

# 长丝上浆效果快速检测评定系统的研制

## 摘 要

经纱上浆是机织物生产过程中的关键工序，被形象地称为“老虎口”，它赋予经纱承受织机上激烈负荷的能力，即改善经纱的可织性。上浆效果的好坏对织造车间的生产效率有决定性影响。目前用于检测长丝上浆效果的方法和仪器很难实现快速检测，而且其试验结果在很大程度上受到人为因素的影响。鉴于这种情况，本课题研制了一种采用 CCD 摄像技术及图像处理分析法检测长丝上浆效果的快速检测评定方法及系统。

本课题研制的长丝上浆效果快速检测评定系统主要包括以下几部分：织造负荷模拟装置；CCD 图像采集系统；图像处理分析及判别系统。

织造负荷模拟装置是在分析经纱在织机上承受的各种负荷的基础上研制成功的。经纱在上机织造时要受到停经片、综丝和钢筘的反复摩擦，还要经受由于各种机件运动而产生的反复拉伸、曲折及冲击，特别是在开口过程中经纱要受到经纱与经纱之间的反复摩擦。由于经纱与经纱之间的摩擦负荷在经纱所受负荷中占主要地位，因此该织造负荷模拟装置主要模拟了经纱与经纱之间的切向摩擦以及经纱所受的周期性拉伸负荷。通过最优化方法选取了织造负荷模拟装置的最优工作参数。

为了在测试中连续快速地采集经过织造负荷模拟后的上浆长丝的图像，本课题研制的评定系统中应用了 CCD 图像采集技术。本课题研制的 CCD 图像采集系统包括高压静电分丝装置、图像输入设备以及图像显示及存储设备。

为了分析长丝的上浆效果，需要对采集的长丝图像进行处理分析。由于长丝的上浆效果是通过分析长丝的集束性来判断的，所谓集束性就是长丝纱中单丝或者更小单位的丝束的抱合程度，相互分

离的单丝或者丝束数量越大，其集束性越差。本课题研制了一种图像处理分析的方法对长丝的集束性进行评价，即统计经过织造负荷模拟后上浆长丝中相互分离的单丝和丝束的数量。该系统可完成对长丝图像进行滤波处理、二值化处理、雪花噪声的消除以及长丝集束性的分析。通过可靠性试验证明该系统的测试结果同目测法的测试结果基本一致。

通过试验对该长丝上浆效果快速检测评定系统的工作原理及其检测结果进行了验证，其检测结果同实际情况具有很好的相关性，该长丝上浆效果快速检测评定系统能够较好地评价长丝的上浆效果。

**关键词：**

长丝，经纱上浆，上浆效果，集束性，织造负荷模拟，切向摩擦，快速检测，CCD，图像处理分析

# **Development of a New Method to Quickly Test and Evaluate the Sizing Effect of Filament**

## **ABSTRACT**

Sizing is the key procedure in weaving of textile industry. There is a saying that good sized is half woven. The warp yarn is endowed with the ability of abrasion-proof through sizing. The sizing effect determines the weaving efficiency of weaving workshop. So the quick testers and methods to evaluate the sizing effect of warp yarn are needed. At present, the testers and methods to test the sizing effect of filament are not appropriate. The disadvantages are that the testing results are influenced by the experiment, and that the testing is taking time. Due to this reason, this dissertation introduces a new testing method of evaluating the sizing effect on zero-twist multifilament yarns using laboratory techniques, Viz. from the image processing and analyzing, we get the sizing effect of zero-twist multifilament yarns.

The quick testers and methods which introduced by this dissertation includes a new weaving simulation set, a CCD photo system and an image processing and analyzing software.

Based on analyzing the force of warp yarn receives on the weaving machine, we developed the new weaving simulation set. On the weaving machine, the warps are abraded by the yarn rider, frame, reed and warp. Furthermore, the warp yarn also endues the drawing, tortuosity and impulsive force applied by the weaving machine. The most severe abrasion is the abrasion between warp and warp. So the new weaving simulation set mostly simulates the tangent direction friction that produced by the friction of filaments to filaments and the drawing, tortuosity and impulsive force. The experiment parameters are chosen by the parameter optimization.

The CCD photo system is used to photograph the filament yarn which has endured the load of weaving inflicted by the new weaving load simulation set and display, store the image of filament. Then the image is processed and analyzed by the image processing software.

The image processing software is based upon Microsoft Visual Basic 6.0 which

processes and analyzes the image photographed by the CCD camera. The software analyzes the bundling which is most important for the filament weaving ability. The software includes median filter, thresholding, removing the noises in images and the module of analyzing the bundling of the sized filament yarn endured the load of weaving inflicted by the new weaving load simulation set. From the contradistinctive experiment of eyeballing and the software of this dissertation introduced, we came to the conclusion that the software's result is authentic.

This new method to quickly test and evaluate the sizing effect filament yarn is validated by the experiment. It can continuously and quickly test the sizing effect and the result indicates that this method can evaluate the sizing effect of filament well.

**Key words:**

Filament, Sizing, sizing effect, Bundling, Weaving simulation, Tangent direction friction, Quick testing and evaluating, CCD photograph system, Image processing and analyzing

## 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：*张恩杰*

日期： 04 年 1 月 16 日

## 东华大学学位论文版权使用授权书

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

保密 ，在 \_\_\_\_ 年解密后适用本版权书。

本学位论文属于

不保密 。

学位论文作者签名：张恩奎

日期：04年1月16日

指导教师签名：郭建生

日期：04年1月16日

## 第一章 前言

### 1.1 浆纱效果检测的意义

经纱上浆是机织物生产过程中的关键工序，被形象地称为“老虎口”<sup>[1]</sup>，它赋予经纱承受织机上激烈负荷的能力，即改善经纱的可织性。上浆效果的好坏对织布车间的生产效率有决定性影响，人们常说，“上浆上得好等于织布已大功告成了一半”，“浆纱一分钟，织机一个班”<sup>[2]</sup>。对于现代化的高速织机来说，上浆效果的好坏对于能否发挥织机的效能更是至关重要。若上浆没达到预期效果，将会降低织机效率，甚至造成布机无法正常织造，导致重大经济损失。

许多研究表明，38%的断头是由于浆纱的失败而造成的<sup>[3]</sup>，浆纱效果影响织造时的经纱断头，进而影响织机效率。实际证明，处理经纱断头是处理纬纱断头所需时间的2.2倍<sup>[4]</sup>，可见浆纱工序在整个织造过程中对提高织造效率的重要地位。好的浆纱效果是提高织机生产效率和产品质量的可靠保证。随着无梭织机在纺织生产中的广泛应用，再加上织机的织造速度的大大提高，特别是细号、高密的中、高档面料的开发，所有这一切都对浆纱工序提出了更为苛刻的要求。而且浆纱工程又是个技术密集型的工艺过程，受到很多因素，如浆料配方、纱线性能及浆纱工艺参数等的综合影响，若这些因素相互没有配合好，就会造成上浆效果不佳。

鉴于浆纱工序在织造过程中的重要作用，对上浆效果的检测，特别是快速检测评定方法及仪器在浆纱效果检测中的应用就显的尤为重要了，主要体现在以下几个方面：

由于纺织工业中的激烈竞争，对织物的规格质量和要求越来越高，特别是近几年来织物的质量标准同织造过程中生产力的提高、生产成本的优化、织机停台时间的缩短相一致。从经济角度看，缩短织机的停台时间更是提高织造效率的关键。考虑到织机效率和布面质量，经纱断头的频率是关键因素。前面已提到，38%的断头是由于浆纱的失败而造成的，准确地判断浆纱工序对提高

经纱可织性的效果就具有举足轻重的作用了，这就需要有评价浆纱效果的检测系统来评判浆纱工序的浆纱效果<sup>[3]</sup>。

随着我国经济的快速发展和人民生活水平的快速提高，我国人民对衣着和纺织品的要求也越来越高。已从趋同化、模仿性转入个性化、时尚化、多彩化。因此目前纺织市场对纺织面料品种的需求远远大于过去对纺织品面料品种的需求，因此为了满足市场需求，纺织企业将要不断地开发新面料产品，而新面料产品的开发将会对浆纱工艺提出新的要求。新面料品种的经纱上浆将会采用新的浆料品种和新的上浆工艺，而判断新的浆料品种和新的上浆工艺对织造过程的影响离不开用来评价浆纱工序上浆效果的快速检测。如果浆纱工序的上浆效果对织造来说并不理想，而在上机织造过程中才发现就为时已晚，这将对纺织企业造成很大的损失，既有用于织造的纱线的损失，又有新产品的开发时间的损失。这对当今纺织企业对市场的快速反应是很不利的。

在实际生产中往往会经常出现以下几种现实情况：企业在市场上购买纤维及纱线原料时，往往优先从价格出发，较少考虑原料的性能。因此织造车间里的同一产品的经纱往往会使用不同批次的纱线，而这一批与另外一批纱线之间的纱线性能，特别是对上浆很重要的纱线的粘附性能和润湿性能，很可能有着很大的不同，尽管纤维种类是相同的。而浆纱工序的工作人员却并不知道，因此也就无法采取相应的措施。这种“盲目”上浆的结果往往导致浆纱效果因不同批次的经纱而产生严重恶化的情况，这也就直接导致织造车间的布机效率大幅下降<sup>[4]</sup>。

鉴于上面的原因，为了减少或完全消除原料变化时带来的负面影响，在对不同批次的经纱制定上浆工艺时不再“盲目”，企业迫切需要一种快速的检测方法，能在很短的时间里对浆纱工序的浆纱效果做出预测，某种原料需要什么样的浆料配方及上浆率才能达到织造对浆纱效果的要求。这种试验必须能在实际上浆前及时进行，以便能及时确定变化的程度和如何改变上浆条件，确保

上浆效果满足要求。也就是说，能快速预测上浆效果，检验浆纱的可织性。

通过以上分析可知，经纱上浆在织造过程中具有举足轻重的作用，因此浆纱效果的检测也就显得十分重要了，而且通过严格的质量控制可以使上浆工艺由粗放型向集约型过渡。目前，中国纺织行业与世界先进水平的差距很大程度上就在于技术上的差距，这些技术上的差距既包括生产技术上的差距，又包括检测技术上的差距<sup>[6]</sup>。由于检测技术落后，在生产和产品质量管理与控制上，有很多都是经验性的，粗放型的，浆纱效果的检测也不例外。经纱上浆效果的快速检测评定对提高织布车间的生产效率、加快对市场的反应速度具有良好的促进作用。浆纱效果的检测离不开检测仪器及方法，因此开发研制用于浆纱效果检测的方法及仪器就很有意义，特别是浆纱效果的快速检测评定系统。

## 1.2 传统浆纱效果检测的方法和指标

由于影响上浆效果的因素的复杂性，至今还没有十分完善的用于衡量浆纱工序上浆效果的指标和方法，因此研究较为合理的用于客观评价浆纱效果的指标和方法仍是当前国内外浆纱领域研究的重要课题。

目前浆纱工序用于衡量经纱上浆效果的指标包括有上浆率、回潮率、伸长率、增强率、减伸率、增磨率、浸透率、被覆率、浆膜完整率以及短纤纱的毛羽降低率和长丝纱的集束性等指标<sup>[6]</sup>。下面简单介绍这几种检测指标。

伸长率：纱线在浆纱机上被拉伸所增加的长度与原纱长度之比的百分率称为浆纱的伸长率。用于测定浆纱伸长率的方法有两种，一种是用伸长率测定仪在浆纱机运转时实测，在浆纱机运转过程中，这种仪器可以随时测定方便易行，但是由于此种测定仪器机构上的原因，其测定结果不够精确。另一种方法就是计算法，浆纱机每浆完一个经轴，在了机时根据实际长度进行计算，此时浆纱和原纱均以实际长度

计算，

而不是以重量折合长度计算。

浆纱增强率：上浆后单根浆纱断裂强力和原纱断裂强力之差与原纱断裂强力之比的百分率称为浆纱增强率  $Z$ 。

$$Z = (P_j - P_0) / P_0 \times 100 \%$$

式中： $P_j$ ——浆纱断裂强力 (cN)

$P_0$ ——原纱断裂强力 (cN)

浆纱减伸率：浆纱的减伸率是以断裂伸长率的变化来衡量的。上浆后纱线断裂伸长率的降低值与原纱断裂伸长率之比的百分率称为减伸率  $J_s$ 。

$$J_s = (\varepsilon_0 - \varepsilon_1) / \varepsilon_0 \times 100 \%$$

式中： $\varepsilon_0$ ——原纱断裂伸长率

$\varepsilon_1$ ——浆纱断裂伸长率

浆纱减伸率越小越好，一般不易超过 25%。

浆纱增磨率：浆纱摩擦至断裂的次数比原纱增加的次数与原纱摩擦至断裂的次数之比的百分率称之为增磨率  $m$ 。

$$m = (m_j - m_0) / m_0 \times 100 \%$$

式中： $m_j$ ——浆纱磨断的次数

$m_0$ ——原纱磨断的次数

浆纱增磨率常用于短纤维，而不作为用于长丝纱的浆纱效果检测的指标。

浆纱毛羽降低率：100cm 纱线内单侧长度长达 3mm 的毛羽根数称为毛羽指数。浆纱毛羽指数的降低数与原纱毛羽指数之比的百分率称为浆纱毛羽降低率  $d$ 。

$$d = (n_0 - n_j) / n_0 \times 100 \%$$

式中： $n_0$ ——100cm 原纱内单侧长度长达 3mm 的毛羽根数

$n_j$ ——100cm 浆纱内单侧长度长达 3mm 的毛羽根数

毛羽降低率是仅适用于短纤维纱的浆纱效果检测指标。

浆纱浸透率、被覆率、浆膜完整率：浆液吸附在浆纱上分为两个

部分，一部分浸透到纱线的内部，一部分被覆在纱线的表面形成浆膜。浸透的浆液粘接纤维使其抱合力增加，并固牢浆膜，对长丝来说，还增加了单丝间的集束性。因此，以增强和集束为主的纱线，上浆应以浸透为主，但浸透过多时，浆纱弹性损失过大，并不利于织造；以增加耐磨性为主的纱线，上浆应以被覆为主，但浆膜过厚时，浆纱手感粗糙，织造时落浆过多，同样不利于织造。

所谓集束性就是长丝纱中单丝之间的抱合程度，集束性是一个用于评价长丝上浆效果的综合性指标。

以上介绍了多种评价浆纱效果的指标，但目前浆纱车间常用的检测指标一般只有上浆率、回潮率、伸长率、增强率和用于短纤维纱的毛羽降低率和适用于长丝的集束性。

但随着对浆纱工序研究的深入，对上浆工序的作用有了更进一步的认识。过去认为经纱断头主要是由于经纱的强力不够造成的，因此认为浆纱的主要作用就是增强、保伸、减磨。在纺织厂的生产实际中，往往也以浆纱的增强率与减伸率作为浆纱上浆效果的主要量化指标。但在棉纺织行业中的许多实际生产情况表明，这两个浆纱效果指标并不能完全反映织造生产的实际情况，这是由于经纱在织机上所承受的最大张力一般远低于经纱的断裂强度值（约在20%以下）；经纱在织机上的最大伸长率也远低于经纱的断裂伸长（6~12%）<sup>[7]</sup>。特别是在长丝的实际生产中，长丝的强力已经足够大，增强率和减伸率这两个上浆指标不能够准确的反映经纱上浆对降低断头率的作用。

随着更进一步的研究进行，有许多学者利用浆纱的耐磨性作为评价浆纱效果的最为主要的指标。1999年在美国AATCC（美国纺织化学家和染色家协会）召开的上浆专题研讨会上也专题研讨了《纤维与浆料间的粘附性的判别问题》，他们也认为：经纱上浆的主要目的应是提高浆纱的耐磨性。周永元教授在《纺织经纱上浆与浆料讲座》中也指出：浆纱增强率和减伸率两个指标与织造时的经纱断头率并没有直接的相关性<sup>[1]</sup>。鉴于以上对浆纱作用的认识上的进步，浆纱效果检测的手段和方法也有了很大的改进，从检测浆纱的增强率和减伸率到目前主

要检测浆纱的耐磨性为主，增强率和减伸率为辅。

为了对浆纱效果指标的耐磨性进行检测，就要研制开发合理的耐磨仪器，随着对织造过程中经纱承受负荷的研究的深入和浆纱耐磨性指标检测内容的发展，出现了很多种用于检测浆纱耐磨性的耐磨仪器：比如 LEY-2 型纱线耐磨仪、Y731 型抱合力仪、LEY-20 型电脑纱线耐磨仪、Zweigle 纱线耐磨仪、Shirley SDL027 耐磨仪、Reutilingen 耐磨仪等，国内浆纱耐磨仪以 Y731 型抱合力仪的应用最广<sup>[8]</sup>。这些仪器大部分的原理是通过摩擦浆纱，然后记录磨断次数，通过对比磨断次数进行浆纱效果优劣的判别。

但是浆纱的耐磨性有时也不能准确地衡量浆纱对提高织造效果的作用。在实际生产中发现，笔者在与本课题的相关研究过程中也发现，有的经纱（尤其是合纤纱及其混纺纱）虽然浆纱在耐磨仪上的耐磨次数很多，但是纱线的起球已经很严重，在实际生产过程中这种情况的织造效果并不好，主要是这些毛羽以及绒球在织造过程中会同相邻的经纱之间相互纠缠而引起断头，所以用单纯的耐磨性或者增磨率并不能客观地评价上浆效果，特别是浆纱工序对提高织造效率的贡献。因此研究更为符合实际情况的浆纱效果的衡量指标和方法就很有必要。

过去对浆纱毛羽值的检测常常是检测在经纱上浆前后的毛羽降低率，但随着对浆纱作用的进一步深入研究发现，浆纱毛羽值的降低率并不能直接反映浆纱在织造过程中由于承受外加负荷造成的毛羽增加情况。同样的毛羽降低率，但由于浆料的性能不同及上浆条件的不同，浆纱在上机织造过程中的织造性能也就不尽相同，因此毛羽降低率不能反映经纱的织造性能，这就要研制开发新型的检测指标及方法。德国邓肯多夫纺织技术及加工工程研究所（ITV）研制的上浆效果快速检测评定系统的新型检测方法就是检测经过织造负荷模拟后的毛羽增加率，也就是织造过程中的毛羽再生情况<sup>[9]</sup>。其工艺路线如图 1-1 所示：

这种方法通过检测织造负荷模拟前后的毛羽增加率来判断浆纱效果优劣。通过织造负荷模拟前后的毛羽增加率来判断浆纱效果比用浆纱前后的毛羽降低率来判断浆纱效果具有更高的可信度，因为织造模

拟后的毛羽增加率比毛羽降低率同断头率具有更加直接的相关性。

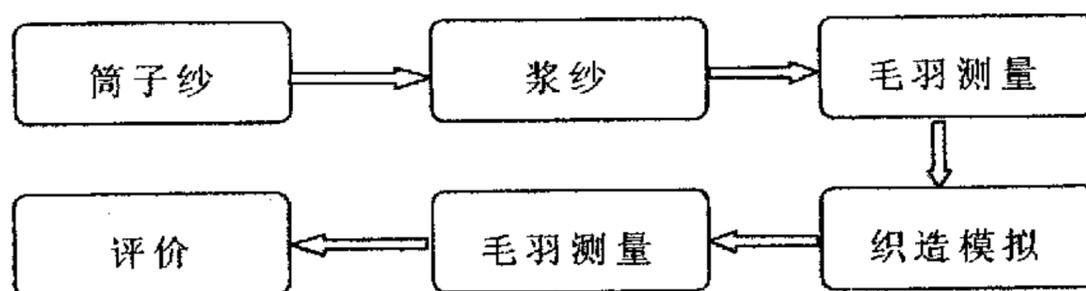


图 1-1 短纤纱浆纱效果快速检测评定系统流程图

浆纱的耐磨性和短纤纱的再生毛羽以及长丝纱的集束性的检测基本上可反映织造过程中浆纱的可织性，但是与浆纱在织机上的实际织造情况还有一定的差距。为了进一步加强上浆效果检测的可靠性，使检测结果与实际情况具有更高的相关性，东华大学浆纱检测中心在国外浆纱检测方法的基础上开发研制了浆纱缠结倾向测试试验机。它完全实际模拟了织造过程，测试条件更接近实际情况，所得到的测试结果也与实际情况具有更高的相关性。其原理是一定根数的浆纱在试验机上按一定的设定条件进行无纬试织，达到一定的经纱开口次数后停机，经纱与经纱之间在梭口区由于上浆效果的不同而出现不同程度的经纱缠结。然后开动行走测力装置，测力传感器将会测出将经纱缠结分开所需的分离力，所测的分离力就是衡量上浆效果的一个综合指标。

### 1.3 目前国内外检测长丝上浆效果的方法及研制新型检测方法的意义

由于目前化纤长丝织物在整个织物品种中占据了很大一部分，而且由于化纤长丝纱的结构性能特点同短纤纱不同，到目前为止用于检测长丝纱上浆效果的方法和仪器相当缺乏。因此研究新型的适用于长丝上浆效果检测的方法及仪器具有很重要的意义。

连续长丝可以不经过上浆，而是经过特殊的处理便可作为经纱上机织造，比如通过加捻、揉合等处理。长丝经过这样的处理，单丝之间会产生一种粘合力，这种粘合力把单丝相互粘连，可提高长丝的可织性。但是，如果对长丝进行上浆，长丝纱的可织性可以得到保证，长丝的表面物理特性也不致被破坏。至于选用哪种形式的处理，在很大

程度上取决于所织织物的特点和品质。对于要求具有手感松脆效果的织物来说，采用加捻处理较好。长丝若用揉合处理，织成的织物光亮效果不好。目前中高档的长丝织物要求手感丰满柔软，这种织物采用的是具有天然特性的多组份长丝作经纱。因此，采用上浆工艺来提高长丝纱的可织性是较为理想的方法，所以就需要对长丝纱的上浆效果进行检测。

长丝纱同短纤纱在结构上有很大的不同，它是由连续的多根平行并列的单丝组成的丝束，没有毛羽，一般多为单一品种的单丝，因此长丝的上浆目的同短纤纱有着很大的区别，短纤纱的上浆目的主要就是增加经纱的耐磨性，贴伏毛羽，降低织造过程中的摩擦，而长丝上浆的主要目的是加强丝束中单丝与单丝的抱和性即集束性，使单丝之间互相粘结而抱合成为一根合股长丝纱，在织造过程中能够承受各种织造负荷，提高织造性能，进而提高织造效率<sup>[10]</sup>。

由于长丝的上浆主要目的同短纤纱不同，因此，目前常用的短纤纱上浆效果检测的仪器很难用于长丝上浆效果的检测，比如耐磨仪，毛羽仪等。目前用于长丝上浆效果检测的指标除了上一节讲到的上浆率、回潮率、伸长率、增强率、减伸率、浸透率、被覆率、浆膜完整率等，还有就是针对长丝上浆效果的集束性检测。集束性的评价主要是通过统计经过织造模拟后，长丝纱束中松解后的丝束或者单根长丝的数量。如果上浆长丝纱经过织造负荷模拟后，单纱分解的丝束的数量相对比较少，就表明该上浆长丝的集束性比较好，说明浆纱效果比较好。集束性也可通过抱合力的检测来评价，如下面介绍的第一种长丝上浆检测的方法。

目前用于长丝集束性检测的主要仪器有以下几种：

#### 1. TM 式摩擦试验仪<sup>[10]</sup>

TM 摩擦试验仪的结构如图 1-2 所示。在 TM 式摩擦试验仪上挂上 20 根上浆长丝，并加负荷 100 克，经过 10 次摩擦后，读取被松解了的长丝纱的根数，并在这些纱上加上红色标记，再摩擦 10 次后，读取新增的松解了的长丝纱的根数，也加上红色标记；这样连续进行下去，

每摩擦 10 次记录一次，一直到 10 根上浆长丝全部松解时为止。

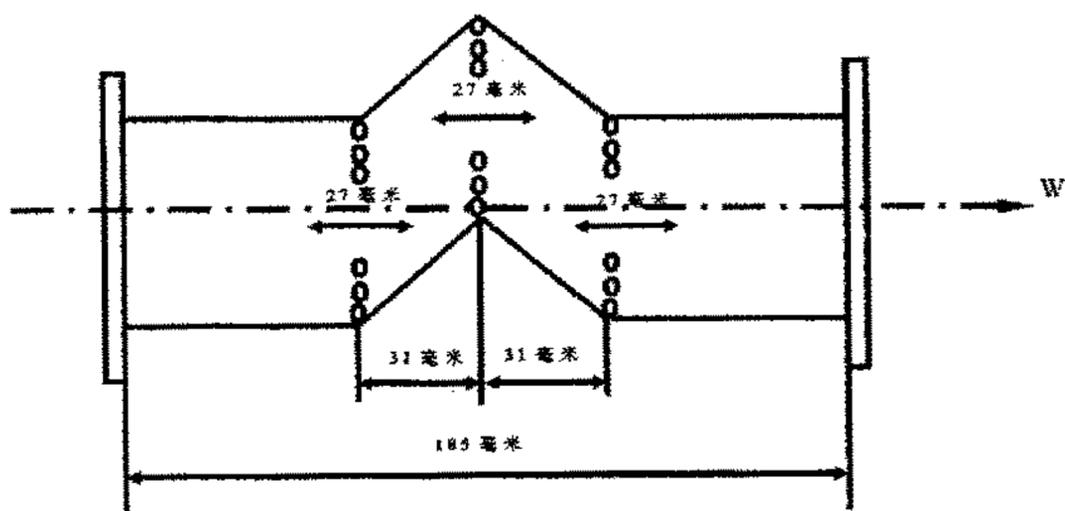


图 1-2 TM 式摩擦试验仪机构示意图

上浆长丝的抱合力按以下公式计算：

$$\text{抱合力} = \frac{\Sigma (\text{每摩擦 10 次新发生松解长丝的根数} \times \text{从开始起的摩擦次数})}{20}$$

20

## 2. Y731 型抱合力机

在 Y731 型抱合力机上摩擦浆丝，直至上浆长丝丝束松解（通过目测），记录摩擦次数，通过对比摩擦次数进行上浆效果的评价，这种方法有很大的主观性。

## 3. 横截面切片观察法

横截面切片观察法的工作原理就是：首先对长丝进行上浆，然后再对上浆长丝进行织造负荷模拟，经过织造负荷模拟后，做长丝横截面切片，然后观察横截面切片，根据横截面中分离丝束的数量来判断集束性。这种观察横截面来统计长丝束发生松解后的丝束的数量在很大程度上受到切片制作过程的影响。

## 4. Manra 检测法<sup>[11]</sup>：

在该检测方法中，首先在仪器上将定长的经过织造负荷模拟的上浆长丝的两端夹持，然后利用一带有传感器的刀片切割该段长丝。当该刀片每切断一根单丝或者已经相互分离的小丝束时就会产生一个脉冲并被传感器检测到。如果长丝纱没有上浆，那么产生的脉冲数将等于长丝纱中单丝的根数。如果长丝纱的上浆效果处于最理想状态，那么

长丝纱中所有的单丝将会由于浆料的原因抱合成一根丝束，那么产生的脉冲数量将为一个。在实际生产中，由于经过织造负荷模拟后上浆长丝不会抱紧成一束，因此检测到的脉冲数量将介于这两者之间，Manra 检测方就是通过切断时的脉冲数量，进而得到长丝纱中相互分离的丝束的数量来评价长丝纱的上浆效果。

上面的四种方法目前常用于上浆长丝的检测，通过分析这四种检测方法可知，每种方法在一定程度上都受到试验人员主观因素的影响，试验结果的重现性比较差，而且这四种长丝上浆效果的检测方法是非连续性检测，效率不高，费时费力，很难实现上浆效果的快速检测，因此开发能够客观评价上浆长丝集束性的快速检测系统就很有实际意义。

#### 1.4 本课题的任务以及解决方案

针对目前长丝上浆效果检测技术存在的问题和技术现状，本课题拟研制开发一套适用于长丝的上浆效果快速检测评定系统。该系统中主要包括新型织造负荷模拟装置，计算机图像采集系统以及长丝图像的计算机处理分析系统等。检测原理就是通过图像法检测经过织造模拟后的上浆长丝的集束性。目前用于评价集束性的指标是统计长丝纱中相互分离的丝束的数量，比如前面介绍的两种评价长丝上浆效果的方法。长丝纱中相互分离的丝束越多，上浆长丝的集束性就越差，从上浆长丝中游离出单丝的概率就越大，因此在织造过程中产生断头的几率也就会增加。本课题拟通过研制的图像采集系统连续拍摄 30m 经过织造模拟后的上浆长丝纱的图像。通过统计分析长丝图像中的分离丝束的平均数量以及其离散程度来评价上浆长丝的集束性。

本课题的主要任务是设计和研制新型的更加合理适用的织造负荷模拟装置，研制适用于本系统的 CCD 图像采集装置以及能够评价长丝集束性的计算机图像分析程序。并对所研制系统的各个组成部分以及整个检测评定系统的原理进行试验验证和评价。

由于本课题是在短纤纱上浆效果检测评定系统的工作原理上开发

研制适用于长丝的上浆效果快速检测评定系统，同短纤纱上浆效果快速检测评定系统一样，所研制的检测系统同样具有精确上浆系统、织造模拟系统、集束性检测系统。长丝上浆效果的快速检测评定系统的工作流程图如下：

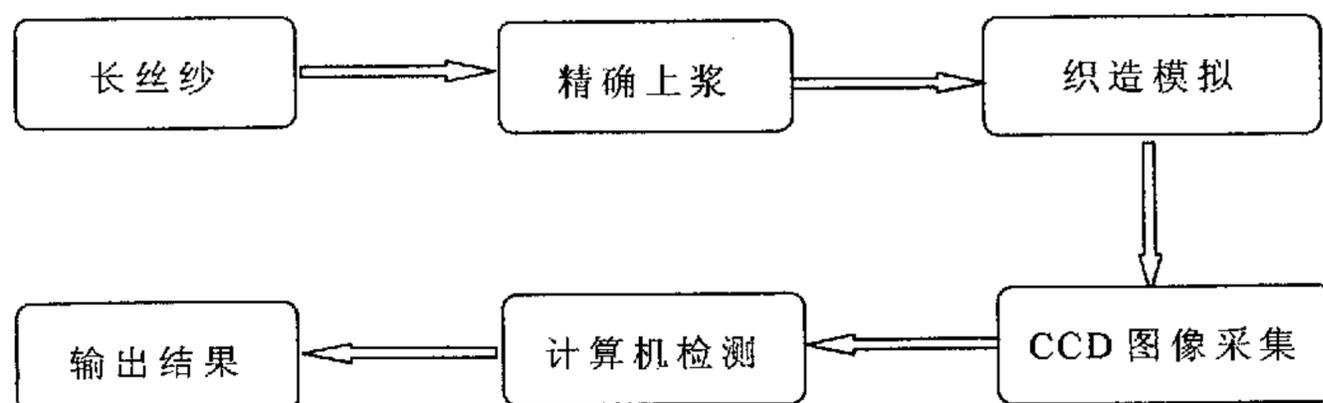


图 1-3 长丝上浆效果快速检测评定系统工作流程图

利用传统的上浆方法是很难对一根单纱按给定值进行定量上浆的，因此本课题应用一种“管道上浆”技术对长丝进行上浆，这种技术可按上浆率需要精确定量施浆。其原理如图 1-4 所示。一根单纱运行通过一根具有特殊形状的微型管道，根据上浆率将所需要的浆液量通过一个精确的计量泵输入到管道元件中。管道的直径与纱线的直径相对应。管道的作用类似于传统上浆技术中浆槽中的压浆装置，起着润湿纱线和均匀浆液分布的作用。浆纱的烘干方式采用热风式，烘干时浆纱很少接触机件，防止了可能带来的上浆率误差。

长丝纱经过精确上浆后，进入织造负荷模拟区。所谓织造负荷模拟就是利用织造负荷模拟装置对上浆长丝模拟施加织造过程中所承受的负荷。织造负荷模拟装置可实现对经纱在织机上所受到的纱线与纱线以及纱线与机件间的摩擦、纱线的曲折和纱线的周期性拉伸等负荷的模拟。由于本课题研制的是用于长丝上浆效果的快速检测评定系统，前面已经介绍的几种织造负荷模拟装置很难适用于本课题的要求。鉴于这种情况，本课题发明研制了一台能够模拟织造过程中对经纱磨损影响最大的经纱与经纱之间的切向摩擦，周期性拉伸和曲折等各种负荷的新型织造负荷模拟装置。该织造负荷模拟装置既可用于长丝的织

造负荷模拟，也可用于短纤纱的织造负荷模拟。该装置已申请国家专利，专利申请号 200320108657.7。

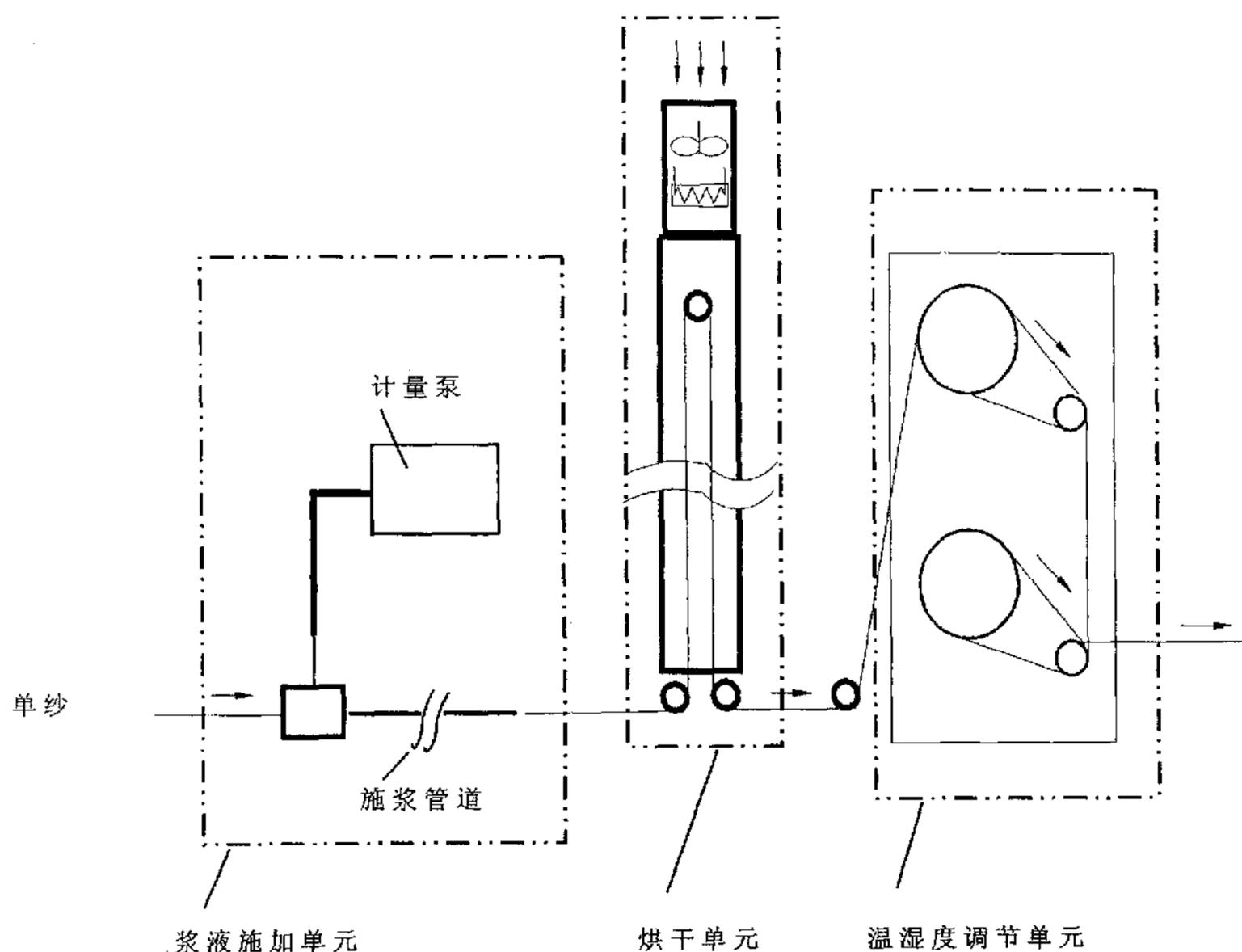


图 1-4 “精确上浆”原理示意图

前面已经介绍，目前用于长丝上浆效果的检测方法在很大程度上受到人为因素的影响，而且不能够实现连续检测，费时费力。出于研究长丝上浆效果快速检测方法的的目的，本课题研究探索在长丝织造模拟后，采用 CCD 摄像技术对连续运动的上浆长丝进行扫描摄像，通过计算机图像处理分析技术对上浆长丝图像进行处理分析，实现对上浆长丝集束性的快速连续检测，消除目前上浆长丝集束性判断方法的缺陷，从而实现可靠、连续、高效的上浆长丝集束性的检测。

随着计算机技术的不断进步和世界科技的不断发展，计算机图像处理技术自二十世纪八十年代后期进入纺织测试领域。其应用领域一直在扩展并使自动检测技术逐步取代纺织测试中的人工检验，从而可

消除枯燥乏味、耗时费力、人员疲劳以及因检验人员的主观性带来的结果不可靠，精确度、重复性差的弊端。使纺织检测技术由简单的单一的检验项目向多参数发展，从性能检验向综合质量评估发展。

目前图像处理分析技术在纺织上的应用主要有以下几种<sup>[12]</sup>：

表 1-1 图像处理分析技术在纺织上的应用

纤维	纱线	织物
纤维取向度测定	纱线细度测定	绸类织物的起绉效果测定
纤维直径测量	纱线均匀度测定	织物疵点检测
棉网均匀度测定	纱线混纺比及混纺不	织物的悬垂性测定
棉纤维成熟度测定	匀测定	织物外观综合评价
鳞片结构分析		非织造布结构性能检测
高分子纤维截面分析		机织物结构性能分析
纤维弯曲性态分析		
纤维异型度测量		

由表 1-1 可知，目前在纺织上图像处理分析技术已经从纺织原料的检测应用到了纺织成品的检测，这主要是由于图像处理分析方法的优势所决定的。图像处理分析技术的优点主要有以下几点<sup>[13]</sup>：

(1) 处理速度快。图像处理分析方法的处理速度主要取决于计算机的性能和算法选取的优劣。由于目前计算机技术的进步，高性能、高速度运行的 CPU 不断问世，目前用于图像处理分析的优秀算法也是不断涌现，为图像处理分析法的快速和广泛应用奠定了基础。

(2) 再现性好。对于一副已经数字化存储在存储载体上的数字图像，实质上是一个以灰度的大小表示的  $M \times N$  的数字矩阵，因此不会因存储、传输或者复制而产生图像质量上的变化，从而准确地保持了图像处理分析结果的再现性。

(3) 精度高。由于目前计算机技术的发展，图像数字化设备的进步，物体图像的数字化精度可以足够高，由于对于计算机来说，不论数组是大是小，也不论每一个象素的位数是多少，处理程序是一样的，

只要改变数字图像的数字数组的几个参数即可。

(4) 灵活性大，处理方便。由于数字图像的本质是一组数据，所以可以利用计算机对它进行任意的处理修饰，方便进行分析。

鉴于长丝上浆效果的检测切入点就是分析长丝的集束性，因此采用图像处理分析技术进行长丝上浆效果的检测可以充分发挥图像分析法的优势，从而实现长丝上浆效果快速可靠的检测。

## 第二章 织造负荷模拟装置的设计与试验分析

### 2.1 织造负荷模拟装置设计的原理分析

本课题的主要任务是研究长丝上浆效果的快速检测与评定的方法及系统，由于该系统需要对上浆长丝进行织造负荷模拟，然后才能进行上浆效果的图像法检测，因此需要合适的织造负荷模拟装置对上浆长丝进行织造负荷模拟。如前文所述，目前用于经纱的织造负荷模拟试验装置国内外已经研制了许许多多，但是所有这些织造负荷模拟装置都很难适用于本课题连续检测的要求。

织造负荷模拟装置就是要模拟经纱在织造过程中所承受的各种负荷，最切合实际的就是采用小型织机进行织造模拟。但是，由于采用类似 Loom Abrasion Resistance Tester<sup>[14]</sup>的小型织机进行织造模拟，既费时又费力，很难进行上浆效果的快速检测与评定。因此就需要研制能够模拟织造过程中长丝所承受的各种负荷的新型织造负荷模拟装置。为了更好地设计织造负荷模拟装置，就需要首先分析一下织造过程中经纱所承受的各种负荷，确定在织造过程中经纱所承受的主要负荷，为研制符合实际情况的织造负荷模拟装置确定各种模拟对象。

经纱在织机上承受的负荷作用主要分为两类：磨损作用和应变作用<sup>[15]</sup>。磨损作用的来源主要有四部分：（1）打纬时经纱受到的钢筘的摩擦磨损；（2）经纱与综眼、停经片、梭子的摩擦磨损；（3）开口时经纱间的摩擦磨损；（4）经纱与分绞棒等的摩擦磨损。应变作用来源于两部分：（1）织机上经纱的正常张力和开口引起的应变；（2）打纬时周期性增加的应变。在织机上织造时，经纱从后梁到织口受到的反复拉伸与弯曲高达几千次，经纱间的摩擦也是高达几千次，经纱与筘齿之间的摩擦有几百次，此外，经纱还要同综眼、走梭板、梭子等进行大量的摩擦<sup>[7]</sup>。而在这些摩擦磨损作用中，纱线与纱线之间的磨损作用最为强烈，主要原因是在开口过程中经纱与经纱之间经受反复的摩擦，对单位长度的纱段来说，这样的作用通常将达几千次，也就是说在开口过程中经纱与经纱之间的摩擦在整个经纱所承受的摩擦磨损

起到了绝对的作用。德国邓肯多夫纺织技术及加工工程研究所 (ITV) 的魏因斯多夫 (Weinsdorfer) 博士研究了经纱在织机上进行织造时所承受的摩擦负荷和经纱起毛及纤维落物情况 (具体方法参见参考文献 [1]), 用以判断在织造过程中经纱承受的何种摩擦负荷占据主要地位。研究表明: 在织造过程中, 开口时经纱与经纱的摩擦作用在整个经纱所承受的机械作用中占据主导地位。因此在研制新型织造模拟装置时就要主要模拟经纱同经纱之间的摩擦作用, 特别是开口过程中经纱与经纱之间的切向摩擦作用。如图 2-1 所示<sup>[6]</sup>, 在开口过程中, 经纱在综框的带动下上下运动, 经纱同经纱之间最主要的摩擦方式是切向摩擦, 所以研制的织造负荷模拟装置就要主要模拟纱线之间的摩擦作用, 而摩擦方式就是纱线与纱线之间的切向摩擦。特别是对于化纤长丝来说, 经纱之间的切向摩擦对其织造性能影响更明显。主要原因

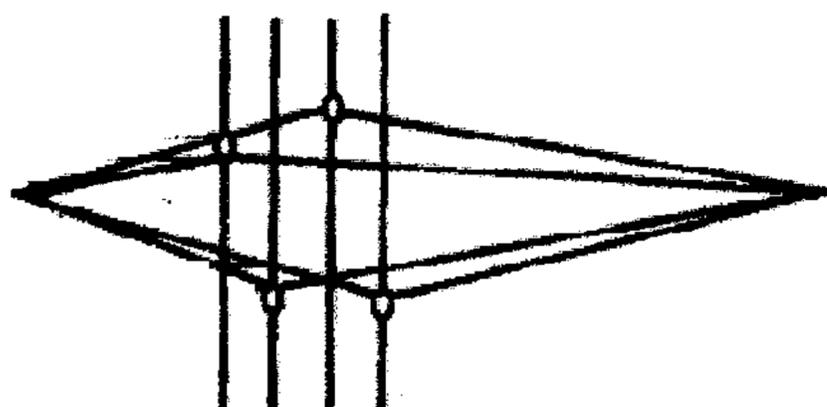


图 2-1 织造过程的开口示意图

是影响化纤长丝织造性能的主要因素就是其集束性<sup>[16]</sup>, 而切向摩擦对集束性影响较大。如果长丝纱的集束性比较差, 切向摩擦就很容易使单根长丝从长丝束中分离出来而引起断裂, 进而导致长丝互相缠结, 引起断头。这在后面的试验中也得到了验证。因此用来进行织造负荷模拟的装置必须实现模拟纱线与纱线之间的切向摩擦。

除了经纱之间的切向摩擦作用, 还有织机机件对经纱的周期性拉伸应变作用, 其次是经纱同织机机件的摩擦磨损作用。鉴于此种情况, 本课题研制的织造模拟装置主要模拟了纱线同纱线之间的切向摩擦磨损, 即开口过程中经纱与经纱之间的切向摩擦作用, 以及纱线承受的周期性拉伸应变。

在织造过程中，特别是开口过程中，经纱承受了反复的拉伸变形，这种拉伸变形随着织机速度的提高而增加，而拉伸应变对浆纱的疲劳影响很大，为了研究拉伸负荷对浆纱的影响，在该课题的研究过程中对此进行了试验分析研究。结果表明：对于短纤维浆纱，经过反复拉伸的浆纱其耐磨性远远低于没有经过反复拉伸的浆纱；对于上浆长丝，经过反复拉伸后，有许多单丝从长丝束中游离出来，这对长丝的上机织造效果会产生很不利的影响。在织造过程中，如果单丝从丝束中游离出来的概率越大，单丝磨断和互相缠结的机会就会越大，就容易引起经纱断头，其织造效率就会越低<sup>[17]</sup>。因此拉伸应变对长丝的影响也是不可忽视的模拟对象。

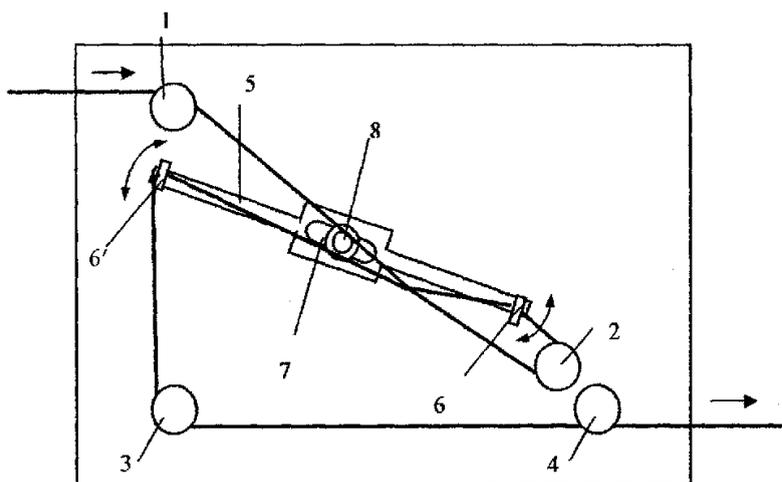
由于经纱在织机上进行织造的过程中，都要承受一定的上机张力，因此本课题研制的织造负荷模拟装置就要对进行织造模拟的浆纱施加一定的初始张力。这也是所有织造负荷模拟装置的必备条件。

根据以上对织造过程中经纱所承受的负荷的分析结果，本课题设计研制了能够合理地模拟织造过程中长丝经纱所承受负荷的织造负荷模拟装置。由于该织造负荷模拟装置是在分析织造过程中经纱受力的基础上设计的，该织造负荷模拟装置也同样适用于短纤维的织造负荷模拟，但是进行短纤维织造负荷模拟后进行的上浆效果检测方法同长丝的上浆效果检测方法不同：短纤维的上浆效果是通过检测纱线的毛羽增加率来判断的，而长丝的上浆效果则是通过检测其集束性（抱合性）来判断的。

## 2.2 织造负荷模拟装置的机械设计

根据上一节分析可知，所设计的织造负荷模拟装置主要应具有如下功能：对纱线施加初始张力，对纱线施加周期性拉伸作用，实现纱线之间的切向摩擦以及牵引纱线的行进。因此该模拟装置主要由四部分组成：张力装置，纱线的周期性拉伸机构，浆纱之间的切向摩擦机构和传动以及导纱机构。

本课题的织造负荷模拟装置示意图如图 2-2 所示。



1, 2, 3, 4—导纱轮 5—摆臂 6、6'—导纱环 7—U型槽 8—摆动轴

图 2-2 新型经纱织造负荷模拟仪示意图

摆臂 5 在传动装置的带动下产生如图 2-2 所示的摆动，长丝在交叉点处产生摩擦，由于相互摩擦的两段纱线在一定的区间内近乎平行，所以突出模拟了长丝与长丝间的切向摩擦负荷。由于两导纱环 6、6' 距摆动轴 8 的轴心距离不相同，所以在相同的摆角下（因两导纱环 6、6' 安装在同一摩擦摆臂 5 上）对应的弧长不同，因此在摩擦摆臂 5 的摆动过程中长丝也受到周期性的拉伸负荷。

张力及张力补偿装置：该装置的主要作用是对进行试验的浆纱试样施加初始张力及在织造模拟过程中对试验纱样进行张力补偿。该装置如图 2-3 所示。由于在周期性拉伸过程中，纱线的张力是不断从小

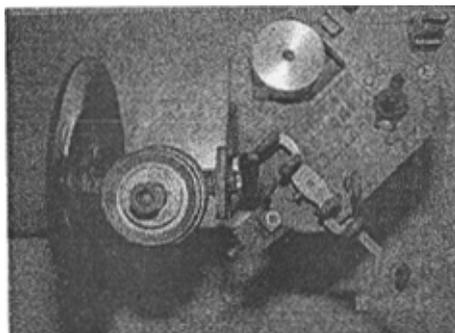


图 2-3 张力及张力补偿装置

到大，再从大到小不停变化的，因此张力的波动范围比较大，如果波动范围过大，纱线在织造负荷模拟阶段容易发生扯断现象<sup>[18]</sup>，鉴于这一点，必须使纱线张力在织造负荷模拟过程中有一定的张力补偿，在纱线的拉伸阶段使纱线的张力不至于过大，在纱线的松弛阶段，张力不至于过小而松弛，而且张力的大小能够调节。

纱线的周期性拉伸机构：如前面所述，经纱在织造过程中要承受多达 5000 次的反复拉伸，对于高速无梭织机，经纱在单位时间内承受反复拉伸的次数将会更多。而且周期性拉伸对无捻长丝在织造过程中的织造性能影响比较大，因此良好的织造负荷模拟装置必须能够切实地模拟经纱在织造过程中承受的反复拉伸。

周期性拉伸机构的工作原理如图 2-4 所示：

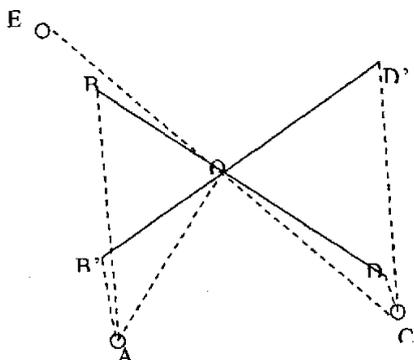


图 2-4 织造模拟区纱线长度原理图

图 2-4 中 A、C、E 分别代表图 2-2 中的导纱轮 3、2、1。虚线代表为浆纱试样。BD 位置和 B'D' 位置为摩擦摆臂摆动到的极限位置。

当摆臂在位置 BD 时，工作区纱线的总长 L 等于：

$$L = AB + BD + CD + CE$$

$$AB = OA^2 + OB^2 - 2 \times OA \times OB \times \cos \angle BOA$$

$$CD = OD^2 + OC^2 - 2 \times OD \times OC \times \cos \angle COD$$

当摆臂在位置 B'D' 时，工作区纱线的总长 L' 等于：

$$L' = AB' + B'D' + CD' + CE$$

$$AB' = OA^2 + OB'^2 - 2 \times OA \times OB' \times \cos \angle B'OA$$

$$CD' = OD'^2 + OC^2 - 2 \times OD' \times OC \times \cos \angle COD'$$

所以拉伸长度等于：

$$\begin{aligned}
 L'-L &= (AB'+B'D'+CD') + CE - (AB+BD+CD) - CE \\
 &= (AB'-AB) + (CD'-CD) \\
 &= (OA^2 + OB'^2 - 2 \times OA \times OB' \times \cos \angle B'OA - OA^2 - OB^2 + 2OA \times OB \times \cos \angle BOA) + (OD'^2 + OC^2 - 2 \times OD' \times OC \times \cos \angle COD' - OD^2 - OC^2 + 2 \times OD \times OC \times \cos \angle COD) \\
 &= 2 \times OA \times OB \times (\cos \angle BOA - \cos \angle B'OA) + 2 \times OD \times OC \times (\cos \angle COD - \cos \angle COD')
 \end{aligned}$$

$$OA = 8.7, OB = 6, OD = 8, OC = 9.7$$

$$\cos \angle BOA - \cos \angle B'OA = 0.97$$

$$\cos \angle COD - \cos \angle COD' = 0.67$$

$$\text{所以 } L'-L = -2 \times 8.7 \times 6 \times 0.97 + 2 \times 8 \times 9.7 \times 0.67 = 2.7$$

由以上计算可知，纱线在位置 BD 和 B'D' 位置时有长度差，由于摆臂的速度远远大于纱线行进的速度，因此摆臂在摆动过程中可以对纱线施加周期性的拉伸。拉伸作用最明显的是在织造模拟过程中，由于摆臂的高速摆动，而纱线的运动速度比较小，因此当摆臂瞬间从位置 BD 摆动到 B'D' 时，纱线在瞬间受到了一定程度的拉伸。

浆纱之间的切向摩擦机构：如图 2-2 所示，摆臂在摆动过程中，纱线的接触为切向接触，因此这种接触方式实现了纱线之间的切向摩擦。这也是该织造模拟装置同目前国内外织造模拟装置和耐磨装置的区别之处。

传动及导纱结构：该织造负荷模拟装置的传动机构采用的是曲柄摇杆机构，通过该机构将电动机的圆周运动转换为摆臂的摆动。如图 2-5 所示，电动机带动轮 A 做圆周运动，此时的轮 A 相当于曲柄摇杆机构中作圆周运动的曲柄，通过连杆 B 将圆周运动转换为摇杆 C 的摆动。摇杆 C 的摆动通过轴 D 使安装在其上的摆臂产生摆动。

该机构中电动机转速采用的是变频调速，因此摆臂的摆动频率可以通过变频器来调节改变。

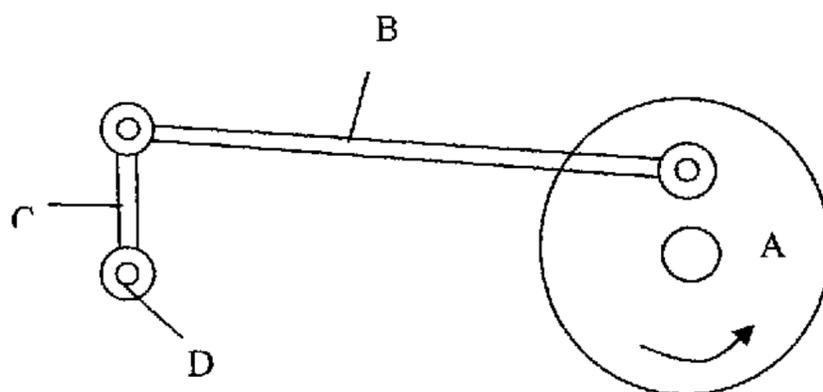


图 2-5 传动结构示意图

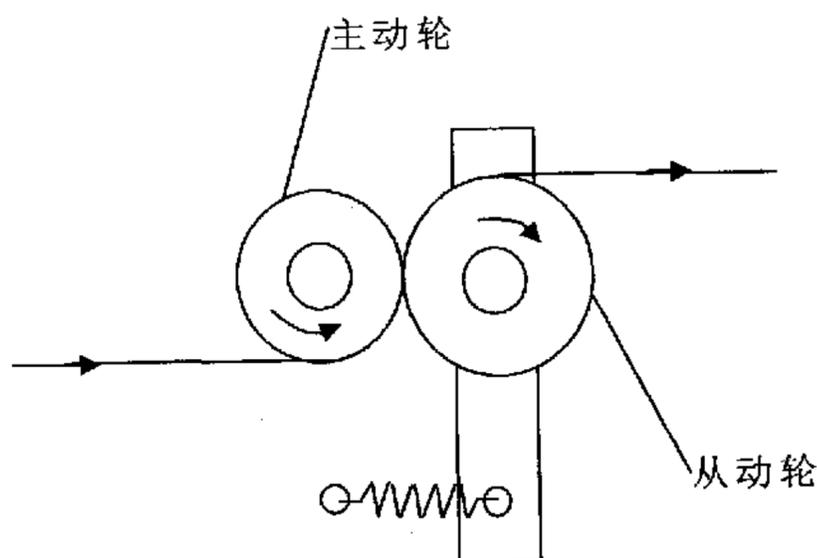


图 2-6 纱线的牵引拖动机构

纱线牵引机构采用摩擦牵引，主动轮通过变频调速电动机带动，从动轮通过弹簧和主动轮接触产生摩擦牵引纱线前进。纱线的牵引速度通过变频器来调节。牵引方式如图 2-6 所示。

经过试验验证，该织造负荷模拟装置能够较好地模拟织造过程中经纱所承受的负荷，包括周期性拉伸和曲折，特别是经纱线之间的切向摩擦。

## 2.3 织造负荷模拟装置试验参数的优化选择

### 2.3.1 优化设计方案的拟定

影响该织造负荷模拟试验装置试验结果的参数有：纱线进入耐磨机构的初始张力、摆臂的摆动频率、摆臂的摆动角度以及纱线的运动

速度。这几个参数之间有的具有交互作用，有的不具有交互作用，为了使织造负荷模拟装置的工作性能最优，就必须对其试验参数进行最优化设计。

优化设计是近年来发展起来的一门新的学科，优化设计为工程设计提供了一种重要的科学设计方法，使得在解决复杂设计问题时，能从众多的设计方案中寻找出尽可能完善或者最合适的设计方案。在这些最优设计问题中，首先要寻求工艺的最优区域，即约束条件，其次在这个最优区域上建立数学模型，然后通过最优化方法，求解数学模型，得出最优化设计结果<sup>[19]</sup>。

在还不完全了解生产过程的物理、化学因素的影响情况下，采用回归分析的方法来解决生产过程的工艺最优化问题，是一个比较有效的方法。这种方法的基本思想类似控制论中的“黑箱”理论，即它的输入和输出都是可以知道的，但它的内部结构还不清楚。其中输入的一些因子（设计变量） $Z_1, Z_2, \dots, Z_{p-1}, Z_p$ ，输出的是一个或多个需要最优化的工艺指标  $Y_1, Y_2, \dots, Y_p$ 。虽然我们不知道“黑箱”的内部结构，但指标  $Y$  总可以表示为因子  $Z_1, Z_2, \dots, Z_{p-1}, Z_p$  的一个函数，即

$$Y = f(Z_1, Z_2, \dots, Z_{p-1}, Z_p),$$

并且可以用一个多项式

$$Y = \beta_0 + \sum_j \beta_j Z_j + \sum_{i < j} \beta_{i,j} Z_{i,j} + \sum_j \beta_{j,j} Z_j^2 + \dots$$

来表达这个函数，这个函数就是建立的设计变量同最优目标之间的数学模型。以因子（设计变量） $Z_1, Z_2, \dots, Z_{p-1}, Z_p$  为坐标的空间称为因子空间，寻找最优化工艺，也就是要在因子空间中寻找使  $Y$  为最大值，或者最小值的参数点。

如何在因子空间中选择适当的试验点，以便能以最快的速度建立一个有效的回归模型，从而解决最优化问题呢？这就是采用回归设计与分析的方法。

本课题采用二次通用旋转组合设计安排试验，然后根据试验结果，

采用最优化方法搜索参数的最优点。这种回归设计根据试验目的和数据分析来选择试验点，与古典回归分析相比，不仅使得每个试验点上获得的数据含有最多的信息，试验次数减少，计算简便，消除了回归系数间的相关性的因素，而且也可克服了回归正交设计中，二次回归的预测值  $Y$  的方差强烈地依赖于试验点在因子空间中的位置，由于误差的干扰，带来的不能根据预测值直接寻找最优化区域的缺点。同时二次回归通用旋转组合设计预测值的方差  $D(\hat{Y})$  在区间  $0 < \rho < 1$  内基本保持不变，因此预测比正交设计方便，更具有实用意义。而且在该试验装置的参数选取试验中，由于各个因子的水平不是一定的，如果选用回归正交试验设计有很大的局限性，因此，考虑到诸多方面的因素，该织造负荷模拟装置的参数优化选取采用二次通用旋转组合试验。

如前所述，本课题研制的织造负荷模拟装置主要模拟织造过程中经纱所承受的各种负荷，因此该织造负荷模拟装置既可用于上浆长丝的织造负荷模拟，也可以用于短纤纱的织造负荷模拟，鉴于目前用于检测毛羽的毛羽仪的相对准确性以及参考东华大学浆纱检测中心的再生毛羽测试方法，该织造负荷模拟装置参数的优化设计试验采用对纯棉纱进行织造负荷模拟试验，通过测量毛羽增加量来对试验参数进行优化设计。

### 一. 设计变量：

影响该经纱织造负荷模拟装置的参数包括有：纱线进入耐磨机构的初始张力、摆臂的摆动频率、摆臂的摆动角以及纱线的运动速度。考虑到为了使后续的 CCD 摄像机能拍摄到清晰图像的因素，该织造负荷模拟装置的纱线运动速度是一定的。因此设计变量就是纱线进入耐磨机构的初始张力  $Z_1$ 、摆臂的摆动频率  $Z_2$ 、摆臂的摆动角  $Z_3$  三个变量。

### 二. 目标函数：

织造模拟过程中，为了在有限的时间与摩擦区间内实现织造负荷的模拟，必须使模拟负荷尽量地大，也就是使浆纱经过织造负荷模拟后的毛羽增加率最大，长丝纱中的单丝之间的集束性下降最大。由于该织造负荷模拟装置的最优化设计是采用短纤维纱线为试样的，而短

纤纱的可织性主要是通过毛羽来进行评价的，因此其属于单目标函数，目标函数为  $f(z) = f(z_1, z_2, z_3)$ 。

### 三. 约束条件:

(1) 纱线进入耐磨机构的初始张力范围的确定:

由于该耐磨机构是用于织造模拟，因此纱线进入耐磨机构的初加张力就应该在上机张力的基础上进行，初始张力取  $10\text{cN} \sim 20\text{cN}$ 。

(2) 摆臂的摆动频率范围的确定:

摆臂的摆动频率就是单位时间内纱线之间的摩擦次数，由于该织造模拟装置的预期目标就是最大程度地对纱线进行摩擦，因此摆动频率初步认定是越大越好，但考虑到机械结构的制约以及电动机和变频器的使用范围，确定摆臂的摆动频率范围为  $200\text{次}/\text{min} \sim 400\text{次}/\text{min}$ 。

(3) 摆臂的摆动角度范围的确定

摆臂的摆动角度范围完全取决于织造负荷模拟装置的机构设计，在进行了初步织造负荷模拟试验基础上，选定其范围为： $45^\circ \sim 90^\circ$ 。

## 2.3.2 优化试验方案的设计

### 2.3.2.1 因子水平编码表

摆臂摆动角度  $Z_1$ ，纱线进入耐磨机构的初始张力  $Z_2$ ，摆臂的摆动频率  $Z_3$ ，各因子的零水平和变化区间计算如下:

1. 摆臂摆动角度  $Z_1$  的零水平:

$$Z_{01} = \frac{Z_{11} + Z_{21}}{2} = \frac{45 + 90}{2} = 67.5$$

2. 纱线进入耐磨机构的初始张力  $Z_2$  的零水平:

$$Z_{02} = \frac{Z_{12} + Z_{22}}{2} = \frac{10 + 20}{2} = 15$$

3. 摆臂的摆动频率  $Z_3$  的零水平:

$$Z_{03} = \frac{Z_{13} + Z_{23}}{2} = \frac{200 + 400}{2} = 300$$

各因子变化区间:

1. 摆臂摆动角度  $Z_1$  的变化区间

$$\Delta_1 = \frac{Z_{21} - Z_{01}}{\gamma} = \frac{90 - 67.5}{1.682} = 13.3769$$

2. 纱线进入耐磨机构的初加张力  $Z_2$  的变化区间

$$\Delta_2 = \frac{Z_{22} - Z_{02}}{\gamma} = \frac{20 - 15}{1.682} = 2.9726$$

3. 摆臂的摆动频率  $Z_3$  的变化区间

$$\Delta_3 = \frac{Z_{23} - Z_{03}}{\gamma} = \frac{400 - 300}{1.682} = 59.4530$$

式中  $\gamma$  称为三因子二次通用旋转组合设计的星号臂 ( $\gamma = 1.682$ ), 于是就得到因子水平编码表 2-1

表 2-1 各因子水平编码表

水平	因子		
	摆角度数 $Z_1$	初加张力 $Z_2$	摆动频率 $Z_3$
$+\gamma$	90	20	400
1	80.8769	17.9727	359.453
0	67.5	15	300
-1	54.1231	12.0273	240.547
$-\gamma$	45	10	200

### 2.3.2.2 三个因子的二次通用旋转组合试验的设计安排

根据试验计划需进行  $N = m_c + m_v + m_o$  次试验。

其中:  $m_c$ — $2^p$  型全因子试验或其他部分实施法的试验次数,  $m_c = 2^p$ ,

$p$  为因子数。

$m_v$ —一星号点的试验次数,  $m_v = 2p$ 。

$m_o$ —中心点的试验次数。

在三个因子的二次通用旋转组合设计中  $p = 3$ ,  $m_c = 2^p = 8$ ,  $m_v = 2p = 6$ ,  $m_o = 6$ ,

因此总的试验次数  $N = m_c + m_v + m_o = 8 + 6 + 6 = 20$

该试验设计的结构矩阵如下表 2-2 所示：

表 2-2 三因子二次通用旋转组合设计结构矩阵表

试验 序号	$Z_0$	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_1 Z_2$	$Z_1 Z_3$	$Z_2 Z_3$	$Z_1^2$	$Z_2^2$	$Z_3^2$
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

### 2.3.2.3 统计分析建立数学模型及求解数学模型

该耐磨装置优化的指标  $\hat{Y}$  为 1m 浆纱大于 2mm 毛羽的数量，其试验测试结果见表 2-3。

表 2-3 浆纱织造负荷模拟后毛羽检测结果

试验方案	毛羽数 (根/m)						
1	5.36	6	2.26	11	5.56	16	6.0
2	3.98	7	2.64	12	4.22	17	4.98
3	3.86	8	1.7	13	6.86	18	7.2
4	3.16	9	6.12	14	2.88	19	6.26
5	3.68	10	3.32	15	6.08	20	5.96

### 2.3.3 试验结果的回归分析

#### 2.3.3.1 回归方程的建立

根据试验结果, 利用结构矩阵  $Z$  (见表 2-2) 的正交性, 可以得出信息矩阵  $A$ , 常数项矩阵  $B$  和相关矩阵  $A^{-1}$ 。

$$\text{信息矩阵: } A = Z' * Z$$

$$\text{相关矩阵: } A^{-1} = (Z' * Z)^{-1}$$

$$\text{常数项矩阵: } B = Z' Y$$

其中  $Y$  为各项测试指标, 是一个  $N$  维向量。

由最小二乘法原理, 可求出二次旋转设计回归系数的矩阵表达式如下:

$$b = (Z' * Z)^{-1} (Z' Y),$$

其中  $(Z' * Z)^{-1}$  为设计的相关矩阵,  $(Z' Y)$  为常数项矩阵  $B$ , 在旋转设计下, 相关矩阵  $(Z' * Z)^{-1}$  取正交的组合形式, 则:

$$\left\{ \begin{array}{l} b_0 = K \sum_a y_a + E \sum_{i=1}^p (\sum_a z_{ai}^2 y_a) \\ b_j = e^{-1} \sum_a z_{aj} y_a \\ b_{ij} = m_c^{-1} \sum_a z_{ai} z_{aj} y_a \\ b_{jj} = (F - G) \sum_a z_{aj}^2 y_a + G \sum_{i=1}^p z_{aj}^2 y_a + E \sum_a y_a \end{array} \right.$$

由于回归方程的模型为：

$$\hat{Y}=b_0+b_1Z_1+b_2Z_2+b_3Z_3+b_{12}Z_1Z_2+b_{13}Z_1Z_3+b_{23}Z_2Z_3+b_{11}Z_1^2+b_{22}Z_2^2+b_{33}Z_3^2$$

在本课题中因子数  $P=3$ ，在此情况下， $K=0.16634$ ， $E=-0.05679$ ， $F=0.06939$ ， $G=0.0689$ ， $e^{-1}=0.04167$ 。通过求解得到回归方程为：

$$\hat{Y}=6.126+0.79Z_1+0.452Z_2+0.8152Z_3+0.09Z_1Z_2-0.035Z_1Z_3+0.145Z_2Z_3-0.7807Z_1^2-0.7206Z_2^2-0.7277Z_3^2$$

### 2.3.3.2 回归方程的显著性检验

在实际问题中，事先我们并不能断定随机变量  $y$  与一般变量  $x_1$ ， $x_2$ ， $x_3 \cdots x_p$ ，之间是否的确存在如上面所求得回归方程所描述的关系，在求出回归方程之前，回归模型只是一种假设模型，因此在求出回归方程之后，还需对其进行统计检验，用以确定所求得到的回归模型是否符合实际情况。

设  $y_1$ ， $y_2 \cdots$ ， $y_N$  是二次回归旋转组合试验设计的  $N$  个试验结果，那么它的总的偏差平方和为：

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

它的剩余平方和为：

$$S_{\text{剩}} = \sum_a y_a^2 - b_0 B_0 - \sum_{j=1}^p b_j B_j - \sum_{i < j} b_{ij} B_{ij} - \sum_{j=1}^p b_{jj} B_{jj}$$

$$f_{\text{剩}} = N - C_{p+2}^2$$

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

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

回归方程的显著性检验可用下列统计量  $F_2$  进行：

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

在旋转组合设计中，中心点上往往要做一些重复试验，若记这些试验结果为

$y_{01}, y_{02}, \dots, y_{0m}$ ，那么它们的算术平均数为

$$\bar{y}_0 = \frac{1}{m_0} \sum_{i=1}^{m_0} y_{0i}$$

于是它们的偏差平方和为

$$S_{\text{误}} = \sum_{i=1}^{m_0} (y_{0i} - \bar{y}_0)^2, \quad f_{\text{误}} = m_0 - 1$$

假如从  $S_{\text{剩}}$  中除去  $S_{\text{误}}$ ，那么余下来的为失拟平方和  $S_{\text{LF}}$ ，它反映了回归方程拟和的好坏的程度。

$$S_{\text{LF}} = S_{\text{剩}} - S_{\text{误}}, \quad f_{\text{LF}} = N - C_{p+2}^2 - m_0 + 1$$

在回归方程的显著性检验中，先用统计量

$$F_1 = \frac{S_{\text{LF}}/f_{\text{LF}}}{S_{\text{误}}/f_{\text{误}}} \sim F(f_{\text{LF}}, f_{\text{误}})$$

进行检验。对于给定的显著性水平  $\alpha$ ，假如算得  $F_1 > F(f_{\text{LF}}, f_{\text{误}})$ ，则检验结果是显著的，说明回归模型不正确，那就需要进一步考察原因，改变二次回归模型；假如  $F_1 < F(f_{\text{LF}}, f_{\text{误}})$ ，则检验结果是不显著的，那就可进一步用统计量

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

对二次回归方程进行检验。 $F_2 > F(f_{\text{回}}, f_{\text{剩}})$ ，则检验结果是显著的，回归方程成立； $F_2 < F(f_{\text{回}}, f_{\text{剩}})$ ，则检验结果是不显著的，拒绝回归方程成立。

经过方程的显著性检验，本课题的回归方程

$\hat{Y} = 6.126 + 0.79Z_1 + 0.452Z_2 + 0.8152Z_3 + 0.09Z_1Z_2 - 0.035Z_1Z_3 + 0.145Z_2Z_3 - 0.7807Z_1^2 - 0.7206Z_2^2 - 0.7277Z_3^2$  是显著的，说明求得的回归方程符合实际情况。

2.3.3.3 回归系数的显著性检验

在多元回归模型中，回归方程显著并不意味着每个自变量  $x_1, x_2, x_3 \dots x_p$  对应变量  $y$  的影响都是重要的。而我们总想从回归方程中剔除那些次要的、可有可无的变量，重新建立更为简单的回归方程，这就需要每个变量进行考察。

回归方程中每一个变量的作用可以用  $t$  检验来评价。各回归系数的  $t$  统计量如下：

$$\left\{ \begin{array}{l} D(b_0) = K \sigma^2 = \alpha_{11} S_{\text{总}} / f_{\text{总}} \\ t_0 = |b_0| / \sqrt{K S_{\text{总}} / f_{\text{总}}} \\ D(b_j) = e^{-1} \sigma^2 = \alpha_{12} S_{\text{总}} / f_{\text{总}} \\ t_j = |b_j| / \sqrt{e^{-1} S_{\text{总}} / f_{\text{总}}} \\ D(b_{ij}) = m_i^{-1} \sigma^2 = \alpha_{13} S_{\text{总}} / f_{\text{总}} \\ t_{ij} = |b_{ij}| / \sqrt{m_i^{-1} S_{\text{总}} / f_{\text{总}}} \end{array} \right.$$

当用  $F_1 = \frac{S_{\text{总}} / f_{\text{总}}}{S_{\text{残}} / f_{\text{残}}} \sim F(f_{\text{总}}, f_{\text{残}})$  检验的结果不显著时，可用  $S_{\text{残}} / f_{\text{残}}$  来代替上式中的  $S_{\text{总}} / f_{\text{总}}$ ，对回归系数进行  $t$  检验。

在显著性水平  $\alpha = 0.3$  的条件下，各系数显著性检验结果如表 2-4 所示：

表 2-4 系数显著性检验结果

系数	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{23}$	$b_{11}$	$b_{22}$	$b_{33}$
显著性	显著	显著	显著	显著	不显著	不显著	不显著	显著	显著	显著

所以经过简化的回归方程如下：

$$\hat{Y} = 6.126 + 0.79x_1 + 0.452x_2 + 0.8152x_3 - 0.7807x_1^2 - 0.7206x_2^2 - 0.7277x_3^2$$

### 2.3.4 最优值的求解

前面已经求出 Y 同自变量  $Z_1, Z_2, Z_3 \cdots Z_p$  之间的数学回归模型, 接下来就是求出使 Y 值最优的  $Z_1, Z_2, Z_3 \cdots Z_p$  的取值, 也就是在给定的约束条件下求目标函数的极值或最优值, 这就用到了最优化方法。最优化方法分为无约束问题的优化方法和约束问题的最优化方法两种, 本课题的最优化方法属于约束问题的最优化方法。而约束问题的约束条件分为等式约束和不等式约束两类, 因此其优化方案也分为两大类:

- (1) 约束最优化问题的直接解法
- (2) 约束最优化问题的间接解法

本课题的最优化方案是约束最优化问题的间接解法中的约束随机方向搜索法。约束随机方向搜索法是在可行域内利用随机产生的可行方向进行搜索的一种直接解法, 一般包括随机选取初始点, 随机选择搜索方向和搜索步长等几个步骤。在这种算法中, 搜索方向和步长因子都要根据目标函数的下降性和约束条件的可行性进行调整, 也就是每一次计算出来的新点, 其目标函数值必须是减小的, 而且必须是可行的, 只有这样才能随着迭代过程的进行, 保证迭代点逐步向约束的最小点逼近, 最终收敛在最优解上。该搜索方法的优点是对目标函数的性态无特殊要求, 程序结构简单, 使用方便。另外, 由于搜索方向是从许多方向中选出目标函数值下降最好的方向, 再加上随机变更步长, 所以其计算收敛速度较快。如果能够选取一个较好的初始点, 则其计算迭代次数可以减少。对于求解:

$$\begin{aligned} \min f(x) \quad & x \in R^n \\ \text{s. t. } \quad & g_u \leq 0 \quad 1, 2, 3, \dots, m \end{aligned}$$

的约束非线性问题, 采用约束随机方向搜索法的迭代格式为

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} + \alpha S^{(k)} \quad k=0, 1, \dots$$

式中:  $S^{(k)}$  ——第 k 次迭代的随机搜索方向;

$\alpha$  ——所用的步长因子。

其基本搜索方法如下:

在约束可行域内选取一个初始点  $x^{(0)}$ 。为了确定本次迭代的搜索方向，以若干个不同方向的向量  $\Delta x$  进行试验性的探索，若  $f(x^{(0)} + \Delta x) < f(x^{(0)})$ ，则以  $\Delta x$  为搜索方向，取适当的步长因子，在不破坏约束条件的情况下，前进一步，取得新点  $x$ ，若  $f(x) < f(x^{(0)})$ ，则将起点移至  $x$ ，重复前面的过程。否则需将步长因子缩短，直至取得一个好的可行点。如此周而复始，直至迭代步长已经很小时（即相邻二次迭代点已经相距很近），就结束计算过程，取得约束最优解。本课题就是利用基于约束随机方向搜索法的最优化方法，下具体得计算步骤和方法如下：

第一步：选择初始点  $x^{(0)}$ ，检验其是否满足可行性条件。若满足则进一步；否则，重新选择初始点。

第二步：产生  $N$  个随机单位向量  $e^{(j)}$  ( $j=1, 2, \dots, N$ )，然后在设计空间中以  $x^{(0)}$  为中心， $H_0$  为半径的超球面上产生  $N$  个随机检验点  $x^{(j)}$ ，即

$$x^{(j)} = x^{(0)} + H_0 e^{(j)} \quad j=1, 2, \dots, N$$

检查试验点的可行性、计算可行试验点的目标函数值，并选出其中最小值点  $x^{(i)}$ ，若满足  $f(x^{(i)}) < f(x^{(0)})$  条件，则确定可行搜索方向  $s = x^{(i)} - x^{(0)}$ ，否则重复上述过程，重新产生  $N$  个随机试验点，或者将步长缩小到  $0.7 H_0$ ，再确定可行搜索方向  $s$ 。

第三步：从初始点  $x^{(0)}$  出发，沿可行搜索方向  $s$  先以  $\alpha = 1.3 H_0$  的步长移动，若新点是可行点，且目标函数值下降，则继续以  $\alpha = 1.3 \alpha$  加大步长前进，否则以  $\alpha = 0.7 \alpha$  的步长移动。直到目标函数值不再下降，同时又不违背约束条件时为止，即完成了一次迭代，将搜索终点  $x$  作为下次搜索的初始点  $x^{(0)}$ 。

第四步：当一次迭代的初始点与终点的函数值达到

$$\left| \frac{f(x) - f(x^{(0)})}{f(x^{(0)})} \right| \leq \varepsilon_1$$

和其步长

$$\|x - x^{(0)}\| \leq \varepsilon_2$$

时即结束搜索过程。其最优解为  $x^* = x$ ,  $f(x^*) = f(x)$ , 否则转向第二步。附录 VI 为约束随机方向搜索法的程序框图。图中 M 表示确定随机方向试算失败的总次数, 一般来说, M 的取值范围为 1~20 次, 若超过这个数, 并且  $H_0$  已经取的很小值时, 则可以停止计算。

通过上面介绍的最优化方法进行搜索得到织造负荷模拟装置的最优工作参数为摆角度数  $76^\circ$ 、初加张力 15.4cN、摩擦频率 339 次/min。

本节回归方程系数的计算、回归方程的显著性检验、回归系数的显著性检验以及回归方程的最优点的搜索采用软件 matlab 计算工具进行编程计算<sup>[20]</sup>, 具体的程序见附录 III、IV、V。

## 2.4 织造负荷模拟装置的试验分析

通过 2.3 节最优化方法安排试验以及最优点搜索已经得到本课题研制的织造负荷模拟装置在一定的纱线运动速度下的最优工作参数, 结果为: 摆角度数  $76^\circ$ 、初加张力 15.4cN、摩擦频率 339 次/min。织造负荷模拟装置的最优工作参数确定后, 还必须通过试验验证织造负荷模拟装置的工作原理和基本检测结果是否符合实际情况, 这也是设计试验装置所必须的步骤。只有通过试验才能验证新型试验装置能否替代旧的试验装置, 试验装置的试验结果是否与实际情况相符。本课题的验证试验主要通过以下三个方面进行: (1) 试验结果的可重复性试验; (2) 不同上浆率及不同浆料的对比试验; (3) 不同织造负荷模拟装置的对比试验。

对于织造负荷模拟装置的试验验证是用短纤纱为试样进行的, 具体的试验方案及试验结果如下:

### 2.4.1 测试结果的重复性试验

重复性是指在同一试验室内由同一操作者, 在相同试验条件和较短时间间隔内, 用同一仪器机台与试验方法, 对同一试样进行试验结果的一致性。按统计方法计算的重复性数值以  $r$  表示<sup>[21]</sup>。

$$r = f * \sqrt{2} * \sqrt{S^2} \quad \text{式中 } f \text{ 在 ISO 标准中规定 } f = 2;$$

对于新型的试验装置必须进行试验结果的可重复性试验验证, 对于本课题研制的新型织造负荷模拟装置也应进行该项验证。在重复性验证试验中, 纱线采用 13tex 的涤棉纱线, 浆料采用 PVA1799 和变性淀粉混合浆料, 利用具有相同上浆率的浆纱试样进行多次织造负荷模拟试验, 然后统计 10 米浆纱试样中长度大于 2mm 的毛羽总数, 最后根据试验结果计算容许差来判断织造负荷模拟装置进行织造负荷模拟试验的可重复性。具体的试验结果如表 2-5, 表 2-6 所示:

表 2-5 13tex 涤棉纱, 上浆率为 10.2% 浆纱试验结果

试验次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
毛羽数 (根/10m)	38	34	34	35	36	33	34	36	37	41
平均值	35.8									
$S^2$	5.16									

所测得的毛羽数量的最大值与最小值之差为:

$$\text{最大值} - \text{最小值} = 8 < \text{容许差} = r * K_{10} / 2.83 = 10.56 \quad (2-1)$$

$$\text{其中 } K_{10} = 4.65$$

表 2-6 13tex 涤棉纱, 上浆率为 8.6% 浆纱试验结果

试验次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
毛羽数 (根/10m)	58	54	63	52	49	60	54	54	60	57
平均值	56.1									
$S^2$	16.29									

所测得的毛羽数量的最大值与最小值之差为:

$$\text{最大值} - \text{最小值} = 14 < \text{容许差} = r * K_{10} / 2.83 = 18.78 \quad (2-2)$$

$$\text{其中 } K_{10} = 4.65$$

通过式 (2-1) 及 (2-2) 可知, 该试验的试验结果小于容许差,

因此测试结果具有可重复性。

#### 2.4.2 不同上浆率及不同浆料的对比试验

对该织造负荷模拟装置的合理性验证采用已知理论及方法进行。具体的方法就是不同上浆率的浆纱以及不同浆料上浆的浆纱进行织造负荷模拟试验，然后进行毛羽测试。根据已知理论和实际经验，同种浆料进行上浆，上浆率低的浆纱经过织造负荷模拟后，毛羽的增加率大于上浆率高的浆纱；不同品种的浆料在同一上浆率的情况下，进行织造负荷模拟试验，然后进行毛羽检测，浆料性能差的浆纱，其毛羽增加率大于采用性能优良浆料进行上浆的浆纱。具体的测试结果如图 2-7、图 2-8 所示。测试数据为 10 米浆纱试样中，经过织造负荷模拟后，长度大于 2mm 的毛羽总数。

通过以上测试结果可知，随着上浆率的增加，毛羽的增加率逐渐降低，这同公认的随着上浆率的增加，经纱的上机织造性能也逐渐提高的理论相一致。而且采用 PVA1799 进行上浆的浆纱经过织造负荷模拟后的毛羽增加率低于采用变性淀粉浆料的浆纱的毛羽增加率，如图 2-9。这同 PVA 浆料性能优于变性淀粉的浆料的事实一致。

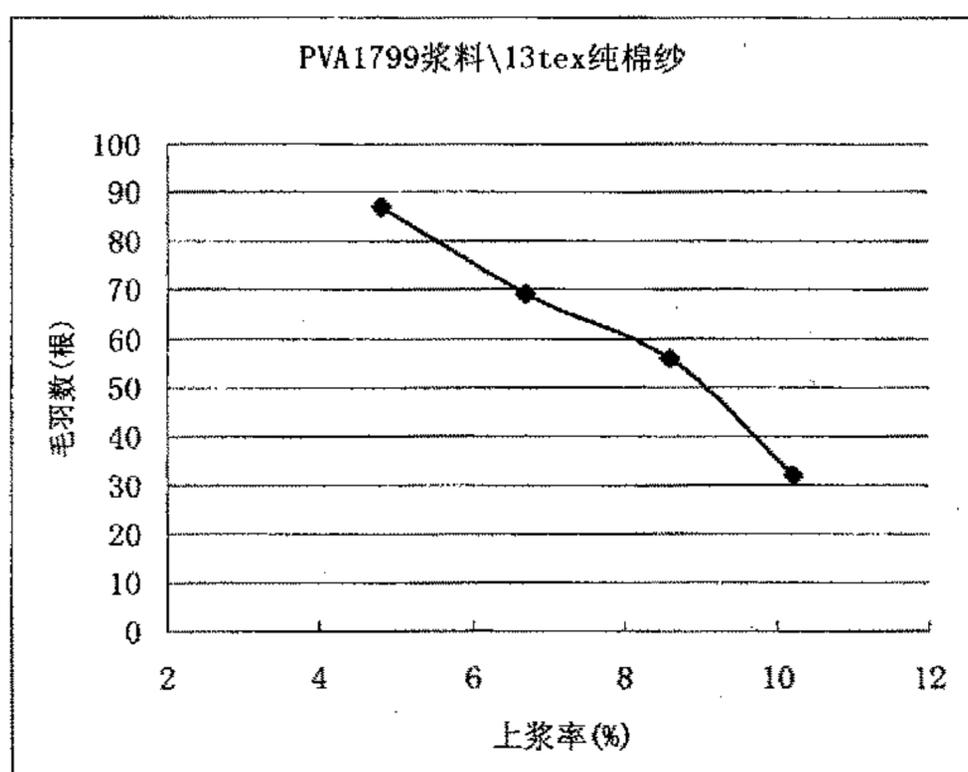


图 2-7 采用 PVA1799 浆料上浆时，不同上浆率下，经过织造模拟后毛羽测试结果

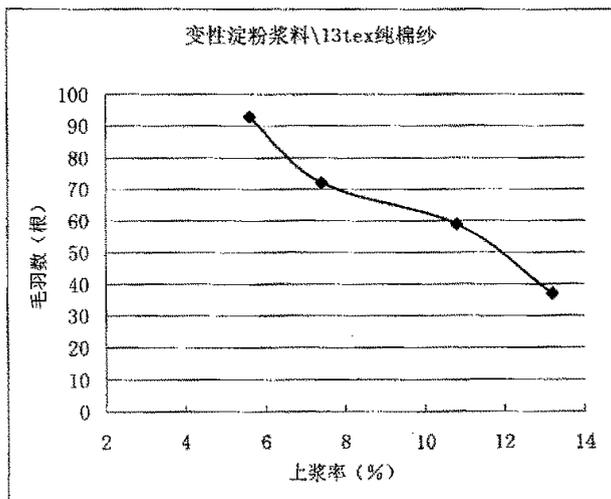


图 2-8 采用变性淀粉浆料上浆时，不同上浆率下，经过织造模拟后毛羽测试结果

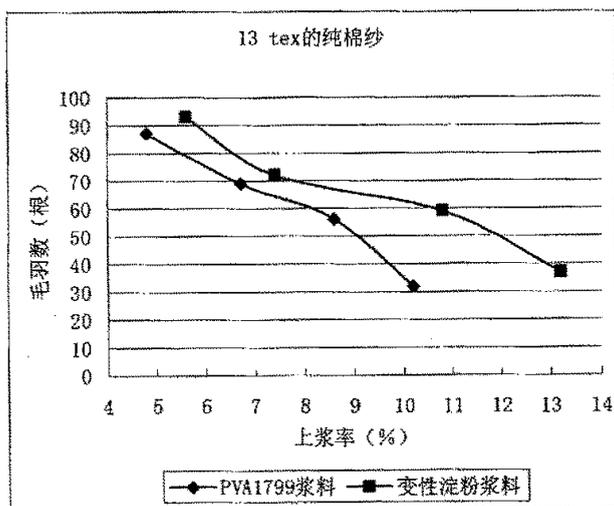


图 2-9 两种浆料毛羽增加量测试结果的对比

### 2.4.3 不同织造负荷模拟装置的对比试验

该对比试验采用东华大学纺织学院浆纱检测中心的浆纱效果快速检测评定系统的织造负荷模拟装置进行。浆纱效果快速检测评定系统

的织造负荷模拟装置的工作原理参见参考文献[4]。该装置主要模拟了纱线与机械的摩擦，纱线与纱线之间（非切向）的摩擦。为了对比纱线与机件摩擦和纱线与纱线之间的切向摩擦，哪种摩擦作用对纱线的磨损影响较大，因此只采用纱线与机械部分的摩擦模拟方式（模拟方式如图 2-10）同研制的新型的织造负荷模拟装置对同样的纯棉浆纱试样进行织造负荷模拟试验，然后测定毛羽的增加率。试验采用的浆料为 PVA1799 和变性淀粉混合浆，测试数据为 10 米纱样的毛羽总数，纱线为 13tex 纯棉纱。试验结果如表 2-7 所示：

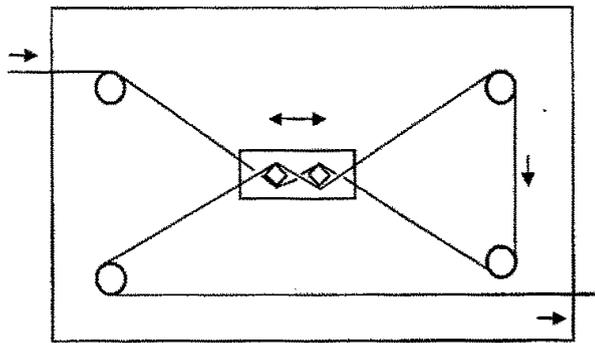


图 2-10 浆纱效果快速评定系统织造模拟装置

表 2-7 不同织造负荷模拟装置对比试验结果

	织造模拟方式	毛羽数 (根/10m)
上浆率 7.1%	浆纱效果快速评定系统织造模拟装置	53
	本文介绍的新型织造负荷模拟装置	75
上浆率 10.4%	浆纱效果快速评定系统织造模拟装置	24
	本文介绍的新型织造负荷模拟装置	37

试验结果表明，纱线与纱线之间的切向摩擦对纱线产生毛羽的影响大于纱线同机械部分之间的摩擦对纱线毛羽产生的影响。

图 2-11 和图 2-12 是通过这两种不同的织造负荷模拟装置对上浆长丝进行织造负荷模拟后，拍摄的长丝图像。

通过对这两张长丝图像的观察，可以看出经过浆纱效果快速检测评定系统的织造负荷模拟装置模拟后的集束性优于经过本课题研制的

新型织造负荷模拟装置进行织造负荷模拟后的集束性，也就是说新型织造负荷模拟装置的负荷强度大于浆纱效果快速检测评定系统织造模拟仪织造模拟的负荷强度。这也充分说明经纱同经纱之间的摩擦负荷在经纱在织造过程中所承受的摩擦负荷中占据主导地位。

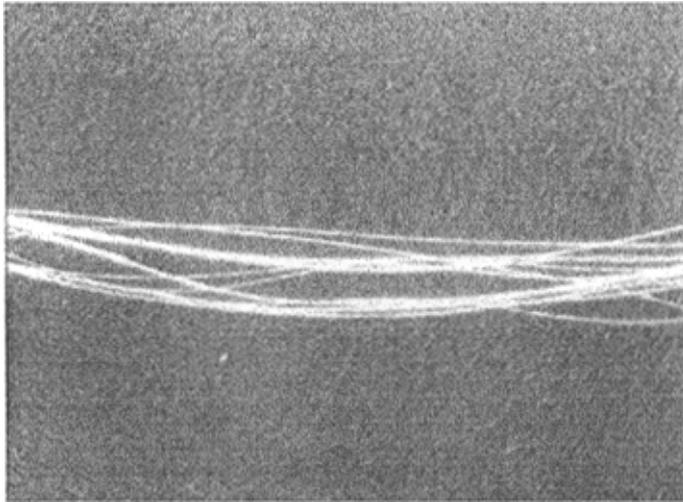


图 2-11 长丝在新型织造负荷模拟装置上进行织造模拟后的效果

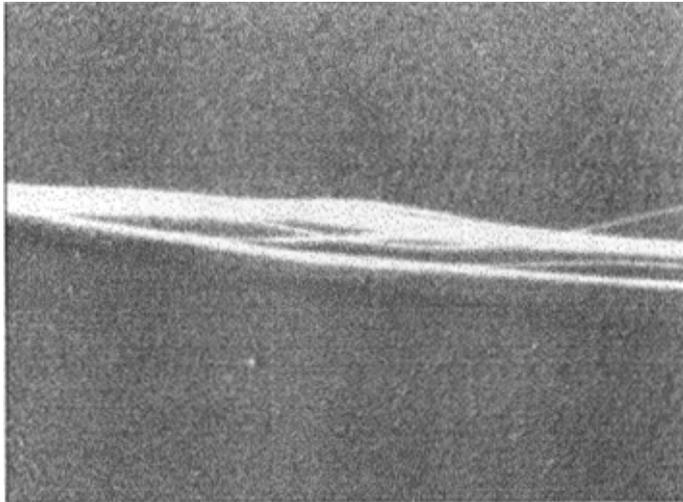


图 2-12 长丝在浆纱效果快速检测评定系统的织造模拟装置上进行织造模拟后效果

通过以上分析可知该新型织造负荷模拟装置实现了纱线与纱线之间的切向摩擦，纱线的曲折以及周期性的拉伸。试验结果表明了该织造负荷模拟装置同实际情况具有较好的相关性，能够较为准确反映上浆效果对织造性能的影响。该装置也较好地符合纱线与纱线之间的切向摩擦对纱线的摩擦磨损影响比较大的结论。

## 第三章 图像采集系统的设计与研制

### 3.1 图像采集系统的构造

图像采集系统就是用来采集经过织造负荷模拟后的上浆长丝的图像,然后通过显示器显示采集结果以及把采集到的图像存储到计算机硬盘中,再通过图像处理分析系统对长丝上浆效果即集束性进行检测评定,最后输出长丝上浆效果的评价结果。

图像采集系统就是图像的数字化设备,所谓图像的数字化是指将 CCD 摄像头采集到的模拟图像经过离散化之后,得到用数字表示的数字图像<sup>[22]</sup>。图像的数字化牵涉到两个概念:采样和量化。所谓采样就是将在空间上连续的图像转换成离散的采样点(即像素)集的操作。由于图像是二维分布的信息,所以采样是在 x 轴和 y 轴两个方向上进行。所谓量化就是将各个像素所含的明暗信息离散化后,用数字来表示,一般的量化值是用整数来表示的。充分考虑到人眼的识别能力之后,目前非特殊用途的图像均为 8bit 量化,即用 0~255 描述“黑~白”<sup>[23]</sup>。

数字化图像有三种:黑白图像、灰度图像、彩色图像。这里的黑白图像是指仅有两种灰度值的图像。灰度图像是具有 256 级灰度的图像,平时所说的黑白照片其实是灰度图像。彩色图像是指每个像素的信息由 R(红),G(绿),B(蓝)三原色构成的图像,其中 R,B,G 是由不同的灰度级来描述的,R、G、B 三种颜色都有 256 级。三种颜色组成彩色图像。由于本课题对长丝图像的检测对颜色没有要求,因此图像采集系统采集的是灰度图像。

本节根据图像采集系统的硬件需求进行论文组织,该系统硬件组成图如图 3-1 所示:

1. 静电分丝:由于该检测系统是连续性检测,上浆长丝在拍摄图像过程中是连续运动的,上浆长丝由于牵引张力,经过织造负荷模拟后,游离出丝束的单丝以及更小单位丝束的分束情况不是很明显,很难拍摄到清晰的长丝分束情况的数字图像,因此后面就很难进行

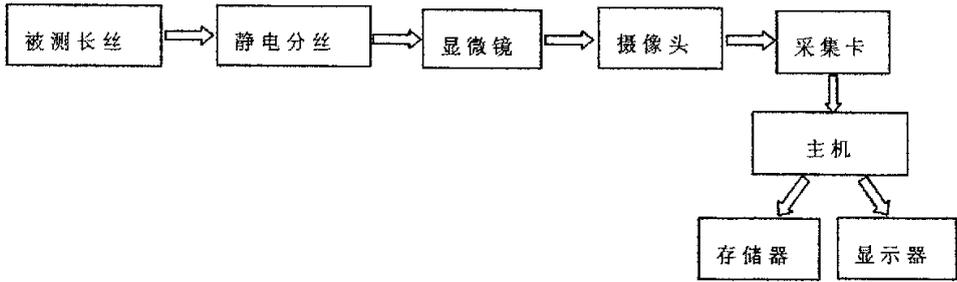


图 3-1 图像采集系统硬件框图

图像处理分析判断浆丝的集束性。考虑到这一点，本课题采用的方法是使经过织造负荷模拟后的上浆长丝通过一高压静电场实现静电分丝，这样，使经过织造负荷模拟后相互分离的丝束及单丝的分离情况加剧。该阶段重要的一点就是避免静电场的强度过大，使并非是由于织造负荷模拟造成的分束情况出现。本课题使用的是上海市复旦中学校办工厂的 F140-II 高压静电发生器，长丝通过的静电场自己设计，其结构如图 3-2 所示。两侧板采用铝板，一板连接静电发生器的输出端，另一板接地，这样在板中间形成一电场，长丝从电场中经过。

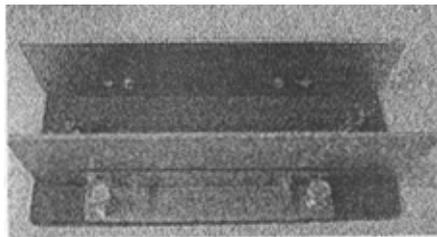


图 3-2 静电场实物图

2. 视频显微镜：由于用于织造的长丝中单丝的直径较小，细特单丝的细度介于  $0.044\text{tex}$  到  $0.11\text{tex}$  之间，超细单丝的细度甚至小于  $0.044\text{tex}$ <sup>[24]</sup>，这么小的细度对于一般通用的 CCD 摄像头来讲很难拍摄到单丝图像，因此，该图像采集系统根据需求，需要在显微镜的视野里面通过 CCD 摄像头进行图像拍摄。由于一般的显微镜没有摄像头接口，因此一般的显微镜是很难适用于与 CCD 摄像头配合进行摄像的，而且由于显微镜对拍摄物体已经放大了 100 倍以上，这种情况下，CCD 摄像头所配置的镜头由于容易受到纱线波动的影响而很难

拍摄到清晰的图像，这主要是由于焦深及镜头视场的原因造成的。因此，为了拍摄到清晰的上浆长丝图像，就需要特殊的显微镜以及摄像头镜头。该系统采用上海光学仪器五厂的连续变倍体视显微镜，配备特殊的镜头即图像适配镜。图像适配镜是专用于视频显微镜的镜头。该种型号的显微镜能够接配摄像、摄影系统，因此能够满足本课题图像采集系统的需要，如图 3-3 所示：其放大倍数连续可调，具有三目镜筒，上下可调光源。

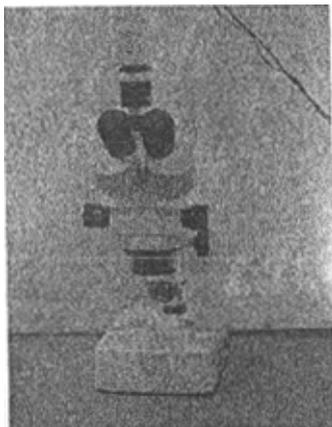


图 3-3 图像采集系统的视频显微镜

3. CCD 摄像头：CCD 摄像头是视频采集的核心元器件，通过该器件，把物体的光信号转换为电信号<sup>[25]</sup>，这是由 CCD（电荷耦合器件）的原理决定的，CCD 摄像头的优劣决定着成像质量的优劣。CCD 摄像头的主要任务就是把图像分成各个像素单元，对每个像素单元规定其地址，测量出每个像素单元的灰度等级，再对它进行分层量化后转变为电信号，然后通过视频采集卡将电信号转变为数字信号输入计算机，因此 CCD 摄像头能否进行电信号的准确采集就决定了输入计算机的数字图像的质量。考虑到该采集系统的价格、体积以及安装方便与否，该图像采集系统使用了 SAGA 公司的 SG-372，黑白 CCD 摄像头。

4. 视频图像采集卡：因为该图像采集系统要对上浆长丝进行拍摄，进而显示及存储。为了达到这个目的，对于一副显微镜下放大的

长丝图像，系统应该能够实时地完成对图像的采集、显示及存储，由于上浆长丝在采集过程中是连续运动的，因此该系统必须连续地进行采集、显示及存储。

要完成对图像的实时采集、输入、存储，必须要有一个专用的图像采集卡。由于目前大多数个人用计算机（PC机）上的CGA、EGA、VGA、TVGA等图像显示卡仅仅具有图像显示能力，而不具有把CCD摄像头采集的电信号转变为数字信号输入到计算机的采集和输入能力，因此就需要专用的图像采集卡。其主要作用就是把CCD摄像头实时采集到的景物图像实时经过A/D转换后，存放在计算机中，或者图像存储单元的一个或多个通道中，在经过D/A转换后，自动地将图像实时地显示在图像监视器上。

目前图像采集卡有许多种，经过比较后该图像采集系统选用了中国大恒（集团）有限公司的DH-CG400视频采集卡，此卡是该公司最近开发的彩色/黑白视频图像采集卡。由于采用PCI总线，所采集的图像数据传输基本不占用CPU的时间，并可将图像直接采集到计算机内存或显存，这对于图像的实时采集存储来说是很有利的，大大节约了工作时间。该卡的主要性能及指标如下：

- 1) 支持可编程控制方式，具有丰富的库函数进行编程控制。这对于开发使用视频图像采集系统的软件具有很大的帮助；
- 2) 支持六路复合视频的输入，最多组成三路Y/C输入或者一路YCbCr分量输入，可以进行软件切换；
- 3) 支持PAL，NTSC彩色/黑白视频输入；
- 4) 图像分辨率最高可达：  
PAL:  $768 \times 576 \times 24\text{BIT}$   
NTSC:  $640 \times 480 \times 24\text{BIT}$
- 5) 图像数据数值范围：1—253 或 16—235 可选；
- 6) 支持计算机内容与图像同屏显示，图像覆盖功能；
- 7) 支持YUV422、RGB8888、RGB888、RGB565、RGB555及Y8模式；

- 8) 支持单场、单帧、连续场、连续帧的采集方式。这对本课题的图像采集系统具有很高的实用价值；
- 9) 硬件支持图像的水平、垂直镜像；
- 10) N 路 ( $0 < N < 7$ ) 视频可编程定时轮流输出，这对于采集过程的实时观察具有很大的帮助；
- 11) 图像清晰度： $>400$  电视线。

视频图像经多路切换器、解码器、A/D 变换器，将数字化的图像数据送到数据缓冲器。经裁剪、比例压缩及数据格式转换后，由内部控制图形覆盖与数据传输，数据传输目标位置由软件确定，可以是显存，也可以是计算机内存。

#### 5. 计算机的组成：

计算机作为该图像采集系统以及后续的图像处理分析阶段的大脑，对整个检测系统的性能具有举足轻重的作用。由于考虑到计算机需要同 CCD 摄像头及视频采集卡连接起来，该系统的兼容性就要比较优秀，因此组装兼容机是不错的选择，各个组成部分如下：

CPU：赛扬 1.7G

主板：微星 845D

内存：256M，HY DDR266

显卡：丽台 GeForce2 MX64 PCI

硬盘：Maxtor 40G

## 3.2 图像采集系统的软件设计

图像采集系统的软件部分是该模块的核心部分，因为对图像的采集、储存、显示及整个过程的控制都是由软件来完成的，因此需要设计合理、适用的图像采集软件，这就要正确的需求分析。在正确分析需求以后选择合适的语言也是图像采集系统的关键。

### 3.2.1 图像采集系统软件的需求分析

软件需求分析工作是软件开发的重要一步，也是决定性的一步。

只有通过软件需求分析,才能把软件功能和性能的总体概念描述为具体的软件需求规格说明,从而奠定软件开发的基础<sup>[26]</sup>。需求分析所要做的工作就是深入描述软件的功能和性能,需求分析阶段研究的对象是软件项目的要求,这一阶段必须全面理解软件的各项要求。需求分析主要包括以下几个方面:

- (1) 功能需求:也就是开发软件在职能上应完成的工作,这是最主要的需求。本课题的功能需求就是能够实时方便的连续采集和非连续(单帧图像)采集、存储图像采集卡从 CCD 摄像头经过 A/D 转后采集的数字图像,并对采集的图像进行预处理。
- (2) 性能需求:也就是所开发软件的技术性能指标。具体到本课题的性能需求就是运行速度要快,能够实时采集需要的长丝图像。
- (3) 环境需求:这是对软件系统运行时所处的环境的要求。本课题的运行环境就是上一节介绍的硬件系统。
- (4) 软件的界面需求:设计友好易用的用户界面是软件开发很重要的一步。对于本课题,用户界面应尽量地能够方便用户操作。
- (5) 可靠安全分析:这是软件能够安全运行的保证。对于本课题,可靠安全分析对于长丝上浆效果的快速检测评定是有意义的。只有可靠安全运行的软件程序才能保证快速准确的检测。

### 3.2.2 图像采集系统软件的设计实现

图像采集软件的设计语言是 Microsoft Visual Basic 6.0 专业版(以后简称 VB6.0)。VB6.0 是一套用来开发 Windows 应用程序的工具,是目前最快捷易用的 Windows 程序开发工具<sup>[27]</sup>。VB6.0 通过友好的用户界面,将面向对象程序设计的抽象概念“可视化”。面向对象编程(OOP,即 Object-Oriented Programming)是最新的编程思想。对象可以理解为将数据和代码包装起来的实体。对象有各自的属性、方法和事件。属性是描述对象的数据;方法指示对象的行为;事件是对象所做的事情。

面向对象编程具有抽象性、封装性、多态性、继承性四大特点<sup>[28]</sup>。

VB6.0 的另一个特点就是事件驱动机制，事件驱动的思想是把一些具有共性的低级操作从程序员身上解脱下来，转交于 Windows 系统去做，这样就大大降低了编程工作的工作量。通过 VB6.0 集成开发环境，用户可以很容易地开发面向对象的 Windows 应用程序。VB6.0 不但继承了 Basic 语言语法的亲和性，还强化了程序结构，拥有多种数据类型。模块化的程序设计，使得软件程序的开发及维护更为容易。特别是 VB6.0 和 Windows API（Windows 32 位应用程序接口）的结合，使得 VB6.0 的应用范围越来越广，运行速度也越来越快<sup>[29]</sup>。

在系统的研制过程中，发现采用 VB6.0 独自编程完成一张图片的采集时间是采用 VB6.0 和 API 函数结合编程采集时间的 10 倍，如果单纯采用 VB6.0 进行编程，远远不能够满足实时采集长丝图像的需求。而且使用 Windows API 能够大大简化编程结构和程序代码数量，便于维护。

Windows API 系统包括几千个过程和用其它语言编写的程序，这些过程是可以通过 DLL（动态链接库）调用的<sup>[30]</sup>。DLL 是一个过程库，应用程序可以在运行时链接并使用 DLL。DLL 并不编译到应用程序的执行文件中，可以独立于应用程序而进行更新，许多应用程序可以共享相同的 DLL。本课题的图像采集卡 CG400 就是预先编译了大量的 DLL 文件，然后在后面的开发过程中可以快速调用。通过动态链接库的调用，VB6.0 和其他语言就可以进行互相嵌套使用，有些程序通过 C 或者 C++ 语言编写的 DLL 可以方便地用在 VB6.0 的编程工作中，特别是 VB6.0 中模拟指针的应用，大大提高了 VB 程序的运行速度，这也是本课题选择 VB6.0 进行编写程序的一个重要原因。

Windows API 可以分为四类：应用程序操作 API、图形 API、系统信息 API、与注册表交互 API。本课题主要应用到了图形 API。图形 API 的主要功能就是生成位图和捕获图形。这对于本课题的图像采集程序很有用，特别是结合 CG400 图像采集卡的动态链接库 CG400D32.DLL 开发合适的图像实时采集应用程序。

本课题的图像采集程序主要有两个主要功能：实时采集存储（包

括连续采集和单帧采集)、对采集参数(采集图像的位数)的设置以及图像的预处理(包括有亮度、色调、饱和度、对比度)<sup>[31]</sup>。颜色位数是指视频中最多能使用的颜色数。颜色位数越多,色彩越逼真,数据量也越大。图像的亮度是指一幅图像中亮度和暗调的平衡,如果亮度太高,会使图像看上去发白;亮度太低,则太黑。色调是一种颜色区别于另一种颜色的色彩表现方式。饱和度是指色彩的强度或纯洁度。饱和度是用与色调成一定比例的灰度数量表示的,从0%(灰)~100%(最饱和)。对比度:是黑与白的比值,也就是从黑到白的渐变层次。比值越大,从黑到白的渐变层次就越多,从而色彩表现也就越丰富。

图像采集程序的主题程序就是对图像采集卡采集的数字图像进行存储显示的部分,换言之,就是对采集的图像文件进行显示及存储,因此采集的图像文件的格式选择以及预先定义是编程工作的首要工作。为了方便后续的图像处理分析,该图像采集系统采集的图像存储格式为BMP格式(BitMap),BMP文件格式将在第四章中进行介绍。这里主要是BMP文件的预先定义<sup>[32]</sup>,定义方式如下:

设定BMP的文件头信息:

```
bmiFHeader.bfOffBits = Len(bmiFHeader) + Len(bminfo)
bmiFHeader.bfReserved1 = 0
bmiFHeader.bfReserved2 = 0
bmiFHeader.bfType = BMP_MAGIC_COOKIE
bmiFHeader.bfSize = 0
```

设定BMP的头信息:

```
bminfo.header.biSize = Len(bminfo.header)
bminfo.header.biWidth = VideoRect.Width
bminfo.header.biHeight = VideoRect.Height
bminfo.header.biPlanes = 1
If (ColorSpace = Limited8Bit) Or (ColorSpace = All8Bit) Then
    bminfo.header.biBitCount = 8
    Dim i As Integer
    For i = 0 To 255
        With bminfo.bmiColors(i)
            .Red = i
```

```

        .Green = i
        .Blue = i
        .reserved = 0
    End With
Next
Else
    bminfo.header.biBitCount = 24
End If
bminfo.header.biCompression = BI_RGB
bminfo.header.biSizeImage = 0
bminfo.header.biXPelsPerMeter = 0
bminfo.header.biYPelsPerMeter = 0
bminfo.header.biClrUsed = 0
bminfo.header.biClrImportant = 0

```

对图像的 BMP 文件预先定义后就是对图像文件的采集以及存储。本课题的图像采集模块主要是图像的存储,图像的存储涉及到对图像文件的操作。本课题的图像文件是二进制数据,因此对图像文件的操作就是对二进制文件的操作。在 VB6.0 中,对文件的操作主要分为三类<sup>[27]</sup>:对顺序文件的操作;对随机文件的操作;对二进制文件的操作。对二进制文件的操作方式如下:

- (1) 首先用 `Open<文件名> For Binary As [#] <文件号>` 语句打开文件;
- (2) 用 `Get [#] <文件号>` 语句等读函数读取文件的内容,或者用 `Put [#] <文件号>` 语句写入文件;
- (3) 用 `Close [#] <文件号>` 关闭文件。

其中文件号是整型表达式(其值范围是 1~512),用于指定打开文件时所用的文件编号。因为在 VB6.0 中是通过文件号的操作而非通过文件名的操作对文件进行读写操作的。

本课题的图像存储模块如下:

```

Dim hFile As Integer      '定义变量
    hFile = FreeFile()    '返回一个整型变量,代表下一个可供 Open
语句使用的文件号

```

```
Open ("d:\图片\" & Page & ".bmp") For Binary As #hFile ‘保存图
像文件到 D:\图片目录下
```

```
Put #hFile, , bmiFHeader
```

```
Put #hFile, , bminfo
```

```
Put #hFile, , pBuf
```

```
Page = Page + 1
```

```
Close #hFile
```

bmiFHeader, bminfo, pBuf的数据已经通过图像采集卡的函数获得。每保存一张图片，page 的值自动加一，这样在保存时的文件名就不会重复。该模块每调用一次就保存一张长丝图像。由于图像采集卡采集的图像远远大于该检测系统所需要的图像，因此，这种采集存储方式很方便，设计一个循环函数和条件语句就可以实现所需图像的采集及存储。

图像的显示程序如下：

```
r = SetDIBitsToDevice(DC, 0, 0, VideoRect.Width,
VideoRect.Height, 0, 0, 0, VideoRect.Height, pBuf(0), bminfo,
DIB_RGB_COLORS),
```

该语句为 Windows API 函数，作用就是将一幅与设备无关位图的全部或部分数据直接复制到一个设备，这个函数在设备中定义了一个目标矩形，以便接收位图数据，该函数的参数 VideoRect.Width, VideoRect.Height, 0, 0 决定了该矩形的大小。这一句的含义就是复制采集卡采集到的图像（与设备无关位图）到显示器，这是有函数参数中的“DC”决定的，“DC”代表设备的句柄，句柄是 Windows 用来标识被应用程序建立或使用的对象的唯一整数。

Windows 要使用各种各样的句柄来标识诸如应用程序实例，窗口，菜单，控制，分配的内存空间，输出设备，文件及刷子等等。具体的图像采集程序模块参见附录 VIII。

图 3-4 为图像采集程序的操作界面：

图像采集程序的操作界面具有 8 个操作按钮，其中“采集图像到硬盘”是本课题应用最多的。点击该按钮后显示采集到的图像并保存

采集到的图像文件于 D:\图片目录下。“采集到屏幕”就是采集图像显示到图像框中。点击“设置参数”按钮出现如图 3-5 所示的界面。主要用于设计采集图像的颜色位数以及对图像进行预处理。

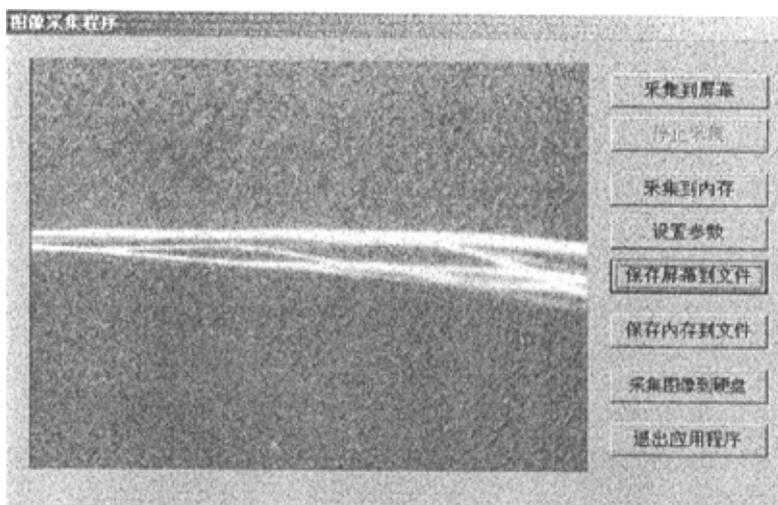


图 3-4 图像采集程序操作界面

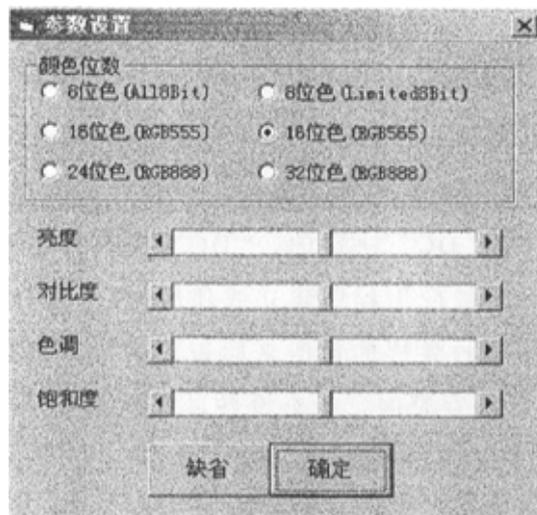


图 3-5 图像采集程序参数设置界面

## 第四章 图像处理系统的设计开发与性能分析

### 4.1 图像处理分析软件的设计思想

该课题图像处理分析系统的主要任务就是分析采集的经过织造模拟后的上浆长丝的集束性,也就是每张图像中的从长丝束中游离出的单丝和更小单位的丝束的数量,然后统计分析拍摄的30米长的长丝1000张图像的丝束总数量,计算每张图像中丝束数量的平均值及其离散系数,藉此来评价上浆长丝经过织造负荷模拟后的集束性。

#### 4.1.1 图像法对图像中丝束进行检测的原理

本课题图像检测程序的主要功能就是检测所拍摄图像中的纤维束的数量。目前上浆长丝集束性的评价方法就是根据分析长丝纱束中相互分离的丝束的数量进行的。那么怎么实现这一功能呢?如图4-1及图4-2所示。

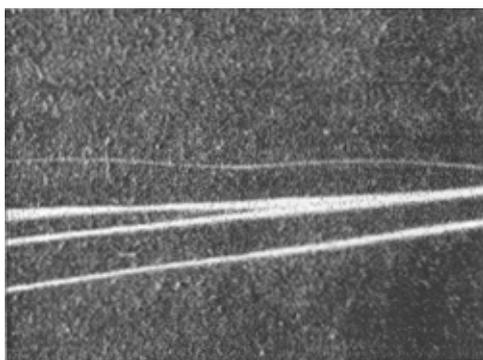


图 4-1 未经二值化处理的长丝图像

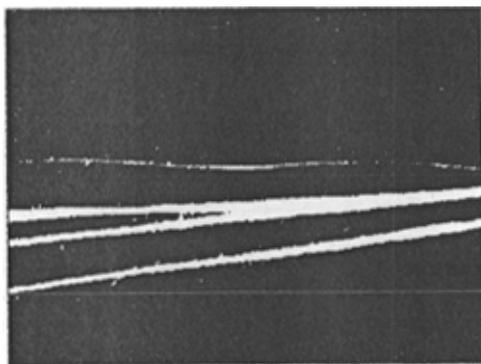


图 4-2 经过二值化处理后的长丝图像

图 4-1 为原始图像，为了分析图像特征，常常从图像中分离出对象物体，从而把对象物体和背景作为分离的二值图像进行分析，图 4-2 为二值化后的图像。由于图 4-2 的数字化图像的图像数据很难在此全部列出，因此只能采用图 4-3 代表数字化后的图像数据（其中的 1 代表其灰度为 255，为白色）。丝束数量的统计方法就是：选取图 4-3 中的  $n$  列进行统计，例如选中的第 4 列、第 7 列以及第 10 列，计算每列中由 0 变为 1，再由 1 变为 0 的次数，此变换次数即为图像中丝束的数量。第 4 列及第 10 列都为四次，而第 7 列为五次，由于本课题采集的图像中经过处理后仍不可避免地存在噪声，因此一张长丝图像统计多列后，出现次数最多的那个数值将作为该张长丝图像中丝束的数量，这在一定程度上可以克服由于噪声造成的干扰。因此图 4-2 中的丝束的数量就为 4，排除了第七列第四行的噪声干扰造成的有 5 根丝束的数据。然后通过数组变量  $genshu(i)$  记录第  $i$  张长丝图像中的丝束数量 ( $i=1$  到 1000)，通过该数组记录的每张长丝图像的丝束数量进行数据的各项统计，包括有平均值、离散系数等。所有图像的丝束数量的平均值也就可用来衡量浆纱的集束性，籍此来评价长丝的上浆效果。

			第四列	第七列	第十列						
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

图 4-3 数字化图像的示意图

## 4.1.2 图像处理系统流程

该图像处理分析系统的软件原理流程如图 4-4 所示，其中各模块作用如下：

1. 图像处理模块：对读入程序的长丝的一幅灰度图像进行一系列的处理，包括有滤波平滑除噪、二值化、雪花噪声消除等，将长丝信息同背景分离。

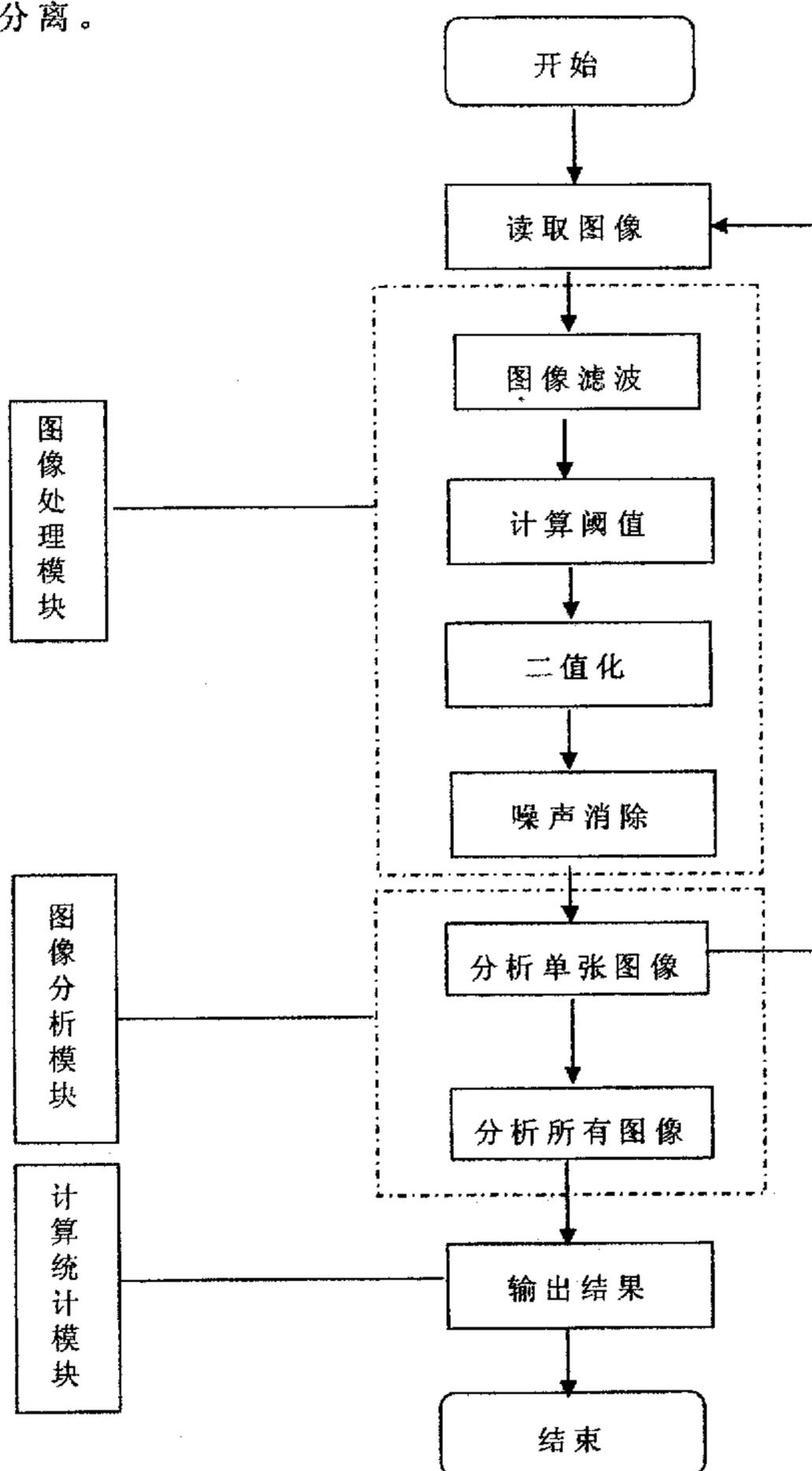


图 4-4 图像处理分析系统的软件框图

2. 图像分析模块：对经过图像处理模块的图像，设计一套合适的数学模型，从而分析经过处理后图像中的单丝和丝束的数量。该模块是整个系统的核心。

3. 计算统计模块：利用得到的每张长丝图像中的单丝和丝束的数量，统计所有图像中丝束的总数量，然后计算平均值、离散系数等。

## 4.2 图像处理分析软件的设计

### 4.2.1 图像处理程序的图像文件格式

图像文件格式的选择是进行图像采集、图像处理所要面对的首要问题。一幅图像通过图像采集系统采集存储到计算机的过程中，首先要解决图像在内存或者硬盘中的存储格式。因为一幅图像要作为一个文件保存起来，而这个文件不能是单纯的图像数据，如果没有一定的格式就很难知道该文件从哪里开始、到哪里结束，同时也无法知道其中的数据代表什么，所以要选择一定的存储格式。目前图像的存储格式有 BMP、JPEG、GIF、TIFF、PNG 等<sup>[33]</sup>。而其中 BMP 和 JPEG 两种存储格式最为常用。本课题的图像存储格式采用的是 BMP 格式。之所以选取 BMP 格式主要考虑到以下原因：（1）该图像存储格式对图像没有进行压缩，数据结构比较简单，便于处理；（2）该程序的运行环境是 Microsoft 的操作系统，该系统对 BMP 文件格式具有较好的支持；（3）本课题选用的图像采集卡对 BMP 图像格式具有较好的支持，便于后续开发。

BMP 文件是 BitMap 的缩写，是 Microsoft 公司专为 Windows 环境下的绘图软件所设计的存储格式，BMP 文件具有以下特点<sup>[34]</sup>：

- （1）BMP 文件存储的色彩模式有单色、调色板（4 色、16 色、256 色）、24 位真彩色三种；
- （2）BMP 文件存储图像象素数据的顺序是先行后列，由下而上；
- （3）单色模式的 BMP 数据也附有颜色表数据；
- （4）存储图像象素数据可选择有压缩和无压缩两种方式。

BMP 图像文件存储的内部结构可分为四个单元，结构如表 4-1

所示：

表 4-1 BMP 文件的结构

BMP 文件		BITMAPFILEHEADER (BMP 文件头)	
	DIB	BITMAPINFOHEADER (位图信息头)	BITMAPINFO
		RGBQUAD (调色板)	
		位图数据区	

BMP 文件头包含了 BMP 文件的识别码，表明接下来的数据存储的是 BMP 文件；BMP 文件的大小以及图像数据区距离文件头的字节数。定义的结构如下：

```
Public Type BITMAPINFOHEADER      '40 bytes
    biSize As Long
    biWidth As Long
    biHeight As Long
    biPlanes As Integer
    biBitCount As Integer
    biCompression As Long
    biSizeImage As Long
    biXPelsPerMeter As Long
    biYPelsPerMeter As Long
    biClrUsed As Long
    biClrImportant As Long
End Type
```

位图信息头记录了图像的宽、高、颜色总数和压缩方式等信息。

定义结构如下：

```
Public Type BITMAPINFO
    bmiHeader As BITMAPINFOHEADER
    bmiColors As RGBQUAD
End Type
```

调色板（颜色表）紧接在位图信息头后面，记录了该图像中所用到的各种颜色的入口。定义结构如下：

```
Public Type RGBQUAD
    rgbBlue As Byte
    rgbGreen As Byte
```

```
    rgbRed As Byte
    rgbReserved As Byte
End Type
```

位图数据区是真正记录图像数据的区域,但这些数据所代表的意义是由位图信息头和调色板两部分决定的。

在采用 VB6.0 编程过程中遇到两个关键问题,经过查阅资料和自己摸索得到了解决,问题的解决方法如下:

#### (1) 图像像素数据的正确读取

由于 BMP 图像的存储格式具有特定的结构,如表 4-1 所示,而对图像像素的处理是对图像的位图数据进行操作的。表中的各个单元都具有一定的字节数,要正确读取图像的位图数据就要正确分析前面各个单元的字节数。本课题的 BMP 图像位 24 位图像数据,也就是每个像素占据三个字节(8 位)一个字节代表 R(红)、G(绿)、B(蓝)三色中的一种。由于本课题采用的是灰度图像,因此 R、G、B 三色的图像数据是一样的。BMP 文件的文件头结构中 `biSizeImage` 定义了整个图像数据的字节数。因此正确读取每个像素的图像数据,就要在每次读取一个字节的像素的图像数据以后跳过两个字节才能读取下一个像素的图像数据。

#### (2) 图像处理时的坐标系统的差异。

在 Windows 系统中的坐标系统是左上角的坐标为(0,0),而 BMP 图像的坐标系统是右下角为(0,0)<sup>[32]</sup>,因此两者坐标系同的差异在显示是就需要进行调整,认识到坐标原点后就不难进行调整了。因此对 BMP 图像进行图像处理时就要从右下角开始处理。

### 4.2.2 长丝原始图像的中值滤波预处理

滤波处理又叫图像平滑,其目的在于消除各种干扰噪声<sup>[35]</sup>,这些噪声可能是在图像采集、量化等过程中产生的,这类噪声的特点是离散的和随机的,因此在图像的阈值选取以及二值化之前,需要对原始图像进行滤波处理。目前用于滤波处理的算法很多,有中值滤波,最大值、最小值滤波,均值滤波以及自适应滤波等<sup>[36][37]</sup>,基于本课

题采集的图像情况，通过对比各种滤波原理，采用了中值滤波。

中值滤波是一种空间域处理的滤波方法，是一种非线性信号处理方法。它是根据邻域中各象素的灰度值来决定中心象素灰度值大小的方法。但是，中值滤波不需要根据邻域象素的灰度值，采用算术方法计算出中心点象素新的灰度值，而是一种按邻域象素中的象素灰度值排序后的中位象素灰度值（即排序后位置处于正中的那个象素的值）作为中心象素灰度值的方法<sup>[38]</sup>。

中值滤波的基本原理就是：在一维的情况下，中值滤波是一个滑动的窗口，它含有奇数个元素。对应窗口中心的象素的灰度值用窗口中各灰度值的中间数值（并非平均值）来代替。如图 4-5 所示是一个一维的模板，对模板中的像素值由小到大排列，最终的处理像素的灰度取这个模板中的灰度的中值。

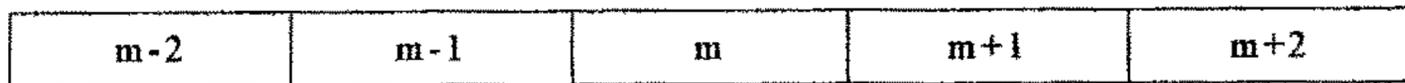


图 4-5 一维中值滤波示意图

对于二维的情况，则选用方形、圆形或者十字形的窗口进行滤波。中值滤波的窗口越大，所起的滤波作用也越大，但处理速度也就会下降，因此要选择合适的窗口大小。本课题采用的图像处理滤波器，是一种二维的中值滤波，窗口大小采用  $3 \times 3$  的窗口。方法就是对窗口中的 9 个象素灰度值排序，窗口中心的象素灰度值将取第 5 个数值替代它。如图 4-6 所示：

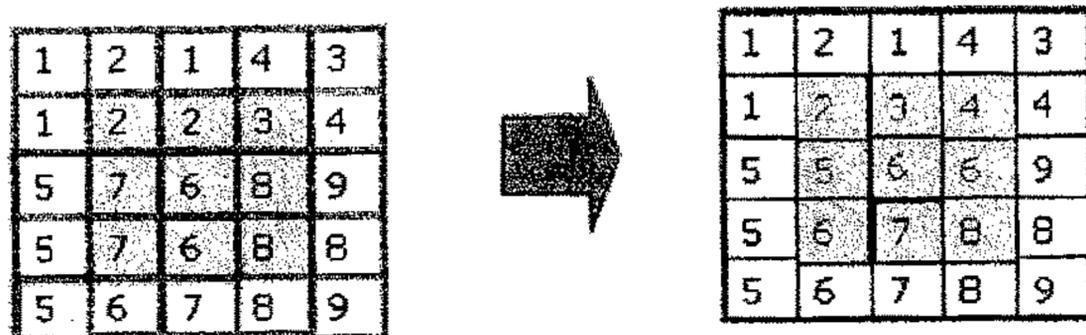


图 4-6 二维中值滤波示意图

经过中值滤波处理后的图像中的随机噪声可以有效地消除，而且处理过的图像的边界也不会变得模糊<sup>[39]</sup>，这也是本课题采用中值滤

波的原因。

#### 4.2.3 图像二值化阈值的计算方法

正确地计算阈值是进行图像二值化的基础。所谓阈值就是用于分离对象物体和背景的某个灰度。原理如下<sup>[22]</sup>：

$$f_1(x,y) = \begin{cases} 1 & f(x,y) \geq T \\ 0 & f(x,y) < T \end{cases}$$

其中  $T$  即为阈值。通常经过处理后的二值图像  $f_i(i,j)$  中的值为 1 的部分表示对象物体的图像，值为 0 的部分表示背景图像部分。正确选择阈值  $T$  是进行正确的图像二值化的基础。由于在正常的灰度图像中，“物体”与“背景”象素的灰度通常具有明显的差异，广义来讲，“物体”与“背景”的区域结构特征有显著的差异，这些特征包括：平均灰度、灰度的概率分布、文理结构、空间频率、相位等特征量。正是基于“物体”和“背景”的结构特征的显著差异才有可能把感兴趣的“物体”从背景中分离出来。

本课题采用基于图像空间的灰度阈值分割法进行图像的二值化。目前灰度阈值分割法进行二值化的阈值计算方法具有以下几种：（1） $P$ -参数法<sup>[22]</sup>、（2）状态法、（3）微分直方图法、（4）判别分析法<sup>[40]</sup>、（5）可变阈值法<sup>[41]</sup>、（6）S.Watanabe 方法<sup>[32]</sup>。

（1） $P$ -参数法：假设应分割出的“物体”的面积大致等于  $S_0$ ，它与图像总面积  $S$  的比率为  $P = S_0/S$ ，则可像灰度值在  $T$  以上的象素对全体象素的比率设为  $P$  那样求出  $T$ 。这样可以做出图像的直方图，从而求出灰度值  $T$ ，事先假设比  $T$  低的部分（或者比  $T$  高的部分）的象素之和对全体象素数的比值为  $1-P$ （或者  $P$ ）。

这种方法经常用于图纸和公文图像等应分割出的对象图形的面积能够进行某种程度推断的场合。

（2）状态法：求出给定图像的灰度直方图，在具有两个峰值（对应于图像中的“物体”与“背景”）分布的情况下，可以在这两个灰

度峰值中间的谷底地方决定 T 值，如图 4-7 所示：

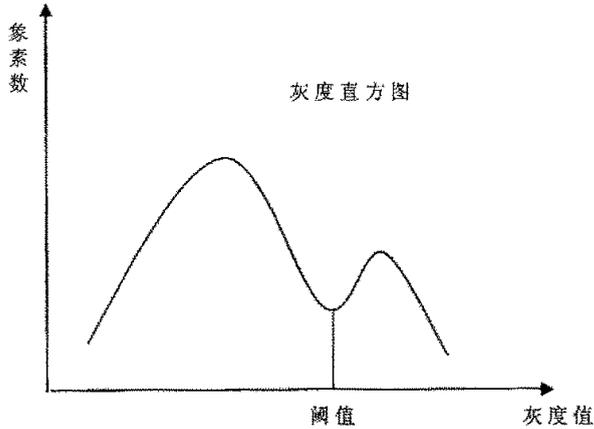


图 4-7 状态法的阈值选择示意图

灰度直方图的定义为：灰度直方图是灰度级的函数，描述的是图像中具有某一灰度级的像素的个数，纵坐标是该灰度的频数（像素的个数），横坐标是灰度值。灰度直方图的特点是所有的空间信息全部丢失，每一灰度级的像素个数可直接得到。它具有两种作用：①数字化参数，直方图给出了一个简单可见的指示，用来判断一幅图像是否合理地利用了全部被允许的灰度级范围。②边界阈值选取。假设某图像的灰度直方图具有双峰性，则表明这个图像中较亮的区域和较暗的区域可以较好地分离，取这一点为阈值点，可以得到较好的二值化处理效果。

根据这种灰度定义，通过灰度直方图计算阈值的状态法只有图像中的对象“物体”和“背景”的灰度差异较大的时候，因在灰度直方图中有明显的谷底，也就是图像的灰度直方图具有双峰时这一方法才比较适用。在干扰多的图像或者复杂的图像中，因为其灰度直方图不能形成明显的谷底，这种方法常常很难适用。

(3) 微分直方图法：这种方法是设想图像中的“物体”与“背景”的边界位于灰度值急剧变化的部分（边缘）。这就提出了不能直接利用图像的灰度值，而是利用其微分值（灰度的变化率）来决定阈值的方法。其方法就是：设图像中的某一像素具有灰度值  $S$ ，计算这

个像素的微分值。求出给定图像中具有灰度值  $S$  的所有像素的微分值的和，然后对所有的  $S$  求解即得到微分直方图。如图 4-8 所示：

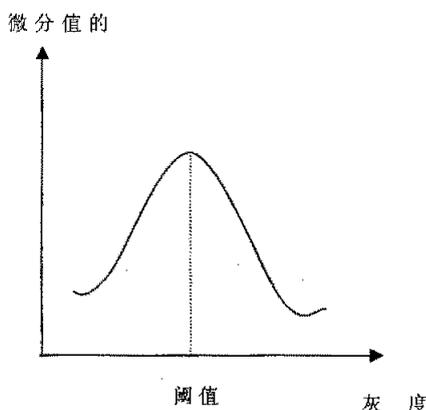


图 4-8 微分直方图

如果选择由此产生的直方图中具有最高值的灰度值，那么就认为这一灰度值对应于灰度变化率最高的部分。这一方法在图像的边界处于一定的灰度值范围时是有效的。

(4) 判别分析法：在图像灰度值的直方图中，假定把灰度值的集合用阈值  $T$  分成两组（灰度  $T$  以上的和不足  $T$  的）时，基于两组间的最佳分离而决定参数  $T$  的思想，提出了阈值选择法。实际上是根据两组的平均值的方差（组间方差）和各组方差（组内方差）的比为最大来确定  $T$  的。具体方法为：假定给定的图像在整个  $1, 2, \dots, L$  中具有  $L$  级的灰度值，设定阈值为  $k$ ，把具有  $k$  以上的灰度值的像素和具有比它小的值的像素数分成两个组，并规定为组 1 和组 2。把组 1 的像素数设为  $\omega_1(k)$ ，平均灰度值为  $M_1(k)$ ，方差为  $\sigma_1(k)$ ；第二组的像素数为  $\omega_2(k)$ ，平均灰度值为  $M_2(k)$ ，方差为  $\sigma_2(k)$ ，若全体像素的平均灰度值为  $M_T$ ，则组内的方差为：

$$\sigma_w^2 = \omega_1 \sigma_1^2 + \omega_2 \sigma_2^2$$

组间的方差为：

$$\sigma_B^2 = \omega_1 (M_1 - M_T)^2 + \omega_2 (M_2 - M_T)^2 = \omega_1 \omega_2 (M_1 - M_2)^2$$

也就是求 k 值使  $\frac{\sigma_B^2}{\sigma_W}$  为最大，所求出的 k 值即为所求阈值。这种方法在直方图中有两个山峰（存在谷底）的时候，可作为状态法使用，即使图像的灰度直方图不存在双峰，也可以求出阈值，因此常被用来求阈值。

#### （5）可变阈值方法（动态阈值）：

前面的几种阈值选取方法都是一幅图像选取一个阈值，也就是全局阈值，但是当目标图像比较复杂时，图像的灰度直方图看不出明显的双峰，用全局（单一）阈值对图像进行二值化时的效果并不理想，因此可变阈值，也就是动态阈值的方法就比较合适。可变阈值是对图像预先进行块状分割，如图 4-9 所示，在二值化时预先对图像划分  $4 \times 4$  块（实际的情况一般都是分的块数比较多，比如  $16 \times 16$  等），然后对每一块进行阈值计算，进行二值化操作，每一块的阈值选取就如前面的方法。

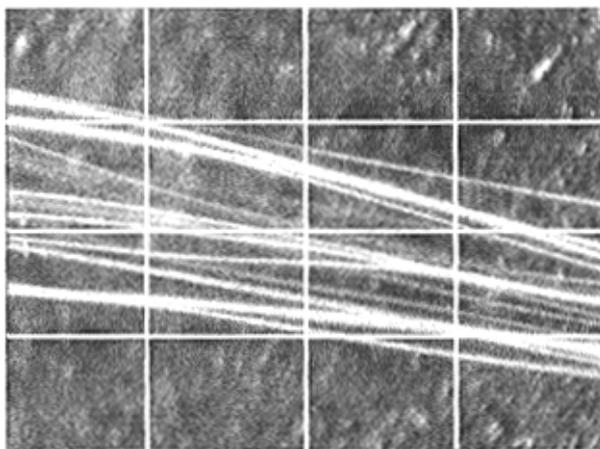


图 4-9 可变阈值示意图

其基本步骤如下：

- 1) 将图像分割成一系列子图像；
- 2) 计算出每个子图像的阈值；
- 3) 将计算出来的阈值构成一个矩阵，并对其进行插值，使之成为与

原图像像素数目相同大小的矩阵，假设得到的矩阵为  $y$ ；

4)将图像每一像素的灰度大小与矩阵  $y$  比较，假设目标物体为图像中较亮的部分，如该点灰度值比矩阵  $y$  对应的像素值大，则判为物体，反之则判为背景。这种方法计算量比较大。

(6) S.Watanabe 方法：

S.Watanabe 方法是由 S.Watanabe 提出的方法，以灰度直方图为依据，为图像二值化的阈值选取方法。具体的方法如下：

设  $X(i, j)$  为输入图像的点  $(i, j)$  的灰度值；

$Y(i+k_1, j+k_2)$  为点  $(i, j)$  的 8 邻域像素的灰度值。则灰度级  $X$

的差定义为：
$$S(i, j) = \sum_{k_1=-1}^1 \sum_{k_2=-1}^1 (D(i+k_1, j+k_2))$$

其中当  $X(i, j) - Y(i+k_1, j+k_2) > 0$  时， $D(i, j) = X(i, j) - Y(i+k_1, j+k_2)$

当  $X(i, j) - Y(i+k_1, j+k_2) < 0$  时， $D(i, j) = 0$

将图像中每个灰度级的所有  $S(i, j)$  分别叠加，可得到灰度差的直方图。即  $C(x) = \sum s(i, j)$

对应于最大的  $C(x)$  的灰度级即为输出的阈值  $Y$ 。

如果  $D(i, j)$  的定义变为：

$X(i, j) - Y(i+k_1, j+k_2) < 0$  时， $D(i, j) = X(i, j) - Y(i+k_1, j+k_2)$

当  $X(i, j) - Y(i+k_1, j+k_2) > 0$  时， $D(i, j) = 0$

那么输出的阈值将变为  $Y = (Y(+)-Y(-))/2$ ，其中  $Y(+)$  表示第一种定义的阈值， $Y(-)$  为第二种定义的阈值。图像的阈值就是两种定义阈值的平均值。

#### 4.2.4 本课题采用的图像二值化阈值方法

以上介绍了几种二值化时不同的阈值计算方法，尽管二值化阈值的计算方法很多，但是目前还没有统一的适合各种类型图像的阈值计算方法，因此就要根据本课题图像采集系统采集的图像的具体情况

选择合适的阈值计算方法。在选择二值化方法时还要兼顾图像处理的速度。

本课题图像采集系统采集的长丝图像是 256 级灰度图像，背景为黑色，目标物体长丝为白色，理想状态为只有 0 和 255 两个级别的灰度值，其灰度直方图将是两个峰值。但是由于背景物体以及光照原因，理想状态很难实现，因此拍摄的图像如图 4-1 所示，其灰度值是多灰度级的。统计 200 张长丝图像的灰度直方图得出结论：94% 的直方图呈现双峰。尽管 94% 的长丝图像灰度直方图呈现双峰，但是由于背景灰度原因，状态法很容易在二值化过程中丢失单根纤维。如果拍摄的图像中长丝和背景的灰度差异比较大，而且没有出现单根纤维，如图 4-10 和图 4-11，那么阈值的选取就比较容易，这一点在试验中也得到了证实。该图像的背景和长丝的灰度差异比较大，选取灰度级 144 到 243 的任一灰度就可以将其进行较好的二值化。但是对于图像中具有单根纤维的情况，如图 4-12 所示，单根纤维由于光照原因很难同背景在灰度上有比较大的差异，如果采用双峰法，图像中的一根单丝就会丢失（见图 4-12 和图 4-13）：

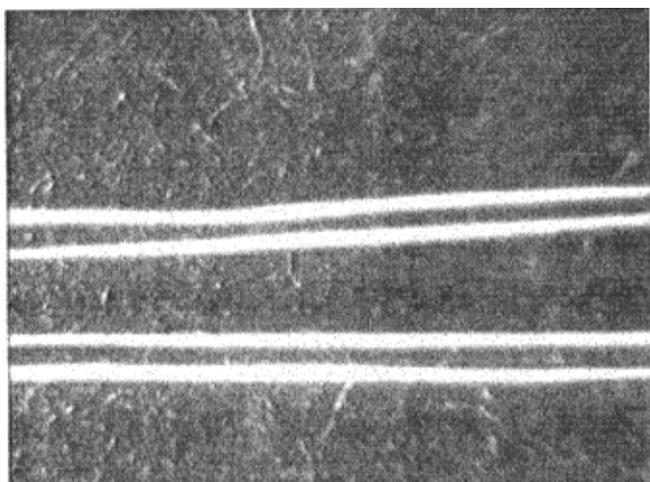


图 4-10 滤波处理后的长丝图像



图 4-11 状态法二值化后的图像

因此本课题采用 S.Watanabe 方法进行试验对比, 试验结果如图 4-14 所示。其效果比双峰法优越, 但是在速度方面就没有双峰法优越。鉴于这种情况, 本课题设计了两种方法, 可以有选择地使用。首先观察拍摄的长丝图像, 如果长丝图像的灰度和背景灰度相差比较大, 由于双峰法的速度处理起来比较快, 因此考虑到速度问题, 就采用双峰法进行二值化, 反之则采用 S.Watanabe 方法。

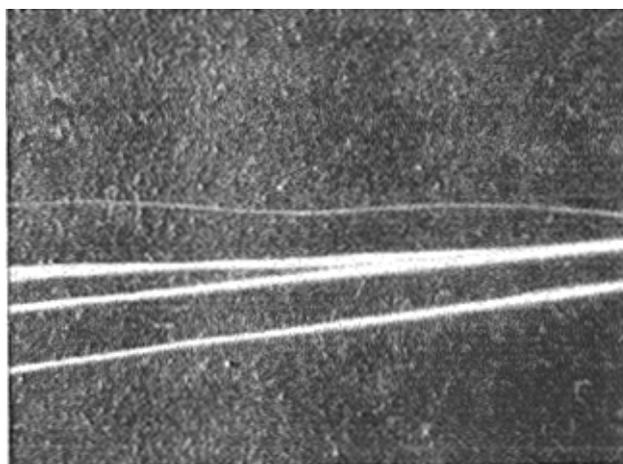


图 4-12 未经处理的长丝图像

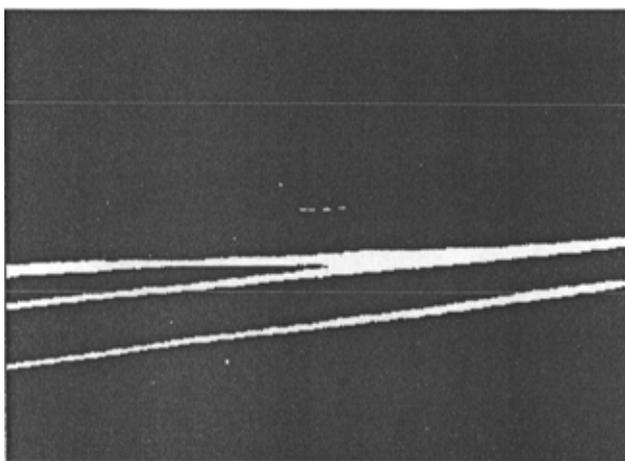


图 4-13 双峰法二值化后的图像

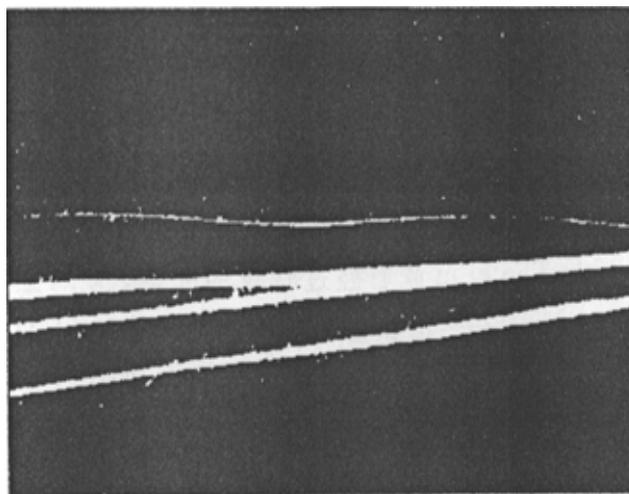


图 4-14 S.Watanabe 方法二值化的图像

#### 4.2.5 二值化图像消除雪花噪声的算法设计

对于已经二值化的上浆长丝图像，除了作为主体的长丝纱外，还存在着许多并不需要的白色孤立点，也就是所谓的雪花噪声<sup>[42]</sup>，如图 4-15 所示。

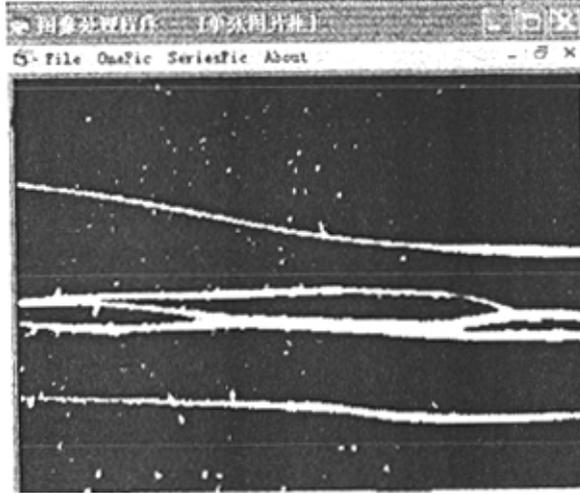


图 4-15 二值化后未经消噪处理的图像

这些噪声产生的原因是多方面的，主要是由于在显微镜下面，CCD 摄像机拍摄的图像中的背景物体的灰度不匀以及光照原因造成。因为这些噪声的灰度与目标物体长丝的灰度基本相等，所以不论采用何种二值化方法，这些噪声都很难彻底清除，由于这些噪声的存在，会给后续的长丝的特征提取，也就是图像中丝束数量的确定带来很大麻烦，因此在特征提取以前要经过特定的处理，使这些雪花噪声尽可能地降低。这就需要在二值化后面加上对雪花噪声的抑制及消除模块。

#### 4.2.5.1 邻域法消除孤立点：

邻域法消除孤立点有 4-邻域和 8-邻域两种方法<sup>[43]</sup>。所谓邻域就是：对于任意的象素  $(i, j)$ ，把象素的集合  $\{(i+p, j+q); (p, q) \text{ 是一对适当的整数}\}$  叫做象素  $(i, j)$  的邻域。象素  $(i, j)$  和其邻域的关系如图 4-16 所示。4-邻域和 8-邻域的关系式如下：

$$4\text{-邻域: } F_4(i, j) = \{(i+1, j), (i, j+1), (i-1, j), (i, j-1)\}$$

8-邻域：

$$F_8(i, j) = F_4(i, j) \cup \{(i+1, j+1), (i-1, j+1), (i+1, j-1), (i-1, j-1)\}$$

4-邻域和 8-邻域的图示如图 4-16 所示：其中  $X_1, X_2, X_3, X_4$  为 4-邻域像素点

$X_6$ $F(i-1, j-1)$	$X_2$ $F(i-1, j)$	$X_5$ $F(i-1, j+1)$
$X_3$ $F(i, j-1)$	$X_0$ $F(i, j)$	$X_1$ $F(i, j+1)$
$X_7$ $F(i+1, j-1)$	$X_4$ $F(i+1, j)$	$X_8$ $F(i+1, j+1)$

图 4-16 像素  $(i, j)$  和其邻域的关系图

4-邻域消除孤立点的原理就是在如图 4-16 的  $3 \times 3$  的图像模块中，如果当前处理的像素  $F(i, j)$  的灰度值为 255，而该点的 4-邻域像素的灰度均为 0 是，则当前处理的像素的灰度值也置为 0；如果当前处理的像素  $F(i, j)$  的灰度值为 0，而该点的 4-邻域像素的灰度均为 255 时，则当前处理的像素的灰度值同样也置为 255。

8-邻域消除孤立点的原理同 4-邻域清除孤立点的原理一样，只是 8-邻域消除孤立点对比的是 8-邻域像素点，也就是如果当前处理的像素  $F(i, j)$  的灰度值为 0，而该点的 8-邻域像素的灰度均为 255 是，则当前处理的像素的灰度值同样也置为 255。

#### 4.2.5.2 面积法消除孤立点<sup>[44]</sup>（标号法）

对于噪声和长丝纤维最大的区别就是它们所包含的像素点的个数不一样，所以假设长丝纤维的面积为  $S_{\text{长丝}}$ ，噪声的面积分别为  $S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_n$ （假设一共有  $n$  个噪声点），由于长丝是图像中的主要目标物体，因此必有下式成立：

$$S_{\text{长丝}} \gg \max(S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_n)$$

所以总能够找到一个面积阈值  $T$  满足：

$$\max(S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_n) < T < S_{\text{长丝}}$$

当  $S_i > T$  时，说明该区域为长丝纤维，则保持  $S_i$  中各点像素的灰度值不变；当  $S_i < T$  时，说明该区域为噪声，则将该区域的各点的灰度值置为背景的灰度值，这样就算实现了噪声的消除。

为了达到上述的面积法噪声消除的目的,必须先对图像中的各个区域进行标号,标号的目的主要是对各个区域的面积(这里统计的是各个区域的像素数,而不是各个区域的真实面积)进行计算,同时对各个区域的像素进行区分,为消除工作做好准备。

对本课题的面积法噪声消除,在其他方法的基础上,本文提出了更加适合快速方法:首先要初步统计一幅图像中有几根纤维束  $N_1$ ,这个结果由于噪声的存在而会比实际丝束的数量  $N$  大。然后统计图像中各个白色区域(包括雪花噪声和长丝图像,假设区域个数为  $N_2$ ) 像素的个数,假定用数组  $A(0), A(1) \dots A(N_2)$  用来统计各个区域的像素数,统计完毕后对  $A(i)$  按由小到大的顺序进行排序,由于图像中长丝图像的像素数远远大于噪声的像素数,因此,排序后位于序列后面的  $N_1$  个区域就是长丝的像素,依据这个判断,位于前面的  $(N_2 - N_1)$  个区域就是噪声像素的区域,因此这些区域的像素灰度值就可以置为背景的灰度值。经过用面积法噪声消除后的图像如图 4-17 所示(原始图为图 4-15)。

本课题采用的是面积法消除孤立点的方法对采集的上浆长丝进行消除噪声处理的。

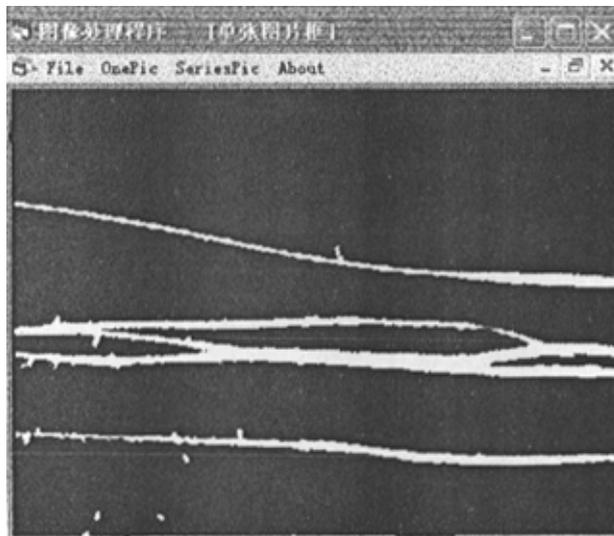


图 4-17 经过消除噪声处理后的长丝图像

### 4.3 图像处理分析软件的可靠性分析

本课题图像处理系统的主要目的就是分析长丝图像中的丝束的数量,图像处理分析程序的准确分析是长丝上浆效果快速检测评定系统的关键环节之一。因此开发完成后需要对该程序进行可靠性分析,用以判断该程序能否在一定的置信水平下准确地对长丝图像中的丝束数量进行统计分析。

在试验中,为了更能体现试验结果的客观性,我们选取不同上浆率拍摄的 200 张上浆长丝图像,其中也包括了没有经过上浆的长丝图像。把图像法测得的 200 幅图像中纤维束的根数分别记为:  $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \dots, \xi_i, \dots, \xi_{200}$ , 用目测法测得的 200 幅图像中丝束的数量记录为:  $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \dots, \eta_i, \dots, \eta_{200}$ 。假设用图像法测得的样本的数学期望  $E(\xi) = \mu_1$ , 方差  $D(\xi) = \sigma_1^2$ ; 用目测法测得的样本的数学期望为  $E(\eta) = \mu_2$ , 方差  $D(\eta) = \sigma_2^2$ ; 由中心极限定理可知<sup>[45]</sup>: 当  $n \rightarrow \infty$  时有下式成立:

$$\bar{\xi} \xrightarrow{\text{渐近于}} N\left(\mu_1, \frac{\sigma_1^2}{n_1}\right)$$

$$\bar{\eta} \xrightarrow{\text{渐近于}} N\left(\mu_2, \frac{\sigma_2^2}{n_2}\right)$$

当样本足够大时, 可以用  $s_1^2$  代替  $\sigma_1^2$

$$\bar{\xi} \xrightarrow{\text{渐近于}} N\left(\mu_1, \frac{s_1^2}{n_1}\right)$$

$$\bar{\eta} \xrightarrow{\text{渐近于}} N\left(\mu_2, \frac{s_2^2}{n_2}\right)$$

在上浆长丝图像的丝束数量测试中  $n=200$  的样本已经足够大, 可以看作  $n \rightarrow \infty$ , 所以下式成立<sup>[46]</sup>

$$\bar{\xi} \sim N\left(\mu_1, \frac{s_1^2}{n_1}\right)$$

$$\bar{\eta} \sim N\left(\mu_2, \frac{s_2^2}{n_2}\right)$$

根据正态分布的性质有:

$$E(\bar{\xi} - \bar{\eta}) = \mu_1 - \mu_2$$

$$D(\bar{\xi} - \bar{\eta}) = \frac{S_1^2}{n} + \frac{S_2^2}{n} = \frac{S_1^2 + S_2^2}{n}$$

$$\text{所以 } \bar{\xi} - \bar{\eta} \sim N\left(\mu_1 - \mu_2, \frac{S_1^2 + S_2^2}{n}\right)$$

因此下式成立：

$$\frac{(\bar{\xi} - \bar{\eta}) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2}{n}}} \sim N(0,1)$$

用图像法和目测法测定的图像中丝束数量的两种结果是否存在显著性差异呢？这一点可通过统计分析来检验（置信水平为  $1 - \alpha = 95\%$ ）。

首先假设用图像法和目测法对长丝图像中丝束的数量统计没有显著性差异，即

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \quad H_1: \mu_1 \neq \mu_2;$$

根据前面的推导在  $H_0$  成立的条件下，我们可以选取统计量：

$$U = \frac{|\bar{\xi} - \bar{\eta}|}{\sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2}{n}}} \sim N(0,1)$$

则  $P\{|U| \geq \mu_{1-\alpha/2}\} = \alpha$  为小概率事件，把该区域作为否定域，当统计量落在该区域就否定原假设  $H_0$ ；否则就接受原假设  $H_0$ 。

在  $\alpha = 0.05$  时，经查表  $\mu_{1-\alpha/2} = 1.96$

对目测法和图像法检测到的结果进行计算

得到：

$$\bar{\xi} = 12.38, \quad \bar{\eta} = 13.02, \quad S_1^2 = 35.84, \quad S_2^2 = 39.77$$

$$\text{所以 } U = \frac{|\bar{\xi} - \bar{\eta}|}{\sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2}{n}}} = \frac{|12.38 - 13.02|}{\sqrt{\frac{35.84 + 39.77}{200}}} = 1.041 \leq 1.96$$

由此可知，统计量没有落入否定域，所以接受原假设  $H_0$ ，即图像法和目测法所得到的结果经过统计检验表明没有显著性的差异。从而验证了该图像处理分析系统的可靠性。

## 第五章 长丝上浆效果快速检测评定系统的试验验证

### 5.1 测试系统的验证试验方案

长丝上浆效果快速检测评定系统研制完成后必须经过试验验证才能用于实际应用。通过公认的原理和经过生产实践验证了的常识可对该系统的工作原理及可靠性进行验证。对本课题研制的长丝上浆效果的快速检测评定系统的试验验证主要从以下几方面进行：

- (1) 试验结果的可重复性试验；
- (2) 上浆率对上浆效果影响的验证试验；

通过对不同上浆率的涤纶长丝进行检测试验，从而验证该检测评定系统能否反映实际情况；

目前已经公认经纱上浆存在最佳上浆率，主要是由于上浆率过低，对经纱的保护不够；上浆率过高，经纱会变脆及表面粗糙，引起摩擦力增大，从而容易引起长丝分束，进而容易引起断头，使织造效率降低<sup>[45]</sup>。因此只有在这个上浆率最佳区间内的上浆长丝的集束性才能达到最优。所以用来评价本课题研制的长丝上浆效果快速检测评定系统的第二个试验就是来验证这个区间的存在。

- (3) 浆料种类对上浆效果影响的验证试验；

通过两种不同浆料对同一种长丝进行上浆，然后评价经过织造模拟后上浆涤纶长丝的集束性。在相同上浆率的条件下，采用性能优良的浆料上浆的涤纶长丝的集束性将会优于采用性能差的浆料上浆的涤纶长丝。

### 5.2 测试系统的验证试验结果

#### 5.2.1 试验结果的可重复性试验

试验采用聚丙烯酸酯浆料和 66den（25 根单丝）的涤纶长丝，上浆率为 5%。在同样的试验条件下，进行 10 次试验，通过计算试验结果的容许差来评价该长丝上浆效果快速检测评定系统检测试验结

果的可重复性。10次试验的结果见表5-1。

表5-1 稳定性试验结果

试验次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
丝束数量(根)	6.5	5.7	7.1	5.3	6.7	6.2	5.7	5.9	5.4	6.9
平均值	6.14									
$S^2$	0.3644									

上浆长丝经过织造负荷模拟分离丝束数量的最大值与最小值之差为：

$$\text{最大值} - \text{最小值} = 1.8 < \text{容许差} = r * K_{10} / 2.83 = 2.807 \quad (5-1)$$

$$\text{其中 } K_{10} = 4.65, \quad r = f * \sqrt{2} * \sqrt{S^2}$$

通过式(5-1)可知,该试验的试验结果小于容许差,因此测试结果具有可重复性。

### 5.2.2 上浆率对上浆效果影响的验证试验

该试验采用的浆料为聚丙烯酸脂,上浆率为2.1%,3.5%,5%,6.7%,8.2%,11.3%,试验用长丝仍是66den的涤纶长丝纱。试验结果如图5-1及表5-2所示:

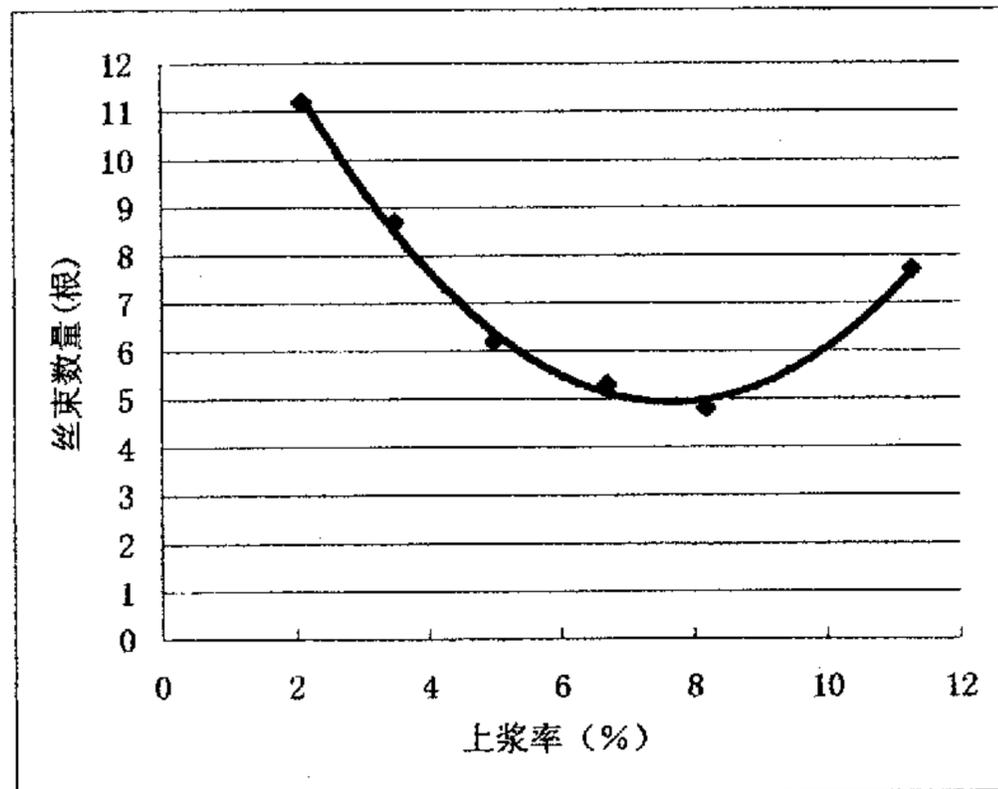


图5-1 上浆率—集束性之间的关系

表 5-2 不同上浆率下经过织造负荷模拟后长丝集束性的试验结果

上浆率 (%)	2.1	3.5	5	6.7	8.2	11.3
丝束数量(根)	11.2	8.7	6.2	5.3	4.8	7.7
离散系数	0.2157	0.2364	0.1644	0.1754	0.1378	0.2243

验证试验结果表明,由本课题研制的检测系统得到的涤纶长丝纱在不同上浆率的条件下,存在着最佳上浆率区间的结论和长丝上浆实际生产中的经验规律相一致。

### 5.2.3 浆料品种对上浆效果影响的验证试验

该试验采用的浆料分别是聚丙烯酸酯浆料和变性淀粉浆料,上浆率为 5%,试验用长丝仍是 66den 的涤纶无捻长丝纱。试验结果如表 5-3 所示:

表 5-3 不同浆料、同一上浆率下经过织造负荷模拟后,长丝集束性的试验结果

浆料	聚丙烯酸酯	变性淀粉
丝束数量(根)	6.2	8.8
离散系数	0.1644	0.2475

通过该试验的结果可知,在上浆率相同的条件下,采用变性淀粉浆料上浆的涤纶长丝的集束性比采用聚丙烯酸脂浆料上浆的涤纶长丝的集束性差。该试验结果同实际生产中的结论相一致:对于涤纶长丝,聚丙烯酸脂浆料的上浆性能优于变性淀粉浆料的上浆性能<sup>[46]</sup>。

通过本节的试验结果分析表明,该长丝上浆效果快速检测评定系统的检测结果和公认的原理及经过生产实践验证了的常识具有较好的相关性。

## 第六章 结论及今后的研究方向

### 6.1 结论

本课题的主要任务就是研制新型的用于检测长丝上浆效果的方法及仪器。为此要研究新的检测方法，研制新的检测系统，然后通过试验验证该系统检测长丝上浆效果的工作原理是否可行，结果是否可靠。通过本课题的研究，研发了一种新型的检测方法：通过织造负荷模拟装置对上浆长丝进行织造负荷模拟，然后利用 CCD 摄像技术采集长丝图像，接着利用计算机图像处理分析方法检测上浆长丝的集束性，进而评价上浆长丝的上浆效果。

经过本课题的理论以及试验研究，得出以下结论：

1. 研制的一种新型的长丝上浆效果检测方法—CCD 摄像及图像法长丝集束性检测可以很好地用于长丝上浆效果的检测。

2. 评价长丝上浆效果的各种参数中，上浆长丝的集束性是最重要的指标。目前用于检测上浆长丝的集束性的方法很难适应快速的连续检测，很难客观评价上浆长丝的集束性。而图像法具有快速、客观、准确、自动化程度高等优点，而且计算机检测也代表了纺织检测的发展方向。

3. 本课题研制的新型织造负荷模拟装置准确地模拟了织造过程中经纱与经纱之间的切向摩擦负荷以及经纱承受的周期性拉伸及曲折等负荷。该装置已申请国家专利，专利申请号为 200320108657.7。经纱与经纱之间的切向摩擦对经纱的摩擦磨损远远大于经纱同织机机件之间的摩擦对经纱的摩擦磨损。该装置也再次验证了这个结论。

4. 本课题采用 Microsoft Visual Basic6.0 开发的图像采集系统能够实时地采集经过织造模拟后的上浆长丝的图像，而且能够根据需要实现连续采集以及图像的单帧采集。

5. 本课题设计的图像处理分析系统能够完成对长丝图像的滤波处理、二值化处理及对二值化图像雪花噪声的消除。该系统对上浆长丝图像的集束性检测结果同目测法的检测结果经过统计检验没有明显的差异。证明该图像处理分析系统能够对上浆长丝的集束性进行快速客观地

评价。

6. 本课题研制的长丝上浆效果快速检测评定系统能够快速、客观地评价上浆长丝的集束性，通过分析上浆长丝的集束性可以准确地评价长丝的上浆效果。

## 6.2 本课题今后的研究方向

本课题还有很多方面值得深入研究，在今后的研究工作中，应从以下几个方面进行：

1. 对本课题设计的长丝上浆效果的快速检测评定系统进行工厂实际试验验证：具体方法就是采集工厂中用于织造的不同上浆批次的上浆长丝，测得其在织造过程中的织造效率，然后同经过该长丝上浆效果快速检测评定系统检测的上浆效果相比较，通过这种方法来进一步评价该检测系统同实际情况的相关性。

2. 影响无捻长丝织造性能的主要因素是上浆长丝的集束性，但是除了上浆长丝的集束性之外，还有其他因素，例如浆丝的上浆率、回潮率、减伸率以及在织造过程中的经纱与经纱之间的缠结趋势等，因此为了更为准确地评价上浆长丝的织造效果就需要全面考虑所有因素。考虑到这个原因，本课题更进一步的研究方向就是建立一个专家评定系统，预先输入各种上浆长丝的浆纱效果参数，包括有上浆长丝的集束性、浆丝的上浆率、回潮率、减伸率以及经纱与经纱之间的缠结力等，然后再输入预先从织造工厂得到的织造效率等各种织造性能参数，利用神经网络理论或者模糊判别理论建立一套上浆效果的预测系统。之后如果得到某种长丝的上浆效果参数，就可以通过该系统对其织造性能进行快速预测。

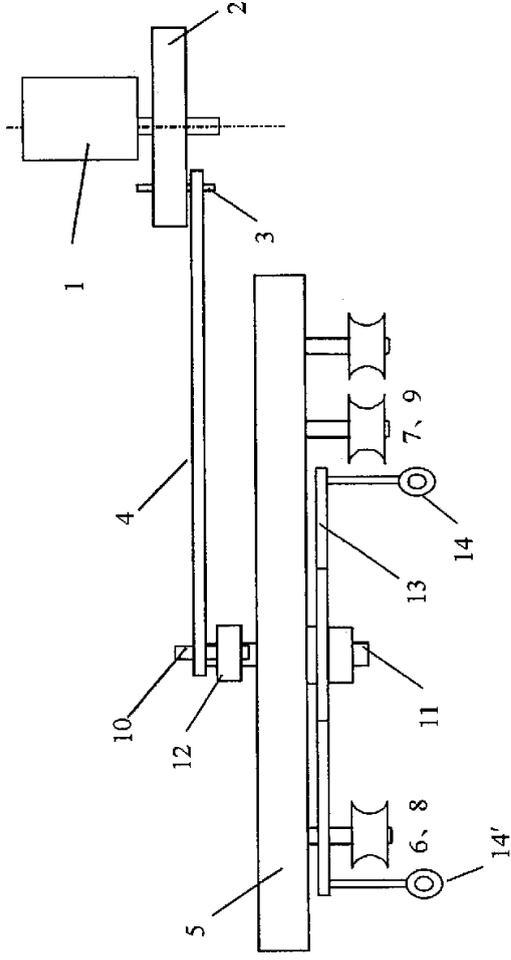
参考文献:

- [1] 郭建生, 上浆目的的再认识及相应的检测方法, 全国浆料和浆纱技术 2002 年会论文集, 193~198。
- [2] 林旭、何红霞, 纱线耐磨试验装置的研究, 棉纺织技术, 2002, 30, 6, 54~57。
- [3] 姚桂芬、周永元等, 实验方法研究纱线可织性, 东华大学学报, 2003, 29, 5, 48~50。
- [4] J.Guo,J.Trauter、T.Stegmaier, Analysis Process for yarn-specific sizing, Melliand English 2001, 3, 78~83
- [5] 吴晓波等, 图像测量系统中的误差分析及提高测量精度的途径, 精密工程 1997, 5, 1, 133~141。
- [6] 高卫东、宋瑞萍等, 现代织造工艺与设备, 1998, 中国纺织出版社, 北京。
- [7] 周永元, 浆纱合理质量指标的探索, 纺织学报, 1990, 11, 4, 158~161。
- [8] 新型浆纱耐磨性能测试方法研究, 全国浆料和浆纱技术 2002 年会论文集, 68~72。
- [9] JianSheng Guo, Entwicklung einer Method zur schnellen Bestimmung des Zusammenhangs Garn, Schlichtemittel und Laufverhalten in der Weberei, 2000。
- [10] 深田要、一见辉彦, 经纱上浆, 1979, 纺织工业出版社, 北京。
- [11] Willshaw-R, A period of consolidation, African-Textiles, 1987, 9, 10~14。
- [12] 王彩霞, 图像处理技术在纺织检测中的应用, 青岛大学学报, 1999, 14, 3, 101~103。
- [13] 高军, 图象法羊毛直径自动测试仪器研究, 2002, 东华大学纺织学院硕士论文, 上海。
- [14] Anon, Loom abrasion resistance tester, Textile-Horizons, 1994, 14, 3, 52。
- [15] 王鸿博、高卫东, 浆纱耐磨性能分析, 天津纺织科技, 1999, 37, 3, 24~26
- [16] Harteman-E, Laboratory tests on sizes for filament yarns, Melliand Textile International, 1976, 57, 5, 371~375。
- [17] Liute-D、Nagy-I, Study of the sizing parameters for man-made fiber yarns , Industria-Usora-Textile. Tricotaje; Confectii-Textile, 1989, 40, 1, 13~19。
- [18] 王夕源, 纱线耐磨试验与仪器的研究, 黑龙江自动化技术与应用, 1991, 2, 45~47。

- [19] 郁崇文、王军、王新厚, 工程参数的最优化设计, 2003, 东华大学出版社, 上海。
- [20] 龚剑、朱亮等, Matlab 入门与提高, 2000, 清华大学出版社, 北京。
- [21] 李汝勤、松钧才, 纤维和纺织品的测试原理与仪器, 1995, 中国纺织大学出版社, 上海。
- [22] 田村秀行等, 计算机图像处理技术, 1986, 北京师范大学出版社, 北京。
- [23] 张毓晋, 图像处理和分折, 1999, 清华大学出版社, 北京。
- [24] 姚穆、周锦芳, 纺织材料学, 1997, 中国纺织出版社, 北京。
- [25] 王庆有, CCD 应用技术, 2000, 天津大学出版社, 天津。
- [26] 张远鹏等, 计算机图像处理技术基础, 1996, 北京大学出版社, 北京。
- [27] 黄润发、强莎莎, VB 程序设计技术, 2001, 中国纺织大学出版社, 上海。
- [28] 冉光志、陈旭春等, Visual C++ 应用技巧与常见问题, 2003, 机械工业出版社, 北京。
- [29] Microsoft Corporation, VB 6.0 中文版程序员指南, 1998, 北京希望电脑公司, 北京。
- [30] Eric Brierley、Anthony Prince 等, VB6.0 开发人员指南, 1999, 机械工业出版社, 北京。
- [31] 张远鹏、董海, 计算机图像处理技术基础, 1996, 北京大学出版社, 北京。
- [32] 李兰友、万振凯, Visual Basic 6 图像处理开发与实例, 2000, 电子工业出版社, 北京。
- [33] 李月景, 图像识别技术及应用, 1983, 机械工业出版社, 北京。
- [34] 徐飞、施晓红, Matlab 应用图像处理, 2002, 西安电子科技大学出版社, 西安。
- [35] Conci and C.B.Proenca A Computer Vision Approach for Textile Inspection, Textile Research Journal, 2000, 70, 4, 89~93。
- [36] 费玉忠、余序芬, 羊毛细度快速图像测试法探讨, 上海纺织科技, 1997, 5, 54~56。
- [37] Akio Sakaguchi、Hyungsup Kim、Yo-ichi Matsumoto, Woven Fabric Quality Evaluation Using image Analysis, Textile Research Journal, 2000, 70, 11, 102~106
- [38] 高卫东等, 织物中纬纱排列参数的自动识别, 棉纺织科技, 2002, 30, 1, 28~31。
- [39] Bhuvnesh、C.Goswami、D.Anandjiwala、Tony, Material and machine Interaction During Weaving, National Textile Center Annual Report, 1993。
- [40] K.R.Castleman, Digital Image Processing, 1998, 电子工业出版社, 北京。

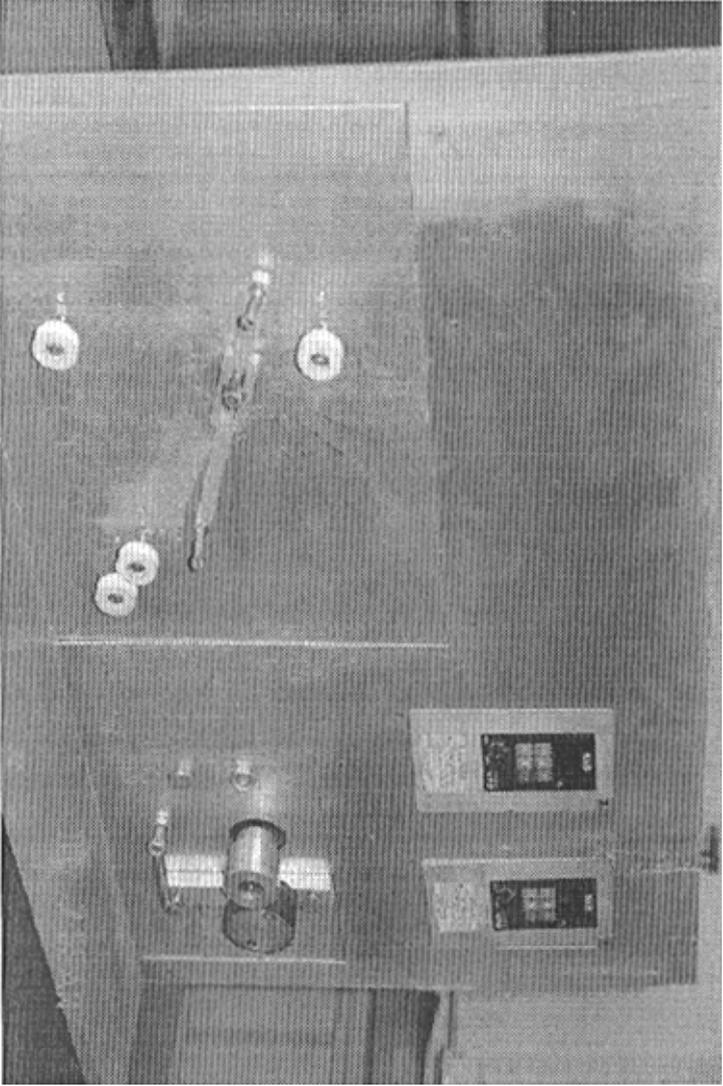
- [41] 涂其远、吴建华, 动态阈值结合全局阈值对图像进行分割, 南昌大学学报: 工科版, 2002, 24, 1, 37~40。
- [42] Kang T.J., Choi S.H., Automatic Structure Analysis and Objective Evaluation of Woven Fabric Using Image Analysis, Textile Research Journal, 2001, 71, 3, 98~102。
- [43] TRJO TRJOA, Automatic Structure Analysis and Objective Evaluation of Woven Fabric Using Image Analysis, Textile Research Journal, 2001, 71, 3, 134~137。
- [44] 邢树永, 织物起球等级客观评定方法的研究, 2001, 东华大学纺织学院硕士论文, 上海。
- [45] 庄楚强、吴亚森, 应用数理统计基础, 1999, 华南理工大学出版社, 广州。
- [46] 袁卫、庞皓等, 统计学, 2000, 高等教育出版社, 北京。

附录 I：织造负荷模拟装置示意图



1—电动机, 2—曲柄凸轮, 3—连接杆, 4—连杆, 5—墙板, 6、7、8、9—导纱轮, 10—摆角调节销  
 钉, 11—摆动轴, 12—摩擦摆臂, 13—摇杆, 14、14'—导纱环

附录 II：织造负荷模拟装置实物图



附录III：回归方程系数计算函数：

```
function y=xsjs(Y1,yz)
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;
```

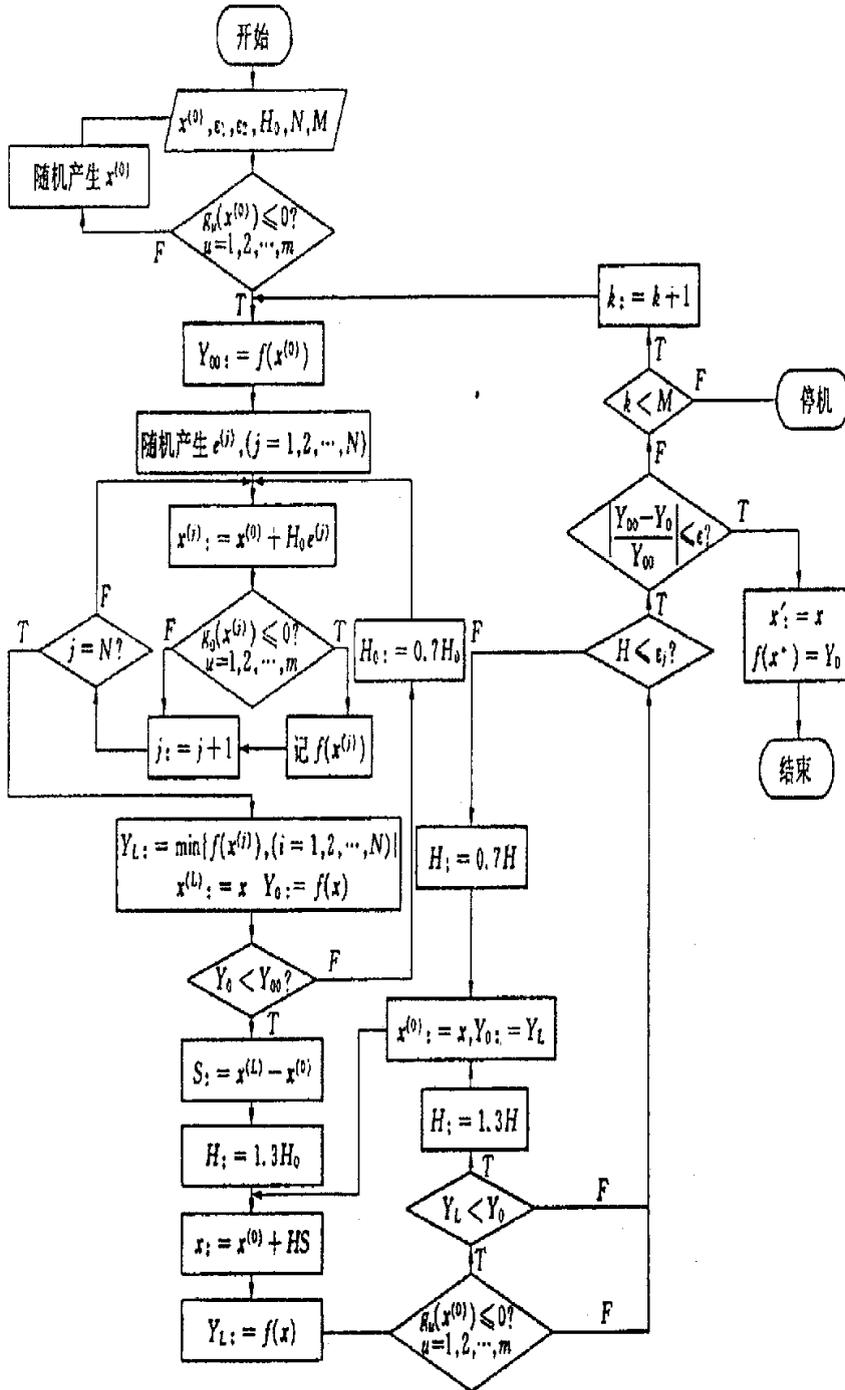
附录IV：单个指标回归方程的回归系数的检验与剔除：

```
function [y,tj,tt,ffs]=dxsjy(alpha,Y1,kk,yz)
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*c*gama^4/H;
    G=(e*e-N*mc)/H;
    bb=xsjs(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)*ss/fs);
        tj(k)=tk;
        if (tk<=tinv(1-alpha,fs))
            bb(k,kk)=0;
        end
    end
    end
    y=(bb(:,kk))';
    tt=tinv(1-alpha,fs);
    ffs=fs;
else
    disp(' 您输入了非法的因子数!      yz 只能为 2、3 或 4。');
end;
```

附录 V：回归方程的显著性检验：

```
function [y,tj1,tj2,tjf1,tjf2]=fcjy(Y1,k,alpha1,alpha2,yz)
    clc;
    [sz,fz,ss,fs,sh,fh,sw,fw,slf,flf]=pingfanghe(Y1,k,yz);
    F1=slf*fw/sw/flf;
    tj1=F1;
    tjf1=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, tjf1 和 tjf2 分别为对应的两个 F 检验的分位数');
```

附录VI：约束随机方向搜索法程序框图



## 附录VII：最优点搜索函数：

```
clc;
clear;
M=input('请输入您要优化的问题中涉及到的变量个数：');
lim1=input('请输入第一个变量的下限和上限（以向量形式表示）：');
lim2=input('请输入第二个变量的下限和上限（以向量形式表示）：');
lim3=input('请输入第三个变量的下限和上限（以向量形式表示）：');
disp('显示结果中的 x0、x3、ff2 及 hh 分别表示初始点、局部最优点、局部最优值和程序大的循环次数。')
K=10;
tra=randperm(K);
a=linspace(0.7*lim1(1),0.7*lim1(2),K);
trb=randperm(K);
b=linspace(0.7*lim2(1),0.7*lim2(2),K);
trc=randperm(K);
c=linspace(0.7*lim3(1),0.7*lim3(2),K);
for s=1:K
    x0=[a(tra(s)),b(trb(s)),c(trc(s))]
    suiiji

disp('~~~~~')
~)
end
disp('~~~~~')
~)
%end
disp('完成！')
```

附录VIII：图像采集主程序：

```
Private Sub Caiji_Click()
Dim Page As Integer '采集的图像张数
Dim n As Integer
Dim BufSize As Long
Dim BlockSize As Long, PhysMemAddr As Long, MemHandle As Long, LineAddr As Long
Dim p As TPoint

'设置图像数据的缓冲区大小
If (ColorSpace = Limited8Bit) Or (ColorSpace = All8Bit) Then
    BufSize = CLng(frmMain.VideoRect.Width) * CLng(frmMain.VideoRect.Height)
Else
    BufSize = CLng(frmMain.VideoRect.Width) * CLng(frmMain.VideoRect.Height) * CLng(3)
End If

ReDim pBuf(0 To BufSize - 1)

r = StaticMemAlloc(BlockSize, PhysMemAddr, MemHandle, LineAddr)
'将保留内存的页面数转换为字节数
BlockSize = BlockSize * 4096

If BlockSize <= 2 * BufSize Then
    MsgBox "保留内存区域太小，不能执行 Snapone 操作！ ", vbInformation
    Exit Sub
End If

'设定 BMP 的文件头信息
bmiFHeader.bfOffBits = Len(bmiFHeader) + Len(bminfo)
bmiFHeader.bfReserved1 = 0
bmiFHeader.bfReserved2 = 0
bmiFHeader.bfType = BMP_MAGIC_COOKIE
bmiFHeader.bfSize = 0

'设定 BMP 的头信息
bminfo.header.biSize = Len(bminfo.header)
bminfo.header.biWidth = VideoRect.Width
bminfo.header.biHeight = VideoRect.Height
bminfo.header.biPlanes = 1
If (ColorSpace = Limited8Bit) Or (ColorSpace = All8Bit) Then
    bminfo.header.biBitCount = 8
    Dim i As Integer
    For i = 0 To 255
        With bminfo.bmiColors(i)
```

```

        .Red = i
        .Green = i
        .Blue = i
        .reserved = 0
    End With
Next
Else
    bminfo.header.biBitCount = 24
End If
bminfo.header.biCompression = BI_RGB
bminfo.header.biSizeImage = 0
bminfo.header.biXPelsPerMeter = 0
bminfo.header.biYPelsPerMeter = 0
bminfo.header.biClrUsed = 0
bminfo.header.biClrImportant = 0

'调整按钮状态
frmMain.cmdStopPlay.Enabled = True
frmMain.cmdBeginPlay.Enabled = False
frmMain.cmdCapToMem.Enabled = False
frmMain.cmdGrab.Enabled = False
frmMain.cmdSnapOne.Enabled = False
frmMain.cmdSaveDsp.Enabled = False
frmMain.cmdSaveMem.Enabled = False
frmMain.cmdSetup.Enabled = False
frmMain.cmdExit.Enabled = False

Dim nStatus As Long, flag As Integer, Num As Integer
nStatus = 1
flag = 1
bSnap = True

'得到显示 DC
DC = GetDC(VideoRect.hWnd)

r = CG400SnapToMem(hcg, PhysMemAddr, BlockSize, FRAME, 2)
Page = 1
n = 1
Do While bSnap
    '允许程序处理其他时间
    DoEvents
    '采集帧数的初始化
    Num = -1
    '判断当前采集状态

```

```

r = CG400GetSnapToMemNumber(hcg, nStatus)
If (nStatus = 2) And (flag = 1) Then '采集完成
    flag = 2
    Num = 1
End If
If (nStatus = 0) And (flag = 2) Then '采集完成
    flag = 1
    Num = 2
End If
If (Num > 0) Then
    r = CG400ReadFromMem(hcg, LineAddr, BlockSize, Num - 1, pBuf(0), True)
    If (ColorSpace = Limited8Bit) Or (ColorSpace = All8Bit) Then
        If hPalette <> 0 Then
            r = SelectPalette(DC, hPalette, False)
            r = RealizePalette(DC)
        End If
    End If

    If n = Page * 15 Then
Dim hFile As Integer

        hFile = FreeFile()
        Open ("d:\图片\" & Page & ".bmp") For Binary As #hFile
            Put #hFile, , bmiFHeader
            Put #hFile, , bminfo
            Put #hFile, , pBuf
            Page = Page + 1
        Close #hFile
    End If
        r = SetDIBitsToDevice(DC, 0, 0, VideoRect.Width, VideoRect.Height, _
            0, 0, 0, VideoRect.Height, pBuf(0), bminfo, DIB_RGB_COLORS)
        n = n + 1
    End If
Loop

r = ReleaseDC(VideoRect.hWnd, DC)
bExit = True

End Sub

```

附录IX： 中值滤波函数：

```
Public Function AbstergeBits(mBitmap As cDIB, MyValue As Long, Wide As Long, Optional  
ByVal IsProgress As Boolean = False)
```

```
Dim I As Long, j As Long, SinValue As Single, Value As Single
```

```
Dim fi As Long, fj As Long, fs As Long, ChangeNum As Long
```

```
Dim jj As Long, ii As Long, jj_ As Long, ii_ As Long
```

```
Dim ScanLine As Long
```

```
Dim PicBits() As Byte
```

```
Dim ByteArray() As Byte
```

```
Dim TempBits() As Long
```

```
Dim MColor As Long, Color As Long
```

```
Dim n As Long, n_ As Long, v As Long, Wide_ As Long, Half As Long
```

```
Dim sWidth As Long, sHeight As Long
```

```
Dim wi As Long, wj As Long, wi_ As Long, wj_ As Long
```

```
Dim DataSize As Long
```

```
DataSize = mBitmap.SizeImage
```

```
Wide_ = -Wide
```

```
n = (Wide * 2 + 1) ^ 2
```

```
Half = (n - 1) / 2 + 1
```

```
n_ = Half
```

```
ReDim TempBits(n)
```

```
ScanLine = mBitmap.mWidth * 4
```

```
mBitmap.MapArray PicBits
```

```
ReDim ByteArray(0 To mBitmap.SizeImage) As Byte
```

```
For I = 0 To DataSize - 3 Step 4
```

```
For j = 0 To 2
```

```
Color = PicBits(I + j)
```

```
v = 0
```

```
wi = I + Wide_ * ScanLine
```

```
For fi = Wide_ To Wide
```

```
wi = I + fi * ScanLine
```

```
jj_ = Wide_ * 4
```

```
jj = jj_ + j
```

```
For fj = Wide_ To Wide
```

```
wj = wi + jj_
```

```
If wj < DataSize And wj >= 0 Then
```

```
TempBits(v) = PicBits(wi + jj)
```

```
Else
```

```

        TempBits(v) = Color
    End If
    jj = jj + 4
    jj_ = jj_ + 4
    v = v + 1
Next fj
wi = wi + ScanLine
Next fi
For fi = 0 To n_
    fs = fi
    For fj = fi + 1 To n
        If TempBits(fj) < TempBits(fs) Then fs = fj
    Next fj
    ChangeNum = TempBits(fi)
    TempBits(fi) = TempBits(fs)
    TempBits(fs) = ChangeNum
Next fi
MColor = TempBits(Half)
ByteArray(I + j) = MColor + (Color - MColor) * SinValue
Next j
ByteArray(I + 3) = PicBits(I + 3)
Next I
mBitmap.UnMapArray ByteArray

AbstergcBits = True
End Function

```

附录 X：图像直方图程序：

```
Private Sub Form_Load()  
Dim hd(255) As Long  
Dim pic() As Byte  
Dim i, j As Integer  
Dim xres, yres As Integer  
Dim cc, k As Long  
  
frmZhifangtu.MSChart1.RowCount = 16  
frmZhifangtu.MSChart1.ColumnCount = 16  
  
xres = frmOnePic.picOnePic.ScaleWidth  
yres = frmOnePic.picOnePic.ScaleHeight  
ReDim pic(xres, yres) As Byte  
  
frmZhifangtu.MSChart1.Row = 1: frmZhifangtu.MSChart1.RowLabel = "16"  
frmZhifangtu.MSChart1.Row = 2: frmZhifangtu.MSChart1.RowLabel = "32"  
frmZhifangtu.MSChart1.Row = 3: frmZhifangtu.MSChart1.RowLabel = "48"  
frmZhifangtu.MSChart1.Row = 4: frmZhifangtu.MSChart1.RowLabel = "64"  
frmZhifangtu.MSChart1.Row = 5: frmZhifangtu.MSChart1.RowLabel = "80"  
frmZhifangtu.MSChart1.Row = 6: frmZhifangtu.MSChart1.RowLabel = "96"  
frmZhifangtu.MSChart1.Row = 7: frmZhifangtu.MSChart1.RowLabel = "112"  
frmZhifangtu.MSChart1.Row = 8: frmZhifangtu.MSChart1.RowLabel = "128"  
frmZhifangtu.MSChart1.Row = 9: frmZhifangtu.MSChart1.RowLabel = "144"  
frmZhifangtu.MSChart1.Row = 10: frmZhifangtu.MSChart1.RowLabel = "160"  
frmZhifangtu.MSChart1.Row = 11: frmZhifangtu.MSChart1.RowLabel = "176"  
frmZhifangtu.MSChart1.Row = 12: frmZhifangtu.MSChart1.RowLabel = "192"  
frmZhifangtu.MSChart1.Row = 13: frmZhifangtu.MSChart1.RowLabel = "208"  
frmZhifangtu.MSChart1.Row = 14: frmZhifangtu.MSChart1.RowLabel = "224"  
frmZhifangtu.MSChart1.Row = 15: frmZhifangtu.MSChart1.RowLabel = "240"  
frmZhifangtu.MSChart1.Row = 16: frmZhifangtu.MSChart1.RowLabel = "256"  
  
Screen.MousePointer = 11  
  
For i = 0 To yres - 1  
For j = 0 To xres - 1  
  
cc = Form2.Picture1.Point(j, i)  
cc = GetPixel(frmOnePic.picOnePic.hdc, j, i)  
pic(j, i) = (cc And &HFF)  
k = pic(j, i)  
hd(k) = hd(k) + 1
```

```
Next
Next

For i = 0 To 15
    For j = 0 To 15
        frmZhifangtu.MSChart1.Row = i + 1
        frmZhifangtu.MSChart1.Column = j + 1
        frmZhifangtu.MSChart1.Data = hd(i * 16 + j)
    Next
Next

frmZhifangtu.Caption = "灰度直方图"
frmZhifangtu.MSChart1.Title = "灰度直方图"

Screen.MousePointer = 0
End Sub
```

附录XI: S.Watanabe 法求阈值:

```
For i = 0 To frmOnePic.picOnePic.ScaleWidth - 1
  For j = 0 To frmOnePic.picOnePic.ScaleHeight - 1
    ImageHui(i, j) = PicBits((j * 3 * frmOnePic.picOnePic.ScaleWidth) + (i * 3))
  Next
Next
```

```
For I = 0 to 255
  S1(I)=0
  S2(I)=0
Next I
```

```
For I = 1 to frmOnePic.picOnePic.ScaleWidth - 1
  For J = 1 to frmOnePic.picOnePic.ScaleWidth - 1
    For N1=-1 to 1
      For N2=-1 to 1
        Temp=ImageHui (I,J) - ImageHui(I+N1,J+N2)
        If Temp >=0 then
          S1(ImageHui(I,J))= S1(ImageHui(I,J))+ Temp
        Else
          S2(ImageHui(I,J))= S2(ImageHui(I,J))+Temp
        End if
      Next N2
    Next N1
  Next J
Next I
Max1=0
Max2=0
For I = 0 to 255
  If S1(I) > Max1 then
    Max1=S1(I)
    Yu1=I
  End if
  If Abs(S2(I)) > Max2 then
    Max2=Abs(S2(I))
    Yu2=I
  End if
Next I
Yuzhi=Int(Yu1+Yu2)/2
```

## 攻读学位期间发表学术论文目录:

### 1. 浆纱质量检测技术的新进展

《棉纺织科技》 2003, 31, 12, 27~29 第一作者

### 2. 新型经纱织造负荷模拟装置的研制

《上海纺织科技》 已录用 第一作者

## 致 谢

首先感谢我的导师郭建生老师，本硕士学位论文是在郭老师的悉心指导下完成的。在两年多的学习生活及论文工作中，从学习上及论文的选题、资料的查阅和整理、实验的进行到最后论文的撰写工作上，方方面面都得到了郭老师的关怀和指导。郭老师严谨的治学态度、求实的科研作风、创新的学术思想给了我极大的帮助和教诲，郭老师对我在研究思路上的提点将使我受益终身。值此论文完成之际，谨向我尊敬的导师致以忠心的感谢和深深的敬意！

在课题的整个研究过程中，一直得到了郭腊梅老师和戴传彪老师的热情指导和帮助。在此对她（他）们表示深深的谢意！

在论文的完成过程中，得到了纺织学院李立轻和陈霞两位博士的无私帮助，在此对他们表示衷心的感谢！

最后，再一次向在我攻读硕士学位期间所有帮助我、关心我的领导、老师和同学表示衷心的感谢！