

丽赛纤维喷气纺纱线性能的研究

摘 要

本课题主要研究丽赛纤维喷气纺纱线的性能。喷气纺纱作为一种比传统环锭纺效率高 10 倍以上的新型纺纱有着很大的发展空间。丽赛纤维是一种高湿强度模量的再生纤维素纤维，可染性好，适合碱处理，优良的综合服用性能符合现代人的消费趋势。丽赛纤维从研制到如今的应用时间虽然不短，但对于运用于新型纺纱方面的尝试却不多，所以本课题的目的就是将新型纺纱方式和性能优异的再生纤维素纤维结合起来，研究这种纱线的具体结构形态和性能，能够找到具有创新价值产品，为市场提供更多的选择空间。

本文首先研究在同类再生纤维素纤维中，具体纺纱工艺参数对纱线性能的影响。在众多的参数中选择了第二喷嘴压力和纱线支数作为变化因素，固定其他参数进行纺纱。对最后纱线强度、条干、毛羽、弯曲刚度的测试，分析参数变化和丽赛纤维喷气纱性能之间的关系。

本文然后研究除纤维素纤维以外，其他原料如涤棉、涤纶、棉喷气纺纱线的性能。对这些纱线性能进行比较，从而了解丽赛喷气纱的优势和不足。

本文最后研究以丽赛为原料，不同纺纱方式的纱线性能。

根据以上研究得出结论：

- 1、随着第二喷嘴压力上升，喷气纱都呈强力下降；毛羽减少；弯曲刚度上升的趋势。第二喷嘴压力对于条干影响不显著。强力方面，丽赛居于天丝和粘胶之间；3mm 以上的毛羽丽赛不仅大大优于天丝而且比粘胶还要好；弯曲刚度不如粘胶，但比天丝

要改善很多。

2、纺纱选用两种纱线支数，发现对于天丝和粘胶而言，纱线细度高的强力较低，但是对于丽赛喷气纱细度高强力相对也高。纱线的条干为较细的纱线条干相对较差。对于毛羽来说，纱线越细毛羽越少。纱线较细的弯曲刚度较好。

3、在除了再生纤维素纤维之间的比较外，还和其他原料的喷气纱线进行比较，结果是传统涤棉纱强力最高，而后是再生纤维素纤维，虽然全棉喷气纺强力不太低，但对于纤维的要求很高而且在纺纱过程中困难也比较大，因此再生纤维素纤维比棉纤维更适合喷气纺。毛羽方面，再生纤维素纤维与涤棉纱毛羽相差不大，全棉喷气纱长毛羽显著增加。弯曲刚度方面，再生纤维素最优，涤棉纱刚度较大。

4、以丽赛为原料，不同纺纱方式的纱线比较中，由于纺纱方式本身的因素，和已有的研究规律一致丽赛喷气纱的强力低于环锭纺和赛络纺，但纱线条干、毛羽、耐磨性能都比另两种好。不可回避的另一个问题就是喷气纱的手感较硬，弯曲刚度高于环锭纺和赛络纺。但是纱线的耐磨性能大大优于环锭纺和赛络纺。

关键词

丽赛，喷气纺，第二喷嘴，纱线支数，纱线性能

The Study of the Properties of Polynosic Air-Jet Spinning Yarn

Abstract

This article mainly contains the study of the properties of Polynosic air-jet spinning yarn. As a kind of new spinning methods, the efficiency of air-jet spinning is ten times higher than that of traditional ring spinning. Polynosic is a kind of regenerated cellulose fiber with high tension and modules. It also has good dyeing properties and ability of mercerization. Its outstanding apparel properties can meet the needs of modern consumption trend. But it doesn't take much time to attempt new methods of spinning. The purpose of this article is to combine new methods of spinning with qualified regenerated cellulose fiber, so that its structure and properties can be understood.

Firstly, it shows the relationship between spinning process parameters and yarn properties. Among lots of parameters, two of them were selected, second nozzle pressure and yarn count. Then, 18 kinds of yarn were tested for the analysis of yarn tension, evenness, hairiness and bending rigidity.

Secondly, polyester/cotton, polyester, cotton air-jet spinning yarns were chosen to compare the properties with those of Polynosic air-jet spinning yarn.

Thirdly, the comparison of Polynosic yarns in different spinning methods was proceeded.

The conclusions are as below:

1、 With the increase of the second nozzle pressure, the yarns have increased tension and bending rigidity, decreased hairiness. It doesn't cause obviously influence on the evenness. In the aspects of the yarn tension and bending rigidity, Polynosic locates between Tencel and viscose. The hairiness of Polynosic air jet spinning yarn above 3mm is better than that of Tencel and viscose.

2、 Between two kinds of yarn counts, the finer yarn and the higher yarn tension, the better bending rigidity. But for Polynosic, its tension is on the reverse. The finer yarn has worse yarn evenness.

3、 In all air jet spinning yarns, polyester/cotton yarn has the highest tension. Regenerated cellulose yarns are the second. The lowest is the cotton yarn. In the aspect of hairiness, regenerated cellulose yarn and polyester/cotton are very close. Cotton yarn has seriously hairiness. As for bending rigidity, regenerated cellulose yarn is the best.

4、 Among various methods of spinning, the tension of Polynosic air jet spinning is the lowest. Ring spinning is better than that. And the best one is sirofil spinning. Polynosic air jet spinning shows better results than two other spinning methods in yarn evenness, hairiness, resistance of abrasion. There still exists an unavoidable problem that the bending rigidity of Polynosic air jet spinning is not satisfactory. It requires further study.

Keyword:

Polynosic, Air Jet Spinning, Second Nozzle Pressure, Yarn Count,

Yarn property

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：

日期：2005 年 12 月 20 日

附件二：

东华大学学位论文授权使用授权书

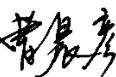
学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅或借阅。本人授权东华大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

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：



指导教师签名：



日期：2005年12月20日

日期：2005年12月20日

第一章 前言

1.1 喷气纺的发展历史

喷气纺发展的历史已有30多年,然而,纺纱技术是在最近15年才趋于成熟。早在1963年美国杜邦公司首先发展了喷气加捻包缠纺纱法,并获得了专利,它采用的是单喷嘴加捻,虽生产了一些产品,但因成纱强力不高而未能继续发展。此后一些国家相继开展了这种纺纱方法的研究。1970年联邦德国洛依特林根纺织技术研究所设计并试验了新型双孔喂入单喷嘴喷气纺纱机,主要适用于加工长纤维,纺制各种包缠纱,并具有花色纱的特征,其纺纱速度最高可达到350m/min。在日本,有东丽公司的AJS-101型120锭机,丰田的TYS型喷气纺纱机等。日本村田公司于20世纪70年代初开始研究喷气纺纱机,1981年首次推出了适用于纺制38mm纤维的MJS801型喷气纺纱机,最高纺纱速度可达180m/min;1988年对牵伸系统和喷嘴结构等进行技术改进后推出MJS802型,纺纱速度达300m/min,据称可以可纺纯棉;1992年后又相继推出了MJS802H型、MJS802HR型喷气纺纱机,最高纺纱速度达到300m/min;这时的设备无论在牵伸系统、适纺纤维、产品质量及自动化等方面均有了进一步提高。据统计,截止到2002年底,全世界共有喷气纺设备约28万头,分布在46个国家和地区,其中北美约占73%,亚洲约占19%,中南美、欧洲、澳洲等约占8%。美国是拥有喷气纺纱机最多的国家,总数约有20万头,占全世界总量的70%。这是由于喷气纺具有工序短、效率高、用工省的优点,被美国作为纺织业优先发展的项目。有资料介绍,近年来美国纺锭总数及从业人员在不断减少,但纺织产量却大幅提高,其原因就是在压缩淘汰环锭纺的同时,大力发展了高技术的喷气纺和转杯纺等新型纺纱。

我国喷气纺设备的引进和使用较早,但发展缓慢。1985年江苏丹阳棉纺厂首次引进了10台日本村田801型喷气纺纱机,至今已生产一万余吨纱。其后,在湖北嘉鱼、湖北蒲圻、山东王莲、河南焦作、广东肇庆、天津西北等地累计进口133台。2000年,原国家纺织工业局为推广这项纺纱新技术,

实施了“引进新型纺纱技术——喷气纺设备”的试验性项目，选定8个省（市）的9家企业，分别引进日本村田802H型喷气纺纱机10台。目前，上海第十七棉纺厂和江苏通裕集团有限公司引进的设备也投入使用^[1]。

1.2 喷气纺纱的主要特点

(1) 纺纱速度高。喷气纺采用旋转涡流假捻成纱，无高速回转机件(如环锭纺中的锭子、钢丝圈等)可以实现高速纺纱，每头产量相当于环锭纺单锭产量的10至15倍，是目前国际上纺纱速度最高的新型纺纱。

(2) 工艺流程短。喷气纺较环锭纺省略了粗纱、络筒二道工序，因而可节约厂房面积，减少用工，降低机物料消耗、能源费用和维修保养费用，维修工作量也大幅度减少。

(3) 品种适应性广。喷气纺可以纺制30tex—70tex(20s-80s)纱线，适用于化纤与棉的混纺。喷气纱是由包缠纤维及芯纤维所组成的一种双重结构纱，即一部分是几乎平行无捻的纤维，另一部分是包缠在芯纱外部的包缠纤维，包缠纤维与芯纤维的比例约为1：9。它是依靠部分头端自由的纤维包缠在纱体外面而成纱，是先假捻初包而后真捻紧包。这样纱线就避免了传统纱线在织造过程的退捻从而产生纬斜，在针织和机织的应用过程中都显示出了很大的优越性。

(4) 产品质量好、有特色。虽然和同类环锭纱比较单纱强力降低20%左右,其他质量指标均优于环锭纱。

(5) 制成率高，劳动条件好。喷气纺纱工序减少，又有断头自停装置，回花下脚少，制成率比环锭纺高2%左右。喷气纺车间含尘量一般仅为0.3g/m，噪声约为84dB，劳动强度及工作环境均比环锭纺要好。

1.3 喷气纺纱的原理介绍

以目前广泛应用的MJS系列为例,喷气纺纱的基本原理如下^[2]:

须条经三罗拉双短波圈牵伸装置约150倍左右的牵伸后，拉成规定细度，在前罗拉至引纱罗拉之间，配置双喷嘴加捻器。两个喷嘴的气流旋转方向相反，而且第二喷嘴 N_2 的涡流强度比第一喷嘴 N_1 的涡流强度大。 N_1

使前罗拉送出的纤维须条 x 中的一部分纤维 x_2 从须条中分离出来成为头端自由纤维。当头端自由纤维进入第一喷嘴 N_1 内时, 受到旋转气流的作用, 使之在假捻须条 x_1 上作初始包缠。其包缠方向为 N_1 气流的旋向 Z , 与假捻方向 S 相反。这时 x_2 初始包缠的螺距为 P_1 ^[3], 如图 1-1 示:



图 1-1 喷气纱纺纱原理 1

头端自由纤维 x_2 进入第二喷嘴后退捻, 随着假捻纱芯 x_1 的强烈退捻作用, x_2 纤维以 Z 向加捻, 螺距为 P_2 , 由于 $P_2 < P_1$, 从而形成双层结构的纱, 即 x_1 成为纱芯, x_2 就成为外层的包缠纤维。如图 1-2 示:



图 1-2 喷气纱纺纱原理 2

当纱条通过引纱罗拉引出后, 就成为有 Z 捻向的真捻纱, 如图 1-3 示:

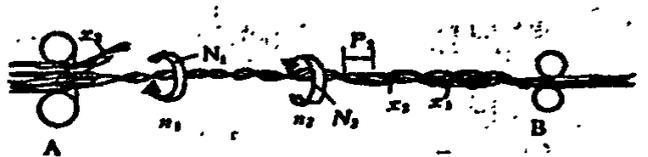


图 1-3 喷气纱纺纱原理 3

1.4 喷气纺纱的研究现状

从开始的单喷嘴喷气纺纱机到现在的双喷嘴喷气纺纱机, 喷气纺纱的发展速度是相当快的。正是 MJS 喷气纺纱机使这一新型纺纱技术取得了商业上的成功。因此, 关于喷气纺的研究主要是针对双喷嘴喷气纺进行的。

关于喷气纺技术的研究, 主要集中在三个方面: 喷气纱的结构、喷气纺的成纱机理和各种参数对喷气纱性能的影响。

(1) 关于喷气纱的结构, 形成了好几种分类方法。Grosberg 等^[4]将喷气纱结构分为 4 种类型: 第一类, 包缠纤维使纱芯产生弯曲, 形成一种螺旋形

结构,这一类的特点是纱芯弯曲并被拉紧,形成规则的螺旋形包缠;第二类,没有包缠纤维,整个外观与低捻度环锭纱结构相似,这一类的特点是强度最低;第三类,纱芯是直的,包缠结构为规则的螺旋形,这一类的特点是包缠纤维形成基本相同的包缠角;第四类,纱芯是直的,包缠结构不规则,这一类的特点是包缠纤维形成变化的包缠角。

而 Lawrence 和 Baqui^{[5]-[6]}将喷气纱结构分为 3 类:第一类,纱芯无捻,有时有弯曲,由一薄层纤维束包缠,包缠纤维形成均匀一致的螺旋角度和方向;第二类,纱芯无捻,由包缠纤维不规则地包缠,包缠纤维形成的螺旋角度和方向不同;第三类,无包缠的纱芯结构。

Chasmawala 等^[7]通过观察喷气纱中的示踪纤维的形态来分析喷气纱结构,他们将示踪纤维分为 5 类:第一类为直的纤维,称为芯纤维;第二类为拉紧的、螺旋形包缠纤维,称为包缠纤维;第三类为不规则的、具有不确定路径的纤维,称为飘头纤维;第四类为芯-飘头纤维,即一根纤维在纱线中的某一段为芯纤维,在另一段为飘头纤维;第五类为包缠-飘头纤维,即一根纤维在纱线中的某一段为包缠纤维,在另一段为飘头纤维。Punj 等^[8]也采用观察示踪纤维的方法研究喷气纱的结构,他们将纤维分为更细致的 9 类。

(2) 关于喷气纺的成纱机理,形成了两种不同的观点^[9]。一种观点是:纤维束从牵伸罗拉送出,一些外层纤维被分离出来,在稍后汇入纤维束,它们在第一喷嘴中和芯纤维束一起以相同的方向被加捻,但获得的捻度较低。在第二喷嘴中,这些纤维以相反的方向被加捻,形成包缠,使喷气纱获得强力。

另一种观点:纤维束和外层纤维从牵伸罗拉送出,进入第一喷嘴后在气流作用下被卷绕在假捻的纤维束上。纤维束在第二喷嘴内解捻,外层纤维由于第二喷嘴与第一喷嘴的气流方向相反,且第二喷嘴中气流的加捻作用比第一喷嘴大,因此解捻的过程越过第一喷嘴达到牵伸罗拉出口。第二喷嘴的解捻使第一喷嘴产生的包缠纤维更紧地包缠在纤维束上,赋予喷气纱强力。这也是 MJS 制造商所持的观点。

(3) 关于各种参数对喷气纱性能影响的研究很多,参数可分为三类:

一、工艺参数，包括喷嘴压力、纺纱速度和牵伸倍数等^{[10]-[13]}。

二、喷嘴结构参数，包括喷嘴形状、喷孔倾角、喷孔位置和制造材料等^{[14]-[15]}。

三、纤维参数，包括纤维类型、纤维的长度、细度、纤维机械性能和混纺比例等^{[16]-[18]}。

此外，Grosberg 等^[19]建立了加捻运动学的数学模型，用理论分析的方法研究了单喷嘴和双喷嘴喷气纺假捻的捻度分布。Krause 和 Soliman 也^[20]采用理论分析的方法研究了单喷嘴喷气纱的强力以及单喷嘴喷气纱中包缠纤维的捻度分布。Rajamanickam 等^[21]提出一种计算机模拟的方法对喷气纺纱进行设计，并分析了纱线支数和纤维细度、纤维强力和纤维摩擦、纤维长度和纤维摩擦以及包缠纤维数和包缠角之间的相互关系。

1.5 丽赛纤维的介绍

Richcel (丽赛) 纤维是采用日本东洋纺高湿模量纤维 Tufcel 专有技术及原料体系生产的波里诺西克(Polynosic) 纤维,是一种具有优异综合性能的再生纤维素纤维。Richcel (丽赛)是由我国生产的该种纤维的商品名。本文中统一使用丽赛来称呼该纤维。其原料源于自日本进口的天然针叶树精制木浆,资源可再生;其生产线采用了奥地利兰精公司等世界上最先进的设备。该纤维素纤维从根本上克服了粘胶纤维的缺点,秉承了该系列纤维的所有优点,实现了其它纤维素纤维所不能突破的优良性能:具有很高的湿强度,其优良的高湿模量使生产与服用更理想;良好的干态与湿态强伸性能保证了织物具有良好的尺寸稳定性;其光滑的圆形横截面和全芯性结构使纤维光泽好,极好悬垂性和滑爽感;较高的分子取向度和适量稳定的结晶度,使纤维具有较高的干模量,使面料有身骨、回弹性好;高吸湿性使织物具有良好的舒适感和皮肤亲和性;而纤维素纤维的属性,使该纤维可染性好,鲜艳度极佳,并适合所有纤维素纤维的染整工艺和染料应用;较强的耐碱性,与棉混纺时可做各种碱处理,使混纺织物更具特色。丽赛纤维的基本结果和性能见下表:

表1-1 丽赛纤维性能

纤维结构	横截面	全芯结构，圆形
	聚合度	450-550
	微细结构	有原纤结构
	结晶度 (%)	45-50
	晶区厚度 (nm)	8-14
	取向度 (%)	80-90
	羟基可及度 (%)	45-55
纤维性能	干强 (cN/dtex)	3.5-4.2
	湿强 (cN/dtex)	2.6-3.4
	干态伸长 (%)	10-13
	湿态伸长 (%)	13-15
	勾结强度 (cN/dtex)	0.53-0.7
	5% NaOH处理后湿强 (cN/dtex)	2.2-2.6
	初始模量 (5%伸长) (cN/dtex)	90
回潮率 (%)	13	

1.6 本课题研究的内容及意义

1.6.1 本课题研究意义

Polynosic纤维是用天然高分子纤维素木材为基本原料,其资源取之不尽,用之不竭。与其相比,合成纤维是用石油、煤及天然气等作原料生产的,这种原料的贮藏量虽然很大,但它消耗后难以恢复。因此对于纤维素纤维的研究将是我们永远的课题^[22]。Polynosic纤维与Modal相比在湿模量、湿强、耐碱性方面很大的优势;与Tencel相比较,Polynosic纤维在各项指标上持平或稍低于Tencel纤维。因此有理由认为Polynosic将会取代部分Modal和Tencel纤维。按产生时间来看,Polynosic纤维不能算是一种新型纤维,但由于此前国内并没有进行规模生产,所以对 Polynosic纤维的研究报道也不多。

喷气纺纱是当前纺纱技术中一种高产优质的纺纱方法，经过二十余年的发展，技术已经比较成熟，并且在不断发展。在上文中也已经叙述了其众多优点。目前，已有不少厂家将引进喷气纺纱机作为下一步技术改造的内容。我国是个棉纺大国，拥有棉纺锭逾 4 千万枚，而喷气纺仅占总纺纱能力的 0.4%，因此，从总体上讲，我国喷气纺纱的发展是明显落后于美国或亚洲其他国家的。其原因除了投入问题外，喷气纺纱原料是另外一个制约因素。目前对于喷气纱的结构性能研究还主要围绕全棉，涤棉等传统材料上，纤维素类纤维的方面目前还不是很全面，把眼光放在 Polynosic 喷气纺上可以说是一种全新的发展。

1.6.2 本课题研究内容

本课题主要研究丽赛纤维喷气纺纱线的结构和性能，具体内容如下：

（1）研究工艺参数对于丽赛纤维喷气纺纱线的影响

选定第二喷嘴压力、纱线支数为变化因素，观察压力和纱线支数变化对于纱线各项指标的影响。

（2）研究原料对于喷气纺纱线性能的影响

喷气纺纱原料，除了丽赛纤维以外，还选用了粘胶、天丝、涤/棉、全棉和涤纶，比较不同原料之间喷气纱性能的差异。

（3）研究运用丽赛纤维进行不同纺纱方式的纱线性能差异

在纺纱原料一致下，使用不同的纺纱方式，比较丽赛喷气纺与其他纺纱方式丽赛纱线之间的区别，从而了解丽赛喷气纺的优劣。

第二章 实验设计

本章主要介绍对于本课题实验设计及一些相关的纺纱参数和实验中使用的仪器和具体实验方法。

2.1 喷气纺纱工艺：

2.1.1 原料

(1)为了研究不同种类纤维素纤维喷气纺纱线性能差异,实验选用了丽赛、天丝、粘胶三种原料纺纱,纱线分为 30^s和 40^s两种,具体纤维规格为:

丽赛纤维 (1.2d×38mm)

天丝纤维 (1.2d×38mm)

粘胶纤维 (1.2d×38mm)

(2)为了研究新型纤维和传统纤维喷气纺纱线性能差异,实验选用了涤棉、涤纶进行喷气纺纱。全棉喷气纱使用的工艺参数完全不同,所以无法在相同的纺纱工艺情况下进行讨论,这也是没有进行全棉喷气纱纺纱的原因。

2.1.2 喷气纺纱工艺流程

A002D 型抓棉机 → A006B 型混棉机 → FA02226 型多仓混棉机
 → FA106 型开棉机 → A036BS 型开棉机 → A092AST 型给棉机
 → A076 型成卷机 → A186F 型梳棉机 → A272F 型并条机 → A272F
 型并条机 → No.802HR MJS 型喷气纺纱机

并条具体参数如下表 2-1:

表 2-1 并条工艺参数

	机械牵伸	罗拉隔距	张力牙	牵伸阶段	后牵伸牙	并合数
头并	7.53	12×15	80	99/25	65	6
二并	6.85	12×15	80	99/25	56	6

所进行纺纱条件为温度: 33℃; 相对湿度: 51%

2.2 工艺参数设计:

2.2.1 喷嘴压力选择

首先研究喷嘴压力改变情况下，纱线性能的差异，实验保持第一喷嘴压力不变，改变第二喷嘴压力，这是因为初期试验发现当第一喷嘴压力小于 $2.0 \times 10^5 \text{Pa}$ 时，即采用传统涤棉喷气纱的喷嘴压力，由于丽赛纤维截面呈光滑的圆形、全芯结构，初始模量较高，且纤维摩擦系数较低(见表 2-2)，纤维与纤维之间抱合力较差，基本不能成纱或成纱强力很低，断头很多而且纱线的各项指标也很差，对于纱线的研究没有意义。

表 2-2 丽赛、天丝、粘胶纤维动态和静态表面摩擦系数

	纤维与纤维棍		纤维与金属棍	
	静	动	静	动
丽赛	0.38	0.3	0.56	0.53
天丝	0.40	0.32	0.65	0.57
粘胶	0.51	0.46	0.73	0.68

喷嘴压力具体参数如下表 2-3

表 2-3 喷嘴压力配置

纺纱方式	支数	N1(10^5 Pa)	N2(10^5 Pa)
喷气纺	40 ^s	2.5	3.5
		2.5	4
		2.5	4.5
	30 ^s	2.5	3.5
		2.5	4
		2.5	4.5

2.2.2 总牵伸的设计

喷气纺纱线总牵伸是根据包缠纤维号数和末道并条号数确定的。如果设计中先确定末并定量，那么先把它折成号数，再计算总牵伸。

考虑到研究条件的可比性，不同牵伸比对于纱线性能有一定影响，三种原料公定回潮率相差不大，因此在纺相同支数纱线选用相同的总牵伸(极限牵伸倍数在100-200倍)。计算方法如下：

$$\text{末并号数 (tex)} = \text{末并定量 (g/5m)} \times 200 \times (1 + \text{公定回潮} / 100)$$

$$\text{总牵伸 (TDR)} = \text{末并号数 (tex)} / \text{纺纱支数 (tex)}$$

因为末并定量设计为11.8g/5m，所纺号数为40支和30支，原料为丽赛、天丝、粘胶；那么以天丝40支为例：

$$\text{末并号数 (tex)} = 11.8 \times 200 \times (1 + 11.24 / 100) = 2625$$

$$\text{总牵伸 (TDR)} = 2625 / 14.8 = 177$$

村田NO.802HR型喷气纺纱机牵伸装置分为四线牵伸装置,其牵伸包括：总牵伸 (TDR)、主牵伸(MDR)、后区牵伸(BDR)和支持牵伸(SDR)见图2-1

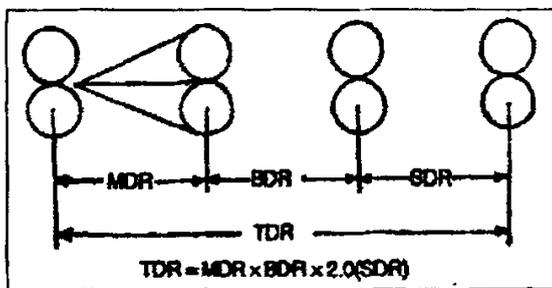


图 2-1 四线牵伸装置示意图

所以除了总牵伸比以外，其它工艺参数的设定或极限范围为：

支持牵伸(SDR)一般是固定的2.0倍；

主牵伸(MDR)=输出罗拉的线速度/中罗拉的线速度，一般在30-40倍之间，视总牵伸大小而定；

此外主要工艺参数还有：

喂入比 = 输出罗拉的线速度/前罗拉的线速度，根据速度和号数而定；

卷绕比 = 卷绕罗拉的线速度/输出罗拉的线速度

集合器——根据外层纤维号数而定；

喷嘴型号——根据成纱号数而定；

皮圈弹簧压力——根据外层纤维号数而定

喷嘴到前罗拉距离——根据成纱号数而定；

实验最终纺纱工艺参数见表2-4

表 2-4 其他喷气纺工艺参数

	40 ^s (14.8tex)	30 ^s (19.7tex)
总牵伸:	170	125
主牵伸:	30	25
纺纱速度 (m/min)	200	200
喂入比:	0.97	0.97
卷绕比:	1.0	1.0
第一喷嘴到前罗拉隔距 N1-F/R (mm)	39	39
集合器宽度(mm)	2	3
皮圈弹簧压力 (kg)	3	3
喷嘴型号	H-H ₃	H-H ₃

2.2.3 喷嘴压力选择依据:

气流在喷嘴中的原理是压缩空气由管道输入到气室中,再从气室中经喷孔压入纺纱通道中,喷气纺纱中研究的流体对象是较高压力下的压缩气体。喷嘴内的喷射速度达到音速时即达到极限,即使再增加气压也无济于事。根据理想流体的理论计算,当气室压力与喷孔出口背压之比 $P_0/P_1 = 1.893$ 时,喷射速度即达到音速。但实际上由于空气的粘性和阻力等原因,实际纺纱气压为 $19.6 \times 10^4 - 39.2 \times 10^4 \text{Pa}$ 。

喷气纺的加捻是依靠纱条气圈回转运动而获得的,在纺纱过程中,纱条气圈运动的稳定性以及前后气圈转速的匹配,直接影响到喷气纱的结构和性能。

当加捻器结构一定,其它工艺条件不变,改变气室压力,则喷射速度相应变化。当压力增高时,喷射速度和切向喷射速度均随之增高,涡流强度和漩涡角速度相应增高,纱条气圈转速也随之增大。当喷射孔出口气流速度达到音速处于临界状态,不再随气室压力的提高而增大,但是由于质量流速率仍随压力的增大而增大,气流密度也相应有所增大,故气圈转速仍会继续有所提高。但是当气压超过 $4 \times 10^5 \text{Pa}$ 时,气圈转速增加缓慢,说

明采用 $4 \times 10^5 \text{Pa}$ (4kg/cm^2) 以上的纺纱气压是不经济的。当气压在 $2.5 \times 10^5 \text{Pa}$ (2.5kg/cm^2) 以下时, 气圈转速增加较快。但是在纺纱过程中, 如果气压稍有波动, 则对气圈转速将有明显的影响, 因此采用过低的纺纱气压, 易产生生产和质量不稳定^[23]。

长期的研究可知, 第一加捻喷嘴的主要作用, 一是产生高速反向回转的气圈, 控制前罗拉处须条的捻度, 在前罗拉钳口处形成弱捻区, 以利用外缘纤维的扩散和分离; 二是使头端自由纤维在第一喷嘴管道中作与纱芯捻向相反的初始包缠; 三是产生一定的负压, 以利用引纱。第二加捻喷嘴的作用是对纺纱段纱条起积极的假捻作用, 使整根须条上呈现同向捻, 在须条逐步退捻时获得包缠真捻。所以第二喷嘴的压力必须大于第一喷嘴的压力。鉴于以上问题, 选定喷嘴压力时, 确定第一喷嘴压力为 $2.5 \times 10^5 \text{Pa}$, 而第二喷嘴压力变化从而研究纱线的性能变化。

2.3 实验材料、仪器和方法

纱线的成纱质量即纺纱最终产品的性能是对纤维可纺性及纺纱工艺的综合衡量, 纱线性能的测试与分析对于考察与改善纤维可纺性及纺纱工艺合理性有着重要意义。所以我们进行以下实验:

2.3.1 实验样品

第一组: 喷气纱: 丽赛、天丝、粘胶

第二组: 喷气纱: 涤纶、涤/棉 80/20、涤/棉 65/35, 棉

第三组: 环锭纺: 丽赛

第四组: 赛络纺: 丽赛

2.3.2 纤维强力测试实验

实验仪器: XQ-1 型单纤维强伸度仪

测试条件: 夹距: 10mm, 下夹口下降速度: 30mm/min, 预加张力: 200mg

测试次数: 每个试样 50 次

测试结构的指标: 断裂强力、断裂强度、断裂伸长率、初始模量等

2.3.3 纱线拉伸实验

实验仪器: XL-1 纱线强伸度仪

测试条件：夹距:500mm，下夹口下降速度:400mm/min，预加张力：9cN

测试次数：每个试样 50 次

测试结果的指标：:断裂强力、断裂强度、断裂伸长与断裂伸长率

2.3.4 纱线均匀度实验：

实验仪器：YG135G 条干均匀度测试分析仪

测试速度:200m/min

时间：2 分 00 秒

参数设定：粗节+50%、细节-50%、棉节+200%

测试结果的指标：条干不匀变异系数 CV、条干不匀平均差系数、偏差率 DR、不匀曲线图和波谱图。

2.3.5 纱线毛羽实验

实验仪器：YG172 光电毛羽测试仪

测试速度： 30m/min

测试结果的指标：极差、毛羽指数、CV—变异系数、频率比、直方图和样条图。

2.3.6 纱线直径实验

实验仪器：EIB-S（电子检视板）仪器

仪器介绍:该仪器硬件由一套纱线输送系统和 CCD 视频采集图像镜头系统所组成，将获得的数字信号送至普通微机进行信息处理。纱线外观轮廓能直接显示在微机屏幕上，亦可由软件在屏幕上模拟“电子黑板”效果，提取纱线平均直径、直径不匀度、粗细节等外观指标和纱线毛羽状况。运用仪器中的软件还可以模拟纱线上的疵点对机织物或针织物布面效果的影响。

2.3.7 纱线耐磨性能实验

喷气纱的强力较低，在普通的纱线耐磨仪上试验时很快就会被为了产生摩擦需要位移的拉力所拉断，而不是正常的磨断，因此不能达到比较纱线耐磨性的目的。为了解决这一问题，我们采用了东华大学自行研制的复合纱抗剥性能测试仪。它的原理是将纱线穿入一个综孔，两端固定，使纱线同综孔发生相对位移并产生摩擦。这样模拟了纱线织造的情况，所以这种测验方法更符合生产实际意义。下图是它的工作原理：

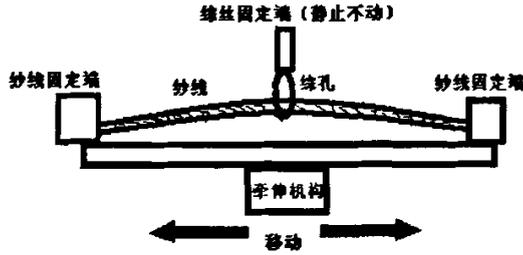


图 2-2 复合纱抗剥性能测试仪工作原理

在这个实验里我们将每种原料的纱线通过该仪器进行了一定次数的摩擦。在纱线摩擦前后进行显微镜拍照对比，就能够分析比较出各种纱的耐磨情况。由于环锭纺成纱在摩擦不到 300 次的时候就完全断裂了，而喷气纱在经过 100 次摩擦前后表面几乎看不出变化，所以我们选择了摩擦 200 次作为实验标准，在各种纱线摩擦 200 次后拍照能够得到对比明显的图片。

2.3.8 纱线弯曲刚度实验

实验仪器：KES-FB 弯曲性能试验仪

(1) 试验原理

试样一端被固定，同时另一端能作转动使试样在一定的曲率弧形中作准确地弯曲，而且曲率能作连续地变化，从而测定弯曲性能(图2-3) 其中移动夹头在一定的角度中沿着固定的轨道转动，以便使试样保持相同的曲率，得到曲率K和弯矩M之间的关系。关于弯矩值，对织物来说是每单位宽度的弯矩，对于本实验的纱线来说是每片的弯矩。

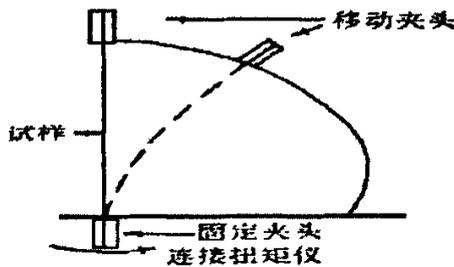


图 2-3 纯弯曲变形原理

从图中， $M = BK \pm HB$ (1)

其中： M—— 为每片的弯矩(N·cm/cm)；

K—— 为曲率(cm⁻¹)；

B—— 为每片的弯曲刚度(N·cm²/cm)

平均弯曲刚度 \bar{B} 是倾斜角的平均数,即 M-K 曲线的近似直线部分的斜率的平均值即

$$\bar{B} = \sum_{i=1}^n B_i / n \quad (2)$$

其中: n 为试样个数。

(2) 试验方法

试样准备

使用黑板条干检验仪将纱线按20克的预加张力均匀卷绕黑板上,然后按长宽分别为20cm×1cm取样,在试样两端用双面胶带和平整的纸条固定。试验的时候,试样可以在隔距为1 的两夹头间自由弯曲(见图2-4)。以此类推,每种规格的产品做3~4 个试样。

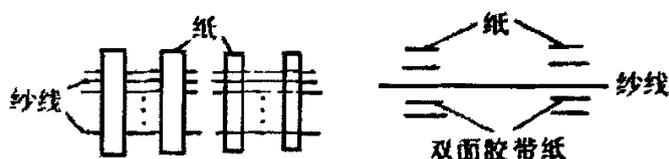


图2-4 试样准备

试验:

试验时,将用纸条固定的两端用两夹头(固定夹头和移动夹头) 分别夹住,试样可在两夹头间自由弯曲。弯矩M 和曲率K之间的关系能在X-Y 记录仪上自动记录,得到M 和K 之间关系的曲线图。可以根据上面原理计算出测试纱线的弯曲刚度。

所有试验原料在测试前均在标准大气下:

温度:20°C±2°C 湿度:65%±3% 调湿24h。然后进行测试。

2.4 本章小结

本章简述了课题纺纱的工艺参数选择、实验样品、实验仪器以及实验的操作步骤和测试方法。并且讲述了选择纺纱工艺参数的原因,为以后的实验提供一定的依据。

第三章 纺纱工艺对纤维素纤维喷气纱的影响

本章主要讨论在喷气纺纱过程中，工艺参数的变化对于纤维素类纤维喷气纱性能的影响。通过实验测试纱线强力、毛羽、条干、弯曲刚度，然后进行比较。最后使用灰色模型决策分析，用科学的方法来证明实验结论的可信性。

3.1 纱线拉伸性能实验结果及分析

纱线的拉伸性能是纱线的基本力学性能之一，它对于纱线品质的影响很大。短纤纱的拉伸性能通常受两方面因素的影响：一是纤维的性能，如长度、线密度、强伸性能、表面摩擦性能等；二是纱线的结构，如纱的线密度、纺纱工艺或纤维在纱中的排列形态、条干均匀度等，影响因素复杂。测试和分析纱线的拉伸性能对研究纱线的品质十分重要。下面就不同方面对纱线的强伸性能分别进行讨论。

表 3-1 丽赛、天丝、粘胶纱线强伸性能测试

原料	纱线支数	N ₂	断裂强度 (cN/dtex)	强度 CV (%)	断裂伸长 (%)	伸长 CV (%)
天丝	40S	3.5	12.66	11.56	9	9.85
		4.0	12.53	8.5	15.9	15.45
		4.5	12.46	9.2	10.14	8.31
	30S	3.5	14.15	9.4	7.35	6.24
		4.0	13.3	9.4	9.27	7.74
		4.5	12.47	9.4	8.09	8
丽赛	40S	3.5	11.85	7.9	9.13	4.96
		4.0	10.62	8.1	9.35	7.11
		4.5	9.36	7.1	9.33	8.35

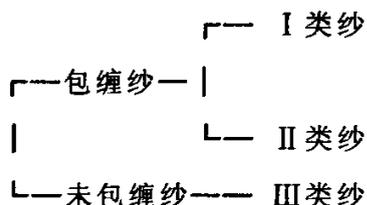
粘胶	30S	3.5	10.7	7.2	8.55	9.79
		4.0	9.25	6.5	14.39	10.49
		4.5	9.02	6.5	11.02	10.97
	40S	3.5	8.85	8	8.3	14.12
		4.0	8.3	6.9	9.19	15.97
		4.5	8.28	6.9	8.67	10.06
	30S	3.5	9.26	8.7	7.84	8.24
		4.0	9.19	8.6	7.96	11.39
		4.5	9.15	8.3	7.93	11.41

分析纱线强力首先要了解纱线结构。喷气纱是由两个部分组成的：

束纤维(芯)，纱中大多数纤维以5—10角度作S或Z方向倾斜；其中有时纤维间相互平行或者相互交错在一起，这些纤维位于纱中心。

边缘包缠纤维(鞘)，纱中少部分纤维是以各种不同状态包缠在束纤维上，这些纤维位于纱的外缘。

在整个长度上也有不同的结构，可分为以下几类：



I类纱结构的主要特征是：少量纤维条均匀地包缠在无捻纱芯外面，其结构类似于平行纺纱线结构。在平行纺纱线中，多根长丝的纤维条包缠在无捻的短纤维纱芯的外面。从两个前后排列的喷嘴可以看出，第一个喷嘴控制着I类纱的包缠纤维的包缠方向，一般包缠角在40°—50°之间。

II类纱的结构特点是：包缠是随机的，相同长度的纱芯上其包缠纤维的包缠螺旋线不同。具有相同的包缠螺旋线的纤维根数可以从1根—6根不等，其螺旋角为45°—90°。包缠纤维捻向主要为“Z”向，但不是“S”向。被束缚的纱芯有时也是无捻的，但这并不像I类纱那样明显。

III类纱纱线上某些部分的纱芯没有被包缠，这部分的纱线有时会有少量的“Z”捻。

通过这种理论,可以很好地对于喷气纱的结构和性能进行了解和分析。

根据表 3-1 中的实验结果,建立了各种原料喷气纺纱线断裂强度值与第二喷嘴压力关系的回归方程,作出回归曲线如图 3-1, 3-2, 3-3 所示,回归方程系数列于表 3-2

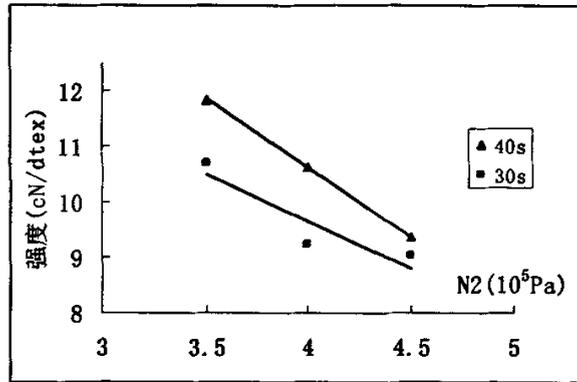


图 3-1 丽赛喷气纱断裂强度回归曲线

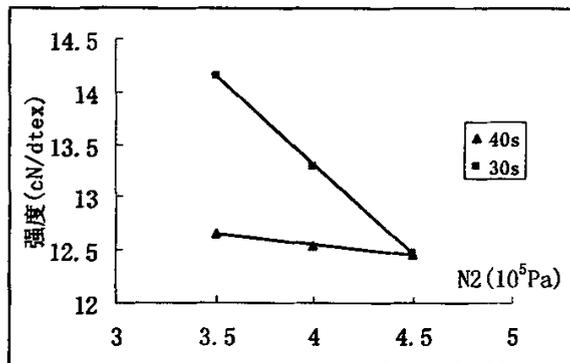


图 3-2 天丝喷气纱断裂强度回归曲线

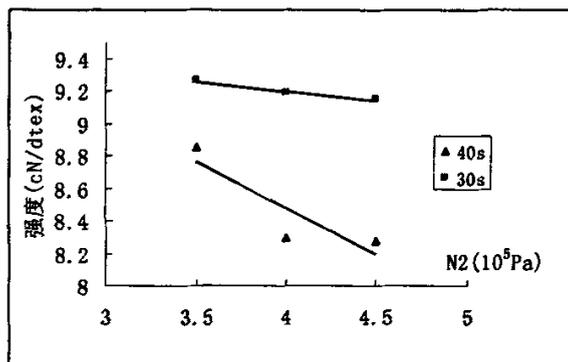


图 3-3 粘胶喷气纱断裂强度回归曲线

表 3-2 丽赛、天丝、粘胶喷气纱强力实验回归系数

原料	天丝		丽赛		粘胶	
支数	40 支	30 支	40 支	30 支	40 支	30 支
一次项系数	-1.68	-0.2	-2.49	-1.68	-0.11	-0.57
常数项	20.027	13.35	20.57	16.377	9.64	10.757
相关系数	1	0.9709	1	0.8505	0.9758	0.7763

从图中可以看出，随着第二喷嘴压力的增大，纱线的断裂强度下降趋势是显著的，且线性关系显著，但是强度损失的程 度不大；天丝和粘胶 30^s 喷气纱断裂强度均大于 40^s 断裂强度，但是丽赛喷气纱则相反，40^s 纱线的强度较大。

由于喷气纱的结构很特别是芯纱加包缠纱结构，那么强力也就要分为两部分来讨论。在纱线强力中对其起主要作用的是包缠纤维，而不是芯纤维。因此，对于强力作如下推导：

a. 包缠纤维的断裂机理

根据分类的三种包缠纤维，如图 3-4 所示，W1 是完全包缠在芯纱外面的纤维，没有任何部分包埋在芯纱内，这样的纤维不能承受任何强力负荷，在拉伸时很容易滑脱。通常这些纤维在摩擦后变成松散纤维。W2 纤维是一端嵌入芯纱中的纤维，这类纤维也不能对纱线强力发挥作用。但是嵌入芯纱的部分可以在拉伸时充当芯纤维的作用。如果这样的纤维的 50% 以上长度嵌入纱体中，可以把他们看作是芯纤维。W3 是两端都嵌入纱体中的包缠纤维，这样的纤维承担着纱线强力的主要作用。而我们针对强力分析的纤维也主要是这种。

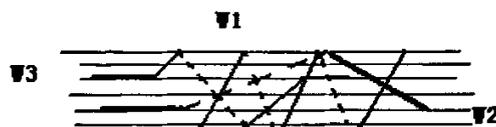


图 3-4 三类纤维在纱体内的结构

L_l 和 L_r 分别是左右包缠纤维， α 是包缠角， R_l 和 R_r 分别是左右包缠部分的单元摩擦力， f 是纤维强力。从图 3-5 上可以得出：如果 $L_l R_l > f \cos \alpha$ 和 $L_r R_r > f \cos \alpha$ 包缠纤维就会断裂。另外，当纤维与纤维之间的摩擦力和包缠纤维长度过低时，纱线中的纤维之间也会发生滑移。



图 3-5 第三类纤维受力分析图

由于包缠纤维长度很难测得，所以这里主要讨论的是包缠纤维的应力，而且左右包缠纤维的长度也假设足够长而不至于滑移。纱线应变与包缠纤维应变的关系为：

$$e_y = (2\sin^2 \alpha_0 - 1) + [(2\sin^2 \alpha_0 - 1)^2 + e_w(2 + e_w)]^{1/2} \quad (1)$$

e_y ——纱线应变

e_w ——包缠纤维应变

α_0 ——包缠纤维最初包缠角

从式(1)中可以看出，包缠角越小，纱线应变越大，而且这适用于所用纤维。但是由于纱线中纤维的包缠角都不一样，所以纱线的断裂应变也不同。

b. 包缠纤维的应力作用

在一个纱线截面为 Bb 上， W 为截面上的包缠纤维根数，初始包缠角度为 α_{i0} ，那么对于第 i 根包缠纱线应力 f_{wi} 来说：

$$f_{wi} = Ee_{wi} \quad (\text{当 } Ee_{wi} < f)$$

$$\text{或者 } f_{wi} = 0 \quad (\text{当 } Ee_{wi} \geq f) \quad (2)$$

E ——纤维初始模量 (g/tex)

在纱线强度是 e_w 时，包缠纤维应变大于或等于纤维应变，包缠纤维在低于纱线应变 e_y 时，就已经断裂，所以对于纱线应变为 e_y 的强力作用为 0。

第 i 根包缠纤维对于纱线强力的作用主要依靠包缠角度，这是因为包缠力是纤维沿纱线轴向强力的一个组成部分。

$$F_{wi} = f_{wi} T \cos \alpha_i = f_{wi} T \cos \alpha_{i0} [(1 + e_y) / (1 + e_{wi})] \quad (3)$$

T——纤维细度 (tex)

所以，截面 Bb 上的纱线断裂强力为：

$$FW = FW_1 + FW_2 + \dots + FW_w \quad (4)$$

c.包缠纤维的摩擦性能对强力起的作用

纤维通过包缠角度 α_0 对纱芯起到的压力 (P_i) 作用可用如下公式：

$$P_i = \frac{2\pi T f_w}{p_0^2 (1+e_y)(1+e_w)} \cos \alpha_0 \quad (5)$$

p_0 ——纤维在包缠角度为 α_0 时的节距

单位长度的摩擦力则为：

$$R_i = \mu \frac{2P_i d}{1-\varepsilon} \quad (6)$$

μ ——纤维之间的摩擦力

ε ——纱线的孔隙度

d ——纱线直径

当包缠纤维断裂，纤维之间的摩擦力就变成 0。

当纱支较粗时（以 30^s 为例），强力主要取决与包缠纤维数、包缠纤维强力和角度，有研究者^[24]采用示踪纤维投影仪观察到，喷气纱的外包纤维大都呈螺旋形包缠在芯纤维上，形成明显的倾角和螺距，在螺旋包缠中又以螺旋紧包缠的比例数为多，平行无包缠的比例最小。当纱线受拉伸时，外包纤维由于受到张力作用，而对芯纤维产生挤压力，使芯纤维间的摩擦抱合力增加，从而体现为纱的强力。外包纤维的包缠数量和包缠紧密度影响纱线的强力。正是因为第二喷嘴压力的增大，使到达捻接收缩成束点的长度变短，从而纱线的包缠纤维数量减少，而 III 类纱数量增大，纱线强力下降，当包缠纤维断裂时，芯纱也已经因为没有外层纤维的束剥失去摩擦抱合力而解体。

除了外层的包覆纤维起强力作用以外，内层的芯纱也同样对强力有影响。再从这个强力模型中来分析芯纱的强力：

a. 芯纱断裂条件

在初始拉伸时，根据外层纤维强力部分的公式 (1) (5) (6)，由于单

位长度上的摩擦力较小，芯纤维会产生滑脱。但是这样的滑脱并不意味着纱线断裂，因为随着包缠纤维强力作用的增大，致使芯纱摩擦力增大，这样也减少了芯纱的滑移。一旦芯纱滑移发生，芯纤维的强度 e_f 将小于纱线强度 e_y 。

$$e_f = e_y - e_s \tag{7}$$

所以 e_s 是由于纤维滑移引起的芯纤维强度降低。这也是如果没有包缠纤维，芯纤维会断裂的主要原因——滑脱。

在长度为 l_f 的芯纤维中，它的摩擦力为：

$$[f_c] = (Rl_f) / T \tag{8}$$

当纱线拉伸中发生伸长，强力若大于 $[f_c]$ ，则芯纤维发生滑移直至芯纤维强力等于 $[f_c]$ 。因此芯纤维滑移的条件是：

$$\begin{aligned} f_c < [f_c] &\rightarrow \text{不滑移} \\ f_c > [f_c] &\rightarrow \text{滑移} \end{aligned} \tag{9}$$

实际芯纤维应力则为 f_c 。

如果实际芯纤维的应力如式(9)所示等于纤维强度，则芯纤维会发生断裂而对于纱线强力没有作用。然而事实上，断裂部分对于纱线强力拉伸还是有作用的，断裂发生时，如一部分纤维比另一部分长，长的部分会继续拉伸直至断裂。

b. 摩擦力对于芯纤维的作用

根据前面的讨论，芯纱也有几种不同的结构。在每种结构中外包缠纤维的数量和包缠角度都不同，那么芯纱也会因为不同的包缠压力有不同的强力点。所以不同位置的摩擦力也会不同，所谓的摩擦力是在一段纱线上的平均摩擦力。

c. 芯纤维断裂机理

滑脱长度理论解释了应力通过不连续的纤维传递的原理。由于纤维中的不连续，滑脱的长度是纤维两端的 l_s ，应力变化从 0 到 f_c 。（见图 3-6）。当纤维连续时，应力为 f_c ；如果纤维长度小于 $2l_s$ ，则应力也将小于 f_c 。从图中也可以看出，芯纤维应力分成两部分：纤维长度在 $l_f - 2l_s$ 时的应力 f_c 和纤维末端形成的应力 f_c ，在滑脱长度为 l_s 时，它的应力范围在 0 到 f_c 之间。

但是在我们的分析中忽略这部分应力的作用，换句话说，我们假设滑脱长度为 0，由于纤维的不连续性而不考虑末端效应。

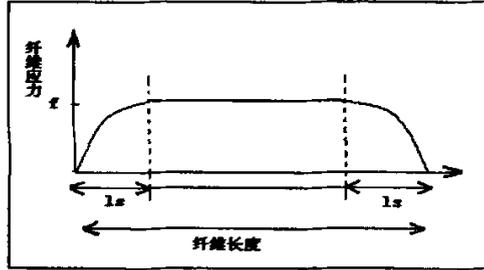


图 3-6 芯纤维应力分布图

我们假设纤维在纱线长度方向随机分布，如果纱线某一截面上的纤维根数为 N ，且纤维数为 W ，那么芯纤维数量 (C) 为 $(N - W)$ 。当 R_i 为在纱线应力为 e_y 下，第 i 根芯纱单位长度上的摩擦力，芯纱最大的应力表现为：

$$[f_c] = (R_i l_f / T) \tag{10}$$

l_f ——纤维长度

实际芯纱应力可以用式 (8) (9) 计算所得

第 i 根芯纤维在纱线中的强力表现为：

$$FC_i = \text{实际芯纱应力 } T \tag{11}$$

在截面上的所有芯纤维强力为：

$$FC = FC_1 + FC_2 + \dots + FC_c \tag{12}$$

当纱支较细时，纱线横截面内的纤维根数少，内部纤维的滑移成为了主导因素，所以纱线的断裂负荷同样会降低。丽赛喷气纱强力下降程度比粘胶、天丝大，虽然天丝纤维和它一样有着较高的初始模量、摩擦系数较小，截面形态较为相似，但是天丝产品的发展较为完善，纤维在最终的产品强力上仍旧优于丽赛。而且在拉伸实验中，天丝和粘胶纱线都明显被拉断，丽赛纱线 50% 以上拉断时，断裂点不显著，从这一点也可以说明，在丽赛的拉伸过程中，纤维间的滑移比断裂的作用更大。粘胶纤维与丽赛的纤维形态相差较大，有皮芯结构，且纵向有明显的沟槽，通过摩擦性能的测试也可以看出，其摩擦系数高于丽赛，所以在成纱上有一定的优势。但是粘胶喷气纱最大的问题也就是强力较低，这是因为喷气纱强力不仅和纱线结构有关，纤维的强力、断裂伸长的影响同样重要，粘胶纤维的强力比

丽赛和天丝都要低的多（见表 3-3），导致纱线强力也相对降低。

表3-3 丽赛、天丝、粘胶纤维断裂强度

	断裂强度 (cN/dtex)		断裂伸长 (%)		初始模量 (cN/dtex)	
	干态	湿态	干态	湿态	干态	湿态
丽赛	4.11	3.14	11.1	12.7	39.1	38.5
天丝	4.2	3.58	10	10.4	36.5	34.6
粘胶	2.36	1.42	20.9	21.3	15.7	13

纱线的强力应该综合两部分纤维强力一起来看，得出最终纱线强力（FY）有两部分组成：包缠纤维形成的强力 FW 和芯纤维形成的强力 FC。

$$\text{即} \quad \text{FY} = \text{FW} + \text{FC} \quad (13)$$

我们还对纱线直径做了测试，结果如下表3-4：

表 3-4 丽赛、天丝、粘胶喷气纱直径

第二喷嘴压力	纱线支数	天丝 (cm)	丽赛 (cm)	粘胶 (cm)
3.5×10^5	40s	0.147	0.153	0.161
4×10^5	40S	0.148	0.152	0.165
4.5×10^5	40S	0.155	0.152	0.171
3.5×10^5	30S	0.175	0.185	0.191
4×10^5	30S	0.176	0.188	0.189
4.5×10^5	30S	0.175	0.185	0.191

通过以上数据也可以看出天丝、丽赛、粘胶的直径关系是呈增加的趋势，从这点上也可以反映纤维包缠的紧密程度，因为天丝喷气纱包缠最紧，相对其强力也越高。这也进一步证明了纱线强于纤维包缠情况的关系。但在同种纤维中，喷嘴压力变化对于纱线直径的影响不显著。理论上来说，第二喷嘴压力越大，纱线获得反向捻度越大，纱线会包缠更紧，但实际数据确不能反映这一理论。所以我们认为，喷嘴压力的增大更多的影响是外包缠纤维数量的变化。

有学者^[25]对第二喷嘴压力、纱线支数、纤维原料对喷气纱线断裂伸长作出研究，指出对于涤棉混纺喷气纱，当纱线支数较粗时，随着第二喷嘴

压力增大，断裂伸长降低；当支数较细时，喷嘴压力加大，断裂伸长呈先伸长后降低的趋势，但是从我们的研究发现，对于纤维素喷气纱，断裂伸长随喷嘴压力上升，都为先上升后下降的情况。

3.2 纱线条干均匀度实验及分析

在理论研究和生产实践中，通常要测试纱线的条干均匀度，因为纱线的许多质量指标与它有关。成纱条干均匀度的影响因素有原料性能（纤维长度、纤维细度、短绒及有害疵点），半制品结构（棉条中纤维分离度、平行伸直度等），纺纱工艺设计（并条数、牵伸倍数、罗拉隔距、机械因素等）和温湿度等，这些因素都会造成最终纱线条干不匀和纱线间条干均匀度的差异^[26]。

天丝、丽赛、粘胶喷气纱条干均匀度结果如表 3-5 所示，表 3-6 为第二喷嘴压力对于纱线条干不匀的回归方程：

表 3-5 丽赛、天丝、粘胶喷气纱线条干不匀和粗细节

原料	纱线支数	第二喷嘴压力	CV	细节(-50%)	粗节(+50%)	棉结(+200%)
天丝	40S	3.5	12.91	0	2	48
		4	13.09	19	2	95
		4.5	13.05	5	0	85
	30S	3.5	11.52	5	2	18
		4	11.47	85	0	102
		4.5	11.78	152	0	242
丽赛	40S	3.5	13.94	0	28	48
		4	13.94	2	20	48
		4.5	14.38	25	38	42
	30S	3.5	12.45	0	10	28
		4	12.39	5	0	28
		4.5	12.93	8	12	20

粘胶	40S	3.5	14.4	30	65	168
		4	14.64	142	98	328
		4.5	15.22	245	222	612
	30S	3.5	13.67	5	55	140
		4	13.62	208	52	350
		4.5	13.3	342	45	455

表 3-6 丽赛、天丝、粘胶喷气纱线条干回归方程

原料	支数	回归方程	相关系数 R ²
天丝	40 支	$y = 0.14x + 12.457$	0.5485
	30 支	$y = 0.26x + 10.55$	0.6101
丽赛	40 支	$y = 0.44x + 12.327$	0.75
	30 支	$y = 0.48x + 10.67$	0.6575
粘胶	40 支	$y = 0.82x + 11.473$	0.9458
	30 支	$y = -0.37x + 15.01$	0.8493

从实验数据和回归方程中可以得出，第二喷嘴对于纱线条干的影响不显著。但是不同原料喷气纱条干均匀度依次为天丝、丽赛、粘胶。天丝经过了相当一段时间的研究，对于其纺纱找到了合适的助剂，而对于丽赛纤维，到目前为止还没有找到最合适的纺纱油剂，所以需要我们继续进行探索研究。丽赛喷气纱值得注意的是细节数量少而且随着第二喷嘴压力增加数量稳定，不像天丝喷气纱变化较大。另外棉结数量较少，这样最后产品的纱疵也会较少，对于产品量有很大程度的提高。

此外，实验中第一喷嘴压力不能过大的另一个问题是：第一喷嘴压力增大时，纱疵增多，飞花、粗节和棉结较多，这归因于第一喷嘴压力较高时包覆纤维较多。这可能由于高的喷嘴压力吹散了边缘纤维的缘故。这些边缘纤维绕在纱线上，使纱线蓬松，同时使纱疵增多^[27]。

3.3 纱线毛羽实验及分析

纱线毛羽减少机理：

当一些纤维没有全部捻入纱的主干中，而有一端在纱线之外，或纤维的头端捻入纱中，而中部伸出在纱线之外时，这些纤维就称为“毛羽”。

由于喷气纺纱原理与环锭不同，其毛羽产生的原因也不尽相同，喷气纱的毛羽主要来源有两部分。一部分是由“芯纱”的尖端裸露造成的，纤维在牵伸过程中，由于外部的包缠是靠喷嘴的高压气流而形成的，故大部分脱离“芯纱”的纤维被气流“压”到“芯纱”的表面而被包缠，而余下的部分，大都是它们的尖端，一般较短，未能被包经入“芯纱”中间，形成毛羽。数量的多少取决纤维的包缠状态——包缠纤维数量。

毛羽的另一个来源，则是包缠纤维包缠到芯纤维后，由于纤维本身的刚性，不能完全弯曲，故本身的部分尖端裸露在外边，形成毛羽。这部分毛羽的数量亦取决纤维的包缠状态，所不同的是，前部分形成的毛羽是包缠纤维越多其量越少，而后一部分则不仅取决于包缠纤维的多少，而主要取决于包缠的状态和纤维的特性。以上两部分为喷气纱毛羽来源的大部分，估计占总数的85—95%以上。另外，飞花落到条子上及纱与机械的磨擦，也能形成毛羽，但这部分数量极小。

对天丝、丽赛、粘胶喷气纱毛羽测试，实验结果如表3-7所示

表 3-7 丽赛、天丝、粘胶喷气纱线毛羽指数 (根/m)

原料	支数	N2	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	6mm	7mm	8mm	9mm
天丝	40S	3.5	124.78	30.68	5.04	0.52	0.09	0.03	0.01	0.01	0
		4	103.7	24.29	3.82	0.47	0.09	0.03	0	0	0
		4.5	84.34	18.69	3.06	0.26	0.03	0	0	0	0
	30S	3.5	111.81	28.43	6.62	0.89	0.14	0.03	0.02	0.02	0.01
		4	91.05	21.39	4.93	0.63	0.12	0.04	0.03	0	0
		4.5	70.1	15.82	3.35	0.49	0.09	0.04	0	0	0
丽赛	40S	3.5	102.33	18.93	2.03	0.13	0.01	0	0	0	0
		4	80	14.04	1.22	0.07	0.01	0	0	0	0

		4.5	62.62	10.17	1.04	0.03	0.01	0	0	0	0
	30S	3.5	84.04	15.36	2.34	0.2	0.05	0.02	0	0	0
		4	71.89	12.62	2.06	0.21	0.03	0	0	0	0
		4.5	59.35	9.73	1.54	0.25	0.05	0.02	0.01	0	0
粘胶	40S	3.5	77.27	17.35	3.2	0.55	0.12	0.04	0.02	0	0
		4	55.05	10.47	2.35	0.41	0.09	0.01	0	0	0
		4.5	39.22	6.6	1.18	0.21	0.03	0.01	0	0	0
	30S	3.5	79.28	17.58	5.31	1.06	0.38	0.09	0.05	0	0
		4	59.24	11.43	2.98	0.55	0.14	0.02	0.01	0	0
		4.5	40.14	5.56	1.46	0.43	0.11	0.02	0.02	0	0

根据纱线毛羽指数与毛羽长度呈负指数相关的公式：

$$Y = Ae^{BX}$$

通过对上述数据计算，得到几种纱线的回归方程及相关系数见表 3-8：

表 3-8 丽赛、天丝、粘胶喷气纱线毛羽回归方程

原料	支数	N2	A	B	回归方程	相关系数
天丝	40S	3.5	352.84	-1.4678	$y = 352.84e^{-1.4678x}$	0.9605
		4	589.93	-1.7037	$y = 589.93e^{-1.7037x}$	0.9933
		4.5	873.84	-2.0158	$y = 873.84e^{-2.0158x}$	0.9918
	30S	3.5	195.53	-1.2343	$y = 195.53e^{-1.2343x}$	0.9348
		4	311.73	-1.4405	$y = 311.73e^{-1.4405x}$	0.9741
		4.5	327.25	-1.565	$y = 327.25e^{-1.565x}$	0.9915
丽赛	40S	3.5	1572.8	-2.3448	$y = 1572.8e^{-2.3448x}$	0.9923
		4	1068.9	-2.3276	$y = 1068.9e^{-2.3276x}$	0.994
		4.5	788.36	-2.3311	$y = 788.36e^{-2.3311x}$	0.9794
	30S	3.5	424.91	-1.7531	$y = 424.91e^{-1.7531x}$	0.9842
		4	596.44	-1.9659	$y = 596.44e^{-1.9659x}$	0.9976
		4.5	165.41	-1.4953	$y = 165.41e^{-1.4953x}$	0.9764

粘胶	40S	3.5	252.55	-1.4359	$y = 252.55e^{-1.4359x}$	0.9853
		4	327.88	-1.6881	$y = 327.88e^{-1.6881x}$	0.9967
		4.5	194.31	-1.6937	$y = 194.31e^{-1.6937x}$	0.9962
30S	3.5	3.5	224.24	-1.2605	$y = 224.24e^{-1.2605x}$	0.9912
		4	239.28	-1.4934	$y = 239.28e^{-1.4934x}$	0.9944
		4.5	90.86	-1.3091	$y = 90.86e^{-1.3091x}$	0.975

可以看出，天丝喷气纱的毛羽最多其次是丽赛，粘胶喷气纱的毛羽最少。而对于 2mm 以下的短毛羽来看，也是天丝最多，丽赛和粘胶的毛羽显著减少。30^s 与 40^s 纱线相比，40^s 的短毛羽较多，这是因为单位面积上纤维根数越多，头尾端也越多，产生毛羽的条件就越多。因此，纱线单位长度内最多的毛羽数值 N 应等于纱内纤维根数。

$$N_{max} = NF / NY \times L$$

NF——纤维支数；

NY——纱线支数；

L——纤维平均长度

由上式可知，毛羽数与纤维支数成正比，而与纤维长度和纱线支数成反比。实际起毛数因各种因素影响而变化，但在其他条件相同情况下，应与上式的计算结构成一定比例关系。

第二喷嘴压力对于纱线毛羽的影响非常显著。随着喷嘴压力增大，天丝喷气纱的毛羽分别减少 32.7%、37.7%；丽赛喷气纱分别减少 38.3%、28.5%；粘胶喷气纱最明显减少了 49.3%、51.3%。这是因为第二喷嘴压力增加，包缠更紧密，裸露在纱体外的尖端毛羽和圈状毛羽都大大减少。从各回归方程的相关系数及拟合曲线来看，得到的回归方程能够较好的反映毛羽长度与根数之间的关系，具有理论和实际意义。

纺织产品的手感和特性主要由毛羽多少决定。从生产试验可清楚地看到：长度小于 2mm 的毛羽对生产过程和织物的外观质量影响不大，相反会使织物具有一种天然的柔软手感。但是，长度超过 3mm 以上的毛羽是影响纱线质量的潜在因素^[28]。因此我们再来研究大于 3mm 以上毛羽指标来评价这几种纱线的毛羽性能。统计结果见表 3-9。

表 3-9 丽赛、天丝、粘胶喷气纱 3mm 以上毛羽指数

第二喷嘴压力 ($\times 10^5$)	天丝			丽赛			粘胶		
	3.5	4.0	4.5	3.5	4.0	4.5	3.5	4.0	4.5
40 支	5.7	4.41	3.35	2.17	1.3	1.08	3.93	2.86	1.43
30 支	7.73	5.75	3.97	2.61	2.3	1.87	6.89	3.7	2.04

通过实验发现无论是 3mm 以下的短毛羽还是长毛羽,天丝的指数都是最高的。粘胶的短毛羽是最少的;但是 3mm 以上的长毛羽指数丽赛却是最低的。而且所有 40 支纱线的长毛羽均低于 30 支。

3.4 纱线弯曲性能实验及分析

纤维和纱线无论在纺织加工中,在纺织物中以及纺织物在服用中都会受到弯曲力矩的作用,产生弯曲变形。因此,纱线弯力作用和弯曲变形时性能的研究相当重要。而且织物的刚度(或柔软和刚硬的手感)主要决定纱线的抗弯刚度^[29]。也就是说,有时要求纱线具有较大的柔顺行适于悬垂性好的或内衣织物;有时又希望硬挺即抗弯性强些,以适于外衣和制服等要求。

弯曲性能中有两个重要参数弯曲刚度(B)和滞后(2HB)。

抗弯刚度^[30]是指在外力作用下抵抗弯曲变形的能力。由材料力学可知,纱线在受横向力F(由F产生弯矩)作用下所产生的弯曲变形挠度y为:

$$y=F \cdot f(l)/a \cdot EI$$

当纱线的EI值比较大时,在F力作用下的弯曲变形挠度较小,表示纱线比较刚硬,故EI值称为抗弯刚度:

$$B=EI$$

式中: B——纱线的抗弯刚度(cn·cm)

E——材料在弯曲作用下的弹性模量

(实际是拉伸模量和压缩模量的综合值)(cn/cm²)

I——纱线的断面惯性矩(cm⁴)

但是纱线是纺织纤维堆砌而成的线状集合体,纱线的弯曲刚度不仅和纤维的弯曲刚度有关,而且与纱线结构有关。关于纱线结构的作用,存在

两种极端情况。第一种是纱线中纤维间的相互作用很小，可以忽略不计，弯曲时纤维能够自由滑动，如棉条或粗纱，纱线的弯曲刚度B近似等于各根纤维弯曲刚度之和，这是一个最小值；另一种情况是纱线中纤维间结合紧密，纱线弯曲时纤维丝毫不能相互滑动，此时纱线的弯曲行为类似杠杆，纱线的弯曲刚度取得极大值。实际纱线中纤维结合的紧密程度往往处于上述两种极限情况之间，纱线的弯曲刚度也只能在最大弯曲刚度和最小弯曲刚度之间^[31]。

弯曲滞后矩是由纱线内纤维间的相互摩擦力产生的,是纤维间相互摩擦的能量的量度。

表3-10列出了不同第二喷嘴压力条件下的纱线弯曲刚度和弯曲滞后矩值：

表3-10 丽赛、天丝、粘胶喷气纱线弯曲刚度及弯曲滞后量

原料	纱线支数	第二喷嘴	弯曲刚度 $B \times 10^{-3}$	弯曲滞后量 $2HB \times 10^{-3}$	
		压力	($cN \cdot cm^2$)	($cN \cdot cm^2 \cdot cm^{-1}$)	
天丝	40S	3.5	4.17	5.48	
		4	4.24	5.88	
		4.5	4.61	7.14	
	30S	3.5	4.58	9.08	
		4	5.03	9.25	
		4.5	6.32	9.97	
	丽赛	40S	3.5	2.41	4.52
			4	2.68	4.76
			4.5	3.27	5.06
30S		3.5	3.57	5.95	
		4	3.61	6.55	
		4.5	4.17	6.63	
粘胶		40S	3.5	1.05	3.86
			4	1.55	4.17
			4.5	1.79	4.19

30S	3.5	3.01	5.36
	4	3.09	5.42
	4.5	3.15	5.57

通过数据得出第二喷嘴压力的变化对喷气纱线弯曲刚度有很大影响。表3-10表明：喷气纱的弯曲刚度随第二喷嘴压力的增加而增加。这是因为表面包缠纤维所起的作用。由于外包缠纤维包覆着纱芯，大大减小了纱芯纤维的自由移动。气流使得已分离的自由纤维包缠在芯纤维上，形成虽终纱线结构，压力越大，纤维包缠越紧密，形成的纱线越硬挺。此外三种纤维喷气纺的弯曲刚度大小依次为天丝、丽赛、粘胶。作为纤维性能和截面形态比较相似的天丝和丽赛，在弯曲刚度上却有差异，我们认为这主要是因为丽赛纤维表面摩擦系数小，纤维光滑，在弯曲时纤维间的相互移动较大引起的。这也对于喷气纱手感比较僵硬，粗糙的问题有一定的改善。

3.5 灰色多目标灰色局势决策分析

3.5.1 灰色系统理论简介^[32]

灰色系统理论是邓聚龙教授于1982年创立，经过不断完善与发展，该理论已广泛应用；于农业、金融、控制、管理和工业等各个领域，取得了广泛的社会经济效益。灰色系统理论认为客观世界是物质的世界，也是信息的世界。既有大量已知信息，也有不少未知信息，非确知信息，未知的或非确知信息，成为黑色的，已知信息成为白色的，系统中即含有已知信息又含有未知的非确知的信息，成为灰色的系统。灰色系统理论的主要研究内容为灰色系统的建模思想、理论和方法，灰色因素的关联分析、灰色关联序理论，灰色预测及决策理论和方法，灰色系统分析、控制与优化、灰色系统理论对时间序列短、统计数据少、信息不完全系统的建模与分析具有独特的功效。该理论同样适合于生产实践中在一定条件下寻求一种综合性能最优的元器件及元器件组合。

3.5.2多目标灰色局势决策的数学方法

1.决策元与决策矩阵

由事件集A、决策集B、效果集C所组成的决策问题的全体，称为决策空间，记为X

$$X = \{ \text{事件集A, 决策集B, 效果集C} \} = \{ A, B, C \}.$$

设事件为 a_i ，对策为 b_j ，其二元组合称为一个局势，记为 $S_{ij} = (a_i, b_j)$ 。表示用第j个对策 (b_j) 去对付第i个事件 (a_i) 的局势。那么所有事件与对策的全体称为局势集，记为S

$$S = \{ s_{ij} \mid i=1, 2, \dots, n \}$$

用某一种对策 b_j 对付某一事件 a_i 的结果称为局势的效果，记为 r_{ij} ，则单位局势的效果称为决策元，

$$\text{记为 } \delta_{ij} \equiv \frac{r_{ij}}{(a_i, b_j)} \equiv \frac{r_{ij}}{s_{ij}}$$

若有 a_1, a_2, \dots, a_m 个事件，有 b_1, b_2, \dots, b_n 个对策，如果用 b_1, b_2, \dots, b_n 个对策去对付同一个事件 a_i ，便构成局势集

$$S = \{(a_i, b_1), (a_i, b_2), \dots, (a_i, b_n)\} = \{s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{in}\}$$

其相应的效果集为

$$R_{ij} = \{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}\}$$

这些局势的决策元可排列成一行，便构成决策元的行向量

$$\delta_i = [\delta_{i1}, \delta_{i2}, \dots, \delta_{in}] = \left[\frac{r_{i1}}{s_{i1}}, \frac{r_{i2}}{s_{i2}}, \dots, \frac{r_{in}}{s_{in}} \right]$$

同样，用 a_1, a_2, \dots, a_m 个事件去匹配同一个对策 b_j ，其相应的决策元可排成一列，便构成决策元的列向量

$$\delta_j^T = [\delta_{1j}, \delta_{2j}, \dots, \delta_{mj}]^T = \left[\frac{r_{1j}}{s_{1j}}, \frac{r_{2j}}{s_{2j}}, \dots, \frac{r_{mj}}{s_{mj}} \right]^T$$

将决策元的行向量 δ_i 与列向量 δ_j 排列成矩阵，称为决策矩阵，记为 $D(\delta_i, \delta_j)$

$$D = \begin{bmatrix} \frac{r_{11}}{s_{11}} & \frac{r_{12}}{s_{12}} & \dots & \frac{r_{1n}}{s_{1n}} \\ \frac{r_{21}}{s_{21}} & \frac{r_{22}}{s_{22}} & \dots & \frac{r_{2n}}{s_{2n}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{r_{m1}}{s_{m1}} & \frac{r_{m2}}{s_{m2}} & \dots & \frac{r_{mn}}{s_{mn}} \end{bmatrix}$$

2.效果测定

效果测定是对各个局势所产生的实际效果进行比较的量度。计算灰色效果测度的方法有很多种。

对于时间序列来说，就是比较两序列在同一时刻的关联系数，用关联系数公式计算即可。

对于单点来说，效果测定可分为

(1) 上限效果测度，计算公式为

$$r_{ij} = \frac{\mu_{ij}}{\mu_{max}} , \quad \mu_{ij} \leq \mu_{max} , \quad r_{ij} \in [0,1]$$

式中， μ_{ij} 为局势的实际效果； μ_{max} 为所有局势实际效果的最大值。

(2) 下限效果测度。计算公式为

$$r_{ij} = \frac{\mu_{min}}{\mu_{ij}} , \quad \mu_{ij} \geq \mu_{min} , \quad r_{ij} \in [0,1]$$

式中， μ_{min} 为所有局势中实际效果的最小值。

(3) 中心效果测度。计算公式为 $r_{ij} = \frac{\min\{\mu_{ij}, \mu_o\}}{\max\{\mu_{ij}, \mu_o\}}$

$$\text{或 } r_{ij} = \frac{\mu_o}{|\mu_{ij} - \mu_o| + \mu_o} , \quad r_{ij} \in [0,1]$$

式中： μ_o 为样品中的参考点。

在实际应用时，究竟采用哪种测度，按目标的性质而定。

此外，对于事件时间序列 $X_i^{(0)}(k)$ 与对策时间序列 $X_j^{(0)}(k)$ 之间若存在因果关系、效益关系或匹配关系时，可采取系统稳态效果测度，即对时间序列建立GM(1, 1)模型，求出参数 $\hat{a} = [a, u]^T$ 则称

$$r_{ij} = \frac{x_j^{(1)}}{x_j^{(1)}} = \frac{u}{a}$$

为稳态效果测度。

3.多目标决策

当局势有几个目标时，对各种目标综合考虑的决策称为多目标决策。

对于第k个目标的决策效果测度记为 $r_{ij}^{(k)}$ ，其相应的决策元为

$$\delta_{ij}^{(k)} = \frac{r_{ij}^{(k)}}{s_{ij}}$$

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

$$D^{(k)} = \begin{bmatrix} \frac{r_{11}^{(k)}}{s_{11}} & \frac{r_{12}^{(k)}}{s_{12}} & \dots & \frac{r_{1n}^{(k)}}{s_{1n}} \\ \frac{r_{21}^{(k)}}{s_{21}} & \frac{r_{22}^{(k)}}{s_{22}} & \dots & \frac{r_{2n}^{(k)}}{s_{2n}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{r_{m1}^{(k)}}{s_{m1}} & \frac{r_{m2}^{(k)}}{s_{m2}} & \dots & \frac{r_{mn}^{(k)}}{s_{mn}} \end{bmatrix}$$

那么，多目标局势决策综合矩阵 $D^{(\Sigma)}$ 为

$$D^{(\Sigma)} = \begin{bmatrix} \frac{r_{11}^{(\Sigma)}}{s_{11}} & \frac{r_{12}^{(\Sigma)}}{s_{12}} & \dots & \frac{r_{1n}^{(\Sigma)}}{s_{1n}} \\ \frac{r_{21}^{(\Sigma)}}{s_{21}} & \frac{r_{22}^{(\Sigma)}}{s_{22}} & \dots & \frac{r_{2n}^{(\Sigma)}}{s_{2n}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{r_{m1}^{(\Sigma)}}{s_{m1}} & \frac{r_{m2}^{(\Sigma)}}{s_{m2}} & \dots & \frac{r_{mn}^{(\Sigma)}}{s_{mn}} \end{bmatrix}$$

矩阵中的元素按下式计算：

$$r_{ij}^{(\Sigma)} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^n r_{ij}^{(k)}$$

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 ω_k ，且 $\omega_k > 0$ ， $\sum_{k=1}^n \omega_k = 1$ ，这是矩阵中的元素可按下式计算。

$$r_{ij}^{(\Sigma)} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^n \omega_k r_{ij}^{(k)}$$

4.决策准则

决策就是挑选效果最好的局势，可由事件中挑选最好的对策，称为行决策；也可以对策匹配种挑选最适意的事件，称为列决策。

行决策是指在决策矩阵中的行决策中选择效果测度最大的决策元，即

$$r_y^{(\Sigma)} = \max_j r_y^{(\Sigma)} = \max [r_{i1}^{(\Sigma)}, r_{i2}^{(\Sigma)}, \dots, r_{in}^{(\Sigma)}]$$

则最佳行决策为
$$\delta_{y^*}^{(\Sigma)} = \frac{r_{y^*}^{(\Sigma)}}{s_{y^*}}$$

式中 s_{y^*} 为最佳决策的局势，表示 b_{j^*} ，是对付事件 a_i 的最佳对策。

列决策是指在决策矩阵 $D^{(\Sigma)}$ 的决策列中选择效果测度最大的决策元，即

$$r_j^{(\Sigma)} = \max_i r_j^{(\Sigma)} = \max [r_{1j}^{(\Sigma)}, r_{2j}^{(\Sigma)}, \dots, r_{mj}^{(\Sigma)}]$$

则最佳列决策为
$$\delta_{j^*}^{(\Sigma)} = \frac{r_{j^*}^{(\Sigma)}}{s_{j^*}}$$

最佳决策的局势为 s_{j^*} ，表示 a_{i^*} 是匹配 b_j 最适宜的事件。

根据行决策与列决策的结果，若在全局上难以协调，达不到整体效益最优的目的，这时建立优序化决策矩阵，即将矩阵中的决策元自左至右、自上至下按大小降幂排列，再进行综合评判，选择最优决策，或者进行归一化后，再选择行和列同时最优的局势。

3.5.3 纺纱原料、第二喷嘴压力灰色决策分析

实验的目的是研究纤维素纤维喷气纺纱线的优劣，所以在第二喷嘴压力变化的情况下对于不同原料的纱线情况进行选优和分析，使成纱质量达到较好的水平。

(1) 实验及结果

以下是实验的纱线规格指标的确定及各方案测试结果。

表3-11 灰色决策分析实验原料

	规格		
原料	天丝	丽赛	粘胶
第二喷嘴压力 (10 ⁵ pa)	3.5	4.0	4.5

纺纱实验设计如下表3-12

表3-12 灰色决策分析纱线种类

实验编号	原料	第二喷嘴压力 (10 ⁵ Pa)	实验编号	原料	第二喷嘴压力 (10 ⁵ Pa)
1#	天丝	3.5	6#	丽赛	4.5
2#	天丝	4.0	7#	粘胶	3.5
3#	天丝	4.5	8#	粘胶	4.0
4#	丽赛	3.5	9#	粘胶	4.5
5#	丽赛	4.0			

参照纱线质量指标的部颁标准，选取8项质量指标来综合评定成纱质量，请喷气纺方面专家给予意见，并分别给予不同的权重分配，如下表3-13所示。

表3-13 灰色决策分析权重指数

编号	指标	权重	编号	指标	权重
1	条干CV%	0.22	5	单强	0.17
2	棉结	0.1	6	单强CV%	0.13
3	粗结	0.08	7	断裂伸长	0.08
4	细节	0.08	8	毛羽(3mm以上)	0.14

条干CV%、棉结、粗结、细节，400米各测10次，剔除异常值后取平均值。单强、单强CV%、断裂伸长各测100次，取平均值。测试结果见下表3-14:

表3-14 灰色决策分析纱线各项指标

编号	条干%	棉结	粗结	细节	单强	单强	断裂伸	毛羽(3mm
		+200%	+50%	-50%	(cN/dtex)	CV%	长(%)	以上)
1	12.91	48	2	1	12.66	11.56	9	5.7
2	13.09	95	2	19	12.53	8.5	15.9	4.41
3	13.05	85	1	5	12.46	9.2	10.14	3.35
4	13.94	48	28	1	11.85	7.9	9.35	2.17

5	13.94	48	20	2	10.62	8.1	9.13	1.3
6	14.38	42	38	25	9.36	7.1	9.33	1.08
7	14.4	168	65	30	8.85	8	9.19	3.93
8	14.64	328	98	142	8.3	6.9	8.3	2.86
9	15.22	612	222	245	8.28	6.9	8.67	1.43

(2) 原料、第二喷嘴压力多目标灰色局势决策

事件集：喷气纺 14.7tex 纱线

对策集：表3-12 各实验设计方案

效果集：成纱质量八项考察指标的测试结果，见表3-14

条干CV%、棉结、粗结、细节、毛羽及单强CV%越小越好，选用下限效果测度计算。

单强和断裂伸长越大越好，选用上限效果测度计算。

各目标权重比列的分配见表3-13所示。

局势矩阵S:

$$S = \begin{bmatrix} 12.91 & 48 & 2 & 1 & 12.66 & 11.56 & 9 & 5.7 \\ 13.09 & 95 & 2 & 19 & 12.53 & 8.5 & 15.9 & 4.41 \\ 13.05 & 85 & 1 & 5 & 12.46 & 9.2 & 10.14 & 3.35 \\ 13.94 & 48 & 28 & 1 & 11.85 & 7.9 & 9.35 & 2.17 \\ 13.94 & 48 & 20 & 2 & 10.62 & 8.1 & 9.13 & 1.3 \\ 14.38 & 42 & 38 & 25 & 9.36 & 7.1 & 9.33 & 1.08 \\ 14.4 & 168 & 65 & 30 & 8.85 & 8 & 9.19 & 3.93 \\ 14.64 & 328 & 98 & 142 & 8.3 & 6.9 & 8.3 & 2.86 \\ 15.22 & 612 & 222 & 245 & 8.28 & 6.9 & 8.67 & 1.43 \end{bmatrix}$$

通过计算得到效果矩阵R:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0.8750 & 0.5 & 1 & 1 & 0.5969 & 0.566 & 1.895 \\ 0.9862 & 0.4421 & 0.5 & 0.0526 & 0.9897 & 0.8118 & 1 & 0.2449 \\ 0.9893 & 0.4941 & 1 & 0.2 & 0.9842 & 0.75 & 0.6377 & 0.3224 \\ 0.9261 & 0.8750 & 0.0357 & 1 & 0.9360 & 0.8734 & 0.5881 & 0.4977 \\ 0.9261 & 0.8750 & 0.05 & 0.5 & 0.8389 & 0.8519 & 0.5742 & 0.8308 \\ 0.8978 & 1 & 0.0263 & 0.04 & 0.7393 & 0.9718 & 0.5868 & 1 \\ 0.8965 & 0.25 & 0.0154 & 0.0333 & 0.6991 & 0.8625 & 0.5780 & 0.2748 \\ 0.8818 & 0.128 & 0.0102 & 0.007 & 0.6556 & 1 & 0.522 & 0.3776 \\ 0.8482 & 0.0686 & 0.0045 & 0.0041 & 0.6540 & 1 & 0.5453 & 0.7552 \end{bmatrix}$$

通过计算得到决策矩阵 $R(1,j)$:

$$R(1,j) = [0.7469 \quad 0.6935 \quad 0.724 \quad 0.7635 \quad 0.7508 \quad 0.7418 \quad 0.5418 \quad 0.5443 \quad 0.5847]$$

决策结果按效果优劣的排序为（决策矩阵中数字越大表明效果越好）:

优——劣：4、5、1、6、3、2、9、8、7

对于天丝、丽赛、粘胶30支纱线也可以完全按照上述程序方法进行判断,我们省略中间步骤,结果如下:

决策结果按效果优劣的排序为（决策矩阵中数字越大表明效果越好）:

优——劣：5、6、4、1、2、3、9、8、7

根据分析结果得出以下结论:

表3-15 灰色局势决策分析40^s喷气纱线结果

第二喷嘴压力 ($\times 10^5 \text{Pa}$)	天丝	丽赛	粘胶	比较结果
3.5	1#	4#	7#	4#>1#>7#
4.0	2#	5#	8#	5#>2#>8#
4.5	3#	6#	9#	6#>3#>9#

表3-16 灰色局势决策分析30^s喷气纱线结果

第二喷嘴压力 ($\times 10^5 \text{Pa}$)	天丝	丽赛	粘胶	比较结果
3.5	1#	4#	7#	4#>1#>7#
4.0	2#	5#	8#	5#>2#>8#
4.5	3#	6#	9#	6#>3#>9#

可见丽赛喷气纱线在各个工艺参数变化的情况下,性能总是最优的。

注：以上灰色局势决策分析数据统计均采用matlab 6.0软件编程实现,程序见附录。

3.6 本章小节：

本章主要研究了第二喷嘴压力的变化对于三种纤维素纤维喷气纱性能的影响；此外还在纺纱中对于纱线支数改变，发现不同支数的纱线在纱线性能中也是不同的，从中得出两者间的关系。最后使用多目标灰色局势决策分析的方法研究了实验结果，得出评价纱线的结论。

第四章不同原料不同纺纱方式纱线的结构与性能

上一章讨论了工艺参数和纱线支数对于纤维素纤维喷气纺纱线性能的影响，在这一章我们对不同原料的喷气纺纱线进行全面对比，还针对丽赛纤维选用不同纺纱方式，进行比较。从而更深入地了解纤维素纤维喷气纺的情况和丽赛在各种纺纱方式中的纱线性能。以下是我们选用的实验原料

表 4-1 实验原料

编号	原料	纺纱方式	混纺情况	支数
原料 1	丽赛	喷气	100	40S
原料 2	粘胶	喷气	100	40S
原料 3	天丝	喷气	100	40S
原料 4	涤纶	喷气	100	40S
原料 5	T/C 80/20	喷气	80/20	40S
原料 6	T/C 65/35	喷气	65/35	40S
原料 7	棉	喷气	100	40S
原料 8	丽赛	环锭	100	40S
原料 9	丽赛	赛络	100	40S

在这一章的实验中，我们天丝、丽赛、粘胶喷气纺纱线都统一选用第一喷嘴压力为 $2.5 \times 10^5 \text{Pa}$ ，第二喷嘴压力为 $3.5 \times 10^5 \text{Pa}$ 的纱线，涤棉纱也选用相同的工艺参数确保可比性和上一章保持相同。但纯棉纱的参数无法协调到一致，所以我们没有单独进行纺纱。

4.1 纱线强力比较

影响纱线强力的因素有很多，从纤维的性能、半成品质量、所选择的纺纱方法、使用的工艺参数和原料的混纺比等。本节详细的从这几个方面分析它们对成纱强力的影响。经过等速伸长（CRE）单纱强力仪对不同纱线的强力通过测试，其强力经过整理统计如下表 4-2：

表 4-2 纱线强力测试结果

原料	断裂强度(cN/dtex)	强度 CV (%)	断裂伸长(%)	伸长 CV (%)
原料 1	11.85	7.9	9.35	7.11
原料 2	8.85	8	9.19	15.97
原料 3	12.66	11.56	9	9.85
原料 4	18.6	8.34	9.22	6.16
原料 5	14.08	6.38	8.6	5.23
原料 6	11.52	9.29	7.5	8.54
原料 7	10.1	6.84	5.4	7.29
原料 8	18.17	9.92	6.6	9.62
原料 9	19.84	9.09	6.8	9

4.1.1 纤维性能对喷气纱强力的影响

纤维性能一般是指纤维长度、细度、断裂强度、和初始模量等。

下面是丽赛、粘胶、天丝、棉、涤纶强力和断裂伸长的数据^[33]。

表 4-3 纤维强力测试结果

原料	丽赛	粘胶	天丝	棉	涤纶
断裂强度(cN/dtex)	4.11	2.36	4.2	1.8-3.1	4.2-5.2
断裂伸长(%)	11.1	20.9	10	7-12	30-45
初始模量 (cN/dtex)	39.1	15.7	36.5	6-8.2	4.41-6.17

研究表明，纤维性能中断裂强度和伸长对纱线强力具有最大影响。所选原料的强力越高、伸长越好，则成纱强力将得到提高。下面是这五种纤维及其经喷气纺成纱的强力对比情况。

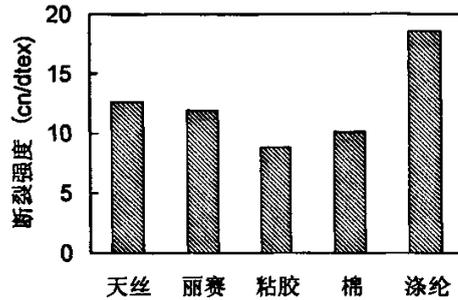


图 4-1 不同纤维成纱强力比较

通过上图可以发现，选用强力较高的纤维作为喷气纺纱原料，成纱强力可以得到改善。纯涤纶喷气纱在强力上有较大的优势，但是从最终的面料产品来说强力只是一个方面的因素，而且通过织造和后整理过程也可以一定程度改善纤维素纤维喷气纺强力较低的缺点。

从我们的实验结果来看，纯棉喷气纱的强力略低于丽赛和天丝喷气纺，由于棉纤维的长度较短，纺纱中纤维包缠比较困难，在选用原料中对于纤维长度细度的要求很高，普通棉纤维难以符合满足，一般用长绒棉，这样一来纺纱成本就上升了；而且对于纺纱机器和工艺参数的要求都不一样，罗拉隔距需要放短，前罗拉和第一喷嘴的距离也要放近，但是距离越近，成纱强力也会越低，所以我们认为对于喷气纺，丽赛、天丝等再生纤维素纤维会比棉纤维更加合适。而对于同类的再生纤维素纤维在上一章已经进行了分析，在这里就不再详述。

4.1.2 工艺参数对于喷气纱力学性能的影响

在上一章中，我们对于第二喷嘴压力和纱线支数对于喷气纱的性能做了详细的研究分析，其实影响喷气纺纱强力的工艺参数还有喷嘴的结构参数、喷嘴的安装位置、集棉器宽度、主牵伸比、前罗拉至第一喷嘴距离、喂入比、纺纱速度、皮圈加压等^[35]。在喷气纺纱过程中，合理地优化配置这些工艺参数对改善成纱强力是有利的。

具体方法有：

- 1.加大集棉器宽度
- 2.加大主牵伸比
- 3.增大皮圈压力
- 4.增加喂入比
- 5.增加纺纱速度
- 6.增大第一喷嘴压力

通过这样的方法达到增加纤维束的数量，从而增加纱线强力。具体怎样很好的配置这些参数从而使纱线强力达到最高，还需要我们以后进一步研究。

4.1.3 不同纺纱方式的丽赛纱线强力比较分析

在实验中，我们不仅比较不同原料喷气纺纱线的强力，我们还对不同纺纱方式的丽赛纱线强力做了比较分析。通过数据看出，赛络纺的成纱强力大于其他两种纺纱方式。这是因为在赛络纺成纱过程中，两根纤维须条在细纱机前罗拉被同步输出后，形成单纱结构，后单纱被并合后则属于股线的同向加捻结构。合股后的合成捻幅，在单纱原有的捻指的基础上又迅速增加，因而赛络纺纱线是内松外紧的圆形纱，纱内纤维间抱合力高，纱线强力较高^[36]。而环锭纺则是纤维离开前钳口线后即被捻合在一起形成了一个纺纱加捻三角区。其强力原理已经被清楚研究。以下是丽赛纤维通过三种不同的纺纱方法成纱强力比较：

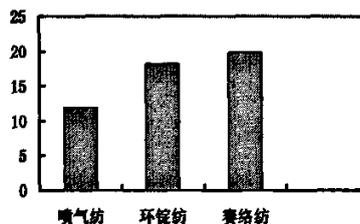


图 4-4 丽赛纤维不同方式成纱的强力比较

丽赛环锭纺纱线的强力介于赛络纺和喷气纺之间。喷气纱的双重结构在上一章已经详细分析，在纱线拉伸过程中，当外包缠纤维被拉断后，芯

纤维缺少了向心了的约束，结构变松、纤维被抽拔出来，从而断裂^[37]。所以喷气纱的平均断裂强力是在这几种纺纱方式里最小的。此外，喷气纱的纱体较为蓬松，相同支数的纱线，喷气纱的直径要大于环锭纱。

4.2 不同纱线的毛羽性能比较

毛羽在纱线上呈空间分布，毛羽的性状（长短、形态）比较复杂，随纤维的特性、纺纱方法、纺纱工艺参数、纱线捻度、纱线线密度决定。毛羽的数量不仅影响产品的性能和质量，而且影响纺织过程的顺利进行，直接关系到纤维的强力利用系数。同时，毛羽与织物的外观光洁、清晰、清爽密切相关。

纱线毛羽不仅与原料有关，还始终贯穿于整个纺织过程，对于传统纱线来说，细纱工序是成纱毛羽的集中产生地，而络筒是引起纱线毛羽剧增的工序。

喷气纺纱很大的一个优点就是它完全没有粗纱、细纱、络筒三个步骤，那么也就是说避免了产生毛羽的最大环节。实验结果见表 4-4

表 4-4 各种纱线 1mm-9mm 毛羽数量的分布情况

原料	1mm	2mm	3mm	4mm	5mm	6mm	7mm	8mm	9mm
原料 1	102.33	18.93	2.03	0.13	0.01	0	0	0	0
原料 2	77.27	17.35	3.2	0.55	0.12	0.04	0.02	0	0
原料 3	124.78	30.68	5.04	0.52	0.09	0.03	0.01	0.01	0.00
原料 4	40.37	5.79	1.00	0.18	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00
原料 5	40.12	6.13	1.04	0.22	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00
原料 6	32.14	4.44	1.03	0.27	0.03	0.05	0.00	0.00	0.01
原料 7	118.31	30.48	9.87	4.08	1.61	0.79	0.40	0.16	0.06
原料 8	149.23	43.57	13.24	4.78	1.74	0.77	0.27	0.11	0.04
原料 9	91.22	18.90	4.74	1.51	0.54	0.15	0.05	0.01	0.02

在这里我们也同上一章一样研究长度超过 3mm 以上的有害毛羽，主要以大于 3mm 以上毛羽的指标来衡量这几种纱线的毛羽性能。

表 4-5 3mm 以上毛羽的指标情况比较

原料	3mm 上毛羽数量	3mm 上毛羽极差	3mm 上毛羽指数	3mm 上毛羽 CV 值
原料 1	21.7	16	2.17	15.45
原料 2	39.3	31	3.93	20.26
原料 3	57	40	5.7	23.73
原料 4	13.7	17	1.37	30.09
原料 5	13.7	17	1.37	37.18
原料 6	13.9	19	1.39	14.63
原料 7	169.7	106	16.97	33.54
原料 8	209.5	94	20.95	11.04
原料 9	70.2	73	7.02	19.49

在喷气纱中,以涤棉混纺和纯纺毛羽最少,这是因为涤棉两种纤维一起形成纠结那么暴露在纱体外的纤维头端的机会也较少。纤维素纤维其次,全棉喷气纱毛羽显著增加。再生纤维素纤维毛羽情况已经在上一章中有了比较详细的分析。从毛羽这一方面看,我们认为棉纤维也不适合喷气纱。

环锭纺的纺纱加捻三角区阻止了边缘纤维进入纱体,部分边缘纤维脱离主体形成飞花,较多的边缘纤维则是一端被捻入纱体,另一端形成较多的毛羽。通过下面图表可以证明,环锭纺的毛羽指数远高于其他两种纺纱方式所成纱:

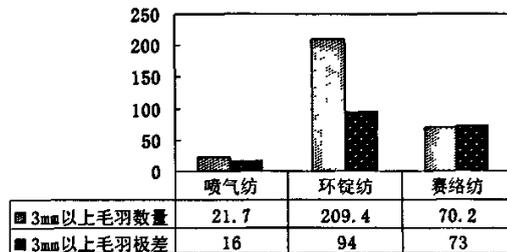


图 4-5 丽赛纤维不同方式成纱毛羽情况比较

赛络纺纱过程中，合股后的合成捻幅，在单纱原有的捻度的基础上又迅速增加，这样，股线中单纱及纤维螺旋线将更加明显，纤维沿轴向倾斜的程度增加，其捻系数也比普通股线中单纱的捻系数大，但又小于同细度股线的捻系数，形成内松外紧的圆形结构，这样赛络纺纱线比环锭纺纱线更具有较大的伸展度及紧密的纱线结构，因而成纱表面毛羽也有所减少。

实验中,混纺比对于毛羽的影响不显著,相比还是喷嘴压力、纱线支数等参数的作用效果更明显。

我们对丽赛喷气纱与环锭纱毛羽比较，结论如下：

(1) 数量：喷气纱与环锭纱相比较，在同样条件下，喷气纱比环锭纱毛羽数量要少得多。

(2) 毛羽形态：喷气纱的毛羽具有方向性，均向前倾斜一定角度同向排列；环锭纱的毛羽不规则地分布在纱干的外表。

(3) 长度：特长的毛羽基本没有，随着毛羽长度的增加，其量更少。一般的文献资料中指出喷气纺的短毛羽多，长毛羽少，但是对于丽赛喷气纱，两种毛羽的数量都比较少。

环锭纱的毛羽主要在加捻成纱的时候由于纤维头端所受张力较小而伸出于纱身外，毛羽数与纤维根数大致相等，平均而言每根纤维都有一段伸出纱身，伸出的长度相对较长^[38]。

另外，喷气纺由于纺纱张力较小，纤维转移不如环锭纺剧烈。而且纺纱中有了外包纤维的存在，限制了纤维伸出纱身外的机率。虽然纱中对折、打圈的纤维较多，部分对折、打圈的纤维容易形成短毛羽。

下面是喷气纱和环锭纱的短毛羽比较情况：

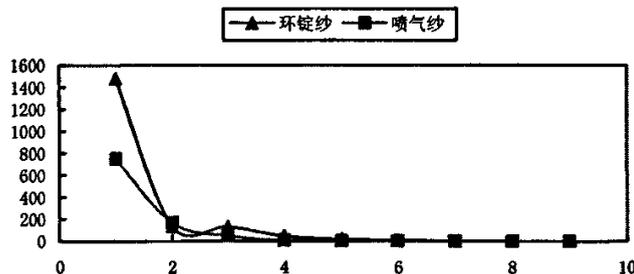


图 4-6 丽赛喷气纱与环锭纱 1mm-9mm 的毛羽分布情况

此外,除涤棉混纺,丽赛纱线其毛羽数量大大优于其他喷气纺纱线,可见丽赛纤维在改善纱线毛羽这一方面相对环锭纺优势突出。

4.3 纱线条干均匀度比较

纱线条干不匀是指沿纱线长度方向的粗细不匀,它是纱线等级评定的项目之一。纱线细度不匀与布面质量、加工性能及织物的服用性能密切相关。当纱线条干不匀显著时,则纱的强力下降,织造的断头率增加,而且会在织物表面形成多种疵点,影响织物的外观和内在质量。下面是经过 YG135G 条干均匀度测试分析仪得出的实验数据,

表 4-6 各原料成纱线条干测试结果

原料	纺纱方式	CV%	细节数	粗节数	棉结数
			(-50%)	(+50%)	(+200%)
原料 1	喷气	13.94	1	28	48
原料 2	喷气	14.4	30	65	168
原料 3	喷气	12.91	1	2	48
原料 4	喷气	12.06	14	7	16
原料 5	喷气	13.1	42	59	74
原料 6	喷气	14.93	8	64	119
原料 7	喷气	18.78	42	235	122
原料 8	环锭	15.83	42	53	192
原料 9	赛络	14.91	9	53	27

由于成纱截面内纤维根数造成的不匀,造成的截面不匀率 C 的公式为:

$$C = \frac{100}{(\text{根数}n)} \% = \text{根号}(N / Nm) \times 100\% \quad [39]$$

式中 n 为截面内纤维根数, N 为成纱公制支数, Nm 为纤维公制支数。

由此可见,纤维越细,截面内纤维根数越多,成纱条干也就越好。在强力中不一定起决定作用的纤维支数,在纱线条干中却非常重要。

我们实验中的丽赛纤维的细度为 1.2dtex 左右,较普通棉纤维(0.2tex)细,丽赛纤维的长度为 38mm,比普通棉纤维的长度(23mm-33mm)要长

的多，从这一点上可以得出，在相同纺纱工艺的条件下，丽赛纤维的成纱条干要比普通棉纤维的成纱条干好，根据实验数据得出，不管是纯纺还是和其他原料混纺，丽赛纤维成纱的条干均匀度总是能够好于棉纤维的。

赛络纺纱线的条干均匀度也较好，主要纱线经两根单纱经牵伸后捻合而成，这两根的合并长片段上纱线很利于改善成纱的条干，故赛络纱的长片段的条干均匀度和喷气环锭纱一样，条干都比较好。

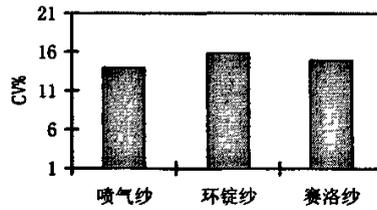


图 4-7 丽赛纤维不同方式成纱条干比较

但是，由于在某些位置上这两股纱合并的情况不是很好，会使粗节和细节的情况更加恶化，产生比较多的粗细结^[40]。下面是几种纺纱方法的成纱粗细结比较情况。

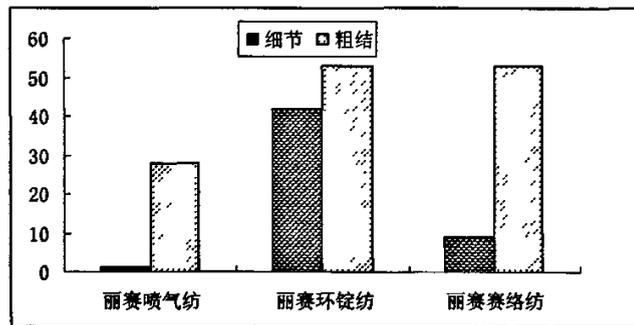


图 4-8 丽赛纤维各种方式成纱粗细节比较

由上图可以看出，不管采用哪种原料的环锭纺纱线的细节数都远远高于其他两种纺纱方式的成纱；而粗结方面喷气纱有很大的改善。

对于不同原料的喷气纺纱线条干差异不明显，在以后的研究中在这以评价纱线性能的重要方面还应该继续深入。

4.4 不同纱线耐磨性能比较

对于同类的喷气纱来说,经过200次的摩擦,效果基本相同。可见摩擦性能和原料的关系不明显。这是因为纱线的耐磨性与纱线的结构密切相关。所以在耐磨性上我们主要研究不同纺纱方式丽赛纱线的差异。

传统环锭纱由于纤维大多呈螺旋线形态,当反复摩擦时,螺旋线纤维逐步变成轴向纤维,纱线易失捻解体而很快磨断,因而耐磨性较差。非传统纺纱在耐磨性方面有着明显的优势,喷气纱由纱芯和外包纤维两部分组成,纱线表面包有不规则的缠绕纤维,纱线不易解体,同时纱线表面摩擦系数大,在织物中纱与纱之间的抱合良好,不易产生相对滑移,故耐磨性比较高。但是喷气纱的耐磨存在方向性,这主要由纺纱过程中喷嘴气流方向引起的。

本实验对纱线耐磨性能的研究主要是将纱线在未经过实验摩擦前和经过复合纱抗剥测试仪摩擦后分别用显微镜对其进行拍照对比。

通过研究我们可以发现传统环锭纱由于纤维大多呈螺旋线形态,当反复摩擦时,螺旋线纤维逐步变成轴向纤维,纱线易失捻解体而很快磨断,因而耐磨性较差,下面 100%纯丽赛环锭纺纱线摩擦前与摩擦的形态结构比较:

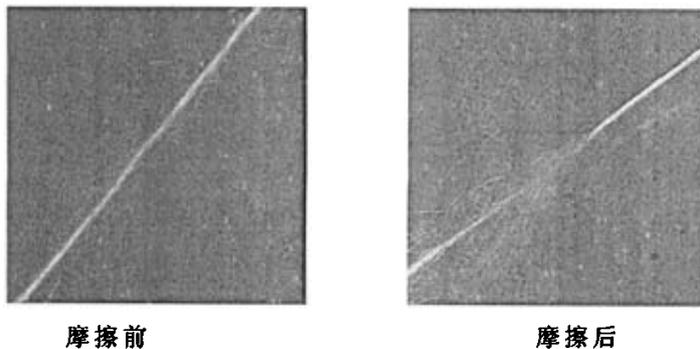


图 4-9 100%丽赛环锭纺纱线摩擦前与摩擦的形态结构比较

由于赛络纺纱线是内松外紧的圆形纱,具有较大的伸展性及紧密的纱线结构,纱线较光洁、圆整,纤维间包缠紧密,所以耐磨性较环锭纺要好。但是缺少保护纱芯的外层纤维,一旦表层受到较为强烈的磨损,由于内层纤维组合排列较为疏松,其纱芯会被很快磨断。下面 100%纯丽赛赛络纺

纱线摩擦前与摩擦后的形态结构比较：

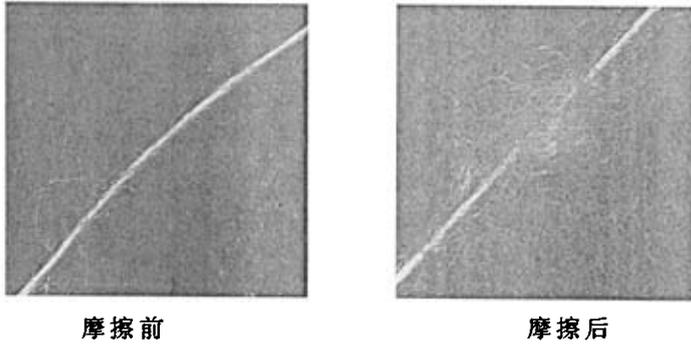


图 4-10 100%丽赛赛络纺纱线摩擦前与摩擦后的形态结构比较

通过对显微镜观察拍照做出比较，我们可以发现，不管采用何种原料，涤棉纱在以上的各项测试中的性能都很好，在耐磨方面也是如此，对于差异较大的丽赛和全棉纱，我们将所测试的拍摄照片作一比较发现也是无很大的差异，所以喷气纱的耐磨性总体都优于环锭纱和赛络纺纱。

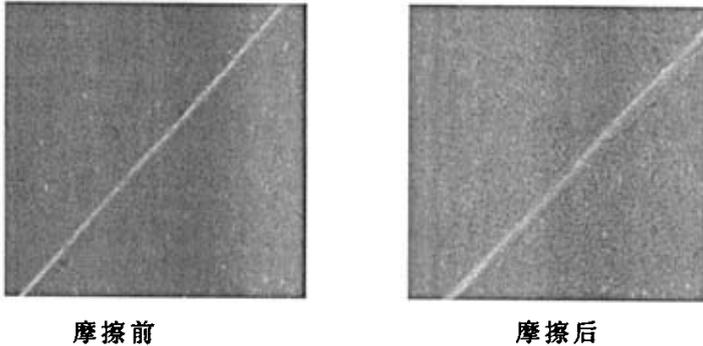


图 4-11 100%纯丽赛喷气纺纱线摩擦后与摩擦前的形态结构比较

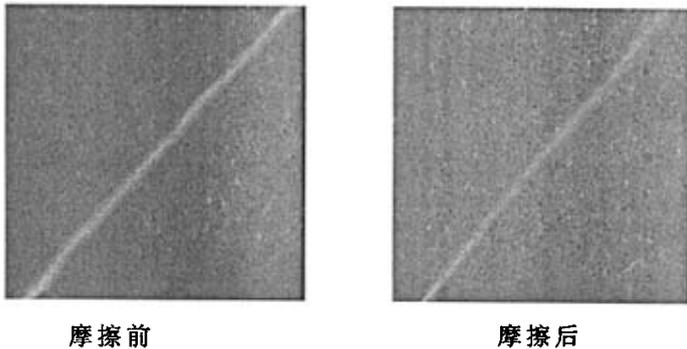


图 4-12 40S 普梳棉喷气纺纱线摩擦前与摩擦后的形态结构比较

喷气纱之所以耐磨的主要原因在于喷气纱纱线的结构。即纱线中纤维的排列形态和捻度的影响。在环锭纱表面的纤维呈有规则的螺旋线排列，纤维上受到的内应力较大，摩擦时，纤维容易受到损伤以至断裂。使纱线变细而断裂或者在反复摩擦时螺旋线逐渐解体纤维相互滑移抽拔。断裂及抽拔的纤维呈簇状集聚，使纱芯中心层纤维暴露在摩擦作用力下，最后使纱线磨断。喷气纺纱由于外层有外包纤维保护，摩擦时首先与磨料接触的是这些外包纤维，他们的头端或者某一长度的纤维被包埋在纱体中，所以他们不易磨断也不容易被抽拔出来，起到保护纱体的作用。丽赛纤维初始模量就比较大，在摩擦的过程中，较大的刚性反而对耐磨起到了帮助作用。

4.5 纱线弯曲刚度机理

喷气纱与传统的纱线结构完全不同，因此对于纱线弯曲刚度的测试解果如下：

表 4-7 各纱线弯曲刚度测试结果

原料	纺纱方式	弯曲刚度 $B \times 10^{-3}$	弯曲滞后量 $2HB \times 10^{-3}$
		($cN \cdot cm^2$)	($cN \cdot cm^2 \cdot cm^{-1}$)
丽赛	喷气	2.41	4.52
粘胶	喷气	1.05	3.86
天丝	喷气	4.17	5.48
涤纶	喷气	6.77	7.43
T/C 80/20	喷气	5.89	7.14
T/C 65/35	喷气	6.63	8.35
纯棉	喷气	4.24	5.11
丽赛	环锭纺	0.595238	—
丽赛	赛络纺	0.833333	—

由于我们使用的是织物弯曲风格仪来测试弯曲刚度，纱线弯曲刚度本身差异较小，在测试中有一定困难，所以同类喷气纱之间的变化不太明显，但是可以看出涤纶纯纺或混纺纱的弯曲刚度要大于纤维素类喷气纺，但是从混纺比中不能看出影响。不能不同纺纱方法中的弯曲刚度，显然环锭纺

纱线和赛络纺纱线的刚度要小的多，而且弯曲滞后更加突出。这是因为纱线的弯曲刚度除了纤维的因素外，纱线的结构也是一个问题，环锭纺和赛络纺的纤维在纱线中都呈螺旋状，而喷气纱是平行的芯纱外加包缠外层纱，所以弯曲时限制了纱线的运动。

4. 6 本章小节：

在本章中，对不同原料的喷气纱及不同纺纱方式的纱线的强力、条干、毛羽、耐磨性、弯曲刚度等做了测试和分析，对于上一章仅仅是再生纤维素纤维喷气纺的研究做了补充，使文章更加全面。

第五章 结论

5.1 论文结论

本文通过对丽赛喷气纱纺纱工艺参数对于纱线性能的影响和不同原料喷气纺纱线的综合比较研究喷气纺纱线的性能和优劣，得出结论如下：

1、随着第二喷嘴压力的增加，强力呈下降的趋势，在三种纤维的喷气纱中，断裂强度依此为天丝、丽赛、粘胶。天丝和粘胶的纱线强力都是纱线细的强度较低，但是丽赛纱线则相反，40支的强度要高于30支的。这是因为喷气纱的特殊结构：分为包缠纱和芯纱两部分，尽管纱线粗了，但是增加的主要是芯纤维的数量，所以对强力的作用不大，相反丽赛纤维的摩擦系数较低，纤维和纤维之间更容易滑脱的。在纱线的断裂伸长来看，和以前的研究规律不同，对于纤维素喷气纱，断裂伸长随喷嘴压力上升，都为先上升后下降的情况。

除了三种再生纤维素纤维的比较外，涤棉纱的强力要高于丽赛喷气纺，纯棉喷气纱的强力略低于丽赛纺，由于棉纤维的长度较短，在选用原料中对于纤维长度细度的要求很高，一般用长绒棉，这样一来纺纱成本就上升了；而且对于纺纱机器和工艺参数的要求都不一样，罗拉隔距需要放短，前罗拉和第一喷嘴的距离也要放近，但是距离越近，成纱强力也会越低，所以我们认为对于喷气纺，丽赛等再生纤维素纤维会比棉纤维更加合适。

2、在实验中，第二喷嘴对于纱线条干的影响不显著。但是不同原料喷气纱条干均匀度依次为天丝、丽赛、粘胶。这是由于天丝已经经过了相当一段时间的研究，对于其纺纱找到了合适的助剂，而对于丽赛纤维，到目前为止还没有找到最合适的纺纱油剂，继续进行探索研究。纱线较粗，条干较好。不同原料之间的引起的条干差异不明显。而同样是丽赛，喷气纺的条干优于环锭纺和赛络纺。丽赛喷气纱值得注意的是细节数量少而且随着第二喷嘴压力增加数量稳定，不像天丝喷气纱变化较大。另外棉结数量较少，这样最后产品的纱疵也会较少，对于产品量有很大程度的提高。

3、丽赛喷气纱最大的优势就在它的毛羽比天丝少很多，3mm以上长毛羽更是比粘胶还要少，而且随着第二喷嘴压力的增加，毛羽下降更显著的。

较细纱线的毛羽较少，这是因为截面上的纤维根数相对较少，则裸露在纱体外的头端毛羽较少。其他种类的喷气纱，涤棉、涤纶的毛羽也较好，而全棉喷气纱的毛羽较多。另外，环锭纺的毛羽最多，然后是赛络纺，喷气纱的毛羽最少。

4、喷气纱的弯曲刚度随第二喷嘴压力的增加而增加。三种纤维素纤维喷气纺的弯曲刚度大小依次为天丝、丽赛、粘胶。作为纤维性能和截面形态比较相似的天丝和丽赛，在弯曲刚度上却有差异，我们认为这主要是因为丽赛纤维表面摩擦系数小，纤维光滑，在弯曲时纤维间的相互移动较大引起的。这也对于喷气纱手感比较僵硬，粗糙的问题有一定的改善。同类喷气纱之间的变化不太明显，但是涤纶纯纺或混纺纱的弯曲刚度要大于纤维素类喷气纺，从混纺比中不能看出影响。不能不同纺纱方法中的弯曲刚度，显然环锭纺纱线和赛络纺纱线的刚度要小的多，而且弯曲滞后更加突出。

5、最后运用了多目标灰色局势决策分析的方法研究了实验的结果，得出的结果都反映了丽赛喷气纱的性能较为优秀，从而为实验的结果提供了一定的依据。

5.2有待改进之处

由于实验条件所限，没有对丽赛纤维喷气纺纱线的显微镜结构进行深入研究分析，文章推测其结果和传统涤棉纱的结构大致相同。其实不同纤维性能，最后形成纱线的结构不完全相同，会导致纱线性能的细微差异。由于时间所限，未能研究丽赛纤维喷气纱织物的性能，最终产品性能是评价一种新型纱线优劣的重要标志。

参考文献

- [1] 侯海涛.喷气纺纱的现状与发展趋势.纺织器材.2003.V30.No5.Sep:57.
- [2] H.F.Mark, S.M.Atlas, E.Cernia. Man-made fibers science and technology.
- [3] 华东纺织工学院编.化学纤维工艺学.北京:中国财经出版社.1961:196.
- [4] Grosberg P., Oxenham W., and Miao M. The Insertion of "Twist" into Yarns by Means of Air-Jets, Part 1: An Experimental Study of Air-Jet Spinning. J.Text.Inst., 1987,78(3):189-203.
- [5] Lawrence C.A., Baqui M.A. Effects of Machine Variables on the Structure and Properties of Air-Jet Fasciated Yams. Text.Res.J.,1991,61(3):123- 130.
- [6] Jambagi. Air-Jet Twin Spun Yarn. Indian Text J., 1997,May:48-53.
- [7] Chasmawala R. J., Hansen S.M., and Jayaraman S. Structure and Properties of Air-Jet Spun Yarns. Text.Res.J.,1990,60(2):61-69.
- [8] Punj S.K, Ishtiaque S.M., and Dhingra L.K. Influence of Spinning Conditions on Structure and Properties of Polyester-Viscose Blended MJS Yams. Indian J.of Fiber & Textile Res.,1997,22(6):73-83.
- [9] Bhoratakke M. K, Nishimura T., and Matsuo T. High Speed Yarn Production with Air-Jet Spinning: Effects of Some Fiber Parameters. Text.Res.J., 1997, 67(2):101 - 108.
- [10]Nemalil Tarafder, P/V Blended MJS Yarns. Indian Text. J.,2000,Feb 38-45.
- [11]Rangaswamy R. Interaction of Process and Material Parameters in Air-jet Spinning. Text.Res.J.,1998,V68,No.10: 708-714.
- [12]M.K.Bhortakke, High speed Yarn Production with Air-Jet Spinning: Effects of Some Fiber Parameters. Text Res J., 1997,V67, No.2:101-108.
- [13]G.K Tyagi, Air-jet Spinning: Effects on Polyester Yarns. Indian Text.J., 2004, July:17-20.
- [14]W.Oxenham, Effect of Jet Design on the Properties of Air-jet Spun Yarns, Text. Res J., 1993,V63, No.11: 674-678.
- [15]Y.C.Zeng, Numerical Simulation of Air Flow in the Nozzle of an Air-Jet Spinning Machine, Text Res J., 2003,V73, No.4: 350-356.

- [16] M.K. Bhortakke, The Structure of Polyester/Cotton Blended Air-Jet Spun Yarn. Text Res J., 1999, V69, No.2: 84-89.
- [17] W.Oxenham, Properties of Jet-Spun Poly-cotton Yarn. Text Asia. 1992, Oct: 52 - 55.
- [18] S.K.Punj, Polyester-viscose Variations. Text Asia. 1995, Apr: 38-44.
- [19] Grosberg P., Oxenham W., and Miao M. The Insertion of "Twist" into Yarns by Means of Air-Jets, Part 2: Twist Distribution and Twist-Insertion Rates in Air-Jet Twisting. J.Text.Inst., 1987, 78(3): 204-219.
- [20] Krause H.W and Soliman H. A. Theoretical Study of Wrapping Twist in Single Jet False Twist Spinning. Text.Res.J., 1999, 59(9): 546-552.
- [21] Rajamanickam R., Hansen S. M., and Jayaraman S. A Computer Simulation Approach for Engineering Air-Jet Spun Yarns. Text.Res.J., 1997, 67(3): 223 -230.
- [22] 张立禄, 东华大学纺织工程硕士学位论文. Polynosic 纤维针织物性能研究. 上海 2005
- [23] 金佩新, 刘月芬. 《喷气纺纱》, 纺织工业出版社, 1991, 10: 23.
- [24] 王建坤, 张纪梅. 喷气纺纱成纱结构与强力的分析和探讨. 天津纺织工学院学报 1997, V16. No.2
- [25] R. Rajamanickam Studies on Fiber Process Structure Property Relationship in Air jet Spinning J.Text.Inst. 1998, Vol89 Part1. NO: 243.
- [26] 姚穆. 《纺织材料学》, 中国纺织出版社, 1997年10月第二版第十次印刷: 282
- [27] N .Tarafder, 涤/粘双股纱喷气纺工艺. 国外纺织技术. 2001.3
- [28] 陈怡. 译. 新纱线的毛羽特征. 国外纺织技术. 2002年第2期: 65
- [29] Livesey R. G. and Oven J. D. Cloth stiffness and Hysteresis in Bending. J. Text Inst. 1964, V55: 516-530.
- [30] 姚穆. 《纺织材料学》, 中国纺织出版, 1997年10月第二版第十次印刷: 401-402.
- [31] 王府梅. 《服装面料的性能设计》. 中国纺织大学出版社, 2000, 12: 188-189.
- [32] 邓聚龙. 《灰色控制系统》. 华中工学院出版社, 1985: 200.
- [33] 于伟东, 储才元. 《纺织物理》. 东华大学出版社, 2001: 73.
- [34] 孙文. 纤维性能在喷气纺纱纱线中对纱线强力的影响. 译自 Indian Text. 1999年102卷第10期.

- [35] 贾毅平,肖农伟,但晓红等.喷气纺纱工艺参数的优化选择.武汉纺织工学院学报, 1997,3月,第10卷,第1期:14.
- [36]毕松梅,吴心红,方宏.Sirospun 纺单纱纱线结构和捻度分布的分析.纺织学报. 2001年第2期:32.
- [37]S. K. Pun, S Debnath. Effect of twist on air-jet &ring yarns. The Indian Text J. 2000,June:52.
- [38]Steven M.,Hansen. Interaction of Process and Material Parameters in Air-jet Spinning. The Indian Text.J. 1997,July: 56
- [39] 陆凯, 劳继红, 郁崇文, 张宗新等. 中国纺织出版社.纺纱学(下册).
- [40] 陈忠, 不同纺纱方式的成纱结构和特性. 纺织导报. 2003 第 6 期: 94

附录:

以下是正文第三章喷气纱线第二喷嘴压力、纱线支数多目标灰色局势决策分析过程数据计算的 matlab 程序:

```
clear;
disp('局势矩阵如下: ')
a=[12.91 48 2 1 12.66 11.56 9 5.7
    13.09 95 2 19 12.53 8.5 15.9 4.41
    13.05 85 1 5 12.46 9.2 10.14 3.35
    13.94 48 28 1 11.85 7.9 9.35 2.17
    13.94 48 20 2 10.62 8.1 9.13 1.3
    14.38 42 38 25 9.36 7.1 9.33 1.08
    14.4 168 65 30 8.85 8 9.19 3.93
    14.64 328 98 142 8.3 6.9 8.3 2.86
    15.22 612 222 245 8.28 6.9 8.67 1.43]
q=[0.22 0.1 0.08 0.08 0.17 0.13 0.08 0.14];%分配权重
na=[0.95 0.9 0.9 0.85 1.05 0.95 1.05 0.95];%功效函数
nb=[1 1 1 1 1 1 1 1];%功效函数
nc=[1.2 1.1 1.1 1.25 0.95 1.1 0.95 1.15];%功效函数
b1=a(:,1);b2=a(:,2);b3=a(:,3);b4=a(:,4);
b5=a(:,5);b6=a(:,6);b7=a(:,7);b8=a(:,8);
%灰色局势决策
disp('灰色局势决策过程如下: ')
c1=min(b1)./b1;c2=min(b2)./b2;c3=min(b3)./b3;c4=min(b4)./b4;
c5=b5./max(b5);c6=min(b6)./b6;c7=b7./max(b7);c8=min(b8)./b8;
disp('效果矩阵如下: ')
rij=[c1 c2 c3 c4 c5 c6 c7 c8]%效果矩阵
d1=sum(rij(1,:).*q);d2=sum(rij(2,:).*q);d3=sum(rij(3,:).*q);
d4=sum(rij(4,:).*q);d5=sum(rij(5,:).*q);d6=sum(rij(6,:).*q);
d7=sum(rij(7,:).*q);d8=sum(rij(8,:).*q);d9=sum(rij(9,:).*q);
disp('决策矩阵如下: ')
r1j=[d1 d2 d3 d4 d5 d6 d7 d8 d9]%决策矩阵
```

攻读硕士学位期间发表的学位论文

- [1] 曹晨彦, 吴丽莉, 俞建勇. 丽赛喷气纺纱线性能研究. 山东纺织科技, 2006, 第一期 (已录用)

致 谢

本文是在我的导师俞建勇教授悉心指导下完成的。在整个课题研究的过程中,老师给予了我很多有益的指导,无论是从资料的收集整理,还是实验结果的论证和理论的探讨,都得到了老师无微不至的关怀和支持。老师的渊博学识和谆谆教导使我受益匪浅,从老师身上,我不仅学到了扎实的知识,而且学到了做学问的精神和态度,以及更多做人的道理。所有这些,对我未来的发展必将产生深远的影响。在本文完成之际,谨向我的导师俞建勇教授致以最诚挚的谢意!

在课题的实验阶段,得到了纺织面料技术教育部重点实验室程隆棣老师和上海第十七棉纺厂何明珠主任的热情帮助和支持,同时纺织实验室谢海娣,俞雯和张琳等老师的指导,在此也向她们致以真挚的感谢。

特别要感谢的是吴丽莉老师,在整个课题研究和论文完成的过程中投入了莫大的精力,给予了极大的帮助和支持,在此我要致以最衷心的感谢!

最后我要感谢我母亲在我攻读硕士学位期间对我的支持和理解,感激她多年对我的养育之恩!

曹晨彦

2005年12月