

# 国产酚醛纤维的性能及其在隔热材料上的应用探讨

黄婷婷<sup>1</sup> 贾伟艺<sup>2,3</sup> 汪军<sup>1</sup> 马小丰<sup>2,3</sup>

1. 东华大学 纺织学院, 上海 201620;
2. 开滦(集团)有限责任公司, 河北 唐山 063018;
3. 河北省煤基材料与化学品技术创新中心, 河北 唐山 063018

**摘要:**对国产酚醛纤维的结构和性能进行测试与表征,探讨国产酚醛纤维非织造材料在隔热材料领域的应用潜力。采用针刺工艺制备国产酚醛纤维针刺毡,并对其力学性能、热稳定性性能、热防护性能及防火隔热性能等进行测试。研究表明:国产酚醛纤维表面光滑,无沟槽裂纹,回潮率低,比电阻较大,摩擦因数较小,具有优良的阻燃耐热性能;国产酚醛纤维针刺毡的强度较低,但热稳定性性能和热防护性能良好,其热导率达  $0.02671 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ,热防护性能值(TPP 值)为  $1545.6 \text{ kW}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ ,在  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  火焰下灼烧 60 s 后,国产酚醛纤维针刺毡的冷面温度为  $128.6 \text{ }^\circ\text{C}$ ,具有优异的防火隔热性能。

**关键词:**酚醛纤维;针刺毡;力学性能;热稳定性性能;热防护性能;防火隔热性能

中图分类号:TS 102.5

文献标志码:A

文章编号:1004-7093(2025)04-0023-07

## Discussion on properties of domestic phenolic fibers and their application in thermal insulation materials

Huang Tingting<sup>1</sup>, Jia Weiyi<sup>2,3</sup>, Wang Jun<sup>1</sup>, Ma Xiaofeng<sup>2,3</sup>

1. College of Textiles, Donghua University, Shanghai 201620, China;
2. Kailuan Group Limited Liability Corporation, Tangshan 063018, Hebei, China;
3. Hebei Provincial Technology Innovation Centre of Coal-based Materials and Chemicals, Tangshan 063018, Hebei, China

**Abstract:** The structure and properties of domestic phenolic fibers were tested and characterized, and the application potential of domestic phenolic fiber nonwoven materials in the field of thermal insulation materials was discussed. Domestic phenolic fiber needled felt was prepared by the needle-punching process, and its mechanical properties, thermal stability performance, thermal protection performance, and fire-retardant and thermal insulation performance were tested. The research results showed that the surface of domestic phenolic fiber was smooth, without groove cracks, with low moisture absorption rate, large specific resistance, small friction coefficient, and excellent flame retardant and heat resistance performance. The strength of domestic phenolic fiber needled felt was relatively low, but it had good thermal stability performance and thermal protection performance. Its

收稿日期:2024-11-22

作者简介:黄婷婷,女,2000年生,在读硕士研究生,研究方向为阻燃隔热材料的开发与应用

通信作者:马小丰,正高级工程师,主要从事高性能纤维开发及应用研究,kleerd\_mxf@163.com

thermal conductivity was  $0.02671 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ , and the thermal protection performance value (TPP value) was  $1545.6 \text{ kW}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ . After being burned in a flame at  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  for  $60 \text{ s}$ , the cold surface temperature of the domestic phenolic fiber needled felt was  $128.6 \text{ }^\circ\text{C}$ , which indicated that it had excellent fire-retardant and thermal insulation performance.

**Keywords:** phenolic fiber; needled felt; mechanical property; thermal stability performance; thermal protection performance; fire-retardant and thermal insulation performance

酚醛纤维最早是采用热固性 Novolac 树脂在甲醛、酸性催化剂及热的作用下通过交联固化制得的<sup>[1-2]</sup>。二十世纪六七十年代,美国金刚砂(Caborundum)公司率先在高度交联网状结构热固性酚醛纤维的工业化技术方面取得突破,推出商品名为“Kynol”的酚醛纤维产品,并与日本钟纺、三菱公司合资成立 Kynol 公司,深化酚醛纤维工业化生产技术和应用研发<sup>[3]</sup>。目前,国内有关酚醛纤维的研究仍较少<sup>[4]</sup>。1972年,上海纺织科学研究院率先采用湿法纺丝技术制备出聚乙烯醇(PVA)改性酚醛纤维<sup>[5]</sup>。2000年,中国科学院山西煤炭化学研究所通过熔融纺丝技术制备出酚醛纤维,并对其进行了增韧改性方面的相关研究<sup>[6]</sup>。开滦集团煤化工研发中心通过改性原料,改进熔融纺丝、负压收丝及纺丝后处理等工艺,解决了酚醛纤维原丝脆性大、易断裂、固化交联时间长,以及难以工业化生产等问题,提高了纺丝效率并缩短了固化交联时间<sup>[7]</sup>。近年来,国内研究者围绕酚醛纤维的高性能改性<sup>[8]</sup>、纺丝工艺<sup>[9-10]</sup>与固化碳化<sup>[11-12]</sup>等展开了系列研究,但国产酚醛纤维的相关研究整体仍处于实验室研发阶段,尚未实现规模化应用。

酚醛纤维具有优异的阻燃、耐高温、耐辐照、耐腐蚀、耐烧蚀及绝热等特性,广泛应用于国防军工、航天航空、化学、冶金工业等领域<sup>[13-17]</sup>。与常规耐高温纤维相比,酚醛纤维是唯一可瞬间耐受  $2450 \text{ }^\circ\text{C}$  高温的有机纤维,其遇火焰时既不会熔融滴落也不会产生有毒气体,能够在表面形成致密炭化层的同时保持纤维原有形态<sup>[18]</sup>;纤维密度明显低于常规耐高温纤维,燃烧后主要产物为  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ ,符合环保要求;纤维生产成本较低<sup>[19]</sup>。因此,酚醛纤维具有广阔的市场前景。

本文对国产酚醛纤维的物理力学性能、结构特性及热学性能进行测试与表征,分析国产酚醛纤维非织造加工过程中的优势与不足。同时,通过针刺

工艺对国产酚醛纤维进行针刺加固,测试所得酚醛纤维针刺毡的热学性能和力学性能。研究旨在为我国酚醛纤维的性能探究及其在非织造隔热材料领域的开发应用提供参考。

## 1 国产酚醛纤维的性能测试与分析

### 1.1 试验材料

试验材料为开滦煤化工研发中心提供的牌号为 PF-15 的国产酚醛纤维,其基本规格参数如表 1 所示。

表 1 材料基本规格参数

Tab. 1 Basic specification parameters of the material

长度/mm	线密度/dtex	回潮率/%
35.5	2.21	4.02

### 1.2 测试方法

将待测纤维试样放在温度  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 、相对湿度 65% 的实验室环境下预处理 24 h,达到平衡状态后再进行各项性能测试。

#### 1.2.1 表面形态

采用 Flex SEM1000 型扫描电子显微镜(SEM, Hitachi 公司)观察纤维表面形态。

#### 1.2.2 强伸性

测试方法参照 GB/T 14337—2022《化学纤维短纤维拉伸性能试验方法》,采用 LLY-06E 型电子纤维强力仪(莱州市电子仪器有限公司)测试纤维强伸性。仪器参数设置为夹持隔距  $20 \text{ mm}$ ,拉伸速度  $20 \text{ mm}/\text{min}$ ,预张力夹负荷  $0.1 \text{ cN}$ 。

#### 1.2.3 比电阻

测试方法参照 GB/T 14342—2015《化学纤维短纤维比电阻试验方法》,采用 XR-1A 型纤维比电阻仪(上海新纤仪器有限公司)测试纤维比电阻。称取  $15 \text{ g}$  待测试样,重复测试 3 次,结果取平均值。

#### 1.2.4 摩擦因数

测试方法参照 GB/T 45179—2024《化学纤维短纤维摩擦因数的测定 绞盘法》,采用 XCF-1A 型纤维摩擦因数测试仪(上海新纤仪器有限公司)测试纤维与金属之间的静摩擦因数和动摩擦因数。仪器参数设置为摩擦辊转速 30 r/min,张力夹负荷 0.1 cN。

#### 1.2.5 热稳定性

采用 TGA 4000 型热重分析仪(PerkinElmer 公司)测试纤维的热稳定性。将纤维先剪碎成粉末状,再充分研磨后进行测试。测试温度为 40~800 °C,升温速率为 10 °C/min,测试气氛为氮气。

#### 1.2.6 红外光谱测试

采用 Nicolet In10 MX 型傅里叶变换红外光谱

仪,对纤维进行红外光谱测试。采用 KBr 压片法,先将纤维剪碎成粉末状,再充分研磨后进行测试。仪器参数设置为扫描范围 4 000~400  $\text{cm}^{-1}$ ,信噪比不小于 50 000,分辨率不大于 0.09  $\text{cm}^{-1}$ 。

#### 1.2.7 色谱质谱测试

采用 QP-2010 型气相色谱质谱联用仪(日本岛津公司)对纤维的分子结构进行分析,裂解温度为 600 °C。

### 1.3 测试结果与分析

#### 1.3.1 表面形态

国产酚醛纤维纵横向表面形态 SEM 图如图 1 所示。可以看出,国产酚醛纤维表面平整光滑、无沟槽,纤维横截面近似圆形,实心,纤维内部无空洞、裂纹等缺陷。

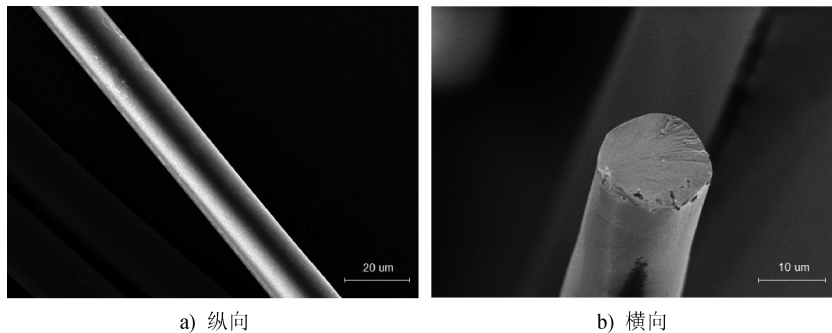


图 1 国产酚醛纤维的表面形态 SEM 图

Fig. 1 SEM images of surface morphology of domestic phenolic fiber

#### 1.3.2 强伸性

国产酚醛纤维的强伸性测试结果如表 2 所示。可以看出,国产酚醛纤维的断裂强度和断裂强度变异系数(CV)值均较小,表明国产酚醛纤维强度虽较低但强度分布均匀,故经针刺非织造加工制得的纤网强度分布也较均匀,但在刺针等机械外力作用下纤维易断裂。国产酚醛纤维的断裂伸长率较小且断裂伸长率 CV 值较大,表明针刺非织造加工过程中纤维的断裂可能存在不同时性,这会导致纤网受力分布不均匀。

表 2 国产酚醛纤维的强伸性测试结果

Tab. 2 Strength and elongation test results of domestic phenolic fiber

断裂强度/ ( $\text{cN}\cdot\text{dtex}^{-1}$ )	断裂强度 CV 值/%	断裂 伸长率/%	断裂伸长率 CV 值/%	初始模量/ ( $\text{cN}\cdot\text{dtex}^{-1}$ )
1.71	7.56	4.57	33.53	0.27

#### 1.3.3 比电阻

国产酚醛纤维的比电阻测试结果如表 3 所示。可以看出,国产酚醛纤维的体积比电阻和质量比电阻的数量级均高达  $10^{13}$ ,表明酚醛纤维在梳理成网过程中易产生静电,导致纤维缠绕罗拉锡林等部件,因此需对纤维进行抗静电处理。

表 3 国产酚醛纤维的比电阻测试结果

Tab. 3 Specific resistance test results of domestic phenolic fiber

电阻/ $\Omega$	体积比电阻/ ( $\Omega\cdot\text{cm}$ )	质量比电阻/ ( $\Omega\cdot\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$ )
$4.7\times 10^{12}$	$1.3\times 10^{13}$	$1.6\times 10^{13}$

#### 1.3.4 摩擦性能

国产酚醛纤维的摩擦性能测试结果如表 4 所示。非织造布成型过程中,纤维的摩擦作用使纤维能够在无黏结剂条件下,通过纤维间的纠缠与摩擦

而成型。纤维摩擦性能是影响非织造可加工性能及成品手感风格的重要因素。国产酚醛纤维的动摩擦因数  $\mu_{动}$ 、静摩擦因数  $\mu_{静}$  及受到的平均动摩擦力  $f_{动}$ 、平均静摩擦力  $f_{静}$  均较小,表明国产酚醛纤维相互间易滑移,这会导致刺针钩取纤维的效率较低。

表 4 国产酚醛纤维的摩擦性能测试结果

Tab. 4 Frictional property test results of domestic phenolic fiber

$f_{静}/$ $10^{-3}$ cN	$\mu_{静}$		$f_{动}/$ $10^{-3}$ cN	$\mu_{动}$	
	数值	CV 值/%		数值	CV 值/%
45.6	0.194 1	10.4	42.0	0.173 9	11.2

### 1.3.5 热稳定性

国产酚醛纤维的热稳定性测试结果如图 2 所示。可以看出,各温度阶段国产酚醛纤维的质量损失速率存在差异。温度为 102.3 °C 时,试样 0.55% 的初始质量损失率是其所吸附水分的释放导致的;温度为 306.3 °C 时,质量损失率约为 5.01%,试样开始进入热分解阶段,表明酚醛纤维化学键的稳定性较好,能够耐受高温环境;温度为 419.6 °C 时,出现了短暂的热降解平缓期;温度高于 419.6 °C 后,试样发生快速热降解,且在温度为 480.8 °C 时试样的质量变化速率达到峰值;温度为 811.1 °C 时,试样的质量残余率为 54.75%,表明酚醛纤维在高温下能够形成稳定的炭层,具有良好的阻燃性和热稳定性。

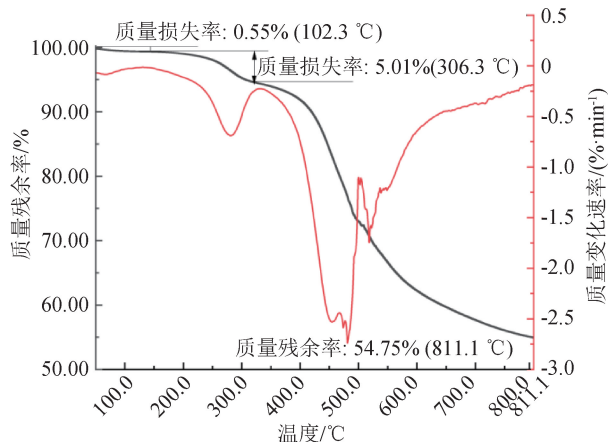


图 2 国产酚醛纤维的热稳定性测试结果

Fig. 2 Test results of thermal stability of domestic phenolic fiber

### 1.3.6 红外光谱测试

国产酚醛纤维的红外光谱图如图 3 所示。其中,3 430.7  $\text{cm}^{-1}$  处的吸收峰对应酚羟基的伸缩振动;2 856.1 ~ 2 928.6  $\text{cm}^{-1}$  处的弱吸收峰对应亚甲基

— $\text{CH}_2$ — 的不对称和对称伸缩振动;1 615.1  $\text{cm}^{-1}$  处的强吸收峰对应苯环骨架  $\text{C}=\text{C}$  的伸缩振动;1 476.1  $\text{cm}^{-1}$  处的强吸收峰对应苯环  $\text{C}-\text{H}$  的面内弯曲振动;1 077.6  $\text{cm}^{-1}$  处的弱吸收峰表明存在醚键  $\text{C}-\text{O}-\text{C}$  交联结构;871.1  $\text{cm}^{-1}$  和 742.7  $\text{cm}^{-1}$  处的吸收峰分别对应苯环对位和邻位  $\text{C}-\text{H}$  的面外弯曲振动,且 742.7  $\text{cm}^{-1}$  处的吸收峰表明邻位连接方式占主导。综上所述,国产酚醛纤维中含有 — $\text{OH}$ 、 $\text{C}=\text{C}$ 、— $\text{CH}_2$ —、 $\text{C}-\text{O}-\text{C}$  等官能团,具有以邻位交联为主的网状结构。

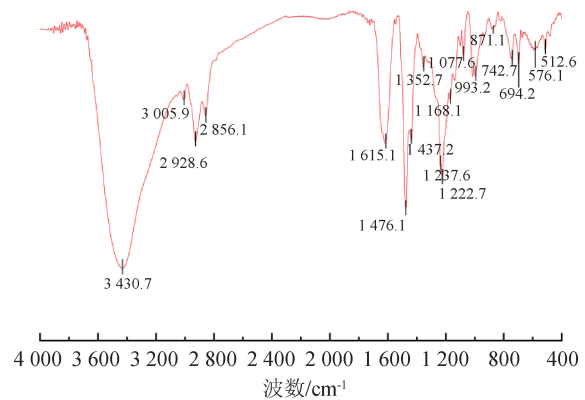


图 3 国产酚醛纤维的红外光谱图

Fig. 3 Infrared spectrum of domestic phenolic fiber

### 1.3.7 色谱质谱测试

色谱质谱分析技术能够基于待测样品中各组分在色谱柱固定相与流动相之间分配系数的差异,实现化合物的高效分离<sup>[20]</sup>。国产酚醛纤维的色谱图如图 4 所示,600 °C 时国产酚醛纤维裂解质谱峰及峰面积占比如表 5 所示。

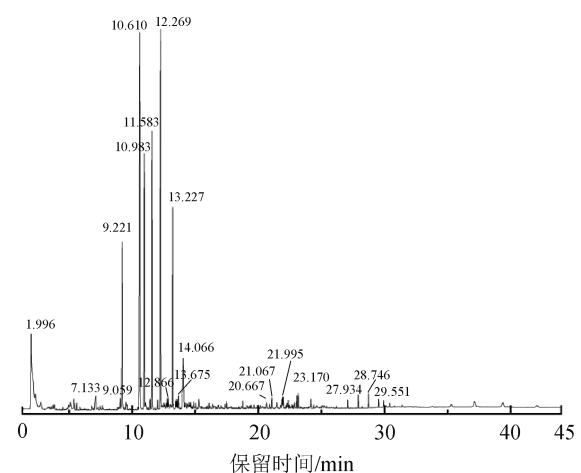


图 4 国产酚醛纤维的色谱图

Fig. 4 Chromatogram of domestic phenolic fiber

表 5 600 °C 时国产酚醛纤维裂解质谱峰及峰面积占比

序号	保留时间/min	峰面积占比/%	化合物	化学式	美国化学文摘登记号 (CAS 号)
1	10.610	21.10	邻甲基苯酚	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	95-48-7
2	10.983	13.14	对甲基苯酚	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	106-44-5
3	12.269	22.07	2,4-二甲苯酚	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O	105-67-9
4	11.583	11.34	2,6-二甲苯酚	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O	576-26-1

由图 4 和表 5 可知, 国产酚醛纤维在保留时间分别为 10.610、10.983、11.583 和 12.269 min 时, 相应的峰面积占比分别达 21.10%、13.14%、11.34% 和 22.07%。其中, 邻甲基苯酚与对甲基苯酚的峰面积比约为 1.6:1.0, 表明酚醛树脂合成过程中邻位交联反应占主导。此外, 试验同时还检测出具有空间位阻效应特征的 2,4-二甲苯酚和 2,6-二甲苯酚, 表明国产酚醛纤维存在三维交联网络结构。

由图 3 和图 4 可推算出国产酚醛纤维的分子循环单元和分子结构简图, 如图 5 示。结合国产酚醛纤维的红外光谱图、色谱质谱分析结果可知, 国产酚醛纤维的分子结构中仅存在 C、H 和 O 这 3 种元素, 且酚羟基与亚甲基为邻位结构。

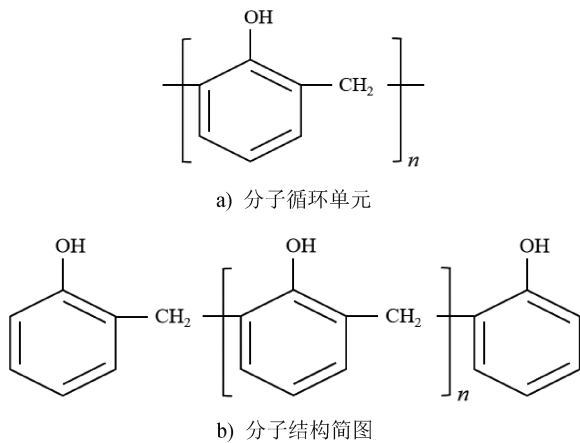


图 5 国产酚醛纤维的分子循环单元和分子结构简图  
Fig. 5 Molecular circulation unit and molecular structure diagram of domestic phenolic fiber

## 2 国产酚醛纤维针刺毡的性能测试与分析

### 2.1 国产酚醛纤维针刺毡的制备

首先, 使用开松机对国产酚醛纤维原料进行开松; 其次, 采用梳理机将其梳理成单层纤维网, 再通过平行铺网的方式将单层纤维网铺叠成厚纤维网; 再次, 将高蓬松度且抱合力小的厚纤维网输送至预

针刺机进行针刺加固; 最后, 将预针刺的纤维网输送至主针刺机, 制备面密度为 332.3 g/m<sup>2</sup>、厚度为 4.7 mm 的国产酚醛纤维针刺毡。针刺工艺参数如下: 针刺深度为 6 mm, 针刺频率为 200 刺/cm<sup>2</sup>, 针刺道数为 2。

### 2.2 测试方法

将待测国产酚醛纤维针刺毡试样置于温度为 20 °C、相对湿度为 65% 的实验室环境下预调湿 24 h, 达到平衡状态后再进行各项性能测试。

#### 2.2.1 拉伸性能

参照 GB/T 24218.3—2010《纺织品 非织造布 试验方法 第 3 部分: 断裂强力和断裂伸长率的测定 (条样法)》, 采用 YG026MB 型多功能电子织物强力机 (南通宏大实验仪器有限公司) 对国产酚醛纤维针刺毡试样进行纵向 (平行于机器输出方向) 和横向 (垂直于机器输出方向) 拉伸性能测试。试样尺寸为 200 mm×50 mm, 拉伸速度为 100 mm/min, 试样夹持距离为 100 mm。

#### 2.2.2 热稳定性

参照 GA 10—2014《消防员灭火防护服》中的附录 B, 采用 Y802N 型八篮恒温烘箱 (温州方圆仪器有限公司) 测试国产酚醛纤维针刺毡试样的热稳定性。沿酚醛纤维针刺毡的纵横向裁取 100 mm×100 mm 的试样各 3 块, 经 24 h 预调湿后放入 260 °C 的烘箱中烘烤 5 min, 取出试样并迅速测量其纵横向尺寸。

#### 2.2.3 热防护性能

参照 GA 10—2014《消防员灭火防护服》中的附录 A, 采用 DR255 型热防护性能测试仪 (温州市大荣纺织仪器有限公司) 测试国产酚醛纤维针刺毡试样的热防护性能。裁取 3 块尺寸为 150 mm×150 mm 的试样, 经 24 h 预调湿后进行测试, 取 3 次测试结果的平均值。

#### 2.2.4 热导率

采用 YG606E 型通风式热阻湿阻测试仪 (宁波

纺织仪器厂)测试国产酚醛纤维针刺毡试样常温下的热导率。裁取尺寸不小于 350 mm×350 mm 的试样,确保其能够完全覆盖试验板和热护环表面,并且试样表面平整、无折痕和破损。经 24 h 预调湿后,试样平铺在试验板上进行热导率测试,取 3 次测试结果的平均值。

### 2.2.5 防火隔热性能

为探究真实使用温度环境下国产酚醛纤维针刺毡的隔热性能,采用酒精喷灯烧蚀法测试国产酚醛纤维针刺毡试样在 600 °C 高温火焰下的防火隔热性能。通过记录酒精喷灯高温烧蚀 180 s 的时间内,国产酚醛纤维针刺毡试样冷面(背离火焰面)温度随时间的变化情况,获取试样的背温曲线。

表 6 国产酚醛纤维针刺毡的拉伸性能测试结果

Tab. 6 Test results of tensile properties of domestic phenolic fiber needled felt

试样方向	断裂强力		断裂伸长率		断裂强度	
	数值/N	CV 值/%	数值/%	CV 值/%	数值/(N·mm <sup>-1</sup> )	CV 值/%
横向	19.26	10.60	70.10	9.68	0.39	10.60
纵向	54.48	8.99	25.16	13.98	1.09	8.99

### 2.3.2 热稳定性

试样热稳定性能测试结果如表 7 所示。国产酚醛纤维针刺毡隔热毡试样在温度为 260 °C 下的尺寸变化率较小,满足 GA 10—2014《消防员灭火防护服》中经、纬向尺寸变化率均不大于 10% 的要求,具有良好的热稳定性。

表 7 国产酚醛纤维针刺毡的热稳定性能测试结果

Tab. 7 Test results of thermal stability of domestic phenolic fiber needled felt

试样方向	烘干前尺寸/mm	烘干后平均尺寸/mm	尺寸变化率/%
横向	100	98.33	-1.7
纵向	100	98.67	-1.3

### 2.3.3 热防护性能

试样热防护性能测试结果如表 8 所示。可知,国产酚醛纤维针刺毡的热防护性能值(TPP 值)满足 GA 10—2014 中 TPP 值不小于 1 176 kW·s/m<sup>2</sup> (28.0 cal/cm<sup>2</sup>) 的要求,表明国产酚醛纤维针刺毡的热防护性能优良。

## 2.3 测试结果与分析

### 2.3.1 拉伸性能

试样拉伸性能测试结果如表 6 所示。可以看出,国产酚醛纤维针刺毡的纵向断裂强力远大于横向。这是因为本文梳理成网过程中采用了平行铺网工艺,该工艺促使纤维沿机器输出方向取向排列,进而导致纤维针刺毡呈现出明显的力学各向异性特性。为提高国产酚醛纤维针刺毡材料的整体力学性能,建议采用平行铺网与交叉铺网相结合的方式,增加垂直于机器输出方向排列的纤维量,从而有效平衡纤维针刺毡纵向与横向力学性能的差异,减小纵横向强力比。总体而言,国产酚醛纤维针刺毡的纵横向断裂强力均较低,应用于热防护领域时,需与其他高性能纤维织物叠层复合使用。

表 8 国产酚醛纤维针刺毡的热防护性能测试结果

Tab. 8 Test results of thermal protection performance of domestic phenolic fiber needled felt

二级烧伤时间/s	TPP 值/(kW·s·m <sup>-2</sup> )
18.4	1 545.6

### 2.3.4 热导率

热导率能够从热传导角度反映材料的热传递特性。试样热导率测试结果如表 9 所示。可知,国产酚醛纤维针刺毡的热阻较大、热导率较低,具有优异的隔热性能,适合用作多层防护材料的隔热材料。

表 9 国产酚醛纤维针刺毡的热导率测试结果

Tab. 9 Test results of thermal conductivity of domestic phenolic fiber needled felt

热阻/(m <sup>2</sup> ·K·W <sup>-1</sup> )	热导率/[W·(m·K) <sup>-1</sup> ]
0.168 45	0.026 71

### 2.3.5 防火隔热性能

国产酚醛纤维针刺毡试样在 600 °C 火焰下的温度曲线如图 6 所示。防火隔热测试过程中,试样的热面温度稳定在约 600 °C,在高温火焰瞬时灼烧下,试样能够保持完整的形态,无明火蔓延且产生的烟

量极少。试验结果显示:600 °C 高温火焰下灼烧 60 s 后,试样的冷面温度为 128.6 °C;600 °C 高温火焰下灼烧 120 s 后,试样的传热达到动态平衡状态,冷面温度保持在约 220.0 °C,且出现明显的炭化特征。整个测试过程中,试样的冷热面温差不低于 373.5 °C,表明其能够有效阻隔高温热传导,是制作防火隔热复合材料的理想的隔热层材料,能够为防火隔热防护装备提供可靠的隔热屏障。

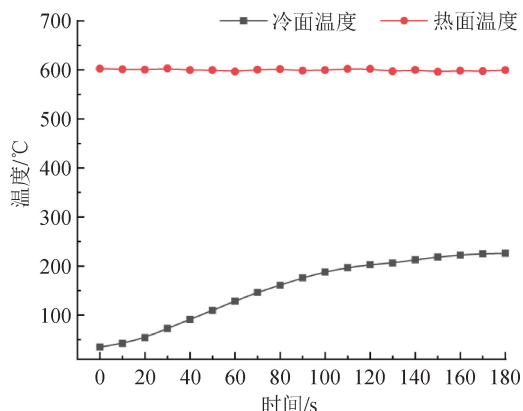


图 6 国产酚醛纤维针刺毡在 600 °C 火焰下的温度曲线  
Fig. 6 Temperature curves of domestic phenolic fiber needled felt under 600 °C flame

### 3 结论

本文通过对国产酚醛纤维强伸性、比电阻、摩擦性能及热稳定性的测试表征,以及对国产酚醛纤维针刺毡热防护性能、防火隔热性能等的测试分析,得出如下主要结论:

(1) 国产酚醛纤维表面平整光滑,内部为实心结构且无明显的空腔、裂纹等缺陷。

(2) 国产酚醛纤维的断裂强度较小,非织造加工过程中纤维容易断裂,造成纤网破损。国产酚醛纤维的比电阻大,纤维与金属之间的动、静摩擦因数较小,纤维相互间易滑移,且非织造加工过程中易产生静电。

(3) 国产酚醛纤维结构中仅含 C、H 和 O 这 3 种元素,其初始热分解温度为 306.3 °C,811.1 °C 时热分解后的质量残余率为 54.75%,具有优良的阻燃耐热性能。

(4) 国产酚醛纤维针刺毡的强力较低且高温下易出现炭化现象,其热防护性能与防火隔热性能优

异,适合用作防火隔热复合材料的隔热层,能够抵御瞬时高温火焰对人体的伤害。

基于本文的测试结果,后续研究可通过调整纤维制备工艺参数,提高纤维表面粗糙度、增大纤维摩擦因数及降低纤维比电阻,改进国产酚醛纤维的性能。此外,还可基于国产酚醛纤维质轻、耐高温、阻燃、热导率低等特性,开发性能优良的国产酚醛纤维防火隔热产品。



期刊采编平台



中国知网下载

### 参考文献

- [ 1 ] ECONOMY J, CLARK R A. Fibers from novolacs; US3650102[P]. 1972-03-21.
- [ 2 ] ECONOMY J, FRECHETTE F J, WOHRER L C. Nylon modified phenolic resin fibers; US4110277[P]. 1978-08-29.
- [ 3 ] 柳春艳,吕华,吕虎,等. 酚醛纤维的研究进展及应用[J]. 广州化工,2011,39(2):40-41.
- [ 4 ] 吴俊霖,江慧,张洪亮,等. 酚醛纤维形态结构和性能测试分析[J]. 纺织器材,2023,50(5):27-31.
- [ 5 ] 能耐 2500 °C 高温的新型纤维:酚醛纤维研究成功[J]. 上海纺织科技动态,1977,5(4):5-6.
- [ 6 ] 陈雨洁,马海燕,马海军. 酚醛纤维的制备及应用研究进展[J]. 产业用纺织品,2024,42(7):38-43.
- [ 7 ] 钱伯章. 开滦酚醛纤维技术获国家发明专利[J]. 合成纤维工业,2021,44(5):42.
- [ 8 ] 万峰,王秋月,李存科,等. 腰果油改性酚醛树脂的方法及应用[J]. 山东化工,2017,46(4):88-90.
- [ 9 ] 郑瑾,王冬爽,任东雪,等. 酚醛纤维的湿法纺丝及其性能[J]. 上海纺织科技,2021,49(8):48-51.
- [ 10 ] 杨桂林,于俊荣,王彦,等. 熔融纺酚醛纤维快速交联固化工艺研究[J]. 合成纤维工业,2019,42(3):1-5.
- [ 11 ] 章学如,张天昊,刘运鸿,等. 酚醛基活性炭纤维的制备及改性和应用进展[J]. 上海纺织科技,2024,52(8):1-5.
- [ 12 ] 李颖,陈夫山,王德宝. 炭化温度对酚醛基活性炭纤维吸附性的影响[J]. 造纸科学与技术,2017,36(4):12-15.
- [ 13 ] 任蕊,皇甫慧君,王燕,等. 酚醛纤维及其性能的研究[J]. 应用化工,2013,42(3):539-542.

(下转第 50 页)