

混纺比对大豆蛋白纱线机械性能及其机织产品 服用和卫生性能的影响

摘要

本课题主要研究了混纺比对大豆蛋白纱线机械性能及其机织产品服用和卫生性能的影响，寻找一个各方面性能较优的混纺比范围，为企业开发大豆蛋白机织类新产品提供借鉴和参考。

大豆蛋白纤维是由我国科技人员独立研制并工业化生产的人造纤维，具有优良的特性，符合环保、健康的时代观念，一经面世，便得到了世人的喜爱。

通过近几年研究推广，大豆蛋白纤维在针织产品上得到了较好的应用，但在机织产品上的应用仍然较少。由于大豆蛋白纤维具有良好的舒适性和特殊的卫生保健功能，适合在家纺面料上的应用，许多科研院所和知名企业正在积极合作，进行相关产品的开发研究。本课题就是在这样的背景下，通过与浙江嘉力蛋白有限公司合作，开展大豆蛋白纤维机织产品的研究。

通过对大豆蛋白纱线条干、毛羽、断裂强度和断裂伸长率的测试分析，研究混纺比和线密度对大豆蛋白纱线物理性能的影响。结果表明：（1）条干：企业提供的三种线密度的大豆蛋白纱线的条干不匀率，随着混纺比中大豆蛋白纤维含量的增加而减小，混纺比相同时，线密度大的纱线的条干更好；（2）毛羽：大豆蛋白纱线的毛羽随着混纺比中大豆蛋白纤维含量的增大而逐渐增多，混纺比相同时，线密度越小，纱线毛羽值越小；（3）断裂强度：大豆蛋白纱的断裂强度随着大豆蛋白纤维含量的增加，先减小后增大，存在一个低谷值，选择工艺

参数时注意避开低谷区域，当混纺比相同时，29tex 大豆蛋白纱线的断裂强度最大；（4）断裂伸长率：当混纺比中大豆蛋白纤维含量小于35%时，大豆蛋白纱线断裂伸长率的变化上升趋势不明显；当大豆蛋白纤维的含量超过35%时，纱线的伸长率随着其含量增加明显增大。

重点测试分析了大豆蛋白织物热湿舒适性能和负离子性能，分析比较不同混纺比以及织物结构对这两个性能的影响。结果表明：（1）当织物结构相近时，不同混纺比对织物的热湿性能有影响，大豆/棉80/20和大豆/棉60/40混纺织物的热湿舒适性能好于纯纺织物；（2）在混纺比相同的情况下，14.5tex和18tex的纱线织成的织物导湿综合性能、透气性和透湿性比29tex的好，但保暖性就较差；（3）通过灰色聚类分析法对各个试样织物的热性能和湿性能进行综合评价，得出综合表现优异的织物，为企业开发家纺类面料提供借鉴。（4）大豆蛋白织物能够发射一定量的负离子，对人体具有良好的卫生保健功能，不同混纺比中，大豆/棉80/20混纺面料的负离子发射量最大；（5）混纺比相同时，不同织物组织结构和表面风格对织物负离子性能也有明显影响，织物表面平坦，摩擦接触面大，织物的负离子发射量相对更大些。（6）大豆蛋白面料与其他常规面料搭配使用时，一般情况下，面料匹配纤维的质量比电阻越大，摩擦产生的负离子量就越多。

综合上述对大豆蛋白纱线物理性能及其织物热湿舒适性和负离子性能的分析，我们建议企业在开发机织面料时优先考虑大豆蛋白纤维含量高的混纺纱线，既可以提高纱线物理机械性能，达到良好的可织性要求，又可以获得服用性能和卫生保健功能更好的产品。另外，通过与一定比例的棉纤维混纺还可以降低成本，提高产品的竞争力。

关键词：大豆蛋白纱线，机械性能，大豆蛋白机织物，热湿舒适性，负离子

The influence of blending ratio on the mechanical properties of soybean protein yarn and its woven products' wearing characteristics and hygiene performances

Abstract

In this thesis, the influence of blending ratio on the mechanical properties of soybean protein yarn and its woven products' wearing characteristics and hygiene performances was studied. An appropriate blending ratio range was explored to provide reference for enterprise to develop the soybean protein new woven products.

As a first man-made fiber which is invented and industrialized by our country's scientists, the soybean protein fiber owns many excellent properties. It complies with the environment friendly and healthy conception, and now it is very popular among the people in the world.

In recent years, the soybean protein fiber was mainly applied in the knitting products, while it had little application in the woven fabrics. It is suitable for home-textiles due to its comfort and unique health functions. Many scientific institutes and famous enterprises are actively engaged in the research and development of relevant products. With this background, the current study focuses on the research of soybean protein woven products through cooperation with Zhejiang Jiali Protein Co., Ltd.

Firstly, according to the analysis of yarn evenness, hairiness, breaking strength and elongation rate at break, the influence of blending ratio and line density on mechanical properties of soybean/cotton blended yarn was studied. The results were as follows: (1) Evenness: the evenness of soybean yarn which is provided by the company increased with the increasing percentage of soybean protein fiber. With the same blending

ratio, the evenness of the yarn with bigger line density is better; (2) Hairiness: The hairiness of soybean yarn increased gradually with the increasing percentage of soybean protein fiber. With the same blending ratio, the hairiness of smaller line density yarn is better; (3) Breaking strength: The breaking strength of soybean yarn decreased initially and then increased with the increasing percentage of soybean protein fiber, the yarn had the minimum tenacity when the content of soybean protein fiber is around 50%; With the same blending ratio, the breaking strength of 29tex soybean yarn is the biggest. (4) Elongation rate at break: The elongation rate of soybean would be improved as the content of soybean protein fiber is more 35%.

Secondly, the thermal-wet comfort property and anion property of soybean protein fabric with different blending ratio and fabric construction were measured. The results were as follows: (1) With the similar fabric construction, the blending ratio had effect on the thermal-wet comfort property, two fabrics with soybean/cotton (80/20 and 60/40) had better comfort property than the soybean fabric. (2) when the blending ratio is the same, yarns of 14.5tex and 18tex had better wet permeability, air permeability than 29tex fabric and worse warmth-retention. (3) By means of gray clustering analysis, a comprehensive evaluation of thermal-wet comfort property and evaluation of thermal-wet comfort of the 10 kinds of fabrics were conducted. Some fabrics with the best properties were obtained, this provided references for enterprises to develop home textiles. (4) The soybean protein fabric could give out certain amount of negative ions, which will be good for health. The blending ratio of 80/20 for soybean/cotton could send the largest amount of negative ions. (5) With the same blending ratio, structure and surface style of different fabric also had obvious influence on the negative ion properties. The fabric could

give out more negative ions with smoother surface and larger contacting area. (6) Usually, soybean protein fabrics can be blended with other fabrics. The larger mass specific resistance of the blended fabric, the more negative ions it could send out.

According to the analysis of the mechanical properties, thermal-wet comfort and negative ions properties, suggestion can be given to enterprises that woven fabrics with higher content of soybean protein fiber are preferred. Those fabrics can meet the technical need and have better wearing performance. The soybean protein fiber can be blended with cotton to lower the cost, and the final products will be very competitive in the global market.

Key Words: Soybean protein yarn, mechanical property, soybean protein woven fabric, thermal-wet comfort property, anion launch function, grey clustering analysis.

附件一：

东华大学学位论文原创性声明

本人郑重声明：我恪守学术道德，崇尚严谨学风。所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已明确注明和引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品及成果的内容。论文为本人亲自撰写，我对所写的内容负责，并完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：叶金晶

日期：2007年11月12日

附件二:

东华大学学位论文版权使用授权书

学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定,同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版,允许论文被查阅或借阅。本人授权东华大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索,可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

保密 , 在 _____ 年解密后适用本版权书。

本学位论文属于

不保密 。

学位论文作者签名:

叶金翊

指导教师签名:

朱英康

日期: 2007 年 1 月 5 日

日期: 2007 年 1 月 5 日

第一章 前言

大豆蛋白纤维是由我国科技人员独立研制并商业化生产的植物再生蛋白质纤维,它的诞生,不仅显示了我国科技人员的聪明才智,也为世界纺织工业做出了贡献。该纤维具有单丝纤度细、强伸度高、耐酸性好、吸湿导湿性好的特点,还具有羊绒般的柔软手感,蚕丝般的柔和光泽,棉的吸湿导湿性,羊毛的保暖性等特点,符合新时代人类追求自然、舒适的着装观念。一经面世,便得到了世人的喜爱。因此加强新产品尤其是机织面料的开发和性能测试,对扩大其使用领域及发挥经济和社会双重效益具有重要意义。

1.1 再生蛋白纤维发展简介

蛋白纤维分为天然蛋白纤维(如羊毛、蚕丝、兔毛等)和再生蛋白纤维两大类,再生蛋白纤维是从天然动物牛乳或植物(如花生、玉米、大豆等)中提炼的蛋白质溶解液经纺丝而成。再生蛋白纤维有植物蛋白纤维和动物蛋白纤维之分,大豆蛋白纤维是一种再生植物蛋白纤维。

1.1.1 再生蛋白纤维发展历史

国外早期对再生蛋白纤维的研究从十九世纪末和二十世纪初就开始了,直到今天已有近一个世纪,开发的纤维概括如下^{[1]-[6]}。

1894年,在明胶中加入甲醛进行纺丝,制得明胶纤维;

1904年, Todtenhaupt 用从牛乳中提炼的酪素进行纺丝得到酪素纤维;

1935年,意大利科学家Feneth进一步对酪素纤维进行了研究,意大利SNIA公司开发了酪素纤维;

1938年,英国ICI公司制造了花生蛋白质纤维,商品名为Ardil。该纤维吸水率14%左右,断裂强度为0.8g/d。

1939年,美国Corn Product Refining公司将从玉米中提炼的蛋白质用醇或碱溶解,纺丝制得玉米蛋白质纤维,商品名为Vicara Ardilen fiber,该纤维比重为1.25,吸水率10%左右,断裂强度为1.2~1.5g/d;

20世纪40年代初,美国、英国研制了酪素纤维,商品名为Aralic(美国)、Fibralane(英国),比重为1.9,吸水率14%。断裂强度为0.8~1.0g/d,延伸度为15%,

耐水性差，无实用性。

1945年左右，美国、日本研制了大豆蛋白质纤维，美国商品名为Soylon，吸水率为11%，强力低，色泽黄，但无工业化生产的纤维产品。

1948年，美国通用汽车公司首先从豆粕中提取了大豆纤维，因达不到纺织要求的指标而中断研究。

1969年，日本东洋纺公司敦贺工厂开始研制和试生产牛奶蛋白纤维，取名为“Chinon”，它是由牛奶蛋白和丙烯腈接枝共聚反应而得到。

上述的几种再生蛋白纤维，由于各种原因，如纤维强度低、沸水收缩率高、纤维制造所用原料蛋白质含量低、纤维制造成本高等，有些纤维早已停产，有些因价格昂贵难以推向市场，都没有充分得到工业化发展。后来由于石油化学工业的发展等原因，研究者将新纤维的研究方向转向于合成纤维和再生纤维素纤维的研制。

1.1.2再生蛋白纤维研究现状

40年代和50年代相继研究成功并取得工业化生产的粘胶、锦纶、涤纶、腈纶、氨纶等化学纤维由于存在着吸湿性和透气性差、穿着不舒适等缺点，使得追求服装风格自然化、舒适化、休闲化、多样化的现代人越来越青睐于天然纤维，但是棉、毛、丝、麻等天然纤维受到种植、养殖面积的限制，不能大量发展。因此，从90年代开始，国内外对再生蛋白纤维的研制工作又重新开始重视起来。

近年来，日本东洋纺织公司开发了以新西兰牛奶为原料的再生蛋白质纤维，商品名为Chinon，它是用牛奶酪素与丙烯腈接枝而成，是世界上目前唯一实现工业化生产的再生蛋白质纤维^[5]。据资料介绍：它具有天然丝一般的光泽，手感柔软，有较好的吸水性，穿着舒适等。但纤维本身呈淡黄色，耐热性差，干热120℃以上易泛黄，强力下降。而且，100千克牛奶只能提取2千克蛋白质，缺乏市场竞争力。由于纤维制造成本高，无法大量推广应用，据悉目前已无法维持正常生产。

1994年以来，美国DuPont公司等对玉米蛋白纤维的制造过程和纤维性能进行了研究。将玉米蛋白质溶解于溶剂中进行干法纺丝；将球状玉米蛋白质溶解于碱液(PH11.3~12.7)，并加入甲醛或多聚羧酸交联剂，可进行湿法纺丝。含有交联剂的玉米蛋白纤维具有耐酸、耐碱、耐溶剂性和防老化性，且不蛀不霉，具有棉的舒适性、羊毛的保暖性和蚕丝的手感等特性。

最近，Simons等人又利用生物技术合成了蜘蛛蛋白纤维。该纤维的韧性约

为9.79cN/dtex，断裂伸长率45%，断裂强力2.88cN/dtex，屈服张力9.4cN/dtex，疲劳伸长率28%。这项研究的目的在于利用有限的生物资源，获得性能优良的蛋白纤维。杜邦公司采用重组DNA的生物技术，已经生产出尖端材料—蜘蛛丝，得到了令人吃惊的强度和弹性的纤维，这种纤维不仅可以用来生产防弹衣，而且还可以用来提高氨纶和锦纶的性能，它重量轻、坚牢且富有弹性。

据国外有关报道，将大豆蛋白纤维用戊二醛作交联剂制成大豆蛋白生物可降解性高聚物，用于塑料、粘合剂、薄膜、包装材料、增强材料等应用领域。目前，国外尚无用于纺织品的大豆蛋白纤维的研制和开发工作的报道。

2000年3月，我国淮阳华康生物化学工程联合集团公司，河南省遂平华康生物工程有限公司的李官奇先生潜心研究了十年，投资七千多万元，经历了艰难的研究历程，终于将大豆蛋白纤维试纺成功，并首次成功地进行了工业化生产。在河南遂平建成了第一条年产1500吨的大豆蛋白纤维工业化试验生产线，并且目前在山东、江苏、浙江三省有年产3万吨的生产线在建，同时，正在研制大豆蛋白纤维长丝，开发多品种、功能性纤维。

1.1.3国内蛋白纤维的研究情况

我国在50年代、70年代曾分别对蛋白质纤维进行过初步的探索，但未成功。在90年代，四川省曾对蚕蛹蛋白质纤维进行了研制，制备纤维的方法有两种：一种是将蚕蛹蛋白质与丙烯腈等单体接枝，再进行纺丝，但未实现工业化生产；另一种是将蚕蛹蛋白质与粘胶纺丝液混合进行复合纺丝，已实现了小批量生产。虽然这种蚕蛹蛋白粘胶丝吸水性好于蚕丝，但蛋白质含量较低，而且干强较低，只有1.77cN/dtex，湿强更低，只有0.85cN/dtex。由于强度太低，在织造和印染加工中存在很多问题，严重影响了该类产品的开发和技术推广。

90年代，上海东华大学、金山石化曾对酪素/丙烯腈接枝共聚物的纺丝进行过研究，但亦停留于理论探讨，未见其产品；上海复旦大学和东华大学曾对再生丝素溶液的纺丝进行过研究，亦未能实现工业化生产。最近我国上海正家服装有限公司，开发出了牛奶纤维，纤维性能优良，但成本极高，难以大量推广^[7]。

90年代初，河南淮阳华康生物化学工程联合集团总公司开始对大豆蛋白质纤维进行深入系统地研究开发，共投资7000多万元，于2000年3月试纺成功，在国际上首次进行了工业化实验，目前第一条工业化生产线年生产能力为1500吨，所生产的纤维单纤维细度分别为0.9~1.1 dtex和1.2~1.7dtex，切断成短纤维长度为

38mm或76mm，该纤维与国内外开发的再生蛋白质纤维相比，具有较高的强力和其它优良性能，而且所用蛋白原料来源于农作物副产品——大豆豆粕。国产大豆蛋白质纤维开发成功填补了国际空白，是国际创新纤维材料^[8]。

国内大豆蛋白质纤维的成功开发，引起了我国纺织界的关注，目前我国一些企业、研究机构、大专院校都在积极开展技术研究和产品开发工作^{[9]~[12]}。苏州大学材料工程学院对大豆蛋白纤维的针织加工性能、染整技术、产品性能、产品花色品种等作了初步研究，摸索了大豆蛋白纤维与其它纤维混纺交织物的结构与性能，尤其对纯纺及混纺交织物的针织染整加工技术与产品质量之间的关系，积累了一些基础研究技术数据与生产实际经验。无锡明丽雅针织时装有限公司、青岛华金集团股份有限公司、内蒙古鄂尔多斯羊绒集团总公司等单位，开发试生产了一批新型大豆蛋白纤维及其与绢丝、羊绒、差别化涤纶纤维、锦纶/氨纶混纺交织针织面料及服装。东华大学对大豆纤维针织物的导湿透气性进行了研究，并根据大豆纤维的特性研制开发出一系列针织产品；山东青岛大学对大豆蛋白针织物加工作了初步研究。

另据了解，经我国和韩国有关预防医学检测部门测试^[13]，大豆蛋白纤维具有良好的抗菌效果和远红外线功能，能发射负氧离子，并具有抗紫外线功能。这些认识对进一步开发大豆蛋白质纤维功能性产品带来了广泛的发展前景。

1.2 大豆蛋白纤维研究现状

1.2.1 大豆蛋白纤维制造简介

大豆蛋白纤维^[14]是一种大豆植物蛋白合成丝，由改性大豆蛋白质和聚乙烯醇组成，两者含量分别为23%~55%和77%~45%。将两种物质制成一定浓度的溶液，混合后进行纺丝，工艺流程见图1-1。

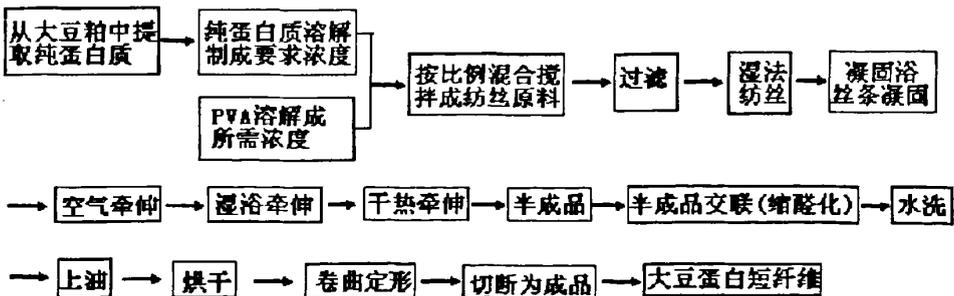


图1-1 大豆蛋白纤维制造流程图

1.2.2大豆蛋白纤维的性能

一、大豆蛋白纤维形态结构^{[15]-[18]}

目前生产的再生大豆蛋白纤维为短纤维，具有柔和而光亮的淡黄色泽。呈现自由卷曲状。纤维纵向表面和横截面结构见图1-2：

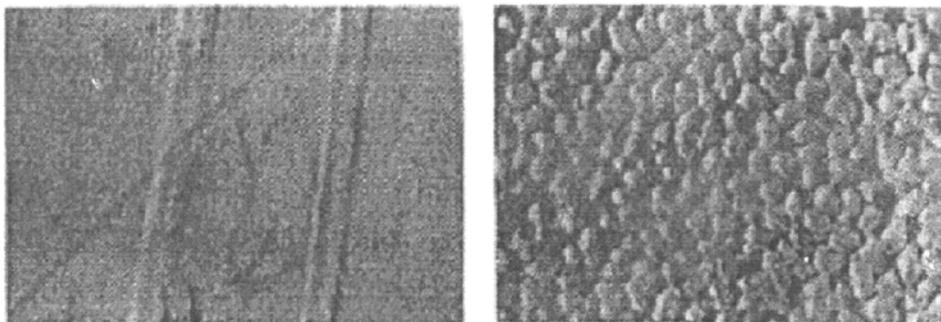


图1-2 大豆蛋白纤维纵、横向截面图

从图中可见，大豆蛋白纤维纵向不光滑，截面呈不规则哑铃形，在横截面上可观察到有微细的孔隙（沟槽）。

大豆蛋白纤维主要由大豆蛋白质和聚乙烯醇组成。其中，大豆蛋白质成分含23%~55%，聚乙烯醇和其他成分为77%~45%。

二、大豆蛋白纤维综合性能评价

大豆蛋白纤维本身主要由大豆蛋白组成，是一种易生物降解的纤维，具有三大舒适功能：

- ①热湿舒适功能：导湿快，透气好，干爽舒适、保暖；
- ②接触舒适功能：手感柔软、滑爽，没有普通化纤织物的玻璃状平滑感；
- ③压感舒适功能：轻柔、蓬松，织物带有益毛羽，柔润肌肤。

(1) 吸湿、导湿性

大豆蛋白纤维在纺丝过程中可以形成大豆蛋白质分布在纤维外层的皮芯结构，并且在纺丝牵伸过程中，由于纤维表面脱水，取向较快而使纤维表面有沟槽，从而使纤维具有良好的导湿性。又因为蛋白质分子中含有大量的氨基、羧基、羟基等亲水基团，从而使该纤维具有良好的吸湿性，其吸湿性与棉相当而导湿透气性远优于棉，保证了大豆蛋白纤维服装穿着的舒适性。

(2) 染色性能

大豆蛋白纤维本身为淡黄色，很像柞蚕丝色，可用酸性染料、活性染料染色，

尤其是采用活性染料染色效果更好,产品颜色鲜艳而有光泽,耐晒牢度又非常好。

(3) 物理机械性能

目前,用1.27dtex的棉型纤维在棉纺设备上已经可以纺出6tex的高质量纱,可用于开发高档面料。目前我国生产的大豆蛋白的纤维品种有:

- 1.1—1.2 (dtex)×38mm 1.1—1.2 (dtex)×76mm
- 1.4—1.45(dtex)×38mm 1.4—1.45(dtex)×76mm
- 1.65—1.7(dtex)×38mm 1.65--1.7(dtex)×76mm

1.27dtex、长度为38mm单丝纤维的物理机械性能见表1-1。

表1-1 大豆蛋白纤维的性能指标

检验项目	实测值	测试方法
单纤维线密度 (dtex)	1.27	GB/T14335-1993
干断裂强度 (cN/dtex)	4.2	GB/T14337-1993
湿断裂强度 (cN/dtex)	3.9	GB/T14337-1993
干断裂伸长率 (%)	18.0	GB/T14337-1993
干断裂强力变异系数 (%)	13.2	GB/T14337-1993
初始模量 (kg.mm ⁻²)	700-1300	
密度 (g.cm ⁻³)	1.28	密度梯度法
沸水收缩率 (%)	2.2	
干热收缩率 (%)	2.3	
标准吸水率 (%)	7.4	GB/T14341-1993
长度 (mm)	38.53	GB/T14336-1993
卷曲率 (%)	1.65	GB/T14338-1993
残留卷曲率 (%)	0.88	GB/T14338-1993
弹性回复率 (%)	55.4	GB/T14338-1993
动摩擦系数	0.235	绞盘法
静摩擦系数	0.287	绞盘法
体积比电阻(cm.Ω ⁻¹)	6.0×10 ⁷	GB/T14342-1993
质量比电阻(Ω.g.cm ⁻²)	2.14×10 ¹⁰	GB/T1432-1993
质量比电阻(lgρ _m)	10.33	GB/T1432-1993

从上表可以看出大豆蛋白纤维的单纤维断裂强度比羊毛、棉、蚕丝的强度高，仅次于涤纶等高强度纤维，而纤度已达到0.9dtex，大豆蛋白纤维和其他天然、再生纤维素纤维性能比较列于表1-2中：

表1-2大豆蛋白纤维和其它纺织纤维性能比较

性能	大豆纤维	棉	粘胶	蚕丝	羊毛
干断裂强度 (cN/dtex)	3.8-4.0	1.9-3.1	1.5-2.0	2.6-3.5	0.9-1.6
湿断裂强度 (cN/dtex)	2.5-3.0	2.2-3.1	0.7-1.1	1.9-2.5	0.7-1.3
干断裂伸长率 (%)	18-21	7-10	18-24	14-25	25-35
初始模量 (kg.mm ⁻²)	700-1300	850-1200	850-1150	650-1250	
钩接强度 (%)	75-85	70	30-65	60-80	
结节强度 (%)	85	92-100	45-60	80-85	
回潮率 (%)	8.6	9.0	13.0	11.0	14-16
比重 (g/cm ³)	1.29	1.5-1.54	1.46-1.52	1.34-1.38	1.33
耐热性	差	好	较好	较好	较好
耐碱性	一般	好	好	较好	差
耐酸性	较好	差	差	好	好
抗紫外线性	较好	一般	差	差	较差

本表数据由河南省纺织纤维质量检测中心^[19]提供(大豆蛋白纤维规格：1.27dtex、长度8mm)

从表1-2中可以看出，与其他天然纤维、再生纤维素纤维相比，大豆蛋白纤维有着较好的物理化学性能。该纤维单丝细度细，强伸度较高，耐酸性较好。不过大豆蛋白纤维耐热性较差，纤维本身呈米黄色，不易漂白。

(4) 保健功能

大豆蛋白纤维与人体皮肤亲和性好且含有多种人体所必须的氨基酸，具有良好的保健作用。在大豆蛋白纤维纺丝工艺中加入定量起杀菌消炎作用的中草药与蛋白质侧链以化学键相结合，药效显著且持久，避免了棉制品用后整理方法开发的功能性产品药效难以持续的缺点。大豆蛋白纤维中含有人体所需氨基酸见表1-3所示：

表1-3大豆蛋白质氨基酸构成 (mg/g⁴)

氨基酸	脱脂大豆蛋白	分离大豆蛋白	氨基酸	脱脂大豆蛋白	分离大豆蛋白
组氨酸	26	28	甲硫+胱氨酸	26	26
异亮氨酸	46	49	苯丙+酪氨酸	88	92

亮氨酸	78	82	苏氨酸	39	38
赖氨酸	64	64	色氨酸	14	14
及氨酸	46	50			

近来的深入研究发现，大豆蛋白纤维除了具有优良的舒适功能外，还具有抑菌抗菌、防紫外线、发射远红外和负氧离子四种保健功能。一方面，它是大豆纤维发明人李官奇先生研究的一种功能类似纳米陶瓷粉体，而非纳米陶瓷粉体的一种功能物质——“蛋白质功能催效素”，在大豆蛋白纤维功能中发挥重要作用。另一方面，大豆低聚糖、异黄酮和皂苷，大豆蛋白质中的酪氨酸、苯丙氨酸在大豆蛋白纤维功能中也发挥着重要作用。同时在纺丝过程中 $ZnSO_4$ 转变为 ZnO ， ZnO 微粒具有一定的防紫外线和远红外功能。

1.3 赛络纺纱技术简介

赛络纺纱技术^{[20]-[23]}是由澳大利亚联邦科学与工业研究院(CSIRO)于 1975~1976 年发明，并与国际羊毛局 (IWS) 共同研究发展出来的新型纺纱方法。1978 年国际羊毛局将这项科研成果推向实用化，并于 1980 年正式向世界各国推荐，主要用于羊毛、涤纶/毛、腈纶的纯纺和混纺，在棉纺细纱机上也得到了使用。

赛络纺的纺纱原理是：两根粗纱以一定的间距平行喂入环锭细纱机的同一牵伸机构，以平行状态同时被牵伸，从前罗拉夹持点出来后形成保持一定间距的两根纤维束，经分别轻度初次加捻后，在结合点处结合，然后再被加强捻，卷取到纱管上，成为赛络纱。

赛络纺制的纱线有较大的伸展性，较少的毛羽，较紧密的结构，较好的光泽，并能纺制高支数的纱线。

1.4 负离子及负离子纺织产品简介

1.4.1 负离子的感性认识^[24]

人们在森林、瀑布、郊外或雨后会感到空气清新、呼吸舒畅、轻松愉快，这就是因为空气中负离子显著增多的缘故。空气中的负离子，主要是空气中的分子通过机械、光、静电、化学或生物能作用使其电离。如瀑布使水分子与空气磨擦而产生大量负离子；田野中阳光、宇宙射线、岩石、土壤中的射线可造成气体电

离；雷雨等电场也可使气体电离产生负离子；植物的光合作用，海洋中藻类同样可提供能量增加空气中负离子含量。

1.4.2 负离子($H_3O_2^-$)的功能^[25]

当今地球上的生态环境日益恶化、人口膨胀、污染严重，城市病、空调病以及由于生活环境不良引起的各种综合病症增多。其原因之一，是空气中的负离子较低所致。空气中的离子由正离子和负离子组成，近代医学界研究证明，正离子多为带正电的矿物离子和大气中的氮、氧等正离子及有机体与水的复合正离子。正离子多的地方人们患病比率较高，发生交通事故也较多。而负离子多为氧和水化羟基离子等，负离子则是对人有益的：空气中的负离子作用于人体的上呼吸道粘膜，可以促进上皮细胞运动，提高腺体分泌功能；可以改善大脑功能，对精神起镇静作用，并可消除疲劳；可以使心率减慢，高血压患者血压趋于正常；还可以改善肺的换气功能，使吸氧功能增加20%，二氧化碳排出量增加14.5%；负离子通过肺泡进入血液后，可以提高血流量和携氧能力，改善人体肺呼吸功能和内分泌功能，增强细胞活力，促进新陈代谢，提高人体免疫能力，对高血压、心血管病、哮喘、神经衰弱、肺气肿等疾病有缓解作用。有关专家通过对负离子与健康关系的研究，认为负离子是空气中的维生素。

负离子对人体的影响表现在：

- ① 影响细胞膜电位，促进细胞新陈代谢增加机体免疫功能；
- ② 增加细胞渗透性，增加吸氧量，改善肺功能；
- ③ 调整血液酸碱度，呈弱碱性，并具有表面活性剂作用，使血管中胆固醇分散减轻絮凝，使血液流畅；
- ④ 负离子空气具有安定神经、改善睡眠、减轻疲劳功效；
- ⑤ 具有消炎止痛，对某些疾病有辅助治疗作用。

1.4.3 负离子纤维及负离子纺织品

用于制造负离子功能纺织品的负离子纺织添加剂中的主要成分负离子素是一种典型的极性结晶^[26]，这种晶体无对称中心，正负电荷无法重合，在晶体结晶两端形成正极与负极，且在外加电场情况下，两端正负极也不消亡，故又称“永久电极”，即负离子素晶体是一种永久带电体。

“永久电极”在其周围形成电场，由于正负电荷无对称中心，即具有偶极矩，

且偶极矩沿同方向排列,使晶体处于高度极化状态。这种极化状态在外部电场为“0”时也存在,故又叫做“自发极化”,致使晶体正负极积累有电荷。电场的强弱或电荷的多少,取决于偶极矩的离子间距与键角大小,每一种晶体有其固有的偶极矩。当外界有微小作用时(温度变化或压力变化),离子间距和键角发生变化,极化强度增大,使表面电荷层的电荷被释放出来,其电极电荷量加大,电场强度增强,呈现明显的带电状态,或在闭合回路中形成微电流。

负离子纺织添加剂发生负离子的机理是当空气中的水分子或皮肤表层的水分进入负离子素电场空间内(一般为半径10-15 μm 球形),立即被永久电极电离,发生 $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{OH}^- + \text{H}^+$,由于 H^+ 移动速度很快(H^+ 的移动速度是 OH^- 的1.8倍),迅速移向永久电极的负极,吸收一个电子变为 H_2 逸散到空气中 $2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightarrow \text{H}_2\uparrow$;而 OH^- 则与另外水分子形成 H_3O_2^- 负离子。 H_3O_2^- 分子模型如图5-1所示:

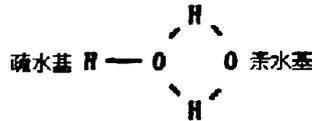


图5-1 H_3O_2^- 分子模型图

这种变化只要空气湿度不为零就会不间断地进行下去,形成负离子永久发射功能,而不会产生有毒物质引发其他副作用。

一般而言,负离子纺织品的加工方法主要可分为两类:一类是应用具有产生负离子性能的纤维来生产纺织品,另一类是通过织物的后整理来使纺织品具有产生负离子的性能。

负离子纤维^{[27]-[29]}产生于20世纪90年代末期,由日本首先发表相关专利。其主要的生产方法大致可分为表面涂覆改性法、共混纺丝法、共聚法等等。

表面涂覆改性法是在纤维的后加工过程中,利用表面处理技术和树脂整理技术将含有电气石等能激发空气负离子的无机物微粒的处理液固着在纤维表面。

共混纺丝法也是生产改性和多功能合纤的一种主要方法,就是在聚合或纺丝前,将能激发空气负离子的矿物质做成负离子母粒加入到聚合物熔体或纺丝液中纺丝制得负离子纤维。与表面涂覆改性法相比,这种纤维产生负离子的耐久性更好。国内研发的负离子纤维均采用这种方法。即用化学和物理方法将负离子发生体(电气石、微量放射性的稀土类矿石、陶瓷粉末等)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

制得负离子母粒，再进行干燥，按一定配比与高聚物切片混合，采用共混纺丝法进行纺丝制备负离子纤维。

共聚法属于化学反应，是把负离子添加剂在聚合过程中加入，制成负离子切片后纺丝。一般共聚法所得切片添加剂分布均匀，纺丝成形性好。

后整理法是指通过浸轧—烘干将含有无机物微粒的处理液固着在织物的表面，从而使织物具有负离子性能的方法。

1.5 本课题的研究目的和研究内容

大豆蛋白纤维是由我国科技工作者自主发明的新型纤维，原料来源于大豆豆粕的植物蛋白，用该纤维制成的面料导湿透汽、保暖、手感滑爽、悬垂性好；同时大豆蛋白中含有大量的氨基酸，大豆低聚糖、大豆皂苷和大豆异黄酮等，具权威机构检测其具有良好的抑菌抗菌功能；另外，大豆功能纤维利用生物技术，加入大豆蛋白质多功能催效素，使其具有发射远红外线、负氧离子和抗紫外线等功能，因此大豆蛋白纤维很适合于贴近人体皮肤类的纺织产品开发，目前在针织内衣上的运用已经获得了很大成功，取得了良好的市场效应。

据相关资料表明，大豆蛋白纤维的应用领域正在不断扩大，目前，大豆蛋白纤维正在机织面料领域特别是新型家纺面料上获得了应用，许多科研院所和知名企业正在积极合作，进行相关产品的开发研究，如国内家纺知名企业罗莱家纺已有相关产品面世，另外水星家纺也正与美国Ingeo纺织品公司合作开发高科技含量的大豆蛋白纤维面料。这对我国新兴的家纺行业提升附加值，开发中高档保健类产品提供了极好的原材料，具有很大的市场前景和良好的社会效应。

浙江嘉力蛋白有限公司是一家集大豆蛋白纤维、纱线和针织服装生产、销售于一体的科技型企业，针对目前大豆蛋白针织产品比较成熟，而机织产品开发研究工作方兴未艾的市场背景下，为了满足消费者需求，积极寻求与高校合作，提供技术和资金上的支持，用于开展大豆蛋白纤维机织产品的开发和性能测试，为生产出消费者满意的产品提供数据参考，提高产品的市场竞争力。因此在本课题中，将结合企业要求完成以下工作：

1. 企业提供了三种线密度（29tex、18tex、14.5tex），8种不同混纺比例的纱线，要求对纱线的条干、毛羽、断裂强度和断裂伸长等机械性能进行研究对比，了解不同混纺比对纱线性能的影响，寻找出较优混纺比的纱线，为进一步开发大

豆蛋白纤维织物提供基础;

2. 企业要求产品能够充分体现大豆蛋白纤维较好的舒适性能和特殊的保健功能,因此根据企业要求和试验需要,并参考市场上流行的产品种类,选用含大豆蛋白纤维比例较高的纱线,设计了十余种大豆蛋白纤维纯纺和混纺样织物用于织物性能的测试研究。
3. 比较各种大豆蛋白纤维样织物的热湿舒适性,探讨不同混纺比以及组织结构对织物性能的影响差异,并对大豆蛋白纤维试样织物的热湿性能做出综合评价。
4. 测试了大豆蛋白纤维机织物的负氧离子功能。讨论大豆蛋白纤维负离子激发的机理,研究了不同混纺比面料负离子性能的差异以及织物组织和表面风格对负离子发射量的影响。
5. 通过研究分析混纺比对大豆蛋白纱线物理机械性能的影响,以及混纺比和组织结构对试样织物的服用性能和卫生性能的影响,为企业提供一个各方面性能较好的混纺比范围,为企业产品开发提供参考。

第二章 大豆蛋白纤维纱线性能分析

2.1 大豆蛋白纤维纱线的制备

大豆蛋白纤维比较柔软，自然卷曲少，纤维光滑，质量比电阻较大，还存在抱合力差、耐磨性差等缺点，纺纱过程中静电现象比较严重，给生产带来一定的困难。采用传统工艺不仅耗时耗力，而且成纱质量不高，对纤维本身有较大损伤。

浙江嘉利蛋白纤维有限公司^[30]根据大豆蛋白纤维的性能特点，对生产工艺进行了改进，采用了赛络纺纱（Sirospun）技术。为减少静电，改善其可纺性，在纺纱前对开包的大豆蛋白纤维散纤进行“加湿”或“加湿+抗静电剂”等适合的预处理。在纺纱过程中，适当降低锡林、盖板和道夫速度，减少纤维损伤和降低短绒率，使纤维顺利转移；适当增加并条加压力，使握持力和牵伸力相适应，稳定纤维运动，提高了纱线条干水平和粗纱内在质量，使细纱牵伸和摩擦力稳定；胶辊的硬度适中，表面进行抗静电处理，利于减少毛羽的产生，提高成纱质量和纺纱效率。

1、纯纺工艺：

抓棉机——混棉机——梳针开棉机——棉箱给棉机——成卷机——梳棉机——并条机（三道）——粗纱机——细纱机——络筒机

2、混纺工艺：

大豆蛋白纤维：开清棉（同纯纺）——梳棉机
 棉纤维：开清棉——梳棉机——并条机——并卷机——精梳机——并条机（三道）——粗纱机——细纱机——络筒机
 其他纤维：开清棉——梳棉机——并条机

3、大豆蛋白纤维的赛络纺纱技术

在细纱工序中采用了赛络纺纱技术，由于赛络纺纱省去了并线、捻线工艺，生产出来的大豆蛋白纤维及其混纺纱线的断裂强力、断裂伸长率高，表面毛羽少，耐磨性、弹性和条干好。通过大豆蛋白纤维纯纺、与棉混纺的纺纱实践，调整工艺参数和采取相应的技术措施，使得生产纱线的强力符合织造要求，提高了生产效率，生产的织物布面光洁，纹路清晰，具有较好的市场前景。

纱线的性能对生产效率以及成品质量影响很大,因此本课题首先研究大豆蛋白纤维混纺纱的机械性能^{[31]-[33]},如:断裂强度、断裂伸长、条干不匀以及毛羽,为了解大豆蛋白纤维纯纺和混纺织物的性能做好前期研究。

2.2 混纺纱的条干

纱线的条干^[34],即纱线的线密度不匀,指沿纱线长度方向的粗细不匀,是评价纱线质量的最重要的指标。纱线条干差,不仅会使纱线强度下降,在织造过程中增加断头、停车,而且影响织物的外观,降低其耐穿耐用性。影响条干均匀度的因素包括:原料的品质,包括纤维长度、细度和它们的不匀,有害疵点等;半制品的结构和品质,包括纤维伸直度,纤维分离和半制品的条干;纺纱过程中工艺设置,机械状态等。尤其对混纺纱,纺纱工艺、机械状态无法对不同品质性能的纤维给予同样有效的控制,不同纤维间的抱合、滑移也不同,这些都会给成纱质量,包括纱线的条干、毛羽和强伸性能造成一定影响。

2.2.1 混纺比对条干的影响分析

2.2.1.1 混纺纱条干不匀率的理论分析

纱条的条干不匀率来源于纱条的极限不匀率和附加不匀率两部分,附加不匀主要是由纺纱成形中的工艺因素和机械因素所造成,纱条中因纤维随机排列而引起的极限不匀率,可以根据Martindale纱条极限(或理论)不匀率理论,混纺纱极限不匀率计算推导如下^[35]:

$$CV_{lim} = \frac{K}{\sqrt{n}} \times 100\% \quad (2-1)$$

n 为纱条截面中纤维的平均根数。 K 值随纤维品种而异,一般来说,棉花 $K=1.06$, 化纤 $K=1.04$ 。混纺纱可以看作由不同纤维成分组成的纱条并和而成,按照并和定理可以计算出混纺纱的极限不匀率 ($CV_{lim混}$), 表达式为:

$$CV_{lim混} = \frac{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_m^2}}{n_1 + n_2 + \dots + n_m} \times 100\% \quad (2-2)$$

其中: $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m$ 为各种成分纱条的均方差, n_1, n_2, \dots, n_m 为各种成分纱条截面内纤维根数的平均值。以大豆蛋白纤维/棉混纺纱为例:

$$CV_{limc} = \frac{1.06\sqrt{n_c}}{n_c}, \quad \sigma_c = 1.06\sqrt{n_c} \quad (2-3)$$

$$CV_{limS} = \frac{1.04\sqrt{n_s}}{n_s}, \quad \sigma_S = 1.04\sqrt{n_s} \quad (2-4)$$

其中： CV_{limC} ——棉纱条的极限不匀率，

CV_{limS} ——大豆蛋白纱条的极限不匀率；

n_C ——纱条截面内棉纤维平均跟数，

n_s ——纱条截面内大豆蛋白纤维平均跟数；

σ_C ——棉纱条不匀的均方差，

σ_s ——大豆蛋白纱条不匀的均方差。

将 (2-3) (2-4) 带入 (2-2) 得：

$$CV_{limS/C} = \frac{\sqrt{(1.04\sqrt{n_s})^2 + (1.06\sqrt{n_C})^2}}{n_s + n_C} = \frac{\sqrt{1.0816n_s + 1.1236n_C}}{n_s + n_C} \quad (2-5)$$

其中 $CV_{limS/C}$ 为 S/C 混纺纱的极限不匀率。由上式可知，当纱线的线密度一定时，纤维越细，成纱截面内平均根数就越多，成纱的极限不匀率也就越低。

2.2.1.2 条干测试试验

按照国家标准 GB/T3292-1997 规定的测试方法。试样放置在二级标准大气下调湿 48 个小时。测试环境条件：温度为 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 $65\% \pm 3\%$ ，采用乌斯特条干均匀度仪测试纱线短片断内的不匀率。

由于时间的限制，不考虑捻度对混纺纱条干的影响，仅选取捻系数为 400 的纱线试样进行测试分析，条干试验的数据见表 2-1。

表 2-1 大豆蛋白纤维/棉混纺纱条干 CV%

大豆纤维/棉混纺比	29tex 纱 条干 CV%	18tex 混纺纱 条干 CV%	14.5tex 混纺纱 条干 CV%
0/100	12.6	13.91	14.8
20/80	12.15	14.05	14.9
35/65	12.01	13.74	14.76
50/50	11.97	13.28	14.71
60/40	11.91	12.71	14.6
70/30	11.63	12.83	14.42
80/20	11.01	12.51	14.23
100/0	10.84	12.2	14.08

2.2.1.3 混纺比对大豆蛋白纤维/棉混纺纱条干的影响

按照 2.1.1.1 中原理, 以 18tex 和 14.5tex 大豆蛋白纤维/棉混纺纱为例, 计算这两种线密度纱线不同混纺比纱线截面内纤维平均根数和极限不匀率 (见表 2-2~2-3), 并作出纱线极限不匀率与大豆蛋白纤维含量的关系图, 如图 2-1 所示。29tex 大豆蛋白纤维/棉混纺纱与其相似, 在此不再分析。

表 2-2 18tex 纱线截面内纤维平均根数和极限不匀率

指标 混纺比	大豆蛋白纤维 根数	棉纤维 根数	纤维 总根数	极限不 匀率 (%)
0/100	0	102.9	102.9	10.45
20/80	23.9	82.3	106.2	10.24
35/65	41.9	66.8	108.7	10.09
50/50	59.9	51.4	111.3	9.95
60/40	77.8	36.0	113.8	9.85
70/30	86.2	28.4	114.6	9.76
80/20	95.8	20.6	116.4	9.67
100/0	119.7	0	119.7	9.51

表 2-3 14.5tex 支纱线截面内纤维平均根数和极限不匀率

指标 混纺比	大豆蛋白纤维 根数	棉纤维 根数	纤维 总根数	极限不 匀率 (%)
0/100	0	92.9	92.9	11
20/80	19.9	76.3	96.2	10.77
35/65	37.9	60.8	98.7	10.59
50/50	56.9	44.4	101.3	10.42
60/40	69.1	34.1	103.2	10.3
70/30	82.4	22.5	104.9	10.2
80/20	89.8	16.6	106.4	10.11
100/0	109.7	0	109.7	9.93

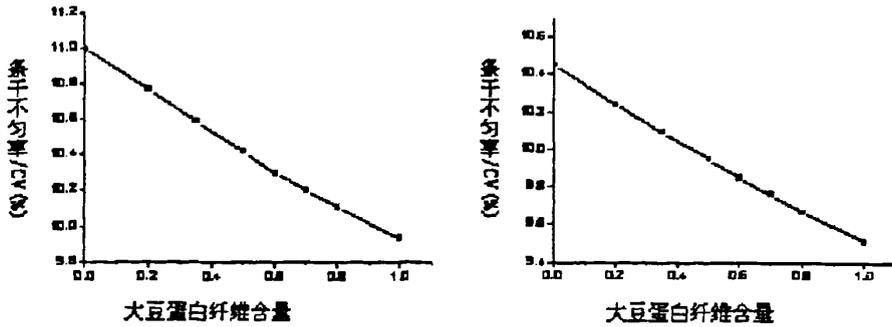


图2-1 大豆蛋白纤维/棉混纺纱极限不匀率和混纺比关系

由图 2-1 可以看出, 18tex 和 14.5tex 大豆蛋白纤维/棉混纺纱的极限不匀率与混纺比都成线性关系, 纱线的截面纤维根数随着大豆蛋白纤维含量的增加而逐渐增加, 纱线的极限不匀率随之逐渐减小。由此推断, 当工艺因素和机械因素相同时, 即纱线的附加不匀相同时, 大豆蛋白纤维/棉混纺纱的实际不匀率与其极限不匀率有相同的变化趋势, 都随着大豆蛋白纤维含量的增加而逐渐变小。

根据表 2-1 中试验结果, 建立大豆蛋白纤维/棉混纺纱条干与混纺比关系一次回归方程, 并作出回归曲线如图 2-2~2-4 所示, 回归方程系数列于表 2-4。

表 2-4 大豆蛋白纤维/棉混纺纱条干与混纺比关系回归方程系数

	29tex 混纺纱	18tex 混纺纱	14.5tex 混纺纱
一次项系数	-1.696	-2.020	-0.821
常数项	12.645	14.201	14.988
相关系数	0.9453	0.9539	0.9205

图 2-2~2-4 中以大豆蛋白纤维的含量作为横坐标, 以混纺纱条干不匀率作为纵坐标, 从图中可以看出拟合曲线以及实测值的分布情况, 三种线密度的大豆蛋白纤维/棉混纺纱的条干均匀度与大豆蛋白纤维含量成线性相关。

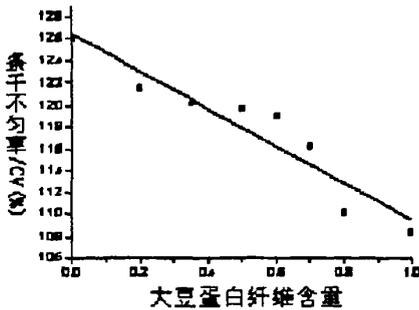


图2-2 29tex 混纺纱

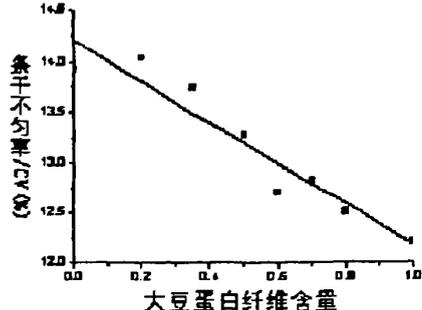


图2-3 18tex混纺纱

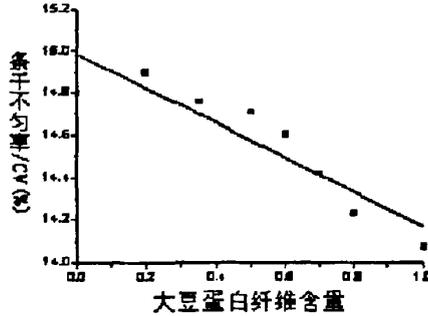


图2-4 14.5tex 混纺纱

2.2.2 线密度对混纺纱条干的影响

将 29tex、18tex 和 14.5tex 大豆蛋白纤维/棉混纺纱条干不匀率实测值进行比较，如图 2-5 所示，我们会发现随着线密度逐渐变小，混纺纱的条干逐渐却变差。这三种纱线工艺条件是相同的，即附加不匀对它们的影响是一致的；条干变差主要是由于线密度逐渐变小，截面内纤维根数 n 逐渐变小，纱线的极限不匀逐渐变大的结果。

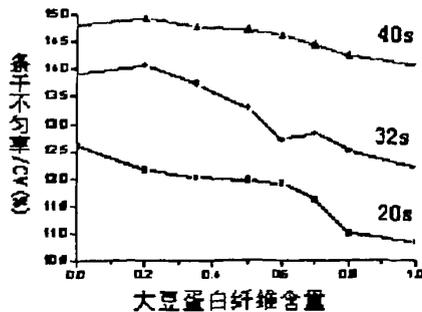


图2-5 细度对混纺纱条干不匀率的影响

2.3 混纺纱的毛羽

在成纱过程中，纱条中纤维由于受力情况和几何条件的不同，部分纤维端伸出纱条表面。纱线毛羽是一些纤维端部从纱线主体伸出或从纱线表面拱起成圈的部分。纱线毛羽是纱线质量中一个重要指标。毛羽过多会造成纱线外观毛绒，降低纱线光泽，增加后道处理工序，增大成本消耗。毛羽分布不均还会使织物中出现横档、条纹等疵病。特别对化纤织物，毛羽长而多时容易出现起球现象。过长的毛羽将使织造中纱线纠缠形成织疵，使织物外观粗糙。因此对毛羽的测试分析就显得尤为重要。

2.3.1 毛羽测试试验

按照国家标准 GB/T3292-1997 规定的测试方法。采用乌斯特条干均匀度仪测试纱线短片断内的不匀率。

试样放置在二级标准大气下调湿 48 个小时。

测试环境条件：温度为 $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 $65\%\pm 3\%$

选取捻系数同为 400 的纱线试样进行测试、分析，避免捻系数对混纺纱毛羽的影响，毛羽试验的数值见表 2-5。

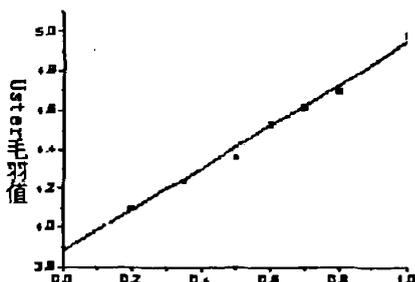
表 2-5 大豆蛋白纤维/棉混纺纱 Uster 毛羽值

大豆纤维/棉 混纺比	29tex 混纺纱	18tex 混纺纱	14.5tex 混纺纱
0/100	3.89	3.64	3.41
20/80	4.1	3.87	3.47
35/65	4.24	3.98	3.42
50/50	4.36	4.08	3.48
60/40	4.53	3.96	3.55
70/30	4.62	4.05	3.67
80/20	4.7	4.03	3.74
100/0	4.98	4.32	3.86

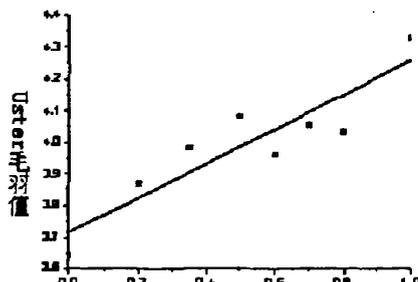
2.3.2 混纺比对毛羽的影响分析

根据表 2-5 中测试毛羽值，以大豆蛋白纤维含量为横坐标，混纺纱毛羽值

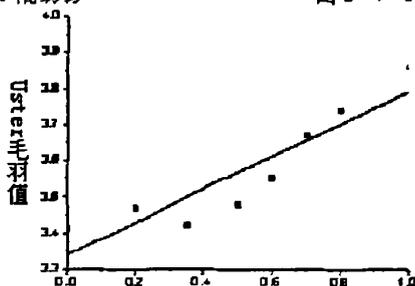
为纵坐标，对测试值进行拟和合分析得到回归曲线如图 2-6~2-8 所示，对应的回归方程系数列于表 2-6。



大豆蛋白纤维含量
图 2-6 29tex 混纺纱



大豆蛋白纤维含量
图 2-7 18tex 混纺纱



大豆蛋白纤维含量
图 2-8 14.5tex 混纺纱

由图 2-6~2-8 拟和合曲线和实测值的分布可以看出，混纺纱的毛羽随着大豆蛋白纤维含量的增大而逐渐增多，两者存在线形正相关关系。因此，大豆蛋白纤维的加入会恶化纱线毛羽，这主要是因为大豆蛋白纤维表面较光滑，纤维卷曲率低，纤维间抱合力较小，且静电现象相对比较严重，在纺纱过程中比较容易产生毛羽。

表 2-6 大豆蛋白纤维/棉混纺纱 Uster 毛羽值与混纺比关系回归方程系数

	29tex 混纺纱	18tex 混纺纱	14.5tex 混纺纱
一次项系数	1.07	0.545	0.454
常数项	3.873	3.707	3.334
相关系数	0.9939	0.8543	0.7745

2.3.3 线密度对毛羽的影响

图2-9是对三种不同线密度混纺纱毛羽实测值的比较，从中可以发现，随着纱线线密度增大混纺纱毛羽逐渐增多。原因也是显而易见的，工艺条件相同的条件下，线密度大的纱线其截面内纤维根数多，相应形成的毛羽概率就会增大，所

以毛羽值增大。

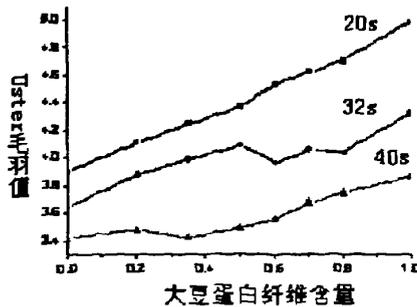


图 2-9 细度对混纺纱毛羽的影响

2.4 混纺纱的拉伸断裂强度

纱线在织造生产以及成品使用过程中，经常会受到各种外力作用，主要的破坏形式是外力拉伸过程中纱线内纤维的拉伸断裂和滑移。拉伸性能是评价纱线性能的重要方面。评定纱线拉伸性能的指标^[36]包括断裂强度、断裂伸长率和弹性模量。它们是由载荷—位移或应力—应变关系曲线所确定。本文选用断裂强度和断裂伸长率来衡量混纺纱的拉伸性能。

断裂强度常用断裂应力、比应力和断裂长度3个指标来表示。

断裂应力是纱线单位截面积抵抗拉伸所能承受的力。这是各种材料通用的表示材料强度的指标，一般用 σ 表示，标准单位是 N/m^2 。由于纺织纱线的截面积是不规则的，而且其中有不少空腔、空洞和缝隙，真正的截面面积很难求测，因此在理论研究时用这个指标进行分析；

比强度是指单位线密度纱线所能承受的最大拉力，单位为 N/tex ；

断裂长度是指纱线本身重力等于其断裂强力时的纱线长度，单位为千米(km)，即

$$L = \frac{P}{g} \times N_m \quad (2-6)$$

其中，P为纱线的强力(N)；g为重力加速度($9.8m/s^2$)； N_m 为纤维的公制支数(m/g)。

本文选用比强度作为比较混纺纱的断裂强度的指标。

2.4.1 混纺纱拉伸断裂强度的理论分析^{[36]-[38]}

混纺纱受到外力拉伸直至断裂，是一个比较复杂的过程，不但与各组分的性能有关，而且与混纺比关系密切。不同性能短纤维混纺，由于混纺各组分断裂伸长性能不同，受到外力作用时，必然是断裂伸长能力小的纤维分担较多的拉伸力，

首先变形至断裂点，然后伸长能力大的才开始主要承担外力作用。当然实际上，同一纤维的断裂伸长是不均一的，而且拉伸过程中还会出现单根纤维的多次断裂和纤维间的滑移等。为了讨论方便，忽略以上因素，首先假设：

- (1)混纺纱中的纤维混和均匀，且断裂伸长各自均一；
- (2)纤维之间无滑移，纱线断裂是由纤维断裂引起；
- (3)纤维断裂后不再承受外力。

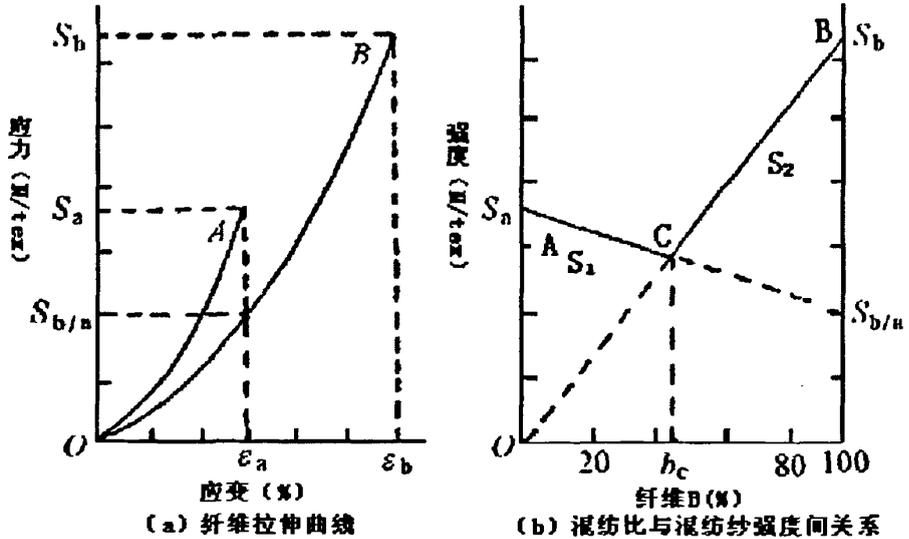


图2-10 混纺纱强度的理论预测

设混纺纱中含有A、B两种组分，如图2-10(a)所示，A、B纤维混纺比例分别为a、b(且 $b=1-a$)，单纤维断裂强度为 S_a 、 S_b ，且 $S_a < S_b$ ，断裂应变为 ϵ_a 、 ϵ_b ，且 $\epsilon_a < \epsilon_b$ ， $S_{b/a}$ 为A组分纤维即将断裂时B纤维所对应的强度。

当混纺纱受力时，伸长小的A组分纤维因受力很快到达其强度极限而先断裂，此时混纺纱的强度为：

$$S_1 = aS_a + bS_{b/a} \tag{2-7}$$

若继续拉伸，则A组分纤维全部断裂，外力负荷全部转移到B组分纤维上，此时混纺纱承受的强度为：

$$S_2 = bS_b, \tag{2-8}$$

显然混纺纱强度S应为A、B组分中纤维强度较大的值，即 $S = \max \{S_1, S_2\}$ 。

取 $S_1 = S_2$ ，即可解得混纺纱的临界混纺比：

$$b_c = \frac{S_a}{S_b + S_a - S_{b/a}} \tag{2-9}$$

从图2-10(a)得到: $S_{b/a} = \frac{\epsilon_a S_b}{\epsilon_b}$, 因为 ϵ_a 、 ϵ_b 、 S_b 已知, 代入式(2-9), 可以

计算出混纺纱的临界混纺比为 b_c 。

同时根据对纤维在混纺纱截面中的径向分布理论的研究^[34], 在纺纱过程中, 长而细的纤维优先向纱内部转移, 粗而短的纤维倾向于纱的外层; 初始模量小的纤维易于分布在外, 而高的分布在内。当纱线受力拉伸时, 外层的纤维由于螺旋线长、伸长多、负载张力大, 且由于其螺旋角大, 其张力在纱线轴向的有效分力就大, 因此受力拉伸时, 最外层的纤维最容易先断裂。

由以上理论, 可知大豆蛋白纤维与棉混纺时, 棉纤维更倾向分布在纱线外层, 因此大豆蛋白纤维/棉纤维混纺纱受力时, 棉纤维因断裂伸长小和应力增加快而先达到断裂极限, 继续拉伸时, 负荷全部转移到伸长较大而尚未断裂的大豆蛋白纤维上, 受力剧增造成了剩余纤维的快速断裂。当强度较高的大豆蛋白纤维比例 b 低于临界混纺比 b_c 时, 混纺纱的强度用公式(2-7)计算, 主要取决于棉纤维断裂时的强度, 因此随着棉纤维混纺比 a 的减少, 单纱强度逐渐下降; 当 $b \geq b_c$, 按公式(2-8)计算, 混纺纱的强度随混纺比的变化曲线如图2-10(b)折线ACB所示, C点为强度最低点, 对应的混纺比即为临界混纺比 b_c 。

2.4.2 混纺纱拉伸断裂性能测试

试样放置在二级标准大气下调湿 48 个小时。

测试环境条件: 温度为 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, 相对湿度为 $65\% \pm 3\%$

按照国家标准GB/T3916-1997规定的测试方法。采用XL-1型纱线强伸度仪, 每种试样测30次, 得到纱线断裂强度和断裂伸长率, 取它们的平均值。断裂强度测试数据见表2-7

表2-7 大豆蛋白纤维/棉混纺纱断裂强度

大豆纤维/棉 混纺比	29tex 混纺纱		18tex 混纺纱		14.5tex 混纺纱	
	断裂强度 (cN/tex)	强度不匀 (%)	断裂强度 (cN/tex)	强度不匀 (%)	断裂强度 (cN/tex)	强度不匀 (%)
0/100	18.22	9.2	18.19	10.63	16.32	11.71
20/80	16.79	7.01	15.4	7.71	14.6	8.44
35/65	15.7	8.14	14.05	8.65	13.16	6.82

50/50	15.27	5.98	13.82	7.99	12.42	7.32
60/40	15.51	8.02	14.52	9.43	13	5.9
70/30	16.5	5.65	15.96	6.9	14.08	5.31
80/20	17.4	6.28	16.88	7.89	14.85	6.01
100/0	19.16	7.92	18.44	7.4	16.52	6.83

根据表2-7中数据，建立大豆蛋白纤维/棉混纺纱断裂强度与混纺比的二次回归方程，回归方程系数列于表2-8中，回归曲线如图2-11~2-13所示。

表2-8大豆蛋白纤维混纺纱断裂强度与混纺比关系回归方程系数

	29tex 混纺纱	18tex 混纺纱	14.5tex 混纺纱
二次项系数	12.980	16.548	14.275
一次项系数	-11.998	-15.401	-14.110
常数项	18.333	17.893	16.572
相关系数	0.9619	0.9108	0.9019

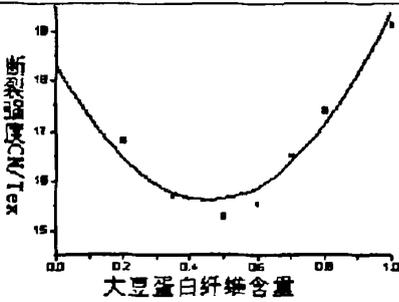


图 2-11 29tex 混纺纱

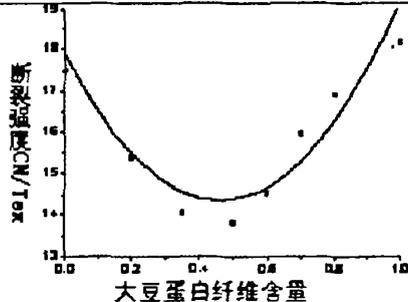


图 2-12 18tex 混纺纱

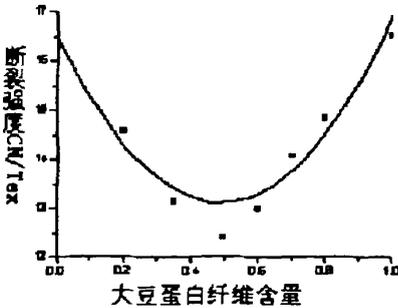


图 2-13 14.5tex 混纺纱

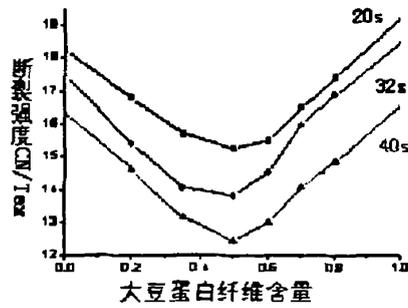


图 2-14 纱支对混纺纱断裂强度的影响

从图2-11~2-13中拟合曲线的变化规律可以看出，三种线密度的混纺纱的断裂强度都随着大豆蛋白纤维含量的增多先降低，在50%达到一个最低值；然后随着大豆蛋白纤维含量的进一步增加，混纺纱断裂强度逐渐增大，与2.4.1中混纺纱断裂强度的理论分析基本相符。因此在生产实践中，选择工艺参数时要注意避

开此区域。

同时由图2-14中线密度对混纺纱断裂强度实测值的影响，可以发现较粗的纱线具有较好的断裂强度，分析原因有两点：一是因为Sirospun纱特殊的结构，纤维在纱中排列均匀，断裂时的同时性较好；二是因为单位截面的纤维根数多，纤维间抱合紧密、纤维间相互滑移减少，纤维强力利用率高有关。

2.5 混纺纱的拉伸断裂伸长率

任何材料受力作用和产生变形，这两者总是同时存在、同时发展的。在拉伸力作用下，材料一般要伸长。纱线拉伸断裂伸长率是指纱线拉伸产生的伸长占原来长度的百分率。它表示纱线承受最大负荷时的伸长变形能力，用 ϵ 表示，单位为百分数。

$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100(\%) \quad (2-10)$$

式中： L_0 --- 试样原长；

L --- 试样拉断时的长度。

2.5.1混纺纱拉伸断裂伸长率理论分析

以上临界混纺比的分析同样适用于混纺纱拉伸断裂伸长的情况。就大豆蛋白纤维/棉纤维混纺纱而言，如果伸长较大的大豆蛋白纤维的混纺比 b 小于其临界混纺比 b_c 时，整个混纺纱的断裂伸长主要由棉纤维组分所决定，此时混纺纱的断裂伸长率 ϵ 为棉纤维的断裂伸长率 ϵ_a ；当大豆蛋白纤维的混纺比 b 大于其临界混纺比 b_c ，此时棉纤维已全部断裂，理论上已不再对纱的拉伸性能有贡献，而混纺纱本身尚未断裂，还可承受张力继续伸长，此时混纺纱的拉伸主要由剩余的大豆蛋白纤维承担，所以混纺纱的断裂伸长率 $\epsilon > \epsilon_a$ ，并且 ϵ 随着大豆蛋白纤维混纺比的逐渐增加而增大，当 $b=100\%$ 时，混纺纱的伸长率 ϵ 完全达到大豆蛋白纤维纯纺纱的伸长率 ϵ_b 。由此，可得出大豆蛋白纤维/棉混纺纱的断裂伸长率的理论关系如下：

$$\epsilon = \epsilon_a \quad (b < b_c) \quad (2-11)$$

$$\epsilon = \epsilon_a + \frac{b - b_c}{1 - b_c} \times (\epsilon_b - \epsilon_a) \quad (b \geq b_c) \quad (2-12)$$

2.5.2混纺纱拉伸断裂伸长率测试分析

由2.4.2纱线拉伸断裂试验可得混纺纱的断裂伸长率，见表2-9。

表2-9大豆蛋白纤维/棉混纺纱断裂伸长率

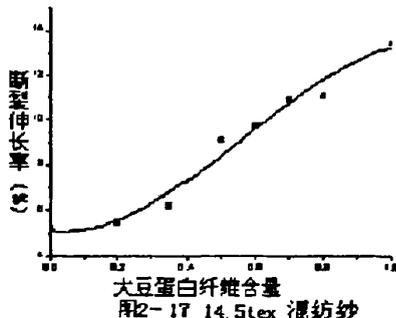
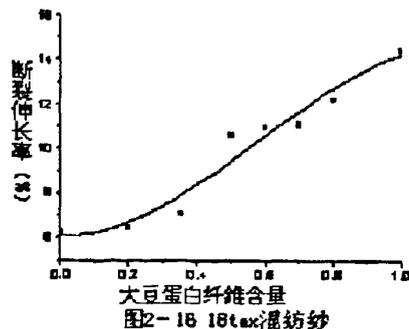
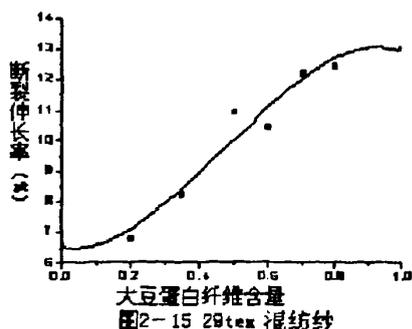
大豆纤维/棉	29tex 混纺纱	18tex 混纺纱	14.5tex 混纺纱
0/100	6.57	6.23	5.19
20/80	6.78	6.48	5.44
35/65	8.2	7.09	6.2
50/50	10.9	10.6	9.1
60/40	10.4	11	9.7
70/30	12.2	11.1	10.9
80/20	12.4	12.2	11.1
100/0	13	14.4	13.4

根据表2-9中测试数据，使用origin数学处理软件对数据进行拟合并得到回归方程。发现采用三次拟合法，实测值与拟合曲线具有较好的相关性，回归曲线如图2-15~2-17所示，回归方程系数列于表2-10。

表2-10 大豆蛋白纤维混纺纱断裂与混纺比关系回归方程系数

	29tex 混纺纱	18tex 混纺纱	14.5tex 混纺纱
一次项系数	-1.468	-0.677	-2.201
二次项系数	26.054	20.741	24.789
三次项系数	-18.14	-11.967	-14.480
常数项	6.46	6.075	5.094
相关系数	0.9669	0.9540	0.9781

图2-15~2-17中显示两者呈非线性关系，当大豆蛋白纤维含量小于30%时，混纺纱的伸长是由伸长率小的棉纤维决定，大豆蛋白纤维的高伸长特性没能充分发挥，曲线的上升趋势不明显；当大豆蛋白纤维的含量超过30%左右，曲线显著上升，这是由于伸长率大的大豆蛋白纤维比例达到一定程度后，混纺纱的伸长率随着其含量增加而逐渐增大，最后直至达到大豆蛋白纤维纯纺纱的断裂伸长率。由此可见，由试验数据所得到的拟合曲线与以上理论分析比较吻合。



2.6 本章小结

1、混纺纱的条干：

29tex、18tex和14.5tex三种线密度大豆蛋白纱线的条干不匀率与大豆蛋白纤维含量呈线性负相关关系，即混纺比中大豆蛋白纤维的比例越大，纱线条干越好；不同线密度的纱线，随着纱支的变细，其所含的纤维根数变少，纤维间抱合力变小，纱线弱节增多，导致条干变差，29tex大豆蛋白纱线条干最好，14.5tex的条干最差。

2、混纺纱的毛羽：

大豆蛋白纱线的毛羽随着混纺比中大豆蛋白纤维含量的增大而逐渐增多，两者存在线性正相关关系。主要是因为大豆蛋白纤维表面较光滑，纤维卷曲率低，纤维间抱合力较小，且静电现象相对比较严重，在纺纱过程中比较容易产生毛羽；

随着纱线线密度增大，混纺纱毛羽逐渐增多。主要是由于线密度大的纱线其截面内纤维根数增多，相应形成的毛羽概率也会增大，三种线密度的大豆蛋白纱线，14.5tex的毛羽值最小，纱线毛羽性能最好。

3、混纺纱的拉伸断裂性能

大豆蛋白纱线的断裂强度随着混纺比中大豆蛋白纤维含量的增多先降低，在50%达到一个最低值；然后随着大豆蛋白纤维含量的进一步增加，混纺纱断裂强

度又逐渐增大，在生产实践中，选择工艺参数时要注意避开此区域。

线密度较大的大豆蛋白纱线由于特殊的纺纱工艺使得单位截面的纤维根数多，纤维间抱合紧密、纤维间相互滑移减少，纤维强力利用率高，拉伸断裂强度较大，因而29tex的大豆蛋白纱就比18tex和14.5tex的断裂强度更大。

4、混纺纱的拉伸断裂伸长率

大豆蛋白纱线的断裂伸长率当混纺比中大豆蛋白纤维含量小于30%时，混纺纱的伸长是由伸长率小的棉纤维决定，变化趋势不明显；当大豆蛋白纤维的含量超过30%时，混纺纱的伸长率随着其含量增加而逐渐增大，最后直至达到大豆蛋白纤维纯纺纱的断裂伸长率。

5、以上分析可以发现，从机械强度上考虑，在产品开发选择纱线时，首先要注意避开断裂强度低谷区域。其次当纱线混纺比中大豆蛋白纤维含量高时，其条干、断裂强力和断裂伸长率相对较好，但毛羽较差，就需要结合产品要求和生产条件综合考虑。

第三章 试样织物设计

前面已经探讨了大豆蛋白纤维纱线的性能,为我们选择原料提供了参考,但企业更关心的是最终产品的性能特别是产品的舒适性能和特殊的负离子保健功能,以及不同混纺比对它们的影响。

本章主要工作就是设计一些不同混纺比、不同纱线线密度、不同织物组织的试样织物,为接下来的织物性能(织物服用性能、织物卫生性能)测试预备试样^{[39]-[42]}。

3.1 纱线的选用及预处理

29tex纱线选用大豆蛋白纤维纯纺纱,大豆蛋白纤维80/棉20和大豆蛋白纤维60/棉40混纺纱;18tex和14.5tex两种线密度纱线均选用大豆蛋白纤维纯纺纱进行织造。

因为机织物织造时,纱线(尤其经纱)要经受反复多次的拉伸、弯曲、冲击和摩擦,为了改善经纱可织造性能、提高试样制作质量,小样织造前,采用单纱实验上浆机对纱线进行上浆处理。

3.2. 试样织机

本试验采用天津市隆达ASL2000-20-20全自动机织打样机制作小样产品,该机器采用电脑控制,方便产品设计开发。气动刚性剑杆引纬、打纬,可以制备多种幅宽、品质优异的布样以满足试验测试要求。

3.3 试样织物设计

由于企业的生产设备已定,工厂可以生产的织物幅宽和匹长也已经确定,企业更关心产品织物结构和技术参数是否可以充分发挥大豆蛋白纤维的优良性能。

3.3.1 试样织物技术参数^{[43]-[44]}

(a) 织物组织

通过对家纺市场调查分析发现,机织类面料通常选用原组织(平纹组织、斜纹组织和缎纹组织三种):平纹组织是最简单的织物组织,它是所有织物组织中交错次数最多的组织,因而平纹组织的断裂强度较大,在面料生产中经常采用。斜纹组织的特征是在织物表面呈现出经纱或纬纱浮点组成的斜纹线,斜纹线的倾

斜方向有左有右。有经面斜纹与纬面斜纹两种。在斜纹组织的织物中，经纬纱线的交错次数比平纹组织少，因而可增加单位宽度内的纱线根数使织物更加紧密、厚实而硬挺，并具有良好的光泽，我们选用了2/1、2/2和3/1三种斜纹组织。缎纹组织中，一组纱线的各个单独浮点间的距离较远，织物的表面由另一组纱线的较长浮点所覆盖，所以一般在织物表面上显示不出浮点短的一组纱线。缎纹组织的正反面有明显区别，正面特别平滑而富有光泽，反面则比较粗糙而且无光。在单位长度内纱线根数一样的条件下，原组织中，缎纹组织是交错点最少的一种，纱线每交错一次要相距 n 根纱线，所以手感最柔软、强度最低。我们选择了8/5缎纹。

另外，为了使织物表面形成明显的凹凸效应，以考察特殊织物组织对摩擦产生负离子量的影响。由于采用蜂巢组织织成的织物会形成边部高中间洼的蜂巢形外观，可以满足试验设计需要。

(b)确定织造的缩率

在织造过程中，经、纬纱相互交织而产生屈曲，因而织物的经向或布幅尺寸小于相应的经纱长度或箱幅尺寸，这种现象称为织缩。用经、纬纱织造缩率，或简称织缩率来表示织缩的大小。织缩率是以织物中纱线的原长与坯布长度（或宽度）的差异对织物中纱线原长之比，称为织缩率，用百分率表示。计算公式3-1如下：

$$a_j(\%) = \frac{l_j - l_{bj}}{l_j} \times 100$$

$$a_w(\%) = \frac{l_w - l_{bw}}{l_w} \times 100$$
(3-1)

式中： a_j 、 a_w ——经、纬织缩率(%)；

l_j 、 l_w ——经、纬原纱长度；

l_{bj} ——坯布长度；

l_{bw} ——坯布宽度。

影响织缩率的因素主要有纤维原料、纱线结构、织物组织、经纬纱特数、经纬密度以及织造中的张力情况等。

由于织物的经、纬织缩率与织物的用纱量、工艺设计中织物的匹长、布幅和箱幅大小等设计项目有关。因此，在设计织物产品时，应重视对织缩率的测试。

(c)密度与紧度

织物的经向或纬向密度,系指沿织物经向或纬向单位长度内经纱或纬纱排列的根数。国家标准与部颁标准中均以公制密度表示,是指在10cm宽度内经纱或纬纱的根数。织物密度的大小以及经纬向密度的配置,直接影响织物的外观,手感,厚度,强力,抗折性,透气性,耐磨性和保暖性等物理机械指标,同时它也关系到产品的成本和生产效率的大小,因此也是织物设计的重要内容之一。

比较由不同纱线构成的织物紧密程度,无法用密度指标来度量,因为密度相同的两种织物,纱线特数粗的织物比较紧密,而纱线特数细的织物比较稀疏,为了比较组织相同而纱线特数不同的织物的紧密程度,必须同时考虑经纬纱特数和密度,求出紧度指标,织物经、纬向的紧度即覆盖系数是指经、纬纱线的直径与两根经、纬纱线间的平均中心距离之比,以百分数来表示,如下所示:

$$E_T = \frac{d_T}{a} \times 100 = \frac{d_T}{\frac{100}{P_T}} \times 100 = d_T \cdot P_T \quad (3-2)$$

$$E_W = \frac{d_W}{a} \times 100 = \frac{d_W}{\frac{100}{P_T}} \times 100 = d_W \cdot P_W \quad (3-3)$$

式中: E_T 、 E_W ——经、纬向的紧度(%);

d_T 、 d_W ——经、纬纱线的直径(mm);

a 、 b ——两根经、纬纱间的平均中心距离(mm);

P_T 、 P_W ——经、纬向纱线密度(根/10cm)。

令混纺纱体积重量 $\delta=0.75$,按式 $d = 0.03568 \sqrt{\frac{N_{\text{tex}}}{\delta}}$ 得纱线直径:

$$d = 0.041 \sqrt{N_{\text{tex}}} \quad (3-4)$$

因此

$$E_T = 0.041 \sqrt{N_{\text{IT}}} \cdot P_T \quad (3-5)$$

$$E_W = 0.041 \sqrt{N_{\text{IW}}} \cdot P_W \quad (3-6)$$

式中: N_{IT} 、 N_{IW} ——经、纬纱线特数

织物的总紧度 E :是指织物中经纬纱线所覆盖的面积与织物总面积之比,用百分数表示。根据这一定义得:

$$E_s = E_T + E_W - \frac{E_T E_W}{100} \quad (3-7)$$

(d) 确定总经根数

总经根数根据经纱密度、幅宽、边纱根数来确定。可按下式计算：

$$\text{总经根数} = \text{经纱密度 (跟/cm)} \times \text{标准幅宽 (cm)} + \text{边纱根数} \quad (3-8)$$

总经根数应取整数，并尽量修正为穿综循环的整数倍。

(e) 确定箱号

箱号有公制箱号和英制箱号两种表示方法。公制箱号是以10cm内的箱齿数表示，其箱号范围为40—240号，英制箱号是以2英寸内的箱齿数表示的。确定方法根据经纱密度、纬纱织缩率、每箱齿穿入数以及生产的实际情况而定。常用的计算方法如下：

$$\text{公制箱号} = \frac{\text{经纱密度} (1 - \text{纬纱织缩率})}{\text{每箱齿穿入数}} \quad (3-9)$$

英制箱号与公制箱号的换算关系如下：

$$\text{公制箱号} = \frac{\text{英制箱号}}{2.54 \times 2} \times 10 = 1.94 \times \text{英制箱号} \quad (3-10)$$

3.3.2 29tex纱线织物的技术参数

(a) 3/1和2/2斜纹

1. 确定经纬纱特数

经纱：29tex纯纺大豆蛋白纤维纱，29tex大豆蛋白纤维80/棉20混纺纱，29tex大豆蛋白纤维60/棉40混纺纱；

纬纱：29tex纯纺大豆蛋白纤维纱，29tex大豆蛋白纤维80/棉20混纺纱，29tex大豆蛋白纤维60/棉40混纺纱。

2. 确定经、纬纱密度，初选织缩率

根据纱线支数和组织结构，参考本色坯布织物规格和技术条件表^[43]，确定经密为326根/cm，纬密为220根/cm；取经纱织缩率为10.3%，纬纱织缩率4.79%。

3. 确定总经根数：设计织物幅宽为40cm，经纱每箱齿穿入4根，则

$$S = 326 \times \frac{40}{10} = 1304 \text{根},$$

4. 确定箱号

$$\text{公制箱号} = \frac{326}{4} \times (1 - 4.79\%) \approx 77.6$$

$$\text{英制箱号} = \frac{77.6}{1.94} = 40$$

5. 计算经、纬向紧度

$$\text{经向紧度} = 326 \times 0.041 \times \sqrt{29} = 72$$

$$\text{纬向紧度} = 220 \times 0.041 \times \sqrt{29} = 48$$

6. 上机图见图3-1~3-2。

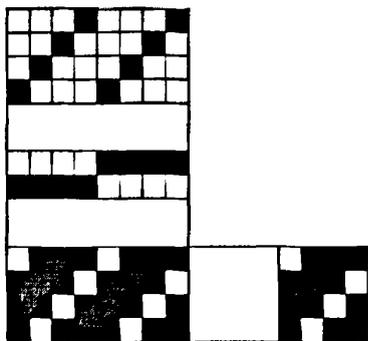


图3-1 $\frac{2}{1}$ 斜纹组织上机图

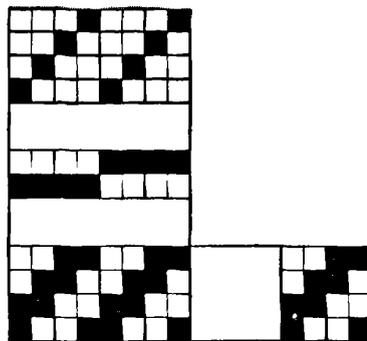


图3-2 $\frac{2}{2}$ 斜纹组织上机图

(b) 2/1斜纹

1. 确定经纬纱特数

经纱：29tex纯纺大豆蛋白纤维纱

纬纱：29tex纯纺大豆蛋白纤维纱

2. 确定经、纬纱密度，初选织缩率

根据纱线支数和组织结构，参考本色坯布织物规格和技术条件表，确定经密为330根/cm，纬密为220根/cm；取经纱织缩率为3.4%，纬纱织缩率4.88%。

3. 确定总经根数：设计织物幅宽为40cm，经纱每箱齿穿入3根，则

$$S = 326 \times \frac{40}{10} = 1304 \text{根}$$

为了使穿箱达到循环，取1305根。

4. 确定箱号

$$\text{公制箱号} = \frac{330}{3} \times (1 - 4.88\%) \approx 104.6$$

$$\text{英制箱号} = \frac{104.6}{1.94} \approx 53$$

5. 计算经、纬向紧度

$$\text{经向紧度} = 330 \times 0.041 \times \sqrt{29} = 73$$

$$\text{纬向紧度} = 220 \times 0.041 \times \sqrt{29} = 48$$

6.上机图见图3-3

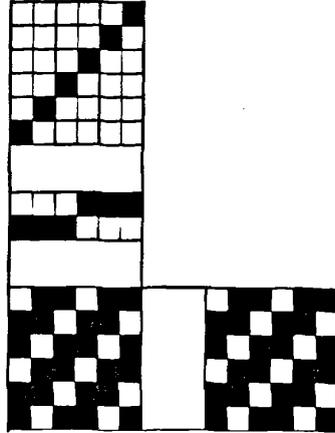


图3-3 2/2斜纹组织上机图

(c)8/5缎纹

1.确定经纬纱特数

经纱：29tex纯纺大豆蛋白纤维纱

纬纱：29tex纯纺大豆蛋白纤维纱

2.确定经、纬纱密度，初选织缩率

根据纱线支数和组织结构，参考本色坯布织物规格和技术条件表，确定经密为345根/cm，纬密为235根/cm；取经纱织缩率为4%，纬纱织缩率5.41%。

3.确定总经根数：设计织物幅宽为40cm，经纱每箱齿穿入4根，则

$$S = 354 \times \frac{40}{10} = 1416 \text{根}$$

4.确定箱号

$$\text{公制箱号} = \frac{345}{4} \times (1 - 5.41\%) \approx 81.5$$

$$\text{英制箱号} = \frac{81.5}{1.94} \approx 42$$

5.计算经、纬向紧度

$$\text{经向紧度} = 345 \times 0.041 \times \sqrt{29} = 76$$

$$\text{纬向紧度} = 235 \times 0.041 \times \sqrt{29} = 52$$

6.上机图见图3-4:

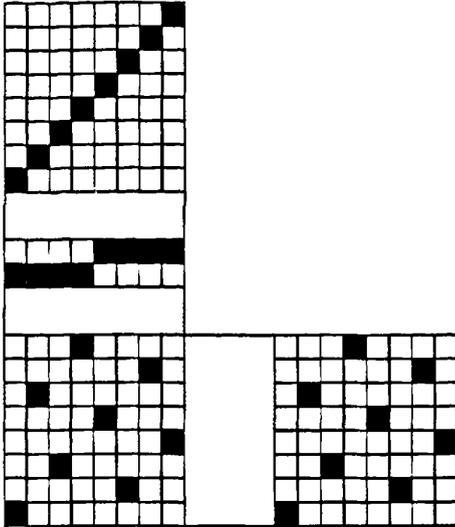


图3-4 $\frac{8}{5}$ 缎纹组织上机图

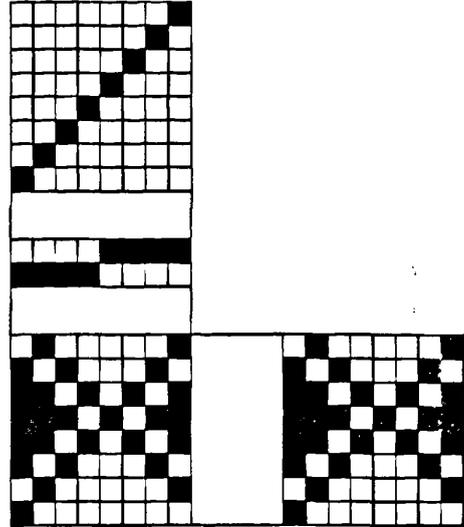


图3-5 蜂巢组织上机图

(d)简单蜂巢组织

1.确定经纬纱特数

经纱: 29tex纯纺大豆蛋白纤维纱

纬纱: 29tex纯纺大豆蛋白纤维纱

2.确定经、纬纱密度, 初选织缩率

根据纱线支数和组织结构, 参考本色坯布织物规格和技术条件表, 确定经密为345根/cm, 纬密为230根/cm; 取经纱织缩率为4%, 纬纱织缩率5.41%。

3.确定总经根数: 设计织物幅宽为40cm, 经纱每箱齿穿入4根, 则

$$S = 345 \times \frac{40}{10} = 1380 \text{根}$$

4.确定箱号

$$\text{公制箱号} = \frac{345}{4} \times (1 - 5.41\%) \approx 81.5$$

$$\text{英制箱号} = \frac{81.5}{1.94} \approx 42$$

5.计算经、纬向紧度

$$\text{经向紧度} = 345 \times 0.041 \times \sqrt{29} = 76$$

$$\text{纬向紧度} = 230 \times 0.041 \times \sqrt{29} = 51$$

6.上机图见图3-5:

3.3.3 18tex纱线织物的技术参数:3/1和2/2斜纹

1.确定经纬纱特数

经纱: 18tex纯纺大豆蛋白纤维纱

纬纱: 18tex纯纺大豆蛋白纤维纱

2.确定经、纬纱密度, 初选织缩率

根据纱线支数和组织结构, 参考本色坯布织物规格和技术条件表, 确定经密为310根/cm, 纬密为220根/cm; 取经纱织缩率为7.4%, 纬纱织缩率5%。

3.确定总经根数:设计织物幅宽为40cm, 经纱每筘齿穿入4根, 则

$$S = 310 \times \frac{40}{10} = 1240 \text{根}$$

4.确定筘号

$$\text{公制筘号} = \frac{310}{4} \times (1-5\%) \approx 73.7$$

$$\text{英制筘号} = \frac{73.7}{1.94} \approx 38$$

5.计算经、纬向紧度

$$\text{经向紧度} = 310 \times 0.041 \times \sqrt{18} = 53.9$$

$$\text{纬向紧度} = 220 \times 0.041 \times \sqrt{18} = 38.3$$

6.上机图如图3-1~3-2。

3.3.4 14.5tex纱线织物的技术参数: 平纹 (府绸)

1.确定经纬纱特数

经纱: 14.5tex纯纺大豆蛋白纤维纱

纬纱: 14.5tex纯纺大豆蛋白纤维纱

2.确定经、纬纱密度, 初选织缩率

根据纱线支数和组织结构, 参考本色坯布织物规格和技术条件表, 确定经密为400根/cm, 纬密为280根/cm; 取经纱织缩率为11%, 纬纱织缩率2.21%。

3.确定总经根数:设计织物幅宽为40cm, 经纱每筘齿穿入4根, 则

$$S = 400 \times \frac{40}{10} = 1600 \text{根}$$

4. 确定笄号

$$\text{公制笄号} = \frac{400}{4} \times (1 - 2.21\%) \approx 97.79$$

$$\text{英制笄号} = \frac{97.79}{1.94} \approx 50$$

5. 计算经、纬向紧度

$$\text{经向紧度} = 400 \times 0.041 \times \sqrt{14.5} = 62.4$$

$$\text{纬向紧度} = 280 \times 0.041 \times \sqrt{14.5} = 43.7$$

6. 上机图如图3-1:

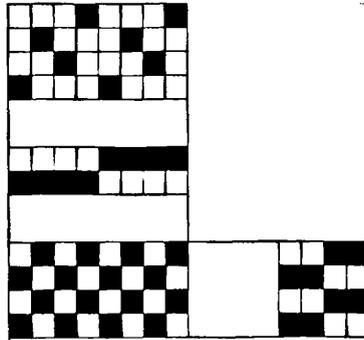


图 3-6 平纹组织织物上机图

3.4 试样织物厚度和平方米克重测试

3.4.1 厚度

织物的厚度与纱线的线密度及织物组织有关, 织物中纱线的弯曲程度对厚度也有影响。弯曲波峰越高, 织物越显得丰满厚实, 机织物的厚度与其服用性能关系很大, 例如, 织物的坚牢度、保暖性、透气性、防风性、刚度和悬垂性等性能, 在很大程度上与织物厚度有关。

测试仪器: YG141N 数字式织物厚度仪

测试条件: 试样应在温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, 相对湿度为 $65\% \pm 5\%$ 下调湿和测试。

3.4.2 织物的平方米重

织物的重量, 一般是指织物单位面积的重量, 大都以 g/m^2 表示。它是织物的一项重要技术指标, 与织物的服用性能有密切关系, 也是对坯布进行经济核算的主要项目。

从织物上剪取2块5cm×5cm的样品，放在烘箱中烘干，用电子天平准确称取其干重，取其平均值，精确到±0.001g，计算出织物的平方米重。

3.5 本章小结

- 1、根据企业对产品规格以及性能的要求，探讨了在全自动剑杆小样机上进行机织物织造所侧重考虑的工艺参数，为合理设计试验用大豆蛋白纯纺和混纺面料提供理论参考；
- 2、根据试样织物热湿性能和负离子性能测试时，对不同混纺比、织物组织以及工艺规格的要求，设计了十二种织物；
- 3、测试了设计织物的厚度和平方米克重两个基本参数，为下章织物热湿性能测试提供必要的参数。

第四章 大豆蛋白纤维混纺机织物热湿舒适性能研究

织物的热湿舒适性是企业所关注的重点之一，也是我们重点测试研究的织物性能指标，因此本章主要分析探讨了混纺比和织物组织结构对织物热湿舒适性能的影响。

4.1 服装（织物）的舒适性

舒适性^[45]是从客观事物的角度来评价织物是否具有满足人的生理、心理要求的特性，它是一项综合的性能。对服装和服装面料而言，广义上，它的舒适性是指其在服用过程中与人发生联系时，能满足人的生理、心理要求，获得肯定判断的特性。一般可以分为生理上的舒适性和心理上的舒适性。所谓心理上的舒适性是侧重使人心理上的某些希望和要求得到了满足的特性。狭义上，服装舒适性主要是指生理上的舒适性，包括热湿舒适性、接触舒适性与适体舒适性等。

影响人体穿着服装时舒适与否的因素大体包括三个方面：第一是人的生理、心理因素；第二是环境条件，包括温度、湿度、气流、气压、光、辐射等自然环境以及以人文为特色的社会环境；第三是衣料和服装的性能，包括热湿传递、力学、电学、光学等方面的性能，其中涉及纺织品的用途、穿用季节、时间、视觉效果和触觉效果等。

服装最重要的舒适性标准就是使人体处于满意的热湿平衡，因此本章主要对大豆蛋白纤维纯纺和混纺面料的导湿性能、透湿性能、透气性能、保暖性能和冷暖感分别进行测试比较，然后通过灰色聚类分析来综合评价大豆蛋白纤维机织物的热湿舒适性能。

4.2 机织物导湿性能测试

4.2.1 机织物导湿理论^{[47]-[49]}

纱线和织物传导液态水的能力叫“导湿性”，可以用“芯吸”描述织物的导湿性能。本质上，芯吸是一种维持毛细管内液体迁移的性能，使水分子沿纤维表面形成的毛细管上升、并从另一端析出水珠的性能。当人体出汗时，通过纱线和织物的芯吸作用，将液态汗水从织物的一面传递到另一面，并散发到空气中，促进热

量的散失。织物的液态水传导能力越好,人体在出汗时,织物就能快速吸收人体表面的液态水并将吸收的水分传导到外界环境,从而保证人体皮肤表面的干燥舒适。

而织物是一个多孔的体系,在织物内部,纱线之间、纤维之间,甚至纤维的内部都分布着无数贯通的、大小不同的毛细管。织物中毛细管内液态水的运输,可以在没有外力场条件下完成。这是因为毛细管中液面的弯曲有一定的附加压力,这些附加压力由固—液界面张力引起,能够引导液态水自动流动。附加压力如公式 4-1 所示。

$$p = \frac{2\sigma \cos \theta}{r} \quad (4-1)$$

式中: P ——附加压力(Pa); σ ——液气界面张力(N/m);
 θ ——固液接触角($^{\circ}$); r ——毛细管当量半径(m)

假定机织物纱线中纤维形成的毛细管是机织物传导液态水的主渠道,则机织物中一次交错长度的纱线毛细管液态水运输总流量 Q (m^3/s) 为:

$$Q = \frac{0.38d^3 r \cos \theta (f-2)}{\eta \left(\tau^2 + \frac{100}{p^2} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (4-2)$$

d —— 单根纤维的直径(m);
 γ —— 液体表面张力(N/m);
 θ —— 接触角($^{\circ}$);
 f —— 纱线中纤维的根数;
 η —— 液体的粘度(Pa · s);
 τ —— 织物的厚度(m);
 p —— 外加压力(N)。

从公式4-2可以看出机织物中一次交错长度的纱线毛细管液态水运输总流量与单根纤维的直径的立方、液体表面张力、接触角的余弦和纱线中纤维的根数成正比,与液体的粘度成反比;与织物的厚度和密度关系比较复杂,但总体上来说,织物的厚度越大,流量越小,织物的密度越大,流量越大。

4.2.2 机织物导湿性能的测试方法

水分通过织物传递的途径主要有三个方面^[50]：一是水汽通过纱线间、纤维间的微孔的扩散；二是纤维自身吸湿，并在水汽压较低的一侧蒸发；三是毛细管吸收水分向水汽压低的一侧传递和扩散。因此常用的测试织物液态水传导的方法有垂直芯吸法，平皿渗透法，滴液法，虹吸法^{[51]-[52]}。以下分别介绍四种测试方法的特点，并结合现有条件选择最适合的试验方法。

一、垂直芯吸法

垂直芯吸法是织物垂直放置，下端浸在液体中，在规定时间内测试液态水上升高度，以此表示芯吸效应的程度。当人体出汗时，汗液以液态水的形态分布在皮肤表面，通过纱线和织物的芯吸作用，将液态汗水从织物的一面传递到另一面，并散发到空气中，以促进热量的散失，对织物的穿着舒适性起着十分重要的作用。

垂直芯吸法的优点是测量方便，缺点是每一次只能测量织物一个方向的毛细效应高度，必须测量两次才能反映织物的液态水传导能力，两次测值的乘积可以作为织物总的毛细效应面积，用于反映织物液态水总的传导能力。但是考虑到这种方法易于操作，应用广泛，故在本章试验中加以采用。

另外实践证明，织物芯吸高度与时间并不是直线关系^[53]。从图 4-1 可以看出，在开始阶段，织物芯吸高度上升很快，随着时间的延续，织物芯吸高度上升速度变慢，也就是说织物芯吸速率随时间的增加而变小。因此可以通过芯吸速率来衡量织物芯吸效应的差异，织物芯吸速率(W)可由公式(4-3)计算。

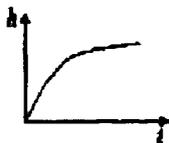


图 4-1 芯吸高度—时间变化图

$$w = \frac{h}{\sqrt{t}} \tag{4-3}$$

式中：w——芯吸速率；h——芯吸高度(cm)；t——时间(min)。

二、滴液法

滴液法是在水平放置的测试织物上滴上水滴，观察水滴完全消失时织物导湿面积或时间。一般为了更好地模拟人体出汗时汗液从织物内层向外层传导，并在外层表面蒸发的特点，在织物内层表面滴 1~2 滴水，测量在织物外表面的导湿面积，以此来衡量织物的导湿性能。

影响导湿时间的因素有很多：在纤维特性方面有细度、截面形状、表面状态、接触角等；在纱线和织物结构方面有纱线毛羽、织物厚度、孔隙率等；在液态介质方面有粘度、界面张力、比重等。织物对液态水的吸收时间包括润湿过程和迁移铺展过程，是上述诸多因素综合作用的结果^{[54]-[55]}。

为了使试验效果显著，在织物的工艺反面滴两滴蒸馏水，一分钟后测量织物工艺正面水滴导湿面积。可以测试一定时间内，织物纵向的导湿高度 a 和横向的导湿宽度 b ，按照椭圆面积公式 4-4 计算导湿面积 S ：

$$S = \frac{\pi}{4} ab \quad (4-4)$$

由于织物厚度 H 不同，导湿面积不能完全反映织物导湿能力的差异。考虑织物厚度因素，根据导湿面积和厚度，计算导湿体积值 V 进行横向比较。

$$V = SH \quad (4-5)$$

考虑到织物密度差异，织物中孔洞大小不一，导湿体积值也不能完全反映织物导湿能力的不同。考虑织物密度及孔洞因素，根据导湿面积和平方米重量，计算导湿重量值 G ：

$$G = Sg \times 10^{-4} \quad (4-6)$$

为了综合评价各种织物的导湿性能，利用多项式的矢量图对芯吸速率 W 、润湿面积 S 、润湿体积 V 和润湿重量 G 进行指标综合，综合值为 Z 。为了体现四项指标对织物的导湿能力影响程度均等^[56]，按公式 4-7 对数据进行处理。四项指标按同一数量级参与运算，多项指标图见图 4-2。这种方法操作简便，模拟综合性好，适合试验测试需要。

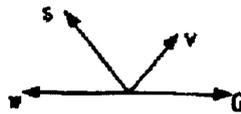


图4-2 多项指标综合图

$$Z = \frac{1}{2} \sin 60^\circ (WS \times 10^{-1} + SV + VG \times 10^2) \quad (4-7)$$

三、平皿法

平皿法是使用一个水平烧结玻璃平皿，烧结玻璃上有孔洞，液态水可以通过，模拟皮肤出汗情况。烧结玻璃上放置测试织物，织物上有一定重压，织物吸收的水分可以通过细管中液柱的变化测出。由于没有现成的试验器具，且平皿法没有

统一的试验标准，故此方法不适合。

四、虹吸法

虹吸法是将测试织物一端浸入水槽中，将液体水从另一端传导出，进入一个放置较低的烧杯中。一定时间内织物所传导液态水量可以通过烧杯重量测量出，作为织物液态水传导性能的指标。虹吸法对试样要求严格，且没有统一的试验标准，因此也不采用这种方法。

4.2.3 机织物导湿性能测试分析

通过以上各种试验方法的对比，选用垂直芯吸法和滴液法来测量织物的导湿性能。本章选用设计织物中的 11 种试样进行比较测试，各种试验织物的规格及参数见表 4-1。

表 4-1 样织物规格及工艺参数

试样	纱线种类	织物密度 (根/10cm)		织物紧度 (%)			平方米重 (g/m ²)	厚度 (mm)	织物组织
		经	纬	经	纬	总			
D ₁	14.5tex S100	400	280	62.4	43.7	78.8	34.95	0.691	1/1
D ₂	18tex S100	310	220	53.9	38.3	71.6	35.95	0.822	3/1↑
D ₃	18tex S100	310	220	53.9	38.3	71.6	36.24	0.858	2/2↑
D ₄	29tex S100	330	220	73	48	86	57.81	0.824	2/1↑
D ₅	29tex S100	326	220	72	48	85.4	64.84	0.876	2/2↑
D ₆	29tex S100	326	220	72	48	85.4	60.1	0.841	3/1↑
D ₇	29tex S100	354	235	76	52	88.5	66.97	1.393	8/5↑
D ₈	29tex S80/C20	326	220	72	48	85.4	57.12	0.95	2/2↑
D ₉	29tex S80/C20	326	220	72	48	85.4	63.09	0.893	3/1↑
D ₁₀	29tex S60/C40	326	220	72	48	85.4	53.16	1.101	2/2↑
D ₁₁	29tex S60/C40	326	220	72	48	85.4	55.68	0.978	3/1↑

4.2.3.1 织物芯吸性能测试

试验条件：参照《纺织品毛细效应试验方法》ZBW04019-90

织物试样：分别沿织物的纵向和横向裁剪长 30cm，宽 2.5cm 的长条，每种布样剪三根。

试样在温度 20±2℃ 相对湿度 65%±2% 的环境下静置 48 小时，进行预调湿。

在相同环境下，使芯吸测试用的蒸馏水水温保持在 (27±2)℃，先在距试样下端边缘 5cm 处统一标记出芯吸试验的起始线，然后加上 3g 的张力夹，张力夹上平面应与标尺的 0 刻度线对齐。可以利用织物和液态水对光线折射率的不同，

使用日光或灯光对织物进行照射以方便读数。试验时间为 30min，时间一到，立刻量取每根试样的渗液高度，取其平均值，经纬向芯吸高度值见表 4-2。

表 4-2 经纬向芯吸高度值 H (cm)

编号	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇	D ₈	D ₉	D ₁₀	D ₁₁
H _j	6.6	14.3	12.2	8.9	9.8	16.1	18.2	14.6	14.5	17.6	16.1
H _w	6.2	12.9	12.2	7.9	9.8	14.9	15.4	12.2	13.7	16	14.9

从表 4-2 中试验数据，并结合表 4-1 中各个织物的规格参数分析发现：

1、混纺比对织物的芯吸性能有影响：

D₅、D₈、D₁₀都是 2/2 斜纹织物，所用纱线的线密度都为 29tex，织物紧度也相同，但纱线的混纺比不同，分别为纯纺纱，大豆 80/棉 20 和大豆 60/棉 40 混纺纱。测试结果显示两种混纺织物D₈和D₁₀的经向芯吸高度分别为 14.6cm和 17.6cm，明显高于纯纺织物D₅的 9.8cm。主要原因在于棉是天然纤维，含有较多的亲水基团，远大于大豆蛋白纤维中 23%~55%左右蛋白质成分所含有的亲水基团，使得混纺织物的芯吸性能更好。织物中含棉比例越高，经向芯吸高度越高。

D₆、D₉、D₁₁都是 3/1 斜纹织物，试验结果与上述类似，同样是在纱线线密度和织物紧度相同的情况下，由于混纺比不同造成了芯吸高度的差异。

2、结构参数对织物的芯吸性能有影响：

在混纺比相同的情况下，织物的芯吸高度也不尽相同。如D₁~D₇均为大豆蛋白纤维纯纺织物，但D₂、D₃、D₇这三块织物的芯吸高度就要明显大于其余四块织物，这主要是织物结构参数的原因。D₂、D₃由于织物紧度适中，形成了良好的毛细通道，所以芯吸高度较高。而D₇由于织物中经纬纱交织点少，浮线较长，纱线比较平直伸展，液态水的芯吸阻力相对较小，所以液态水上升高度较高。

另外试验数据表明，除D₁、D₃和D₅外，其余织物经向的芯吸高度普遍高于纬向，这是由于经密比较大，纤维间的孔隙就少，纤维间的水的传递功减小，芯吸作用加强所致。

4.2.3.2 织物导湿性能测试

试样先在温度 20±2℃，相对湿度 65%±2%条件下，静置 48 小时预调湿。

环境温度：20±2℃；相对湿度:65%±2%；润湿测试蒸馏水水温:37±2℃

在织物的工艺反面滴 2 滴（共 0.1ml）蒸馏水，1min 后测量织物工艺正面纵向与横向水滴扩散尺寸，并根据公式 4-7 计算织物导湿指标综合值 Z，综合比较

织物导湿性能的优劣, 结果见表 4-3。为了直观比较各块织物的导湿综合性能 Z, 作出柱状图如图 4-3。

表 4-3 机织物导湿性能综合

编号	导湿面积 s(cm ²)	导湿体积 V(cm ³)	导湿重量 G(g)	芯吸速度 W	指标综合值 Z
D ₁	12.25	0.847	0.0428	1.204	6.7023
D ₂	12.44	1.023	0.0447	2.611	8.8976
D ₃	11.15	0.956	0.0404	2.227	7.3634
D ₄	7.86	0.647	0.0454	1.625	4.0268
D ₅	6.03	0.528	0.0391	1.79	2.7415
D ₆	7.73	0.650	0.0465	1.94	4.1301
D ₇	5.94	0.821	0.0398	3.323	4.3804
D ₈	7.04	0.668	0.0402	2.647	4.0066
D ₉	8.01	0.715	0.0505	3.166	5.1443
D ₁₀	7.29	0.803	0.0388	2.939	4.8074
D ₁₁	7.48	0.731	0.0416	3.113	4.6946

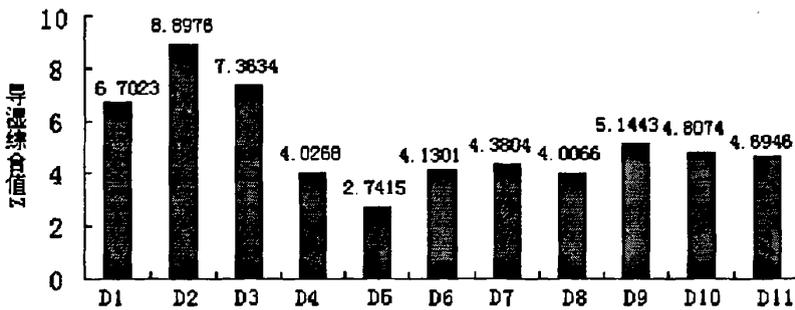


图4-3 机织物导湿综合性

从图 4-3 中可以得出如下结论:

1、在所有织物中, 采用线密度小的纱线织造的D₁、D₂、D₃三块织物的导湿性能综合值更为优良, 这主要是织物结构参数的影响:

(1)14.5tex 和 18tex 纱线织造而成的织物, 其织物厚度明显小于其余由 29tex 纱线织成的织物, 相同体积的液态水的扩散面积更大;

(2) 这三块织物总紧度也比剩下的织物小, 织物间孔隙率更大, 更易于水分在织物中的迅速扩散。

2、前面提到剩余的 8 块织物D₄~D₁₁都是由 29tex纱线织造而成，但它们的导湿综合值仍然存在差异，这与织物不同混纺比密切相关：

(1) 相对而言，混纺织物如D₉、D₁₀、D₁₁的导湿综合性要明显好于大豆蛋白纤维纯纺面料D₄、D₅、D₆；

(2) 织物组织结构相同时，导湿性能会随着混纺比中棉的含量的提高而增大，如D₅、D₈、D₁₀都是 2/2 斜纹织物，D₅为纯纺面料，它的导湿综合值为 2.7415，D₈为大豆 80/棉 20 混纺，导湿综合值为 4.0066，D₁₀为大豆 60/棉 40 混纺，导湿综合值为 4.8074，变化规律明显。

4.3 机织物透气性能测试

织物在与外界进行湿汽交换的同时，也在进行空气的交换，织物的舒适性是与织物的透气性能分不开的。气体通过织物有交织孔隙和纤维间缝隙两条途径，一般以交织孔隙为主要途径，服用织物的透气性直接影响其穿着时的舒适性，可透气的织物一般可以透过水汽以及液相水，它直接影响人体汗气和汗液向外传递，如果织物的透气性过小，会因人体热、湿不易排出而使人感到闷热不适。因而透气性对织物的透湿性能有密切相关；其次，织物隔热保暖性能主要取决于织物内所包含的静止空气，所以织物透气性的大小对其隔热性能也有一定影响。

影响织物透气性的主要因素有纤维几何特性、纱线特数、纱线捻度、织物密度、组织和厚度等，它们共同影响着织物的透气性能。

4.3.1 测试方法

通常是在规定的压差下，测定单位时间内垂直通过试样的空气流量即透气量，来衡量织物的透气性。我们参照 GB5453-85，采用 YG461 型织物透气仪测定大豆混纺机织物的透气量，在每块试样不同部位测试十次，取其均值进行比较，测试结果见表 4-4。

表 4-4 织物透气量

编号	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇	D ₈	D ₉	D ₁₀	D ₁₁
w	516.1	748	710.6	312	165.4	212.2	241.6	117.8	79.8	111.4	105.4

4.3.2 结果分析

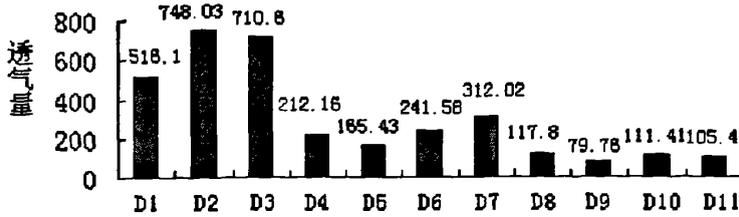


图4-4 机织物透气性

从表中测试数据和图 4-4 织物透气性变化趋势可以看出：

在所有织物中，D₁、D₂、D₃透气性要显著高于其余织物，主要是由于这三块织物选用纱线的线密度小（D₁: 14.5tex, D₂、D₃: 18tex），使得织物厚度较小，再加上织物总紧度比其余织物明显偏小，对气体流动的阻力小，所以透气性好；

剩余的八块织物D₄~D₁₁都是 29tex纱线织成的织物，透气性仍然存在差异，其中D₇的透气性相对较好，这主要是组织结构不同对织物透气性带来的影响，D₇为 8/5 缎纹组织，经纬纱交错点少，浮长长，织物间孔隙较大，有利于气体通透，因而其透气性也相对较好。

4.4 机织物透湿性能测试

人体皮肤出汗经织物传导至外界空间的湿通道主要有三种类型：第一类是汗液在微气候区中蒸发成水汽，气态水经织物中纱线间和纤维间的缝隙孔洞扩散运移到外层空间；第二类是汗液在微气候区蒸发成水汽后，气态水在织物内表面纤维孔洞和纤维表面凝结成液态水，经纤维内孔洞或纤维间空隙毛细运输到织物外表面，再重新蒸发成水汽扩散运移到外空间，第三类是汗液通过直接接触以液态水形式进入织物内表面，通过织物中纱线间、纤维间的缝隙孔洞毛细运输到织物外表面，再蒸发成水汽，扩散运移到外空间。

4.4.1 测试方法

采用透湿杯法(GB/T12704-91)(蒸发法)测量大豆蛋白纤维混纺机织物的透湿性能。预先向透湿杯中注入 10mL 蒸馏水，将试样的测试面向下覆盖在透湿杯上，放入温度 38℃，相对湿度 2%，气流速度 0.5m/s 的试验箱内平衡 0.5h 后称量初始重量，然后经过 1 小时后测量透湿杯的重量变化，计算透湿量 WVT。

$$WVT = \frac{24\Delta m}{S \cdot t} \quad (4-8)$$

其中: WVT——每平方米每天(24h)的透湿量(g/(m²·d))

Δm ——同一试验组合体两次称量之差(g)

s ——试样试验面积(m²)

t ——试验时间(h)

表 4-5 透湿量 WVT

编号	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇	D ₈	D ₉	D ₁₀	D ₁₁
WVT	4040	4126.7	4020	3813.3	3773.3	3680	3753.3	3854.3	3826.7	3993.3	4026.7

4.4.2. 结果分析

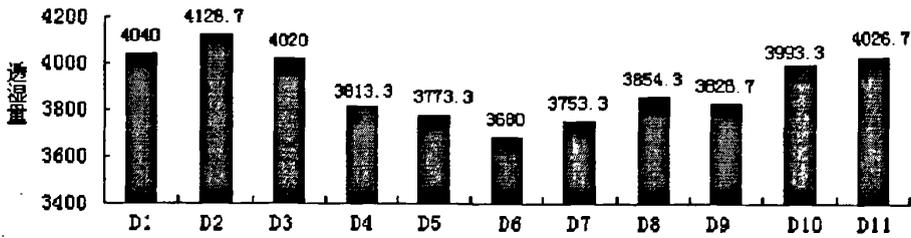


图4-6 机织物透湿性

气态水的传输主要与织物的紧度、厚度、含气量、纤维的形态结构及吸湿性有关。从图中可以看出：

所有织物中，D₁、D₂、D₃的透湿性较好，这与它们织物紧度较小，厚度较小有关，与它们的透气性较好也有一定关联；

而D₄~D₁₁这 8 块织物的纱线的线密度和织物结构参数相近，不同混纺比同样对织物的透湿性影响效果同样明显，大豆蛋白纤维混纺织物D₈、D₉、D₁₀、D₁₁的透湿性就要比纯纺织物D₅、D₆、D₇更好，这也是因为棉纤维吸湿性能比大豆蛋白纤维更好的缘故。

4.5 机织物保暖性能测试

传热(或隔热)性能是服装面料最主要且最基本的要求之一，而热舒适性在服装舒适性中占据着核心位置。热量传递最基本的方式有传导、对流、辐射三种。通常情况下是这三种传热方式的综合，即一部分热通过纤维来传导，另一部分通过服装面料中所含空气的微弱的对流进行传递，还有一部分通过纤维与纤维之间的辐射进行。当人体表面存在汗液的蒸发时，人体的散热(服装面料的传热)还包括由于汗水蒸发、透湿、扩散所造成的热量的传递。

织物的热传递性能是影响服装保暖性能的主要因素，而保暖性是服装热湿舒适性的重要指标之一，也是本课题重点测试的性能。织物的保暖性通常采用平板

式织物保暖仪测试，用织物的保暖率Q、织物的传热系数(U)以及织物的克罗值(CLO)来描述织物的热传递性能^[51]。

保暖率Q是表示无试样时的散热量 Q_0 (W/°C)和有试样时的散热量 Q_1 之差与无试样时的散热量 Q_0 之比的百分率。该值越大，试样的保暖性越好；

$$Q = \frac{Q_0 - Q_1}{Q_0} \times 100\% \quad (4-9)$$

传热系数 U 是织物表面温差为 1°C 时，通过单位面积的热流量。该值越大，保暖性越差；

$$U = \frac{U_0 \cdot U_1}{U_0 - U_1} \quad (4-10)$$

U为试样传热系数 (W/ m² ·°C)；U₀为无试样时试验板的传热系数；U₁为有试样时试样板的传热系数；

克罗值(CLO)主要是从人体生理卫生角度考虑的服装热阻和隔热的定量单位，它表示在室温为 21°C、相对湿度小于 50%、风速不超过 0.1 m/s 的环境中，一个静坐着或从事轻度劳动的人，其代谢作用产生热量约为 210kJ/(m² ·°C)，感觉舒适时穿着服装的隔热值^[36]。织物的克罗值(CLO)越大，表示织物的保暖性能越好，它与传热系数的关系如下：

$$1CLO = \frac{1}{0.155U} \quad (4-11)$$

4.5.1 测试方法

将试样覆盖在 YG606 型平板式织物保暖仪的试样板上，试验板、底板以及周围的保护板都用电热控制在 36°C±0.2°C 范围内，并通过通、断电保持恒温，使试验板的热量只能通过试样的方向散发。试验时通过测定试验板在一定时间内保持恒温所需要的加热时间来自动计算得出织物的保暖指标。数据见表 4-6。

表 4-6 织物保暖性能

编号 指标	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇	D ₈	D ₉	D ₁₀
Q (%)	11.57	15.37	14.87	17.09	13.27	12.72	19.07	18.11	19.59	21.32
U(W/ m ² ·°C)	87.23	62.82	66.15	57.15	76.95	78.41	49.97	52.27	47.42	42.65
I(CLO)	0.074	0.1027	0.0975	0.1129	0.0838	0.0823	0.1291	0.1234	0.136	0.1513

4.5.2 结果分析

表 4-6 显示了十种织物的保暖性能, 织物的结构参数和混纺比仍是两个主要影响因素:

(1) 织物的厚度对织物保暖性有重要影响, D_1 、 D_2 、 D_3 保暖性差, 是由于它们由线密度小的纱线织造而成, 比其余由 29tex 纱线织成的织物厚度小的原因。

(2) 影响织物保暖性的因素还有织物中储存的静态空气量, 这与织物中所含纤维的形态有一定关系。棉纤维由于具有中腔结构, 相较于大豆蛋白纤维的皮芯结构, 可以储存更多的静态空气, 因此增加混纺比中棉纤维的比例, 可以达到改善织物保暖性的目的, 如 D_8 、 D_9 、 D_{10} 三块大豆蛋白纤维与棉混纺面料的保暖性就比大豆蛋白纯纺面料 D_5 和 D_6 相对更好。

4.6 机织物接触冷暖感测试

织物与皮肤接触时, 由于织物与皮肤之间温度不同, 存在一定程度的热交换, 导致皮肤温度上升或下降, 如果温度的下降(或上升)超过一定限度, 就会使人产生不舒适感。一般情况下(除环境温度高于皮肤温度外), 织物温度比皮肤温度低, 因此织物与皮肤接触后往往使皮肤温度下降, 目前国内外许多学者称之为织物(服装)的冷暖感^{[59]-[60]}。

所谓织物接触冷暖感, 就是织物与皮肤接触后织物给人体皮肤的温度刺激在人的大脑中形成的关于冷或暖的判断。由于织物温度一般都低于皮肤温度, 因此, 接触冷感出现的机会比较经常和普遍。

4.6.1 织物冷暖感测试仪

采用 KES—F 型风格仪进行冷暖感测试, 该仪器是由日本川端季雄^[45]在 80 年代研究开发, 模拟人手触摸织物时的冷暖感, 具有测试快速, 结果准确的特点, 用 q_{\max} 来描述织物与肌肤接触冷暖感的。它相当于织物与肌肤刚接触瞬间 (2s 内), 肌肤向织物传递的最大热流量。

4.6.2 试验方法

将所有试样放在温度 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 相对湿度为 $65\% \pm 2\%$ 的条件下静置 48 小时进行预调湿; 在试样的不同部位测试两次, 取其平均值进行分析比较, 见表 4-7

表 4-7 织物冷暖性 q_{max}

单位: W/cm^2

编号	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇	D ₈	D ₉	D ₁₀	D ₁₁
q_{max}	0.1235	0.112	0.1115	0.11	0.113	0.1165	0.1106	0.114	0.1104	0.111	0.1105

4.6.3. 结果与分析

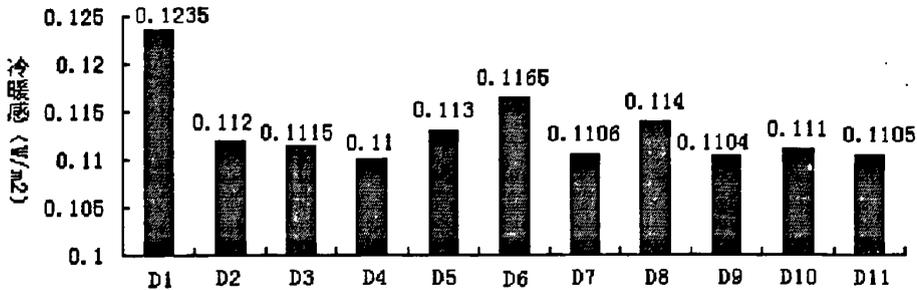


图 4-6 织物冷感

q_{max} 值越大, 织物冷感越强; 反之暖感越强。从表 4-7 可见, D₁ 为 14.5tex 纱线织成的平纹府绸织物, q_{max} 达到了 $0.1235W/cm^2$, 这是由于其织物厚度小, 经纬纱在织物中的交织最为频繁, 且经密大于纬密, 织物挺括、表面细腻光滑, 因此与肌肤接触时会显的冷感更强些, 适合夏季面料使用; 而其余织物由于厚度较厚、表面较粗糙等因素, 使得织物与人体接触时显的偏暖些, 冷感相对较小。

4.7 机织物热湿性能的聚类分析

前文分别探讨了各种面料的热性能和湿性能, 但其各方面性能表现优劣不尽相同, 织物热湿舒适性能的评价, 不仅涉及到组成织物本身的物理机械性能, 如纤维性能、织物组织结构与性能以及后加工等, 还与人们的生理、心理因素有关, 因而很难根据织物的某一项指标做出整体评价。因此接下来通过灰色聚类分析法对前述 10 种织物的热湿舒适性能做一个综合评价。

4.7.1 灰色聚类的方法概述

灰色聚类分析^{[62]-[63]}属于灰色系统理论中的灰色估计范畴。灰色系统理论是 1982 年由我国学者邓聚龙教授创立的一种新的分析系统的理论, 它以“部分信息已知, 部分信息未知”的“小样本”、“贫信息”不确定系统为研究对象, 主要通过“部分”已知信息的生成、开发, 提取有价值的信息, 实现对系统运行行为和演化规律的正确认识和有效控制, 有很多系统可以看成是贫信息不确定系统, 因此, 这一新的理论具有十分广阔的发展前景。

灰色聚类分析法有两种：灰色关联度聚类分析法和灰色白化权聚类分析法。

灰色关联度聚类分析法，计算简单，原理简单，与灰色白化权聚类分析法相比，不用对分析样本信息了解太多。缺点在于，它的聚类结果是由阈值控制，不宜直接得到目标聚类数目。本文的聚类方法中，并没有选择该方法。

灰色白化权聚类分析是以知道所要划分的类别数（灰类数）为前提的，聚类分析效果的好坏取决于白化权函数建立的准确程度，而白化权函数建立的准确程度取决于对样本信息的掌握程度。本文对样本掌握了一定的信息，故采用此方法。

4.7.2 灰色聚类过程

聚类对象数量为 i ，聚类指标数量为 j ，灰类数为 s ，具体聚类过程如下：

(1)将表中数据按公式4-12进行均值无量纲处理，得到聚类白化数矩阵 $[X_j^i]_{n \times m}$ ，其中 n 为聚类对象数， m 为聚类指标数； d_{ij} 表示各聚类对象的对应指标测量值。

$$x_j^i = \frac{d_{ij}}{\sum_{i=1}^n d_{ij} / n} \tag{4-12}$$

$$i=1,2,\dots,n$$

$$j=1,2,\dots,m$$

(2)将 n 个对象关于聚类指标 j 的取值相应的分为 s 个灰类 ($s = k_1, k_2, k_3$)，称为 j 指标子类；

(3)根据灰类的定义规定 j 指标 k 子类的白化权函数 $f_j^k(\cdot)$ ，根据白化权函数，定义 λ_j^k 为 j 指标 k 子类边界值，并按式计算 j 指标 k 子类的权 η_j^k ：

$$\eta_j^k = \frac{\lambda_j^k}{\sum_{j=1}^m \lambda_j^k} \tag{4-13}$$

$$k = k_1, k_2, k_3$$

(4)对于白化数矩阵 $[X_j^i]_{n \times m}$ ，根据白化权函数和权值，按公式 4-14 计算 i 对象属于 k 灰类的灰色聚类系数 σ_i^k ：

$$\sigma_i^k = \sum_{j=1}^m f_j^k(x_{ij}) \eta_j^k \tag{4-14}$$

计算聚类系数矩阵 $(\sigma_i^k)_{ns}$ ，根据聚类系数矩阵评价对象 i 所属的灰类。具体

方法是，得出矩阵后，每一聚类对象（试样）对应于s个灰类的系统中，最大的系数所对应的灰类即为该对象所属的灰类。

4.7.3 灰色聚类计算

本文中的聚类对象数量n=10（试样数）；表4-8中各项指标记为聚类指标；将综合性能分为好、中、差3种，记为k₁、k₂、k₃三个灰类，即灰类数s=3。

表4-8 织物的热湿舒适性指标测试结果。

试样	导热系数 (W/m·C)	保暖率 (%)	克罗值 (CLO)	冷暖感 (W/cm ²)	透气率 (mm/s)	透湿量 (g/m ² ·d)	导湿面积 (cm ²)	毛细高度 (cm/30min)
D ₁	87.23	11.57	0.074	0.1235	214.03	4040	12.25	6.6
D ₂	62.82	15.37	0.1027	0.112	720	4126.7	12.44	14.3
D ₃	66.15	14.87	0.0975	0.1115	710.6	4020	11.15	12.2
D ₄	57.15	17.09	0.1129	0.11	313.4	3913.3	7.86	8.9
D ₅	76.95	13.27	0.0838	0.113	165.4	3973.33	6.03	9.8
D ₆	78.41	12.72	0.0823	0.1165	212.2	3480	7.73	16.1
D ₇	49.97	19.07	0.1291	0.1106	241.6	3953.3	5.94	18.2
D ₈	52.27	18.11	0.1234	0.114	598.7	3453.3	7.04	14.6
D ₉	47.42	19.59	0.136	0.1104	117.8	3726.7	8.01	14.5
D ₁₀	42.65	21.32	0.1513	0.111	79.8	3993.3	7.29	17.6

4.7.3.1 低温环境下的织物舒适性能计算

考虑到本课题设计的试样主要应用在家纺面料中，因此我们更关心设计试样在低温条件下的热湿综合性能。

而在低温条件下，织物的透湿量、保暖率、热阻、芯吸高度和扩散因子越大越好，而冷暖性和透气量越小越好^[45]。考虑到聚类计算中，所有数据均须以正比关系计入，因此，热阻以克罗值、冷暖值以 1/(冷暖值)、透气量以 1/(透气量)作为参量计入，具体计算如下：

(1) 将以上七项测试数据进行均值化处理。

(2) 定义j (j=1,2,3,4,5,6,7) 指标对s个灰类 (s=k₁,k₂,k₃) 的区间，定义方法如下：

a 综合性能好的灰类区间为： $Q'_k = (\bar{x}_j + \frac{1}{6}d_j, \max(x_j))$;

b 综合性能中等的灰类区间为： $Q_{k2}^j = [\bar{x}_y - \frac{1}{6}d_j, \bar{x}_y + \frac{1}{6}d_j]$;

c 综合性能差的灰类区间为： $Q_{k3}^j = [\min(x_y), \bar{x}_y - \frac{1}{6}d_j]$;

其中， $j=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ ； d_j 为 x_y 的极差 ($i=1,2,\dots,10$)； $\max(x_y)$ 为 x_y 最大值 ($i=1,2,\dots,10$)； $\min(x_y)$ 为 x_y 最小值 ($i=1,2,\dots,10$)。

(3) 定义 j 指标 k 子类的白化权函数，具体定义如下：分别取 X_j 、 Y_j 、 Z_j 为综合性能好、中、差的灰类区间的中点，有：

$$X_j = \frac{(\bar{x}_y + \frac{1}{6}d_j + \max(x_y))}{2}$$

$$Y_j = \frac{(\bar{x}_y - \frac{1}{6}d_j + \bar{x}_y + \frac{1}{6}d_j)}{2}$$

$$Z_j = \frac{(\min(x_y) + \bar{x}_y - \frac{1}{6}d_j)}{2}$$

式中 $j=1,2,3,4,5,6,7$

定义 j 指标 k 子类的白权化函数如下：

$$f_j^1 = \begin{cases} 0 & x < Y_j \\ \frac{x - Y_j}{X_j - Y_j} & Y_j \leq x < X_j \\ 1 & x \geq X_j \end{cases}$$

$$f_j^2 = \begin{cases} 0 & x < Z_j \\ \frac{x - Z_j}{Y_j - Z_j} & Z_j \leq x < Y_j \\ \frac{X_j - x}{X_j - Y_j} & Y_j \leq x < X_j \\ 0 & x > X_j \end{cases}$$

$$f_j^3 = \begin{cases} 1 & x < Z_j \\ \frac{Y_j - x}{Y_j - Z_j} & Z_j \leq x \leq Y_j \\ 0 & x > Y_j \end{cases}$$

式中 $j=1,2,3,4,5,6,7$

计算得 $X_j=1.2511, 1.2039, 1.0236, 1.7591, 1.048, 1.2886, 1.258,$

$Y_j=1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1,$

$Z_j=0.7796, 0.8051, 0.9486, 0.4533, 0.9319, 0.7832, 0.6757.$

(4) 根据白权化函数, 确定 j 指标 k 子类边界临界值 $(\lambda_j^k)_{7 \times 3}$,

$$\lambda_j^k = \begin{pmatrix} 1.2511 & 1 & 0.7796 \\ 1.2039 & 1 & 0.8051 \\ 1.0236 & 1 & 0.9486 \\ 1.7591 & 1 & 0.4533 \\ 1.0480 & 1 & 0.9319 \\ 1.2886 & 1 & 0.7832 \\ 1.2580 & 1 & 0.6757 \end{pmatrix}$$

并根据式 (4-13) 计算 j 指标 k 子类的权 η_j^k :

$$\eta_j^k = \begin{pmatrix} 0.1416 & 0.1429 & 0.1450 \\ 0.1363 & 0.1429 & 0.1497 \\ 0.1159 & 0.1429 & 0.1764 \\ 0.1992 & 0.1429 & 0.0843 \\ 0.1187 & 0.1429 & 0.1733 \\ 0.1459 & 0.1429 & 0.1457 \\ 0.1424 & 0.1429 & 0.1257 \end{pmatrix}$$

并按式 (4-14) 计算聚类系数矩阵, 计算结果如下:

$$\sigma_i^k = \begin{pmatrix} 0.2560 & 0.1467 & 0.6007 \\ 0.3280 & 0.1467 & 0.1716 \\ 0.2737 & 0.5709 & 0.2603 \\ 0.1347 & 0.3837 & 0.2342 \\ 0.1366 & 0.5575 & 0.5420 \\ 0.1172 & 0.3244 & 0.7144 \\ 0.4420 & 0.2397 & 0.1690 \\ 0.1894 & 0.3032 & 0.4337 \\ 0.5516 & 0.3579 & 0.1371 \\ 0.7397 & 0.3659 & 0.1007 \end{pmatrix}$$

从计算结果可以看出, 在低温条件下, 性能好的试样有 D_2 、 D_7 、 D_9 、 D_{10} ,

D₂为 18tex纯纺 3/1 斜纹织物, D₇为 29tex纯纺 8/5 缎纹织物, D₉为 29tex大豆蛋白纤维 80/棉 20 混纺 3/1 斜纹织物, D₁₀为 29tex大豆蛋白纤维 60/棉 40 混纺 2/2 斜纹织物, 这四种织物可以为企业面料开发提供有益的借鉴作用; 性能中的试样有D₃、D₄、D₅, 企业可以考虑进一步改进工艺, 改善他们的综合性; 性能差的试样有D₁、D₆、D₈, 这三种织物企业在面料开发时尽量避免选用。

4.7.3.2 高温环境下的织物舒适性能计算

考虑到问题讨论的全面性, 我们也对设计织物在高温条件下的热湿综合性进行了分析。既可以从对立面考察织物的表现, 也可以为大豆蛋白产品在其他环境中运用提供借鉴意义。

在高温条件下, 织物的透湿量、透气量、热阻、导热系数、冷暖性、芯吸高度和导湿面积就要求越大越好, 而保暖率则是越小越好^[45]。同样考虑到聚类计算中, 数据须以正比关系计入, 因此保暖率以 100/保暖率、热阻以导热系数作为参量计入, 具体过程和上面相同, 计算结果如下。

$$\sigma_i^k = \begin{pmatrix} 0.6638 & 0.0462 & 0.1819 \\ 0.5228 & 0.0462 & 0.0814 \\ 0.5079 & 0.4412 & 0.1458 \\ 0.0288 & 0.3980 & 0.4876 \\ 0.0310 & 0.4930 & 0.3412 \\ 0.4600 & 0.2666 & 0.2955 \\ 0.1962 & 0.2167 & 0.6356 \\ 0.2634 & 0.7281 & 0.5439 \\ 0.0505 & 0.2801 & 0.6954 \\ 0.2215 & 0.2578 & 0.6268 \end{pmatrix}$$

从运算结果可以看出, 在高温条件下, 性能好的试样有D₁、D₂、D₃、D₆; 性能中的试样有D₅、D₈; 性能差的试样有D₄、D₇、D₉、D₁₀。

结合设计织物在低温条件下的热湿综合表现可以发现, 在低温下综合性能好的D₂、D₇、D₉、D₁₀四块试样, 除了D₂由于织物轻薄, 在高温条件仍然表现良好外, 其余三块织物在高温条件下的表现都属于综合性差的类别。既说明了在设计织物时要充分考虑其使用环境因素, 又通过对立条件下的相互印证, 说明了采用灰色聚类方法比较织物热湿综合性能的有效性。

4.8 本章小结

本章分别测试分析了 11 种大豆蛋白纯纺和混纺织物的湿性能和热性能的多项指标,发现不同的混纺比和织物结构参数是影响各项性能表现的重要因素,并利用灰色聚类分析法重点分析了织物在低温环境下的热湿综合性能,找出了综合性能优异的四块试样织物,为企业产品开发提供了有益的借鉴。结论如下:

1、不同混纺比对试样织物湿性能和热性能的影响:

(1)相比而言,织物结构参数相近时,大豆蛋白混纺织物比纯纺织物具有更好的热性能和湿性能:

(2)当纱线线密度和织物组织相同时,由于棉纤维具有良好的吸湿性和特有的中腔结构,使得试样织物的芯吸高度、导湿综合性、透湿性以及保暖性会随着混纺比中棉纤维含量的增加而变大。

2、组织结构对试样织物湿性能和热性能的影响

(1)在混纺比相同的情况下,当试样紧度适中时,会形成良好的毛细通道提高它的芯吸高度,如试样D₂、D₃;另外如果经纬纱交织点少,浮线较长,对液态水的芯吸阻力小,也会提高芯吸高度,如试样D₇。

(2)当织物是由 14.5tex 和 18tex 的纱线织成的,如试样D₁、D₂、D₃,由于织物厚度和紧度都比 29tex 织成的织物小,因此它们的导湿综合性能、透气性和透湿性要好,当然保暖性就会比厚的织物差:

3、通过灰色聚类分析法发现,在低温条件下,18tex 纯纺 3/1 斜纹织物,29tex 纯纺 8/5 缎纹织物,29tex 大豆蛋白纤维 80/棉 20 混纺 3/1 斜纹织物和 29tex 大豆蛋白纤维 60/棉 40 混纺 2/2 斜纹织物四块试样的热湿综合性能表现优异,对企业开发家纺类面料具有一定的参考价值。

第五章 大豆蛋白纤维负离子性能研究

近来的深入研究发现,大豆蛋白纤维不仅具有优良的热湿舒适性,还具有抑菌抗菌、防紫外线、远红外和负离子发射四种保健功能。

本章重点讨论大豆蛋白纤维所具有的负离子保健功能,研究其发生的机理,以及混纺比和织物结构对负离子发射量的影响,为企业开发可以充分发挥其保健功能的产品提供参考。

5.1 负离子纺织品对人体健康的作用

负离子对人体的健康作用早已被医学界证实,也越来越被广大消费者所认知。负离子含量与人体的关系见表5-1。

表5-1 负离子含量与人体关系

地区	负离子含量/(个数·cm ⁻³)	对人体健康关系程度
森林瀑布地区	10~50万	具有自然痊愈力
高山海边	5~10万	杀菌作用,减少疾病传染
郊外田野	3千~5万	增强人体免疫力及抗菌力
都市公园	1~2千	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,加剧病情
室内冷暖空调房间 (长时间后)	1~25	引发“空调病”症状

而负离子纺织品直接穿在身上,大面积与人的皮肤接触,可以利用人体的热能和人体运动与皮肤的摩擦加速负离子的发射,在皮肤与衣服间形成一个负离子空气层,使人体内氧自由基无毒化,消除了氧自由基对人体健康的多种危害,使人体体液呈pH值为7.4左右的弱碱性,从而使细胞活化,促进新陈代谢,起到了净化血液、清除体内废物、抑制心血管疾病的作用,而且负离子材料的永久电极还能够直接对皮肤产生微弱电刺激作用,调节神经系统,消炎镇痛,提高免疫力,对多种慢性疾病都有较好的辅助治疗效果。由于82%的负离子都是通过皮肤吸收的,因此通过负离子纺织品与人体经常性的直接接触来发挥负离子的保健功效是负离子作用于人体的最佳途径。

大豆蛋白纤维之所以具有负离子发射功能,它是由大豆蛋白纤维发明人李官奇研究的一种功能类似纳米陶瓷粉体,而非纳米陶瓷粉体的功能物质—“蛋白质功能催效素”,在大豆蛋白纤维功能中发挥类似负离子发生器的重要作用。

5.2 负离子测试仪器及测试方法

5.2.1 负离子测试仪

目前纺织品负离子性能的测试多是利用美国产的离子测定仪(Air Ion Counter),采用手搓的方法进行测试。操作过程中由于测试环境(温度、湿度、空气流速、原有负离子状况)、面料摩擦条件(时间、压力、面积)以及人为因素的影响。测试结果误差大,重现性差,不同结果之间可比性差。针对空气负离子的特性,需要灵敏度高的测试仪器和较为严格的测试条件。故选用东华大学自主研发发明的新型纺织品负离子性能测试系统^[64]进行测试,以保证试验结果的有效性。测试流程如图5-1所示。



图5-1 测试系统流程示意图

试样在此装置中经由一定机械摩擦作用产生负离子,一定时间后,应用空气负离子浓度测试仪测定实验装置内的负离子浓度。该装置模拟一种近似手搓的效果,采用四连杆传动机构保证摩擦效果的稳定性和可量化性;为了使最终结果具有可比性和相对独立性,用有机玻璃制成一定体积的测试容器保证大气温湿度和空气流速的相对稳定;多处采用绝缘处理减少试验过程中摩擦起电对负离子测试过程的负面影响。测试系统简图如图5-2所示。

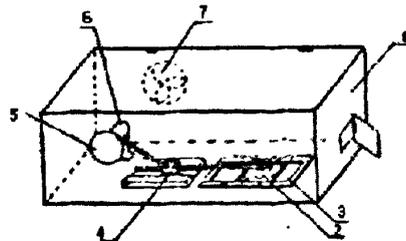


图6-2 测试系统模型图

测试系统包括:1一带孔箱体,2—上摩擦板,3—下摩擦板,4—传动连杆,5—传动圆盘,6—电动机,7—排风扇。

5.2.2 负离子测试步骤

为了保证试验结果准确独立，不受外界因素干扰，采用比较规范的测试步骤如下：（加压500g砝码）

- (1) 测试初始浓度；
- (2) 摩擦时间为20min；
- (3) 测试时间为10s；
- (4) 每做完一组实验严格的排风；
- (5) 仪器的调零和清除仪器内吸入的负离子。

5.3 大豆蛋白纤维机织物负离子性能测试

5.3.1 发生原理^{[65]-[66]}

大豆蛋白纤维织物能够产生负离子，除了“蛋白质功能催效素”的作用外，还有赖于织物受到摩擦时，织物上产生的静电荷通过织物表面的毛羽向周围空气放电，从而加剧空气电离后负离子的产生量。

纺织品产生负离子量的大小可用毛羽带电量的大小与纤维的质量比电阻和织物参数的关系来描述。织物毛羽带电量，引起空气电离后产生负离子的量多，反之亦然。

假设织物模型如图5-3所示，织物表面由直立的毛羽、倒伏的毛羽、凹陷的毛羽、起球以及织物地布组成。

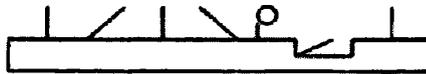


图5-3 织物模型

在一定温湿度和风速条件下，单位面积的织物在一定压力下，经过一定时间的摩擦，织物带电量为 Q ，在一定时间内，电荷通过毛羽放电和织物其余部分流散的电量分别为 Q_1 和 Q_2

$$Q = Q_1 + Q_2 \tag{5-1}$$

$$Q_1 = K_1(W_1 - W_2 - W_3)K_2 \lg \rho_m / k_3 D \tag{5-2}$$

式中：

K_1 ——织物表面毛羽密度对毛羽放电量的影响因子；

W_1 ——织物表面单位面积毛羽密度；

W_2 ——织物表面单位面积倒伏 ($0^\circ \leq$ 毛羽与织物平面的夹角 $B \leq 30^\circ$) 和起球的毛羽密度;

W_3 ——织物表面单位面积因组织和结构变化凹陷的毛羽密度;

K_2 ——织物纤维材料质量比电阻对毛羽放电量的影响因子;

$\lg \rho_m$ ——织物纤维材料质量比电阻的对数;

K_3 ——纤维直径对毛羽放电量的影响因子;

D ——织物纤维直径。

由上式可见: 织物表面单位面积毛羽密度大, 织物表面单位面积倒伏和起球的毛羽密度小, 织物表面单位面积因组织和结构变化凹陷的毛羽密度小, 毛羽放电的电量就大, 引起空气电离后产生负离子的量也多; 织物纤维材料质量比电阻大, 容易产生静电, 毛羽放电的电量大, 引起空气电离后产生负离子的量多; 纤维直径小, 毛羽细, 尖端电荷密度大, 毛羽放电的电量大引起空气电离后产生负离子的量多。

在织物材料性能和纤维细度一定时, 织物表面毛羽密度和特征显著影响毛羽的放电量和负离子的量; 在织物表面毛羽密度和特征一定时, 纤维材料质量比电阻显著影响毛羽的放电量和负离子的量, 一般情况下几个影响因子共同影响毛羽的放电量和负离子的量。

5.3.2 试样

5.3.2.1 试样规格

根据上述纺织品负离子发生的原理, 考虑到不同的混纺比、不同的织物结构和不同的织物表面风格都会对纺织品摩擦产生的负离子量产生影响, 分别设计了三组织物, 分别探讨各种因素的影响效果:

第一组, 考虑到纱线线密度和组织结构相同时, 不同纤维混纺时, 材料质量比电阻会对毛羽放电量和负离子量产生影响, 选用29tex纯纺、29tex大豆蛋白纤维80/棉20和29tex大豆蛋白纤维60/棉40混纺2/2斜纹面料, 进行对比测试;

第二组, 考虑到纱线线密度和混纺比相同时, 比较不同组织结构对毛羽放电量和负离子量的影响, 选用29tex平纹、8/5缎纹和简单蜂巢组织纯纺大豆蛋白纤维面料为试样, 进行对比测试;

第三组, 考虑到混纺比相同, 织物组织结构也相同时, 不同织物表面风格变

化对毛羽放电量和负离子量的影响，在设计29tex大豆蛋白纤维60/棉40混纺2/2斜纹面料时，经纱规格不变，而通过纬纱规格的变化（29tex单纱、29tex×2、29tex×4）改变了织物表面风格，研究不同表面风格织物毛羽密度和特征变化对毛羽放电量和负离子量的影响。试验用的试样规格见表5-2

表 5-2 大豆蛋白纤维试样规格

序号	纱线规格/tex		密度/根 · 10cm ⁻¹		织物组织
	经纱	纬纱	经密	纬密	
A	S 29	S 29	326	220	2/2
B	S/C 80/20 29	S/C 80/20 29	326	220	2/2
C	S/C 60/40 29	S/C 60/40 29	326	220	2/2
D	S 29	S 29	375	228	平纹
E	S 29	S 29	354	235	8/5缎纹
F	S 29	S 29	345	230	蜂巢组织
G	S/C 60/40 29	S/C 60/40 29×2	326	180	2/2
H	S/C 60/40 29	S/C 60/40 29×4	326	90	2/2

5.3.2.1 试样表面特征描述：

图5-4~5-6所示三块织物都为大豆蛋白纤维2/2斜纹组织，设计时选用的相同的纱线线密度和组织结构，因此织物布面风格较为相似，只是由于纱线原料采用了不同的混纺比。图5-4所示的大豆蛋白纤维纯纺面料，其表面有一定量的起毛起球。



图5-4 D100 2/2斜纹织物



图5-5 D80/C20 2/2斜纹



图5-6 D60/C40 2/2斜纹

图 5-7~5-9 分别为纯大豆蛋白纤维平纹、8/5 缎纹和蜂巢组织机织物。从图中可以看出，纯大豆蛋白纤维平纹织物布面平整，毛羽细腻且分布密实均匀，有少量起球；8/5 缎纹织物具有明显的经向缎纹特征，表面有沟槽，凹凸处毛羽特征不同，织物表面有少量的起球；蜂巢组织表面具有规则的边高中低的四方形凹凸花纹，表面毛羽密度明显减少，凹凸处毛羽特征具有较大差异。

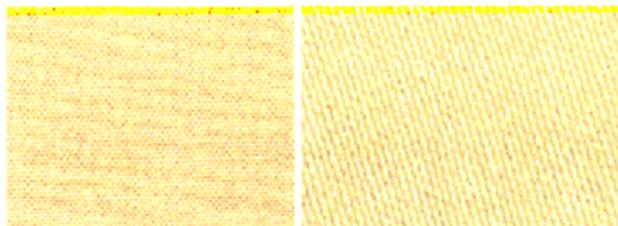


图 5-7 D100 平纹织物

图 5-8 8/5 缎纹织物



图 5-9 D100 蜂巢织物

图 5-10~5-11 为大豆蛋白纤维 60/棉 40/2 斜纹混纺面料，与图 5-9 所示面料不同在于纬纱的差异，图 5-10 中纬纱为 29tex×2 大豆蛋白纤维 60/棉 40 混纺纱，而图 5-11 选用的是 29tex×4 大豆蛋白纤维 60/棉 40 混纺纱作为纬纱，这样织物的组织结构相同，但表面风格发生明显改变，毛羽特征也发生较大变化。



图 5-10 D60/C40 单股 2/2

图 5-11 D60/C40 双股 2/2

5.4 试样织物负离子试验及结果分析

采用东华大学自主研发的纺织品负离子性能测试系统，上下磨板夹持住面料，摩擦 20min，上磨板压力为 588cN。每一块试样进行 2 组独立试验，用其均值作比较。

5.4.2不同混纺比大豆蛋白纤维织物的负离子量

经过试验测试，相同结构参数的混纺大豆蛋白试样负离子发射量见表5-3：

(1) A、B、C三块试样负离子的发射量均达到5000个/cm³以上，达到郊区空气中负离子的含量；

(2) 不同混纺比对负离子发射量有影响。大豆蛋白纤维为摩擦产生负离子的主要因素，理论上其含量越高，负离子发射量应该越大。C试样成分为大豆蛋白纤维60/棉40，负离子发射量为6520个/cm³，而B试样成分为大豆蛋白纤维80/棉20，负离子发射量为6770个/cm³，确实随着大豆蛋白纤维含量的增加，发射的负离子量增大；但纯纺试样A的负离子量仅为5240个/cm³，发射量明显小于两块混纺试样，与理论推导并不一致。究其原因，可能是前面提到的试样表面有一定的起毛起球，影响了负离子发射量，也可能是大豆蛋白纤维与棉纤维混纺时，更易于发挥其负离子性能，有待进一步的探讨。

表5-3 不同混纺比大豆蛋白纤维织物负离子的放射量

编号	A	B	C
织物组织	2/2斜纹	2/2斜纹	2/2斜纹
混纺比	S 29	S/C 80/20 29	S/C 60/40 29
负离子的发射量(10 ³ /cm ³)	5.24	6.77	6.52

5.4.1 不同组织结构对大豆蛋白纤维织物的负离子量

经过测试，三种纯纺大豆蛋白纤维织物负离子的放射量见表5-4。可以发现：

D试样为纯纺大豆蛋白纤维平纹织物，负离子的发射量在5000个/cm³以上，达到城市郊区和田野负离子的发射量；

E试样负离子的发射量为4120个/cm³，要低于试样D，主要是由于E试样为8/5缎纹织物，表面具有明显的经向纹路，使得毛羽密度减少所致；

而F试样为蜂巢织物，表面凹凸花纹效应显著，凹处毛羽下陷，摩擦放电的毛羽密度明显减少，负离子的发射量只有3220个/cm³。

表5-4纯纺大豆蛋白纤维织物负离子的放射量

编号	D	E	F
织物组织	平纹	8/5缎纹	蜂巢织物
负离子的发射量/(10 ³ /cm ³)	5.63	4.12	3.22

5.4.3 不同表面风格的大豆蛋白纤维织物的负离子量

C、G、H三块织物采用了相同的大豆蛋白纤维60/棉40混纺比、组织结构都是2/2斜纹，但由于纬纱规格不一样，使得采用股线作为纬纱的织物，表面形成了明显的凹凸效果，且股线越粗，凹凸越明显，织物表面风格差异越大。测试它们的负离子发射量可见，单纱织成的试样C的负离子发射量最大，达到6520个/cm³，而试样H负离子发射量最小，只有3980个/cm³，测试数据见表5-5。

表5-5 不同表面风格的大豆蛋白纤维织物负离子的放射量

编号	C	G	H
织物组织	2/2斜纹	2/2斜纹	2/2斜纹
纱线规格	S/C 60/40 29	S/C 60/40 29×2	S/C 60/40 29×4
负离子的发射量/(10 ³ /cm ³)	6.52	4.21	3.98

5.4.4 大豆蛋白纤维面料与常规面料摩擦产生的负离子发射量

由于在日常生活中不同面料制成的产品经常搭配使用，为了探讨大豆蛋白纤维面料与其他常规面料共用使用时负离子的发射规律，将几种天然纤维面料与化纤面料分别与同一块大豆蛋白纤维面料摩擦，测试两者共同使用时负离子发射量^[67]，如表5-6所示：

表5-6 大豆蛋白纤维面料与常规面料摩擦作用负离子发射量

面料类型		负离子发射量10 ³ /cm ³
天然纤维面料	棉	1.53
	羊毛	2.24
	蚕丝	1.60
化学纤维面料	涤纶	2.11
	丙纶	4.36

由表5-6可见，大豆蛋白纤维面料分别与棉、羊毛、蚕丝、涤纶和丙纶面料共同使用时，负离子发射量有所差异，分析原因是与不同原料的质量比电阻有关，表5-7列出了不同纤维的质量比电阻，并将之与表5-6所测数据相对应，建立关系图如图5-12所示。

表5-7不同纤维的质量比电阻

纤维	棉	羊毛	蚕丝	涤纶	丙纶	大豆蛋白纤维
质量比电阻/ $\lg\Omega\text{m}$	0.8	8.4	9.8	8	9	10.3

从图5-12可见,除了蚕丝纤维以外,大豆蛋白纤维面料与不同织物摩擦,负离子的发射量随着匹配纤维质量比电阻的变大而增加。蚕丝织物之所以例外是由于丝织品表面光滑显亮,毛羽特别少的缘故。

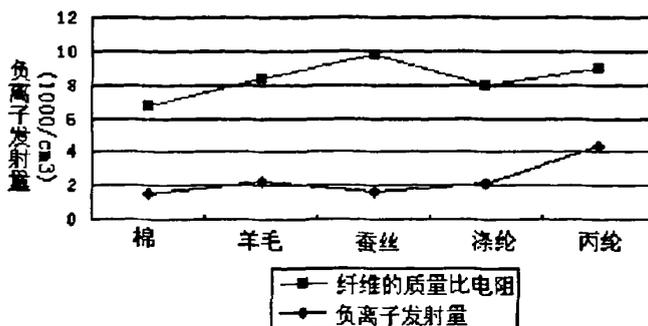


图5-12 与不同织物摩擦大豆蛋白纤维织物负离子发射量

5.5 本章小结

本章介绍了负离子纺织品对人体健康具有良好的保健功能。探讨了大豆蛋白纤维织物摩擦发射负离子的机理,并分析混纺比、组织结构以及织物表面风格对织物负离子性能的影响,得出结论如下:

- 1、大豆蛋白纤维纯纺和混纺织物通过摩擦,都能够发射一定量的负离子,对人体具有良好的卫生保健功能;
- 2、不同混纺比对织物负离子性能有影响,其中大豆蛋白纤维80/棉20混纺比的织物负离子性能最好,负离子发射量 $6770\text{个}/\text{cm}^3$,但纯纺织物负离子性能没有理论预期的那样好,负离子量仅为 $5240\text{个}/\text{cm}^3$,发射量明显小于混纺试样;
- 3、不同织物组织结构对负离子性能也有明显影响,同为纯纺面料,平纹织物的负离子发射量为 $5630\text{个}/\text{cm}^3$,而缎纹和蜂巢织物,由于织物表面明显的纹路或凹凸花纹,使得负离子发射量偏小;
- 4、另外,织物表面风格差异同样会影响到织物负离子的发射量,经纬纱都为单纱织造的试样,负离子发射量可以达到 $6520\text{个}/\text{cm}^3$,但同样组织结构、纬纱选用股线的织物,负离子发射量最小的只有 $3980\text{个}/\text{cm}^3$;

- 5、同时我们结合实际生活，测试了一种大豆蛋白纤维面料与几种常规面料搭配使用时负离子的发射量，发现在一般情况下，面料匹配纤维的质量比电阻越大，摩擦产生的负离子量就越多。

第六章结论与展望

6.1 结论

我们通过与浙江嘉利蛋白有限公司合作,进行大豆蛋白纤维机织类相关产品的研究,重点讨论了混纺比对大豆蛋白纱线物理性能的影响,以及混纺比和织物结构参数对大豆蛋白机织产品服用和卫生性能的影响,最后得到一个各方面性能较优的混纺比范围,为企业开发大豆蛋白机织类新产品提供借鉴和参考。

首先对企业提供的29tex、18tex和14.5tex三种线密度、8种混纺比的大豆蛋白纱线进行性能测试,分析了混纺比和细度对大豆蛋白纱线条干、毛羽、断裂强度和断裂伸长率的影响,得到以下结论:

1、29tex、18tex和14.5tex三种线密度大豆蛋白纱线的条干不匀率随着混纺比中大豆蛋白纤维含量的增加而减小,即其含量越高,纱线条干均匀度越好;混纺比相同时,29tex纱线的条干最好,14.5tex纱线条干最差;

2、大豆蛋白纱线的毛羽随着混纺比中大豆蛋白纤维含量的增大而逐渐增多,两者线性正相关;混纺比相同时,线密度越小,纱线毛羽值越小,毛羽性能越好,14.5tex纱线的毛羽值最小。

3、大豆蛋白纱线的断裂强度,当混纺比中大豆蛋白纤维含量在50%左右时都会出现一个低谷,选择工艺参数时要注意避开此区域,三种纱线当混纺比相同时,29tex大豆蛋白纱线的断裂强度最大。

4、当混纺比中大豆蛋白纤维含量小于40%时,大豆蛋白纱线断裂伸长率的变化上升趋势不明显;当大豆蛋白纤维的含量超过40%左右,纱线的伸长率随着其含量增加而明显增大。

5、不同混纺比对大豆蛋白纤维的纱线有显著影响,从上述结论中可以发现,当混纺纱中大豆蛋白纤维占的比例较大时,其条干、断裂强力和断裂伸长较好,但毛羽较差,同时选择纱线时要注意避开大豆蛋白纤维含量在50%的区域,避免强力太低影响生产和产品质量。

然后根据企业产品研发需要进行试样织物设计,主要选用了大豆蛋白纤维含量高的三种纱线(大豆/棉100/0、大豆/棉80/20和大豆/棉60/40),既能达到可织

性要求,又可以充分发挥出大豆蛋白纤维的功能作用,并重点研究了混纺比和试样织物结构参数对织物的热湿舒适性和负离子保健功能的影响,得到以下结论:

1、热湿舒适性

(1) 不同混纺比对织物的热湿性能有影响,当织物组织和结构参数相同时,大豆蛋白混纺织物比纯纺织物具有更好的热湿舒适性;当织物结构相近时,试样织物的芯吸高度、导湿综合性能、透湿性能和保暖性等单项指标值会随着混纺比中棉纤维含量的增加而变大;

(2) 在混纺比相同的情况下,由 14.5tex 和 18tex 的纱线织成的试样,由于织物厚度和紧度都比 29tex 织成的织物小,因此它们的导湿综合性能、透气性和透湿性要好,当然保暖性就会比厚的织物要差;

(3) 通过灰色聚类分析法综合织物的热性能和湿性能后发现,在低温条件下,18tex 纯纺 3/1 斜纹织物,29tex 纯纺 8/5 缎纹织物,29tex 大豆蛋白纤维 80/棉 20 混纺 3/1 斜纹织物和 29tex 大豆蛋白纤维 60/棉 40 混纺 2/2 斜纹织物四块试样的热湿综合性能表现优异,可以给企业开发家纺类面料提供借鉴。

2、负离子性能

(1) 大豆蛋白织物通过摩擦,都能够发射一定量的负离子,对人体具有良好的卫生保健功能;

(2) 不同混纺比对织物负离子性能有影响,其中大豆蛋白纤维80/棉20混纺比的织物负离子性能最好,负离子发射量 $6770\text{个}/\text{cm}^3$,但纯纺织物负离子性能没有理论预期的那样好,负离子量仅为 $5240\text{个}/\text{cm}^3$,发射量明显小于混纺试样;

(3) 混纺比相同时,不同织物组织结构和表面风格对织物负离子性能也有明显影响,织物表面平坦,摩擦接触面大,织物的负离子发射量相对更大些;

(4) 大豆蛋白面料与其他常规面料搭配使用时,一般情况下,面料匹配纤维的质量比电阻越大,摩擦产生的负离子量就越多。

根据以上对大豆蛋白纱线和织物的分别讨论,来寻找较优的混纺比,为企业产品开发提供建议:

(1) 当混纺比中大豆蛋白纤维含量大于50%时,大豆蛋白纱线的条干、断裂强度和伸长率更好,完全达到上机工艺要求;

(2) 选用的大豆/棉100/0、大豆/棉80/20和大豆/棉60/40三种混纺比织成的试样中,当织物结构相同时,两种混纺试样的热湿性能更好;而试样的负离子性能,

则在织物结构相同情况下，大豆/棉80/20织物的负离子发射量最大。

6.2 展望

由于时间关系，仅重点探讨了29tex纱线织造的纯纺和混纺面料，接下来可以继续进一步进行高支纱产品的开发研究，这对提高产品质量、丰富产品种类具有重要意义。

在研究混纺比对大豆蛋白纤维织物负离子发射量的影响时，大豆蛋白纤维纯纺面料的负离子发射量并不像理论预测的那样比混纺面料高，由于时间关系，并没有进一步研究，可以在以后的研究中进一步探讨其原因。

另外大豆蛋白纤维还具有抑菌抗菌、远红外和抗紫外线等保健功能，可以进一步探讨其发生机理，设计开发更多品种的大豆蛋白纤维保健产品。

参考文献

- [1]H. F. Mark, man-made fibers, science and technology, 1968, 307~323;
- [2]R. L. Wormell, Milk Casein and Peanut protein fibers, JTI, 44, 1953, 28~29;
- [3]宋东鹏, 大豆蛋白纤维纯纺及混纺生产实践, 中国纺织经济, 2001(6):32~33;
- [4]Soybean Textiles on the Rise, Asian Textile Business,2002,2,63;
- [5]唐人成, 梅士英等, 大豆蛋白纤维的染色性能, 中国纺织经济, 2001(6):38~39;
- [6]杨旭红, 牛奶纤维 Chinon 的性能与特征, 丝绸, 1999, 11, 39~41;
- [7]张岩昊, 大豆蛋白纤维及其产品开发, 棉纺织技术, 2000, Vol.18(9):28~30;
- [8]梅士英等, 再生大豆蛋白纤维及其织物的染整加工技术, 江苏丝绸, 2002(5):1~3;
- [9]姚穆, 关于大豆蛋白纤维引发的思考和建议, 棉纺织技术, 2001, Vol.29(9):5~6;
- [10]韩光亭等, 大豆蛋白纤维性能分析研究, 中国纺织经济, 2001(6):36~37;
- [11]喻红芹, 何建新, 蔡玉兰, 大豆蛋白纤维结构与性能研究, 中原工学院学报, 2002, Vol.13(3):11~12;
- [12]王其、冯勋伟, 大豆纤维性能研究(下), 北京纺织, 2002, Vol. 23(2):48~50;
- [13]中国化纤工业协会化纤产品检测中心质量检测报告;
- [14]王华杰, 杨旭红, 大豆蛋白纤维性能及产品开发新动向, 江苏丝绸, 2002.3:1~4;
- [15]沈国先, 大豆蛋白纤维应用讲座—第一讲纤维篇, 现代纺织技术, 2003, Vol.11(1): 56~58;
- [16] 李宁、臧英名, 大豆蛋白质纤维及其产品性能, 山东纺织科技, 2002(1):50~51;
- [17]韩光亭等, SOP 再生蛋白质纤维性能研究, 针织工业, 2001,5:37~38
- [18]姚穆, 来侃等, 大豆和大豆蛋白质组成与结构的研究, 棉纺织技术, 2002, Vol. 30(9):33~35;
- [19]河南省纺织纤维质量检验中心大豆纤维测试报告;
- [20]张长乐, Siro 纺纱的机理及其产品开发, 棉纺织技术, 2001, 29, 1, 11~15;
- [21]毕松梅等, Sirospun 纺单纱纱线结构和捻度分布的分析, 纺织学报, 2000,

10;

[22]K. P. S. Cheng, Y. L. How and M. N. Sun, Siro-spun Characteristics, Textile Asia, 1993, 2:67~70;

[23]M. N. Sun and K. P. S. Cheng, Structure and Properties of Cotton Sirospun Yarn, T.R.J, 2000, Vol.70 (3):261~268;

[24]郭藏骞, 空气负离子的临床应用, 临床荟萃, 1994, 9(12): 33~35;

[25]林忠宇, 空气负离子在卫生保健中的作用, 生态科学, 1999, 18 (2): 87~90;

[26]苍风波, 负离子功能纺织品的现状及其发展趋势, 纺织科技进展, 2005, 2: 7~8;

[27]段菊兰, 王濂生, 徐晓辰, 负离子纤维的性能与应用, 金山油化纤, 2001, 2: 53~54;

[28]陈芸, 负离子纺织产品的开发, 印染, 2003, 2: 29~30;

[29]毕鹏宇, 陈跃华, 李汝勤, 负离子纺织品及其应用的研究, 纺织学报, Vol.24 (7):607~609;

[30]浙江嘉利蛋白纤维有限公司大豆蛋白纤维纺纱工艺手册;

[31]蒋国华, 混纺比与涤/麻混纺纱性能关系探讨, 纺织学报, 2002, Vol.23(2):41~42;

[32]俞雯, 沈丕华, 郁崇文混纺比对麻涤纱线性能的影响, 中国麻业, 2001, Vol.23 (3):30~33;

[33]胡洁, 大豆蛋白纤维/棉混纺产品开发及服用性能研究, 东华大学硕士论文;

[34]姚穆, 纺织材料学, 1993, 第二版, 纺织工业出版社, 北京;

[35]李汝勤, 宋钧才, 纤维和纺织品的测试原理与仪器, 中国纺织大学出版社, 上海, 1995;

[36]于伟东, 储才元, 纺织物理, 东华大学出版社, 上海, 2001;

[37]储才元, 马基, 细旦涤棉混纺纱的性能与强力预测, 上海纺织科技, 1996, 4: 11~13;

[38]陶丽珍, 竹原纤维混纺纱强伸性能与混纺比的关系, 棉纺织技术, 2005, Vol.33 (6):350~353;

[39]王春红, 王瑞, 瞿彩莲, 再生竹纤维面料的设计与开发, 纺织导报, 2005,

- 5: 60~61;
- [40]翁毅, 罗炳金, 郭秀丽, CVC高支薄型色织物设计与开发纺织导报, 2005, 5: 70~72;
- [41]李营建, 肖丰, 张岩昊, 大豆蛋白棉混纺色织面料的开发, 棉纺织技术, 2005, Vol.33(10):636~638;
- [42]胡彦, 潘利, 精纺大豆蛋白纤维衬衣面料的开发设计, 毛纺织科技, 2005, 2: 43~45;
- [43]蔡陆霞, 织物结构与设计, 中国纺织大学出版社, 上海, 1986;
- [44]朱苏康, 织造学, 中国纺织大学出版社, 上海, 1982;
- [45]王府梅, 服装面料的性能设计, 中国纺织大学出版社, 上海, 2000;
- [46]张辉, 张建春, 棉织物结构对芯吸效应的影响, 棉纺织技术, 2003 Vol. 31 (11): 652~655;
- [47]姚穆, 施楣梧, 蒋素蝉, 织物湿传导理论与实际的研究—第二报, 西北纺织工学院学报, 2001, Vol.15(2):11~14;
- [48] H. Yasuda, and M. Miyama, Dynamic water vapor and heat transfer through layered fabrics, Textile Research Journal, 1992, Vol.62 (4): 227~235;
- [49] P.W. Gibson, Factors influencing steady-state heat and water vapor transfer measurement for clothing materials, Textile Research Journal, 1993, Vol.63 (12): 749~764;
- [50]姚穆, 施楣梧, 蒋素蝉, 织物湿传导理论与实际的研究—第三报, 西北纺织工学院学报, 2001, Vol.15(2):15~18;
- [51] 余序芬, 鲍燕萍, 刘若华, 纺织材料实验技术, 2004, 中国纺织出版社, 北京;
- [52]潘建君, 孟家光, 织物导湿理论与测试方法的研究, 针织工业, 2005, 7: 61~62;
- [53] H.马克等著(美), 水佑人译.纺织物的化学整理.北京纺织工业出版社, 1984, 46;
- [54]王其, 冯勋伟, 大豆纤维针织物导湿透汽性研究, 纺织学报, 2001, Vol.22(3): 148~150;
- [55]钱坤, 王鸿博, 大豆纤维机织物的导湿透气性能研究, 纺织学报, 2004,

- Vol.25(1):74~76;
- [56]王其, 大豆纤维性能与导湿快干功能针织物研究, 东华大学博士学位论文, 20;
- [57]魏兵, 织物透气性与织物覆盖系数关系的研究, 西北纺织工学院学报, 1995, Vol.9(3):241~243;
- [58]张新安, 织物紧度与透湿性关系及透湿的测试方法, 纺织学报, 2002, Vol.23(2):115~116;
- [59]姚穆, 王晓东, 论织物接触冷暖感, 西北纺织工学院学报, 2001, Vol.15(2):37~39;
- [60]李俊, 王晓琼等, 服装接触舒适性与其织物手感的相关性研究, 2006, Vol. 15(2): 65~68;
- [61] R. Postle, Heat and Moisture Transfer in Textile Assemblies Part II, Textile Research Journal, 1995, 3:265~272;
- [62]汪学骞等, 织物湿热舒适性能的测试与灰色评价, 纺织学报, 1987, 3: 165~167;
- [63]汪学骞等, 针织物透湿性能的灰色聚类分析, 纺织学报, 1991, 2: 60~62;
- [64]张艳, 陈跃华, 纺织品负离子测试探讨, 上海纺织科技, 2003, 8, 61~62
- [65]王其, 李官奇, 大豆蛋白质改性纤维的保健功能和机理研究, 针织工业, 2004, 4:67~71;
- [66] Wang Qi, Li Guanqi., The Development and mass production of modified soybean protein fibers in china [J].Chemical Fibers International, 2003, Vol.53 (12): 414~417.
- [67]陈跃华, 公佩虎, 杨世滨等, 大豆蛋白纤维负离子性能的测试, 纺织学报, 2006, Vol.27(4): 63~65;

攻读学位期间发表论文情况

1、叶金晶，朱苏康，大豆蛋白纤维/棉混纺纱性能与混纺比的关系，2006“苏拉杯”全国现代纺纱技术研讨会论文集；

2、叶金晶，朱苏康，大豆蛋白纤维/棉混纺纱性能与混纺比的关系，上海纺织科技录用。

致 谢

当我提笔开始写这篇致谢时，心里真是很多感慨，两年多的研究生学习就要结束了，在这段时间里，自己付出了很大的努力，也学习到了很多东西。而自己获得的每一点成绩，都离不开导师，同学，家人和朋友的极大支持，正是从你们身上我学到很多做人、做事的道理和方法，为我未来的人生道路积累了宝贵的精神财富。

首先要感谢我的导师朱苏康教授，本课题正是在他的精心指导和严格要求下得以顺利完成。导师渊博的学识、严谨的治学、务实的作风，不仅使我在学术上获益良多，更使我深刻领悟到一个科研工作者应该如何踏踏实实做人、勤勤恳恳做事，为我未来的人生路程中，树立了一个很好的标尺。

其次，感谢本课题的合作单位在开展论文过程中，在原料和技术上的大力支持，希望研究成果给你们提供一个很好的借鉴意义。也要感谢学院实验室的老师给予的帮助和指导，给予我帮助的各位同窗好友，在此一并表示感谢。

最后还要谢谢我的家人及亲友在精神上的鼓励和生活上的资助，感谢每一位关系和帮助过我的人，谢谢你们！