stalk-derived carbon material, prepared by subsequent high-temperature calcination at 800 °C, exhibited a hierarchical porous structure comprising both micropores and mesopores, with an average pore diameter of 2.36 nm and a specific surface area of 1 507.71 m²/g. A sound absorption composite was constructed through impregnation and hot-rolling lamination processes, consisting of a polyester needle-punched nonwoven fabric as the bottom layer, a carbon-loaded needle-punched nonwoven fabric as the intermediate layer, and a polyamide (PA) nanofiber membrane as surface layer. Compared with the needle-punched nonwoven substrate and the needle-punched nonwoven/PA laminated material, the composite achieved a significant improvement in sound absorption performance even at a low carbon loading of 5.4%, exhibiting an average sound absorption coefficient of 0.43.

Keywords: Hemp straw; KOH activation; Porous carbon; Sound absorption composites

汉麻是一年生草本植物^[1]。其茎秆呈三明治结构: 外层为高强度韧皮纤维, 中间是硬质秆芯骨架, 内层为多孔髓

质组织。汉麻秆芯占全秆质量的70%~80%, 但因木质素含量高、杂质多^[2], 大量汉麻秆未能得到有效利用, 常被填

收稿日期 Submitted date 2025-03-02; 修回日期 Revised date 2025-04-18; 录用日期 Accepted date 2025-05-22

基金项目: 2024年度辽宁省属本科高校基本科研业务费专项资金资助项目(LJ212410152018)

*联系人, wangying@dlpu.edu.cn

引用本文: 宋鹏帅, 王青弘, 张欣, 等. 汉麻秆基多孔碳的制备及其聚酯针刺毡吸声复合材料性能研究[J]. 塑料科技, 2026, 54(2): 39-44.

Citation: SONG P S, WANG Q H, ZHANG X, et al. Preparation of hemp stalk-based porous carbon and study on properties of polyester needle-punched felt sound absorption composites[J]. Plastics Science and Technology, 2026, 54(2): 39-44.

埋或焚烧,造成环境污染^[3]。如何有效回收利用汉麻秆等农业废弃资源并提升其附加值,一直是科研关注的重点。生物质衍生的多孔碳材料具有来源广、制备简易、比表面积高、环境友好等优点^[4-5],广泛应用于污染物吸附^[6]、储能电极^[7]和超疏水织物^[8]等领域。近年来,汉麻秆、椰皮^[9]、玉米秸秆^[10]、花生壳^[11]、蟹壳^[12]等动植物废弃物作为生物碳前驱体受到广泛关注。其中,汉麻秆芯内部固有的孔道结构使其成为理想的多孔碳前驱材料。KOH活化是制备生物碳的常用方法。徐加雷等^[13]调节活化剂与麻秆碎片比例为2:1,制备出微孔碳材料,优化后比表面积达1 409.10 m²/g。霍朝晖等^[14]在700 °C下经KOH活化制得汉麻秆衍生碳材料,其孔径集中于1~5 nm,比表面积高达1 622.10 m²/g。

本文聚焦汉麻秆综合利用,研究其秆芯多孔碳的制备工艺,优化KOH碳化活化制孔参数,对汉麻秆基多孔碳(HCK)进行体积密度、表面形貌、孔隙率、接触角等物理结构表征,进而将生物碳负载于涤纶针刺毡,并与尼龙(PA)纳米纤维膜热轧复合,制备吸声材料,探讨其在吸声领域的应用潜力。

1 实验部分

1.1 主要原料

汉麻秆购于淘宝网;PA56切粒,优纤科技(丹东)有限公司;KOH、甲酸、乙酸,分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;盐酸(HCl),质量分数36.0%~38.0%,天津市津东天正精细化学试剂厂;聚乙烯吡咯烷酮(PVP),K30,优级纯,国药集团化学试剂有限公司;涤纶(PET)针刺毡,含80%普通涤纶、20%低熔点涤纶,吉林兴源环保材料有限公司。

1.2 仪器与设备

摇摆式高速万能粉碎机,FS-200B,宁波日宏机械制造有限公司;高温真空管式炉,OTF-1200X,合肥科晶材料技术有限公司;无针纺静电纺丝机,NS Lab 2G,捷克Elmarco公司;电热恒温鼓风干燥箱,DHG-9146A,上海精宏实验设备有限公司;纳米粒度分析仪,Zetasizer Pro,马尔文帕纳科仪器(上海)有限公司;X射线粉末衍射仪(XRD),XRD-7000S,日本岛津公司;热场发射扫描电子显微镜(SEM),JSM-7800F,日本电子公司;标准型接触角测量仪,KRUSS DSA25,克吕士科学仪器(上海)有限公司;高速自动比表面与孔隙度分析仪,Tristar 3020,麦克默瑞提克仪器(上海)有限公司。

1.3 样品制备

1.3.1 汉麻秆基多孔碳的制备

图1为汉麻秆基多孔碳的制备工艺。将汉麻秆水洗去除杂质并干燥,使用粉碎机打成粉末,并用100目标准检验筛(粒度<0.15 mm)进行筛滤。将筛分后的麻秆粉浸渍于特定含量的KOH溶液中进行溶胀处理,随后置于90 °C恒温干燥箱中干燥8 h。将干燥样品研磨后转移至坩埚,在氮气氛围保护下,采用管式炉以800 °C进行2 h的热解碳化。待体系冷却至室温后,依次采用质量分数为0.5%的盐酸溶液

去除残余活化剂,蒸馏水洗涤至中性pH值,最终经干燥研磨获得黑色汉麻秆基多孔碳粉末,记为HCK-x(x表示预处理中使用KOH的质量分数)。不加KOH的麻秆粉在同样煅烧条件下碳化,得到样品记为HC。

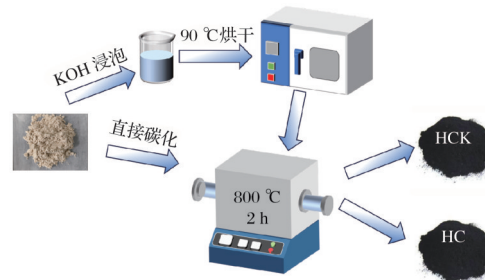


图1 汉麻秆基多孔碳的制备工艺

Fig.1 Preparation process of hemp straw-based porous carbon

1.3.2 负载汉麻秆基多孔碳吸声复合材料制备

图2为负载汉麻秆基多孔碳吸声复合材料制备工艺。首先,将一定量HCK-18样品分散在PVP水溶液(质量分数0.1%)中,制备碳粉质量浓度为10 g/L的悬浮液,超声处理20 min。将涤纶针刺毡基底浸渍在碳粉悬浮液中5 min,反复浸渍3次后取出,阴干12 h,制备汉麻秆基多孔碳负载针刺毡,记为HCK@PET。然后采用无针静电纺工艺制备PA纳米纤维膜。纺丝液中PA56质量分数为15%,甲酸、乙酸质量比为1:1;工艺参数为纺丝温度25 °C、相对湿度40%、电压70 kV、接收距离20 cm^[15]。最后,将纳米纤维膜与针刺布在烘箱进行加热黏合(基材负载碳粉面覆膜),烘箱110 °C,加热3 min,得到吸声复合材料,命名为PA/HCK@PET针刺毡/PA覆膜复合材料。另取涤纶针刺毡,与PA纳米膜进行加热黏合,命名为PET/PA。表1为吸声复合材料的结构及复合方式。

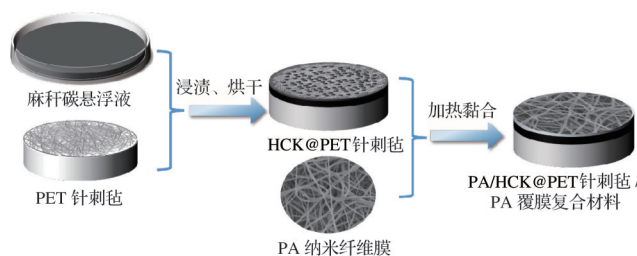


图2 负载汉麻秆基多孔碳吸声复合材料的制备工艺

Fig.2 Preparation process of sound absorption composites loaded with hemp straw-based porous carbon

1.4 性能测试与表征

粒径分布测试:使用粒度分析仪进行麻秆粉、碳粉粒径检测。测试之前,对样品悬浮液进行超声预处理,进行3次粒径检测,取3次检测数据的平均值。

XRD测试:使用X射线粉末衍射仪测量样品结晶峰。测试条件为铜靶,Cu K α 射线, λ 为0.154 06 nm,扫描速度5 (°)/min,扫描范围10°~60°。样品采用粉末,在载玻片上压片进行测试。

SEM观察:采用热场发射扫描电镜对汉麻秆基多孔碳

进行表面微观形态观察,样品喷金处理。

孔隙分布、比表面积测试:采用高速自动比表面与孔隙度分析仪测试多孔碳 N_2 吸/脱附等温曲线、孔径分布和比表面积。测试温度 77 K,样品质量 100 mg。

接触角测量:使用接触角测量仪测量多孔碳材料的静态水接触角,水滴量为 3 μ L,每组样品测试 5 次。

吸声系数测试:根据 GB/T 18696.1—2004 和 ISO 10534—2:2023,基于驻波比法原理利用阻抗管吸声系统

测试复合材料的吸声系数。将所得基材剪成直径分别为 10 cm 和 3 cm 的圆形。测试声波的频率范围为 0~6 300 Hz,每组 1 min,分别测量 3 次,取平均值。

厚度测试:对样品的厚度进行测试,每个样品选择不同位置连续取样,测试 5 次,每次间隔 10 s,取 5 个位置的厚度平均值作为该复合材料的有效厚度。

面密度测试:按照 GB/T 24218.1—2009 进行测试,采用精密分析天平测量样品的质量。测试 3 次,结果取平均值。

表1 吸声复合材料结构及复合方式

Tab.1 Structure and composite method of sound absorption composites

样品	结构			复合方式
	表层	中间层	底层	
PET 针刺毡		涤纶针刺毡		—
PA/PET 针刺毡	PA 纳米纤维膜	—	涤纶针刺毡	加热黏合
PA/HCK@PET 针刺毡	PA 纳米纤维膜	负载汉麻秆基多孔碳的涤纶针刺毡	涤纶针刺毡	浸渍负载、加热黏合

注:“—”表示无相关说明。

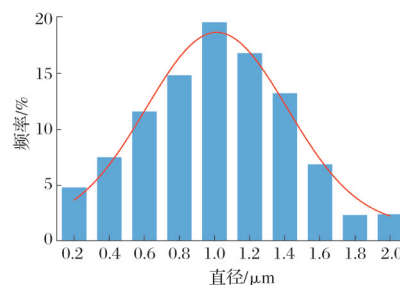
2 结果与讨论

2.1 KOH 活化工艺优化

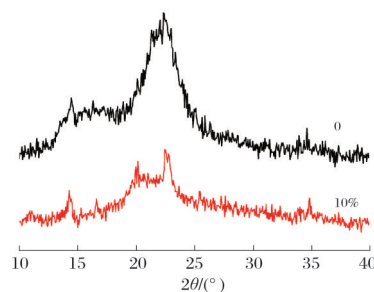
选择质量分数为 10% 的 KOH 溶液浸泡麻秆粉并进行结晶结构分析,图 3 为麻秆粉的粒径分布和 XRD 谱图。从图 3a 可以看出,直径主要分布在 0.2~2.0 μ m,平均直径为 1.067 μ m。从图 3b 可以看出,初始麻秆粉在 14.5°、16.3°、22.6° 处有清晰的衍射峰,对应纤维素的(110)、(1 $\bar{1}$ 0)和(020)晶面,为典型的纤维素 I 晶型;经过 10% KOH 浸泡处理后,样品在 13°、20.1° 处有新的衍射峰生成,分别对应于纤维素 II 晶型的(110)、(1 $\bar{1}$ 0)晶面,说明在 KOH 质量分数为 10% 的条件下,纤维素 I 和纤维素 II 晶粒同时存在^[16],即表示 10% 质量分数以上的 KOH 溶剂化水合物能够逐渐进入纤维素无定形区内部,有利于 KOH 活化剂在生物炭制备前驱材料中的均匀分布。在麻秆粉碳化活化过程中,碳材料与 KOH 的相互作用始于固-固相反应,随反应进程逐渐演变为固-液多相反应体系。该过程主要包含:钾氧化物(K_2O_y)的碳热还原生成金属钾单质和碳骨架的氧化刻蚀反应,二者协同促进孔隙结构的形成^[17]。KOH 与纤维素中的碳发生的主要反应如式(1)所示,充分完全反应条件下 KOH 与碳的物质的量比为 3:1。反应物 KOH 的摩尔质量为 56 g/mol,物质的量为 $m_{KOH}/56$ 。汉麻秆中纤维素含量为 60%^[18],纤维素含量为 $m_{麻秆粉} \times 60%$;纤维素六元环结构单元的摩尔质量为 162 g/mol,结构单元中碳元素的摩尔质量为 72 g/mol;如不考虑麻秆粉中木质素的碳成分,汉麻秆中碳元素物质的量为 $(m_{麻秆粉} \times 60\% \times 72)/162$ 。将麻秆粉、KOH 质量折换成物质的量可得到式(2)。根据式(2)计算出得反应物 $m_{KOH}:m_{麻秆粉}$ 约为 3:1。因此,通过式(1)计算出麻秆粉质量与活化剂量之间的定量关系。麻秆粉碳化过程中,KOH 活化剂来源于浸泡预处理过程。

表 2 为麻秆粉预处理工艺。浸泡碱液含量大则所需 KOH 溶液质量小,浸泡碱液含量小则需要增加 KOH 溶液

质量。在浓碱条件下,KOH 溶剂容易进入纤维素晶区,造成纤维素溶解。在 10% KOH 条件下,所需 KOH 溶液质量较大,耗水量大。因此,综合考虑后期碳化需要活化剂物质的量,溶胀实验 KOH 质量分数选择范围为 15%~30%。



(a) 麻秆粉的粒径分布



(b) 不同 KOH 含量处理的 XRD 谱图

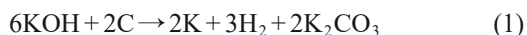
图3 麻秆粉的粒径分布和 XRD 谱图

Fig.3 Particle size distribution and XRD spectra of hemp straw powder

表2 麻秆粉预处理工艺

Tab.2 Pretreatment process of hemp straw powder

样品	$w_{KOH}/\%$	$m_{麻秆粉}:m_{KOH溶液}$
HCK-15	15	1.0:20.0
HCK-18	18	1.0:16.5
HCK-22	22	1.0:13.5



$$\frac{m_{\text{KOH}}}{56} : \frac{m_{\text{麻秆粉}} \times 60\% \times 72}{162} = 1 : 3 \quad (2)$$

2.2 汉麻秆基多孔碳物理性能分析表征

2.2.1 表面结构及孔碳结构

将麻秆粉在不同质量分数、不同质量的KOH溶液中浸泡2 h后烘干,然后在800 °C下碳化2 h制备多孔碳。金属K的沸点为762 °C,故选择800 °C作为活化温度,高温过程中K会以蒸气态流入碳原子构成的层与层之间进行活化反应^[19]。

图4为麻秆粉和汉麻秆基多孔碳的SEM照片。从图4a可以看出,麻秆粉微观形态为均匀的带有椭圆形大孔洞的片层结构,是优质的多孔碳的碳源。从图4b可以看出,HC样品,未加活化剂碳化后仍为片层结构,片层上孔洞为椭圆形,且孔洞尺寸变小数量增多。从图4c~图4f可以看出,HCK样品经过KOH活化后的碳骨架呈现出的疏松多孔的结构特点。碳化过程中,汉麻秆纤维素内部均匀分布的KOH可原位与碳反应产生微孔,微孔可作为继续反应的界面,不断促进活化^[20-21];反应过程中产生的K单质还以气态的形式参与物理刻蚀。因此,得到了含有丰富孔隙结构的生物质碳。KOH溶剂化水合物进入纤维素的程度对多孔碳的孔隙均匀性有较大的影响。对比HCK-15、HCK-18、HCK-22 3个样品,HCK-18样品的孔洞直径均匀,孔道间相互连通,大大提升样品的比表面积。HCK-15样品呈碳块状,表面仅有几个孔洞,大部分为碳化后缺陷,间接表明15% KOH条件下的样品活化不充分。HCK-22样品碎裂严重,均为小碎块,几乎不见孔洞。这是由于在22% KOH条件下KOH水合分子进入纤维素无定形区、晶区数量较多,原位与碳反应产生大孔,大孔升温活化造成孔隙坍塌的结果。

图5为汉麻秆基多孔碳的N₂吸附-脱附曲线。表3为汉麻秆基多孔碳孔隙参数。从图5可以看出,3种样品的吸脱附等温曲线均为I型,在较低的相对压力下氮气吸附量急剧上升,说明碳材料具有丰富的微孔结构。随着相对

表3 汉麻秆基多孔碳孔隙参数

Tab.3 Pore parameters of hemp stalk-based porous carbon

样品	BET比表面积/(m ² ·g ⁻¹)	微孔内比表面积/(m ² ·g ⁻¹)	微孔孔容/(cm ³ ·g ⁻¹)	平均孔径/nm
HC	40.57	28.33	0.17	6.40
HCK-15	473.56	373.96	0.19	3.75
HCK-18	1 507.71	529.82	0.27	2.36
HCK-22	276.47	223.27	0.11	6.70

2.2.2 密度及疏水性分析

图6为HCK-18样品的压片厚度及水接触角。从图6可以看出,HCK-18样品被压成厚度0.44 mm的薄片,计算得出HCK-18样品密度为0.51 g/cm³。样品表现出疏水性,与水接触角为156.7°。因此,麻秆基多孔碳除了多孔外,

还具有质量轻、防潮疏水的特性。压力继续增大,与HCK-15、HCK-22其他几个样品相比,HCK-18样品出现了明显的H4型回滞环。H4型回滞环通常存在于微孔中孔混合的吸附剂上或具有狭窄裂隙孔的固体中^[22]。对比表3数据,KOH活化的碳材料比麻秆粉直接碳化表现出更优异的孔隙结构,尤其是HCK-18样品,其比表面积高达1 507.71 m²/g,微孔孔容为0.27 cm³/g,平均孔径为2.36 nm。根据国际纯粹与应用化学协会的定义,小于2 nm的孔称为微孔,大于50 nm的孔称为大孔,2~50 nm的孔称为介孔。因此,HCK-18样品属于微孔、中孔混合、无大孔的多孔碳材料。

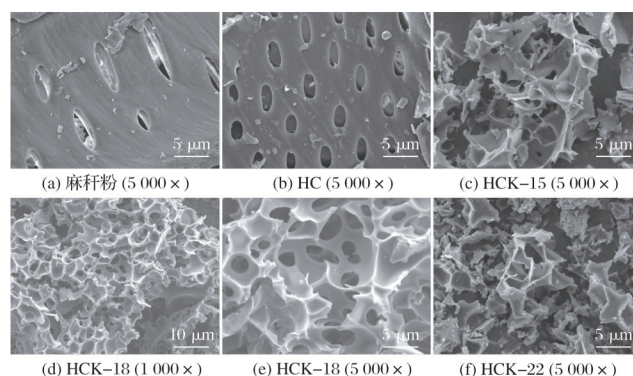


图4 麻秆粉和汉麻秆基多孔碳的SEM照片

Fig.4 SEM images of hemp stem powder and hemp straw-based porous carbon

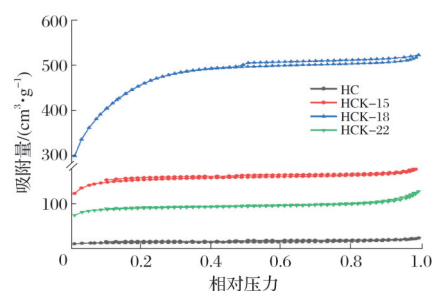


图5 汉麻秆基多孔碳的N₂吸附-脱附曲线

Fig.5 N₂ adsorption-desorption curves of hemp straw-based porous carbon

还具有质量轻、防潮疏水的特性。

2.3 PA/HCK@PET 针刺毡形貌及吸声性能表征

2.3.1 汉麻秆基多孔碳悬浮液分散性

图7为麻秆基多孔碳悬浮液粒径分布。从图7可以看出,碳粉粒径均匀,在悬浮液中分散较好。其平均直径为

405 nm, 直径分布区间在300~500 nm。

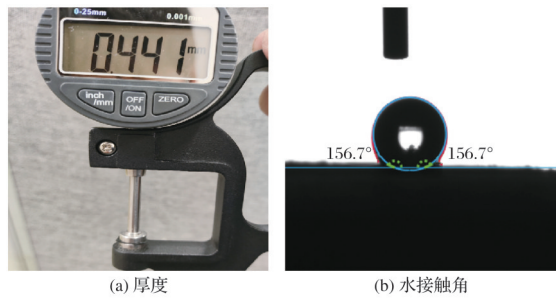


图6 HCK-18样品的压片厚度及水接触角

Fig.6 Tablet thickness and water contact angle of HCK-18 sample

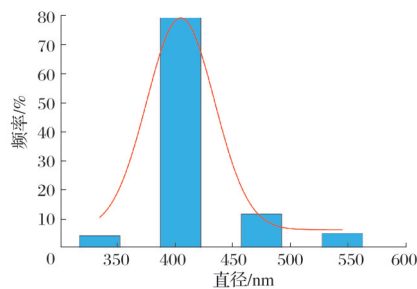


图7 麻秆基多孔碳悬浮液粒径分布

Fig.7 Particle size distribution of hemp stalk-based porous carbon suspension

2.3.2 HCK@PET 针刺毡形貌观察

图8为PET针刺毡和HCK@PET针刺毡的SEM照片。从图8可以看出,作为基材的PET针刺毡纤维直径较粗,纤维表面光滑平整,平均纤维直径为15~19 μm ;浸轧碳粉之后,PET纤维表面负载大量汉麻秆基多孔碳颗粒。纤维之间的孔隙仍然可见,偶有2~3根纤维被PVP黏合剂粘在一起。

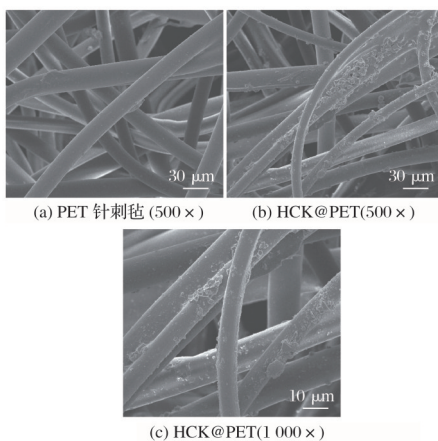


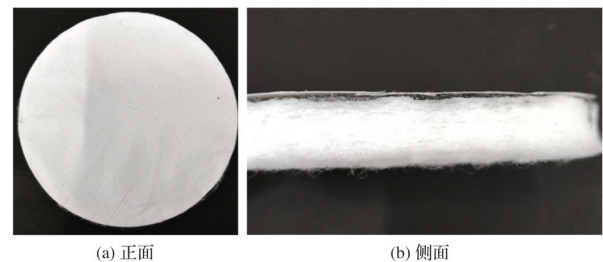
图8 PET针刺毡和HCK@PET针刺毡的SEM照片

Fig.8 SEM images of PET needle-punched felt and HCK@PET needle-punched felt

2.3.3 PA/HCK@PET 针刺毡吸声性能

图9为PA/HCK@PET针刺毡照片及吸声系数曲线。图9a和图9b可以看出,吸声复合材料厚度为6.32 mm。其中,纳米纤维膜厚0.16 mm,碳粉负载层厚0.82 mm,碳

粉负载量约为5.4%,面密度为370.41 g/m^2 。复合材料呈三明治结构,PET针刺毡在底层,汉麻秆基多孔碳负载涤纶针刺毡在中间层,PA纳米膜在表层。作为基材的PET针刺非织造布,其结构较疏松,纤维直径分布在15~19 μm ,平均孔径为87 μm ;夹心层中负载的汉麻秆基多孔碳平均直径为405 nm,平均孔径为2.36 nm;最外层的PA纳米纤维膜,纤维直径分布为150~200 nm,平均孔径为157 nm。3种不同直径与孔径的材料层层复合,共同构筑从上至下形成中孔-小孔-大孔孔隙结构的吸声复合材料。表层纳米纤维层的中孔层可以使声波进入吸声材料中并提供部分吸声贡献。多孔碳的小孔结构使声波在材料内部通过摩擦、反射等阻尼损耗转换为热能而耗散,可进一步提升吸声效果^[23-24]。针刺层为复合材料提供强力。



(a) 正面 (b) 侧面

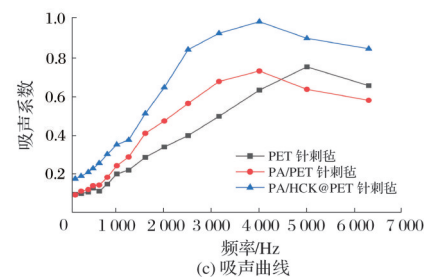


图9 PA/HCK@PET针刺毡照片及吸声系数曲线
Fig.9 Photos and sound absorption coefficient curves of PA/HCK@PET needle-punched felt

从图9c可以看出,随着声波频率的增加,3种材料的吸声系数均呈线性上升趋势。当声波频率低于500 Hz时,PET和PA/PET针刺毡的吸声系数均低于0.2,而PA/HCK@PET针刺毡的吸声系数则达到0.2以上,说明其在低频段具有一定的吸声能力。当声波频率达到2000 Hz时,PET针刺毡的吸声系数为0.34,PA/PET的吸声系数为0.47,PA/HCK@PET的吸声系数则超过0.6。当声波频率达到4000 Hz以上后,3种样品的吸声系数均达到最大值,而后又逐渐下降。PET针刺毡在5000 Hz时达到最大吸声系数0.75,随后吸声效果降低至0.65。PET/PA针刺毡在4000 Hz时吸声系数最大为0.73,随后吸声效果降低至0.58。PA/HCK@PET针刺毡在4000 Hz时吸声系数最大0.98,随后降至0.84。

一般来说,当材料的吸声系数大于0.2时,称为吸声材料,当吸声系数大于0.56时,可称为高效吸声材料^[25]。在工程中常采用125、250、500、1000、2000、4000 Hz 6个频率的吸声系数均值来表示某一吸声材料的平均吸声系数。

PA/HCK@PET 针刺毡的平均系数约为 0.43, 远高于 PET/PA 针刺毡的 0.35 和 PET 针刺毡的 0.3。对比实验数据可知, 孔隙丰富的汉麻秆基多孔碳较大地提升了 PET 针刺复合材料的吸声性能。结合麻秆粉具有质轻、防潮疏水特征, 层层构筑的复合材料在吸声领域将会有较好的应用前景。

3 结论

本文聚焦汉麻秆综合利用, 研究汉麻秆基多孔碳制备工艺, 采用浸渍、热轧覆膜构筑聚酯针刺毡为底层、负载碳粉聚酯针刺毡为中间层、PA 纳米纤维膜为表层的吸声复合材料。研究优化了多孔碳制备工艺, KOH 碳化活化制孔剂浸泡工艺条件为质量分数 18%、麻秆粉与 KOH 溶液质量比 1.0:16.5、浸泡时间 2 h。测试制备材料的物理性能, 18% KOH 活化碳化的汉麻秆基碳材料属于微孔、中孔混合无通透的大孔结构的多孔碳。样品比表面积高达 1 507.71 m²/g, 平均孔径为 2.36 nm; 密度为 0.51 g/cm³, 水接触角为 156.7°。相对于针刺毡基材、针刺毡/PA 覆膜材料, 较低的汉麻秆基碳粉负载量即可较大程度地提升复合材料的吸声性能, 其平均吸声系数为 0.43。本研究将生物质碳与聚酯针刺毡结合, 同时热轧涂覆 PA 纳米膜, 构筑质量轻、孔道多、防潮疏水、吸声隔音等特征的复合材料。该材料在吸声隔音领域极具应用前景。

参考文献

- [1] 易路. 汉麻的理化性质与抑菌性能探究[J]. 国际纺织导报, 2022, 50(6): 1-6.
- [2] 陈明月, 苏桂明, 姜海健, 等. 汉麻秆芯的物性分析及形貌表征[J]. 化学工程师, 2021, 35(2): 75-78.
- [3] 李飞, 崔展, 卢梅婕, 等. 废旧涤纶织物/汉麻秆复合材料的制备及其力学性能研究[J]. 化工新型材料, 2024, 52(10): 276-281.
- [4] 李诗杰, 韩奎华. 活性炭孔结构及电化学性能协同优化[J]. 化工进展, 2020, 39(1): 287-293.
- [5] YANG Q, GUO J, ZHANG S, et al. Multi-element co-doping waste pomelo peel synthesis of hierarchical porous carbon nanomaterials with high specific surface area for supercapacitors[J]. Industrial Crops and Products, 2024, 218: 118892.
- [6] SARWAR A, ALI M, KHOJA A H, et al. Synthesis and characterization of biomass-derived surface-modified activated carbon for enhanced CO₂ adsorption[J]. Journal of CO₂ Utilization, 2021, 46: 101476.
- [7] WANG P F, GONG Z, YE K, et al. N-rich biomass carbon derived from hemp as a full carbon-based potassium ion hybrid capacitor anode[J]. Applied Surface Science, 2021, 553: 149569.
- [8] 张应秀, 徐丽慧, 潘虹, 等. 基于甘蔗渣多孔碳的超疏水棉织物制备及其性能[J]. 纺织学报, 2024, 45(10): 161-169.
- [9] YANG Q, GUO J, ZHANG S, et al. Utilizing waste pomelo peel to develop activated-doped porous biomass carbon as electrode materials: Study of activation mechanism, evaluation of electrochemical properties and assembly of symmetric supercapacitors[J]. Industrial Crops and Products, 2024, 209: 118060.
- [10] WANG R, LI X Y, NIE Z G, et al. Ag nanoparticles-decorated hierarchical porous carbon from cornstalk for high-performance supercapacitor[J]. Journal of Energy Storage, 2022, 51: 104364.
- [11] KUSHWAHA R, SINGH R S, MOHAN D. Comparative study for sorption of arsenic on peanut shell biochar and modified peanut shell biochar[J]. Bioresource Technology, 2023, 375: 128831.
- [12] XUE X X, WENG Y J, JIANG Z D, et al. Naturally nitrogen-doped porous carbon derived from waste crab shell as anode material for high performance sodium-ion battery[J]. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2021, 157: 105215.
- [13] 徐加雷, 侯宏英, 刘显茜, 等. 大麻秆基活性炭的制备及其超电性能[J]. 材料科学与工程学报, 2022, 40(6): 987-991.
- [14] 霍朝晖, 吴清红, 黎晓晴, 等. 大麻秆生物质碳负载 Pt 用于电催化氧化甲醇[J]. 化学研究与应用, 2020, 32(1): 85-90.
- [15] 丁照轩. 生物基 PA56 静电纺纳米纤维网形貌调控及其应用[D]. 大连: 大连工业大学, 2021.
- [16] 宋文瑜, 史康杰, 李大纲, 等. 玉米秸秆制备 I、II、III 晶型纳米纤维素[J]. 包装工程, 2022, 43(19): 113-119.
- [17] HAO T, ZHOU Q, JIANG J Y, et al. Experimental and density functional theory calculation study on the NO₂ adsorption and reduction by KOH activated biochar[J]. Applied Surface Science, 2025, 684: 161670.
- [18] 唐晓莉, 马灵飞. 大麻秆芯的物理性质和化学组分[J]. 浙江林学院学报, 2010, 27(5): 794-798.
- [19] 黄宇翔, 于文吉, 赵广杰. KOH 活化木质碳纤维的孔隙结构及其成孔机理[J]. 林业工程学报, 2018, 3(2): 82-87.
- [20] WABO S G, KLEPEL O. Nitrogen release and pore formation through KOH activation of nitrogen-doped carbon materials: an evaluation of the literature[J]. Carbon Letters, 2021, 31(4): 581-592.
- [21] YIN Y F, LIU Q J, ZHAO Y T, et al. Recent progress and future directions of biomass-derived hierarchical porous carbon: Designing, preparation, and supercapacitor applications[J]. Energy & Fuels, 2023, 37(5): 3523-3554.
- [22] THOMMES M, KANEKO K, NEIMARK A V, et al. Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report) [J]. Pure and applied chemistry, 2015, 87(9/10): 1051-1069.
- [23] RAHIMABADY M, STATHARAS E C, YAO K, et al. Hybrid local piezoelectric and conductive functions for high performance airborne sound absorption[J]. Applied Physics Letters, 2017, DOI: 10.1063/1.5010743.
- [24] LEE J, KIM J, SHIN Y, et al. Multilayered graphene oxide impregnated polyurethane foam for ultimate sound absorbing performance: Algorithmic approach and experimental validation[J]. Applied Acoustics, 2023, 203: 109194.
- [25] 王海刚, 张京发, 王伟宏, 等. 纤维增强木塑复合材料研究进展[J]. 林业科学, 2016, 52(6): 130-139.