文章编号：1007 - 4252(2020) 02 - 0002 - 094

紫外光液相接枝技术在纤维基材料领域的应用进展

衣芳萱　贾丽霞*
(新疆大学纺织与服装学院，新疆 乌鲁木齐 830049)

摘要：为全面掌握紫外光液相接枝技术在纺织材料领域的运用，本文综述了其在在亲水、阻燃、抗菌、染色、耐磨改性方法的应用。对材料的亲水改性已经广泛应用于纺织、医学、过滤等技术领域。在纺织材料的阻燃改性方面，改性后的纺织品在力学性能上有所降低、美观性也受到影响。当材料进行抗菌改性后，有助于力学性能的保持，但认为材料还需提高在抗菌种类方面的广泛性。最后对紫外光液相接枝技术进行了总结。

关键词：紫外光接枝；亲水改性；阻燃改性；抗菌改性；研究现状
中图分类号： TS 195.6　　**文献标志码：** A

Application progress of UV-liquid phase grafting technology in the field of textile materials

YI Fangxuan，JIA Lixia
(College of Textile & Clothing，Xinjiang University，Wulumuqi 830049，China)

Abstract: In order to fully grasp the application of UV liquid phase grafting technology in the field of textile materials，this paper reviews its application in hydrophilic，flame retardant，antibacterial，dyeing and wear-resistant modification methods. Hydrophilic modification of materials has been widely used in textile，medical，filtration and other technical fields. In terms of flame retardant modification of textile materials，the modified textiles have a reduced mechanical properties and aesthetics. When the material is antibacterially modified，it contributes to the maintenance of mechanical properties，but it is considered that the material needs to be improved in the broad range of antibacterial species. Finally，the UV liquid phase grafting technology was summarized.

Key Words: UV grafting; hydrophilic modification; flame retardant modification; antibacterial modification; research status

0　引言

因紫外光接枝技术成为材料改性的热点之一，而该方法又可根据与材料相接触的聚合体系的物理状态，可将紫外光接枝技术分为气相接枝、液相接

收稿日期： 2020-03-16；　　**修订日期：** 2020-04-15
作者简介：衣芳萱(1996-)，女，硕士研究生(E-mail：2587919743@ qq.com) 。
通信作者：贾丽霞(1964-)，女，博士，教授，主要研究方向为清洁染色与功能纺织品(E-mail：lixiajia868@ 126.com) 。

枝，其中液相接枝是把待接枝的材料浸渍在含有单体的溶液中，在紫外光的照射下发生接枝聚合反应。该方法因仪器简便、反应速度快等优点，在实际操作过程中经常被技术人员选用[1]。本文对液相接枝方法在纺织材料领域的研究现状进行了叙述，力图全面展现紫外光液相接枝技术的研究现状和最新进展，以期能够使得紫外光液相接枝技术能够被更多的技术人员应用到实际操作中。

1　亲水改性

1.1　基于天然材料的亲水改性

Hassan 等人[2]将预处理后的黄麻纱线置于 UV 辐射下，使其接枝上两种类型的单体，3-(三甲氧基甲硅烷基)-丙基甲基丙烯酸酯和丙烯酰胺(AA)，改性后的黄麻纱在拉伸性能方面具有显著的提升、负载方面虽有提高，但效果不是很理想、具有较强的耐候性及耐久性。需要注意碱对黄麻纱线进行预处理的时间，时间过长会使纱线表面变得更加粗糙、非晶态区形成过多，进而影响纱线的力学性能。

张素凌等人[3]将低相对分子量聚丙烯酸(PAA)接枝到纳米纤维素晶须(CNW)上，制备出聚电解质刷型纳米纤维素晶须，由于 CNW 的表面富有羟基，使得产物在热稳定性能、分散性能方面得到了提高，但在 CNW 接枝了聚丙烯酸后，其结晶度有所下降，因为非晶态的聚丙烯酸接枝组分对 CNW 固有结晶度的稀释作用[4]。

壳聚糖被认为是一种很有前途的生物材料。Yao 等人[5]为了改善壳聚糖的亲水性和加速愈合过程，以 UV 为实验条件，将聚丙烯酸(PAA)与甲基丙烯酸 2-羟基乙酯(2-HEMA)单体接枝到壳聚糖上，制备了壳聚糖基水凝胶，该材料具有较高的亲水性、具有良好的敷料性能、比其他敷料具有更好的创面愈合率，生物特性研究表明，壳聚糖基水凝胶具有良好的抗凝血和抗血栓作用。

1.2　基于化学合成材料的亲水改性

虽然聚丙烯(PP)具有优异的性能，但由于吸附位点的缺乏和较强的吸附性能，限制了聚合物的应用[6]。Liu 等人[7]采用紫外(UV)辐射接枝聚合法，在 PP 织物表面引入丙烯酸酯(SA)和丙烯酸丁酯(AA)作为功能单体，制备了新型功能性 PP 吸附织物，改性后的织物能有效地去除不同极性的有机物，可作为一种新型吸附材料，用于从水溶液中去除有害物质的吸附材料。

Song 等人[8]通过共价接枝的方式将 2-丙烯酰胺-2-甲基丙烷磺酸单体在 UV 条件下接枝到聚丙烯无纺布(NWF PP)的表面上，最终获得的改性材料水接触角明显减小，改善了亲水性能，并且改性后的材料表面具有良好的血液相容性，扩大了其在生物医学领域的应用范围。

Yin 等人[9]在 UV 照射下将甲氧基聚二醇(mPEGA)等接枝到环状缩醛基生物材料材料的表面上，提高了材料的亲水性和润湿性能，由于该材料还具有较高的降解率，故在外科手术中有很大的应用潜力，但是当超出最佳接枝条件后，材料的力学性能和热稳定性能均有降低。

姜彦等人[10]将预辐照处理后的聚丙烯(PP)/三元乙丙橡胶(EPDM)共混板材经过接枝溶液处理，再次置于 UV 下进行辐照接枝反应，接枝后的接触角明显减小，说明材料的亲水性有所提高，但通过扫描电镜(SEM)发现纯 PP 共混板的表面较为光滑，改性接枝后的 PP 共混板的表面出现了数量较多且分布较均匀的浅色斑点以及龟裂现象，对材料的美观性、力学性能造成了一定的影响，如图 1 所示。

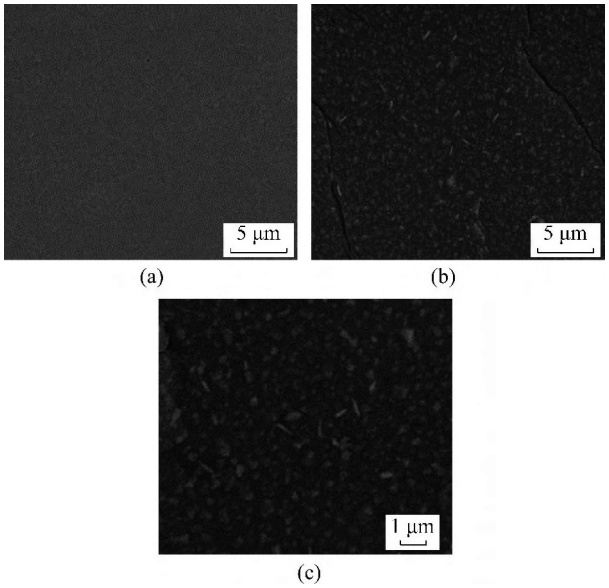
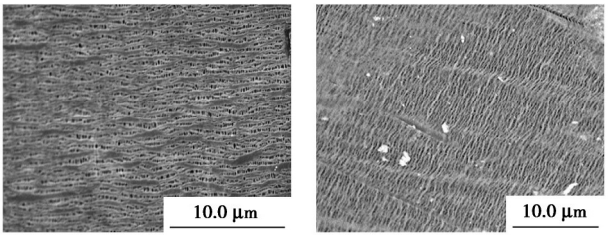


图 1　改性前后共混板材的 SEM 照片

(a) 未改性 PP/EPDM 板材，×5000 (b) 改性的 PP/EPDM 板材，×5000 (c) 改性的 PP/EPDM 板材，×10000[10]

Fig.1 SEM micrograph softheunmodified blacksheet and grained blacksheet

金戈等人[11]在 UV 辐照的条件下，将苯甲乙烯磺酸钠接枝到聚丙烯中空纤维膜表面，水接触角变小，改善了由于化学结构中存在大量的弱极性碳碳共价键和碳氢共价键而造成强烈的疏水性，通过 SEM 发现改性处理后的膜表面粗糙不平且有颗粒状物质析出，如图 2 所示。



(a) PP 原膜 (b) 接枝后膜

图 2 PP 原膜和接枝率为 3.5%的中空纤维膜的扫描电镜照片[11]

Fig. 2 Scanning electron micrograph of PP original film and hollow fiber membrane with graft ratio of 3.5%

为了制备可用于氢气泄露检测的氢气传感器膜，Ishihara 等人[12]在 UV 下获得了经羟乙基丙烯酰胺(HEAAm)改性的聚二甲基硅氧烷(PDMS)膜，通过溶胶-凝胶法使得 PDMS 膜表面沉积了 PT/WO_3，这种改性方法为膜表面提供了耐酸、耐热以及亲水的性能，最终达到对氢气有明显的色度响应。由于这种改性膜具有良好的耐弯曲性能，可以应用于管道、储罐或其他氢气运输方面，在未来的氢气的应用发展中起着重要作用。

Rahman 等人[13]采用 UV 照射对工业纳滤聚醚砜(NFPES)膜进行改性，最终获得的工业纳滤改性膜较商品膜(FO)具有更高的水通量和相对的反盐扩散值，但是通过 SEM 可以发现在 NFPES 膜表面接枝丙烯酸(AA)的过程中，减少了孔隙尺寸，形成了不均匀的孔径分布，如图 3 所示。并且当接枝单体浓度大到一定程度之后，会导致水通量降低，这可能是由于物理作用与缩孔作用之间的“平衡”所致[14-15]。

Ahmadi 等人[16]将合成的甲基丙烯酸缩水甘油酯-键合 β-环糊精(GMA-β-CD)在 UV 下接枝到聚醚砜(PES)膜上，最终制备的甲基丙烯酸缩水甘油酯-β-环糊精接枝聚醚砜膜(GMA-β-CD-PESm)具有较好的亲水性和吸附效率，随接枝率的增加 PES 膜接枝上的 GMA-β-CD 薄层的厚度逐渐

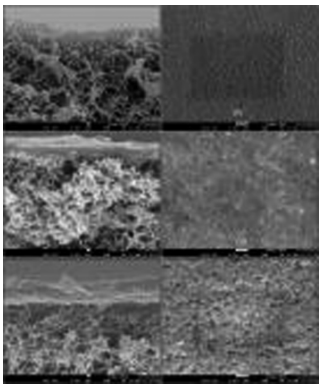


图 3 (a)未改性膜，(c) 30FO-5 和(e) 50FO-5 的横截面的 FESEM 图像和(b)未改性膜的俯视图，(d) 30FO-5 和(f) 50FO-5[13]

Fig.3 FESEM images for cross-section of (a) unmodified membrane, (c) 30FO-5, and (e) 50FO-5 and top view of (b) unmodified membrane, (d) 30FO-5, and (f) 50FO-5.

变厚，并且光接枝过程不仅发生在膜表面，而且部分覆盖了腔面。

Zheng 等人[17]通过 UV 引发的乙烯基磺酸钠接枝聚合，在聚醚砜(PEEK)表面引入了磺酸盐基团，最终获得的材料表面亲水性有所提高，并且表面磺化后 MC3T3-E1 成骨细胞的初始粘附、扩散、增殖和成骨分化能力明显增强，说明表面磺化的 PEEK 在骨科和牙种植体中有很大的应用前景。

Cao 等人[18]先用高能真空紫外(VUV)辐照预处理硅酮膜(SF)表面后，再用 UV 辐照法将交联型和梳状磺酸盐两性离子层共价接枝到 SF 表面，最终改性后的有机硅表面具有良好的亲水性，较好地降低了细菌对原始有机硅表面的粘附性能，改性硅橡胶薄膜在硅橡胶种植体和医用敷料中的广泛应用提供了潜力。

Ngo 等人[19]采用紫外光诱导接枝聚合的方法，将聚乙二醇(PEG)接枝到商品聚酰胺薄膜(TFC-PA)膜上进行了表面接枝研究，与未改性膜相比，改性的膜材料在亲水性能方面得到了增加、具有较高的维持通量比和较低的不可逆污染因子。

Huang 等人[20]为提高疏水性丙烯酸酯人工晶状体(IOLs)的表面生物相容性，用 UV 辐射引发的甲基丙烯酰氧乙基磷胆碱(MPC)接枝聚合到 IOLs 的表面，接枝后的 IOLs 表面亲水性增强、能抵抗巨噬细胞的附着。

2　阻燃改性

目前，对于紫外光技术的阻燃改性，各个学科在此技术上的讨论还不是很普遍，大部分的学者都在研究其在纺织领域上的应用。而在纺织领域中，对化学合成纤维以及天然纤维织物都是阻燃改性的重点讨论对象。

2.1　基于化学合成材料的阻燃改性

Ren 等人[21]首先在在 UV 条件下将 PAN 织物表面接枝甲基丙烯酸缩水甘油酯(GMA)，然后用水合肼和磷酸对该织物进行化学改性，最终的改性织物(FR-PAN)具有良好的阻燃性能，通过 SEM 显示(如图 4)，燃烧后的改性织物表面变得粗糙、呈现出密集的树皮状结构，说明含磷酸的物质在加热过程中催化生成致密的焦渣可作为一种保护屏障，同时，在实验过程中应防止织物表面受到强烈的辐射，否则会导致织物变黄、变脆、力学性能下降。

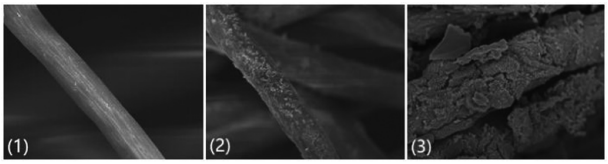


图 4　不同织物的 SEM 照片(1) PAN;(2) FR-PAN;(3) 燃烧后的 FR-PAN[21]

Fig.4 SEM pictures of different fabrics. (1) PAN; (2) FR-PAN; (3) burned FR-PAN.

Liu 等人[22]在 UV 作用下使得尼龙 66 表面与丙烯酰胺(AM)与 N,N′-亚甲基双丙烯酰胺(MBAAm)共混的阻燃剂反应制得阻燃织物，改性织物具有优异的阻燃性能，但当接枝的单体浓度过高时织物的阻燃性能和拉伸性能会反向减弱，如图 5 所示。

Ren 等人[23]将甲基丙烯酸缩水甘油酯(GMA)接枝到聚丙烯腈织物(PAN-g-GM)表面，成功地制备了一种新型阻燃聚丙烯腈(PAN)织物，该织物具有良好的结焦能力、具有良好的耐洗性和阻燃性。

Kundu 等人[24]在 UV 下，将合成的磷酸化壳聚糖(PCS)接枝到聚酰胺 6.6(PA6.6)织物表面。随后，用(3-氨基丙基)三乙氧基硅烷(APTES)对接枝改性的 PA6.6 织物进行溶胶-凝胶改性，最终获得的改性织物可以阻止熔体滴入，以达到阻燃的效果。

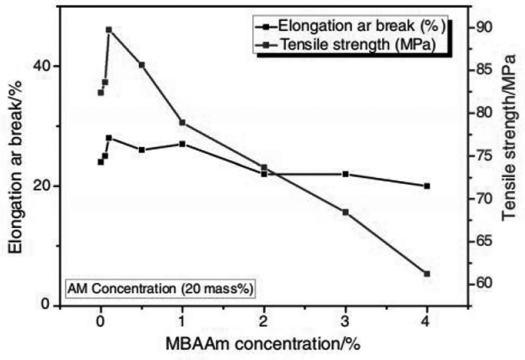


图 5　MBAAm 浓度对处理过的 PA66 织物的拉伸性能的影响[23]

Fig.5 Effect of MBAAm concentration on the tensile properties of the treated PA66 fabric

2.2　基于天然材料的阻燃改性

Weng 等人[25]将含有丙烯酸酯基团的氢氧化镁流体(MHFs)混入聚乙二醇二丙烯酸酯(PEGDA)后，对棉织物进行处理，通过 UV 聚合生产柔性 MHFs/PPEGDA 复合棉织物，在氢氧化镁与表面接枝有机长链离子分子的协同作用下，改性棉织物的阻燃性能显著提高，但是当添加较多的 MHFs 时，这些流体很容易堆积在一起形成更大的团聚，防止 PEGDA 单体间交联结构的形成，这会影响材料的力学性能。

Annalisa 等人[26]研究了在 UV 条件下经 DNA-壳聚糖处理后的棉织物的阻燃性能，值得注意的是，棉织物表面添加的壳聚糖不但可以起到阻燃的作用还可以增强其抗菌性能，并且洗涤 30 次之后仍能保持抗菌性能，但是随着水洗次数的增加，纤维表面的粗糙程度也在增大。

Yuan 等人[27]为提高棉织物的阻燃性和热稳定性，先合成了一种新型的磷单体(PDHA)，随后通过 UV 引发接枝聚合将 PDHA 引入棉织物表面，最终改性后的棉织物在磷的催化作用下具有良好的阻燃性能，改性织物经反复洗涤过后阻燃性略有降低。

Guan 等人[28]在 UV 的辐射下，以邻苯甲酰苯甲酸甲酯为光催化剂，用阻燃剂 2-(甲基丙烯酰氧乙基)磷酸二甲酯对真丝织物进行了改性，经处理后的真丝纤维在燃烧过程中形成更多不可燃产物，不易在实际火灾中造成窒息，从而提高实际的防火安全性，但是紫外光接枝相较于其他方法例如等离子体处理[29]，最佳条件下所得产物的接枝率较低。

紫外光液相接枝技术使单体与织物发生化学键的结合，赋予纤维织物永久阻燃的性能，这有效的解决了随着水洗次数的增加纤维织物性能逐渐降低的缺陷，成为一种耐久阻燃的有效手段。紫外光对织物阻燃性的这种改进方法值得继续关注并应用于消防员的防护服等领域中[30]。

3 抗菌改性

近年来，微生物对人类健康和安全的威胁已成为公众严重关注的问题，在人类疾病中有一半的概率是由病毒性微生物引起的[31]。对材料表面进行抗菌改性以防止有害微生物的生长对抑制微生物的传播具有重要意义。因此，抗菌功能材料的研究越来越受到科研人员的重视。

3.1 基于天然材料的抗菌改性

因羊毛纤维在剪切、运输、纺丝和贮存过程中容易产生大量的细菌和霉菌，会影响羊毛纤维的质量、导致纺织设备的失效、造成加工和经济损失[32]。为了避免这种情况，Niu 等人[33]在 UV 照射羊毛表面接枝含银的 SiO_2 纳米抗菌剂，制备了抗菌羊毛纤维，UV 处理后样品的无序度增加、定向性增强、具有较好的抗菌性能，在强力、抗拉强度和伸长率均有提高，由于定向摩擦的减少，其抗收缩性能也有所提高。

Hong 等人[34]以二苯甲酮为光敏引发剂，在 UV 条件下将聚丙烯酰胺接枝到棉织物上，并对接枝后的棉织物进行氯化工艺处理，通过检测发现只有氯化处理的接枝棉织物具有显著的抗菌性能，其抗金黄色葡萄球菌（>99.999%）和大肠杆菌（>99.999%），接枝率的提高，同时还对棉织物的热稳定性存在正向影响。

Jiang 等人[35]利用 UV 辐射使得亚麻纤维素材料接枝上 2-二甲基氨基甲基丙烯酸乙酯（DMAEMA），最终接枝后的亚麻材料具有良好的抗菌性能，其抗菌率可达 99%，改性后的亚麻材料，其表面断裂强度、刚性和染色性均增强，但透气性会有所降低，在染色过程中可以使用较少的盐并达到较高的可染性。

3.2 基于化学合成材料的抗菌改性

Ren 等人[36]在 UV 下将丙烯酸（AA）接枝到聚丙烯熔喷非织造薄膜（PPM）上进行接枝聚合，随后将壳聚糖（CS）共价接枝到 PPM-g-AA 上，得到双接枝 PPM（PPM-g-AA-g-CS），然后将银（Ag）纳米粒子固定在 PPM-g-AA-g-CS 上，制得具有亲水性和抗菌性的 PPM，改性后的材料对大肠杆菌、枯草芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌有着优良的抗菌活性。

Zhao 等人[37]采用等离子体预处理和紫外光引发接枝聚合技术，在聚丙烯非织造布膜（PP NWF）表面引入阳离子羧基甜菜碱酯单体，通过琼脂扩散法测定发现改性后的 PP NWF 能有效抑制金黄色葡萄球菌的生长，其抗菌能力随接枝密度的增加而增强。这种改性过后的聚丙烯非织造布膜可以应用于生物医学领域。

Shin 等人[38]研究了 UV 诱导丙烯酸和纳他霉素光接枝聚乙烯（LDPE）薄膜表面的最佳条件，最终获得的膜材料可用于预防和控制新鲜产品的真菌污染，但目前该技术在各个方面还有许多需要提升的地方，例如提高 LDPE 表面分布的均匀性、量化薄膜对其他新鲜产品的抗菌活性、控制纳他霉素的耐药品种均是今后研究方向的重点。

王林等人[39]先用 UV 辐射将甲基丙烯酸二甲胺乙酯（DMAEMA）接枝到含碳碳双键的聚偏氟乙烯膜表面，然后利用氯化苄对其进行季铵化改性，制备了具有抗菌性的聚偏氟乙烯分离膜，对酸洗后改性膜进行抗菌效果测定，发现改性后的聚偏氟乙烯分离膜具有较稳定的抗菌性，SEM 显示接枝后膜表面孔分布密度减小、部分膜孔堵塞、形成了较明显的纹路，减小了膜的应用范围，如图 6 所示。

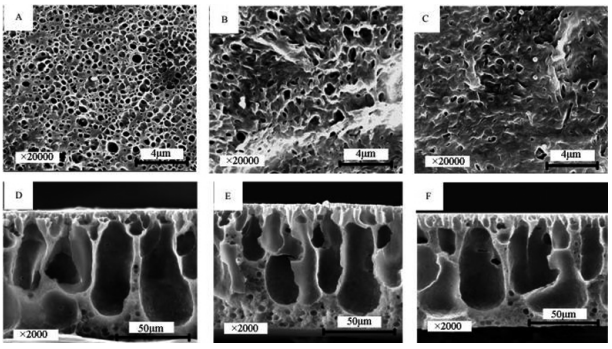


图 6 不同接枝率 0%（A/D）8.5%（B/E）17.2%（C/F）膜的 SEM [39]

Fig.6 SEM images of membranes with different grafting densities

Shi 等人[40]将合成的一种溴氯化物在 UV 的条件下接枝到聚酯(PET)薄膜上，在最佳接枝条件下，薄膜表面 99%以上的大肠杆菌细胞为中性，但是还需进一步地对不同细菌和真菌的活性进行试验调查，以了解该接枝方法在抗菌方面的广泛性。

Manecka 等人[41]在 UV 下成功地将三种具有潜在抗菌作用的物接枝到了聚(3-羟基丁酸酯-共-3-羟基戊酸酯)(PHBHV)的表面上，不过值得注意的是该组实验在 PHBHV 膜和抗菌单体溶液的表面又覆盖了一成聚丙烯薄膜，其目的是为了阻止接枝聚合时单体溶液内的氧扩散，通过抗菌活性测验发现，改性后的膜虽然对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌未表现出抗菌性，但是对大肠杆菌的抑制作用可以达到 99%，故今后该膜在抗菌性方面还有很大的发展空间。

对于抗菌改性后的材料能像其他含有烷基吡啶和季铵盐的材料一样，对微生物的生长起抑制作用[42-43]，接枝改性的材料与含有低分子量抗菌剂的聚合物相比，具有一定的优势，其在材料上没有残留的毒性、材料的生产效率和选择性较高、材料的使用寿命也较长[44]。

4　其他改性

在纺织领域，不光要考虑到材料的亲水性、阻燃性、抗菌性，在服用过程中还要照顾到视觉审美，因而染色性能也是纺织材料在改性过程中需要考虑的因素之一。

4.1　染色性能

Cao 等人[45]将含单体丙烯酰胺的染料通过 UV 的辐射接枝到棉织物上，通过 UV 染色后的棉织物在洗涤、摩擦、耐日晒色牢度性能方面均优于常规下湿法染棉织物的色牢度，作为一种新的染色方法，通过 UV 对棉织物进行染色是在室温无中性盐的情况下进行的，对环境友好，节约资源。

Kim 等人[46]以含乙烯基磺酸的乙烯基砜染料水溶液为单体，在室温下通过 UV 辐射对羊毛进行接枝着色，通过 UV 染色织物的色牢度远优于传统的活性染料织物，此外，对环境友好的 UV 接枝染色可以取代传统吸附型活性染料染色，前者节约染料、条件温和，后者需要较长的高温染色时间较多的盐和碱催化剂。

Dong 等人[47]合成了一种含两个甲基丙烯酸酯基的双官能团染料。随后在 UV 辐射的条件下分别对棉和羊毛进行染色，其通过 UV 染色后的织物均显现处了优良的色牢度性能，反应条件是在空气中进行且实验过程中无需加盐，对环境和经济非常有利。

通过紫外光引发的接枝聚合来实现对纺织材料染色在近几年成为学者讨论的热点，该方法的实验条件易于达到、不用加盐、节约成本、保护了环境，但目前均讨论的是活性染料、天然纤维，在今后的紫外光接枝染色研究中，可将重点放到其它种类染料以及合成纤维的染色当中。

4.2　耐磨性能

不论是什么样的材料，耐磨性都是一项非常重要的指标。织物在服用过程中需要有良好的耐磨性；材料在使用过程中同样需要拥有一定的耐磨性，以延长材料的使用寿命。

Jiang 等人[48]以二苯基(2,4,6-三甲基苯甲酰)氧化膦(TPO)为光引发剂，在 UV 的辐射下将 AA 和丙烯酰胺(AM)的混合单体接枝到亚麻织物上，通过染色发现，改性后的亚麻织物具有较好的上染性、染色牢度，随着 AM 接枝到织物上的量的增加，虽然改性织物的断裂强度增加、弯曲长度增大，但是透气性变差，故需要控制好加入的单体比例。

Kyomoto 等人[49]在聚醚酮(PEEK)和碳纤维增强聚醚酮(CFR-PEEK)上进行了纳米级光诱导接枝 PMPC 的研究，改性后的材料表面的润湿性、摩擦性能和耐磨性都有显著改善。该材料可用作骨科轴承的表面或界面，有效减少了在使用过程中的磨损情况，接枝前后的材料测试表明，在拉伸性能、弯曲模量和蠕变变形等方面二者存在差异，所以在今后的研究中仍可继续关注性能的改进。

5　结语

目前，紫外光液相接枝技术的应用日趋增加，对亲水、阻燃、抗菌等方面的改性研究的关注度越来越大。此外，通过对以上诸多研究方法的总结，经过紫外光液相接枝技术的阻燃改性会对纺织材料在力学性能方面有一定程度的削弱，这意味着在实验过程中需要严格控制材料的接触条件，在今后的研究中

还需对力学性能的不足继续完善;在抗菌改性方面,普遍讨论改性材料对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌的抗菌活性,今后还需对抗菌种类的广泛性继续努力。

通过前期的研究发现,在对材料进行改性的实验过程中将紫外光接枝技术与其他改性技术结合使用,可以改善实验的效率、提高最终的产率。若在今后紫外光接枝技术能与其他先进技术相结合,还可以扩大紫外光接枝技术的使用领域,值得继续探索。

参考文献:

[1] 邢晓东,王晓工. 聚合物表面紫外光接枝技术及应用进展[J]. 化工进展,2008,27(1):50-57.

[2] Hassan M M, Islam M R, Shehrzade S, et al. Influence of Mercerization Along with Ultraviolet (UV) and Gamma Radiation on Physical and Mechanical Properties of Jute Yarn by Grafting with 3 -(Trimethoxysilyl) Propylmethacrylate (Silane) and Acrylamide Under UV Radiation [J]. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 2007, 42(4):515-531.

[3] 张素凌,陈卫汕,甘景洪等.表面紫外光接枝聚丙烯酸的聚电解质刷型纳米纤维素晶须[J]. 精细化工,2014,31(9):1120-1125.

[4] Anjum N, Gupta B, Riquest A M. Surface Designing of Polypropylene by Critical Monitoring of the Grafting Conditions: Structural Investigations [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2006, 101(1):772-778.

[5] Yao H Y, Lin H R, Sue G P, et al. Chitosan-based hydrogels prepared by UV polymerization for wound dressing [J]. Polymers and Polymer Composites, 2019,27(3):155-167.

[6] Feng G Y, Wang X Y, Zhang D T, et al. A comparative study on mechanical properties of surface modified polypropylene (PP) fabric reinforced concrete composites [J]. Construction and Building Materials, 2017, 157: 372-381.

[7] Liu K, Wei J F, Zhou X Y, et al. Construction of amphiphilic segments on polypropylene nonwoven surface and its application in removal of endocrine disrupting compounds (EDCs) from aqueous solution [J]. Applied Surface Science, 2015, 337: 178-187.

[8] Song L J, Zhao J, YANG H W, et al. Biocompatibility of polypropylene non-woven fabric membrane via UV-induced graft polymerization of 2-acrylamido-2-methylpropane sulfonic acid [J]. Applied Surface Science, 2011, 258: 425-430.

[9] Yin R X, Zhang N, Wu W T, et al. Poly(ethylene glycol)-grafted cyclic acetals based polymer networks with non-water-swellable, biodegradable and surface hydrophilic properties [J]. Materials Science and Engineering C, 2016, 62: 137-143.

[10] 姜彦,缪飞,任玉荣等.聚丙烯/三元乙丙橡胶共混材料表面紫外光接枝聚丙烯酰胺的研究[J]. 中国塑料,2014,28(11):57-61.

[11] 金戈,魏俊富,王翔等.聚丙烯中空纤维膜表面接枝苯乙烯磺酸钠的研究[J]. 现代化工,2018,38(2):98-101.

[12] Ishiharaa R, Yamaguchib Y, Tanabe K, et al. Preparation of Pt/WO3-coated polydimethylsiloxane membrane for transparent/flexible hydrogen gas sensors [J]. Materials Chemistry and Physics, 2019, 226: 226-229.

[13] Rahman A F H B A, Seman M N B A. Polyacrylic-polyethersulfone membrane modified via UV photografting for forward osmosis application [J]. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2018, 6: 4368-4379.

[14] Bolongo T G, Remlgy J C, Clifton M J. Modification of hollow fibers by UV surface grafting [J]. JOURNAL OF MEMBRANE SCIENCE, 2010, 364: 304-308.

[15] 申颖洁,吴光夏,石雪莉等. 气态法进行聚砜中空纤维超滤膜表面紫外光引发接枝聚合改性的实验研究[J]. 膜科学与技术,2007,27(3):15-20.

[16] Ahmadi H, Javanbakht M, Akbari A B, et al. Photo-grafting of β-cyclodextrin onto the polyethersulfone microfiltration-membrane: Fast surface hydrophilicity improvement and continuous phthalate ester removal [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2019, 136(24):47632.

[17] Zheng Y Y, Liu L H, Ma Y, et al. Enhanced Osteoblasts Responses to Surface-Sulfonated Polyetheretherketone via a Single-Step Ultraviolet-Initiated Graft Polymerization [J]. Industrial & Engineering Chemistry Researc, 2018, 57(31):10403-10410.

[18] Cao Q, Wu S Q, Wang L Y, et al. Effects of the morphology of sulfobetaine zwitterionic layers grafted onto a silicone surface on improving the hydrophilic stability, antibacterial adhesion properties, and biocompatibility [J]. Industrial & Engineering Chemistry Researc, 2018, 135(44):46860.

[19] Ngo T H A, Mori S, Tran D T. Photo-induced grafting of poly(ethylene glycol) onto polyamide thin film composite membranes [J]. Industrial & Engineering Chemistry Researc, 134(43):45454.

[20] Huang X D, Luo C Q, Lin L, et al. UV-assisted treatment on hydrophobic acrylic IOLs anterior surface with methacryloyloxyethyl phosphorylcholine: Reducing inflammation and maintaining low posterior capsular opacification properties [J]. Materials Science and Engineering C, 2017,

75:1289-1298.

[21] Ren Y L, Jiang L N, Tian T, et al. Durable flame retardant polyacrylonitrile fabric via UV-induced grafting polymerization and surface chemical modification [J]. RSC Advances, 2018, 8(72):41389-41396.

[22] Liu W, Zhang S, Sun J, et al. An improved method for the durability of the flame retardant PA66 fabric [J]. J Therm Anal Calorim, 2017(128):193-199.

[23] Ren Y L, Qin Y W, Liu X H, et al. Flame-retardant polyacrylonitrile fabric prepared by ultraviolet-induced grafting with glycidyl methacrylate followed by ammoniation and phosphorylation [J]. Industrial & Engineering Chemistry Researc, 2018, 315(41):46752.

[24] Kundu C K, Wang X, Hou Y B, et al. Construction of flame retardant coating on polyamide 6.6 via UV grafting of phosphorylated chitosan and sol-gel process of organo-silane [J]. Carbohydrate Polymers, 2018, 181:833-840.

[25] Weng P X, Yin X Z, Yang S W, et al. Functionalized magnesium hydroxide fluids/acrylate-coated hybrid cotton fabric with enhanced mechanical, flame retardant and shape-memory properties [J]. Cellulose, 2018, 25(2):1425-1436.

[26] Annalisa C, Francesca B, Giulio M, et al. DNA-chitosan cross-linking and photografting to cotton fabrics to improve washing fastness of the fire-resistant finishing [J]. Cellulose, 2016(23):3963-3984.

[27] Yuan H X, Xing W Y, Zhang P, et al. Functionalization of Cotton with UV-Cured Flame Retardant Coatings [J]. Industrial & Engineering Chemistry Research Article, 2012, 51(15):5394-5410.

[28] Guan J P, Chen G Q. Properties and characteristics of UV-induced flame retardancy silk fabric [J]. The Journal of The Textile Institute, 2013, 104(8):785-789.

[29] Paosawatyanyong B, Jermsutjarit P, BHANTHUMNAVIN W. Graft copolymerization coating of methacryloyloxyethyl diphenyl phosphate flame retardant onto silk surface [J]. Progress in Organic Coatings, 2014(77):1585-1590.

[30] 林裕卫,段胜伟,吴耀根等. 新型改性 TPE 阻燃型无孔防水透湿阻隔薄膜在生化、阻燃及多功能防护服上的应用 [J]. 纺织导报,2017:83-86.

[31] 殷智超. 微生物与人类健康关系研究 [J]. 民营科技, 2018(12):80.

[32] Dong Y C, Gua J Y, Wang P, et al. Developed functionalization of wool fabric with extracts of Lycium ruthenicum Murray and potential application in healthy care textiles [J]. Dyes and Pigments, 2019(163):308-317.

[33] Niu M, Liu X G, Dai J M, et al. Molecular structure and properties of wool fiber surface-grafted with nano-antibacterial materials [J]. Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2012(86):289-293.

[34] Hong K H, Liu N, Sun G. UV-induced graft polymerization of acrylamide on cellulose by using immobilized benzophenone as a photo-initiator [J]. European Polymer Journal, 2009(45):2443-2449.

[35] Jiang Z, Wang X, Ma H T, et al. Photografting of 2-(Dimethylamino) ethyl Methacrylate onto Cellulosic Material for Better Antibacterial Property [J]. Fibers and Polymers, 2014, 15(12):2453-2457.

[36] Ren Y L, Zhao J Y, Wang X L. Hydrophilic and antimicrobial properties of acrylic acid and chitosan bigrafted polypropylene melt-blown nonwoven membrane immobilized with silver nanoparticles [J]. Textile Research Journal, 2018, 88(2):182-190.

[37] Zhao J, Song L J, Shi Q, et al. Antibacterial and Hemocompatibility Switchable Polypropylene Nonwoven Fabric Membrane Surface [J]. ACS Applied Materials and Interfaces, 2013, 5(11):5260-5268.

[38] Joongmin Shin, Liu X J, Naveen Chikthimmah, et al. Polymer Surface Modification Using UV treatment for Attachment of Natamycin and the Potential Applications for Conventional Food Cling Wrap (LDPE) [J]. Applied Surface Science, 2016, 386(15):276-284.

[39] 王林,华河林,李娜等. 紫外光接枝甲基丙烯酸二甲胺乙酯制备抗菌分离膜 [J]. 高校化学工程学报,2017,31(1):205-210.

[40] Shi Z L, Neoh K G, Kang E T. Antibacterial activity of polymeric substrate with surface grafted viologen moieties [J]. Biomaterials, 2005(26):501-508.

[41] Manecka G M, Labrash J, Rouxel O, et al. Green Photo-induced Modification of Natural Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) Surface for Antibacterial Applications [J]. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 2014, 2(4):996-1006.

[42] Noh H, Yu J S, Ko J S, et al. Preparation of Poly(ethylene-co-acrylic acid) Grafted with Aliphatic Quaternary Ammonium Salts as Antibacterial Polymers [J]. BULLETIN OF THE KOREAN CHEMICAL SOCIETY, 2017, 38(8):890-898.

[43] Deyab M A. Efficiency of cationic surfactant as microbial corrosion inhibitor for carbon steel in oilfield saline water [J]. Journal of Molecular Liquids, 2018(225):550-555.

[44] He H K, Brian A, Zhong M J, et al. Multifunctional Pho-

to-Crosslinked Polymeric Ionic Hydrogel Films [J]. Polymer Chemistry, 2014, 5(8): 2824-2835.

[45] Cao S Y, Jang J H. UV-induced Coloration of Cotton Fabrics by Photografting of Acrylamido Dyes Using Acrylamide as a Comonomer [J]. Fibers and Polymers, 2016, 17(10): 1605-1612.

[46] Kim B, Jang J H. LED-UV Grafting of Vinylsulfone Dyes onto Photo-oxidized Wool Fabrics [J]. Fibers and Polymers, 2017, 18(7): 1243-1249.

[47] Dong Y Y, Zhen L J, Wei J, et al. UV-grafting Coloration of Cotton and Wool Fabrics Using Bismethacrylated Quinizarin Dye [J]. Fibers and Polymers, 2016, 17(10): 1598-1604.

[48] Jiang Z, Wang X, Zhang Y, et al. Surface Modification of Linen Fabric via UV Induced Grafting to Improve Dyeability and Wearability [J]. JOURNAL OF NATURAL FIBERS, 2018, 15(4): 474-482.

[49] Masayuki K, Toru M, Shihori Y, et al. Poly(ether-ether-ketone) orthopedic bearing surface modified by self-initiated surface grafting of poly(2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine) [J]. Biomaterials, 2013(34): 7829-7839.