

纺织用发热材料的性能评价及其应用

白洁

(中国纺织工程学会,北京 100000)

摘要:介绍吸湿发热材料、相变发热材料和远红外发热材料等3种目前应用在纺织服装领域较多的发热材料,归纳总结3种材料的基本原理、实现途径、性能评价及应用情况,简要预测发热材料的发展趋势,旨在为发热材料的研发和检测提供理论依据。

关键词:发热材料;吸湿;相变;远红外

中图分类号:TB 34

文献标志码:A

文章编号:1673-0356(2022)08-0007-05

随着科学技术的进步和物质生活水平的提高,人们对保暖服装的要求不只局限于保暖,还希望服装尽可能轻薄。人们日常所穿着的传统保暖服装,如羽绒服、棉服、皮草等,大多利用高密织物结构以及蓬松絮片、绒毛等,防止外部冷空气进入,增加服装内部的静止空气含量,阻止热量损失,以达到一种“被动”的保暖效果。这类服装往往“暖、厚、重、肿”,即保暖、蓬松、体积大、厚重,难以满足对服装舒适感和美感的要求,人们希望获得“暖、轻、薄、健”的保暖服装。因此,能够“积极”产热的各种发热纤维及其轻薄型保暖服装逐渐进入人们视野。

发热材料根据其发热原理不同,大致可分为吸湿发热材料、相变发热材料、化学能发热纤维、电能发热材料、太阳能发热材料等^[1-2]。当人体穿着用发热材料制成的纺织品时,身体因发热材料的作用会产生微热感。

选取了吸湿发热材料、相变发热材料和远红外发热材料等3种目前应用在纺织服装领域较多的发热材料进行讨论。

1 吸湿发热材料

1.1 定义和原理

吸湿发热纺织品是由吸湿发热纤维与其他纤维混纺而成。吸湿发热纤维实现发热效果的原理主要有两种^[3]:(1)动能理论。空气中具有较高动能的水分子,由于氢键等作用力被吸附到材料上成为静止状态,动

能转变为内能从而放出热量。(2)相变理论。材料通过吸收空气中或人体散发的气态水,将其转化成液态水,液化放热。

1.2 实现途径

1.2.1 吸湿发热纤维

纤维的发热性能与其自身的回潮率有关。吸湿发热纤维是通过纤维本身的吸湿性或改善纤维分子结构,提高纤维的吸湿性来达到发热效果,可以分为天然和合成两大类。

(1)天然吸湿发热纤维。本身具有较好吸湿性的纤维,主要有棉纤维和羊毛纤维,回潮率相对较高,吸湿性好。但是当人体大量出汗时,天然纤维虽可以吸湿发热,但无法做到快速排出湿气,使人体皮肤与织物黏贴,从而产生湿热和不适感,并不具有实用性。

(2)合成吸湿发热纤维。多通过增加纤维大分子链上的亲水基团,来提高纤维的吸湿性能,实现吸湿发热,如改性聚酯、改性聚丙烯腈等纤维,以及接入了高吸水基团的高度交联聚丙烯酸酯类纤维和亚丙烯酸盐系纤维等。也可以在纺丝过程中添加吸湿性强的单体进行共混纺丝制备,如吸湿发热黏胶纤维。

1.2.2 吸湿发热纱线及织物

仅通过吸湿发热纤维,难以实现兼具轻薄、透湿及其他服用性能的吸湿发热服装。可将吸湿性较强的纤维与具有独特物理性能的纤维进行混纺,如铜氨纤维与超细旦抗起球腈纶混纺等,可以兼具吸湿发热及蓬松保暖等服用性能。

采用吸湿快干的聚酯、吸湿性好的黏胶、蓬松保暖的腈纶和弹力氨纶构成的吸湿发热内衣面料,兼具弹性、轻柔、吸湿发热、快干、透湿等性能,综合服用性能极佳。

收稿日期:2022-05-19

作者简介:白洁(1988—),女,工程师,硕士,主要从事纺织类团体标准研制和科学技术普及等相关工作,E-mail:baijie@ctic.org.cn。

1.3 性能与评价

吸湿发热纤维与其他种类的发热纤维比较,其优势是:(1)不需要外加能源,相比电能发热纤维更加节能环保;(2)不受限于时间,相比光能发热纤维工作时间更加灵活;(3)耐久性更好,相变发热纤维中的微胶囊会影响耐洗涤性。

吸湿发热纤维作为一种新型功能性纤维,升温效果还有待提升,且大多应用于贴身内衣,价格昂贵。另外,需要注意的一点,是否选择“吸湿发热”类衣物还要依据自身的身体状况,有些人在北方穿着此类内衣,开始会有些许热感,但之后由于吸湿内衣的强烈吸湿性及北方的高干燥气候,可能会出现皮肤迅速脱水干燥、起皮发痒等不适感。

目前,不管是针对吸湿发热纤维还是其织物,国际上均没有统一测试吸湿发热性能的方法和标准^[4]。国内相关标准有 GB/T 29866—2013《纺织品 吸湿发热性能试验方法》和 FZ/T 73036—2010《吸湿发热针织内衣》。前者只规定了纺织品吸湿发热性能的试验方法,后者规定了吸湿发热内衣应满足两项升温值指标,即最高升温值不低于 4 °C,30 min 内平均升温值不低于 3 °C。

上述 2 个标准中测试吸湿发热性能的试验方法,均是将试样烘干后放在温度为(20±0.5) °C、相对湿度为(90±3)%的恒温恒湿试验箱中测试面料的发热性能。而在实际穿着过程中,如果人体与服装之间的微气候相对湿度为 90%,服装的发热性已不是关注重点了,舒适性就不能满足了。所以,今后的研究重点应在低相对湿度条件下来实现吸湿发热材料的发热效果^[5]。

1.4 应用

日本在此方面的研究比较成熟,如东洋纺公司研发的 N38[®](高度交联的聚丙烯酸酯类纤维)和 EKS[®]纤维(亚丙烯酸盐系纤维),除了具有吸湿发热功能的同时还能将人体多余汗汽及时排走,达到干爽舒适的效果,还具有抗菌防臭等性能,在保暖内衣、滑雪衫等户外运动服、家纺领域均有应用。东丽公司开发的 Softwarm[®]纱线(超细腈纶与黏胶纤维复合制备)、旭化成株式会社开发的 Thermogear[®]纱线(超细旦腈纶与铜氨丝复合制备),通过结构设计、接枝改性等方法大大提升了吸湿保暖性。

在内衣方面应用最知名的是优衣库的 Heattech[®]

系列产品,采用聚酯、黏胶、腈纶和氨纶构成,面料轻薄、柔滑,透气率可高达 68 mm/s,透湿率高达 10 024 g/(m²·d),出汗时会明显感到发热。但是,这款产品的吸湿发热性能和普通棉内衣并无大的区别,其优势在于轻柔且透气透湿,穿上后在感受到发热的同时,感觉舒适。

国内吸湿发热纤维研究起步较晚,主要通过将已有的吸湿发热纤维与其他种类的纤维进行混纺,拓展面料的新功能,例如上海正家牛奶丝科技有限公司开发的易热宝[®]纤维(改性聚丙烯腈纤维)和上海洁宜康化工科技有限公司自主研发的舒热丝[®]纤维(改性聚丙烯酸类纤维)等。现如今吸湿发热材料在纺织面料中应用越来越多,吸湿发热产品的研究和开发也会越来越深入^[6]。

2 相变发热材料

2.1 定义和原理

相变调温纺织品是将相变材料以合理的方式与纤维织物进行结合,从而实现调温效果。当外界环境温度产生变化时,纺织品内的相变材料发生相变时会吸收和放出热能,在纺织品周围形成微气候,从而赋予纺织品温度调节的功能。目前,人们所认识到的相变材料有 500 多种。服用纺织品使用的相变材料要求相变热高、相变转换温度贴近人体温度,一般多采用有机相变材料或复合相变材料,多为体积变化较小的固-液相变材料,也包含一些含结晶水的无机水合盐。

相变材料能够存储和释放能量,但在发生形态转变时易发生泄漏,可对相变材料进行封装,对后续材料加工过程起有效的保护作用,可以提高材料的稳定性和耐久性^[7]。目前可用的方法包括多孔材料吸附法和微胶囊法两种,在纺织领域,相变微胶囊的应用较为广泛,该方法是将特定温度范围的相变材料以物理或化学方法封装于高分子聚合物中,制成直径小于 100 μm 并且常态下稳定的微型单元(微胶囊)。

2.2 实现途径

相变调温纺织品的加工方式一般为两种^[8]:一类是先将相变材料或相变微胶囊制成相变调温纤维,然后加工成纺织品;另一类是将相变材料或相变微胶囊通过适当的方式与织物直接复合得到相变调温纺织品。

2.2.1 常用相变材料

固液相变材料如石蜡类、聚醚、脂肪族聚酯、聚醚

酯、聚乙二醇、聚戊二酸己二酯、正十二酸、正十四醇等。

含结晶水的无机水合盐,如 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{SrCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 等,具有 250~400 J/g 的相变热,但水合盐容易出现相转变的不可逆现象,需要改进。

2.2.2 相变调温纤维

(1)中空纤维填充法:将相变材料填充至中空纤维的中空部分,得到相变纤维,相变材料能够在纤维中均匀分布,调温性能良好。

(2)纺丝法:将相变材料或相变微胶囊添加到纺丝聚合物的熔体或纺丝液中,纺丝加工成调温纤维。该方法的优点是相变材料能均匀分布在纤维内部和表面,既能防止相变材料泄露,又能有效提高纤维的热响应速率。

2.2.3 相变调温纺织品

(1)直接填充法:将相变材料或相变微胶囊直接填充到密封袋中,然后再复合到服装中。本体相变材料、相变微胶囊和相变大胶囊都可这样制成相变调温纺织品。

(2)表面整理法:将相变微胶囊通过涂层整理与纺织品结合,工艺简单,操作方便,易工业化。但添加的相变材料量较低,经整理后织物的柔软性、透气性、透湿性、耐洗涤性等服用性能降低。

(3)表面接枝法:将织物中的特定官能团与相变材料通过化学键结合,使织物具有调温性能。工艺相对复杂,不易工业化,制备出的产品具有较好的手感和耐久性。

2.3 性能与评价

目前,国际上针对提升潜热储能系统的测试和分析方法缺乏统一的标准^[9]。美国材料与试验协会(ASTM)于2004年6月发布的《ASTMD7024 纺织材料稳态和动态热性能的标准试验方法》标准中,定义了总热传导系数和温度调节因素(TRF)2个指标及其测试方法,适用于纺织品、棉絮纤维及其他类似样品。

我国相关的标准有中国纺织工程学会(CTES)于2017年12月发布的《纺织用相变调温微胶囊及其应用功能评价》(T/CTES 1005—2017),规定了相变调温织物性能,采用差示扫描量热法和动态升降温法,结合进行评价,分为优等品、一等品、合格品。相变调温织物性能评价指标见表1。

表1 相变调温纺织品性能评价指标

评价规则	优等品	一等品	合格品
相变熔点/°C	$M_2 \pm 2.0$	$M_2 \pm 2.5$	$M_2 \pm 2.5$
动态升/降温最高温度调控值 $\Delta T_{\text{max}}/^\circ\text{C}$	≥ 5.0	≥ 4.0	≥ 3.0

注1: M_2 为标称的相变熔点峰值,可根据客户需求确定,一旦确定,不得随意改变。注2:织物的相变调温性能,先根据差示扫描量热法判定相变熔点,即确定温度调节区间是否与标称一致,如一致再行判断性能等级;如不一致,则直接判定为不合格。注3:取升/降温过程中最高温度调控值的绝对值中较高的一个进行等级评价。

运用相变材料制备的相变调温纺织品可以有效改善人体在高温或寒冷环境下的身体温度,不仅可以实现寒冷环境下的温度调节,也可以用于炎热环境下的温度调节,最适用于在高温和低温环境下切换工作的人员。

2.4 应用

相变材料广泛用于军事、建筑、医疗卫生、纺织服装、航天等行业。例如在军事领域,相变智能温控纺织品可用于飞行保暖手套、军用冷热天气作战靴、军用潜水服等。在民用纺织服装领域,相变智能温控纺织品常用于运动服装和袜子等,调温纺织品能及时降低运动员剧烈运动产生的大量热量,缓解其体温上升过快而产生的头晕等不适症状。同时,还可用作床单、被罩等床上用品或窗帘、壁纸、地毯等装饰用品,为人们提供舒适的生活环境。

最知名的相变调温纤维为美国开发的 Outlast[®],占全球市场份额80%以上。日本开发的调温聚酯纤维 Air-Techno[®],已推出较成熟的相变调温衬衫、西服及保暖内衣等产品。在中国,丝维尔[®]智能调温纤维和上海三十六棉纺针织厂研制的 SL 调温纤维已进入产业化及推广阶段^[10]。相变调温纺织品在人们的日常生活中,以及低温防护领域均具有一定的市场发展潜力。

3 远红外发热材料

3.1 定义和原理

在电磁波谱中,通常人们将波长 2.5~1 000.0 μm 的红外线称为远红外,该波长范围的远红外线与生物的生长发育有关,可以振动并激活生物内部的水分子,与生物产生共鸣,促进其代谢和生长^[11]。

部分材料在吸收外界电磁辐射能量后,可以发射出与人体红外线波段相符合的远红外线,将上述材料

与纤维及织物结合,获得蓄热保暖、提高体感温度的一种积极供热式的保暖纺织品,为远红外纺织品,一般要求其远红外发射率达到0.65以上,多用于蓬松的保暖絮片及内衣。不同于其他保暖材料,远红外纺织品具有保暖和促进微循环两种功能。一方面,吸收外界电磁波辐射的能量,发射出远红外线,并反射人体发出的远红外线,阻止人体热量向外部散发,起到高效保温作用;另一方面,其发射的4~14 μm 波长范围内的远红外线与反射的人体红外线,作用于人体表面细胞,因振动频率吻合而增强分子的热运动,促进皮下组织的微循环和新陈代谢。

3.2 实现途径

远红外纺织品功能实现的核心是具有远红外发射功能的添加剂,一般都是在常温下具有远红外辐射功能的陶瓷微粉,粒径通常在0.5 μm 以下,多为金属氧化物或金属碳化物,如氧化铝、氧化锆、氧化镁、二氧化钛、二氧化硅、氧化锡、碳化锆等。制备远红外保暖纺织品主要有两种方法:

(1)涂层法:将具有远红外发射功能的纳米级粉体、黏合剂和助剂按一定比例制成后整理剂,再通过浸轧、涂层、喷雾等方法,使其均匀涂覆在织物表面,最后对织物进行干燥、热处理等。工艺简便,成本较低,对远红外发射功能粉体要求不高,但是制得纤维的纺织品手感及耐洗涤性能较差。(2)纺丝法:将具有远红外功能的材料混合在纺丝液中制得含远红外材料的合成纤维,再用远红外纤维加工成纺织品。根据生产工艺的不同,纺丝法分为母粒法、注射法、全造粒法和复合纺丝法,母粒法是制备远红外纤维最普遍的一种方法,此法得到的远红外产品耐久性较好,但成本较高。另外,纺丝法需要调控远红外粉体的添加量,要在保证纺丝和纤维的各项基础性能的前提下,尽量提高远红外发射率,达到远红外保暖的功能性,一般远红外材料添加量在5%~20%。目前在涤纶、丙纶、腈纶、黏胶等纤维中采用这种方法。

3.3 性能与评价

目前,国内现行的有关远红外纺织品的标准为GB/T 30127—2013《纺织品 远红外性能的检测和评价》。此标准规定了采用5~14 μm 波段的远红外辐射测量系统测量样品的远红外发射率,采用远红外辐射源以150 W 辐射功率辐照试样30 s后表面温度升高,并给出了远红外性能的评价标准:对于一般样品,若试

样的远红外发射率不低于0.88,且远红外辐射温升不低于1.4 $^{\circ}\text{C}$ 时,则样品具有远红外性能;对于絮片类、非织造类、起毛绒类等疏松样品,远红外发射率不低于0.83,且远红外辐射温升不低于1.7 $^{\circ}\text{C}$,样品具有远红外性能。

远红外纺织品要想达到发热目的,一是需要吸收外界电磁辐射能量,作为外衣比较合适,但远红外线穿透普通纺织品能力有限,如要起到促进身体微循环的效果,又需要直接接触皮肤,作为内衣较合适,但作为内层衣物,又难以吸收外界能量,只能反射人体本身散发的红外线,能量十分有限。

3.4 应用

远红外纤维开发始于20世纪80年代,开发了碳化锆保温纤维。日本旭化成、东丽、钟纺、可乐丽、东洋纺等都开发了多品种规模化生产的远红外纤维。我国开始于90年代,也实现了批量化生产。目前,可制成针织或梭织的具有远红外功能的滑雪衫、运动服、风衣等,也可通过非织造技术制成具有远红外功能的保暖絮片,从而用作床单、睡袋、被子、防寒服等的填充料。远红外除了保暖作用外,其保健功能也深受人们的喜爱,近几年各种远红外保健产品大量涌现,如具有保健功能的连裤袜、贴身衣、鞋垫、枕头、保健被等。

4 结束语

近年来,发热材料发展较好,其在服装、家纺等领域均有较多应用。但同时也存在一些问题,比如配套标准体系不够完善,市场上没有全面、统一、规范的测试方法和标准来检测发热材料制成的纺织品是否达到发热效果。另外,经过发热处理的纺织品,其他服用性能,比如透湿性、耐洗涤性等能否不受影响也是未来的研究重点。

另一方面,在国家“双碳”目标导向下,发热材料在其生产和使用中要注意采用环保工艺,减少废水和废气的排放,以及材料的可回收再利用等。同时,为满足人们需求的多元化,还需要开发具有抗静电、防紫外线等多重功能的发热面料。

参考文献:

- [1] 王敏,李俊.发热保暖服装材料的开发现状及发展趋势[J].产业用纺织品,2009,27(4):6-9.
- [2] 吴加会,徐广标,安昱盈,等.发热羊毛混纺面料的设计与开发[J].上海纺织科技,2021,49(12):41-46.

- [3] 李梦颖, 赵涛. 尼龙织物的表面改性及其吸湿发热性能[J]. 印染, 2019, 45(23): 6-10, 25.
- [4] 葛露露, 崔沂, 张瑞云, 等. 基于吸湿发热纤维的毛型面料开发[J]. 毛纺科技, 2020, 48(7): 1-7.
- [5] 杜凯, 刘正芹. 吸湿发热纤维的研究进展[J]. 上海毛麻科技, 2014(2): 3.
- [6] 葛露露. 基于吸湿发热纤维的毛型面料开发[D]. 上海: 东华大学, 2019.
- [7] 李东昇, 刘雷良, 吴建兵, 等. 相变微胶囊在调温纺织品中的应用研究进展[J]. 棉纺织技术, 2021, 49(8): 79-84.
- [8] 陈云博, 朱翔宇, 李祥, 等. 相变调温纺织品制备方法的研究进展[J]. 纺织学报, 2021, 42(1): 167-174.
- [9] 孙洁, 孙娜, 周建安, 等. 相变微胶囊及其功能纺织品研究进展[J]. 服装学报, 2019, 4(3): 189-200.
- [10] 贺润音, 吴雨曦, 王朝晖, 等. 相变材料调温服装调温性能研究进展[J]. 国际纺织导报, 2020, 48(11): 47-54.
- [11] 吴波伟, 黄顺伟. 远红外纺织品的制备与应用[J]. 产业用纺织品, 2018, 36(1): 35-39.

Performance Evaluation and Application of Heating Materials for Textiles

BAI Jie

(China Textile Engineering Society, Beijing 100000, China)

Abstract: Three kinds of heating materials widely used in the field of textile and clothing were introduced, such as hygroscopic heating materials, phase transition heating materials and far infrared heating materials. The basic principles, implementation methods, performance evaluation and application of above three materials were summarized. The development trend of heating materials was briefly predicted, aiming to provide a theoretical basis for the research development and testing of heating materials.

Key words: heating material; hygroscopicity; phase transition; far infrared

(上接第6页)

- [20] LEI T, PENG Q, CHEN Q, et al. Alignment of electrospun fibers using the whipping instability[J]. Materials Letters, 2017, 193:248-250.
- [21] BADIEYAN S S, JANMALEKI M. Nanofiber formation in the presence of an external magnetic field in electrospinning[J]. Journal of Polymer Engineering, 2015, 35(6): 587-596.
- [22] DABIRIAN F, RAVANDI S A, SANATGAR R H, et al. Manufacturing of twisted continuous PAN nanofiber yarn by electrospinning process[J]. Fibers and Polymers, 2011, 12(5):610-615.
- [23] WU S H, QIN X H. Uniaxially aligned polyacrylonitrile nanofiber yarns prepared by a novel modified electrospinning method[J]. Materials Letters, 2013, 106:204-207.
- [24] LEE J H, SHIN D W, NAM K B, et al. Continuous bundles of aligned electrospun PAN nano-fiber using electrostatic spiral collector and converging coil[J]. Polymer, 2016, 84:52-58.
- [25] RAFIQUE J, YU J, YU J, et al. Electrospinning highly aligned long polymer nanofibers on large scale by using a tip collector[J]. Applied Physics Letters, 2007, 91(6): 063126.

Methods and Devices for Electrospinning Ordered Arrangement Nano-fibers

WANG Guangyao, LIU Guiyang*, ZHOU Yuan

(Jiangsu College of Engineering and Technology, Nantong 226006, China)

Abstract: In electrospinning, the polymer jet was fully stretched into nanofibers due to Rayleigh's unstable whipping in the process of electrostatic field movement, resulting in the uncertainty of nanofiber deposition and arrangement. Therefore, special methods and devices were required to obtain ordered nanofibers. The methods and devices of electrospinning ordered nanofibers were introduced, and the advantages and disadvantages of each method and device were analyzed and compared, so as to provide reference and improvement direction for the next development and design of electrospinning ordered nanofibers technology in the future.

Key words: nanofiber; electrospinning; ordered arrangement; electrospinning device