

芳纶、海藻纤维复合高隔热针织面料开发

李美泽, 方青青, 齐业雄

(天津工业大学 纺织科学与工程学院, 天津 300387)

摘要:海藻纤维吸湿透气性好,具有一定的抗菌性,但不耐酸碱,湿强低,纤维间抱合力差,限制了其在服用领域的应用;芳纶具有良好的机械特性和优异的隔热性能,但吸湿透气性差。文中综合考虑海藻纤维和芳纶的优异品质,辅以棉纤维进行复合纱线的纺制,开发一种具有优异隔热性能,且辅以吸湿、抗菌功能的芳纶、海藻纤维复合功能针织面料,并测试纱线力学性能、吸湿性能以及织物的导热性能。结果表明,芳纶、海藻纤维复合针织面料具有良好的力学性能、吸湿透气性,以及高度隔热的特点,适用于消防员服用针织面料的开发。

关键词:芳纶;海藻纤维;隔热;吸湿;热湿舒适性

中图分类号:TS 184.4

文献标志码:B

文章编号:1000-4033(2024)08-0018-04

Development of Aramid and Seaweed Fiber Knitted Composite Fabric with High Thermal Insulation Performance

Li Meize, Fang Qingqing, Qi Yexiong

(School of Textile Science and Engineering, Tiangong University, Tianjin 300387, China)

Abstract: Seaweed fiber has good moisture absorption and permeability and certain antibacterial properties, but it is not acid-base resistant with low wet strength and poor cohesion between fibers, which limits its application in the field of apparel. Aramid fiber has good mechanical properties, excellent heat insulation performance, but with poor moisture absorption and permeability. In this paper, considering the excellent quality of seaweed fiber and aramid fiber, combined with cotton fiber for composite yarn spinning, a kind of aramid seaweed composite knitted fabric with excellent heat insulation performance, moisture absorption and antibacterial function is developed, and the mechanical properties, moisture absorption and thermal conductivity of the yarn are tested. The results show that the aramid and seaweed fiber knitted composite fabric has the characteristics of good mechanical properties, excellent moisture absorption and air permeability and high heat insulation performance, which is suitable for development of fabrics for firefighters.

Key words: Aramid Fiber; Seaweed Fiber; Heat Insulation; Moisture Absorption; Thermal and Wet Comfort

一些纺织品遇明火易燃烧,会造成严重火灾事故,威胁人民群众生命财产安全,根据 2020 年全国火灾事故数据统计,约 20% 以上火灾事故都是由纺织品燃烧而引起的。因此,提高纺织品阻燃隔热性已成为重要的研究课题。

我国拥有极其丰富的海洋资源,海藻纤维作为自然可降解的天然高分子材料,其原料充足,可以缓解不可再生资源的消耗,制备过程低碳、绿色环保,能够减轻对生态环境的破坏,同时因其在吸湿透气、透氧、抗菌、阻燃、远红外、防电

磁辐射以及可降解方面有显著优势,海藻纤维受到极大关注^[1-5]。但由于海藻纤维生产成本低、纤维强力不高、湿态伸长较大、纤维表面光滑、动静摩擦因数小,使纤维间抱合力小,在纺纱加工过程中成网成条均匀度较差,不利于后续加工

基金项目:天津市大学生创新训练项目(202110058106)。

作者简介:李美泽(2001—),女,本科生。主要从事功能性针织产品的开发。

通讯作者:齐业雄(1985—),男,副教授,博士。E-mail: qiyexiong@tiangong.edu.cn。

生产。

芳纶纤维是一种高性能有机合成纤维,全称芳香族聚酰胺纤维,分为对位芳纶和间位芳纶。间位芳纶,又名芳纶 1313,化学名称为聚间苯二甲酰间苯二酰胺(PLMA),具有出色耐热性能,在高温下热收缩很小,不产生熔滴,热稳定性好^[6]。芳纶的高耐热性能和高强度高模量优势,使芳纶广泛应用于高速列车、飞行器、军事消防、高温过滤及建筑等领域^[7]。芳纶纤维具有优异隔热性能和热稳定性,但合成纤维吸湿透湿性却不尽人意,标准大气条件下回潮率仅 7.00%左右^[8]。

综合以上两种纤维优势和不足,借助海藻纤维和芳纶优异品质,辅以棉纤维进行复合纱线纺制,本文设计开发一种具有优异隔热性能,且辅以吸湿、抗菌功能的芳纶、海藻复合功能针织面料。

1 材料准备

1.1 纱线选择

1.1.1 原料参数

海藻纤维(购自中国山东省青岛格诚经纬公司),1.5 dtex×38 mm,干断裂强度为 2.4~2.6 cN/dtex,干断裂伸长率为 10%~13%,含水率为 18%~22%。棉纤维(试验室纯棉普梳棉条开松获取),25 g/5 m。芳纶 1313 纱线(购自烟台泰和新材料股份有限公司),线密度为 29.0 tex。

1.1.2 混纺配比

棉纤维、海藻纤维混纺比为 70:30;棉海藻复合纱、芳纶纱并捻比为 50:50。

1.2 纱线制备

1.2.1 工艺流程

纱线制备工艺流程:开松、散纤维混合(XFH 型小和毛机)→梳棉(AS181A 梳棉试验机)→头道并条→二道并条(DSDr-01 小型数字

式并条机)→粗纱(DSRo-01 小型数字式粗纱机)→细纱(DSSP-01 小型数字式细纱机)→并捻(HN32-04 型棉纺花式捻线机)。工艺流程如图 1 所示。

1.2.2 关键技术

在开松和梳理过程中,既要混合充分,又要梳理柔和,但海藻纤维单纤维长度较短,所以对开清和梳理工艺配置要求较高,否则对纤维损伤和损失影响较大。

海藻纤维、棉纤维回潮率较大,纺制过程受环境温湿度影响较大,需要配合工业加湿器,调节环境湿度以期获得良好的纺纱效果。

1.3 织物制备

采用 LXC-252SCV 龙星电脑横机,机号为 12 针/25.4 mm,进行 1+1 罗纹组织针织物的织造。织物具有良好的横向弹性,在边缘横列逆编织方向脱散,无卷边现象;在视觉上呈黄色,表面有光泽,略卷曲;触感偏硬,弹性较好,清洁干燥,无特殊气味。织物织造参数为:织物长度 16.17 cm,宽度 5.78 cm,横密 59 纵行/5 cm,纵密 41 横列/5 cm,圈距 0.85 mm,圈高 1.22 mm,克质量 96.41 g/m²。织物实物图如图 2 所示。

2 性能表征

2.1 纱线强力测试

根据 GB/T 3916—2013《纺织品 卷装纱 单根纱线断裂强力和断裂伸长率的测定(CRE 法)》进行测试。断裂强力是指纱线试样被拉伸至断裂所施加的最大力,优先使用 cN 表示。断裂伸长率是指由断裂强力产生试样长度的增量,采用对试样原名义长度的百分率表示。试

验仪具有一个固定夹持器用于夹持试样一端,一个等速驱动的夹持器用于夹持试样另一端。用该设备拉伸试样直至断裂,同时记录断裂强力和断裂伸长。采用 10 cm/min 的恒定速度拉伸试样。重复试验 20 次,测定试样断裂强力和断裂伸长率的平均值及变异系数。

2.2 纱线回潮率测试

参照标准 GB/T 6102.1—2006《原棉回潮率试验方法 烘箱法》测试纱线回潮率:将纱线放入烘篮中,开启烘箱电源,待箱内温度升至(105±3)℃时,将装有纱线的烘篮放入烘箱内,关闭箱门,待箱内温度回升至(105±3)℃时记录时间。1 h 后,关闭转篮和风扇电源,进行第一次箱内称取质量。称毕开启转篮和风扇电源,续烘 15 min 后,再按上述方法进行第二次称取质量,直至前后两次质量差值不超过后次质量的 0.05%时,则后一次质量视为烘干质量。重复测试 3 次,取平均值。纱线回潮率计算见式(1)。

$$W = \frac{G - G_0}{G_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中:W 为纱线回潮率,%;G 为试样在标准大气条件下烘前质量,也称湿质量 g;G₀ 为试样烘干质量, g。

2.3 织物导热系数测试

导热系数是指在稳定传热条件下,1 m 厚材料,两侧表面温差为 1℃,在一定时间内通过 1 m² 面积传递的热量,单位为 W/(m·K)^[9]。测试仪器为 TPS2500S 型热常数分析仪(瑞典 Hot Disk 有限公司)。

现有瞬态平面热源(TPS)方法的关键是它不需要重复校准或使



图 1 纺纱流程图

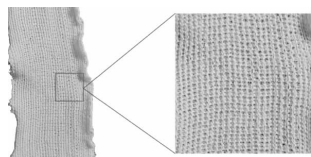


图 2 芳纶、海藻纤维复合针织面料

用标准样品。它是高度灵活的,只需要 1~2 件样品来测试,每件仅需要一个适用于 Hot Disk 双螺旋传感器的平面。利用 Hot Disk 热导仪,样品可以按原样进行测试,不需要固定的样品几何形状以及接触剂或表面修改。

TPS 方法可在一次测量中快速、准确、无损地检测大多数材料的导热系数、热扩散系数和比热容。导热系数和热扩散系数是直接测定的,而比热容是通过前两个结果计算得出,计算公式见式(2)。测量时间为 1 s,加热功率 0.003 W,样品温度 26.5 ℃,探头选择 7577 型。移动试样,测量不同位置的导热系数和比热容,测量 5 组数据,取平均值。

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot C} \quad (2)$$

式中: α 为热扩散系数, m^2/s ; λ 为导热系数, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$; ρ 为密度, kg/m^3 ; C 为比热容, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

3 结果与分析

3.1 纱线强力

芳纶复合纱线重复拉伸断裂试验 20 次,测定结果如图 3 所示,与高强度纱线比较见表 1^[10-12]。

本文所纺制复合纱的线密度为 44.4 tex,由计算结果得拉伸断裂强力平均值为 2 503.8 cN,断裂强度为 5.60 cN/dtex,断裂伸长平均值为 12.61 mm。根据与已有研究对比,本文所生产复合纱强力优于部分已有高性能纤维纱线。纱线的强力性能很大程度上影响着针织物面料的抗冲击、耐磨损性能。由测试结果可以看出,芳纶复合纱

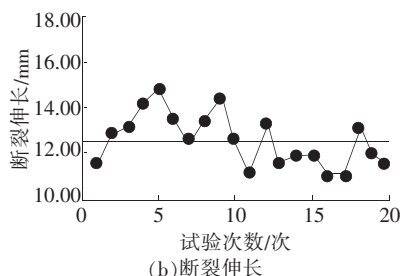
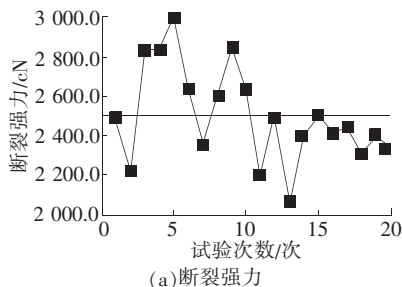


图 3 纱线拉伸断裂测试

表 1 芳纶、海藻纤维复合纱与高强度纱线断裂强度比较

纱线名称	断裂强度/ (cN·dtex ⁻¹)
芳纶、海藻纤维复合纱线	5.60
芳纶 1313 纱线	2.78
PPS 短纤纱线	1.90
玄武岩纤维纱线	5.30
玻璃纤维纱线	4.80

线的强度很高,可以使织物面料达到很好的抗冲击和耐磨效果,广泛应用于军事、消防服用等领域。

3.2 纱线回潮率

经过多次测量至前后两次质量差值不超过后次质量的 0.05% 时,得到烘干质量,其结果与吸湿功能纱线回潮率比较见表 2^[13-14]。

表 2 芳纶、海藻纤维复合纱与其他纱线回潮率比较

纱线种类	回潮率/%
芳纶、海藻纤维复合纱	10.04
纯棉纱	8.50
吸湿快干功能纯黏胶纱	7.00
Coolmax 混纺织物	5.66
天丝、莫代尔、珍珠纤维混纺纱	6.35
天丝、棉、珍珠纤维混纺纱	10.73

根据公式计算得出复合纱线回潮率达 10.04%。纯棉织物具有

良好吸湿性,棉纱回潮率为 8.50% 左右,而本文纺制纱线回潮率可达 10.00% 以上,与已有研究中优异吸湿面料用纱回潮率基本持平,证明该面料具有出色的吸湿性能,将该面料用于消防内衣开发可以达到一定舒适性。

3.3 织物导热系数

通过 Hot Disk 热导仪,测量不同位置导热系数和比热容并计算比热容与密度的乘积,测量 5 组数据结果见表 3。

表 3 导热系数测试结果

试验编号	导热系数/ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	比热容与密度的乘积/ ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$)
1	0.121 4	0.070 63
2	0.135 1	0.079 27
3	0.129 0	0.066 83
4	0.125 3	0.071 52
5	0.126 8	0.068 37
平均值	0.127 5	0.071 30
CV 值/%	4.0	6.7

根据 GB/T 39802—2021《城镇供热保温材料技术条件》规定:材料标称密度 $>160 \text{ kg}/\text{m}^3$ 时,导热系数不大于 $0.153 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 时符合隔热保温材料标准。由测量结果可知,芳纶、海藻纤维复合织物导热系数符合隔热材料标准,达到非常好的隔热效果,在消防等服用方面可为消防员提供满意的热舒适性。

4 结论

4.1 芳纶、海藻纤维复合纱线断裂强力可达 2 503.8 cN,断裂伸长可达 12.61 mm,与部分高性能纤维纱线相比具有优越力学性能,在断裂伸长性能上体现出高强度、高模量特点,因而可以提高织物抗冲击性和耐磨损性。

4.2 芳纶、海藻复合针织面料具有良好的吸湿性,纱线的回潮率达到 10.04%,吸湿性能优于大部分已有

研究开发的吸湿面料,与具有优异吸湿性面料的吸湿性能基本持平,用于消防内衣开发,可达到一定穿着舒适性。

4.3 芳纶、海藻复合针织面料具有出色的隔热性能,导热系数符合隔热面料国家标准,可广泛应用于消防领域作业中。

4.4 芳纶、海藻复合针织面料可以达到一定的强伸性和热湿舒适性,适合用于消防员内衣用面料的开发。

参考文献

- [1]JANARTHANAN M, KUMAR M S. A modern development of bioactive wound dressing material using chaetomorpha linum seaweed/cotton blended fabric[J].International Journal of Clothing Science and Technology,2018,30 (3): 16-28.
- [2]MARTINEZ M A, BECHERUCCI M E. Study of the potential use of the invasive marine algae undaria pinnatifida in the preliminary development of a functional textile[J].Journal of Industrial Textiles,2020(1):5-10.
- [3]刘艳君,万方,林浩.海藻纤维性能研究[J].棉纺织技术,2013,41(7):1-4.
- [4]展义臻,朱平,张建波,等.海藻纤维的性能与应用[J].印染助剂,2006,23(6):9-12.
- [5]桑彩霞,王建坤.海藻纤维医用敷料及其抗菌改性研究[J].针织工业,2021(7):51-56.
- [6]董卫国.新型纤维材料及其应用[M].北京:中国纺织出版社,2018.
- [7]王红,楚久英.芳香族聚酰胺纤维研究进展及应用[J].国际纺织导报,2020,48(4):6-9.
- [8]张亚如,徐广标.芳纶纤维吸湿性能测试与评价[J].纺织科学与工程学报,2021,38(3):49-53.
- [9]中国建筑业协会建筑节能专业委员会,北京市建筑节能与墙体材料革新办公室中国建筑业协会建筑节能专业委员会.建筑节能:怎么办?[M].北京:中

国计划出版社,1997.

- [10]孟晨洁,汪一蕾,许汝南,等.基于阻燃面料生产的芳纶纱线生产技术研究[J].山东纺织科技,2016,57(4):51-53.
- [11]张抗震.聚苯硫醚(PPS)用于防化服外层面料的产品开发[D].上海:东华大学,2011.
- [12]周荣稳,宋鹏飞,王秋美.玄武岩纤维纱线的性能研究[J].山东纺织科技,

2010,51(3):3-5.

- [13]何天虹,姚金波,修建,等.吸湿快干功能纯粘胶纱的设计开发[J].棉纺织技术,2007,35(5):29-32.
- [14]任乾乾,林兰天,郑慧琴.采用二氧化硅气凝胶的防火隔热组合面料研究[J].上海纺织科技,2011,39(12):53-55.

收稿日期 2023年10月22日

链接

消防防护服及消防隔热服概述

消防防护服是保护活跃在消防第一线消防队员人身安全的重要装备品之一。又称防护服、防护工作服、消防战斗服等,其结构一般都具有高覆盖、高闭锁和便于工作的特点。

按防护功能分健康型防护工作服,如防辐射服、防寒服、隔热服及抗菌服等;安全型防护工作服,如阻燃服、防静电服、防弹服、防刺服、宇航服、潜水服、防酸服及防虫服等;为保持穿着者卫生的工作服,如防油服、防尘服及拒水服等。

防护工作服的材质,除满足高强度高耐磨等穿用要求之外,常因防护目的、防护原理不同而有差异,从棉、毛、丝、铅等天然材料,橡胶、塑料、树脂、合纤等合成材料,到当代新材料及复合材料等,如抗冲击的对位芳香族聚酰胺及高强度高模量聚乙烯纤维制品,拒油的含氟化合物,抗辐射的聚酰亚胺纤维,抗静电集聚的腈纶络合铜纤维,抗菌纤维及经相关防臭整理的织物。

消防隔热服又叫消防防化服、隔热防护服,包括上衣、裤子、手套、头罩和护脚。主要是针对消防队员或其他工作在高温场所的作业人员提供隔(防)热保护的服装。一般由阻燃纤维织物与真空镀铝膜复合材料混合在一起制作而成,消防隔热服特点:不含石棉,比重轻、强度高、阻燃、耐高温、抗热辐射、防水、耐磨、耐折、且对人体无害等,穿上该服装能有效地保障消防队员、高温场所作业人员即使接近热源也不会被酷热、火焰、蒸气而灼伤的一种保护服装。

高性能的避火隔热服,可抵御 1 000 ℃的火焰,并能有效防护高温水蒸汽的喷溅,该产品适合近火源使用,但不适合进入或穿越火源 Aramidic 复合材料,全身式防护服外覆铝质保护层,服装前部拉链带有保护翻边和按扣可分离式头罩,头部为镀金玻璃面窗内置安全头盔,带呼吸器背囊。可以配合自给正压式呼吸器使用整体产品包括五指手套及防护靴。