

# 两种阻燃纤维的结构与性能对比研究

陈 敏,董子靖,孙润军\*,张 弦,郝静娴

(西安工程大学 纺织科学与工程学院,陕西 西安 710048)

**摘 要:**测试并对比分析了阻燃涤纶纤维和腈氯纶纤维的结构与性能,得到结论:阻燃涤纶纤维的化学结构与聚酯纤维的化学结构相似,腈氯纶纤维是由腈纶纤维改性制得。两种纤维物理机械性能测试结果显示,相比腈氯纶纤维,阻燃涤纶纤维回潮率小、可挠度大、拉伸断裂性能好、比电阻小,可纺性能优于腈氯纶纤维。阻燃性和燃烧性测试结果表明,阻燃涤纶纤维比腈氯纶纤维阻燃性好,但阻燃涤纶纤维接触火焰时,出现熔滴现象,在实际应用中需对其进行抗熔滴处理。

**关键词:**阻燃涤纶;腈氯纶;结构;性能;阻燃性

**中图分类号:**TQ342

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-0356(2020)12-0028-03

随着社会经济的发展,各类纺织品用量迅速增长。由于大多数纤维和纺织品极易燃烧,严重限制了其应用范围,因此研究纤维的阻燃性能具有非常重要的现实意义。所谓“阻燃”,并不是指材料在接触火源时不燃烧,而是材料在火焰中能降低其可燃性,减缓火焰蔓延速度,不形成大面积燃烧<sup>[1]</sup>。当火焰移去后,材料能很快自熄,没有续燃现象发生从而停止燃烧。阻燃纤维<sup>[2]</sup>是指与火源接触后,纤维不能燃烧或燃烧得不充分,仅有较小的火焰,撤走火源,火焰能较快自行熄灭的纤维。阻燃纤维及其纺织品广泛应用于民用、工业以及军事等领域<sup>[3]</sup>。

目前市场上阻燃纤维的种类繁多<sup>[4]</sup>,如阻燃涤纶纤维、阻燃锦纶纤维、阻燃黏胶纤维及腈氯纶纤维等。涤纶具有较高的断裂强度和弹性模量<sup>[5]</sup>,回弹性适中,耐光、耐热、耐腐蚀,是目前产量最大应用最为广泛的合成纤维<sup>[6]</sup>;腈氯纶纤维手感柔软自然,吸水性好,而且还具有阻燃性能,其织物具有优异的服用性、挺括性以及抗褶皱性<sup>[7]</sup>。

阻燃涤纶纤维和腈氯纶纤维都具有较好的阻燃性能,采用对比研究的方式探讨了国产阻燃涤纶纤维和腈氯纶的结构特性、可纺性以及阻燃性。研究结果为2种阻燃纤维在服装、家纺、公共场所内饰等领域的应用提供了一定的理论支持。

## 1 试验部分

收稿日期:2020-09-24;修回日期:2020-09-27

基金项目:陕西省教育厅专项科研项目(20JK0652)

作者简介:陈 敏(1996-),女,硕士,主要研究方向为纺织材料与纺织品设计,E-mail: 643141704@qq.com。

\* 通信作者:孙润军(1969-),男,教授,主要研究方向为新功能性纺织材料的研究与开发,E-mail: sunrunjun@xpu.edu.cn。

### 1.1 材料及仪器

材料 阻燃涤纶纤维(广州市中诚新型材料科技有限公司);腈氯纶纤维(广州市中诚新型材料科技有限公司)。

仪器 Spotlight400&Frontie 傅里叶红外光谱仪(PerkinElmer);YG(B)0022A 纤维细度综合分析仪(温州大荣纺织仪器有限公司);Y171 型纤维切断器(常州第二纺织仪器厂有限公司);YG747 型通风式快速烘箱(常州第二纺织仪器厂有限公司);Y331A 型捻度仪(常州市双固顿达机电科技公司);YG(B)008E 型电子单纤维强力机(莱州市电子仪器有限公司);YG321 型纤维比电阻仪(温州百恩仪器有限公司);YSZ-I 型极限氧指数测定仪。

### 1.2 性能测试

#### 1.2.1 红外光谱分析

使用傅里叶红外光谱仪在波数  $4\ 000\sim 400\ \text{cm}^{-1}$  下对阻燃涤纶和腈氯纶纤维进行测试分析<sup>[8]</sup>。

#### 1.2.2 物理机械性能

采用直尺测量法测定阻燃涤纶及腈氯纶纤维的长度,采用中段切断称重法<sup>[9]</sup>测量纤维的细度;参照 GB/T 9995-1997《纺织材料含水率和回潮率的测定 烘箱干燥法》对2种纤维的回潮率进行测定<sup>[10]</sup>;使用 Y331A 捻度仪对纤维试样进行加捻,直至断裂,得出断裂时的捻回数,并将捻断的纤维在量程为 10 mg 的扭力天平上称重,计算得出其可挠度<sup>[11]</sup>;参照 GB/T 14337-2008《化学纤维 短纤维拉伸性能试验方法》测试2种纤维的拉伸性能<sup>[10]</sup>;参照 GB/T 14342-2015《化学纤维 短纤维比电阻试验方法》测定2种阻燃纤维比电阻<sup>[9]</sup>。

### 1.2.3 纤维阻燃性能

采用极限氧指数法<sup>[12]</sup>和 45°燃烧法的接火次数法<sup>[13]</sup>2 种方法测定纤维阻燃性。极限氧指数按照 GB/T 5454—1997《纺织品 燃烧性能试验 氧指数法》测试；45°燃烧法的接火次数法测试参照 JISL 1091—1999《纤维产品燃烧性实验方法》进行。

### 1.2.4 纤维燃烧性能

取一小束纤维,缓慢地移近火焰,仔细观察纤维接近火焰、在火焰中的燃烧状态,燃烧时散发的气味,以及燃烧后灰烬的状态,进行记录和比较<sup>[14]</sup>。

## 2 结果与讨论

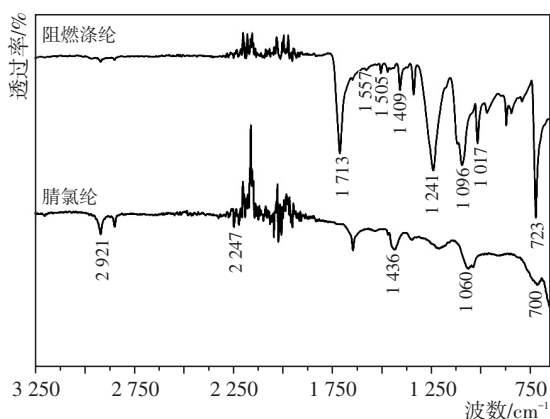


图 1 阻燃涤纶与腈氯纶纤维红外光谱图

### 2.1 红外光谱

阻燃涤纶纤维和腈氯纶纤维的红外光谱图如图 1 所示,阻燃涤纶在  $723\text{ cm}^{-1}$  处有一强的吸收峰,该峰值为对位双取代苯环上  $-\text{CH}_2$  面内的摇摆振动峰,而在  $1017$ 、 $1096$ 、 $1241\text{ cm}^{-1}$  处的吸收峰为  $\text{C}-\text{O}$  伸缩振动峰,在  $1409\text{ cm}^{-1}$  和  $1713\text{ cm}^{-1}$  处的吸收峰分别对应苯环骨架振动峰和酯类  $\text{C}=\text{O}$  伸缩振动峰。因此分析可得,阻燃涤纶纤维的化学结构与聚酯纤维的化学结构相似<sup>[15]</sup>。

腈氯纶纤维在  $700\text{ cm}^{-1}$  处有一强的吸收峰,该峰表明它含有氯乙烯<sup>[15]</sup>,在  $1060$ 、 $1436$ 、 $2247\text{ cm}^{-1}$  处的吸收峰分别对应  $\text{C}-\text{N}$  弯曲振动吸收峰、 $\text{C}-\text{N}$  面内弯曲振动吸收以及  $\text{C}\equiv\text{N}$  伸缩振动吸收峰,在  $1436\text{ cm}^{-1}$  和  $2247\text{ cm}^{-1}$  处的吸收峰为丙烯腈基纤维的特征峰值<sup>[16]</sup>,在  $2921\text{ cm}^{-1}$  处的吸收峰为  $\text{CH}_2$  和  $\text{CH}_3$  基团中的  $\text{C}-\text{H}$  伸缩振动吸收峰。可见腈氯纶纤维是改性腈纶纤维,是丙烯腈单体与含阻燃元素的乙烯基化合物共聚而成<sup>[17]</sup>。

### 2.2 物理机械性能

阻燃涤纶纤维和腈氯纶纤维物理机械性能测试见表 1。由表 1 可知,阻燃涤纶纤维和腈氯纶纤维均属于中长型化纤,阻燃涤纶纤维的回潮率小于腈氯纶纤维回潮率。阻燃涤纶纤维平均回潮率为  $1.2\%$ ,而涤纶公定回潮率为  $0.4\%$ ,可见阻燃涤纶经过改性处理后回潮率增大,这是因为阻燃涤纶的结构比涤纶纤维疏松。腈氯纶纤维是改性腈纶纤维,其回潮率为  $1.7\%$ ,而腈纶的公定回潮率为  $2\%$ ,腈氯纶纤维经改性后回潮率减小。

表 1 2 种纤维的物理机械性能测试

	阻燃涤纶纤维	腈氯纶纤维
平均长度/mm	51.0	62.7
平均细度/dtex	3.0	3.0
回潮率/%	1.2	1.7
可挠度	9.13	1.36
断裂强力/cN	12.24	5.55
断裂强度/ $\text{cN} \cdot \text{dtex}^{-1}$	4.08	1.85
断裂伸长率/%	61.48	21.82
断裂伸长/mm	3.07	2.03
屈服强力/cN	8.99	1.87
体积比电阻值/ $\Omega \cdot \text{cm}$	$6.60 \times 10^8$	$2.76 \times 10^{11}$

阻燃涤纶纤维的可挠度比腈氯纶纤维的可挠度大,这是由于阻燃涤纶纤维比腈氯纶纤维抗扭转性能好,可以施加较大的捻度而不会引起纤维断裂。

阻燃涤纶纤维的断裂强力、断裂强度、断裂伸长率、断裂伸长、屈服强力均大于腈氯纶纤维,即阻燃涤纶纤维的拉伸断裂性能优于腈氯纶纤维。这是由于阻燃涤纶分子中有不能内旋转的苯环,为刚性分子,分子链易于保持线型。大分子在这一条件下很容易形成结晶,故阻燃涤纶的结晶度和取向性较高。结晶度越高,纤维分子排列越整齐,分子间结合力愈强,则纤维的断裂强度、断裂强力、屈服强力就较高。

阻燃涤纶纤维的比电阻值小于腈氯纶纤维的比电阻值,可见阻燃涤纶纤维可纺性更好。比电阻的大小会影响纤维的可纺性能,比电阻越大,产生的静电越大,纤维的可纺性低。

综上所述,阻燃涤纶纤维的可纺性优于腈氯纶纤维。

### 2.3 纤维阻燃性能

采用极限氧指数法和 45°燃烧法的接火次数法测定纤维的阻燃性,结果见表 2。

由表 2 可得,阻燃涤纶纤维和腈氯纶纤维的极限氧指数(LOI 值)均大于  $27\%$ ,符合阻燃性评定标准,

属于阻燃纤维。阻燃涤纶纤维的 LOI 值大于腈氯纶的 LOI 值。极限氧指数越高表明阻燃性能越好,因此,阻燃涤纶纤维的阻燃性能优于腈氯纶纤维。

表 2 2 种纤维的阻燃性能

纤维名称	LOI 值/%	接近火次数/次
阻燃涤纶纤维	32	≥7
腈氯纶纤维	30	≥5

按照日本工业标准 JIS 1091-77,接近火次数达到或超过 3 次的纤维为阻燃纤维,总接近火次数表示阻燃级数。由表 2 中结果可知,阻燃涤纶纤维接近火的次数达 7 次以上,腈氯纶纤维接近火次数为 5 次以上,因此阻燃涤纶纤维和腈氯纶纤维均达到纤维阻燃要求,且阻燃涤纶纤维的阻燃级数高于腈氯纶纤维阻燃级数。

由分析可得,阻燃涤纶的阻燃性比腈氯纶纤维好。

## 2.4 纤维燃烧性能

纤维燃烧性能测试结果见表 3。测试发现:在接触火焰时,阻燃涤纶纤维出现熔滴现象,有烧橡胶味,不冒烟,燃烧后残留物质是黄白色硬圆珠状,可见其缺点是接触火焰会出现熔滴。这是因为阻燃涤纶纤维是热塑性高聚物,其基体受热之后会软化、熔融并且会裂解。腈氯纶纤维接触火焰时不熔不缩,冒灰烟,有烧纸味,燃烧后残留物质是黑色硬块状,接触火焰不会产生熔滴现象。相对于阻燃涤纶纤维而言,腈氯纶纤维接触火焰不会产生熔滴现象。

表 3 纤维燃烧性能测试结果

纤维	阻燃涤纶纤维	腈氯纶纤维
靠近火焰	不熔不缩	不熔不缩
接触火焰	有熔滴现象,不燃烧,无烟	不熔不缩,仅炭化,冒灰烟
离开火焰	自灭	自灭
气味	烧橡胶味	烧纸味
残留物特征	黄白色硬圆珠状	黑色硬块状

## 3 结论

通过测试分析,可得出结论。

(1)阻燃涤纶纤维化学结构与聚酯纤维相似,腈氯纶纤维是经腈纶纤维改性得到,因此物理机械性能、外观和后加工性能均与普通涤纶、腈纶纤维相近。

(2)2 种阻燃纤维均属于中长型化纤,通过物理机械性能测试,发现阻燃涤纶纤维相比于腈氯纶纤维,回潮率更小,可挠度大,拉伸断裂性能更优,比电阻值小,其可纺性优于腈氯纶纤维。

(3)阻燃性和燃烧性试验结果表明,2 种阻燃纤维

极限氧指数虽然符合难燃材料要求,阻燃涤纶纤维阻燃性更好,但阻燃涤纶纤维存在熔滴,无法单独用作阻燃防护服的开发。

## 4 展望

腈氯纶不但具有腈纶的手感柔软和色泽鲜艳等优良纺织性能,而且还具有含氯纤维的阻燃性,常用于制造人造毛皮、家用纺织品、装饰纺织品材料、童装及工业用滤布等<sup>[18]</sup>。但是与腈纶纤维一样上染率低,不易染成深色,并且染色残液不利于环保,需解决其染色问题<sup>[19]</sup>。

阻燃涤纶纤维不仅保持涤纶纤维的模量高、强度高、弹性高、良好的保形性和耐热性等优点,还有着优异的阻燃性能。但其熔滴现象会造成火灾蔓延,并伤害人体,制约了常规阻燃涤纶纤维的发展,因此阻燃涤纶的抗熔滴性研究是重要的发展方向<sup>[20]</sup>。

通过对阻燃涤纶纤维和腈氯纶纤维的对比分析可知,2 种纤维分别由涤纶和腈纶纤维改性而得,因此物理机械性能、外观和后加工性能均与普通涤纶、腈纶纤维相近。阻燃涤纶纤维和腈氯纶纤维均有良好的阻燃性能,可将阻燃涤纶纤维与腈氯纶纤维混纺,腈氯纶燃烧时会炭化,产生致密的焦炭,致密的焦炭起到支架作用,防止阻燃涤纶纤维熔融滴落,与此同时还可以促进阻燃涤纶熔滴的炭化,提高成炭率,有效解决阻燃涤纶纤维的熔滴现象。

## 参考文献:

- [1] 朱珍钰,高亢,李翠圆.关于阻燃纤维的研究与发展[J].辽宁丝绸,2019,(4):40-42.
- [2] ZHAO Z, DI Y, GAO L, et al. Characterization of flame-retardant performance of polyester/flame-retardant viscose blended yarn[J]. Industrial Textiles, 2020, 49(10): 1 304-1 316.
- [3] 刘义鹤,江洪.国内外阻燃纤维研究及应用进展[J].新材料产业,2019,(7):26-29.
- [4] 孙凯飞,肖秋利,张莹,等.阻燃涤纶混纺试样的阻燃性能研究[J].棉纺织技术,2019,47(6):73-76.
- [5] 陈沁,赵涛.阻燃纤维及纺织品的研究进展[J].印染,2015,41(5):49-54.
- [6] 常成飞.聚丙烯腈基阻燃纤维的研究[D].上海:东华大学,2017.

(下转第 42 页)

dropped on the fiber skeleton. After natural air drying at room temperature, Soxhlet extraction was carried out with ether as the solvent, and the extractable content in the adhesive was calculated. The test results showed that the repeatability and precision were good. By testing the extractable substance in the adhesive, the properties of the adhesive could be characterized to a certain extent, which could provide reference for the production enterprises of spraying-bonded cotton.

**Key words:** fiber skeleton; adhesive; extractable substance; spraying-bonded cotton

(上接第30页)

- [7] 任元林,王秀丽,曾倩,等.阻燃粘胶/腈氯纶混纺织物的热分解动力学研究[J].成都纺织高等专科学校学报,2017,34(1):79-82.
- [8] 张新民,陆秀琴,周祯德,等.阻燃纤维及其性能表征方法研究[J].上海纺织科技,2010,38(12):46-48.
- [9] 余序芬,鲍燕萍,吴兆萍,等.纺织材料实验技术[M].北京:中国纺织出版社,2004:106-110.
- [10] 张海霞,宗亚宁.纺织材料学实验[M].上海:东华大学出版社,2015:125-129.
- [11] 夏延致,孔庆山,纪全,等.含磷阻燃共聚酯的结构与性能研究[J].高分子材料科学与工程,2001,(6):5-10.
- [12] 李守群,叶光斗,彭华金,等.阻燃涤纶结构与染色及阻燃性能[J].合成纤维工业,2002,(4):29-30.
- [13] 殷婷.阻燃粘胶纤维染色性能的研究[D].上海:东华大学,2017.
- [14] 赵冰冰.常见纺织纤维热分解烟气产物研究[D].北京:北京服装学院,2018.
- [15] 王敏.红外光谱对混纺纤维的定性和定量方法研究[D].杭州:浙江理工大学,2014.
- [16] 关士林,张琴芝,李雅芝,等.红外光谱法鉴定合成纤维(Ⅱ)—腈纶氯纶和维纶的鉴定[J].合成纤维,1982,(3):23-26.
- [17] 周地平.阻燃腈纶的技术现状及市场分析[J].石油化工技术与经济,2017,33(6):16-19.
- [18] 戴伟强.棉/腈氯纶/导电纤维混纺纱的开发[J].上海纺织科技,2017,45(7):33-34.
- [19] 王成龙,方晓屹,余志成.阻燃腈氯纶载体染色[J].印染,2011,37(21):25-27.
- [20] 钱明球,潘晓娣.抗熔滴涤纶纤维的研究及应用[J].合成技术及应用,2013,28(4):21-25.

## Comparative Study on the Structure and Performance of Two Flame-retardant Fibers

CHEN Min, DONG Zi-jing, SUN Run-jun\*, ZHANG Xian, HAO Jing-xian

(School of Textile Science and Engineering, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** The structure and performance of flame-retardant polyester fiber and modacrylic fiber were tested and analyzed. Infrared spectroscopy analysis showed that the chemical structure of flame-retardant polyester fiber was similar to that of polyester fiber, and the modacrylic fiber was made by modifying acrylic fiber. The physical and mechanical properties of the two fibers showed that the flame-retardant polyester fiber had the lower moisture regain, greater flexibility, better tensile breaking performance, lower specific resistance, and better spinnability than the modacrylic fiber. The flame retardancy and combustibility test results showed that the flame-retardant polyester fiber had better flame retardancy than the modacrylic fiber. However, the flame-retardant polyester fiber dripped when it contacted the flame, which meant the flame-retardant polyester fiber needed to be treated with dripping resistance in practical applications.

**Key words:** flame retardant polyester; modacrylic fiber; structure; performance; flame retardancy

“节能减排,大有可为,功在当代,利在千秋”