

摘 要

自由端喷气纺是利用高速旋转气流对纤维进行加捻的纺纱方法,其特点是纤维在加捻的过程中形成自由端,最终真捻成纱。由于其纺纱速度快,毛羽少,可以纺中特数纯棉产品,越来越受到人们的重视。

这种纺纱方法由于采用了高速气流辅助罗拉牵伸对纤维进行分离,充分利用了牵伸对纤维控制良好,纤维伸直、平行度好的优点,较之一般自由端纺纱中采用刺辊开松、分离纤维的方法,这种方法具有纤维分离后伸直平行度好,纤维损伤小的优点,更有利于改善成纱中纤维的排列形态和成纱强力。同时,该纺纱方法采用高速旋转气流对纤维须条进行加捻,由于无高速回转件的限制,从而可以高速纺纱。

村田公司 No.861 就是基于此类纺纱方法的纺纱机,现在这种机型在我国国家只有不到 10 台。由于引进机器数量少,时间短,国内尚没有此种机型较为成熟的纺纱工艺。本文以研究自由端喷气纺纱的纺纱工艺为主,在 No.861 上利用正交方法设计实验,通过实验得出纺纱工艺与纱线品质之间的经验公式,并利用多目标灰色局势决策等模糊数学的方法,选出最优工艺;同时利用示踪纤维法、哈氏切片法等纱线结构的研究方法,对自由端喷气纺纱线结构进行研究,得出纱线的结构模型;此外我们分析了自由端喷气纺纱线的成纱机理和纱线性能。

本论文在内容上,主要包括五部分:第一部分对喷气纺纱的发展和研究现状、自由端喷气纺纱的发展和研究现状及选题的目的意义、研究内容做了简要概述;第二部分通过对喷嘴内流场和纤维在喷嘴内受力和运动情况的理论分析,描述了自由端喷气纺的成纱过程和成纱机理;第三部分在实验探索的基础上设计了正交实验,得出纱线品质与纺纱工艺参数之间的经验公式,并优选了纺纱工艺;第四部分对比了自由端喷气纱与其它纺纱方法的纱线性能;第五部分主要是对自由端喷气纺纱线结构进行分析。

最后得出结论为:在 NO.861 型纺纱机上可调工艺参数中,最为重要的是纺纱速度、喷嘴压力、前罗拉钳口到空心锭口的距离;MVS 纱线的强力略低于环锭纺,纯棉纱一般在环锭纺纱线的 90%左右,化纤或混纺产品强力能够达到和超过一般环锭纺,而其他指标都要优于一般环锭纺,特别是毛羽性能,比环锭纺有较大优势,一部分纱线能够达到紧密纺水平;MVS 纱线的结构模型:中心部分为

无捻或是弱捻的芯纤维，人约占纱线的 30%，外层为螺旋形加捻纤维。

关键词：喷气纺纱 自由端纺纱 纱线性能 成纱机理 成纱结构

Study on technics of Open-end Air-jet Spinning

Abstract

Open-end air-jet spinning is a kind of new spinning method, which utilizes high-speed airflow produced by nozzles to finish twisting and wrapping. Its advantage has been recognized by more and more people, and it has developing in a high speed in these years.

No.861 is a machine type of this spinning method by Murata Company. There are only no more than 10 these machines in our country, so we don't have mature technics of this type machine. In this paper, it is researched on spinning technics of open-end air-jet spinning, base on the No.861, it is designed perpendicularity experiments to find relationship between spinning technics and yarn qualities; moreover we analyze yarn properties and structure of this type spinning method and compare them with other spinning method yarns.

This paper mainly includes five parts. In the first part, the development of air-jet spinning, the research actuality, the aim of this thesis and the research content are introduced. In the second part, spinning process and spinning mechanism are introduced. In the third part, a series of perpendicularity experiments post the relationship between spinning technics and yarn properties, a experience formula is obtained and from which the best technic can be known. In the fourth, compare with other spinning method, MVS yarns' properties are introduced in details. In last part, by analyzed yarn structure, a structure matrix of MVS yarn is elicited.

Keywords: air-jet spinning, open-end spinning, yarn properties, spinning mechanism, yarn structure

第一章 概述

第一节 自由端喷气纺（MVS）纺纱方法介绍

新型纺纱技术包括转杯纺、喷气纺、摩擦纺及自由端喷气纺等，20 世纪 80 年代以来，新型纺纱技术有了很大的发展，尤其是转杯纺纱技术、喷气纺纱技术已发展的比较成熟，构成世界上新型的纺纱体系，其中喷气纺纱由于无高速回转件，其纱条的假捻、包缠由高速的回转的压缩空气完成，因此，它一直以输出速度高、可纺纱号细的特性而被人们所看好。

但是必须承认，传统的喷气纺由于其包缠假捻的成纱特性，较适合纺制涤纶和涤棉混纺纱以及其他较细、软的纤维，而纺制纯棉纱时强力较低，仅为同类环锭纱的 60%—70%，从而限制了其应用范围，这是喷气纺的一个主要不足。同时，喷气包缠纱还有手感糙硬，毛羽有方向性，易形成棉结等缺点，从而限制了其应用范围。从工艺上看，合理设计喷嘴和选取工艺参数以获得较优的包缠纤维数量和包缠角度，可以使纯棉喷气纱的强力达到同类环锭纱的 80% 左右，但是，由于棉纤维本身的性能无法调整，棉纤维长度较短，短纤维含量高，易引起包缠不匀，所以进一步提高纯棉喷气纱的强力是相当困难的。在假捻包缠结构的纱中，承担负荷的主要是伸直平行的芯纤维，纤维长度越长，纤维间的摩擦系数越大，芯纤维能承担的负荷越大，成纱强力也就越大。喷气假捻包缠纱从机理上来看是不适合纯棉这种短纤维的，它要求(芯)纤维具有一定的长度(50mm 以上)。MVS (Muratuec Vortex Spinner) 即自由端喷气纺是在 MJS (Muratuec Air-jet Spinner) 的基础上发展起来的，与 MJS 相同，也是利用喷嘴内压缩的高速涡旋气流，作用在经过牵伸的纤维束上加捻成纱。但是由于其独特的喷嘴结构和成纱机理，使纱线的结构和性能有所变化。自由端喷气纺适纺纯棉纱，其强力可达到环锭纱的 80%，而喷气纺最多达 60-70%，这就解决了 MJS 的缺陷。同时自由端喷气纺具有更高的纺纱速度，其理论纺纱速度可以达到 450m/min，据说是目前速度最高的纺纱机；纺纱支数范围广，可以纺制 13-60s 的纱，主要集中在生产 18-40s。同时具备了以上提到的喷气纺的众多优点，而且产品有其独特的性能和用途，在机织和针织中都有广泛应用。

第二节 喷气纺技术的发展与现状

喷气纺纱的发展始于70年代，但在最近十五年才逐渐趋于成熟。它是利用高速旋转气流，对牵伸后的须条进行假捻包缠，使前罗拉输出的须条加捻成纱的一种新型纺纱方法，以其质量优、流程短、产量高、自动化程度高等综合技术水平和经济优势成为当前国内外纺织业瞩目的高新技术。

喷气纺纱机按加捻器形式区分,主要有单喷嘴、双喷嘴、喷嘴和加捻罗拉结合等种类;按进气方式可分为单进气和双进气两种;按纤维凝聚形式分,有棉条喂入经罗拉牵伸装置(三罗拉双皮圈、四罗拉双皮圈及五罗拉双皮圈),还有采用分梳辊或针辊分梳,经凝聚成纤维须条,也有采用分梳辊和罗拉相结合的形式。以上多种形式的喷气纺纱机大部分只停留在实验研究阶段。上世纪六七十年代,有关单喷嘴和双喷嘴喷气纺纱技术的专利不断出现,但迄今为止形成大规模产业和商业化生产的并不多。

喷气纺的原理起源很早,美国杜邦(DuPont)^[1]公司于1963年首先发表了喷气加捻包缠纺纱法的专利,并研制出单喷嘴包缠纺纱机,但由于其成纱强力极低,纱的蓬松性、弹性均较差以及原料限制而未能继续发展。此后,一些国家便开始了这一纺纱方法的研究。70年代初期,英、美、西德、日本等国大量涌现有关喷气纺的专利,其中,日本和德国的几家公司取得的成就尤为显著。

1970年联邦德国洛伊特林根(Reutlingen)纺纱技术研究所设计出了新型的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,其纺纱速度可达350m/min。其纺纱示意图如图1.1所示,前罗拉输出的两根须条分别进入叉状的双孔喂入管1和2,在管内进行汇合。双孔管前方有一空气涡流喷嘴3,利用高速气流对管1中的须条施加假捻挽回,并一直传递到前罗拉钳口。进入管道2的须条纤维为边缘纤维,到达汇合点后才一起参加芯纤维的假捻,通过喷嘴后须条即进行退捻,边纤维则以退捻方向包缠在纱芯上,形成包缠纱。

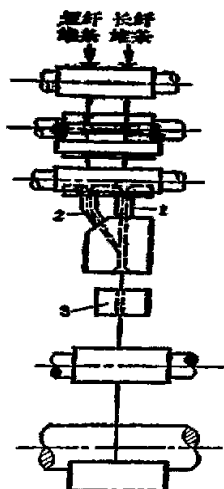


图 1.1 联邦德国包缠纺纱示意图

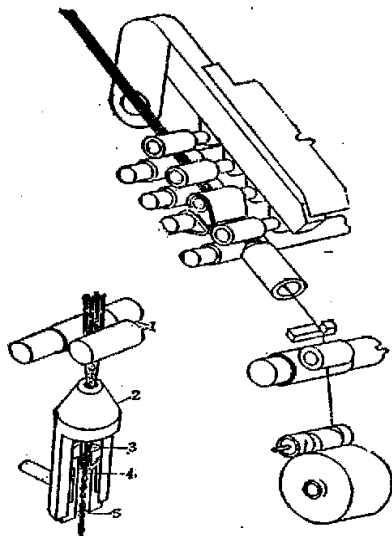


图 1.2 东丽 AJS101 型喷气纺纱示意图

研制单级喷嘴喷气纺纱机比较成功的是日本的东丽(Toray)公司。其主要

机型是 AJS101 型 120 锭喷气纺纱机，其纺纱过程如图 1.2 所示。它采用双面下行式排列，牵伸装置是四罗拉双短皮圈摇架加压的超大牵伸装置，从牵伸装置出来的纤维须条先经过须条分离器分离成头端自由纤维，然后经涡流喷嘴加捻而成纱。该机适纺棉和 38mm 的化纤及混纺纱，可纺 58.3~9.7tex 的纱线，最高纺纱速度为 200m/min。东丽公司在 AJS101 型机的基础上还推出了 AJS102 型机，对纺纱器和牵伸系统做了改进，以适应高速，纱筒卷绕也作了重大改进，设有张力补偿装置，通过改变纤维分离器和喷嘴的组合形式，可以纺制 32~51mm 的各种混纺纱^[2]。

在所有喷气纺纱方法的研究中，技术上较为成熟并且取得巨大成就的是日本村田（Murata）公司。它于 1981 年 11 月日本大阪第二届国际纺织机械展览会上首次展出了一台 MJS801 喷气纺纱机，先后推出了 MJS801、MJS802、MJS802H 和 MJS802HR 一系列 MJS 型喷气纺纱机。各种机型在牵伸装置、喷嘴结构以及电气控制部分有较大的改进，所适纺品种也逐步增多，但它们的基本纺纱原理相同，以 MJS801 为例说明，如图 1.3。喂入棉条经过三罗拉双短皮圈超大牵伸后进入串连的两个喷嘴，在两个方向相反的高速旋转气流作用下对须条进行假捻并包缠成纱，纱条由引纱罗拉引出后，经过电子清纱器去除疵点后卷绕成纱。

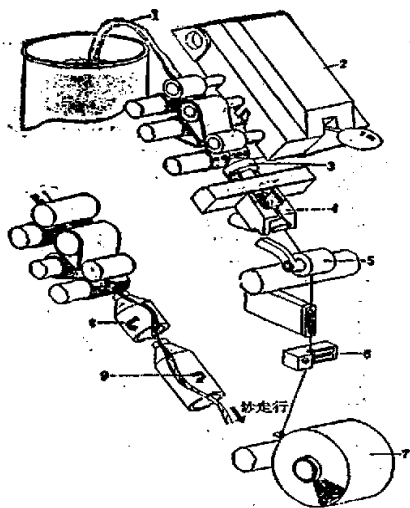


图 1.3 MJS801 喷气纺纱示意图

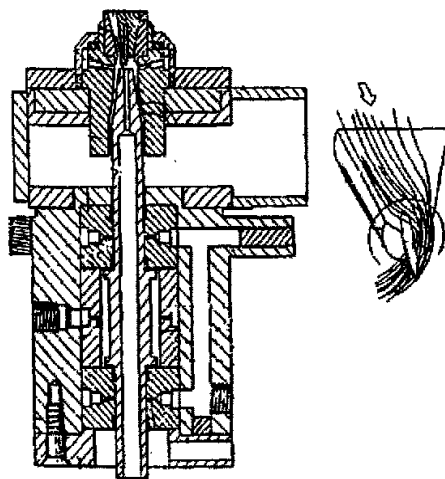


图 1.4 自由端喷气纺的喷嘴结构示意图

1988 年，村田公司又在 MJS802 型机基础上推出了 MTS881 型喷气纺纱并纱联合机，集纺纱、并筒于一体，形成多功能的双纱并和喷气纺纱机。经同一牵伸装置牵伸后的两根须条分别进入各自的加捻喷嘴，经加捻后，两根单纱在导纱器处汇合在一起，由引纱罗拉引出，经清纱器后绕成双纱筒子^[3,4]。

村田公司继 MJS 系列之后推出了第三代喷气纺纱机 RJS804（又称罗拉喷气纺纱机）。RJS 喷气纺纱机的牵伸区基本与 MJS 相同，而包缠加捻的成纱装置

则由喷嘴和球形罗拉组成,充气的球形罗拉的作用与 MJS 第二喷嘴的作用相同,即其对须条的加捻方向与喷嘴对须条的加捻方向相反。RJS804 的生产效率高,纺纱速度可达 400m/min; 功率消耗低(由于球形罗拉的代替)。因此,它在 1995 年米兰国际纺织机械展览会上引起了极大的轰动。

1995 年,村田公司又推出了新一代喷气纺纱机 MVS851(又称涡流纺纱机),这是一种真捻无接头的涡流纺纱机。于 1999 年在法国巴黎展览会上正式展出,并于 2002 年 10 月在我国北京首次展出。MVS 包括牵伸、涡流加捻、空心锭子和成纱卷绕四部分^[6]。其成纱机理如下:经牵伸后的纤维须条从前罗拉钳口输出后,立即进入与前钳口距离很近的螺旋形涡流喷嘴,在涡流喷嘴中旋转气流的作用下纤维须条头端被包缠成纱,由下端针状引纱管将包缠纺成的纱引出后被吸入空心锭子,其尾端则在从涡流喷嘴中吹出的旋转气流的作用下在空心锭子进口处倒翻过来,经空心锭子搓捻作用后逐渐包缠到纤维纱芯上,加捻最终完成。图 1.4 为自由端喷气纺的喷嘴结构示意图。

之后村田公司又推出了 MVS861^[7]其最高纺纱速度达 450m/min,据称是目前纺纱速度最高的纺纱机。该机安装有“VOS”(视觉随选系统)控制板,可以方便地设定机器的运转参数和纺纱条件,控制纺纱质量;数字化的清洁系统“MSC”(村田纺纱清洁器)不间断地检测并清除纱线疵点。

2002 年村田公司还推出了 MVS8IT,它属于双股喷气涡流自由端纺纱机^[8]。

目前,MVS 在世界范围内已销售了 300 多台,分布在 11 个国家,其中美国有 250 余台(每台 72 头),经使用反映良好。所以,MVS 有望在今后得到很大的发展。这将是本课题研究的中心。

德国绪森(Suessen)公司于 1987 年 10 月在法国巴黎国际纺织机械展览会上推出了 Plifil 双纱喷气纺纱机。集高倍牵伸、纺纱、并纱和络筒于一体。纤维须条经牵伸后,进入喷气纺纱区的纺纱器,在气流的作用下旋转管使得纤维尾端向同一方向以螺旋形将纤维包缠在一起,形成纱线。纱线从喷气纺纱区出来后,经导纱器合并后卷绕到圆形筒子上。Plifil 纺纱工艺特点是既具有常规喷气纺优点,又避免了喷气纱手感较硬的缺点。在后道倍捻机的工艺工程中,Plifil 纱内的微量纤维大部分被反向捻回所抵消,故纺出的股线具有蓬松性。Plifil 喷气纺纱机有 Plifil1000 和 Plifil2000 两种机型。Plifil1000 适用于棉、化纤及其混纺,可纺支数为 $2 \times 25 \sim 2 \times 83\text{tex}$,纺纱速度为 50~250m/min。Plifil2000 适用于羊毛、毛型化纤及其混纺,可纺支数为 $2 \times 25 \sim 2 \times 10\text{tex}$,纺纱速度为 150~350m/min^[9]。

我国也自 1978 年以来,先后有东华大学、天津纺院、上海纺织科学研究所等单位对喷气纺纱进行了研究,在实验室里以细纱机改装的机台上进行实践探索,改造或生产了简易的喷气纺纱机,对有关的工艺参数和喷嘴结构进行了深入的研究。上海国棉六厂研制出了 SFA5802A 型双面上行式喷气纺纱机和 ZX871

型半自动接头机，并通过了上海的鉴定，但未能批量生产和销售^[2]。2003 年 12 月，在上海国际纺织机械展览会上展出东华大学、青岛大学与上海太平洋集团进行合作研制出了第一台国产喷气纺纱机 KPF02 型机。

第三节 国外的研究状况

国外有关喷气纺工艺的研究主要从纺纱工艺参数的调整、成纱结构理论以及计算机在喷气纺纱技术中的运用等方面入手，不断提高喷气纺纱技术。

Carl A Lawrence 等^[10]通过微观分析，把喷气纱中纤维的形态结构分为三类：第一类结构为均匀包缠纤维，第二类结构为随机包缠纤维，第三类结构为未包缠纤维。当纺纱工艺条件变化时，每一类出现的频率和平均长度都不相同，其中，第三类结构对纱强没有任何贡献，而具有包缠结构的第一类结构与第二类结构承担纱线强力，其中第一类结构比第二类结构更重要。通过实验选择各种纺纱参数，如气压、纺纱速度、张力牵伸、两喷嘴隔距等，对各类纤维的频率和平均长度影响，从而影响纱线强力。

Punj-SK 等^[11]研究了喷气纱和环锭纱纱截面内纤维的径向分布规律。研究发现，在纱线的同一横截面，纱线的密度不均匀，喷气纱纱芯的密度最大，向外逐渐减少；环锭纱的密度先从纱芯增大，到纱线半径的 1/3 到 1/4 的区间时达到最大值，然后向纱线表面又逐渐减小。并通过转移指数的计算得出了涤棉混纺喷气纱中包缠纤维、纱芯的基本组成及涤纶纤维线密度对包缠纤维数量的影响。

Rangaswamy 等^[12]认为第一喷嘴和第二喷嘴的交互作用对涤/棉喷气纱的强力有很大的影响。并且通过不同的压力组合优化出了得到最高纱线强力的第一、第二喷嘴的气压。

Melliand(Eng. Ed.)^[13]提出通过优化喷嘴设计提高喷气纺纱系统生产率，通过优化纺纱元件，减小气孔直径同时增加数目及气压。

R. Rajanickam^[14]通过建立喷气纺纱中纤维性能—工艺参数—结构—性能关系模型，分析了不同结构以及纱段之间是如何相互影响，而且解释了实验中观察到完全断裂和非完全断裂以及完全滑脱而断裂的现象。他还指出，纱线断裂强力随第一类结构长度和出现频率的增加，同时随第三类结构的减少而增加，还认为包缠纤维存在最佳的包缠长度。

Rangswamy^[15]描述了目前用来预测喷气纱强力的四种主要的方法，即数学模型、实验模型（回归模型）、计算机模拟模型、人工神经网络模型，它们的适用范围、局限性和预测效果各不相同。回归模型的特点是工作量大，预测精确度高，能够很好的预测强力。数学模型是在很多假设条件下建立起来的，因而预测的精确度不高，但它是计算机模拟的基础。计算机模拟模型是在数学模型的基础上建立的，它比较适合于实验研究使用，在无需花大量的时间和金钱的条件下进行预

测，用来预测影响纱线强力的各参数之间的交互作用。

日本村田公司的MVS机于2002年10月北京纺机展上首次在我国展出。MVS^[8]将假捻包缠的成纱机理改为自由端加真捻的成纱机理，以改善纺纱时对原料尤其是对长度较短的棉纤维的限制性，使纯棉纱的强力大大提高。MVS的加捻原理是：四个喷射孔与锥形圆锥管道上圆形涡流室相切，形成旋转气流，并沿空心锭锥形顶端在锥形通道旋转下移，从排气孔排出；纤维须条从吸口吸入，经输送管道螺旋旋转喂入，经过针状引导棒，纤维头端与引纱尾端搭接，而纤维尾端被旋转涡流吹散，并旋转加捻；空心锭可以不转动，也可转动，当其转动时，依靠切向气流推动而转动，回转方向与涡流旋转方向一致，协助对纱条加捻；纱从空心锭引出后，纤维从前罗拉不断喂入，添加在纱道涡流旋转端，一端进入纱芯，另一端被吹散旋转，从而连续加捻而成纱。MVS属于自由端纺纱，可用于加工纯棉纱。

美国专利6 314 714 纺纱装置^[16]是Saurer集团Schlafhorst公司利用气流对无捻须条中的纤维提供加捻作用来生产短纤纱的装置。该纺纱系统有一个旋转的锭子和一个静止的锭芯，锭芯用来引导经过牵伸的纱条。因为不会产生假捻，属于真捻纺纱。

Artzt-P.^[17,18]、Matsumoto T^[19]等分析了喷气涡流纱的结构，通过实验得出喷气涡流纱与环锭纱具有相似的结构；喷气涡流纱和转杯纱虽然都具真捻结构，但前者捻度方向性更强。作者还比较了涡流纱与环锭纱的主要性能，得出如下结论：涡流纱除了强力稍低于环锭纱，其他性能均优于环锭纱。

Rozelle W. N.^[20]详细研究了自由端喷气纺的成纱过程，提出前罗拉的钳口到空心锭口的距离对成纱性能有非常重要的影响，这个距离越大越有利于形成自由端纤维，使纱线越接近真捻纱。

第四节 国内的研究状况

国内对喷气纺的研究主要集中在成纱机理、成纱过程、喷嘴结构参数、纱线结构及性能等的研究上，对影响其强力的因素进行了探讨和实验研究，来提高喷气纺纱的性能，使纱线达到最佳的性能指标，体现其优越性。

喷气纺作为一种新型纺纱方法，其成纱机理和成纱过程一度成为学者研究的重点。对喷气纺纱是自由端纺纱还是非自由端纺纱、是假捻纺纱还是真捻纺纱的问题存在争议。自由端纺纱是在纺纱过程中有纤维须条的完全断裂，而非自由端纺纱在纺纱过程中纤维须条是完全连续输出的，并没有出现断裂。

一种观点认为喷气纺属于非自由端纺纱方法^[1,22,23]。金佩新等^[1]研究发现：正常纺纱时，加捻器的第一喷嘴离开前钳的距离小于纤维的主体长度，当输出前钳口的纤维头端到达第一喷嘴时，尾端仍处在前钳口之下，所以不存在须条的断裂过程；另外借助高速摄影拍照的观察，也证明前罗拉处的须条是连续的，说明

喷气纺属非自由端假捻纺纱。

另外,有学者从纱线结构角度来说明喷气纺的成纱机理^[23]。喷气纺是典型的包缠结构,纱芯纤维有三种状态:Z向、S向和平行向。但倾斜角均很小,在 10° 以下。经解捻后,纱芯的Z向、S向倾斜相互调整,处于新的平衡状态。这个特点不同于一般自由端或非自由端真捻纱,只能是非自由端包缠纱。

对喷气纺的包缠过程大多数学者^[21,23,24]认为是一个假捻→退捻→包缠的成纱过程,当纤维须条进入第一喷嘴,在第一喷嘴气流回转作用下转动而获得“Z”捻。由于第二喷嘴的气流反向回转且动力远大于第一喷嘴,迫使第一喷嘴到前罗拉间的纱条解捻,从Z变成S捻。

郁崇文^[25]在喷气自由端纺纱的成纱机理上作了一定研究,通过研究总结出采用喷气分离纤维到形成自由端纺纱必须满足的三个条件:(1)分离区间有一定长度,且在区间上纤维流不得有捻度而影响分离;(2)作用在纱尾上气流的轴向速度不得高于纱尾本身速度,以免吹走纱尾。实际上气流速度高于纺纱速度,因此必须使气流速度与纱尾速度方向相反,以给纱尾一定的张力,使其停留在凝聚区中;(3)凝聚前,分离纤维和气流。

对喷嘴规格的研究主要集中在喷孔角度、孔径、数目、喷嘴内径、两喷嘴的喷孔距离等结构参数上,而对纺纱工艺参数的研究主要从前钳口与第一喷嘴距离、纺纱速度、两喷嘴气压和牵伸倍数等方面着手。目的是改善成纱质量,主要是提高成纱强力和条干均匀度。

唐佃花、邢明杰等^[26]分析了喷气纺纱的成纱结构和影响其强力的因素—纤维性能、半成品质量及工艺参数,旨在找出提高成纱强力的措施。

王建坤等^[27,28,29]分析了喷气纺纱喷嘴的主要结构参数(喷嘴的直径、喷孔角度等)对喷气纱质量的影响,并通过二次回归正交实验设计和多因子的计算机辅助设计,得出结论:当第一喷嘴直径为3.98mm,喷嘴的喷孔角度为 54.9° ;第二喷嘴直径为3.98mm,喷嘴的喷孔角度为 83.3° 时,可获得最佳的喷气纱质量。

郁崇文^[29]通过对开纤槽结构参数与成纱强力的实验,找出了其结构参数与成纱强力的关系。当开纤槽的长度为8mm,高度为0.8mm,槽数为8个时,有利于提高成纱强力。

刘常威等^[30]通过对两喷嘴间距这一结构参数与成纱强力的实验,找出其与成纱强力的关系,当两喷嘴间距为24.45mm时有利于喷气纺纱机纺纯棉时提高成纱强力。

郁崇文^[31]分析了喷气纺纱中第一喷嘴对前罗拉钳口下须条的解捻作用,通过对第一喷嘴的设计以及对影响成纱强力的主要工艺参数所作的优化试验,得出在纺纯棉喷气纱时,获得较高强力的优化工艺参数第一喷嘴的长度为60mm。

陆晶^[32]、李成龙^[33]也做了纯棉喷气纺纱工艺与成纱机理的研究工作,陆晶

还通过回归旋转设计找到了两喷嘴气压比、喷孔角度和两喷孔距离的最佳搭配,即当两喷孔距离为 23.70mm,第二喷嘴喷孔角度为 85 度,第一、二喷嘴的气压比为 2/2.5 时纺制出的纯棉纱的单纱强力最高,为 159cN。

缪德杰^[46]在 1991 年做了苧麻喷气纺纱的研究工作。这是开发麻型纤维喷气纺纱的开端。他对苧麻喷气纺纱的纺纱工艺进行了较为全面的研究,得到了以下的主要结论:通过合理设计喷嘴的结构和工艺参数的配置,采用喷气纺纱方法纺制含苧麻纤维纱是可行的;第二喷嘴气压大于第一喷嘴气压不是纺纱工艺条件的唯一模式;从提高成纱强力的目的出发,通过优化设计得到了喷气纺纱纺麻纤维的最佳工艺参数的配置:纺纱速度略大于 100m/min,超喂比略小于 0.97,卷绕比略大于 0.96。

郁崇文、张文庚^[35]运用激光多普勒测速仪对喷气纺喷嘴中的气流场以及有关参数对喷嘴中气流场分布的影响作了测试分析,所得的结果对掌握喷气纺喷嘴中的气流场的分布规律、合理地设计喷嘴、优化有关参数等提供了依据。

戴伟锋、王灯明^[36]通过实验数据及理论分析,找到适合细旦纤维喷气纺的喷嘴结构参数,来提高喷气纱的强力,为推广细旦纤维喷气纺高支纱提供依据。

杜兆芳^[37]通过复合形法优化得出,绢丝喷气纺喷嘴工艺的最佳方案为:两喷嘴间距离为 36.57mm,前罗拉出口到前喷嘴入口距离为 3.9mm,前后喷嘴的压力分别为 269.4kPa 和 359.6kPa。

郁崇文^[38]对纯棉喷气纺纱中喷嘴等参数进行优化设计,得到了获得较高强力的优化工艺参数。通过研究发现,第一喷嘴适当加长,可增大其对纱条的解捻作用,从而使前罗拉钳口下的须条松散,有利于产生更多的边缘纤维,增大包缠纤维数。从实验结果发现,第一喷嘴采用 60mm 时,成纱强力可以得到提高。通过旋转设计发现,第一喷嘴加长后(60mm),并选用适当的工艺参数,可有效地增加纯棉喷气纱的成纱强力。

涡流纺和管道纺也是利用气流加捻的自由端纺纱技术,国内许多学者对其进行了研究,主要集中在成纱结构的研究、纺纱装置的优化和改进及其流场的测试分析方面。

大量研究证实管道纺不仅能成功地纺 100%的纯棉纱,而且其成纱内紧外松,比摩擦纺成纱内紧外松结构合理。陈克彰等人^[39, 40, 41]对管道纺纱的加捻过程作了分析,通过受力分析,采用电子显微镜等实验方法证实了管道纺成纱结构内松外紧,同时对管道纺纱装置的结构进行了深入的研究和优化,研究了在管道纺纱机上不添加机构而进行包芯纱的纺制,分析了其包芯纱的成纱机理,证实了棉纤维能够均匀地、完全地包覆在芯纱丝的周围。

涡流纺和喷气纺一样,属于气流加捻。但是喷气纺为正压纺纱,涡流纺为负压纺纱,它依靠外界向负压涡流管内切向补风而产生回转涡流加捻的。唐衍朔等

人^[42]介绍了涡流纺纱的基本原理,对涡流加捻器中旋转流场的形成、纤维环的凝聚与剥取做了重点简述。藁明正,邢明杰等人^[43, 44]通过涡流纺纱机涡流管的改进,使纺纱效果有较大改善,用管式针头针对涡流管流场进行测试,用空气动力学原理进行分析,找出在凝棉区径向,轴向和切向速度和压力的分布规律;得出纤维环形成,存在的根据和分析,分析了加捻过程,完善了涡流纺的成纱机理。

近几年来,邢明杰,杨磊^[45, 46]等对自由端喷气纺做了大量研究,在自由端喷气纺的成纱机理和纱线结构与特点方面有独到的见解。指出自由端喷气纺是一种实用的有发展潜力的新型纺纱方法。

自由端纺纱喷气纺纱的研究表明,自由端纺纱加真捻的成纱机理有利于改善成纱质量,适用于纯棉纺纱,克服了传统喷气包缠纺纱的局限性。自由端纺纱还处于起步阶段,需要对其进一步研究,以使这种方法的成纱质量有较大的提高,适纺范围更广。

第五节 课题意义与主要研究内容

国内对涡流喷气纺也有一些研究,但目前仍不够成熟。本课题拟通过对自由端喷气纺的成纱工艺及成纱结构形态、纱条特性作进一步的研究探索,推动涡流喷气纺纱技术在中国的发展。

由于MVS适纺纯棉纱,故本课题通过对MVS成纱工艺加以分析,对影响纯棉纱成纱强力的关键问题进行探讨,以改善成纱质量,主要是提高纯棉纱成纱强力和条干均匀度。同时根据自由端喷气纺纱的成纱结构和纱线特性,对纱线结构模型进行比较合理的描述。

1. 选择合适的纺纱工艺参数:运用优化设计的理论和方法寻找出合适的纺纱工艺参数,以提高纱线强力和减少纺纱时的废纤率。主要从罗拉的钳口到空心锭口的距离、纺纱速度、喷嘴气压配置、牵伸倍数等进行研究,使单纱强力达到预期的目标。

2. 通过成纱纤维照片,对纤维在纱线中的排列形态、包缠纤维的量以及对芯纤维缠绕的紧密度进行分析。

3. 根据纤维在加捻成纱过程中的运动规律,对纱中纤维排列、加捻区纤维进行描述,总结出自由端喷气纱结构模型。

4. 通过和环锭纱的比较,对纱线的各方面性能进行测定,从而全面的认识所研究的自由端喷气纱的特性。

第二章 自由端喷气纺（MVS）成纱机理

第一节 纺纱机器介绍

MVS是Muratuec Vortex Spinner 的简称，是日本村田公司在喷气纺的基础上发展起来的新一代喷气纺纱机（我们称自由端喷气纺纱机）。

Murata纺机是村田公司为了弥补喷气纺纱体系对纤维长度的适应性差，只能加工生产涤纶等等长度的化纤纱或者生产涤棉等混纺纱，不能生产纯棉纱的不足而研制的一种新型纺纱机。

MVS 喷气纺纱机包括牵伸、涡流加捻、空心锭子、成纱、卷绕等部分。其成纱机理为：经牵伸后的纤维束从前罗拉钳口输出，立即进入与前钳口距离很近的螺旋形空气喷管，被喷管中稳定的涡流控制在一起，纤维束在喷管中向前运动到达喷管尾端并伸出到喷管嘴的突出部分，在螺旋形喷管中高速回转的涡流使纤维束加捻。纱体加捻经过喷嘴后，纤维末端因涡流作用而扩张，经过空心锭子捻搓作用后旋转到纤维纱芯上，加捻作用完成。该喷气纺纱机改变了喷气纱强力低较的弱点，尤其是成纱机理的变化，MVS 与 MJS 的区别是，MVS 采用单一喷嘴技术，两种体系生产的纱线结构完全不相同，MVS 属于真捻结构，MJS 属于包缠纱结构。从而 MVS 可以加工纯棉纱，这被称为是喷气纺的新突破。

下面我们就以 NO.861 为例介绍 MVS 纺纱结构及特征：

NO.861 的纺纱速度为 450 米/分钟，是世界上纺纱速度最快的纺纱机，高于 MJS（喷气纺）的 300 米/分钟的纺纱速度，与环锭纺相比是其 20 倍，与转杯纺相比是其 3 倍。

工序一体化：粗纱，细纱，络筒工序的一体化，最小限度地控制了人员的配置，电力消耗，保全工时等运转成本，从而节约了总成本。节省占地面积和节省劳动力。如下图 2.1 所示：

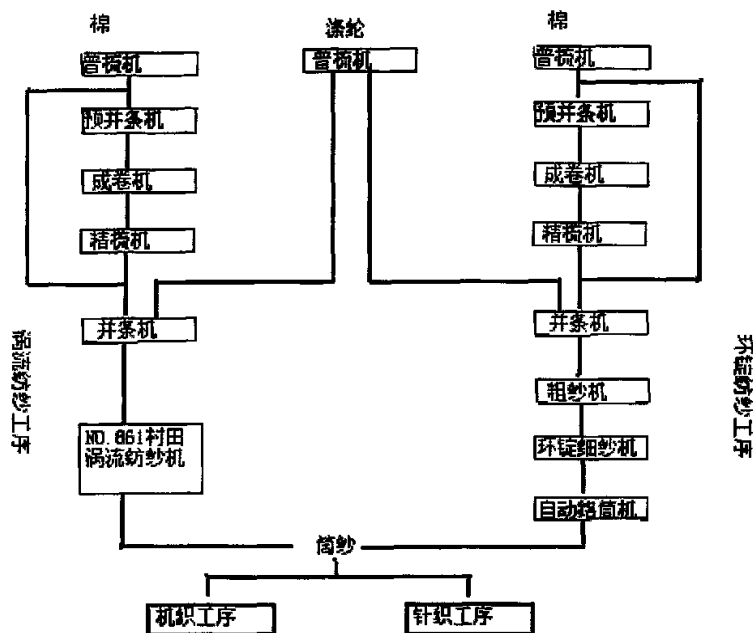


图 2.1 粗纱 细纱 络筒工序一体化

集中管理：MSC（村田电子清纱器）和 VOS(可视化智能主控电脑系统)的联合使用，使该机器的操作及管理更加简洁。MSC 是为了准确精密的检测成纱的质量而开发的电子清纱器。MSC 具有多种多样的设定范围，可以进行更加精密的检测并准确地反馈给 VOS，并通过附加使用 MSC-F（异性纤维检测装置-选择件），可以进行异性纤维及异物的检测。VOS 是通过村田机械公司的专有知识和积累的技术开发出来的具有更优越的操作性和灵活性的运转数据管理系统。用容易观看的大型彩色液晶画面显示运转状况，纱线质量管理，运转管理，维修等各种数据的图形。并且还可以用于生产和质量的趋势分析。该系统主要功能有：调节纺纱参数（包括纺纱速度，总牵伸比，主牵伸比，喂入比，卷绕比和纺纱状况等的调节），纺纱质量管理（除单纱强力外的所有纱线质量管理，包括去除疵点，去除粗节纱，细节纱，细纱均匀度，指数变动的测定，纱疵分析仪，长短周期条干不匀，异物检测机头等），生产管理（计算机各种原因损失效率，先是效率下降原因，显示生产效率，总体生产效率，络筒数，定长卷绕控制，安全管理（包括保养接头装置，保养络筒装置，牵伸罗拉不良，不正常锭子调查，不良棉条调查等）。

连贯的纺纱工序，人性化的简易操作：MVS 可以进行从棉条到筒纱的直接纺纱，所以与需要几道纺纱工序的环锭纺相比，操作管理及质量管理更为易行。VOS 可以对变频控制的牵伸辊进行简单准确的设定，从而可以进行稳定的高质

量的纺纱。在纺纱单元由外侧纤维包缠中心纤维的独特的纱的结构,可以生产出富于功能性,流行性的 VORTEX 纱。具有 AD 搭载自动接头装置,可以通过 VOS 调整吹捻器的接头时间,控制最佳的自动络筒时间周期,及有效的减少接头失误,提高生产效率。MVS 以人类工程学为设计得的基础,方便操作人员的运转和保全,有助于提高效率。配有自动清除落棉真空箱,将落棉自动排出,不需要人工清除落棉真空箱。

第二节 纺纱过程

MVS 纺纱机是在喷气纺纱机的基础上发展起来的新型纺纱机,弥补了喷气纺纱系统的一些不足。MVS 与 MJS 的区别是 MVS 采用单一喷嘴技术,两种体系生产的纱线结构完全不同,MVS 属于真捻结构,MJS 属于包缠纱结构。对于喷气纺,其涡流系统有一牵伸部件,用于加工并条后的条子。在纺纱区没有可移动部件。然而涡流纺没有采用假捻技术,在牵伸部件和成纱点之间,纤维被平行输送。这种传输过程中,一定纤维的头端从纤维束主体伸出。这些纤维端在进入中空锭子时,通过涡流空气作用,在不旋转的纱芯周围得到加捻。和喷气纺相比,这种纺纱方法使表面纤维的数量得到显著增加,如包缠纤维的含量达到 30%—50%。这对棉纱强力有积极的影响。因此,涡流纺比气流纺更适合于棉纱,尤其是 20—50 英文的中等纱支。因此,MVS 纺纱技术是一个新的突破。

MVS 纺机是棉条喂入并经过四罗拉(或者五罗拉)牵伸机构牵伸后达到需要的纱线支数的须条,从前罗拉引出的纤维被吸入到喷嘴并集聚在一个钉状突出物上,钉状突出物伸入到空心锭子的上口,在集聚时,纤维被针状物牵引进入空心锭子中,在集聚点纤维尾部沿喷嘴内侧在高速回转涡流的作用下升起,使纤维分离并沿着锭子旋转,当纤维被牵引到锭子内时,纤维沿着锭子的回转而获得一定捻度。纤维束沿着锭子包缠的角度及回转角度都是可以控制的,实现了高速纺纱并获得真捻。

高速回转的涡流只作用在纤维上,与前罗拉引出纤维的功能一起形成对纤维的加捻作用。因此高速回转的涡流除了完成加捻任务外,并不影响纱线支数的高低。由于 MVS 纺纱体系的基础“Vortex”气流对纤维的加工,纤维受到具有声速的喷气涡流及卷取罗拉作用而形成真捻,这种特殊的加捻作用是其他纺纱机械不能取代的,高的纱线回转速度下的成纱结构比环锭纱线结构紧密,因而结构稳定,使印染加工后的最终纺织品具有很多优点。自由端喷气纺纱技术适应性广,可以加工不同长度的短纤混纺纱,生产质量比较高。采用空气捻接接头法,在纺纱过程中纤维从牵伸装置进入喷嘴内部,接头动作即自动完成。

由于涡流纱特性的决定,对于纤维种类及纤维长度都分别有一定的要求,据国外生产涡流纱企业报道的资料表明,生产涡流纱要用长绒棉,而且纺纱技术适

于在 18 英支至 45 英支范围内。MVS861 纺纱机的纺纱支数及适纺纤维长度比 MVS851 有了一定改进。这种纺纱质量特性中,除了纱线强力及伸长率比环锭纱低以外,其他毛羽,起球性等项质量指标均比环锭纱好,甚至有些指标还要比紧密纱好。

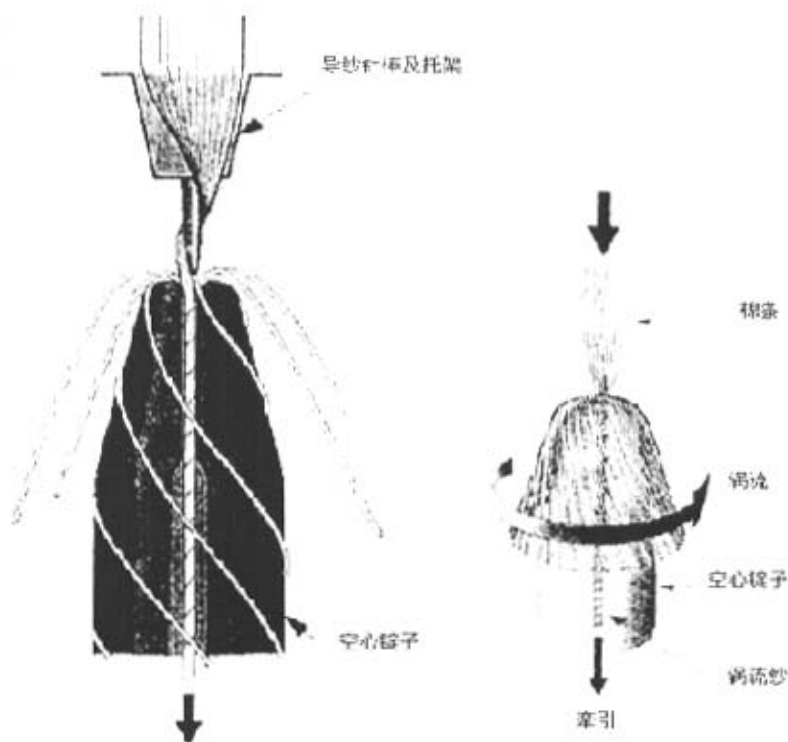


图 2.2 MVS 纺纱原理图

MVS 纺纱系统的整个纺纱过程是全自动连续的,受到电子系统的监控,可以自动去除检测出的纱疵,并启动自动接头装置将断纱接起。纺纱质量也受到逐锭监控,若出现有问题的锭子,可以单锭自动停止纺纱。

第三节 自由端喷气纺（MVS）成纱机理分析

普通喷气纺的成纱机理,只能纺制较长长度的纤维,在纺纯棉纱时强力较低。在假捻包缠结构的纱中,承负荷的主要是伸直平行的芯纤维,纤维长度越长,纤维间的摩擦因数越大,芯纤维能承担的负荷越大,成纱强力也就越大。由于棉纤维本身的性能无法调整,进一步提高纯棉喷气纱的强力是相当困难的。为了改变现存喷气包缠纺纱强力偏低的不足,必须对喷气纺纱成纱机理进行改变。为了能在喷气纺纱机上适纺纯棉喷气纱,提高喷气纺纱机的适纺性能和成纱质量,村田

公司对喷气纺纱机的喷嘴结构进行了改变，把喷气纺升级为自由端喷气纺。

从喷气纱的结构我们可知：外包纤维包缠在几乎平行的纱芯周围，对纱芯产生向心压力增强了纤维间的摩擦抱合力，从而形成纱的强力。理想的优质的喷气纱的结构必须是纱的任何一个截面纱芯和包缠纤维在数量上要保持一定比例，并且使包缠纤维要按适当螺距、角度和张力的对纱芯进行包缠。但是，喷气包缠纺的喷嘴只产生径向的旋转力矩，对由罗拉送出的带状纤维束的两侧游离出少量头端自由纤维进行包缠，而不能产生更多的头端自由纤维，在喷嘴的作用下芯部纤维束得不到充分的加捻，以至于芯部纤维束只获得少量的捻度。也就是说，喷气包缠纺纱的喷嘴结构，气流只是在二维平面上产生作用。

要使单纤维相互结合成具有一定强度的纱线，则纤维间必须有两种力的作用，一是径向凝聚力，它使纤维不脱离纱线表面；另一方面是轴向凝聚力，使纱线具有一定强力。加捻用以获得径向凝聚力，它同时产生轴向凝聚力，任何张力作用在加捻体上，都会产生一个径向压力作用在纤维上，纤维间的摩擦作用阻止了纤维的滑移，使纤维凝聚在一起。

MVS 利用气流喷射在喷嘴内产生高速旋转气流，使纤维须条进入喷嘴内，在旋转气流的离心力的作用下，产生足够多的边缘纤维(头端自由纤维)，即须条在此形成自由端，以便边缘纤维自由的头端对内层纤维产生相对角位移，让须条获得强力而成纱。包缠纤维在数量上所占比例愈大，包缠纤维的张力和纱芯纤维的张力越均匀、越紧密，纱的强力等品质指标就越高。

由于 MVS 的涡流管气流是三维变化的，和喷嘴的结构相互配合来完成对纤维的加捻。所以喷气纱强力主要由以下两点决定的：一是包缠纤维的数量(包缠纤维与芯纤维的比例)；二是包缠纤维对芯纤维的包缠程度。包缠纤维数量越多，包缠程度越紧密，成纱强力也就越高。

自由端喷气纺纱的加捻属于自由端加捻，是利用空气涡流的旋转带动纤维运动来完成加捻的。在加捻过程中，必须使纤维一端固定，另一端由空气涡流的握持一起绕须条轴线回转而获得真捻。纤维握持纤维的一点成为加捻点。如果纤维的自由头端固定，则获得假捻而不能成纱。所以要求纤维自由头端充分自由，并随空气涡流同向回转，才能获得较好的加捻效果。

自由端纺纱工艺中，条子的分离是非常重要的。理想状态是条子分解成单纤维，每根单纤维以完全伸直的构形转移。然而，实际情况中纤维的特性与理想状态相距甚远。由于纱的品质受有效纤维长度的影响，纤维在气流中必须排成直线并保持之，而且纤维必须以平行、良好定向的状态输送到纺纱器的纺纱表面。

在纺纱时，纤维须条经牵伸机构牵伸后，形成扁带状结构，当其由牵伸机构中输出时，往往其尾端位于主体纱条的芯部，而头端则是自由状态称为头端自由纤维。这些头端自由纤维是自由端喷气纺纱所以能在真捻条件下成纱的重要条件

之一。

在纺纱过程中，前罗拉输出须条具有一定宽度，须条在进入喷嘴吸口时形成一定数量的边缘纤维，在自由端喷气纺纱机罗拉的高速(3000r/min以上)回转形成附面层，引导牵伸区的边缘纤维的自由头端离开纤维束，这些分离的纤维头端在前罗拉的牵伸作用下形成较长的自由头端而被送出前钳口，纤维的尾端虽然亦受此气流场的影响，但因纤维的主段已通过前钳口而无法形成有效的较长的自由端纤维。气流有助于进一步扩散扁平带状须条，如图2.3所示。

压缩空气进入加捻区经过环形收缩通道到达空心锭子与外管壁的空隙。由于通道截面越来越小，气流逐步加速，使纤维自由头端加速，对纤维的分离和伸直都有作用。扩散扁平带状须条进入喷嘴后，在高速旋转的涡流作用下加捻。

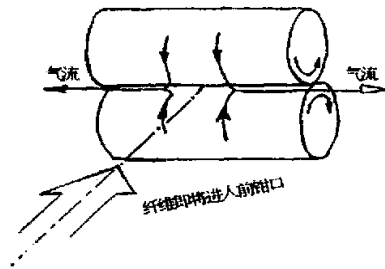


图 2.3 须条从罗拉输出后受到气流的作用

第四节 喷嘴对纤维的作用

图2.4所示为MVS纺纱的喷嘴结构示意图，压缩空气先由管道输入到气室中，再从气室中经喷孔射入纺纱通道中形成旋转气流，由于喷气纺所研究的流体对象是较高压力(2-5个大气压)下的压缩气体，所以必须按空气动力学的原理来进行分析讨论。

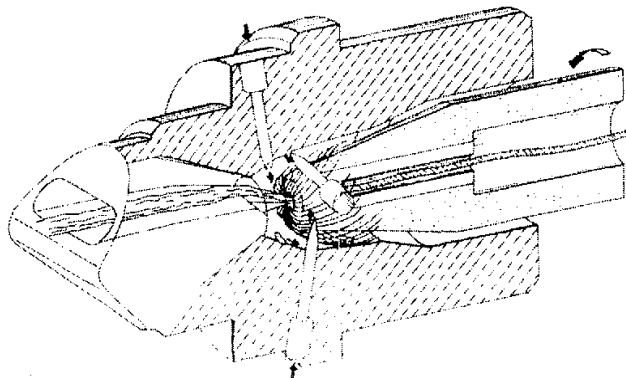


图 2.4 喷嘴结构示意图

2.4.1 纺纱气压计算

压缩气体在喷嘴中的运动,可以按照理想气体一元稳定等熵流动的规律来处理,这是因为高速气体在长度很短的管道内流动时,过程进行的时间很短,来不及与外界热交换,故可以看作绝热运动,又由于摩擦较小,为了方便起见,可以近似地认为流动过程是可逆的,因而这种流动接近于等熵运动,按工程计算要求,气体沿喷管的流动可以近似地认为是一元等熵流动。根据理想气体绝热等熵流动时的气体方程、状态方程和能量方程,可导出任意截面上气流速度 $V^{[47-50]}$,

$$V = \sqrt{\frac{2k}{k-1} RT_0 \left[1 - \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} \quad (2-1)$$

式中: K —— 绝热指数 (空气为 1.4);

R —— 气体常数 (287.06J/kg#K);

T_0 —— 气室内绝对温度 ($^{\circ}\text{K}$);

P_0 —— 气室内气体压力 (绝对压力 N/m^2);

P_1 —— 喷孔出口处的背压。

由上式可知,当 P_0 增高时, V 将增高,从而使气体体积流量增加,但实际情况是当气体流速增加至音速时即不再增加,气体达到临界状态。对于等直径的管道,喷孔出口截面必定是临界截面,出口马赫数 M 为 1 ($M = \frac{V}{a}$), 其中 a 为音速, V 为气流流速)。当气室供气压力恒定,可看作是滞止状态,临界压力 $P_1 = 0.528P_0$, 所以只有当 $P_1 \geq 0.528P_0$ 时上式才适用。因而对于等截面喷孔,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,喷射速度即达音速。但是实际上由于空气的粘性和阻力损失等原因,实际纺纱气压一般为 $1.96 \times 10^5 \sim 3.92 \times 10^5 \text{Pa}$ 。

2.4.2 喷嘴内部速度分布

喷嘴管内的速度分布,有试验指出,在主速度矢量的三个分速度中,切向速度最大,轴向速度次之,径向速度则很小。喷嘴管道呈圆柱形。将压缩空气喷入时,在管内会形成强制的螺旋形旋转气流。

2.4.2.1 切向速度分布

切向速度使涡室内的气流产生旋转运动,涡室内气流随着喷孔射入的切向气流环绕涡室中心而迴转,形成一个涡束。从图2.5可以看出,各截面上的切向速度沿半径的变化规律在相当大的范围内确实类似涡核中的速度分布,即形似固体旋转区或形似强制涡。这说明由于流体的粘性作用,在涡管中形成了似固体旋转

区，靠近管壁是极薄层的势流区，但由于流体与管壁间的摩擦，负面层沿轴向逐渐增厚，涡管中的似固体旋转区的范围沿轴向有逐渐衰减的趋势，像一个截头的曲面圆锥。

涡流管截面上的最大切向速度 $V_{T \max}$ 沿轴向也是逐渐衰减的，如图2—3所示。因而旋涡强度也逐渐有所衰减，涡流的旋转角速度可按下式计算：

$$\omega = \frac{V_{T \max}}{K R} \quad (2-2)$$

式中： R ——涡流管内壁半径；

K ——收缩系数。

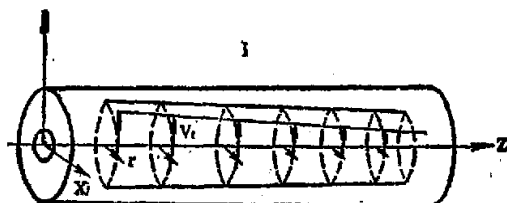


图2.5 $V_{T \max}$ 沿轴向变化规律

喷孔出口的最大切向速度可按实际流量喷孔截面面积求得：

$$V_{T \max} = \frac{Q}{A} \sin \alpha \quad (2-3)$$

式中： Q ——实际流量；

A ——喷孔截面面积。

2.4.2.2. 轴向速度分布

轴向速度分布可以近似用图2.6的曲线表示。虽然切向进气孔的轴向偏角 $\alpha = 45^\circ$ ，但又并不代表气流的实际偏转角。这是因为旋转气流中心压力降低，涡管外面的气流具有抽吸作用。另外，在涡流管的左端有引纱孔，可想象为在涡管轴线附近形成一轴向流柱。这股气流是实际涡流管的次流，也是实际纺纱中用以吸入纤维所需要的气流。

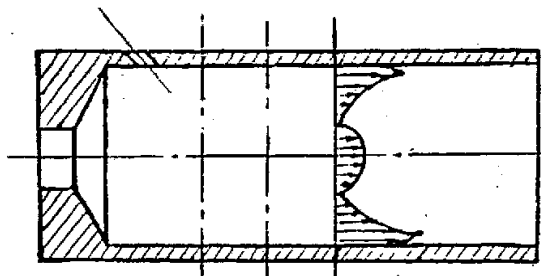


图2.6 喷气式涡流管的轴向速度分布

2.4.3 喷嘴内部压力分布

若任意半径处的压力为 P_1 ，涡核半径为 r ，涡流管内壁半径为 R ，喷射孔出口的切向速度为 V_r ，管内空气密度为 ρ ，根据似固体旋转区的压力分布规律，可得出：

$$P = P_1 - \frac{\rho}{2} V_r^2 \left[2 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] \quad \text{或} \quad (2-4)$$

$$P = P_1 - \frac{\rho}{2} \left(\frac{Q}{A} \right)^2 \sin^2 \alpha \left[2 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] \quad (2-5)$$

从式中可以看出，旋转涡流中的压力是随涡核半径、喷射孔倾角的减小而减小，随气流压力、流量、涡流管内壁半径的增大而减小。

2.4.4 吸口压力分布

涡流管吸口压力的大小及其分布特性直接关系到抽吸纤维的能力。由于实际涡流管喷射孔设置在近吸入口一端，而且通常喷射孔与涡流管间有一定的夹角 α ，因此沿切线方向射入的气流是强制螺旋涡。当气流从喷孔喷入涡室时，由于气体微团的运动将与周围介质进行质量和动量的交换，引起或带动周围介质的流动，因而具有抽吸外界流体进入的能力，即所谓引射能力。所以，涡流管吸入口的抽吸能力主要是由旋涡中心的负压和射流的引射能力而产生的。此外，还有喷射气流轴向运动产生的抽吸作用。为此，气流从吸入口向涡流管内流动，从而形成次流。纤维或纱线即随这股气流进入涡流管内。当次流进入主流后，即与主流发生动量交换。由于主流的质量比次流大得多，相对的总动量也大得多，当次流进入一定深度后即被主流“同化”。因此，吸入口的压力分布和中心压力大小对能否吸入纤维进行顺利纺纱是至关重要的参数。

吸入口截面上的静压 P 分布曲线如图2.7所示。从图中可以看出，在吸入口截面上的静压均低于大气压力 P_a ，其分布形似涡流管内的压力分布，具有轴对称性，

压力向中心逐渐减小。图2.8所示是涡流管吸口截面上中心压力 P 与气室压力 P_0 和喷射角 α 的关系图。从图中可以看出：中心压力随供气气压的增大而下降，但当气室压力超过临界点后，中心压力反而上升再增加气压，流速也不再增大，说明气室气压不必用的过多；吸口截面上压力随 α 角的减小而减小，中心则降低的更多，当 α 角增大到某一定值时，中心负压值将不足以吸引纤维，甚至出现反喷现象。

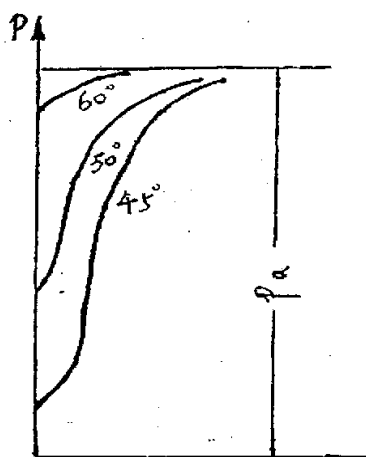


图2.7 吸口截面上静压分布曲线

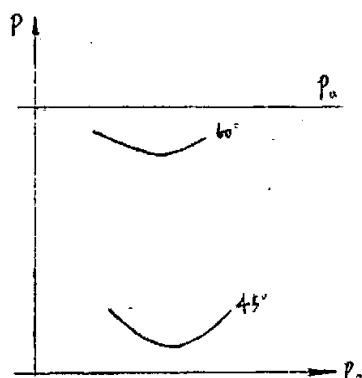


图2.8 中心压力与气室压力的关系曲线

2.4.5 涡流管气流流动连续条件

若设主喷流流量为 Q_1 ，吸入口流入涡室的次流流量为 Q_2 ，则有：

$$Q_2 = \pi r_2^2 \bar{v}_2 \quad (2-6)$$

式中： r_2 ——涡流管吸入口半径；

$\bar{v}_2$ ——吸入口截面的平均流速。

设涡流管出口截面上的流量为 Q_3 ，则有：

$$Q_3 = \pi r_3^2 \bar{v}_3 \quad (2-7)$$

式中： r_3 ——涡流管出口半径；

$\bar{v}_3$ ——涡流管出口截面上的平均流速。

按照气流流动连续条件，可得：

$$Q_3 = Q_1 + Q_2 \quad (2-8)$$

当涡流管结构尺寸一定时, 调节流量的唯一参数是气室气压。主喷流流量 Q_1 随气压的增大而增大, 吸入口截面上的压力随之降低, 流速 v_2 随之增大。因此, 出口流量 Q_3 将增大。

2.4.6 纱条在涡流场中的运动

纱条进入涡流管后, 受气流的连续作用, 使之绕涡流管中心高速旋转。纱条在涡流场中受到的作用力, 也是纱条对气流的阻力, 可以用流体绕过圆柱体的绕流来处理。单位长度纱线上受到的推力 F 应为:

$$F = \frac{1}{2} c \rho (v_T - v_y)^2 d_y \quad (2-9)$$

式中: v_T ——涡流的切向速度;

v_y ——纱条作圆周运动的周向速度;

d_y ——纱线直径;

ρ ——空气密度;

c ——阻力系数。

单位长度纱线的转动力矩 My 为:

$$My = Fr = \frac{1}{2} c \rho (v_T - v_y)^2 d_y r \quad (2-10)$$

式中, r 为纱线绕涡流管中心的转动半径。

第五节 本章小结

自由端喷气纺纱技术是一种新型的纺纱技术, 成纱原理是条子喂入形成自由端后, 通过气流加捻形成真捻成纱。村田公司的 MVS 就是此种类型的纺纱, 其机器具有纺纱速度快、自动化水平高、流程短等优点。

自由端喷气纺纱的加捻属于自由端加捻, 是利用空气涡流的旋转带动纤维运动来完成加捻的, 纱线的强力取决于: 一是包缠纤维的数量(包缠纤维与芯纤维的比例); 二是包缠纤维对芯纤维的包缠程度。包缠纤维数量越多, 包缠程度越紧密, 成纱强力也就越高。

和传统喷气纺(即MJS)相比, 其纺纱速度快, 加上得捻度是真捻, 可以纺纯棉高支纱, 这是其突出优点。

第三章 自由端喷气纺（MVS）纺纱工艺优化

第一节 目的与意义

从MVS纺纱机理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,只是优选出对纺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。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。

就目前而言, MVS 纺纱技术对于国内还属于比较新的纺纱技术,国内只有8台此种类型纺纱机械。因此国内目前没有关于 MVS 纺纱的成熟工艺,只能根据村田公司推荐的技术参数进行设置,但是国内的前纺工艺、纺纱机械等都有所不同,同时不同的纤维原料对工艺参数都有影响,所以我们对 MVS 纺纱方法的工艺有必要进行优化,得出最优的纺纱工艺,对此种类型的纺纱具有指导作用,有利于此种纺纱方法的推广。

我们使用的优化设计试验恰恰就是为此目的发展起来的。优化设计方法分为回归正交设计和回归旋转设计等,而其中的回归旋转设计一方面基本保留了回归正交设计的试验次数比较少、计算简便、部分的消除了回归系数间的相关性(牺牲部分的正交性而获得旋转性)等优点,另一方面能使二次设计具有旋转性,有助于克服回归正交设计中二次回归的预测值Y的方差依赖于试验点在因子空间中的位置这个缺点。

第二节 单因子纺纱工艺优化

村田公司在 MVS 纺纱机器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子优化方案,在其他参数不变的情况下,进行纺纱试验。

本试验我们利用潍坊金维集团引进的 MVS NO.861 型喷气纺纱机,结合该厂已有的纺纱实践经验,在纺制 30° 纯棉纱的过程中,对主要纺纱工艺参数实施了优化选择。主要是寻找并确定影响纺纱工艺的参数,即影响棉纱强力的参数;然后采用数学方法设计安排试验。由于目前市场上纯棉纱 30°、40°的应用较多,故实验选取 30° 普梳棉为实验所要纺的棉纱。

本试验的影响因素很多,诸如纺纱速度、喂入比、牵伸比、卷取比、集合器输出速度、前罗拉隔距、针的长度、前罗拉钳口到空心锭口的距离、空气温湿度等等。机器说明书上已给出普梳棉、精梳棉的基本纺纱条件,其中如喂入比、卷取比、针固定器、针的长度是固定的,集棉器可改变的范围非常狭窄,所以先不

用考虑这些因素。

实验要考虑的因素有：纺纱速度、喷嘴压力及前罗拉钳口到空心锭口的距离、牵伸比等。因为上述几个因素已给出特定值，所以选取的因素不需要用正交表安排实验，可通过观察分析，在给出数据左右各取几个合适的数值，安排实验。通过单因子实验测试得出纱线力学方面的指标，其中包括单纱强力、单纱不匀、断裂伸长、伸长不匀等，然后绘制出单因子与单纱强力的曲线图。最后进行单因子回归分析，分析影响纱线力学方面的显著性，得回归方程，得出结论，选取最佳参数。根据所选数据设计安排试验。

3.2.1 实验方案步骤：

3.2.1.1 纺纱速度

为了说明纺纱速度对成纱强力的影响，寻找出最佳的纺纱速度，我们设计如下实验。分别选取纺纱速度为 310、330、350、370、390 (m/min) 进行实验。其他的参数为：

- a 棉条为 2.8g/m;
- b 总牵伸比为 118，主牵伸比为 45;
- c 喂入比为 1.00，卷取比为 0.99;
- d 集棉器为 3mm，喷嘴压力为 0.5MPa;
- e 前罗拉钳口到空心锭口的距离为 18.5mm。

所纺纱为 30^s 普梳棉纱，实验数据如下表格：

表 3.1 纺纱速度与成纱强力的关系

纺纱速度 (m/min)	310	330	350	370	390
断裂强力 (CN)	249.599	254	250.966	239.5	246.666
断裂强度 (CN/dtex)	12.799	13.025	12.611	12.281	12.649
断裂伸长 (mm)	8.539	8.844	8.08	7.872	7.792
断裂伸长率 (%)	1.707	1.768	1.616	1.574	1.557
初始模量 (N/dtex)	0.74	0.072	0.077	0.078	0.082

3.2.1.2 喷嘴压力

为了说明喷嘴压力对成纱强力的影响，寻找出最佳的喷嘴压力，我们设计如下实验。分别选取喷嘴压力为 0.40、0.45、0.50、0.55、0.60 (MPa) 进行实验。其他的参数为：

- a 纺纱速度为 350 m/min;
- b 棉条为 2.8g/m;
- c 总牵伸比为 118，主牵伸比为 45;
- d 喂入比为 1.00，卷取比为 0.99;

e 集棉器为 3mm

f 前罗拉钳口到空心锭口的距离为 18.5mm。

所纺纱为 30^s 普梳棉纱，实验数据如下表格

表 3.2 喷嘴压力与成纱强力的关系

压力 (MPa.)	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
断 裂 强 力 (CN)	224	226.633	244.699	251.233	273.733
断 裂 强 度 (CN/dtex)	11.486	11.621	12.548	12.883	12.498
断 裂 伸 长 (mm)	7.448	7.622	8.341	8.641	8.734
断 裂 伸 长 率 (%)	1.489	1.524	1.667	1.727	1.746
初 始 模 量 (N/dtex)	0.078	0.076	0.074	0.072	0.070

3.2.1.3 主牵伸比

为了说明主牵伸比对成纱强力的影响，寻找出最佳的主牵伸比，我们设计如下实验。分别选取主牵伸比为 25、30、35、45、55 进行实验。其他的参数为：

a 纺纱速度为 350 m/min;

b 棉条为 2.8g/m;

c 总牵伸比为 14;

d 喂入比为 1.00，卷取比为 0.99;

e 集棉器为 3mm，喷嘴压力为 0.5MPa.

f 前罗拉钳口到空心锭口的距离为 18.5mm。

所纺纱为 30^s 普梳棉纱，实验数据如下表格

表 3.3 牵伸比与成纱强力的关系

主牵伸比	25	30	35	40	45
断裂强力 (CN)	243.133	248.699	245.866	249.933	254.566
断 裂 强 度 (CN/dtex)	12.467	12.753	12.608	12.816	13.054
断 裂 伸 长 (mm)	8.394	8.322	8.312	8.326	8.341
断 裂 伸 长 率 (%)	1.678	1.664	1.662	1.664	1.667

初始模量 (N/dtex)	0.074	0.076	0.075	0.076	0.078
------------------	-------	-------	-------	-------	-------

3.2.1.4 前罗拉钳口到空心锭口的距离

为了说明前罗拉钳口到空心锭口的距离对成纱强力的影响，寻找出最佳的前罗拉钳口到空心锭口的距离，我们设计如下实验。分别选取前罗拉钳口到空心锭口的距离为 18.5、19.0、19.5、20.0、20.5 进行实验。其他的参数为：

- a 纺纱速度为 350 m/min;
- b 棉条为 2.8g/m;
- c 总牵伸比为 144，主牵伸比为 55;
- d 喂入比为 1.00，卷取比为 0.99;
- e 集棉器为 3mm，嘴压力为 0.5MPa.

所纺纱为 30^s 普梳棉纱，实验数据如下表格

表 3.4 隔距与成纱强力的关系

距离	18.5	19.0	19.5	20.0	20.5
断裂强力 (CN)	251.566	234.3	244.199	232.733	221.4
断裂强度	12.9	12.014	12.522	11.934	11.353
断裂伸长	8.154	7.809	7.986	7.967	7.732
断裂伸长率	1.63	1.561	1.597	1.593	1.546
初始模量	0.079	0.077	0.079	0.076	0.075

3.2.2 纺纱工艺优化设计

根据单因子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 3.1、3.2、3.3、3.4 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： $F_{\alpha=0.01}(1, 2)=98.5$ ， $F_{\alpha=0.05}(1,2)=18.5$ 则各项因子的显著性见方差分析表最后一项。

3.2.2.1 纺纱速度与成纱强力的关系

表 3.5 纺纱速度正交多项式回归的计算

a	ψ_1	ψ_2	$5/6 \psi_3$	$35/12 \psi_4$	y_a	y_a^2
1	-2	2	-1	1	249.599	62299.6608

2	-1	-1	2	-4	254	64516
3	0	-2	0	6	250.966	62983.93316
4	1	-1	-2	-4	239.5	57360.25
5	2	2	1	1	246.666	60844.11556
S_j	10	14	10	70	1240.731	308003.9595
B_j	-20.366	-2.902	26.067	28.061	$S=121.276628$	
B_j	-2.0366	-0.20728	2.6067	0.4009	$b=248.1462$	
Q_j	41.477	0.6015	67.9488	11.2488	$S=0.000528$	

表 3.6 纺纱速度方差分析表

方差来源	平方和	自由度	均方和	F 比	显著性
一次项 X_1	41.465	1	41.465	157064.3939	$\alpha=0.01$
二次项 X_2	0.6015	1	0.6015	2278.409091	$\alpha=0.01$
剩余	0.000528	2	0.000264		
总计	121.276628	4	—		

由此可得回归方程： $y = 0.0005182x^2 + 0.26091x + 220.72176$

由方程可知在 251 处取最大值，而 x 的范围是 310~390 之间，故最优速度应选 310。

3.2.2.2 喷嘴压力与成纱强力的关系

表 3.7 喷嘴压力正交多项式回归的计算

a	a	Ψ_1	Ψ_2	$5/6 \Psi_3$	$35/12 \Psi_4$	y_a	y_a^2
1	1	-2	2	-1	1	224	50176
2	2	-1	-1	2	-4	226.633	51362.51669
3	3	0	-2	0	6	244.699	59877.6006
4	4	1	-1	-2	-4	251.233	63118.02029
5	5	2	2	1	1	273.733	74929.75529
S_j	S	10	14	10	70	1220.298	299463.8929
B_j	B	124.066	28.202	0.533	54.463	$S=1638.5$	
B_j	b	12.4066	2.0144	0.0533	0.778	$b=244.06$	
Q_j	Q	1539.24	56.81	0.028	42.375	$S=0.047$	

表 3.8 喷嘴压力方差分析表

方差来源	方差来源	平方和	自由度	均方和	F 比	显著性
一次项 X_1	一次项 X	1539.24	1	1539.24	65499.57447	$\alpha=0.01$
二次项 X_2	二次项 X	56.81	1	56.81	2417.446	$\alpha=0.01$
剩余	剩余	0.047	2	0.0235		
总计	总计	1638.5	4			

由此可得回归方程： $y = 805.76x^2 - 557.628x + 297.4052$

由该方程知，在取 $x=0.346$ 时有最小值。而 x 的范围是 $0.40 \sim 0.60$ ，故在 0.60 时取最大值。

3.2.2.3 牵伸比与纺纱强力的关系

表 3.9 牵伸比正交多项式回归的计算

a	a	ψ_1	ψ_2	$5/6 \psi_3$	$35/12 \psi_4$	y_a	y_a^2
1	1	-2	2	-1	1	243.133	59113.655 69
2	2	-1	-1	2	-4	248.699	61851.192 6
3	3	0	-2	0	6	245.866	60450.089 96
4	4	1	-1	-2	-4	249.933	62466.504 49
5	5	2	2	1	1	254.566	64803.848 36
S_j	S	10	14	10	70	1242.197	308685.29 11
B_j	B	24.102	5.036	8.965	-21.621	$S=74.613738$	
B_j	b	2.4102	0.3597142 85	0.8965	-0.3088714 28	$b=248.4394$	
Q_j	Q	58.09064 04	1.8115211 43	8.037122 5	6.6781091 57	$S=-0.0036552$	

表 3.10 牵伸比方差分析表

方差来源	方差来源	平方和	自由度	均方和	F 比	显著性
一次项 X_1	一次项 X	58.0906	1	58.0906	123.65	$\alpha=0.01$

二次项 X_2	二次项 X	1.8115	1	1.8115	366.23	a=0.01
剩余	剩余	-0.0023	2	-0.00115		
总计	总计	74.651	4			

由此可得回归方程： $y=0.01439x^2-0.5252x+248.476$

由方程知，在 $x=18.25$ 时有最小值，而 x 的范围是 $25\sim45$ ，故当 $x=45$ 时有最大值。

3.2.2.4 隔距与纺纱强力的关系

表 3.11 隔距正交多项式回归的计算

a	a	Ψ_1	Ψ_2	$5/6\Psi_3$	$35/12\Psi_4$	y_a	y_a^2
1	1	-2	2	-1	1	251.566	63285.45236
2	2	-1	-1	2	-4	234.3	54896.49
3	3	0	-2	0	6	244.199	59633.1516
4	4	1	-1	-2	-4	232.733	54164.64929
5	5	2	2	1	1	221.4	49017.96
S_j	S	10	14	10	70	1184.198	280997.7033
B_j	B	-61.899	-9.499	-27.032	70.028	S=532.72266	
B_j	b	-6.1899	-0.6785	-2.7032	1.0004	b=236.8396	
Q_j	Q	383.1486201	6.4450715	73.0729024	70.0560112	S=0.0000548	

表 3.12 隔距方差分析表

方差来源	方差来源	平方和	自由度	均方和	F 比	显著性
一次项 X_1	一次项 X	383.1486201	1	383.1486201	13983526.28	a=0.01
二次项 X_2	二次项 X	6.4450715	1	6.4450715	235221.5876	a=0.01
剩余	剩余	0.0000548	2			
总计	总计	532.72266	4			

由此可得回归方程： $y=2.714x^2+93.4662x+551.3958$

由方程可知，当 $x=17.2$ 时有最大值，而 x 的范围在 $18.5\sim20.5$ 之间，故当 $x=18.5$ 时取最大值。

第三节 三因子优化设计

以上试验是在单因子影响条件下得出的最优参数，只能反映单个参数在其他参数不变的情况下的最优值。在喷气涡流纺纱工艺参数的配置中，纺纱速度、喷嘴压力、前罗拉钳口到空心锭口的距离是影响成纱质量最主要的工艺参数。为了能够和实际情况尽可能一样，选择纺纱速度、喷嘴压力、前罗拉钳口到空心锭口的距离三个工艺参数为试验因子。

综合考虑普梳纺纱与精梳纺纱的工艺参数村田公司已给出，两者相差不大，在节约原材料与生产方便的前提下，本试验将普梳纺纱与精梳纺纱的工艺参数范围取相同值，以便在纺纱过程中减少停机次数，在改变工艺参数时，可同时纺两种纱线。其中纺纱速度的变化范围为 310~390m/min；喷嘴压力的变化范围为 0.40~0.60Mpa；前罗拉钳口到空心锭口的距离的变化范围为 18.5~20.5mm。

3.3.1 实验设计

本试验采用二次通用旋转组合设计安排试验，其因子水平编码表和结构矩阵表分别如表 3.13 和表 3.15 所示。

表 3.13 因子水平编码表

因子 水平	纺纱速度 (m/min)	喷嘴气压 (Mpa)	前罗拉钳口到 喷嘴的距离 (mm)
+Y (+1.682)	390	0.60	20.5
+1	374	0.56	20.1
0	350	0.50	19.5
-1	336	0.44	18.9
-Y (-1.682)	310	0.40	18.5

由于 MVS 机器的喷嘴压力调节幅度为 0.05 个单位，前罗拉钳口到喷嘴的距离调节幅度为 0.5 个单位，所以因子水平编码调节如下：

表 3.14 调整后因子水平编码表

因子 水平	纺纱速度 (m/min)	喷嘴气压 (Mpa)	前罗拉钳口到 喷嘴的距离 (mm)
+Y (+1.682)	390	0.60	20.5
+1	374	0.55	20.0
0	350	0.50	19.5
-1	336	0.45	20.0

-Y (-1.682)	310	0.40	18.5
-------------	-----	------	------

表 3.15 三因子二次通用旋转组合设计结构矩阵表

试验号	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1
3	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1
4	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
5	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1
7	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1
8	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1
9	1	1.682	0	0	0	0	0	2.829	0	0
10	1	-1.682	0	0	0	0	0	2.829	0	0
11	1	0	1.682	0	0	0	0	0	2.829	0
12	1	0	-1.682	0	0	0	0	0	2.829	0
13	1	0	0	1.682	0	0	0	0	0	2.829
14	1	0	0	-1.682	0	0	0	0	0	2.829
15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

按照以上试验方案规定的工艺进行纺纱，然后试验，获得各方案各指标的原始数据。对实验数据进行剔除异常值处理，正态性检验及方差一致性检验。检验结果表明，剔除异常值后的每个方案各指标数据均在不同程度上满足正态性，方案间相应指标数据也都在不同程度上满足方差一致性。然后，分别求取各方案指标数据的平均值，结果如表 3.16，3.17 所示。

3.3.2 实验结果

表 3.16 普梳棉试验结果

方案	断裂强力	断裂强度	断裂伸长	断裂伸长率	断裂时间	断裂功	屈服应力	屈服伸长	断脱强力	断脱伸长	断脱伸长率	初始模量
1#	223.199	11.445	6.676	1.334	0.8	8.704	182.599	1.024	97.299	6.928	1.385	0.089
2#	216.8	11.117	6.723	1.344	0.806	8.445	178.633	1.047	94.033	6.991	1.397	0.086
3#	192.8	9.886	6.288	1.257	0.754	7.111	159.099	0.964	86.5	6.545	1.308	0.082
4#	196.866	10.095	6.134	1.226	0.735	7.09	163.033	0.95	86.433	6.375	1.274	0.084
5#	224.099	11.491	7.476	1.494	0.896	9.596	192.933	1.239	97.799	7.732	1.546	0.08
6#	232.9	11.943	7.577	1.515	0.908	10.003	197.266	1.245	102.033	7.84	1.567	0.081
7#	212.233	10.883	6.821	1.364	0.818	8.341	177.633	1.086	93.033	7.062	1.412	0.083
8#	223.9	11.481	6.884	1.376	0.825	8.821	196.933	1.173	94.4	7.165	1.432	0.086
9#	196.866	10.095	6.13	1.225	0.735	7.072	159.166	0.923	86.7	6.38	1.275	0.083
10#	224	11.486	7.439	1.487	0.892	9.433	191.533	1.231	96.9	7.692	1.538	0.08
11#	224.199	11.496	7.907	1.581	0.948	9.979	184.833	1.257	97	8.167	1.632	0.075
12#	220	11.281	7.039	1.407	0.844	8.81	181.4	1.107	97.433	7.293	1.458	0.083
13#	241.733	11.011	7.631	1.525	0.915	9.168	189.3	1.317	92	7.898	1.579	0.074
14#	225.266	11.551	7.469	1.493	0.895	9.44	187.766	1.203	97.299	7.704	1.54	0.079
15#	219.5	11.255	7.4	1.479	0.887	9.043	190.099	1.249	97.333	7.656	1.53	0.077
16#	228.5	11.717	7.334	1.466	0.879	9.534	199.466	1.233	98.333	7.603	1.52	0.083
17#	219.193	11.24	7.486	1.496	0.897	9.171	195.225	1.303	95.064	7.747	1.549	0.076
18#	206.699	10.599	6.802	1.359	0.815	8.199	179.766	1.136	89.966	7.113	1.422	0.079
19#	218.4	11.199	7.507	1.501	0.9	9.112	196.099	1.324	93.933	7.77	1.553	0.075
20#	205.666	10.546	6.805	1.36	0.816	8.008	175.266	1.115	89.033	7.051	1.409	0.079

表 3.17 精梳棉试验结果

方案	断裂强力	断裂强度	断裂伸长	断裂伸长率	断裂时间	断裂功	屈服应力	屈服伸长	断脱强力	断脱伸长	断脱伸长率	初始模量
1#	247.866	12.71	7.777	1.555	0.932	10.645	226.133	1.39	109.333	8.034	1.606	0.084
2#	259.566	13.31	8.163	1.632	0.979	11.399	236.699	1.469	113.466	8.415	1.682	0.082
3#	195.033	10.001	5.069	1.013	0.607	5.761	161.533	0.761	84.099	5.323	1.064	0.089
4#	209.3	10.732	6.261	1.251	0.75	7.259	187	1.078	90.2	6.517	1.303	0.087
5#	231.766	11.885	7.423	1.484	0.89	9.466	203.4	1.272	100.866	7.669	1.533	0.082
6#	244.599	12.543	7.754	1.55	0.93	10.233	222.699	1.395	106.5	8.024	1.604	0.082
7#	237.266	12.167	7.337	1.467	0.88	9.514	212.533	1.283	101.166	7.602	1.52	0.085
8#	242.533	12.437	7.292	1.458	0.874	9.624	217	1.276	106.733	7.553	1.51	0.087
9#	206.8	10.604	6.539	1.307	0.784	7.503	182.766	1.11	91.2	6.8	1.359	0.083
10#	256.833	13.17	8.376	1.675	1.004	11.426	235.8	1.522	111.799	8.638	1.727	0.079

11#	245.133	12.57	8.734	1.746	1.047	11.272	225.366	1.592	107.633	8.974	1.794	0.072
12#	236.466	12.125	7.679	1.535	0.921	9.618	215.866	1.386	101.233	7.942	1.587	0.079
13#	250.733	12.857	8.493	1.698	1.018	11.265	230.8	1.546	107.633	8.753	1.75	0.076
14#	258.866	13.274	8.61	1.721	1.032	11.701	236.766	1.568	113.7	8.873	1.774	0.076
15#	247.199	12.676	7.875	1.574	0.944	10.587	223.233	1.397	106.833	8.135	1.626	0.082
16#	240.366	12.326	6.9	1.379	0.827	9.414	209.466	1.161	103.833	7.162	1.432	0.092
17#	234.466	12.023	6.865	1.372	0.823	9.236	209.4	1.18	102.733	7.125	1.424	0.091
18#	233.833	11.99	6.925	1.384	0.83	9.315	202.099	1.146	105.333	7.175	1.434	0.089
19#	231.33	11.862	6.156	1.231	0.738	8.439	194.466	0.966	99.299	6.415	1.282	0.1
20#	249.466	12.792	7.577	1.515	0.908	10.603	223.733	1.322	108.9	7.815	1.562	0.087

3.3.3 分析计算回归方程

显然,从上述的试验结果表是无法看出什么规律性的,必须对试验数据进行回归分析,建立有效的回归方程,通过优化得到一个合适的优化点以指导生产。

回归分析的步骤为:

(1)采用最小二乘法估计回归方程的系数,初步建立多元二次回归方程;

回归方程的模型为:

$$y = b_0 + b_1x + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 \quad (3-1)$$

(2)对中心试验点的数据进行显著性检验:若不显著,则试验误差是由偶然因素引起的,说明回归方程的拟合情况良好,否则试验误差是由试验模型所引起的系统误差,应重新建立数学模型;

(3)对回归方程进行显著性检验,以确定试验模型的合理性;

(4)对估计出的回归系数进行显著性检验,以剔除对回归方程的结果值影响较小的回归系数,建立相对最合理的回归方程。

现将回归分析的方法作一下简单的介绍:

(1)回归系数的计算

$$\begin{cases} b_0 = K \sum_a y_a + E \sum_{j=1}^p (\sum_a x_{aj}^2 y_a) \\ b_j = e^{-1} \sum_a x_{aj} y_a \\ b_{ij} = m_c^{-1} \sum_a x_{ai} x_{aj} y_a \\ b_{ij} = (F - G) \sum_a x_{aj}^2 y_a + G \sum_{j=1}^p \sum_a x_{aj}^2 y_a + E \sum_a y_a \end{cases} \quad (3-2)$$

其中, $K=0.1663, E=0.0568, F=0.0694, G=0.0069, e=m_c+2r^2=13.656$

则有回归方程:

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{j=1}^t b_j x_j + \sum_{i(j)} b_{ij} x_i x_j + \sum_{j=1}^t b_{jj} x_j^2 \quad (3-3)$$

t_2 : 因子的个数。

(2) 回归方程的显著性检验

设 $y_1, y_2, \dots, y_N$ 是二次旋转组合设计的 N 个试验结果, 那么它的总的偏差平方和

$$S_{\text{总}} = \sum_a y_a^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_a y_a \right)^2, \quad f_{\text{总}} = N - 1 \quad (3-4)$$

它的剩余平方和

$$S_{\text{剩}} = \sum_a y_a^2 - b_0 B_0 - \sum_{j=1}^p b_j B_j - \sum_{i(j)} b_{ij} B_{ij} - \sum_{j=1}^p b_{jj} B_{jj}, \quad f_{\text{剩}} = N - C_{p+2}^2 \quad (3-5)$$

B_0, B_j, B_{ij}, B_{jj} 等皆为常数项矩阵 B 中的元素。于是回归平方和

$$S_{\text{回}} = S_{\text{总}} - S_{\text{剩}}, \quad f_{\text{回}} = C_{p+2}^2 - 1 \quad (3-6)$$

回归方程的显著性检验可用下列统计量 F_2 进行

$$F_2 = \frac{S_{\text{回}}/f_{\text{回}}}{S_{\text{剩}}/f_{\text{剩}}} \sim F(f_{\text{回}}, f_{\text{剩}}) \quad (3-7)$$

在旋转组合设计中, 中心点上往往要做一些试验, 若记这些试验结果为 $y_{01}, y_{02}, \dots, y_{0m_0}$, 那么它们的算术平均数为

$$\bar{y}_0 = \frac{1}{m_0} \sum_{i=1}^{m_0} y_{0i}, \quad (3-8)$$

于是它们的偏差平方和 $S_{\text{误}} = \sum_{i=1}^{m_0} (y_{0i} - \bar{y}_0)^2, f_{\text{误}} = m_0 - 1$ (3-9)

$S_{\text{误}}$ 完全是由试验误差引起的, 可用它作各项显著性检验:

$$F_1 = \frac{S_{L_f}/f_{L_f}}{S_{\text{误}}/f_{\text{误}}} \sim F(f_{L_f}, f_{\text{误}}) \quad (3-10)$$

$$\text{其中 } S_{L_f} = S_{\text{剩}} - S_{\text{误}}, \quad f_{L_f} = N - C_{p+2}^2 - m_0 + 1 \quad (3-11)$$

(3) 回归系数的显著性检验

$$\begin{aligned}
 t_0 &= |b_0| / \sqrt{KS_{\text{误}}/f_{\text{误}}} \\
 t_j &= |b_j| / \sqrt{e^{-1}S_{\text{误}}/f_{\text{误}}} \\
 t_{ij} &= |b_{ij}| / \sqrt{m_c^{-1}S_{\text{误}}/f_{\text{误}}} \\
 t_{jj} &= |b_{jj}| / \sqrt{FS_{\text{误}}/f_{\text{误}}}
 \end{aligned}
 \tag{3-12}$$

其中的总试验次数 $N=20$ ，因子个数 $p=3$ ，中心试验点次数 $m_0=6$ 。

通过 Matlab 软件编制程序计算，得出回归系数并进行显著性检验。

计算结果

表 3.18 各考察指标的回归系数（普梳）

指标	回归系数									
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
断裂强度	11.1020	-0.4096	0.1706	-0.1347	0.1889	0.1461	0.0854	-0.1682	0.2199	0.0052
断裂伸长	7.2368	-0.3762	0.2771	0.0158	-0.0464	0.0339	-0.0299	-0.2496	-0.0062	0.0210
断裂功	9.0435	-0.6869	0.5382	-0.0779	0.0639	0.1459	0.0389	-0.3728	0.0308	-0.0011
屈服应力	192.8144	-9.9458	4.4301	-1.5391	2.9334	2.9581	2.8584	-6.3102	-3.5647	-1.6500
屈服伸长	1.2640	-0.0934	0.0464	0.0066	-0.0085	0.0105	0.0055	-0.0814	-0.0443	-0.0167
断脱强力	94.7797	-2.9401	2.2016	-0.8186	0.7500	1.1168	0.0415	-1.1734	0.7413	-0.1661

断脱伸长	7.6239	-0.3783	0.2793	0.0163	-0.0432	0.0398	-0.0297	-0.2951	-0.0498	-0.0247
初始模量	0.0773	0.0012	-0.0009	-0.0008	0.0021	0.0006	0.0009	0.0024	0.0015	0.0007

表 3.19 回归方程的显著性检验结果（普梳）

指标	显著性水平		各有关量				显著与否
	α_1	α_2	F_1	F_2	F_{α_1}	F_{α_2}	
断裂强度	0.05	0.05	0.5828	3.2841	5.0503	3.0204	显著
断裂伸长	0.05	0.05	1.2176	3.6295	5.0503	3.0204	显著
断裂功	0.05	0.05	0.6010	4.7593	5.0503	3.0204	显著
屈服应力	0.05	0.05	0.3393	4.0086	5.0503	3.0204	显著
屈服伸长	0.05	0.05	0.7887	3.9179	5.0503	3.0204	显著
断脱强力	0.05	0.05	0.8899	3.9408	5.0503	3.0204	不显著
断脱伸长	0.05	0.05	1.2684	3.7871	5.0503	3.0204	显著
初始模量	0.05	0.05	1.2661	3.7859	5.0503	3.0204	显著

注：仅当采用统计量 F_1 检验的结果为不显著（即 $F_1 < F_{\alpha_1}$ ）且用统计量 F_2 检验的结果为显著（即 $F_2 > F_{\alpha_2}$ ）时，才可认为回归方程在某一对显著性水平下是显著的。

表 3.20 各考察指标的回归系数（精梳）

指标	回归系数									
	b0	b1	b2	b3	b12	b13	b23	b11	b22	b33
断裂强力	239.7400	-9.4122	8.3644	-4.2280	13.3170	-0.9834	-0.6249	-4.6314	-1.4549	3.4956
断裂强度	12.2930	-0.4829	0.4290	-0.2168	0.6829	-0.0504	-0.0321	-0.2375	-0.0746	0.1793
断裂伸长	7.0820	-0.4119	0.5076	-0.1509	0.5078	-0.1615	0.0538	-0.0668	0.1981	0.3201
断裂伸长率	1.4156	-0.0825	0.1015	-0.0301	0.1018	-0.0323	0.0108	-0.0132	0.0396	0.0640

断裂时间	0.8489	-0.0495	0.0609	-0.0181	0.0610	-0.0195	0.0063	-0.0080	0.0238	0.0383
断裂功	9.6404	-0.7594	0.9055	-0.2828	1.0579	-0.1719	0.0109	-0.3176	0.0292	0.3962
屈服应力	210.8400	-9.7721	9.2870	-5.1129	14.7170	-1.5334	0.0086	-3.2467	0.7607	5.4167
屈服伸长	1.2028	-0.0894	0.1080	-0.0402	0.1140	-0.0350	0.0135	-0.0057	0.0555	0.0795
断脱强力	104.6200	-3.8669	4.3001	-2.3165	6.1291	0.1209	0.2376	-1.9120	-0.8747	1.3295
断脱伸长	7.3369	-0.4137	0.5039	-0.1525	0.5089	-0.1586	0.0511	-0.0646	0.1968	0.3223
断脱伸长率	1.4665	-0.0828	0.1008	-0.0305	0.1018	-0.0318	0.0103	-0.0128	0.0393	0.0646
初始模量	0.0899	0.0009	-0.0022	0.0001	-0.0003	0.0008	0.0003	-0.0015	-0.0035	-0.0033

表 3.19 回归方程的显著性检验结果（精梳）

指标	显著性水平		各有关量				显著与否
	α_1	α_2	F_1	F_2	F_{α_1}	F_{α_2}	
断裂强力	0.05	0.05	3.2603	4.0498	5.0503	3.0204	显著
断裂强度	0.05	0.05	3.2558	4.0533	5.0503	3.0204	显著
断裂伸长	0.05	0.05	2.2034	3.9919	5.0503	3.0204	显著
断裂伸长率	0.05	0.05	2.2078	3.9960	5.0503	3.0204	显著
断裂时间	0.05	0.05	2.2112	3.9966	5.0503	3.0204	显著
断裂功	0.05	0.05	2.5024	4.9696	5.0503	3.0204	显著
屈服应力	0.05	0.05	2.3258	4.6174	5.0503	3.0204	显著
屈服伸长	0.05	0.05	2.0089	3.7437	5.0503	3.0204	显著
断脱强力	0.05	0.05	2.8547	4.7637	5.0503	3.0204	显著
断脱伸长	0.05	0.05	2.2405	3.9865	5.0503	3.0204	显著
断脱伸长率	0.05	0.05	2.2374	4.9903	5.0503	3.0204	显著
初始模量	0.05	0.05	1.1566	3.1510	5.0503	3.0204	显著

注：仅当采用统计量 F_1 检验的结果为不显著（即 $F_1 < F_{\alpha,1}$ ）且用统计量 F_2 检验的结果为显著（即 $F_2 > F_{\alpha,2}$ ）时，才可认为回归方程在某一显著性水平下是显著的。

3.3.4 有效回归方程及等高图分析

经过方程显著性检验后，再检验回归系数，剔除不显著的系数，得到各有效回归方程，见表 3.22，3.23。

表 3.22 有效回归方程（普梳）

指标	有效回归方程
断裂强力	$y = 216.55 - 7.99x + 5.73x_2 + 0.7x_3 + 3.68x_1x_2 + 2.85x_1x_3 + 1.67x_2x_3 - 3.56x_1^2 + 0.56x_2^2 + 4.59x_3^2$
断裂强度	$y = 11.09 - 0.41x + 0.29x_2 - 0.13x_3 + 0.19x_1x_2 + 0.15x_1x_3 + 0.085x_2x_3 - 0.13x_1^2 + 0.08x_2^2 + 0.04x_3^2$
断裂伸长	$y = 7.23 - 0.37x + 0.28x_2 - 0.02x_3 - 0.05x_1x_2 + 0.03x_1x_3 - 0.03x_2x_3 - 0.25x_1^2 + 0.01x_2^2 + 0.02x_3^2$
断裂伸长率	$y = 1.45 - 0.07x + 0.06x_2 + 0.003x_3 - 0.01x_1x_2 + 0.01x_1x_3 - 0.01x_2x_3 - 0.05x_1^2 - 0.001x_2^2 + 0.004x_3^2$
断裂时间	$y = 0.87 - 0.05x + 0.03x_2 + 0.02x_3 - 0.01x_1x_2 + 0.004x_1x_3 - 0.004x_2x_3 - 0.03x_1^2 - 0.001x_2^2 + 0.002x_3^2$
断裂功	$y = 8.86 - 0.69x + 0.54x_2 - 0.08x_3 + 0.06x_1x_2 + 0.15x_1x_3 + 0.04x_2x_3 - 0.31x_1^2 + 0.09x_2^2 + 0.06x_3^2$
屈服应力	$y = 189.35 - 9.94x + 4.43x_2 - 1.5x_3 + 2.93x_1x_2 + 2.96x_1x_3 + 2.86x_2x_3 - 5.13x_1^2 - 2.38x_2^2 - 0.47x_3^2$
屈服伸长	$y = 1.23 - 0.09x + 0.05x_2 + 0.007x_3 - 0.009x_1x_2 + 0.01x_1x_3 + 0.01x_2x_3 - 0.07x_1^2 - 0.03x_2^2 - 0.005x_3^2$
断脱强力	$y = 93.97 - 2.94x + 2.2x_2 - 0.82x_3 + 0.75x_1x_2 + 1.12x_1x_3 + 0.04x_2x_3 - 0.9x_1^2 + 1.02x_2^2 + 0.11x_3^2$
断脱伸长	$y = 7.5 - 0.38x + 0.28x_2 + 0.02x_3 - 0.04x_1x_2 + 0.04x_1x_3 - 0.03x_2x_3 - 0.25x_1^2 - 0.009x_2^2 + 0.02x_3^2$
断脱伸长率	$y = 1.5 - 0.08x + 0.06x_2 + 0.003x_3 - 0.04x_1x_2 + 0.008x_1x_3 + 0.008x_2x_3 - 0.005x_1^2 - 0.002x_2^2 + 0.003x_3^2$
初始模量	$y = 0.08 + 0.001x - 0.001x_2 - 0.001x_3 + 0.002x_1x_2 + 0.001x_1x_3 + 0.001x_2x_3 + 0.002x_1^2 + 0.001x_2^2 + 0.001x_3^2$

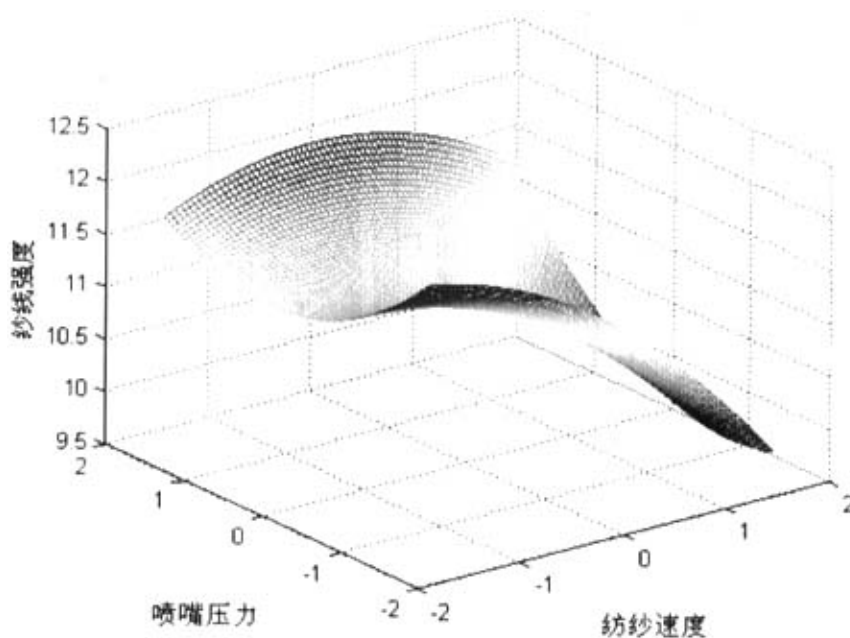


图 3.1 纱线强度与喷嘴压力、纺纱速度的关系（普梳）

从图 3.1 可以看出纺纱强力是随着纺纱速度的增加而减少的，当纺纱速度加快，纤维进入喷嘴后形成自由端的时间就减少了，就相应的减少了自由端的数量，这样就直接导致了纺纱强力的降低。同时，纺纱强力是随着喷嘴压力的增大先减小后增大的。

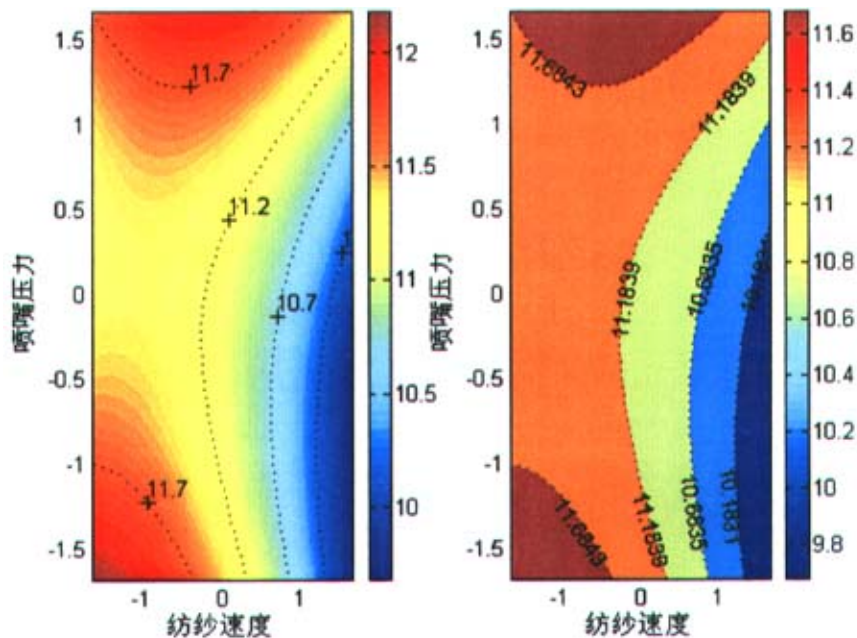


图 3.2 纱线强度与喷嘴压力、纺纱速度关系色阶显示图（普梳）

图 3.2 是一张二维半图，从此图中我们可以清楚地看到强力是明显分为几个区域的，其中左图是清晰渐变图，显示了强力的区域变化趋势，而右图是模糊强力区域分布图。在右图中，可以看出上部和下部都有一个强力极值区，分别是喷嘴压力最大和最小的区域，同时有一大块橘红色区域，是强力较高区域，我们认为，在极值区域的强力虽然高，但是以牺牲纺纱速度为前提，所以将工艺参数设在强力次高区是较为合理的。

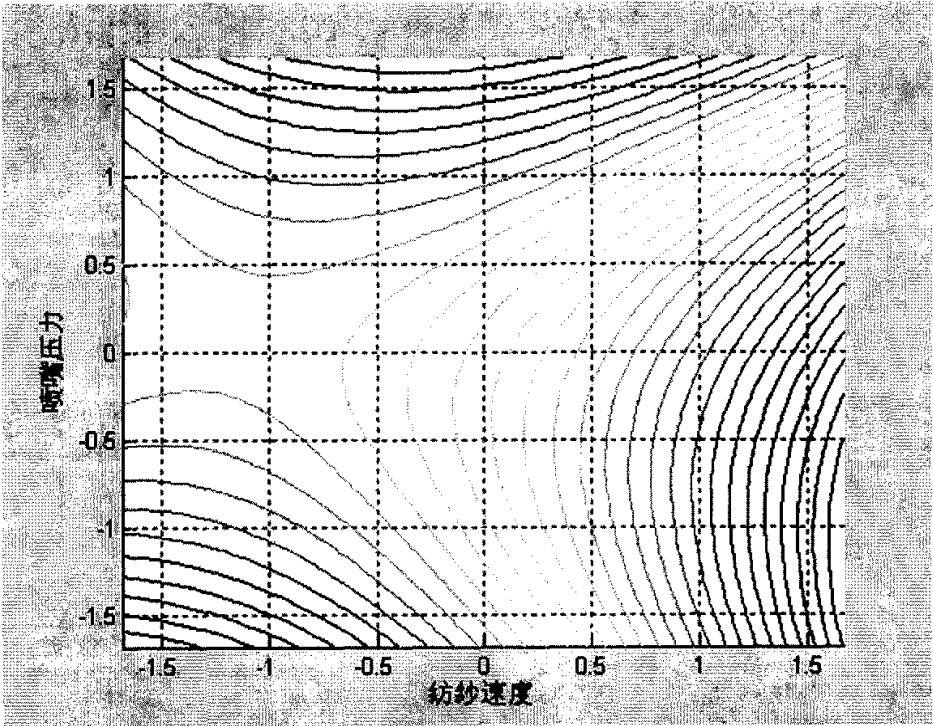


图 3.3 纺纱速度和喷嘴压力的二维等高线关系（普梳）

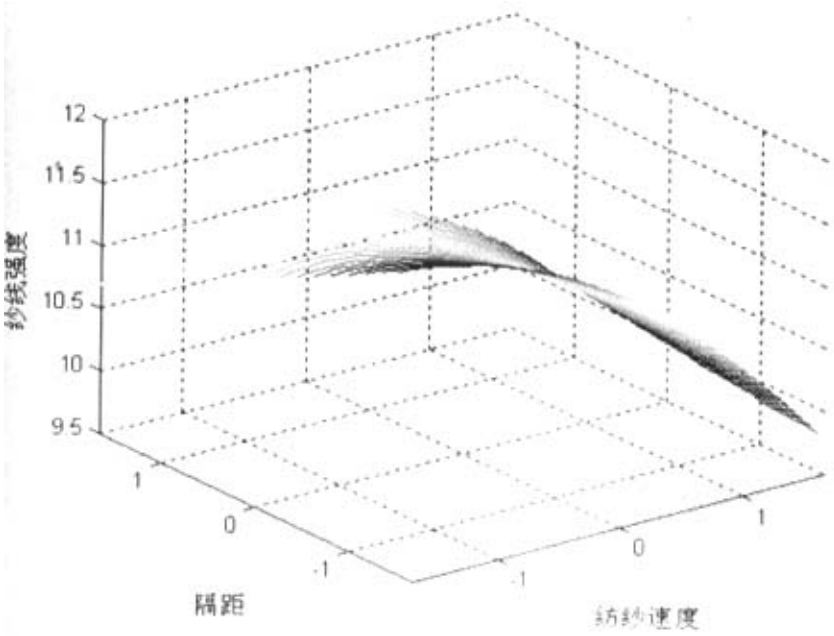


图 3.4 纱线强度与纺纱速度、隔距的三维等高线关系（普梳）

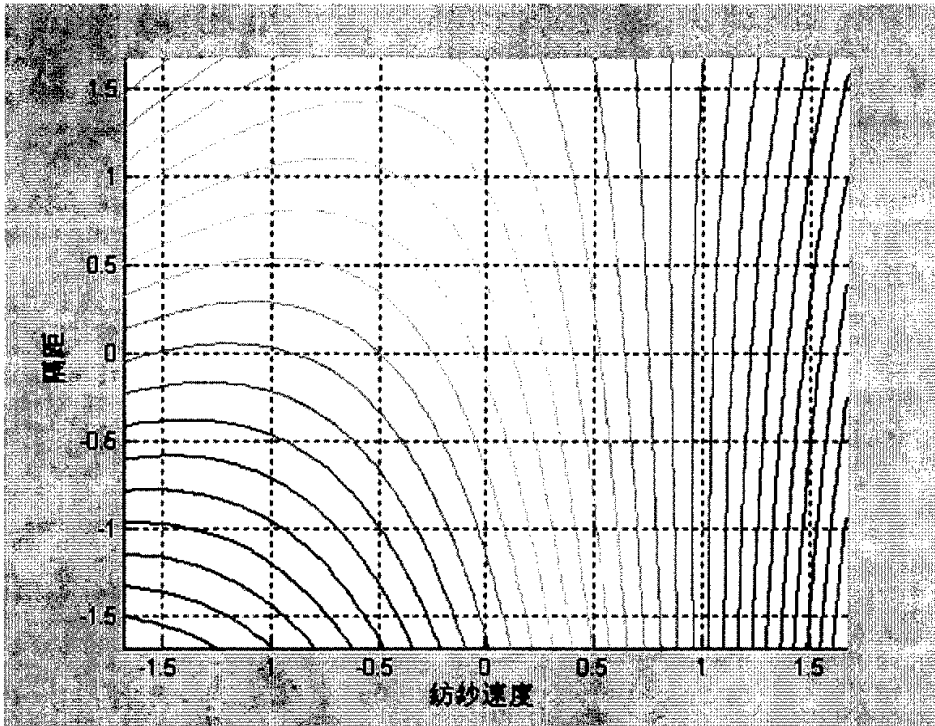


图 3.5 纺纱速度与隔距的二维等高线关系（普梳）

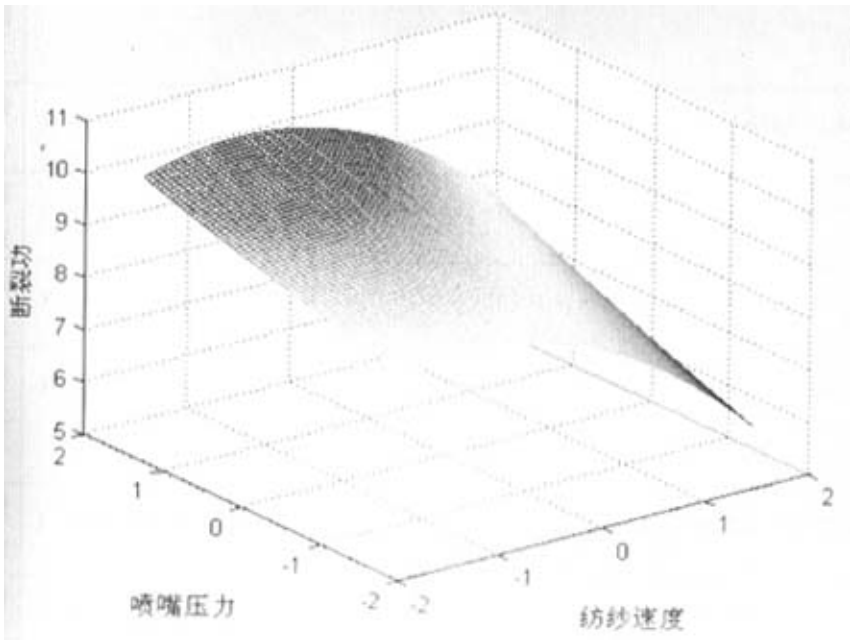


图 3.6 纱线断裂功与喷嘴压力、纺纱速度的关系（普梳）

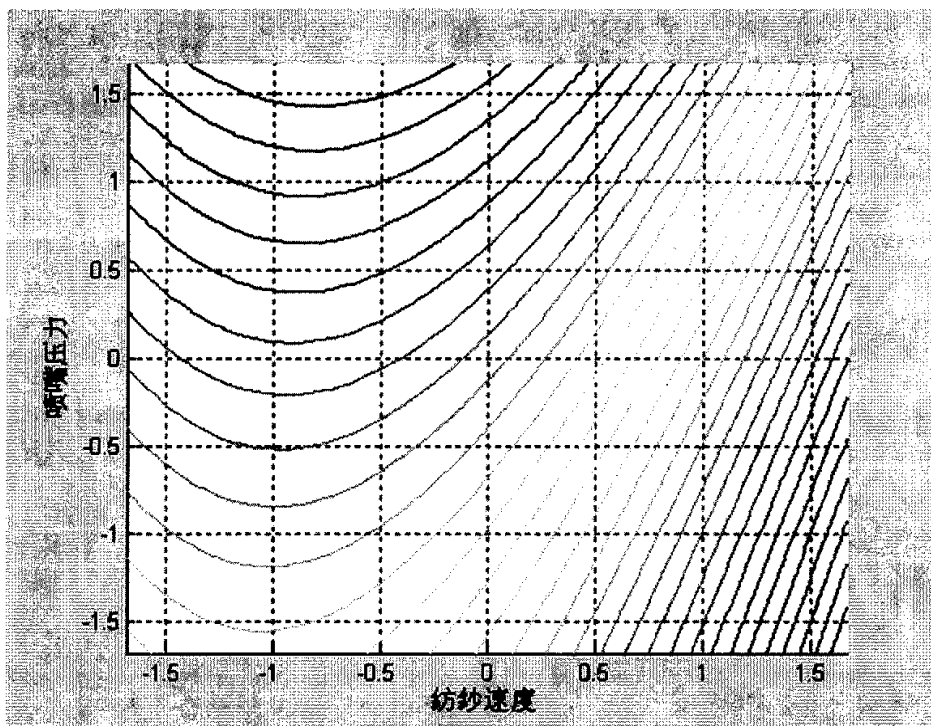


图 3.7 纺纱速度与喷嘴压力的二维等高线关系（普梳）

表 3.23 有效回归方程（精梳）

指标	有效回归方程
断裂强力	$y = 239.74 - 9.41x + 8.36x_2 - 4.23x_3 + 13.32x_1x_2 + 0.1x_1x_3 - 0.62x_2x_3 - 4.63x_1^2 - 1.54x_2^2 + 3.5x_3^2$
断裂强度	$y = 12.29 - 4.8x + 0.43x_2 - 0.22x_3 + 0.68x_1x_2 - 0.05x_1x_3 - 0.03x_2x_3 - 0.24x_1^2 - 0.07x_2^2 + 0.18x_3^2$
断裂伸长	$y = 7.08 - 0.41x + 0.5x_2 - 0.15x_3 + 0.5x_1x_2 - 0.16x_1x_3 + 0.05x_2x_3 - 0.07x_1^2 + 0.2x_2^2 + 0.32x_3^2$
断裂伸长率	$y = 1.42 - 0.08x + 0.1x_2 - 0.03x_3 + 0.1x_1x_2 - 0.03x_1x_3 + 0.01x_2x_3 - 0.01x_1^2 + 0.04x_2^2 + 0.06x_3^2$
断裂时间	$y = 0.85 - 0.05x + 0.06x_2 - 0.02x_3 + 0.06x_1x_2 - 0.02x_1x_3 + 0.006x_2x_3 - 0.008x_1^2 + 0.02x_2^2 + 0.04x_3^2$
断裂功	$y = 9.64 - 0.76x + 0.9x_2 - 0.28x_3 + 1.06x_1x_2 - 0.17x_1x_3 + 0.01x_2x_3 - 0.008x_1^2 + 0.03x_2^2 + 0.4x_3^2$

屈服 应力	$y = 210.84 - 9.77x + 9.28x_2 - 5.11x_3 + 14.72x_1x_2 - 1.53x_1x_3 + 0.008x_2x_3 - 3.25x_1^2 + 0.76x_2^2 + 5.42x_3^2$
屈服 伸长	$y = 1.2 - 0.09x + 0.1x_2 - 0.04x_3 + 0.11x_1x_2 - 0.03x_1x_3 + 0.01x_2x_3 - 0.01x_1^2 + 0.06x_2^2 + 0.08x_3^2$
断脱 强力	$y = 104.62 - 3.87x + 4.3x_2 - 2.32x_3 + 6.13x_1x_2 + 0.12x_1x_3 + 0.24x_2x_3 - 1.91x_1^2 - 0.87x_2^2 + 1.33x_3^2$
断脱 伸长	$y = 7.34 - 0.41x + 0.5x_2 - 0.15x_3 + 0.5x_1x_2 - 0.16x_1x_3 + 0.05x_2x_3 - 0.06x_1^2 + 0.2x_2^2 + 0.32x_3^2$
断脱 伸长 率	$y = 1.47 - 0.08x + 0.1x_2 - 0.03x_3 + 0.1x_1x_2 - 0.03x_1x_3 + 0.01x_2x_3 - 0.01x_1^2 + 0.04x_2^2 + 0.06x_3^2$
初始 模量	$y = 0.09 + 0.001x - 0.002x_2 + 0.001x_3 - 0.001x_1x_2 + 0.001x_1x_3 + 0.001x_2x_3 - 0.001x_1^2 - 0.004x_2^2 - 0.003x_3^2$

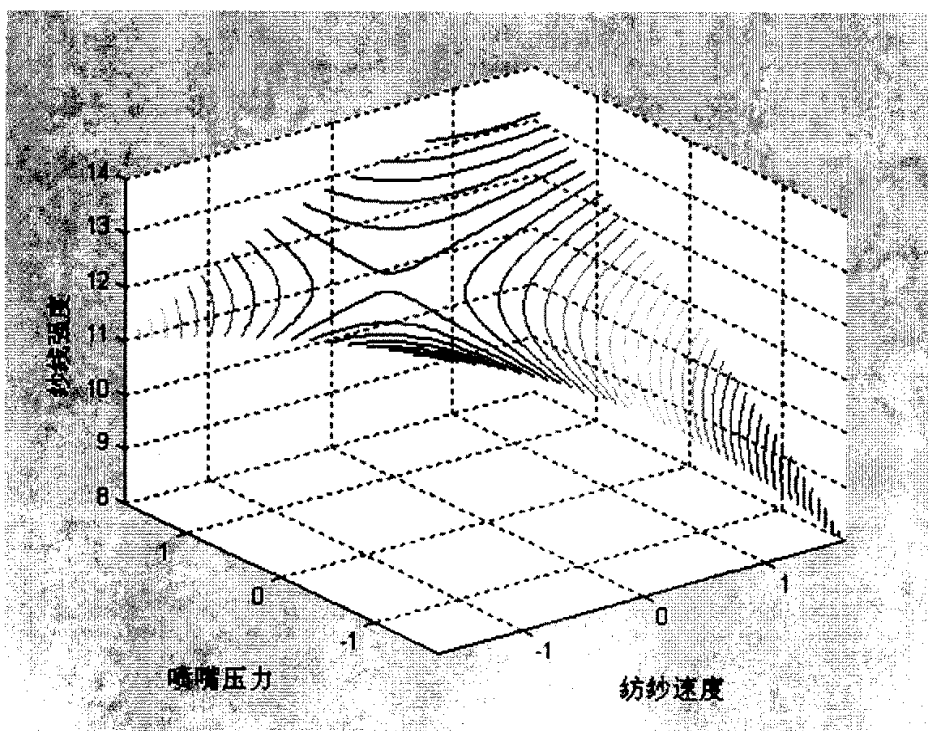


图 3.8 纱线强度与纺纱速度、喷嘴压力的三维等高线关系（精梳）

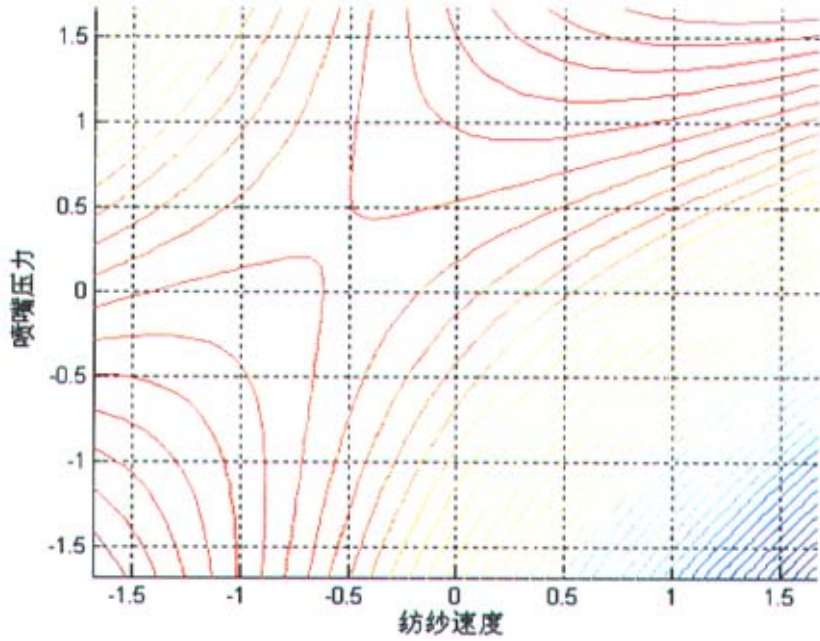


图 3.9 纺纱速度与喷嘴压力二维等高线关系（精梳）

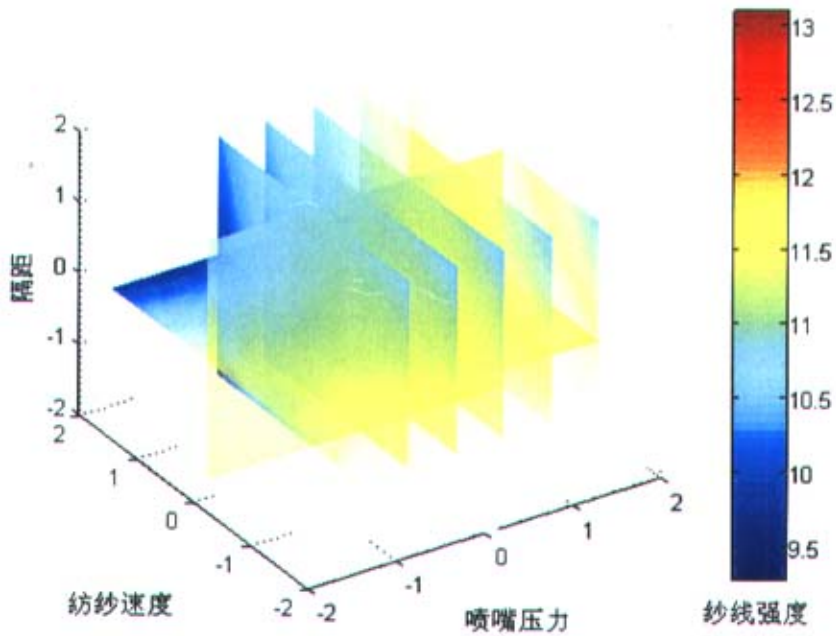


图3.10 纺纱强度与纺纱速度、喷嘴压力、隔距四维效果图

通过回归方程画出的一些二维、三维等高线，我们可以看出一些参数与纺纱强力的关系，同时也能够看出它们之间的一些关系曲线。但是为了能够全面了解纺纱速度、喷嘴压力、隔距与纺纱强力等参数的关系，有必要画出四维曲线图对这些参数作全面的了解。

图3.10就是一张纺纱强度与纺纱速度、喷嘴压力、隔距四维效果图，其中空间三个方向代表三个影响因子，用颜色代表强力。由于空间中每一个点都代表了一个强力，用直观的颜色无法观测，所以在图中使用了切片显示，在三个方向上进行了多次切片，使得我们能够看到强力变化的趋势。

在图中我们可以看出在纺纱速度较小的和喷嘴压力较大的时候出现了强力的高峰，并且隔距小的情况下出现了最大值，当纺纱速度提高时，如果适当的加大喷嘴压力会，强力不会明显的下降。

3.3.5 得出最佳工艺

由对试验结果的分析可知，不同的工艺参数对纱线的性能有不同的影响，必须综合考虑各因素，利用所求得的有效回归方程进行多目标优化，以使纺纱参数达到本课题条件下的最优，从而验证课题试验设想的正确性，从逆向论证上述的分析结果。

由MVS纱线的性能可知，本次优化设计所检验的指标主要就是纱线的强度。由于村田MVS NO. 861可调参数可知，对纤维可纺性和纱线性能影响最大的是隔距，纺纱速度和喷嘴压力，其中隔距要考虑纤维的平均长度，所以得出的指标是纺纱速度和喷嘴压力。其中纺纱速度 不低于280m/min, 喷嘴压力最小为0.40MPa.

综合考虑，这里参照多目标函数的目标规划方法，确定优化目标函数为：

求 $x = [x_1, x_2, x_3] \in R^3$ 使

$\min f(x)$

满足： $f_1(x) \geq 280$, $f_3(x) \geq 1576.292$ 。

采用的优化方法为随机方向搜索法，该方法的流程图如附录。

随机方向搜索法的具体方法步骤参见有关优化设计教材和参考资料，其计算机程序见附录。

采用上述的优化方法，各参数选择为：搜索方向 $N=1000$ ，搜索失败的次数 $m=50$ ，初始步长 $a_0=0.01$ ，步长缩短的界限值 $r_0=0.0001$ ，优化的精度 $\varepsilon_0=0.0001$ ，通过多次选择不同的初始点进行随机方向搜索，将不同初始点下求得的最优目标函数值进行比较，得到本优化问题的最优解如下：

$x_1=0.5180$, $x_2=1.682$, $x_3=-1.682$, 12.095

经解码，得到最优工艺参数值为：

纺纱速度：322m/s

喷嘴压力：0.6MPa

隔距: 18.5mm

第四节 利用多目标灰色局势决策优选纺纱工艺

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^[51~57]。

在使用 MVS 纺制纯棉纱时,隔距是和纤维长度对应的,工艺优选主要是在纺纱速度和喷嘴气压上调节,我们参考中纺金维公司的一些常用工艺作为优选对象,采用多个目标灰色局势决策进行优选。在优选中选取六个考核指标来评定成纱质量,并分别赋予不同的权重分配。以下是设计方案,通过对纯棉精梳 30^s 实验纺纱来确定最优化工艺。

表 3.24 设计方案

编号	1	2	3	4	5	6	7	8
纺纱速度	310	330	390	310	330	310	330	390
喷嘴压力	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6

表 3.25 考察指标和权重分配

考察指标	Uster 条干	3mm 以上毛羽	断裂强度	断裂强度不匀	断裂功	断裂伸长
权重比例	0.2	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1

表 3.26 纱线质量考察指标测试结果

方案	Uster 条干 (CV%)	3mm 以上毛羽	断裂强度 (cN/tex)	断裂强度不匀 (%)	断裂功 $N \cdot m (10^{-4})$	断裂伸长 (%)
1	13.6	63	11.543	8.3	9.865	1.555
2	14.2	82	10.832	8.5	9.701	1.632
3	12.8	66	10.301	7.7	10.587	1.013
4	14.1	77	12.77	9.1	10.614	1.251
5	13.2	90	12.337	8.6	11.036	1.484
6	12.8	101	13.11	9.0	11.315	1.55
7	12.9	88	12.067	7.9	10.439	1.467
8	13.3	92	11.783	8.4	9.603	1.458

此次实验设计的事件集为：精梳棉 30^s 自由端喷气纺纱

对策集：表 3.24 为各实验设计方案。

效果集：成纱质量六项考察指标：即外观质量 Uster 条干 CV% 值、3mm 以上毛羽，内在质量单纱断裂强度、断裂强度 CV%、断裂功和断裂伸长。

Uster 条干 CV%、3mm 以上毛羽值、断裂强度 CV% 越小越好，故选用下限效果测度计算。

单纱断裂强度、断裂功和断裂伸长越大越好，故选用上限测度效果计算。

各目标权重比例的分配见表 3.25。

下面介绍一下多目标决策计算方法：

当局势又有几个目标时，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

$$\delta_{ij}^{(k)} = \frac{r_{ij}^{(k)}}{s_{ij}} \quad (3-13)$$

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 $D^{(k)}$

$$D^{(k)} = \begin{bmatrix} \frac{r_{11}^{(k)}}{s_{11}} & \frac{r_{12}^{(k)}}{s_{12}} & \dots & \frac{r_{1n}^{(k)}}{s_{1n}} \\ \frac{r_{21}^{(k)}}{s_{21}} & \frac{r_{22}^{(k)}}{s_{22}} & \dots & \frac{r_{2n}^{(k)}}{s_{2n}} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{r_{m1}^{(k)}}{s_{m1}} & \frac{r_{m2}^{(k)}}{s_{m2}} & \dots & \frac{r_{mn}^{(k)}}{s_{mn}} \end{bmatrix} \quad (3-14)$$

那么，多目标局势决策综合矩阵 $D^{(\Sigma)}$ 为：

$$D^{(\Sigma)} = \begin{bmatrix} \frac{r_{11}^{(\Sigma)}}{s_{11}} & \frac{r_{12}^{(\Sigma)}}{s_{12}} & \dots & \frac{r_{1n}^{(\Sigma)}}{s_{1n}} \\ \frac{r_{21}^{(\Sigma)}}{s_{21}} & \frac{r_{22}^{(\Sigma)}}{s_{22}} & \dots & \frac{r_{2n}^{(\Sigma)}}{s_{2n}} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{r_{m1}^{(\Sigma)}}{s_{m1}} & \frac{r_{m2}^{(\Sigma)}}{s_{m2}} & \dots & \frac{r_{mn}^{(\Sigma)}}{s_{mn}} \end{bmatrix} \quad (3-15)$$

矩阵中的元素按下式计算

$$r_{ij}^{(\Sigma)} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^n r_{ij}^{(k)} \quad (3-16)$$

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式计算

$$r_{ij}^{(\Sigma)} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^n \bar{\omega}_k r_{ij}^{(k)} \quad (3-17)$$

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

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

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

则最佳决策为

(3-18)

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

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

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

则最佳决策为

(3-19)

最佳决策局势为 s_{ij}^* , 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。

采用上述方法求解本次实验, 得决策矩阵

按效果优劣的排序结果 (决策矩阵中数值越大表明效果越好)

$$R(1, j) = [0.833, 0.636, 0.603, 0.877, 0.811, 0.905, 0.923, 0.612]$$

优——劣 7#-6#-4#-1#-5#-2#-8#-3#

由此结果可知, 当速度为 330m/min 和喷嘴压力最大 0.6MPa 时能够达到纱线质量最好。考虑到实际生产中, 喷嘴压力大会增大耗气量和耗电量, 所以在不要求产量的情况下, 可以调低纺纱速度, 这样喷嘴压力不用过大。

第五节 本章小结

通过对一些主要纺纱工艺参数的优化实验，我们得出了最佳工艺，可以得出如下结论：

- (1) 村田自由端喷气纺纱机 (MVS) No.861 纺 30^s 纯棉纱时，各工艺参数设置为，纺纱速度 330m/min，喷嘴压力 0.6MPa，前罗拉到喷嘴隔距 18.5mm。
- (2) 如果产量要求不高，可以考虑降低速度在 310m/min，此时可以降低喷嘴压力，减少动力消耗，同时成纱质量不会有太大的下降。
- (3) 在纺化纤或混纺产品时，在喷嘴压力不变的情况下，可以增加纺纱速度。
- (4) 精梳棉纱纺制时可以降适当低喷嘴压力，增大纺纱速度。
- (5) 纱线的外观质量如条干、棉节、粗节、细节主要和前纺工艺有关，在喂入条子不变得情况下，MVS 纺纱机器参数对其影响不大。

第四章 自由端喷气纺（MVS）纱线性能

MVS 纱线作为一种新型纱线，其纱线本身的性能，特点以及由 MVS 纱织成的织物性能、风格都还不被厂家和消费者熟悉，我们有必要对其物理机械性能作进一步的分析，并与传统环锭纱性能对比。

自由端喷气纺纱可以看作传统喷气纺纱的改良，其强力和纺纱速度都较喷气纺纱有了明显的提高。我们此次试验用纱线都是诸城中纺金维公司产品，并且是成品筒子纱。

第一节 自由端喷气纺（MVS）纱线拉伸性能

为了了解 MVS 纱的性能，我们选取精梳纯棉 40^s、涤纶 65/棉 35、纯 Modal 三个品种进行纱线性能测试。

首先进行的是强力性能，其实验条件如下：

- (1) 实验仪器名称：YG061 电子单纱强力仪
- (2) 标准：GB/T 3916—1997
- (3) 试验长度：500mm
- (4) 拉伸速度：500mm/min
- (5) 试验温湿度：23.5℃ 65%
- (6) 试验次数：50
- (7) 线密度：14.6tex, 19.6Tex, 14.6tex

把其断裂强度结果与 2001 乌斯特统计值比较：

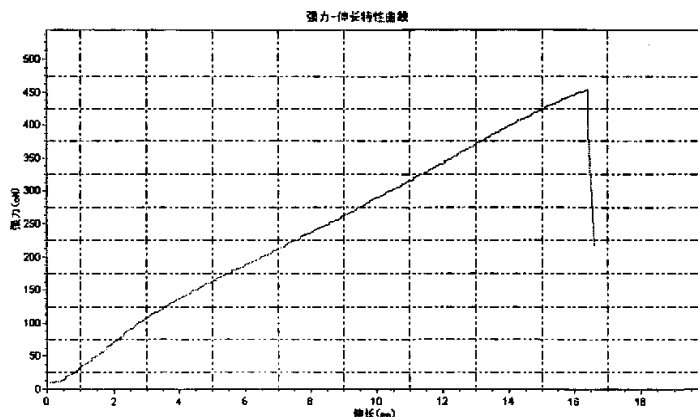


图 4.1 纯棉 MVS 纱线拉伸性能

表 4-1 MVS 纱线拉伸性能

指标	断裂强度(cN/tex)	强度变异系数(%)	断裂伸长率(%)
T65/C3530	19.267	12.129	5.827
T65/C3530*	19.8-20.4	11.0-11.5	8.58-8.96
JC40	11.581	8.234	3.284
JC40*	12.8-13.1	11.4-11.8	4.4-4.51
M30	17.143	7.901	5.274
M30*	17.4-18.1	9.61-9.97	9.7-10.1

注：带星号代表同原料、同线密度环锭纱 2001 乌斯特 95%水平（下同），莫代尔纯纺纱为相关文献中的范围

从以上数据可以看出，纱线的强力和同品质环锭纱相比略有降低，但是可以达到其 90%以上的水平。其中纯棉纱线强力要更低一些，这是因为棉纤维长度变异和化纤相比更大，在包缠成纱的过程中，自由端长度不一致，导致成纱结构缺陷，最终导致纱线强力降低，并且纱线强力变异加大。而自由端喷气纺的混纺和纯纺化纤就没有这种情况，能够形成较为理想的包缠结构，所以其强力和环锭纱相比几乎没有下降。

MVS 纱线的断裂伸长率较环锭纱有显著的下降，这有两方面的原因，一是 MVS 纱线还是存在纱芯结构，尽管纱芯和喷气纺（MJS）相比要大为减少。在纱线断裂后，纱芯的长度不会改变，致使断裂伸长降低。还有一个原因就是纱线在包缠时是一层一层的包裹在纱芯上，在断裂后还有一些包缠纤维并不退捻。

和环锭纱线的对比可以看出自由端喷气纺纱在拉伸性能上和传统纺纱差距不大，性能下降在 10% 以内，并且在其他大多数新型纺纱无法涉足的领域即高支纯棉纱线方面有着较为出色的表现，为了和其他新型纺纱方法对比，我们列出 MJS 喷气纺纱线的拉伸性能作为对比。

表 4.2 MJS 纱线拉伸性能

指标	断裂强度(cN/tex)	强度变异系数(%)	断裂伸长率(%)
T65/C3530	12.9-13.4	12.4-12.9	7.41-7.68

MJS 是新型纺纱中能够纺制高支纱的纺纱方法之一，但是仅仅限于纯纺或混纺化纤类产品。由于其假捻包缠的成纱机理，使得其纱线中要求有承担强力的纱芯部分，如果纤维的长度变异太大，将使其强力下降十分明显。MJS 涤纶 65/棉

35 的纱线强力只有相同规格 MVS 纱的 67%，并且其纺纱速度也不如 MVS，所以自由端喷气纺要比喷气纺有优势。

第二节 自由端喷气纺（MVS）纱的其他性能

为了综合体现 MVS 纱线的性能，我们还进行了纱线条干均匀度、纱线毛羽、纱线耐磨性能的实验。

4.2.1 纱线毛羽试验

表 4.3 各种纱线 3mm 以上毛羽数（10m）

原料 纺纱类型	T65/C3530	JC40kv	M30kv
MVS	103	55	98
环锭纺	683	187	568
紧密纺	77	34	128

所用仪器：YG171D 毛羽测试仪

现代纺纱向着高支方向发展，毛羽问题越来越受到人们的关注，减少毛羽有利于提高纱线的耐磨性能并且能够在织造中减少断头，提高生产效率。MVS 纱线的毛羽非常的少，表面很光滑，3mm 以上毛羽数量较环锭纱平均减少 60%以上。而环锭纱由于在纺纱过程中存在加捻三角区，在三角区中纤维存在内外转移现象，导致毛羽较多，并且在高支纱上尤其明显。紧密纺就是为了解决毛羽问题而出现的，通过减少三角区达到减少毛羽的效果。自由端喷气纺纱在加捻的过程中不存在三角区问题，在产生自由端后，头端纤维被气流控制围绕纱线中心旋转，并且后面的纤维有一部分会包裹在前部纤维上，这样的纱线结构导致其长毛羽数大大的减少。在某些情况下 MVS 纱线的毛羽数甚至要少于紧密纺纱，这正是这种特殊的纱线结构决定的。

4.2.2 纱线耐磨性试验

表 3.4 MVS 纱线的耐磨性能（磨断次数）

名称 项目	ECO65/C35	JC40KV	Modal
MVS	2010	2663	2113
环锭纺	1536	2187	1956
紧密纺	2530	2813	2623

所用仪器：LCK——23A 纱线耐磨仪

本次实验所采用的耐磨仪器为 LCK-23A 型，其装置由磨头、往复机构、磨面

转换机构、光电检测机构和计算机处理系统组成(见图1)。纱线受磨段2的一端经夹纱圆盘4固定,另一端通过砝码1对纱线施加张力,磨料3在水平面上以匀速往复运动,每次可同时测30根纱线。试验时,磨头每往复一次,也就是纱线受力摩擦的一个周期,通过光电传感器的作用,计算机就计数一次 30个通道由计算机扫描检测,当某根纱线磨断后,砝码1自由落下,挡住底盘上的光电开关,计算机自动记录该通道的磨断次数,当全部纱线磨断后,计算机进行统计运算,或设定摩擦次数,达到规定次数自停,测试受磨后的剩余强伸度

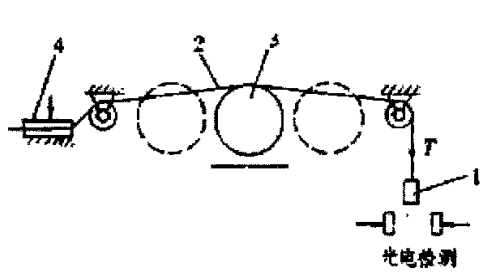


图4.1 纱线耐磨仪器示意图

由实验数据可以看出,虽然环锭纺纱线强力较MVS纱线略大,但是由于毛羽多,导致其耐磨性能不如MVS纱线,而紧密纺与传统环锭纺相比,单纱强力高于传统环锭纱的5%—10%,故耐磨性能通常要比环锭纺高出70%。

4.2.3 纱线的条干均匀度

下表是 30^s 纯棉精梳 MVS 纱条干均匀度:

表 3.5 MVS 纱线的条干均匀度 (CV%)

名称 项目	CVm(%)	粗节 (+50%)	细节 (-50%)	棉节 (+200%)
MVS	14.03	103	23	90
环锭纺	16-16.6	228-277	33.3-42.7	274-340

环锭纺数据来自乌斯特公报 2001 中 95%水平

纱线的条干均匀度主要取决于原料的混合程度,纤维混合越均匀,成纱的条干也就越好。从数据可以看出,自由端喷气纺纱条干优于一般的环锭纺纱,能够达到乌斯特公报 2001 中 50%的标准。

第三节 本章小结

通过对纱线性能的分析,可以看出,MVS 纱线的强力略低于环锭纺,纯棉纱股在环锭纺纱线的 90%左右,化纤或混纺产品强力能够达到和超过一般环锭

纺，而其他指标都要优于一般环锭纺，特别是毛羽性能，比环锭纺有较大优势，一部分纱线能够达到紧密纺水平。

和喷气纺相比，由于 MVS 包缠纤维数量大大增加，导致其强力一般比喷气纺提高 40%以上，能够纺纯棉产品。因此，MVS 纺纱方法比转杯纺和喷气纺更适合棉纱，尤其是 20-50 英支的中等纱支。

第五章 MVS 纱线结构分析

第一节 纱线结构的意义与方法

纱线的结构是指纱线加捻后,纤维在纱中的排列状态。纱线结构不仅受到构成纱线的纤维形状的影响,而且与纱线成形加工的方式有关。不同的纺纱方法,有不同的纺纱机理,纤维在不同纺纱方法的加捻成纱过程中,纤维的运动特征也各不相同。不同结构的纱线,其性能也可不相同,最终有不同的用途。

纱线结构是决定纱线内在性质和外观特性的主要因素,几乎纱线所有的重要性能都依赖于纱线结构。纱线的物理机械性质,是由组成纱线的纤维的性质及其在纱中的排列决定的。因此在原材料相同的条件下,纱线结构决定了纱线的性能,以致在很大程度上影响纺纱最终成品的特性和用途。在人们日益追求优质性能纱线的今天,纱线结构的研究,自然成为发展纺纱技术的一个重要课题。一方面需深入了解纱线内在结构并且有效预测纱线性能;另一方面在生产中控制纱线质量,以根据不同的产品需要调整相关的工艺参数时,都需要有纱线的结构表征参数作为参考,且可为进一步探求工业生产中实用化的纱线结构研究方法和设备作出工艺上的准备。实际生产中可利用纱线结构信息进一步改善纱线结构、提高纱线性能。并为如何合理选用原料、优化纱线结构、制定完善的纺纱工艺以及进一步研究其职务服用性能提供一定的参考价值。

纱线结构的评定内容主要有^[56]:纱线的捻度和纤维的排列密度;纤维在纱中的转移和分布;纱线的均匀性。纱线的几何结构是指加捻成纱后,其中纤维和纱轴的相对位置,及纤维与纤维之间的相对位置关系。不同的成纱方式使得纱线结构存在很大差异,如纱的松紧程度及均匀性、纤维在纱中的排列形式、纤维在纱中的移动轨迹、加捻在纱的轴向和径向的均匀度,以及纱线的外观形状和毛羽等。加捻作用是影响纱线结构的最主要因素,它使得纱线具有了一定的强力、弹性、伸长、光泽、手感。其对纤维或长丝在纱线截面的排列有重要影响。而纤维的转移包括纤维片断相对于其他纤维和纤维片断的能动性或自由度以及移动的方向,转移会引起纤维的分布位置、堆砌密度的不同。转移对于纱线性能甚为重要,特别是接近表面纤维的横向移动,关系到织物的磨损、起毛、起球和手感等。纤维转移方面的研究主要包括纱中纤维的转移现象、理论表征和实测方法、纤维在纱中的转移机理和理论,以及混纺时纤维在纱中的分布和表征方法等,纱线的均匀性本质上是研究纱中纤维排列的均匀程度。如纤维在纱中堆砌的松紧与位置,纤维在各截面中的根数多少与比例。纤维在纱中排列状况和比例等等。纱线结构的基本问题是纤维在纱中的排列形态,聚集复合形式,以及多组成形。

研究纱线结构的实验方法主要有:铜板切片法、软木塞切片法、哈氏切片法、

手摇切片机法、示踪纤维法等。我们此次研究 MVS 纱线性能主要用到的是哈氏切片法和示踪纤维法。下面我们就对这两种实验作简要介绍。

哈氏切片法是利用 Y172 型纤维切片器（亦称为哈氏切片器）^[58]，将纤维或纱线切成薄片的方法。哈氏切片法可以切出厚度为 10~30 μm 的纱线切片，能够适应各种纱线实验研究工作的需要。但不能获得更薄的斜片，切片质量同操作者的熟练程度有相当大的关系。并且由于纤维在切片之前和切片过程中，受到较大的挤压，容易变形，使实验结果受到影响，但是这种方法简便快捷，易学易用，所以被广泛使用。

示踪纤维法是由 Morton 和 Yen 在 1952 年发明的^[59]，这一经典的实验研究方法一直在后人的研究中被利用。它可以实际地观察纤维在成纱中的转移情况。具体做法是将低于 1% 的染色纤维混入未染色纤维中进行纺纱。实验要求这种染色纤维的性状应同未染色纤维基本一致。当混纺纱浸入与纤维的折射率相同的液体（如水杨酸甲酯溶液）中进行观察时，就会发现纱将变得透明，其中染色的纤维可以被清晰地观察到。

第二节 自由端喷气纺（MVS）纱线的加捻过程分析

要使有限长度的纤维，在无限长的纱条中有序的排列并使之产生一定的强力，就必须在纤维须条上加上捻度。加捻是成纱的必要手段，对加捻手段的要求是：一是应使成纱获得最佳的强度、伸长、弹性、柔性、光泽和手感等性质；二是使成纱的结构形态多样化；三是要能提高成纱的加捻效率。

传统的加捻方法是给须条加上真捻，随着各种新型纺纱方法的开发，采用了多种加捻手段，例如：自捻成纱、包缠成纱、粘合成纱和交络成纱等。不同的加捻方法，可以获得不同结构、不同性质的纱线。

自由端喷气纺纱是利用气流喷射在喷嘴内产生高速旋转气流，使纤维须条进入喷嘴内，在旋转气流的离心力的作用下，产生足够多的边缘纤维（头端自由纤维），即须条在此形成自由端，以便边缘纤维自由的头端对内层纤维产生相对角位移，使须条获得强力而成纱。包缠纤维在数量上所占比例愈大，包缠纤维的张力和纱芯纤维的张力越均匀、越紧密，纱的强力等品质指标就越高。

由于成纱机理的不同，决定了 MVS 纱结构与 MJS 喷气纱也不相同，但其也可以分为平行和螺旋包缠两部分，多根纤维头端（占纤维长度的很少部分）连续排列而形成了纱芯中的平行部分，而其尾端则以螺旋形式包缠成纱，形成了外观类似环锭纱的螺旋包缠结构。下图是对纱条螺旋包缠结构形成过程的模拟：

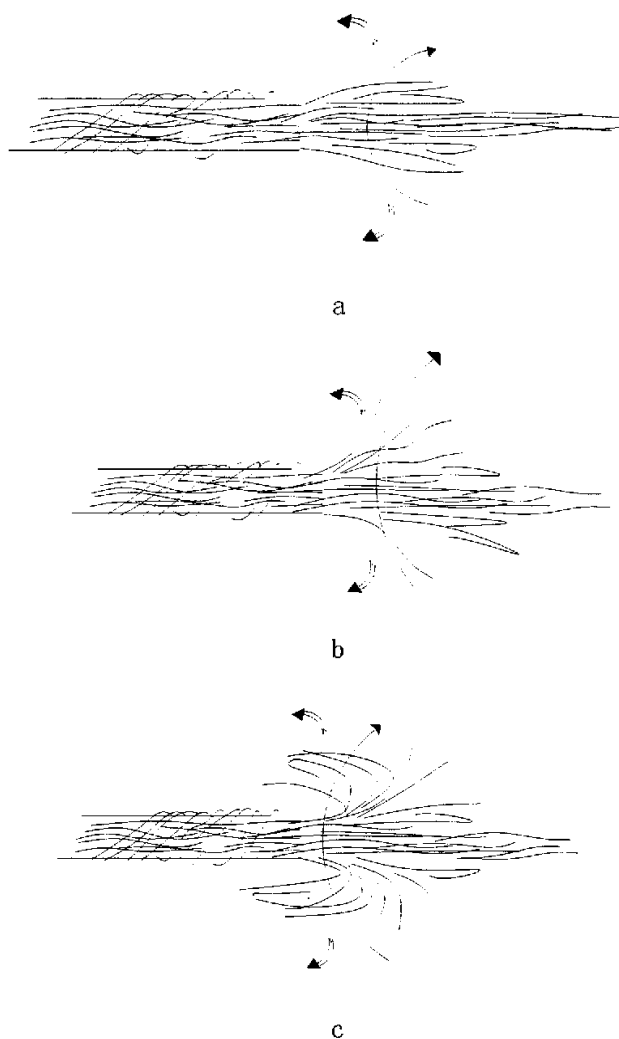


图 5.1 MVS 纺纱自由端的形成

图 5.1 是对 MVS 纺纱过程的模拟，a, b, c 代表不同的状态。当纤维由喂入口进入喷嘴的时候，由于进口特殊的几何形状（见图 5.2），条子中的纤维变成单纤维状态喂入，然后在旋转气流的作用下对前方已经形成纱线的须条包缠，这个过程中，如果气流的力界控制良好，纤维是完全与后方条子断裂开的，形成自由端，加上的捻度是真捻。同时随着卷绕的进行，纤维不断地包缠在纱条上，形成连续的纱线。

自由端的形成是一个过程，纤维虽然是单纤状态喂入，但是还是一种纤维流的状态，纤维之间还是有接触，这时可以把输送进入的纤维状态看成一种特别疏松的条子。在气流的作用下向前方运动，在运动的过程中逐步的向前膨胀，但是

仍然有一部分纤维没有膨胀,这一部分纤维就构成了纱芯结构。而膨胀开的纤维就被旋转气流包覆在纱芯上。所以从其自由端形成的过程来看,自由端的多少是纱线强力的关键。

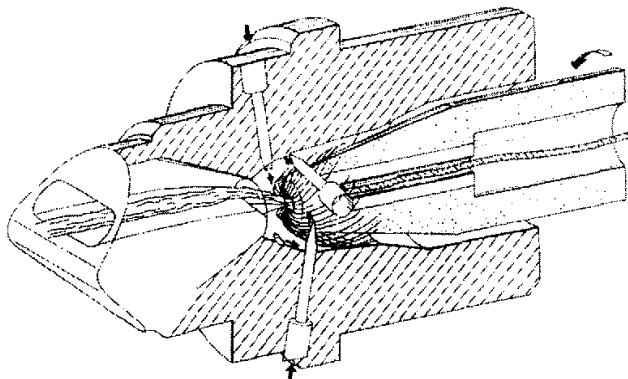


图 5.2 MVS 喷嘴结构

第三节 纤维在自由端喷气纺 (MVS) 纱线中的状态

自由端喷气纱中心部分为纱芯,纤维比较平直,有少量的捻度,而外层是包缠纤维,其他是近似圆锥形和圆柱形螺旋线纤维,但纤维的内外转移的次数较少,转移的程度也不如环锭纺那么高。

自由端喷气纺纱的成纱结构不同于喷气包缠纱。国外自由端喷气纺纱方法和国内自由端喷气纺纱方法在成纱机构和装置上不尽相同,成纱过程也有差异,因此它们的纱线结构中也有差异。但是纺纱过程中自由端的存在,改变了传统喷气纺纱假捻包缠的成纱特征,使纤维获得真捻而成纱,从而扩大了喷气纺纱的应用范围,弥补了传统喷气纺纱的某些缺陷。

日本村田公司 MVS 纱具有环锭纱的结构,其成纱结构与环锭纺相似,但还存在有纱芯,约 60 % 的纤维在纱中呈螺旋排列 (如图 5.3)。

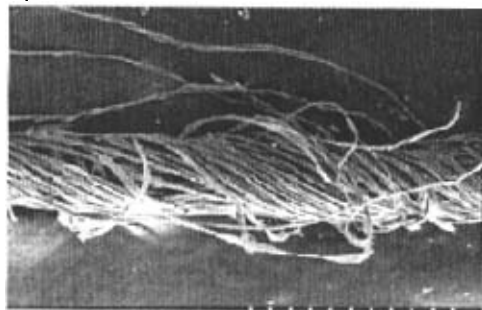


图 5.3 MVS 纱线结构电子显微镜照片

为了更好的观测纤维在纱线中的排列,我们利用异色示踪纤维混入白色纤维中纺纱,然后观察其排列方式。下图就是纱线在显微镜下观察的照片。

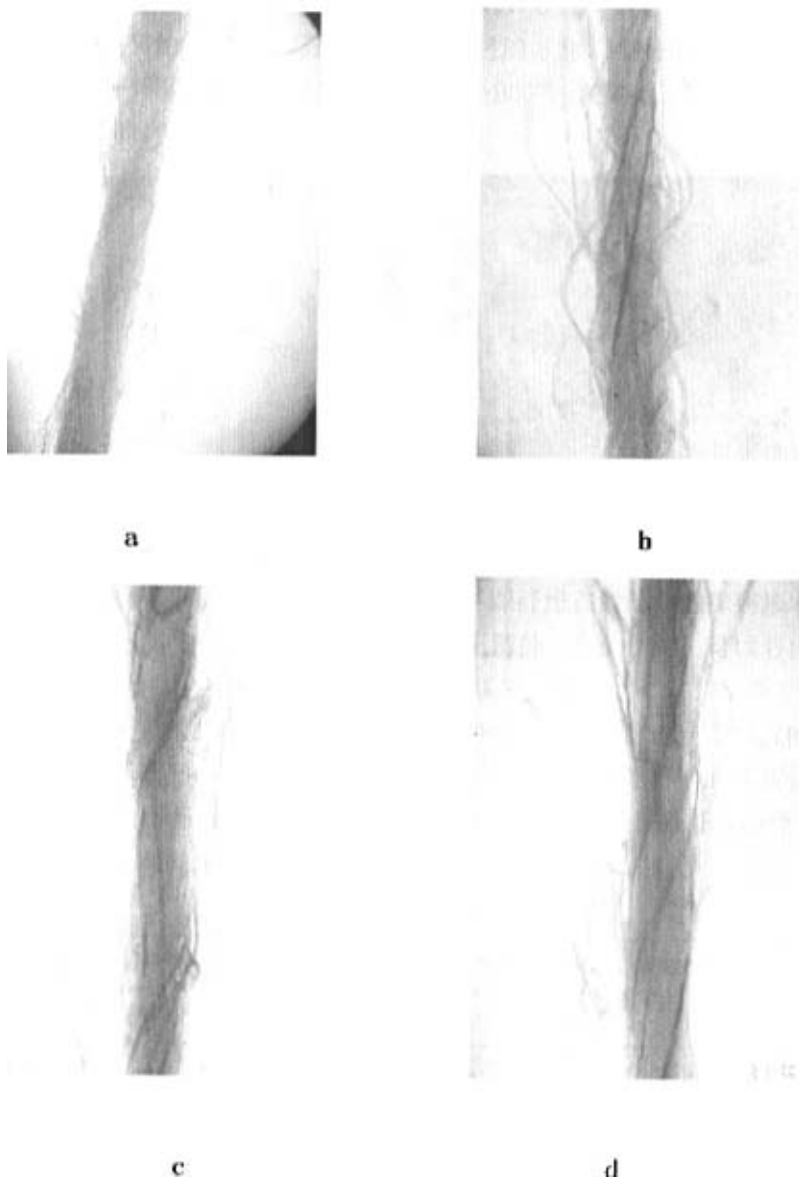


图 5.4 示踪纤维在纱线中的排列

由图 5.4 中可以看出, MVS 的纵向结构和环锭纱十分类似,但是还存在纱芯纤维是竖直排列,没有被加上捻度。在 c 图中,在两段螺旋纤维之间存在竖直

状态的纤维，这正是 MVS 的纱芯结构，但是由于纱芯较喷气纺纱要小得多，其螺旋结构之间的界限不是十分的明显。这说明 MVS 纱线的螺旋结构之间存在少量的重叠。这也是其外观和环锭纱类似的原因。在螺旋加捻的外层纤维中，有一部分是弯钩状态，前弯钩和后弯钩各占一半。同时，在图中观察可以发现，MVS 纱线的毛羽具有明显的方向性，都是朝向纤维前进的方向。这是由于自由端形成的时候，有一部分外围纤维与纱线的夹角要大于 90° ，在加捻过后，一端露在纱体结构之外，同时保持了与纱线的夹角。

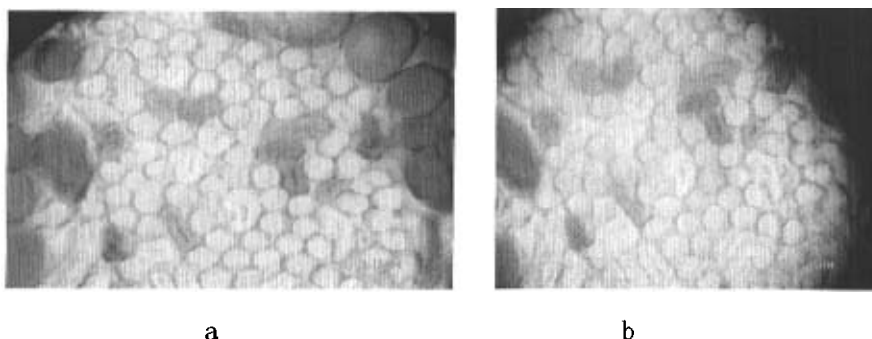


图 5.5 示踪纤维切片照片

在大量的纱线的切片照片中可以看出，示踪纤维在纱线中的排列基本上是随机分布。如图 5.5 中，a, b 是同一纱条截面上两处不同的切片，可以看出，纤维的相对位置没有大的变化，基本无内外转移现象。

MVS 纺纱过程理想状态是条子分解成单纤维，每根纤维以完全伸直的构形转移。然而，实际情况中纤维的特性与理想状态相距甚远。由于纱的品质受有效纤维长度的影响，纤维在气流中必须排列成直线并保持之，而且纤维必须以平行、良好定向的状态输送到纺纱器的纺纱表面。

表 5.1 成纱纤维形态分布 (%)

纤维状态	MVS	转杯纺纱	摩擦纺纱	涡流纺纱	环锭纱
圆锥或圆柱螺旋	25	33	12	13	77
前弯钩	26	22	27	28	10
后弯钩	13	17	5	12	2
对折纤维	6	12	4	28	8
多根扭结、缠绕纤维	15	12	4	19	3
两端弯钩纤维	15	4	12		

由形态结构照片和纤维形态分布我们可以得出 MVS 纱线的结构模型：中心部

分为无捻或是弱捻的芯纤维，大约占纱线的 30%，外层为螺旋形加捻纤维。外层螺旋纤维为两个部分，一部分是以单纤维伸直状加捻在纱芯上，另一部分是以弯钩或折叠状态加捻在纱的表面上，两者比例约各占 50%，存在大量封闭纤维。表层加捻纤维从内层向外层均有具有方向性，但无内外转移现象。螺旋结构之间存在重叠部分，毛羽具有很强的方向性，长毛羽少。

通过对纱线结构的分析，我们画出 MVS 纱线的结构示意图，如图 5.6



图 5.6 MVS 纱线结构模拟图



图 5.6 MJS 纱线结构模拟图

显然，和喷气纺纱线相比，MVS 纱线的纱芯要小得多，并且螺旋结构之间没有明显的界限。

第四节 本章小结

MVS 纱线结构在外观上与环锭纱类似，但是在在纱线螺旋结构之间还是能够观测到几乎没有加上捻度的纤维，存在纱芯结构，但是与喷气纺纱相比，纱芯结构要小得多，螺旋结构之间的间距也要小，包缠纤维占纱线 60%以上。MVS 纱线毛羽少，且有方向性。

第六章 结论

第一节 本文的结论

传统的喷气纺纱技术是利用压缩空气在喷嘴内的高速旋转而对纱条进行加(假)捻包缠成纱的。但由于其成纱机理所限,在纺制如棉纤维这样长度较短长度不匀较大的纤维时,成纱强力很低。本文以对村田公司 NO.861 型自由端喷气纺纱机的纺纱实验、纱线性能的实验以及研究新的成纱理论为出发点,通过对自由端喷气纺成纱机理的理论探讨,对 MVS 纺纱工艺和其纱线性能都有了一个全面的了解。

本文采用多工艺参数设计的正交实验,并应用模糊数学对各种纺纱工艺进行筛选,得出了合理的工艺参数。同时,利用示踪纤维、切片法等实验手段对纱线性能和纱线结构进行了分析,得出以下结论:

(1) 在 NO.861 型纺纱机上可调工艺参数中,最为重要的是纺纱速度、喷嘴压力、前罗拉钳口到空心锭口的距离。其中纺纱速度不宜过快,否则会造成成纱强力下降。虽然村田公司宣传可以达到 350-410m/min,但是我们认为 310m/min 能够达到强力的峰值,在纯棉产品中不宜超过 350m/min,330m/min 是一个较好的选择,在纺化纤或混纺产品时可以提高到 350m/min。喷嘴压力越大越有利于成纱强力提高,我们推荐使用其上限值即 0.6MPa,在化纤和混纺产品时,为了减少动力消耗,可以降低一些。前罗拉钳口到空心锭口的设置应该根据纤维长度来设定,对于纯棉产品,18.5mm 是最为合适的。

(2) MVS 纱线的强力略低于环锭纺,纯棉纱一般在环锭纺纱线的 90%左右,化纤或混纺产品强力能够达到和超过一般环锭纺,而其他指标都要优于一般环锭纺,特别是毛羽性能,比环锭纺有较大优势,一部分纱线能够达到紧密纺水平。

(3) 根据纱线结构的分析可以得出 MVS 纱线的结构模型:中心部分为无捻或是弱捻的芯纤维,大约占纱线的 30%,外层为螺旋形加捻纤维。外层螺旋纤维为两个部分,一部分是以单纤维伸直状加捻在纱芯上,另一部分是以弯钩或对折状态加捻在纱的表面上,两者比例约各占 50%,存在大量封闭纤维。表层加捻纤维从内层向外层均有具有方向性,但无内外转移现象。螺旋结构之间存在重叠部分,毛羽具有很强的方向性,长毛羽少。

(4) 自由端喷气纺纱的优点:纺纱速度快,为商业化生产中纺纱速度最快的;能够纺纯棉中等纱支纱线,这是和其他新型纺纱方法相比一个突出优点;纱线条干好,毛羽少。其缺点为:纯棉纱线强力虽然比喷气纺有很大提高,但是还是比环锭纺纱线略低;机器耗电、耗气太多,维护成本高。

第二节 本文的不足和进一步研究方向

本文分析了自由端喷气纺纱的成纱机理、影响纱线质量的纺纱工艺参数,对加捻过程进行了初步分析。但存在着不足和缺憾,需要随着研究的深入进一步完善。

本文对自由端喷气纺纱的成纱机理分析不够深入,特别是加捻过程中的动力学方程还须进一步探讨,并需要在大量的实验基础上加以验证。在研究纱线性能方面,没有给出其服用性能参数,对其纱线风格没有进行研究。÷

本文在自由端喷气纺纱的工艺优化研究中,由于受到机器本身参数调节的限制,参数取值与设计存在一定的微弱误差,所以所得结果与理论值稍有差异,但不影响结果的正确性。

今后进一步研究的工作是通过对喷嘴流场的深入分析,进一步探讨自由端喷气纺纱的成纱机理和加捻过程中的纤维运动形式。同时,对 MVS 纱线织物进行研究,开发出一些适合 MVS 纱线的织物,扩大其应用范围,充分发挥自由端喷气纺纱的优势。

致谢

本文是在青岛大学纺织服装学院邢明杰教授、孙福纪高级工程师直接指导下完成的。从选题、试验到论文的撰写，邢老师都倾注了大量的心血。诚挚的感谢邢老师在学业和生活上给与我的指导与关心。他严谨的治学态度、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，使我终生受益。诸城金维的孙福纪老师也给了我很大的帮助，帮助纺纱顺利完成，并指导工艺优化，在此表示由衷的谢意。

在论文整理与图形处理方面，熊磊同学参与其中，协助我编写论文，在此真心感谢。

在我研究生学习期间，还得到了纺织工程系实验室的王彩霞、孙永军老师的帮助，他们在实验上给予我诸多指导。还有研究生处老师们的关心、支持和帮助，在此一并表示感谢。

参考文献

1. 金佩新, 刘月芬. 喷气纺纱. 纺织工业出版社, 1991.
2. 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, 16 (2): 22~27.
3. 邢明杰. 新型纺纱. 青岛大学. 1997, 11~175.
4. Matsushima-A, Manning-WA, Murata : MTS 881 air-jet Twin Spinner. Textile-World, 1989, 139(4), 49~52.
5. 陆晶. 纯棉喷气纺纱工艺与成纱机理研究. 第十一次全国新型纺纱学术会论文资料集, 2002, 05, 43~47.
6. 李成龙, 郁崇文. 喷气纺纱技术的进展与产品应用. 纺织导报. 2003, 01. 33~36.
7. 胡发祥. 纺纱、机织、针织设备的技术进步. 纺织导报, 2003, 6. 22~30.
8. 日本 MVS 专利. 1996.
9. 王建坤等. 喷气纺纱喷嘴结构参数的计算机辅助优化设计. 纺织学报, 1998, 19(1). 23~26.
10. Carl. A. Lawrence and M. A. Raqui, Effect of machine variables on the structure and properties of air-jet fascinated yarns. T.R.J, March, 1991:123~130.
11. Punj-SK, Debnath-S, Chowdhury-A. Fibre distribution in air-jet and ring yarns. Indian-Journal-of-Fibre-and-Textile-Research, 2001, 26(3), 251~254.
12. Rangasawamy Rajamanickam, Analysis of the modeling methodologies for predicting the strength of air-jet spun yarn, T.R.J, Jan, 1997, 39~44.
13. 毕丽蕴. 优化喷嘴设计提高喷气纺纱系统生产率的可能性[译]. 国外纺织技术 (纺织分册). 1996 (6): 20~23, 5 页.
14. Rajamanickam. R ect. Studies on fiber-structure-property-relations in air-jet spinning, Part II; Model development. J. T. I, 1998, vol189, P214
15. Rangasawamy Rajamanickam, Analysis of the modeling methodologies for predicting the strength of air-jet spun yarn, T. R. J, Jan, 1997, 39~44.
16. Adv. Text. Tech., 2002, (5), 9 页.
17. Artzt-P. Yarn structures in Vortex spinning. Melliand-Textilberichte, 2000, 81(6), 116~478.
18. Artzt-P. Yarn structures in Vortex spinning. Melliand-Textilberichte, 2000, 81(6), 116~478.
19. Matsumoto T. Muratec Air Yarn Forming Generations. Canadian Textile Journal. 2001, 118 (3), 16~19.
20. Rozelle W. N. Vortex Spinning Gains Strength in U.S. Textiles. Textile World,

- 1999, 149 (9), 73~74.
21. 高晓平, 王建坤. 喷气纺纱成纱原理与产品应用. 新纺织, 2004, 1, 29~31
22. 狄剑锋. 新型纺纱产品开发. 中国纺织出版社, 1998
23. 陈中, 郭建红, 詹玉文. 不同纺纱方法的成纱结构和特性. 纺织导报, 2003, 6, 95~99.
24. 周慈念. 对几种新型纺纱的分析比较及其应用发展前景的看法. 第十二次新型纺纱学术会论文集, 2004, 1~8
25. 郁崇文. 喷气自由端纺纱初探. 棉纺织技术, 2000, 28 (02), 10~13
26. 唐佃花, 邢明杰, 李广伟. 提高喷气纺成纱强力的探讨. 山东纺织科技. 2003.
27. 王瑞, 王建坤. 喷气纺纱喷嘴安装位置对成纱强力的影响. 棉纺织技术. 2001, 29 (1): 16~18.
28. 王建坤, 张志清. 喷气纺纱喷嘴结构参数的计算机辅助优化设计. 纺织学报. 1998, 19(1): 12~15.
29. 郁崇文. 喷气纺纱中开纤槽对成纱强力的影响. 纺织学报. 1997, 18 (2): 29.
30. 刘常威, 蒋国华. 纯棉喷气纺纱喷孔间距对成纱强力的影响. 纺织学报. 2002, 23 (1): 29~30.
31. 郁崇文. 纯棉喷气纺纱中喷嘴等参数的优化设计. 纺织学报. 1996, 17 (4): 12~14.
32. 陆晶. 纯棉喷气纺纱工艺与成纱机理研究. 第十一次全国新型纺纱学术会论文资料集, 2002, 05, 43~47.
33. 李成龙. 喷气纺纱机喷嘴的设计. 东华大学硕士学位论文, 2004.
34. 缪德杰. 苎麻喷气纺纱研究. 中国纺织大学硕士学位论文, 1991.
35. 郁崇文, 张文康. 喷气纺喷嘴中气流场的分布规律. 中国纺织大学学报. 1996, 12 (4): 47~57.
36. 戴伟锋, 王灯明. 细旦纤维喷气纺高支纱的喷嘴设计与分析. 安徽纺织. 1997 (1): 1~3
37. 杜兆芳. 绢丝喷气纺中喷嘴工艺的优化设计. 丝绸技术. 1999, 7 (3): 1~3
38. 郁崇文. 纯棉喷气纺纱中喷嘴等参数的优化设计. 纺织学报. 1996, 17 (4), 12~14
39. 陈克彰, 何子琼. 管道纺成纱结构的研究. 中国纺织大学导报. 1991, 017 (06). 54~60
40. 陈克彰, 何子琼. 管道纺纱装置结构的优化. 中国纺织大学学报. 1993, 019 (005). 20~26
41. 陈克彰, 孙志宏. 管道纺包芯纱的研究. 中国纺织大学学报. 1994, 020 (002). 15~19
42. 唐衍硕, 李天恒. 涡流纺纱机理探索. 青岛大学学报: 工程技术版. 1996, 011(004). 18~22
43. 蔡明正, 邢明杰. 涡流纺纱机涡流管的改进. 棉纺织技术. 2003, 031 (011). 49~50
44. 邢明杰. 涡流纺流场的研究. 纺织学报. 1998. 019(005). 4~8
45. 邢明杰. 自由端喷气纺纱技术的进展. 纺织导报. 2005 (3). 29~32.

46. 杨磊, 邢明杰. 喷气纺纱的进展. 中国纤检, 2005(2), 50~52.
47. 张文康. 纺织气流问题. 纺织工业出版社. 1989.
48. 王介生. 棉纺工程中气流的应用与分析. 棉纺织技术. 2000(12), 53~56.
49. 郑洽余, 鲁钟琪. 气流力学. 北京: 机械工业出版社. 1980.
50. 翟荣祖. 工程流体力学. 北京: 纺织工业出版社, 1987.
51. 肖位枢. 模糊数学基础及应用. 北京: 航空工业出版社. 1992, 2. 113~179.
52. 汪学赛. 模糊数学在纺织工业中的应用. 香港: 开益出版社. 1992, 67~73.
53. 郁崇文等. 工程参数的最优化设计. 上海: 东华大学出版社. 2003(8), 108~128.
54. 茆诗松. 回归分析及其实验设计. 上海: 华东大学出版社. 1981
55. 李中. 纺织数理统计方法. 重庆: 重庆出版社. 1987. 7
56. 王万中, 茆诗松. 试验的设计与分析. 上海: 华东师范大学出版社. 1997
57. 楚庄强, 吴亚森. 应用数理统计基础. 广州: 华南理工大学出版社. 1999. 4.
58. 和红莉. 纱线结构研究探讨. 2005(1), 12~13.
59. 王克毅. 纱线结构的研究方法. 2004(5), 98~102.
60. 中华人民共和国国家标准 GB/T 398-93 棉本色纱线
61. USTER® STATISTICS 2001
62. 赵书经等. 纺织材料实验教程. 北京: 中国纺织出版社, 1994
63. 《纺织材料学》编写组. 纺织材料学. 北京: 纺织工业出版社, 1985. 12

附录

二次通用旋转组合设计程序

以下程序均在 MATLAB6.5 上调试通过

```
% 求平方和
% 该函数文件求各统计量，为回归方程和回归系数的显著性检验作准备
function [sz1,fz1,ss1,fs1,sh1,fh1,sw1,fw1,slf1,flf1]=pingfanghe(Y1,s2,yz)
% Y1 为原试验数据矩阵，s2 表示 Y1 的某个指标所在的列数，yz 为因子数（2,3,4）
if (yz==2)|(yz==3)|(yz==4)
    sjjz;
    switch yz
    case 2
        X1=aa2;
        N=13;fz1=12; fs1=7; fh1=5; fw1=4; flf1=3;
        cfmat=Y1(9:13,:);
        K=5;
    case 3
        X1=aa3;
        N=20; fz1=19; fs1=10;fh1=9;fw1=5;flf1=5;
        cfmat=Y1(15:20,:);
        K=6;
    case 4
        X1=aa4;
        N=31; fz1=30; fs1=16;fh1=15;fw1=6;flf1=10;
        cfmat=Y1(25:31,:);
        K=7;
    otherwise
        disp('您输入了不合法的因子数！只能从 2,3,4 中任选一个。');
    end;
    [nn,n]=size(Y1);
    b=xsjs(Y1,yz);
    b=b';
    bc=X1'*Y1;
    sz1=sum(Y1(:,s2).^2)-((sum(Y1(:,s2)))^2)/N;
    ss1=sum(Y1(:,s2).^2)-sum(b(:,s2).*bc(:,s2));
    sh1=sz1-ss1;
    sw1=0;
    for k1=1:K
        a1=(cfmat(k1,s2)-mean(cfmat(:,s2)))^2;
        sw1=sw1+a1;
    end
```

```

slf1=ss1-sw1;
else
    disp('您输入了不合法的因子数! yz 只能从 2,3,4 中任选一个。');
end;

% 回归方程检验
% 该函数文件用于某一指标回归方程的显著性检验
function [y,tj1,tj2,tjfl,tjf2]=fcjy(Y1,k,alpha1,alpha2,yz)
% 返回值 y=-1 表明用统计量 F1 进行检验的结果是显著的, 需要进一步考察原因, 改变二次回归模型;
% y=0 表明用统计量 F1 和 F2 进行检验的结果都是不显著的, 回归方程不显著;
% y=1 表明用统计量 F1 进行检验的结果是不显著的, 而用统计量 F2 进行检验的结果是显著的, 回归方程显著
% tj1 和 tj2 分别为统计量 F1 和统计量 F2, tjfl 和 tjf2 分别为对应的两个 F 检验的分位数
% Y1 为原试验数据矩阵 (行为每次试验, 列为每个指标)
% k 为第 k 个指标所在的列数
% alpha1 和 alpha2 分别为用统计量 F1 和 F2 进行检验时的显著性水平
% yz 为因子数
clc;
[sz,fz,ss,fs,sh,fh,sw,fw,slf,flf]=pingfanghe(Y1,k,yz);
F1=slf*fw/sw/flf;
tj1=F1;
tjfl=finv(1-alpha1,flf,fw);
F2=sh*fs/ss/fh;
tj2=F2;
tjf2=finv(1-alpha2,fh,fs);
if (F1>finv(1-alpha1,flf,fw))
    disp('用统计量 F1 进行检验的结果是显著的, 回归方程无效! 请改变二次回归模型!')
    disp('-----');
    y=-1;
else
    if (F2>finv(1-alpha2,fh,fs))
        disp('回归方程显著!')
        disp('-----');
        y=1;
    else
        disp('回归方程不显著')
        disp('-----');
        y=0;
    end
end
disp('tj1 和 tj2 分别为统计量 F1 和统计量 F2, tjfl 和 tjf2 分别为对应的两个 F 检验的分位数');

```

```

% 回归系数的计算
% 该函数文件用于一个或多个回归方程(二次)回归系数的计算,但尚未进行检验(回归
方程和回归系数的检验)
function y=xsjs(Y1,yz)
% 其中 Y1 为原试验数据矩阵, 每行对应一次试验,每列对应一个指标
% 所返回的矩阵的每行对应相应指标与因子的回归方程的回归系数 [b0 b1 b2 b12 b11
b22]
% yz 为因子数,
if (yz==2)|(yz==3)|(yz==4)
    sjjz;
    switch yz
    case 2
        X1=aa2;
    case 3
        X1=aa3;
    case 4
        X1=aa4;
    otherwise
        disp('您输入了不合法的因子数! yz 只能从 2,3,4 中任选一个。');
    end;
    y=(inv(X1'*X1))*(X1'*Y1);
    y=y';
else
    disp('您输入了不合法的因子数! yz 只能从 2,3,4 中任选一个。');
end;

% 回归系数的检验
% 该函数文件用于单个指标回归方程的回归系数的检验与剔除
function [y,tj,tt,ffw]=xsjy(alpha,Y1,kk,yz)
% 返回值 y 为一行向量, 它是回归方程的各个经检验与剔除后的系数(例如两因子二
次回归中为[b0 b1 b2 b12 b11 b22])
% tj 为各个系数检验时的统计量
% alpha 为显著性水平, Y1 为原试验数据矩阵, kk 为被检验的系数向量的列标, yz 为
因子数
clc;
if (yz==2)|(yz==3)|(yz==4)
    mc=2^yz; p=yz;
    switch yz
    case 2
        N=13; gama=1.414;
    case 3

```



```

        N=20; gama=1.682;
    case 4
        N=31; gama=2;
    end;
    e=mc+2*gama*gama; f=mc+2*gama^4;
    H=2*gama^4*(N*f+(p-1)*N*mc-p*e*e);
    K=2*gama^4*(f+(p-1)*mc)/H;
    F=(N*f+(p-2)*N*mc-(p-1)*e*e)/H;
    E=-2*e*gama^4/H;
    G=(e*e-N*mc)/H;
    bb=xsys(Y1,yz);
    bb=bb';
    [sz,fz,ss,fs,sh1,fh,sw,fw,slf,flf]=pingfanghe(Y1,kk,yz);
    switch yz
    case 2
        guodu=[K,1/e,1/e,1/mc,F,F];
    case 3
        guodu=[K,1/e,1/e,1/e,1/mc,1/mc,1/mc,F,F,F];
    case 4
        guodu=[K,1/e,1/e,1/e,1/e,1/mc,1/mc,1/mc,1/mc,1/mc,1/mc,F,F,F,F];
    end
    uu=length(guodu);
    for k=1:uu
        tk=abs(bb(k,kk))/sqrt(guodu(k)*sw/fw);
        tj(k)=tk;
        if (tk<=tinv(1-alpha,fw))
            bb(k,kk)=0;
        end
    end
    y=(bb(:,kk))';
    tt=tinv(1-alpha,fw);
    ffs=fs;
    else
        disp(' 您输入了非法的因子数! yz 只能为 2、3 或 4。');
    end;
end;

```

%求最优值

% x0 为出发点(如为三(四)因子, 则 x0 为三(四)列), f1 为目标函数最优值,xx 为最优组合

% 程序中的 fun 函数要作相应调整

clc;

yz=input('请输入因子个数(2,3 或 4): ');

switch yz

```

case 2
x0=[0,0];
lb=[-1.414 -1.414];
ub=[1.414 1.414];
case 3
x0=[0,0,0];
lb=[-1.682 -1.682 -1.682];
ub=[1.682 1.682 1.682];
case 4
x0=[0,0,0,0];
lb=[-2 -2 -2 -2];
ub=[2 2 2 2];
otherwise
disp('您输入了非法的因子数! ')
end
xx=fmincon('fun',x0,[],[],[],[],lb,ub)
[f1,g1]=fun(xx);
f1

% 解码
% 通用解码, 可用于两因子、三因子或四因子的解码
% 根据因子水平直接求实际数值, yz: 因子个数(只能取 2,3 或 4)
% x: 因子水平 y: 返回值, 该水平代表的实际数值
% x1 和 x2 分别为最低水平 (-gama) 和最高水平 (gama) 代表的实际数值
function y=transform(yz,x,x1,x2)
switch yz
case 2
gama=1.414;
case 3
gama=1.682;
case 4
gama=2;
otherwise
disp('您输入了非法的因子个数, 它只能取 2,3 或 4')
end
y=((x2-x1)*x+gama*(x1+x2))/2/gama;
%绘制等高线
clear;close;
xa=-1.414:1:1.414;ya=xa;
[x,y]=meshgrid(xa,ya);
z= 8.5104+0.1127*x1+0.5039*x2+0.1413*x1*x2-0.4588*x2*x3
-0.3462*x1.^2+0.3396 *x2.^2-0.1464* x3.^2;
mesh(x,y,z);

```

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的指导下独立完成的研究成果。文中依法引用他人的成果，均以做出明确的标注或得到许可。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它学位申请的论文获成果。

本人如违反上述声明，愿意承担由此引发的一切责任和后果。

论文作者签名：王丽丽

日期：2006 年 6 月 15 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获与该论文直接相关的学术论文获成果时，属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：王丽丽

日期：2006 年 6 月 15 日

导师签名：

王丽丽

日期：2006 年 6 月 15 日