

纺织品抗菌整理研究进展

叶远丽¹, 李飞¹, 冯志忠¹, 陆锋¹, 周莉²

(1. 圣华盾防护科技股份有限公司,江苏 江阴 214413;2. 江南大学 江苏省功能纺织品工程技术研究中心,江苏 无锡 214122)

摘要:采用文献研究、归纳分析的方法,针对国内外抗菌纺织品发展现状,介绍了常用抗菌整理剂的种类及其抗菌机理,详细阐述了抗菌纺织品的加工方法,以及应用于纺织品领域的新型抗菌整理剂,对抗菌纺织品效果评价的原理及测试方法进行了概述,并展望了抗菌纺织品的发展趋势。
关键词: 纺织品;抗菌剂;抗菌机理;抗菌整理;抗菌测试
中图分类号: TS 195.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2018)01-0001-08

Research Progress in Antibacterial Finishing of Textiles

YE Yuanli¹, LI Fei¹, FENG Zhizhong¹, LU Feng¹, ZHOU Li²

(1. Swoto Protection and Technology Co., Ltd., Jiangyin 214413, China; 2. Jiangsu Engineering Technology Research Center for Functional Textiles, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Based on literature review about the development of antibacterial textiles at home and abroad, inductive analysis of the types and antibacterial mechanism of normal antibacterial finishing agents were summerized in this paper. Processing methods of antibacterial textiles were introduced in detail. Some of new-type antibacterial agents applied in textile field were presented. Principles of evaluating the effects of antibacterial textiles were outlined together with relevant testing methods. Also, attention is paid to the development tendency of the antibacterial textiles.
Key words: textiles, antibacterial agent, antibacterial mechanism, antibacterial finishing, antibacterial test

一般的纺织品对菌体没有抑制和杀灭作用,常被认为是滋养微生物的良好媒介。在合适的温度、湿度以及相应养分下,微生物能够迅速生长并繁殖,而多孔性纺织品极易吸收人体汗腺和脾腺分泌的排泄物,为微生物提供了所需养分,因而某种程度上,纺织品是微生物的支持者^[1]。纺织品上微生物的存在不仅影响其性能,导致菌斑生成,使纺织品产生霉变、脆化甚至变质,而且也会给服用者带来不适感,甚至对皮肤产生有害刺激,引发皮肤病,危害人体健康。此外,微生物分解人体分泌物所产生的氨等异味物质,也严重影响了周围的环境卫生。因此,对织物进行抗菌整理非常必要,通过对纺织品的抗菌整理可阻碍并抑制微生物在织物使用及储存过程中的代谢和繁殖。文中概述了抗菌

整理剂的作用机理,归纳了抗菌纺织品的加工方法及抗菌测试标准,并对抗菌纺织品的未来发展趋势进行展望。

1 抗菌整理剂的种类及作用机理

抗菌整理剂指在一定时间可抑制细菌、真菌、酵母菌、藻类以及病毒等微生物的滋生与繁殖,且使其浓度比国家规定水平低的化学物质^[2]。根据抗菌整理剂的来源、作用机理、组成结构等因素,可将其分为以下3类:无机抗菌整理剂、有机抗菌整理剂和天然抗菌整理剂^[3]。

1.1 无机抗菌剂

无机抗菌剂属于新型接触型抗菌材料,发展于

20 世纪 80 年代,其高效抗菌、安全无毒、耐热性好等优点引起人们关注,也因此被广泛应用于各个领域。有研究发现,无机抗菌剂具有较强杀菌能力及广谱抗菌性,其对大肠杆菌及金黄色葡萄球菌的抑

菌率可达 99.9%,此外,某些特殊无机抗菌整理剂对病毒的抑制能力也较强^[4]。依据作用机理,可将无机抗菌剂细分为金属离子负载型抗菌剂与光催化型抗菌剂,其抗菌机制与特点见表 1^[5]。

表 1 无机抗菌整理剂的抗菌机理与特点

Tab.1 Antibacterial mechanisms and characteristics of inorganic antibacterial materials				
分 类	抗菌机理	优 势	不 足	应用与展望
金属离子型	银-沸石	金属离子接触杀菌	沸石对 Ag ⁺ 亲和力强,有	应用于医疗、不锈钢、涂层、织物、水处理、防晒液等领域,应加强考察成品的安全性,改善高温使用性能,因其成本较高,须限制在大范围内的应用
	银-磷酸盐	缓释与光催化杀菌	磷酸盐无毒,吸附功能强,比表面积大,化学性质稳定,持久性强	
	银-可溶性玻璃	缓释杀菌	化学活性高,可制成长期高效的玻璃性缓释抗菌剂	
光催化型	TiO ₂	光催化杀菌	紫外光下具有广谱性,化学性质稳定,耐酸碱、无毒,来源广泛	应用于卫生陶瓷、玻璃、涂料、纤维、塑料、废水处理等环保领域
	ZnO	光催化、金属离子溶出、活性氧杀菌	抗菌迅速,活性高、价格低、无毒,生物相容性好,形貌可控	

1.1.1 金属离子型抗菌剂 金属离子负载型抗菌剂是指通过物理吸附、多层包覆与离子交换等不同技术,将具有抗菌活性的成分同载体结合起来,制得的具备抑菌能力的化学物质。通常采用的抗菌活性成分包括 Ag,Zn 等金属离子及其金属盐化合物,使用的载体有沸石、硅胶、磷酸盐、高岭土等^[6]。大多数金属离子均具备抑菌或杀菌能力,杀菌力最强的金属离子是银离子,银系抗菌整理剂的作用机理一般分为以下两种^[7]:①接触杀菌。抗菌整理剂缓慢释放出少量 Ag⁺,它们依靠库伦力击穿细胞壁后进入细胞内部抑制其分裂增殖活动;除此之外,Ag⁺也可对微生物各类生命传输系统造成破坏,而后从中游离出来继续杀菌,因此 Ag⁺具有较强抗菌耐久性。②光催化杀菌。在光的照射下,空气中的 O₂ 会被 Ag⁺ 激活产生 ·OH 和 O₂⁻,抑制细菌繁殖。GORENSEK M 等^[8] 采用 80 nm 银对棉织物进行抗菌整理,经整理的纺织品对金黄色葡萄球菌的抑菌率达到 98%,但经 10 次洗涤后,其抑菌率降为 60%,且经整理的棉织物白度明显降低。

1.1.2 光催化型抗菌剂 常用的光催化型抗菌剂包括 ZnO,TiO₂,SiO₂ 以及 Fe₂O₃ 等半导体氧化物。TiO₂ 的抗菌作用机理如下:在光作用下 TiO₂ 被激活,在其表面产生大量 ·OH 与 ·O,这些自由基具有较强的化学活性,当它们与细菌接触时,与其内部有机物发生反应生成 CO₂ 与 H₂O,从而杀灭微生

物^[9]。ZnO 的抗菌机理有 3 种假设^[10]:①光催化机理。其抗菌作用机理与 TiO₂ 相同。②Zn²⁺ 溶出机理。Zn²⁺ 与蛋白质发生反应后,从细胞内游离出来,继续杀菌。③活性氧抗菌机理。赋予 ZnO 抗菌能力的主要活性物质为 H₂O₂。目前,ZnO 抗菌被认为是这 3 种抗菌机制共同作用所致。为减少光催化引发织物产生降解的情况,可采用磷石灰将 TiO₂ 包覆后对棉织物进行抗菌整理,微生物可被多孔吸附从而被 TiO₂ 分解,在可见光或小于 385 nm 的黑光环境下,抗菌整理后的棉织物显现较高抗菌性能^[11]。

无机抗菌整理剂发展迅速,但也存在众多缺陷,因此有机/无机型与金属离子/光催化型等复合抗菌整理剂应际而生,成为现今无机抗菌剂研究领域的热点^[12]。利用溶胶凝胶、化学还原与直接沉淀等方法将 Ag 纳米金属离子与纳米 TiO₂ 复合,可制成金属离子/光催化型复合抗菌整理剂^[13]。朱文杰等^[14] 将有机抗菌剂季铵盐组装在 SiO₂ 纳米颗粒或网络上,制备出有机/无机型复合抗菌整理剂。

1.2 有机抗菌剂

有机抗菌整理剂是最早投入使用的一类抗菌剂,目前已在抗菌整理剂中占据主导地位,除应用于医疗环保领域,还在污水处理、建材防锈、木材防腐等各方面得到广泛应用与发展。有机抗菌剂不仅具有高效杀菌力、强及时性等优点,同时便于加

工,且来源广泛、种类繁多;但也存在一些限制其应用的缺陷,如毒性稍大,耐热性差,易使微生物产生耐药性等。

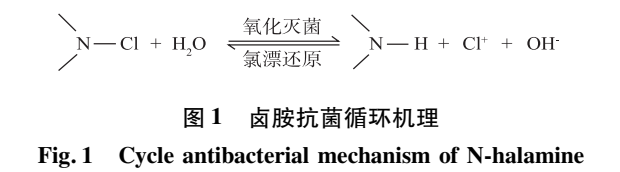
有机抗菌整理剂主要包含有机酸、醇、酚、酯等物质,市场上常见的有机抗菌剂有季铵盐类、卤胺化合物、聚六亚甲基双胍盐酸盐等。

1.2.1 季铵盐(QAC) 季铵盐类化合物作为一种典型的有机抗菌整理剂,已投入使用超过 50 年,它是一种阳离子表面活性剂,能杀菌消毒,广泛应用于各个领域^[15]。季铵盐类化合物的抗菌性能受分子中阳离子季铵盐数量、烷基长度影响很大,且与是否存在全氟代烃基团有关。磷酸一铵与二聚体铵表面活性剂含有烷基、烷芳基与全氟代烃基团,常作为抗菌剂应用于织物的抗菌整理。QAC 类物质的抗菌机理是:季铵盐基团带正电荷,细菌细胞膜本身带有负电荷,两者产生静电吸引而结合,扰乱了细胞膜的正常活动,进而影响到细胞内蛋白质的合成;此外,季铵盐类化合物亦能影响细菌等微生物的 DNA 转录,破坏其正常繁殖。若季铵盐分子中有长链烃基,季铵盐则会对细菌产生两种作用:①QAC 的中心氮原子带正电,与带负电荷的细菌细胞等产生静电吸引;②疏水长链烃基与微生物的非极性中心产生分子间作用力。季铵盐因静电吸引力吸附在微生物细胞表面后,由于分子定向排列空间位阻的存在,长链烃基刺入细胞内部进而破坏其代谢过程^[16]。在微生物细胞失活后,季铵盐仍能继续发挥其抗菌性能。聚酯等纺织品上大多具有磺酸基、羧基等阴离子基团,通过这些阴离子与季铵盐阳离子之间的离子键作用力,在沸点条件下 QAC 类化合物可浸染到纺织品上^[17]。

AE-5700 是由道康宁(Dow Corning)公司研究开发的一种有机硅季铵盐类抗菌整理剂,它带有反应性硅氧烷基团,可与纺织品纤维表面发生化学键合以及静电吸引,从而构成抗菌涂层,因此具有较高抗菌耐久性,是制作固定化非溶出性抗菌织物的新方法。其阳离子季铵盐带正电荷,可吸附在本身带有负电荷的细菌等微生物细胞膜上,细胞活动受到限制,呼吸功能逐渐丧失而导致细胞死亡^[18-19],因此将该抗菌整理剂应用于织物抗菌整理可赋予其优异的耐久抗菌性。研究发现,AE-5700 对革兰氏阴性菌大肠杆菌及革兰氏阳性菌金黄色葡萄球菌的最小抑菌浓度(MIC)为 10~100 mg/L。截至目前,AE-5700 已广泛应用于涤纶、尼龙以及棉纺织品的抗菌整理,且已进入商业化生产与应用。尽管 QAC 类抗菌剂具有成本低、杀菌快且高效等优点,

但耐洗牢度差,且极易使微生物产生耐药性。

1.2.2 卤胺化合物 含有 N—Cl 或 N—Br 键的化合物常被称为卤胺化合物。若化合物含有酰胺基、酰亚胺或胺基等,经过次卤酸盐等氧化剂氧化后则可得卤胺化合物,但 N—Br 键易分解、不稳定,故实际生产中多用氯胺化合物。卤胺分子中的 N—Cl 化学键具有强氧化性,赋予了卤胺类化合物抗菌杀菌能力,此外,卤胺化合物具有可再生性,因而可重复循环杀菌^[20]。其抗菌作用机理为:当卤胺化合物与细菌、真菌、霉菌接触时,二者发生氧化还原反应,N—Cl 被还原成 N—H,微生物被氧化失去活力而死亡;N—H 不再具备杀菌能力,但可通过氯漂工艺再次转换为 N—Cl 进而重复上述杀菌过程。卤胺化合物的循环抗菌机理如图 1 所示。



卤胺类化合物的这种循环重复抗菌机理最初由 SUN G 等^[21]提出,并将其应用在棉纺织品的抗菌整理工艺中。随后,众多学者相继研究开发出多种杂环卤胺化合物,不仅能够通过共价键与棉、涤纶、锦纶以及蛋白质等纤维形成化学键合,且可通过接枝将合成纤维与纤维素连接。

卤胺类抗菌剂具有高效、快速、广谱抗菌性能,可抑制大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、白色念珠菌以及某些病毒的滋生与繁殖,并可在短时间内将其杀死。然而,卤胺化合物同时也存在一个极大的问题限制其在织物抗菌整理领域的应用,即织物在经卤胺抗菌剂整理后,表面会有游离卤胺的残留,不仅降低织物白度、影响织物外观,更产生异味,导致织物服用性能降低。针对该缺陷,LI S^[22]提出了一种去除纺织品上残留氯的方法,即织物经卤胺抗菌整理后再经硫化钠浸轧。此外,REN X H 等^[23]利用羟基卤胺化合物对棉织物进行抗菌整理,通过 BTCA(1,2,3,4-丁烷四羧酸)交联剂作用将其接枝到棉纤维表面,提高了卤胺类化合物抗菌性能的同时亦增强了其抗菌纺织品的耐洗性能。

1.2.3 聚六亚甲基双胍盐酸盐(PHMB) PHMB 是一种多分散性混合物,其相对分子质量约为 2 500,具有高效、广谱的抗菌性能,且对人体安全无刺激,故在食品、医用敷料与泳池消毒等领域得到了广泛应用。PHMB 的化学结构如图 2 所示。

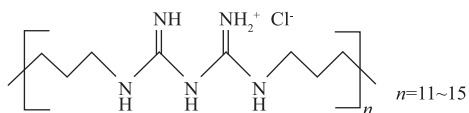


图2 PHMB 化学结构

Fig.2 Chemical structure of PHMB

PHMB 的抗菌机理核心在于静电吸附,即所带正电荷阳离子吸附带有负电荷的细菌细胞膜,从而破坏细胞正常生理活动致其死亡。该整理剂的抗菌活性随着分子聚合度的增加而增加。棉织物表面的葡萄糖单元在丝光与漂白等处理工艺过程中会发生氧化还原反应,阴离子羧基由此生成。此时,若采用 PHMB 整理剂对棉织物进行抗菌整理,PHMB 则可与棉纤维上羧基产生离子相互作用,从而固定于棉织物表面,增强织物抗菌活性的持久性^[24]。

PAYNE J D^[25] 利用 PHMB 整理棉织物,经过强酸处理后织物避免白度严重下降,且增强了纺织品的抗菌持久性能,并以此首次申请了关于 PHMB 在棉织物抗菌整理领域应用的专利。PHMB 在水溶液中可电离出带正电的阳离子,故在整理过程中可同棉纤维产生静电吸附形成氢键。PHMB 可通过两种方式整理到棉织物上:①在室温及中性 pH 条件下通过浸染,在纺织品表面形成抗菌涂层;②通过轧烘焙传统整理工艺使 PHMB 附着到织物上。

Arch 公司研发了一种新型 PHMB 抗菌整理剂,该聚合物抗菌剂分子结构中具有 16 个双胍单元,可为纺织品纤维单元提供更多的阳离子染座,使整理剂与织物表面阴离子产生化学反应的机会增多,纺织品抗菌性能也相应增强^[19]。该 PHMB 抗菌整理剂最初在棉纤维中得到实践,现已成功应用于涤纶、锦纶等人造纤维领域。PHMB 类抗菌整理剂抗菌效果好,可对革兰氏阴性菌、革兰氏阳性菌等广谱抗菌,且具有较高的热稳定性及安全性。虽然如此,但它仍然存在着限制其广泛应用于各领域的缺陷,如对白色念珠菌等真菌的抗菌性能有待提高,光照条件下易分解,且抗菌耐久性差,易使微生物产生耐药性等。

1.3 天然抗菌剂

天然抗菌整理剂是指本身具有抗菌性能的生物活性物质,主要源于自然界,资源丰富。其种类包括艾蒿、芦荟等植物类天然抗菌剂;甲壳质、壳聚糖等动物类天然抗菌剂;胆矾等矿物类天然抗菌剂;氨基葡萄糖苷 ST-7 等微生物天然抗菌剂。近些年,人们对生活品质的追求不断增强,对全球呼吁保护环境的响应热情也愈加强烈,自然生物类物质

倍受青睐,抗菌领域的学者逐渐将研究重心转移到天然抗菌整理剂的开发上。

极具代表性同时也是较常用的一类天然抗菌剂是壳聚糖,经甲壳素脱乙酰作用而得,其中甲壳素是一种多糖化合物,由虾、贝壳、蟹等甲壳类动物提取、纯化而来。据研究学者推测,壳聚糖有以下两种抗菌作用机理^[26]:①壳聚糖大分子因 —NH_3^+ 的存在与带负电的细菌细胞膜产生静电吸附,导致细胞膜与细胞壁上负电荷分布不均匀,细胞壁的合成与溶解平衡系统遭到破坏;静电吸附同时也使细胞表面覆盖上一层高分子膜,所需营养物质不能成功向细胞内运输,细胞正常生理活动被扰乱而导致死亡。②壳聚糖刺穿细胞壁并进入细胞内部,细胞内带有负电荷的物质大多被壳聚糖大分子上的 —NH_3^+ 吸附,微生物细胞因此失去活性而导致死亡。

壳聚糖源于自然界,产量极其丰富,具有良好的生物相容性及生物可降解性,且对人体安全无刺激,最重要的是抗菌效果好,又广谱抗菌,因此在抗菌领域中倍受青睐。目前,壳聚糖抗菌剂主要应用于棉纺织品的抗菌整理,但实际应用过程中存在的最大问题是耐洗性较差。为此,相关学者利用柠檬酸、二羟甲基二羟乙基脲(DMDHEU)、戊二醛、丁烷四羧酸(BTCA)等交联剂将壳聚糖连接到棉织物上,来提高抗菌耐久性。结果显示,经 50 次洗涤后,织物的抑菌率仍可达 90%^[27]。除此之外,还可通过改性纤维素或改性壳聚糖使二者发生接枝或交联,如在酸性条件下,利用碘酸钾氧化纤维素产生 —CHO ,该醛基便可与壳聚糖上的 NH_2 反应生成 $\text{C}=\text{N}$ ^[16];再如,在壳聚糖大分子中引入丙烯酰胺甲基或其他活性基团,在碱性条件下,改性后的壳聚糖便可与织物反应产生化学键合,从而提高织物抗菌持久性。有关壳聚糖应用于棉及涤纶织物的研究已有很多,但市场上抗菌纺织品中采用壳聚糖进行抗菌整理的为少数,其主要原因在于壳聚糖水溶性较差,不易采用传统整理方法轧烘焙进行抗菌整理,且经壳聚糖整理后的织物手感发硬,白度、透气性等服用性能下降较多。

2 抗菌纺织品的加工方法

2.1 原纤维法

在纺丝过程中,将抗菌剂添加到成纤聚合物中,经纺丝工艺制得抗菌纤维后,进行抗菌纺织品织造,这种制备抗菌织物的方法被称为原纤维法。该方法技术难度大、加工成本高,且对抗菌剂要求严苛,但制得的抗菌织物效果显著又持久。原纤维

法主要包括以下两种制备方式^[28]：

1) 共混纺丝法。将抗菌剂与各类助剂混合,而后与纤维基体树脂混合均匀,经熔融纺丝制得抗菌纤维。该方法制得的抗菌纤维,其抗菌成分同时存在于纤维表面与内部,且分散均匀,主要应用于丙纶、涤纶等无活性侧基纤维中,适用于医疗及装饰用抗菌纺织品的生产。

2) 复合纺丝法。采用抗菌纤维与其他纤维进行复合纺丝,制成中空形、并列形以及镶嵌形等结构的抗菌纤维。

2.2 后整理法

后整理法即在后整理过程中采用抗菌整理剂处理织物,从而赋予其抗菌效能。此种加工方法成熟简易,但不足之处是耐久性相对较差。常用的后整理法有以下 4 种^[29]：

1) 表面涂层法。将抗菌整理剂添加到涂层剂中,制成均一溶液后将其涂在织物上。经过该方法整理后,抗菌剂将紧固在织物表面,从而赋予织物抗菌性能。此种抗菌整理方法的优点在于适应性广,但不耐洗涤且影响织物性能。

2) 浸轧法。将整理剂制成乳液状,再通过浸、轧、烘将其转移至织物上,通常可将整理剂溶于树脂(或粘合剂)中,使抗菌成分牢固吸附于纺织品表面,但织物手感等服用性能亦会因此下降。

3) 微胶囊法。将抗菌剂制成微胶囊,再用粘合剂将其整理到纺织品表面。织物在穿着或使用,因受到不停接触与摩擦,其表面的微胶囊破裂而释放出抗菌成分,因此可以保护纺织品不受外界微生物的侵犯。

4) 接枝法。使纤维产生带电官能团,再将其浸在相反的离子溶液中,产生化学键或者以其他形式的结合。该方法解决了传统抗菌整理工艺中织物抗菌耐久性差的问题。例如,可使丙烯酸和棉纤维发生接枝共聚反应,并将其浸于硫酸铜溶液中,使纤维与金属离子产生结合。

3 新型抗菌整理剂及其应用

传统抗菌剂如 Ag⁺、季铵盐、卤胺化合物、壳聚糖等都具有一定的抗菌效果,但其应用于织物抗菌整理过程时均存在自身缺陷。近年来,国内外研究学者致力于新型抗菌材料的开发,如稀土、石墨烯、环糊精等,并探索了其在纺织品中的应用,取得了一定成果。

3.1 稀土

稀土元素的电子层结构较特殊,最外层与次外

层电子是充满状态,极易失去电子,从而形成价态不同的稀土离子,其 4f 亚层的未成对电子可与其他元素的外层电子产生相互作用,因此稀土具有活泼的配位性,可与细菌的细胞壁、细胞膜以及细胞内的 DNA 作用^[30],抑制细菌繁殖与增长。

稀土类抗菌剂包括稀土离子及其氧化物、稀土配合物(稀土/有机物复合)、稀土掺杂氧化物(稀土/光催化氧化物复合)、高分子/稀土复合物等。YIN R X 等^[31]通过湿法纺丝制备了混有铈的纤维,其对大肠杆菌与金黄色葡萄球菌具有抗菌性能,但该方法技术要求高,成本昂贵。武晓伟等^[32]将稀土离子掺入纳米 TiO₂ 中,得到稀土/纳米 TiO₂ 复合抗菌剂,采用二浸二轧工艺将稀土离子、纳米 TiO₂ 与稀土/纳米 TiO₂ 复合抗菌剂分别整理到棉织物上,稀土离子和 TiO₂ 的抑菌率分别为 50% 和 60%,复合抗菌剂的抑菌率则高达 100%。

3.2 石墨烯

石墨烯在 2010 年首次被发现可杀死细菌,从此备受相关学者关注。石墨烯的抗菌机理主要有两种:①细胞膜应力机理,石墨烯刺破细菌细胞膜,细胞质流出,细菌死亡;②氧化应激机理,细菌细胞内关键结构被石墨烯破坏,从而使细菌丧失正常生理活动能力,致其死亡^{[-[33]]}。

石墨烯及其衍生物可通过直接吸附法、涂层法或交联法等工艺整理到织物上。在避免诱发细胞毒性的基础上,通过控制石墨烯的量或功能化修饰石墨烯等方式优化整理工艺。李婉迪^[34]采用 Hummer 法制备氧化石墨烯,并将其应用于 TiO₂/SiO₂/GO 复合涂层涤棉织物的制备,该抗菌棉织物抑菌率高达 99%,经 30 次水洗后,其抑菌率仍为 98.5%。

3.3 有机硅甜菜碱

甜菜碱是一种两性有机材料,在同一结构单元中同时具备阳离子基团(如季铵盐)与阴离子基团(如磺酸、羧酸等)。

CHEN S G 等^[35]制备了一种带有反应性基团的有机硅甜菜碱,并将该抗菌剂应用于棉织物的抗菌整理。该有机硅甜菜碱的 Si—O 水解后形成 Si—OH,可与棉织物表面的一OH 发生化学反应从而固化于棉织物上。经整理的棉织物对大肠杆菌与金黄色葡萄球菌的抑菌率均为 99% 以上,经 50 次洗涤后,对大肠杆菌、金黄葡萄球菌以及白色念珠菌的抗菌率仍高于 90%,优于抗菌纺织品的 AAA 标准级。

4 抗菌纺织品的效果评价

4.1 基本原理

测定纺织品抗菌整理后的抗菌性能是衡量抗菌剂抗菌效果的常用方法。纺织品抗菌性能的测定方法主要有两种^[36]:①试样法。将已知浓度的菌液接种在待测样上,经过固定时间的接触后,通过观察、比较接触前后试样的变化来分析其抗菌性能的大小,评价参数如菌落数、试样颜色及强力等。②菌液法。将待测样置于已知浓度的菌液中或接种了菌液的平板上,又或者埋入接种了菌液的土壤内,经过固定时间的接触后,观察、比较接触前后试样的变化,通过菌落数、试样强力等参数分析评定其抗菌性能。

4.2 测试方法

目前,常用的织物抗菌测试标准有国际标准 ISO 20645, ISO 20743, ASTM E 2149; 美国标准 AATCC 90, AATCC 100, AATCC 147, AATCC 174; 日本标准 JIS L 1902; 中国标准 GB/T 20944。虽上述测试方法有各自的优势与缺陷,使用范围均不相同,但基本可概括为两类,即定性测试与定量测试。

4.2.1 定性测试法

1) 奎因法(由 QUINN 实验方法改良而得)。在 FZ/T 73023—2006 附录 D6 中使用了该方法,其测试过程方便快捷,菌落易观察,每次可测试多个试样且重现性较好,但不适用于深色试样。

2) 晕圈法。在 ISO 20645:2004, AATCC 90—2011, JIS L 1902:2008, AATCC 147 以及 GB/T 20944.1—2007 标准中,均采用了晕圈法,其测试过程简单易行,耗费时间短,操作效率高,适用于溶出型抗菌纺织品的抗菌性能测定。

3) 平行划线法。在 ATCC 147-2011 中使用了该方法,其测试过程操作较简单,适用于溶出型抗菌织物的抗菌性能测试。

4.2.2 定量测试法

1) 吸收法。在标准 JIS L 1902:2008, AATCC 100—2004, FZ/T 73023—2006 附录 D7, AATCC 174—2011, GB/T 20944.2—2007, ISO 20743:2007 方法 A 与 QB/T 2881—2007 中,皆采用了吸收法。该测试方法适用于溶出型抗菌纺织品的抗菌能力测定,主要针对吸水性好且不用经常洗涤的织物。

2) 振荡法。在标准 FZ/T 73023—2006, ASTM E 2149, CAS 115—2005 的附录 D8, 以及 GB/T 20944.3—2008 中,都使用了振荡法。改良振荡法^[37]综合了 FZ/T 73023—2006 振荡法与 AATCC

100 吸收法,改进了其中的实验条件,简化了其操作步骤,扩大了测试范围。

5 结 语

近年来,国内外织物抗菌整理技术已渐趋成熟,抗菌产品也不断应用于各个领域,抗菌材料的研究应用具有较为良好的发展前景。随着人们环保意识和健康意识的增强,人们对于高安全性、低毒性的抗菌纺织品需求更强,纺织品抗菌整理也应朝着环境友好型、人体健康型去研究发展。高效、广谱抗菌、具有抗菌耐久性、安全无毒、绿色环保且不易使细菌产生耐药性将是未来新型抗菌整理剂的主要研究方向。多功能纺织品的研发也将是研究热点,如果仅需一次纤维整理工艺便可实现纤维的多种新功能,就可减少整理工序,大幅提高纺织品的附加值,也有利于全民节能与环保。但值得注意的是,随着抗菌纺织品的广泛应用,产生高抗药性细菌和超级细菌的几率也随之增加,抗菌纺织品给人们带来利益的同时也存在潜在威胁,这将是未来需要不同领域学者研究和监测的主要方向。

参考文献:

- [1] 吴惠英,段亚峰,董树莲. 抗菌技术在纺织材料中的应用[J]. 针织工业,2006(5):56-59.
WU Huiying, DUAN Yafeng, DONG Shulian. Application of the anti-bacteria technology in the textile materials[J]. Knitting Industries,2006(5):56-59. (in Chinese)
- [2] 赵欣,朱健健,李梦,等. 我国抗菌剂的应用与发展现状[J]. 材料导报,2016,30(7):68-73.
ZHAO Xin, ZHU Jianjian, LI Meng, et al. Domestic application and development status of anti-bacterial agent[J]. Materials Review,2016,30(7):68-73. (in Chinese)
- [3] 耿佃东,马艳丽,刘茜,等. 壳聚糖在纺织品抗菌整理中的研究进展[J]. 黑龙江纺织,2013(4):9-12.
GENG Diandong, MA Yanli, LIU Qian, et al. Research progress on chitosan for antibacterial finishing of textiles[J]. Heilongjiang Textile,2013(4):9-12. (in Chinese)
- [4] 秦嘉旭,张亚涛,陈义丰,等. 无机纳米抗菌剂及其载体[J]. 材料导报,2011,25(增刊2):67-72.
QIN Jiaxu, ZHANG Yatao, CHEN Yifeng, et al. Inorganic nano antibacterial agent and its carriers[J]. Materials Review,2011,25(Sup.2):67-72. (in Chinese)
- [5] 莫尊理,胡葱葱,王雅雯,等. 抗菌材料及其抗菌机理[J]. 材料导报,2014,28(1):50-52.
MO Zunli, HU Rere, WANG Yawen, et al. Review of antibacterial materials and their mechanisms[J]. Materials Review,2014,28(1):50-52. (in Chinese)
- [6] 马超,吴瑛. 抗菌剂抗菌机理简述[J]. 中国酿造,2016,

- 35(1):5-9.
- MA Chao, WU Ying. Research on antimicrobial agents and their mechanism of actions [J]. China Brewing, 2016, 35 (1):5-9. (in Chinese)
- [7] 李婷, 钟泽辉. 载银沸石抗菌剂的研究进展[J]. 包装工程, 2011, 32(3):107-109.
- LI Ting, ZHONG Zehui. Development progress of silver loaded zeolite [J]. Packaging Engineering, 2011, 32(3):107-109. (in Chinese)
- [8] GORENSEK M, RECELJ P. Nanosilver functionalized cotton fabric [J]. Textile Research Journal, 2007, 77(3):138-141.
- [9] 张秀菊, 陈文彬, 林志丹, 等. 二氧化钛负载细菌纤维素纳米复合材料的抗菌性及细胞相容性的研究[J]. 化学世界, 2011, 52(11):641-644.
- ZHANG Xiuju, CHEN Wenbin, LIN Zhidan, et al. Study on antibacterial activity and cell compatibility of TiO_2/BC nanocomposite [J]. Chemical World, 2011, 52(11):641-644. (in Chinese)
- [10] 胡占江, 赵忠, 王雪梅. 纳米氧化锌抗菌性能及机制[J]. 中国组织工程研究, 2012, 16(3):527-530.
- HU Zhanjiang, ZHAO Zhong, WANG Xuemei. Antibacterial properties and mechanism of nano-zinc oxide [J]. Chinese Journal of Tissue Engineering Research, 2012, 16(3):527-530. (in Chinese)
- [11] KANGWANSUPAMONKON W, LAURUENG TANA V, SURASSMO S, et al. Antibacterial effect of apatite-coated titanium dioxide for textiles applications [J]. Nanomedicine, 2009, 5(2):240-249.
- [12] 郑皓, 徐少俊, 杨晓霞, 等. 抗菌防霉剂的研究进展及其在纺织品中的应用[J]. 纺织学报, 2011, 32(11):153-162.
- ZHENG Hao, XU Shaojun, YANG Xiaoxia, et al. Progress of research on antimicrobial agents and their application to textiles [J]. Journal of Textile Research, 2011, 32(11):153-162. (in Chinese)
- [13] 郭锋, 李镇江, 岑伟, 等. 金属粒子/光催化氧化物型复合纳米抗菌剂的研究发展[J]. 化工新型材料, 2008, 36(3):74-76.
- GUO Feng, LI Zhenjiang, CEN Wei, et al. Research progress of metal/photocatalytic oxides nano-composite antimicrobial [J]. New Chemical Materials, 2008, 36(3):74-76. (in Chinese)
- [14] 朱文杰, 张谨, 朱忠其, 等. 改性季铵盐抗菌剂的制备及性能研究[J]. 功能材料, 2005, 36(12):1872-1874, 1878.
- ZHU Wenjie, ZHANG Jin, ZHU Zhongqi, et al. Study on electrochemical performances and structure of nanocrystallite Mg_2Ni hydrogen storage alloy [J]. Journal of Functional Materials, 2005, 36(12):1872-1874, 1878. (in Chinese)
- [15] LOONTJENS J A. Quaternary ammonium compounds [M]//MORIARTY T F, ZAAT S A J, BUSSCHER H J. Biomaterials Associated Infection. New York; Springer, 2013:379-404.
- [16] 何源, 徐成书, 师文钊. 织物抗菌整理研究进展[J]. 印染, 2013, 39(16):50-54.
- HE Yuan, XU Chengshu, SHI Wenzhao. Research progress in antimicrobial finish of textiles [J]. Dyeing and Finishing, 2013, 39(16):50-54. (in Chinese)
- [17] 叶金兴. 织物抗菌整理的最新进展[J]. 现代纺织技术, 2010, 18(6):59-63.
- YE Jinxing. Latest progress in antibacterial finishing of textiles [J]. Advanced Textile Technology, 2010, 18(6):59-63. (in Chinese)
- [18] 陈仕国, 郭玉娟, 陈少军, 等. 纺织品抗菌整理剂研究进展[J]. 材料导报, 2012, 26(7):89-94.
- CHEN Shiguo, GUO Yujuan, CHEN Shaojun, et al. Progress in antibacterial finishing agents for textiles [J]. Materials Review, 2012, 26(7):89-94. (in Chinese)
- [19] GAO Y, CRANSTON R. Recent advances in antimicrobial treatment of textiles [J]. Textiles Research Journal, 2008, 78(1):60-72.
- [20] 王留阳, 顾利霞. 卤胺化合物在制备抗菌纤维中的应用[J]. 上海纺织科技, 2005, 33(1):25-26.
- WANG Liuyang, GU Lixia. Application of hadegen amide compound in the preparation of anti-bacterial fiber [J]. Shanghai Textile Science and Technology, 2005, 33(1):25-26. (in Chinese)
- [21] SUN G, XU X J. Durable and regenerable antibacterial finishing of fabrics: biocidal properties [J]. Textile Chemist and Colorist, 1998, 30(6):26-30.
- [22] LI S. Method of retaining antimicrobial properties on a halamine-treated textile substrate while simultaneously reducing deleterious odor and skin irritation effects: US6576154 [P]. 2003-06-10.
- [23] REN X H, KOCER H B, WORLEY S D, et al. Rechargeable biocidal cellulose: Synthesis and application of 3-(2,3-dihydroxypropyl)-5,5-dimethylimidazolidine-2,4-dione [J]. Carbohydrate Polymers, 2009, 75(4):683-687.
- [24] SIMONCIC B, TOMSIC B. Structures of novel antimicrobial agents for textiles-A review [J]. Textile Research Journal, 2010, 80(16):1721-1737.
- [25] PAYNE J D. Antimicrobial treatment of textile materials: US5700742 [P]. 1997-12-23.
- [26] 刘耀斌, 李彦锋, 拜永孝. 高聚物抗菌材料的研究现状及展望[J]. 材料导报, 2010, 24(13):123-127.
- LIU Yaobin, LI Yanfeng, BAI Yongxiao. Research status and prospect of polymeric antimicrobial material [J]. Materials Review, 2010, 24(13):123-127. (in Chinese)

- [27] 方涛,赵建平,储呈平. 中草药在纺织品中的抗菌整理应用[J]. 印染助剂,2007,24(5):6-8.
FANG Tao,ZHAO Jianping,CHU Chengping. Application of Chinese herbal medicine in textile anti-bacterial finishing[J]. Textile Auxiliaries,2007,24(5):6-8. (in Chinese)
- [28] 甄志超,胡燕,李朝顺,等. 抗菌纺织品的发展[J]. 新材料产业,2009(7):28-31.
ZHEN Zhichao,HU Yan,LI Chaoshun,et al. Development of antibacterial textiles[J]. Advanced Materials Industry,2009(7):28-31. (in Chinese)
- [29] 张正君. 纳米二氧化钛用于织物的抗菌整理[D]. 天津:天津工业大学,2008.
- [30] SHEN Y,LU Y H,YU X L,et al. Effect of temperature on characteristics of rare earth-doped magneto-optical glass in optical current transducer application[J]. Optik-International Journal for Light and Electron Optics,2015,126(23):3589-3593.
- [31] YIN R X,HUANG Y Q,HUANG C J,et al. Preparation and characterization of novel gelatin/cerium(III) fiber with antibacterial activity[J]. Materials Letters,2009,63(15):1335-1337.
- [32] 武晓伟,施亦东,陈衍夏,等. 稀土纳米 TiO_2 在棉织物上的抗菌性能[J]. 印染,2007,33(6):11-13.
WU Xiaowei,SHI Yidong,CHEN Yanxia,et al. Antibacterial activity of nano- TiO_2 in term ingled rare earth element in cotton fabric[J]. Dyeing and Finishing,2007,33(6):11-13. (in Chinese)
- [33] 管映映,刘晓霞. 智能及新型抗菌材料在纺织领域中的应用[J]. 上海纺织科技,2017,45(3):1-5.
GUAN Yiyi,LIU Xiaoxia. Application of intelligent and noval antibacterial materials in the textiles field[J]. Shanghai Textile Science and Technology,2017,45(3):1-5. (in Chinese)
- [34] 李婉迪. 纳米 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ /氧化石墨烯复合涂层涤棉织物的制备及性能研究[D]. 上海:东华大学,2016.
- [35] CHEN S G,CHEN S J,JIANG S,et al. Environmentally friendly antibacterial cotton textiles finished with siloxane sulfopropylbetaine[J]. ACS Applied Materials and Interfaces,2011,3(4):1154-1162.
- [36] 赵晓伟. 纺织品抗菌性能的测试标准[J]. 印染,2013,39(15):36-39,42.
ZHAO Xiaowei. Testing standards for antibacterial activity of textiles[J]. Dyeing and Finishing,2013,39(15):36-39,42. (in Chinese)
- [37] 计芬芬,顾珍,谭玉静,等. 纺织品抗菌性能的改良振荡法测定[J]. 印染,2012,38(15):40-43.
JI Fenfen,GU Zhen,TAN Yujing,et al. Antibacterial evaluation of textiles with improved shake flask method[J]. Dyeing and Finishing,2012,38(15):40-43. (in Chinese)
- (责任编辑:沈天琦,邢宝妹)