

吸光发热涤纶的性能研究

吴旻杰¹ 薛文良¹ 郁 丽²

1. 东华大学 纺织学院, 上海 201620;
2. 江苏龙阳纺织有限公司, 江苏 无锡 214000

摘要:采用扫描电镜法、傅里叶红外光谱法、差示扫描量热法、X 射线衍射法、纤维强度测试法及紫外可见近红外光谱法,研究吸光发热涤纶和普通涤纶的表面形态、特征结构和官能团、热学性能、晶体结构、力学性能及吸光性能,探究两者性能上的差异。结果表明:2 种纤维纵向形态一致,只是吸光发热涤纶纤维表面有细小颗粒附着;与普通涤纶相比,吸光发热涤纶结晶度减小,熔融温度、断裂强度及初始模量略低,断裂伸长率稍高;吸光发热涤纶在全光谱波段具有更优良的吸光能力。

关键词:吸光发热涤纶;形态结构;吸光性能;热学性能;结晶度

中图分类号:TQ 342

文献标志码:A

文章编号:1004-7093(2024)09-0027-05

Characteristics of light-absorbing heat-emitting polyester fibers

Wu Minjie¹, Xue Wenliang¹, Yu Li²

1. College of Textiles, Donghua University, Shanghai 201620, China;
2. Jiangsu Longyang Textile Co., Ltd., Wuxi 214000, Jiangsu, China

Abstract: The surface morphology, characteristic structure and functional groups, thermal properties, crystal structure, mechanical properties and light absorption properties of light-absorbing heat-emitting polyester fibers and ordinary polyester fibers were studied by means of scanning electron microscopy, Fourier infrared spectroscopy, differential scanning calorimetry, X-ray diffraction, fiber strength elongation test and UV-vision-near-infrared spectroscopy, and the performance difference between the two was analyzed. The results showed that the longitudinal morphology of two kinds of fibers was the same, but there were fine particles attached onto the surface of the light-absorbing heat-emitting polyester fibers. Compared with the ordinary polyester fibers, the crystallinity of light-absorbing heat-emitting polyester fibers decreased, the melting temperature, breaking strength and initial modulus were slightly lower, and the elongation at break was slightly higher. The light-absorbing heat-emitting polyester fibers had better absorbent ability in the full spectrum band.

Keywords: light-absorbing heat-emitting polyester fiber; morphological structure; light absorption property; thermal property; crystallinity

收稿日期:2024-05-06

作者简介:吴旻杰,女,2000 年生,在读硕士研究生,主要研究方向为功能性纺织品,1215899036@qq.com

通信作者:薛文良,教授,博士生导师,xwl@dhu.edu.cn

目前,服装的保暖方式可分为消极式散热和积极式发热 2 种。消极式散热通过增加服装静止空气层,减少人体热量向外界环境的流失^[1];积极式发热则通过加入发热材料,主动为身体提供更多的热量^[2]。其中,后者更能满足消费者对服装轻薄时尚的需求^[3]。积极式发热纤维主要有吸湿发热、电能发热、光能发热、化学反应放热和相变放热等类型^[4]。其中,光能发热纤维具有较高的光吸收效率和热转换效率,能够将太阳辐射中的可见光和近红外光吸收并转换成热能,同时反射人体的热辐射,从而实现保暖的效果^[5]。其中,吸光发热涤纶是以涤纶为基体,在纺丝工艺中添加吸光发热颗粒而形成的一种新型光能发热纤维。本研究将通过比较吸光发热涤纶和普通涤纶的差异,探究吸光发热涤纶的结构和性能特点,以期为今后吸光发热涤纶面料的开发与应用提供一定的理论参考。

1 试验部分

1.1 试验材料与仪器设备

试验材料:普通涤纶和吸光发热涤纶,江苏康溢臣生命科技有限公司,规格分别为 0.9 dtex×40 mm 和 1.35 dtex×38 mm。

仪器设备:FlexSEM 1000 型扫描电子显微镜,日本日立仪器公司;Spectrum Two 型傅里叶变换红外光谱仪,DSC 4000 型差示扫描量热仪,美国 PerkinElmer 公司;UV 3600 型紫外可见近红外光谱仪,日本岛津仪器公司;Bruker D8 Advance 型 X 射线衍射仪,德国 Bruker 公司;LLY-06E 型电子单纤维强力仪,莱州市电子仪器有限公司。

1.2 测试方法

1.2.1 纤维表面形态

采用 FlexSEM 1000 型扫描电子显微镜观察吸光发热涤纶和普通涤纶的表面形貌。测试前,需在 15 mA 的电流下对试样进行 60 s 的喷金处理。

1.2.2 特征结构和官能团

采用 Spectrum Two 型傅里叶变换红外光谱仪测试并分析吸光发热涤纶和普通涤纶的特征结构与官能团。测试采用衰减全反射(ATR)方法,扫描波长范围 500~4 000 cm^{-1} 。

1.2.3 热学性能

采用 DSC 4000 型差示扫描量热仪测试吸光发热涤纶和普通涤纶的差示扫描量热(DSC)曲线,以表征纤维的热学性能。具体测试在氮气氛围中进行,试样质量控制在 5~7 mg,升/降温速率均为 20 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。设置初始温度为 30 $^{\circ}\text{C}$,先升温到 275 $^{\circ}\text{C}$,消除热历史;再从 275 $^{\circ}\text{C}$ 降温至 30 $^{\circ}\text{C}$,消除热历史;最后二次升温,从 30 $^{\circ}\text{C}$ 至 275 $^{\circ}\text{C}$ 。结晶度(X_{DSC})计算式如下:

$$X_{\text{DSC}} = \frac{\Delta H_{\text{m}}}{\Delta H_{\text{m}}^*} \quad (1)$$

式中: ΔH_{m} 为试样的熔融焓, J/g ; ΔH_{m}^* 为完全结晶时涤纶的熔融焓,为 117.6 J/g ^[6]。

1.2.4 晶体结构

采用 Bruker D8 Advance 型 X 射线衍射仪对吸光发热涤纶和普通涤纶的晶体结构进行分析。制样时试样需充分剪碎。设置电压 40 kV,电流 40 mA,Cu 靶型,扫描范围 5 $^{\circ}$ ~50 $^{\circ}$,扫描速率 10($^{\circ}$)/min。

1.2.5 力学性能

参照 GB/T 14337—2008 标准,采用 LLY-06E 型电子单纤维强力仪测试吸光发热涤纶和普通涤纶的力学性能。

1.2.6 吸光性能

采用 UV 3600 型紫外可见近红外光谱仪测试吸光发热涤纶和普通涤纶在紫外、可见、近红外光区间的吸光度。设置波长范围为 200~2 500 nm,采样间隔为 1 nm,扫描速度选择高速。

2 测试结果与讨论

2.1 纤维表面形态

图 1 为吸光发热涤纶和普通涤纶放大 3 000 倍的扫描电镜照片。

由图 1 可见:吸光发热涤纶与普通涤纶纵向形态一致,都呈圆柱状且粗细均匀,这是因为吸光发热涤纶是以普通涤纶为基体经改性处理得到的。再对比发现,普通涤纶的纤维表面光滑,而吸光发热涤纶的纤维表面较为粗糙,附着有细小的颗粒,推测可能是吸光发热颗粒。

2.2 特征结构和官能团

图 2 是吸光发热涤纶和普通涤纶在 500~

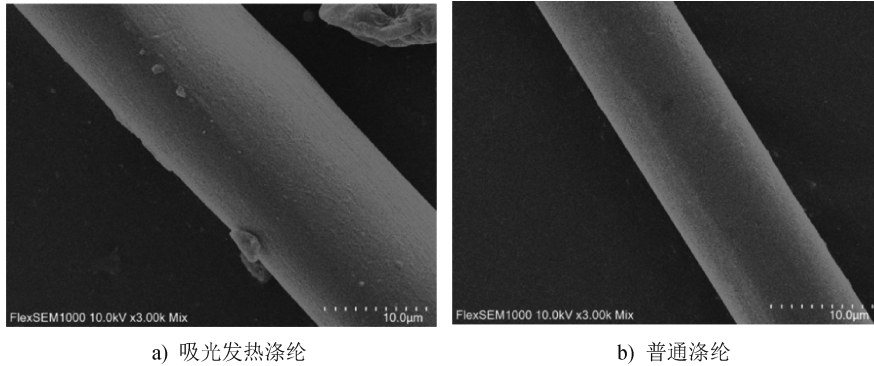


图 1 2 种纤维的扫描电镜照片
Fig. 1 Scanning electron micrographs of two kinds of fibers

4 000 cm^{-1} 波长范围内的红外光谱特征图。

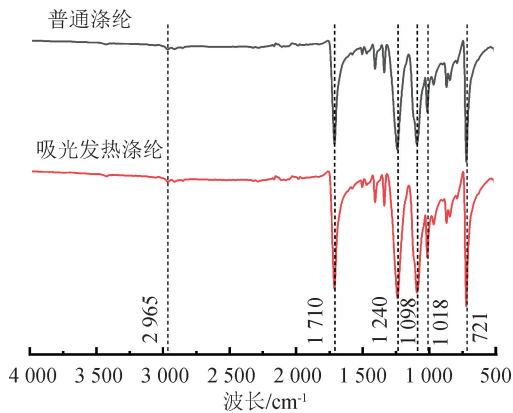


图 2 2 种纤维的红外光谱特征图
Fig. 2 Infrared spectral characteristics of two kinds of fibers

由图 2 可见,2 种纤维的特征峰位置相似,均有涤纶典型的特征峰。如,1 240 cm^{-1} 处存在 C—O 的非对称振动吸收峰^[7];1 710 cm^{-1} 处的吸收峰是由 C=O 伸缩振动引起的;721 cm^{-1} 和 2 965 cm^{-1} 附近分别是苯环上 C—H 的面外弯曲振动和伸缩振动^[8-9]。分析表明,2 种纤维官能团基本一致,吸光发热涤纶的制备并没有改变普通涤纶大分子的结构,其采用的是物理改性方法。

2.3 热学性能

图 3 是吸光发热涤纶和普通涤纶在 50~275 $^{\circ}\text{C}$ 范围内的 DSC 曲线。表 1 归纳了相应的熔融温度、结晶温度、熔融焓和结晶焓。

从图 3 及表 1 可以看出,2 种纤维升温曲线大致相同,只是吸光发热涤纶的熔融温度(245.54 $^{\circ}\text{C}$)低于普通涤纶的熔融温度(247.50 $^{\circ}\text{C}$),原因主要在于吸光发热涤纶的制备过程破坏了原普通涤纶纤维

大分子链结构的规整性^[10],导致其晶粒尺寸减小、晶体结构完整度下降,熔融可在较低温度下发生^[11]。

2.4 晶体结构

图 4 是吸光发热涤纶和普通涤纶的 X 射线衍射图。由图 4 可知,2 种纤维的特征峰位置大致相同,2 条曲线在 2θ 为 17.4 $^{\circ}$ 、22.6 $^{\circ}$ 和 25.3 $^{\circ}$ 附近都出现了衍射峰,且这 3 处衍射峰皆为涤纶特征峰^[12-13],说明吸光发热涤纶仍具有普通涤纶的特征衍射峰。此外,X 射线衍射图中,若峰型尖锐且分布对称,说明纤维所含结晶颗粒的尺寸较大,结晶度较高;若峰型宽且分布较为分散,说明纤维所含结晶颗粒的尺寸较小,结晶度较低^[14]。因此,根据图 4 可推测,吸光发热涤纶的结晶度低于普通涤纶的结晶度。

由图 4 计算得到的 2 种纤维的结晶度如表 2 所示。由表 2 可知,吸光发热涤纶的结晶度比普通涤纶的低,说明吸光发热涤纶的制备方法对纤维的晶体结构造成了一定程度的破坏,导致结晶度降低,纤维力学性能受影响^[15]。

2.5 力学性能

表 3 是吸光发热涤纶和普通涤纶的力学性能测试结果。由表 3 可知,吸光发热涤纶的断裂强度和初始模量比普通涤纶低,但断裂伸长率比普通涤纶高。结合晶区测试结果分析,原因可能主要在于制备吸光发热涤纶时纤维的晶体结构遭到了破坏,结晶度降低,导致断裂强度和初始模量减小。

2.6 吸光性能

图 5 是吸光发热涤纶和普通涤纶的紫外、可见、

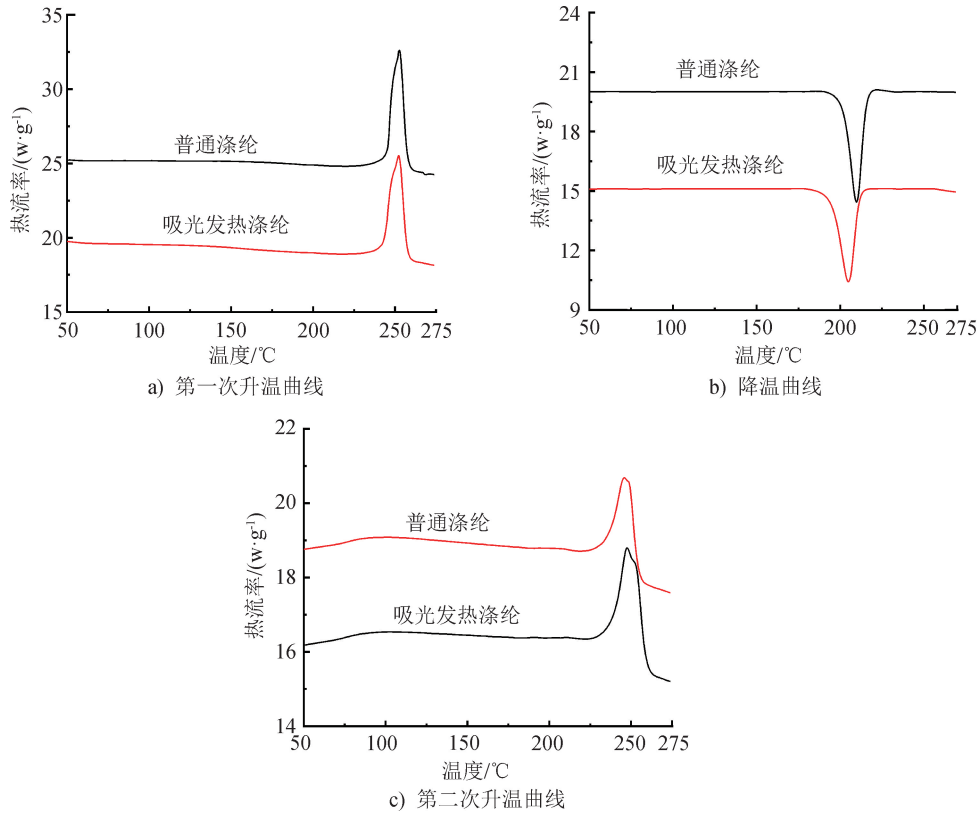


图3 2种纤维的DSC曲线

Fig. 3 DSC curves of two kinds of fibers

表1 2种纤维的DSC测试数据

Tab. 1 DSC test data of two kinds of fibers

纤维名称	熔融温度/°C	熔融焓/(J·g ⁻¹)	结晶温度/°C	结晶焓/(J·g ⁻¹)	结晶度/%
普通涤纶	247.50	29.77	204.83	-31.68	25.31
吸光发热涤纶	245.54	26.47	209.82	-31.49	22.51

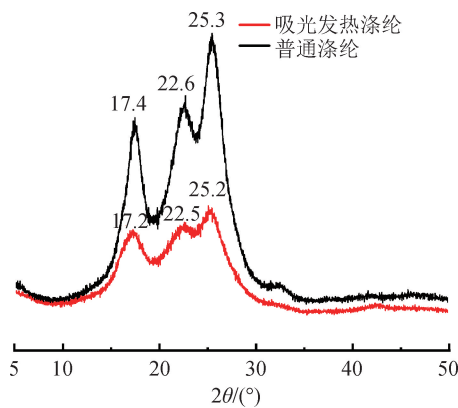


图4 2种纤维的X射线衍射图

Fig. 4 X-ray diffraction patterns of two kinds of fibers

表2 2种纤维的结晶度

Tab. 2 Crystallinity of two kinds of fibers

纤维名称	总面积(计数)	非结晶区面积(计数)	结晶度/%
普通涤纶	35 346.67	26 277.14	25.66
吸光发热涤纶	14 553.35	11 207.44	22.99

表3 2种纤维的力学性能

Tab. 3 Mechanical properties of two kinds of fibers

纤维名称	断裂强度/(cN·dtex ⁻¹)	断裂伸长率/%	初始模量/(cN·dtex ⁻¹)
普通涤纶	5.44	21.90	34.67
吸光发热涤纶	4.83	23.16	29.50

近红外光谱图。在太阳辐射光谱中,波长<400 nm的属于紫外光区,波长在400~760 nm的属于可见光区,波长在760~2 500 nm的属于近红外光区,波

长≥2 500 nm的属于远红外光区^[16]。由图5可见,2种纤维在紫外光区均出现了一个明显的吸收峰,说明两者都具有吸收紫外光的能力^[17];在可见光区

和近红外光区,普通涤纶光谱较为平缓,未呈现出明显的吸收峰,但吸光发热涤纶在该波长范围内出现了一个较高且宽的吸收峰。吸光发热涤纶表现出全波段的吸收特性^[18]。

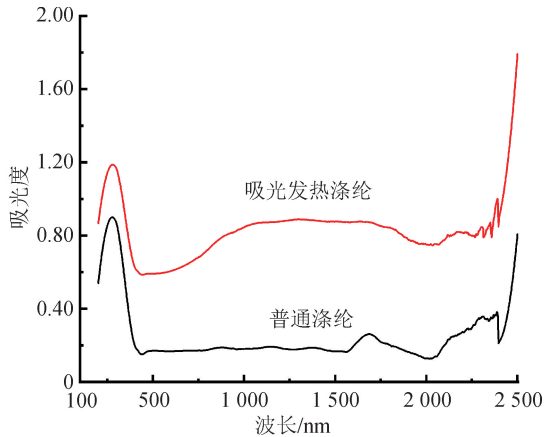


图 5 2 种纤维的紫外、可见、近红外光谱图
Fig. 5 Ultraviolet-vision-near-infrared spectrum chart of two kinds of fibers

表 4 为 2 种纤维在各个波段的加权平均吸光度,可以看出:吸光发热涤纶在紫外光区、可见光区和近红外光区的加权平均吸光度均高于普通涤纶。可见,吸光发热涤纶具有更优良的吸光能力。因此,基于吸光发热涤纶吸光并能将光能转换为热能的特点,该纤维可用于开发具有吸光发热和保暖功能的面料。

表 4 2 种纤维在各个波段的加权平均吸光度
Tab. 4 Weighted average absorbance of two kinds of fibers in each band

纤维名称	紫外光区	可见光区	近红外光区
普通涤纶	286.69	581.58	1 742.61
吸光发热涤纶	293.47	584.71	1 852.84

3 结论

通过对比和分析吸光发热涤纶与普通涤纶的表面形态、分子结构、热学性能、结晶度、力学性能及吸光性能,得出以下结论:

(1)吸光发热涤纶和普通涤纶的纤维纵向形态一致,只是吸光发热涤纶的纤维表面附着有细小颗粒。2 种纤维的红外光谱特征峰位置相同,官能团基本相同,说明吸光发热涤纶由普通涤纶物理改性

制得。

(2)相较于普通涤纶,吸光发热涤纶的熔融温度、断裂强度及初始模量略低,断裂伸长率稍高,这与吸光发热涤纶制备过程中,纤维晶粒尺寸减小、晶粒度下降有关。

(3)吸光性能方面,相较于普通涤纶,吸光发热涤纶能够吸收更多的紫外光和可见光,在全光谱波段具有更优良的吸光能力。



期刊采编平台



中国知网下载

参考文献

- [1] 肖学良,陈天骄,谢云涛,等. 发热服装面料的开发及应用[J]. 服装学报, 2021, 6(4): 283-290.
- [2] 杨媛媛,苏森,鲁佳亮,等. 吸湿发热机织面料的设计与性能[J]. 上海纺织科技, 2024, 52(1): 41-45.
- [3] 朱欣怡,陈慰来,王金凤. 新型石墨烯针织面料制备及发热性能表征[J]. 针织工业, 2023(3): 41-46.
- [4] 王伟. 蛋白质/纤维素纤维的制备及其吸湿发热性能的研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2019.
- [5] 李丽莉. 发热纤维的开发与应用[J]. 印染, 2015, 41(21): 49-51.
- [6] 高峰,孙燕琳,肖顺立,等. 不同牵伸倍率下聚酯复合纤维的微观结构与性能[J]. 纺织学报, 2022, 43(8): 34-39.
- [7] 陈卓,孙海钰,周家良,等. 废旧涤纶纺织品回收 BHET 聚合及再生切片纺丝性能研究[J]. 合成纤维工业, 2024, 47(2): 1-7.
- [8] 刘文莉,赵乐,史可扬,等. 红外光谱和热裂解气相色谱质谱联用技术鉴别芳香族聚酯纤维[J]. 中国纤检, 2010(5): 59-61.
- [9] 刘经吉,刘萍,张薄. 涂层方式对芳纶阻燃性能的影响[J]. 产业用纺织品, 2024, 42(1): 38-46.
- [10] GOTO T, ABE H. Substituent effects on thermal and mechanical properties of resorcinol-based semiaromatic polyesters[J]. Macromolecular Chemistry and Physics, 2022, 223(3): 2100355.
- [11] 龚婕,阮凌峰. 聚酰胺酯纤维鉴别方法的研究[J]. 纺织检测与标准, 2021, 7(3): 13-17.

(下转第 37 页)