

Abstract

With the development of science and improvement of living, people are not satisfied with the basic property of textiles such as protecting them from bad environment. Recently, people pay more attention on functional textiles' development and research with constantly emergence of new technology and new materials. As a high-performance functional fiber, silver-coated fiber has attracted people's attention with its unique functions such as anti-bacteria and anti-odor, anti-electromagnetic radiation, anti-static and thermal regulation. Now silver-coated fiber has been applied to functional textiles and it has broad prospects.

In this study, multifunctional fabric with properties of anti-bacteria, anti-radiation and anti-static is designed using silver-coated fiber. And properties of multifunctional fabric are researched. The innovative point of the study is designing and weaving multifunctional yarns and fabric with silver-coated fiber. It is found that fabrics containing more silver-coated fiber, the better antistatic properties are. Small percentage of silver-coated fiber, around 0.231%, is enough for the antistatic property of working wears according with the regulation of national standard. Only forming closed shielding mesh silver-coated fiber fabric has shielding property. And fabric density has significant effect on fabric's shielding property. The higher fabric density, the better shielding property is. But higher fabric density is meaningless. Content of silver-coated fiber has great effect on fabric's antibacterial property. Fabric containing more silver-coated fiber, the better antibacterial properties is. Small percentage of silver-coated fiber, about 2%, is enough for the antibacterial property.

Keywords: silver-coated fiber; conductive property; antistatic property; shielding property; antibacterial property



Y1734364

目录

第一章 综述	1
1.1 纺织品抗静电技术的研究现状	1
1.2 防电磁辐射纺织品的研究现状及发展趋势	2
1.2.1 国外防电磁辐射纺织品的研究现状	2
1.2.2 国内防辐射纺织品的研究现状	3
1.3 导电纤维	3
1.3.1 导电纤维的分类	3
1.3.2 导电纤维的研究现状	4
1.4 抗菌纺织品的研究现状及发展趋势	5
1.4.1 国外抗菌纺织品的研究现状	5
1.4.2 国内抗菌纺织品的发展状况	6
1.4.3 银作为抗菌材料的发展历史	7
1.5 本课题研究的意义及内容	8
1.5.1 本课题研究的主要意义	8
1.5.2 本课题研究的主要内容	9
第二章 镀银纤维形态及导电性能研究	10
2.1 金属化纺织材料的制备技术	10
2.1.1 涂层、真空镀膜和磁控溅射法	10
2.1.2 化学镀	10
2.1.3 等离子法	11
2.2 镀银纤维的现有品种	11
2.3 镀银长丝的结构与性能实验	12
2.3.1 实验材料及仪器	12
2.3.2 实验内容	12
2.4 实验结果与讨论	13
2.4.1 镀银长丝的形态结构观察	13
2.4.2 镀银长丝的拉伸性能	14

2.4.3 镀银长丝的导电性	15
2.4.4 镀银长丝的耐久性	16
2.5 本章结论	17
第三章 镀银纤维织物的抗静电性能研究	18
3.1 静电的形成及危害	18
3.1.1 静电的形成	18
3.1.2 静电的危害	18
3.2 织物抗静电性能的评价方法	20
3.2.1 织物抗静电性能的基本指标	20
3.2.2 抗静电性能的测试标准及方法	21
3.3 镀银纤维混纺纱的纺制及纱线的结构、性能测试	22
3.3.1 实验原料	22
3.3.2 混纺比的选择	23
3.3.3 纺纱方案设计	23
3.3.4 纺纱工艺流程设计	23
3.3.5 各工序的工艺配置及技术关键	24
3.3.6 混纺纱的结构与性能测试	26
3.4 抗静电针织物的织造	27
3.5 织物的抗静电性能测试	27
3.5.1 织物表面比电阻的测试	27
3.5.2 织物电荷面密度的测试	28
3.6 本章结论	32
第四章 镀银纤维织物的防电磁辐射性能研究	33
4.1 电磁辐射基本概念	33
4.2 电磁辐射对人体的作用机理	34
4.3 抗电磁辐射织物的屏蔽原理	34
4.4 防电磁辐射的测试方法简介	36
4.5 表征织物防电磁辐射屏蔽性能的指标	36
4.6 防电磁辐射面料的编织	37

4.6.1 实验材料及仪器.....	37
4.6.2 织物设计.....	37
4.7 电磁辐射屏蔽效能测试.....	38
4.8 测试结果与分析.....	38
4.8.1 电磁辐射屏蔽效能测试结果.....	38
4.8.2 送纱量相同, 添纱不同的织物的电磁屏蔽效能分析.....	40
4.8.3 送纱量不同, 添纱相同的织物的电磁屏蔽效能分析.....	40
4.9 本章小结.....	42
第五章 镀银纤维织物的抑菌性实验.....	43
5.1 皮肤和纺织品上的常见致病菌.....	43
5.2 纺织品抗菌性能测试方法及标准.....	44
5.3 银的抗菌机理.....	45
5.4 织物的抑菌试验.....	45
5.4.1 试验材料、菌种、试剂及仪器.....	45
5.4.2 检测试样的准备.....	46
5.4.3 实验液的制备及实验方法.....	46
5.4.4 试样的抗菌效果计算.....	47
5.5 试验结果与分析.....	48
5.5.1 试验结果.....	48
5.5.2 结果数据分析.....	48
5.5.3 抑菌性能耐久性试验结果.....	49
5.6 本章结论.....	50
第六章 结论.....	51
参考文献.....	53
攻读学位期间的研究成果.....	56
致谢.....	57
学位论文独创性声明.....	58
学位论文知识产权权属声明.....	58

第一章 综述

1.1 纺织品抗静电技术的研究现状

化学纤维自30年代问世以来,以其许多天然纤维无法比拟的优良性能,如弹性好、强度高、耐磨损、耐腐蚀、不怕虫蛀等,得到了迅速发展,广泛应用于各个领域,特别是差别化纤维的研究开发,近年来更是引人注目。但是合成纤维的回潮率普遍较低,其电阻率有的高达 $10^{14} \Omega \cdot \text{cm} \sim 10^{15} \Omega \cdot \text{cm}$,电荷积聚现象更加显著^{[1][2]}。

自合成纤维得到广泛应用、高精密仪器制造和电子的发展,合成纤维在加工和使用中的静电问题和高技术工业发展促进了纺织材料抗静电技术的发展。从纺织材料抗静电技术的方法和思路来看,一方面是降低纤维和织物的摩擦程度,控制静电荷的产生;另一方面是提高纤维或织物的导电性能,以加快静电荷的泄漏。由于在加工和使用中的摩擦现象不可避免,故后者成为实际可行的技术思路^[3]。从纺织加工的角度来看,可以采用抗静电纤维、导电纤维与普通纤维的混纺、交编、交织或嵌织的方法提高纤维集合体的导电能力,克服静电干扰。从材料学的角度来看,纺织品抗静电技术的关键在于低阻、长效、普适的新型导电纤维的研制和应用技术研究^[4]。

从20世纪50年代后期,国外就开始了抗静电纺织品技术的研究,60-70年代,日本,德国,美国等工业发达国家陆续提出了对抗静电纺织品及服装的要求,80年代以后,国内外对抗静电纺织品展开了系统的研究,所采取的工艺技术途径,归纳起来主要有以下三种类型。

(1)使用抗静电整理剂对织物进行后整理

抗静电剂是抑制电气绝缘性能好的材料表面产生的静电荷或消除已积累的静电量所使用的物质的总称。使用抗静电整理剂后,织物表面形成的活性剂分子中的亲水端吸附空气中的水分子,从而在织物的表面形成一层薄薄的水膜,可降低织物的表面电阻,加速电荷的逸散,从而达到抗静电的效果。但是抗静电效果的耐久性差,并且受大气环境的影响大^{[5][6][7][8]}。

(2)提高合成纤维的吸湿性能

提高纤维的吸湿性能的方法主要有^{[9][10]}:

A 共聚：在疏水性合成纤维大分子主链上引入亲水性、导电性的成分。

B 共混：在聚合和纺丝时，将聚合物或其切片与抗静电成分混合纺丝。

C 复合纺丝：这种方法在改善合成纤维为其他性能的同时，也能改进合成纤维的抗静电性能。如以聚酯为芯、混有聚乙二醇的聚酰胺为皮制成涤纶复合纤维，不仅抗静电性能好，而且手感、耐磨性、吸湿性等都有所改善。

D 接枝共聚：在纤维的大分子主链上接上有吸水性官能团的侧链，从而提高纤维的抗静电性能。

(3)在织物中加入导电纤维^{[9][10][11]}

在织物中加入导电纤维是最有效的抗静电方法。当织物中含有导电纤维时，降低了织物的表面比电阻，因而有了防静电性能。这种导电性主要是基于自由电子的移动，不依靠吸湿和离子的转移。导电纤维消除静电的主要原理是基于电荷的泄露和中和原理。当接地的时候，织物上的静电除因导电纤维的电晕放电被中和之外，还可经由导电纤维向大地泄放；在不接地时，主要是借助导电微弱的电晕放电而耗电。

使用导电纤维与普通纤维混纺、混纤、交并、交织是防止纺织品带电的最有效的方法，并且混合比例一般在5%以下即有防静电功能。由于导电纤维有易混合、耐摩擦等物理性能，并有洗涤、染色、紫外线照射后性能稳定、可靠等特点，特别是它有高度安全性，比金属纤维有更高的电阻，即使在接触到高压后，也能降低触电的危险，所以其使用领域非常广泛^{[12][13]}。

因此，在纺织品中嵌入导电成分是在保证原有性能基础上，提高产品抗静电性能的最有效途径。用导电纤维进行纺织品的抗静电加工，是抗静电效果耐久、综合性能好的新材料、新方法。

1.2 防电磁辐射纺织品的研究现状及发展趋势

1.2.1 国外防电磁辐射纺织品的研究现状

英国、日本、加拿大、瑞典、美国、德国、法国、韩国等发达国家从20世纪30年代就开始进行特种防护服装与织物的研究。60年代国际上制定出电磁辐射防护标准后，电磁辐射屏蔽材料随之出现。最早的防护材料是金属丝和天然纤维混编织物，其后出现了金属纤维混纺织物、电镀织物、化学镀膜织物等^{[14][16]}。

到了80年代,美国北美航空公司研制成功防止雷达探测被发现的防护衣和头盔,这种防护衣与头盔由微波吸收材料制作,适用于防护电磁辐射。日本等国研究开发了不锈钢软化纤维与植物纤维混纺织成的屏蔽织物,用在微波防护上,比如雷达防护服等。80年代后期到90年代初期,英国、法国、德国、瑞典、美国、中国台湾等国家和地区,为防止家电的辐射危害,诸如微波炉、电磁灶、电脑、电热毯、吸尘器等对人体特别是孕妇与儿童的影响,掀起了主妇穿屏蔽围裙、屏蔽大褂以及青少年穿屏蔽马甲、屏蔽西服的热潮。从此防电磁辐射屏蔽服装的研究和开发逐渐走进家庭,成为民用服装防护的发展趋势^{[14][15]}。

20世纪90年代,日本、韩国又开始了导电纤维的开发研究工作,并将这些导电纤维应用到服装中。到了90年代中期,日本率先研制成功金属纤维,这种金属纤维是在普通织物纤维基础上进行硫化铜处理,使其具有抗静电、防电磁辐射作用^[17]。

1.2.2 国内防辐射纺织品的研究现状

我国对防电磁辐射材料和防护服的研究和开发起步较晚。20世纪60年代初才开始研究电磁辐射防护服,70年代开始正式生产铜丝与柞蚕丝混纺布制成的屏蔽织物。进入80年代后期,一些科研单位和企业随着国际防电磁辐射材料和服装的发展,相继开展了金属化纤维防护织物的研究,并研制成功了不锈钢软化纤维织物与服装、特殊工艺镀膜屏蔽织物与服装^{[16][17]}。

进入20世纪90年代,由于我国电子和通讯事业的迅猛发展,电磁危害日益严重,一些较成熟的防电磁辐射产品问世,如北京天盾苑科技发展有限公司开发的电磁屏蔽织物与导电纤维等多种防辐射产品和系列防护服装,北京新时康经济发展公司的“护胎宝”围裙、丹东特种工业用绸分厂、保定三源纺织研究所的屏蔽服装等^{[17][18]}。

到目前为止,国内外都在研究有关电磁辐射防护问题,为减少和避免电磁辐射对人体造成的危害,电磁屏蔽织物的需求将会越来越大。

1.3 导电纤维

导电纤维是指在标准状态下,比电阻在 $10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下的纤维^[19]。

1.3.1 导电纤维的分类

(1) 金属化合物型导电纤维:主要采用复合纺丝法将高浓度的导电微粒局部混

入纤维中制取。黑系导电微粒用炭黑，白系用金属氧化物^[20]。

(2) 金属系导电纤维：这类纤维利用金属的导电性能而制得的。主要方法有直接拉丝法，即将金属线反复通过模具进行拉伸，制成直径 4~16 μm 的纤维^[20]。

(3) 炭黑系导电纤维：利用碳黑的导电性能来制造导电纤维，主要有三种方法：第一种是掺杂法：将炭黑与成纤物质混合后纺丝，炭黑在纤维中成连续相结构，赋予纤维导电性能。这种方法一般采用皮芯复合纺丝法，既不影响纤维原有的物理性能，又使纤维具有了导电性。第二种是涂层法：涂层法是在普通纤维表面涂上炭黑。涂层方法可以采用粘合剂将炭黑粘合在纤维表面，或者直接将纤维表面快速软化、并与炭黑粘合。这种方法的缺点是炭黑容易脱落，手感亦不好，炭黑在纤维表面不易均匀分布。第三种是纤维炭化处理：有些纤维，如聚丙烯腈纤维、纤维素纤维、沥青系纤维等，经炭化处理后，纤维的主链主要为碳原子，从而使纤维具有导电能力^[20]。

(4) 导电高分子型纤维：利用导电高聚物制备导电纤维的主要方法有两种：第一种是用导电高分子材料直接纺丝。第二种是后整理法，在普通纤维的表面进行化学反应，让导电高分子吸附在纤维的表面，使普通纤维具有导电性^[20]。

1.3.2 导电纤维的研究现状

最早的导电纤维是美国 Brunswick 公司的不锈钢纤维。这种纤维虽然具有优良的耐热、耐化学腐蚀性，柔软性、纤度也能接近一般的纤维，但是纤维间抱合困难，扭曲和手感不良，这在一定程度上限制了它的纺织加工方法和用途^{[21][48]}。

长期以来，人们做了大量的研究，希望能制成广泛、多样化的纤维制品，使其既具有导电性又具有一般纺织纤维所具有的性能。1975 年，杜邦公司开发出了用于地毯的导电性复合的尼龙 BCF 纤维，在地毯生产中成功的得到了应用。其后，各大化纤公司就开始研究以炭黑为导电成分的复合纤维。当时主要的导电纤维有钟纺公司开发的锦纶导电纤维，东洋纺织公司开发的 KE-9 导电纤维，孟山都公司研制的 Utron 导电纤维等。由于炭黑的原因，这些纤维通常为黑色，使应用范围受到影响^{[22][23][24][48]}。

后来，研制导电纤维普遍采用的方法是用铜、银、镍和镉等金属的硫化物、碘化物或者是氧化物与普通高聚物共混或复合纺丝。如帝人公司制成的表面含有 CuI 的导电纤维 T-25，钟纺公司制成 ZnO₂ 导电纤维等。这些导电纤维为白色纤维，其应用不会受到颜色的影响，但是导电性能比炭黑复合型导电纤维差^{[23][24][48]}。

国内对导电纤维的研究比较晚。80 年代才开始生产金属纤维和碳纤维，复合型

导电纤维这一类别只限于生产炭黑复合型导电纤维。近年来，国内各高校及科研机构也成功开发了多种有机导电纤维。如 PET 导电纤维，CuI 导电的腈纶导电纤维等^{[24][46]}。

1.4 抗菌纺织品的研究现状及发展趋势

在人类生活的环境中生息着各种各样的微生物，我们日常所使用的各种纺织品，如内衣裤、鞋袜等，都是微生物滋生繁衍的适宜场所。它们在人体适宜环境中迅速繁殖，不仅会使纤维制品变色、发霉、脆化降解，还会通过接触传播疾病，影响着人们的身心健康^[26]。

随着全球工业的迅速发展和人民生活水平的不断提高，人们的卫生保健意识日益增强，抗菌问题越来越引起世界各国的重视，积极开发具有抗菌防臭保健纺织品将会成为二十一世纪人们所需求的高级纺织品之一。

1.4.1 国外抗菌纺织品的研究现状

抗菌织物是从抗菌整理技术中发展起来的。早在四千多年前，人类就有使用抗菌织物的实例，古埃及人采用药用植物处理裹尸布就是最好的见证。现代抗菌纤维的研究开端以1935年Domag报告为标志，报告中用季氨盐处理后的织物有抗菌性；到第二次世界大战时，抗菌军服被德军推上了战场，伤口受到二次感染的程度明显减轻。其后，美国、日本等国家先后投入大量资金和人力，进行抗菌整理技术的研究和开发。抗菌织物的发展，大致经历了以下几个发展阶段^{[25][26][27][28][29]}：

第一阶段为1955~1965年，这是抗菌织物发展的孕育时期。当时，很多人认识到织物抗菌的可行性和使用价值，积极参与研究开发工作。

第二阶段为1955~1965年，这一阶段的前期只要是追求抗菌效果，当时的抗菌剂主要有有机汞、有机锡、有机铜、有机锌以及一些含硫化合物，用量少但抗菌效果显著。后半时期，人们发现部分有机金属化合物对人体的细胞和组织有毒害作用，会引起皮肤斑疹和炎症，因此抗菌剂的安全性引起了人们的关注。日本于1973年制定了关于家庭用品含有害物质的规定，并实施抗菌物品安全性检验，停止使用有机汞等有害性物质。在这一阶段内，主要是针对抗菌性和安全性的矛盾，加紧开发安全性抗菌剂。

70年代以来，欧美和日本等国家和地区大力进行抗菌织物的研究，相继开发出各类金属化合物、苯酚类、有机硅季铵盐类以及一系列脲类、胍类、含氮杂环类、

含硫化合物等抗菌剂，并推出各类整理织物。80年代初，已有生产抗菌织物的企业29家。1984年2月，为加强抗菌织物市场管理，日本成立了纤维制品卫生整理协议会(SEK)，统一规定了专业术语、评价方法和评价标准，对抗菌防臭制品授予专门的SEK标志，使抗菌织物得到健康的发展。

80年代初，抗菌纤维因其抗菌性、耐久性、安全性和服用性好，而受到社会的推崇。抗菌织物的发展进入了一个新阶段，即抗菌纤维阶段。1982年，日本市场上出现了抗菌纤维。到80年代中后期，不仅日本纺织企业积极开发抗菌纤维，欧美及一些发展中国家也参与到这一行列中。日本以钟纺公司最为活跃。1987年，英国考陶尔兹公司采用物理改性技术，将硝酸银、氯化铜等抗菌剂溶液渗入腈纶纤维微孔中，开发出考陶尔克M抗菌纤维。法国阿合威尔公司在氯乙烯均聚物中掺入含氯物质纺得的抗菌纤维，及美国迈恩公司开发的拜阿克利尔抗菌纤维也很有名。

80年代末，抗菌纤维的开发进入高潮，涌现出大量抗菌纤维专利，抗菌纤维的产品不断增加。主要有：帝人公司将含银抗菌剂分别掺入尼龙纤维和聚酯纤维，开发出萨尼达-30和萨依奈克斯BO；旭化成工业公司分别将硫磺胶体掺入粘胶纤维和改变铜氨纤维的组分，纺出K纤维和BCY纤维；意大利Montefibre公司以硅钛酸盐沸石制取抗菌聚丙烯腈纤维；德国Trevira公司采用Microban公司的抗菌剂研制出抗菌醋酸纤维及尤尼吉可公司将氯化镁复合陶瓷纺入聚酯纤维所得抗菌短纤维波尔发也先后问世。

90年代起，含天然抗菌添加剂如壳聚糖等的纤维开始发展，但它对整理方法有很多限制，且来源有限，所以用途也有限。

1.4.2 国内抗菌纺织品的发展状况

我国对抗菌纺织品的研究起步较晚，是近一、二十年的事，抗菌整理剂多为仿国外产品，抗菌纤维的研制更是少之又少。国内抗菌防臭纺织品发展状况大体为[27][28][29]：

1982年中国医科院皮肤病研究所生产出“806”防脚癣加工剂；1984年上海树脂厂试制出仿DC-5700的SAQ-1整理剂；1985年山东大学与山东省纺科所联合试制出STV-AMI01整理剂；广西化纤研究所采用对羟基苯甲酸乙酯、丁酯拼用制成CG-1抗菌剂。

1986年，山东菏泽印染厂配制HP-1水溶性协同抗菌剂，能与纤维生成络合物，抗菌性能达到美国DC-5700水平。北京印染厂采用军事医科院微生物流行病学研究所

的抗癬药ME 8605(四环素族抗生素加交链树脂)生产衬裤,当年通过鉴定,获纺织部三大支柱新产品创新一等奖。

1988年,山东海洋大学研制出 α -溴代肉桂醛,用于胶鞋;沙市袜厂采用咪唑类抗菌剂处理袜子。

1989年,中国纺织大学推出腈纶织物防菌产品称为AB布,获16届日内瓦国际发明金牌奖,但产品因抗菌剂为 CuSO_4 ;与碱性绿-4的复合物而带有特定的蓝绿色。

1990年山东纺织工学院研制出SFR-1羟基氯代二苯醚非离子卫生整理剂。雅芳床单厂用该助剂拼用2D树脂加工床单。中国纺织大学也研制出这类产品。山东巨龙化工有限公司推出抗菌防臭剂SC-875、SCK-963、SCJ-963等。

上海石化实验厂采用共混改性方法,选用有机抗菌剂MA及其它辅助材料熔纺制得抗菌丙纶短纤;江苏纺织研究所在聚酯高聚物中混入含银、锌等金属离子抗菌粉末后熔融纺丝而得KJ-96抗菌防臭涤纶短纤维。

1994年深圳北岳海威化工公司研制开发出新型非溶出型抗菌剂WS-8810,抗菌性能超过DC-5700。

天津石化研究所选用含银沸石为抗菌剂,研制出抗菌防臭涤纶纤维。上海合成纤维研究所将有机抗菌剂与聚酯共混纺得抗菌涤纶。

1.4.3 银作为抗菌材料的发展历史

从古代地中海时代到古亚洲文化时代,就已经利用了银的杀菌性,但当时人们还没有认识到而已。银自古以来就被用来加速伤口愈合、治疗感染、净化水和保存饮料。古时候,有钱人就用银器存放食物,防止细菌生长;古代马其顿人用银片覆盖伤口来加速伤口的愈合;波斯之王Cyrus用银器盛煮沸的水,有四轮车运送,跟随他到任何地方;古代腓基尼人用银器来生水、酒、醋等液体,来保持液体新鲜;古代地中海人把银币放入木水桶中,来阻止细菌海藻等腐败微生物的生长^[30]。

在19世纪90年代,Naegeli报道了当银离子浓度在 10^{-7} 时能杀死清水中的藻类生物,当银离子浓度在 6×10^{-5} 时能阻止黑曲霉菌的生长。但是当时新抗生素的应用在一定程度上削弱了银在卫生领域的应用。随着细菌对抗生素的抵抗力变得越来越普遍,银的抗菌作用得到了新的认识^[30]。

20世纪60年代,美国华盛顿大学的Carl Moyer博士在伤口上使用硝酸银溶液、磺胺嘧啶银乳液以及单质银或银离子浸泡过的棉纱布后发现含银敷料对治疗伤口的

细菌感染非常有效。在随后的研究中, Deitch 等发现镀银锦纶对金黄色葡萄球菌、绿脓杆菌、白色念珠菌等伤口上常见的细菌有良好的杀菌作用。在最近的几年里, 银离子被证明对细菌、真菌、病毒等具有活性。它可以被加入乳液, 也可以被加入到纤维、薄膜等材料中, 加工成抗菌产品^[30]。

1.5 本课题研究的意义及内容

1.5.1 本课题研究的主要意义

(1)随着工业生产的高速发展合成纤维、塑料材料的迅速推广, 以及轻质油品、电火工品、橡胶等电绝缘性高分子固态电子器件等静电敏感性材料的生产和使用, 使静电的危害日益突出, 因静电造成的事故日益增多。

(2)科学技术的迅速发展, 各种电子产品、设备、仪器和家用电器层出不穷, 它们在使用过程中都会产生不同波长和不同频率的电磁波, 而这些电磁波的脉冲辐射可引起心血管系统、内分泌系统、神经系统和免疫系统的功能失常, 特别是对人们的大脑系统有较大的伤害作用。而屏蔽对电磁波具有良好的遮挡作用, 是预防电磁波辐射对人体伤害简单而实用的方法。

(3)随着全球工业的迅速发展和人民生活水平的不断提高, 人们越来越重视纺织品的卫生性能, 并且追求者生活环境的情节与舒适。在人们的日常生活中, 各种各样的纺织品是病原菌在传播过程中直接或间接地媒介之一。因此, 使纺织品具有抗菌功能是其服用性能提高的重要手段, 这样不仅阻断了细菌传播和繁殖的途径, 也防止由细菌分解纺织品上的污物而产生的臭气。使用抗菌纺织品无论是从预防疾病的角度, 还是从倡导健康生活方式的角度来讲, 都是一种理想的选择。

(4)镀银纤维作为一种高性能功能纤维, 其独特的抗菌除臭、防电磁波辐射、抗静电、调节体温等功能受人瞩目^[31]。镀银纤维集多种优异功能于一体, 已成为当代功能纤维研究及应用新的热点, 拥有广阔的应用前景。在高附加值纺织品越加被重视的今天, 这种多功能材料也将会成为推动纺织业发展的新的经济增长点, 也可以为我国纺织面料与服装行业的发展拓展新的空间。不仅具有巨大的社会效益和经济效益, 而且是纺织原料与服饰服装行业高新技术研究的一项重大突破。随着我国经济实力的迅速发展, 对镀银纤维的需求必将与日俱增。加快对镀银纤维进行产品开发, 即能促进我国银纤维规模化生产又有利于我国纺织服装、军事、医疗、高科技工业和体育运动等行业的发展, 提高我国的综合国力。

1.5.2 本课题研究的主要内容

本课题的主要研究内容是利用镀银纤维织成具有集抗静电、防电磁辐射及抑菌性多种功能于一身的纺织品，并对其性能进行探讨和研究，其中利用镀银纤维进行多功能纱线及织物结构设计与制备技术是本文的创新点。根据织物抗静电和防辐射功能机理，通过优化不同功能纤维原料的配比，有效控制不同功能原料于纱线和织物中的分布是本论文探讨的重点。研究的具体内容包括以下几个方面：

(1) 镀银纤维的物化性能研究；

(2) 纤维原料选配及纱线结构设计成形；合理选择纤维原料，对选取的原料优化设计配比，并进行纱线结构设计，使不同纤维原料最大程度发挥其效用。

(3) 织物结构设计与织造技术；设计科学合理的织物结构，最大限度的确保织物的功能性，同时减少功能纤维的用量，降低生产成本。

(4) 研究织物抗静电性、防辐射性、抑菌性以及织物结构、镀银纤维含量对三种性能的影响。

第二章 镀银纤维形态及导电性能研究

金属镀层纤维就是将金属以分子或原子状态覆盖在服用纤维表面，在化学纤维表面沉积厚 $0.02\sim 2.5\mu\text{m}$ 的金属层，纤维的电阻率为 $10^2\sim 10^4\Omega\cdot\text{cm}$ 的表面金属化的纤维^[32]。

2.1 金属化纺织材料的制备技术

美国、以色列、德国早在 20 世纪就展开了在纺织材料上镀铜、镍、银等金属的研究，并开发出了相关产品。此后日本、俄罗斯、中国也相继开始了这方面的研发，现已有许多相关专利。目前，纺织材料外镀金属技术^{[33][34][36][36][37][38]}主要分为以下 3 类：

2.1.1 涂层、真空镀膜和磁控溅射法

(1) 涂层法

涂层法就是在涂层整理剂中添加一定的金属粉末。通常用的铝粉为片状，在涂层浆中的含量高达 60%。经过涂层后，织物表面会产生铝的光泽。

(2) 真空镀膜

真空镀膜就是在真空条件下由粒子辐射产生的金属粒子射向织物的表面，在织物的表面形成均匀的金属膜。它不但能导电还能保持纺织品的原有风格。

(3) 磁控溅射法

磁控溅射是溅射镀膜法的一种。它是利用电子在电场中的运动与氩原子发生碰撞，从而电离出大量的氩离子和电子。氩原子在电场的作用下加速轰击靶材，溅射出大量的靶材原子，呈中性的靶原子沉积在基底材料上成膜。这样形成的薄膜结构均匀、致密、性能优良，并且与基底材料附着力好。

2.1.2 化学镀

目前，纺织材料的化学镀以镀铜、镀镍和镀银为主。化学镀是将织物置于金属盐的水溶液中，加还原剂使金属析出镀在材料的表面。化学镀织物手感柔软、透气

性好、废水较少。研究结果证明,镍是确证致癌物,铜的特定络合物可致癌。此外,铜、镍可能会引起皮肤过敏。因此,镀铜、镀镍纤维的面料虽具有较好的电磁辐射屏蔽效果,但不适宜直接用作防护服装,特别是防护内衣的面料。镀银纤维织成的织物质地轻薄、柔软、透气、耐蚀,具有抗菌除臭、防电磁辐射、抗静电、调节体温等功能,在频率 0.15 MHz~20 GHz 范围内的屏蔽效能达到 60 dB 以上,现已应用于内衣、家用纺织品、特种服装及医疗、体育、部队装备等领域。

2.1.3 等离子法

等离子体束溅射镀膜法组合了溅射镀膜和等离子体发生技术。等离子体对纺织材料进行表面改性,可在纺织基材的表面产生刻蚀作用,这样可提高膜与基材的结合牢度,获得均匀性、致密优良的金属膜。

2.2 镀银纤维的现有品种

美国诺贝尔纤维科技公司的X-Static是世界上最大的镀银纤维品牌。其最初采用的是化学镀技术,即在聚酰胺纤维表面镀一层纯银。另外Nobel公司的姊妹公司Sauquoil也开发一种叫Contax的镀银纤维^[31]。

日本对镀银纤维的研究也非常活跃。1999年TOYOSHIMA&Co.Ltd开发出商标名为 μ -func的镀银聚酯纤维。它是在透明的聚酯薄膜(厚度 $9\mu\text{m}$)上作纯银镀膜(厚度约 $0.1\mu\text{m}$),镀膜上再覆盖一层同厚度的聚酯膜,然后将其切成 $230\mu\text{m}$ 或 $150\mu\text{m}$ 宽的细条丝而成。其后,在于2001年三菱材料公司开发制造出名为AGposs的镀银聚酯纤维,纤维直径为 $15\sim 25\mu\text{m}$,银的厚度为 $0.1\mu\text{m}$ ^[39]。

我国丽丝特纤维有限公司自行研制了镀银纤维,并于2004年申请了发明专利^[31]。它是采用多靶磁控溅射柔性镀膜技术和复合电镀技术在涤纶或锦纶上镀银。它是基于化纤基材不导电的性质,先采用真空镀的方式,在纤维表面溅镀一层银膜,再采用电镀的方法镀银。这种工艺具有镀膜均匀、附着力强、耐洗等优点^{[40][41]}。

随着镀银纤维逐步应用在内衣、家纺、特种服装、医疗、体育、部队装备等领域,特别是在贴身穿用纺织品上,又有替代镀镍、镀铜纤维的发展趋势国内市场对镀银纤维的需求必将越来越大^[31]。而当前国内的技术工艺多处在试验阶段大多企业还不具备批量生产镀银纤维的条件,所急需的镀银纤维及织物还要批量进口。

目前,国内少有的几家生产镀银纤维的工厂大多是采用的化学镀银工艺。生产效率低、成本高、污染严重生产过程中受到环保部门的严格限制。而国外对镀银纤

维生产工艺技术又相对保密。所以市场上虽有镀银纤维出现,但其质量水平及规模化生产无法满足社会需求。

2.3 镀银长丝的结构与性能实验

2.3.1 实验材料及仪器

实验材料为锦纶长丝,锦纶基镀银长丝。

实验仪器为 INSRRON-5566 万能强力机,UT-55 标准型数字万用电表(仪器量程为 0~200M Ω),LCK-23A 纱线耐磨性能测定仪,YG321 型纤维比电阻试验仪,JSM-6390LV 型扫描电子显微镜(日本电子株式会社),Y-172 型纤维切片器,恒温烘箱,电子天平,显微镜。

2.3.2 实验内容

(1) 镀银长丝的形态结构观察

纵向形态:将纤维尽可能平行的在粘有导电胶的玻璃片上固定。然后用扫描电镜进行观察分析。

横向形态:用 Y-172 型纤维切片器将材料进行切片,不加火棉胶,将一定大小的导电胶贴在切片器上,同长丝一起切下,然后用扫描电子显微镜对其截面形状进行观察。

(2) 镀银长丝的拉伸性能

利用 INSRRON-5566 万能强力机,根据国家标准 GB/T14344—2008 测试镀银长丝以及对应细度的锦纶的拉伸性能。试验长度为 500mm,拉伸速度为 500mm/min,试验温度为 20.2 $^{\circ}\text{C}$,湿度为 64.9%,测试结果为 30 次的平均值。

(3) 镀银长丝的导电性

测试仪器为 UT-55 标准型数字万用电表(仪器量程为 0~200M Ω)。用特制夹头夹取一定长度的镀银长丝,放电稳定后测量其电阻 $R(\Omega)$ 。体积比电阻 $\rho = RS / L$,其中, S 为测试纤维横截面积, cm^2 , L 为测试纤维长度, $\text{cm}^{[42]}$ 。测试条件为温度 20.9 $^{\circ}\text{C}$,相对湿度为 65%,测试结果为 10 次的平均值。另外,用 YG321 型纤维比电阻试验仪测试锦纶纤维的体积比电阻^[1],以便进行比较。

(4) 镀银长丝的耐久性

利用 LCK-23A 纱线耐磨性能测定仪使镀银长丝摩擦一定的次数, 然后测量摩擦后镀银长丝的表面电阻^[43]。测试条件为温度 20℃, 相对湿度为 64.2%, 测试结果为 10 次的平均值。

2.4 实验结果与讨论

2.4.1 镀银长丝的形态结构观察

锦纶长丝及镀银长丝的横截面形态如图 2.1 所示。从图 2.1a 和 2.1b 的对比中可以明显的看出, 镀银长丝的表面有一层发亮的物质, 即是镀银层。纤维表面镀层不存在脱离现象, 而是完全包覆在纤维表面, 厚度均匀, 表明镀层与基体的结合力好。镀银后纤维的横截面形状没有发生变化, 都是圆形的。表明镀层对纤维表面无大影响。

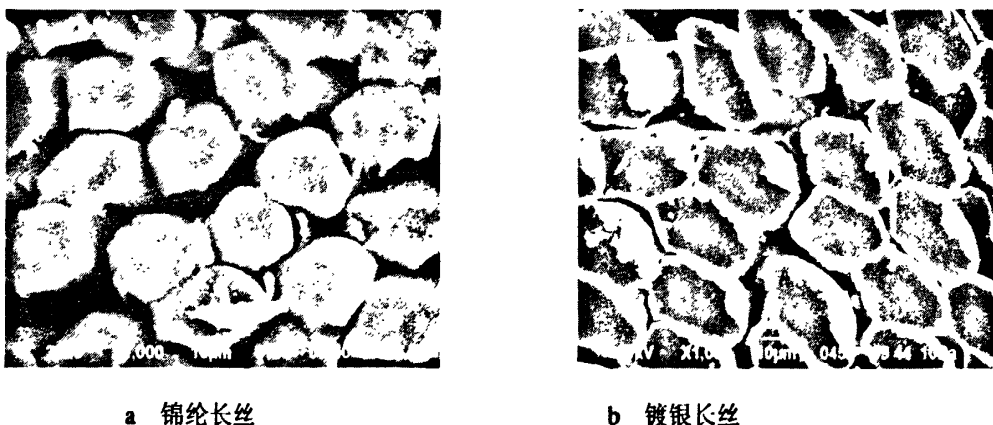


图 2.1 锦纶长丝和镀银长丝的横截面

锦纶长丝及镀银长丝的纵向形态如图 2.2 所示。从图 2.2a 和 2.2b 中可以看出锦纶长丝的表面非常的光滑。而从图 2.2b 中可以明显的看出, 镀银后长丝的表面较平滑光亮, 表面上不存在明显的颗粒状物质分布, 但有少量杂质吸附在纤维表面, 表明通过化学镀获得镀层的表面状态较好。

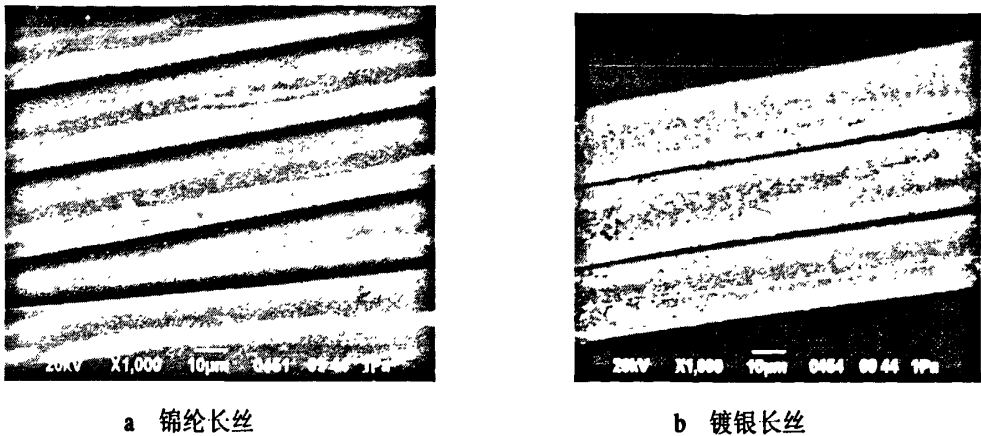


图 2.2 锦纶长丝和镀银长丝的纵向电镜照片

2.4.2 镀银长丝的拉伸性能

镀银长丝及对应锦纶长丝的拉伸性能如表 2.1 所示。

表 2.1 镀银长丝的拉伸性能

拉伸性能	镀银长丝		锦纶长丝	
	156dtex	44dtex	156dtex	44dtex
断裂强力/cN	526.461	136.246	585.864	166.239
断裂强度/(cN·tex ⁻¹)	33.748	30.965	37.555	37.782
断裂伸长/mm	142.365	126.395	127.569	102.563
断裂伸长率/%	28.473	25.279	25.514	20.513
初始模量/N·mm ⁻²	0.013	0.032	0.015	0.007

从表 2.1 中可以看出, 156dtex 和 44dtex 镀银长丝的断裂强比对应锦纶长丝的断裂强度要低, 而断裂伸长比对应锦纶长丝大。156dtex 镀银长丝跟锦纶长丝的初始模量相差不大, 而 44dtex 镀银长丝的初始模量比锦纶长丝的初始模量高。

镀银长丝及锦纶长丝的拉伸曲线如图 2.3 所示。

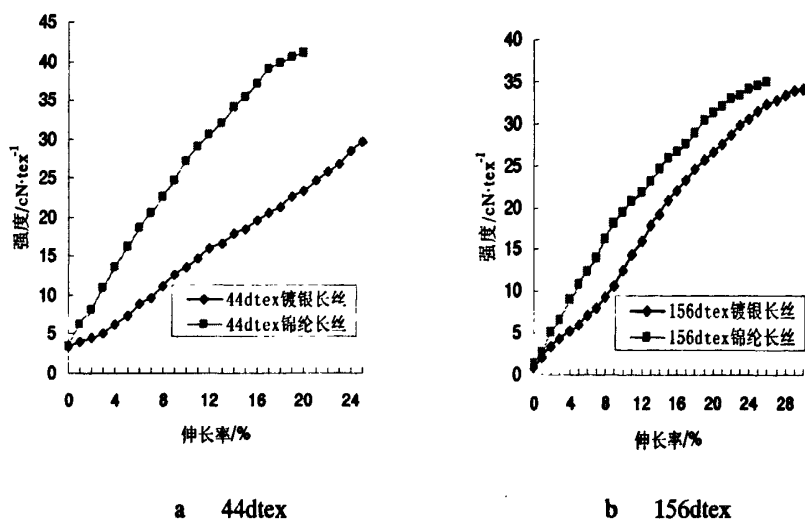


图 2.3 镀银长丝及锦纶长丝的拉伸曲线

从图 2.3a、图 2.3b 中可以看出, 镀银长丝拉伸曲线具有金属银和锦纶纤维拉伸特性, 金属银的伸长率比锦纶纤维的要小, 再由于锦纶镀银后, 纤维长丝被金属镀层固结, 所以在拉伸起始阶段, 主要是金属镀层承受外力作用, 遵守胡克定律, 拉伸曲线表现为线性。当拉力增加到一定时, 曲线突然下降又上升, 呈小凹口, 表明镀银层拉断, 然后锦纶长丝受拉力而继续伸长, 直至断裂。

2.4.3 镀银长丝的导电性

对于镀银导电纤维长丝, 在电子显微镜下观察, 其结构为皮芯结构, 导电组分即银镀层处于圆柱体的表层和基体组分即锦纶纤维主体, 而二者的导电性能有显著差异。因此, 镀银导电纤维长丝的导电性能采用单位长度(1cm)的电阻值来表达。电阻值有表面电阻、内部电阻和总电阻3种形式, 其中总电阻相当于表面电阻和内部电阻的并联, 三者之间的关系公式:

$$R_{\text{总}} = \frac{R_{\text{表}} \times R_{\text{内}}}{R_{\text{表}} + R_{\text{内}}}$$

纤维材料的电阻与金属材料相比大很大, 也就是内部电阻很大, 所以镀银导电纤维长丝总电阻近似等于表面电阻。

镀银长丝的导电性能如表 2.2 所示。

表 2.2 镀银长丝的导电性能

导电性	镀银长丝		锦纶
	156dtex	44dtex	
电阻 R/ Ω	2.15	8.92	—
电阻率 $\rho/(\Omega \cdot \text{cm})$	0.136	0.171	4.57×10^{13}
电导率 $s/(\text{S} \cdot \text{cm}^{-1})$	7.353	5.848	2.19×10^{-14}

从表 2.2 的数据可以看出，镀银长丝的电阻率远远小于锦纶。电阻率越小，长丝的导电性能越好，其产品的抗静电性越好^[44]。由此可见，镀银后纤维的电阻大大降低，从而提高产品的抗静电性。

2.4.4 镀银长丝的耐久性

2.4.4.1 摩擦后镀银长丝的表面电阻

摩擦一定次数后镀银长丝的表面电阻如表 2.3 所示。

表 2.3 摩擦后镀银长丝的表面电阻

次数	镀银长丝表面电阻/ Ω	
	156dtex	44dtex
0	2.15	8.92
50	2.13	9.01
100	2.09	8.92
150	2.12	9.12
200	2.11	8.96
250	2.18	9.23
300	2.14	9.65
350	2.11	9.15
400	2.14	9.21
500	2.13	9.76

从表 2.3 中可以看出摩擦后镀银长丝的表面电阻的变化不大。并且电阻的变化没有规律。对于 156dtex 镀银长丝来说，摩擦 100 次时的表面电阻比摩擦 50 次时的表面电阻小。

2.4.4.2 摩擦后镀银长丝的纵向形态观察

摩擦一定次数后镀银长丝的纵向形态如图 2.4 所示。

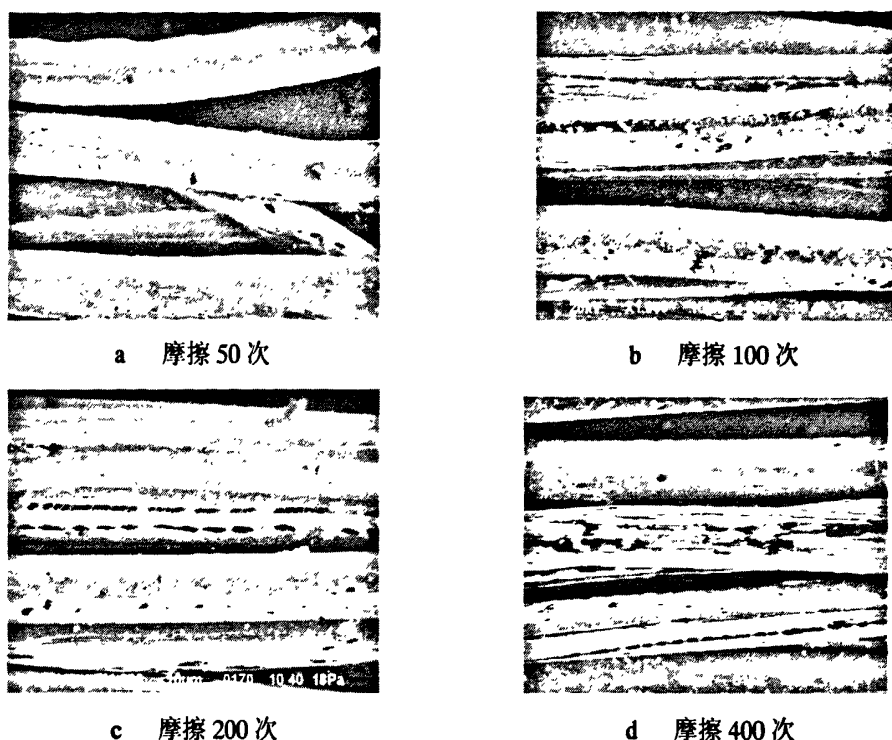


图 2.4 摩擦一定次数后镀银长丝的纵向形态

从图 2.4a 中可以看出, 被摩擦 50 次的镀银长丝的表面有很轻微的划痕, 银颗粒因摩擦而掉落的很少。图 2.4b 为摩擦 100 次的镀银长丝, 可以看出镀银长丝有明显的划痕, 银颗粒掉落一些, 但是数量不多, 不影响镀银长丝的导电性。从图 2.4c 中可以看出镀银长丝的表面镀银层有脱落的地方。当镀银长丝被摩擦 400 次时, 表面的镀银层就脱落一部分。但是镀银层脱落时并没有连带它周围的镀银层一起脱落。由此可见, 镀银层跟基体间的粘结力很强, 镀银长丝的耐久性优良。从测量摩擦后镀银长丝的表面电阻的数据也可以看出镀银长丝的耐久性优良。

2.5 本章结论

(1) 拉伸实验结果表明, 156dtex 和 44dtex 镀银长丝的断裂强度比对应锦纶长丝的断裂强度要低, 而断裂伸长比对应锦纶长丝大。通过拉伸曲线可以看出, 镀银长丝的拉伸曲线具有金属和锦纶纤维的拉伸特性。

(2) 通过测量镀银长丝的电阻得出镀银长丝的电阻率远远小于锦纶。镀银后纤维的电阻大大降低, 从而提高产品的抗静电性。并且镀银层跟基体间的粘结力很强, 镀银长丝的耐久性优良。

第三章 镀银纤维织物的抗静电性能研究

3.1 静电的形成及危害

3.1.1 静电的形成

静电产生的主要原因是摩擦的存在。不同物质的原子束缚电子的能力不同。当两种材料接触摩擦并迅速分离时，其中一种是有较强吸附电子能力的材料使电子转移到其表面上，获得电子的材料表面呈现出负电荷，而另一种材料表面由于失去电子而带正电荷，从而打破原来物体的电性平衡^[45]。材料带电及由此所引起的行为称作静电现象。

两个物体在相互接触摩擦的过程中，根据原子核对电子吸引力的强弱，可以排除各种物质的经典序列。在空气温度为30℃、相对湿度在33%的条件下常被使用的静电序列为：(+)羊毛→锦纶→粘胶纤维→棉→蚕丝→麻→醋酸纤维→维纶→涤纶→腈纶→氯纶→聚乙烯纤维(-)。当两种纤维摩擦时，排在正端的纤维带正电荷，排在负端的纤维带负电荷^[46]。

3.1.2 静电的危害

严重的静电现象会给人们带来不适。一般当静电达到2000V时，就会通过响声和轻微的电火花放电，人就有电击感^[46]。人体带点与电击感关系如表3.1所示。

表3.1 人体带电与电击感关系

人体带电压/V	电击感程度
1000	无感觉
2000	手指外侧稍有感觉，有轻微的放电声音
3000	手指外侧有感觉，内侧有微痛感，有轻微的放电声音
4000	手指外侧有刺痒感，内侧痛感范围较大，有轻微放电声音
5000	从手指到前腕有电击感，可见放电火花
6000	手指痛感强烈，可见放电火花

静电的危害很多，主要体现在以下几个方面。

(1) 影响服装的穿着性能^{[47][49]}

不同质地的服装,穿着时会产生极性相同或相反的静电荷,因此会出现服装之间相互排斥或相互吸引纠缠的现象。衣服与皮肤电荷不同时,会相互吸附出现“裙抱腿”现象,使人步行困难,影响美观。合成纤维织物在使用过程当中易带静电,使织物易于吸引空气中带异性电荷的灰土等尘埃微粒,吸附后不仅不易刷掉;化纤衣服还特别易吸附头皮屑。

(2) 使用合成纤维织物过程中的电击现象^[47]

使用合成纤维制成的床单、地毯或汽车座垫时,人们经过摩擦后立即接触金属制品,就会有一定程度的电击感,人们在合成纤维地毯上行走时所带电压可高达数千伏。

(3) 使用合成纤维织物引起意外事故^{[47][49]}

穿着合成纤维织物的衣服在周围存在易燃易爆气体的环境中活动时,静电放电时产生的小火花能够使周围易燃易爆气体着火或爆炸,引起重大事故。例如,仓库中的工人从桶中将汽油倒入另一个桶的过程中,操作人员穿着的化纤工作服与桶摩擦产生火花,就有可能引起火灾。

(4) 影响人体健康^[47]

合成纤维材料的服装与皮肤相互摩擦会产生静电,而且静电的电压在瞬间可超过4000V,由静电改变了体表电位差,妨碍了正常的心电传导,可导致皮肤瘙痒、色素沉着,影响人的机体生理平衡,干扰人的情绪等。

(5) 影响纺纱织造产品的质量^{[24][47]}

在纺织加工的各种工序中也都会产生静电。例如在开松过程中静电使纤维缠罗拉、缠皮辊;梳理过程中的静电现象会使比较松散的纤维网发生破裂、断边,成条疏松,易堵塞圈条斜管;带电纤维易缠绕在机件上影响正常生产。此外,在织造过程中产生的静电会使排列整齐的纱线发生紊乱,临纱间发生缠绕而影响产品质量,挡车工有时会产生电击感。

(6) 影响染整加工过程^{[20][47]}

在染整加工工序中,烘干和热定型阶段静电现象比较明显。轻薄织物易吸附于导布罗拉,成布折叠困难。在轧光机、起绒机、拉幅机等后整理设备上的静电压可达几千伏特,操作工会受到不同程度的电击,对染整质量也有一定影响。

3.2 织物抗静电性能的评价方法

3.2.1 织物抗静电性能的基本指标

(1) 比电阻^[44]

(a)电阻：表示物体对电流起阻碍作用的物理量，和材料的长度L成正比，和导体的截面积S成反比，并且和材料的性能有关。电阻常用R表示，单位(Ω)。

$$R = \rho_v \cdot \frac{L}{S}$$

(b)电阻率(体积比电阻)：表示材料导电性能的物理量，电阻率常用 ρ_v 表示，单位为 $\Omega \cdot \text{cm}$ 。在数值上等于材料长1cm和截面面积为 1cm^2 时的电阻值。电阻率越大，导电性能越差。

$$\rho_v = R \cdot \frac{L}{S}$$

(c)质量比电阻：对于纺织材料，由于断面积或体积不易测量，表示材料的导电性能一般采用质量比电阻，通常用 ρ_m 表示，单位为 $\Omega \cdot \text{g}/\text{cm}^2$ 。在数值上等于试样长 $L=1\text{cm}$ 和质量 $G=1\text{g}$ 的材料电阻(式中 γ 为材料的密度， g/cm^3)。

$$\rho_m = \gamma \cdot \rho_v = \gamma \cdot R \cdot \frac{L}{S}$$

(d)表面比电阻：当电流流经材料的表面时，表面比电阻是沿试样表面方向的直流场强与该处单位宽度的表面电流之比，通常用 ρ_s 表示，单位为欧姆(Ω)。在数值上它等于材料表面的宽度b和长度L都等于1cm时的电阻。

$$\rho_s = R_s \cdot \frac{L}{b}$$

(2)带电量^[44]：材料所带静电的“强度”，用单位量(件)或单位重量的材料的带电量(库仑)表示。

(3)面电荷密度^[44]：单位面积上材料所带电荷的多少，单位为 C/m^2 。

(4)半衰期^[44]：表示材料的静电衰减速度快慢的物理量，指材料上的静电从原始

值衰减到原始值的一半所需要的时间,通常用 t 表示,单位为S(秒)。半衰期与织物的表面电阻关系密切。

(5)静电电压^[44]:指材料经过摩擦之后的静电峰值电压,表示材料感应静电电压的大小,单位为伏(V)。

3.2.2 抗静电性能测试标准及方法

目前用于纺织品、服装抗静电性能测试的标准很多,我国现行国家标准和纺织行业标准中与纺织品防静电功能有关的产品标准有GB/T 12014-1989《防静电工作服》,与纺织品静电性能有关的测试方法标准有GB/T 12703-1991《纺织品静电测试方法》、FZ/T 01042-1996《纺织材料 静电性能静电电压半衰期的测定》、FZ/T 01044-1996《纺织材料 静电性能纤维泄漏电阻的测定》,、FZ/T 01059-1999《织物摩擦静电性吸附测定方法》、FZ/T 01060-1999《织物摩擦带电电荷密度测定方法》、FZ/T 01061-1999《织物摩擦起电电压测定方法》。上述标准与ISO, AATCC, ASTM, BS, JIS, DN等同类标准非常相似^{[50][51][52]}。

GB/T 12703是我国目前最系统、最完备的纺织品静电测试方法标准,它提出了6种测试方法^{[48][63]},如表3.2所示:

从表3.2中对各种抗静电测试方法的介绍可以看出,要测试含导电纤维织物的抗静电性能应选用C法(电荷面密度法)。

表3.2 纺织品静电测试方法

测试方法	测试原理	优点	缺点
A 法 (半衰期法)	使试样在高压静电场中带点至稳定后, 断开高压电源, 使其电压通过接地金属台自然衰减。测定电压衰减为初始值一半所需时间	操作简单, 数据重现性好, 可评价织物的静电衰减特性	含导电纤维的试样在接地金属平台上的状态无法控制, 因此不适合于含导电纤维织物的抗静电性能评价
B 法 (摩擦带电压法)	在一定张力下, 使样品与标准样布相互摩擦, 测定此时产生的最高电压及平均电压	可以模拟内衣与外衣摩擦带电关系	试样尺寸小, 对于嵌织导电纤维的织物, 导电纤维分布随取样位置不同而产生很大的差异
C 法 (电荷面密度法)	将经过摩擦装置摩擦后的样品投入法拉第筒, 测试样品的电荷面密度	适合于评价各种织物, 包括含导电纤维织物经摩擦积聚静电的难易程度	由于摩擦是人工操作, 故的是条件的一致性、测试结果的准确性受操作手法的影响
D 法 (脱衣时的衣物带电电量法)	将脱下的工作服投入法拉第筒, 测量其电量	适用于评价服装镜摩擦积聚静电的难易程度	测试对象仅限于服装, 且内衣材质未作规定、摩擦手法难以一致, 缺乏可比性
E 法 (工作服摩擦带电量法)	用滚筒烘干装置模拟工作服的摩擦带电的情况	适用于服装的摩擦带电量测试	
F 法 (极间等效电阻法)	采用伏安法, 在定电压下测出流过样品的电流, 而求得极间等效电阻	可以测得织物的极间等效电阻	难以测得含导电纤维织物的真实的等效电阻

3.3 镀银纤维混纺纱的纺制及纱线的结构、性能测试

3.3.1 实验原料

实验所用的原料为锦纶基镀银纤维和腈纶。腈纶及镀银纤维的基本规格如表 3.3 所示。

表 3.3 腈纶及镀银纤维的物理机械性能指标

名称	线密度/dtex	长度/mm	断裂强度/cN·dtex ⁻¹	断裂伸长/%
镀银纤维	4.06	38	3.63	41
腈纶	1.67	38	3.08	38

3.3.2 混纺比的选择

经过初步试验测试发现：织物中加入少许的镀银纤维即可明显提高产品的抗静电性。为了确定最佳的镀银纤维的含量，设计腈纶/镀银腈纶纤维混纺成纱混纺比如表 3.4 所示。

表 3.4 混纺纱各组分混纺比

试样序号	纤维成分	混纺比(%)	成纱特数 (tex)
S ₀	腈纶	100/0	36.9
S ₁	腈纶/镀银锦纶	99.5/0.5	
S ₂	腈纶/镀银锦纶	99/1	
S ₃	腈纶/镀银锦纶	98/2	
S ₄	腈纶/镀银锦纶	97/3	
S ₅	腈纶/镀银锦纶	96/4	
S ₆	腈纶/镀银锦纶	95/5	
S ₇	腈纶/镀银锦纶	92/8	
S ₈	腈纶/镀银锦纶	90/10	

3.3.3 纺纱方案设计

两种或多种纤维混纺成纱方法常采用以下两种方法：一是各组分纤维分别制条后在并条机上混合即条混；二是各组分纤维在清棉阶段进行混合即纤混。

对于腈纶和镀银锦纶两种纤维原料混纺来讲，其两种纤维性能较相近，另外镀银锦纶在混纺纱中含量较少，其加入不需要在纺纱前再加抗静电剂，因此腈纶/镀银锦纶混纺纱的成纱工艺采取纤混法，再在并条机上 2 道并条的混合方式，保证了混纺纱各组分混合充分、均匀。

3.3.4 纺纱工艺流程设计

由于试样规格较多而需求量较少（每试样仅 250 克），因此，采用梳棉小样机替代开梳联合机以进行对两种纤维原料的开松、混合和均匀喂给，并成棉卷。纺纱工艺流程设计如下：

腈纶和镀银锦纶纤维人工称重混合→AS181A 梳棉机→FA304 并条机（两道）→FA496 粗纱机→HF41-01-4 多功能纺纱机→GA014 络筒机。

3.3.5 各工序的工艺配置及技术关键

3.3.5.1 梳棉工序

由于腈纶和镀银锦纶纤维的整齐度好、几乎无短绒和杂质，并根据 AS181A 型梳棉机输出棉网重叠卷绕的加工特点，因此梳棉工序中，掌握“充分梳理加强转移”的原则。为充分开松并控制输出棉层的号数，偏小掌握喂入的原料量（为 25 克）。

适当降低锡林梳理速度和刺辊速度，以减少刺辊返花和棉结的产生。同时适当放大盖板与锡林之间的隔距，防止纤维缠绕锡林和充塞盖板，提高棉网质量和清晰度。

AS181A 型梳棉机技术规格和梳棉主要工艺参数见表 3.5、3.6 所示。

表 3.5 AS181A 型梳棉机技术规格

项目	规格
可纺纤维长度/mm	21~65
每次试验喂入原料/g	30~50
给棉罗拉直径/mm	φ 57
刺辊工作直径/mm	φ 168
锡林工作直径/mm	φ 315
固定盖板根数/根	12
道夫工作直径/mm	φ 156
牵伸倍数	105.6

表 3.6 梳棉主要工艺参数

项目	参数
锡林转速/ $r \cdot \min^{-1}$	851
刺辊转速/ $r \cdot \min^{-1}$	456
道夫转速/ $r \cdot \min^{-1}$	16
刺辊—锡林隔距/mm	0.18
锡林—道夫隔距/mm	0.13
锡林-盖板五点隔距/mm	0.25 0.23 0.23 0.23 0.23 0.25
斩刀摆动次数/ $\text{次} \cdot \min^{-1}$	1288
总牵伸倍数	116.8

3.3.5.2 并条工序

从 AS181A 梳棉机上取下来的圈条筒，将棉卷沿横向扯断，喂入头道并条机，二道并条采取 8 根喂入的并合方式。

两道并条采用“先小后大”的牵伸工艺，以利于后弯钩纤维的伸直和提高成纱强力，并且头并后区偏大掌握、二并后区小张力牵伸，以减少二道后区牵伸波对条干均匀度的影响，提高了半制品的质量。

并条主要工艺参数见表 3.7 所示。

表 3.7 并条主要工艺参数

项目	定量/g·(5m) ⁻¹	并合数	总牵伸/倍	后区牵伸/倍	罗拉隔距/mm
并一	20.9	6	5.83	1.488	11×16
并二	19.2	8	8.79	1.345	12×17

3.3.5.3 粗纱工序

粗纱工序中采取“较小的主牵伸区罗拉隔距、较小的后区牵伸倍数、较高的捻系数、较小的粗纱张力”的工艺原则。

为防止或尽量减少粗纱意外伸长而恶化成纱条干，在细纱不出“硬头”的情况下，适当加大粗纱捻系数，以利于细纱后区牵伸对纤维的控制；同时粗纱后牵伸区的罗拉隔距适当放大、钳口隔距适当缩小。

粗纱主要工艺参数为：粗纱定量 5.2g/10m，罗拉隔距分别为 9mm×22.5mm×34.5mm，钳口隔距 5.5mm，罗拉加压 12×20×15×15daN/双锭。

3.3.5.4 细纱工序

纺纱方式采用环锭纺纱。为提高细纱条干均匀度和单纱强力，降低成纱细节个数，满足针织用纱的质量要求，细纱工序采用了“一大两小”的工艺原则，即大的后区罗拉隔距、小的后区牵伸倍数和小的钳口隔距。

细纱的主要工艺参数为：前后区牵伸倍数 12.92 倍×1.136 倍，前后区罗拉隔距 19mm×40mm，原始钳口 2.5mm，捻系数 280，前罗拉转速 160r/min。

3.3.5.5 络筒工序

选用金属槽筒，并适当降低槽筒速度，以减少断头、伸长和筒子纱的毛羽。选择合适的纺纱张力、优选张力圈以减少纱疵，提高成纱质量。

3.3.6 混纺纱的结构与性能测试

3.3.6.1 混纺纱的横截面观察

按照上述生产工艺制得各种混纺比例的镀银纤维混纺纱，选取其中1种纱（镀银纤维含量为8%），将混纺纱的表面用火棉胶包覆，用Y-172型纤维切片器将材料进行切片，将一定大小的导电胶贴在切片器上，同纱线一起切下，然后用JSM-6390LV型扫描电子显微镜观察其截面上镀银纤维的分布状况。横截面照片如图3.1所示。

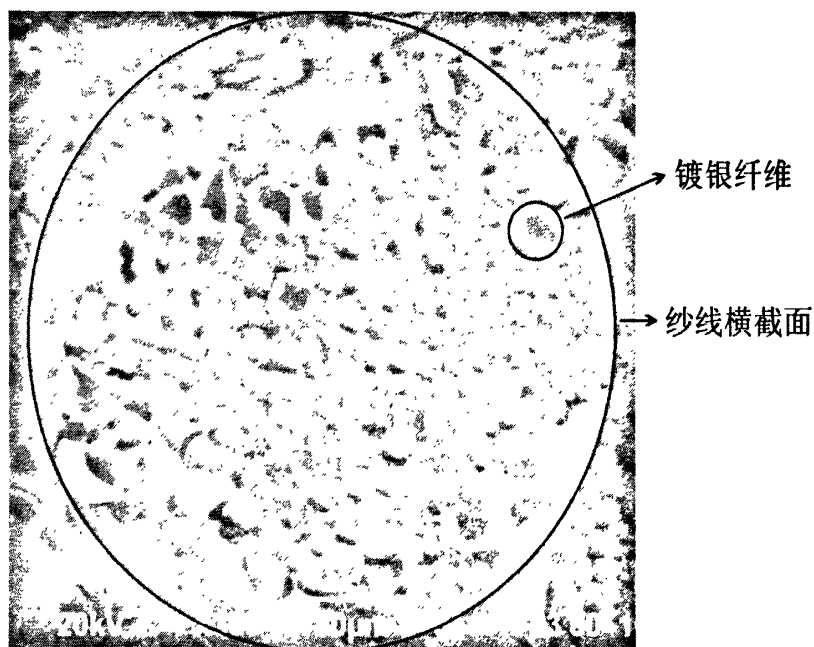


图 3.1 混纺纱的横截面

环锭纺纱中，纤维发生由外向内或由内向外转移，形成圆锥形螺旋线。混纺中的镀银纤维在含量较多时，通过加捻的内外转移，形成首尾相接的螺旋线，类似一根长丝的功效，从而加强了纱线的导电性能。在混纺纱中纤维径向分布的规律为：长而细的纤维有像纱的内层转移的趋势，短而粗的纱线有向纱的外层转移的趋势^[44]。从图3.1中我们可以看出镀银纤维（亮圈处）大部分分布在纱线的外侧。这是由于镀银纤维的线密度比腈纶的线密度大，从而使得镀银纤维分布在纱线的外侧，有的甚至伸出纱线表面，这有利于消除静电荷，提高产品的抗静电性能。

3.3.6.2 混纺纱的拉伸性能测试

利用YG061F电子单纱强力仪，根据国家标准GB/T3916-1997测试镀银纤维混纺纱的拉伸性能^[64]。试验长度为250mm，拉伸速度为500mm/min，试验温度为20℃，

湿度为 64.8%，测试结果为 30 次的平均值。

测试结果如表 3.8 所示。从表 3.8 中可以看出镀银纤维的含量对纱线的断裂强度及伸长率无明显的影响。

表 3.8 镀银纤维混纺纱的拉伸性能

拉伸性能	镀银纤维含量/%								
	0	0.5	1	2	3	4	5	8	10
断裂强度/ (cN·tex ⁻¹)	134.5	134.1	135.2	137.4	133.8	132.1	138.3	139.8	142.1
断裂伸长/%	18.06	17.40	18.76	19.31	19.48	18.41	19.07	20.49	18.85

3.4 抗静电针织物的织造

用机号为 12 针/英寸的普通横机将上述纺制的混纺纱编织成 1+1 罗纹组织。镀银导电纤维在织物中的间距是影响织物抗静电性能的主要因素。本课题设计了 5 种不同的间隔距离，即 0.8cm，1.5cm，2.5cm，3cm，3.8cm。将镀银纤维含量为 4% 的混纺纱以上述不同间距添加到织物中。另外，密度对织物的抗静电性也有一定的影响。本课题将镀银纤维含量为 5% 的混纺纱织成 3 种密度不同的织物。对于纯腈纶织物也上机编织，以便进行分析和比较。

编织抗静电针织物的规格如表 3.9 所示。

3.5 织物的抗静电性能测试

3.5.1 织物表面比电阻的测试

用特制的夹头，夹取一定长度 L 、一定宽度 W 的抗静电织物试样，用 UT-55 标准型数字万用电表(仪器量程为 0~200M Ω)测出其电阻值 R ，相应织物的表面比电阻可采用公式 $\rho_s = R \cdot W/L$ 进行计算^[42]。对于纯腈纶织物，采用 QD-305 织物表面电阻测试仪进行测试。

测得的织物的表面比电阻如表 3.10 所示。

表 3.10 织物的表面比电阻

编号	0#	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#
表面比电阻/ Ω	2.56×10^7	1963.2	1236.5	869.2	569.4	389.3	195.8	79.6	36.2

从表 3.10 中可以看出, 腈纶中加入镀银纤维后大大降低了织物的表面比电阻。织物的表面比电阻越小, 织物的抗静电性能越高^[44]。因而加入镀银纤维后, 织物的导电性明显提高, 从而提高了织物的抗静电性能。

表 3.9 抗静电针织物的基本规格

编号	名称	P _B 纵密 (5cm/横列)	P _A 横密 (5cm/纵行)	克重 (g·m ⁻²)
1#	镀银纤维含量 0.5%	41	28	256.79
2#	镀银纤维含量 1%	43	28	248.85
3#	镀银纤维含量 2%	43	29	231.11
4#	镀银纤维含量 3%	42	29	238.67
5#	镀银纤维含量 4%	42	27	284.17
6#	镀银纤维含量 5%	43	29	302.92
7#	镀银纤维含量 8%	43	27	257.21
8#	镀银纤维含量 10%	41	28	274.71
9#	密度中 5%	38	27	242.15
10#	密度小 5%	30	26	203.56
11#	间距 0.8cm	42	28	251.31
12#	间距 1.5cm	42	28	248.62
13#	间距 2.5cm	43	29	254.21
14#	间距 3cm	42	27	249.31
15#	间距 3.8cm	41	28	256.89
16#	纯腈纶	42	28	250.56

3.5.2 织物电荷面密度的测试

实验仪器为由法拉第筒, 电容器和电位计组成的电位测定装置, 摩擦棒, 垫板等。

实验方法是根据 GB/T 12703—91 纺织品静电测试方法测试织物的表面电荷面密度^[53]。测试环境: 温度为 21℃, 相对湿度为 36%。

3.5.2.1 镀银纤维含量对织物抗静电性的影响

测得的 0#-8#织物的电荷面密度如下图 3.2 示。

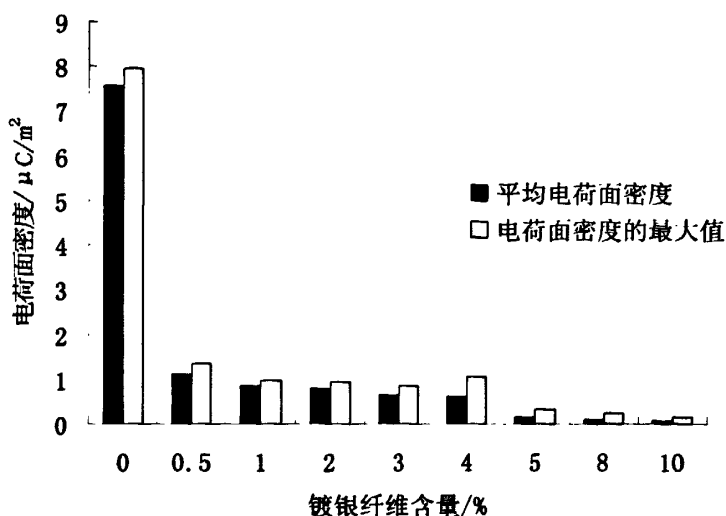


图 3.2 织物的电荷面密度

从图 3.2 中可以明显的看出，凡是含有镀银纤维的织物的电荷面密度都大大低于纯腈纶织物的电荷面密度。

与纯腈纶织物相比，镀银纤维含量为 0.5%时就大大的降低了织物的电荷面密度。并且摩擦后织物的电荷面密度的最大值也只有 $1.354\mu\text{C}/\text{m}^2$ 。从图 3.2 中可以看出随着镀银纤维含量的增多，摩擦后织物表面的电荷面密度逐渐减小。而镀银纤维含量为 5%，8%，10%的织物的表面电荷面密度相差不大。也就是说，镀银纤维含量增加到一定程度后，织物的抗静电性能的提高没有起初那么明显。

3.5.2.2 织物密度对织物抗静电性的影响

用镀银纤维含量为5%的混纺纱线织成密度不同的三种织物，其织物的平均电荷面密度如表3.11示：

表3.11 密度不同的织物的平均电荷面密度

织物编号	6#	9#	10#
织物密度($P_A \times P_B$)	29×43	27×38	26×30
平均电荷面密度/ ($\mu\text{C}\cdot\text{m}^{-2}$)	0.139	0.146	0.179
最大电荷面密度/ ($\mu\text{C}\cdot\text{m}^{-2}$)	0.292	0.359	0.395

表3.11中6#、9#、10#织物的密度依次变小。从表3.11中可以看出，随着织物密度的减小，织物电荷面密度逐渐变大，但是增幅不大。由此说明，当纱线中镀银纤维含量一定时，密度减小，单位面积的镀银纤维的含量就减少，从而导致织物的抗静电性能下降。但是用一定机号的针织机，相同细度的纱线编织的织物，密度对织

物的抗静电性能的影响较小。

3.5.2.3 镀银混纺纱间距对织物抗静电性能的影响

镀银混纺纱间距不同的织物的表面电荷面密度及织物中镀银纤维含量如表3.12所示。

表 3.12 不同间距的织物的镀银纤维的含量与织物的电荷面密度

编号	0#	11#	12#	13#	14#	15#
间距/cm	0	0.8	1.5	2.5	3	3.8
镀银纤维含量/%	4.000	1.058	0.502	0.296	0.226	0.184
纬向电荷面密度/ $(\mu\text{C}\cdot\text{m}^{-2})$	0.501	0.613	0.816	1.123	1.689	2.046
经向电荷面密度/ $(\mu\text{C}\cdot\text{m}^{-2})$	0.653	1.263	1.898	3.089	3.394	4.476
平均电荷面密度/ $(\mu\text{C}\cdot\text{m}^{-2})$	0.600	0.938	1.357	2.106	2.542	3.265
最大电荷面密度/ $(\mu\text{C}\cdot\text{m}^{-2})$	0.762	1.865	2.052	3.765	4.846	5.468

表 3.12 中, 试样 11# -15#是镀银纤维混纺纱以不同间隔夹入基础组织的抗静电织物, 从表中可以看出, 随着织物中镀银导电纱间距的增加, 而织物的电荷面密度在逐渐增加。这是由于随着织物中镀银导电纱间距的增加, 镀银纤维的含量在逐渐减少, 使织物的电阻增加, 导电性下降得结果^[44]。

从表3.12中可明显看出织物的经纬向电荷面密度存在差异, 纬向的电荷面密度要比经向得电荷面密度小。这主要是由于镀银导电纱在织物中的嵌入方向决定的。在纬编织物中, 纱线的走向为纬向, 镀银导电纱在纬向上是连续的。而经向上镀银导电纱之间存在一定的间距, 是不连续的, 所以, 纬向的导电路径比纵向更畅通, 并且最大电荷面密度也都是经向测得的结果。若单从经向来看, 电荷面密度的值也可以满足抗静电性能指标。

为了求得合适的镀银纤维的含量, 使织物的抗静电性能既能满足防静电工作服的要求, 又不致镀银纤维含量过高而增加成本, 分别作出镀银纤维混纺纱间距与镀银纤维含量的关系曲线和镀银纤维混纺纱间距与平均电荷面密度的关系曲线, 如图 3.3 和图 3.4 所示。

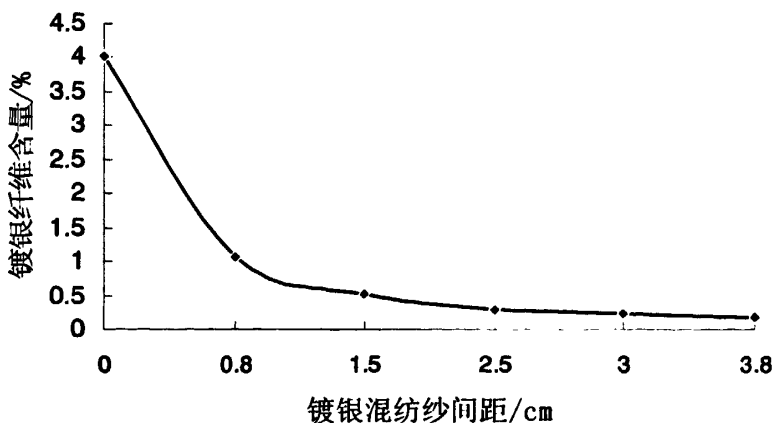


图 3.3 镀银纤维混纺纱间距与镀银纤维含量的关系

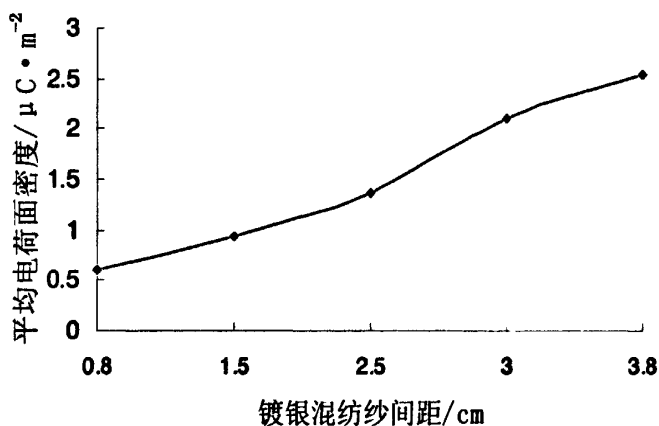


图 3.4 镀银纤维混纺纱间距与织物平均电荷面密度的关系

从图 3.3 和图 3.4 中可以看出,混纺纱间距 (x) 与镀银纤维的含量 (y) 和平均电荷面密度(Y)的关系式非线性回归问题。通过计算机曲线拟合,得到图 3.3 的拟合方程为:

$$y = 4 - 6.731x + 5.2265x^2 - 2.0602x^3 + 0.3992x^4 - 0.03017x^5 \quad 3-1$$

其中 x 为镀银纤维混纺纱间距 (cm); y 为镀银纤维的含量 (%)

图 3.4 的拟合方程为:

$$Y = 0.6004 + 0.3134x + 0.14337x^2 - 0.01085x^3 \quad 3-2$$

其中 x 为镀银混纺纱间距 (cm); Y 为织物的平均电荷面密度 ($\mu\text{C}/\text{m}^2$)

根据GB12014-1989防静电工作服标准^[55],作为防静电工作服面料,其电荷面

密度应不大于 $7\mu\text{C}/\text{m}^2$ 。考虑到防静电工作服使用过程中磨损和多次反复洗涤,电荷面密度会上升 $1-2\mu\text{C}/\text{m}^2$,则计算时取 $2\mu\text{C}/\text{m}^2$;另一方面,在服装裁剪、缝制时,2个衣片的接缝处的镀银混纺纱间距可能会加倍,使该处的电荷面密度增大,计算时取增大1倍。则计算织物上允许的平均电荷面密度 $Y_{\text{允许}}$ 。 $Y_{\text{允许}}=(7-2)\times 0.5=2.5(\mu\text{C}/\text{m}^2)$ 。将计算的 $Y_{\text{允许}}$ 值代人(2)式求得导电丝间距理论值 $x=2.93(\text{cm})$ 。再将 $x_{\text{理}}=2.93$ 代人(1)式,求得此时镀银纤维的含量理论值为 $y_{\text{理}}=0.231\%$ 。

考虑到在编织时镀银纤维分布的不均匀性,织物的抗静电性能测试环境的不稳定性,以及其它不确定因素造成数据的随机性。为此,对上述的理论值进行适当修正,修正系数根据防静电工作服的抗静电要求而定,通常修正系数在0.7-1.0之间。若修正系数 $e=0.9$,则镀银混纺纱的实际间距 $x_{\text{实}}=x_{\text{理}}\times 0.9$,即 $x_{\text{实}}=2.5\times 0.9=2.25(\text{cm})$ 。将 $x_{\text{实}}$ 代人(1)式得到实际的镀银纤维的含量 $y_{\text{实}}=0.3382\%$,将 $x_{\text{实}}$ 代人(2)式得到此时织物的平均电荷面密度 $Y_{\text{实}}=1.9078(\mu\text{C}/\text{m}^2)$

3.6 本章结论

(1)从镀银纤维混纺纱的横截面可以看出,镀银纤维大部分分布在混纺纱的外侧,这有利于静电荷的消除。并且镀银纤维的含量对纱线的断裂强度及伸长率无明显的影响。

(2)镀银纤维的含量是影响织物抗静电性能的主要因素。随着镀银纤维含量的增加,织物的表面电荷面密度逐渐下降。当镀银纤维的含量达到一定值时,织物的抗静电性能的提升就没有那么明显。镀银纤维含量为0.5%时就能满足国家标准规定的防静电工作服标准。

(3)用一定机号的针织机,相同细度的纱线编织的织物,密度对织物的抗静电性能的影响较小。

(4)随着镀银导电纱的间距增加,镀银纤维的含量减少,织物表面的电荷面密度增大。由于镀银导电纱在织物中沿纬向配置,镀银导电纱在纬向上是连续的。而经向上镀银导电纱之间存在一定的间距,是不连续的,所以,纬向的导电线路比纵向更畅通,

(5)通过曲线拟合得到导电丝间距与导电丝含量的关系曲线和导电丝间距与平均电荷面密度的关系曲线的拟合方程,根据织物允许的电荷面密度计算出镀银导电纱的理论间距为2.93cm,镀银纤维理论含量为0.231%。由于实际生产中有许多影响因素,可根据实际应用中织物的抗静电性能进行修正。

第四章 镀银纤维织物的防电磁辐射性能研究

二十一世纪,人类进入信息社会,电磁波是传递信息的快捷方式,大量的电视发射台、广播发射塔、移动通讯基站、卫星通讯站、微波中继站、以及可移动的发射装置如雨后春笋般出现。由于电磁波不见,摸不着,短时间内接触不会产生不适感觉,一旦积累成疾,很难治疗,因而科学界称之为“无形杀手”,电磁波污染已成为继空气、水、噪音污染之后的第四大污染源^{[56][57]}。

4.1 电磁辐射基本概念

在电场和磁场传播过程中会产生一个作用力场,即电磁场,在空间传播的周期性变化的电磁场就是电磁波;电磁波以一定速度在空间传播的过程成为电磁辐射^[58]。

电磁辐射可按波长、频率排列成若干频率段,形成电磁波谱。电磁波的种类很多,根据波长和频率可以分为无线电波(如长波、中波、短波、超短波、微波)、光波(如红外线、可见光、紫外线)、宇宙射线(如X射线、 α 射线、 β 射线、 γ 射线及中子射线)等类^[59]。由于X射线、中子射线及紫外线等对人体的危害较为直观明显,因而早已被认识并制定出相应的防护措施。但是对于应用范围越来越广的无线电波(微波及长、中短波),人们没有给予足够的重视。实际上,越来越多的证据表明,无线电波对人体的危害比实际想像严重得多^[59]。

表4.1 无线电波分类

频段名称	对应波段	缩写名称	频率范围
甚低频	万米波(甚长波)	VLF	3~30千周
低频	千米波(长波)	LF	30~300千周
中频	百米波(中波)	MF	300~3000千周
高频	十米波(短波)	HF	3~30兆周
甚高频	米波(超短波)	VHF	30~300兆周
特高频	分米波	UHF	300~3000兆周
超高频	厘米波	SHF	3~30千兆周
极高频	毫米波、亚毫米波	EHF	30~300千兆周 300~3000千兆周

无线电波,也称为射频电磁波。当交流电的频率达到每秒钟十万次及以上时,

交流电路的周围就形成了射频电磁场，频率范围从3千周~3000兆周。无线电波在电磁波谱中占很大的频段。无线电波按其波长和频率可以分为八大类^[50]，如表4.1所示。

4.2 电磁辐射对人体的作用机理

人体长期处于电磁波辐射环境中，将严重损害身心健康，影响正常的甚或秩序。研究表明，电磁辐射危害人体的机理主要是为致热效应、非致热效应和累积效应^{[50][61][62]}。

致热效应主要是指人体在高频电磁波照射下，吸收辐射能量，在体内转化为热量，产生生物效应。在电磁场作用下，由于射频电磁场方向变化很快，使得人体内的极性分子随着电磁场极性的变化做快速排列运动，分子相互撞击、摩擦产生巨大的热量。另外，当电磁场的频率很高时，机体内电解质溶液中的离子将在其平衡位置振动，也将电能转化为热能。同时，由于机体内某些成分为导体，而且在不同程度上具有闭合回路的性质，可以产生局部性电与磁的感应涡流而导致生热。电磁场强度越大，分子运动过程中将场能转化成热能的量值就越大，身体热作用就越明显。

非致热效应是指人体的器官和组织都存在微弱的电磁场，他们是稳定和有序的，一旦受到外界电磁场的干扰，处于平衡状态的微弱电磁场就遭到破坏，人体也会遭受损伤。射频电磁场有非致热作用的存在，即在不引起体温变化的低强度作用下出现神经衰弱及心血管系统机能紊乱。

上述两种效应连续作用于人体，使伤害无法恢复，发生累积，久而久之，最终捡回造成永久性的病态，乃至危及生命。对于长期接触电磁波辐射的群体，即使功率很小，频率很低，也可能会诱发意想不到的病变，应提高警惕。

4.3 抗电磁辐射织物的屏蔽原理

有效的抑制电磁波的辐射、泄露、干扰和改善电磁环境主要以电磁屏蔽为主。电磁屏蔽，实际上是为了限制从屏蔽材料的一侧空间向另一侧空间传递电磁能量。

电磁波传播到达屏蔽材料表面时，主要有三种不同机理进行衰减：一是在入射表面的反射衰减；二是未被反射而进入屏蔽体的电磁波被材料吸收的衰减；三是屏蔽体内部的多次反射衰减^[65]，如图4.1所示。

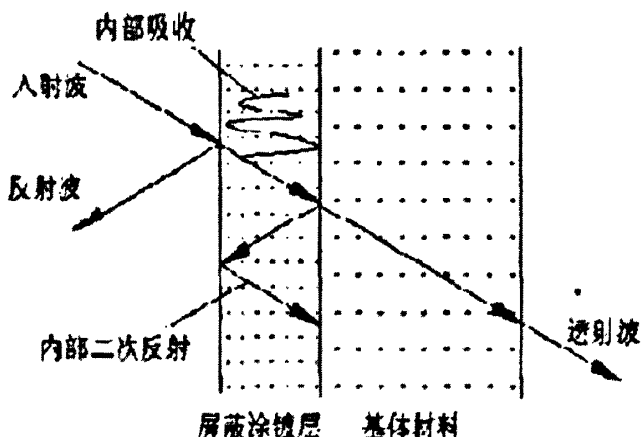


图4.1 电磁波屏蔽机理

根据Schelkunof电磁屏蔽理论, 电磁波通过屏蔽材料的总屏蔽效率可按下式计算:

$$SE = R + A + B$$

式中: SE—电磁屏蔽效率, dB;

R—表面单次反射衰减值;

A—吸收衰减值;

B—内部多次反射衰减值;

当 $SE > 10\text{dB}$ 时, B值很小, 可以忽略不计, 则上式可变为:

$$SE = R + A = \left[50 + 10 \lg(\rho \cdot f)^{-1} \right] + 1.7d(f/\rho)^{1/2}$$

式中: ρ —屏蔽率体积电阻率, $\Omega \cdot \text{cm}$

f—频率, MHz

d—屏蔽层厚度, cm

由上面的公式可以看出, 当f、d一定时, ρ 值决定屏蔽层效能。体积电阻率越小, 材料的电导率越高, 屏蔽层效能越高。

防电磁波辐射的途径主要有两种: 一是利用材料的导电性, 电磁屏蔽效果以反射损耗为主。二是利用材料的磁性, 电磁屏蔽衰减以吸收损耗为主。对于不同的电磁波, 其侧重点不同。所以在研究防电磁辐射织物时, 要根据电磁辐射的频率及不同辐射强度工作环境来确定防辐射面料^{[66][67]}, 使其发挥最高的防辐射效果。

银是自然界电阻最小的物质。镀银长丝具有优良的导电性, 在织物中加入镀银

长丝可使织物整体具有良好的导电性。因此，镀银长丝覆盖织物的屏蔽原理主要利用了镀银长丝的导电性。即：在外界电磁场的作用下，织物内部会产生感应电流，感应电流又会产生一个感应磁场，该磁场能量与外界磁场相同，方向与外界磁场相反，刚好与外界磁场的作用相抵，从而将辐射波阻挡在外界，不能渗透或透过织物伤害人体^[66]。

4.4 防电磁辐射的测试方法简介

目前，抗电磁辐射织物屏蔽效能的测试方法有波导管测试法、微波暗箱测试法、微波暗室测试法和旷野测试法^{[69][70]}，如表4.4所示。

表4.4 织物屏蔽效能的测试方法

测试方法	方法特点
波导管测试法	矢量法 此法比较适用于对材料电磁参数的研究，整个测试系统费用较高
	标量法 可以直接测量织物或材料的反射率、透过率并估计吸收率，指标比较直观，测试系统费用较矢量方法要低一些
微波暗箱测试法	可以方便的测试各种指标，如反射率、透过率，并估计吸收率。并且可以用来测试比较大的面积的材料的真实效果
微波暗室测试法	可测试透射率，信号源可以只电视机、微波炉或普通的信号源，接收器可以是漏能仪，但此时测试频率比较单一
旷野测试法	可测试反射率

4.5 表征织物防电磁辐射屏蔽性能的指标

防电磁辐射面料的屏蔽性能，通常用屏蔽效率来衡量。其定义为空间某点上未加屏蔽时的电场强度 E_0 (或磁场强度 H_0 或功率 W_0) 与加屏蔽后该点的电场强度 E_1 (或磁场强度 H_1 或 W_1) 的比值的对数或定义为能量损耗比例数的对数^[16]。即：

$$SE = 20 \lg \left| \frac{E_0}{E_1} \right| = 20 \lg \left| \frac{H_0}{H_1} \right| = 20 \lg \left| \frac{W_0}{W_1} \right| \quad (\text{dB})$$

SE值越高表示屏蔽效果越好，如表4.5所示

表4.5 电磁波衰减分级标准

SE (dB)	0	<10	10-30	30-60	60-90	>90
衰减程度	无	差	较差	中等	良好	优

4.6 防电磁辐射面料的编织

4.6.1 实验材料及仪器

实验材料为 40D/12f 镀银长丝，锦纶，氨纶，包缠纱

实验仪器为意大利圣东尼 (SANTONI) 公司生产的 SM8-TOP2 型电子式无缝成型装针织圆机。这是目前我国针织企业使用最多的机型，它是八路进纱的单面一次成型电脑针织提花机，每路拥有两个独立的提花鼓（即选针器），每路均能同时进行 3 级编织（即同时选针进行成圈，集圈及浮线的三个不同动作）。电子式无缝成型装针织圆机筒径为 30-40cm（12-16 英寸）；速度 110r/min；选针器为每路 2 个；进纱路为 8 路进纱；针织圆机电量为 202kw，吸风马达电量为 3.9kw；导纱器为 8 个/路（实际应用中可以少于 8 个）。

4.6.2 织物设计

设计织物的组织结构为纬平针的全部线圈添纱组织。在编织时镀银长丝使用双纱，从而使得镀银长丝在织物的表面且没有露底现象。这样织物表面形成一个较完整的、封闭的镀银长丝导电网，对电磁波具有反射屏蔽的功效；内层既有镀银纤维又有弹性纤维，使织物兼有抑菌美体塑身的功效。同时没有添纱的织物也进行编织，以便进行比较与分析。织物下机后进行后整理。

所编织的实验样布的结构参数如表 4.6 示。

表4.6 实验样布的结构参数

织物组织	编号	密度		克重/g·m ⁻²
		P _A ×P _B	总密度 p/ (线圈数/25cm ²)	
镀银长丝的进纱量 相同, 添纱不同的织 物	1#	104×71	7384	83.75
	2#	118×82	9676	138.15
	3#	140×95	13300	220.85
镀银长丝的进纱量 不同, 添纱相同的织 物	4#	136×95	12920	223.47
	5#	134×94	12596	226.92
	6#	132×92	12144	227.64
	7#	130×91	11830	221.66
	8#	124×90	11160	231.66
	9#	118×90	10620	235.14

其中P_A为横密(5cm内线圈纵行数), P_B为纵密(5cm内线圈横列数)

4.7 电磁辐射屏蔽效能测试

实验仪器为西安工程大学研制的同轴波导管-网络分析仪防电磁辐射测试仪^[69], 测试装置示意图如4.2所示。网络分析仪是南京普纳科技设备有限公司的PNA3612, 频率范围30~3200MHz。测试装置所用测试频率为2250~2650MHz, 中心频率为2450MHz, 样品测试窗口尺寸为104mm×64mm。

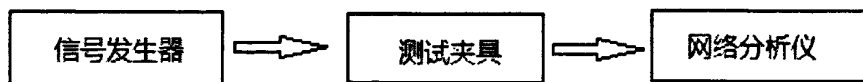


图4.2 测试装置示意图

4.8 测试结果与分析

4.8.1 电磁辐射屏蔽效能测试结果

实验样布的电磁辐射屏蔽效能测试结果如表4.7所示。

表4.7 织物防电磁辐射测试结果

试样	P_1/dB	P_2/dB	织物密度/ (线圈/25cm ²)	屏蔽效能 SE/dB	透过面料电磁波 能量被屏蔽掉 X/%
1#	0.0	-31.87	7384	31.87	99.934987
2#	0.0	-33.51	9676	33.51	99.955434
3#	0.0	-53.86	13300	53.86	99.999589
4#	0.0	-53.09	12920	53.09	99.999086
5#	0.0	-52.45	12596	52.45	99.999431
6#	0.0	-49.8	12144	49.80	99.998953
7#	0.0	-48.21	11830	48.21	99.998490
8#	0.0	-45.68	11160	45.68	99.997296
9#	0.0	-43.84	10620	43.84	99.995870

其中： P_1 —未加屏蔽材料时的读数 P_2 —加上屏蔽材料时的读数 $SE = P_1 - P_2$

$$X\% = (1 - 10^{-SE/10}) \times 100\%$$

从表4.7中可以看出，所有试验样布的电磁屏蔽效能都大于30dB，透过样布的电磁波能量的屏蔽率都在99.93%以上，满足民用电磁辐射防护服的要求^[78]。

常用家用电器的辐射频率在6MHz~2500MHz范围内^[68]，如表4.8所示。

表4.8 常用家用电器辐射主频率

电器名称	辐射主频率
计算机	300~450MHz
电视机	20MHz
吸尘器	200MHz
录像机	6MHz
电话	200MHz
家用无绳电话	250~380MHz
移动电话	70~1900MHz
洗衣机	30MHz
微波炉	2500MHz

根据常用家用电器的辐射频率范围，选定织物抗电磁辐射测试的范围为2250~2650MHz。根据表4.7中的测试结果看出，实验样布达到了对一般家用电器的电磁防护要求，可广泛用于民用低频防电磁辐射衣物和纺织品。

4.8.2 送纱量相同，添纱不同的织物的电磁屏蔽效能分析

在 2450MHz 处，1#-3#织物的电磁屏蔽效果如图 4.2 所示：

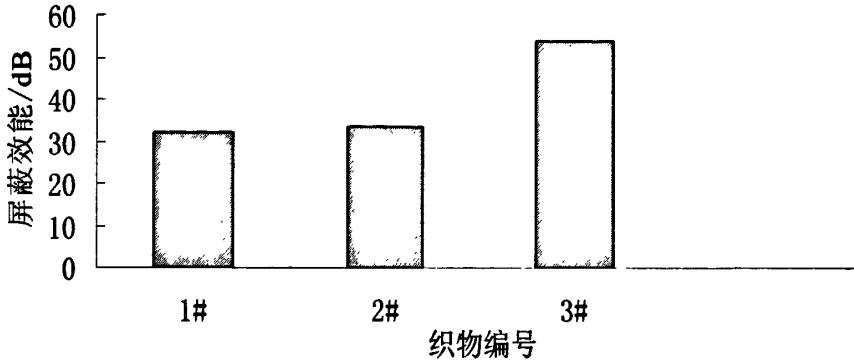


图4.2 1#-3#织物的防电磁辐射测试结果

从图4.2可看出，织物1#和2#的屏蔽效能相近，3#织物的屏蔽效能明显大于1#和2#。1#-3#织物的送纱量是相同的，但是这三块织物的电磁屏蔽效能存在明显的差异。这主要是由于添纱不同造成的。2#织物有添纱锦纶，织物的组织比没有添纱1#织物紧密些，织物的孔隙小些，因而2#织物的屏蔽效能要比1#织物的屏蔽效能高。3#织物的添纱为氨纶包缠纱，氨纶包缠纱的弹性使得3#织物组织更加紧密，织物上的孔隙更小，因而屏蔽效能明显比1#和2#织物的高。

4.8.3 送纱量不同，添纱相同的织物的电磁屏蔽效能分析

3#-9#织物在2450MHz处的电磁屏蔽效能与织物的总密度间的关系如图4.3所示。

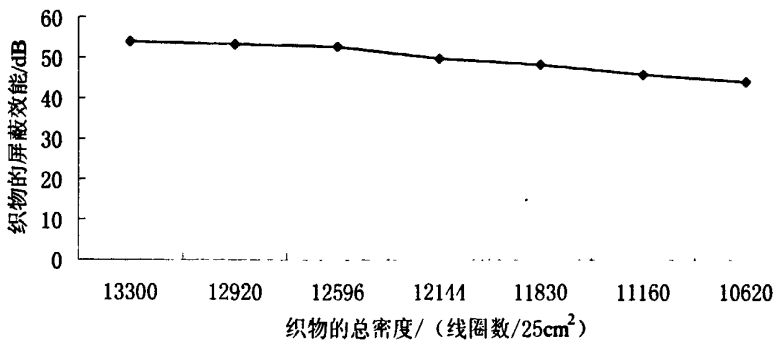


图4.3 电磁屏蔽效能与织物总密度的关系

3#-9#织物的添纱为氨纶包缠纱。从图4.3中可以明显的看出,随着织物总密度的增大,织物的屏蔽效能也随之增加。

为研究密度对织物电磁辐射屏蔽效能的影响,将实验数据进行方差分析^[71],得到的方差分析表如表4.9所示。

表4.9 方差分析表

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	F _a		显著性
					a=0.05	a=0.01	
密度的影响	241.28	6	40.21	278.68	2.85	4.46	**
误差	2.02	14	0.1443				
总和	243.30	20					

从方差分析表中可以看出织物的密度对织物的防辐射性能产生了极显著的影响。用Duncan多重极差法对织物密度的各水平进行多重比较。经过计算得出的R_a值如表4.10所示。比较结果如表4.11所示。

表4.10 各K值下的R_a值

K	2	3	4	5	6
q _{0.05}	3.03	3.18	3.27	3.33	3.37
q _{0.01}	4.21	4.42	4.55	4.63	4.70
R _{0.05}	0.664	0.696	0.716	0.729	0.738
R _{0.01}	0.922	0.968	0.996	1.014	1.029

表4.11 平均数差异显著性测验

织物 编号	平均 数x _i	x _i -43.84	x _i -45.68	x _i -48.21	x _i -49.80	x _i -52.45	x _i -53.09	差异显著性	
								a=0.05	a=0.01
3#	53.61	9.77	7.93	5.40	3.81	1.16	0.52	a	A
4#	53.09	9.25	7.41	4.88	3.29	0.64		ab	AB
5#	52.45	8.61	6.77	4.24	2.65			b	B
6#	49.80	5.96	4.12	1.59				c	C
7#	48.21	4.37	2.53					d	D
8#	45.68	1.84						e	E
9#	43.84							f	F

从多重比较的结果得出,在置信度a=0.01时,3#与4#织物的电磁屏蔽率差异不显著,4#与5#织物的电磁屏蔽率差异不显著。由此可以看出,密度增大到一定程度后织物的电磁屏蔽效率差异不显著,织物的防电磁辐射性能不再提高。在电磁屏蔽率差异不显著的情况下,选用密度小的织物可降低织物的成本。

4.9 本章小结

(1) 所有试验样布的电磁屏蔽效能都大于30dB，透过样布的电磁波能量的屏蔽率都在99.93%以上，满足民用电磁辐射防护服的要求。

(2) 进纱量相同，添纱不相同的织物中，添纱为氨纶包缠纱的织物的电磁屏蔽效能最好，其次是添纱为锦纶的织物。进纱量不相同，添纱相同的织物中，随着织物密度的增加，织物的电磁屏蔽效能也随之增加。当密度增大到一定程度后织物的屏蔽效率差异不显著，织物的防电磁辐射性能不再提高。

(3) 对实验数据进行方差分析得出，密度对织物的电磁屏蔽效能产生了显著的影响。当密度增大到一定程度后织物的屏蔽效率差异不显著，织物的防电磁辐射性能不再提高。

第五章 镀银纤维织物的抑菌性实验

近年来,随着全球工业的迅速发展和人民生活水平的不断提高,人们越来越重视纺织品的卫生性能,并追求生活环境的清洁与舒适。人类生活与微生物有着密切相关。在纺织品中一般都存在着微生物。而在病原菌的传播过程中,纺织品是直接或间接的媒介之一。因此,使纺织品具有抗菌功能是使其服用性能提高的重要手段,这样不仅截断了细菌传播和繁殖的途径,也防止由细菌分解纺织品上的污物而产生的臭气。使用抗菌纺织品无论是从预防疾病的角度,还是从倡导健康生活方式的角度来讲,都是一种理想的选择。

5.1 皮肤和纺织品上的常见致病菌

皮肤是覆盖在人体外表的重要器官,能够敏锐的感受外界刺激,具有屏障、吸收、调节体温、分泌和排泄功能,还积极参与机体的代谢和免疫反应。人体在正常情况下带有无数的细菌,附着于两手的细菌有时竟超过 10^6 个/cm²。存在于头皮上的微生物约为 1.4×10^7 个/cm²。人的体表和同外界相通的口腔、鼻咽腔、肠道、泌尿生殖道等腔道中都存在着不同种类和数量的细菌^[17]。但是当机体的抵抗能力下降,或是皮肤损伤,以及抗生素、免疫制剂、抗肿瘤药物或放射治疗等使用不当是,皮肤处的菌群就会失调,此时某些过路菌甚至皮肤粘膜的一些正常菌群均可引起感染。

纺织品是多孔材料,在传递致病菌的过程中,纺织品成为适合微生物生存繁殖的良好载体。它们在水、氧、营养物(污物、灰尘、汗渍和一些纺织品整理剂)充分的条件下会迅速繁殖,促使人体皮肤感染并使沾有汗水和人体分泌物的织物产生恶臭。尤其在医院、饮食服务、旅游行业中,稍不注意消毒条件,就可能使日常用品上沾上病毒,造成交叉感染。不同类型织物上存留的微生物也不相同。例如多人共用的毛巾是眼科疾病,呼吸器官传染疾病的传播媒介,而理发店的毛巾和旅馆的我局、浴衣是白癣等皮肤病及痢疾、性病、霍乱的传播媒介。据报道,即使将织物洗干净,织物上还是附着大量的细菌^[72]。

附着在人体和纺织品上的常见致病菌如表5.1所示^{[72][73][74]}。

下面介绍几种常见的对人体造成危害微生物:

(1)大肠杆菌:属于革兰氏阴性菌,外形为杆状,周身鞭毛,能运动,一般在新

生儿获动物出生数小时后进入肠道。大肠杆菌是食物中重要的腐败菌，是引起婴儿腹泻的主要病原之一。

(2)金黄色葡萄球菌：属于革兰氏阳性菌，在营养琼脂培养基上，菌落呈圆形，边缘整齐，表面光滑，含脂溶性金黄色素。人体感染金黄色葡萄球菌后，在短时间内就会产生肠毒素，引发食物中毒症状。

(3)白色念珠球菌：是人类易感染的一种真菌，其革兰染色呈阳性。这种菌一旦侵入消化系统，健康的微生物系统就会发生紊乱，营养吸收受到限制，免疫系统会受到严重的损坏。

(4)绿脓杆菌：属于革兰氏阴性菌，能产生多种与毒有关的物质，如外毒素 A、弹性蛋白酶、内毒素等。绿脓杆菌感染科发生在人体的任何部位和组织，常见于烧伤或创伤部位、中耳、角膜、尿道和呼吸道。

表 5.1 常见的一些致病菌

菌种		对人体的影响与作用
革兰氏阳性菌	金黄色葡萄球菌	中毒性休克、心内膜炎、化脓性感染
	表皮葡萄球菌	手术伤口感染
	白色葡萄球菌	尿路感染
	白喉类棒状杆菌	体臭
革兰氏阴性菌	大肠杆菌	尿路感染
	肺炎杆菌	多方面感染
	绿脓杆菌	伤口及烧伤感染
	变形杆菌	尿路感染
真菌	白色念珠菌	指间糜烂、皮肤念珠病
	趾间发癣菌	香港脚
	皮肤癣菌	指甲与皮肤感染

5.2 纺织品抗菌性能测试方法及标准

织物抗菌性能的测试分为定量测试方法和定性测试方法，其中以定量测试方法最为重要^[46]。

(一) 定量测试方法

目前, 纺织品抑菌性能定量测试方法及标准包括美国 AATCC Test Method 100(菌落测定法); FZ/T 02021—1992、奎恩实验法等。

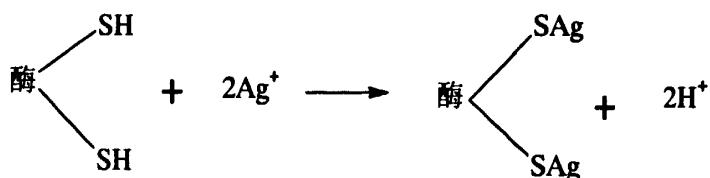
定量测试方法包括织物的消毒、接种测试菌、菌培养、对残留的菌落计数等。它适用于非溶出性抗菌整理织物, 不适用于溶出性抗菌整理织物。该法的优点是定量、准确、客观, 缺点是时间长、费用高。

(二) 定性测试方法

定性测试方法主要有美国 AATCC Test Method 90(琼脂平皿法)、AATCC Test Method 124(平行划线法)和 JISZ2911—1981(抗微生物性实验法)等。定性试验方法包括在织物上接种测试菌和用肉眼观察织物上微生物的生长情况。它是基于离开纤维进入培养皿的抗菌剂活性, 一般适于染出行抗菌整理, 但是不适用于耐洗涤的抗菌整理。具有费用低, 速度快的优点。缺点是不能定量测试抗菌活性, 结果不准确。

5.3 银的抗菌机理

金属银是一种不活泼的金属, 但是在与皮肤上的水分以及伤口渗出液接触后, 银离子可以被释放出来。当与伤口上的细菌接触时它可以与细菌细胞中的酶蛋白上的活性部分巯基(—SH)、氨基(—NH₂)等发生以下所示的反应。这个反应使酶蛋白沉淀而失去活性, 使病原细菌的呼吸代谢被迫中止, 细菌的生长和繁殖因而得到抑制^{[76][76]}。



5.4 织物的抑菌试验

5.4.1 试验材料、菌种、试剂及仪器

试验材料: 如表 5.2 所示。

表 5.2 抗菌针织物

织物编号	1#	2#	3#	4#
镀银纤维含量/%	0.5	2	10	100

试验菌种:金黄色葡萄球菌(ATCC6538,革兰氏阳性菌)、大肠杆菌(ATCC29522,革兰氏阴性菌)、白色念珠菌(ATCC10231,真菌)。

试验试剂:蛋白胨、牛肉浸膏、琼脂粉、葡萄糖、蒸馏水、磷酸氢二钠、磷酸二氢钾、氢氧化钠。

试验仪器:DRP-9082型电热恒温培养箱、YXQ-LS-SII全自动立式压力蒸汽灭菌器、超净工作台、DKZ-450B型电热恒温振荡水槽、电子天平、三角烧瓶、生化培养皿(简称平皿,皿底直径为9cm)、血球计数板、定量刻度吸管、试管、移液器、酒精灯、4mm铂接种环。

5.4.2 检测试样的准备

将含镀银纤维的织物及标准空白试样纯腈纶织物剪成0.5cm大小的碎片。用小称量杯称取镀银纤维织物及标准空白试样 $0.75g \pm 0.05g$ 多份。将试样用小纸片包好,在103kPa、121℃灭菌115min,备用。

为了研究含镀银纤维织物的抗菌性能的耐久性,在试验前对4#试样进行洗涤处理,洗涤次数为50次。洗涤程序按照标准FZ/T73023-2006中规定的抗菌织物试样的洗涤实验方法进行。

5.4.3 实验液的制备及实验方法

培养基溶液的配制、接种菌液的制备、稀释菌液的制备按照标准FZ/T73023-2006中规定的抗菌织物测试方法—振荡法进行试验^[7]。

5.4.3.1 培养基溶液的配制

(1)营养肉汤:精确称取3g牛肉浸膏和5g蛋白胨,加1000mL蒸馏水放到烧瓶中混合,用玻璃棒搅拌至彻底溶解,再用0.1mol/L的氢氧化钠溶液调节PH至 6.8 ± 0.2 。然后装到三角瓶中后加塞、包扎,在103kPa、121℃灭菌115min,备用。

(2)营养琼脂培养基:精确称取3g牛肉浸膏和5g蛋白胨和15g琼脂粉,加1000mL蒸馏水放到烧瓶中混合,将烧瓶放于沸水浴中加热,充分的溶解,再用0.1mol/L的氢氧化钠溶液调节PH至 6.8 ± 0.2 ,盖上棉塞,在103kPa、121℃灭菌115min。

(3) 0.03mol/L PBS 缓冲液: 取磷酸二氢钾 1.36g, 磷酸氢二钠 2.84g, 蒸馏水 1000mL, 配成 PH7.2~7.4 的缓冲溶液。用烧瓶分装后在 103kPa、121℃ 灭菌 115min。

5.4.3.2 接种菌液的制备

(1) 细菌接种菌悬液的制备: 用 4mm 铂接种环挑取保存在试管培养基中的菌种的典型菌落, 将其移到盛有 20mL 营养肉汤的三角瓶中, 在 37℃±1℃, 130r/min 振荡培养 18h~20h, 即制成细菌接种菌悬液。

(2) 真菌接种菌悬液的制备: 将 5mL 0.03mol/L PBS 缓冲液加入到白色念珠菌的试管培养基中, 反复冲洗, 洗下菌苔, 然后用吸管将洗液移至另一支无菌试管中, 在手上振摇 80 次, 使其均匀, 即制成了真菌接种菌悬液。

5.4.3.3 稀释菌液的制备

分别取接种菌液 1 mL, 放入有 9mL±0.1mL 0.03mol/L PBS 缓冲液的试管中, 摇匀。重复上述步骤, 用 10 倍稀释法进行稀释, 使细菌浓度达到 0.7×10^5 cfu/ml~ 1.5×10^5 cfu/ml, 真菌浓度达到 1.0×10^5 cfu/ml~ 1.3×10^5 cfu/ml。

5.4.3.4 实验方法

按照标准 FZ/T73023-2006 中规定的抗菌织物测试方法—振荡法进行试验。将抗菌织物和标准空白样分别放入到三角烧瓶中, 然后在每个烧瓶中加入 70mL±0.1mL 0.03mol/L PBS 缓冲液。用吸管往抗菌织物试样及标准空白样的烧瓶中各加入 5 mL 已经准备好的稀释菌液, 盖好瓶盖。将烧瓶置于振荡器上, 在 24℃±1℃, 以 150r/min, 振荡 18 小时。

到规定时间后, 从每个烧瓶用吸管吸取 1mL±0.1mL 试液, 放入有 9mL±0.1mL 0.03mol/L PBS 缓冲液的试管中, 摇匀。重复上述步骤, 用 10 倍稀释法进行稀释。用新吸管从每个稀释过的试管中分别吸取 1mL±0.1 mL 放入两个平皿中做平行样, 再向每个平皿中倒入营养琼脂培养基约 15 mL, 室温凝固, 倒置平皿, 37℃±1℃ 培养 24h~48h (白色念珠菌 48h~72h)。然后按平板计数法计算活菌数。

为降低误差, 对同一试样做三次平行测试, 取其平均值。

5.4.4 试样的抗菌效果计算

利用下面公式计算抑菌率。

$$Y = \frac{W_b - W_c}{W_b} \times 100\%$$

式中：Y 为抑菌率，%

W_b 为标准空白振荡接触 18h 后烧瓶内的活菌数

W_c 为抗菌织物试样振荡接触 18h 后烧瓶内的活菌数

5.5 试验结果与分析

5.5.1 试验结果

试验中，金黄色葡萄球菌及大肠杆菌的生长值 $F=1.5$ ，白色念珠菌的生长值 $F=1.0$ ，试验菌活性较强，试验有效。

用振荡法测得的含镀银纤维织物的抑菌效果用抑菌率来评价。试验结果如表 5.3 所示。

表 5.3 试验结果（平均值）

菌种	大肠杆菌				金黄色葡萄球菌				白色念珠菌			
编号	1#	2#	3#	4#	1#	2#	3#	4#	1#	2#	3#	4#
Y/%	92.45	94.55	99.89	99.98	87.37	94.74	99.71	99.97	74.33	93.33	99.47	99.83

5.5.2 结果数据分析

由表 2 数据表明：镀银纤维具有抑菌性能。这是由于银具有非常高的生物活性，使得细菌细胞膜内外蛋白质凝固，从而阻断细菌细胞的呼吸和繁殖。

随着镀银纤维含量的增加，织物的抑菌性能随之提高。同一含量的织物，对于不同菌种抑菌率也有所不同。从表的数据中看出 3# 和 4# 织物对三种菌的抑菌率相差不大，由此可看出，当镀银纤维含量增加到一定程度，织物的抗菌性能基本不发生变化。

试验中考虑了菌种及织物中镀银纤维的含量 2 个因素，其中镀银纤维含量有四个水平，菌种有三个水平。假设 $H_{01}: a_1=a_2=a_3=0$ ， $H_{02}: \beta_1=\beta_2=\beta_3=\beta_4=0$ ，对试验所得的数据进行分析计算^[71]，得到方差分析表如表 5.4 所示。

表 5.4 方差分析表

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	$F_{0.05}$	显著性
菌种的影响	53.5	2	26.75	2.4	5.14	
镀银纤维含量的影响	456.3	3	152.1	13.56	4.76	*
误差	122.5	6	11.14			
总和	632.3	11				

从方差分析表可以看出镀银纤维的含量对织物的抗菌性能产生了显著的影响, 因此接受 H_{01} , 拒绝 H_{02} , 认为抑菌率在镀银纤维含量的影响下发生了明显的变化。利用 Duncan 多重极差法对镀银纤维含量的各水平进行多重比较。经计算得出的 R_a 值如表 5.5 所示。多重比较结果如表 5.6 所示。

表 5.5 各 K 下的 R_a 的值

K	2	3	4
$q_{0.05}$	3.46	3.58	3.64
$q_{0.01}$	5.24	5.51	5.65
$R_{0.05}$	6.67	6.91	7.03
$R_{0.01}$	10.11	10.63	10.91

表 5.6 平均数差异显著性测验

织物编号	平均数 (\bar{x}_i)	$\bar{x}_i-84.71$	$\bar{x}_i-94.21$	$\bar{x}_i-99.69$	差异显著性	
					a=0.05	a=0.01
4#	99.93	15.22**	5.71	0.24	a	A
3#	99.69	14.98**	5.48		a	A
2#	94.21	9.5*			a	AB
1#	84.71				b	B

多重比较结果表明, $a=0.05$ 时 1# 织物与其它三种织物的抑菌率存在明显的差异, 2#、3#、4# 织物间的抑菌率差异不明显。因此考虑到织物的成本, 应选用镀银纤维含量少的 2# 织物。

5.5.3 抑菌性能耐久性试验结果

4# 织物抑菌性能耐久性试验结果如表 5.7 所示。

表 5.7 抑菌性耐久性试验结果

洗涤次数	大肠杆菌	金黄色葡萄球菌	白色念珠菌
未洗涤时的抑菌率/%	99.98	99.97	99.83
洗涤 50 次的抑菌率/%	99.96	99.92	99.47

从图 5.7 中可以看出，4#织物在洗涤 50 次后的抑菌效果稍微有所下降，但是抑菌率还都在 90%以上。其中，对白色念珠菌的抑菌率下降最大，为 0.36%。由此可以看出，镀银纤维的抑菌效果优良，耐水洗效果好。

5.6 本章结论

(1)含镀银纤维织物具有良好的抑菌性能。与银具有高的的生物活性有关。

(2)随着镀银纤维含量的增加，织物的抑菌性能提高。但含量增加到一定程度时，织物的抑菌性能基本不变。

(3)通过方差分析得出，镀银纤维的含量对织物的抗菌性能产生了显著的影响。选定含量 2%即可达到抑菌效果。

(4)试验还表明织物抑菌耐水洗效果很好。洗涤 50 次后抑菌率还在 90%以上。

第六章 结论

本论文利用镀银纤维织成具有抗静电、防辐射及抗菌多功能的纺织品，并对其性能进行了研究及探讨。通过一系列的实验，得出的结论如下：

(1) 镀银长丝的拉伸实验结果表明，156dtex 和 44dtex 镀银长丝的断裂强度比对应锦纶长丝的断裂强度要低，而断裂伸长比对应锦纶长丝大。通过拉伸曲线可以看出，镀银长丝的拉伸曲线具有金属和锦纶纤维的拉伸特性。

(2) 通过测量镀银长丝的电阻得出，镀银长丝的电阻率远远小于锦纶。镀银后纤维的电阻大大降低，从而提高产品的抗静电性。并且镀银层跟基体间的粘接力很强，镀银长丝的耐久性优良。

(3) 纺制了镀银纤维与腈纶不同混纺比的混纺纱。从混纺纱的横截面可以看出，镀银纤维大部分分布在混纺纱的外侧，这有利于静电荷的消除。从混纺纱的拉伸试验结果看出，镀银纤维的含量对纱线的断裂强度及伸长率无明显的影响。

(4) 将不同混纺比的纱线织成织物，测量织物的表面比电阻和电荷面密度。随着镀银纤维含量的增加，织物的表面比电阻和电荷面密度都逐渐减小，则织物的抗静电性能逐渐提高。但是当镀银纤维的含量达到一定值时，织物的抗静电性能的提升就没有那么明显。镀银纤维含量为 0.5% 时就能满足国家标准规定的防静电工作服标准。

(5) 用同种纱线织成密度不同的织物，测试织物的电荷面密度。实验结果表明，随着织物密度的减小，织物的电荷面密度增大。这是由于密度减小，织物单位面积内含的镀银纤维的量减少。用一定机号的针织机，相同细度的纱线编织的织物，密度对织物的抗静电性能的影响较小。

(6) 为求得合适的镀银纤维的含量，研究了镀银导电纱的间距对织物抗静电性能的影响。实验结果表明，随着镀银导电纱的间距增加，镀银纤维的含量减少，织物表面的电荷面密度增大。由于镀银导电纱在织物中沿纬向配置，织物的纬向的电荷面密度比经向得电荷面密度小，并且织物的最大电荷面密度也都是经向测得的结果。作出了镀银导电纱间距与镀银纤维含量的关系曲线和镀银导电纱间距与平均电荷面密度的关系曲线，并通过曲线拟合得到 2 条曲线的拟合方程，根据织物允许的电荷面密度计算出镀银导电纱的理论间距为 2.93cm，镀银纤维里理论含量为 0.231%。由于实际生产中有许多影响因素，可根据实际应用中织物的抗静电性能进

行修正。

(7) 将镀银长丝织成双层多功能织物，镀银长丝主要集中外层，形成一个完整的、封闭的具有导电性的电磁屏蔽网。实验结果表明，所有试验样布的电磁屏蔽效能都大于30dB，透过样布的电磁波能量的屏蔽率都在99.93%以上，满足民用电磁辐射防护服的要求。进纱量相同，添纱不相同的织物中，添纱为氨纶包缠纱的织物的电磁屏蔽效能最好，其次是添纱为锦纶的织物。进纱量不相同，添纱相同的织物中，随着织物密度的增加，织物的电磁屏蔽效能也随之增加。对实验数据进行方差分析得出，密度对织物的电磁屏蔽效能产生了显著的影响。当密度增大到一定程度后织物的屏蔽效率差异不显著，织物的防电磁辐射性能不再提高。

(8) 织物的抑菌性实验的结果表明，含镀银纤维织物具有良好的抑菌性能。这与银具有高的生物活性有关。随着镀银纤维含量的增加，织物的抑菌性能提高。但含量增加到一定程度时，织物的抑菌性能基本不变。对实验结果进行方差分析得出，镀银纤维的含量对织物的抗菌性能产生了显著的影响。选定含量2%即可达到抑菌效果。试验还表明，织物抑菌耐水洗效果很好。洗涤50次后抑菌率还在90%以上。

参考文献

- 1 王妮,魏征.浅谈防静电纺织品的研究与开发[J].上海丝绸,2001(1):38-40
- 2 施楣梧.纺织材料防静电技术的回顾与展望[J].中国个体防护装备,2001(03):12-15
- 3 刘尚合.静电理论与防护[M].北京:兵器工业出版社,1991
- 4 蒋少军.抗静电织物的开发和应用[J].纺织学报,2002(9):42-45
- 5 吴红玲,蒋少军.纺织品防静电整理技术的讨论[J].陕西纺织,2003(2):26-27
- 6 许兰杰,郭昕.提高织物防静电性能的途径和方法[J].四川丝绸,2007(3):27-29
- 7 张治国,尹红等.纤维用后整理用抗静电剂研究进展[J].纺织学报,2004(3):121-123
- 8 李燕云,朱严瑾等.抗静电剂综述[J].北京石油化工学院学报,2003(1):28-32
- 9 毋淑玮,兰丽丽.功能性整理新技术[J].染整技术,2006(12):11-13
- 10 傅伟江,姜开明.纺织品的抗静电[J].中国劳动防护用品,2000(2):14
- 11 裘康,刘绒.抗静电织物的加工方法与性能评价[J].纺织科技进展,2005(2):49-51
- 12 贺晓丽.纺织品的抗静电整理[J].天津纺织科技,2006(2):5-9
- 13 陈伟,郭静.抗静电涤纶的研究及发展[J].聚酯工业,2007,20(2):5-7
- 14 刘国华,王文祖.电磁辐射防护织物的开发[J].产业用纺织品,2003,21-16
- 15 Protection from electromagnetic radiation[J].High Performance Textile,1992(10):7-8
- 16 王洪燕,潘福奎等.电磁辐射与防电磁辐射纺织品[J].纺织科技进展,2008(3):28-32,68
- 17 徐晶,徐先林.电磁辐射防护织物发展现状[J].纺织科技进展,2009(3):25-26
- 18 贺娟,王花娥.电磁波辐射屏蔽织物研究和发展现状[J].山东纺织科技,2008(3):44-47
- 19 兰繁.新型功能性纺织材料—导电纤维[J].纺织服装周刊,2008(1):25-27
- 20 高绪珊等.导电纤维及抗静电纤维[M].北京:纺织工业出版社,1991
- 21 李荣珍,陶再荣等.导电纤维的开发现状及应用[J].江苏纺织,1999(5):12-13
- 22 韩飞.抗静电纤维和导电纤维的研究与发展[J].广东化纤,2003(3):28-31
- 23 王鹏,张瑜等.复合型导电纤维的制备及开发现状[J].合成纤维,2004(19):
- 24 施楣梧.纺织品用抗静电纤维、导电纤维的回顾与展望[J].毛纺科技,(06),2000:5-9
- 25 王进美,田伟.健康纺织品开发与应用[M].北京:中国纺织出版社,2005
- 26 商成杰.功能纺织品[M].北京:中国纺织出版社,2006
- 27 季君晖,史维明.抗菌材料[M].北京:化学工业出版社,2003
- 28 吉向飞,李玉平等.抗菌剂及抗菌材料的发展和应用[J].太原理工大学学报,2003(1):11-14
- 29 李梅,王庆瑞.抗菌材料的发展及应用[J].材料导报,1999,13(2):35-37

- 30 秦益民. 功能性医用敷料[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2007
- 31 叶卉, 李东平等. 镀银纤维的研发进展及应用[J]. 纺织导报, 2006 (6): 54-56
- 32 刘洪凤. 防电磁辐射纤维的研究进展[J]. 产业用纺织品, 2007 (6): 1-4
- 33 周先菊, 赵峰. 金属化纺织材料的研制与应用[J]. 上海纺织科技, 2001 (1): 47-48
- 34 孟灵灵, 黄新民等. 金属化纺织材料制备技术[J]. 纺织科技进展, 2009 (6): 7-8
- 35 张宝林. 金属镀层织物研究[J]. 山东纺织科技, 1998 (4): 8-9
- 36 余东海. 磁控溅射镀膜技术的发展[J]. 真空, 2009 (2): 19-25
- 37 Hus Sliver-plated Fibers of Poly and a process for Making Them USP 5549972 [P]
1996-08-27
- 38 Yuen C W M, Jiang S Q. Textile metallization[J]. Textile Asia, 2006 (9): 33-35
- 39 叶卉, 赵艳霞等. 新型功能纤维—银纤维及其应用展望[J]. 江苏纺织, 2006 (4): 27-29
- 40 夏芝林. 镀银纤维织物的制备方法: 中国专利. 200410024079. 8[P]. 2005-01-26
- 41 夏芝林. 一种有机纤维及织物的银金属化制备方法: 中国专利.
200510043326. 3[P]. 2005-10-26
- 42 王政, 赵炯心. 化学镀银导电聚氨酯纤维的制备[J]. 合成技术与应用, 2006 (3): 35-39
- 43 赵书经. 纺织材料实验教程[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2001.
- 44 姚穆, 周锦芳, 黄淑珍. 纺织材料学[M]. 第二版. 北京: 中国纺织出版社, 2004.
- 45 张玉锡等. 纺织品服用性能与功能[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2008
- 46 马洪才, 梁玉华. 防静电纤维及导电纤维[J]. 山东纺织科技, 2002 (1): 54-56
- 47 陈绍娟, 马健伟等. 技术纺织品[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2008
- 48 朱平等. 功能纤维和功能纺织品[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2006
- 49 孙斌. 关于织物防静电的研究[J]. 广西纺织科技, 2009 (4): 29-31
- 50 伏广伟, 贺显伟等. 导电纤维与纺织品及其防静电性能测试[J]. 纺织导报, 2007 (6): 112-114
- 51 高婵娟, 马峰等. 防静电织物的性能测试[J]. 棉纺织技, 2005 (2): 57-59
- 52 霍瑞亭等. 高性能防护纺织品[M]. 北京: 中国纺织出版, 2008
- 53 中华人民共和国国家标准 GB/T12703—1991 纺织品静电测试方法[S]
- 54 中华人民共和国国家标准 GB/T3916-1997 纺织品卷装纱单根纱线断裂强度和断裂伸长率的测定[S]
- 55 中华人民共和国国家标准 GB/T12014—1989 防静电工作服[S]
- 56 张碧田, 李国勋等. 电磁屏蔽织物的制备及应用[J]. 环境工程, 1995 (3): 38-39
- 57 甘雪萍, 胡文彬等. 电磁波屏蔽织物的发展现状[J]. 表面技, 2006 (6): 48-50
- 58 赵玉峰等. 现代环境中的电磁污染[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003
- 59 陈亢利, 钱先友等. 物理性污染与防治[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006. 7
- 60 华坚. 环境污染控制工程材料[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009

- 61 张勤勋. 浅谈电磁辐射与人体健康[J]. 环境保护, 1999 (5): 47
- 62 薛风景. 电磁辐射与个人防护用品[J]. 河北纺织, 1998 (3): 39-40
- 63 刘丽华, 王文祖. 电磁辐射与防电磁辐射的纤维及服装[J]. 北京纺织, 2000 (6): 28-30
- 64 Fiber to absorb electromagnetic radiation from electronic devices[J]. High Performance Textile .October. 1998. 1
- 65 刘越, 马晓光. 防电磁波辐射功能纺织品的开发[J]. 印染, 2001 (8): 50-52
- 66 汝强, 胡社军等. 电磁屏蔽理论及屏蔽材料的制备[J]. 包装工程, 2004 (5): 21-23
- 67 潘颖, 朱平等. 电磁防护纺织品的研究开发[J]. 染整技术, 2007 (3): 4-6
- 68 王贤杰, 赵连梅. 电磁辐射环境污染研究概况[J]. 内蒙古环境保护, 1998 (1)
- 69 孙润军, 来侃. 服装用纺织品防电磁辐射测试方法的研讨[J]. 西安工程科技学院学报, 2003, 17 (2): 100-104
- 70 孙润军. 纺织品抗静电与防电磁辐射机理及评价方法的研究[C]. 20041201
- 71 辛益军. 方差分析与实验设计[M]. 中国财政经济出版社, 2001年12月第一版
- 72 商成杰. 纺织品抗菌及防霉整理[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2009
- 73 沈萍. 微生物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000
- 74 郭秀君. 微生物学[M]. 济南: 山东大学出版社, 1994
- 75 墙蕾, 倪红卫等. 银的抗菌作用机理[J]. 武汉科技大学学报(自然科学版), 2007(2): 121-124
- 76 Feng Q L, Wu J, Chen G Q, et al. A mechanistic study of the antibacterial effect of silver ions on Escherichia coli and Staphylococcus aureus [J]. Journal of Biomedical Materials Research, 2000, 52(4):662-668
- 77 中华人民共和国纺织行业标准 FZ/T73023—2006 抗菌针织品[S]
- 78 伏广伟, 湛权. 民用防电磁辐射服装的开发及屏蔽效能评价[J]纺织导报, 2010 (1): 88-90

攻读学位期间的研究成果

1. 王学芹, 李显波. 镀银纤维拉伸及导电性研究. 青岛大学学报工程版. 2010, 25 (1)
2. 王学芹, 李显波. 锦纶基镀银长丝的性能研究. 中国科技论文在线. 2009, 7

致谢

本文是在导师李显波老师精心指导下完成的。李老师在实验过程中耐心指导，严格要求，使本课题得以顺利完成。李老师在学习、工作、生活上给予我最大的帮助、指导和支持，他渊博的知识，卓越的远见，严谨求实的念度，兢兢业业的工作作风，平易近人、乐观向上的生活理念，使我受益匪浅，在此，向李老师致以最衷心的感谢！

此外，论文得到张玉清老师、孙永军老师、李涛老师、高守武老师等许多老师的大力支持和指导，还得到山东纺织科学院的关院长和西安工程大学的于璐同学真诚帮助，在此一并向他们表示最诚挚的谢意！

本课题还得到了山东省自然科学基金（Y2008B45）的资助，在此表示深深的感谢。

在论文的实验过程中，段慧同学、邹志伟同学、李国政同学等给予了极大的帮助。在论文完成之际，谨向导师和所有帮助过我的人表达我由衷的谢意。

学位论文独创性声明

本人声明，所呈交的学位论文系本人在导师指导下独立完成的研究成果。文中依法引用他人的成果，均已作出明确标注或得到许可。论文内容未包含法律意义上已属于他人的任何形式的研究成果，也不包含已用于其他学位深情的论文或成果。

本人如违反上述声明，愿意承担由此引发的一切责任和后果。

论文作者签名：王学芹

日期：2010年6月7日

学位论文知识产权权属声明

本人在导师指导下所完成的学位论文及相关的职务作品，知识产权归属学校。学校享有以任何方式发表、复制、公开阅览、借阅以及申请专利等权利。本人离校后发表或使用学位论文或与该论文直接相关的学术论文或成果时，署名单位仍然为青岛大学。

本学位论文归属：

保密 ，在 _____ 年解密后适用于本声明。

不保密 。

（请在以上方框内大“√”）

论文作者签名：王学芹

日期：2010年6月7日

导师签名：李显波

日期：2010年6月7日

（本声明的版权归青岛大学所有，未经许可，任何单位及任何个人不得擅自使用）