

摘 要

罗布麻纤维是一种纯天然的绿色环保产品,集棉的柔软、麻的挺括、丝的光泽于一身,具有透气性、吸湿性、抑菌性,穿着时不粘身、无汗臭,有“热时凉爽、冷时温暖”的特性,适合高血压患者平稳、长期降压的需求,因此罗布麻作为一种高档针织面料,受到国内外纺织界和医学界的关注和重视。但是由于罗布麻植物本身的特点和初加工工艺不完善,致使其精干麻质量较差,突出表现在罗布麻混纺纱线毛羽多、条干不匀、强力低、耐磨性差,这不仅对纺织后续加工带来困难,而且还造成其制品精细程度不高,使用寿命短,这无疑阻碍了罗布麻纤维及其制品的推广利用。

本课题所研究的锦纶/罗布麻复合纱是利用包覆纺纱的原理加工而成,包覆纺纱又称包缠纺纱,是新型纺纱方法中的一种,将锦纶长丝以螺旋的形式包缠在罗布麻芯纱的外面。由于锦纶长丝是一种高强耐磨纤维,因而通过这种加工方法纺制的纱线使其在具有罗布麻抗菌抑菌医疗特性的同时,又充分体现出锦纶纤维高强耐磨的优点,增强了罗布麻纱的强力和耐磨性,提高了罗布麻纱的可纺性。

本论文在内容上,主要包括六部分:第一部分对包覆纺纱的发展趋势和国内外研究现状;包覆纺纱机的发展和主要机型及选题的目的意义和研究内容做了简要概述;第二部分对本课题采用的 HKV141D—I 型包覆丝机的工作原理及技术规格作了简要介绍,简述了罗布麻的理化性能及锦纶长丝的主要性能;第三部分在实验探索的基础上设计了单因素试验,得出各单因素与纱线力学及耐磨性能的关系;第四部分采用正交试验设计方法,选取外包丝纤度、包覆度、芯纱预加张力、导丝钩距离四个因素作为工艺参数进行优化,并对包覆纱强度和耐磨性影响的显著性进行方差分析,得到单、双包覆工艺的最优工艺参数;第五部分对包覆纺纱的成纱机理进行研究,运用模糊数学的方法将单、双包覆纱与原罗布麻混纺纱进行对比分析;第六部分利用多目标灰色决策的方法,对罗布麻包覆纱针织物的性能进行统计分析,得到包覆纱织物的最优工艺参数,验证由正交分析法得出的包覆纱工艺参数结论。

试验结果表明,在主体保证罗布麻纤维原有特性的前提下,通过该工艺加工有效地提高了罗布麻纱线的耐磨性和强力,改善了可织造加工性能,从而探索了一新的复合加工思路,对低品质纱线的利用开辟了一新的途径。

硕士研究生 徐颖 (纺织工程)

指导教师 韩光亭 教授

关键词: 包覆纺纱; 耐磨; 强力; 工艺

Research on High-strength & Wear-resisting Apocynum Venetum

Wrapped-spun Process and Fabric

Abstract

Apocynum venetum is a pure natural, green and environmental protection product, collects the characteristic as soft of cotton, stiff and neat of hemp and luster of silk, has permeability, hygroscopicity and bacterial inhibition. While put on it, neither stick the body nor has smelly sweat, has the characteristic of "cool when hot, warm when cold". It is suitable for falling the pressure placidly and chronically of hypertension patient. As a upscale knitting fabric, apocynum venetum receives the attention and recognition of domestic and foreign textile and medical area. But because of the apocynum venetum characteristic and incomplete preliminary working craft, the quality of degummed apocynum venetum is poor such as more fibrous, unevenness, lower strength and poorer wearing-resisting. It not only brings difficulty to the following processing of spinning, but also leads to lower fine degree of the product and reduces the service life. It will prevent the promoted utilization of apocynum venetum fiber and product without doubt.

In this article, the composite yarn which makes up of apocynum venetum and nylon is processed by the principle of wrapped-spun, its another name is covered-spun, which is one of the new type spinning. The nylon filament covers on the outside of apocynum venetum blended yarn as the form of spiral. Because the nylon filament is a high-strength & wear-resisting fiber, which made the yarn both have the antibacterial medical characteristic of apocynum venetum and high-strength & wear-resisting merit of nylon fiber, so it enhances the strength and wear-resisting, improve the spinnability of apocynum venetum yarn.

This paper mainly includes six parts. In the first part, the current and research actuality of wrap spinning, the development and main type of wrap spinning machine, the aim of this thesis and the research content are introduced. In the second part, the working principle and technical specification of HKV141D- I wrapped-spun machine are introduced briefly, and the spinning value of apocynum venetum and main property of nylon filament are also introduced. In the third part, on the base of experiment, single-factor analysis is designed, the relationship between the factors and mechanics & wear-resisting can be known. In the fourth, using a series of orthogonality, size of out filament, wrapped-twist, pre-tension of heart yarn, space of traverse guide are selected as processing parameters, variance analysis with the strength and wear-resisting of wrapped-spun, optimal processing parameters are given. In the fifth part, principium of spinning is studied, using fuzzy mathematics, contrast single & double wrapped-spun yarn with apocynum venetum blended yarn. In last part, using multi-objective decision-making, the property of wrapped-spun fabric is analysed, optimal processing parameters can be known, and the conclusion of orthogonality analysis is validated.

The test result indicated, on the premise of fiber properties, wear-resisting and strength are improved, the spinning and weaving ability are improved. A prosperous way was opened to develop composite spinning for properly utilizing the lower quality yarns.

Postgraduate student: Xu Ying (Textile Engineering)

Directed by Prof. Han—Han Guangting

Key words: wrapped-spun; wear-resisting; strength; process

目 录

└─	文摘	
└─	英文文摘	
└─	声明	
└─	第一章绪论	
└─└─	1.1 包覆纺纱的发展	
└─└─└─	1.1.1 包覆纺纱的发展趋势	
└─└─└─	1.1.2 包覆纺纱的特点	
└─└─└─	1.1.3 包覆纺纱的用途	
└─└─	1.2 国内外包覆纺纱的研究概况	
└─└─└─	1.2.1 国外研究概况	
└─└─└─	1.2.2 国内研究概况	
└─└─	1.3 国内外包覆纺纱机的介绍	
└─└─	1.4 本课题的目的意义和主要研究内容	
└─└─└─	1.4.1 目的和意义	
└─└─└─	1.4.2 主要研究内容	
└─	第二章 HKV141D- I 型包覆丝机及原料性能概述	
└─└─	2.1 HKV141D- I 型包覆丝机简介	
└─└─└─	2.1.1 包覆丝机的用途	
└─└─└─	2.1.2 包覆丝机的规格	
└─└─└─	2.1.3 包覆丝机的工作原理	
└─└─└─	2.1.4 包覆丝机的主要结构和特点	
└─└─└─	2.1.5 包覆丝机的包缠加捻作用	
└─└─	2.2 罗布麻的纺织价值	
└─└─└─	2.2.1 罗布麻的研究现状	
└─└─└─	2.2.2 罗布麻的理化性能	
└─└─	2.3 锦纶的主要性能	
└─└─	2.4 本章小结	
└─	第三章单因素设计试验	
└─└─	3.1 目的和意义	
└─└─	3.2 工艺优化和影响因素分析	
└─└─└─	3.2.1 外包丝纤度的影响	
└─└─└─	3.2.2 包覆度的影响	
└─└─└─	3.2.3 芯纱预加张力的影响	
└─└─└─	3.2.4 导丝钩距离的影响	
└─└─	3.3 方差分析	
└─└─└─	3.3.1 外包丝纤度的方差分析	
└─└─└─	3.3.2 包覆度的方差分析	
└─└─└─	3.3.3 芯纱预加张力的方差分析	
└─└─└─	3.3.4 导丝钩距离的方差分析	
└─└─	3.4 本章小结	
└─	第四章正交设计试验	
└─└─	4.1 试验设计概述	

4.1.1	目的和意义
4.1.2	正交试验设计的原理
4.1.3	正交试验设计的几何解释
4.1.4	正交试验设计的基本原则
4.2	试验方案设计
4.2.1	单包覆正交试验设计
4.2.2	双包覆正交试验设计
4.3	方法和步骤
4.3.1	测试方法
4.3.2	分析方法和原理
4.4	结果和分析
4.4.1	测试结果
4.4.2	分析和讨论
4.5	本章小结
第五章	成纱机理及结构性能对比分析
5.1	包覆成纱机理研究
5.2	包覆效果对耐磨性的影响及纱线结构
5.2.1	包覆效果的理论分析
5.2.2	包覆纱的纵向结构
5.3	包覆纱与原罗布麻混纺纱的对比试验
5.3.1	目的和意义
5.3.2	工艺参数的选择
5.3.3	结果及对比
5.3.4	包覆纱的性能分析
5.4	本章小结
第六章	针织物的验证性研究
6.1	针织及后整理加工工艺
6.1.1	针织工艺要点
6.1.2	后整理加工工艺要点
6.2	方法和步骤
6.2.1	测试方法
6.2.2	分析方法和原理
6.3	利用多目标灰色局势决策优选包覆工艺
6.4	织物磨损机理及影响因素
6.4.1	织物磨损机理
6.4.2	织物耐磨性影响因素
6.5	本章小结
第七章	本文结论及进一步研究方向
7.1	本文结论
7.2	本文的不足之处和进一步研究方向
	参考文献
	攻读硕士期间发表论文情况
	致 谢

学位论文独创性声明

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

本人如违反上述声明，愿意承担由此引发的一切责任和后果。

论文作者签名：徐颖

日期：2007年6月17日

学位论文知识产权权属声明

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

本学位论文属于：

保密 ☐，在 年解密后适用于本声明。

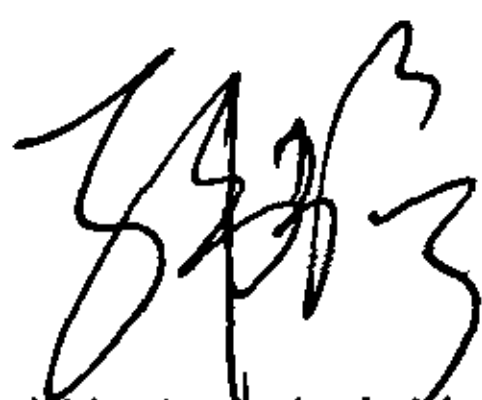
不保密 ☒。

（请在以上方框内打“√”）

论文作者签名：徐颖

日期：2007年6月17日

导师签名：



日期：2007年6月17日

（本声明的版权归青岛大学所有，未经许可，任何单位及任何个人不得擅自使用）

第一章 绪论

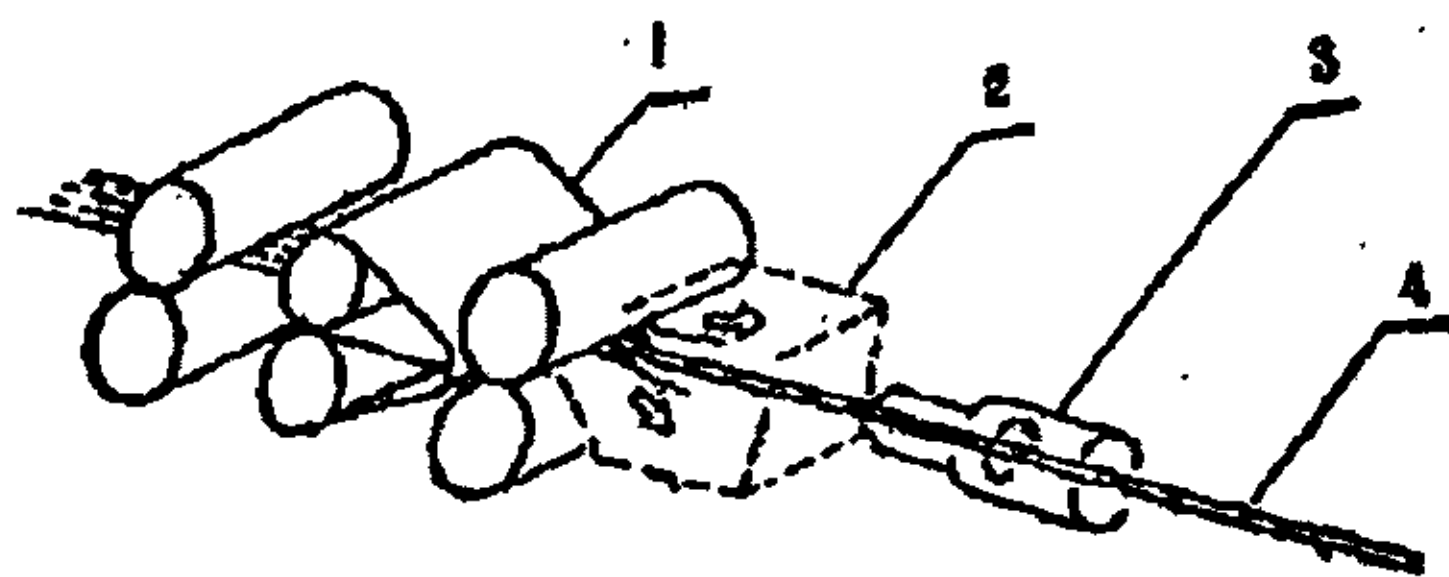
1.1 包覆纺纱的发展

1.1.1 包覆纺纱的发展趋势^[1-5]

包覆纺纱也称包缠纺纱，是新型纺纱的一种。包覆纺纱的发展历史可分为利用涡流假捻原理通过喷嘴包覆成纱和空心锭子包覆成纱两大阶段。

1.1.1.1 涡流假捻包覆纺纱

美国杜邦公司的罗拉菲尔于 50 年代开发研制了这项技术。其纺纱原理与喷气纺十分相似，如图 1.1 所示。它是利用涡流假捻的原理，对牵伸后的带状芯纤维束加捻，此时芯纤维束两边有未被加捻的自由纤维，以这种状态通过喷嘴后，芯纤维束被解捻，而表层自由纤维被加了捻度不同的真捻，从而变成包卷在芯纤维束周围的包缠纤维，这样就形成了包覆纱。



1-牵伸机构 2-须条分离器 3-气流喷嘴 4-包覆纱

图1.1 涡流假捻包覆纺纱的工艺过程

利用涡流假捻原理包覆纺纱作为一种新型成纱方法，由于其成纱路线短、生产效率高，很快得到广泛重视，其研究也取得了一些成果。进入 20 世纪 70 年代，日本的村田公司针对美国杜邦公司生产的包覆纱包覆度不均匀，密度偏低等缺点，利用两个加捻方向相反的喷嘴，进行“X”式包覆，从而大大提高了纱线包覆的均匀性密度。1975 年，日本东丽公司也利用自己的技术发展包覆纱，并且对包覆纱的特性和手感改善等方面进行了大量的研究。

虽然利用喷嘴生产的包覆纱表面毛羽较少，条干均匀度好，但包覆纤维的数量和包覆度难以控制，成纱质量不稳定，纱线刚度也较大，再加上耗气量大，机件损耗严重，生产成本比环锭纺还高，难以推广。

1.1.1.2 空心锭子包覆纺纱

20 世纪 70 年代初,人们一直致力于改造传统纺纱机生产包覆纱的工艺。1972 年, Audiver^[6]在细纱机上研制了长丝包短纤维束的包覆纱,同时指出:长丝用量越少,纱线性能越高。1979 年, Audiver 又对传统纺纱机进行改造,在细纱机的牵伸罗拉之间加了假捻管,开发出芯纱被假捻的包覆纱,并对包覆纱再加捻,生产出加捻包覆纱,又叫差捻纱(长丝与短纤维束有捻度差)。由于在改造的细纱机上生产包覆纱,工艺灵活性受到很大限制,纱线质量也难以控制,包覆纱的优越性能得不到充分发挥,所以这种包覆纱的研究,仅处于工艺实验初级阶段,没深入到理论与生产应用阶段。

1974 年,英国人 Gorge Mitor 发明了空心锭子,并很快被纺织机械制造商 Gemnill 和 Dmsmore 采用,生产出世界第一台空心锭子包覆纺纱机,开创了包覆纺纱的新天地。此后,美国 Leesona 公司也采用了此技术,并于 1979 年在汉诺威国际纺织机械展览会上展出了样机。1983 年 11 月的米兰国际纺织机械展览会上,已有四个国家五家厂商展出了各种类型的包覆纺纱机,而且对包覆纱以及包覆纱织物的研究也有很大的进展。

1.1.2 包覆纺纱的特点

(1) 速度快、产量大、能耗低。空心锭子转速可达 15000-35000 转/分,纺纱速度一般能达到 50-100 米/分,是传统环锭纺的 1.5 倍至 3 倍。而且其纺纱速度与纺纱特数的关系较小,落纱时不用停车,机器的效率较高。

(2) 原料品种丰富、试纺范围广。近年来,由于化纤工业的飞速发展,国外长丝价格都低于短纤维的价格,因此空心锭包覆纺纱发达国家多采用长丝作为包覆纱,锦纶、涤纶、维纶、丙纶、粘胶等各种长丝都可使用。而且包覆纺既可纺高支纱又可纺低支纱,捻度范围 200-1000 圈/m。

(3) 工艺灵活多变。芯纱和外包纱既可以是长丝也可以是短纤维纱,还可以是须条。既可以进行常规包覆,也可以二重包覆。通过控制超喂,可生产圈圈纱、粗节纱、波纹纱、结子纱等花式纱线。

综上所述,空心锭子包覆纺作为一项新型纺纱、捻线技术是成熟的、先进的。与传统的纺纱和捻线比较,具有工序少、产量高、总占地面积小、产品有特色等优点,包覆纺纱以其优越的特性,成为复合纱的发展趋势,并大量占领市场,将带来较大的经济效益,具有广阔的应用前景。

1.1.3 包覆纺纱的用途

空心锭子包覆纱与环锭纱相比,具有结构蓬松,手感丰富,条干均匀,强力较好,伸长率小,直径较大,表面毛羽少,捻缩小,吸水性好等特点,因此基本上能替代环锭纱使用,特别适用于起绒类织物、针织物、毛巾织物、地毯织物等。由于它的直径可比同样特数的环锭纱大 10%左右,因而可把织物中的纱线特数适当减小或者减少织物的经、纬密度,从而降低成本。包覆纱的横截面中的纤维根数可比环锭纱少,因此可纺特数可以小些或者说可用较粗的短纤纺纱。由于包覆纱毛羽较少,所以作为经纱就不用上浆,且不易起毛起球。因为包覆纱是由两束纤维所组成的,因此它有近似股线的结构和性质,常常可以纱代线。采用水溶性维纶长丝做成的包覆纱作毛巾的气圈纱,可以制成手感特别柔软的无捻毛巾。此外,该纱由于加捻形成的扭矩较小,在针织时可以做到无“斜织”的毛病。总之,包覆纱的用途是十分广泛的,目前不少国家都在积极发展,逐步扩大。

1.2 国内外包覆纺纱的研究概况

1.2.1 国外研究概况

国际资料表明,空心锭子包覆纺纱的研究已取得了许多重要成果:

(1) 在包覆纱工艺的研究中,Caban 介绍,在废纺中,由于使用了空心锭子包覆纺,纱线质量得到显著提高;Weisser^[7-8]和 Haldon 指出,应当根据包覆纱的细度来决定长丝在包覆纱中的含量;Taub 同时指出,可根据包覆纱的细度和其最终用途,来选择长丝的种类,较粗的长丝常被用于缝纫线和工业用线;A K Sengupta 研究了不同原料的外包纱对纱线性能的影响。

(2) 在包覆纱结构的研究中,Steiner 的研究表明,分别用单丝和复丝包覆,纱线呈现不同的形态,并且长丝的模量和包覆捻度对包覆纱的强力有影响;H. M. Behery 和 M. F. Nunes 给出了包覆纱在拉伸时的断裂形态;Maag 证明,当包覆纱承受拉伸负荷时,芯纱首先产生滑移,直到外包纱牢牢地将其束缚。

(3) 在包覆纱性能的研究中,Weisser 和 Czapy 表明,随着外包纱对芯纱向心力的增加,纱线强力提高;Srinivasan 对包覆纱作了深入的研究,得出芯纱的假捻可以提高纱线均匀度和蓬松度,并且假捻器的位置对纱线性能没有影响;C. W. Cheung^[9]比较了芯纱假捻与否对纱线性能的影响。

另外,Rajkhwaetal^[10]对外包纱的退绕张力作了初步研究,Senguptaetal 的研究揭示出,包缠纱经热处理后,断裂功可以提高 20%以上。

1.2.2 国内研究概况^[11-13]

随着八十年代末九十年代初,我国引进国外先进的包覆纺纱机后,对常规包覆纱工艺、花式包覆纱工艺和粗纺、半粗纺包覆纱及织物进行了一些研究,也自行研制出了国产空心锭子包覆纺纱机。

中国纺织科学研究院,通过系统地试验研究,设计制造了 FZZ031 型 48 锭包覆纺纱机,生产了各种纱线及织物,较成熟的有:中长涤/粘(65/35)外包涤纶长丝(30d/12f)及长毛绒织物,毛/腈(60/40)外包尼龙长丝(30d/6f)及半粗纺中长哗叽织物。

河南纺织科学研究院,用 FZZ008 型 48 锭包覆纺纱机开发出了 6[#]腈纶纱、6[#]麻/腈纱(50/50)应用于鞋类面料,粗纺 3[#]麻/腈(50/50)混纺包覆纱作为时装面料。

还有用纯涤纶包覆纱作纬纱(外包纱与芯纱均为 16.7tex),经纱采用中长纱线,生产的包覆纱织物。

对于本文研究的高强耐磨锦纶/罗布麻包覆纱,以及包覆纱应用于织物耐磨性的开发研究,目前尚未见有报道,当属国内外空白课题。

1.3 国内外包覆纺纱机的介绍

国内外包覆纺纱机的类型很多^[14-17],从所收集的产品说明书和资料看,主要有

(1) 德国 Sussen 公司制成了平行纺纱系统,该系统由 PL-1000 系列、PL-2000 系列平行纺纱机和 HS2000 型卷纬机组成。其中 1000 系列每台 126 锭,主要用于纺棉型纤维,其纺纱支数为 10Nm-40Nm,输出速度达 180m/min,该系列分为 K 及 L 两种:1000K 型适纺棉及中长 60mm 以下的纤维,主要用途如小圈形毛巾纱织物、立绒织物等;1000L 型适纺 60mm 以上纤维,用于毛腈混纺、装饰织物。2000 系列每台 80 锭,适纺 60-200mm 的毛型纤维,纺纱支数 2Nm-40Nm,输出速度达 20 m/min,主要用途为绒线及地毯纱。据称,1986 年就已有 300 余台销售到英国、法国、意大利、德国、南美等国家和地区。此外,还有德国 Saurer-Allma 公司生产的 SM 型包覆纺纱机,也推动了包覆纺纱机的发展。

(2) 美国 Walker 公司生产的 IPC6000 型包覆纺纱机,纺纱速度 250m/min,用于运动衣和缝纫线;James Mackie 公司生产的 Spinmack 型包覆纺纱机,适纺各种毛纱;Whintin Rolterts 公司生产的 Weapid 包覆纺纱机;Leesona 公司生产的加工短纤维和长纤维两种系统的包覆纺纱机,短纤维纺纱机可纺制纤维长度 25-63.5mm、6-120tex 的包覆纱,长纤维系统可纺制纤维长度为 63.5-216mm、8.4-84tex 的包覆纱。

(3) 英国 Gemill & Donsmore 公司生产的 GDS 型包覆纺纱机,纺纱支数

15-1500tex, 输出速度200m/min。

(4) 法国N. Schlumberg公司生产的MG10型包覆纺纱机, 纺纱速度20m/min, 用于地毯纱、装饰用纱、手编毛线等。

(5) 日本Ozeki公司ON-1000NF 包覆纺纱机, 纺纱支数0.8-120Nm。

20世纪80年代开始, 我国也开展了空心锭子包覆纺工艺及产品的研究并制成了小样机, 1984年上海棉纺织科学技术研究所引进了德国Suessen1000-K型平行纺纱机, 1985年纺织工业部纺织科学研究院自行设计制造了一台48锭包覆纺纱机并通过了机械鉴定, 同时又有单位引进了Suessen2000型平纺纱机。国内空心锭子包覆纺纱机主要有: 中国纺科院研制的FZZ031 型包覆纺纱机、上海纺科院研制的SCB-1粗梳毛纺包覆纱机、山东济宁纺机厂生产的FZZ018型包覆纺纱机、河南纺科院研制的FZZ008型包覆纺纱机。另外, 浙江日发、泰坦纺机厂也生产包覆纺纱机。

目前, 各种包覆纺纱机生产的包覆纱主要用于起绒织物、毯类织物、家庭装饰织物、针织物、粗纺半粗纺机织物, 精纺织物机织物等。随着包覆纺纱技术的不断改进, 具有各种特性的包覆纱及其织物在实际生产中的应用日益广泛^[18-20]。

1.4 本课题的目的意义和主要研究内容

1.4.1 目的和意义

就目前国内外的现状而言, 多采用罗布麻纤维和其它纤维混合纺纱, 之所以出现这样的现象, 主要有以下几个方面的原因:

(1) 罗布麻纤维虽然是古老的纤维之一, 在古代就有所应用, 但因为人们对其认识不够, 以及科学技术发展水平的限制, 导致对罗布麻的纺织应用研究一度处于半停滞状态。而罗布麻的主要产地在中国, 国外对其研究也比较少。只是近些年, 随着人们对罗布麻的进一步认识和崇尚绿色、回归自然的消费趋势, 掀起了“罗布麻热”, 对其研究开发才有所加强。

(2) 罗布麻纤维一直是与其它纺织纤维混纺加工, 在纱厂主要采用常规的混纺技术成纱后, 由针织厂加工制作内衣制品, 从而造成初加工、纺纱、针织加工等环节的脱节。相对亚麻、苧麻等麻纤维针对罗布麻纤维特性进行的纺织加工技术专题系统研究开展甚少, 因此制出的精干麻、纺出的纱线会不可避免的出现某些缺陷, 最终产品品质亦难以令人满意。

(3) 众所周知, 罗布麻纺织品具有吸湿透气、抑菌防臭等特点, 具有优良的服用性能。但是, 由于罗布麻植物本身的特点和初加工工艺不完善, 致使其精干麻质量较差, 严重影响了其成纱品质, 突出表现在罗布麻混纺纱线毛羽多、条干不匀、

强力低、耐磨性差，这不仅对纺织后续加工带来困难，而且还造成其制品精细程度不高，使用寿命短，这无疑阻碍了罗布麻纤维及其制品的推广利用。

综上所述，为了改善罗布麻纱线毛羽多、条干不匀、强力低、耐磨性差的需要，提高罗布麻纱线的可纺性，解决其纺织后续加工带来的困难，同时开发具有吸湿透气、抗菌防臭、高强耐磨特性的服装面料，促进罗布麻纤维及其制品的推广利用，为此本课题运用包覆纺纱方法技术，开发锦纶/罗布麻包覆纱，在充分保持罗布麻混纺纱原有吸湿、透湿、透气、抗菌等主要特性的前提下，增强其强力和耐磨性，为研制高品质罗布麻织物创造条件。本课题不但具有发展成纱方法、完善成纱机理的学术价值，而且工业化生产后，可满足广大消费者对高档面料的需求，可望成为纺织业新的经济增长点，带来新产品开发的可观经济效益。

1.4.2 主要研究内容

本课题所做的工作的目的是研究包覆纺纱工艺对纱线性能，尤其是耐磨性和强伸性的影响，同时探讨分析这种复合纱线与传统罗布麻混纺纱在结构和功能等方面的异同。

(1) 分析罗布麻混纺纱与锦纶长丝的性能，根据纺纱工艺要求和成纱所需性能，选取适当的纺纱因素，并初步设定工艺参数。

(2) 对纺纱工艺参数进行优化设计，分析纺纱工艺条件对纱线质量的影响，得出最优包覆工艺，以达到使纺制的纱线具有良好的外观效果和优良的内在品质。

(3) 高强耐磨性复合纱线的试纺与性能测试，在研究成纱工艺和成纱机理的基础上按照充分保持罗布麻纱原有特性的前提下，提高纱线耐磨性的要求设计纱线，对纱线的断裂强力、断裂强度、断裂伸长、耐磨性等指标进行测试，对比不同工艺参数纱线性能指标的差异。

(4) 高强耐磨复合纱线织物的开发，按照初步优选的方案，优化针织编织上机工艺参数，对最优工艺参数进行验证。

第二章 HKV141D—I 型包覆丝机及原料性能概述

2.1 HKV141D—I 型包覆丝机简介^[21-22]

空心锭子纺纱又称包覆纺纱或包缠纺纱。它是利用空心锭子进行纺纱的一种新型纺纱技术，一般是将平行或稍有假捻的纤维束或单纱作芯纱，化纤长丝或短纤纱在空心锭子带动下高速旋转并退绕包缠于芯纱外层形成包缠纱。由于在包覆纺纱发展初期，芯纱的纤维为没有捻度，纤维呈平行伸直状态，又称为平行纺纱，此称呼沿用至今。

本课题采用浙江精工科技股份有限公司研制的 HKV141D—I 型包覆丝机进行纺纱试验，芯纱为 14.6tex 罗布麻混纺纱，外包锦纶长丝纺制高强耐磨锦纶/罗布麻包覆纱。

2.1.1 包覆丝机的用途

HKV141D—I 型包覆丝机适用于对各种规格芯丝与外包丝（纱）单、双层包覆加工，例如，芯丝为氨纶丝或橡胶丝等，外包丝可根据需要是真丝、人造丝、中高支棉纱、高支毛纱和麻纱等皮芯结构的弹性包覆纱。该机可采取不同规格芯丝与外包丝（纱）的组合，加工生产出性能独特、风格规格各异的包覆纱，供制作高档次、高品位针梭织品的纱线原料。

本包覆丝机在纺纱的同时也可用作并纱；如对机器稍加改造，取消芯丝预牵伸积极喂入装置后又可纺制涤纶等非弹性长丝为芯的骨架纱。

2.1.2 包覆丝机的规格

HKV141D—I 行包覆丝机主要规格和技术参数如表 2.1 所示。

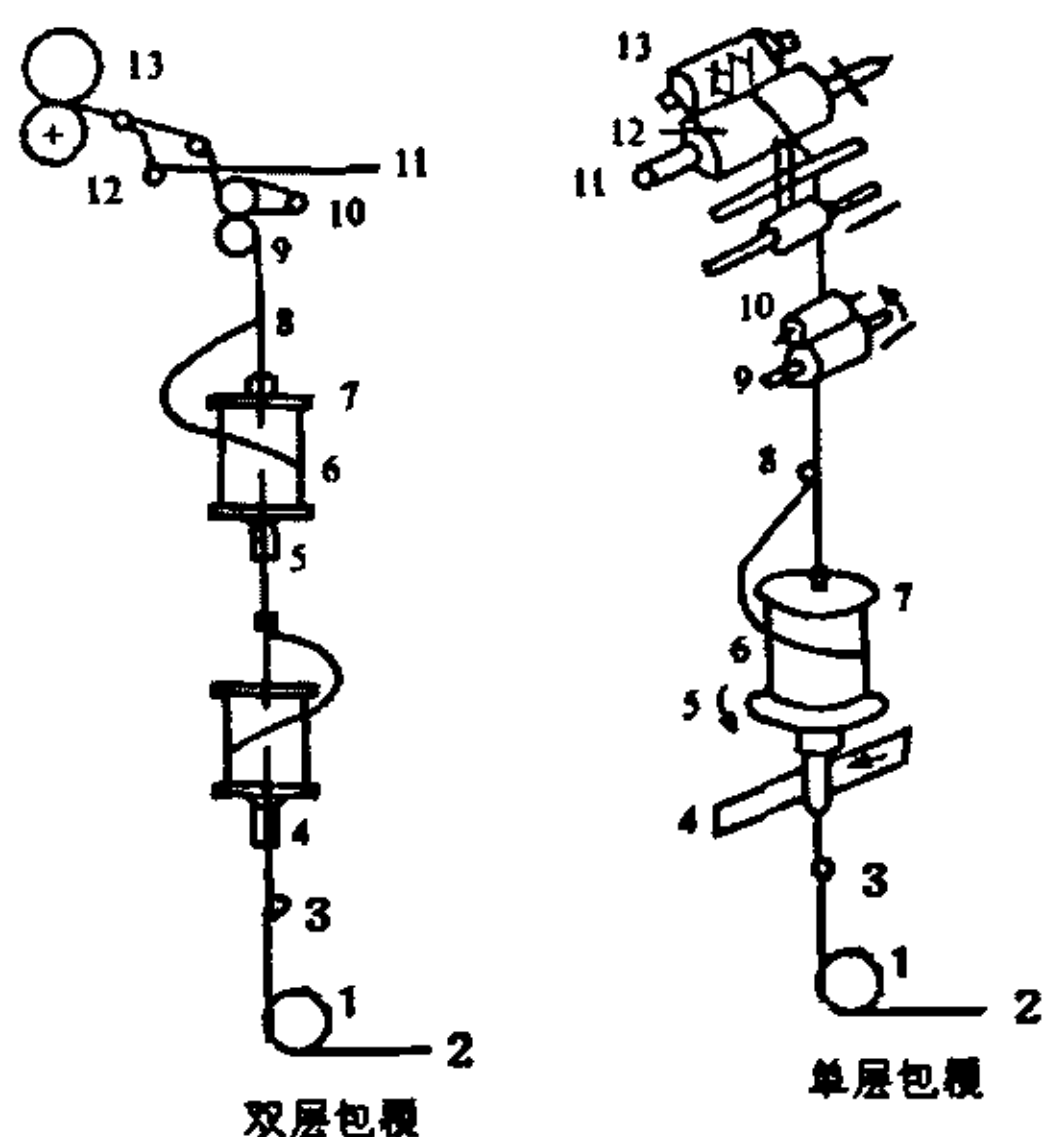
表 2.1 主要规格和技术参数指标

项目	单位	规格或特征
单（双）包覆锭位数	锭	样机 24（12） 整机 192（96）
锭距	mm	260
包覆捻度	T/m	200-3500
锭速（空载）	r/min	7000-14000（随着容量增大锭速下降）
锭速调整		变频调速（或更换皮带轮）
包覆型式		双面双层（单包）、双面单层（双层）
导丝往复传动型式		凸轮
导丝成形		10—16°机械成型
捻向		Z 捻和 S 捻自由切换
芯丝牵伸倍数	倍	1.6—4.5
卷取速度	m/min	max40
成纱特数	tex	2.2-50

2.1.3 包覆丝机的工作原理

2.1.3.1 包覆丝机的纺纱过程

锦纶/罗布麻包覆纱是在空心锭子纺纱机上纺制的。图 2.1 为 HKV141D—I 型包覆丝机单双层包覆纱纺制工艺流程图。



1—喂料辊 2—罗布麻纱 3—导纱器 4—龙带 5—空心锭子 6—外包锦纶丝
7—双边筒子 8—气圈导丝钩 9—引纱罗拉 10—压辊 11—往复运动导纱器
12—卷取辊 13—包覆纱平行筒子

图 2.1 单双层包覆纱纺制流程

全机分为罗布麻喂给、锦纶包覆和卷取三部分。工作时，上下两组空心锭子（单层包覆使用一组）在龙带带动下，以相反方向回转，空心锭子上的锦纶外包覆丝由于其回转而被引出、加捻，并包覆在从空心锭子中穿出的罗布麻细纱上。包覆纱经引纱辊、往复导纱器最后被卷绕成平行筒子。

筒形罗布麻混纺纱筒 2 在喂料辊 1 的带动下积极退解，并施加一定的预加张力，经导纱器 3 后，喂入空心锭子 5。当罗布麻混纺纱从空心锭杆引出后，空心锭子在龙带 4 的摩擦带动下高速回转，从而使套在锭子上的双边筒子 7 上的外包锦纶长丝 6 高速旋转而退解，在气圈导丝钩 8 的作用下，外包丝形成包覆气圈。包覆气圈绕锭杆中心一转，外包锦纶长丝就被加上一个捻回。随着空心锭子的连续高速回转和芯纱的连续被牵引输出，外包锦纶长丝就不断地被加捻并包缠到芯纱上而形成单包覆纱。在卷取区，借助成形机构控制的往复运动导丝器 11 按一定的规律往复运动，从而将引纱罗拉 9 引出后的包覆纱经卷取辊 12 卷绕成平行筒子纱 13。如果上下两组空心锭子对齐同时使用，经下层空心锭子包缠后的包覆纱再经反向旋转的上层空心锭子上的外包丝加捻包缠即形成双层包覆纱。

2.1.3.2 包覆纱的纺纱工艺流程

锦纶/罗布麻包覆纱纺制工艺流程如图 2.2 所示。

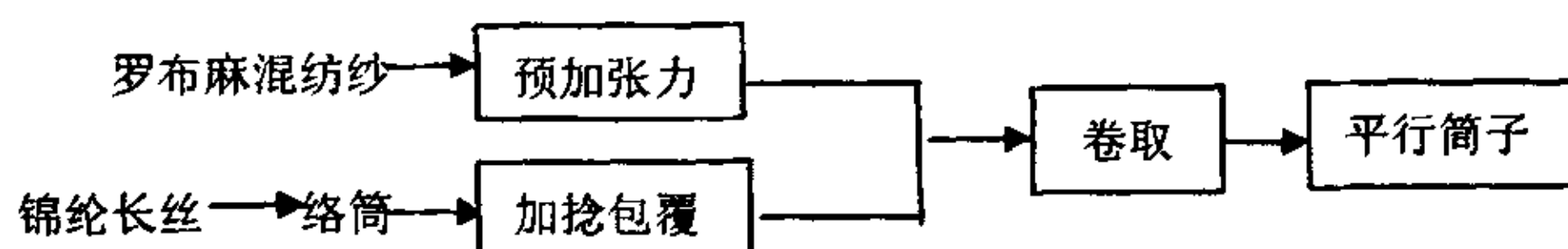


图 2.2 锦纶/罗布麻包覆纱纺制工艺流程

2.1.4 包覆丝机的主要结构和特点

2.1.4.1 包覆锭子及气圈控制装置

在包覆纱的纺制过程中，锭子转速恒定与否影响着包覆度均匀程度，因而关系到成纱质量的优劣。该机采用了锥形锭杆及合理的防震结构，从而确保锭子可高速运转，同时采用弧形排列具有转速均匀、低振幅、低功耗的优良性能。

双边筒子随锭子高速回转时，外包丝形成气圈并产生一定的包覆张力，此张力的对包覆纱的质量也有较大影响，为严格控制外包丝气圈的大小及形状并保持气圈稳定及张力大小，该机设计有气圈导丝钩并可通过调整高低位置来对外包丝气圈大小及形状加以控制，利于消除包覆纱松紧股现象产生，以提高成纱质量。气圈控制装置机构设计合理，调整操作简便。

2.1.4.2 传动系统

机器的上下层锭子为双电机各自传动，电机主轴带轮分别带动上下龙带切向传动上下层锭子。机器主传动系统由下层锭子电机统一传动，电机输出带动车头主轴经链传动或齿轮啮合传动左右两侧的罗布麻混纺纱喂入辊、预加张力装置，再经牵伸变换挂轮、包覆度变换挂轮、卷取张力变换挂轮三组工艺变换齿轮组后而传动左右两侧的卷取辊。

这种传动系统的设计，确保了左右两侧包覆纱卷绕的同步性，并且消除了纺单包覆纱时上（或下）层锭子的功耗，节约了能源。

包覆度、芯丝牵伸（芯丝为弹性长丝时使用）、卷取张力三组工艺变换齿轮，每组有四个挂轮变换搭配，并且都采用了统一模数的钢齿轮。机器共列举了近两千种挂轮变换形式，并附有精确传动比及详细挂轮搭配方案，使用时可根据工艺设计要求选择对应的变换齿轮搭配，非常方便迅速、准确而又实用。

2.1.4.3 控制系统与成形装置

机器设计有 Z、S 捻向变换开关，并附有转速电脑测试仪用于测试并显示六路（上下层锭速、卷取辊、引纱辊、预牵伸辊及喂料辊）转速或线速度。

电机采用变频调速传动。变频调速软启动的使用，消除了直接启动时引纱辊、空心锭子瞬间转速变化大而引起的包覆度起伏波动的影响，提高了成纱质量。

机器设计有导丝成形箱以替代槽筒成形装置，并具有调节横动幅度、调节倾斜角、防叠、调节络纱角等功能，以保证理想的包覆效果和成形。

2.1.5 包覆丝机的包缠加捻作用

在包覆纱的纺制过程中，双边筒子上的外包锦纶长丝由于空心锭子的高速旋转而被引出、加捻、包缠到穿过空心锭子引出的芯纱上的。包覆纱的加捻程度是以包覆度即经预加张力后的芯纱上单位长度上外包丝所包缠的圈数来表示的。

包覆纱的包覆度、引纱速度与锭速之间的关系为：

$$T_t = \frac{n_d}{v_d} \text{ (圈/m 或圈/10cm)} \quad \text{公式 2-(1)}$$

式中： n_d —锭子转速 (r/min)； v_d —引纱辊线速度 (r/min) 公式 2-(2)

由上式可看出，在一定的锭速下，包覆度大小取决于引纱速度。对于给定的包覆纱某品种及规格锭速一般是恒定的，因此包覆度的大小主要是通过改变引纱速度的大小来调整的。

本机包覆度的大小是通过调整车头箱中的包覆度变换挂轮来改变引纱辊的转速实现的。根据不同包覆度的工艺设计要求,在机器的齿轮搭配方案表中查得包覆度变换齿轮组的各挂轮齿数后,上机变换挂轮搭配。

总而言之,HKV141D—I 型包覆丝机为提高低品质纱线的耐磨性,特别是罗布麻包覆纱的产品研发与生产提供了一种行之有效的技术途径,适合用于我们的加工高强耐磨复合纱线的需要。

2.2 罗布麻的纺织价值

2.2.1 罗布麻的研究现状^[24-26]

早在 300 年前人们就已将罗布麻用于纺织加工,我国新疆尉犁、若羌等地劳动人民就用罗布麻茎皮纤维纺纱织布^[23]。但是由于当时的纺织水平很低,罗布麻纤维含胶量比较高,整齐度差,抱合力不好,易脆裂分叉,造成纺纱困难,因而罗布麻纤维未得到合理的大规模开发,造成极大的浪费。从上世纪五十年代开始,罗布麻资源逐步引起我国学者和政府的重视,并开展了初步的考察和利用研究,但是当时仅从纺织原料短缺出发,以解决棉粮争地为目的而试图开发罗布麻的纺织利用,由于其中的一些关键技术一直未得到突破,后又因我国纺织原料问题从其他途径得到较好解决,所以罗布麻的研究与开发利用曾一度中断。直到二十世纪八十年代以后,才又有一些零星的报道。迄今,罗布麻资源的研究工作一直未能系统而深入地进行,特别是近年来,由于整个生态环境日趋恶化和自然资源的过渡利用,罗布麻资源也遭受了相当程度的破坏,因此如何保护罗布麻资源,并在保护的基础上充分开发利用这笔宝贵的财富,已是刻不容缓的重大课题。所以随着科学技术的不断发展,加强对罗布麻资源的综合利用具有重要的经济与社会意义。

罗布麻纤维是一种韧皮纤维,它的特性,要比人们熟悉的苧麻还要好,其表现为罗布麻的纤维较苧麻纤维细得多,且手感柔软,有天然丝的光泽,麻的挺括,棉的柔软,绒的展性,并且有药理作用,是其它纺织原料所不能比拟的,被我国麻类专家丰云鹤等誉为“野生纤维之王”。丰云鹤教授与熊予麟同志曾撰文指出,运用细致的化学脱胶法,罗布麻韧皮中提炼出的柔软洁白而带丝光的纤维,其细度比苧麻还细,强力比苧麻稍高,比棉纤维高 4~6 倍。用罗布麻制成的服装面料不但吸湿好,还有降血压的疗效。上海、北京等有关医疗研究部门临床应用研究表明,罗布麻针织服装穿着后对高血压、心脏病、冠心病、更年期综合症、颈椎病等都有普遍疗效,特别在改善自觉头晕、目眩等有明显疗效,是一种治病健身兼得的保健面料。现在罗布麻作为一种高档针织面料,受到国内外纺织界和医学界的关注和重视。

鉴于罗布麻具有良好的保健及抑菌性能,尤其适宜于制作贴身穿着的针织内衣产品,国内不少针织企业及研究院所对研制开发罗布麻针织内衣倍加青睐。为了改善纱线毛羽较多,不利于针织成圈的现状,在纱线准备工序中需经过两道槽筒络纱,并经上腊处理,以利于编织的顺利进行。

不少研究者对罗布麻纤维针织编织工艺进行探索,认为纱线输送张力需加以严格控制,一般纱线张力控制在较低水平,有利于成圈过程顺利进行。

罗布麻染整一般与其他麻类针织物采用相似的工艺,其染整加工工艺一般采用下列流程:

纱线前处理→织造→漂白→染色→酶处理→柔软处理→定型。

罗布麻纤维可纯纺或与棉、毛、丝、化纤混纺,由于罗布麻具有很高的药用价值,因此可开发生态、多功能纺织品^[27-28]。目前,在科技人员的努力下,罗布麻的纺织科研及产品开发工作取得较大进展^[29-34],如上海、陕西、甘肃等地利用罗布麻纯纺或与棉、毛绢丝混纺成50—160支细纱,织成凡立丁、细麻布、麻丝交织布及麻绢绸等。新疆纺织科学研究所采用罗布麻与棉、毛、绢进行混纺的试验,证实可纺性好,适于在棉纺设备上进行。江苏无锡市天元纺织(集团)公司在利用罗布麻的保健功能及纤维独特的性能上更进一步进行强化、扩展,他们运用功能复合形成协同效应的原理,开发了新一代“多功能复合罗布麻产品”。山东新潮实业股份有限公司与青岛大学和德棉纺织集团公司合作,对新疆罗布麻纤维进行了纺织加工一条龙开发研究,并研制成功可利尔牌系列罗布麻健康内衣和床上用品。还有上海申新纺织九厂的“神麻”牌、上海针织品总汇的“天鹅”牌以及上海第七棉纺织厂和上海针织十一厂的罗布麻保健服饰均已面市,而且还有更多的纺织企业将开发的目标瞄准了罗布麻。罗布麻成为麻类纤维中较为走红的一种衣着类天然纺织原料,正是由于它具有独特的保健功能,所以在“崇尚自然、返朴归真”的潮流中越来越引人注目。

2.2.2 罗布麻的理化性能

2.2.2.1 物理性能

罗布麻属植物纤维中的韧皮纤维,纤维两端封闭,中间有空腔,表面有竖纹和横节。罗布麻纤维的细度约为0.3~0.4tex,长度与棉纤维相近,平均长度为20~25mm,但长度差异较大,其幅度为10~40mm,宽度约为10~20mm,纤维洁白,质地优良。但由于表面光滑无卷曲,纤维间抱合力差。罗布麻的形态结构决定了它具有良好的吸湿透气性。现将罗布麻与亚麻、苎麻的物理性能比较如表2.2所示。

表2.2 罗布麻纤维物理性能与亚麻、苧麻比较情况

性能	罗布麻	亚麻	苧麻
细度/dtex	3.3	2.1	3.9
吸湿性/%	25	8.6	25
透气性/%	100	89	100

2.2.2.2 化学性能

罗布麻纤维的主要化学成分为纤维素，如表2.3所示。

表2.3 罗布麻纤维与苧麻纤维主要化学成分对比

品种	纤维素/%	半纤维素/%	木质素/%	果胶/%	水溶物/%
罗布麻	62-72	8-10	3.6-4.5	19-20	——
苧麻	65-75	14-16	0.8-1.5	3-6	6-8

由所列数据可见，罗布麻与苧麻的主要化学成分——纤维素比较接近，而罗布麻果胶含量高，木质素也略偏高，但它们均可通过脱胶工艺及改性处理，并不影响其可纺性。

2.3 锦纶的主要性能

聚酰胺纤维是大分子链上具有 CO-NH 基的一类纤维的总称，常用的为脂肪族聚酯胺，主要品种有聚酯胺 6 和聚酯胺 66，我国商品名称为锦纶 6 和锦纶 66。锦纶是世界上最早的合成纤维品种，由于性能优良，原料资源丰富，因此一直是合成纤维产量最高的品种。直到 1970 年以后，由于聚酯纤维的迅速发展，才退居合成纤维的第二位。锦纶纤维以长丝为主，少量的短纤维主要用于和棉、毛或其它化纤混纺。锦纶长丝大量用于变形加工制造弹力丝，作为机织或针织原料。锦纶纤维一般采用熔体法纺丝。

锦纶的最大特点是强度高、耐磨性好。据测定，锦纶纤维的耐磨为棉纤维的 10 倍、羊毛的 20 倍、粘胶的 50 倍，耐磨性能居各种纤维之首。用锦纶与羊毛或粘胶纤维混纺可显著提高织物的耐磨性能，例如，在羊毛中混入 15% 的锦纶，其耐磨性可提高 3.5 倍，若在粘胶纤维中混入 15% 的锦纶，其耐磨性可提高 1 倍左右。在民用上大量用于加工袜子和其它混纺制品，提高织物的耐磨牢度，但是锦纶纤维模量低，抗褶皱性能不及涤纶，限制了锦纶在衣着领域的应用。锦纶帘子线的寿命比粘胶大 3 倍，冲击吸收能大，因此轮胎能在坏的路面上行驶，但由于锦纶帘子线伸长率大，汽车停止时，轮胎变形产生平点，起动初期汽车跳动厉害。因此只能用于货车的轮胎，不宜作客车的轮胎帘子线之用。

锦纶纤维表面平整，不加油剂的纤维摩擦系数很高，锦纶油剂贮存日久易失效，

纺织加工时还需要重新添加油剂。

锦纶纤维的吸湿比涤纶高，锦纶 6 和锦纶 66 在标准条件下的回潮率为 4.5%，在合纤中仅次于维纶。染色性能好，可用于酸性染料，分散性染料及其它染料染色。

锦纶纤维耐碱不耐酸，在 95℃ 下用 NaOH (10%) 处理 16h 后的强度损失可忽略不计，酰胺基容易酸解，导致酰胺键断裂，使聚合度下降。锦纶溶解于 59% 硫酸和热的甲酸和乙酸中，锦纶 6 和锦纶 66 分别溶于 15% 和 20% 的盐酸。

锦纶 6 和锦纶 66 的玻璃化温度较低，干态约 45-60℃，水中玻璃化温度可降至室温以下。由于锦纶分子链柔顺，耐热性较涤纶差，锦纶 6 熔点 210-215℃，300℃ 时分解，最高耐热温度 93℃。锦纶 66 熔点 255℃，最高耐热温度 130℃，耐热性优于锦纶 6，但热稳定性比锦纶 6 差。氧的存在能使分解加速，使分解温度下降。

聚酰胺大分子两端的端基对光、热、氧较为敏感，导致锦纶纤维不耐光，容易变色和发脆，因此锦纶织物不宜长期在阳光下曝晒。

锦纶由于大分子链上引进了芳香环，降低了分子柔顺性，提高了分子链的刚性，使纤维具有高强度、高模量、高熔点，甚至不会熔化等特点。

2.4 本章小结

本章主要介绍了 HKV141D—I 型包覆丝机的工作原理及结构特点。随着人们生活水平的改善，对服装穿着舒适性要求也日益提高，使罗布麻近几年在纺织服装上获得了广泛的应用，具有较高的纺织价值，但由于罗布麻植物本身的特点和初加工工艺不完善，致使其精干麻质量较差，严重影响了罗布麻成纱及织物品质，而锦纶长丝最大的特点是强度高、耐磨性好，用锦纶长丝作为外包层，包缠罗布麻纱，纺制锦纶/罗布麻包覆纱织成的织物可以显著提高罗布麻织物的强力和耐磨性能。

第三章 单因素设计试验

3.1 目的和意义

从对HKV141D—I型包覆丝机的概述中我们能够归纳出一些重要的纺纱参数,但是对实际生产而言,只是优选出对成纱质量影响较大的工艺参数还远远不够,实际生产要求的是能够建立合适的工艺配置来保证生产质量的最优。浙江精工科技股份有限公司在HKV141D—I型包覆丝机说明书中给定了纺纱参数的调节范围,为了能够找到各个参数的最优点,我们分别对几个重要的参数作单因素优化方案,在其它参数不变的情况下,进行纺纱试验。因此,必须通过对这些工艺参数进行某种试验设计,对试验结果进行分析,建立起合适的数学模型,以便能够对生产预先进行工艺参数的最优配置,从而可以指导生产。

3.2 工艺优化和影响因素分析

利用包覆纺纱方法来提高纱线的耐磨性是一种新型的纺纱理念,具有一定的创新性和前沿性。本试验我们利用HKV141D—I型包覆丝机,结合以前工作者的经验及本作者的试纺实践,在对40°罗布麻/棉/涤混纺纱进行包缠时,对主要纺纱工艺参数进行优化选择。主要是寻找并确定影响纺纱工艺的参数及配置,即影响锦纶/罗布麻包覆纱强伸性及耐磨性的参数,然后采用数学方法设计安排试验。由于罗布麻植物本身的特点和初加工工艺不完善,导致精干麻质量较差,罗布麻纱强力较低,在纺纱过程中易出现断头现象,目前世界上还没有成熟的罗布麻高支纱纯纺工艺,因此,选取40°罗布麻/棉/涤混纺纱(以下简称罗布麻混纺纱)作为本试验芯纱所需原料。

资料表明,纱线的结构与性能受到不同纺纱方法、纺纱工艺及测试条件的影响而趋于多样化。本试验的影响因素很多,如外包丝的纤度、包覆度及芯纱的细度、预加张力、导丝钩与锭子顶端的距离(简称导丝钩距离)、包覆方向(即Z向或S向包覆)、包覆工艺类型(即单包覆或双包覆)等。其中,①根据纺纱工艺要求及设备试验条件,选取本文的试验产品的芯纱细度为40°,即14.6tex罗布麻混纺纱作为芯纱;②由于包覆捻度与罗布麻混纺纱自带的捻度相互独立,Z向或S向包覆不会增加或减少原罗布麻混纺纱的捻度,故包覆方向对锦纶/罗布麻包覆纱的性能影响较小,选取包覆方向为Z向;③根据包覆纺纱工艺特点,单、双层包覆对成纱性能影响变化趋于一致,基于简化试验原则,以单包覆为例作为包覆类型工艺进行试纺试验。

根据以上分析,试验要考虑的因素有:外包丝的纤度、包覆度、芯纱的预加张

力、导丝钩距离等^[35-37]。通过单因素优选法及作者试纺实践,对所述工艺参数选取几个合适的安排试验。通过单因子试验测试得出锦纶/罗布麻包覆纱力学方面的指标,其中包括断裂强力、断裂强度、断裂伸长、断裂伸长率、摩擦失重率等,然后绘制出各单因素与包覆纱力学性能及耐磨性能的曲线图。最后进行单因素试验的方差分析,检验影响纱线性能方面的显著性,得到回归方程,得出结论并分析原因,选取最佳参数。根据所选取的数据安排试验,确定本试纺试验的因素水平如表3.1所示。

试验原料的主要物理性能指标如表3.2所示。

表3.1 试验因素水平表

因素 水平	外包丝纤度/D	包覆度/圈·m ⁻¹	芯纱预加张力/cN	导丝钩距离/mm
1	10	400	6	35
2	15	500	9	45
3	20	600	12	55
4	25	700	15	65
5	30	800	18	75

表3.2 试验原料的主要物理性能指标

品种	断裂强力/cN	断裂强度/cN·dtex ⁻¹	断裂伸长率%
15D/5F (锦纶66)	63.66	38.12	27.59
20D/10F (锦纶66)	91.60	41.26	29.69
30D/12F (锦纶66)	145.07	43.56	31.22
14.6tex JC/L/T (60/35/5)	173.9	9.66	2.608

3.2.1 外包丝纤度的影响

3.2.1.1 外包丝纤度的影响测试结果

为了说明外包丝纤度对成纱性能的影响,寻找出最佳的外包丝纤度,我们设计如下试验。在其它工艺参数不变的情况下,依据表3.3所示的外包丝纤度水平改变外包丝纤度,成纱力学性能及耐磨性能如表3.4所示。

表3.3 外包丝纤度试验因素水平组合

因素 试验编号	外包丝纤度	包覆度	芯纱预加张力	导丝钩距离
W1	1	3	3	3
W2	2	3	3	3
W3	3	3	3	3
W4	4	3	3	3
W5	5	3	3	3

表3.4 外包丝纤度对成纱力学及耐磨性能的影响

指标 试验编号	断裂强力 /cN	断裂强度 /cN·tex ⁻¹	断裂伸长 /mm	断裂伸长率 /%	摩擦失重率 /%
W1	208.766	13.297	14.826	2.965	23.7
W2	224.282	13.852	15.153	3.030	20.5
W3	230.075	14.017	16.273	3.254	19.1
W4	238.898	14.205	15.628	3.126	15.2
W5	257.086	14.922	14.975	2.995	13.6

3.2.1.2 外包丝纤度的影响分析

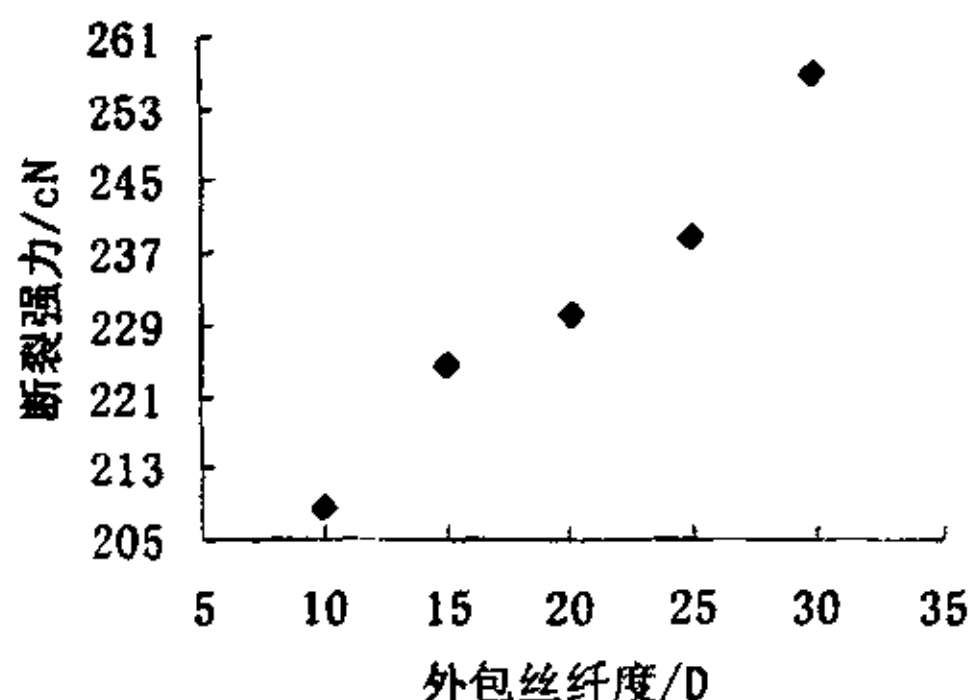


图 3.1 外包丝纤度与断裂强力的关系

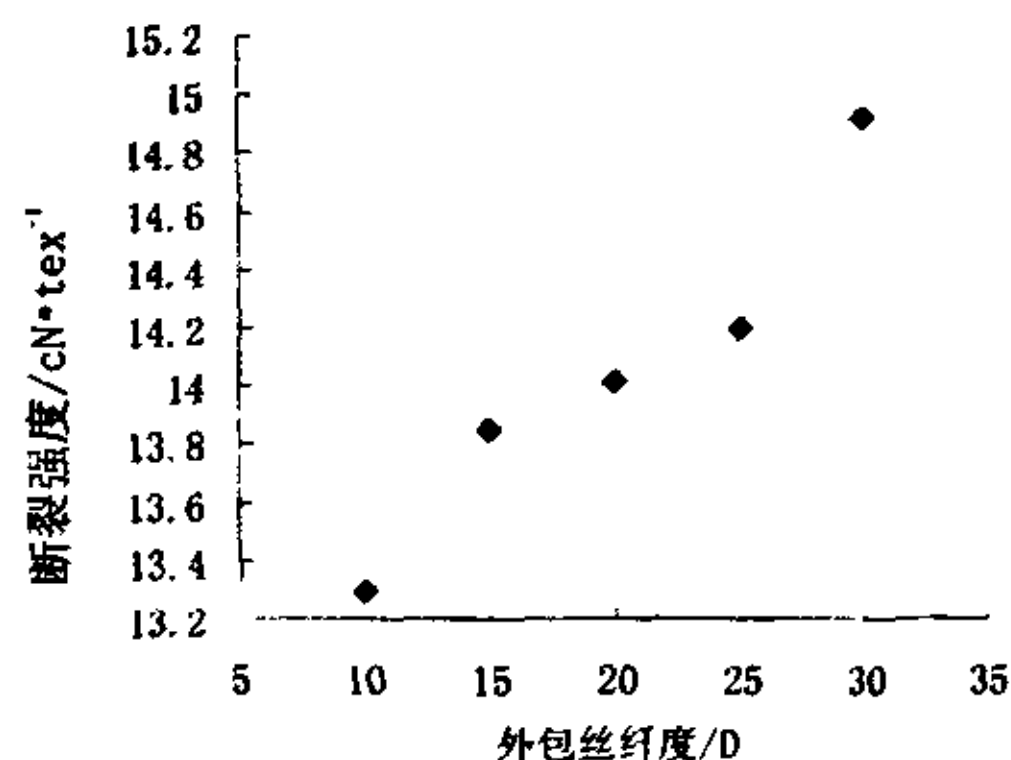


图 3.2 外包丝纤度与断裂强度的关系

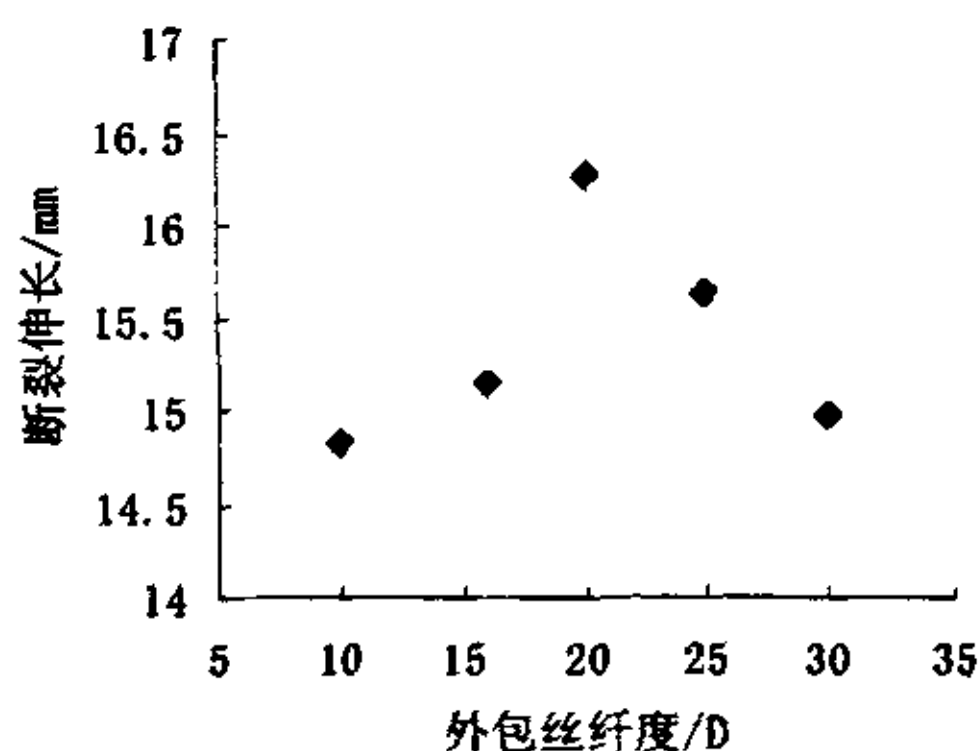


图 3.3 外包丝纤度与断裂伸长的关系

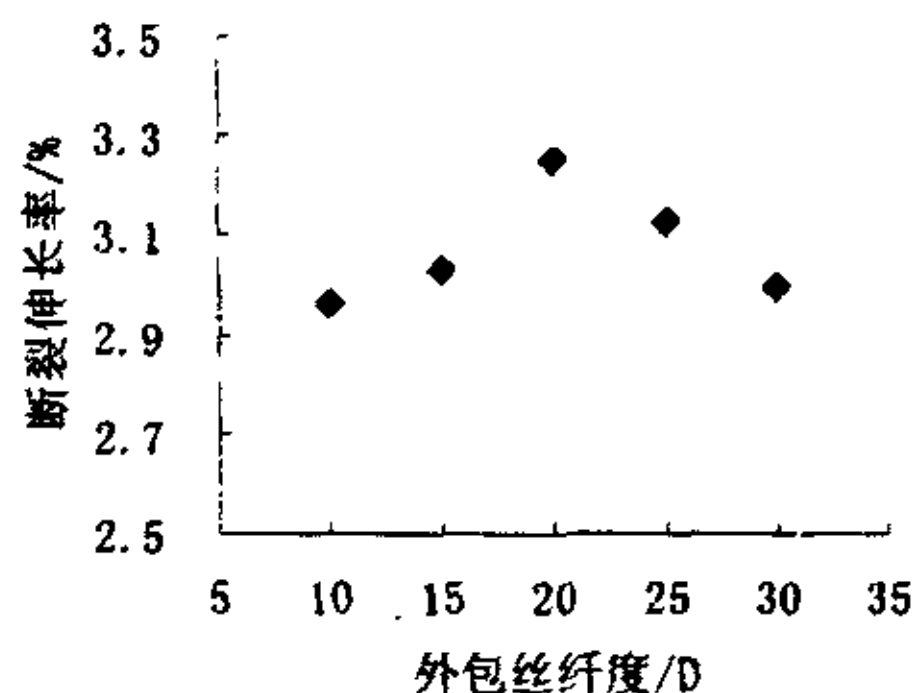


图 3.4 外包丝纤度与断裂伸长率的关系

由图3.1-3.4可以看出，随着外包丝纤度的增加，锦纶/罗布麻包覆纱的断裂强力和断裂强度有明显的增大趋势，断裂伸长和断裂伸长率则呈现先增大后减小的趋势。包覆纱的断裂是以罗布麻芯纱的断裂为基准。锦纶/罗布麻包覆纱在拉伸过程中，外层长丝对内层芯纱产生轴向的压力，外包丝纤度越大，复丝中含有的单丝根数越多，表面接触面积越大，之间产生的摩擦力越大，内外层之间抱合得越紧密，强力就越高，断裂伸长随之增大。当外包丝纤度增大到一定程度时，由于外层长丝对芯纱的轴向压力增大，使具有较大伸长的锦纶长丝回缩受到一定限制，断裂伸长和断裂伸长率出现减小的现象。

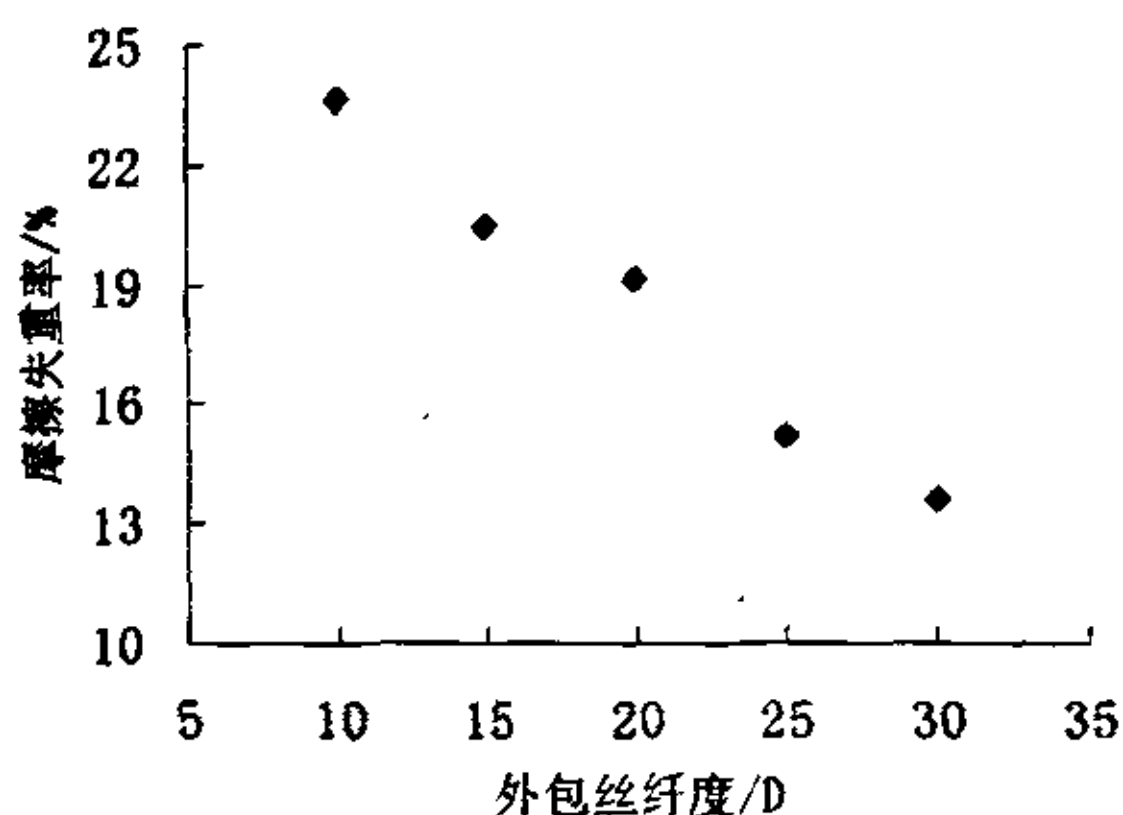


图 3.5 外包丝纤度与摩擦失重率的关系

由图3.5可以看出，锦纶/罗布麻包覆纱摩擦后重量的损失率随外包丝纤度的增大呈现逐渐减少的趋势。纱线的耐磨性主要取决于外层纤维的抗磨能力，作为外包丝的锦纶长丝强度高、耐磨性好，它的强度及耐磨性居所有纤维之首，随着锦纶长丝的纤度增大，与磨料摩擦时，摩擦接触面增加，锦纶/罗布麻包覆纱的重量损失率减少，提高了原罗布麻混纺纱的耐磨性。

3.2.2 包覆度的影响

3.2.2.1 包覆度的影响测试结果

为了说明包覆度对成纱性能的影响，寻找出最佳的包覆度，我们设计如下试验。在其它工艺参数不变的情况下，依据表3.5所示的包覆度水平改变包覆度，成纱力学性能及耐磨性能如表3.6所示。

表3.5 包覆度试验因素水平组合

因素 试验编号	外包丝纤度	包覆度	芯纱预加张力	导丝钩距离
B1	3	1	3	3
B2	3	2	3	3
B3	3	3	3	3
B4	3	4	3	3
B5	3	5	3	3

表3.6 包覆度对成纱力学及耐磨性能的影响

指标 试验编号	断裂强力 /cN	断裂强度 /cN·tex ⁻¹	断裂伸长 /mm	断裂伸长率 /%	摩擦失重率 /%
B1	205.473	13.137	13.558	2.712	20.7
B2	225.597	13.852	15.787	3.157	18.6
B3	239.678	14.563	16.235	3.247	17.2
B4	232.562	13.519	14.883	2.978	15.8
B5	227.976	12.952	13.822	2.764	16.5

3.2.2.2 包覆度的影响分析

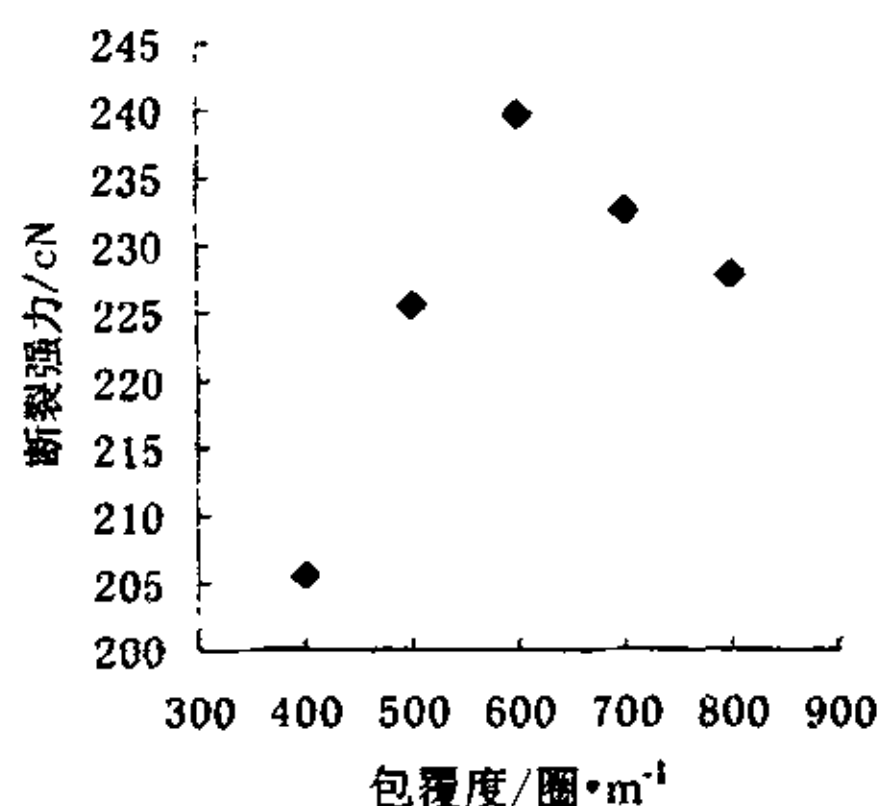


图 3.6 包覆度与断裂强力的关系

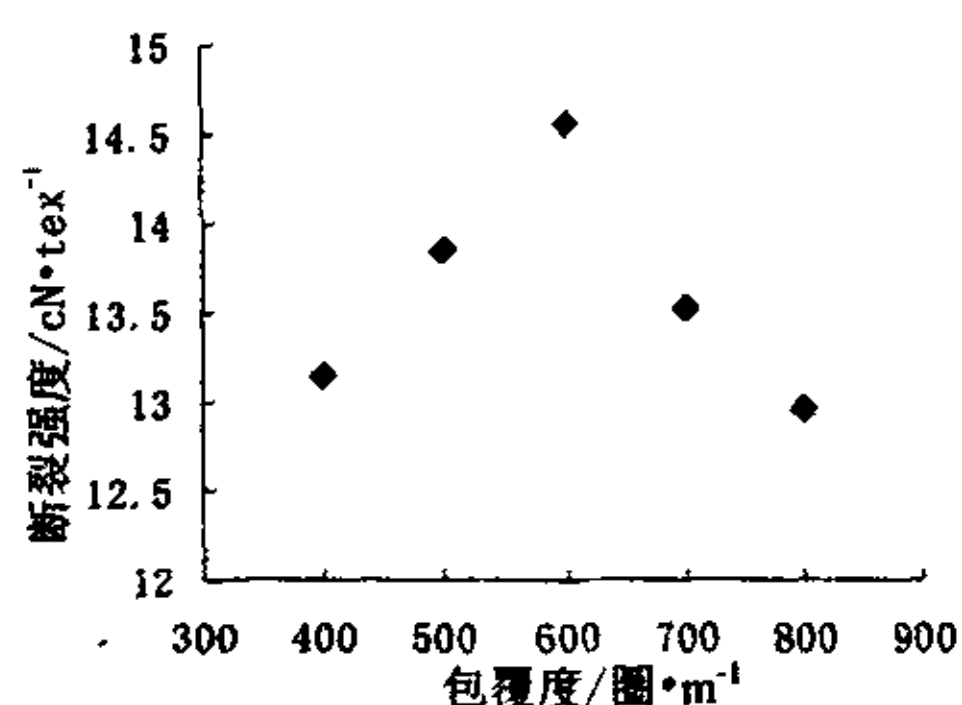


图 3.7 包覆度与断裂强度的关系

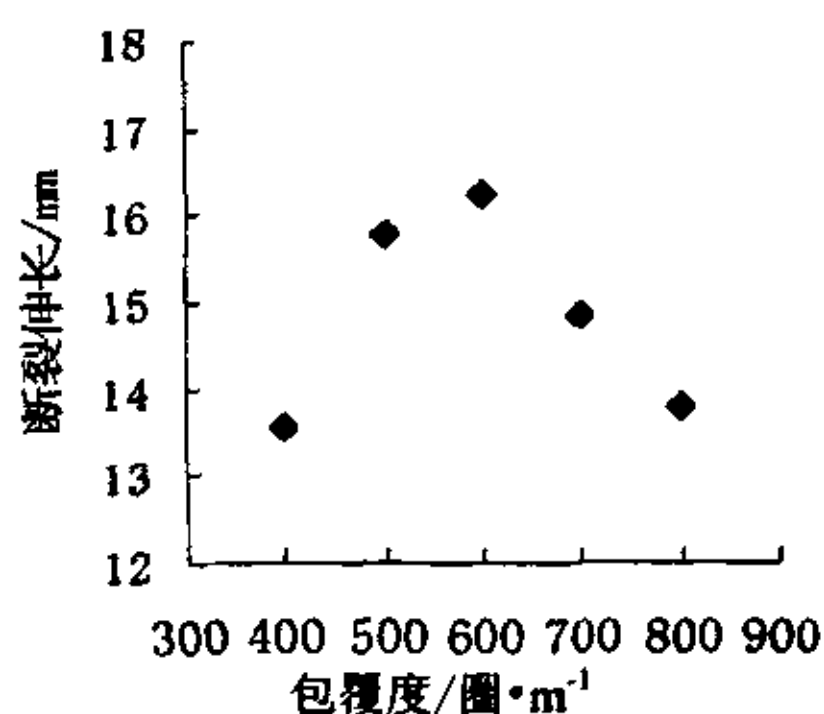


图 3.8 包覆度与断裂伸长的关系

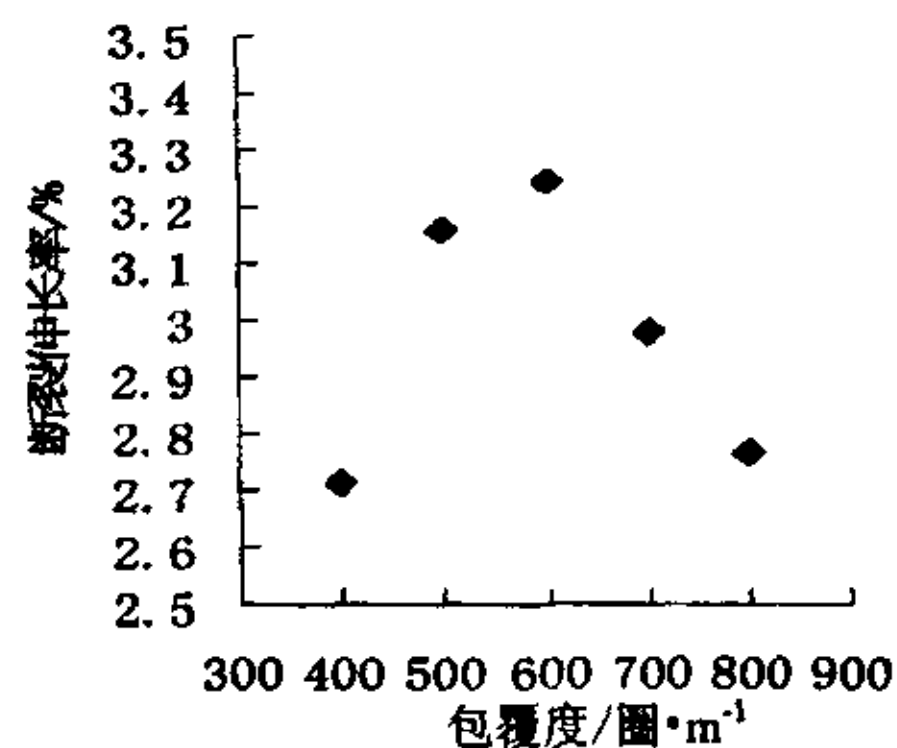


图 3.9 包覆度与断裂伸长率的关系

由图3.6-3.9可以看出，当纱线的包覆度增大时，纱线的断裂强力、断裂强度、断裂伸长、断裂伸长率都有明显增大的趋势，但是当包覆度增大到一定程度时，纱线的以上指标便出现下降的现象。包覆纱的断裂有三种可能性：外包长丝断裂、芯纱断裂和芯纱纤维滑脱。包覆度的增加，对于纱线强力等会同时产生消极的和积极

两方面的作用。

包覆度增加对纱线强力等因素的积极作用为锦纶外包长丝比罗布麻芯纱强力大，随着包覆度的增加，长丝在成纱中所占的比例增加，纱线强力得到提高。随着包覆度的增加，外包长丝对芯纱的压力所引起的芯纱纤维间的摩擦力增加，从而使包覆纱断裂时，芯纱纤维中滑脱纤维数减少，断裂根数增多，纤维强力利用率得到提高，同时也增加了滑脱纤维的滑脱阻力。随着包覆度的增加，芯纱纤维的滑动长度减少，从而使芯纱的强力略有增加。

包覆度增加对纱线强力等因素的消极作用为：随着包覆度的增加，外包长丝对纱线的轴向倾斜角增大，使长丝强力在纱条轴向承受的有效分力降低。

包覆度对强力的积极作用和消极作用同时存在。当包覆度较少时，积极作用为主要方面，随着包覆度的增加，纱线的强力上升。当包覆度继续增加，消极作用的增加较积极作用增加较快，故纱线强力增加缓慢。当包覆度增加至某一定值时，则消极作用的增加超过了积极作用的增加，故强力反而逐渐降低。

断裂伸长和断裂伸长率的变化趋势是由于随着包覆度的增大，纱线捻缩现象明显，纱线在受拉之前储存的长度增多，在拉伸时有更多的伸长余地，变形量加大，所以断裂伸长率增加。当包覆度增大到一定程度时，断裂伸长及断裂伸长率也会随强力一起减小。

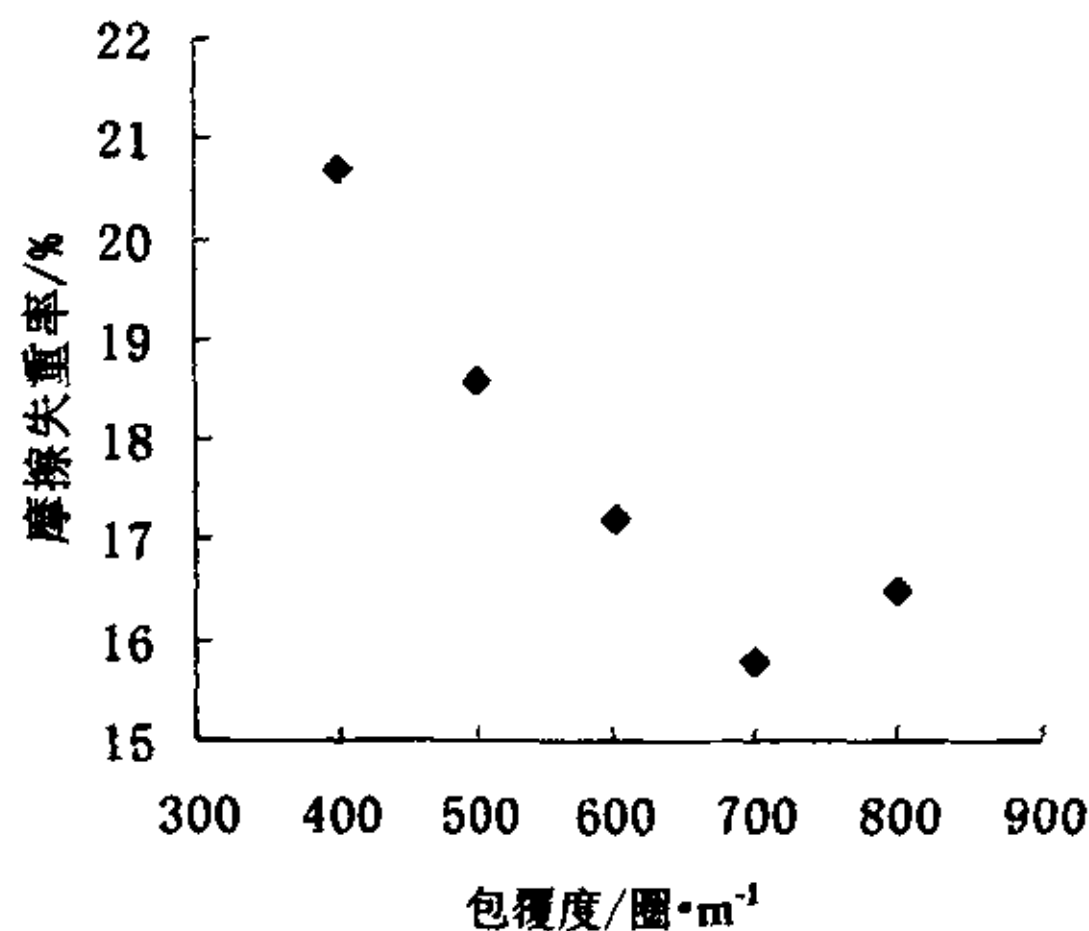


图 3.10 包覆度与摩擦失重率的关系

由图3.10可以看出，随着包覆度的增加，包覆纱的摩擦失重率下降，纱线耐磨性提高，当外包长丝的包覆捻度超过临界包覆度时，摩擦失重率略呈上升趋势，耐磨性略微下降。这是由于随着包覆度的增加，纱线抱合力增强，纤维不容易滑脱，耐磨性增加，同时，随着包覆度的增加，外包锦纶长丝在成纱中所占的比例增加，锦纶长丝的耐磨能力强也提高了成纱的耐磨性。但当包覆度大到一定程度时，以上

两项因素的影响减小, 锦纶/罗布麻包覆纱的耐磨性由于成纱强度的下降而降低。

3.2.3 芯纱预加张力的影响

3.2.3.1 芯纱预加张力的影响测试结果

为了说明芯纱预加张力对成纱性能的影响, 寻找出最佳的芯纱预加张力, 我们设计如下试验。在其它工艺参数不变的情况下, 依据表3.7所示的芯纱预加张力水平改变芯纱预加张力, 成纱力学性能及耐磨性能如表3.8所示。

表3.7 芯纱预加张力试验因素水平组合

因素 试验编号	外包丝纤度	包覆度	芯纱预加张力	导丝钩距离
Z1	3	3	1	3
Z2	3	3	2	3
Z3	3	3	3	3
Z4	3	3	4	3
Z5	3	3	5	3

表3.8 芯纱预加张力对成纱力学及耐磨性能的影响

指标 试验编号	断裂强力 /cN	断裂强度 /cN·tex ⁻¹	断裂伸长 /mm	断裂伸长率 /%	摩擦失重率 /%
Z1	215.400	13.710	15.037	3.007	18.3
Z2	218.416	13.902	15.668	3.134	17.2
Z3	226.962	14.446	17.008	3.402	16.8
Z4	241.357	15.362	16.869	3.374	16.2
Z5	233.876	14.886	16.153	3.323	16.4

3.2.3.2 芯纱预加张力的影响分析

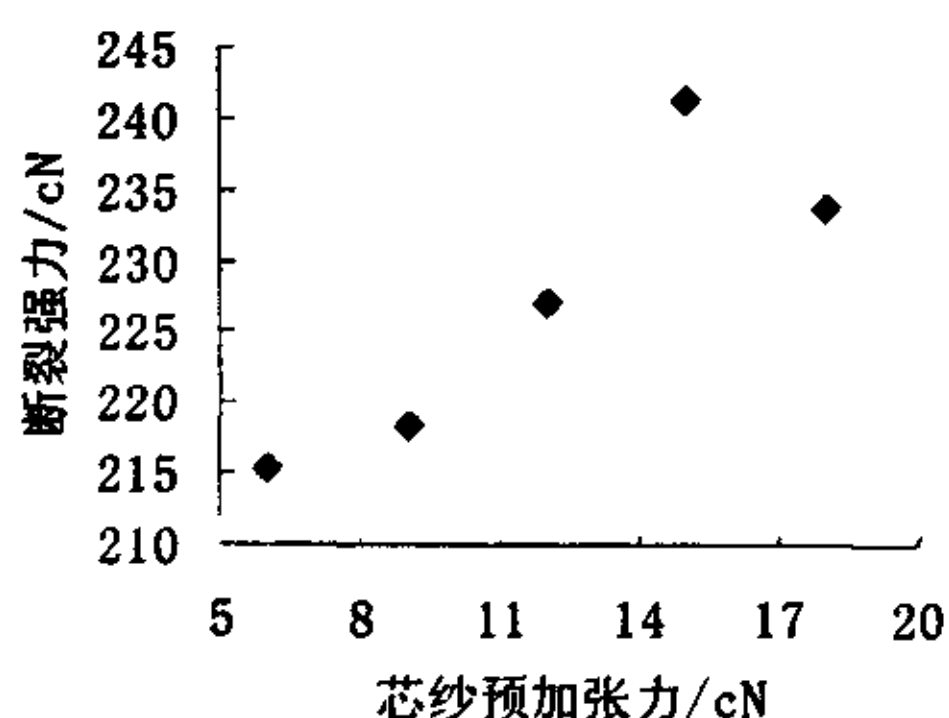


图 3.11 芯纱预加张力与断裂强力的关系

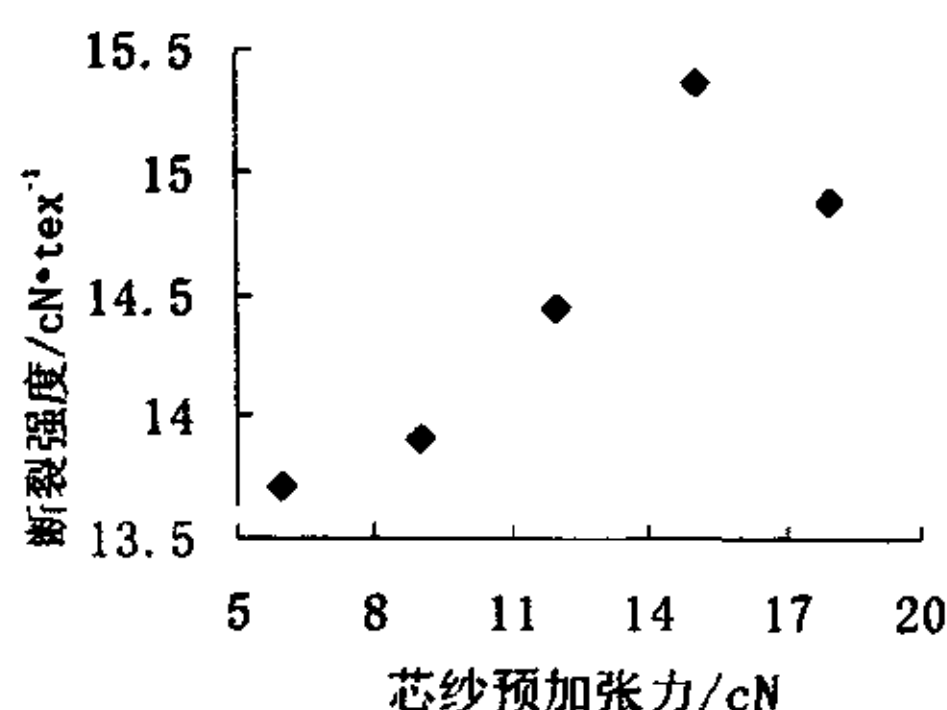


图 3.12 芯纱预加张力与断裂强度的关系

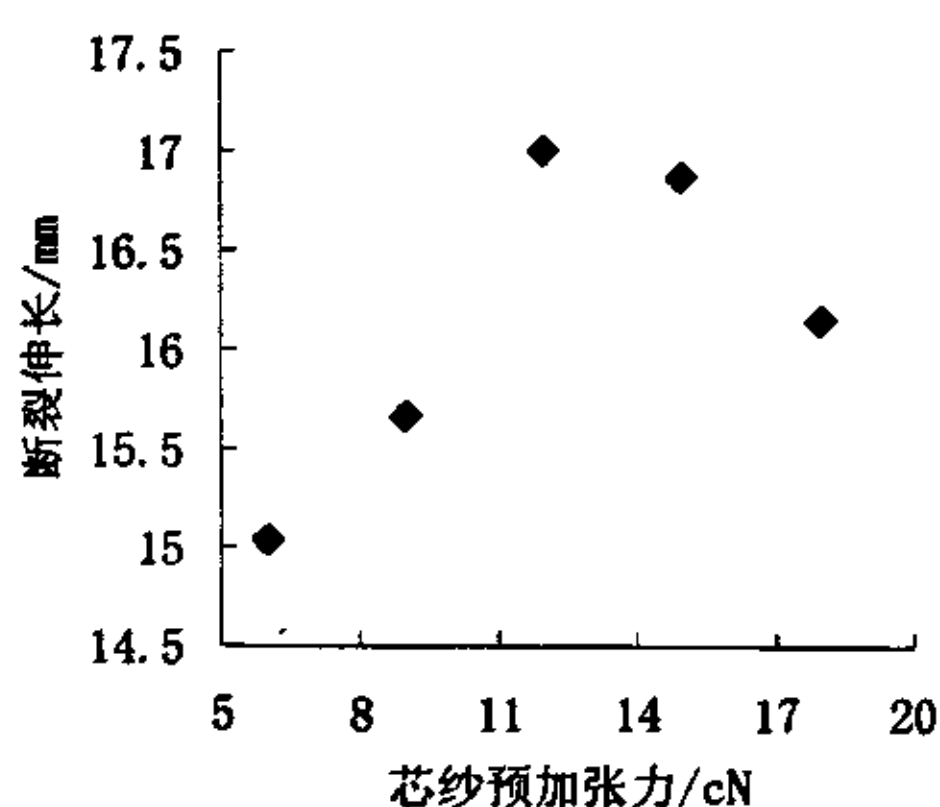


图 3.13 芯纱预加张力与断裂伸长的关系

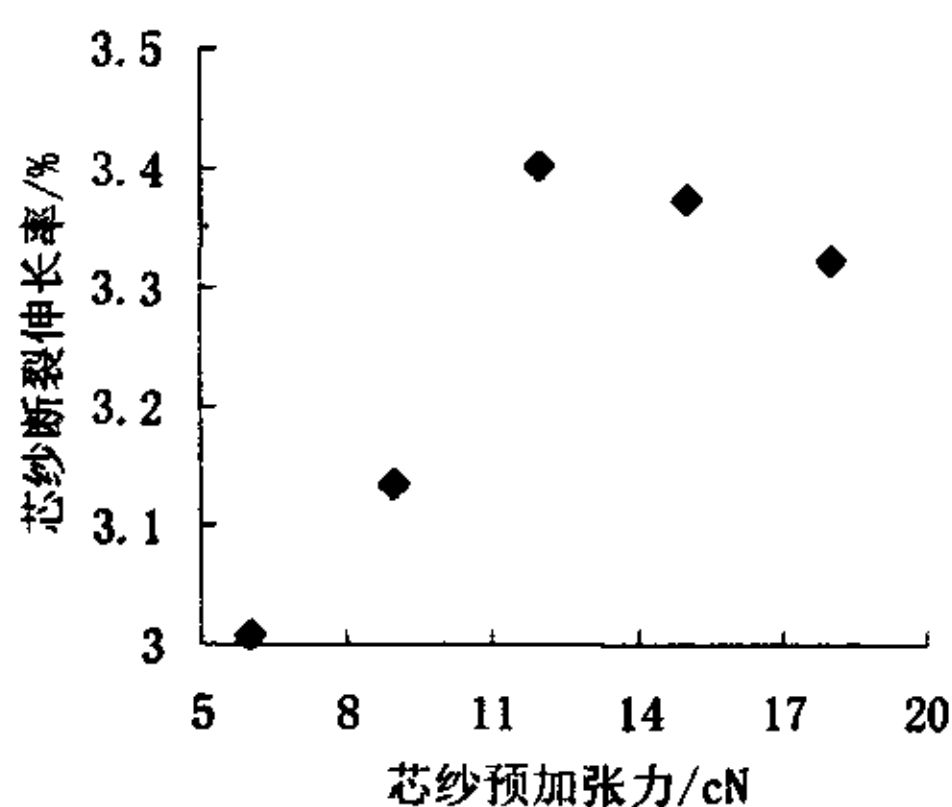


图 3.14 芯纱预加张力与断裂伸长率的关系

由图3.11-3.14可以看出，芯纱的预加张力对包覆纱的强伸性有明显的影响。随着芯纱预加张力的不断增大，其强力及断裂伸长均逐渐增加，当增大到一定程度时，又出现略微下降的趋势。对于锦纶/罗布麻包覆纱的断裂强力、断裂强度、断裂伸长、断裂伸长率四项指标，芯纱的预加张力与的关系曲线均类似于向上突起二次抛物线。当芯纱的预加张力为零时，芯纱对纱线的加强作用很小，在纺纱过程中极易断裂。当芯纱预加张力增大时，芯纱在成纱中将逐步转变为处于纱线中心的直线拉伸状态，当纱线受拉伸时，芯纱将与外包丝同时受力，这时锦纶长丝将对罗布麻纱强力发挥明显的增强作用。包覆纱的强力都有一个最大值，超过此值后，随着芯纱预加张力的增大，包覆纱的强力反而下降。这是在包缠过程中，外包锦纶长丝随锭子高速旋转，缠绕在罗布麻纱外层。当芯纱预加张力超过临界值后继续增大，将会引起外包锦纶长丝与罗布麻芯纱之间的包缠接触状况恶化，当芯纱的预加张力过大时，外包锦纶长丝和罗布麻芯纱之间将发生相对滑动，造成纺纱时的“剥皮”现象，造

成锦纶/罗布麻包覆纱强力及断裂伸长下降。

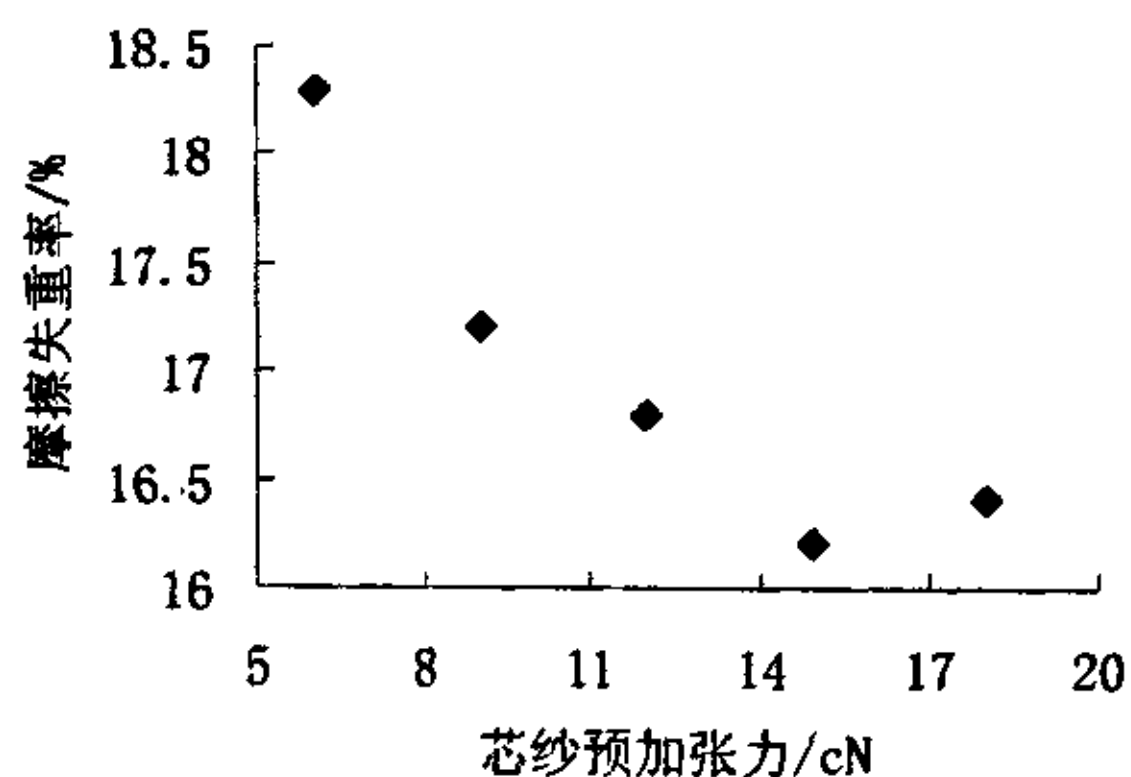


图 3.15 芯纱预加张力与摩擦失重率的关系

由图3.15可以看出,随着芯纱预加张力的增大,锦纶/罗布麻包覆纱的摩擦失重率呈现逐渐减小的趋势,当减小至一定程度时,呈现略微上升的现象,即包覆纱的耐磨性随着芯纱预加张力的增大先明显增强后略微降低。

在一个较低的芯纱预加张力时,罗布麻芯纱与外包的锦纶长丝在包覆纺纱的过程中易发生内外反复转移。当耐磨性较差的罗布麻混纺纱的某些部位转移到离长丝的外层较近时,在摩擦过程中就很容易发生断裂,这必然会减少锦纶长丝与罗布麻混纺纱的抱合力,使包覆纱的耐磨性较低。当芯纱的预加张力逐渐增大时,罗布麻混纺纱能很好地位于成纱的中央,而且在成纱中逐步转变成伸直状态,有利于外包长丝有规律地缠绕到芯纱上,增强内外层的抱合性能,提高了包覆纱的耐磨性。但当芯纱的预加张力增加到临界值时,包覆纱内部应力增加,甚至造成内外层的相对滑动,从而使耐磨性下降。

3.2.4 导丝钩距离的影响

3.2.4.1 导丝钩距离的影响测试结果

为了说明导丝钩距离对成纱性能的影响,寻找出最佳的导丝钩距离,我们设计如下试验。在其它工艺参数不变的情况下,依据表3.9所示的导丝钩距离水平改变导丝钩距离,成纱力学性能及耐磨性能如表3.10所示。

表3.9 导丝钩距离试验因素水平组合

因素 试验编号	外包丝纤度	包覆度	芯纱预加张力	导丝钩距离
Q1	3	3	3	1
Q2	3	3	3	2
Q3	3	3	3	3
Q4	3	3	3	4
Q5	3	3	3	5

表3.10 导丝钩距离因素对成纱力学及耐磨性能的影响

指标 试验编号	断裂强力 /cN	断裂强度 /cN·tex ⁻¹	断裂伸长 /mm	断裂伸长率 /%	摩擦失重率 /%
Q1	217.452	12.927	16.858	3.372	19.6
Q2	222.486	13.226	15.996	3.199	18.5
Q3	235.153	13.979	15.015	3.003	18.0
Q4	243.698	14.487	14.236	2.847	17.2
Q5	244.005	14.505	14.157	2.831	17.6

3.2.4.2 导丝钩距离的影响分析

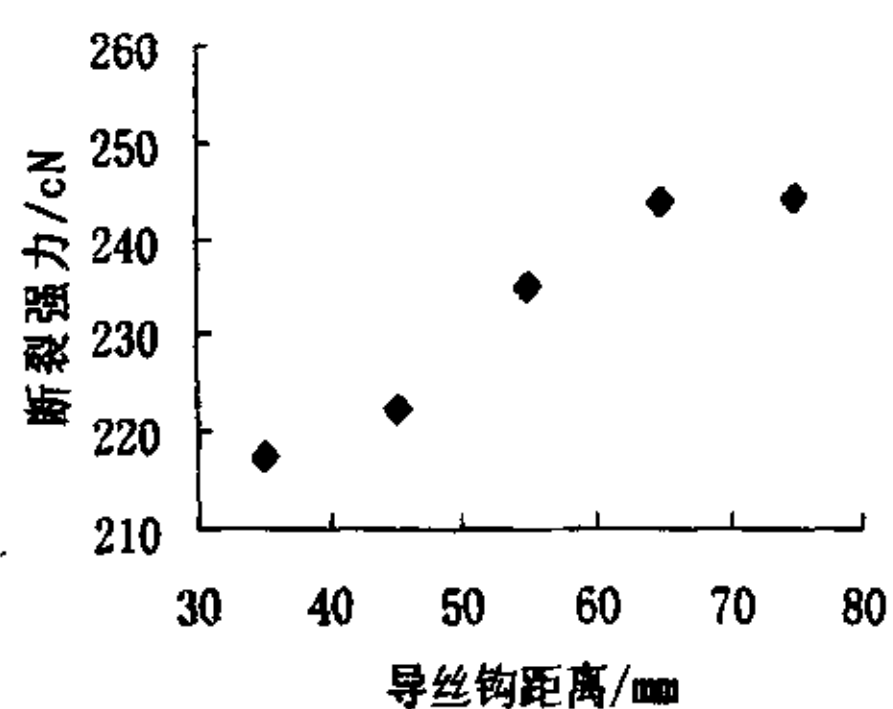


图 3.16 导丝钩距离与断裂强力的关系

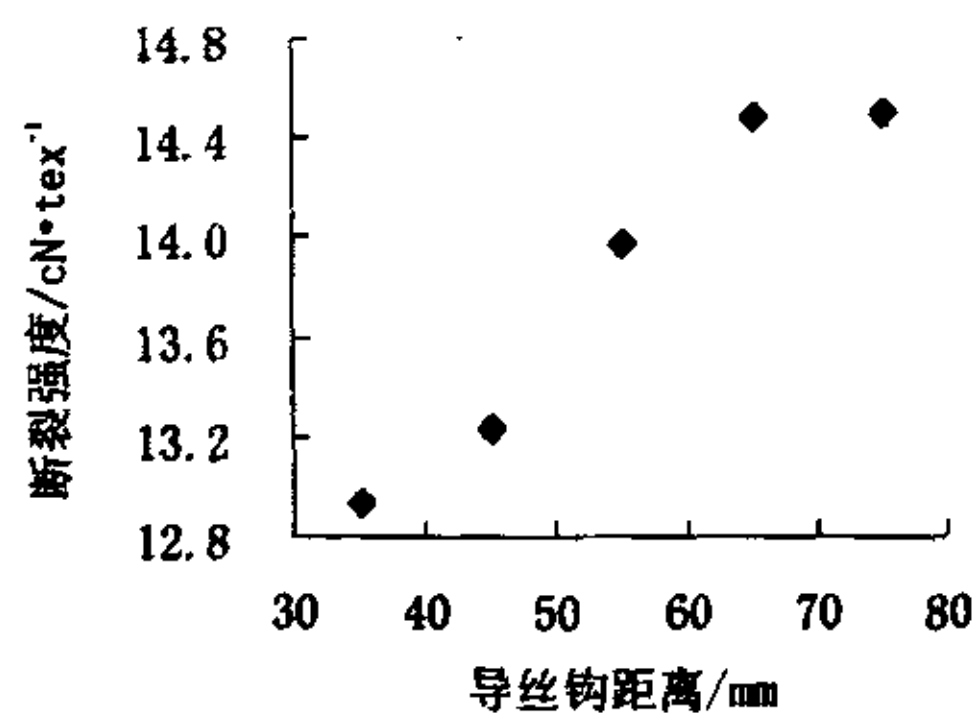


图 3.17 导丝钩距离与断裂强度的关系

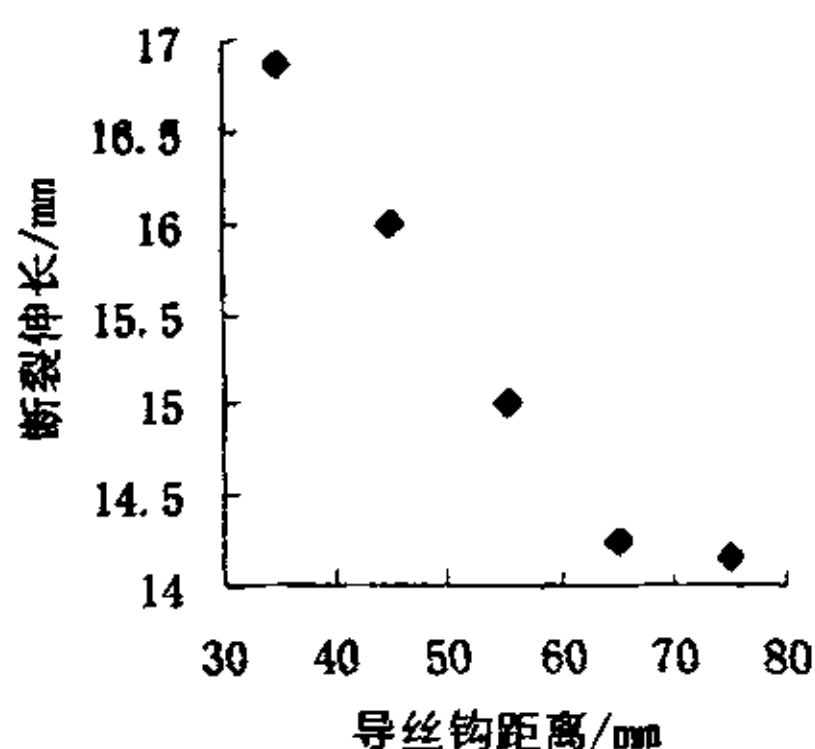


图 3.18 导丝钩距离与断裂伸长的关系

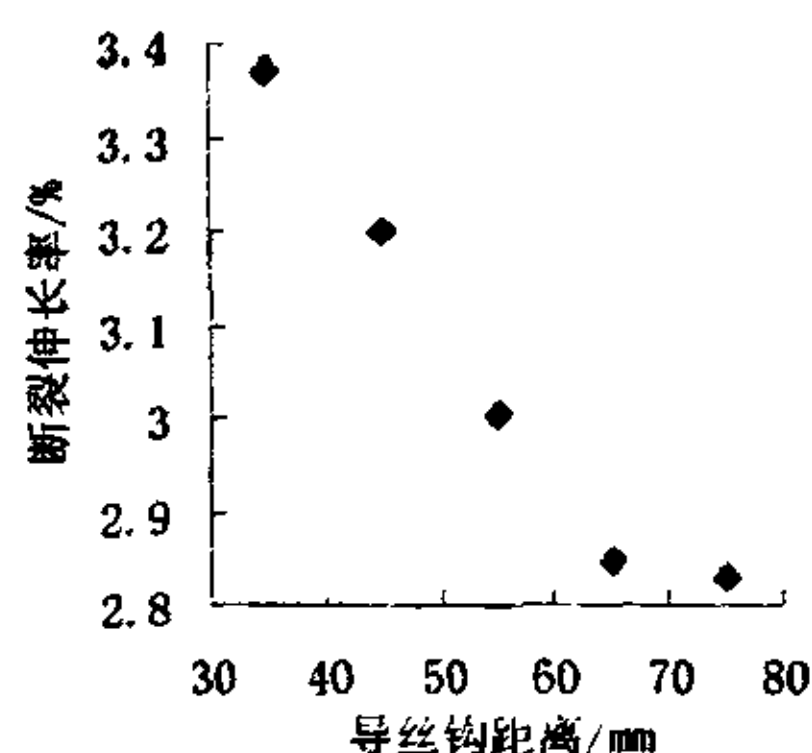


图 3.19 导丝钩距离与断裂伸长率的关系

包覆张力是各种纺纱形式中的一个重要技术指标，在空心锭子纺纱中，包覆张力变化的主要影响因素有锭速、引纱速度、长丝退绕时的气圈张力等。导丝钩距离大，则长丝退绕时受到的气圈张力大，包覆张力就大，纱线强力高。由于气圈张力实时变化，不宜测量，故用导丝钩距离来表征气圈张力的变化。通过试验证明，由图3.16-3.19可知，包覆纱强力与断裂伸长率随导丝钩距离变化的规律是：导丝钩距离大，包缠张力增加，纱线强力增大，断裂伸长率下降，当导丝钩距离增大到一定程度时，即包覆张力增加到临界值后，强力不再增加或增加很少，断裂伸长率也趋于平稳。

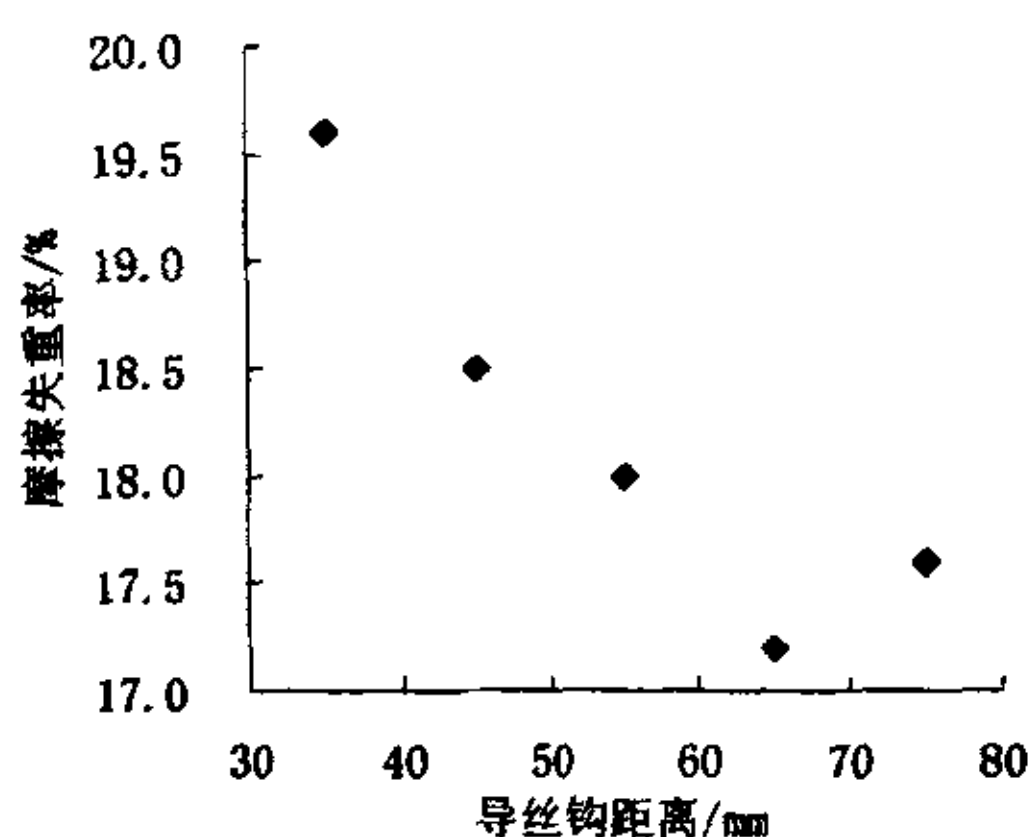


图 3.20 导丝钩距离与摩擦失重率的关系

由图3.20可以看出，锦纶/罗布麻包覆纱的摩擦失重率随着导丝钩距离的增大而呈现逐渐下降的趋势，纱线的耐磨性逐渐增强。这是由于当导丝钩距离增大时，包覆张力增大，纱线强力增大，受摩擦时罗布麻芯纱与锦纶长丝之间抱合力加强，两者之间不易产生滑移，因此，摩擦失重率降低，包覆纱耐磨性提高。

3.3 方差分析^[38]

根据单因素试验方案得出的数据，利用最小二乘法对数据进行拟合，得出回归方程，通过约束条件，得出最优解。

根据表3.3、3.5、3.7、3.9中的数据进行正交多项式回归的计算。试验次数 $N=5$ ，查相应的正交多项式表。接着计算回归系数和回归平方和。查F-分布临界值表知： $F_{0.01}(1, 2)=98.5$ ， $F_{0.05}(1, 2)=18.5$ ， $F_{0.1}(1, 2)=8.53$ ，则各项因素的显著性见方差分析表最后一项。

3.3.1 外包丝纤度的方差分析

3.3.1.1 外包丝纤度与成纱强力的关系

表3.11 外包丝纤度与成纱强力间正交多项式回归的计算

α	Ψ_1	Ψ_2	$5/6 \Psi_3$	y_d	y_d^2
1	-2	2	-1	208.766	43583.242
2	-1	-1	2	218.282	47647.032
3	0	-2	0	220.766	48737.627
4	1	-1	-2	224.466	50384.985
5	2	2	1	238.266	56770.687
$s_i = \sum_{i=1}^5 X_i^2(x)$	10	14	10	$\sum_d y_d = 1110.546$	$\sum_d y_d^2 = 247123.573$
$B_i = \sum_{i=1}^5 X_i(x)y_i$	65.184	9.784	17.132	$S_{\text{总}} = \sum_d y_d^2 - \frac{1}{N}(\sum_d y_d)^2 = 461.089$	
$b_i = B_i/s_i$	6.518	0.699	1.713	$b_0 = \frac{1}{N} \sum_d y_d = 222.109$	
$Q_i = B_i^2/s_i$	424.895	6.838	29.351	$S_{\text{残}} = S_{\text{总}} - (Q_1 + Q_2 + Q_3) = 0.005$	

表3.12 外包丝纤度与成纱强力间方差分析表

方差来源	平方和	自由度	均方和	F比	显著性
一次项 X_1	424.895	1	424.895	169958	$\alpha=0.01$
二次项 X_2	6.838	1	6.838	2735.2	$\alpha=0.01$
剩余	0.005	2	0.0025	-	-
总计	461.089	4	-	-	-

由此可得正交多项式回归方程 $y=0.028x^2-0.1855x+205.82$ ，由方程可知， y 在 $x=3.7$ 处取得最小值，即当外包丝纤度为3.7D时，包覆纱强力最小，而外包丝纤度 x 在10-30范围内取值且在此区间单调递增，若要获得最大强力，故应优选外包丝纤度为30D。

3.3.1.2 外包丝纤度与耐磨性的关系

表3.13 外包丝纤度与耐磨性间正交多项式回归的计算

α	ψ_1	ψ_2	$5/6\psi_3$	y_d	y_d^2
1	-2	2	-1	23.7	561.69
2	-1	-1	2	20.5	420.25
3	0	-2	0	19.1	364.81
4	1	-1	-2	15.2	231.04
5	2	2	1	13.6	184.96
$s_i = \sum_{i=1}^5 X_i^2(x)$	10	14	10	$\sum_d y_d = 92.1$	$\sum_d y_d^2 = 1762.75$
$B_i = \sum_{i=1}^5 X_i(x)y_i$	-16.5	-23	0.5	$S_B = \sum_d y_d^2 - \frac{1}{N}(\sum_d y_d)^2 = 66.268$	
$b_i = B_i/s_i$	-1.65	-1.64	0.05	$b_0 = \frac{1}{N} \sum_d y_d = 18.42$	
$Q_i = B_i^2/s_i$	27.225	37.786	0.025	$S_{\#} = S_B - (Q_1 + Q_2 + Q_3) = 1.232$	

表3.14 外包丝纤度与耐磨性间方差分析表

方差来源	平方和	自由度	均方和	F比	显著性
一次项 X_1	27.225	1	27.225	44.196	$\alpha=0.05$
二次项 X_2	37.786	1	37.786	61.341	$\alpha=0.05$
剩余	1.232	2	0.626	-	-
总计	66.268	4	-	-	-

由此可得正交多项式回归方程 $y=0.002x^2-0.59x+29.32$ ，由方程可知， y 在 $x=147.5$ 处取得最小值，即当外包丝纤度为147.5D时，摩擦失重率最小，耐磨性最好，而外包丝纤度 x 在10-30范围取值且在此区间内单调递减，若要使包覆纱的摩擦后的质量损失减少，耐磨性提高，应优选外包丝纤度为30D。

3.3.2 包覆度的方差分析

3.3.2.1 包覆度与成纱强力的关系

表3.15 包覆度与成纱强力间正交多项式回归的计算

α	ψ_1	ψ_2	$5/6\psi_3$	y_α	y_α^2
1	-2	2	-1	205.473	42219.154
2	-1	-1	2	225.597	50894.006
3	0	-2	0	239.678	57445.544
4	1	-1	-2	232.562	54085.084
5	2	2	1	227.976	51973.057
$s_i = \sum_{i=1}^5 X_i^2(x)$	10	14	10	$\sum_{\alpha} y_{\alpha} = 1131.286$	$\sum_{\alpha} y_{\alpha}^2 = 256616.845$
$B_i = \sum_{i=1}^5 X_i(x)y_i$	51.971	-70.617	8.573	$S_B = \sum_{\alpha} y_{\alpha}^2 - \frac{1}{N}(\sum_{\alpha} y_{\alpha})^2 = 655.242$	
$b_i = B_i/s_i$	5.197	-5.044	0.857	$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{\alpha} y_{\alpha} = 226.257$	
$Q_i = B_i^2/s_i$	270.098	356.197	7.350	$S_{\text{残}} = S_B - (Q_1 + Q_2 + Q_3) = 24.597$	

表3.16 包覆度与成纱强力间方差分析表

方差来源	平方和	自由度	均方和	F比	显著性
一次项 X_1	270.098	1	270.098	21.961	$\alpha=0.05$
二次项 X_2	356.197	1	356.197	28.961	$\alpha=0.05$
剩余	24.597	2	12.299	-	-
总计	655.242	4	-	-	-

由此可得正交多项式回归方程 $y=-0.005x^2+6.173x+23.576$ ，由方程可知， y 在 $x=617$ 处取得最大值，即当包覆度为 $617\text{圈}\cdot\text{m}^{-1}$ 时，包覆纱强力最大，包覆度 x 在 $400-800$ 范围内取值，包缠纱强力符合随包覆度的增加呈现先增大后减小的变化趋势，若要获得较高的包覆纱强力，应选择包覆度在 $617\text{圈}\cdot\text{m}^{-1}$ 左右。

3.3.2.2 包覆度与耐磨性的关系

表3.17 包覆度与耐磨性间正交多项式回归的计算

α	ψ_1	ψ_2	$5/6\psi_3$	y_α	y_α^2
1	-2	2	-1	20.7	428.49
2	-1	-1	2	18.6	345.96
3	0	-2	0	17.2	295.84
4	1	-1	-2	15.8	249.64
5	2	2	1	16.5	272.25
$s_i = \sum_{i=1}^5 X_i^2(x)$	10	14	10	$\sum_{\alpha} y_\alpha = 88.8$	$\sum_{\alpha} y_\alpha^2 = 1592.18$
$B_i = \sum_{i=1}^5 X_i(x)y_i$	-11.2	5.6	1.4	$S_B = \sum_{\alpha} y_\alpha^2 - \frac{1}{N}(\sum_{\alpha} y_\alpha)^2 = 15.092$	
$b_i = B_i/s_i$	-1.12	0.4	0.14	$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{\alpha} y_\alpha = 17.76$	
$Q_i = B_i^2/s_i$	12.544	2.240	0.196	$S_{\text{剩}} = S_B - (Q_1 + Q_2 + Q_3) = 0.112$	

表3.18 包覆度与耐磨性间方差分析表

方差来源	平方和	自由度	均方和	F比	显著性
一次项 X_1	12.544	1	12.544	112	$\alpha=0.01$
二次项 X_2	2.240	1	2.240	20	$\alpha=0.05$
剩余	0.112	2	0.112	-	-
总计	15.092	4	-	-	-

由此可得正交多项式回归方程 $y=0.00004x^2-0.0592x+38.08$ ，由方程可知， y 在 $x=740$ 处取得最小值，即当包覆度为 $740\text{圈}\cdot\text{m}^{-1}$ 时，摩擦失重率最小，耐磨性最好，包覆度 x 在 $400-800$ 范围内取值，若要使包覆纱的摩擦后的质量损失减少，获得较好的纱线耐磨性，应选择包覆度在 $740\text{圈}\cdot\text{m}^{-1}$ 左右。

3.3.3 芯纱预加张力的方差分析

3.3.3.1 芯纱预加张力与成纱强力的关系

表3.19 芯纱预加张力与成纱强力间正交多项式回归的计算

α	ψ_1	ψ_2	$5/6\psi_3$	y_a	y_a^2
1	-2	2	-1	215.400	46397.160
2	-1	-1	2	218.416	47705.549
3	0	-2	0	226.962	51511.749
4	1	-1	-2	241.357	58253.201
5	2	2	1	233.876	54697.983
$s_i = \sum_{i=1}^5 X_i^2(x)$	10	14	10	$\sum_a y_a = 1136.011$	$\sum_a y_a^2 = 258565.642$
$B_i = \sum_{i=1}^5 X_i(x)y_i$	59.893	-37.034	6.725	$S_B = \sum_a y_a^2 - \frac{1}{N}(\sum_a y_a)^2 = 461.444$	
$b_i = B_i/s_i$	5.989	-3.703	0.673	$b_0 = \frac{1}{N} \sum_a y_a = 227.202$	
$Q_i = B_i^2/s_i$	358.717	97.963	4.523	$S_B = S_B - (Q_1 + Q_2 + Q_3) = 0.241$	

表3.20 芯纱预加张力与成纱强力间方差分析表

方差来源	平方和	自由度	均方和	F比	显著性
一次项 X_1	358.717	1	358.717	2964.603	$\alpha=0.01$
二次项 X_2	97.963	1	97.963	809.612	$\alpha=0.01$
剩余	0.241	2	0.121	-	-
总计	461.444	4	-	-	-

由此可得正交多项式回归方程 $y=-0.1202x^2+3.6812x+188.1$ ，由方程可知， y 在 $x=15.3$ 处取得最大值，即包覆纱强力最大，芯纱预加张力 x 在6-18范围内取值，包覆纱强力符合随芯纱预加张力的增加呈现先增大后减小的变化趋势，若要获得较高的包覆纱强力，应选择芯纱预加张力在15.3cN左右。

3.3.3.2 芯纱预加张力与耐磨性的关系

表3.21 芯纱预加张力与耐磨性间正交多项式回归的计算

α	ψ_1	ψ_2	$5/6\psi_3$	y_a	y_a^2
1	-2	2	-1	18.3	334.89
2	-1	-1	2	17.2	295.84
3	0	-2	0	16.8	282.24
4	1	-1	-2	16.2	262.44
5	2	2	1	16.4	268.96
$s_i = \sum_{i=1}^5 X_i^2(x)$	10	14	10	$\sum_a y_a = 84.9$	$\sum_a y_a^2 = 1444.37$
$B_i = \sum_{i=1}^5 X_i(x)y_i$	-4.8	2.5	0.1	$S_B = \sum_a y_a^2 - \frac{1}{N}(\sum_a y_a)^2 = 2.768$	
$b_i = B_i/s_i$	-0.48	0.18	0.01	$b_0 = \frac{1}{N} \sum_a y_a = 16.98$	
$Q_i = B_i^2/s_i$	2.304	0.446	0.001	$S_{\text{剩}} = S_B - (Q_1 + Q_2 + Q_3) = 0.017$	

表3.22 芯纱预加张力与耐磨性间方差分析表

方差来源	平方和	自由度	均方和	F比	显著性
一次项 X_1	2.304	1	2.304	256	$\alpha=0.01$
二次项 X_2	0.446	1	0.446	17.154	$\alpha=0.1$
剩余	0.017	2	0.009	-	-
总计	2.768	4	-	-	-

由此可得正交多项式回归方程 $y=0.019x^2-0.6171x+21.3$ ，由方程可知， y 在 $x=16.2$ 处取得最小值，即当芯纱预加张力为16.2cN时，摩擦失重率最小，耐磨性最好，芯纱预加张力 x 在6-18范围内取值，若要使包覆纱的摩擦后的质量损失减少，获得较好的纱线耐磨性，应选择芯纱预加张力在16.2cN左右。

3.3.4 导丝钩距离的方差分析

3.3.4.1 导丝钩距离与成纱强力的关系

表3.23 导丝钩距离与成纱强力间正交多项式回归的计算

α	ψ_1	ψ_2	$5/6\psi_3$	y_d	y_d^2
1	-2	2	-1	217.452	47285.372
2	-1	-1	2	222.486	49500.020
3	0	-2	0	235.153	55296.933
4	1	-1	-2	243.698	59388.715
5	2	2	1	244.005	59538.440
$s_i = \sum_{i=1}^5 X_i^2(x)$	10	14	10	$\sum_d y_d = 1162.794$	$\sum_d y_d^2 = 271009.48$
$B_i = \sum_{i=1}^5 X_i(x)y_i$	74.318	-13.576	-15.871	$S_B = \sum_d y_d^2 - \frac{1}{N}(\sum_d y_d)^2 = 591.503$	
$b_i = B_i/s_i$	7.432	-0.970	-1.587	$b_0 = \frac{1}{N} \sum_d y_d = 232.559$	
$Q_i = B_i^2/s_i$	552.317	13.165	25.189	$S_B = S_B - (Q_1+Q_2+Q_3) = 0.832$	

表3.24 导丝钩距离与成纱强力间方差分析表

方差来源	平方和	自由度	均方和	F比	显著性
一次项 X_1	552.317	1	552.317	1327.685	$\alpha=0.01$
二次项 X_2	13.165	1	13.165	31.647	$\alpha=0.05$
剩余	0.832	2	0.416	-	-
总计	591.503	4	-	-	-

由此可得正交多项式回归方程 $y=-0.0097x^2+1.3927x+164.29$ ，由方程可知， y 在 $x=71.8$ 处取得最大值，即包覆纱强力最大，导丝钩距离 x 在35-75范围内取值，包覆纱强力符合随导丝钩距离的增加呈现增大趋势，而后强力变化不大，若要获得较高的包覆纱强力，应选择导丝钩距离为71.8mm左右。

3.3.4.2 导丝钩距离与耐磨性的关系

表3.25 导丝钩距离与耐磨性间正交多项式回归的计算

α	Ψ_1	Ψ_2	$5/6\Psi_3$	Y_a	y_a^2
1	-2	2	-1	19.6	384.16
2	-1	-1	2	18.5	342.25
3	0	-2	0	18.0	324.00
4	1	-1	-2	17.2	295.84
5	2	2	1	17.6	309.76
$s_i = \sum_{j=1}^5 X_i^2(x)$	10	14	10	$\sum y_a = 90.9$	$\sum y_a^2 = 1656.01$
$B_i = \sum_{j=1}^5 X_i(x)y_j$	-5.3	2.7	0.6	$S_B = \sum y_a^2 - \frac{1}{N}(\sum y_a)^2 = 3.448$	
$b_i = B_i/s_i$	-0.53	0.19	0.06	$b_0 = \frac{1}{N} \sum y_a = 18.18$	
$Q_i = B_i^2/s_i$	2.809	0.521	0.036	$S_B = S_B - (Q_1 + Q_2 + Q_3) = 0.082$	

表3.26 导丝钩距离与耐磨性间方差分析表

方差来源	平方和	自由度	均方和	F比	显著性
一次项 x_1	2.809	1	2.809	68.512	$\alpha=0.05$
二次项 x_2	0.521	1	0.521	12.707	$\alpha=0.1$
剩余	0.082	2	0.041	-	-
总计	3.448	4	-	-	-

由此可得正交多项式回归方程 $y=0.0012x^2-0.1739x+24.975$ ，由方程可知， y 在 $x=72.5$ 处取得最小值，即当导丝钩距离为72.5mm时，摩擦失重率最小，耐磨性最好，导丝钩距离 x 在35~75范围内取值，若要使包覆纱的摩擦后的质量损失减少，获得较好的纱线耐磨性，应选择导丝钩距离在72.5mm左右。

3.4 本章小结

本章选取了包覆纺纱工艺中外包丝纤度、包覆度、芯纱预加张力、导丝钩距离等因素作为工艺参数进行单因素分析，全面了解了这四项因素对纱线性能的影响，其中包括断裂强力、断裂强度、断裂伸长、断裂伸长率、摩擦失重率等指标，然后绘制出各单因素与包覆纱力学性能及耐磨性能的曲线图，同时分析了各纺纱因素对纱线性能影响的变化及原因，为生产实践奠定了理论基础。

通过对外包丝纤度、包覆度、芯纱预加张力、导丝钩距离四项指标进行单因素试验的方差分析，检验影响纱线性能方面特别是断裂强力和耐磨性两项指标的显著性，得到回归方程，得出结论并分析原因，为下一章正交试验的各因素设定工艺参数范围。

第四章 正交设计试验

4.1 试验设计概述

4.1.1 目的和意义

包覆工艺的好坏对最终罗布麻纱线的质量指标尤其是强伸性和耐磨性具有较大的影响，而且直接关系到后续加工工序的顺利进行。合理的包覆工艺将提高罗布麻纱的可纺性，为后续织物加工提供优良的原料，从而生产出品质高档的产品。

在工业生产和科学研究的实践中，所需要考察的因素往往比较多，而且因素的水平选择数也常常多于2个，如果对每个因素的每个水平对互相搭配进行全面试验，试验次数是惊人的，例如，对于3因素4水平的试验，若在每个因素的每个水平搭配（或称水平组合）上只作1次试验，就要做 $4^3=64$ 次试验，对于4因素4水平的试验，全面试验次数至少为 $4^4=256$ 次试验，对于5因素4水平的试验，全面试验次数至少为 $4^5=1024$ 次试验。可见，随着因素数的增加，试验次数增加的更快，另外要用相当长的时间对这么多试验数据进行统计分析计算，也将是非常繁重的任务，要花费大量的人力、物力。

很显然，通过第三章试验所得到的试验结果，只能得出各个因素对纱线强伸及耐磨性指标影响的大概趋势，虽然能够选择出相对最优的工艺路线，但它只是一个初步的研究和探索，对实际生产的指导意义不大。而且，该工艺路线中包覆纺纱的工艺参数较多，若全部在生产中加以考虑控制，不但加重工作量，且增加了工艺实施的生产设备成本，提高了环境条件及操作中偶然误差的可能性，实在是不切实际的得不偿失之选。如果用正交设计来安排试验，则试验次数会大大减少，而且统计分析的计算也将变得简单。正交试验设计简称正交设计，它是利用正交表科学地安排与分析多因素试验的方法，是最常用的试验设计方法之一。

4.1.2 正交试验设计的原理^[39]

在工农业生产和科学研究项目中经常要做各种试验，如果试验中所涉及的因素较多，且每个因素的水平较大时，要进行全面试验，则试验的次数很大，这显然是不切实际的，尤其当试验费用高昂或是试验带有破坏性时，则更是如此。因此，多因素试验问题要靠试验设计来解决，即合理地安排局部试验，并从所获得的数据中分析出比较全面的科学结论。正交试验便是一种方便有效的方法。

4.1.3 正交试验设计的几何解释

利用正交表安排试验方案，然后对试验结构进行分析，这就是正交试验设计。正交表具有搭配均衡的突出特点，即对各列不同的水平，从行的角度看趋势一个“完全”的搭配，做到了一列的每一个水平都与另一列的各个水平至少搭配一次且每两个水平搭配次数一样，均衡公平。因此，将试验中各因素对应于正交表的列，则正交表的行便是因素各水平所有组合中搭配均衡的一部分，可以看成是所有组合水平中均衡抽样得到样本，若按行对应的各个组合水平进行试验，便达到了减少试验次数的目的，并且因素之间搭配均衡，具有较好的代表性，从而能提供比较丰富的试验信息，得到较好的组合水平。

正交表安排试验的代表性，也可以从几何图形上作直观解释，用三个坐标分别代表A、B、C三个因素，每坐标轴上取三个点，分别代表因素的3个水平，如图4.1所示，这样，每个水平组合就可以用图中的一个点表示，该例中共有27个水平组合，对应图中27个点。

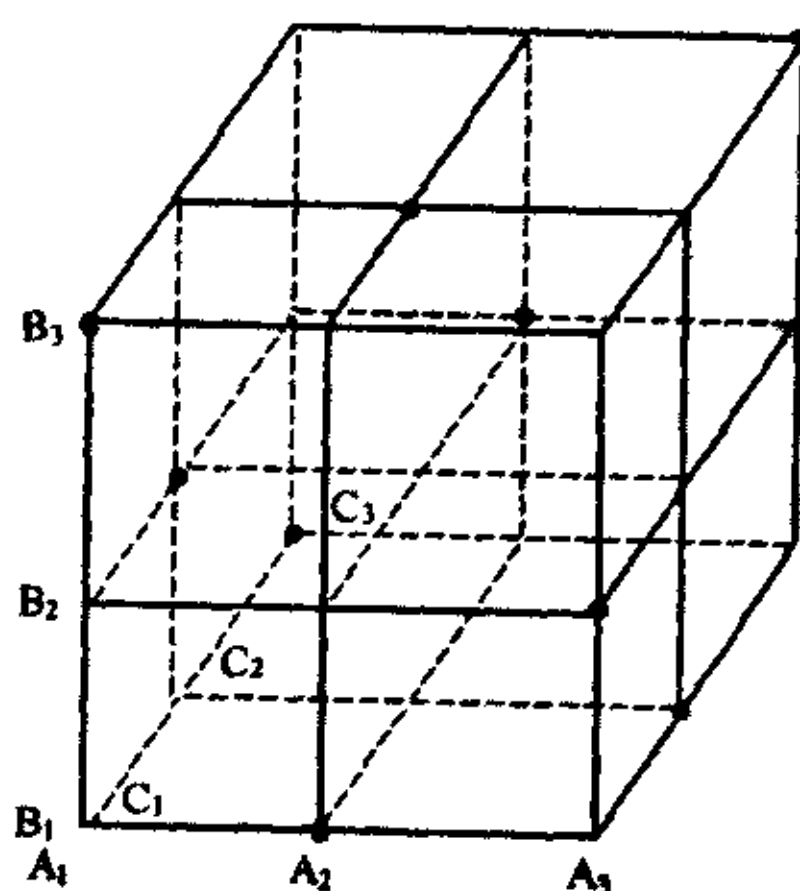


图4.1 正交试验试验点分布

4.1.4 正交试验设计的基本原则

(1) 明确的目的性：一个试验的因素不能太多，否则数据过多就无法进行处理，制定方案时要突出重点，抓住关键，明确试验的具体目的。

(2) 严密的可比性：试验一般采用差异比较来确定试验因素的效应。

(3) 试验的高效性：试验效率是指单位人力物力的投入所获得的信息量的多少。适当减少试验因素、合理确定因素的水平数可提高试验效率。

试验因素的选择，首先要根据专业知识和经验，尽可能全面考虑到影响试验指标的诸因素，然后根据试验要求和尽量减少试验因素的原则，从中选定试验因素。

根据以上原则以及为了全面考察包覆纺纱工艺,即设计外包丝纤度、包覆度、芯纱预加张力、导丝钩距离对包覆纱强度及耐磨性能的影响,特选用了正交试验方案来设计加工了具有不同结构参数的锦纶/罗布麻包覆纱。

4.2 试验方案设计

若在一个试验中需要考虑和控制的参数太多,所得到的结果也往往因操作的难以高度同一而无法保证全然真实和精确。因此,针对本课题所选择的包覆纺纱工艺具有较多参数的特点,很有必要进行某种试验设计,通过对试验结果数据的统计分析,筛选出对强力及耐磨效果影响较大的部分工艺参数,再利用某种优化方法找出最优配置应用于实际生产,从而有利于纺纱生产中的纱线质量控制,并可以降低进一步深入研究最优化纱线强力及耐磨效果时的工作量。

影响试验指标的因素很多,但由于试验条件所限,不可能全面考察,所以应对实际问题进行具体分析,并根据试验目的,选出主要因素,略去次要因素,以减少要考察的因素数。确定因素的水平数时,一般尽可能使因素的水平数相等,以方便试验数据处理。

研究表明,影响包覆纱性能的主要参数有外包丝的纤度、包覆度和芯纱的细度、预加张力、导丝钩距离、包覆工艺类型(即单包覆或双包覆)等。在试验过程中,为了简化正交试验设计方案,把包覆工艺类型分成单包覆和双包覆单独讨论。经第三章初步试验分析,在芯纱罗布麻混纺纱细度(14.6tex)已确定的情况下,选取外包丝纤度、包覆度、芯纱预加张力及导丝钩距离等因素为主要影响因子,并根据前期试验结果选择合适的水平值。因此,本试验主要以外包丝纤度、包覆度、芯纱的预加张力大小及导丝钩距离为影响因子进行正交试验设计,以确定最佳工艺条件,为锦纶/罗布麻包覆纱的生产提供技术指导。

4.2.1 单包覆正交试验设计

根据生产条件以及本着弱中强、大中小、细中粗的原则,给包覆度、芯纱预加张力、导丝钩距离三个因素分别选择4个水平,外包丝纤度选择3个水平,从有利于试验结果分析考虑,取3、4水平优于取2水平,这是由于2水平因素与试验指标之间只能呈直线关系,而3水平因素与试验指标之间多呈二次曲线关系,而二次曲线有利于呈现试验因素水平的最佳区域。并且在选择因素时考虑试验分析便利选取因素为等间距排列,从而得到单包覆纺纱正交试验设计的因子编码如表4.1所示。

表 4.1 单包覆工艺参数正交试验设计的因子编码表

因素 水平	外包丝纤度A /D	包覆度B /圈·m ⁻¹	导丝钩距离 C/mm	芯纱预加张力D /cN
1	10	500	35	7
2	20	600	55	12
3	30	700	75	15
4	-	800	95	20

在表 4.1 单包覆工艺参数正交试验设计的因子编码表中, 四个因子的水平不同, B、C、D 为四水平而 A 为三水平, 故采用拟水平设计: 用“虚拟”一个水平的方法将 A 因子凑足四个水平, 将 B、C、D 放在 $L_{16}(4^4)$ 中第 2、3、4 列上并将第 1 列进行改造: ①拟水平因子的水平数 1、2、3 放在正交表中水平 1、水平 2 与水平 3 的位置; ②拟水平因子的水平数 2 放在正交表中水平 4 的位置, 工艺试验方案如表 4.2 所示。

表 4.2 单包覆工艺参数正交设计试验的正交设计表

因素 试验号	A		B	C	D
1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2
3	1	1	3	3	3
4	1	1	4	4	4
5	2	2	2	3	4
6	2	2	1	4	3
7	2	2	4	1	2
8	2	2	3	2	1
9	3	3	3	4	2
10	3	3	4	3	1
11	3	3	1	2	4
12	3	3	2	1	3
13	4	2	4	2	3
14	4	2	3	1	4
15	4	2	2	4	1
16	4	2	1	3	2

4.2.2 双包覆正交试验设计

对于双包覆纺纱试验设计,采取与单包覆相同的原则进行正交试验设计,双包覆纺纱正交试验设计的因子编码如表4.3所示。

表 4.3 双包覆工艺参数正交试验设计的因子编码表

因素 水平	外层锦纶丝纤度 A/D	内层锦纶丝纤度 B/D	包覆度 C/圈·m ⁻¹	导丝钩距离 D/mm	芯纱预加张力 E/cN
1	10	10	500	35	7
2	20	20	600	55	12
3	30	30	700	75	15
4	-	-	800	95	20

在表 4.3 双包覆工艺参数正交试验设计的因子编码表中,五因子的水平不同,C、D、E 为四水平而 A、B 为三水平,故采用拟水平设计:用“虚拟”一个水平的方法将 A、B 因子凑足四个水平,将 C、D、E 放在 $L_{16}(4^4)$ 中第 3、4、5 列上并将第 1、2 列进行改造:①第 1 列中,拟水平因子的水平数 1、2、3 放在正交表中水平 1、水平 2 与水平 3 的位置,拟水平因子的水平数 1 放在正交表中水平 4 的位置;②第 2 列中,拟水平因子的水平数 1、2、3 放在正交表中水平 1、水平 2 与水平 3 的位置,拟水平因子的水平数 2 放在正交表中水平 4 的位置,工艺试验方案如表 4.4 所示。

表 4.4 双包覆工艺参数正交设计试验的正交设计表

因素 试验号	A		B		C	D	E
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3
4	1	1	4	2	4	4	4
5	2	2	1	1	2	3	4
6	2	2	2	2	1	4	3
7	2	2	3	3	4	1	2
8	2	2	4	2	3	2	1
9	3	3	1	1	3	4	2
10	3	3	2	2	4	3	1
11	3	3	3	3	1	2	4
12	3	3	4	2	2	1	3
13	4	1	1	1	4	2	3
14	4	1	2	2	3	1	4
15	4	1	3	3	2	4	1
16	4	1	4	2	1	3	2

4.3 方法和步骤

4.3.1 测试方法^[40]

4.3.1.1 耐磨性能测试

由于锦纶和罗布麻的耐磨性相差较大，二者在摩擦过程中不会同时断裂，按照常规的纱线耐磨性测试方法无法表征其耐磨性。为此，拟依据在相同条件下纱线摩擦前后重量的减小（简称摩擦失重率）来表示。为此，参考相关标准 FZ/T 01058-1999《纱线耐磨试验方法 往复式磨辊法》，采用 LCK-12A 纱线耐磨仪进行测试，每个试样取 20 只卷装，每只卷装试验 3 次，共试验 60 次取平均值。试验统一选用国产 400 号砂纸作为磨料，摩擦长度为 $55\text{mm} \pm 2\text{mm}$ ，摩擦速度为 60 ± 1 次/分，按照 0.5g/tex 施加张力，在往复磨擦 300 次之后，测量摩擦前后纱线的摩擦失重率。

$$\text{摩擦失重率} = \frac{\text{摩擦前重量} - \text{摩擦后重量}}{\text{摩擦前重量}} \quad \text{公式 4-(1)}$$

4.3.1.2 强伸性能测试

试验仪器采用 YG061 型电子单纱强力仪, 测试条件为温度 17—23℃, 相对湿度 62—68%, 测试前纱线需在标准状态下平衡 48h, 夹持距离为 250mm, 拉伸速度 250mm/min, 测试 30 次取平均值, 拉伸性能的预加张力为:

$$\text{预加张力} = \left(\text{芯纱特数} + \frac{\text{外包丝纤度}}{9} \cos \frac{2\pi}{\text{包覆度}} \right) \times 0.88 \text{cN/tex} \quad \text{公式 4-(2)}$$

4.3.2 分析方法和原理

对于正交试验结果的分析, 通常采用两种方法: 一种是直观分析法 (或称极差分析法); 另一种是方差分析法。通过试验结果分析可以得到因素主次顺序、优方案等信息。直观分析法具有简单直观、计算量小等优点, 但直观分析法不能估计误差的大小, 不能精确地估计各因素的试验结果影响的重要程度, 特别是对于水平数大于或等于 3 且要考虑交互作用的试验, 直观分析法不便使用, 如果对试验结果进行方差分析, 就能弥补直观分析法的这些不足。

对各种工艺参数纺制的锦纶/罗布麻包覆纱的力学指标及耐磨性指标测试结果分别进行统计分析, 寻找内在规律性。由于直观分析方法仅仅是定性分析各因子的影响大小, 方差分析则能够在一定的水平下, 相对定量比较各因子影响的显著性大小, 因此本试验将采用方差分析法。

4.3.2.1 方差分析法基本原理

把总偏差平方和 S_T 分解成因素偏差平方和 S_j 与误差偏差平方和 S_e , 并计算它们的平均偏差平方和 (均方、方差) V_j 和 V_e , 进而通过 F 检验, 对各因素及交互作用进行显著性检验。

4.3.2.2 方差分析法计算步骤

(1) 计算表 4.5-4.8 测试结果中 K_{1j} 、 K_{2j} 、 K_{3j} 、 K_{4j} ($j=A, B, C, D$) 分别为水平在 1、2、3、4 时, 因素 j 对应摩擦失重率之和以及断裂强度之和。

(2) 计算各偏差平方和及自由度:

总偏差平方和 S_T 及总自由度 f_T 分别为:

$$S_T = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k y_{ij}^2 - \frac{T^2}{nk} \quad \text{公式 4-(3)}$$

$$f_T = n - 1 \quad \text{公式 4-(4)}$$

各因素偏差平方和 S_j :

$$S_j = \frac{r}{n} \left(\sum_{j=1}^r K_j^2 \right) - \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n y_j \right)^2 \quad \text{公式 4-(5)}$$

f_j 的自由度为 2 单包覆 $j=A$, 双包覆 $j=A, B$

3 单包覆 $j=B, C, D$, 双包覆 $j=C, D, E$

误差平方和 S_e 为总偏差平方和 S_T 减去各因素偏差平方和 S_j 之差, 误差总自由度为 4。

(3) 因素显著性检验:

各因素的平均偏差平方和 V_j 以及误差的平均偏差平方和 V_e 为各偏差平方和以及误差平方和分别以各自相应的自由度除之, 即

$$V_j = S_j / f_j \quad \text{公式 4-(6)}$$

$$V_e = S_e / f_e \quad \text{公式 4-(7)}$$

F 值为因素水平变化引起的平均偏差平方和与误差的平均偏差平方和的比值, 即

$$F_j = V_j / V_e \quad \text{公式 4-(8)}$$

给出检验水平 α , 将计算得的 F_j 与从 F 分布表查出的相应临界值 $F_\alpha(f_j, f_e)$ 比较, 若 $F_j > F_\alpha(f_j, f_e)$, 说明该因素对试验结果的影响显著性, 两数差别越大, 则该因素的显著性越大。

4.4 结果和分析

4.4.1 测试结果

通过上一节正交设计试验方案进行包覆纺纱试验后, 经对原始数据稍加整理,

所得的单、双包覆纱的耐磨失重率及断裂强度指标分析结果如表 4.5-4.8 所示。

4.4.1.1 单包覆摩擦失重率的测试结果

表 4.5 单包覆摩擦失重率的正交设计计算

表头设计	A		B	C	D	摩擦失重率/%
1	1	1	1	1	1	16.28
2	1	1	2	2	2	11.63
3	1	1	3	3	3	17.53
4	1	1	4	4	4	18.68
5	2	2	2	3	4	23.23
6	2	2	1	4	3	14.89
7	2	2	4	1	2	13.68
8	2	2	3	2	1	29.55
9	3	3	3	4	2	21.43
10	3	3	4	3	1	15.93
11	3	3	1	2	4	17.59
12	3	3	2	1	3	18.35
13	4	2	4	2	3	17.35
14	4	2	3	1	4	25.24
15	4	2	2	4	1	13.54
16	4	2	1	3	2	17.92
K_{1j}	77.72		66.68	73.55	75.30	$T=292.82$
K_{2j}	146.64		66.75	76.12	76.01	
K_{3j}	64.12		65.64	68.54	64.66	
K_{4j}	-		93.75	74.61	84.74	
$\overline{K_{1j}}$	19.43		16.67	18.39	18.83	$\bar{y}=18.30$
$\overline{K_{2j}}$	18.33		16.69	19.03	19.00	
$\overline{K_{3j}}$	16.03		16.41	17.14	16.17	
$\overline{K_{4j}}$	-		23.43	18.65	21.19	
R_j	3.40		7.02	1.89	5.02	$S_e=6.32$
S_j	68.59		140.89	39.67	125.36	

4.4.1.2 单包覆断裂强度的测试结果

表 4.6 单包覆断裂强度的正交设计计算

表头设计	A		B	C	D	断裂强度/ $\text{cN} \cdot \text{tex}^{-1}$
1	1	1	1	1	1	13.043
2	1	1	2	2	2	12.187
3	1	1	3	3	3	12.565
4	1	1	4	4	4	12.195
5	2	2	2	3	4	13.285
6	2	2	1	4	3	13.441
7	2	2	4	1	2	13.199
8	2	2	3	2	1	14.155
9	3	3	3	4	2	13.364
10	3	3	4	3	1	13.610
11	3	3	1	2	4	13.693
12	3	3	2	1	3	12.011
13	4	2	4	2	3	12.469
14	4	2	3	1	4	12.187
15	4	2	2	4	1	13.306
16	4	2	1	3	2	11.820
K_{1j}	49.99		51.99	51.02	50.49	$T=206.53$
K_{2j}	103.86		50.04	51.28	50.57	
K_{3j}	52.06		53.48	52.50	53.56	
K_{4j}	-		51.47	52.31	51.36	
$\overline{K}_{1j}$	12.50		12.99	12.76	12.62	$\overline{y}=12.91$
$\overline{K}_{2j}$	12.98		12.51	12.82	12.64	
$\overline{K}_{3j}$	13.01		13.37	13.13	13.39	
$\overline{K}_{4j}$	-		12.87	13.08	12.84	
R_j	0.51		0.86	0.37	0.77	$S_e=0.11$
S_j	0.89		1.57	0.95	1.35	

4.4.1.3 双包覆摩擦失重率的测试结果

第四章 正交设计试验

表 4.7 双包覆摩擦失重率的正交设计计算

表头设计	A		B		C	D	E	摩擦失重率/%
1	1	1	1	1	1	1	1	12.96
2	1	1	2	2	2	2	2	9.43
3	1	1	3	3	3	3	3	6.25
4	1	1	4	2	4	4	4	15.93
5	2	2	1	1	2	3	4	10.00
6	2	2	2	2	1	4	3	12.17
7	2	2	3	3	4	1	2	10.26
8	2	2	4	2	3	2	1	13.56
9	3	3	1	1	3	4	2	10.08
10	3	3	2	2	4	3	1	16.94
11	3	3	3	3	1	2	4	14.40
12	3	3	4	2	2	1	3	15.83
13	4	1	1	1	4	2	3	18.10
14	4	1	2	2	3	1	4	14.04
15	4	1	3	3	2	4	1	12.69
16	4	1	4	2	1	3	2	12.38
K _{1j}	114.48		51.14		51.91	53.09	56.15	T=205.02
K _{2j}	50.88		110.28		43.93	55.49	42.15	
K _{3j}	46.04		43.60		47.95	45.55	52.35	
K _{4j}	—		—		61.23	50.87	54.37	
$\overline{K}_{1j}$	14.31		12.79		12.98	13.27	14.04	$\bar{y}=12.81$
$\overline{K}_{2j}$	12.72		13.79		10.98	13.87	10.54	
$\overline{K}_{3j}$	11.51		10.90		11.99	11.39	13.09	
$\overline{K}_{4j}$	—		—		15.31	12.72	13.59	
R _j	2.81		2.89		4.33	2.48	3.50	S _e =1.09
S _j	22.68		23.89		80.13	21.99	69.52	

4.4.1.4 双包覆断裂强度的测试结果

表 4.8 双包覆断裂强度的正交设计计算

表头设计	A		B		C	D	E	断裂强度/cN•tex ⁻¹
1	1	1	1	1	1	1	1	12.600
2	1	1	2	2	2	2	2	14.153
3	1	1	3	3	3	3	3	14.367
4	1	1	4	2	4	4	4	13.082
5	2	2	1	1	2	3	4	13.702
6	2	2	2	2	1	4	3	14.101
7	2	2	3	3	4	1	2	13.801
8	2	2	4	2	3	2	1	13.205
9	3	3	1	1	3	4	2	13.482
10	3	3	2	2	4	3	1	13.385
11	3	3	3	3	1	2	4	12.562
12	3	3	4	2	2	1	3	13.325
13	4	1	1	1	4	2	3	13.508
14	4	1	2	2	3	1	4	14.057
15	4	1	3	3	2	4	1	12.951
16	4	1	4	2	1	3	2	12.971
K _{1j}	107.69		53.29		51.96	53.78	52.44	T=215.252
K _{2j}	52.75		107.36		55.11	53.43	55.30	
K _{3j}	54.81		54.16		54.13	54.43	54.41	
K _{4j}	—		—		53.78	53.62	53.40	
$\overline{K}_{1j}$	13.46		13.32		12.99	13.45	13.11	$\overline{y}$ =13.453
$\overline{K}_{2j}$	13.19		13.42		13.78	13.36	13.83	
$\overline{K}_{3j}$	13.70		13.54		13.53	13.61	13.60	
$\overline{K}_{4j}$	—		—		13.45	13.41	13.35	
R _j	0.51		0.22		0.79	0.25	0.72	S _e =0.03
S _j	0.62		0.55		2.37	0.56	1.99	

4.4.2 分析和讨论

4.4.2.1 单包覆摩擦失重率的方差分析

查 F-分布临界值表得到 $F_{0.01}(2, 4) = 18.0$, $F_{0.01}(3, 4) = 16.7$, $F_{0.05}(3, 4) = 6.59$, 从方差分析结果可以看出: 外包丝纤度的 $F = 21.71 > F_{0.01}(2, 4) = 18.0$, 外包丝纤度在 $\alpha = 0.01$ 的水平下对包覆纱摩擦失重率的影响高度显著。包覆度的 $F = 29.72 > F_{0.01}(3, 4) = 16.7$, 包覆度在 $\alpha = 0.01$ 的水平下对包覆纱摩擦失重率的影响高度显著。导丝钩距离的 $F = 8.37 > F_{0.05}(3, 4) = 6.59$, 导丝钩距离在 $\alpha = 0.05$ 的水平下对包覆纱摩擦失重率的影响一般显著。芯纱预加张力 $F = 26.45 > F_{0.01}(3, 4) = 16.7$, 芯纱预加张力在 $\alpha = 0.01$ 的水平下对包覆纱摩擦失重率的影响高度显著。统计数据的方差分析结果如表 4.9 所示。

在四个对包覆纱摩擦失重率的影响因素中, 外包丝纤度、包覆度、芯纱预加张力这三个因素在 $\alpha = 0.01$ 的水平下对摩擦失重率的影响都高度显著, 其中以包覆度最为显著, 耐磨性较优的锦纶长丝以适当的包覆度包缠在罗布麻混纺纱的外层, 合适的芯纱预加张力增强了两者的抱合程度, 不易发生滑脱, 摩擦时纱线的损伤减小, 耐磨性提高^[41]。导丝钩距离对包覆的耐磨性影响也显著, 但对其的影响比上述三个因素小, 影响显著程度一般。

表4.9 单包覆摩擦失重率的方差分析

方差来源	方差	自由度	F 比	α	显著性
A	68.59	2	21.71	0.01	高度显著
B	140.89	3	29.72	0.01	高度显著
C	39.67	3	8.37	0.05	一般显著
D	125.36	3	26.45	0.01	高度显著
误差	6.32	4	-	-	-

4.4.2.2 单包覆断裂强度的方差分析

查 F-分布临界值表得到 $F_{0.025}(2, 4) = 10.65$, $F_{0.01}(3, 4) = 16.7$, $F_{0.025}(3, 4) = 9.98$, 从方差分析结果可以看出: 外包丝纤度的 $F = 16.18 > F_{0.025}(2, 4) = 10.65$, 外包丝纤度在 $\alpha = 0.025$ 的水平下对包覆纱强度的影响较显著。包覆度的 $F = 19.03 > F_{0.01}(3, 4) = 16.7$, 包覆度在 $\alpha = 0.01$ 的水平下对包覆纱强度的影响高度显著。导丝钩距离的 $F = 11.52 > F_{0.025}(3, 4) = 9.98$, 导丝钩距离在 $\alpha = 0.025$ 的水平下对包覆纱强度的影响较显著。芯纱预加张力 $F = 16.36 > F_{0.025}(3, 4) = 9.98$, 芯纱预加张力在 $\alpha = 0.025$ 的水平下对包覆纱强度的影响较显著。统计数据的方差分析结果如表

4.10 所示。

在四个对包覆纱强度的影响因素中，包覆度的 F 值最大，其对强度的影响也最为显著，外包丝纤度次之，然后是导丝钩距离、芯纱预加张力。因此，在包覆纱强度最优工艺因素的选择中首先要选择的因素是包覆度^[42-43]，从单因素试验结果也可以直观的看出，随着包覆度的增大，包覆纱的强度呈现先增大后略微下降的趋势，与包覆度呈向上开口的二次抛物线关系且锦纶/罗布麻包覆纱的强度与包覆度的关系影响较大。

表4.10 单包覆断裂强度的方差分析

方差来源	方差	自由度	F 比	α	显著性
A	0.89	2	16.18	0.025	较显著
B	1.57	3	19.03	0.01	高度显著
C	0.95	3	11.52	0.025	较显著
D	1.35	3	16.36	0.025	较显著
误差	0.11	4	-	-	-

4.4.2.3 双包覆摩擦失重率的方差分析

查 F-分布临界值表得到 $F_{0.025}(3, 2) = 39.17$, $F_{0.05}(2, 2) = 19.0$, $F_{0.05}(3, 2) = 19.2$, $F_{0.1}(3, 2) = 9.16$, 从方差分析结果可以看出：外包丝纤度的 $F = 20.81$ 或 $21.92 > F_{0.05}(2, 2) = 19.0$ ，外包丝纤度在 $\alpha = 0.05$ 的水平下对包覆纱摩擦失重率的影响一般显著。包覆度的 $F = 49.01 > F_{0.025}(3, 2) = 39.17$ ，包覆度在 $\alpha = 0.025$ 的水平下对包覆纱摩擦失重率的影响较显著。导丝钩距离的 $F = 13.45 > F_{0.1}(3, 2) = 9.16$ ，导丝钩距离在 $\alpha = 0.1$ 的水平下对包覆纱摩擦失重率的影响显著。芯纱预加张力 $F = 42.52 > F_{0.025}(3, 2) = 39.17$ ，芯纱预加张力在 $\alpha = 0.025$ 的水平下对包覆纱摩擦失重率的影响较显著。统计数据的方差分析结果如表 4.11 所示。

通过分析可知，各因素对包覆纱摩擦失重率的影响均显著。其中以芯纱预加张力的影响最大，导丝钩距离的影响最小。

表 4.11 双包覆摩擦失重率的方差分析

方差来源	方差	自由度	F 比	α	显著性
A	22.68	2	20.81	0.05	一般显著
B	23.89	2	21.92	0.05	一般显著
C	80.13	3	49.01	0.025	较显著
D	21.99	3	13.45	0.1	显著
E	69.52	3	42.52	0.025	较显著
误差	1.09	2	-	-	-

4.4.2.4 双包覆断裂强度的方差分析

查 F-分布临界值表得到 $F_{0.025}(3, 2) = 39.17$, $F_{0.05}(2, 2) = 19.0$, $F_{0.1}(2, 2) = 9.00$, $F_{0.1}(3, 2) = 9.16$, 从方差分析结果可以看出: 外包丝纤度的 $F = 20.67$ 或 $18.33 > F_{0.1}(2, 2)$, 外包丝纤度对包覆纱强度的影响一般显著。包覆度的 $F = 52.67 > F_{0.01}(3, 2) = 39.17$, 包覆度在 $\alpha = 0.025$ 的水平下对包覆纱强度的影响较显著。导丝钩距离的 $F = 12.44 > F_{0.1}(3, 2) = 9.16$, 导丝钩距离在 $\alpha = 0.1$ 的水平下对包覆纱强度的影响显著。芯纱预加张力 $F = 44.22 > F_{0.025}(3, 2) = 39.17$, 芯纱预加张力在 $\alpha = 0.025$ 的水平下对包覆纱强度的影响较显著。统计数据的方差分析结果如表 4.12 所示。

通过分析可知, 各因素对包覆纱强度的影响均显著。其中以包覆度的影响最大, 导丝钩距离的影响最小。

表 4.12 双包覆断裂强度的方差分析

方差来源	方差	自由度	F 比	α	显著性
A	0.62	2	20.67	0.05	一般显著
B	0.55	2	18.33	0.1	显著
C	2.37	3	52.67	0.025	较显著
D	0.56	3	12.44	0.1	显著
E	1.99	3	44.22	0.025	较显著
误差	0.03	2	-	-	-

单、双包覆纱摩擦失重率及断裂强度的正交设计计算如表 4.5-4.8 所示。 R_j 的大小反映了试验因素的影响程度, R_j 越大影响程度越高。在单包覆纱中, 由表 4.5 看出, 对耐磨性影响因素的大小次序为: 包覆度 > 芯纱预加张力 > 外包丝纤度 > 导丝钩距离; 由表 4.6 看出, 对强度影响因素的大小次序为: 包覆度 > 芯纱预加张力 > 外包丝纤度 > 导丝钩距离。在双包覆纱中, 由表 4.7 可知, 对耐磨性影响因素的大小次序

为：包覆度>芯纱预加张力>外包丝纤度>导丝钩距离；由表 4.8 可知，对强度影响因素的大小次序为：包覆度>芯纱预加张力 >外包丝纤度>导丝钩距离。在每个因素中，对于包覆纱的耐磨性来说，表 4.5 和 4.7 中 K_{ij} 值 ($i=1, 2, 3, 4$) 最小时的水平最优，而对于强度来说，表 4.6 和 4.8 中 K_{ij} 值 ($i=1, 2, 3, 4$) 最大时的水平最优。

以单包覆为例，对包覆纱性能进行分析：

由表 4.5 可知，对于包覆纱的耐磨性来说，外包丝纤度在 3 水平时 K_{3j} 值最小，而由表 4.6 可知，对于强度来说，在 3 水平时 K_{3j} 值最大。外包丝纤度越大，复丝中含有的单丝根数越多，表面接触面积越大，产生的摩擦力越大，纱线强力提高。而纱线的耐磨性主要取决于外层纤维的抗磨能力，随着锦纶长丝的纤度增大，摩擦时接触面增加，重量损失率减小，提高了原罗布麻纱的耐磨性。因此，外包丝纤度以 3 水平为宜。

由表 4.5 可以看出，对于包覆纱的耐磨性来说，包覆度在 3 水平时 K_{3j} 值最小，而由表 4.6 可以看出，对于强度来说，在 3 水平时 K_{2j} 值最大。随着包覆度的增加，纱线抱合力增强，纤维不容易滑脱，同时，随着包覆度的增加，外包锦纶长丝在成纱中所占的比例增加，锦纶长丝的耐磨能力得到充分展现，因此成纱的耐磨性增强。但当包覆度增加至 700 圈 / m 时，若包覆度继续增加，外包丝对纱线的轴向倾斜角增大，使长丝强力在纱条轴向承受的有效分力降低，考察纱线强力以芯纱断裂为准，这时强度反而降低^[44-46]，耐磨性也随之下落。因此，包覆度选择 3 水平时最优。

由表 4.5 可以看出，对于包覆纱的耐磨性来说，导丝钩距离在 3 水平时 K_{3j} 值最小，而由表 4.5 可以看出，对于强度来说，在 3 水平时 K_{2j} 值最大。随着气圈导丝钩距离增大，锦纶长丝退绕时受到的气圈张力增加，包覆张力就大，受摩擦时罗布麻芯纱与锦纶长丝之间抱合力加强，两者之间不易产生滑移，耐磨性提高。因此，导丝钩距离选择 3 水平时最优。

由表 4.5 可以看出，对于包覆纱的耐磨性来说，芯纱预加张力在 3 水平时 K_{2j} 值最小，而由表 4.6 可以看出，对于强度来说，在 3 水平时 K_{2j} 值最大。当芯纱预加张力增大时，芯纱在成纱中将逐步转变为拉伸状态，此时芯纱将与外包丝同时受力，这时锦纶长丝将对包覆纱强度发挥明显的作用^[47-54]；芯纱预加张力的增大，有利于外包长丝有规律地缠绕到芯纱上，增强内外层的抱合性能，提高了包覆纱的耐磨性。但是当芯纱预加张力增大到一定值时，内部应力增加，甚至造成内外层的相对滑动，包覆纱强度下降，耐磨性也随之降低^[55]。因此，罗布麻纱的预加张力以 3 水平为宜。

对双包覆纺纱工艺，采取与单包覆相同的方法进行正交试验分析^[56-59]，以提高包覆纱的耐磨性为主，兼顾其强度的大小，通过计算分析得出最优包覆纺纱工艺。表 4.13 为两种包覆方法的最优工艺。

表 4.13 单、双最优包覆纺纱工艺

因素 包覆类型	外包丝纤度 /D	包覆度 /圈·m ⁻¹	导丝钩距离 /mm	芯纱预加张力 /cN
单包覆	30	700	75	15
双包覆	30	600	75	12

4.5 本章小结

本章首先对正交试验设计方法进行了概述,简单介绍了正交试验设计的原理和方法;其次根据第三章的前期试验选取了外包丝纤度、包覆度、导丝钩距离、芯纱预加张力四个因素作为工艺参数进行工艺优化,由于包覆纱的断裂强度和耐磨性是对纱线有重大影响的两项指标,因此,本章试验选取断裂强度和耐磨性作为考察的目标而建立目标函数;最后通过对上述四个试验因素对包覆纱强度和耐磨性两项指标影响显著性的方差分析,得出各试验因素对纱线指标影响的显著性及其显著程度,分析了这两项指标与各试验因素之间的关系,对纺纱工艺进行综合评定,得到单、双包覆工艺的最优工艺参数。

第五章 成纱机理及结构性能对比分析

5.1 包覆成纱机理研究^[63-69]

空心锭包覆纺纱应用缠捻成纱的原理^[60-62]，其基本特征是由纱芯和包缠纤维两部分组成，纱芯一般为平行或稍有假捻的纤维束，也可以是单纱，包缠纤维为长丝或短纤纱。包缠捻从本质上讲是真捻与假捻的结合，纱芯多为非自由端假捻，最终不改变芯纱自身捻度，包缠长丝则是以真捻的形式包缠在芯纱的周围，成为具有一定强力的包覆纱。包缠捻的获得方法有两种，一种是利用非自由端假捻纱芯与表面边缘纤维的初始捻回差，在纱芯反向退捻时边缘纤维便产生反向包缠，如图 5.1 (a) 所示，另一种是将长丝或单纱围绕非自由端纱芯连续回转直接缠绕在纱芯上而形成的包缠捻，如图 5.1 (b) 所示。

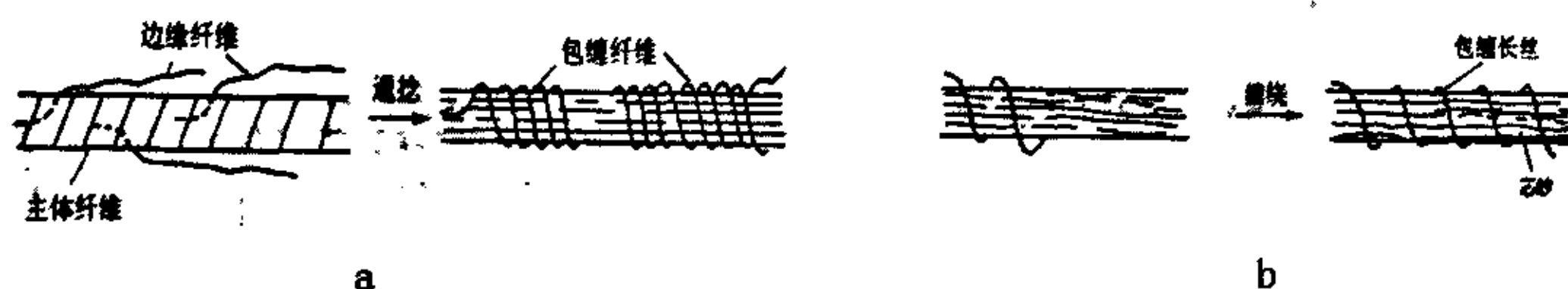
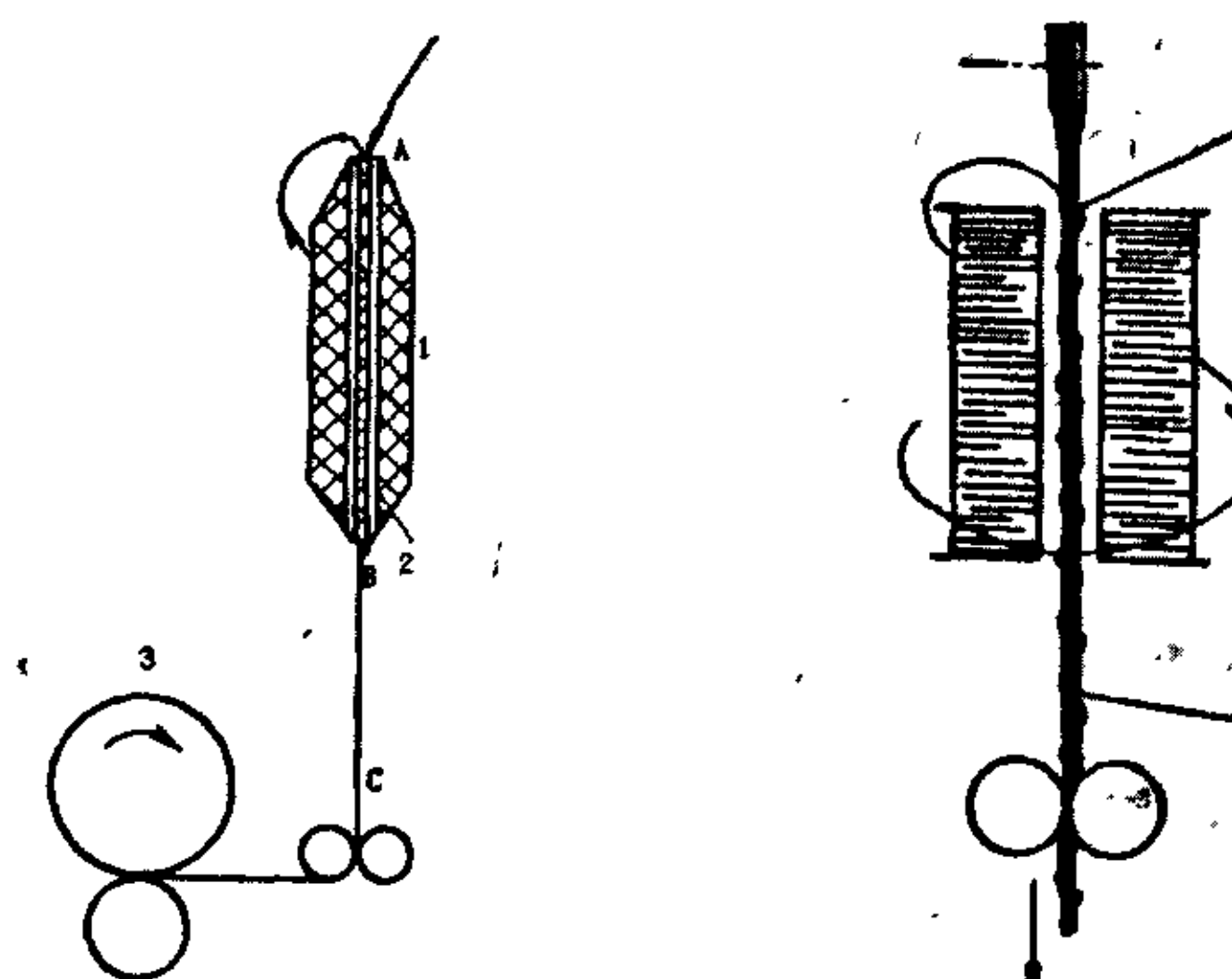


图 5.1 包缠捻成纱示意图

锦纶/罗布麻包覆纱就是在空心锭子纺机上利用图 5.1 (b) 这一纺纱原理，以罗布麻混纺纱为芯纱，外包锦纶长丝生产加工而成。图 5.2 所示为空心锭加捻，空心锭子上装有长丝筒子，筒子退绕出的锦纶长丝与经过预加张力后穿过锭子轴心的孔道的罗布麻混纺纱并合在一起。当空心锭子高速回转时，筒子也随之转动，锦纶长丝就包缠在罗布麻混纺纱上，形成高强耐磨锦纶/罗布麻包覆纱。纱芯的原始自身捻度几乎没有变化，形成长丝呈螺旋状的包覆纱。空心锭子纺锦纶/罗布麻包覆纱从纺纱原理上说属于非自由端纺纱，从成纱结构上来说属于包覆纺，其成纱捻度是包缠捻。



1-筒子 2-空心锭子 3-成纱

图 5.2 空心锭子包覆纺纱加捻

5.2 包覆效果对耐磨性的影响及纱线结构

5.2.1 包覆效果的理论分析

第一节已经探讨了包覆纺纱的成纱机理，通过对纱线包覆机理的探讨和对试验的正交分析可以看出，提高纱线包覆效果和耐磨性的关键是外包锦纶长丝比例的适当，而外包长丝的多少将直接决定包覆效果的好坏，外包长丝对罗布麻混纺纱的包覆是否均匀、是否连续是评价纱线质量优劣尤其是耐磨性的重要依据。包覆纱中罗布麻混纺纱与锦纶长丝客观上存在着一个比例，该比例与混纺比是完全不同的概念，我们把外包长丝在包覆纱中所占的比例称为包覆量。纱线包覆量的大小受到一定因素的制约：首先，纺纱条件的制约，因为包覆量的大小是包覆工艺的一个重要因素；其次，产品质量的制约，再次，还受到产品用途和成本的制约。

为了确切研究包覆纱的包覆效果及耐磨性，我们先从理论上进行分析外包长丝，对于包覆量的理论分析范尧明给出了包覆量的理论最小值^[70]。

设锦纶长丝的截面是圆的，而且均匀地排列在罗布麻芯纱的周围，平行于纱轴均匀包围罗布麻纱一周需要的纤维根数为 n ，则

$$n = \frac{2\pi(d_c/2 + d_T/2)}{d_c} = \pi(1 + d_T/d_c) \quad \text{公式 5-(1)}$$

$$d_T = 11.89\sqrt{N_T/r_T} \quad \text{公式 5-(2)}$$

$$d_c = 1128.36 / \sqrt{N_m r_c} \quad \text{公式 5-(3)}$$

式中: d_c 、 d_T —锦纶长丝和罗布麻混纺纱直径, μm ;

r_c 、 r_T —锦纶长丝和罗布麻混纺纱密度, μm ;

D 、 N_m —锦纶长丝旦数和罗布麻混纺纱支数。

$$\text{推算出外包纤维最小线密度为: } N_{tmin} = 1000n / N_m \quad \text{公式 5-(4)}$$

最小包覆量 α_{min}

$$\alpha_{min} = \frac{N_{tmin}}{N_{tmin} + (D/9)} \times 100\% = \frac{1000n/N_m}{1000n/N_m + D/9} = (9000n)/(9000n + DN_m) \quad \text{公式 5-(5)}$$

式中:

$$n = \frac{2\pi \times [(d_c/2) + (d_T/2)]}{d_c} = \pi[1 + (d_T/d_c)] = \pi(1 + 0.01054\sqrt{N_T N_m r_c / r_T}) \quad \text{公式 5-(6)}$$

上述推导的最小包覆量 α_{min} 仅为理论值, 在实际生产过程中由于外包纤维在不可能完全均匀地排列在内层纤维的周围, 因此, 实际最小包覆量还应大于理论最小包覆量。

包覆量对成纱的耐磨性有明显的相关性。当包覆量适中时, 由于长丝的均匀性在纱中能充分体现出来, 加之外包长丝的均匀包缠, 可得到优越的成纱条干, 耐磨性较好。当包覆量减小时, 长丝的优势没有体现出来, 加之外包长丝控制不好时, 条干不一定好, 而且毛羽也多, 影响了成纱的耐磨性。而当包覆量增大时, 虽然长丝的优势进一步体现了出来, 但外包长丝明显的包缠不均已抵消了这种优势。包覆纺纱对包覆量都有一定的要求, 否则不可能把罗布麻混纺纱包覆在中间, 产生裸纱现象, 从而引起包绕牢度下降, 强力减小, 耐磨性降低。

5.2.2 包覆纱的纵向结构

外包长丝以螺旋的形式缠绕于芯纱表面, 用于增加罗布麻纱耐磨性, 而且纱线的强力也由于锦纶长丝的包缠而提高, 罗布麻芯纱提供其优良的抗菌、医疗保健等功能, 使得该包覆纱同时具有罗布麻和锦纶两种成分的优良性能。包覆纱分为单包覆和双包覆两种, 区别在于包缠层数和外包层每米圈数不同。

对于包覆效果的试验采用示踪法, 将锦纶长丝上色, 拍摄电镜照片进行分析,

单、双包覆纵向结构如图 5.3 所示。



单包覆 (a)



双包覆 (b)

图 5.3 单双包覆纱纵向扫描电镜照片

单包覆纵向结构如图 5.3 (a) 所示，在罗布麻混纺纱外层上包上一层锦纶长丝，外包丝按同一方向倾斜，结构紧密均匀，光滑毛羽少，其缺点是由于施加于芯纱的每米包缠圈数较少，会出现露芯现象，应用在袜子、纬编内衣上。

双包覆纵向结构如图 5.3 (b) 所示，在罗布麻混纺纱外层包缠两层锦纶长丝，这两层包缠的方向相反。由于锦纶长丝是以相反的螺旋角对称包缠的，因此，芯纱上不需要附加捻度，就可以达到成纱力学的平衡，形成手感硬、挺、丰厚等独特风格。但双包覆纱的加工费用加高，用于连裤袜、袜子口等。

这种罗布麻复合纱线的最大特征就是高强耐磨，改善了罗布麻混纺纱线毛羽多、条干不匀、强力低、耐磨性差等缺点，提高了罗布麻的可纺性，对于罗布麻纺纱及其织造等后续加工提供了技术支持，推动了罗布麻纤维及其制品的推广利用。这种纱线主要用于高档针织内衣，特别是用于袜子制品，既能起到抗菌保健的作用，又可以增强罗布麻制品的耐磨性，提高其使用寿命。

5.3 包覆纱与原罗布麻混纺纱的对比试验

5.3.1 目的和意义

研究罗布麻纱包覆工艺的最终目的是提高罗布麻纱的强力和耐磨性，为后续的纺织加工提供优良的原料，因此对采用正交设计优化出来的单、双包覆方案必须进行与可纺性有关的纱线性能测试，并与原罗布麻混纺纱进行比较，以此来证明其优越性。

5.3.2 工艺参数的选择

包覆纺纱对比试验是在 HKV141D—I 型包覆丝机上纺制的。罗布麻混纺纱作为芯纱先施加一定的预加张力，经导纱钩后，喂入空心锭子，空心锭子在龙带的摩擦带动下高速回转，使套在锭子上筒子外的锦纶长丝高速旋转而退解，在气圈导丝钩的作用下形成包覆气圈，锦纶长丝就不断的加捻并包缠到罗布麻芯纱上。

根据正交试验优化结果，并结合包覆纺纱工艺一般参数，制定出本对比试验的纺纱工艺参数。为比较包覆纺纱前后纱线性能的不同，特纺制出单、双两种不同的纱线。原料及工艺参数如下：

原料：①原罗布麻纱为棉、罗布麻、涤纶三组分混纺，混纺比为 60：35：5

②包覆纺纱为芯纱是棉/罗布麻/涤纶（60/35/5）混纺纱，外包锦纶长丝（30D）

工艺参数：单包覆：包覆度 $700 \text{ 圈} \cdot \text{m}^{-1}$ ；芯纱预加张力 15cN；导丝钩距离 75mm

双包覆：包覆度 $600 \text{ 圈} \cdot \text{m}^{-1}$ ；芯纱预加张力 12cN；导丝钩距离 75mm

5.3.3 结果及对比

按照试验工艺参数的选择进行纺纱，所得的纱线的基本性能测试结果如表 5.1 所示。

表 5.1 包覆纱与原罗布麻混纺纱基本性能测试结果

项目	单位	单包覆	双包覆	原罗布麻混纺纱
断裂强度 P	cN/tex	13.52	14.86	9.66
断裂伸长率 L	%	2.98	2.76	2.61
摩擦失重率 S	%	15.83	12.37	21.55
CV 值 H	%	12.38	13.29	16.83
毛羽指数 B		5.08	4.83	8.63

从测试结果可以看出，单、双包覆纱在纱线强伸、耐磨及均匀度各方面均优于原罗布麻混纺纱，采用双包覆工艺得到的复合纱线在断裂强度、摩擦失重率、毛羽方面较好，而断裂伸长率、CV 值较差。就各项指标综合而论，具体哪种方法更好，很难从直观上给予定论，下面用模糊综合评判的方法对两种方法得到的包覆纱的各项指标进行综合评判，并与原罗布麻混纺纱进行比较。

下面用模糊综合评判的方法对数据进行处理^[71]。

给定了论域 U 上的一个模糊子集 A ，是指对于任意 $\mu_i \in U$ ，都指定了一个数 μ_i

$(U) \in [0, 1]$, 叫做 μ 对 A 的隶属程度。

$$\begin{aligned} \text{映射} \quad \mu_A: U &\rightarrow [0, 1] \\ \mu &\rightarrow \mu_A(\mu) \end{aligned}$$

μ_A 叫做 A 的隶属函数。 $\mu_A(\mu)$ 叫做 μ 对 A 的隶属度。

五项物理指标转换成隶属函数的计算公式为:

$$U_1(P) = \frac{P + 2.36}{16.8} \quad \text{公式 5-(7)}$$

$$U_2(L) = \frac{1.3 + L}{5.2} \quad \text{公式 5-(8)}$$

$$U_3(S) = \frac{94.5 - S}{90} \quad \text{公式 5-(9)}$$

$$U_4(H) = \frac{27.7 - H}{16.6} \quad \text{公式 5-(10)}$$

$$U_5(B) = \frac{24.9 - B}{21.7} \quad \text{公式 5-(11)}$$

经验证上述 5 个公式在置信度为 0.05 的水平下是显著的。

纱线质量评定的权重系数为: $P: 0.30; L: 0.18; S: 0.30; H: 0.12; B: 0.10$

由以上 5 个公式可算得精干麻各质量指标的隶属值 u 值如表 5.2 所示。

表 5.2 纱线各质量指标的 u 值

方案	$U_1(P)$	$U_2(L)$	$U_3(S)$	$U_4(H)$	$U_5(B)$
单包覆	0.945	0.823	0.874	0.923	0.913
双包覆	1.025	0.781	0.913	0.868	0.925
原混纺纱	0.715	0.752	0.811	0.655	0.750

隶属度 r 值的求法根据实际情况分为 n 个等级, 步骤为:

- (1) 定出 n 个等级的适宜范围 $[T_1, T_2], [T_2, T_3], \dots, [T_{n-1}, T_n]$ 。
- (2) 如果原始数据落在 T_1 和 T_n 外, 相应取隶属值 $1/T_1$ 和 $1/T_n$ 。
- (3) 如果 M 点落在某区间如 $[T_2, T_3]$ 之间, 则产生二个隶属值 r_2/T_2 和 r_3/T_3 ,

r_2 和 r_3 按下式计算:

$$r_2 = (d - |T_2 - M|) / d, \quad r_3 = (d - |T_3 - M|) / d \quad \text{公式 5-(12)}$$

其中 d 为极差, 如果落在其他区间, 也用此公式计算 r 值。

如果隶属度 $u \geq 1$, 定为优 (隶属度值为 $1/A$); $u = 0.9$ 定为良 (隶属度值为 $1/B$); $u = 0.8$ 定为中 (隶属度值为 $1/C$); $u \leq 0.7$ 定为差 (隶属度值为 $1/D$)。

根据隶属值的分布计算精干麻各指标的隶属度 r 值如表 5.3 所示。

表 5.3 纱线各指标的 r 值

方案	断裂强度 $P/\text{cN} \cdot \text{tex}^{-1}$	断裂伸长率 L/%	摩擦失重率 S/%	CV 值 H/%	毛羽指数 B
单包覆	$\frac{0.45}{A} + \frac{0.55}{B}$	$\frac{0.23}{B} + \frac{0.77}{C}$	$\frac{0.74}{B} + \frac{0.26}{C}$	$\frac{0.23}{A} + \frac{0.77}{B}$	$\frac{0.13}{A} + \frac{0.87}{B}$
双包覆	$\frac{1}{A}$	$\frac{0.81}{C} + \frac{0.19}{D}$	$\frac{0.13}{A} + \frac{0.87}{B}$	$\frac{0.68}{B} + \frac{0.32}{C}$	$\frac{0.25}{A} + \frac{0.75}{B}$
原混纺纱	$\frac{0.15}{C} + \frac{0.85}{D}$	$\frac{0.52}{C} + \frac{0.48}{D}$	$\frac{0.11}{B} + \frac{0.89}{C}$	$\frac{1}{D}$	$\frac{0.50}{C} + \frac{0.50}{D}$

单因素评判矩阵为 R ，权向量为 W 。

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{pmatrix} \quad \text{公式 5-(13)}$$

$$W = (0.30, 0.18, 0.30, 0.12, 0.10)$$

对单包覆

$$Y_1 = WR = (0.30, 0.18, 0.30, 0.12, 0.10) \begin{pmatrix} 0.45 & 0.55 & 0 & 0 \\ 0 & 0.23 & 0.77 & 0 \\ 0 & 0.74 & 0.26 & 0 \\ 0.23 & 0.77 & 0 & 0 \\ 0.13 & 0.87 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$= (0.176, 0.608, 0.217, 0)$$

$$K_1 = Y_1 Q^T = (0.176, 0.608, 0.217, 0)(1, 0.67, 0.33, 0)^T = 0.65497$$

对双包覆

$$Y_2 = WR = (0.30, 0.18, 0.30, 0.12, 0.10) \begin{pmatrix} 1 & 0.55 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.81 & 0.19 \\ 0.13 & 0.87 & 0 & 0 \\ 0 & 0.68 & 0.32 & 0 \\ 0.25 & 0.75 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$= (0.364, 0.583, 0.184, 0)$$

$$K_2 = Y_2 Q^T = (0, 0, 0.189, 0.811)(1, 0.67, 0.33, 0)^T = 0.81533$$

对原罗布麻混纺纱

$$Y_3 = WR = (0.30, 0.18, 0.30, 0.12, 0.10) \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0.15 & 0.85 \\ 0 & 0 & 0.52 & 0.48 \\ 0 & 0.11 & 0.89 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0.50 & 0.50 \end{pmatrix}$$

$$= (0, 0.033, 0.456, 0.811)$$

$$K_3 = Y_3 Q^T = (0, 0.033, 0.456, 0.811)(1, 0.67, 0.33, 0)^T = 0.17259$$

经计算可以看出, $K_1 = 0.65497$, $K_2 = 0.81533$, $K_3 = 0.17259$, 即 $K_2 \succ K_1 \succ K_3$ 。

所以, 我们可以得出结论: 双包覆纱的综合指标要好于单包覆纱的综合指标, 且远优于罗布麻混纺纱的综合指标。

通过对比试验我们可以看出, 单包覆工艺纺制的罗布麻复合纱与双包覆工艺纺制的罗布麻复合纱相比, 后者虽然有些指标不及前者, 但利用模糊综合评判对两种复合纱的各项指标进行综合评比可以看出, 双包覆工艺纺制的罗布麻复合纱综合指标要优于单包覆工艺纺制的罗布麻复合纱, 而且对原罗布麻混纺纱的综合指标有很大的改善。

5.3.4 包覆纱的性能分析

在对包覆纱结构及包覆效果分析的基础上, 本部分将对纱线的强伸性、耐磨性, 毛羽及条干进行探讨与分析。

5.3.4.1 纱线的强伸性

由于纱线的断裂强力是影响纱线及织物性能的重要因素, 对于断裂强力这一纱线的力学性能指标, 几乎所有的研究者都把其作为重点研究对象。对于强伸性提高的机理则前人研究的不多, 由于纱线具有特殊的结构, 使其断裂伸长性能及机理与传统有较大的差异。包覆纱包覆层和芯层之间有着捻度的差异, 形成内紧外松的纱线, 内外层之间纤维的抱合力比单纱中纤维之间的抱合力差。由于包覆纱是内紧外松的结构, 纱线在拉伸过程中, 首先是芯层受外力伸长, 包覆层受力后产生向内挤压的趋势, 之后逐渐产生轴向的压力。纱线拉伸时, 纱体及芯纱逐渐伸直伸长, 外包丝因捻度而逐渐以螺旋状靠拢芯纱, 纤维间已几乎无相互滑移的自由, 此时主要

是外包丝承担拉伸张力，纱线的强力提高。由于锦纶长丝的强伸作用，包覆纱在强度等力学性能要比罗布麻混纺纱的质量高，大约提高了 34%-51%。

5.3.4.2 纱线的耐磨性

纱线的耐磨性是纱线的重要指标之一，它不仅影响织造过程的顺利进行，而且对织物的耐磨性能也产出较大的影响。包覆纱是典型的皮芯结构，在摩擦过程中纱线的表层首先受到强有摩擦，纤维之间出现松动滑移，之后纱线的表层开始聚集成毛球，由于毛球的存在增加了纱线的摩擦阻力，继续摩擦毛球在强摩作用下相继脱落，纤维损失严重纱线变细。包覆纱线的耐磨性明显高于原罗布麻混纺纱，这是由于作为外包层的锦纶长丝的耐磨性很好，居于对纺织纤维之首。在包缠过程中，锦纶长丝以螺旋的形式包缠在罗布麻芯纱之外，内外两层之间产生一定的抱合力，包覆度增大，锦纶长丝对罗布麻芯纱进一步握持，从而使内外之间结合更紧密，抱合力进一步增大，耐磨性提高。但是随着包覆度的增加过大时，由于纱线强力的降低，抱合力略降低，耐磨性出现下降的趋势。因此，内外层之间的抱合作用及纱线外层的耐磨能力是纱线耐磨性的关键。

5.3.4.3 纱线的毛羽

在毛羽性能方面，包覆纱的 CV 值比原罗布麻混纺纱小。对于复合纺纱毛羽减少的原因，研究者曾做了大量的研究工作，部分学者认为毛羽的减少是纱条加捻过程中对毛羽的捕捉作用；部分学者认为纺纱过程中两根纱条纤维的抗弯刚度和抗扭刚度不同造成不同成分在纱线中的位置分布差异，外侧缠绕式结构有助于纱线毛羽的减少。本文对纱线毛羽的减少做如下分析：首先，在纺纱过程中，锦纶长丝在包缠时，罗布麻混纺纱的部分毛羽卷入长丝内部，从而减少了毛羽的数量。其次，由于外包层为化学纤维锦纶长丝，毛羽少，条干好，起到了减少毛羽的作用。再次，由于纱线为皮芯结构，纺纱过程中形成外层对芯层的包覆，使得外层部分对芯层纱线的覆盖，又由于外层长丝在纺纱过程中有一定的包覆度，内外层之间由于包覆度的存在而结合紧密，从而减少了毛羽的数量。

5.3.4.4 纱线的条干不匀

包覆纱线的条干均优于原罗布麻混纺纱，主要是由于长丝的条干较好，在包覆过程中，外层对芯层的包缠，使得长丝对条干不匀的罗布麻混纺纱均匀地覆盖，又由于外层长丝在包覆过程中有一定的包覆度，内外层之间由于包覆度的存在而结合紧密。而在罗布麻混纺纱的成纱过程中，须条从前罗拉钳口输出后立刻受到强加捻力矩的作用，形成较明显的加捻三角区，须条边缘纤维易流失，造成条干不匀。罗布麻混纺纱经包缠之后，纱线条干不匀状况得到较大改善。

5.4 本章小结

本章首先介绍了空心锭包覆纺纱的成纱机理,锦纶/罗布麻包覆纱就是利用这一原理加工而成的一种高强耐磨复合纱线,它具有包覆纱的结构特征和基本性能;其次通过包覆量的大小对纱线包覆效的理论研究,分析出对纱线耐磨性的影响;最后运用模糊数学的方法将单、双包覆纱与原罗布麻混纺纱进行模糊综合处理,得出罗布麻混纺纱在被锦纶长丝包覆之后的性能大大优于原罗布麻混纺纱,并且双包覆的综合指标要好于单包覆的综合指标。

第六章 针织物的验证性研究

锦纶/罗布麻包覆纱具有手感丰满、条干均匀、耐磨性好、强力高、表面毛羽少等优点，因此，其既具有罗布麻织物吸湿透气、抗菌抑菌的医疗特性，又充分体现出锦纶高强耐磨的优点，生产前景较为广阔。

目前，包覆纱织物已广泛应用于及织物、针织物、绒类毯类织物及装饰类织物^[72-75]。由于罗布麻本身的特点及初加工工艺不完善，致使其成纱品质较差，影响到罗布麻织物的开发与应用。锦纶/罗布麻包覆纱在充分保持原罗布麻主要性能的前提下，增强其强力和耐磨性，为罗布麻织物的推广提供了一条新的思路。

6.1 针织及后整理加工工艺

为了充分体现出锦纶/罗布麻包覆纱高强耐磨的优点和吸湿透气、抗菌抑菌的特性，我们对该包覆纱的高档针织面料进行了研究开发。

6.1.1 针织工艺要点

6.1.1.1 设备参数

表 6.1 针织单面圆机的设备参数

项目	参数
机器类型	针织单面圆机
针筒直径/cm	508cm (20 英寸)
机号/针·(25.4mm) ⁻¹	24
机器总针数	1500N
进纱路数	40
转速/r·min ⁻¹	40
进线长度/m·r ⁻¹	4.32
进纱张力/cN	2.5-3

6.1.1.2 纱线预处理

因为锦纶/罗布麻包覆纱刚度较棉纱大，所以要对纱线进行上蜡处理，同时要控制毛羽的倒伏方向，确保与编织时的进纱方向相反，以利于编织的顺利进行。

6.1.1.3 送纱工艺

送纱工艺中, 送纱张力十分重要, 它直接关系到产品的质量与风格。在送纱时, 送纱张力应保持一致性, 以使布面平整。同时, 为了避免织造时产生漏针、破洞等疵点, 在保证顺利编织的条件下, 应尽量减小张力。这样一方面可减少原料与导纱器之间的摩擦, 防止原料损伤; 另一方面又可保证成品尺寸稳定。经反复调试, 进纱张力选择控制在 2.5-3cN 范围内。

6.1.1.4 车间温湿度^[76]

与棉纱相比, 锦纶/罗布麻包覆纱编织时的环境湿度偏高控制, 相对湿度在 70% 左右为宜。若车间内湿度较低, 在织造过程中易产生静电, 造成织造时宜停车、出疵点。故要严格控制车间的温湿度, 以消除编织疵点。

6.1.1.5 织物规格

表 6.2 纬平针织物规格

项目 \ 纱线类型	单包覆	双包覆	原罗布麻混纺纱
横密/个·10cm ⁻¹	84	84	84
纵密/个·10cm ⁻¹	93	93	93
毛坯重量/g·m ⁻²	135	182	92
线圈长度/mm	3	3	3
毛坯厚度/mm	0.46	0.55	0.59

6.1.2 后整理加工工艺要点

6.1.2.1 前处理

前处理及过酸工艺配方如表 6.3 所示。

表 6.3 前处理及过酸工艺配方

试剂	精练剂	NaOH	H ₂ O ₂	绿酸
浓度/g·L ⁻¹	1	1	2.5	0.5

前处理工艺条件如图 6.1 所示。

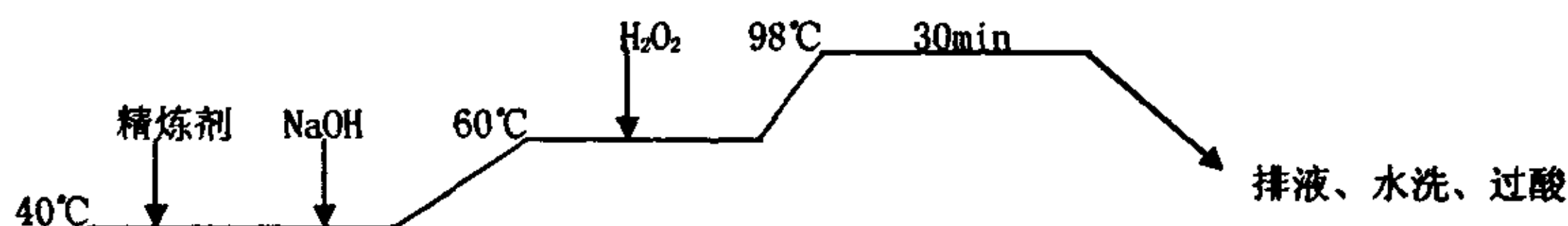


图 6.1 前处理工艺条件

6.2.2.2 烘干

烘干采用了松式无张力烘干机，利用松式无张力烘干，坯布在运行过程中处于松弛状态，能使坯布充分回缩，有利于降低缩水率。

工艺条件：温度 90°C；车速 8—12m/min。

6.2.2.3 定型

预缩定型对改善坯布的缩水率、手感、弹性至关重要，采用了呢毯预缩定型机进行三超预缩整理，既超喂扩幅、超喂烘干、超喂轧光，在反复实验的基础上，决定轧光幅度比坯布筒径尺寸大 5cm 较为合适。

工艺条件：温度 95-108°C；车速 20-22m/min；超喂量 10-15%；蒸汽量适量。

6.2 方法和步骤

6.2.1 测试方法^[77]

6.2.1.1 拉伸断裂强力及顶破强力测试

试验仪器采用 LFY—201 型多功能织物强力机。

拉伸断裂强力的测量方法参考标准 GB/T3923.2-1998《纺织品 织物拉伸性能 断裂强力的测定 抓样法》，每组样品在经、纬向各取 5 块试样，且距布边至少 150mm，保证试样均匀分布于样品上，取样示例如图 6.2 所示。其中每块试样的宽度为 100mm±2mm，长度为 200mm，设定拉伸速度为 50mm/min，预加张力 196cN，拉伸试样至断脱，记录织物的断裂强力。

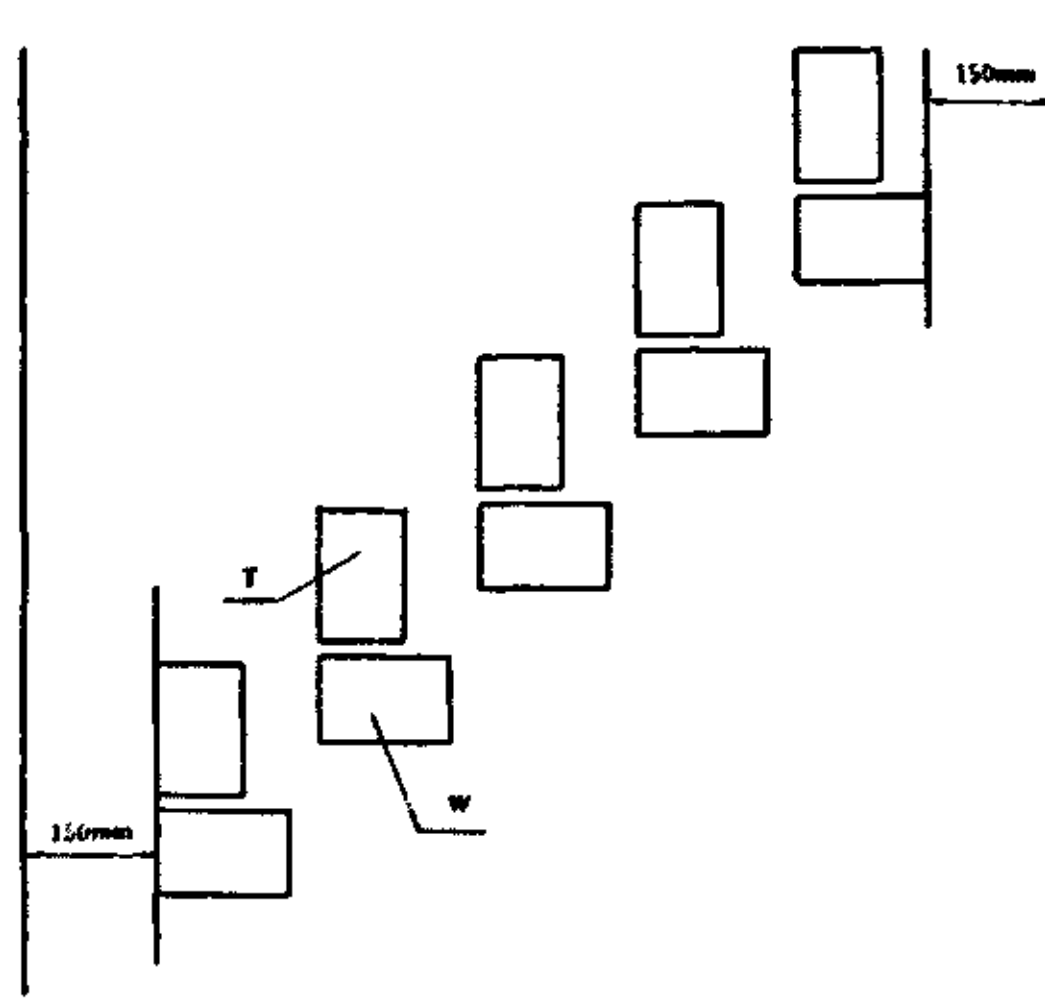


图 6.2 织物拉伸断裂强力测试取样示意图

顶破强力的测量方法参考标准 GB/T19976-2005《纺织品 顶破强力的测定 钢球法》，每组样品试验 5 块试样，取样示例如图 6.3 所示。试样直径为 6mm，设定试验机的速度为 $300 \pm 10 \text{ mm/min}$ ，启动仪器，直至试样被顶破，记录其最大值作为该试样的顶破强力。

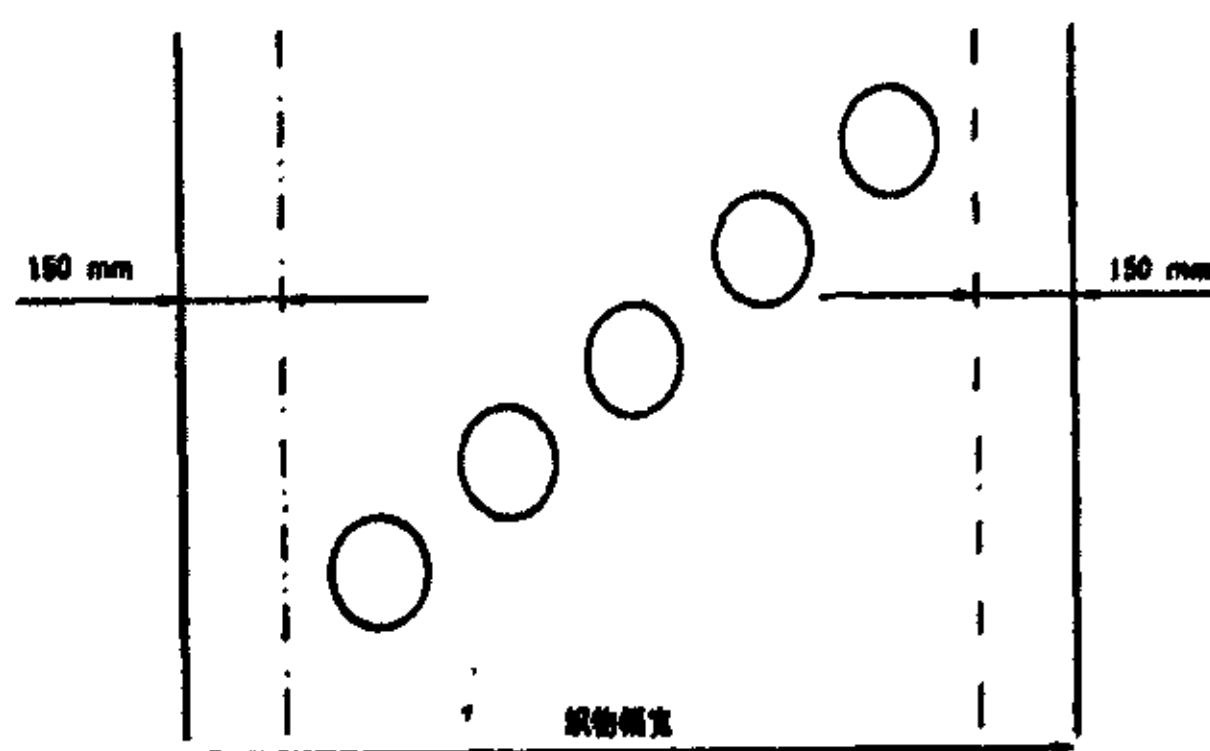


图 6.3 织物顶破强力测试取样示意图

6.2.1.2 耐磨性测试

由于织物中含有锦纶成分，织物不易磨损。为了表征复合纱线织物的耐磨性，拟参考相关标准 GB/T13775-92《棉、麻、绢丝机织物耐磨性试验方法》，采用 YG401D 型织物平磨仪进行测试，每组样品试验 5 块试样取平均值，取样方法与顶破强力的方法相同。试验统一选用 2000 目砂纸为磨料，试样经磨损后，出现两个或两个以上的线圈被磨断即为试验终止，记录摩擦次数。

6.2.2 分析方法和原理

当局势又几个目标时,对各种目标综合考虑的决策称为多目标决策^[78],对于第 k 个目标决策效果测度记为 $r_{ij}^{(k)}$, 其相应得决策元为

$$\delta_{ij}^{(k)} = \frac{r_{ij}^{(k)}}{s_{ij}} \quad \text{公式 6-1}$$

为此,有相应的决策向量 $\delta_i^{(k)}$, $\delta_j^{(k)}$ 以及第 k 个目标的决策矩阵 $D^{(k)}$

$$D^{(k)} = \begin{bmatrix} \frac{r_{11}^{(k)}}{s_{11}} & \frac{r_{12}^{(k)}}{s_{12}} & \cdots & \frac{r_{1n}^{(k)}}{s_{1n}} \\ \frac{r_{21}^{(k)}}{s_{21}} & \frac{r_{22}^{(k)}}{s_{22}} & \cdots & \frac{r_{2n}^{(k)}}{s_{2n}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{r_{m1}^{(k)}}{s_{m1}} & \frac{r_{m2}^{(k)}}{s_{m2}} & \cdots & \frac{r_{mn}^{(k)}}{s_{mn}} \end{bmatrix} \quad \text{公式 6-2}$$

那么,多目标局势决策综合矩阵 $D^{(\Sigma)}$ 为:

$$D^{(\Sigma)} = \begin{bmatrix} \frac{r_{11}^{(\Sigma)}}{s_{11}} & \frac{r_{12}^{(\Sigma)}}{s_{12}} & \cdots & \frac{r_{1n}^{(\Sigma)}}{s_{1n}} \\ \frac{r_{21}^{(\Sigma)}}{s_{21}} & \frac{r_{22}^{(\Sigma)}}{s_{22}} & \cdots & \frac{r_{2n}^{(\Sigma)}}{s_{2n}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{r_{m1}^{(\Sigma)}}{s_{m1}} & \frac{r_{m2}^{(\Sigma)}}{s_{m2}} & \cdots & \frac{r_{mn}^{(\Sigma)}}{s_{mn}} \end{bmatrix} \quad \text{公式 6-3}$$

矩阵中的元素按下式计算

$$r_{ij}^{(\Sigma)} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^n r_{ij}^{(k)} \quad \text{公式 6-4}$$

它称为综合效果测度。

根据决策的目的,若对各个目标要求有所不同时,可分别给予不同的权重 $\bar{\omega}_k$, 且 $\bar{\omega}_k > 0$, $\sum_{k=1}^n \bar{\omega}_k = 1$, 这时矩阵中元素可按下式计算

$$r_{ij}^{(\Sigma)} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^n \bar{\omega}_k r_{ij}^{(k)} \quad \text{公式 6-(5)}$$

决策就是挑选最好的局势，可由事件中挑选最好的决策，称为行决策；也可由对策匹配中挑选最适宜的事件，称为列决策。

行决策是指在决策矩阵的行决策中选择效果测度最大的决策元，即

$$r_{ij}^{(\Sigma)} = \max_j r_{ij}^{(\Sigma)} = \max [r_{i1}^{(\Sigma)}, r_{i2}^{(\Sigma)}, \dots, r_{in}^{(\Sigma)}] \quad \text{公式 6-(6)}$$

则最佳决策为

$$\delta_{ij}^{(k)*} = \frac{r_{ij}^{(k)*}}{s_{ij}^*} \quad \text{公式 6-(7)}$$

式中 s_{ij}^* 为最佳决策的局势，表示 b_j^* 是对付事件 a_i 的最佳决策。

列决策是指在决策矩阵的行决策中选择效果测度最大的决策元，即

$$r_{ij}^{(\Sigma)} = \max_i r_{ij}^{(\Sigma)} = \max [r_{1j}^{(\Sigma)}, r_{2j}^{(\Sigma)}, \dots, r_{mj}^{(\Sigma)}] \quad \text{公式 6-(8)}$$

则最佳决策为

$$\delta_{ij}^{(k)*} = \frac{r_{ij}^{(k)*}}{s_{ij}^*} \quad \text{公式 6-(9)}$$

最佳决策局势为 s_i^* ，表示表示 a_i^* 是匹配 b_j 最适宜的事件。

根据行决策和列决策的结果，若在全局上难以协调，达不到整体效果最优的目的，这时需要建立优序化决策矩阵，即将矩阵中的决策元自左至右，自上而下按大小降幂排列，再进行综合评判，选择最优决策，或者进行归一化处理，即对决策行和决策列进行归一化后，再选择行和列同时最优的局势。

6.3 利用多目标灰色局势决策优选包覆工艺

客观世界是物质的世界，也是信息的世界。既有大量的已知信息，也有不少未知信息，非确知信息。未知的或非确知信息，我们称为灰色信息，已知的信息称为白色的。系统中既含有已知的信息又含有未知的信息，称为灰色系统。

在锦纶/罗布麻包覆纺纱时，选定锦纶的纤度为 30D，导丝钩距离为 75mm，工艺优选主要在包覆度和芯纱预加张力上调节，我们参考前期工艺及以往工作经验作为优选参数，采用多个目标灰色局势决策进行优选。在优选中选取四个考核指标来评定纬平针织物的质量，并分别赋予不同的权重分配。以下是设计方案，通过对单、双包覆纱针织实验来确定最优化工艺。

6.4 设计方案

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
包覆度/圈·m ⁻¹	500	600	700	500	600	700	500	600	700
芯纱预加张力/cN	7	7	7	12	12	12	15	15	15

各目标权重比例的分配如表 6.5 所示。

6.5 考察指标和权重分配

考察指标	拉伸断裂强力/N		顶破强力/N	摩擦次数/次
	经向	纬向		
权重比例	0.15	0.15	0.3	0.4

本试验采用灰色多目标局势决策分析法,对按照表 6.4 设计方案织制的包覆纱针织物性能指标测试结果分别进行统计分析,寻找最优工艺方案。单、双包覆针织物强力及耐磨性指标测试结果如表 6.6 和表 6.7 所示。

表 6.6 单包覆纱针织物考察指标测试结果

方案	拉伸断裂强力/N		顶破强力/N	摩擦次数/次
	经向	纬向		
1	222.35	158.33	154.21	189
2	240.57	162.29	160.13	196
3	271.33	171.53	167.47	229
4	269.63	168.46	166.27	223
5	268.34	168.26	158.92	216
6	275.91	168.33	173.81	247
7	272.63	172.53	169.25	248
8	277.12	174.65	175.37	268
9	279.25	176.32	188.48	258

表 6.7 双包覆纱针织物考察指标测试结果

方案	拉伸断裂强力/N		顶破强力/N	摩擦次数/次
	经向	纬向		
1	352.37	235.66	222.18	284
2	368.61	259.32	237.54	292
3	376.29	244.13	248.69	317
4	361.94	246.34	238.31	302
5	407.32	278.85	266.55	352
6	388.65	258.67	259.35	329
7	368.09	266.66	244.36	298
8	395.17	269.19	257.94	361
9	359.11	262.39	249.67	336

事件集为：锦纶/罗布麻包覆针织用纱工艺

对策集：表 6.4 为各试验设计方案。

效果集：包覆纱针织物质量四项考察指标，即经向拉伸断裂强力、纬向拉伸断裂强力、顶破强力、摩擦次数。以上指标数值越大，织物的性能越好，故选用上限效果测度计算。

利用灰色多目标局势决策分析方法求解，得到本次试验的决策矩阵：

单包覆为 $R(1, j) = [0.782, 0.815, 0.900, 0.886, 0.863, 0.937, 0.932, 0.976, 0.985]$

双包覆为 $R(1, j) = [0.821, 0.866, 0.901, 0.868, 0.990, 0.939, 0.884, 0.981, 0.927]$

按照决策矩阵中数值越大，效果越好的原则，包覆纱针织物品质优劣的排序为：

优——劣：单包覆 9#-8#-6#-7#-3#-4#--5#-2#-1#

双包覆 5#-8#-6#-9#-3#-7#-4#-2#-1#

利用多目标灰色决策方法，通过以上分析，选出最优方案与传统罗布麻混纺纱织物对比，两者在相同的针织工艺和染整工艺条件下，对比结果如表 6.8 所示，耐磨性及强力均有大幅度提高。

表 6.8 包覆纱织物与原罗布麻混纺纱织物性能对比

项目	性能指标	拉伸断裂强力/N		顶破强力/N	摩擦次数/次
		经向	纬向		
原混纺纱织物指标		251.32	153.95	141.37	187
单包覆织物指标 (9#方案)		279.25	176.32	188.48	258
双包覆织物指标 (5#方案)		407.32	278.85	266.55	352
单包覆织物改善率/%		11.11	14.53	33.32	38.00
双包覆织物改善率/%		62.07	81.13	88.55	88.24

6.4 织物磨损机理及影响因素^[79-80]

6.4.1 织物磨损机理

巴尔克提出了三条机理来解释织物在外力摩擦作用下所发生的机械破损现象,它们是磨损、切割、和拔脱。在相对摩擦之下,两个接触物体上的表面原子,当彼此进入对方的静力场吸引力范围时,便形成键合或吸附作用。由于有这种吸附作用,需借外力作用才能使两个作用面相对运动。当接触面分离时,释放出来的能量引起表面原子运动,并以热的形式耗损衰减。根据巴尔克关于织物在外力摩擦作用下,所发生的机械破损现象的解释,我们知道,织物的磨损一般分为直接磨损和间接磨损。

直接磨损发生于磨料与织物表面相当光滑的情况下。它只取决于两个材料接触而的正压力。通常认为这是最缓和的摩擦方式。间接磨损系由纱线或纺织品的表面纤维沿轴向传递摩擦力所产生的。如纱线内纤维间摩擦阻力很弱,那么,这种传递来的间接摩擦力就会引起纱线结构内部纤维的滑脱。当纱线内纤维间粘着力很强时,动态疲劳应力就会促使纤维在随后的拉伸弯曲中断裂。由于包覆纱的结构比较蓬松,纤维间的抱合力较差。外包丝与芯纱间的摩擦力较小,受外力作用时,容易发生相对滑移。故包覆纱织物的磨损主要以间接磨损为主,提高包覆纱织物的耐磨性应从减少织物的间接磨损入手,加强纤维之间的抱合力和外包丝、芯纱间的摩擦力。

6.4.2 织物耐磨性影响因素

6.4.2.1 包覆度

加捻是把纤维束加工成纱线的一种方法,捻度的大小对纤维在纱线内抱合的程度有很大影响。当我们对包覆纱包缠时,纤维间的摩擦力随之增加,抱合力增强,从纱线拉出纤维的机会也就相对地减少。这样,也就减少包覆纱织物的间接磨损,同时提高包覆纱织物的耐磨性。但包覆度过大,使包覆纱硬度增加,硬度高的包覆纱线在磨料压力的作用下,不容易形成扁平状或进行偏转,因而摩擦应力进行偏转,因而摩擦应力就集中在少数密集的几个点上,不能在整个接触面积上产生均匀分布的摩擦应力。当包覆度过高时,还会降低包覆纱对拉伸能量的吸收能力。本课题的研究结果表明,包覆纱织物的耐磨性能随包覆度增加而上升,当达到一个最佳值时,继续增加包覆度,耐磨性反而会下降。

6.4.2.2 芯纱预加张力

当芯纱预加张力增大时，芯纱在成纱中将逐步转变为伸直状态，此时芯纱将与外包丝同时受力，这时锦纶长丝将对包覆纱强度发挥明显的作用；芯纱预加张力的增大，有利于外包长丝有规律地缠绕到芯纱上，增强内外层的抱合性能，提高了包覆纱的耐磨性。但是当芯纱预加张力增大到一定值时，内部应力增加，甚至造成内外层的相对滑动，包覆纱强度下降，耐磨性也随之降低。

6.4.2.3 纱线细度

由较粗包覆纱织造的织物，能改变织物的耐磨性能。显然，这是因为包覆纱中的纤维根数增加，当其断裂时需要磨断较多根数的纤维。再则，粗支包覆纱比细支包覆纱表面层中有较多纤维，使应力分布较为均匀。

6.4.2.4 织物密度

增加包覆纱织物经纬密度，能使施加在纱线卷曲波峰上的摩擦应力更加均匀分布。纱线接触点愈多，纤维和纱线在织物上的粘着力也就愈大，这能减少纤维从纱线上抽丝或滑脱的机会。逐渐增加织物密度至某一最佳点，包覆纱织物耐磨损性能也随之增加，尤其耐平磨性能显得突出。如织物密度超过上述最佳点，它将限制纱线在服用过程中的运动，或使纱线卷曲波峰过于突出，形成硬结，结果反而会降低包覆纱织物的耐磨损性能，尤其涉及曲磨应力时，耐磨损能力降低得更为明显。

6.4.2.5 织物后整理

包缠纱织物一般经过水洗、烘干、高温定型等后加工工序。当用某些化工原料整理包缠纱织物时，可以增加纤维和纱线在织物结构内移动能力，能改进织物的耐曲磨性能，值得注意的是，这些整理剂对包缠纱织物的耐平磨性能不起多大作用。因为平磨磨损取决于纤维粘合的程度，胜过纤维或纱线在包覆纱织物内的移动能力。如果确实需要提高包缠纱织物的平磨性能，则涂胶整理可通过加强纤维间的粘合作用，并给织物表面覆盖一层浆料或聚合物材料，能提高织物的耐平磨性能。

6.5 本章小结

为发挥罗布麻复合纱线的抗菌抑菌及高强耐磨的特性，并将其应用于实际生产，我们对包覆纱的高档针织面料进行开发研究。本章探讨了锦纶/罗布麻包覆纱针织加工工艺及后整理工艺，利用多目标灰色决策的方法，对罗布麻包覆纱针织物的性能进行统计分析，得到包覆纱织物的最优工艺参数，与正交分析法得出的工艺参数一致，验证了第四章的结论，并且分析了织物的耐磨机理及影响因素，为低品质织物的改进提供了技术支持。

第七章 本文结论及进一步研究方向

7.1 本文结论

上世纪90年代以来,国内外纺织市场的供求关系发生了极大的变化,国内棉、麻等天然植物纤维由于种植面积下降而日益紧缺。由于罗布麻织物具有透气性、吸湿性和抑菌性,穿着时不粘身、无汗臭,有“热时凉爽、冷时温暖”的特性,具有24小时穿着的特点,适合高血压患者平稳、长期降压的需求,投放市场试销的罗布麻保健织物备受消费者青睐。但是由于罗布麻植物本身的特点和初加工工艺不完善,致使其精干麻质量较差,严重影响了罗布麻成纱及织物品质。为解决这一难题,本课题采用包覆纺纱原理,利用锦纶长丝作为外包层,对罗布麻纱进行包缠,纺制锦纶/罗布麻包覆纱,该包覆纱织物既具有罗布麻织物吸湿透气、抗菌抑菌的医疗特性,又充分体现出锦纶高强耐磨的优点,是提高罗布麻纺织品强力和耐磨性的一个有效的手段。

本文在试验的基础上对包覆纺纱成纱机理及纱线的结构与性能,作了较系统的研究和分析;采用多工艺参数设计的正交设计试验,得出了合理的工艺参数;并应用模糊数学对得出的纺纱工艺配置进行综合评判,最后运用利用多目标灰色决策方法对得到的最优工艺参数进行验证,现归纳总结如下:

1、通过对包覆纺纱工艺中外包丝纤度、包覆度、芯纱预加张力、导丝钩距离等指标进行单因素分析,全面了解这五项重要因素对纱线性能的影响,纱线的断裂强力、断裂强度、断裂伸长、断裂伸长率及纱线的耐磨性均受到这四项因素的影响,同时分析了不同纺纱因素对纱线性能的影响原因,为实际生产奠定了理论基础。

2、根据正交设计试验的原理和方法,选取外包丝纤度、包覆度、导丝钩距离、芯纱预加张力四个因素作为工艺参数进行工艺优化,由于包覆纱的断裂强度和耐磨性是对纱线有重大影响的两项指标,因此,将断裂强度和耐磨性作为考察的目标而建立目标函数;最后通过对上述四个试验因素对包覆纱强度和耐磨性两项指标影响显著性的方差分析,得出各试验因素对纱线指标影响的显著性及其显著程度,分析了这两项指标与各试验因素之间的关系,对纺纱工艺进行综合评定,得到本试验工艺参数的最佳配置:单包覆:外包丝纤度30D、包覆度700圈/m、导丝钩距离75mm、芯纱预加张力15cN;双包覆:外包丝纤度30D、包覆度600圈/m、导丝钩距离75mm、芯纱预加张力12cN。

3、研究空心锭包覆纺纱的成纱机理,从本质上讲是真捻与假捻的结合,纱芯多

为非自由端假捻，最终不改变罗布麻芯纱的自身捻度，锦纶长丝则是以真捻的形式包缠在罗布麻芯纱的周围，纺制出高强耐磨的锦纶/罗布麻包覆纱。

4、运用模糊数学的方法将单、双包覆纱与原罗布麻混纺纱进行模糊综合处理，经过对单、双包覆罗布麻复合纱各项指标的综合评判得出，罗布麻混纺纱在被锦纶长丝包覆之后的性能大大优于原罗布麻混纺纱，并且双包覆的综合指标要好于单包覆的综合指标。

5、探讨了锦纶/罗布麻包覆纱针织加工工艺及后整理工艺，利用多目标灰色决策的方法，对罗布麻包覆纱针织物的性能进行统计分析，得到包覆纱织物的最优工艺参数，与正交分析法得出的工艺参数一致，验证了包覆纱正交分析法的结论，并且分析了织物的耐磨机理及影响因素，为低品质织物的改进提供了技术支持。

7.2 本文的不足之处和进一步研究方向

本文分析了包覆纺纱的成纱机理、影响纱线质量的纺纱工艺参数及纱线的结构和性能，但存在着不足和缺憾，需要随着研究的深入进一步完善。

1、本文对包覆纺纱的成纱机理分析不够深入，特别是在对芯纱进行包缠之后的包覆纱进行再加捻没有涉及到，这会使芯纱的向心压力增加，即增大了包缠张力，进而影响到成纱的强力和耐磨性，包覆纱再加捻工艺需要在大量的试验的基础上加以验证。

2、建立完整的包覆纺纱成纱理论模型，对成纱机理做深入的研究探讨。对其理论模型进一步量化处理，深入探讨各工艺参数的变化对成纱质量的实时影响。

3、本文在对纱线性能的比较分析过程中只与原罗布麻混纺纱作了对比试验和分析，没有与赛洛纺、赛洛菲尔纺、差速纺等纺纱方法纺制的锦纶/罗布麻复合纱进行性能对比，建立力学模型和数学模型，力争从力学和数学方面给予解释。

4、对包覆纱结构和性能测试分析的基础上，对纱线在织物中的应用研究不够深入。探讨织物表面锦纶覆盖率与织物耐磨性的关系，建立完整的数学模型，分析锦纶覆盖率对织物耐磨性的影响。

参考文献

- 1 马秀凤, 张玉清, 邢明杰. 包覆纺纱技术的现状及发展趋势[J]. 纺织导报, 2005, (10): 140~142.
- 2 吴雄英等. 化纤长丝和天然短纤维混纺复合纱的技术发展[J]. 纺织导报, 1997(5): 16~19.
- 3 中山隆. 包缠纺纱新技术[M]. 纺织译丛, 1985(6): 10~13.
- 4 蒋国祥译. 新的包缠纺技术[J]. 国外纺织技术, 1986(1): 14~16.
- 5 袁义淑等. 包缠纺纱及其应用[J]. 毛纺科技, 1985(1): 8~12.
- 6 R.Audivert. Text.Industry[M]. 1972(4): 108.
- 7 Dir Hekmut Weisser, M.Czapay, Kempten. Production of yarns and ply-yarns by the wrap spinning process and use of this process in spinning and doubling[M]. Melliand Textilberichte, 1983(9): 591~595.
- 8 Weisser H, Czapay M. Production of wrap spun yarns[M]. Melliand Textiber Int, 1983(69): 591.
- 9 C.W.Cheung, K.P.S.Cheng, Woollen wrapped yarn properties[J]. Textile Aisa, 1994(11): 52~57.
- 10 Rajkhowa R, Uhara S N, Saravanan V. Design and fabrication of a hollow spindle spinning system for the production of cover spun yarns[J]. B.Tech thesis, Anna University, Madras, 1987.
- 11 陈立善. 新型纺纱及产品开发[J]. 棉纺织技术, 1987(2): 23~27.
- 12 管焯等. 包缠纺纱产品开发及应用[J]. 河南纺织科技, 1990(12): 32~34.
- 13 Plummer.H.S. Wrape Spinning New Life[J]. Textiles, 1985(8): 45~49.
- 14 Sengupta A K, Chattopdhyay R S, Sengupta S, Khatua D P. Some Studies on structure and properties of wrapped jute (parafil) yarns[M]. Indian J Fibre Text Res, 1991(16): 128.
- 15 H.M.Behery, M.F.Nunes. The Structure, Tensile, Properties and morphology of failure of wrapped yarns[M]. J.Text.Inst., 1986(6): 386~402.
- 16 姚洪兴编译. 新型平行纺纱机介绍[J]. 国外纺织技术, 1988(1): 43.
- 17 刘振山. 平行纺纱机及其包缠纱产品[J]. 黑龙江纺织, 1992(4): 51~52.
- 18 袁义淑. 空心锭包缠纱与花式纱的发展前景[J]. 国外产品与技术, 1990(3): 28~30.
- 19 胡芸等. 空心锭子纺花式线花式风格加工工艺的研究[J]. 天津纺织工学院学报, 1995(1): 6~10.
- 20 戴连根. FZZ031 型包缠花式纺纱机的研制[J]. 纺织科学研究, 1991(4): 1~4.
- 21 HKV141D—I 型包覆丝机产品说明书.
- 22 张玉清, 邢明杰. HKV141D—I 型包覆丝机的性能特点与实践[J]. 纺织机械, 2004(3): 13~15.
- 23 董正钧. 罗布麻[M]. 北京: 科技出版社, 1958
- 24 郭秉臣, 阎景云, 张毅. 中国罗布麻的开发和利用. 天津纺织工学院学报, 1991, 10(2): 70~76
- 25 罗布麻综合利用编写组. 罗布麻的综合利用. 科学出版社, 1978.
- 26 李中抽. 罗布麻的开发利用. 实用技术, 1992(4): 11~12
- 27 周国裕. 开发罗布麻保健用纺织品大有可为[J], 产业用纺织品, 1996 (6): 26.
- 28 周明京. 大麻及其抗菌纺织品. 麻纺织技术. 1998, (21)3, 45~48
- 29 韩光亭, 张元明, 孙亚宁. 不同含氮添加剂对罗布麻生物脱胶效果的影响[J]. 纺织学报, 2006(3): 30~32.
- 30 韩学政, 张本孟. 精梳棉罗布麻远红外粘胶混纺纱的生产[J]. 棉纺织技术, 2006(3): 157~

158.

- 31 黄翠蓉, 向新柱. 罗布麻与棉混纺纱的试制[J]. 棉纺织技术, 2002(10): 41~42.
- 32 赵博. 罗布麻纤维混纺纱产品的开发[J]. 中国麻业, 2004(4): 183~186.
- 33 支永金. 罗布麻/彩色棉混纺针织纱的生产[J]. 纺织导报, 2003(6): 100~103.
- 34 龚泰月. 丝罗布麻保健纱的开发[J]. 丝绸, 2001(1): 32~33.
- 35 李鑫, 李杰新. 空心锭纺包缠纱工艺研究[J]. 上海纺织科技, 2000, 28(5): 20~22.
- 36 李鑫, 李杰新. 空心锭子差捻包缠纱成纱工艺研究[J]. 青岛大学学报: 工程技术版, 1999, 14(4): 28~31.
- 37 张玉清, 王相伟. 锦纶/莱卡包覆纱纺制加工技术. 纺织科技进展, 2006(3): 60~63.
- 38 李云雁, 胡传荣. 试验设计与数据处理[M]. 化学工业出版社, 2005(3): 79~111.
- 39 白新桂等. 数据分析与试验优化设计[M]. 清华大学出版社, 1986(10).
- 40 李汝勤等. 纤维和纺织品的测试原理与仪器[M]. 中国纺织大学出版社, 1995(8).
- 41 王文淑, 冯素江. 织前准备工序纱线耐磨性的测试与分析[J]. 河北工业科技, 2002(5): 29~31.
- 42 左葆齐, 朱俊芳. 真丝/氨纶包覆纱性能测试与分析[J]. 丝绸, 1997(5): 42~45.
- 43 梁淑华. 包缠纱的包缠数对成纱强力的影响[J]. 河北纺织, 1990(3): 23~24.
- 44 范杰, 陈人豪. 涤/氨包缠纱性能初探. 国际纺织导报, 2005(1): 21~22.
- 45 范杰, 陈人豪. 涤氨包缠纱性能研究. 针织工艺, 2005(1): 28~30.
- 46 张玉清, 李洪亮, 张同华. 锦/氨包覆纱拉伸力学性能与包覆度的研究. 北京纺织, 2005, 33(3): 33~34.
- 47 Wen-yeen Wu, Jiunn-yih Lee. Twist in the spinning of a composite yarn. Textile Research Journal, (9): 522~526.
- 48 A.P.S.Sawhney, R.J.Harper. Comparison of fabrics made with cotton Covered polyester staple-core yarn and 100% cotton yarn. Textile Research Institute, 1991(2): 71~73.
- 49 R.Audivert. Advantages of staple-fibre yarns covered with a filament[J]. Text Inst Ind. 1974(9): 271.
- 50 R.Audivert, E.Fortuny. Filament-reinforced differential twist yarn[J]. Textile Institute and Industry, 1979(8): 286~287.
- 51 R.Audiert, E.Fortuny. Properties of filament-reinforced differential-twist woollen yarns[J]. Textile Institute and Industry, 1979(9): 325~326.
- 52 Miao Menghe, Chen riqi. Structural variations of hollow spindle wrap spun yarns. Journal of China Textile University, 1991(3): 1~7.
- 53 Y.Xie, W.Oxenham, P.Grosberg. Study of the strength of wrapped yarns, Part I [M]. The Theoretical Model, J.Text.Inst., 1986(5): 295~304.
- 54 Y.Xie, W.Oxenham, P.Grosberg. Study of the strength of wrapped yarns, Part III[M]: The relationship between structural parameters and strength, J.Text.Inst., 1986(5): 314~326.
- 55 魏铭森, 陈蓉娟. 芯丝预加张力对摩擦包芯纱强力的影响[J]. 纺织学报, 2003(6): 22~24.
- 56 石风俊, 刘萍, 张颖, 沈晓来. 氨纶包芯纱拉伸性能建模的研究[J]. 纺织学报, 2005, (2): 56~58.
- 57 吴雄英等. 复合纱结构及其基本力学性能及表面性能的研究[J]. 纺织学报, 1998(4): 21~24.
- 58 陈志, 姚明辉. 包缠张力对包缠纱性能的影响[J]. 北京纺织, 1992(2): 8~10.
- 59 任学勤. 提高包芯纱包覆效果的实践. 北京纺织, 2000(4): 33~34.
- 60 杨锁廷. 纺纱学[M]. 中国纺织出版社, 2004(5): 289~290.

- 61 孙卫国. 纺纱技术[M]. 中国纺织出版社, 2005(7): 204~206.
- 62 杨锁廷. 现代纺纱技术[M]. 中国纺织出版社, 2004(7): 275~281.
- 63 薛元. 空心锭纺纱机生产花式纱与长短纤复合包缠纱的原理及工艺[J]. 纺织导报, 1998(2): 38~42.
- 64 张文庚等. 加捻过程基本理论[M]. 纺织工业出版社, 1983(9).
- 65 Menghe Miao, Yan Lai How, Kwok Po Stephen Cheng. The role of false twist in wrap spinning, *Textile Res.J.*, 1994(1): 41~48.
- 66 李杰新, 张建春等. 空心锭子差捻包缠纱的成纱机理研究. 青岛大学学报: 工程技术版, 2000, 15(3): 51~55.
- 67 李鑫, 李杰新, 谭丛德. 差捻包缠纱缠捻机理及缠捻结构研究. 纺织学报, 2001, 22(3): 136~137.
- 68 于修业等. 纺纱原理[M]. 中国纺织出版社, 1995(3).
- 69 李鑫. 毛涤长短纤加捻包缠纱结构与性能研究[学位论文]. 青岛: 青岛大学, 2001.
- 70 范尧明. 包芯纱包覆量探讨[J]. 上海纺织科, 2003(2).
- 71 汪学寿. 模糊数学在纺织工业中的应用[M]. 开益出版社, 1992(12): 120~124.
- 72 杨俊霞等. 包缠纱织物的设计与生产[J]. 纺织学报, 1990(12): 32~34.
- 73 杨俊霞, 张力. 包缠纱织物的设计与生产. 纺织学报, 1990, 11(12): 32~34.
- 74 朱彩虹. 棉涤包芯纱织物的开发. 棉纺织技术, 2006(5): 312~314.
- 75 李营建, 肖风, 赵东宾. 大豆蛋白纤维氨纶包芯纱高弹针织物的开发[J]. 上海纺织科技, 2004, (4): 48~49.
- 76 韩光亭. 罗布麻纤维结构、针织加工与性能研究[学位论文]. 上海: 东华大学, 2006.
- 77 赵书经. 纺织材料实验教程[M]. 中国纺织出版社, 1989(6): 364~383.
- 78 郁崇文, 汪军, 王新厚. 工程参数的最优化设计[M]. 东华大学出版社, 2003(9): 238~257.
- 79 李哲平, 储才. 蚕丝/氨纶包覆丝及其织物的性能研究[J]. 丝绸技术, 1997, (2): 5~11.
- 80 李鑫, 陈昶轶等. 差捻包缠纱织物适用性研究. 毛纺科技, 2000(6): 28~31.

攻读硕士期间发表论文情况

- [1] 徐颖, 张玉清, 倪玉婷. Lycra 拉伸性能测试与分析[J]. 纺织标准与质量, 2005(5):44~45.
- [2] 徐颖, 韩光亭, 张元明. 罗布麻/棉混纺纱工艺及混比对成纱性能的影响[J]. 纺织科技进展, 2007(2):77~79.
- [3] 徐颖, 张玉清. 蚕丝 Lycra 包缠性能测试与分析[J]. 上海纺织科技, 2007(4).
- [4] 徐颖, 韩光亭, 张元明等. 高强耐磨罗布麻复合纱线的研制与工艺优化[J]. 棉纺织技术, 已录用.
- [5] 张玉清, 徐颖. 细旦高湿模量粘胶针织纱的研制[J]. 现代纺织技术, 2005(5):12~13.
- [6] 张玉清, 马秀凤, 徐颖. 锦纶/氨纶包覆纱拉伸性能与包覆度的关系[J]. 纺织标准与质量, 2005(2):43~44.
- [7] 张玉清, 马秀凤, 徐颖. 锦纶莱卡包覆纱拉伸性能与包覆度的关系[J]. 棉纺织技术, 2005(3):33~34.

致 谢

本课题是在青岛大学科研处韩光亭教授的直接指导下完成的。在硕士研究生学习期间，对韩教授在学业和生活上给予我的指导与关心表示衷心的感谢。韩教授严谨的治学态度、勤奋踏实的工作作风和开拓创新的科研精神，给我留下了深刻的印象，使我受益匪浅。本文正是在韩教授的关怀和教诲下完成的，从课题的选定、试验的设计和具体工作的完成、论文的写作及修改，直至最后的定稿，韩教授都倾注了巨大的心血。导师的栽培和关怀，学生心中无比感激，惟有倍加努力学习才不辜负导师的栽培之情。

本课题在研究过程中得到了青岛市纤维新材料与现代纺织国家重点实验室的张玉清、高守武老师及纺织系实验室孙永军、王彩霞老师的大力协助，使课题得以顺利完成，在此一并表示感谢。

在课题的研究和文章写作过程中，我的爱人马林刚先生给了我学习、生活和精神上莫大的鼓励和支持，向他表示衷心的感谢。

同时，感谢纺织服装学院、研究生处的各位老师及我的师弟师妹，他们在我研究生学习期间给与了很大的关心、支持和帮助。