

文章编号:0253-9721(2007)11-0139-05

# 温敏性水凝胶在智能纺织品开发中的应用

刘书芳, 顾振亚

(天津工业大学 纺织学院, 天津 300160)

**摘要** 温敏性水凝胶是一种能够对温度做出响应的智能材料,在药物控制释放、分离膜和组织工程支架等领域获得广泛的研究和应用。将温敏性水凝胶聚合物单体在纺织品上接枝或将聚合物溶液涂层在织物上,可以形成智能纺织品。介绍了几种温敏性水凝胶在智能纺织品开发中的应用实例,如智能透气可呼吸纺织品、药物控制释放纺织品、智能伤口敷料、智能潜水服、智能抗浸服、智能调温运动纺织品等,并阐述了温敏性水凝胶在其它智能纺织品上的应用前景。

**关键词** 温敏性;水凝胶;PNIPAAm;接枝;智能纺织品

中图分类号:TS106 文献标识码:A

## Application of temperature sensitive hydrogels to the development of intelligent fabrics

LIU Shufang, GU Zhenya

(School of Textiles, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300160, China)

**Abstract** Temperature-sensitive hydrogels are intelligent materials, which can response to the temperature and have been widely applied to controlled release of medicine, separation membranes, tissue engineering scaffolds, and so forth. Intelligent fabrics based on temperature-sensitive hydrogels can be made by grafting the copolymerization of the hydrogel polymers onto the surface of fabrics or coating the fabrics by the polymer solution. This paper focuses on some development cases dealing with smart breathable fabric, controlled releasing medicine fabric, smart wound dressing, smart wetsuit, smart anti-soaking suit and smart temperature-adaptable sportswear, etc. Moreover, the prospective applications to other intelligent fabrics are elaborated.

**Key words** temperature-sensitive; hydrogel; PNIPAAm; grafting; intelligent fabric

随着社会的进步和生活水平的提高,人们已不再满足于传统纺织品对人体的遮蔽、保护和美化作用,要求纺织品具有功能性和智能性,因此,智能纺织品应运而生。它基于仿生学概念,模拟生命系统,对环境或环境因素的刺激有感知并能做出响应,同时保留了纺织材料、纺织品的风格和技术性能。称之为“智能”,是因为它具有思考甚至有恢复原始状态的记忆功能,如在湿、热、光、电、机械和化学物质等因素的刺激下,能通过颜色、振动、电性能、能量储藏等变化,对外界刺激做出响应<sup>[1]</sup>。智能纺织品的开发涉及到纺织、电子、化学、生物、医学等多学科知识,成为目前纺织品领域的热点研究课题。

智能纺织品根据其功能可以分为调温纺织品、形状记忆纺织品、变色纺织品、仿生纺织品、电子纺织品、安全防护纺织品等<sup>[2-3]</sup>。调温纺织品是对温度或温度变化有响应的智能纺织品,它超越了传统纺织品的单一保温功能,能够根据环境温度的变化吸收或者释放热量,有智能调温的效果,能使皮肤温度在环境温度剧烈变化的过程中始终处于舒适的温度范围内。智能调温纺织品已经用于服装、鞋类、床上用品、汽车和国防等领域<sup>[4]</sup>。

智能纺织品的发展离不开智能材料。近年来,能够在外界刺激下发生可逆相转变的智能聚合物如智能凝胶引起了研究人员的特殊关注。将智能凝胶

和纺织品结合,为智能纺织品的开发提供了一个新的途径。本文将对温敏性水凝胶在智能纺织品开发中的应用情况做一介绍。

### 1 智能凝胶及温敏性水凝胶简介

凝胶可以定义为在溶剂中溶胀并保持大量溶剂而又不溶解的聚合物。智能高分子凝胶能够感知外部环境的微小变化(如温度、pH 值、光、离子强度、电场和应力等),并通过自身体积的膨胀和收缩来响应外界的刺激。凝胶按高分子网络中的液体不同可分为水凝胶和有机凝胶,其中水凝胶最为常见。目前,智能水凝胶在药物可控释放、组织工程、物质分离、分子回收、开关控制、酶和细胞的固定等领域有广泛的应用。

根据水凝胶所响应的刺激类型,可分为温度敏感性、pH 敏感性、光敏感性、压力敏感性水凝胶等,也有双重响应型水凝胶,如温度/pH 敏感性水凝胶、热/光敏感性水凝胶等。温敏性水凝胶的吸水量在某一温度(即相转变温度)有突发性变化,有低温收缩型和高温收缩型 2 种类型。聚(N,N-二甲基丙烯酰胺-co-丙烯酰胺-co-甲基丙烯酸丁酯)与聚丙烯酸形成的互穿网络结构的水凝胶属低温收缩型,聚(N-异丙基丙烯酰胺)(PNIPAAm)水凝胶则是典型的高温收缩水凝胶,近年来与之相关的研究已有很多<sup>[5]</sup>。PNIPAAm 水凝胶同时具有亲水性和疏水性结构,相转变温度大约为 32 ℃,与人体温度接近,且其溶胀-退溶胀变化显著,已经广泛应用到药物控制释放体系、分离膜和组织工程支架中<sup>[6]</sup>。

但是水凝胶本身力学强度差,尤其在被水溶胀后基本丧失自身支撑能力,而且其响应速度较慢,因而在很大程度上限制了它的应用<sup>[7]</sup>。目前温敏性水凝胶的应用研究主要集中在 PNIPAAm 类型的热缩温敏水凝胶上,并通过共聚或互穿网络等手段来提高凝胶的强度和响应性。如果能把温敏性水凝胶制成凝胶纤维,用接枝共聚或涂层的方法将凝胶引至纺织品表面或者和纺织品复合,不仅弥补了凝胶强度低的缺点,而且由于织物表面积大将极大地降低其响应时间。

### 2 在智能纺织品开发中的应用举例

#### 2.1 智能透气可呼吸纺织品

聚丙烯(PP)非织造布因具有孔结构,透气性

好,表面积大,强力高且价格便宜而被广泛应用,但由于其表面疏水限制了它的发展。文献[8]通过紫外光(UV)引发将 NIPAAm 接枝共聚到氩等离子体活化的 PP 非织造布表面,经等离子体预处理过的 PP 非织造布对 0.3 mL 水滴的芯吸时间极短,几乎为 0,使其亲水性大大增强。图 1 为经冷冻干燥的 PNIPAAm 水凝胶在 PP 非织造布上的 SEM 照片。可以看出,预处理增大了水凝胶和基质之间的键合,增加了接枝率,冷冻干燥后非织造布表面可获得具有孔结构的水凝胶,赋予接枝 PP 非织造布良好的透气性。而且接枝在 PP 非织造布表面的水凝胶仍保留纯 PNIPAAm 水凝胶固有的温度响应性,相转变温度在 32 ℃,因此用 PNIPAAm 接枝后的 PP 非织造布可用于具有温度敏感性的智能透气纺织品。

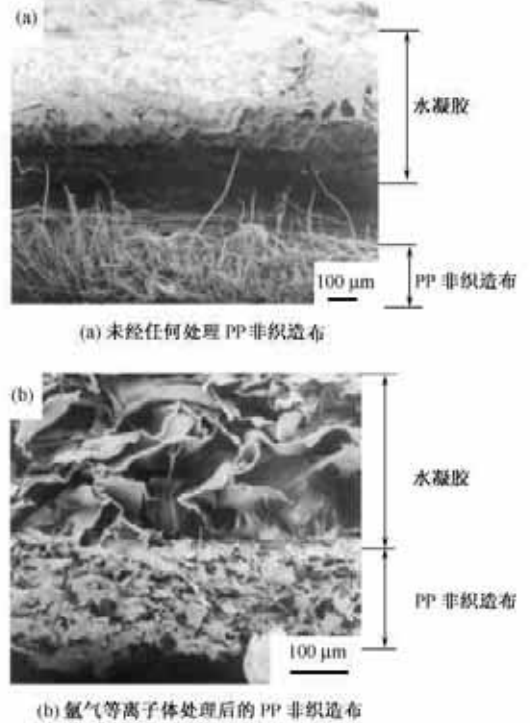


图 1 经冷冻干燥的 PNIPAAm 水凝胶在 PP 非织造布上的 SEM 照片

Fig.1 SEM images of freeze-dried PNIPAAm hydrogel onto PP nonwoven (a) and Ar plasma-treated PP nonwoven (b)

除了 PNIPAAm 水凝胶有温敏性外,还有一些其它丙烯酸酯衍生物也有温度敏感性。Save 等人对 N-叔丁基丙烯酰胺 (NTBA) 和丙烯酰胺 (Am) 无规共聚物的合成、性质及应用进行了系统的研究<sup>[9-13]</sup>。NTBA 和 Am 的温度敏感无规线性和无规交联共聚物可用溶液聚合的方法合成,共聚物结构中引入的亲水性单体 Am 比例越高,相转变温度也越高<sup>[9]</sup>。

Save 等人将 NTBA 与 Am 进料比为 40:60 的线性共聚物(红外光谱测得的共聚物中 NTBA 实际摩尔分数为 27%)水溶液,以 1,2,3,4-丁烷四羧酸(BTCA)为交联剂,次磷酸钠为催化剂,在 150~160 °C 交联形成力学性能很强的不溶性薄膜。薄膜的相转变温度为 22~25.8 °C,而交联前线性共聚物的 LCST(低临界溶解温度)为 37.8 °C。由于薄膜有很高的比表面积,相对于同一组成的 2 mm 厚的水凝胶样品,薄膜的溶胀度从 490% 显著增大到 2980%,响应时间从 120 min 急剧减少为 5 min<sup>[10]</sup>。后将上述线性共聚物涂层到棉织物上,仍保留着温度敏感性,相转变温度为 15~40 °C。涂层织物的溶胀能在 20 min 内完成,退溶胀仅用 2~3 min。当相对湿度为 20%,以未涂层织物为基准时,此共聚物涂层织物的水蒸气透过率(WVTR)15 °C 时为 58%,45 °C 为 94%,而聚丙烯酰胺(聚丙烯酰胺水凝胶无温敏性)涂层织物的 WVTR 在 15 °C 时为 70%,45 °C 为 96%。可见共聚物涂层织物的 WVTR 对环境温度变化表现出了明显的响应性,可用于制造智能型透气可呼吸织物<sup>[11]</sup>。这种线性聚合物纺制的纤维有显著的温度敏感性,纤维直径和长度的变化高度可逆,而且溶胀时间 < 20 s,退溶胀时间 < 2 s<sup>[13]</sup>,若用于织物必将获得优异的透气性。

## 2.2 药物控制释放纺织品

温敏性水凝胶已经在药物释放领域得到深入的研究<sup>[14]</sup>,如果制成药物控制释放医用纺织品,将对伤口的愈合起到特定条件的给药和保护作用。温度低时,织物表面水凝胶溶胀同时把药物包含在内部;温度高于某一温度(相转变温度)时,水凝胶收缩并释放出药物。

文献<sup>[15]</sup>将 PNIPAAm 通过 UV 引发接枝到等离子处理过的 PP 非织造布上获得对温度响应的药物释放性能,考察了交联剂用量对接枝率、溶胀-退溶胀动力学及药物释放性能的影响。研究表明,分子量大的药物如万古霉素(MW=1485.7)的释放速率比分子量小的药物如咖啡因(MW=194)低,交联剂用量越大,对咖啡因的释放速率越大,而对万古霉素的释放速率却越小。这种现象可解释为万古霉素分子体积大,不易从凝胶中扩散出去,而且交联剂用量大时凝胶的孔结构小,也使万古霉素难以释放。

## 2.3 智能伤口敷料

将水凝胶用于伤口敷料,一方面可以吸收伤口排泄物,还可将药物包埋在水凝胶中持续缓慢释放,起到杀菌和治疗作用,此外这种伤口敷料保护层不

与伤口粘合,使伤口完整,愈合速度快<sup>[16]</sup>。水凝胶伤口敷料必将取代纱布敷料。发达国家的凝胶敷料已经商品化,我国也有相关的专利,如中空醋酸纤维抗菌型水凝胶敷料<sup>[17]</sup>和含药物、壳聚糖的聚乙烯醇水凝胶敷料<sup>[18]</sup>。

温敏性水凝胶用于伤口敷料将使其具有智能性,文献<sup>[19]</sup>将具有抗菌功能的可生物降解的壳聚糖(CS)固定到 PNIPAAm/PP 非织造布复合物表面开发伤口敷料,壳聚糖通过戊二醛交联反应成功地固定在 PNIPAAm/PP 非织造布复合物表面,形成 3 层结构的复合物,此复合物经 -80 °C 冷冻干燥后的 SEM 照片见图 3。在这种 3 层结构的复合物中,壳聚糖具有贯通的、大孔隙率的孔洞结构的海绵状外观,如果做成伤口敷料,将有利于细胞的增殖和伤口的愈合。

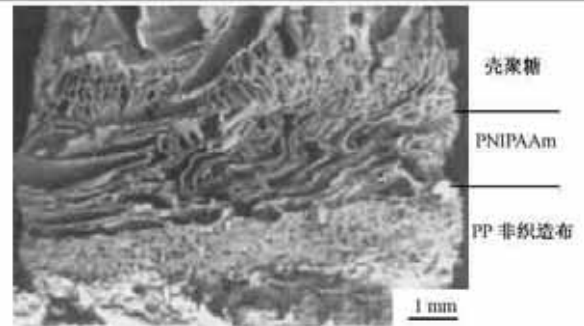


图 2 在 -80 °C 冷冻干燥的 3 层结构复合物的 SEM 照片(×50)

Fig. 2 SEM image of tri-layer wound dressing structure by freeze dried at -80 °C(×50)

采用该复合物开发了易撕去的 3 层伤口敷料,其外层是透气的 PP 非织造布,中间层是 PNIPAAm,和皮肤伤口最接近的一层是可生物降解的有孔洞结构的壳聚糖。壳聚糖具有生物降解性,最终会降解,而中间层不会粘结在皮肤组织上。当要去掉敷料时,仅需使 PP 非织造布基质的温度降低到 PNIPAAm 水凝胶的相转变温度以下,使 PNIPAAm 水凝胶溶胀从而可以很容易地从伤口表面撕去,而不损伤新的再生皮肤组织。相反,当温度高于相转变温度,PNIPAAm 水凝胶退溶胀,较难从伤口表面去掉。抗菌性试验结果表明,壳聚糖水凝胶对大肠杆菌和金黄色葡萄糖球菌具有抗菌能力,抑菌率分别为 85% 和 91%,因此这种 3 层的伤口敷料将有很大的应用潜力。

## 2.4 智能调温潜水服

Midé 技术公司开发了一种新型的智能潜水服

SmartSkin<sup>TM</sup>, 其外层是闭孔氯丁橡胶泡沫材料, 中间夹层是温敏性水凝胶与开孔的聚氨酯泡沫材料的复合物<sup>[20]</sup>。由于凝胶的响应比环境温度的变化快, 这种潜水服成为一种温度驱动的水流控制系统, 能使衣服的内部环境温度保持在凝胶的相转变温度附近。当潜水员活动量大, 体表温度较高时, 水凝胶收缩, 允许通过潜水服的水流增大, 由此使潜水员凉爽, 但是当体表温度降到水凝胶的相转变温度以下时, 水凝胶溶胀以减小水流, 减缓热损失的速度及体表温度的降低。相对于常规的潜水服, SmartSkin<sup>TM</sup> 能够在更宽的潜水条件下通过皮肤温度的有效调节使潜水员免受严寒的危害。试验证明, SmartSkin<sup>TM</sup> 和常规潜水服在温水中能给身体几乎相同的热保护, 然而在冷水中 SmartSkin<sup>TM</sup> 能够比常规潜水服减少 70% 的身体热损失<sup>[21]</sup>。

## 2.5 智能调温运动纺织品

SmartSkin<sup>TM</sup> 还被用于开发新型的运动产品, 如 Bio Skin 系列产品都是以 SmartSkin<sup>TM</sup> 膜材料作为中间层, 成功开发了护腕、护肘、护膝和足垫等运动保护产品。其中的 Ultima 2sL<sup>TM</sup> 产品, 外层是 Velcro hook 织物, 中间层是 SmartSkin<sup>TM</sup> 膜材料, 内层是快速芯吸微绒织物。当人体温度升高并开始出汗时, 内层织物把汗液迅速芯吸传导到 SmartSkin<sup>TM</sup> 膜, 膜吸收汗液后轻微溶胀, 在液体静压的推动下汗气透过膜传送到织物外层得以释放。这是一个匀速过程, 汗液越多, 体温越高, 湿气运动越快, 而且外层汗液的蒸发能迅速降温并减少汗液的聚集。当人体温度降低, 膜回复原状, 关闭导湿性能。用这种产品制成的运动纺织品能导湿, 调节体温, 且穿着更舒适。

## 2.6 智能抗浸服

防寒抗浸服是飞行人员和海上作业人员必备的一种个体防护装备, 它能够防止穿着者落水后体内热量在短时间内大量散失, 维持人体进行正常活动所需的体温, 从而延长生存时间, 增加获救生还的机会。理想的抗浸服是一种工作服, 在正常的服用环境下, 吸湿透气, 舒适自然; 穿着者一旦落水, 抗浸服能够对环境的变化做出响应, 将织物中透气导湿的通道迅速封闭, 阻止水渗入服装内部, 具备智能性。将智能凝胶引入纺织品中, 利用凝胶吸水溶胀的特性, 堵塞织物孔隙, 阻止海水向衣服内层渗透, 如果响应速度足够快, 就能够起到抗浸防寒的效果。已有一些研究机构根据此思路开发出产品, 如 Daedalus 采用含有丙烯酸系聚合物的纤维<sup>[22]</sup>设计开发了一种海上工作人员穿戴的制服。天津工业大学也对智能型抗

浸服进行了系统研究, 初步取得了一些进展<sup>[23-25]</sup>。目前已经合成出相转变温度在 20℃ 左右的温敏性水凝胶, 拟通过一定方法将其和织物结合, 使其在能感知低温的海水后溶胀, 起到抗浸的作用。

## 3 在其它智能纺织品上的应用展望

以纤维素为基质的高吸水材料一直是人们研究与开发的活跃领域。纤维素高吸水材料对水的保留值可达到 200% ~ 7 000%<sup>[26]</sup>, Kuwabara 等人通过 UV 引发将 NIPAAm 接枝到经丙烯酸(AA)接枝处理的纤维状的纤维素和羧甲基纤维素上, 得到具有温度敏感性的纤维素制品<sup>[27]</sup>。如果开发成对温度敏感的高吸水性智能纺织材料, 可用于医用纺织品、农业用吸水保水纺织品等领域。

文献[28]将 NIPAAm 接枝到棉非织造布上制备了 2 种形态及行为显著不同的水凝胶-纤维素复合物, 水凝胶覆盖型纤维素(I)和纤维素增强水凝胶复合物(II), 前者可用于制造能通过水凝胶溶胀控制的纤维素膜, 后者可用于制造纤维素增强水凝胶。这 2 种复合物将在许多方面有潜在应用, 如伤口敷料、渗析膜、药物释放载体等。

$\beta$ -环糊精( $\beta$ -CD)具有外亲水内疏水的筒式结构, 可以选择性的包络客体分子形成稳定的包络物。如果一种物质中有  $\beta$ -CD 这样的分子包含组分和温度敏感性组分如 PNIPAAm, 那么这种物质不但能获得包含有机物的功能, 而且也可对温度有响应。文献[29]合成了 1 种新型的 PNIPAAm 与顺丁烯二酸酐- $\beta$ -CD 的共聚物, 它有温度/pH 双重敏感性和包含分子功能, 有可能用于织物染色、有机废水处理等方面。如将此共聚物接枝到织物表面, 织物将获得环境敏感性, 且包含于  $\beta$ -CD 内部的香气分子或药物等能以可控的方式释放, 可用于织物的芳香整理、抗菌整理、除臭整理等。

最近, 1 项美国专利介绍了 1 种壳聚糖交联的 PNIPAAm/PU 水凝胶接枝纤维素纺织品<sup>[30]</sup>。PNIPAAm 水凝胶中吸附的营养物质, 能在体温附近释放。PU 可以在高温时抑制 PNIPAAm 的脱水收缩, 而壳聚糖则起到改善手感、抗菌以及增加对皮肤亲和性的作用。这种纺织品能开发成美容面膜类产品, 且经多次清洗后能反复使用。

## 4 结束语

智能纺织品的开发不仅代表了纺织工业的科技

进步,也给人们的生活带来了便利。智能水凝胶材料的发展给智能纺织品的开发提供了新思路。基于温度敏感性水凝胶的智能纺织材料,能够感知外界温度的变化并做出响应,已在纺织服装及产业用纺织品方面有了一定的开发应用,并且有着广阔的发展应用前景,但目前的开发大多还处于试验阶段,而且应用范围还比较窄,尚需进一步研究。 FZXB

### 参考文献:

- [ 1 ] 顾振亚,陈莉.智能纺织品设计与应用[M].北京:化学工业出版社,2006:1-5.
- [ 2 ] 周晓东,朱平,张建波,等.智能纺织品的特性与应用[J].印染助剂,2006,23(12):4-8.
- [ 3 ] 邵强,齐鲁.智能纤维及其纺织品的开发状况与展望[J].高科技纤维与应用,2007,32(1):32-37.
- [ 4 ] 张兴祥.热调温纤维及纺织品简介[J].纺织信息周刊,2005,22:14.
- [ 5 ] 陈莉.智能高分子材料[M].北京:化学工业出版社,2005:43-64.
- [ 6 ] Liu Baohua, Hu Jinlian. The Application of temperature-sensitive hydrogels to textiles: a review of chinese and japanese investigations[J]. Fibres & Textiles in Eastern Europe, 2005, 13 (6):45-49.
- [ 7 ] 李斌,陈文广,王晓工,等.聚丙烯表面接枝 PNIPAAm 膜光接枝反应和表面形态结构的研究[J].高分子学报,2002(6):780-784.
- [ 8 ] Chen K-shao, Tsai Jui-che, Chou Chih-wei, et al. Effects of additives on the photo-induced grafting polymerization of N-isopropylacrylamide gel onto PET film and PP nonwoven fabric surface[J]. Materials Science & Engineering C, 2002, 20:203-208.
- [ 9 ] Save Ninad S, Jassal Manjeet, Agrawal Ashwini K. Stimuli sensitive copolymer poly ( N-tert-butylacrylamide-ran-acrylamide ): synthesis and characterization[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2005, 95:672-680.
- [ 10 ] Save Ninad S, Jassal Manjeet, Agrawal Ashwini K. Smart stimuli sensitive copolymer poly ( N-tert-butylacrylamide-ran-acrylamide ): processing into thin films and their transitional behaviour[J]. Polymer, 2003, 44:7979-7988.
- [ 11 ] Save Ninad S, Agrawal Ashwini K. Smart breathable fabric[J]. Journal of Industrial Textiles, 2005, 34(3):139-155.
- [ 12 ] Jassal Manjeet, Save Ninad S. Thermoresponsive smart textile[J]. Indian Journal of Fiber & Textile Research, 2006, 31(3):52-65.
- [ 13 ] Agrawal Agrawal K, Jassal Manjeet, Vishnoi Amrsh, et al. Temperature responsive fibers with anisotropic transitional behavior[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2005, 95(3):681-688.
- [ 14 ] Qiu Yong, Park Kinam. Environment-sensitive hydrogels for drug delivery[J]. Advanced Drug Delivery Reviews, 2001, 53:321-339.
- [ 15 ] Chen K-shao, Chou Chih-wei, Wu Shi-chih. Thermosensitive drug delivery properties of polypropylene nonwoven/poly( N-isopropylacrylamide ) gel composites [ EB/OL ]. <http://ace136.auto.fcu.edu.tw/~cslin/confer/2002/paper/e14.pdf.htm>, 2002-08-16.
- [ 16 ] Cornelius Victoria J, Mijcen Natasa, Snowden Martin J, et al. Preparation of smart wound dressings based on colloidal microgels and textile fibres [ EB/OL ]. <http://adsabs.harvard.edu/abs/2007SPIE.6413E..22C.htm>, 2006-10-22.
- [ 17 ] 褚省吾.一种中空醋酸纤维抗菌型水凝胶敷料及其制备:中国专利, CN1579559[P]. 2005-11-14.
- [ 18 ] 景遐斌,于海军,陈学思,等.含药物壳聚糖的聚乙烯醇水凝胶敷料及其制备方法:中国专利, CN1706503[P]. 2005-02-16.
- [ 19 ] Chen K-shao, Ku Yuan-an, Lee Chi-Han, et al. Immobilization of chitosan gel with cross-linking reagent on PNIPAAm gel/PP nonwoven composites surface [ J ]. Materials Science and Engineering C, Biomimetic and Supramolecular Systems, 2005, 25(4):472-478.
- [ 20 ] Adrian Cho. A swell idea for a warmer wetsuit[ EB/OL ]. [http://www.comdig.org/print\\_article.php?id\\_article=18059.htm](http://www.comdig.org/print_article.php?id_article=18059.htm), 2004-09-17.
- [ 21 ] Serra, Macro. Adaptable skin - hydrogel gives wetsuit protection[ J ]. Smart Materials Bulletin, 2002(8):7-8.
- [ 22 ] 贺昌城,顾振亚,毛妙珍.抗浸服及抗浸层面料概述[ J ]. 针织工业, 2002(3):92-95.
- [ 23 ] He Changcheng, Gu Zhenya. Studies on acrylic acid-grafted PET fabrics by electron beam preirradiation method I [ J ]. Journal of Applied Polymer Science, 2003 ( 89 ): 3931 - 3938.
- [ 24 ] He Changcheng, Gu Zhenya, Tian Junying. Studies on acrylic acid-grafted PET fabrics by electron beam preirradiation method II [ J ]. Journal of Applied Polymer Science, 2003(89):3931-3938.
- [ 25 ] 牛家嵘,顾振亚.涤/棉抗浸透湿面料的研究[ J ]. 天津工业大学学报, 2005, 24(2):54-57,60.
- [ 26 ] 宋贤良,温其标,郭桦.以纤维素为基础的功能材料[ J ]. 高分子通报, 2002(4):47-52,60.
- [ 27 ] Kuwabara Shin, Kubota Hitoshi. Water-absorbing characteristics of acrylic acid-grafted carboxymethyl cellulose synthesized by photografting[ J ]. Journal of Applied Polymer Science, 1996, 60:1965-1970.
- [ 28 ] Xie Jiangbin, Hsieh Your Lo. Thermosensitive poly ( N-isopropylacrylamide ) hydrogels bonded on cellulose supports[ J ]. Journal of Applied Polymer Science, 2003, 89:999-1006.
- [ 29 ] Liu Yuyang, Fan Xiaodong. Synthesis and characterization of pH and temperature-sensitive hydrogel of N-isopropylacrylamide/cyclodextrin based copolymer [ J ]. Polymer, 2002, 18(43):4997-5003.
- [ 30 ] Hu Jinlian, Liu Wenguang, Liu Baohua. Fabric-supported chitosan modified temperature responsive PNIPAAm/PU hydrogel and the use thereof in preparation of facial mask: US Patent, US20060286152 [ P ]. <http://www.freepatentsonline.com/20060286152.html>, 2006-12-21.