

医用棉纱布层结构设计及其定向吸液能力

程慧婧¹, 赵泽阳¹, 王佳珺¹, 高晶¹, 王璐¹, 沈博强², 胡修元²

(1. 东华大学 纺织学院, 上海 201620; 2. 振德医疗用品股份有限公司, 浙江 绍兴 312035)

摘要: 为了解决吸收渗出液后纱布与周边组织接触粘连, 纱布层滞留水分压迫组织, 妨碍细胞增殖等问题, 基于 Janus 润湿性理论, 对纱布层结构进行设计。以疏水性丙纶 (PP) 非织造层代替棉纱布接触层, 以棉纱布为吸收层, 制备具有定向吸收渗出液能力的复合纱布层。系统研究了非织造层成型方式、棉纱布结构参数、纱布块复合方式等对定向吸液能力的影响, 分别采用单向传递指数和润湿性指标对定向吸液能力进行了定量分析。分析结果表明: 当复合纱布接触层为 25 g/m² 纺粘 PP, 吸收层棉纱布结构 14.58 tex (40^s) 棉纱, 经纬密为 102×71 根/10 cm (26×18 根/inch), 5 层棉纱布时, 复合纱布正反向液体单向传递指数分别达 796.07 (5 级) 和 -633.01 (1 级), 具有最优的定向吸液能力。且反向伤口接触层含水量始终低于 50% 的水平, 显示了复合纱布 (块) 良好的抗反渗效果, 即渗出液始终由接触层向吸收层转移。润湿性测试结果表明, 复合纱布接触层接触角在滴入液体的 10~14 s 发生骤降, 从 112° 下降到 0°, 显示了渗出液体受毛细管力和静水压力, 克服了疏水层阻力, 从伤口接触层渗透到吸收层的过程。

关键词: 医用纱布; 复合织物; 结构; Janus 润湿性; 定向吸液性能; 渗出液管理

中图分类号: TS106.67

文献标识码: B

文章编号: 1001-2044(2018)12-0013-05

DOI: 10.16549/j.cnki.issn.1001-2044.2018.12.004

Structural design and directional fluid transport performance of medical cotton gauze

CHENG Huijing¹, ZHAO Zeyang¹, WANG Jiajun¹, GAO Jing¹, WANG Lu¹, SHEN Boqiang², HU Xiuyuan²

(1. College of Textile, Donghua University, Shanghai 201620, China)

(2. Zhende Medical Co., Ltd., Shaoxing 312035, China)

Abstract: In order to solve the problems of attaching and adhering to perienchyma after absorbing exudate, retained water compressing tissue and impeding cell proliferation and angiogenesis, the layer structure was designed based on Janus wettability. Composite gauze with directional fluid transport performance is prepared by using hydrophobic polypropylene (PP) nonwoven layer in place of the cotton gauze contact layer and using cotton gauze as absorbing layer. The impact of nonwoven layer forming method, structure parameters of gauze piece and composite method of cotton gauze on the directional fluid transport performance of the gauze piece is studied. The directional fluid transport performance is quantitatively analyzed by accumulative one-way transport capacity and the wettability index. The results show that when contact layer is spunbond PP (25 g/m²) and absorbing layer cotton gauze is 14.58 tex (40 s) cotton yarn, 26×18/in (about 102×71/10 cm) thread count and 5 layers thickness, the accumulative one-way transport capacity of composite gauze in the positive direction and reverse direction respectively can reach 796.07 (level 5) and -633.01 (level 1) with best directional absorbency. The water content of the wound contact layer in the reverse direction is always kept below 50% indicating good anti reverse osmosis effect, which means the exudate always transports from contact layer to absorbing layer. The wettability test results show that the contact angle reduces sharply between 10 and 14s from 112° to 0°, which indicates that the exudative water droplet is subjected to capillary force and hydrostatic pressure, overcome the resistance of hydrophobic layer and transportation from wound contact layer to absorbing layer.

Key words: medical gauze; composite fabric; structure; Janus wettability; directional fluid transport performance; exudate management

医用脱脂棉纱布由于吸液能力强、湿态强度高、储存稳定性好, 且主要成分是纤维素, 具有生物相容性好、环保可再生、成本低等特点, 一直是医院及家庭在伤口护理时最常用的护理材料^[1-2]。现有医用纱布主要包括医用脱脂纱布、脱脂纱布块、非织造布纱布块等产品。纱布或纱布块的主要作用是及时吸收渗血和组织液, 清理伤口, 保护受伤表面等, 但在使用过程中存在吸收渗出液后与周边组织接触粘连, 纱布层滞留水分压

迫组织, 妨碍细胞增殖等问题。因此, 研究具有定向吸液性能的医用纱布 (块), 在吸收渗出组织液的同时, 定向引导其向外层转移, 对于伤口表面的自愈、抗炎、创面开口的快速闭合都具有十分重要的意义。

由结构或表面特征导致的定向吸液在自然界中广泛存在, 如 *Stenocara* 甲虫的翅膀表面亲、疏水性凸块随机排列^[3], 蜘蛛丝的亲、疏水性随直径交替变化^[4]。定向吸液现象对医用纱布伤口渗出液管理方面的研究具有启示意义。定向吸液材料可以分为两种: 润湿性梯度和 Janus 润湿性。其中, 润湿性梯度是指沿着材料厚度方向润湿性逐渐变化, 而 Janus 润湿性是指两个具有完全不同润湿性的材料相互连接, 并且每个区域的润湿性是均匀的^[5]。Xuelin Tian 等人^[6] 提出润

收稿日期: 2018-05-14

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金 (2232018G-01)

作者简介: 程慧婧 (1993-), 女, 在读硕士研究生, 主要从事功能性医用纱布方面的研究。

通信作者: 高晶。E-mail: gao2001jing@dhu.edu.cn。

湿性梯度使液体沿着厚度方向的渗透行为具有各向异性,即正向流动的液体可以毫不费力地渗透材料,而反向渗透的液体则需要有外在的压力迫使其完成渗透。Chao Zeng 等人^[7]通过在亲水织物一侧电喷雾疏水涂层,使织物沿厚度方向产生不对称润湿性,因而具有一定的定向导水能力。Jing Wu 等人^[8]制备双层 PU/PVA 电纺丝膜,PU 层疏水相对松散而 PVA 层亲水紧密,通过 Janus 润湿性和毛细管效应实现双层膜的单向导水,并提出了静水压力机制。Hua Zhou 等人^[9]将液滴垂直向上接触水平放置的织物,当疏水面朝下时,液滴可以穿透疏水面向亲水层移动并在亲水层扩散,而当亲水表面朝下时,液滴只沿亲水层扩散而无法穿透织物,证明了织物定向吸液的性能几乎不受水滴重力的影响,而主要是由表面性质驱动。类似地, Moyuan Cao 等人^[10]将液滴垂直向上接触超疏水网和细水柱构成的“泵”,也证明了定向吸液作用不受重力的影响,并在理想液滴假设的基础上,提出了一种基于拉普拉斯压力和静水压力的准静态模型。毛细管力、静水压力和拉普拉斯压力均有助于液体从疏水侧向亲水侧转移。

本文基于 Janus 润湿性理论,对纱布结构层进行设计,以丙纶(PP)非织造材料为伤口接触层、脱脂棉纱布为渗出液吸收层制备了具有定向吸液性能的复合纱布,并详细探究了复合纱布结构变化对其定向吸液性能的影响。

1 试验部分

1.1 试验材料与仪器

棉纱布:a 为线密度 14.58 tex(40°),经纬密 102×71 根/10 cm(26×18 根/inch);b 为线密度 14.58 tex(40°),经纬密 150×142 根/10 cm(38×36 根/inch);c 为线密度 27.77 tex(21°),经纬密 118×102 根/10 cm(30×26 根/inch)(振德医疗用品股份有限公司)。

水刺 PP,面密度 40 g/m²,市购。纺粘 PP,面密度 10、13、15、18、22、25 g/m²,市购。M290 型液态水分管理系统测试仪(锡莱亚太拉斯有限公司上海分公司)。OCA15EC 型接触角测量仪(Dataphysics Instruments Gmbh)。

1[#]~6[#]复合纱布结构设计分别为:1[#]为单层纺粘 PP;2[#]为 8 层 c 棉纱布;3[#]为 8 层 a 棉纱布;4[#]为 4 层 a 棉纱布(接触侧)和 4 层 c 棉纱布(吸收侧);5[#]为纺粘 PP(接触层)和 8 层 c 棉纱布(吸收层);6[#]为水刺 PP

(接触层)和 8 层 c 棉纱布(吸收层)。

1.2 试验方法

基于 Janus 润湿性理论,对复合纱布进行结构设计,以丙纶非织造材料为伤口接触层、脱脂棉纱布为渗出液吸收层,将不同规格的伤口接触层和吸收层通过物理方法叠合在一起,使用液态水分管理系统测试仪和接触角测量仪进行测量表征,探究其正向(从伤口接触层到吸收层)和反向(从吸收层到伤口接触层)的吸液性能。定向吸液复合纱布示意图见图 1。

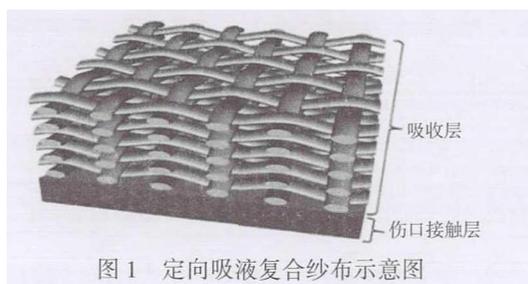


图 1 定向吸液复合纱布示意图

1.3 测试评价

1.3.1 液态水分测试

根据 GB/T 21655.2—2009《纺织品 吸湿速干性的评定 第 2 部分:动态水分传递法》测定复合纱布的液态水分传递性能。对于复合纱布,正向(从伤口接触层到吸收层)单向传递指数越大,越能快速吸收液体;反向(从吸收层到伤口接触层)单向传递指数负值越大,越不容易发生反渗。因此,正反向传递指数差值越大,纱布的定向吸液性能越好。性能指标 1 级~5 级单向传递指数分别为:<-50、-50~100、100~200、200~300、>300。

1.3.2 接触角测试

使用德国 Dataphysics 公司的 OCA15 型视频接触角测量仪进行水接触角测试,每次水量为 5 μL,拍摄水滴与复合纱布接触 0~30 s 的视频并每隔 2 s 截取图像。

2 结果与讨论

2.1 纱布层复合形式对定向吸液性能的影响

纱布层复合形式对定向吸液性能的影响见图 2。可以看出,纺粘 PP(1[#])由于为单层结构,同时具有较高的正向传递指数和反向传递指数,因此,吸收液体后容易反渗。纯棉纱布(2[#]和 3[#])吸收液体后,几乎不具有定向传导作用,而是使液体大量滞留在纱布内,单向传递指数测试值均在 40 左右,正负值差异主要是由于纱布空隙差异产生的正向和反向滞留液体量的不同而引起的。对于 4[#]试样,正向由于伤口接触层纱线细且

纱布稀疏,纱线间空隙大,液体容易穿过空隙,因此正向单向传递指数尚可;但反向传递指数负值较小,存在一定的反渗问题。对于6#试样,在试验中发现,正向大部分液体被阻隔在伤口接触层之外,来自亲水吸收层的棉纱布的毛细管力和静水压力无法克服疏水层阻力扩散到亲水吸收层,虽然单向传递指数差值较好,但是有大量液体无法进入纱布块内。5#纱布正反向单向传递指数分别为224.91(4级)和-157.66(1级),液体能够全部由接触层向吸收层转移,且没有反渗现象,因此,具有定向吸液性能。此结构可以作为后续结构优化的基础进行进一步探讨。

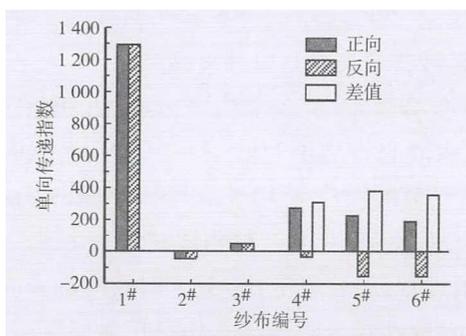


图2 纱布层结构对定向吸液性能的影响

2.2 吸收层结构对定向吸液性能的影响

由纱布层结构对定向吸液性能影响的分析可见,5#纱布结构具有明显的定向吸液性能。因此,在确定接触层为纺粘PP的基础上,进一步探讨吸收层结构对复合纱布(块)定向吸液性能的影响,测试结果见图3。

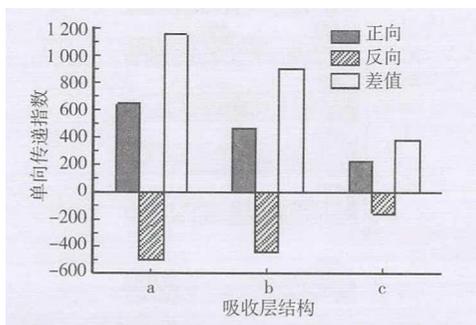


图3 吸收层结构对定向吸液性能的影响

从图3可以看出,采用a、b纱布为吸收层,试样的正反向单向传递指数均达到5级和1级,这是由于a、b棉纱布纱线细,产生的毛细管力更大,Janus润湿效应较c纱布更为明显。其中吸收层为a纱布的定向吸液效果最好,正反向单向传递指数分别为640.76(5级)和-506.40(1级)。

根据吸收层结构分析,选择伤口接触层为纺粘PP,吸收层为a脱脂棉纱布,吸收层厚度对定向吸液性能的影响见图4。

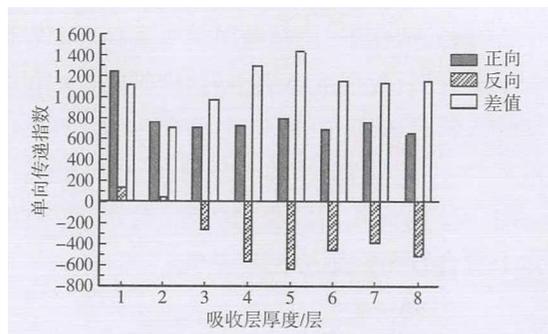


图4 吸收层厚度对定向吸液性能的影响

从图4可以看出,当吸收层厚度为1~2层时,反向渗出液单向传递指数为正值,存在反渗现象;当吸收层厚度从3层增加至5层时,单向传递指数差值逐渐增大;当吸收层厚度大于5层时,单向传递指数差值逐渐降低并趋于平稳。因此,吸收层厚度为5层时,纱布(块)具有最优的定向吸液效果,此时,正向传递指数为796.07(5级),反向传递指数为-633.01(1级),正反向传递指数差值高达1429.08,液体始终朝向吸收层移动,这是提示具有定向吸液性能的重要标志。

2.3 伤口接触层结构对定向吸液性能的影响

根据吸收层结构对定向吸液性能的影响分析,当伤口接触层为纺粘PP,吸收层为5层a脱脂棉纱布时,定向吸液效果最优。进一步讨论接触层结构(面密度)对定向吸液性能的影响,测试结果见图5。

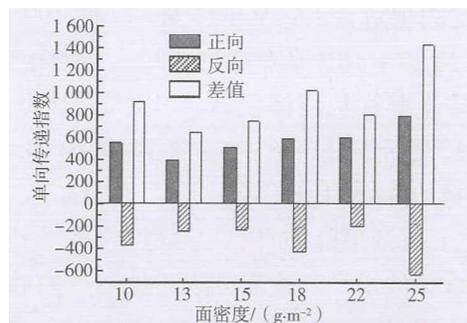


图5 伤口接触层面密度对定向吸液性能的影响

从图5可以看出,接触层面密度同样影响了复合纱布(块)的定向吸液性能。当伤口接触层面密度为25 g/m²时,定向吸液效果最好,且无反渗现象。可见,伤口接触层的面密度影响纱布块单向吸液能力,只有当接触层保持在一定的面密度范围时,纱布(块)才具有定向吸液能力,且伤口接触层面密度越大,厚度越大,疏水层阻力越大,在与吸收层的协同作用下,会获得更好的定向吸液效果。

2.4 复合纱布(块)内部液体管理探究

复合纱布(块)的定向吸液性能要求其能快速吸收液体且不反渗,与之相对应的理想含水率-时间关

系为:正向液体滴下时,接触层含水量趋近于零而吸收层含水量升高;反向液体滴下时,吸收层含水量高而接触层含水量趋近于零,通过含水率-时间曲线可直观显示复合纱布(块)的液体管理情况。

对于结构优化后的复合纱布,含水率-时间曲线显示了复合纱布两侧的相对含水量,见图6。

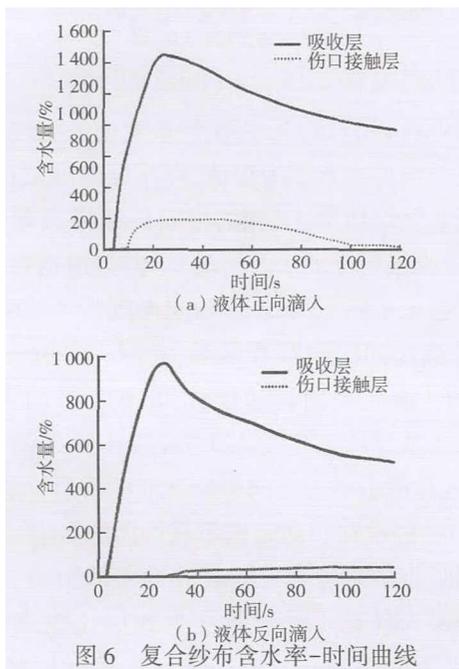


图6 复合纱布含水率-时间曲线

如图6(a)所示,当液体从伤口接触层滴下时,伤口接触层的相对含水量从液体滴入后的10s开始逐渐上升,到20s时含水量达到200%,之后逐渐下降;而吸收层含水量从液体滴入4s开始,快速上升至1229.1%,之后缓慢下降。相对地,如图6(b)所示,当液体从吸收层滴下时,吸收层含水量快速增加到996%,之后逐渐下降;而伤口接触层含水量一直保持在低于50%的水平。这充分表明优化结构后的复合纱布,接触液体后,液体能够迅速从伤口接触层穿透并扩散到吸收层中。

复合纱布水位-时间图见图7。如图7(a)所示,液体滴在伤口接触层时,伤口接触层最大浸润半径为10mm,吸收层最大浸润半径为25mm,液体能够克服吸收层亲水阻隔并扩散到吸收层。如图7(b)所示,当液体滴在吸收层时,吸收层和伤口接触层最大浸润半径分别为25mm和5mm,液体能轻易地扩散到吸收层纱布基质中,但当遇到伤口接触层时,其渗透被阻挡。

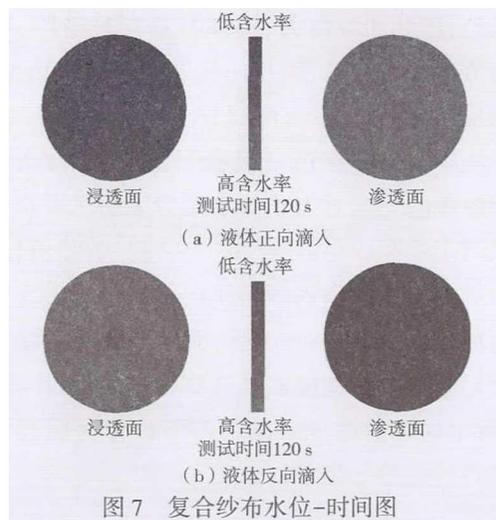


图7 复合纱布水位-时间图

2.5 复合纱布块表面润湿性能探究

对于复合纱布,从疏水伤口接触层一侧滴入水滴(5 μL),水滴自发地通过表层并扩散到亲水吸收层,整个液滴转移时间约为12.5s。图8和图9分别显示了织物上水滴的变化及接触角随时间变化图。复合纱布正向滴入时,接触角在10~14s时发生骤降,从112°下降到0°,显示了水滴从疏水伤口接触层穿透到亲水吸收层的过程。

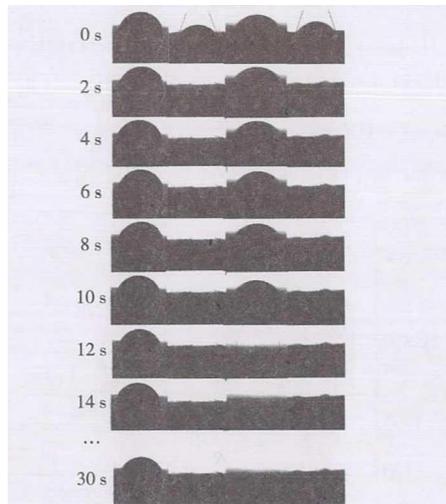


图8 接触角图像

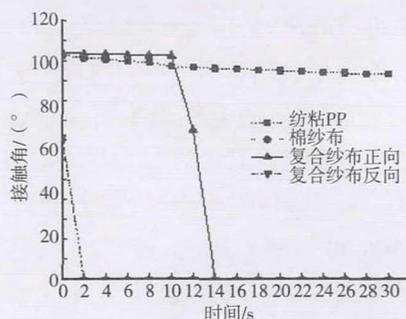


图9 接触角-时间图

2.6 复合纱布 Janus 润湿性讨论

本文所设计的复合纱布的结构构建了从疏水伤口接触层到亲水吸收层的 Janus 润湿性结构,见图 10。图中,CF 为毛细管力,HF 为疏水阻力,HP 为静水压力。

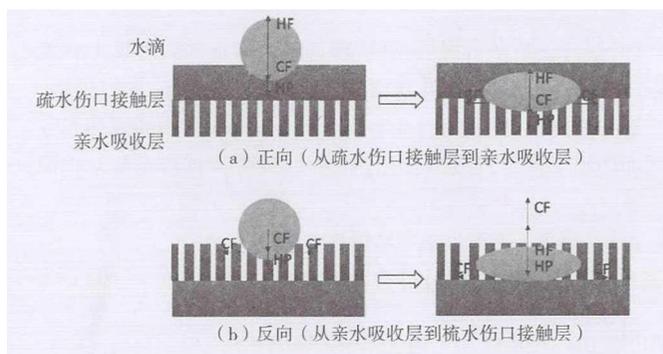


图 10 Janus 润湿性理论示意图

如图 10 所示,当水滴在疏水伤口接触层受到来自亲水吸收层的毛细管力和向外的静水压力时,能够克服疏水层的阻力扩散到亲水吸收层。相反,当水滴在亲水吸收层,受毛细管力和静水压力的作用,可以轻易地扩散到亲水吸收层基质中;但遇到疏水伤口接触层时,由于疏水接触层的疏水阻力和吸收层的反向毛细管力大于向内的静水压力,使水滴无法继续转移到疏水接触层,因此,所设计的复合纱布实现了 Janus 定向润湿不反渗液体的效果。

3 结语

基于 Janus 润湿性理论,本文对传统单一棉纱布(块)结构进行了改进,得到了具有定向吸液性能的复合纱布块。

(1) 经过层间结构、吸收层结构和接触层结构影响定向吸液能力的讨论,复合纱布块的最优复合结构为:伤口接触层为 25 g/m^2 纺粘 PP,吸收层为 5 层 $40^\circ-26 \times 18$ 根/inch 医用脱脂棉纱布。此时,复合纱布块正、反向传递指数分别为 796.07 和 -633.01。

(2) 液体管理研究表明,当液体从伤口接触层滴下时,伤口接触层表面上的相对含水量从 10 s 开始上升,20 s 后达到 200%,此后逐渐下降;吸收层含水量从 4 s 开始快速上升至 1 229.1%,此后缓慢下降。当液体从吸收层滴下时,吸收层含水量快速增加到 996%;

伤口接触层含水量一直低于 50%。这充分说明液体能够迅速从伤口接触层穿透,并扩散到吸收层基质中,且不反渗。

(3) 对复合纱布的润湿性测试显示,复合纱布表面水接触角在 10~14 s 时发生骤降,从 112° 下降到 0° ,这主要是水滴从疏水伤口接触层穿透到亲水吸收层的表现。

(4) 复合纱布定向吸液性能显著,符合 Janus 润湿性理论,为医用纱布的吸液能力改善提供了参考依据。



参考文献:

- [1] KITTINA OVARAT S, HENGPRAPAKRON N, JANVIKUL W. Comparative multifunctional properties of partially carboxymethylated cotton gauze treated by the exhaustion or pad-dry-cure methods[J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 87(1): 16-23.
- [2] ZHU N W, SHI C H, SHANG R, et al. Immobilization of Acidithiobacillus ferrooxidans on cotton gauze for biological oxidation of ferrous ions in a batch bioreactor[J]. Biotechnology and Applied Biochemistry, 2017, 64(5): 727-734.
- [3] PARKER A R, LAWRENCE C R. Water capture by a desert beetle [J]. Nature, 2001, 414(6859): 33-34.
- [4] ZHENG Y, BAI H, HUANG Z, et al. Directional water collection on wetted spider silk[J]. Nature, 2010, 463(7281): 640-643.
- [5] ZHAO Y, WANG H, ZHOU H, et al. Directional fluid transport in thin porous materials and its functional applications [J]. Small, 2016, 13(4): 1601070.
- [6] TIAN X L, LI J, WANG X. Anisotropic liquid penetration arising from a cross-sectional wettability gradient [J]. Soft Matter, 2012, 8(9): 2633-2637.
- [7] ZENG C, WANG H, ZHOU H, et al. Directional water transport fabrics with durable ultra-high one-way transport capacity [J]. Advanced Materials Interfaces, 2016, 3(14): 1600036.
- [8] WU J, WANG N, WANG L, et al. Unidirectional water-penetration composite fibrous film via electrospinning [J]. Soft Matter, 2012, 8(22): 5996-5999.
- [9] ZHOU H, WANG H X, NIU H T, et al. Superphobicity/philicity janus fabrics with switchable, spontaneous, directional transport ability to water and oil fluids [J]. Scientific Reports, 2013, 3(10): 2964.
- [10] CAO M, LI K, DONG Z, et al. Superhydrophobic "pump": Continuous and spontaneous antigravity water delivery [J]. Advanced Functional Materials, 2015, 25(26): 4114-4119.

欢迎征订《纺织检测与标准》

E-mail: fzjcybz@163.com

联系电话: 021-55210011-376