

相变蜡@聚乙烯醇储能调温整理液的制备及其在棉织物上的应用

Preparation of phase change wax@polyvinyl alcohol thermo-regulated finishing agents and its applications on cotton fabrics

刘国金,石 峰,张国庆,周 岚

(浙江理工大学 纺织科学与工程学院,杭州 310018)

LIU Guo-jin,SHI Feng,ZHANG Guo-qing,ZHOU Lan

(College of Textiles Science and Engineering,Zhejiang

Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

摘要:以相变蜡为储能调温材料、聚乙烯醇(PVA)为包覆材料,经高速剪切乳化制备储能调温整理液,并通过浸轧-焙烘方式整理棉织物。分析相变蜡的基本性能和 PVA 的成膜性能,探讨相变蜡与 PVA 的配比及乳化剂用量对整理液性能的影响,并采用扫描电子显微镜(SEM)、热差示扫描量热仪(DSC)、热重分析仪(TG)、迷你温度记录仪和水洗实验表征调温棉织物的表面形貌、储能调温性能和耐洗牢度。结果表明:相变蜡的熔融温度为 30.24 ℃,热焓值为 190.0 J/g,过冷度为 5.82 ℃,PVA 在 70 ℃以上成膜速率快,成膜性良好且与基材的黏附性较强;当相变蜡与 PVA 的投料比为 5:1,乳化剂用量占相变蜡 4.8%(质量分数)时,所得储能调温整理液较为稳定;通过浸轧-焙烘整理,所得调温棉织物的纤维表面包裹明显的储能调温薄膜,相变热焓值为 20.51 J/g,相转变温度为 27.67 ℃,在同等降温条件下表现出优异的储能调温功能,可经受住约 30 次的水洗。

关键词:相变蜡;聚乙烯醇;储能调温整理液;棉织物

doi: 10.11868/j.issn.1001-4381.2019.000959

中图分类号: TS195.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4381(2020)12-0097-06

Abstract: The thermo-regulated finishing agents were prepared by high speed shear emulsification with phase change wax as energy storage and temperature control materials, polyvinyl alcohol (PVA) as coating materials, and then the cotton fabrics were treated by the prepared finishing agent by a padding-curing process. The basic properties of the phase change wax and the film forming properties of PVA were analyzed, the effects of the phase change wax and PVA ratios and the amounts of emulsifier on the performance of the finishing agent were investigated, and the surface morphology, heat storage and temperature regulation performance and washing fastness of resultant thermo-regulating cotton fabrics were characterized by SEM, DSC, TG, mini temperature recorder and water washing experiments. The results show that the melting temperature of the phase change wax is 30.24 ℃, the thermal enthalpy value is 190.0 J/g, the degree of supercooling is 5.82 ℃. PVA has high film formation speed, good film-forming ability and strong adhesion to the substrate when the temperature is above 70 ℃; when the ratio of the phase change wax to PVA is 5:1 and the amount of the emulsifier is 4.8% (mass fraction) of the phase change wax, the prepared thermo-regulating finishing agent is relatively stable; after a padding-curing process, the surface of the cotton fibers is wrapped by an apparent film, and the prepared thermo-regulating cotton fabrics have phase change heat enthalpy of 20.51 J/g and phase transition temperature of 27.67 ℃. Under the same cooling conditions, the finished cotton fabrics exhibit good heat storage and temperature regulation performance, and can withstand 30 times of washing.

Key words: phase change wax; polyvinyl alcohol; thermo-regulated finishing agent; cotton fabrics

相变材料^[1-3]是一种具有储能调温性能的智能材料,当环境温度变化时,其会发生相应的可逆相转变,通过释放或吸收热量维持体系温度的大致平衡,在航天、建筑、纺织等领域得到广泛的应用^[4-7]。近年来,相变材料在储能调温纺织品上的应用已经成为新材料领域的一个研究热点。通常,在制备储能调温纺织品时,往往都是将微胶囊化后的相变材料经纺丝或后整理工艺施加到纺织品上^[8-10]。Rahbar 等^[11]将正十六烷微胶囊施加到纺丝液中,经静电纺丝制备了储能调温纤维。柯孝明等^[12]将十四醇相变微胶囊制成后整理剂,通过浸渍-焙烘方式制备储能调温棉织物。将相变材料微胶囊化可有效防止相变材料的泄露和迁移,有利于增强纺织品储能调温性能的耐久性^[13-16]。但是,上述方法存在制备工序繁多、耗时长、微胶囊粒径难控制、整理后纺织品手感和耐洗性差等问题,很大程度上限制了储能调温纺织品的发展。基于此,选用成膜性良好的包覆材料和相变材料共同组成工作液,通过固化成膜法制备储能调温纺织品的研究引起了关注^[17]。原位固化成膜法无须制备相变微胶囊,整理后的纺织品具有良好的储能调温性能、手感和耐水洗性,为储能调温功能性纺织品的制备提供了新方法^[18]。此外,原位固化成膜法简便可控、对设备要求低,适宜于实现工业化应用,制备所得纺织品在家纺、装饰、军用品等领域具有潜在的应用前景。

本工作以相变蜡为储能调温相变材料,以聚乙烯醇(PVA)作为包覆材料,通过高速剪切乳化制备储能调温整理液,采用浸轧-焙烘工艺以固化成膜的方式制备储能调温织物。采用扫描电子显微镜(SEM)、热差示扫描量热仪(DSC)、热重分析仪(TG)、迷你温度记录仪和水洗等手段分析储能调温织物的形貌、调温性能和耐水洗牢度。为推动储能调温纺织品的实际应用提供实践基础,也为蓄热调温功能性材料的制备提供新思路。

1 实验

1.1 实验材料

相变蜡(纯度 99%,上海丰泓纺织科技有限公司);聚乙烯醇(PVA,阿拉丁试剂(上海)有限公司);十二烷基硫酸钠(SDS,分析纯,上海麦克林生化科技有限公司);Span-80(分析纯,上海展云化工有限公司);戊二醛(分析纯,阿拉丁试剂(上海)有限公司);冰乙酸(分析纯,上海麦克林生化科技有限公司);去离子水(实验室自制);纯棉织物(平纹织物,面密度 115 g/m²,杭州四季青面料市场)。

1.2 实验方法

1.2.1 储能调温整理液的制备

将一定量的 SDS 和 Span-80 复配乳化剂充分溶解在 100 mL 去离子水中,然后加入 50 g 相变蜡,在 AD500S-H 型高剪切分散乳化机上以 6000 r/min 转速乳化 40 min,获得 O/W 型乳液。接着加入 20%(质量分数,下同)的 PVA 溶液,继续在 6000 r/min 转速下乳化 20 min,取出乳液后,分别滴加占 PVA 固含量 5%的戊二醛和 1%的乙酸,搅拌均匀后得到储能调温整理液。

1.2.2 棉织物上的后整理工艺

将上述储能调温整理液采用浸轧-焙烘工艺对棉织物后整理,其中 Model P-AO 型轧车压力调至 0.2 MPa,在 70 °C 的 DHG-9070A 型鼓风烘箱中焙烘 40 min,即得到储能调温棉织物。

1.3 测试与表征

称取 2~8 mg 样品,测试升温速率为 10 °C/min,温度为 0~50 °C,采用差示扫描量热仪(Q2000 型)测试样品的 DSC 曲线,用 TA Universal Analysis 软件分析测得的样品 DSC 曲线,计算得出产物的热焓值和相变温度;将样品真空镀金,然后放置于扫描电子显微镜(URTLA55 型)测试腔内,在 2 kV 工作电压下观察样品表面形貌;用样品把迷你温度记录仪(RC-4 型)的探针包好并加热到 60 °C,然后取出让其自动降温,记录样品的温度变化,并通过 origin 软件绘制出降温曲线;在 N₂ 保护下,设定 10 °C/min 的升温速率,用热重分析仪(TG209F1 型)测试 20~600 °C 范围内样品的 TG 曲线;将 PVA 乳液直接涂覆于玻璃片上,在不同温度下焙烘,观察 PVA 成膜性,将 PVA 膜从玻璃片上剥离,观察剥离强度;按照 GB/T 3921-2008 耐水洗牢度测试标准对储能调温棉织物进行水洗,取出后放入 70 °C 的烘箱中烘干,然后测试 DSC 曲线,计算水洗后棉织物的热焓值。

2 结果与讨论

2.1 相变蜡基本性能与 PVA 成膜性能

2.1.1 相变蜡基本性能

相变蜡作为储能调温功能性材料,其相变温度、热焓值 ΔH_m 和过冷度 ΔT 对其性能有重要影响。图 1 为相变蜡的 DSC 曲线。可知,当熔融温度 T_1 超过 30.24 °C 时,相变蜡吸热开始熔融,即相变蜡由固态向液态转变,熔融过程中的相变热焓值 ΔH_m 为 190.0 J/g;当凝固温度 T_2 低于 24.42 °C 时,相变蜡放热开始结晶,由液态向固态转变,此过程中的热焓值 ΔH_m 为

203.3 J/g。该相变蜡的过冷度 ΔT 仅为 5.82 °C，说明其具有良好的调温性能。

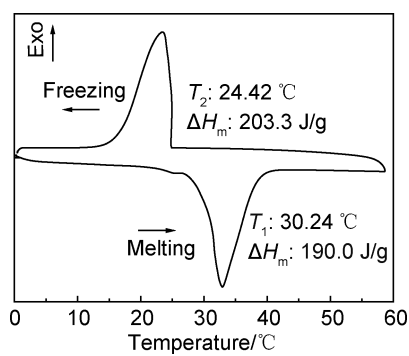


图 1 相变蜡的 DSC 曲线
Fig.1 DSC curve of the phase change wax

2.1.2 PVA 成膜性能

表 1 为不同焙烘温度下 PVA 的成膜性及剥离性。可知,PVA 的成膜性与焙烘温度有密切联系。在不同焙烘温度下,PVA 交联后均可成膜,温度越高,成膜速率越快。同时,不同温度下所得 PVA 薄膜在基材上的剥离性能也不尽相同。30 °C 下所得薄膜很容易从基材上剥离,归因于低温下 PVA 的交联不够完全,所得薄膜脆而黏附性差;50 °C 下所得薄膜相较 30 °C 剥离性提升,但仍能从基材上剥离;焙烘温度超过 70 °C 后,PVA 薄膜不易从基材上剥离,表现出良好的剥离强度。综上可知,当焙烘温度超过 70 °C 后,PVA 交联不仅成膜速率快,成膜性好,且剥离强度高。这也从侧面说明储能调温功能整理剂在棉织物上应用时焙烘温度应不低于 70 °C。

表 1 不同焙烘温度下所得 PVA 膜的成膜性和剥离性
Table 1 Filming property and peelability of the prepared PVA films at different baking temperatures

Baking temperature/°C	Filming property	Film forming rate	Difficulty of peeling
30	Film forming	Slow	Easy
50	Film forming	Slower	Easier
70	Film forming	Faster	Hard
90	Film forming	Fast	Hard
100	Film forming	Fast	Hard

2.2 制备条件对储能调温整理液性能的影响

2.2.1 相变蜡/PVA 投料比的影响

储能调温材料相变蜡和包覆材料 PVA 是整理液的重要组分,相变蜡与 PVA 的投料比将直接影响整理液的性能。在保持其他参数不变的情况下,改变相变蜡与 PVA 的投料比例,观察所得储能整理液的静

置稳定性。结果发现,当相变蜡/PVA 投料比分别为 1 : 1,3 : 1 和 4 : 1 时,储能调温整理液静置 30 min 后明显分层,静置稳定性差;当相变蜡/PVA 投料比增加到 5 : 1 以上时,整理液放置 30 min 后并未发生明显的分层,即具有良好的静置稳定性。

图 2 为不同投料比下制备的储能调温整理液整理所得棉织物的 DSC 曲线。可知,整理后棉织物的相变温度在 28 °C 附近,峰值温度在 30 °C 左右,与相变蜡/PVA 投料比无明显关系,基本符合相变蜡的相变温度范围。但是,随着相变蜡/PVA 投料比的增加,棉织物的热焓值明显增大,即相变材料越多,织物的热焓值越高。当相变蜡/PVA 投料比为 1 : 1 时,棉织物的 ΔH_m 只有 3.13 J/g;当相变蜡/PVA 投料比分别为 3 : 1 和 4 : 1 时,调温棉织物的 ΔH_m 分别为 12.64 J/g 和 18.48 J/g;相变蜡投料比继续增加到 5 : 1 和 6 : 1 时,棉织物 ΔH_m 达到 20.51 J/g 和 18.64 J/g。因此,综合考虑储能调温整理液的静置稳定性和棉织物的热焓值,选择相变蜡与 PVA 的投料比为 5 : 1 为宜,此时棉织物的相转变温度为 27.67 °C,熔融温度为 30.45 °C,热焓值为 20.51 J/g。

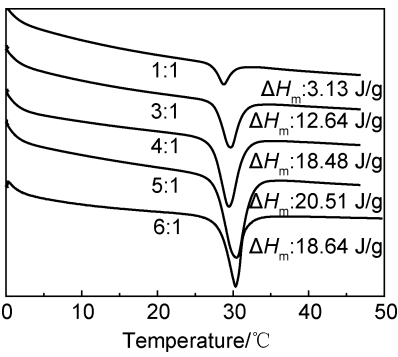


图 2 不同相变蜡/PVA 投料比制备的储能调温棉织物的 DSC 曲线
Fig.2 DSC curves of thermo-regulated cotton fabrics prepared by phase change wax and PVA at different feed ratios

2.2.2 乳化剂用量的影响

在高剪切乳化形成稳定的水包油型乳液时,乳化剂起着至关重要的作用。在保持其他条件不变的情况下,改变复配乳化剂的用量,观察储能调温整理液静置稳定性。当乳化剂的用量分别为 1.2%,2.4% 和 3.6% 时,整理液静置 30 min 后都有明显的分层现象,稳定性较差;当乳化剂用量增加到 4.8% 时,整理液没有出现明显分层,稳定性较好。这可能是因为,乳化剂用量较低时,相变蜡液滴表面吸附的乳化剂分子少,形成的油-水界面膜强度较低,整理液稳定性较差。当乳化剂用量增加,相变蜡和水在界面上排列更紧密,界面

膜强度增加,整理液稳定性增强。当乳化剂用量为 4.8%时,相变蜡液滴表面达到饱和吸附,界面膜的紧密程度最高,界面膜强度最大,整理液稳定性最好。继续增加乳化剂用量到 6.0%时,整理液出现轻微的分层,这可能是乳化剂用量超过了油相相变蜡液滴表面的吸附饱和度,PVA 液滴表面会吸附游离的乳化剂分子,与相变蜡液滴形成竞争吸附,致使界面膜的紧密程度降低,整理液稳定性下降。

图 3 为不同乳化剂用量制备的储能调温整理液整理所得棉织物的 DSC 曲线。发现,当乳化剂用量较低时,棉织物热焓值较低;随着乳化剂用量的增加,棉织物的热焓值逐渐增大。当乳化剂用量分别为 1.2%,2.4%和 3.6%时,调温棉织物的热焓值分别为 13.28,15.27 J/g 和 16.24 J/g;当乳化剂用量继续增加为 4.8%时,棉织物的热焓值达到最大值 20.51 J/g;继续增加乳化剂用量至 6.0%时,棉织物热焓值反而减少到 16.77 J/g,相关原因同上所述。综合不同乳化剂用量下储能调温整理液静置稳定性和储能调温棉织物的

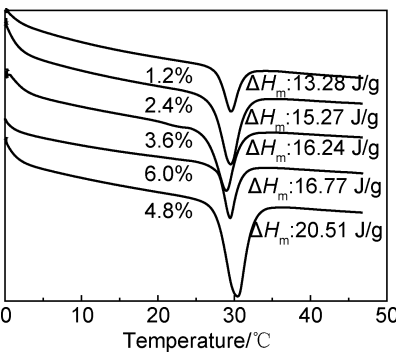


图 3 不同乳化剂用量的储能调温棉织物的 DSC 曲线
Fig. 3 DSC curves of thermo-regulated cotton fabrics prepared by the emulsions with different dosages of emulsifier

热性能,优选乳化剂用量为 4.8%为宜。

2.3 储能调温棉织物的表征

2.3.1 表面形貌分析

图 4 为棉织物经储能调温整理液整理前后的表面形貌。由图 4(a)可见,原棉织物表面比较光滑、平整;经浸轧和焙烘后,由图 4(b)可见,棉纤维上形成了明

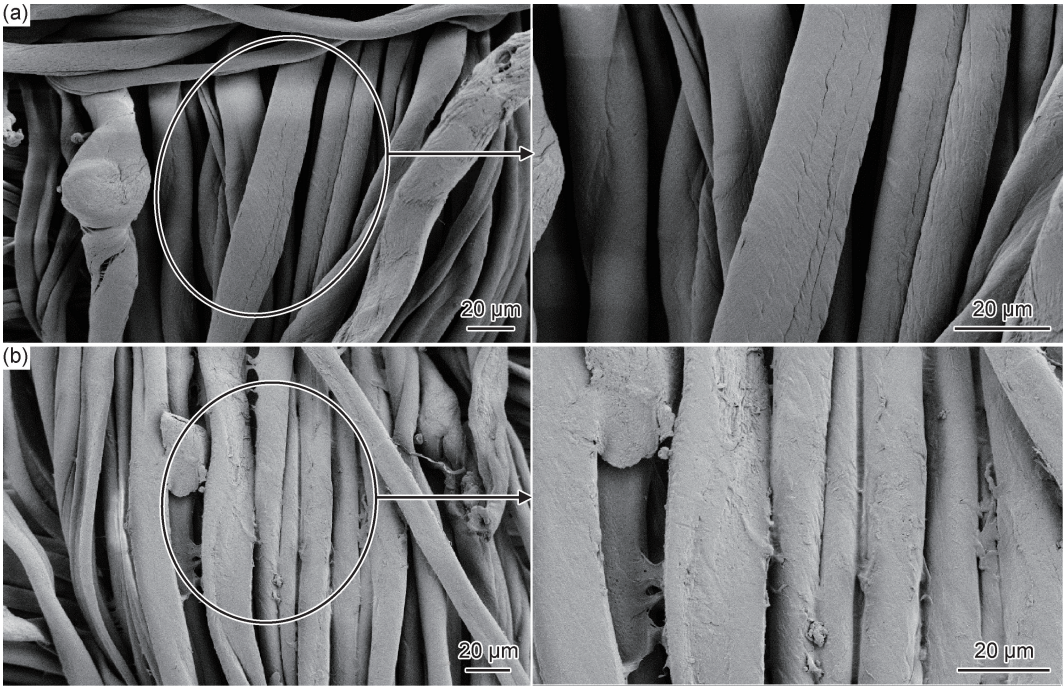


图 4 原棉织物(a)和储能调温棉织物(b)的 SEM 图
Fig. 4 SEM images of original cotton fabrics(a) and thermo-regulated cotton fabrics(b)

显的膜状物。基于 PVA 良好的成膜性及交联后膜的黏附性,可以预见该储能调温棉织物具有良好的耐洗性。

2.3.2 热重分析

图 5 为相变蜡、原棉织物、PVA 处理的棉织物和储能调温棉织物的 TG 曲线。可以看出,在相变蜡的 TG 曲线中,当升温到 155 °C 左右时相变蜡开始受热

挥发,在 385 °C 附近时曲线开始趋于平稳,说明相变蜡基本挥发完全,失重约 99%;在原棉织物的 TG 曲线中,在 100 °C 附近有较小的质量损失,失重约 2%,可能是因为棉织物中所含的水分受热蒸发。在 370 °C 附近时棉织物开始受热分解,在 535 °C 左右时,失重曲线趋于平缓,失重约 92%;只含 PVA 处理的棉织物 TG

曲线和原棉织物的 TG 曲线相似,在 100 ℃ 开始有很小的质量损失,失重为 2.5% 左右,归因于织物上吸附的少量水分和杂质小分子受热挥发。在 370 ℃ 附近时交联型 PVA 和棉织物开始受热分解,在 525 ℃ 附近时失重曲线趋于平缓,失重约 92%; 储能调温棉织物的 TG 曲线先在 100~240 ℃ 附近有一个微小的质量损失,失重约 4%,归因于棉织物含有少量的水分和杂质小分子的受热挥发。当升温到 265 ℃ 之后,开始迅速失重。到 355 ℃ 左右时曲线趋于平缓,失重约 15%,这可能是相变材料泄漏挥发所致。当升温到 370 ℃ 左右时又开始快速失重,到 570 ℃ 附近时失重曲线趋于平缓,失重约 92%,归因于交联型 PVA 和棉织物受热分解所致。与纯相变蜡相比,储能调温织物中相变蜡的分解温度提高了 90 ℃ 左右,说明用 PVA 膜对相变蜡具有一定的保护作用,使制备的储能调温棉织物具有优良的热稳定性。

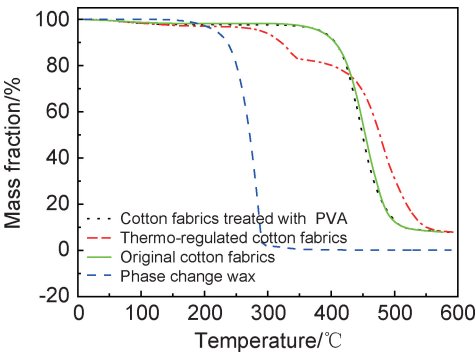


图 5 不同样品的热重曲线
Fig. 5 TG curves of different samples

2.3.3 调温性能分析

图 6 为原棉织物、PVA 整理的棉织物和储能调温棉织物的降温曲线。可以看出,原棉织物和 PVA 整理的棉织物的降温曲线相差不大,说明 PVA 整理对棉织物没有调温作用;当温度降到 26.61 ℃,降温时间在 650~1050 s 之间时,储能调温棉织物的降温曲线

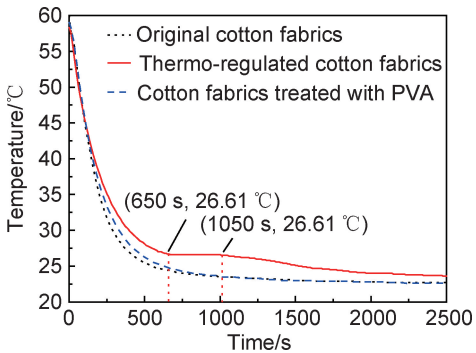


图 6 不同样品的降温曲线
Fig. 6 Cooling temperature curves of different samples

出现明显的平台,温度保持在 26.61 ℃,时间间隔近 400 s,且符合相转变温度,到1050 s之后才开始继续缓慢降温。与原棉织物相比,在该降温区间内,棉织物上的相变材料发生液-固转变释放出热量,在一定时间内维持织物温度,说明该棉织物具有很好的储能调温效果,可以有效减缓织物的降温速率,且持续时间较长。

2.3.4 耐水洗牢度分析

表 2 为储能调温棉织物水洗前后的热性能参数。可知,水洗 0,1,5,10,20 次和 30 次后,调温棉织物的相变温度都在 27 ℃ 左右,基本符合相变蜡的相变温度范围。随着水洗次数的增加,调温棉织物的潜热值下降,归因于随着水洗次数的增加,附着在织物表面和缝隙的相变材料有脱落。但是,水洗 30 次后调温棉织物潜热值才趋近于 0,说明本工作所制备的功能性纺织品可经受的水洗次数为 30 次,表现出良好的耐水洗牢度。

表 2 储能调温棉织物水洗前后的热性能
Table 2 Thermal properties of thermo-regulated cotton fabrics before and after washing

Washing time	Phase transition temperature/℃	Peak temperature/℃	Thermal enthalpy/(J · g ⁻¹)
0	26.67	30.45	20.51
1	27.58	29.50	17.58
5	27.18	28.94	12.35
10	27.11	28.30	8.22
20	27.27	29.41	3.13
30	26.98	28.22	0.17

3 结论

(1)相变蜡的熔融相变温度为 30.24 ℃,热焓值为 190.0 J/g,结晶相变温度为 24.42 ℃,热焓值为 203.3 J/g,过冷度为 5.82 ℃;当焙烘温度超过 70 ℃ 后,PVA 成膜速率快,且薄膜在基材上的剥离强度较高,具有良好的成膜性和黏附性。

(2)当相变蜡/PVA 投料比为 5 : 1,乳化剂用量为 4.8% 时,储能调温整理液具有良好的静置稳定性和蓄热调温性。

(3) 浸轧-焙烘整理所得棉织物的纤维表面包裹明显的储能调温薄膜,热焓值为 20.51 J/g,相转变温度为 27.67 ℃;调温棉织物表现出明显的蓄热调温性能和良好的耐水洗牢度,其可经受住 30 次的水洗。

参考文献

[1] VEERAKUMAR C, SREEKUMAR A. Phase change material based cold thermal energy storage: materials, techniques and app-

- lications-a review[J]. International Journal of Refrigeration, 2016, 67: 271-289.
- [2] 孙伟, 周国相. CNTs 泡沫相变复合材料: 纳米孔隙的构筑与相变材料的包裹[J]. 航空材料学报, 2019, 39(4): 71-77.
SUN W, ZHOU G X. CNTs foam phase change composites: construction of nano pores and wrapping of phase change materials [J]. Journal of Aeronautical Materials, 2019, 39(4): 71-77.
- [3] 陈颖, 姜庆辉, 辛集武, 等. 相变储能材料及其应用研究进展[J]. 材料工程, 2019, 47(7): 1-10.
CHEN Y, JIANG Q H, XIN J W, et al. Research status and application of phase change material[J]. Journal of Materials Engineering, 2019, 47(7): 1-10.
- [4] 许发铎, 孙耀赤, 赵欣, 等. 相变材料作为驱动力在航天器上的研究与应用[J]. 真空与低温, 2014(4): 239-242.
XU F Z, SUN Y C, ZHAO X, et al. The research and application of phase change material as the driving force on the spacecraft[J]. Vacuum and Cryogenics, 2014(4): 239-242.
- [5] ZHOU D, ZHAO C Y, TIAN Y. Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications [J]. Applied Energy, 2012, 92(4): 593-605.
- [6] VENKATESWARA V R, PARAMESHWARAN R, VINAYAKA V R. PCM-mortar based construction materials for energy efficient buildings: a review on research trends [J]. Energy & Buildings, 2018, 158: 95-122.
- [7] MONDAL S. Phase change materials for smart textiles-an overview[J]. Applied Thermal Engineering, 2008, 28: 1536-1550.
- [8] 张芳, 范艳苹, 陆少锋, 等. 相变微胶囊在纺织品上的研究进展[J]. 针织工业, 2018(7): 42-45.
ZHANG F, FAN Y P, LU S F, et al. Research progress of phase change microencapsulated materials in textile industry [J]. Knitting Industries, 2018(7): 42-45.
- [9] 辛成, 陆少锋, 申天伟, 等. 原位聚合法制相变微胶囊及其在织物上应用的研究进展[J]. 纺织科学与工程学报, 2018, 35(4): 148-151.
XIN C, LU S F, SHEN T W, et al. Research progress in the preparation of phase change microcapsule by *in-situ* polymerization and its fabric application [J]. Journal of Textile Science and Engineering, 2018, 35(4): 148-151.
- [10] 李春. 相变微胶囊在聚丙烯纤维中的应用[J]. 合成纤维, 2019, 48(5): 18-20.
LI C. Application of phase change microcapsules in polypropylene fibers [J]. Synthetic Fiber in China, 2019, 48(5): 18-20.
- [11] RAHBAR R S, MALEKI H, KALANTARI B. Fabrication of electrospun nanofibre yarn based on nylon 6/microencapsulated phase change materials [J]. Journal of Experimental Nanoscience, 2016, 11(18): 1402-1415.
- [12] 柯孝明, 王汉, 张国庆, 等. 正十四醇相变微胶囊的储能调温性及其在棉织物上的应用[J]. 浙江理工大学学报(自然科学版), 2017, 37(5): 611-615.
KE X M, WANG H, ZHANG G Q, et al. Thermoregulating performance of N-tetradecanol phase change microcapsule and its applications on cotton fabrics [J]. Journal of Zhejiang Sci-Tech University (Natural Sciences Edition), 2017, 37(5): 611-615.
- [13] HAWLADER M N A, UDDIN M S, KHIN M M. Microencapsulated PCM thermal-energy storage system [J]. Applied Energy, 2003, 74 (2): 195-202.
- [14] 李莹, 靳焯, 黄少磊, 等. 微胶囊技术的应用及其常用壁材[J]. 农产品加工, 2008(1): 65-68.
LI Y, JIN Y, HUANG S L, et al. Application of microencapsulation technology and its common wall materials [J]. Farm Products Processing, 2008(1): 65-68.
- [15] 郝红, 梁国正. 微胶囊技术及其应用[J]. 现代化工, 2002, 22(3): 60-62.
HAO H, LIANG G Z. Microencapsulation technology and its application [J]. Modern Chemical Industry, 2002, 22(3): 60-62.
- [16] CHOI K, CHO G. Physical and mechanical properties of thermostatic fabrics treated with nanoencapsulated phase change materials [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2011, 121(6): 3238-3245.
- [17] 李守鹏, 张国庆, 刘国金, 等. 紫外光引发甲基丙烯酸甲酯-丙烯酸丁酯共聚制备相变调温织物及其性能[J]. 高分子材料科学与工程, 2019, 35(1): 109-114.
LI S P, ZHANG G Q, LIU G J, et al. Study on the property of the thermal-regulation fabrics dependent on the phase change prepared by the copolymerization of MMA-BA under UV-initiating condition [J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2019, 35(1): 109-114.
- [18] 刘国金, 石峰, 陈新祥, 等. 聚氨酯/相变蜡蓄热调温功能整理剂的制备及其在棉织物上的应用[J]. 纺织学报, 2020, 41(7): 136-141.
LIU G J, SHI F, CHEN X X, et al. Preparation of polyurethane/phase change wax functional finishing agent of heat storage and temperature regulation and its applications on cotton fabrics [J]. Journal of Textile Research, 2020, 41(7): 136-141.

收稿日期: 2019-10-21; 修订日期: 2020-04-23

通讯作者: 周岚(1979—), 女, 副教授, 博士, 研究方向为功能性纺织品的研发, 联系地址: 浙江理工大学下沙校区 18 号楼 304 (310018), E-mail: lan_zhou330@163.com

(本文责编: 王 晶)