

## 摘 要

空气日益严重污染,建筑越来越密集,这一系列问题导致了“密闭建筑综合症”,因此,大量人群的身体处于亚健康状态。造成这一结果的直接原因主要是空气中负离子数量的减少,因而负离子浓度日渐被人们关注。负离子功能纤维能在无源状态下产生负离子的特点,将使其成为纺织领域中不可缺少的功能性原料之一。同时国内对该纤维产品的开发尚处于起步阶段,故其有着极大的发展潜力。

本课题在对负离子功能纤维及其产品的国内外研究现状分析的基础上,阐述了负离子功能纤维新型空调滤材织物设计开发的意义,该纤维的主要功能及其发展趋势,负离子产生的机理和直接蒸发冷却式空调机的结构,以及织物在该空调中的三种应用模型,即静态测试、磨擦激发和紫外光激发原理模型。

本文重点介绍了该新型滤材产品设计开发的组织结构、品种规格、试织方案及试织过程,在并采用负离子功能粘胶长丝、负离子功能涤纶与棉混纺纱等原料设计试织了系列织物样品,上机工艺中选用了空箱和空纬工艺,以使滤材织物减弱对空调空气流动所造成的阻力。对所设计试织的产品进行了基本性能测试和负离子释放功能测试。负离子功能测试主要运用紫外光激发原理模型在自制的小气候环境中对滤材织物进行测试,最终得出了经纬向采用负离子功能涤棉混纺纱织成的蜂巢组织的织物负离子释放功能较好。

**关键词:** 负离子 粘胶纤维 滤材 织物设计 性能测试

# **The Development of Construction and Function of Negative Ion Fiber and Research on Functional Textile of the Filter Stuff of the Air-Conditioner**

## **ABSTRACT**

“Sick building syndrome” is propagating to people’s life because of the more pollution of atmosphere and the high density of architecture. Many people’s corporeity is in sickness. Decreasing of anion in the air is the direct causation. So people paid more and more attention to concentration of aero-anion. Anion viscose functional fiber can engender anion without any resources. It will be one of the most important functional materials in textile area. And the exploitation of its products is developed fresh, so it has great potential for development.

In this paper, on the base of analyzing to the researching state of anion functional fiber and its products both home and abroad, expounds the meaning of researching on new type air conditioner filtering material made of the fiber. It also introduces the main function and developing tendency of this fiber. The principle of anion engendering, the structure of direct evaporation cooling air conditioner and three application models of filtering material on this air conditioner are introduced. The models include static excitation, friction excitation and ultraviolet excitation. Importantly introducing ways of the stitch structure and weaving of new products. In order to let the wind of air conditioner go stable, blank reed dent and filling craft are used during the weaving. At last some tests of its natural capacity and anion engendering function are done. In a microclimate environment, anion generating function of these fabrics are tested, and get the conclusion of that honeycomb weave pure law fabric of warp and weft with anion viscose fiber is better .

**Zhang Ying** (Textile Material & Textile Fabric Design)

**Directed by Professor Duan Ya-feng**

**Key words:** aero-anion, viscose fiber, filtering material, fabric design, function test.

# 1 绪论

随着社会工业化程度的提高,环境问题日益突出:空气质量下降,噪音污染严重,人口拥挤等等。尤其在大城市,房屋建筑密度高,工作和居住的房屋密封性好,安装有空调等家用电器,室内外空气不能产生对流,以至室内空气质量恶化。一系列空气问题便导致了人体免疫力和内分泌系统调节平衡的恢复功能减弱,使得大量人群身心处于亚健康状态。造成这一结果的原因之一就是空气中负离子数量稀少<sup>[1]</sup>。据美国有关统计资料表明,20世纪初,大气中正、负离子比例为1:1.2,而现在的比例为1.2:1,自然界中正负离子平衡已被严重破坏。因此,空气中负离子浓度的多少日益受到人们的关注。人一生中70%的时间在室内度过,室内空气质量的好坏直接影响到人体的健康<sup>[2]</sup>,人们希望自身所处的工作环境或生活环境能达到健康舒适的条件。针对这一现象,研究具有负离子释放功能的纺织品具有一定意义<sup>[3]</sup>。

负离子纤维技术的出现,为负离子功能纺织品的开发奠定了基础。由于该纤维投入市场时间较短,目前主要作为服装用料在开发,产品形式比较单一。用负离子功能纤维织成的纺织品用于直接蒸发冷却空调中,可以改善和调节居室与办公环境空气质量,也为功能纤维材料在家纺和产业用纺织品领域的应用开辟出新的途径。

本课题从分析负离子纤维原料结构性能出发,通过设计功能织物结构规格和上机工艺条件并进行试织,测试织物在不同外界条件下释放负离子的功能;提出和探讨功能织物在直接蒸发冷却式空调器中的应用模式和技术途径,使家用空调发挥更好的作用,同时也赋予空调智能化的概念,使其迎合现代高科技发展的消费需要。

## 1.1 本课题研究的内容与目的

### 1.1.1 本课题研究的内容

采用扫描电镜、能谱分析等手段测试负离子纤维的结构、组成与各项物理机械性能,探索影响负离子功能纤维织造效率的因素,制定合理的织造工艺流程、优化各工艺环节的工艺参数。通过设计试织不同组织的负离子功能纤维织物,测试这些织物在不同外界条件下分别释放负离子量的大小,最后设计开发出能最大限度释放负离子的织物并用于直接蒸发冷却式空调器中,以改善空调房间的空气品质。

### 1.1.2 课题研究的目的及意义

随着经济全球化程度和人民生活水平的不断提高,人们的健康、生态和环保意识逐渐增强,对纺织品的功能性要求越来越高,因此功能性纺织品的市场需求日益增长。负离子功能纤维,是把宝石级电气石经过特殊表面处理,制成具有产生负离子功效的化纤纺丝用超细粉末添加剂,再经特殊工艺使负离子超细粉镶嵌到纤维中,从而获得的一种能使周围空气中的水分子发生极化形成负离子,并能发射生物

波、释放出人体必须微量元素的新型高科技纤维材料。用该纤维开发的功能性纺织品,具有永久发射负离子和生物波的功能、抗菌杀菌性能和释放人体必须微量元素、使空气脱臭,增加洗涤时的界面活性等作用,其产业化生产对改善我国纺织产品结构、提高纺织品附加值和开拓国际市场具有重要的经济和社会意义。

## 1.2 负离子功能纺织品的发展历程与现状

### 1.2.1 负离子功能纺织品的发展历程

从空气负离子概念的提出到负离子功能纤维及其新产品的问世,已经经历了很长的时期。早在1880年,法国的皮埃罗·查理兄弟首先发现了电气石对人体健康和生态环境有着极为良好的作用。在十二年之后,空气的带电现象被德国学者谢哈朴发现,在随后紧接着的几年里,美国学者威尔逊、法国学者埃尔斯特·哥特尔进一步证实了空气中正负离子的存在<sup>[4]</sup>。Aschkinass 和 Caspan 在1902年确定了空气离子有生物学意义<sup>[5]</sup>;前苏联某学者又在1903年发表了用空气负离子治疗疾病的论文<sup>[6]</sup>。在1931年,德国医生证明空气正负离子对人体有影响,同年,美国人 Dessauer 等提出“负离子可以使人产生舒适、安宁的感觉,并可以改善人体的健康环境”的见解。在最近几十年中,专家们做了大量的实验研究,从许多方面探索负离子的生物学效应<sup>[7]</sup>;在1962年,德国的医生学者用负离子对3000名支气管炎哮喘病患者进行治疗;德国医学界在1980年,首先证实存在负离子多的地方,人们的患病率明显低于正离子多的地方,并且在都市拥挤的地方,若负离子多,则交通事故的发生率较低<sup>[8]</sup>;在1980年,美国密斯里大学 T.Dlucky 教授提出了放射线的“Holmisis 效应”学说,也就是说处于低辐射剂量放射线环境下,对生物体的健康是有益的<sup>[9]</sup>;在1986年,日本东京大学中村辉太郎和久保哲治郎,经近一年多的研究,把能释放负离子的矿石加工成超微晶粒(0.1 $\mu\text{m}$ ),并混入化纤纺丝液中,制成可释放负离子的功能性纤维,至此,才拉开纺织品上应用负离子技术的序幕<sup>[10]</sup>,使负离子矿物在纺织品行业的应用得到质的飞跃。

安泰科技股份有限公司和中国钢铁研究总院与日本方面密切合作,在1991年建立了“托玛”粉末理化性实验室,他们借助粉末冶金研究室多年来在超细和纳米粉末的加工、后处理、监测与评价等方面的综合优势,开始研究开发批量加工并向日本出口“托玛”粉末<sup>[11]</sup>。安泰科技股份有限公司还应用“托玛”粉体在功能保健纺织品方面开发了一系列产品,亚微粉体的功能纤维于1993年开始研制<sup>[12]</sup>。日本专利检索显示,到1993年为止,以负离子为关键词的专利条目有近700件,其中三分之一是有关负离子纺织品方面的专利<sup>[13]</sup>。日本科学家于1995年开始对电气石进行各项化学、物理性能的研究;大量实验数据表明,电气石可释放负离子,并且能改善人体的微循环,是促进人体健康的一种新型矿物材料;在我们国家,1996年开

始重点推广集杀菌、吸汗、除臭以及改善人体微循环等功能为一体的功能保健品，并开始向我国工商局申请注册“托玛”商标。1999年，安泰科技股份有限公司开发了许多负离子功能织物，他们后来又自主开发了护具系列产品，并取得了国家医疗器械准产证。

近几年，许多商家都把目光聚集到负离子功能产品方面，从负离子功能矿石粉体制备到功能纤维纺丝，再到纺织新产品、新工艺开发，负离子功能织物新品种层出不穷。

### 1.2.2 负离子功能纺织品的国内外研究现状

从人们认识负离子到各种负离子功能纺织品的出现已经有很悠久的历史，负离子功能纤维作为新一代环保、保健型功能纤维，目前已经受到国内外学术界的高度重视，并得到许多开发者的青睐，成为功能性纺织品研究开发的热点领域之一。

#### a 国外研究现状

在国外，尤其是日本，负离子产品已经有很好的市场。

日本的 Komatsu Seiren 公司已经成功地开发出能在织物上固着、并可产生负离子的特定天然矿物整理技术，该公司生产的纺织品以“Verbano”冠名，“Verbano”织物可使人心情舒畅，身体放松，后整理技术“Aquaheal”由日本东丽工业公司研制开发，用该技术整理的织物可释放负离子  $2000 \text{ 个}/\text{cm}^3$ ，此织物在家庭洗涤 40 多次后，仍可产生负离子  $1500 \text{ 个}/\text{cm}^3$ <sup>[14]</sup>。日本大和纺织公司开发的负离子纺织品称“Iorina”，该纺织品是将负离子和远红外放射功能陶瓷粉与树脂混合，通过浸轧涂层再经烘干热处理加工成的纺织品<sup>[15]</sup>。日本 Forest 公司利用海藻碳纤维研制成的纺织品现已投放到市场，该纺织品具有远红外放射功能和发生负离子的功能<sup>[16]</sup>。日本松下电器与一家矿石研究所合作生产出添加电气石的负离子涤纶，用该纤维织成的织物可源源不断地释放负离子。日本还有人用稀土类矿石开发出的负离子纤维“Holig”，用该纤维制成的纺织品也可释放负离子，对人体有保健功能<sup>[17]</sup>。欧迪芬公司称他们利用纳米高科技萃取浓缩的负离子面料制成纳米负离子文胸及各种内衣等，穿着安全，健康，该内衣产生的负离子数与森林中的负离子数相当，让人有神清气爽的感觉。日本富士纺公司在纺丝时捏合在高湿模量粘胶纤维或锦纶中添加含氩和钷之类的放射性矿物质超细粉末，用该纤维织成的织物可产生负离子，可以消除疲劳，加速血液循环，对病人的病情有很好的治疗作用<sup>[18]</sup>。日本钟纺公司采用混合矿物质和芳草味液体对织物进行处理，使织物可产生负离子，而且使穿着者有神清气爽的感觉。

#### b 国内研究现状

在国内，许多厂家根据市场的需求纷纷开发负离子功能纺织品。

东华大学与上海博瑞保健品公司共同开发出所谓“中国首创”的负离子纤维。

天津市赛远保健品有限公司最早研制成负离子远红外线多功能医疗保健系列纺织产品,该纺织品据称“填补了国内医疗纺织品的空白”<sup>[19]</sup>。东华大学制成的负离子涤纶长丝是采用奇冰石复合物与纳米二氧化钛微粉添加到纺丝液中,也用于涂层制成负离子面料<sup>[20]</sup>。新乡白鹭化纤集团公司开发了电气石粉粘胶负离子功能纤维生产技术,生产的负离子粘胶纤维开始在国内外市场销售,该技术已获得国家发明专利。上海石化股份有限公司生产出负离子涤纶长丝和短纤维,该公司开发的负离子纤维被命名为“奇异纤维”,该纤维可用做床上及医疗纺织品的填充材料,也可纺成纱线,用来织成针织及其它纺织用品,可以满足人们更高的要求,并丰富了纺织品市场。从1990年开始,北京洁尔爽公司就开始研制负离子纤维和织物,该公司从矿石中提炼出负离子材料将其制成纳米远红外粉,应用在化学纤维的生产上,同时也把负离子粉制成浆液,成功开发出在织物上固着天然矿物质的技术并研制出纺织品整理用负离子远红外整理剂SL-988<sup>[21]</sup>,将标有“负离子型”的衬衫在济南的内衣专柜在销售,据称这种衬衫有减轻湿闷,肩膀酸痛,血液流通不畅等症状,也可以改善人体微循环,消除异味臭味。天津石油化工公司研究院在纺丝液中加入负离子粉,经纺丝纺纱,并制造成高档的T恤衫,据称测得能释放的负离子浓度为3860个/s.cm<sup>2</sup>,比常规纤维高出680个/s.cm<sup>2</sup>。中国纺织大学材料科学与工程学院共同开发了金阳绒冬令内衣,可永久释放出空气负离子,该内衣以天然进口的100%澳大利亚羊毛为保暖层,以天然电气石负离子纤维为夹层。上海安诺其纺织科技有限公司利用负离子功能纤维生产负离子健康被,负离子健康垫,负离子健康枕心等一系列产品,据报道这些产品能永久的产生负离子,并且释放负离子的能力不会由于使用时间的长短而改变。北京铜牛公司在纤维中加入添加剂已生产出能释放负离子的功能面料,并制成款式多样的衣物。

### 1.3 负离子功能纤维及其纺织品的发展趋势

随着人们生活的日新月异,以体内的负离子恢复平衡的作用为出发点的负离子纤维是新世纪所开发的全新型纤维,因为该纤维有许多优良的性能,这就使得该纤维在装饰、产业、服用三大领域有着巨大的市场,用现有的负离子检测仪一般不能检测出满意的结果,日本有关公司就用放射性元素激活来产生负离子,因此,对放射性激活负离子的工艺方法作进一步分析研究将是商业开发的一个方向<sup>[22]</sup>。与日本相比我国在开发和应用负离子纺织品方面,无论是基础研究还是应用研究,都处于起步阶段。

负离子功能织物释放负离子的特点是:首先这些材料能释放出负离子,其次它还有良好的热电效应和压电效应。据中国有关权威资料报道<sup>[23]</sup>:利用奇冰石为主体原料制造的负离子纤维对远红外的发射率在80%以上。因此,负离子纺织品设计者

就必须考虑在负离子纤维中创造热电效应和压电效应。

身处森林或瀑布周围,由于空气中的负离子多而使人们感到心情舒畅,而在空气污染严重的地方由于负离子数量减少而使人们倍感不舒,易烦躁。开发以人体保健功能为目标的负离子纺织品,在日常生活中应用负离子功能性纺织品对自然恢复力正在不断衰退的现代社会来说,可以认为是回归自然的一个契机。

目前已开发的负离子功能纺织品以家纺产品和服装为主,但我们要注意到“开发矿物质营养素”对老年人来说,是健康管理计划方案之中较优的方案之一,负离子功能纤维制成的各种纺织品,富含对人体健康大有裨益的负离子。用负离子功能纤维织成的布开发老年人日常生活中所用的各中生活用品是这一领域较有发展前景的目标之一。

开发在密闭箱体空间内使用的以净化空气为目标的负离子纺织品,这类产品的开发方向主要为:窗帘,挂毯,长绒毛玩具,地毯等。特别是装修过的屋子,会释放出大量的有害气体,这样就更需要用负离子纺织品释放出的负离子来改善室内空气质量。

以开发水处理过滤为目标的负离子纺织品,也是一个负离子功能纤维应用的主要方向。因为负离子纺织品可以永久释放负离子,负离子又有很强的氧化还原作应。所以负离子纺织品能增加水中的溶解氧,能够杀死水里的细菌,进而使普通的水变成活性水。负离子纺织品还可以产生远红外,可以增强水的代谢力、扩散力、渗透力、溶解力。利用这些原理,商家们可以开发出用做精细过滤材料的负离子纺织产品<sup>[24]</sup>。

综上所述、负离子功能性纺织品已逐渐向高性能,高档次的方向发展。并不断向产业用领域渗透。

## 1.4 直接蒸发冷却空调的结构

### 1.4.1 目前解决室内空气污染的几种措施

一方面随着工业化程度的不断发展,城市的空气被日益严重污染,人们不断追求豪华的室内装修,但装修所用的各种装饰材料都会含有许多对人体有害的物质;以及香烟、油烟等也在引起室内污染。另一方面还有新鲜的空气通过风道进入室内,当空气流过风道时,“布朗运动”使一些离子与管壁碰撞,在碰撞时离子被吸附或复合的几率大大增加,造成负离子浓度下降,尤以金属风道较为明显;空调过滤器也会影响空气的质量,不同的空气过滤器对空气离子浓度有不同程度的影响<sup>[25]</sup>。这样,室内空气质量比室外更差。长期生活在高层密闭写字楼或有空调的房间内,人们会感到眼、鼻、喉不适,严重时会引起各种器官发炎;大多数人会有疲惫、恶心、头痛、心烦意乱、焦躁不安等症状,甚至会引起一系列现代居室综合症,即密闭建

筑综合症：比如矽肺病，支气管炎，哮喘等<sup>[26]</sup>。

消除这些不利因素方法措施有：

(1) 在密闭室内种植常青藤、尤舌兰等抗污染植物<sup>[27]</sup>；

(2) 在空调里加装高科技的杀菌光灯管、滤网和纳米材料，利用这些设备材料所产生的紫外线、自由离子基，对进出空调的空气进行杀菌消毒，但这需要的成本比较高，技术还尚未成熟<sup>[28]</sup>；

(3) 把负离子发生器安装在空调过滤器后，但这种负离子发生器大多以针形电极高压放电使空气电离产生负离子，往往会产生臭氧和氮氧化物<sup>[29]</sup>；

(4) 在空调房间安装水激式负离子发生器，这种负离子发生器是用人为了的技术手段制造的空气负离子，其原理是使静止水在高速运动下，出现激变雾化效应，产生 $1\mu\text{m}$ 以下的雾滴，从而产生负离子，其主要优点是不产生臭氧和氮氧化物，但操作麻烦、成本高使其最大的缺点<sup>[30]</sup>；

(5) 为了改善空气质量也可在空调房间安装空气净化器，但这使房间装备复杂化。

#### 1.4.2 直接蒸发冷却空调的基本结构

空调系统按设备的运行方式不同分类为全空气方式、空气水方式、全水方式和直接冷却方式等四种。本课题研究的功能材料拟应用的空调为直接蒸发冷却式，其结构非常简单，如下图所示。

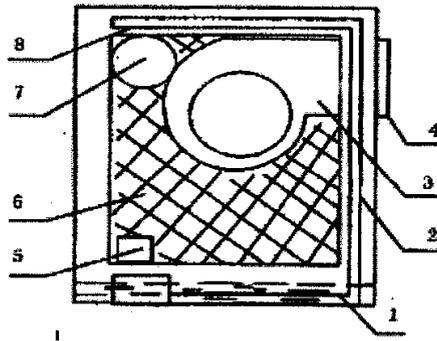


图 1-1 直接蒸发冷却空调机的基本结构

1.水箱 2 供水管 3.风机 4.出风口

5 水泵 6 填 料 7 电机 8 布水管

被处理空气在风机的抽吸下穿过填料时与淋下的水直接接触进行热湿交换，这些空气可以直接作为送风进行室内空气调节。有关研究表明直接蒸发冷却空调机在我国西北干旱和半干旱地区降温加湿效果很好，完全可以达到舒适性要求，是一种节能的绿色空调<sup>[31]</sup>。

## 2 负离子功能纤维的理论基础及其应用

### 2.1 负离子的概念及其产生机理

#### 2.1.1 负离子的概念

大气中的气体分子一般是呈电中性的，但在外界条件如机械、光、静电、化学或生物能作用下气体分子会发生电离，其外层电子脱离原子核，失去电子的分子或原子带上正电荷，这就形成正离子，脱离出的电子与中性分子或原子结合，使其带上负电荷，这就形成空气负离子<sup>[32]</sup>。负离子对人体有很好的保健疗效，并使恶化的环境得到改善。身处负离子浓度高的环境中，人会感到心情舒畅，耳目清新。

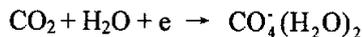
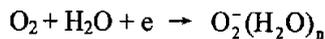
#### 2.1.2 负离子产生的机理

##### a 自然界中空气负离子产生的机理

大气分子正常条件下都是呈电中性的，当在外界某中因素作用下，气体分子外层电子将摆脱原子核的束缚从轨道中跃出，跃出电子后的分子呈正电性，变为正离子，所跃出电子的自由程极短（约 1nm），马上就会附着在其它气体分子或原子上，（尤其容易附着在氮或水分子上）成为空气负离子<sup>[33]</sup>。负离子的产生必须具备两个条件：一是能量来源；二是空气中存在的气态水分子<sup>[34]</sup>。

自然界中空气负离子产生有三大机理：一是大气分子在紫外线、宇宙射线、放射性物质、雷电、风暴等因素的影响下发生电离，产生空气负离子；二是水的喷筒效应（也叫 Lenard 效应）使水分子裂解，瀑布冲击，海浪推卷及暴雨跌失等自然过程中的水，至上而下，在重力的作用下高速运动，使水分子裂解，产生大量的负离子；三是森林树冠的枝叶尖端放电以及绿色植物光合作用过程形成的光电效应也会促使空气电解，产生空气负离子。

大气的主要成分有 O<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>O 等，其中空气产生负离子的电化学反应为：



据大地测量学和地理物理学国际联盟大气联合委员会采用的理论，空气负离子的分子式是 O<sub>2</sub><sup>-</sup>(H<sub>2</sub>O)<sub>n</sub>；OH<sup>-</sup>(H<sub>2</sub>O)<sub>n</sub>；CO<sub>4</sub><sup>-</sup>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>；H<sub>3</sub>O<sub>2</sub><sup>-</sup>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub><sup>[35]</sup>。负离子的生物化学效应有几个重要方面：使自由基无度；使液体呈弱碱性；使空气质量得到改善；负离子对促进健康有直接效应；负离子对人体各系统的直接生理效应；负离子对疾病有辅助治疗和康复作用<sup>[36-37]</sup>。

### b 纤维中电气石发生负离子的机理

负离子发生材料起到的是“促使”空气分子电离或发生电子转移的作用<sup>[38]</sup>，目前用的最多的负离子添加剂是电气石或奇冰石粉末，电气石是三方晶系硅酸盐物质<sup>[39]</sup>，其化学结构式为  $\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Li}, \text{Al}, \text{K})_3\text{Al}_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{BO}_3)_3(\text{OH}, \text{F})_4$ 。奇冰石是以含硼为特征的铝、钠、铁、镁、锂环状结构的硅酸盐物质。这两种物质的重要特征是在一定条件下能够产生热电效应和压电效应。也就是说，在温度和压力变化（即使很微小）的情况下，也会引起电气石或奇冰石晶体之间的电势差即电压，这种情况下产生的静电压很高，并且随着电气石或奇冰石粉末的细化而增强，其能量足以使空气中的水分子或气体分子发生电离<sup>[40]</sup>。负离子粉每个单元体的正、负电荷中心无法重合、故两端形成正极、负极，构成了一个永久带电体（永久电极）。由于正、负电荷无对称中心，即具有偶极矩。热电效应是受热物体中的电子洞。因随着温度梯度由高温区往低温区移动时所产生电流堆积的一种现象。压电效应基本上是一种机械能与电能之间的能量转换现象。由介电理论可知，在电场作用下，介电质中带有不同电性的电荷间会产生相对的位移，此一相对位移的存在使介电质内存在有电偶极或双极。这种使物质内存在有双极的现象，称之为极化（Polarization）。但是在某些物质中，除了可由电场来产生极化以外，还可以由机械作用来产生极化现象，并导致在介电物质的两端表面上出现电性相反的束缚电荷（Bound Charge），此电荷的密度与所加外力成正比。这种由机械力的作用而产生表面电荷的现象即称为压电现象<sup>[41]</sup>。把研制的负离子添加剂以某种纺纱技术镶嵌在纤维中，在外界条件作用下，如摩擦发热、体温、阳光、紫外线照射等，通过电气石或奇冰石结晶粉末两端所具有的永久正、负极性，与皮肤表面的水分子、空气中的水分子接触后，就会产生瞬间放电电离效应，将水分子电解为  $\text{H}^+$  和  $\text{OH}^-$ ， $\text{H}^+$  与电气石或奇冰石释放出的电子结合而被中和成 H 原子，以氢气的形式释放出去，而  $\text{OH}^-$  可连续生成羟基负离子（ $\text{H}_3\text{O}_2^-$ ），其原理与自然界空气产生负离子的原理相同<sup>[42]</sup>。

## 2.2 负离子对人体的保健机理及其净化空气的原理

### 2.2.1 负离子对人体的保健机理

由于生理机能，人体在新陈代谢过程中会产生自由基，这就是人体会衰老的缘故。从医学角度上分析，自由基是一种正离子，以达到中和平衡，一旦大量的自由基得不到负离子，不能达到中和平衡，就会引发一系列不良症状，对人体健康造成许多危害，从而导致对蛋白质脱氧核糖核酸（DNA）的危害。所以，负离子可以中和体内多余的正离子，并对 DNA 起到修复作用，一旦 DNA 得不到修复时，损害严重时造成细胞变异，最终引发许多疾病：心血管病，糖尿病，眼疾，白内障，皮肤衰老，产生皱纹，严重时还可能引发肿瘤<sup>[43]</sup>。

负离子为什么会对人体产生如此重要的保健作用?许多医学专家已经证实,攻击人体细胞的病毒通常都带有负电荷,当人吸入空气中的负离子后,人体内的细胞便也带上了部分负电荷,由于同性相斥的作用,病毒失去了对活细胞的攻击能力。空气负离子进入人体后,能加速上皮纤毛的运动,增强支气管平滑肌的张力,改善肺部通气及换气功能,提高呼吸系数;空气负离子因其电荷影响血液机体,使血沉减慢,血液电位降低,心率减缓,心肌收缩率增强,从而改善心肌泵功能;负离子可以通过呼吸道黏膜神经感受,进入脑或脊髓作用于中枢神经系统及植物神经系统,提高脑啡肽水平,抑制5-羟色胺的合成,从而调整大脑皮层的功能<sup>[44]</sup>。

大量实验已经证明,人体穿着用负离子纤维制成的织物时间长达15min以上时,人体皮肤温度可升高2~3℃,大部分人可感受到这一点。在4~14μm波段的远红外线可被人体高效地吸收,当人体吸收了远红外线以后,可引起血液以及细胞中的C-H, C-O, C-C, C-N等化学键振动加剧,这样会引起一系列有益的生理现象<sup>[45]</sup>,正负离子对人体机能的影响列于表2-1。

表2-1 负离子和正离子对人体健康效应的对比

项目	正离子	负离子	项目	正离子	负离子
血管	收缩	扩张	脉搏	增	减
血压	增高	正常化	疲劳	恢复慢	恢复快
血液	酸性	弱碱性	睡眠	不眠	催眠
骨	脆	强	食欲	减	增
尿	抑制	促进	性能	氧化	还原
呼吸	加快、不舒服	舒适		0	

### 2.2.2 负离子净化空气的原理

一定量的空气负离子浓度能够净化空气及使之消毒,是因为空气中的有害成分大多带正电荷、负离子极易与空气中微小污染颗粒相吸附,成为带负电的大粒子沉落到地面,从而使空气得到净化,这就是空气中的负离子净化空气的基本原理<sup>[46]</sup>。

### 2.3 环境状况与负离子的关系

表2-2 环境状况与负离子的关系

环境状况	负离子个数(个/cm <sup>3</sup> )	环境状况	负离子个数(个/cm <sup>3</sup> )
城市居民房间	40-400	旷野、郊区	700-1000
机关办公室	100-150	海滨、森林	1000-3000
街道绿化地带	100-200	疗养地区	10000
城市公园	400-600	瀑布	>50000

空气负离子浓度受自然地理、气候、人类活动等多方面的影响,因此不同的环

境条件下空气负离子的浓度不同。在城市居民房间或机关、商务办公室、空气负离子浓度极低。国外较早报道了各种环境条件下空气负离子测定的数据见表 2-2<sup>[47]</sup>。

## 2.4 负离子评价的分级标准

在国外，已经有许多评价空气负离子浓度与环境空气质量和人体舒适度的方法，其主要评价指标有：单级系数，空气离子相对密度（德国），重离子与轻离子的比，空气离子舒适带（英国），空气离子评议系数（日本）等，单级系数是指空气中正离子与负离子含量的比值。把某一地区（一般是工业污染区）与对照区（一般相对清洁区）空气离子总浓度之百分比称之为该地区空气离子相对密度，用该值可以对城市不同地区空气污染状况进行评价。重离子和轻离子的比是指空气中重（正、负）离子总数与轻离子总数之比。舒适度带是由英国学者 Koch Watre 提出的一个空气质量指标，具体是指在温度为 25.5℃，风速为 0.14m/s 以下，空气中正负离子数分别是 500 个/ml 和 250 个/ml。目前，在我国有关负离子浓度的分极评价方法尚无明确的评价标准，安培等提出的空气质量分级标准很盛行，日本空气净化协会规定的空气洁净度指标也与此类似<sup>[48-51]</sup>。评价空气负离子浓度常用指标的定义式如下：

(1) 单级系数：

$$q = \frac{n^+}{n^-} \dots\dots\dots(1)$$

$n^+$ ——正离子浓度

$n^-$ ——负离子浓度

(2) 空气离子评议系数：

$$CI = \frac{n^-}{1000} \times \frac{1}{q} \dots\dots\dots(2)$$

$n^-$ ——空气负离子浓度

$q$ ——单级性系数

1000——为人体生物学效应最低负离子浓

(3) 空气负离子系数：

$$p = \frac{n^-}{n^- + n^+} \dots\dots\dots(3)$$

$p$  的最值区间为 (0.5, 1)

$n^+$ ——正离子浓度

$n^-$ ——负离子浓度

(4) 空气离子相对浓度

$$D_{a\%} = \frac{n_a^+ + n_a^-}{n_0^+ + n_0^-} \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

$n_a^+$  —— 空气正离子浓度

$n_a^-$  —— 空气负离子浓度

$n_0^+$  —— 空气正离子标准浓度

$n_0^-$  —— 空气负离子标准浓度

## 2.5 负离子功能纤维

### 2.5.1 负离子功能纤维的概念、结构及性能

负离子功能纤维是继远红外功能纤维之后的又一种新型高科技保健型功能纤维，利用高新技术把宝石级电气石或奇冰石粉末经特殊的表面处理，将其制成具有产生负离子功效的化纤超细添加剂，再采用特殊工艺技术把负离子功能微粉添加到纤维中，生产出能释放负离子的功能纤维。

这种纤维的最大功能是使周围空气产生负离子，同时释放远红外线，长期使用该纤维制品可以理疗支气管炎，风湿性关节炎，冠心病，老血管，颈椎炎神经衰弱，心绞痛等许多疾病。

### 2.5.2 各种负离子添加剂

在现代社会，随着生活水平的不断提高，人们对周围环境质量要求越来越高，希望长期处在一个洁净，环保的工作环境中。但是，我们身处的空气由于各种因素不断被污染，其中空气中正负离子的比例严重失调，环境日益恶化。然而，负离子对净化空气，抑制空气中的细菌，消除悬浮在空气中的烟雾及粉尘，去除有毒有害气体有显著功效。所以，科学家们正在研究能释放负离子的负离子添加剂，把他用于各种产品，来提高环境中的负离子浓度。

目前，有报道的负离子发生体有：珊瑚化石，海底沉积物，海藻碳，电气石，奇冰石，古代海底矿物层、嫩江蛋白石等<sup>[52-55]</sup>。表 2-3 为几种主要的负离子添加剂及其主要成分。

表 2-3 常见负离子添加剂的主要成分

负离子添加剂种类	主要组分及特征
奇冰石	主要含硼、铝、镁、铁、锂的环状结构的硅酸盐
电气石	(Na, Ca)(Mg, Fe) <sub>3</sub> B <sub>3</sub> Al <sub>6</sub> Si <sub>6</sub> (O, OH, F) <sub>31</sub> 的三方晶系硅酸盐
蛋白石	含水非晶质或胶质的活性 SiO <sub>2</sub> ，还含有少量 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 、Mn 及有机物等硅酸盐

古代海底矿物层 奇才石	以硅酸盐和铝、铁等氧化物为主要成分的无机系多孔物质 矿石化学成分为 $\text{SiO}_2$ 81%~89%, $\text{Al}_2\text{O}_3$ 3.07%, $\text{Al}_2\text{O}_3$ 1.68%, $\text{CaO}$ 3.60%, $\text{MgO}$ 0.59%, $\text{K}_2\text{O}$ 1.13%, $\text{Na}_2\text{O}$ 0.20%, $\text{P}_2\text{O}_5$ 0.01%, $\text{H}_2\text{O}^+$ 0.10%, $\text{H}_2\text{O}^-$ 2.42%, $\text{FeO}$ 0.21%, $\text{TiO}_2$ 0.20%, $\text{Mn}$ 0.01%。(含有蛋白石宝石成分) 化学分子式: $\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn}, \text{Li}, \text{Al})_3 \text{Al}_6 [\text{Si}_6\text{O}_{16}]_9 (\text{BO}_3)_3 (\text{OH}, \text{F})_4 / (\text{Si}_{12})(\text{Mg}_8) \text{O}_{30} (\text{OH})_4 (\text{OH})_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
----------------	---

在负离子发生材料中,科学家们研究较多的是电气石。电气石作为一种天然矿石,它的成分与结构都极为复杂,热电性和压电性是它的两个重要特征<sup>[57]</sup>,颜色以黑色、红色和白色为主,主要出产国为巴西、俄罗斯等国。电气石的晶体结构决定了它具有沿C轴两个结晶端天然的正负极性,电气石的电场特征,就像磁铁矿石具有天然磁场一样,也是天然的。电气石的电场强弱可用电气石化强度来评价,电极化强度越大,产生负离子的能力就越强。在研究纳米远红外负离子粉SL-900时,发现电气石超微粉体的粒径越小,其负离子发射性能越高,但电气石硬度大,摩尔硬度7.0~7.5,密度2.9~3.2,当粉碎到325目以后,粉体粘性增强(可能与电气石晶体两端带电有关)。粉碎效率降低,是将电气石用作负离子材料所面临的问题之一<sup>[57]</sup>。

### 2.5.3 负离子功能纤维的生产方法

#### a 制备负离子母粒

首先,结合负离子母粒的特性和高聚物与母粒共混体系可纺性的要求,利用化学和物理方法把负离子发生体(电气石,微量放射性的稀土类矿石、陶瓷)制成与高聚物材料具有良好相容性的纳米级粉体,经表面处理,与高聚物载体按一定比例混合,熔融挤出制得负离子切片或直接纺丝。

#### b 负离子纤维的生产<sup>[58]</sup>

负离子功能纤维制备最主要的方法是表面涂覆改性法、共聚法、共混纺丝法。

(1) **表面涂覆改性法:**是利用表面处理技术和树脂整理技术,在纤维的后加工过程中,将负离子添加剂处理液固着在纤维表面。由于矿物原液中含有树脂粘合剂成分,这样可以得到耐久性良好的负离子纤维。

(2) **共聚法:**其原理是在聚合过程中加入负离子添加剂,制成负离子切片后纺成丝。一般所得切片中添加剂分布均匀,因此共聚法纺丝成形性好。

(3) **共混纺丝法:**是在聚合后纺丝前,把负离子添加剂加入到聚合物熔体或纺丝液中,经混合,挤压,纺丝等工序制成负离子功能纤维。这种方法生产的负离子纤维产生负离子的耐久性良好。我们国家研究开发的负离子合成纤维大多采用共混纺

丝法<sup>[59-62]</sup>。

## 2.6 负离子功能纤维的主要功能与用途

### 2.6.1 负离子功能纤维的主要功能

随着现代科技日益发展,负离子纤维以其独有的理化性被许多研究人员发现,负离子纤维在接触水蒸汽和大气的运动情况下,可释放出负离子,被科学家称为“天然的负离子发生器”。在常温下能产生发射率为0.90,波长为4~14 μm的红外辐射。把1m<sup>2</sup>的负离子保健纤维布放在一个密闭的容器内,我们可以测得产生负离子的量是对比样的40~50倍<sup>[63]</sup>,所以对健康和环境有非常重要的意义。如果我们每天身处负离子浓度比较大的环境中,这样,对健康大有裨益,可消除疲劳和困乏,使人们倍感精神,大大提高工作效率,负离子功能纤维的主要功能有以下几点<sup>[64-69]</sup>:

#### a 可以恒久的释放负离子

添加到纤维内部的负离子粉体产生的热电和压电效应,当人们穿着这种纤维织造的织物时,该织物与身体或周围空气中的水分子发生电离作用,产生负离子,负离子可通过呼吸系统进入人体,最后到达细胞组织,可提高心肌营养并加速细胞代谢,提高人体免疫能力。产生的负离子可改善环境的质量,并可与空气中带正电荷的有害物质中和,形成微型森林空气,使人们有身处大自然的感觉。

#### b 可以产生较强的生物波

研究人员已经发现,混合在纤维中的负离子粉体可产生较强的远红外线,刺激皮肤,增强血液循环,促进淋巴液循环,加速新陈代谢,舒张血管,使血液与组织之间的营养成份交换增强,毒素的排出加快。远红外可使老死细胞再生或把这些死亡的细胞排出体外,使细胞能量增强,提高细胞的功能并且使细胞活化。

#### c 可以净化环境

负离子纤维中添加剂被激发产生的负离子在空气中呈“Z”字形移动,很容易输送负电荷给细菌、灰尘、烟雾微粒以及水滴等,负离子所带负电荷与带正电荷的灰尘,细菌,水滴及烟雾中和,然后结合聚成球下沉,达到净化空气的目的。

#### d 具有优良的抗菌杀菌功能

负离子还具有较高的活性,有很强的氧化还原作用,能破坏细菌的细胞膜或细胞原生质活性酶的活性,当空气中的细菌碰到负离子后,可使细菌病毒发生能量转化以及导致结构性的改变,经过瞬间一系列的反应细菌病毒最终死亡,并不会再形成新的菌种,从而达到除菌,抗菌的目的。

#### e 消除异味

随着现代生活水平的日益提高,人们越来越重视居室的装修,但人们往往忽视了装修过程中装饰材料所挥发出来的一些有刺激性异味的气体,比如氨、甲醛、苯、

酮、对人体有害无益。这些有害气体大部分带有正电荷。而用负离子功能纤维织制的各种纺织品用于室内装饰物如坐垫、沙发套、床上用品、窗帘、壁布等，其释放出的负离子与带正电荷的有害气体反应，可以彻底消除臭气，从而有效地消除各种异味。

#### f 优良的界面活性作用

纤维中添加的电气石粉末由于有热湿电性和压电性，可以使周围空气中的水分子瞬间电解产生水合羟基负离子（ $\text{H}_3\text{O}_2^-$ ），水合羟基负离子虽然没有合成洗涤剂的洗涤能力那么强，但它具有界面活性并且是水解出来的自然物质，对人体和环境很少有负面影响，所以利用含溶解性负离子空气的水洗涤衣物不仅可以节约洗衣粉，而且有助于环境的净化。

#### g 产生的水合羟基负离子（ $\text{H}_3\text{O}_2^-$ ）对人体有健康疗效

产生的水合羟基负离子通过呼吸系统进入人体后，使血液的酸碱度得到调整，使人的体液变成碱性，可以净化血液，活化细胞，提高细胞的渗透性，降低血压，抑制血清胆固醇的形成，提高氧气转化能力，加速新陈代谢；活化大脑荷尔蒙  $\beta^-$  内啡肽，有防止神经衰弱，抑制交感神经，使神经自律安定，能改善睡眠状态，使人们有神清气爽、精神饱满的感觉。下面是负离子对人体作用后人体某些功能发生的变化<sup>[70]</sup>：

(1) 在负离子产品的作用下，人脑中的  $\alpha$  波（频率为 8~13Hz）所占比例可增加 5%~20%。

(2) 在负离子产品作用下人体血流量和血流速度均增加 5%~10%。

(3) 负离子产品作用于人体后可使红血球的状态变成比较清楚的球形。

(4) 人的微循环血流量在负离子的作用下可增加 10%以上。

(5) 负离子产品作用人体后可使表面皮肤温度提高 0.5~1.5℃。不同环境下的负离子含量及其与人体健康的关系列于表 2-4：

表 2-4 负离子含量与人体健康的关系

环境	含量（负离子个数 /cm <sup>3</sup> ）	关系程度
森林、瀑布区	10 万~50 万	具有自然痊愈力
高山、海边	5 万~10 万	杀菌作用、减少疾病传染
郊外、田野	5 千~6 千	增强人体免疫力及抗菌力
都市公园里	1 千~2 千	维持健康基本需要
街道绿化区	100~200	诱发生理障碍边缘
都市住宅封闭区	40~50	诱发生理障碍如头痛、失眠、

---

		神经衰弱、倦怠、呼吸疾病、 过繁性疾病
室内冷暖气空调房间，长时间 后	0~25	引发“空调病”症状

---

**h 保鲜效果**

用负离子纤维处理的水喷洒到花卉的叶面，可使花卉的保鲜期延长 50%~100%。

**2.6.2 负离子功能纤维的主要用途<sup>[71-77]</sup>**

**a 服装及家用纺织品** 例如：床单、床罩、枕套、被套、鞋帽、袜子、内裤、睡衣、毛巾、护膝、护腕、护胃、护腰等等。这些产品充分利用负离子及负离子产生过程催离素远红外的特征为人体保健服务。

**b 室内及车内装饰品** 室内装修后油漆、涂料等散发出的对人体有害的气体；在小车内，由于空间狭小，容易导致空气污浊，这样会使人倍感疲劳，在严重的情况下人们会感到身体不适，甚至威胁到健康。室内和车内装饰用纺织品如窗帘、沙发布、床（座）垫、地毯等，可以利用负离子功能纤维释放出的空气负离子来清洁室内及车内空气，调节人们的精神状态，使人们身心健康。

**c 医疗用品** 用负离子功能纤维制作的手术衣、防护服及各种病床用品可以防止医院里疾病的交叉感染及病菌无节制的蔓延。

**d 空调及水处理过滤材料** 负离子功能纤维织成的纺织品作为空调和水处理等的过滤材料，其特殊灭菌消毒功能不可忽视。由于负离子功能粘胶纤维能持久地释放负离子，可杀死空气、水等介质中的病毒和细菌，因此，可用负离子功能纤维作为过滤材料。另外，还可用负离子功能纤维处理的水栽培植物、浇灌花卉，这样能使温室中的栽培基和植物得到经常性杀菌消毒，成活率和生长质量大幅度提高。

## 3 负离子纤维形态结构与性能测试

### 3.1 纤维形态结构测试

对所选纤维进行形态结构测试观察,明确功能纤维的形态结构特征,为科学使用功能纤维、合理设计织物结构与外观风格提供依据。

#### 3.1.1 实验方法与过程

##### a 所选材料与仪器

##### (1) 实验材料列于表 3-1

表 3-1 负离子纤维纱线的规格

序号	名称	规格	生产商
1 <sup>#</sup>	负离子功能粘胶纤维长丝(白色)	133.3dtex	新乡白鹭化纤股份有限公司
2 <sup>#</sup>	纯涤纶纱纤	145.7dtex	安顺科技发展有限公司
3 <sup>#</sup>	负离子远红外涤纶纱纤	145.7dtex	安顺科技发展有限公司

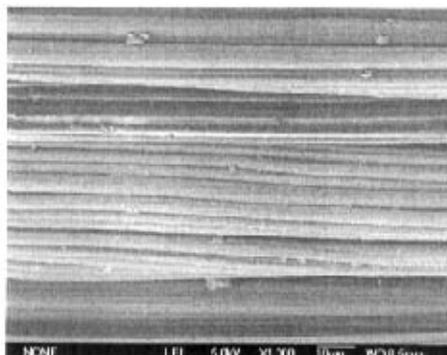
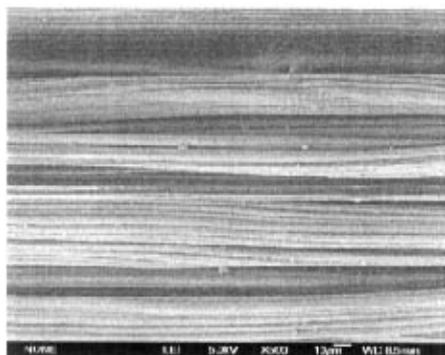
(2) 所用仪器: 型号为 JEDLJSM—6700F 的扫描电镜。

b 实验条件: 样品清洗干净并烘干、在  $t=22^{\circ}\text{C}$ 、 $\text{RH}=45\%\sim 55\%$  时进行扫描电镜观察。

c 实验方法原理与步骤: 在真空镀膜仪中, 钨合金丝在真空中加热到急剧蒸发, 蒸发的钨合金附着于样品表面。观察纤维表面形态, 将样品用双面胶粘在样品架上; 观察纤维的纵向表面形态, 把纤维用双面胶粘在台阶式试样架上, 然后切断观察纤维横截面形态。

#### 3.1.2 实验结果与分析

##### a 纤维纵向表面特征



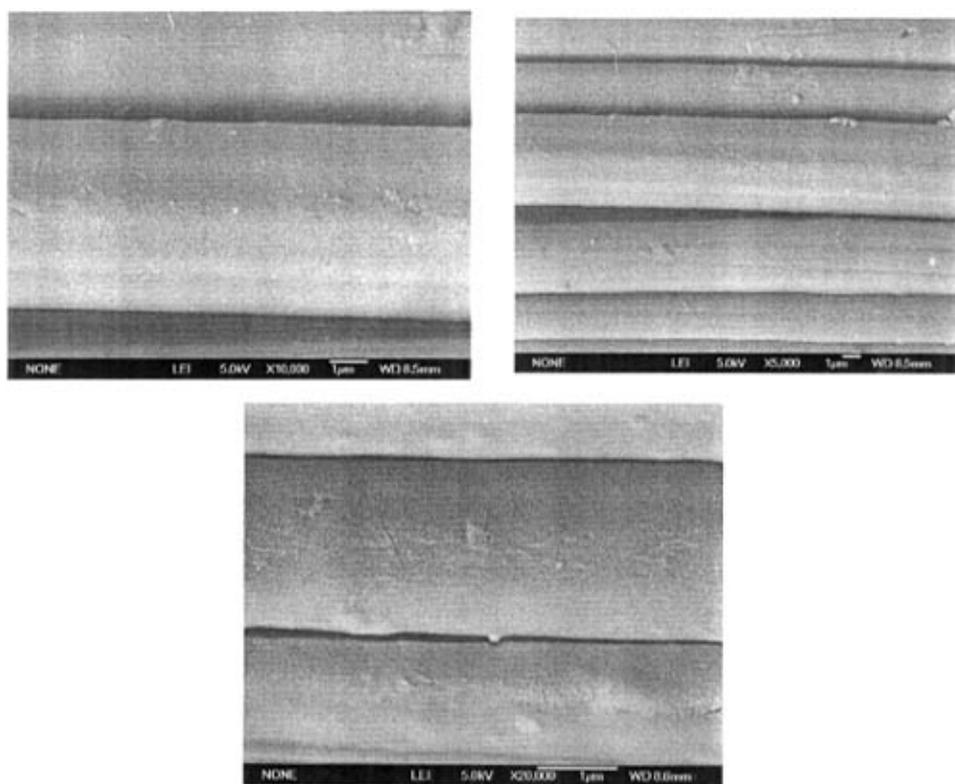
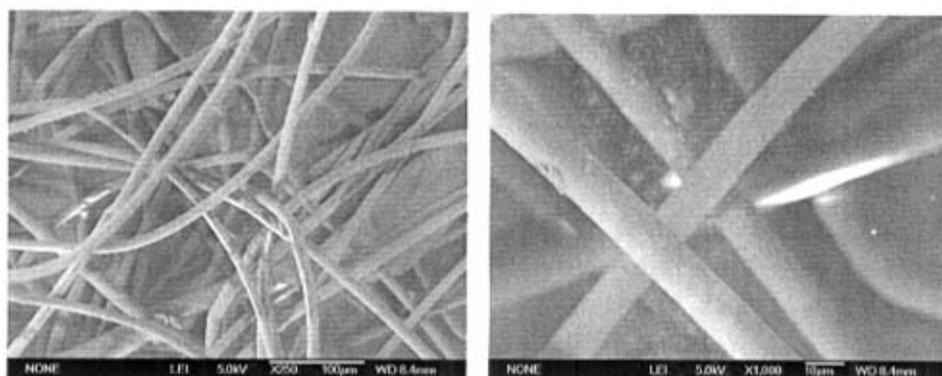


图 3-1 1#负离子粘胶长丝纵向形态

由图 3-1 可见，负离子功能粘胶长丝放大以上不同的倍数，表面很少有纺丝过程中产生的压痕，说明纺丝成形性好，纤维沿轴向有平行的“纹路”，外径约为 2.2 $\mu\text{m}$ 。



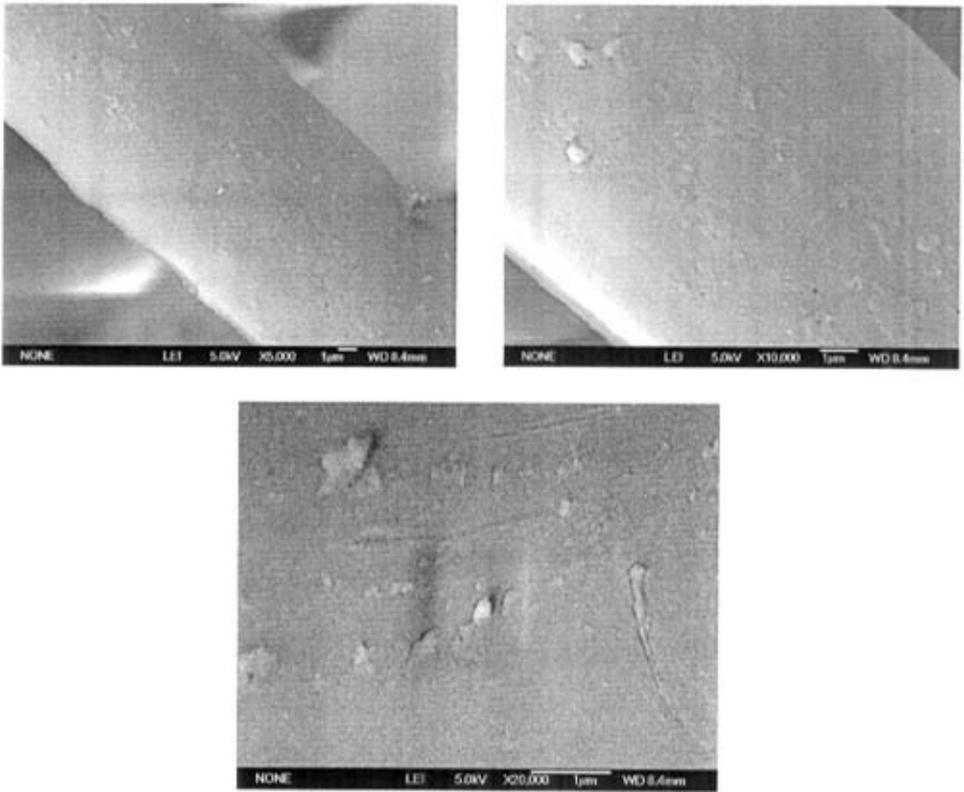
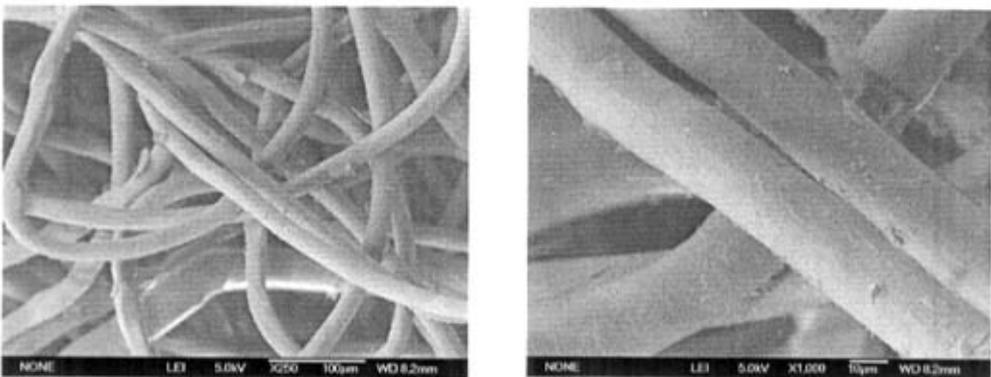


图 3-2 2°纯涤纶短纤纵向形态

由图 3-2 可见,纯涤纶短纤维放大到 10000 倍时,表面比较光滑,当放大到 20000 倍时可以看到表面有压痕,外径约为 11.1 $\mu$ m。



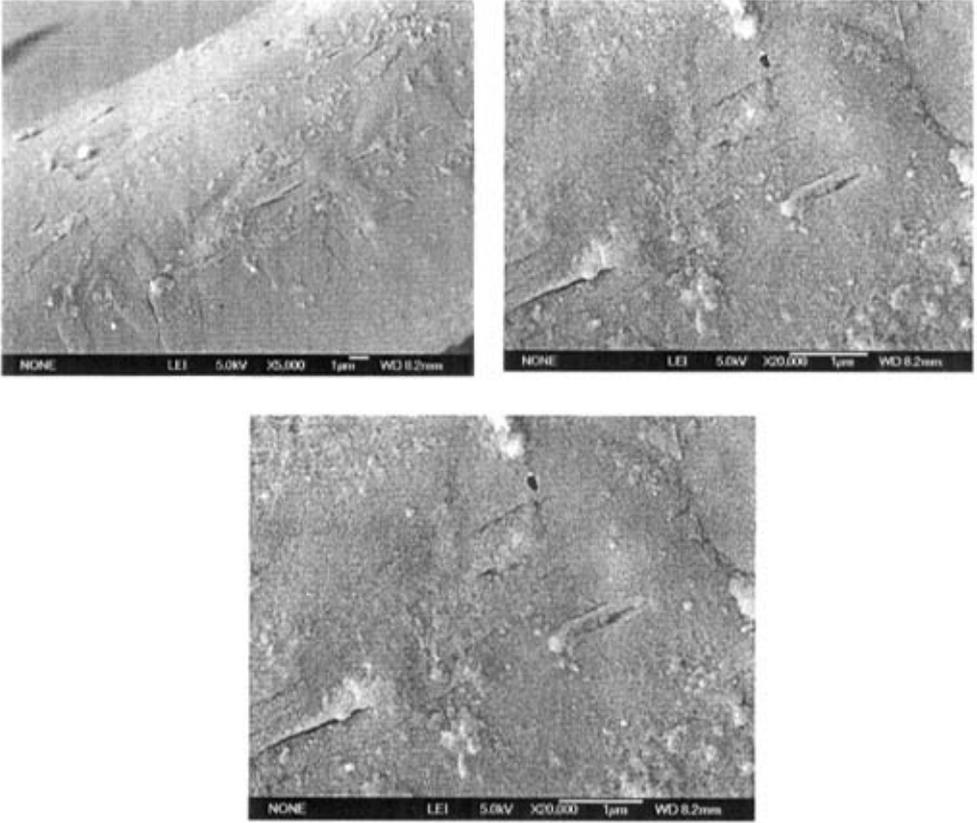


图 3-3 3#负离子远红外涤纶短纤纵向形态

由图 3-3 可见，负离子远红外涤纶短纤放大倍 5000 倍时，表面有许多裂纹和压痕，当放大到 2000 倍时，纤维表面非常不平整，纤维外径约 19.9 $\mu\text{m}$ ，裂纹长度约为 1 $\mu\text{m}$ 。

#### b 纤维横截面形态特征

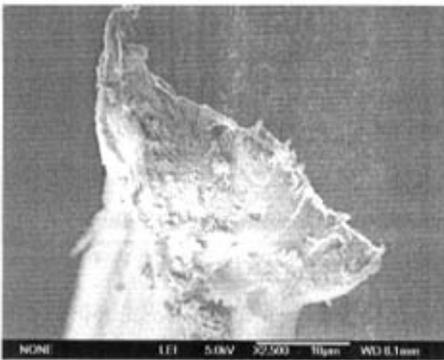


图 3-4 1# 截面形态

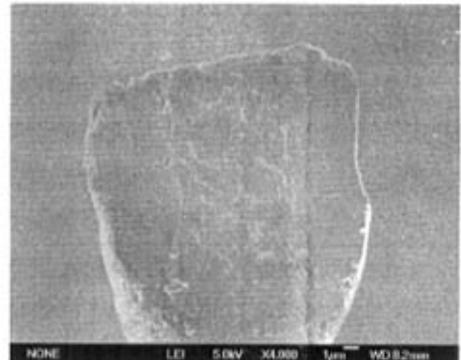


图 3-5 2# 截面形态

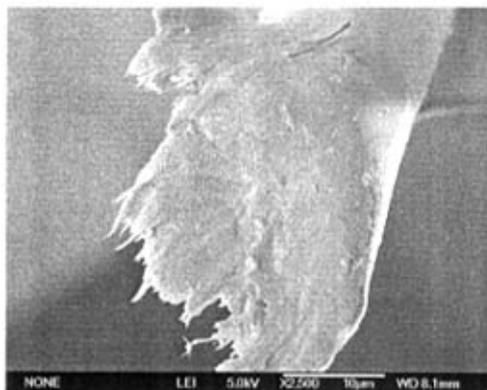


图 3-6 3# 截面形态

从横截面扫描电镜照片可以看出，添加负离子的纤维中有细小颗粒，并且这些颗粒分布比较均匀，粒径基本上在纳米级以内；而未添加负离子的纤维则不能看到有颗粒物存在。添加负离子添加剂的纤维外观结构与普通纤维没有什么区别，这说明负离子添加剂在纤维中分布比较均匀，负离子添加剂的加入并不影响纤维的结构形态，对后续加工并无太大影响。

### 3.2 负离子功能纤维的性能测试实验

#### 3.2.1 物理性能测试

##### a 纱线回潮率的测试：

测试实验所用纤维的回潮率，确认该实验所用纤维吸湿性是否良好。

##### (1) 材料与仪器：

##### ① 实验材料列于表 3-2

表 3-2 所用材料：

序号	名称	规格
1#	负离子功能涤棉混纺纱	145.7dtex
2#	负离子功能粘胶纤维长丝	133.3dtex
3#	纯涤纶短纤	145.7dtex
4#	普通负离子粘胶长丝	133.3dtex

##### ② 所用仪器：型号为 Y802A 的烘箱

(2) 实验条件：烘箱设定温度 115℃。测试时环境温度  $t=25^{\circ}\text{C}$ ，湿度=50%。

(3) 实验方法与过程：每个试样称取 50 克左右，放在烘箱内加热 90min 时，关闭电源进行第一次称重，并做好记录；称重完毕开启电源继续烘干、每烘 10min 进行一次称重，前后两次重量之差  $(I_1-I_{i+1})$  与后一次重量  $I_1$  之比小于 0.05% 时，后一

次称重即为干重。纤维回潮率计算：实际回潮率 = (原样重量 - 重量 I) / 重量 I × 100% (%)

#### (4) 测试结果与分析：

表 3-3 纤维回潮率测试数据表

序号	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>
原样重量 (克)	50.05	50.03	50.04	50.04
I (克)	49.48	44.92	49.89	45.03
回潮率 (%)	1.00	11.38	0.20	11.12
	t=25℃		R=50%	

表 3-4 纤维回潮率测试数据表

序号	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>
原样重量 (克)	50.00	50.00	50.00	50.00
I (克)	49.33	43.23	49.81	44.91
回潮率 (%)	1.36	15.66	0.38	11.33
	t=20℃		R=63%	

从测试结果可以看出，表 3-3 与 3-4 中 2<sup>#</sup>纤维的回潮率最大，4<sup>#</sup>纤维次之，3<sup>#</sup>最差；加入负离子添加剂短纤维的回潮率比一般纤维的回潮率要大，说明有负离子添加剂的纤维能吸入空气中更多的水分，这种纤维就有充足的水份提供给负离子添加剂来电离成更多的负离子。对比表 3-3 与 3-4 可以看出，当温度下降，湿度变大时，纤维的回潮率变大，但添加了负离子的纤维的回潮率比没添加负离子的纤维的回潮率要增大的多。

#### b 纤维的能谱分析

为了了解试验纤维中是否含矿物质元素的成分，对所选纤维进行能谱实验。

##### (1) 材料与仪器：

##### ① 实验材料列于表 3-5：

表 3-5 能谱分析实验所用纱线及其规格

序号	名称	规格
1 <sup>#</sup>	负离子功能涤棉混纺纱	145.7dtex
2 <sup>#</sup>	负离子功能涤棉混纺纱	145.7dtex
3 <sup>#</sup>	负离子功能粘胶纤维长丝	133.3dtex

##### ② 所用仪器：光电子能谱仪，型号为 AXIS。

(2) 实验条件：样品必须清洗干净并烘干，以免影响测试结果，测试时环境温

度  $t=20^{\circ}\text{C}$ ,  $R=57\%$ 。

(3) 实验原理与步骤:

① 实验原理:一定能量的 X 光照射到样品表面,和待测物质发生作用,可以使待测物质原子中的电子脱离原子成为自由电子。该过程可用下式表示:

$$h\nu = E_k + E_b + \Phi \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$E_b = h\nu - E_k - \Phi \quad \dots\dots\dots(2)$$

仪器材料的功函数  $\Phi$  是一个定值,约为  $4\text{eV}$ ,入射 X 光子能量已知,这样,如果测出电子的动能  $E_k$ ,便可得到固体样品电子的结合能。各种原子,分子的轨道电子结合能是一定的。因此,通过对样品产生的光子能量的测定,就可以了解样品中元素的组成。元素所处的化学环境不同,其结合能会有微小的差别,这种由化学环境不同引起的结合能的微小差别叫化学位移,由化学位移的大小可以确定元素所处的状态。例如某元素失去电子成为离子后,其结合能会增加,如果得到电子成为负离子,则结合能会降低。因此,利用化学位移值可以分析元素的化合价和存在形式。本文仅对纤维中所含元素成分进行测试分析。

② 实验步骤:在每一份样品上取样,把所取的样品清洗干净,烘干;放在能谱仪下选不同点进行观察。

(4) 实验结果

1# 纱线测试结果

Spectrum processing : No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)      Number of iterations = 4

Standard :

表 3-6 1#所含元素成分

Element	Weight%	Atomic%
C K	72.80	78.47
O K	25.82	20.89
Al K	0.41	0.20
Si K	0.97	0.45
Totals	100.00	

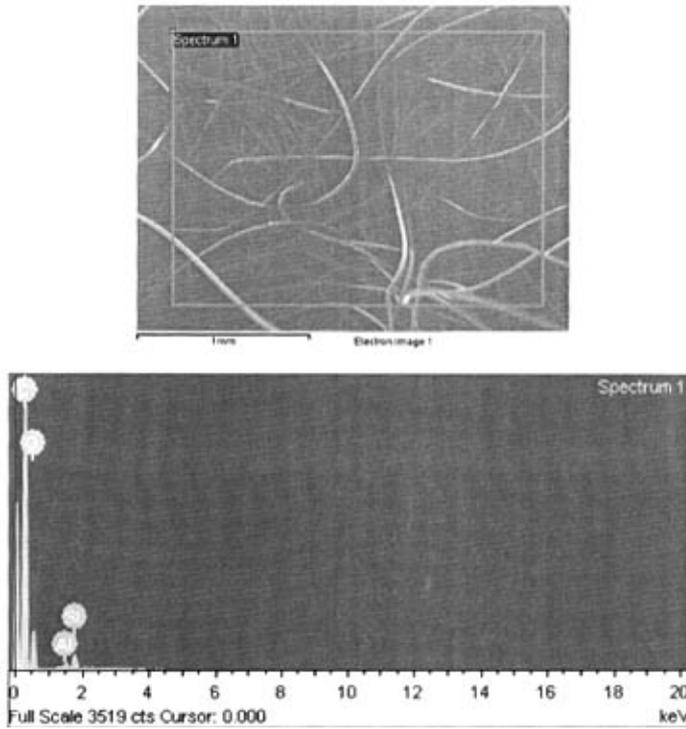


图 3-7 1<sup>#</sup>能谱图

2<sup>#</sup>纱线测试结果

Spectrum processing :

No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)

Number of iterations = 4

Standard :

表 3-7 2<sup>#</sup>所含元素的成分

Element	Weight%	Atomic%
C K	72.80	78.47
O K	25.82	20.89
Al K	0.41	0.20
Si K	0.97	0.45
Totals	100.00	

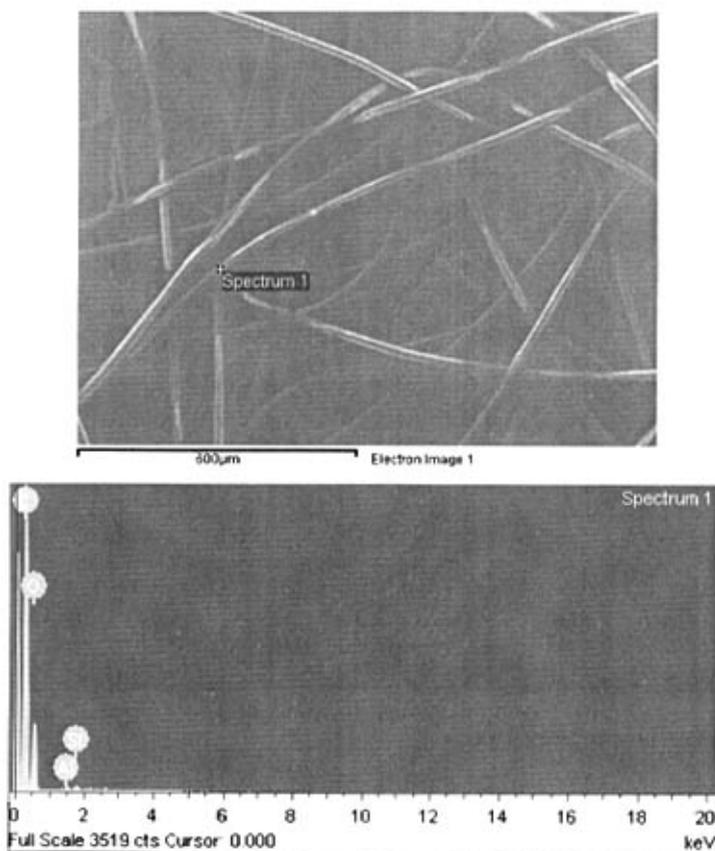


图 3-8 2<sup>o</sup>能谱图

3#纱线测试结果

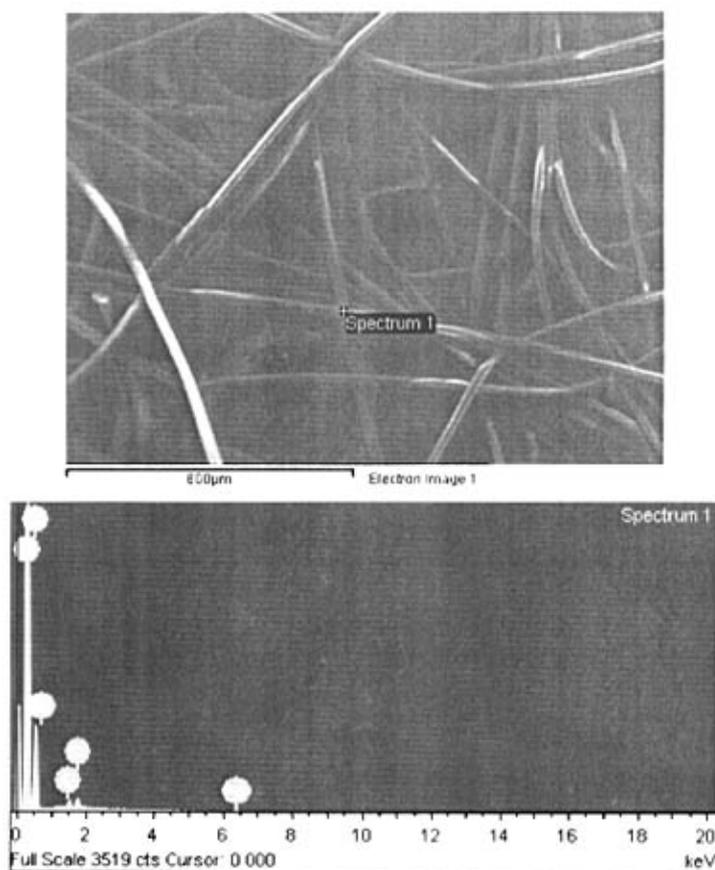
Spectrum processing : No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)

Number of iterations = 4

Standard : 表 3-8 3#所含元素的成分

Element	Weight%	Atomic%
C K	71.19	76.92
O K	28.06	22.76
Al K	0.23	0.11
Si K	0.36	0.17
Fe K	0.15	0.03
Totals	100.00	

图 3-9 3<sup>#</sup>能谱图

从所做能谱数据可以看出，每个纤维中都不同程度的含有 C、O、AL、Si、K，其中各自的百分含量差不多，而只有 3<sup>#</sup>号含有 Fe 元素，并且含量较少，所以纤维中所含元素的主要成分是 C、O、AL、Si、K 元素，其中 C、O 元素为高聚物的主要成分，AL、Si、K 和 Fe 才是纤维中添加剂所含矿物质元素的成分。

### 3.2.2 机械性能测试

通过该实验了解本实验所用纤维的强度、伸长率等，机械性能为功能织物结构与上机工艺设计提供依据。

表 3-9 所用材料：

序号	名称	规格
1 <sup>#</sup>	负离子功能涤棉混纺纱	145.7dtex/2
2 <sup>#</sup>	负离子功能涤棉混纺纱	145.7dtex/2
3 <sup>#</sup>	负离子功能涤棉混纺纱	145.7dtex/2
4 <sup>#</sup>	负离子功能粘胶长丝	133.3dtex

## (1) 材料与仪器:

① 实验材料列于表 3-9:

② 所用仪器: 型号为 Y361 型摆锤式单纱强力仪。

(2) 实验条件: 加持长度为 500mm, 下纱头下降速度为 500mm/min, 预加张力 6.67cN (单纱), 13.33cN (复丝), 测试温度  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度  $65\% \pm 3\%$ 。

(3) 实验方法与过程: 将试样一端固定在上夹持器中部, 另一端挂上预张力后固紧下夹持器中部, 按下拉伸键, 试样开始拉伸, 直至断裂, 记下该次测量强力和伸长值, 重复测试每个样品 30 次。

$$\text{平均断裂强力} = \text{各次强力观测值总和} / \text{试验总次数} (\text{cN})$$

$$\text{断裂强度} = \text{平均断裂强力} / \text{纱线细度} (\text{cN/dtex})$$

$$\text{平均断裂伸长率} = \text{各次断裂伸长率总和} / \text{试验总次数} \times 100 (\%)$$

具体测试数值见附表 1-8

表 3-10 1<sup>#</sup>纱测试数据

测试指标	纱线规格与性能	
	133.33dtex	133.33dtex×2
断裂强力 (cN)	192.6	401.7
断裂伸长率 (%)	7.99	7.93
断裂强度 (cN/dtex)	1.44	1.51

表 3-11 2<sup>#</sup>纱测试数据

测试指标	纱线规格与性能	
	133.33dtex	133.33dtex×2
断裂强力 (cN)	206.2	433.5
断裂伸长率 (%)	8.3	8.27
断裂强度 (cN/dtex)	1.55	1.63

表 3-12 3<sup>#</sup>纱测试数据

测试指标	纱线规格与性能	
	133.33dtex	133.33dtex×2
断裂强力 (cN)	188.0	383.4
断裂伸长率 (%)	8.0	7.89
断裂强度 (cN/dtex)	1.41	1.44

表 3-13 4<sup>#</sup>纱测试数据

测试指标	纱线规格与性能	
	133.33dtex	133.33dtex×2
断裂强力 (cN)	222.78	477.62
断裂伸长率 (%)	14.69	14.27
断裂强度 (cN/dtex)	1.67	1.79

从上表可见：4<sup>#</sup>纤维的单纱和股线强力最大，2<sup>#</sup>次之，3<sup>#</sup>最差，股线的强力是单纱的2倍左右，但稍微大一点，主要是因为股线加了弱捻，单丝间增加了抱合。也因为这一点，股线的断裂伸长率比单纱略小。用以上几种纤维织造的织物用于空调中，要承受一定的风力，测试几种纤维的断裂强力、断裂伸长率以及断裂强度，分析测试所得数据，几种纤维织造的织物均能承受一定的风力，粘胶纤维织物强度最好，安顺灰最差。

## 4 负离子功能纤维滤材织物设计与试织

### 4.1 空调滤材织物品种结构规格与设计

#### 4.1.1 织物经纬密设计

织物经纬密度决定纱线的排列间距和织物的物理机械性能,对滤材织物的过滤功能具有重要意义。在织造工艺上,纬密设计比经密有较大的灵活性。从负离子产生的机理来说,要充分发挥织物的负离子释放功能,必须在纱线间留有足够的间隙,在保证空气顺畅流通的基础上,应同时考虑到直接蒸发冷却式空调用滤材的主要功能不是过滤空气中的细小尘埃,而是拦截空气中漂浮的絮状污染物,增加空气中的负离子量,因此,在本文设计中采用了空箱空纬设计方案,使织物经纬密度保持间断性均匀一致即可。尽量增大织物与空气的接触面积,故织物的经纬密设计不能过大。将其控制在 20~40 根/cm 比较合适。

#### 4.1.2 织物幅宽设计

考虑到该织物要用于空调中,空调的风道面积最大为  $20 \times 45\text{cm}$ ,织物幅宽设计为 45cm。

#### 4.1.3 织物组织设计

滤材织物要求有适当的孔隙,以减小织物对空调空气流通的阻力,故选用透孔组织或空箱或空纬工艺。也可选用蜂巢、凸条、平纹、透孔、起绒、等类组织,主要是考虑尽可能增加织物的比表面积(单位体积的外表面积)。

由于受织机条件限制,本课题采用透孔、凸条、蜂巢、平纹四种组织。

当上机采用空箱或空纬工艺时,织物表面空隙度大,这会减小织物强力,故经密应尽可能设计的大一些,每箱齿穿入数在 3 入以上。

##### a 透孔组织织物

将这类组织结构标记为 a 类。

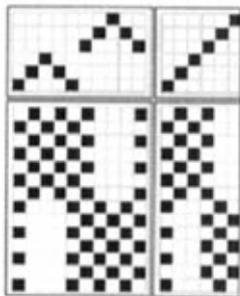


图 4-1 A 类织物上机图

经纬纱都用负离子功能纤维。使用6片综，9\*筘，5根/筘齿，采用穿一筘空二筘的方法，筘幅：50cm。上机图如图4-1。

采用SL7900全自动剑杆梭织打样机织造时的上机条件输入与操作控制界面(组合图)如图4-2。

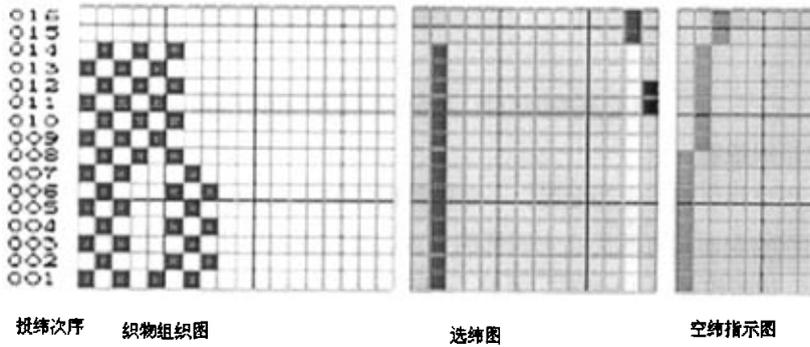


图4-2 A类组织上机条件输入与操作控制界面图

### b 凸条组织织物

将这类结构组织标记为b类。该组织第17—24根经纱选用弹力丝，第20根经与第21根经之间空2筘。该组织织物下机后由于正面长纬浮线收缩呈绷紧状态，使反面紧密的平纹组织挤压凸起形成凸条。再加上组织循环中左右四根平纹组织的弹力丝下机后收缩，纵向凸条效果更明显，增加了织物的比表面积。这种结构形态除了织物表面起的条纹外，织物正面的长浮线与反面的平纹组织之间还形成一定的孔隙，因而织物透气性较好，空气与负离子功能纤维接触面积大。

该组织使用6片综，9\*筘，4根/筘齿，筘幅：50cm。上机图见图4-3。

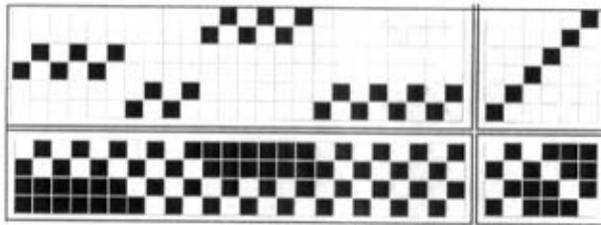


图4-3 B类组织织物上机图

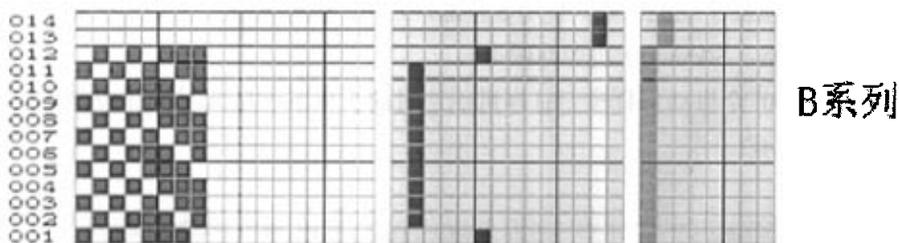


图 4-4 B 类组织织物上机条件输入与操作控制界面图

**c 蜂巢组织织物**

将这类结构组织标记为 c 类。一组经纱循环中第 3, 4, 19, 20 根经用弹力丝。该组织的织物表面具有四周高中间低的外观, 单位面积纱线聚集度较高, 织物比表面积较大。该组织使用 14 片综, 9<sup>#</sup>筘, 4 根/筘齿, 每组织循环之间空 3 筘, 箱幅: 50cm, 织一个循环空两筘。

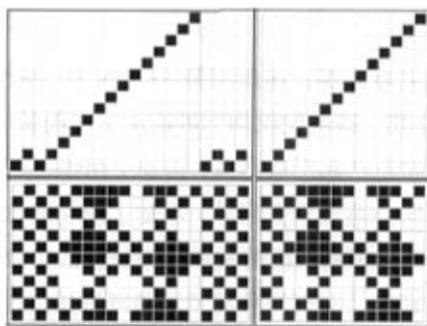


图 4-5 C 类上机图

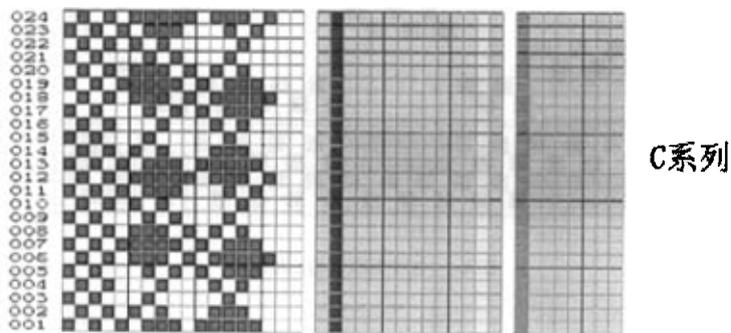


图 4-6 C 类组织上机条件输入与操作控制界面图

**d 平纹组织织物**

将这类结构组织标记为 d 类。该组织使用 6 片综, 9<sup>#</sup>筘, 4 根/筘齿, 每 16 根

经纱空3箱，总箱幅：50cm，织一个循环空两箱。

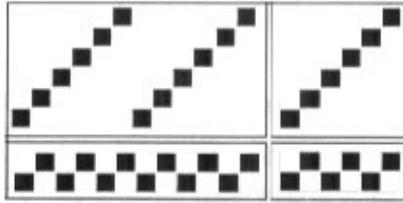


图 4-7 d类上机图

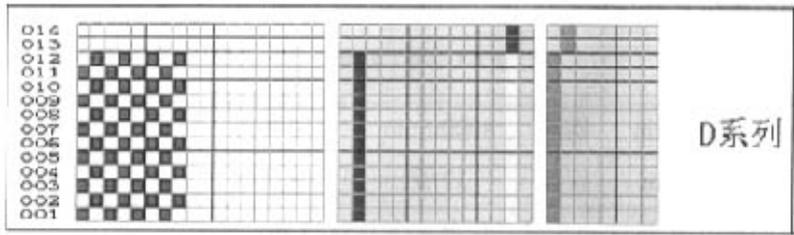


图 4-8 d类组织上机条件输入图

## 4.2 空调滤材织物生产工艺流程与织物小样试织

### 4.2.1 织物生产工艺流程与主要工序设计

#### a 生产工艺流程

络筒→加捻→整经→倒轴→织造→织物

#### b 主要工序设备见表 4-1

表 4-1 小样试织所需仪器

电脑高速络丝机	DLG	浙江万利纺织机械有限公司
化纤倍捻机	WL310G	浙江万利纺织机械有限公司
全自动小样整经机	SW550	硕奇实业股份有限公司
并轴机	ASGA421-180	浙江万利纺织机械有限公司
全自动梭织打样机	SL7900	硕奇实业股份有限公司

#### (1) 络筒

电脑高速络丝机的主要工艺参数见表 4-2

表 4-2 络筒工艺参数

络绕线速	300m/min	锭速	600r/min	主电机功率	3KW
锭距	230mm	锭数	10 锭	横动电机功率	0.55KW

其中负离子功能粘胶纤维表面比较光滑，若其络绕锥度过大，会在自身重力的作用下自行退绕塌边，故其络绕锥度以小为好，以免给后道加捻工序产生影响；在

络其它纱线时锥度最好也不要过大,会影响后道工序。本次实验络绕锥度工艺设为 $30^\circ$ 。

### (2) 加捻并线

滤材织物由于要长时间接受空调风的冲击作用,需要一定的强度,故对负离子功能纤维按如下工艺加工成复捻股线。先对单根丝加中捻,后将两根中捻丝合并,反向加弱捻。这样既可以在织造时减少经纱摩擦起毛,又可以便于打实纬线,增加织物强力。

加捻机的工艺参数见表4-3

表4-3 加捻工艺参数

线速度	29m/min	锭速	8000r/min	气圈张力	0.15g/D
锭距	225mm	锭数	32 锭	气圈高度	273mm

单纱加捻的捻度为785T/m S捻;股线加捻为382T/mZ捻。

### (3) 整经

对所选用整经机结构性能特点予以简单介绍。工作幅宽:2000mm;整经速度:150-840m/min;整经长度:7nm( $n=1,2,3,4,5,6,7,8,9,\dots$ );选纱品种:8只筒子的筒子架,8个筒子各附有张力器和停经片;主电机功率:1.1KW $\times$ 1。工艺参数见表4-4

表4-4 整经工艺参数

线速	200m/min	单丝张力	10cN/根	伸缩符号	45
排筒数	242 只	卷取张力	11.76N/cm(1.2Kg/cm)	经轴硬度	65-70 度

整经时应特别注意张力的控制,保持每根丝之间的张力均匀。若单丝张力过大或过小,布面会产生凹凸状,从而影响成品质量。

### (4) 倒轴

有效幅宽10~50cm,选择50cm,工艺参数见下表4-5

表4-5 并轴工艺参数

退解张力:	196N	车速	80m/min	并轴数:	4 只
卷取张力:	1960N	慢车速度	8m/min	织轴硬度:	75-80 度

### (5) 织造

(1) 采用机型为SL7900全自动梭织打样机织造。该织机配有6色选纬装置。本文小样试织选用1~2色纬。送经和织物纱卷取由电机驱动,其余动作皆由汽缸驱动。气源由一个5.5~6.5bar空气压缩机提供。工艺参数设计见表4-6。

表 4-6 小样织造工艺参数

经丝张力:0.36cN/dtex	综平时间:330°	主轴转速:40r/min
缓冲弹簧圈数:5~6 圈	剑杆开启、闭合时间: 270°、100	后梁高度:-2mm

#### 4.2.2 小样试织与效果分析

本章结论：在络筒时要注意锥度不要太大，根据纱线的细度来调节起始运行时间以达到调节纱筒的锥度；加捻时捻度要适中，太小强力不够，太大难以织造，本课题中单纱加 785T/m S 捻；股线加 382T/mZ 的弱捻；整经时要注意调节张力均匀，避免织造时部分经线张力过大造成断纱，难以织造；纬密设计比经密有较大的灵活性，所以我们经过变化纬密来改变织物的疏密；从负离子产生的机理来说，要充分发挥织物的负离子释放功能，必须尽量增大织物与空气的接触面积，故纬密设计也不能过大。将其纬密设计在 20 根/cm-40 根/cm；考虑到要使织物尽可能多的释放负离子，织物和空气接触的比表面积要大，织物中的负离子添加剂就能充分和空气中的水分子接触，把空气中的水分子电离成负离子，本文所设计织物组织为透孔组织、凸条组织、蜂巢组织、平纹组织。经过小样试织，认为当经纬密分别设计在 30 根/cm、35 根/cm 时，试织的小样织造效果最佳。

## 5 功能织物释放负离子量的测试与分析

### 5.1 测试织物释放空气负离子的量

#### 5.1.1 空气负离子浓度仪介绍

目前测试负离子的仪器列于表 5-1<sup>[78]</sup>：

表 5-1 负离子测试仪器生产供应商及产品型号

国别	生产商或代理公司	仪器名称	测定范围	离子迁移率
美国	Alphalab	AIR ION COUNTER	$\pm 10 \sim 10^6$	
美国		AIC 1000		
中国	漳州连腾	DLY 大气离子测量仪	$\pm 10 \sim 10^7$	1、0.4、0.15
中美合 资	北京机威远大	抗湿离子测量仪	$\pm 10 \sim 10^9$	1、0.4、0.15
中国台 湾	杭州可利尔可不得	ZL1-DLY-3G, 5G AK201, ITC-201A		
美国	广芳科学仪器厂	FLD-823		
日本	神户电波(株)	KST-900		
日本	ECO、HOLISTIC INC	EB-12A	$10 \sim 10^5$	大于 1.0
日本	ECO、HOLISTIC INC	EB-2000	$0 \sim 2 \times 10^6$	
日本	Inti	ITC-201	$\pm 10 \sim 10^8$	小于 0.4

本论文采用型号为 AIC1000 空气负离子浓度仪。该仪器参数列于表 5-2

表 5-2 负离子检测仪的型号参数

型号	空气流速	线性速度	离子收集率
AIC1000;	$200 \text{ cm}^3 /$	$40 \text{ cm} / \text{秒}$	大于 65%
动力范围	反应时间	精度	最小检测量
$10 \text{ 离子} / \text{ cm}^3 \sim 2 \text{ 百万离子} / \text{ cm}^3$	大约 10 秒	$\pm 20\%$	$10 \text{ 离子} / \text{ cm}^3$

3

#### 5.1.2 空气负离子仪测试负离子的原理

测试负离子的原理:在采样空气的过程中,空气以  $800 \text{ cm}^3 / \text{s}$  的速度进入仪器顶部,然后又从仪器的底部排出。仪器里面的负离子检测板能从快速流动的空气中提取出正负离子(这依赖极性开关的设置),并且把负离子沉积到内部的收集板上,

通过传感器可以测得每秒钟撞击收集板的基本电荷的数量（通过测量收集板的电压，这个极板用一个 10G 欧姆的电阻器与地相连）。在测量时选择开关的极性来选择测量正、负离子的种类。极性开关控制金属腔的电压，使金属收集板的电压相对于地是正的或负的 10 伏。如果设置极性为正，腔内将是正 10 伏，并且空气中的正离子将远离腔的外壳并且收集在接地的收集板上。极性开关设置在“正离子”状态时，负离子将远离收集板，收集板将仅仅测量到正离子，而不能测到负离子。同样，假如极性设置到“负离子”状态时，收集板将测到负离子。

### 5.1.3 负离子浓度仪测试空气负离子的方法

操作时，首先掷极性开关在正负中间，这种状态为待测状态。然后把量程手柄旋至到三个量程的一个。通常放在 19.99 ( $10^3$  个/cm<sup>3</sup>)，这个范围是最敏感范围。在这个量程最大可以读出 19990 个/cm<sup>3</sup> 离子数。打开仪器等待屏幕显示数据稳定在正负 2 之间，这个过程大概需要十秒钟，然后掷测量按钮调零，并控制住它一秒钟，当释放测量按钮时将会重新回到待测，调零需要一段时间直到至少在 5 秒钟内显示值在正负 0.02 之间，然后掷极性按钮在负极，等到显示变得稳定，掷测量开关于测量状态，记录十秒之内屏幕上显示的最大值与最小值，取其平均值即为本次测量数据。

### 5.2 负离子功能织物释放负离子的测试实验

为了了解织物在静置、摩擦、紫外照射三种不同外界条件下释放负离子量的大小，并加以比较，对织物进行三种不同条件的测试。

#### 5.2.1 实验材料与仪器装置

a 实验材料：本文试织的织物样品、具体组织结构与规格列于表 5-3

表 5-3 静置、摩擦、紫外照射时所用材料

序号	纱线名称	织物组织	规格(P <sub>j</sub> P <sub>w</sub> )	面积
1 <sup>#</sup>	负离子功能涤棉混纺纱	透孔组织	经密:	
2 <sup>#</sup>	负离子功能涤棉混纺纱	凸条组织	35 根/cm	50cm × 50cm
3 <sup>#</sup>	负离子功能涤棉混纺纱	蜂巢组织	纬密:	
4 <sup>#</sup>	负离子功能粘胶长丝	平纹组织	30 根/cm	

b 实验仪器设备装置:

(1) 静置织物测试负离子数所用仪器

表 5-4 所用仪器

名称	型号规格
负离子检测仪	AIC1000
无机玻璃箱体	体积为 1.5m <sup>3</sup>

(2) 摩擦织物测试负离子数所用仪器

表 5-5 所用仪器

名称	型号规格
负离子检测仪	AIC1000
无机玻璃箱体	体积为 1.5m <sup>3</sup>
自制摩擦板	上下摩擦板接触总面积为 0.0923m <sup>3</sup>

(3) 紫外照射织物测试负离子数所用仪器

表 5-6 所用仪器

名称	型号规格
负离子检测仪	AIC1000
无机玻璃箱体	体积为 1.5m <sup>3</sup>
紫外灯管	45W

5.2.2 实验方法与过程

a 静置织物时释放负粒子的浓度

(1) 实验条件：测定温度为  $18 \pm 2^\circ\text{C}$ ，湿度为  $50\% \pm 3\%$ 。

(2) 测试方法：把织物放在箱体内，静置 30 分钟后，测试箱体内负离子数，测完后，给箱体内换上清新的空气，再一次放进织物静置 30 分钟测量负离子数，这样重复做 10 次，取其平均值，即为该织物在该条件下释放的负离子数。

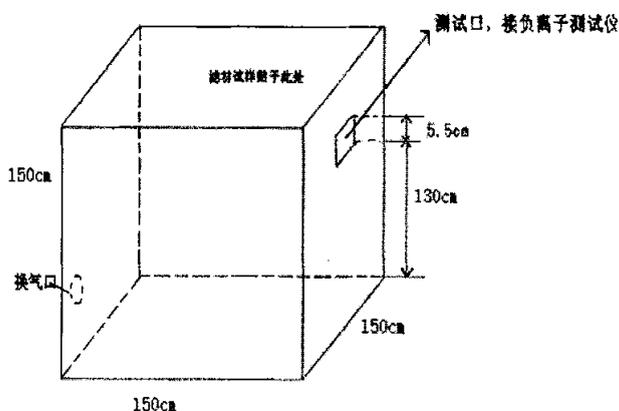


图 5-1 静置时测试负离子容器外观

(3) 实验数据见附表 9-12

b 摩擦时测试织物释放负粒子的浓度

(1) 实验条件：测定温度为  $18 \pm 2^\circ\text{C}$ ，湿度为  $50\% \pm 3\%$ 。

(2) 测试方法：把织物放在箱体内，以 30 次/min 的速度作往复平磨，往复的动

程为 0.3m，摩擦 30min 后，测试箱体内负离子数，测完后，开启鼓风机，给箱体内换气 10min，再进行摩擦、30min 后测量负离子数，这样重复做 10 次，取其平均值，即为该织物在该条件下释放的负离子数。

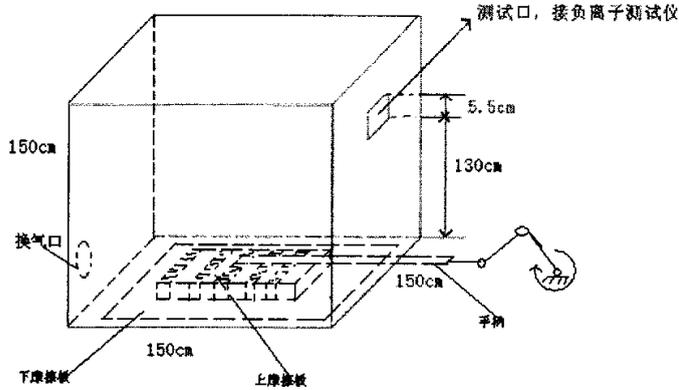


图 5-2 摩擦时测试负离子容器外观

(3) 实验数据见附表 13-16

c 紫外灯管照射时测试织物释放负粒子的浓度

(1) 实验条件：测定温度为  $18 \pm 2^\circ\text{C}$ ，湿度为  $50\% \pm 3\%$ 。

(2) 测试方法：把织物放在箱体内，用紫外灯管照射，每次连续照射 5 分钟、间隔 5 分钟，反复 30 分钟后，测试箱体内负离子数，测完后，给箱体内换上清新的空气，再次把织物放进箱内用紫外灯管照射 30 分钟后测量负离子数，重复做 10 次，取其平均值，即为该织物在该条件下释放的负离子数。

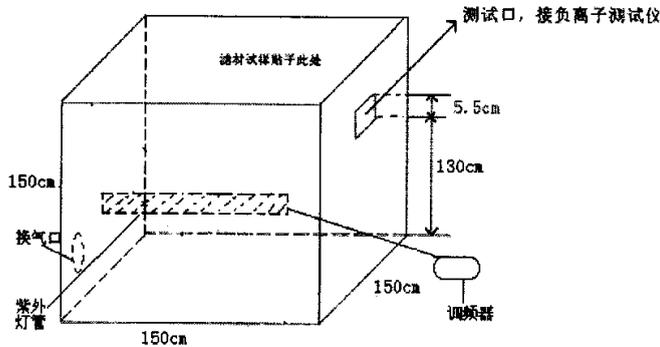


图 5-3 紫外灯管照射测试负离子容器外观

(3) 实验数据见附表 17-20

5.2.3 在三种不同外界条件下测试数据分析比较

表 5-7 透孔组织测试的负离子数据

	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>
静置	406	504	436	206
摩擦	654	746	682	511
紫外照射	844	1057	888	722

表 5-8 凸条组织测试的负离子数据

	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>
静置	460	577	485	277
摩擦	713	808	767	631
紫外照射	918	1102	941	767

表 5-9 蜂巢组织测试的负离子数据

	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>
静置	553	644	572	399
摩擦	740	854	848	655
紫外照射	1022	1336	1130	857

表 5-10 平纹组织测试的负离子数据

	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>
静置	351	442	383	193
摩擦	465	634	554	422
紫外照射	815	875	763	692

从上表可以看出,有紫外灯管照射的织物释放的负离子最多,摩擦次之,静置时最差,这是由于在紫外灯管照射下,外界给予较大的能量,从而使周围空气中大量水分子电离,变成羟基负离子( $\text{OH}^-(\text{H}_2\text{O})_n$ )、进而使空气中的氧被电离形成负氧离子 $\text{O}_2^-$ ,负氧离子和空气中的水结合又形成水合氧离子 $\text{O}_2^-(\text{H}_2\text{O})_n$ 。因此,在空调中,我们使用紫外灯管照射作为外界激发能量源,这样能产生更多的空气负离子,有利于改善房间内的空气质量。

### 5.3 在直接蒸发冷却式空调中的应用效果测试实验

#### 5.3.1 实验准备

在直接蒸发冷却空调机的出风口处安装一个相配套的长 30cm 风道。如下图所示<sup>[79]</sup>。

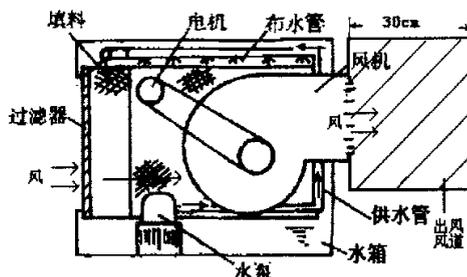


图 5-4 直接蒸发冷却式空调工作原理图

图中细实线箭头方向为风路进程，粗实线方向为水路进程。水箱中的循环水通过水泵送到填料顶部经由布水管均匀淋下，使填料得到很好的润湿，室外新风在风机的作用下穿过填料层时与水之间产生热、湿交换。即水吸收空气中的热量蒸发为水蒸气。水蒸气随被降温的空气一起到达出风口，进入室内的空气就为低温而潮湿的空气。

### 5.3.2 负离子功能织物在空调中的实验

#### a 材料与仪器:

表 5-11 所用材料

序号	名称	规格	面积
1 <sup>#</sup>	负离子功能涤棉混纺纱	经密: 35 根/cm	45cm×45cm
2 <sup>#</sup>	负离子功能涤棉混纺纱	纬密: 20 根/cm、25 根/cm、	
3 <sup>#</sup>	负离子功能涤棉混纺纱	30 根/cm、35 根/cm、	
4 <sup>#</sup>	负离子功能粘胶长丝	40 根/cm	

表 5-12 所用仪器

名称	型号规格	名称	型号规格
负离子检测仪	AIC1000	无机玻璃风道	长 30cm
紫外灯管	45W	温湿度表	WSB-A1
直接蒸发冷却空调	XR	加湿器	

b 实验条件: 测定温度为  $18 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , 湿度为 30%、40%、55%、70%、80%。

c 实验方法与步骤: 把织物放在风道内, 通风、用紫外灯管间歇照射 30 分钟, 测试距风道口 30cm 处负离子的浓度, 记录该数据, 测完一次, 去掉织物, 换气十分钟, 进行下一次测试。每个样品重复测试十次, 取其平均值, 即为该样品在该条件下释放的负离子量。

d 实验结果见附表 21-24, 附表中的数据为记录所得平均值。

应用模型:

将滤材织物裁剪成与出风口面积相应的布样, 将布样置于如下图所示的横杠上, 使布处于静止状态, 开启空调, 在湿度变化的情况下测试释放负离子的量。

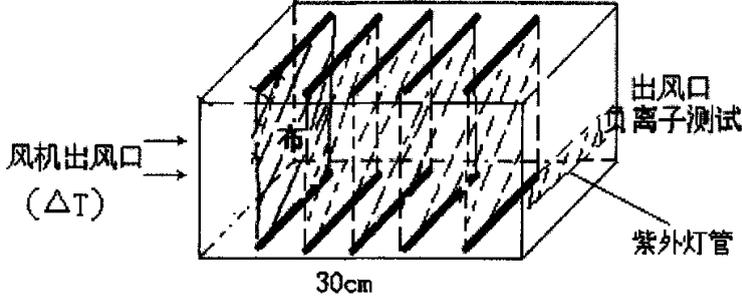


图 5-5 测试实验图

### 5.3.3 负离子功能织物在空调中的实验结果分析

#### a 同一种纱线织造不同组织释放负离子的比较分析

表 5-13 同一种纱线织造不同组织释放负离子的量

	透孔组织	凸条组织	蜂巢组织	平纹组织
1 <sup>#</sup>	992	1285	1291	897
2 <sup>#</sup>	1243	1310	1418	1020
3 <sup>#</sup>	1098	1290	1415	1006
4 <sup>#</sup>	998	1176	1178	883
测试条件:	t=20℃	纬密为 30 根/cm	R=55%	

从上表可以看出, 蜂巢组织释放负离子的量最多, 凸条组织次之, 平纹组织释放负离子的能力最差; 这和各种组织与空气接触的比表面积有关, 同样大小的织物, 蜂巢组织与空气接触的比表面积最大, 所以在同样的条件下, 它释放的负离子量最多; 而平纹与空气接触的比表面积最小, 所以只能释放出最小量的负离子。

#### b 不同纱线织造同一种组织释放负离子的比较分析

表 5-14 不同纱线织造同一种组织释放负离子的量

	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>	4 <sup>#</sup>
透孔组织	992	1243	1098	998
凸条组织	1285	1310	1290	1176
蜂巢组织	1291	1418	1415	1178
平纹组织	897	1020	1006	883
测试条件:	t=20℃	纬密为 30 根/cm	R=55%	

从上图可以看出 2<sup>#</sup>号纱线织造的各种组织的布释放的负离子最多, 3<sup>#</sup>号次之, 1<sup>#</sup>号较差, 4<sup>#</sup>号最差。这也许是因为在该纤维中负离子的添加量较多以及负离子在该纤维中分布比较均匀, 还有添加在该纤维中的负离子颗粒的粒径比较小。

c 在纬密不同时同一种纱线同一种组织 t=20℃、R=55%一定的情况下释放负离子的比较分析

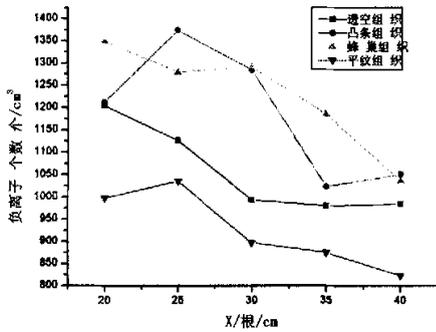


图 5-6 1<sup>#</sup>纱线织制的织物随纬密释放负离子量的变化

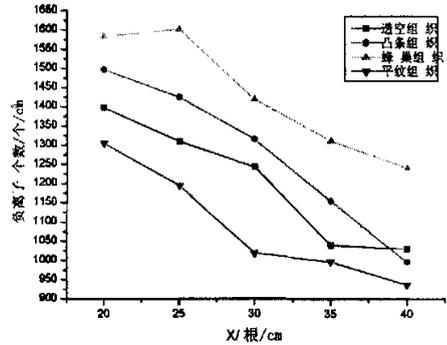


图 5-7 2<sup>#</sup>纱线织制的织物随纬密释放负离子量的变化

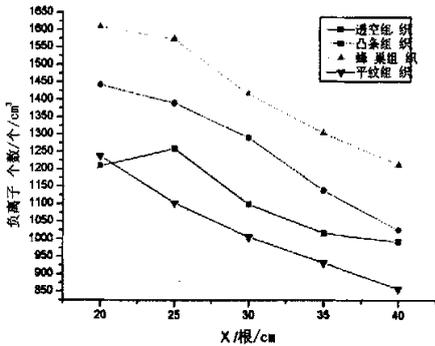


图 5-8 3<sup>#</sup>纱线织制的织物随纬密释放负离子量的变化

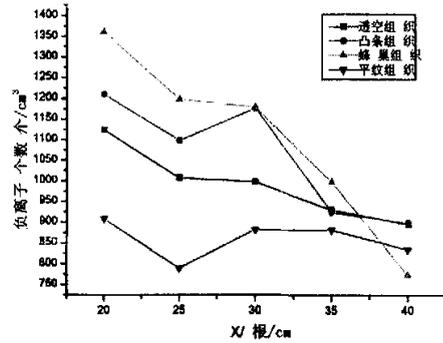


图 5-9 4<sup>#</sup>纱线织制的织物随纬密释放负离子量的变化

从图 5-6 可以看出, 随着纬密增大, 透孔组织释放的负离子量始终都在变小, 凸条组织先变大后减小再变大, 但每次增大的程度都不大, 蜂巢组织先变小然后有一点增大趋势再次急剧变小, 平纹组织先一点变大, 而后都是在变小; 图 5-7 中除了蜂巢组织起初增大后变小之外, 其余组织都随纬密的增大释放负离子的量在减少; 图 5-8 中透孔组织释放负离子的量先变大后减小, 其它三种都是在减小; 图 5-9 中, 凸条和平纹组织随纬密的增大释放负离子的量先减小后变大再变小, 同样增大的程度很小, 透孔和蜂巢组织释放负离子的量则一直都程下降趋势; 总之, 几乎每一种纱线织成的各种组织的织物, 随着纬密的增大, 负离子的释放量都在减少; 这是由于当织物的纬密变大时, 织物的孔隙越来越小, 所以当空调送风时与布接触的

表面积就越小，纤维中的负离子添加剂接触到空气水分子就少，这样激发出的负离子量就会减少。但随纬密的变小，释放负离子的量不是无限制的在变大，当纬密逐渐变小，释放负离子的量慢慢趋于平稳，无限接近于某一值。

d 在温度  $t=20^{\circ}\text{C}$  对 2\* 纱线织造的同一组织的织物在湿度变化的情况下进行负离子比较分析

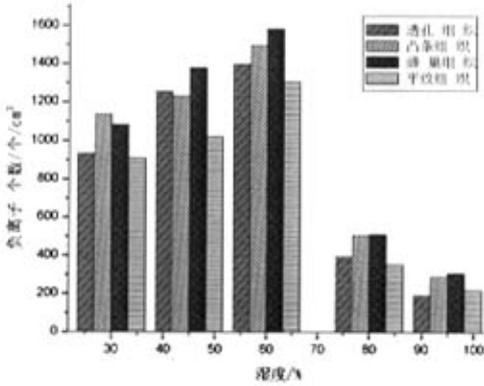


图 5-10 纬密为 20 根/cm

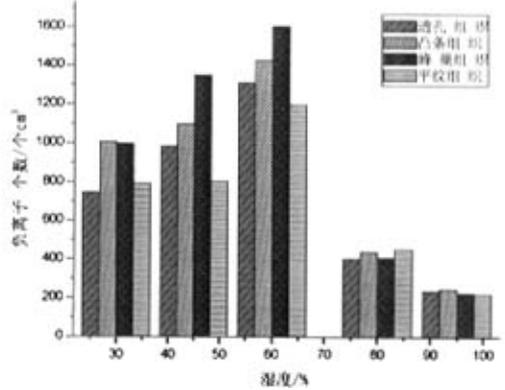


图 5-11 纬密为 25 根/cm

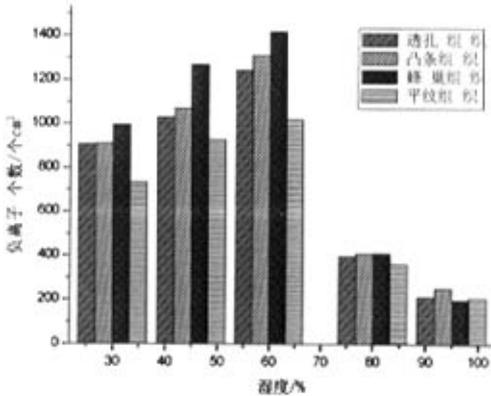


图 5-12 纬密为 30 根/cm

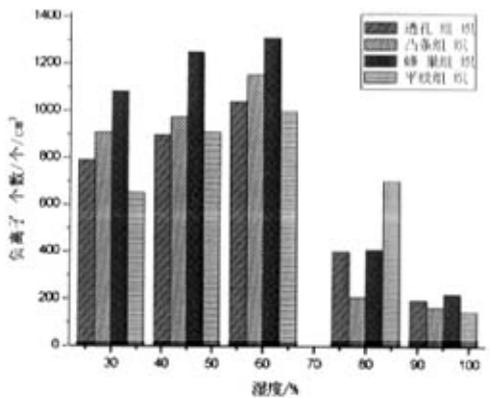


图 5-13 纬密为 35 根/cm

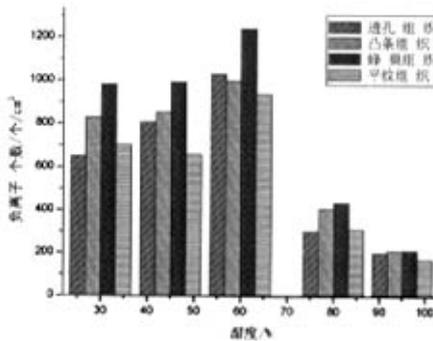


图 5-14 纬密为 40 根/cm

在温度  $t=20^{\circ}\text{C}$ ，纱线组织纬密均相同的条件下，当湿度逐渐变大时，织物释放负离子的量起先变大，当湿度在 60% 时，各种织物释放负离子的量最多，当湿度增大到 80% 时，不同纬密下的各种组织释放负离子的量都比湿度在 60% 时小的多，继续增大湿度到 90%，织物释放负离子的量还是在减小，在实验所取的湿度点，湿度为 90% 时释放的负离子量最小，湿度在 60% 左右时释放的负离子量最大，这是由于当湿度较小时，空气中没有足够的水分子提供给负离子添加剂来电离成空气负离子，湿度逐渐变大时，空气中有大量的雾化的单个水分子可以被电离成空气负离子，当湿度增大到某一程度时，空气中的水分子不在是雾化的单个水分子，而是大量水分子团聚在一起的小水珠，不容易被电离成负离子。即使有大量负离子产生，也很快被雾团水分中和，使空气整体负离子数量大幅度减少。

## 6 结束语

通过前面大量的实验研究,本文对粘胶、涤纶等多种负离子功能纤维进行了空调功能滤材织物的设计试织,并将织成的织物用于直接蒸发冷却空调中,得到了许多基础性的数据,对负离子功能纤维织物的结构和性能特点有了系统全面的认识,得出许多有意义的结论。具体总结如下:

### 6.1 本课题的结论

通过对负离子功能织物释放负离子的量进行分析,可以说明添加了负离子的功能纤维织造的织物在一定的外界条件下能够释放出一定量的负离子。

(1) 通过扫描电镜对各种短纤观察,添加了负离子的纤维与普通纤维在外观结构形态上没有什么异同,说明添加负离子的纤维并没破坏纤维的结构形态。

(2) 负离子纤维的回潮率比普通纤维大,功能纤维吸收的周围空气水分子的能力强,从而纤维中就有足够的水分子被电离成负离子。

(3) 通过静置、摩擦、紫外照射三种不同条件作为外界激发能量,紫外灯管照射时释放的负离子量最多。

(4) 经实验分析,设计的透孔组织、凸条组织、蜂巢组织、平纹组织,其中在各种条件相同时蜂巢组织释放的负离子量最大。

(5) 在组织、纬密,湿度相同的条件下负离子功能涤棉混纺纱(灰色)织造的织物能释放出较多的负离子。

(6) 在纱线组织、湿度均相同的条件下,纬密小的组织释放的负离子量一般最多。

(7) 在温度、纱线、组织、纬密均相同的条件下,在实验设计的湿度下,当湿度在55%左右时释放的负离子量最大。

(8) 通过分析选定负离子功能涤棉混纺纱(灰色)织造的纬密为20根/cm蜂巢组织用于直接蒸发冷却空调中,紫外灯管照射做为外界激发能量,空气湿度在55%左右。

### 6.2 本课题的创新点

(1) 系统测试分析了负离子功能纤维的结构性能,阐述了该功能材料的应用前景。

(2) 应用负离子功能粘胶长丝和涤纶短纤混纺纱设计开发出空调滤材用系列织物新产品。

(3) 设计制作了负离子功能纤维织物释放负离子数量的简易测试装置,并对所

设计试织物样品进行了负离子功能静态和动态（摩擦）、紫外照射量化测试。

(4) 提出负离子功能纤维织物应用于直接蒸发冷却式空调中的思路，并对该结构形式的实用空调进行了改造，加装了一个负离子功能织物过滤室（功能发生器），对织物负离子释放功能进行了量化测试，结果显示具有一定的效果。

### 6.3 本课题的不足之处

由于客观及人为因素的影响，本课题仍有一些不足之处需要进一步改进：

(1) 选择负离子功能纤维时，要看负离子粉在纤维中是否分散均匀和牢固，并且添加在纤维中的这些负离子微粉尽量做到最佳的粒径，这样既不影响材料的原有性能，还有利于后道的纺丝加工。

(2) 到目前为止，空气负离子真正的作用机理尚不完全清楚，还有负离子是否对人体产生负作用还不清楚，据有关报道，空间中负离子浓度越大并非越好，过高浓度的负离子也可能对人体产生负作用，这样负离子浓度究竟在多少范围内对人体有益还有待一步研究证实。

(3) 对空气中负离子含量如何进行测量没有统一的标准，产品的检测也没有统一的量化标准。同时，由于材料所限，只能对市场上已有产品进行二次开发，未能与化纤企业联合，从具体应用领域的功能要求出发，对纺丝过程的负离子功能添加剂添加量进行控制。因此，所有实验数据不尽理想。

(4) 由于条件所限，本设计织物样品只能应用于直接蒸发冷却空调上，有必要进一步对推广到其它空调上的可能性展开深入研究。

## 参 考 文 献

- [1] 陈芸.负离子纺织产品的开发[J].印染, 2003, 29(2): 29-30.
- [2] 李安伯.我国空气负离子研究所面临的挑战[J].工业卫生与职业病, 1991, 17(6): 372-373.
- [3] 段亚峰、张莹、李维鹏.负离子粘胶纤维及其功能性纺织品的开发状况与展望[J].丝绸, 2005,5: 36-37.
- [4] 郭盛晖.空气负离子及其在旅游业中的应用 [J].广州: 2002, 1: 32-34.
- [5] 林忠宁 空气负离子在卫生保健中的作用[J].广州: 生态科学, 1999, 2: 89-90
- [6] 郭盛晖.空气负离子及其在旅游业中的应用 [J].广州: 2002, 1: 32-34.
- [7] 高洁、李青山等.负离子添加剂在纺织品中的应用 [J].纺织科学研究, 2004, 3: 27-30
- [8] 谢跃亭、张瑞文、邵长金, 负离子功能粘胶纤维的研制 [J].新乡, 天津工业学报, 2004, 8: 44-47
- [9] 谢跃亭、张瑞文、邵长金, 负离子功能粘胶纤维的研制 [J].新乡, 天津工业学报, 2004, 8: 44-47
- [10] 杨栋梁.负离子技术在纺织品中的应用近况(二) [J].上海: 印染, 2004, 21: 43-47
- [11] 钟正刚.王寅生等.谈“安泰.托玛”负离子健康织物 [J].北京: 针织工业, 2004, 4: 74-76
- [12] 钟正刚.王寅生等.谈“安泰.托玛”负离子健康织物 [J].北京: 针织工业, 2004, 4: 74-76
- [13] 李青山、陈洁等, 嫩江蛋白石轻质页岩及在高分子材料中的应用 [J].中国非金属矿工业导刊, 2003, 36: 21-23
- [14] 商成杰、张洪杰.对天然纤维织物进行负离子整理的研究 [J].北京, 纺织科学研究, 2002, 10: 52.
- [15] 杨栋梁.负离子技术在纺织品中的应用近况(二) [J].上海: 印染, 2004, 21: 43-47
- [16] 毕鹏宇、陈跃华等.负离子纺织品及其应用的研究 [J].上海: 纺织学报, 2004, 6: 99-101
- [17] 张艳、陈跃华. 负离子纺织品的研究与应用 [J].上海, 上海纺织科技, 2002, 10: 52.
- [18] 万震、赵敏、杜国君.新型卫生保健织物的研究进展 [J].上海: 合成纤维, 2003,

45: 45-47

- [19] 栾凤祥.关于负离子远红外线纺织品应用理论的探讨 [J].天津:天津纺织科技, 2000, 4: 10-12
- [20] 宋肇棠.功能织物整理的进展(二) [J].苏州:印染, 2003, 11: 33-54
- [21] 商成杰、张洪杰.对天然纤维织物进行负离子整理的研究 [J].北京,纺织科学研究, 2002, 10: 52.
- [22] 商成杰、张洪杰.对天然纤维织物进行负离子整理的研究 [J].北京,纺织科学研究, 2002, 10: 52.
- [23] 高继成.负离子纺织品的开发应用 [J].南京:实用技术, 2003, 3: 52-54
- [24] 高继成.负离子纺织品的开发应用 [J].南京:实用技术, 2003, 3: 52-54
- [25] 吴玉珍、张秀珍等.空调房间中的负离子与健康 [J].江苏:江苏预防医学, 1997, 4: 39-41
- [26] 金元欢、王建宁.宾馆室内生态壁挂式空气清新净化系统 [J].杭州:能源工程, 2000, 6: 69-70
- [27] 金元欢、王建宁.宾馆室内生态壁挂式空气清新净化系统 [J].杭州:能源工程, 2000, 6: 69-70
- [28] 刘新华.空调市场乱吹“健康风” [J].市场调查, 2003, 7: 22
- [29] 吴玉珍、张秀珍等.空调房间中的负离子与健康 [J].江苏:江苏预防医学, 1997, 4: 39-41
- [30] 吴玉珍、张秀珍等.空调房间中的负离子与健康 [J].江苏:江苏预防医学, 1997, 4: 39-41
- [31] 武俊梅、黄翔等.直接蒸发冷却空调机性能研究 [J].陕西:建筑热能通风空调, 2000, 4: 12-14
- [32] 谢跃亭、张瑞文、邵长金, 负离子功能粘胶纤维的研制 [J].新乡,天津工业学报, 2004, 8: 44-47
- [33] 郭盛晖.空气负离子及其在旅游业中的应用 [J].广州: 2002, 1: 32-34.
- [34] 李新娥、谢跃亭.负离子功能粘胶纤维的开发及应用前景 [J].棉纺织技术, 2003, 12: 55-56
- [35] 谢跃亭、张瑞文、邵长金, 负离子功能粘胶纤维的研制 [J].新乡,天津工业学报, 2004, 8: 44-47
- [36] 李新娥、谢跃亭.负离子功能粘胶纤维的开发及应用前景 [J].棉纺织技术, 2003, 12: 55-56
- [37] 韩跃新、任飞等.内蒙东部黑电气石释放负离子特性研究 [J].矿冶, 2004, 1: 94-96

- [38] 李新娥、谢跃亭.负离子功能粘胶纤维的开发及应用前景 [J].棉纺织技术, 2003, 12: 55-56
- [39] Wu chengxun.Surface graft polymerization of PET and PE fibers Uv irradiation [J] J china Textile university , 1998, 15: 38-41.
- [40] 谢跃亭、张瑞文、邵长金, 负离子功能粘胶纤维的研制 [J].新乡, 天津工业学报, 2004, 8: 44-47
- [41] 蔡岳俊、邓国彬等.PP/SiO<sub>2</sub> 复合材料之动能负离子释放与远红外线功能研究 [J].台北, 纺织综合研究期刊, 2005, 3: 11-18
- [42] 建初, 负离子纺织品“森林浴”的享受 [J].纺织装饰科技, 2003, 1: 28
- [43] 段菊兰、王濂生、徐晓辰. 负离子纤维的性能与应用 [J].上海, 金山油化纤, 2001, 2: 53
- [44] 段菊兰、王濂生、徐晓辰. 负离子纤维的性能与应用 [J].上海, 金山油化纤, 2001, 2: 53
- [45] 卫罡、金宗哲.负离子材料产业化的关键问题 [J].新材料产业, 2005, 1: 41-44
- [46] 保继刚, 楚必芳编著.旅游地理学 [M].高等教育出版社, 2001
- [47] 李长连, 负离子在母婴同室净化空气中的应用研究 [J].中国医院感染学杂志
- [48] 许宗润, 左国秋.“负离子”改善孵化环境的应用与探讨 [J].塔里木农垦大学学报, 1990, 2: 23-26
- [49] 森林旅游资产评价课题组, 森林旅游资源资产分类分级评价的研究 [J].林业工作研究, 2001
- [50] 黄建武、陶宗元.负离子资源开发与生态旅游 [J].华中师范大学学报(自然科学版), 2002, 36: 257-260
- [51] 张艳、陈跃华. 负离子纺织品的研究与应用 [J].上海, 上海纺织科技, 2002, 10: 52.
- [52] 李青山、王新伟、吴丽娜等.国际涂料应用和特种印花学术交流会论文集 [A].2004, 266-271
- [53] 宋肇棠.功能织物整理的进展(二) [J].苏州: 印染, 2003, 11: 33-54
- [54] 邸凯、王蒙、李青山.蛋白石共混合成纤维与聚合物吸湿性的探讨 [J].黑龙江, 黑龙江纺织, 2003, 2: 1-2, 13
- [55] 高洁、李青山等.负离子添加剂在纺织品中的应用 [J].纺织科学研究, 2004, 3: 27-30
- [56] 彩岳峻、郑国彬等.PP/SiO<sub>2</sub> 复合材料之动态负离子释放与远红外功能研究[J].纺织综合研究期刊, 2005, 3: 11-18
- [57] 商成杰、张洪杰.对天然纤维织物进行负离子整理的研究 [J].北京, 纺织科学研

- 究, 2002, 10: 52.
- [58] 毕鹏宇、陈跃华等.负离子纺织品及其应用的研究 [J].上海: 纺织学报, 2004, 6: 99-101
- [59] 栾凤祥.关于负离子远红外线纺织品应用理论的探讨 [J].天津: 天津纺织科技, 2000, 4: 10-12
- [60] 窦海萍等. 奇冰石纤维及其混纺纱线的开发[J]. 山东纺织科技, 2002, 3: 12-13
- [61] 天津泰达股份有限公司.21 世纪的生态纤维制品-负离子纤维纺织品. 纺织标准与质量, 2001, 2: 44
- [62] 黄兴山.“奇异”纤维.技术创新, 2001, 1: 19
- [63] 王文淑、吕悦慈、范春祥. 负离子纤维的性能及应用 [J].石家庄, 天津纺织科技, 2000, 4: 11-14.
- [64] 谢跃亭.粘胶负离子功能纤维 [J].市场报, 2000, 10: 第七版
- [65] 段菊兰、王濂生、徐晓辰. 负离子纤维的性能与应用 [J].上海, 金山油化纤, 2001, 2: 53-56
- [66] 王文淑、吕悦慈、范春祥. 负离子纤维的性能及应用 [J].石家庄, 天津纺织科技, 2000, 4: 11-14.
- [67] 谢跃亭、张瑞文、邵长金, 负离子功能粘胶纤维的研制 [J].新乡, 天津工业学报, 2004, 8: 44-47
- [68] 谢跃亭.粘胶负离子功能纤维 [J].市场报, 2000, 10: 第七版
- [69] 谢跃亭、张瑞文、邵长金, 负离子功能粘胶纤维的研制 [J].新乡, 天津工业学报, 2004, 8: 44-47
- [70] 卫罡、金宗哲.负离子材料产业化的关键问题 [J].新材料产业, 2005, 1: 41-44
- [71] 段菊兰、王濂生、徐晓辰. 负离子纤维的性能与应用 [J].上海, 金山油化纤, 2001, 2: 53-56
- [72] 陈芸.负离子纺织产品的开发 [J].上海, 印染, 2003, 2: 29-30[59] 扬瑞玲、曾新.负离子涤纶短纤维的研制 [J].合成纤维, 2002, 5: 29-31
- [73] 王文淑、吕悦慈、范春祥. 负离子纤维的性能及应用 [J].石家庄, 天津纺织科技, 2000, 4: 11-14.
- [74] 王万秀、李娟娟.负离子及其纺织品对人类的影响 [J].山东, 河南纺织科技, 2003, 2: 2-3 25
- [75] 高继成.负离子纺织品的开发应用 [J].南京, 实用技术, 2003, 3: 52-54
- [76] 饶剑辉、靳向煜.负离子纤维在非织造领域的应用 [J].上海, 北京纺织, 2003, 3: 17-19
- [77] 卫罡、金宗哲.负离子材料产业化的关键问题 [J].新材料产业, 2005, 1: 41-44

- [78] 饶剑辉、靳向煜.负离子纤维在非织造领域的应用 [J].上海,北京纺织, 2003, 3: 17-19
- [79] 武俊梅、黄翔等.直接蒸发冷却空调机性能研究 [J].陕西: 建筑热能通风空调, 2000, 4: 12-14

## 附表

附表1 纱线断裂强度测试数值(145.7dtex) (1#纱线)

测试内容 实验次数	断裂强力 (cN)	断裂伸长率 (%)	测试内容 实验次数	断裂强力 (cN)	断裂伸长率 (%)
1	178.0	7.8	16	197.5	8.3
2	183.0	8.0	17	198.3	7.5
3	179.3	7.7	18	203.6	8.4
4	193.1	8.1	19	177.4	7.8
5	191.6	7.9	20	205.7	8.3
6	198.3	8.1	21	200.5	7.9
7	205.2	8.4	22	178.9	7.9
8	203.7	8.5	23	207.3	8.7
9	178.9	7.3	24	193.1	7.2
10	201.3	8.6	25	190.8	7.7
11	191.5	7.9	26	183.2	7.8
12	173.3	7.4	27	178.9	7.9
13	197.8	8.1	28	203.7	8.2
14	200.5	8.3	29	203.7	8.5
15	183.7	7.3	30	197.5	8.2
平均断裂强力 (cN)	192.6		平均断裂伸长率 (%)		7.99

最终测定该纤维的断裂强度为 192.6cN/dtex，断裂伸长率为 7.99%

附表2 纱线断裂强度测试数值(145.7dtex×2) (1# 纱纤)

序号	断裂强力 (cN)	断裂伸长率 (%)	序号	断裂强力(cN)	断裂伸长率(%)
1	377.5	7.9	16	409.7	8.1
2	385.2	8.3	17	417.2	8.5
3	401.2	8.5	18	415.3	7.9
4	398.6	8.0	19	415.0	8.4
5	383.7	7.9	20	388.5	8.1
6	399.5	7.5	21	397.9	8.1
7	401.5	7.7	22	401.5	8.3
8	387.2	7.8	23	401.0	8.1
9	388.3	7.9	24	379.6	7.3
10	397.5	8.2	25	412.7	8.7
11	385.9	7.8	26	410.6	8.3
12	413.7	8.2	27	416.9	8.8
13	406.9	8.1	28	416.9	8.5
14	408.3	8.3	29	413.7	8.6
15	385.7	7.9	30	416.7	8.4
平均断裂强力 (cN)	401.7		平均断裂伸长率(%)		7.93

最终测得该 133.3dtex×2 纤维断裂强度为 401.7cN/dtex，断裂伸长率为 7.93%。

## 附表

附表3 纱线断裂强度测试数值(145.7dtex) (2#纱线)

序号	断裂强力 (cN)	断裂伸长率 (%)	序号	断裂强力 (cN)	断裂伸长率(%)
1	177.5	7.7	16	211.5	8.4
2	192.3	8.1	17	215.3	7.9
3	173.9	7.9	18	210.1	8.1
4	203.7	8.3	19	203.7	8.0
5	215.8	8.7	20	205.2	8.1
6	209.7	8.4	21	209.8	8.4
7	206.2	8.5	22	209.6	8.7
8	208.8	8.5	23	207.9	8.6
9	211.3	8.4	24	209.9	8.4
10	209.8	8.3	25	207.3	8.1
11	207.4	8.6	26	209.2	8.4
12	209.8	7.9	27	214.9	8.5
13	209.8	8.3	28	211.5	8.7
14	209.6	8.4	29	193.7	7.9
15	214.7	8.9	30	203.5	8.1
平均断裂强力 (cN)		206.2	平均断裂伸长率 (%)		8.3

最终测定该纤维的断裂强度为 206.2cN/dtex，断裂伸长率为 8.3%。

附表4 纱线断裂强度测试数值(145.7dtex×2) (2#纱线)

序号	断裂强力 (cN)	断裂伸长率 (%)	序号	断裂强力 (cN)	断裂伸长率(%)
1	415.3	7.8	16	437.9	8.8
2	419.2	8.1	17	435.2	8.4
3	423.7	8.0	18	436.4	8.3
4	439.8	8.5	19	433.5	7.9
5	433.5	8.7	20	435.8	8.4
6	433.3	8.3	21	437.2	8.3
7	437.9	8.7	22	439.6	8.9
8	429.8	8.3	23	439.5	8.5
9	431.7	8.8	24	437.3	8.6
10	438.5	8.6	25	429.7	7.7
11	439.4	8.3	26	434.8	8.6
12	421.6	8.5	27	437.9	8.6
13	430.3	8.7	28	433.5	8.7
14	437.8	8.5	29	438.4	8.8
15	437.9	8.7	30	428.6	7.9
平均断裂强力 (cN)		433.5	平均断裂伸长率 (%)		8.27

最终测得该 133.3dtex×2 纤维断裂强度为 433.5cN/dtex，断裂伸长率为 8.27%。

## 附表

附表 5 纱线断裂强度测试数值(145.7dtex) (3<sup>#</sup>纱线)

序号	断裂强力 (cN)	断裂伸长率 (%)	序号	断裂强力 (cN)	断裂伸长率 (%)
1	168.0	7.4	16	198.2	8.4
2	188.0	8.2	17	188.2	7.2
3	188.3	9.0	18	195.0	8.4
4	182.1	7.4	19	197.2	8.2
5	181.5	8.3	20	195.0	7.6
6	208.1	8.2	21	197.2	8.2
7	195.0	8.4	22	201.5	7.9
8	195.0	8.4	23	197.2	8.6
9	182.0	8.6	24	168.2	6.8
10	181.2	8.4	25	181.6	6.8
11	161.2	8.6	26	192.4	7.6
12	181.2	7.4	27	162.3	8.5
13	188.7	7.4	28	197.2	8.2
14	187.0	7.2	29	188.3	9.0
15	201.2	8.6	30	198.2	8.4
平均断裂强力 (cN)	188.0		平均断裂伸长率 (%)		8.0

最终测定该纤维的断裂强度为 188.0cN/dtex，断裂伸长率为 8.0%。

附表 6 纱线断裂强度测试数值(145.7dtex×2) (3<sup>#</sup>纱线)

序号	断裂强力 (cN)	断裂伸长率 (%)	序号	断裂强力 (cN)	断裂伸长率 (%)
1	346.2	7.6	16	396.4	8.3
2	373.6	8.9	17	377.0	7.3
3	375.8	8.1	18	405.0	8.3
4	403.3	8.7	19	405.0	7.7
5	417.0	8.2	20	413.2	8.1
6	417.0	7.5	21	398.4	8.3
7	417.0	7.9	22	396.5	7.9
8	395.0	8.5	23	424.0	8.5
9	386.4	7.7	24	415.3	7.6
10	417.0	7.9	25	378.6	7.3
11	417.0	8.3	26	384.9	8.1
12	395.0	7.7	27	377.1	7.3
13	379.4	7.3	28	394.6	8.4
14	405.0	8.0	29	399.5	7.9
15	392.0	7.6	30	403.8	8.0
平均断裂强力 (cN)	383.4		平均断裂伸长率 (%)		7.89

最终测得该 133.3dtex×2 纤维断裂强度为 383.4cN/dtex，断裂伸长率为 7.89%。

## 附表

附表 7 纱线断裂强度测试数值(133.3dtex) (4<sup>#</sup>纱线)

序号	断裂强力 (cN)	断裂伸长率 (%)	序号	断裂强力 (cN)	断裂伸长率 (%)
1	223	14.6	16	229	14.4
2	225.5	14.8	17	244	15
3	234	15.3	18	228	15
4	234	15	19	237	14.8
5	234	15.2	20	225	15
6	231	14	21	220	14.6
7	239	14.4	22	226	15.1
8	233	15	23	229	15
9	241	14	24	223	13.4
10	237	14.4	25	223	14.4
11	223	14.4	26	217	13.6
12	236.5	15.5	27	231	15.3
13	220	14	28	229	15.5
14	241.5	15.4	29	220	13.8
15	231	14.8	30	242	14.9
平均断裂强力 (cN)		222.78	平均断裂伸长率 (%)		14.69

最终测定该纤维的断裂强度为 1.67cN/dtex，断裂伸长率为 14.69%。

附表 8 纱线断裂强度测试数值(133.3dtex×2) (4<sup>#</sup>纱线)

序号	断裂强力 (cN)	断裂伸长率 (%)	序号	断裂强力 (cN)	断裂伸长率 (%)
1	499	15	16	444	11.1
2	493	15.2	17	474	15.0
3	508	12.7	18	474	13.5
4	508	15.4	19	446	13.7
5	494	14.7	20	474	16.7
6	489	15.8	21	474	13.8
7	516	13	22	457.6	12.8
8	474	14.8	23	468	14.9
9	474	11.5	24	474	13.8
10	474	12.4	25	474	16.3
11	474	14.7	26	474	15.4
12	474	13.6	27	474	15.8
13	474	14.1	28	474	15.9
14	474	13.9	29	474	16
15	474	13.7	30	474	13
平均断裂强力 (cN)		477.62	平均断裂伸长率 (%)		14.27

最终测得该 133.3dtex×2 纤维断裂强度为 1.79cN/dtex，断裂伸长率为 14.27%。

## 附表

附表9 静置织物测试的负离子数据 (1#纱线)

	透孔组织	凸条组织	蜂巢组织	平纹组织
1	350	550	630	290
2	470	620	780	260
3	510	350	650	410
4	460	880	390	380
5	480	370	560	440
6	250	380	530	460
7	220	420	510	250
8	340	330	760	370
9	570	290	340	350
10	410	410	380	300
平均值	406	460	553	351

附表10 静置织物测试的负离子数据 (2#纱线)

	透孔组织	凸条组织	蜂巢组织	平纹组织
1	510	430	650	380
2	450	620	680	550
3	430	670	490	530
4	570	550	520	370
5	380	580	630	340
6	530	710	890	420
7	690	340	770	460
8	560	490	640	550
9	390	660	660	560
10	530	720	510	380
平均值	504	577	644	442

附表11 静置织物测试的负离子数据 (3#纱线)

	透孔组织	凸条组织	蜂巢组织	平纹组织
1	420	510	720	330
2	180	380	680	390
3	370	550	620	560
4	430	420	340	450
5	350	490	660	480
6	390	570	570	490
7	610	710	590	350
8	530	350	480	370
9	400	330	430	410
10	380	540	630	550
平均值	436	485	572	383

## 附表

附表 12 静置织物测试的负离子数据 (4\*纱线)

	透孔组织	凸条组织	蜂巢组织	平纹组织
1	230	310	300	290
2	220	270	420	180
3	250	230	600	210
4	270	240	410	220
5	220	330	420	170
6	210	350	450	190
7	190	270	380	170
8	170	250	300	160
9	150	300	430	140
10	150	220	280	200
平均值	206	277	399	193

附表 13 摩擦织物测试的负离子数据 (1\*纱线)

	透孔组织	凸条组织	蜂巢组织	平纹组织
1	700	720	910	420
2	630	780	650	650
3	680	740	800	530
4	710	650	730	470
5	730	710	750	490
6	700	660	750	470
7	690	690	790	450
8	420	810	710	380
9	590	630	680	460
10	690	740	630	330
平均值	654	713	740	465

附表 14 摩擦织物测试的负离子数据 (2\*纱线)

	透孔组织	凸条组织	蜂巢组织	平纹组织
1	550	710	770	630
2	810	850	910	650
3	790	830	900	600
4	770	860	790	710
5	690	800	850	690
6	800	790	930	670
7	830	860	920	580
8	800	880	870	670
9	750	780	850	490
10	670	820	750	650
平均值	746	808	854	634

## 附表

附表 15 摩擦织物测试的负离子数据 (3#纱线)

	透孔组织	凸条组织	蜂巢组织	平纹组织
1	580	880	890	430
2	630	740	910	550
3	590	650	880	580
4	740	720	740	580
5	790	780	790	600
6	710	810	900	590
7	690	750	850	620
8	630	750	880	410
9	650	820	810	550
10	810	770	830	630
平均值	682	767	848	554

附表 16 摩擦织物测试的负离子数据 (4#纱线)

	透孔组织	凸条组织	蜂巢组织	平纹组织
1	420	720	560	580
2	500	600	750	430
3	530	580	630	420
4	520	550	670	510
5	580	630	620	370
6	640	650	630	350
7	400	670	690	380
8	570	670	810	350
9	500	700	640	390
10	450	540	550	440
平均值	511	631	655	422

附表 17 紫外灯管照射织物测试的负离子数据 (1#纱线)

	透孔组织	凸条组织	蜂巢组织	平纹组织
1	910	980	990	930
2	870	900	910	720
3	850	780	1130	790
4	880	850	1050	840
5	580	890	980	790
6	670	970	1070	800
7	970	1010	1090	730
8	980	990	990	740
9	910	890	870	910
10	820	920	1140	900
平均值	844	918	1022	815

## 附表

附表 18 紫外灯管照射织物测试的负离子数据 (2#纱线)

	透孔组织	凸条组织	蜂巢组织	平纹组织
1	1150	1120	1470	1070
2	930	1130	1050	1020
3	1000	1210	1070	1030
4	1030	1280	1590	900
5	1080	980	1480	720
6	1090	1050	1320	740
7	1060	1060	1330	770
8	1130	990	1390	830
9	1130	970	1360	820
10	970	1230	1300	850
平均值	1057	1102	1336	875

附表 19 紫外灯管照射织物测试的负离子数据 (3#纱线)

	透孔组织	凸条组织	蜂巢组织	平纹组织
1	790	770	920	620
2	810	790	1050	650
3	1020	930	1080	930
4	930	1050	1130	740
5	970	1020	1090	770
6	940	1020	1270	780
7	890	990	1070	690
8	910	970	1060	900
9	1000	920	1250	830
10	620	950	1210	720
平均值	888	941	1130	763

附表 20 紫外灯管照射织物测试的负离子数据 (4#纱线)

	透孔组织	凸条组织	蜂巢组织	平纹组织
1	810	740	850	800
2	720	760	830	630
3	700	760	920	650
4	730	830	970	690
5	750	800	900	610
6	770	890	890	740
7	650	660	850	720
8	630	710	840	700
9	700	730	620	670
10	760	790	900	710
平均值	722	767	857	692

## 附表

附表 21 织物负离子功能测试数据 (1<sup>#</sup>纱线)

纬密 (根/cm) 20		温度 (°C) 20
织物名称	湿度 (%)	释放负离子数 (个/CM <sup>3</sup> )
透孔组织	R=30%	742
	R=45%	1157
	R=60%	1205
	R=80%	413
	R=95%	202
凸条组织	R=30%	1002
	R=45%	1086
	R=60%	1213
	R=80%	419
蜂巢组织	R=95%	252
	R=30%	925
	R=45%	1239
	R=60%	1350
平纹组织	R=80%	458
	R=95%	292
	R=30%	855
	R=45%	853
纬密 (根/cm) 25	R=60%	997
	R=80%	328
	R=95%	215
纬密 (根/cm) 25		温度 (°C) 20
织物名称	湿度 (%)	释放负离子数 (个/CM <sup>3</sup> )
透孔组织	R=30%	932
	R=45%	928
	R=60%	1126
	R=80%	302
	R=95%	237
凸条组织	R=30%	935
	R=45%	1044
	R=60%	1374
	R=80%	401
蜂巢组织	R=95%	249
	R=30%	973
	R=45%	1158
	R=60%	1280
平纹组织	R=80%	456
	R=95%	210
	R=30%	592
	R=45%	819
纬密 (根/cm) 25	R=60%	1035
	R=80%	297

附表

		R=95%	187
纬密 (根/cm) 30		温度 (°C) 20	
织物名称	湿度 (%)	释放负离子数 (个/CM <sup>3</sup> )	
	R=30%	859	
	R=45%	1020	
透孔组织	R=60%	992	
	R=80%	415	
	R=95%	205	
	R=30%	837	
	R=45%	1192	
凸条组织	R=60%	1285	
	R=80%	353	
	R=95%	192	
	R=30%	1080	
	R=45%	1093	
蜂巢组织	R=60%	1291	
	R=80%	329	
	R=95%	213	
	R=30%	417	
	R=45%	792	
平纹组织	R=60%	897	
	R=80%	205	
	R=95%	200	
纬密 (根/cm) 35		温度 (°C) 20	
织物名称	湿度 (%)	释放负离子数 (个/CM <sup>3</sup> )	
	R=30%	562	
	R=45%	802	
透孔组织	R=60%	979	
	R=80%	338	
	R=95%	207	
	R=30%	743	
	R=45%	859	
凸条组织	R=60%	1023	
	R=80%	407	
	R=95%	213	
	R=30%	952	
	R=45%	978	
蜂巢组织	R=60%	1185	
	R=80%	432	
	R=95%	198	
	R=30%	325	
	R=45%	893	
平纹组织	R=60%	875	
	R=80%	321	

附表

纬密 (根/cm) 40		R=95%	163
织物名称	湿度 (%)	温度 (°C) 20	
		释放负离子数 (个/CM <sup>3</sup> )	
透孔组织	R=30%	703	
	R=45%	735	
	R=60%	984	
	R=80%	297	
	R=95%	185	
凸条组织	R=30%	684	
	R=45%	792	
	R=60%	1050	
	R=80%	339	
	R=95%	197	
蜂巢组织	R=30%	738	
	R=45%	974	
	R=60%	1035	
	R=80%	592	
	R=95%	235	
平纹组织	R=30%	460	
	R=45%	779	
	R=60%	823	
	R=80%	317	
	R=95%	165	

附表 22 织物负离子功能测试数据 (2#纱线)

纬密 (根/cm) 20		R=95%	163
织物名称	湿度 (%)	温度 (°C) 20	
		释放负离子数 (个/CM <sup>3</sup> )	
透孔组织	R=30%	935	
	R=45%	1257	
	R=60%	1398	
	R=80%	396	
	R=95%	193	
凸条组织	R=30%	1139	
	R=45%	1232	
	R=60%	1497	
	R=80%	508	
	R=95%	293	
蜂巢组织	R=30%	1083	
	R=45%	1379	
	R=60%	1584	
	R=80%	512	
	R=95%	309	
	R=30%	909	

附表

	R=45%	1020
平纹组织	R=60%	1305
	R=80%	354
	R=95%	220
	纬密 (根/cm) 25	温度 (°C) 20
织物名称	湿度 (%)	释放负离子数 (个/CM <sup>3</sup> )
	R=30%	747
	R=45%	985
透孔组织	R=60%	1310
	R=80%	401
	R=95%	236
	R=30%	1008
	R=45%	1098
凸条组织	R=60%	1425
	R=80%	437
	R=95%	246
	R=30%	998
	R=45%	1349
蜂巢组织	R=60%	1602
	R=80%	407
	R=95%	225
	R=30%	793
	R=45%	804
平纹组织	R=60%	1195
	R=80%	452
	R=95%	221
	纬密 (根/cm) 30	温度 (°C) 20
	织物名称	湿度 (%)
	R=30%	908
	R=45%	1030
透孔组织	R=60%	1243
	R=80%	397
	R=95%	212
	R=30%	911
	R=45%	1070
凸条组织	R=60%	1310
	R=80%	409
	R=95%	251
	R=30%	997
	R=45%	1270
蜂巢组织	R=60%	1418
	R=80%	411
	R=95%	198
	R=30%	735

附表

	R=45%	928
平纹组织	R=60%	1020
	R=80%	364
	R=95%	208
纬密 (根/cm) 35		温度 (°C) 20
织物名称	湿度 (%)	释放负离子数 (个/CM <sup>3</sup> )
	R=30%	792
	R=45%	897
透孔组织	R=60%	1040
	R=80%	403
	R=95%	196
	R=30%	908
	R=45%	973
凸条组织	R=60%	1154
	R=80%	209
	R=95%	165
	R=30%	1083
	R=45%	1250
蜂巢组织	R=60%	1310
	R=80%	410
	R=95%	223
	R=30%	652
	R=45%	910
平纹组织	R=60%	997
	R=80%	403
	R=95%	147
纬密 (根/cm) 40		温度 (°C) 20
织物名称	湿度 (%)	释放负离子数 (个/CM <sup>3</sup> )
	R=30%	652
	R=45%	807
透孔组织	R=60%	1030
	R=80%	302
	R=95%	202
	R=30%	829
	R=45%	853
凸条组织	R=60%	997
	R=80%	409
	R=95%	213
	R=30%	983
	R=45%	992
蜂巢组织	R=60%	1240
	R=80%	437
	R=95%	214
	R=30%	703

附表

平纹组织	R=45%	659
	R=60%	937
	R=80%	313
	R=95%	172

附表 23 织物负离子功能测试数据 (3#纱线)

纬密 (根/cm) 20		温度 (°C) 20
织物名称	湿度 (%)	释放负离子数 (个/CM <sup>3</sup> )
透孔组织	R=30%	1070
	R=45%	1209
	R=60%	1233
	R=80%	441
	R=95%	208
凸条组织	R=30%	1147
	R=45%	1258
	R=60%	1442
	R=80%	436
	R=95%	254
蜂巢组织	R=30%	1149
	R=45%	1353
	R=60%	1609
	R=80%	510
	R=95%	287
平纹组织	R=30%	907
	R=45%	992
	R=60%	1238
	R=80%	340
	R=95%	194
纬密 (根/cm) 25		温度 (°C) 20
织物名称	湿度 (%)	释放负离子数 (个/CM <sup>3</sup> )
透孔组织	R=30%	953
	R=45%	1137
	R=60%	1259
	R=80%	400
	R=95%	225
凸条组织	R=30%	997
	R=45%	1256
	R=60%	1390
	R=80%	458
	R=95%	238
蜂巢组织	R=30%	1209
	R=60%	1297
	R=80%	1573
	R=95%	504
	R=90%	192

附表

	R=30%	745
	R=45%	977
平纹组织	R=60%	1102
	R=80%	308
	R=95%	219
纬密 (根/cm) 30		温度 (°C) 20
织物名称	湿度 (%)	释放负离子数 (个/CM <sup>3</sup> )
	R=30%	914
	R=45%	1021
透孔组织	R=60%	1098
	R=80%	357
	R=95%	206
	R=30%	910
	R=45%	1184
凸条组织	R=60%	1290
	R=80%	362
	R=95%	237
	R=30%	1153
	R=45%	1208
蜂巢组织	R=60%	1415
	R=80%	429
	R=95%	277
	R=30%	733
	R=45%	784
平纹组织	R=60%	1006
	R=80%	320
	R=95%	205
纬密 (根/cm) 35		温度 (°C) 20
织物名称	湿度 (%)	释放负离子数 (个/CM <sup>3</sup> )
	R=30%	809
	R=45%	879
透孔组织	R=60%	1016
	R=80%	393
	R=95%	247
	R=30%	856
	R=45%	892
凸条组织	R=60%	1138
	R=80%	419
	R=95%	235
	R=30%	1107
	R=45%	1193
蜂巢组织	R=60%	1303
	R=80%	404
	R=95%	240

附表

织物名称	湿度 (%)	温度 (°C) 20
		释放负离子数 (个/CM <sup>3</sup> )
平纹组织	R=30%	612
	R=45%	739
	R=60%	932
	R=80%	357
	R=95%	194
纬密 (根/cm) 40		
透孔组织	R=30%	717
	R=45%	740
	R=60%	992
	R=80%	253
	R=95%	219
凸条组织	R=30%	730
	R=45%	797
	R=60%	1025
	R=80%	392
	R=95%	218
蜂巢组织	R=30%	854
	R=45%	987
	R=60%	1213
	R=80%	401
	R=95%	239
平纹组织	R=30%	618
	R=45%	692
	R=60%	857
	R=80%	309
	R=95%	170

附表 24 织物负离子功能测试数据 (4<sup>#</sup>纱线)

织物名称	湿度 (%)	温度 (°C) 20
		释放负离子数 (个/CM <sup>3</sup> )
透孔组织	R=30%	711
	R=45%	985
	R=60%	1124
	R=80%	357
	R=95%	219
凸条组织	R=30%	913
	R=45%	986
	R=60%	1210
	R=80%	308
	R=95%	237
	R=30%	931
	R=45%	1209

附表

蜂巢组织	R=60%	1362
	R=80%	403
	R=95%	285
	R=30%	712
	R=45%	766
平纹组织	R=60%	908
	R=80%	225
	R=95%	193
纬密 (根/cm) 25		温度 (°C) 20
织物名称	湿度 (%)	释放负离子数 (个/CM <sup>3</sup> )
透孔组织	R=30%	740
	R=45%	902
	R=60%	1007
	R=80%	309
	R=95%	218
凸条组织	R=30%	901
	R=45%	997
	R=60%	1098
	R=80%	342
	R=95%	220
蜂巢组织	R=30%	957
	R=45%	1103
	R=60%	1199
	R=80%	364
	R=95%	209
平纹组织	R=30%	508
	R=45%	763
	R=60%	790
	R=80%	230
	R=95%	179
纬密 (根/cm) 30		温度 (°C) 20
织物名称	湿度 (%)	释放负离子数 (个/CM <sup>3</sup> )
透孔组织	R=30%	723
	R=45%	796
	R=60%	998
	R=80%	320
	R=95%	200
凸条组织	R=30%	809
	R=45%	953
	R=60%	1176
	R=80%	337
	R=95%	183
	R=30%	892
	R=45%	1001

附表

蜂巢组织	R=60%	1178
	R=80%	382
	R=95%	207
	R=30%	403
	R=45%	596
平纹组织	R=60%	883
	R=80%	245
	R=95%	170
纬密 (根/cm) 35		温度 (°C) 20
织物名称	湿度 (%)	释放负离子数 (个/CM <sup>3</sup> )
透孔组织	R=30%	549
	R=45%	621
	R=60%	930
	R=80%	317
	R=95%	162
凸条组织	R=30%	693
	R=45%	801
	R=60%	924
	R=80%	335
	R=95%	190
蜂巢组织	R=30%	736
	R=45%	934
	R=60%	997
	R=80%	409
	R=95%	199
平纹组织	R=30%	320
	R=45%	607
	R=60%	882
	R=80%	301
	R=95%	140
纬密 (根/cm) 40		温度 (°C) 20
织物名称	湿度 (%)	释放负离子数 (个/CM <sup>3</sup> )
透孔组织	R=30%	528
	R=45%	620
	R=60%	896
	R=80%	309
	R=95%	153
凸条组织	R=30%	608
	R=45%	697
	R=60%	899
	R=80%	231
	R=95%	160
	R=30%	636
	R=45%	702

附表

---

蜂巢组织	R=60%	774
	R=80%	285
	R=95%	202
	R=30%	317
	R=45%	508
平纹组织	R=60%	835
	R=80%	263
	R=95%	109

---

# 攻读学位期间发表的学术论文

- 1 张莹, 段亚峰, 李维鹏. 负离子粘胶纤维及其功能性纺织品的开发状况与展望. 丝绸. 36-37 页. 2005 年, 第 5 期.

## 西安工程科技学院学位论文知识产权声明

本文完全了解西安工程科技学院有关知识产权的规定，即：研究生在校攻读学位期间学位论文工作的知识产权归属西安工程科技学院。本人保证毕业离校后，使用学位论文工作成果或用学位论文工作成果发表论文时署名单位仍然为西安工程科技学院。学院有权保留送交的学位论文复印件，允许学位论文被查阅或借阅；学校可以公布学位论文的全部或部分内 容，可以采用影印、缩印或其它复印手段保存学位论文。（保密的学位论文在解密后应遵守此规定）

学位论文作者签名：



指导教师签名：

日 期：



2006.3.16

# 西安工程科技学院学位论文独创性声明

秉承学校严谨的学风与优良的科学道德，本人声明所呈交的学位论文是我个人在导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，学位论文中不包含其它人已经发表或撰写过的研究成果，不包括本人已申请学位或其它用途使用过的成果。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了感谢。

学位论文与资料若有不实之处，本人承担相关责任。

学位论文作者签名：

張堃

日

期：

2006. 3. 20.

# 致 谢

时光匆匆，转眼之间，我的硕士研究生学习和生活即将结束，在我就读于西安工程科技学院并在论文阶段来到绍兴文理学院开展为期一年半的学位论文研究，我感到非常荣幸，在两校相关学科多位教授和工程技术人员的帮助下，经过刻苦努力与付出，今天终于完成了我硕士学位论文的全部工作。在做硕士论文期间，得到了许多人的帮助和支持，在此一并感谢。

首先，要感谢我的导师段亚峰教授，导师治学严谨、诲人不倦、知识渊博，在课题的选择，研究方向的把握以及硕士论文的修改中倾注了大量的心血；而且，在生活中还教给学生做人治学的道理，是我今后人生道路上最宝贵的财富。

同时，在此还要对西安工程科技学院研究生部、纺织与材料学院以及绍兴文理学院科研处、工学院、纺织服装系及有关实验室的许多领导和老师表示崇高的敬意和真诚的感谢，感谢他们在我论文研究实验期间所给予的诸多支持与帮助；最后还要特别感谢西安工程科技学院环境与工程学院的黄翔老师，感谢纺织材料学院的来侃老师，感谢他们在我在西安做实验期间给予的大力支持和无微不至的关怀，还有绍兴文理学院的唐立敏老师，在织小样期间，他不辞辛劳的为我讲解各种仪器的操作方法，在酷热的日子里，唐老师有时甚至放弃休息时间帮助我多次维修仪器，在此对他表示由衷的感谢！我要感谢我的家人，正是他们无私的付出和真挚的爱，才是我得以完成学业。

西安工程科技学院

2006.1