

## 中 文 摘 要

本文的研究成果体现在，提出了一种能够测量棉纤维长度分布的方法。它采用大面阵 CCD，利用近显微光学系统，抓取棉纤维的图像，然后通过图像测量的方法，对棉纤维进行逐根识别和测量。与图像测量方法配套，还提出了一种 Hertel 取样方法，该方法大大缩短了棉纤维试样制备的时间，并且首次解决了 Hertel 试样的可测性难题——一个在 60 多年内未能解决的问题。为消除取样中的涨落问题，提出了中值滤波方法，解决了由 Hertel 曲线反推棉纤维长度分布不稳定的问题。此外测量系统自动化程度高，测量过程全部由计算机控制，能够在 10 分钟内完成对一个试样的测量，解决了棉纺织行业急需解决的一个重要问题——短纤维率测量问题。同时该测量系统还能给出：主体长度，品质长度等重要棉纤维长度指标。

本文另一项工作是与 Y111 的对比实验，对比实验涉及主体长度、短纤维率和品质长度这三项棉纤维长度指标。

图像测量结果与 Y111 测量结果，在 95% 的置信水平上，主体长度相关系数的平方为  $R^2=0.94$ ，品质长度相关系数的平方为  $R^2=0.97$ ，短纤维率相关系数的平方为  $R^2=0.82$ 。此外，方差齐性分析结果证明，Y111 方法和图像测量方法的测量精确度，在品质长度和短纤维率上，没有显著差异（即离散性在同一个水平上）；在主体长度方面，图像法优于 Y111 方法。对棉纤维的长度分布特征，我们也做了对比实验，两种方法得到的长度分布曲线非常类似。对比实验结果说明，本文提出的图像测量方法，测量棉纤维的长度分布是有效的。

本文的主要创新工作包括：

1. 建立一种棉纤维的 Hertel 取样方法
2. 测试棉须逐点累积根数的准确测量方法——图像测量方法
3. 基于 Hertel 曲线计算纤维长度分布的数学模型
4. 制做出纤维长度分布测量的样机。

关键词：棉纤维，短纤维率，图像测量，纤维长度分布

# Abstract

The achievement exists in that a new method which can be used to measure the cotton length distribution is offered in this paper. The prototype machine is mainly composed of a CCD and a near-micro optical system which can grab fiber image, recognize every fiber and measure their lengths. At the same time a new Hertel sampling method is invented for the measuring system, and the sampling method is quite helpful in reducing testing time. This new sampling method also means we have solved problem of Hertel sample's measurability , a problem which has frustrated us for more than 60 years. In order to cancel the random effect in cotton sampling, a medieval filtering tool is introduced in our machine. The whole system is controlled by a PC, and one cotton testing result can be obtained in about 10 minutes.

Another important work accomplished is comparative experiment with Y111, where the testing items are majority length, short fiber content and quartile length. With the confidence of 95%, the results obtained by image method and Y111 method are highly correlated, where we have  $R^2=0.94$  for majority length,  $R^2=0.97$  for quartile length and  $R^2=0.8$  for short fiber content. We also analyze the results' variances which shows that the two methods have no evident differences in precision when measuring quartile length and short fiber content, whereas the image method is more accurate than Y111 when measuring majority length. Finally we make a comparative experiment on cotton length distribution, and the curves drawn from the data attained by the two methods are pretty similar. All these mean that the image method put up here is valid in measuring cotton length distribution.

The original work I have done are as follows

1. A new Hertel sampling method has been invented.
2. The image measurement of cotton length distribution has been put forward, by which fibers on fibrogram can be accurately measured.
3. A math model has been constructed for calculating cotton length distribution from Hertelish curve
4. A prototype instrument has been made.

**Key words:** cotton fiber, short fiber content, image measurement, cotton length distribution.

## 独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作和取得的研究成果，除了文中特别加以标注和致谢之处外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得 天津大学 或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名: 何晓峰 签字日期: 2005年 6月 26日

## 学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解 天津大学 有关保留、使用学位论文的规定。特授权 天津大学 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，并采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编以供查阅和借阅。同意学校向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘。

(保密的学位论文在解密后适用本授权说明)

学位论文作者签名: 何晓峰 导师签名: ��文川  
签字日期: 2005年 6月 26日 签字日期: 2005年 6月 28日

# 第一章 绪 论

## 引言

人们很早就解决了棉纤维主体长度的仪器测量；而短纤维率和品质长度的测量，目前还没有解决好。这两个指标都与棉纤维长度分布有关，且对纺织工艺中的成纱质量有很大影响<sup>[1, 2, 3]</sup>。至于长度分布对成纱质量有何影响，这方面的研究仅仅才开始，研究成果不多<sup>[4, 5]</sup>。而短纤维率测量方法的研究已有二十年历史，许多研究成果有较大的参考价值，一些研究方法可以借鉴。因此，希望以此为突破口，找到快速测量棉纤维长度分布的有效方法。

### 1.1 问题的提出

棉花短纤维率的测量，一直没有太好的办法。关于它的测量，国家在 1986 年颁行了一个推荐标准（非强制），即操作繁琐、测量结果受人为因素影响很大的 Y111。在纺织上，短纤维会降低成纱质量，增加原料消耗。在皮棉的商业交接上，短纤维含量是皮棉降级、重量折扣的一个重要因素。因此，皮棉的商业交接，常因为短纤维率的大小，经常发生法律纠纷。仲裁的结果经常是不了了之，因为 Y111 的置信区间，没有人搞清楚过。这一状况引起了笔者的注意，并开始关注这个问题的研究。其后在 1999 年，国家在皮棉质量标准重订——GB1103-1999 的前言<sup>[6]</sup>中罗列了一些急需解决的棉纤维品质测量方法的问题，短纤维率的快速、准确测量也被列在其中。由于测量手段尚不具备，因此，本次国标修改，没有确定出一种测量短纤维率的国家标准。进入世贸组织以后，为了保护国家的利益，必须基于国际惯例，制定相应的检测标准。在世界上，只有中国和埃及的棉花短纤维率含量较低，与美国的棉花相比，中国的棉花短纤维率平均低 3% 至 5%。2002 年，中纤局开始考虑如何与国际接轨，经与世贸组织及相关主要产棉大国——美国、澳大利亚等国协商后，在皮棉的进出口贸易中，引入短纤维率和棉结这两项指标，并以 Y111 作为检测手段。我方意见一公布，立刻招致国外的反对<sup>[7]</sup>，美国棉花协会（NCC）反对意见具有代表性，主要理由有两条：1) Y111 测量不准确，重现性差，成本高，速度慢；2) 这两项指标在国际上未被接受为原棉质量检测指标，且没有一个可行的测量方法。这两条理由虽然充分，但是这两项质量标准确实很重要，美国棉花协会也承认这一点，并且谈到他们很早就致力于这两项棉纤维指标测量方法的研究，国际纺织机械联盟（ITMF）也一直在想办法解决这个问题，只不过现在暂时没有找到可行的办法。中国毕竟是个棉

花进口大国，不可能无所作为。2003年4月，国家标准委批准发布GB1103-1999《棉花细绒棉》第1号修改单（国标委农轻函〔2003〕44号），并准备于2004年1月1日起施行该《标准》<sup>[1]</sup>。修改单的主要内容是增加了短纤维率和棉结的检验，短纤维率按照按GB/T 6098.1-1985执行。虽然修改是在吸纳美国、加拿大等国意见基础上形成的，但一经颁布，还是招致国外的指责。中国的两项国家标准成了美国媒体的热门话题，他们强烈批评中国设置贸易壁垒。尽管如此，中国在当时赢了。为了向美国棉农提供出口棉的质量检测服务，美国农业部派专人负责研究如何掌握中国提出的测量方法（Cui XiaoLiang负责短纤维率的测量）<sup>[2]</sup>，研究Y111的操作。不过现在的情况是，我国已暂停该标准的实施，何时实施，另行通知。造成这一状况的具体原因是，目前没有可行的检测手段。

## 1.2 常见棉纤维长度测量仪器测量原理

目前常见的棉纤维长度检测仪器有三类：一类是分组秤重；一类是光电测量；还有一类是全自动仪器。下面进行简要介绍。

### 1.2.1 分组秤重类仪器

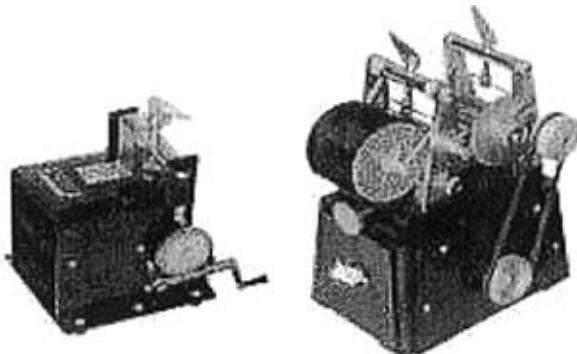


图 1-1 Y111 仪器实物图

分组秤重仪器有Y111罗拉（图1-1）和Y121梳片，它们的组距分别为2mm和1.6mm。中国主要使用Y111，美国则使用Y121，它在美国又叫做Suter-Webb。这两型仪器的基本原理是将待测棉样，以机械加手工的方式，分成不同长度段的等长纤维，然后逐个秤重，并根据这些重量，计算出纤维的长度指标。它们能够测量出如下长度：

主体长度：纤维取样长度分布频率中的长度，以出现的最大重量频率为准。

品质长度：重量加权的大于主体长度纤维的长度平均值。

平均长度：在重量- 长度的基础上，对所测定的棉样中所有纤维的算术平均值。

短纤维率：短于 16mm（美国定为 12.6mm）纤维量占总体的百分比

整齐度 (Y111)：主体长度上下 5mm 内的纤维重量占试样总重量的百分比。

整齐度 (Y121)：主体长度上下各四组的纤维重量占试样总重量的百分比。

这两种仪器操作繁琐，劳动强度大。就 Y111 而言，其基本操作方法是：将 30mg 棉样手工整理成一端平齐的棉束，然后置入到罗拉中，一次转出 2mm，将露出的纤维一次一次夹出，再把这些不同长度段的纤维分别称重，然后按一个特殊的公式计算各个长度指标。这种测量方法，效率较低。一般两个熟练操作工合作，可以在 2 小时完成一个试样的测量。有关该仪器的各种误差这里不做分析，但其复杂的误差来源，是不可控的。纺织工艺中的配棉（根据不同来源的皮棉，依据其长度特征，按照工艺要求，进行长短搭配）主要靠纤维的长度指标来进行的。由于 Y111 存在系统误差，使得 A 厂的配棉经验数据不适合 B 厂。还有这样的企业，Y111 的操作只能由同一个人完成；如果换了别人测量的数据作为配棉的参数，会使产品质量降低。Y111 和 Y121 的最大优点是原理清楚明白，不过其优点被落后的操作手段抵消。手工操作过程中，手汗不可避免要被棉纤维吸收一部分，此外，保证 0.05mg 级的天平没有系统误差，也是不容易的。

### 1.2.2 光电测量仪器

这类仪器的特点是测量速度快，基本原理是通过光电发射与接收器件对试样棉须扫描，直接得到纤维的长度。典型仪器有国产 Y146 和国外的 HVI900，它们很好地解决了主体长度的测量，不过还难以胜任其它长度指标的测量。由于测量短纤维率方面的研究主要集中在这类仪器上，因此在讨论相关研究文献时，再顺便解说它们的测量原理。

### 1.2.3 全自动测量仪器

#### 1) Almeter

全自动测量仪器有 Peyer 公司的 Almeter 和 Uster 公司的 AFIS。Almeter 的测量原理是，首先使用一种自动化的机械，将棉纤维制程一端平齐的棉须，然后用电容传感器从底至上扫描，通过将测量出的电容值转化为对应的纤维根数，完成纤维长度分布的测量。Almeter 在试样制备上确实是自动化程度很高的仪器，不过它早已停产。从原理上讲，它不能对棉纤维进行及时检测，必须将待测试样保存在一定湿度的实验室 7 天以上。否则在制备试样时，磨擦会在纤维上产生静

电，从而影响测量结果。此外，Almeter 制备的棉须不可能保证一端完全平齐，根据本人在北京商检局对 Almeter 运行的观察，其一端的不整齐度在 2mm 左右。有实验证明，受测棉须一端的不整齐是测量误差的一个重要来源<sup>[10]</sup>，不过不得不承认，Almeter 这种基于运动针床的纤维分离方法，令人叹服。笔者找到过将纤维单根化的手工分离方法<sup>[11]</sup>，操作流程与 Almeter 的运动针床差不多，不过没有能力做成相应的机械装置。国内虽然曾经有过对 Almeter 纤维分离器的仿制，但没有成功。

## 2) AFIS

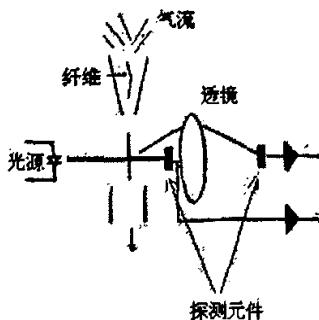


图 1-2 AFIS 测量原理

AFIS 是目前公认能够测量短纤维率的快速仪器，其测量结果与 Y111 及 Suter-Webb 的相关系数非常高，众多的对比实验也证明了 AFIS 是很好的测量仪器<sup>[12][13][14]</sup>。它的工作原理是（图 1-2）：借助梳棉机的方法，将待测棉样分离成单根纤维，然后用气流将纤维送入光学检测装置中逐根测量<sup>[15]</sup>。笔者也认为它是性能优良的仪器，然而该仪器也确实需要澄清几个问题：1) 在纤维分离阶段，高速旋转的刺棍会将一些长纤维打断，造成短纤维率增加 7% 左右<sup>[14]</sup>，在这种情况下，测量软件所做的补偿算法，是否会造成测量范围的局限性。因为纤维长度越长，损伤的越厉害；此外其损伤度还与棉纤维的成熟度有关，不同的成熟度，也会造成不同的损害<sup>[16]</sup>。这就是说，其测量结果也受到棉花品种的影响。因为不同品种的棉花，其断裂强度是有差异的。即便是同一个棉花品种，由于生长环境的变化，其强度也会变化。如新疆棉花品种到内地种植时，纤维强度变高；内地品种到新疆种植，则强度降低<sup>[17]</sup>。因为整体长度较长的纤维，会被打断的多一些，而整体长度较短的纤维，会被打断的少一些。2) 为什么通过检测小孔的纤维只有 9-30% 的纤维被检测到<sup>[18]</sup>？被测到的纤维是否准确地反映了全部纤维的长度分布特征？笔者猜测纤维可能并没有单根化，而是多根纤维并在一起，被当作一根纤维检测了。现在有最新研究开始讨论纤维的缠绕对测量结果产生影响题<sup>[18]</sup>。

气流在输送纤维时，长纤维运动速度慢于短纤维，理论上讲，长纤维的测量结果偏大，短纤维的测量结果偏短。而 AFIS 由于做了软件补偿，其测量结果刚好相反<sup>[17]</sup>。这样一来，是否会造成仪器对被测对象的依赖。也有实验证实 AFIS 表现不是非常好<sup>[19][20]</sup>，相关系数  $R^2=0.35—0.58^{[21]}$ 。AFIS 的真实测量原理是否与其手册介绍的完全一样？至今没人清楚。事实上只有掌握了 AFIS 未经修改的原始测量值，掌握了 AFIS 软件算法源码，才能真正搞清其测量原理。不过这些都是仪器的核心技术，也永远不可能知道。AFIS 技术的原创公司 Schaffnar 的技术人员的话很有启示：“AFIS 的原理仍然不够清晰、坚实，需要开发有坚实原理基础——基于图像测量技术的新一代仪器”<sup>[22]</sup>

### 1.3 国内相关研究

如何快速检测短纤维率，近年来这一问题在国内外，受到了普遍的关注。在国内，主要谈论的是短纤维对纺纱质量的危害，以及实现快速准确测量短纤维率的意义。真正的研究非常少，也许它太难了。

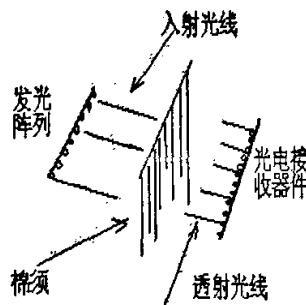


图 1-3 Y146 测量原理

山东纤检所在 Y146 仪器上做了一些有关短纤维率测量的研究，并认为自己解决了这个问题<sup>[23]</sup>。一个事实是从其专利申请到今天，十多年过去了，该测量方法未被国家标准采纳，行业上也未实际使用。而从操作上看，该方法简单、便捷，为什么不能推广呢？答案只有一个：这个问题并没有真正解决。

Y146 仪器是用来测量主体长度的仪器，其基本测量原理如下（如原理图 1-3 所示）：

首先在两把挂梳上手工均匀挂样，通过梳子对梳的方式整理棉样。然后将棉须置入测量系统中，测量系统由一组光发射元件与一组光敏接收元件阵列构成。棉须在初始位置时有一个光电流  $36 \mu A$ ，接下来使棉须上升，这个过程中光电流

会逐渐增大。当电流变为  $90 \mu A$  时停止梳夹上升。此时梳夹上升的距离为  $y$ , 那么主体长度  $L_n$  与  $y$  存在一个回归方程:

$$L_n = ay + b \quad (1-1)$$

a、b 是回归系数。

山东纤检所的宋均才在实验的基础上发现了这个关系<sup>[24]</sup>。实践证明这种方法测量主体长度是有效的, 该仪器也被列入国标。

王宝才先生的想法是挂梳上有短纤维, 短纤维率的大小, 在挂梳移动时, 一定能够在光电流上有所反映。他通过实验, 找出了挂梳的两个关键位置——挂梳在  $3.25\text{mm}$  和  $11.75\text{mm}$  处的遮光量  $Q_1$ 、 $Q_2$ , 并得到下列回归方程:

$$sfc = (Q_1 - Q_2 - 12) \cdot (L/27) \quad (1-2)$$

$sfc$ ——短纤维率

$Q_1$ —— $3.25\text{mm}$  处的遮光量

$Q_2$ —— $11.75\text{mm}$  处的遮光量

$L$ ——主体长度

方法很简单, 但存在问题。首先, 短纤维率是由一个较大长度区间的纤维量构成, 品质长度亦如此。仅依赖少数几个点的测量, 希望得到一个具有整体特征的量, 很难保证测量的准确性。其次光电测量方法所依据的原理是: 纤维的消光规律遵从 Lambert 定律。不过生物体通常是强散射介质<sup>[25]</sup>, 棉纤维也不例外, 如图 1-4 所示的棉纤维的微观形态<sup>[26]</sup>, 显然具备散射特征。不同成熟度的纤维, 转曲程度也不一样。棉纤维在生长过程中, 与其它植物一样, 不断累积纤维素。生长时间长的纤维, 累积的纤维素多一些, 体积较大, 吸收的水分较多。后生纤维累积的纤维素少一些, 体积较小, 吸收的水分较少。棉花采摘后, 纤维内的水分很快失去, 造成棉纤维的转曲。原来含水多的纤维, 转曲度大; 含水少的纤维, 转曲度小。不同转曲度的纤维的消光特性不一样。有实验证实其差异可达 22%<sup>[27]</sup>。此外, 棉纤维的成分较多, 从内部中腔向外, 它可分为: 中腔, 反向层, 初生层, 蛋白质, 脂肪层, 蜡质层, 这些不同的介质, 其光学特性是不一样的。纤维的形态、光学特征受品种影响、受成熟度的影响, 受新棉、陈棉颜色差异的影响, 这么多的复杂因子在起作用, 笔者猜测, 其光学特性已经不是指数特征的 Lambert 定律。更何况, 纤维的消光特性还要受到它的回潮率的影响。基于以上事实, 既然棉纤维的消光特征不是 Lambert 的, 那么建立在其上的光电长度测量方法, 当

然是不可靠的。



图 1-4 棉纤维几何形状特征

陆永良等人在照影仪曲线上选择 5 个点，通过高次插直的办法来测量短纤维率<sup>[28]</sup>。虽然他们实验结果很好，然而还是存在相同的问题。高次插值仅是个算法，他们与王宝才一样，都是在现有成熟的仪器上做软技术开发。将算法移植到仪器中应该是很简单的事情，不过这件事至今也没有做出来。陆永良等人在做插值函数时发现，插值点太多的话，照影仪曲线不稳定，所以只好希望以较少的测量点解决短纤维率的测量问题。笔者认为，测量点过少，不会有理想结果，因为样条曲线不能保证它代表真实照影仪曲线。

#### 1. 4 国外相关研究

国外研究（主要是美国）主要集中在 HVI900 仪器的二次开发上，为了讲清楚这个问题，有必要对 HVI900 的测量原理做一个简单的介绍。这样做是必要的，因为它的正面影响和负面影响都非常大，许多错误传到了中国，国内不少有关棉纤维长度测量的研发，都受到了这种错误思路的影响，造成人力物力的浪费。

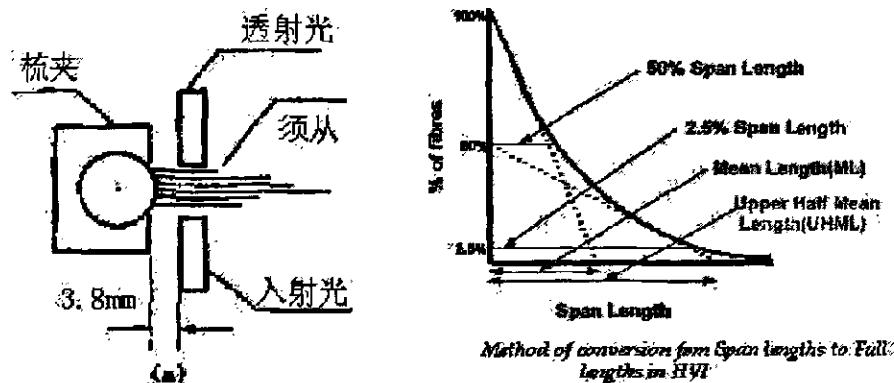


图 1-5 HVI900 测量原理

HVI900 是美国民间与美国农业部联合开发的产品，它是棉纤维综合指标测量仪器，除长度测量以外，还给出颜色、强力、水分、含糖量等指标。HVI900 自 70 年代问世以来，得到了广泛应用。这里我们只涉及它在长度上的测量原理。

如图 1-5 所示, 制备好的棉样, 按随机分布理论, 被 192 取样器随机抓取, 在梳夹上形成测试棉须。棉须在一个狭缝中运动, 同时光电信号被纪录下来。运动距离与光电信号数据对, 构成一组曲线——照影仪曲线。纵坐标为纤维的相对根数  $R(l)$ , 用百分值表示。横坐标为纤维依据梳夹夹持线伸出的长度——跨距  $l$ 。纤维根数与光电信号的关系遵从 Bill 指数定律<sup>[29]</sup>

$$I=I_0 e^{-rk} \quad (1-3)$$

$k$ ——纤维根数  $r$ ——消光系数

$R(l)$  依据照影仪定义, 又叫做二次累积根数。按照 Spinlab 手册定义, 2.5% 跨距是纤维根数为梳夹上起始点根数 2.5% 的点所对应的跨距, 即  $R(l) = 2.5\%$ 。对照图 1-5, 可以清楚了解什么是 50% 跨距。在此基础上, HVI 引入了几个长度定义:

平均长度: 纤维的总长度之和与纤维根数值比。

上半部平均长度 (UHML): 总量一半的长纤维的平均长度; 在  $R(l)$  轴的 50% 点向曲线做切线, 在横轴上的截距, 即为上半部平均长度

上半部品质长度 (UQL): 总量 25% 的长纤维的平均长度; 在  $R(l)$  轴的 25% 点向曲线做切线, 在横轴上的截距, 即为上半部品质长度

整齐度比 (UR): 50% 跨距与 2.5% 跨距之比

整齐度指数 (UI): 平均长度 (ML) 与上半部平均长度 (UHML) 之比。

上述这些定义, 被广泛承认, 中国所有关于 HVI 的教科书、诸多公开发表的涉及 HVI 长度测量的论文, 均与上述一致。

在国际上, 在 HVI900 上进行短纤维率的快速测量的研究, 主要方法是回归, 借助大量的试验, 寻找回归系数。最早进行短纤维率与跨距长度关系的回归分析, 是 Preysch, 他得到如下回归方程<sup>[30]</sup>:

$$SFW = 39.4 + 1.3SL_{2.5\%} - 4.6SL_{50\%} \quad (1-4)$$

开始结果不错, 后来随着实验的增加, 公式 (1-4) 的有效性出了问题。那么能否通过增加变量的途径得到较好的结果呢? Zeidman 做了更为全面的研究<sup>[31]</sup>。经过 3 年多的海量测量, Zeidman 得到一系列回归方程, 将短纤维率 SFC 与 ML、UHML、UI 进行单项回归及混合回归, 主要方程表述如下:

$$SFC = a + b \cdot ML \quad (1-5)$$

$$SFC=a+b \cdot UHML \quad (1-6)$$

$$SFC=a+b \cdot UI \quad (1-7)$$

$$SFC=a+b \cdot UHML+c \cdot UI \quad (1-8)$$

$$SFC=a+b \cdot ML+c \cdot UI \quad (1-9)$$

他用 1985、1986、1987 三年的棉花进行测试，并将数据分别回归，每一年得到的回归系数不一样，其相关系数的平方，最高为 0.80，最小为 0.57。这是非常好的结果，后来的研究基本上是按照这个思路进行的，主要目标是如何在一个标准的数学模型上得到准确的短纤维率。Zeidman 方法已经被业界尊称为“Zeidman 方程”。此类相关研究很多，主要就是做实验。研究结果可以分为两类，一类是能够准确测量短纤维率<sup>[32][33][34][35]</sup>。最为极至的研究结果是，Roger Riley 在 95% 的置信水平上，能把 HVI 结果与 Suter-Webb(美国国标仪器，即中国的 Y121) 结果的相关系数做到：R<sup>2</sup>=0.88，与 AFIS 的相关系数做到：R<sup>2</sup>=0.87<sup>[36]</sup>。尽管如此，另有一类研究结果则否定了 HVI 方法测量短纤维率的可靠性<sup>[37, 38, 39, 40, 41]</sup>。Jerry D. Rowland 的实验，则是对 HVI 测量短纤维率全面否定的结论<sup>[42]</sup>，他比较了短纤维率分别与整齐度、主体长度、成熟度、强力的相关系数 r(是迄今为止相关性分析最广泛的研究)，最大为 0.81，最小为 0.22。AFIS 对这些纤维品质指标的相关系数 r，最大为 0.39，最小为 0.1542。HVI 结果与 AFIS 结果的相关系数，在 95% 的置信水平上为 R<sup>2</sup>=0.211。由于 AFIS 是业界广泛承认的能够测量短纤维的仪器，所以 Jerry D. Rowland 的实验，基本上否定了用回归的方法在 HVI 上测量短纤维率的可能性。更为权威的测试当属 ITMF 所做的不来梅循环测试——在世界多个国家选定有条件的实验室，对相同的一批样品做并行实验。HVI 的不来梅循环测结果，在 95% 的置信水平上，重现性 r<0.58<sup>[43]</sup>。

毕竟短纤维率是非常重要的皮棉长度指标，虽然该项研究已有十几年的历史，虽然一直没有找到好的解决办法，但笔者在网上查到，美国仍有大量的课题在研究这个问题，有官方机构、民间团体、大学、企业等。这里仅列出美国农业部近几年的相关课题：

1. A Fundamental Study on the Short Fiber Content of Cotton and Its Measurement,

课题编号：6435-41440-007-01 课题类型：Reimbursable

起止日期：4月15日，1998 —— 12月31日，2002

## 2 . Study of Short Fiber Content, Length Distribution, and Breakage in Cotton Textile Processing

课题编号: 6435-41440-007-00 课题类型: Appropriated

起止日期: Oct 01, 2000 —— Aug 31, 2004

## 3. Fundamental Study on the Short Fiber Content of Cotton and Its Measurement

课题编号: 6435-41440-007-03 课题类型: Reimbursable

起止日期: May 01, 2003——Mar 31, 2004

这些课题在美国的农业部网站 (<http://www.ars.usda.gov/research/projects/projects.htm>) 上能够查到。其它的相关研究团体及网站信息, 不一一列出。所有这一切, 既说明该课题的难度, 也说明了该课题的意义。

### 1.5 解决问题的思路

一般而言, 一项研究在开始前, 应该总结前人的经验。现在首先有个问题需要回答: 1 为什么有那么多的研究集中在 HVI 上的二次开发? 2 为什么基于 HVI 的研究会失败? 第一个问题容易回答, HVI 的测量速度快, 操作简单。一个实用化的仪器必须具备这两条特点。第二个问题比较难回答, 不过笔者根据自己的各种研究, 这个问题现在基本搞清楚了。

棉纤维必然有一个长度分布, 可以用一个分布函数  $P(l)$  表示,  $P(l)$  为长度根数频率密度函数。显然这个函数是黎曼可积的。根据 Hertel [44] 取样理论及 ASTM 第 36.4 条<sup>[45]</sup>, HVI 取样器上的纤维具有 Hertel 分布特征。该二次累积分布函数有下列数学关系:

$$R(l) = \int_l^{l_m} \int_l^{l_m} p(l) dl dl \quad (1-10)$$

$l_m$  为最长纤维的长度。 $R(l)$  表示长度不小于  $l$  的纤维相对根数。

根据 Spinlab 公司提供的手册, 图 1-4 中的光电测量曲线就是  $R(l)$ 。如果这一切都是对的, 那么只要对公式 (1-5) 做二阶差分运算, 就能够计算出任意一个微小长度段的纤维根数, 这样也就求出了纤维的长度分布, 在此基础上, 能够计算出棉纤维所有长度指标。遗憾的是, HVI 并不能准确测量各个跨距的纤维根数  $R(l)$ 。棉纤维光学特性复杂, 除了其它因素, 光散射与测试棉须的密度有关, 所以不可能准确测量; 此外, HVI 的 2.5% 跨距和 50% 跨距是光电测量值, 但平均长度  $ML$  不是光电测量值, 按 South India Textile Research Association 的说法,

HVI 的平均长度采用如下方法计算：

$$ML=1.242 \cdot SL_{2.5} + 9.78 \quad (1-11)$$

$SL_{2.5}$  表示 50% 的跨长 (span length)

上半部品质长度采用如下方法计算<sup>[46]</sup>：

$$UQL=1.064 \cdot SL_{2.5} + 1.5 \quad (1-12)$$

采用了如上公式，说明 HVI 做不到其测量原理能够保证的，对各个长度段纤维的准确测量。根据公式 (1-10)，可以推导出平均长度的作图求解方法，在图 1-5 的纵坐标轴上  $R(l)=100\%$  处向曲线做切线，切线在横轴上的截距即为平均长度。显然 HVI 做不到测量  $R(0)$  处及附近的精确值，做不出切线，只好使用回归方法。从这个层面上看，在图 1-5 中的 HVI 光电测量曲线，与 Hertel 二次累积分布曲线有误差，或者已经完全变形。还有一个间接证据，整齐度比或者整齐度指数是 HVI 仪器产生的概念，它不像罗拉 (Y111) 整齐度的定义清楚明白。现在的 HVI 给出的是整齐度指数 (UI)，显然，它也是某种回归算法的产物。早期给出的整齐度比与罗拉或 Suter-Webb 相差甚远，只好舍弃，并另外搞个回归方程克服仪器不足。笔者经过长期研究，判定 HVI 光电测量曲线与 Hertel 二次累积分布曲线是不一致的，对于这一点，Spinlab 公司竭力回避，因为它毕竟涉及到测量原理问题。Bargeron 的研究证实了笔者的猜测<sup>[47]</sup>，不过论文删除了应给的图表，因此，“理论值与实测值”的偏离程度无法知道。回归方程虽然来得快，可若不从测量原理上解决，问题总不会消失。

HVI 还存在另外一个缺陷——取样缺陷，HVI 方法制备的测试棉须不是 Hertel 分布。Chu, Youe-Tsyr 等人用直接的实验方法否定了 HVI 测试棉须的 Hertel 分布<sup>[48]</sup>；XiaoLiang Cui 等人用间接的方法否定了 HVI 测试棉须的 Hertel 分布<sup>[49]</sup>；王宝才的实验结果也直接否定了 HVI 测试棉须的 Hertel 分布<sup>[49]</sup>；即这些实验直接否定了美国（包括 ISO）国家标准 ASTM 第 36.4 条。既然测试棉须的分布函数特征都不清楚，HVI 即便能够进行准确的光电测量，还是不能将之作为测量棉纤维长度分布的基础。

前文所述，基于 HVI 的研究，有很多实验结果非常好。如果按照这种方法来解决我们的问题，会省时、省力，该方法确实有很大的吸引力，也一直是我视野中的备选方案。但经过研究，笔者认为这些“好的实验结果”不具备一般性，只在特殊情况下是有效的。基于回归方法研究的合理性，在于自然界生物（包括

棉花)都具有“分形”特征,这种特征保证了通过某个参量的测量,能够实现推算其全部特征参数,比如通过树径推算树高。但他们并未意识到,棉花的“分形”特征会受到生长环境、品种、人为改变(如轧花)等因素的影响,不同品种的棉花,分形特征有差异。美国的棉花品种少,而中国的棉花,由于是小农经济,各类品种繁多。再者,籽棉要经过轧花才能成为皮棉,不同的设备、工艺对纤维的分形特征破坏的程度不一。即便是同一品级的籽棉,经过不同轧花厂的处理,其皮棉得分形特征完全有可能不一样。Bargeron 通过实验指出<sup>[50]</sup>:希望借助回归方法找出短纤维率与其它长度指标的关系,是行不通的。HVI 短纤维率的国际循环检测不过关,原因就是存在上述的种种影响。

至此,解决问题的思路已经清晰。要想快速测量棉纤维的长度分布,仅需解决两个问题:一个是找到 Hertel 取样方法;另一个是准确测量测试棉须 Hertel 分布的方法。

## 1.6 本文主要工作

本文详细阐述了棉纤维长度分布的图像测量技术是如何实现的。由于没有密切相关的研究作为支撑,只能自行设计整个系统。在导师的指导和建议下,并结合自己多年的研究基础,确定了测量系统的整体结构。该结构的具体组成单元为:纤维固定模块、光学成像模块、电机运动控制模块、电子信号处理模块、图像采集与处理模块、棉纤维试样制备模块、测量系统的机械平台。本人的具体工作表现在如下几个方面:

### 1.6.1 硬件系统设计

#### (1) 纤维固定模块设计

纤维固定模块是一个风洞,作用是将纤维拉直固定。经过试验 8 种结构的风洞,找到了一个较好的纤维固定结构。定型工作有:气泵选择、风洞结构尺寸确定、整流方法、玻璃板的选择。

#### (2) 光学成像模块设计

它由镜头、光源构成。在实验中,试过 4 种镜头,6 种光源。最后确定为由高亮 LED 点阵构成光源,具体工作有 LED 的型号选择、电路设计、尺寸设计、散热处理、支架设计、光照的均匀化处理。

#### (3) 电机运动控制模块设计

具体工作为步进电机选型、平移台尺寸与结构的确定、驱动器选择。

#### (4) 电子信号处理模块设计

它是整个系统运动的控制方案，主要工作包括：A/D 卡的选择、转换电路的设计、传感器件的选择。

#### (4) 图像采集与处理模块

选择大面积 CCD、图像采集卡、计算机、确定 CCD 的机械固定结构、光学系统的调焦方法。

#### (5) 棉纤维试样制备模块

实验多种取样方法，取样夹试用过 5 种，并确定出最好取样方法和夹子的结构尺寸。

#### (6) 测量系统的机械平台

测量系统平台的机械结构及其尺寸参数的确定。

### 1.6.2 软件系统设计

软件的整体设计采用了专业化开发技术——结构化系统分析与设计方法。软件部分由硬件控制子系统、图像测量子系统、纤维长度分计算子系统构成。在图像处理方法上，依据系统的特性，采用了差影去噪、分块阈值化的棉纤维图像快速分割技术。在纤维长度分布计算上，提出了中值滤波消除取样随机涨落的方法。得到了由 Hertel 分布回推纤维长度分布的稳定结果，克服了纤维计算反向的具有“哈希”(Harch) 特征的难点。

### 1.6.2 对比实验设计

图像测量方法与 Y111 方法的对比实验，于 2004 年 12 月在中国棉花质检中心完成。实验方案由本人设计，对比实验的费用较高。实验的实施基本上达到了方案要求，实验面宽，测试样品多，试验数据完整，对比结果较好。

### 1.7 本文主要创新点

自 1940 年 Hertel 提出基于 Hertel 取样的照影仪曲线的棉纤维长度测量方法以来，照影仪曲线的准确测量问题一直没有解决。在上世纪六十年代 HVI900 问世后，棉纤维长度测量技术没有太大的进步。实际上，在以光电方法为测量原理的纤维长度测量仪器中，如 910、530、HVI900、Y146 等，完全放弃了棉纤维取样的数学理论，纯粹借助经验公式，或者回归方程得到测量结果，从而失去了理论基础，不能保证结果的可靠性。

本文解决了 Hertel 棉纤维试样的可测性问题——一个 60 多年没有解决的

问题。

在此必须声明，美国 Schaffnar 公司于 2003 年国际棉花会议上，提出了图像测量方法。本人于 2004 年 1 月查阅到这篇文献<sup>[21]</sup>。但我们的实验方案是在 2003 年 6 月确定，测量原理在同年 8 月通过。因此，我们是独立地找到了纤维长度分布的图像测量方法。此外需要提及的是，该文献并没有声明能够对 Hertel 试样准确测量。

基于以上事实，笔者认为本文内容有如下几条创新点：

1. 建立一种棉纤维的可测 Hertel 取样方法；
2. 测试棉须逐点累积根数的准确测量方法——图像测量方法；
3. 基于 Hertel 曲线计算纤维长度分布的数学模型
4. 制做出纤维长度分布测量的样机。

## 第二章 棉纤维长度分布的测量原理

关于棉纤维长度分布测量系统的设计，要解决好两个问题。一个是制样方法；另一个是测量方法；而且两者要兼顾。棉纤维长度测量的特点是，不同的测量仪器，使用的制样方法是不一样的。对于一包皮棉，首先要做到有代表性的无偏取样。取样方法是成熟的，一般采用随机少量的多点取样或者网格取样<sup>[6]</sup>。那么如何从这些试样中制取检测棉样，如何保证每次制样，棉纤维的分布基本不变，就需要有令人信服的理由。此外，当成功建立了一种制样方法后，则需要找出适合这种方法的测量手段。比如，Almeter 制备的试样，必须用 Almeter 测量，而不能用于 HVI900 的测量；反之亦然。对于测量方法的评估，则必须同时考虑是否准确，是否快速。

在上一章中已经提到，解决棉纤维长度分布测量的问题，可以归结为 Hertel 取样和 Hertel 曲线的精确测量。即便这两个问题解决了，还有一个未被认识到的难点须要解决，即由 Hertel 曲线反推纤维长度分布难题，它的特征是哈希（Hash）的。本章的主要内容是：

1. 对于如何建立 Hertel 取样方法，进行了理论分析；
2. 对于随机取样涨落扰动反推纤维长度分布的结果，提出了中值滤波的解决办法。
3. 对于如何准确、逐点测量纤维的分布曲线，提出了测量原理结构。

### 2. 1 仪器技术指标

- 1) 一个试样从制样到测量完毕，在 15 分钟内完成
- 2) 系统运行特点为闭环控制系统。
- 3) 测量精度保证：短纤维率与标准棉样的偏差在±2%以内，主体长度偏差在国标 0.75mm 限定范围之内，
- 4) 仪器能够针对 Y111 不同操作人员的结果进行校准，且方差齐性在  $\alpha=0.05$  的置信水平上，优于 Y111 或者没有显著差异。
- 5) 测量结果有较高的可靠性和重现性。
- 6) 系统工作稳定。

这样的技术指标是非常高的，在仪器实现之前，国内没有人相信这种设想是能实现的。棉纤维长度指标的精确测量，如果不考虑时间、操作强度等因素，总是有办法能够实现的。比如用手将棉纤维一根一根份出来，测量它的长度，

结果就是准确的。但是仪器的设计要考虑商业的实用性，并以此确定技术指标。测量原理要根据该技术指标建立。如何找到一个合适的测量原理，则需要进行各种实验，从中筛选出最优方案。

## 2. 2 随机取样的数学基础

棉纤维有不同的长度分布，如果对它取样，并假定取样服从统计分布规律，显然取样得到的纤维的长度分布，与原试样存在一个数学关系。通过这个数学关系，只要知道了取样得到的纤维的长度分布，就能计算出原试样存的长度分布。

随机取样理论是 Hertel 于 1940 年最早提出的<sup>[52]</sup>，并在此基础上给出照影仪曲线的测量理论。基于该理论，产生了 Hertel 的照影机和 HVI900 仪器以及其它的类似仪器。这里面存在的一个基本问题是，所有这些仪器，不考虑梳夹上纤维有什么样的分布特征，不考虑梳夹上纤维的分布特征与待测棉样分布特征的关系。纯粹就是大量测量、回归拟合、经验公式。因此，如何在照影仪曲线——二次累积曲线上测量棉纤维的长度分布，是一个未受到关注且需要论证清楚的问题。

### 2. 2. 1 二次累积曲线的数学基础

首先对于待测棉样和梳夹棉须做一个严格的规定。

**待测棉样：**指棉包中的棉纤维，或者通过某种方法制作的纤维试样、棉条等；

**梳夹棉须：**指通过某种制样方法，纤维夹持器具握持的纤维。

实践证明，一个待测棉样其纤维长度存在一个分布函数，可以用长度根数频率密度  $p(l)$  来表示。容易证明，它是黎曼可积的，从而利用积分可以定义出一次累积函数  $Q(l)$ ，即：

$$Q(l) = \int_{l_{\min}}^l p(l) dl \quad (2-1)$$

$l_{\max}$ ——最长纤维的长度

$Q(l)$ ——长度不小于  $l$  的纤维一次累积根数

容易证明  $Q(l)$  也是黎曼可积的，从而可以定义一个二次累积函数  $R(l)$ ，即：

$$R(l) = \int_{l_{\min}}^l \int_{l_{\min}}^l p(l) dl \quad (2-2)$$

$R(l)$ ——长度不小于  $l$  的纤维二次累积根数

容易证明： $Q(0)=1$ ,  $R(0)=1$

特别有：

$$dQ(l)/dl = -p(l) \quad (2-3)$$

$$d^2R(l)/dl^2 = p(l) \quad (2-4)$$

显然, 依据公式(2-1)、(2-2), 如果知道了  $p(l)$ , 就能够很方便地求出  $Q(l)$  或者  $R(l)$ , 进而求出纤维的长度分布。不过对于一个待测棉样,  $p(l)$  通常是未知的, 而测量的目的则是对  $p(l)$  的求解。依据公式(2-3)、(2-4), 只要知道了  $Q(l)$  或者  $R(l)$  中的任意一个, 都可以求出  $p(l)$ , 即可求解棉纤维的各个长度指标。但是,  $Q(l)$  和  $R(l)$  都是经过对  $p(l)$  的积分变换而来的纯数学函数, 它们不是已知函数。因此需要从别的途径来求解  $p(l)$ 。较好的办法是构造出一个函数  $g(l)$ , 且使它与  $p(l)$  具有某种明确的关系。可能的途径是通过取样来构造  $g(l)$ 。

### 2.2.2 随机取样中梳夹棉须分布函数 $g(l)$ 的数学特征

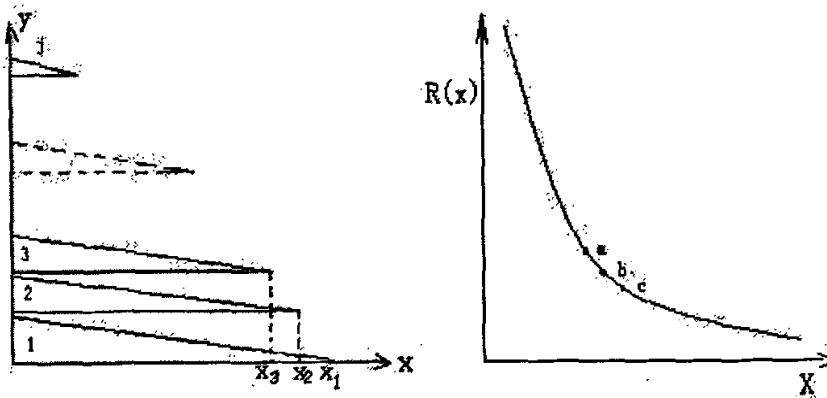


图 2-1 梳夹随机握持的纤维

随机取样假定, 待测棉样中任意长度组的棉纤维, 在沿其长度上任一点具有相同的握持概率。这就是说, 当把纤维分成若干等长的不同长度组, 则每个长度组纤维伸出的长度, 依夹持线构成一系列的直角三角形(图 2-1 左图, 横坐标为纤维伸出长度, 纵坐标为纤维根数); 三角形编号由下至上依次为 1、2、3—, 它们的伸出长度或者跨距坐标为  $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ —, 在  $xy$  坐标系中, 设每个三角形的斜率分别为  $k_1$ 、 $k_2$ 、 $k_3$ —, 在夹持线上( $y$  轴), 直角边长分别为  $b_1$ 、 $b_2$ 、 $b_3$ —, 则对这些三角形而言, 都有自己的线性方程, 从而有下列方程组:

$$\begin{aligned} y_1(x) &= k_1x + b_1 \\ y_2(x) &= k_2x + b_2 \\ &\cdots \\ y_j(x) &= k_jx + b_j \end{aligned} \quad (2-5)$$

$y_j(x)$  表示第  $j$  个三角形在跨距为  $x$  时，纤维的绝对根数。 $b_j$  为第  $j$  个长度组纤维的根数。

它们在  $xy$  坐标系中叠加，将形成分段折线，尤其在  $j$  很大时，将形成一条平滑曲线(图 2-1 右图)，该曲线的函数形式为：

$$y(x) = \sum_{i=1}^j k_i x + \sum_{i=1}^j b_i \quad (2-6)$$

其中  $x_{j+1} \leq x \leq x_j$

为了搞清楚梳夹棉须的长度分布，需要对公式 (2-6) 进行数学处理，步骤如下：

选取任意两个临近点  $j$  和  $j-1$ ，对 (2-6) 两边差分，则有：

$$\Delta y_j(x) = \sum_{i=1}^j k_i \Delta x \quad (2-7)$$

$$\Delta y_{j-1}(x) = \sum_{i=1}^{j-1} k_i \Delta x \quad (2-8)$$

(2-7) (2-8) 相减，则有

$$\Delta y_j(x) - \Delta y_{j-1}(x) = k_j \Delta x \quad (2-9)$$

考虑到公式 (2-9) 的左边为  $j$  点的二阶差分， $k_j$  为第  $j$  个三角形的斜率，亦即  $k_j = b_j/x$ ，去掉  $y$  的脚标，则有任意一点的二阶差分为：

$$\Delta'' y(x) = \frac{b_j}{x} \Delta x \quad (2-10)$$

$\Delta'' y(x)$  ——梳夹棉须任一跨距下纤维根数的二阶差分

$b_j$ ——梳夹上棉须分组长度为  $X_j$  时的纤维的绝对根数

$x$ ——为跨距

为了使 (2-10) 与 (2-4) 具有相似性，做如下变换：设梳夹上棉须纤维的总根数为  $N$ ，其任意长度组的长度根数频率密度函数为  $g(x)$ ，显然，

$$g(x) \cdot \Delta x = b_j/N, \quad (2-11)$$

令  $R(x) = y(x)/N$ ，再用  $l$  代替  $x$ ，那么，方程(2-10)可化为：

$$\frac{\Delta'' R(l)}{\Delta l \cdot \Delta l} \cdot l = g(l) \quad (2-12)$$

或者，在 $\Delta l$ 可以表示为 $dl$ 时，则有：

$$\frac{d^2R(l)}{dl^2} \cdot l = g(l) \quad (2-13)$$

### 2.2.3 梳夹棉须分布函数 $g(l)$ 的可测性

方程(1-12)即为仪器的测量原理，它表明只要是棉纤维握持点是随机的，则梳夹上纤维的分布函数 $g(l)$ ，能够由该方程左端的 $\Delta l$ 、 $l$ 和 $\Delta''R(l)$ 来确定。 $\Delta''R(l)$ 是 $l$ 处的二阶差分。设在二次累积曲线上有三个邻近点 $a$ 、 $b$ 、 $c$ ，对应的 $l$ 值分别为 $l_a$ 、 $l_b$ 、 $l_c$ ，那么 $b$ 、 $c$ 点的一阶差分为：

$$\Delta R(l_c) = R(l_c) - R(l_b) \quad (2-14)$$

$$\Delta R(l_b) = R(l_b) - R(l_a) \quad (2-15)$$

进而能够得到 $c$ 点的二阶差分公式

$$\Delta''R(l_c) = R(l_c) + R(l_a) - 2R(l_b) \quad (2-15)$$

显然，只要能够建立一个测量系统，解决 $l$ 、 $R(l)$ 和 $\Delta l$ 的测量，那么，依据公式(2-12)、(2-15)就能够测量 $g(l)$ ；假定 $g(l)$ 的测量问题已经解决，还需要进一步建立 $g(l)$ 与 $p(l)$ 的解析关系。只有这个关系正确建立以后，才能最终解决棉纤维长度分布的问题。

### 2.2.4 特定取样条件下 $g(l)$ 与 $p(l)$ 的关系

#### 1) 长度偏倚取样

长度偏倚取样又叫做Hertel取样，其假设是：待测棉样中的任意一个长度组纤维被梳夹握持的概率，与该长度组纤维的根数频率成正比，与纤维长度成正比；纤维的夹持点沿纤维长度方向是随机的。基于该假设，可以得到表达式

$$g(l) = p(l) \cdot l \quad (2-16)$$

当纤维的线密度作为常量时，那么 $p(l) \cdot l$ 就是待测棉样的长度重量频率密度，记为 $Z(l)$ 。则立刻得到结论：

在长度偏倚取样中，梳夹棉须的长度根数分布等于待测棉样的长度重量分布。

将(1-16)代入公式(1-12)则有：

$$\frac{\Delta''R(l)}{\Delta l \cdot \Delta l} = p(l) \quad (2-17)$$

如果待测纤维均匀地散落在取样平面上，且所有纤维伸直，并向同一个方向延伸，这时梳夹夹取纤维，是长度偏倚取样。

## 2) 数字取样

数字取样的假设是：待测棉样中的任意一个长度组纤维被梳夹握持的概率，与该长度组纤维的根数频率成正比；纤维的夹持点沿纤维长度方向是随机的。基于该假设，可以得到表达式

$$g(l) = p(l) \quad (2-18)$$

并得到如下结论：

在数字取样中，梳夹棉须的长度根数频率分布等于待测棉样的长度根数频率分布。

将 (2-18) 代入公式 (2-12) 则有：

$$\frac{\Delta''R(l)}{\Delta l \cdot \Delta l} \cdot l = p(l) \quad (2-19)$$

从理论上讲，如果每根棉纤维在取样平面上，不是伸展开的，而是缩成球状几何点，并均匀散落在取样板上，这时梳夹夹取纤维，是数字取样。

在上述两种取样方法中，如果采用某种测量方法逐点测得 (2-12) 左端的  $\Delta''R(l)$  和  $\Delta l$ ，则  $p(l)$  是可测的。

## 3) 未知取样

在实际取样中， $g(l)$  与  $p(l)$  如果没有与上述两种情况下完全吻合的函数关系，假定它们存在一个未知的函数关系  $f(x)$ ，那么它可以定义为

$$g(x) = f(x) \cdot p(x) \quad (2-20)$$

这时要想测量纤维的长度分布，就必须搞清楚  $f(x)$  的解析表达式。不过根据目前已有的测量手段，是不可能确定  $f(x)$  的具体函数形式的。

## 2.3 基于 Hertel 取样建立 $g(l)$ 与 $p(l)$ 的函数关系

根据前面的论述, 关键问题是通过寻找某种取样方法, 使梳夹上的纤维分布  $g(l)$ , 与原试样的纤维分布  $p(l)$  的数学关系确定下来。由于棉纤维的取样是一个很困难的问题, 因此, 首先想到的是有没有现成的取样方法。即便没有, 也要搞清楚有没有值的借鉴的方法。

### 2.3.1 现有棉、毛取样方法分析

表 2-1 纤维长度试样制取方法的比较

序号	名称	是否 预制条	已实用 的纤维	试样质 量/mg	试样整理 方式	须丛特征
1	棉条侧向分出, 手工整理 Y111仪	是	棉	39	手工	一次累积分布
2	中间夹住-梳去浮游纤维 Y131	是	棉 毛	100 1200	手工加工工具	二次累积分布(典型)
3	条端拔取铺放 (改进茹科夫仪)	是	棉	30	机械加手工	一次累积分布
4	条端拔取铺放 (乌斯特仪)	是	棉	20	机械加手工	一次累积分布
5	条端拔取铺放 FL100	是	棉 毛	300 1500	机械自动	一次累积分布
6	条端拔取铺放	是	棉	300	机械自动	一次累积分布
7	条端拔取铺放 (Y131仪)	是	毛	2000	手工	一次累积分布
8	挂梳 (Y146)	否	棉		手工加工工具	增多短纤维不典型的二次累积分析
9	梳铗 Spinlab 430, 530	否	棉	126	机械加手工	增多长纤维的有规律的变形二次累积
10	梳钩 (MCZ-1)	否	棉	120	机械自动	同上
11	梳钳 (南京长度仪)	否	棉	100	机械自动	同上
12	抓钳(MCI长度仪)	否	棉	15	机械自动	同上

表 2-1 列出了曾经使用和仍在使用的棉、毛试样制做方法<sup>[63]</sup>。这些方法按便捷性可以分为三类: 1) 花时间, 费人力; 2) 花时间但不耗人力, 由机械自动完成; 3) 省时、省力。表中列出的“手工”、“手工加工工具”、“机械加手工”的制样方法, 即 1 至 4 方法, 当属第一类, 是无法借用的取样方法, 因为这些方法操作强度大, 耗费时间长。方法 5、6 是自动取样, 其特点是将棉纤维或者毛纤维处理成一端平齐的试样(又叫做一次累积分布)。一方面, 这种进口的机械装置非常精巧(已经停产), 不易仿制(国内有仿制失败的先例); 另一方面, 它制作的试样, 同一端的平齐性起伏比较大, 不会少于 2mm。这便超出了棉纤

维检测国家标准的精度要求。此外这两种方法也需要很长时间，一般在 2 个小时左右。第三类制样方法（9 至 12）速度很快，多在 2 分钟内完成纤维制样。它们采取的是随机取样的方法。不过表中的说明，认为其取样棉须为有规律的变形二次积累分布，这一点值得商榷。首先方法 10-12，基本上与方法 9 一致。所谓“有规律的变形”需要说明这种规律是什么。这种观点缺乏令人信服的证据，因为目前还没有能够直接分析梳夹棉须长度分布的办法，所以要给出其“变形规律”的解析表达式，是很困难的。

### 2.3.2 Hertel 取样理论分析

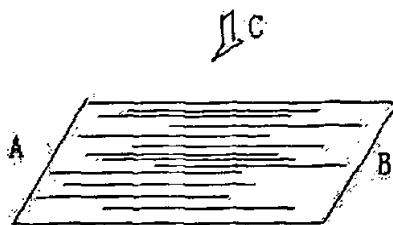


图 2-2 Hertel 理论取样

如图 2-2 所示，设在 AB 平面上随机散列了不同长度纤维，纤维的伸展方向为 AB 方向。在 AB 的上方有一个夹子 C，夹子的钳口方向与 AB 方向垂直，并假定钳口线是一条几何线，没有物理厚度。如果让 C 沿 AB 方向随机运动，并随机落到 AB 中夹取纤维。根据概率论，AB 中所各长度组的纤维被夹子夹到的概率，与纤维的长度成正比，与该长度组的纤维根数成正比，纤维被握持的位置是随机的。这便是 Hertel 取样理论。

我们不能保证纤维是直的且有一致的伸展方向。散纤维在不受力的情况下，会有一定程度的卷缩，因此夹子取样时，钳口方向就不能与所有纤维伸展方向垂直。这时的取样，从理论上讲，与 Hertel 取样有差异。另一个影响因素是夹子的钳口不是几何线，它有一定的厚度。针对这两种因素，Preier 与 Sasser 进行了数学分析，推导出含有取样夹角  $\alpha$  变量与厚度变量的数学公式<sup>[64]</sup>。不过在任何一种实际取样中，我们不可能知道所有纤维与钳口直线的夹角，所以 Preier 与 Sasser 研究仅有理论意义，不能用于实际取样。基于棉纤维所具有的特性——柔软、收缩、缠绕、粘连等，张友信提出微量点取样方法<sup>[65]</sup>：用镊子头端以微元体积从棉样里取样可得到理想的取样分布。刘若华和李汝勤在此基础上提出了弹性钩夹取样方法——用钩子将纤维从试样中钩出，然后用夹子握持住这些纤维<sup>[66]</sup>。他们用这种取样器对腈纶纤维进行实验（用腈纶纤维的

好处是，事先将它们切成不同长度的段，这样纤维试样的长度分布是已知的，而用棉纤维则做不到这一点），并得到如下结论：

- (1) 取样总量在 6~10mg 时，取样的对称性较好。
- (2) 用夹口厚度为 0.8mm 的夹子从均匀分布散纤维中取样时，试样伸出分布与理想情况较接近。
- (3) 从非均匀分布的非等长散纤维中取样时，各种长度纤维的取样比例与理论值皆较相符合。
- (4) 钩夹取样方式可以减少纤维纠缠，采用弹力压持可以减少试样的滑移、丢失。

结论(2)(3)很有意义，它说明，只要夹子钳口厚度不大时，取样接近 Hertel 取样。在刘若华和李汝勤实验中，腈纶纤维最短为 10mm，最长为 30mm；这与棉纤维实际情况不一致<sup>[57][58]</sup>。棉纤维的长度分布一般在 4mm——40mm 左右，长绒棉会更长一些。当用钩针钩取纤维时，短的纤维与长的纤维绕过钩针的力学特征不一样。短的纤维比长的纤维硬，因而伸出的部分会少于长的纤维，这种情况已经出现在 HVI900 中，造成“整齐度”这个指标测量不准<sup>[59]</sup>。为此，我们设计了平口夹对棉纤维取样，这样可以避免勾针取样方法中存在的问题。

### 2.3.3 Hertel 实际取样实现

根据理论分析以及刘若华和李汝勤的实验，只要能得到均匀混合的棉纤维，用平口夹即可实现 Hertel 实际取样实现。



图 2-3 纤维均匀混合的棉网

具体取样方法如下：

取标准棉样 10g 左右，然后用纤维混合器制作均匀的薄棉网（见图 2-3），由于纤维混合器上的刺辊同梳棉机的梳棉作用及工作机理是一样的，因此，薄棉网中的纤维基本是平行的；同时，还可以认为纤维混合是均匀的<sup>[60]</sup>。一般情况下，

如果使用标准棉样，一遍混合即可；若使用普通试样，三遍混合就行了。最后在取样时，尽可能使夹子的夹持线与纤维伸展方向垂直。我们认为这样做基本满足了 Hertel 取样条件，而且夹子上棉须的纤维长度分布与原试样纤维的长度分布存在关系： $g(l)=p(l) \cdot l$ 。

不过现在仍然没有直接的证据表明该取样方法是 Hertel 取样。若要证明这一点，第一需要建立精准的测量系统，但这种系统测量效率不会太高；其次需要做非常多的实验，对各品种棉、国内棉、进口棉做大量取样分析实验。因此，我们只能通过间接的方法进行证明。即假设我们的取样方法是 Hertel 取样，然后将测量结果与  $y_{111}$  做对比实验，如果两者高度相关，即证明了该方法的正确性和有效性。

### 2.3.4 准 Hertel 分布曲线的校正

Hertel 取样理论指出，纤维被夹持的点是随机的，是服从统计规律的。依此，一组等长纤维，被随机取样后，伸出的纤维依夹持线形成一个直角三角形，它的斜边应该是一条直线（图 2-4 的左图）。不过由于涨落的存在，这条斜边不会是直线，而是围绕这条直线上下起伏（图 2-4 的右图）。这就相当于将硬币抛 1000 次，很难得到 500 次正面，500 次反面的结果；一般只能得到围绕它上下涨落的结果。这就是说，Hertel 分布回推棉纤维长度分布具有 Hash 特征，因此，依据公式(2-15)和公式(2-19)，微小的涨落都会使结果偏离很大。前辈学者已经发现了这些问题，得到的结论是照影机只能得到跨距指标，不可能得到长度分布指标<sup>[61]</sup>。另有专家认为，经过二次累积，主体长度的信息已经很微弱，即便是 2.5% 跨距也很难准确测量<sup>[62]</sup>。这种基于照影仪曲线反推棉纤维长度分布问题，确实是一个难解的问题。



图 2-4 理想 Hertel 分布与准 Hertel 分布

一个试样棉须，若按长度分组，它会有很多长度组。在进行 Hertel 取样时，

每个长度组都有涨落；即便被取样的样本空间不变，涨落会使每次取样结果不一样，因而反推的长度分布结果也不一样。绪论中提到了陆永良等人的研究，隐含着一个与涨落有关系的问题。在他们的论文中，并没有提到涨落问题，只提到从逐点测量得到的照影仪曲线，不能直接计算出短纤维率，只能通过取几个特殊点，然后再用样条插值曲线代替照影仪曲线，才可求出短纤维率。样条插值能否消除取样涨落，笔者没有做实验。不过用少数几个点做数学变换来代替理论 Hertel 曲线，这种做法是不妥的。首先这种做法丢失了有用信息；其次如果这几个少数点的数值有误差，插值会变得更加不可靠。虽然样条插值能够保证拟合取线的平滑性，但这种方法基于一种先验的知识，即我们认为某些情况下，光滑的外形曲线更好，更符合实际。而这里的问题并非如此，从图 2-4 的右图可以看到，消除一个长度组取样的涨落，直线拟合更为符合实际。只要拟合直线  $y$  与各个测量值的方差和有最小值，那么拟合直线  $y$  就是最优的。它其实是一个线性回归问题。

由于棉纤维有一个长度分布，若按长度分组，会有多个长度组，短的长度组的随机涨落会叠加在长的长度组的随机涨上，因此线性回归已经不能解决这个问题，因为“叠加”的作用减少了约束条件。因此需要另找办法来消除涨落因素。

中值滤波是数字图像处理中经常采用的滤波算子，这里它将被用来解决棉纤维取样中的涨落问题，即采用一种“卷积”滤波模板算子，对准 Hertel 曲线进行滤波处理，希望实际曲线经过滤波处理，能够较准确地与 Hertel 理论曲线相符合。为了验证模板  $\boxed{1 \mid 1 \mid 1}$  的有效性，需要计算机模拟加以验证。基本思路是，将一段直线均分成 10 个段，进行  $n$  次随机取值，比如 100 次，最后看一下是否有办法让这 10 个段被选中的次数基本一致。

我们要设计一个均匀分布的随机函数发生器，这样才能够模拟取样的涨落。首先是随机种子数的选取，不能使用 VB 或者 VC 库函数提供的随机数发生函数，因为两者都使用相同方式产生种子数，即人为设置一个种子数，或者以计算机时间为种子数<sup>[63][64]</sup>。当多次调用随机函数时，上述两种方式使用的种子数，就不是随机的，最后的结果也就不是随机的。因此必须提供产生真正随机种子数的算法。利用计算机仿真产生的随机数，本质上是为随机数，因为计算机上的空间不是无穷大，这样产生的任何一个序列必然会有重复<sup>[65]</sup>。目前除传统的伪随机数算法，人们基于混沌理论提出了产生伪随机数的新算法<sup>[66][67]</sup>，且效果很好，周期长度达到 5 千万以上<sup>[68]</sup>。棉纤维取样仿真的难点在于选用哪一种算法。我们不知道等长棉纤维取样服从何种分布，仅仅是根据理论分析它是均匀分布。如果计算机模拟

出的分布，比实际取样分布更均匀，更平稳，那么当计算机模拟证明滤波算法是可行的，反而不能保证它实际可行。基于这些考虑，决定采用线性同余算法——一种平稳性稍差的算法。其计算公式为：

$$X_i = aX_{i-1} + r \pmod{m} \quad (2-21)$$

$a$ ——常数

$X_i$ ——随机数

$m$ ——常数

表 2-2 和表 2-3 为模拟结果。我们将一线段等分 10 段，随机数将较为均匀地落在这 10 个区间中。

从表 2-2 和表 2-3 的结果看，经过滤波处理，基本上消除了涨落。表 2-2 中的最大涨落幅度为 5%；表 2-3 中的最大涨落幅度为 7%。两者的平均涨落幅度则很小，不超过 1.5%。可以说，中值滤波算子完全能够解决这个问题。

表 2-2 样本空间——100 次取值

段编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
随机取值	13	9	10	8	7	11	9	14	11	8
4 次滤波	10.0	9.8	9.6	9.8	10.1	10.2	10.1	9.8	9.6	9.5
随机取值	8	13	9	6	13	8	14	9	11	9
4 次滤波	9.6	9.6	9.8	10.0	10.2	10.2	10.1	9.98	9.8	9.8
随机取值	16	8	13	6	7	9	12	6	11	12
4 次滤波	10.98	10.3	10.02	9.7	9.5	9.5	9.9	10.2	10.5	10.6

表 2-3 样本空间——400 次取值

段编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
随机取值	42	35	41	30	47	38	48	36	41	42
4 次滤波	38.3	38.6	39.4	39.9	40.2	40.4	40.7	40.9	41.1	41.2
随机取值	39	37	42	30	38	50	41	38	39	46
4 次滤波	37.6	38.2	39.0	39.6	39.9	40.3	41.0	41.9	42.5	42.8
随机取值	47	37	38	36	37	47	45	46	29	38
4 次滤波	39.8	39.8	40.4	41.3	41.2	40.6	39.9	39.2	38.7	38.5

上述滤波模拟是针对纤维某一个长度，对于整个纤维分布，它同样是有效的；设： $\hat{L}_i(\theta_{i1}, \theta_{i2}, \theta_{i3} \dots \theta_{ik})$  为任意长度组  $i$  的测量序列，棉纤维的实际取样测量序列可以表述为；

$$\hat{L} = \sum \hat{L}_i(\theta_{i1}, \theta_{i2}, \theta_{i3} \dots \theta_{ik}) \quad (2-22)$$

因为这里使用的中值滤波，数学计算上为一个卷积；既然该卷积对任意  $\hat{L}$  是有效的，由卷积分配律可知，它对(2-22)是有效的，即对棉纤维随机取样构成的整个曲线是有效的。

还有一个问题没有解决。公式(2-19)建立在所有棉纤维的线密度相等的基础上，这与事实不符。棉花在生长过程中，像绝大多数植物一样，先长出的纤维会粗一些，后长出的纤维会细一些。或者说，不同纤维的粗细，与它的成熟度有关。成熟度高的纤维，纤维素累积的多，线密度大；成熟度低的纤维，纤维素累积的少，线密度小；即便是同一根纤维，它的粗细也不相等<sup>[69]</sup>，呈现梢部较细，中间粗，根段又稍变细。现在也没有好的办法测量棉纤维的线密度。棉花短纤维部分(16mm以下纤维)，形成因素很复杂。一部分是天然形成的，一部分是在轧花阶段(籽棉脱籽)长纤维被打断而形成的。棉花的采摘方式不同也会产生差异。比如，美国采用机械自动采摘，纤维断得多一些。中国大部分采取手工摘棉，纤维断得少一些。这就是美棉短纤维率高于中棉的原因。棉纤维的自然形态被破坏了，其线密度变化规律亦被破坏。在实验中，笔者发现多数短纤维的粗细较均匀，不具备前述从梢端到尾段的变化特征。因此，基于纤维形态特征进行线密度修正，很可能实现不了。我们假设线密度差异，尚不足以对测量结果产生显著的影响，然后在对比实验中验证该假设是否成立。

## 2.4 图像测量方法与系统结构

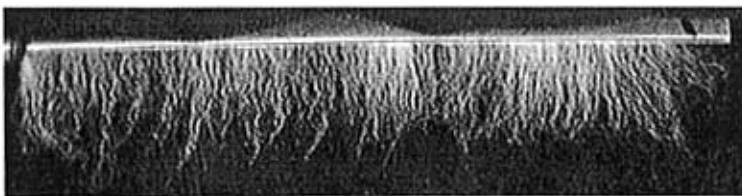


图 2-4 Hertel 棉须试样

图 2-4 是基于 Hertel 方法制备的试样，如果我们能够将它变成一根一根且清晰可分的纤维，采用图像测量方法逐根测量，得到的结果是精确的。棉纤维逐根图像测量方法，首先由 Fischer 等人提出<sup>[70]</sup>(1999)，其后 Y. IKE 等人<sup>[71]</sup>(2001)、何晓峰<sup>[72]</sup>(2001)也分别独立地提出同样的测量思路。虽然它能够作为纤维长度测量的定标法，但存在的问题是如何快速、方便地将纤维分离出来。笔者经过长时间的努力，也没有完全实现这一目标。对于图 2-4 中的试样，最好能够做直接测量。通过测量  $l$ 、 $r(l)$  和  $\Delta l$ ，然后根据公式(2.17)，计算出棉纤维的长度分布  $p(l)$ 。依据这一思路，我们设计出一个完整的测量系统，测

量机构原理图见图 2.5。

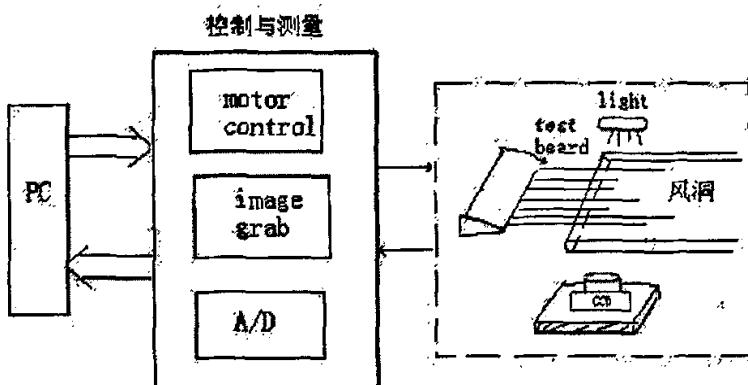


图 2-5 结构原理图

#### 2.4.1 图像测量功能模块结构

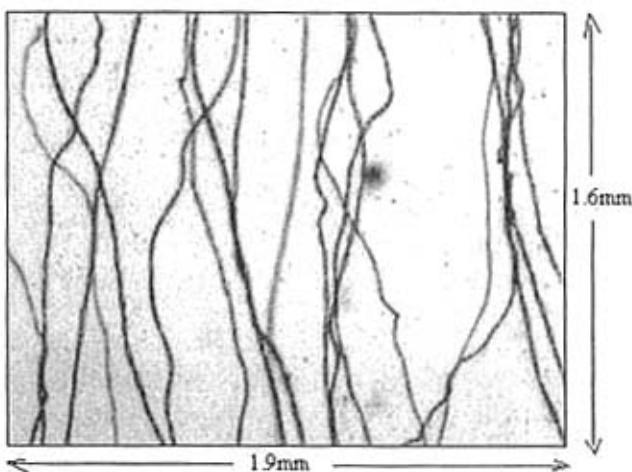


图 2-6 局部纤维图像

系统的基本测量流程为：棉须试样制做好了以后，将之放在平移台的插槽中，平移台 1 在步进电机的驱动下，将棉须精确地进入到风洞中。风洞与抽气泵相连，在气流的作用下，棉须被拉直、固定。接下来，CCD 抓捕纤维图像。每抓完一幅图像，平移台 2 在步进电机的驱动下，将 CCD 移动到下一个位置，再抓纤维图像。当完成了一个扫描行的纤维图像捕捉，平移台 1 将棉须向外移动一个规定的距离，然后 CCD 再进行扫描抓图，直至全部纤维图像抓取完毕。然后处理图像，每一幅图像任意横向扫描线上纤维根数（见图 2-6），可以通过图像测量方法准确地测量出来，也就是说准确测量了  $R(l)$ 。同样  $l$  也可以根据步进电机的运动位置，很方便地测算出来。 $\Delta l$  是一个人为的量，定在多大的一个尺度，在最后的

实验数据分析时，再进行恰当地处理。这样一来， $l$ 、 $R(l)$  和  $\Delta l$  都是可测的，所以说，测量原理这个问题完全解决了。

现在我们能够大致规划出整个系统的结构。整个系统由计算机主控，从功能上可以分成如下几个功能模块：

### 1) 棉须固定模块

其作用是将柔软的测试棉须拉直，并尽量使它不要抖动。

### 2) 光学成像模块

对测试棉须进行光学成像，并保证图像测量所需要的成像质量，提供合适的放大倍数，使每一根纤维都能被测量。

### 3) 位置信号的 A/D 转换模块

对测量系统中各类重要信号进行模拟量-数字量转换，然后传给主控计算机，保证计算机对测量过程的控制。

### 4) 步进电机运动控制模块

控制步进电机加速、匀速、减速运动。

### 5) 图像采集模块

将光学图像转换成数字图像后，交给计算机处理。

至此，我们依据测量原理，构想出了测量结构模块。但是当时仍然存在许多问题没有解决，例如纤维试样制备、抓取清晰的纤维图像等。所有问题的解决，依赖那些基础性的实验，依赖建立于实验结果之上的硬件实现。

## 2.4.2 测量系统优化设计的理论分析

我们希望测量系统能够在“等同条件”下达到最优。这里主要涉及 CCD 的选择和光源照明方式的理论分析。

由于测试棉须很密，要想做到每一根都清晰可辨，根据内奎斯特采样定理，采样频率要尽可能高一些。就 CCD 而言，其粒度即为测量系统的空间采样频率。因此，应选择灰度 CCD。使用 Bayer 方法的彩色 CCD，需要 4 个 CCD 像元构成一个采样点，它与灰度 CCD 相比，采样频率降低了一倍。根据 Charles Smith 等人的实验<sup>[7]</sup>，使用 Bayer 方法的彩色 CCD，分辨率降低一倍以上。

对于 CCD 光电器件，由于它是通过光能累积实现光电转换的，因此，任意小的光点，即便它的像小于 CCD 像元粒度，也能够被转换为数字图像。从空间分辨率定性分析的角度来看，一个几何光点，对于一个光学系统而言，它是一个点扩展函数，它的像不再是一个几何点，而是一个扩散斑。尤其是扩散斑的尺度大

于 CCD 像元粒度时，会使分辨率降低。因此光源的照明采用背投式要好于反射式。在背投式方式下，纤维的像是暗的，背景是亮的。如果将背景看作是无限多个星光点光源，其爱里斑作用会使纤维的像变细。我们同样能够推论出，反射式照明会使纤维的像变粗。这就是说光学仪器中的“衍射极限”并不总是降低或限制系统的“分辨率”，在某种情况下（比如这里的纤维图像），它能够提高系统对纤维的可识别性。两根距离很近的纤维，当它在反射式照明情况下，图像反映的是两根粘连的纤维；但在背投式照明情况下，图像反映的是两根清晰可分的图像。当然，这种情况在一定条件下才能成立，理论上讲，爱里斑半径大于纤维图像直径时，纤维就断掉了。不过笔者由试验证明，在我们使用的纤维检测光学系统中，背投式照明提高了纤维的可识别性。

### 第三章 硬件系统设计

硬件系统主要由：光学成像、图像采集、纤维固定、电气控制、平移台、机架等部分构成。测量样机由这些部分有机结合而成。

#### 3.1 硬件结构原理简述

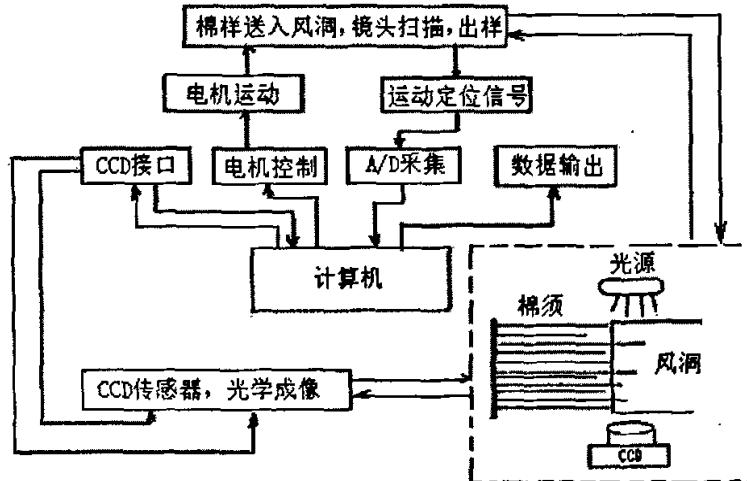


图 3-1 硬件结构原理

如图 3-1 所示的仪器硬件原理结构图。握持试样棉须的夹子，固定在平移台 1 上，在步进电机的驱动下，平移台 1 完成棉须送入风洞的操作。CCD 固定在平移台 2 上，在步进电机的驱动下做横向扫描运动，并不断抓取试样棉须的图像，图像数据送入计算机中处理。棉须测量完毕，平移台 1 将纤维试样送出，然后测下一个试样。步进电机的控制信号，由 PCI-Tmc12A 和自制电路板构成，其运动位置由光电对射管检测。CCD 除了采集棉须图像外，也被作为棉须是否全部测量完毕的传感器件。基本运动流程由图 3-2 表示

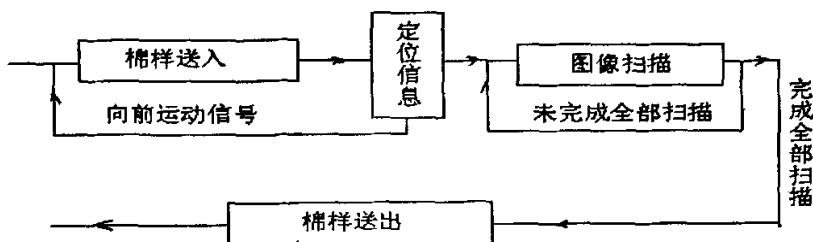


图 3-2 基本运动流程

下面对各个模块进行详细说明。

### 3.2 光学成像模块

光学成像模块由光学镜头、光源、辅助性机械结构等三个部分构成。光学图像必须考虑其像质，考虑其可处理性，主要涉及如下几个因素：图像放大率、成像空间、图像质量。

放大率与棉纤维制样方法、测量效率、CCD 像元密度有关。当放大率不够大时，若要求图像能将每一根纤维分辨出来，在制备待测棉样时，要尽可能使纤维稀疏，这需要费很大的工夫，有时甚至不可能实现。很显然，CCD 像元数越多，系统构造就越容易。当制样方法和 CCD 像元数受限时，只能寄希望于增加光学系统的放大率。不过靠极度增大光学放大率的方法是不行的，因为较高的放大率虽然可以将纤维分开，但随之而来的是纤维运动幅度加大造成的图像模糊，以及图像帧数的成倍增加，进而造成测量速度的降低，失去商业应用的价值。当放大率确定后，需要确定景深。为了保证景深，需要调整镜头上的 F 值，F 值越大，景深越大。大的 F 值造成通光孔径减小，这会造成图像亮度不够以及亮度不均匀，因此需要加大光源强度。由于纤维在风洞中会抖动，为了不让图像模糊，必须使快门速度足够快，这样又要求光源强度增加。当光源技术达到极限时，我们只能在这个限制之内来调整各个光学参数，以达到系统最佳。

#### 3.2.1 光学参数确定

我们用成像空间公式来确定光学参数，如图 2-3 所示。其公式如下：

$$\Delta = \frac{2Du|\beta|z}{D^2\beta^2 - z^2} \approx \frac{2Df(\beta+1)z}{D^2\beta^2} \quad (3-1)$$

$\Delta$ ——成像空间

D——入瞳直径

U——物距 (140mm)

$\beta$ ——垂轴放大率 (=1)

z——CCD 像元尺度 ( $=6.7 \mu m$ )

f——焦距 ( $=55mm$ )

F——镜头光圈 ( $=11$ )

$\beta=1$  由多次实验确定， $\beta$  小于此值的话，由于纤维试样制备的条件限制，不能保证纤维根数的准确识别。CCD 像元尺度也是定值。这样  $\Delta$  的大小由  $f/D$  的比值确定， $f/D$  是镜头的上标刻的 F，所以  $\Delta=4Fz$ 。当 F 为 11 时， $\Delta$  的值近似为 0.35

毫米。这个成像空间是不够的。如果将离焦允许程度放宽到两个 CCD 颗粒尺寸， $\Delta$  值近似为 0.70 毫米。需要说明的是，更大的 F 值是不现实的，因为这意味着很小的通光孔径。随之而来的是光源问题（图像亮度不够），且很难处理。

CCD 镜头一定要选用长焦距镜头，这有两个原因。首先，短焦距镜头不能同时保证图像质量与放大率。CCD 镜头上都标有一个最小物距，它是从镜头设计时确立的最大孔径角推算出来的。当被测物体离镜头距离小于最小物距时，像质降低。使用短焦距镜头成像时，在正常的物距范围里，往往达不到较大的放大率。要提高放大率，只有给镜头加垫片（或者转接环），这时物距就超出了镜头能保证的范围。所以说，像质与放大率不能同时满足。其次，长焦距镜头能够保证整体图像亮度的均衡，而短焦距镜头则不能。CCD 摄像头成像的亮度分布，不是渐晕的，其灰度按  $\cos^4 \theta$  递减<sup>[74]</sup> ( $\theta$  为像方孔经角)。现在常用的 CCD 摄像头，其感光面到镜头接口的珐琅面的距离，是标准值。当镜头焦距较小时， $\theta$  值必然会较大，这就使得图像的亮度由中央向两边，递减的非常快。而长焦距镜头， $\theta$  值就小的多，图像亮度很均匀，这一现象也被实验证实。使用长焦距镜头的另外一个好处是，与短焦距镜头相比，在相同的成像空间条件下，对光源的要求降低。

公式 (3-1) 下方的变量，为仪器实际使用的镜头参数。

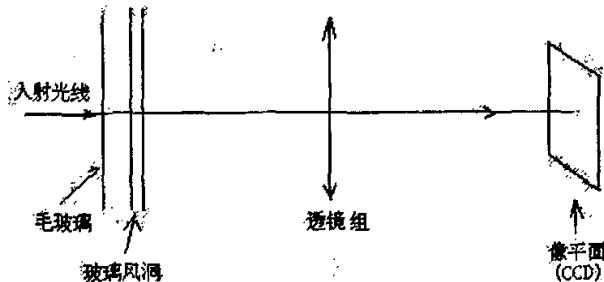


图 3-3 棉纤维光学成像系统

### 3.2.2 光源

本系统对光源的要求较高，由于棉纤维在风洞中有一定幅度的运动（左右摆动和上下抖动），运动的物体成像时会产生运动模糊。对于匀速运动或者匀加速运动产生的图像模糊，可以通过一些成熟的算法<sup>[75][76]</sup>予以消除。而纤维的运动方向是随机的，运动速度是随机的，这种情况下产生的图像模糊，目前还没有什么好的处理办法。此外，纤维上下运动会使它的像离焦，这是造成纤维图像模糊的另一个原因。因此，我们只能依赖硬件的办法来解决这个问题。显然，只要 CCD

的曝光速度足够快，棉纤维左右运动产生的图像模糊就可以消除；只要景深足够大（通光孔径会减小），棉纤维上下运动产生的图像模糊就可以消除。不过这两者都要求光源的辐射强度要很大。还有一个要求光源强度的原因是，该仪器光学系统中的光能损失很大。如图 3-3 所示，光源发出的光线在达到像平面之前，要经过一个毛玻璃、两片玻璃、两个透镜。对于光滑的光学表面，当光线垂直入射时，因反射产生的光能损失，与两光学介质的折射率的差值有关。该差值越大，光能损失越大。毛玻璃对光能的削减会更大。风洞由两片普通玻璃组成，由于其纯度低于光学玻璃，对光能的吸收亦是非常可观的。所以说，能否找到强光源，是一个非常重要的问题。

因为被测对象是棉纤维，所以必须选择常温光源或者冷光源。光源温度太高的话，会将棉纤维烤焦。150W 的工业用的钨灯，其光强度能够满足仪器的需要，但它产生的热量太大，所以不能使用。节能灯是温度不高的面光源，可惜发光强度尚不够大。经过多次、多种光源的对照实验，笔者认为，高亮 LED 是最理想的光源，并且要对应 CCD 的光谱响应曲线，选择 LED 的光谱。

### 1). LED 元件参数：

峰值波长：515nm， $\Delta \lambda = 40\text{nm}$

发散（视）角  $\theta$ ： $\pm 5^\circ$

正向电压：最小 2.8v，典型 3.3，最大 3.6

电流： $I=20\text{mA}$

辐射强度：最小 3000mcd，典型 4500mcd，最大 6000mcd

发光面直径  $\phi=3.0 \pm 0.2$ ，边沿直径： $\phi=3.9 \pm 0.2$

### 2). 面光源电路

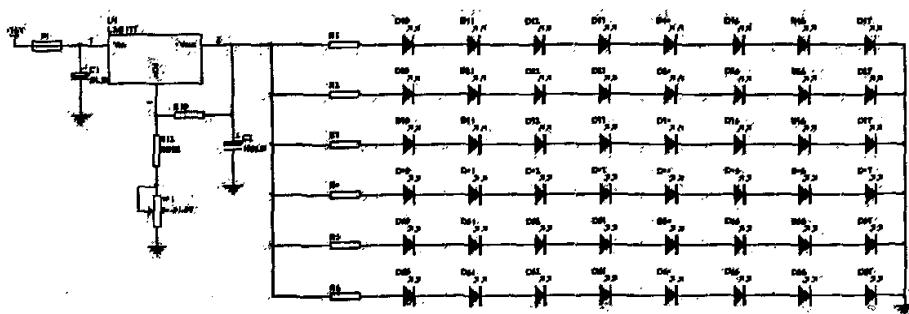


图 3-4 光源电路

光源电路设计时，要考虑工作的稳定性和可靠性，电流和电压都不宜过大。

如果所有 LED 并联的话，电流接近 2A，这是不能接受的。因此采用串、并联结合方式。先将 8 个 LED 串接，再将 6 路串接好的 LED 并接。这样，总体电流在 120mA 左右，电压在 24V 左右。这是比较理想的工作参数。每路 LED 串接一个 100 欧姆的限流电阻，在电压有微小波动时，能够减弱对 LED 的干扰。为减小直流电源输出波动的影响，光源电路还使用了（美国国家半导体的）一片高精度稳压芯片 LM317T，进一步保证 LED 工作的稳定性。图 3-4 中的可调电阻，能够使输出电压在 2V 的范围内进行调整。通过调节该电阻，就能够调节光源的亮度。LM317T 的参数及典型电路，可参阅使用说明<sup>[7]</sup>。

LED 发光阵列由 48 个 LED 构成，采用 6×8 方式排列，即横向 8 个，纵向 6 个。LED 在插入印刷电路板之前，要用锉刀小心地将每个 LED 的帽沿锉掉，这样 LED 才能排列得更紧密。LED 间的缝隙会造成光场亮度不均匀，有对比度很大的明暗区域。LED 阵列发光面的尺寸为 28mm×18mm，CDD 的感光面尺度为 6.6mm×8.8mm，因此，这种尺度的光源平面，完全够用。图 3-5 为光源的实物图。

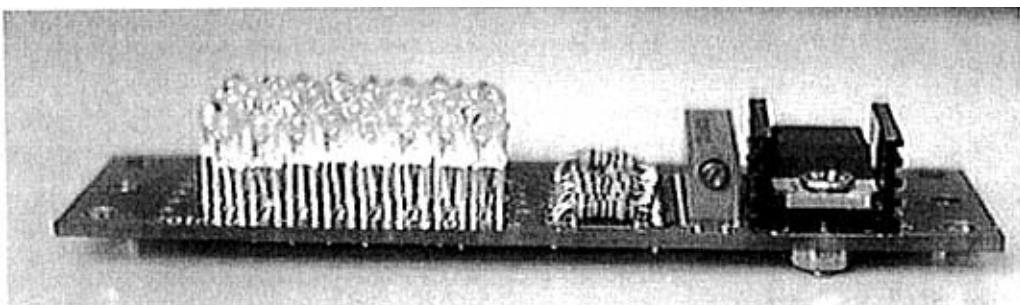
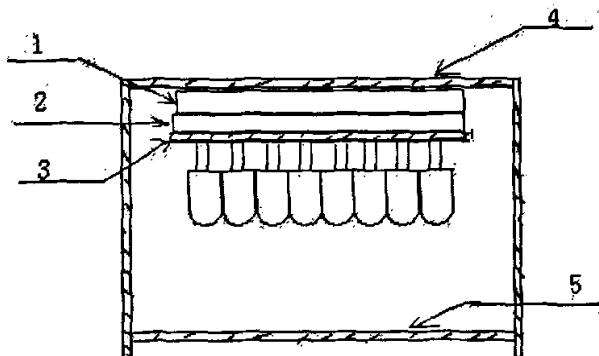


图 3-5 光源实物

### 3). 光源机械结构与散热

如图 3-6 是光源的结构图。一般情况下 LED 被当作冷光源，因为其发光原理是电致激发。不过由于该仪器中的光源 LED 的排列是非常紧密的，彼此之间的缝隙非常很小，散热能力也很弱，这样会造成光源电路板与 LED 温度很高（烫手）。半导体器件通常在温度较高时不能正常工作，我们使用的 LED 也不例外。在没有散热措施的情况下，LED 光源工作不到 5 分钟，便开始无规律地、间歇性地闪烁。因此必须进行散热。具体办法是：印刷电路板中的每个铜片焊盘尽量加大，所有 LED 都不是贴在电路板上的，而要升高 7 个毫米左右（见图 3-5）；其次在印刷电路板的背面使用散热片。方法很简单，先涂一层绝缘硅脂，垫上导热性好的绝缘硅布，利用光源金属支架做散热片。稳压芯片也要加上散热片。这样处理后，光源就能稳定地工作。



1、绝缘硅布 2、绝缘硅脂 3、电路板 4、散热片 5、毛玻璃

图 3-6 光源机械结构图

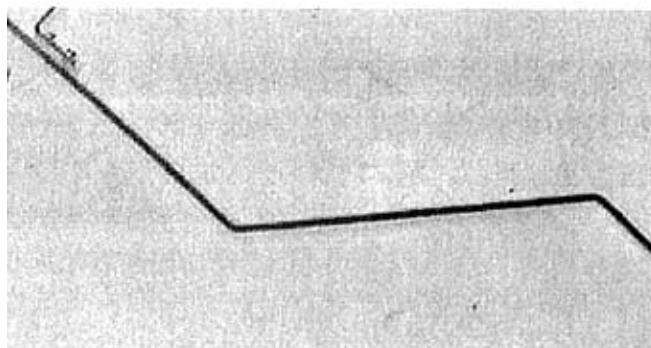


图 3-7 光源下支架

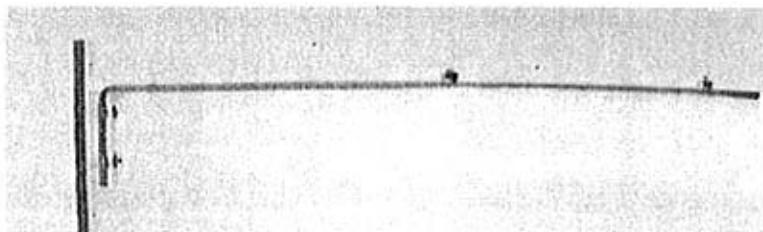


图 3-8 光源上支架

图 3-7 和图 3-8 为 LED 光源的支架，它由两根金属杆连接而成。一根用于固定 LED 电路板，另一根与 CCD 相连，这样 CCD 在运动时，光源与它连动，保证了光源始终在 CCD 的正上方。两根连杆上下可调，LED 左右可调。因为（图 3-8），用于连接 LED 电路板的螺钉孔不是圆孔，而是长槽。如此能够保证光源的位置可调。由于光源与镜头连动，光源一旦调整好，图像的亮度分布基本稳定。这样，很容易使用减影法处理图像，提高了图像处理速度。

#### 4). 光源照明的均匀化处理

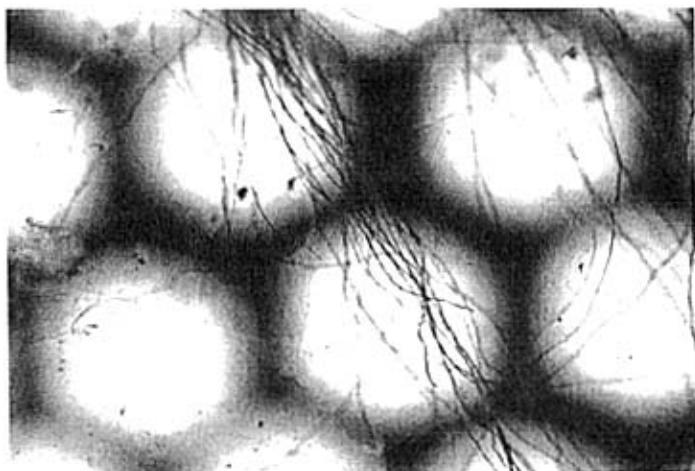


图 3-9 没有毛玻璃片时的图像



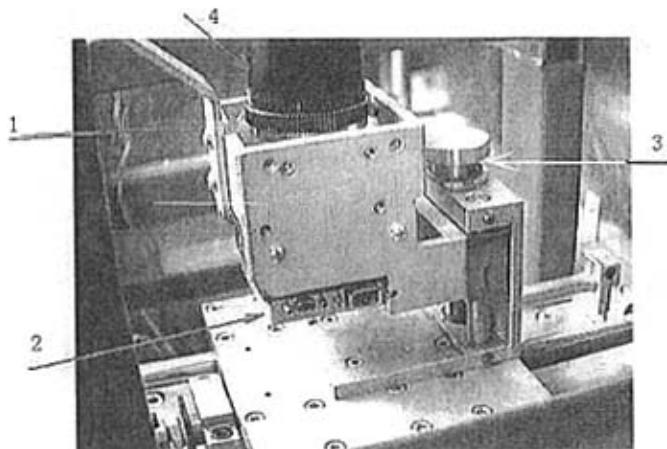
图 3-10 有毛玻璃片时的图像

由于 LED 的发散角很小，所以光能很集中，这也是高亮 LED 的特点。在光学系统的放大率较大时，LED 之间的间隙会明显反映在图像中。图 3-9 的光学放大率为 0.5，黑色的暗景是 LED 的间隙。能够预期，当光学放大率从 0.5 变为 1 时，暗景的区域会更大。解决这个问题有两种办法，一个是让光源远离镜头，使 LED 的像有足够大的离焦，以此增加亮度的均匀性；另一种方法是在 LED 光源下增加一块毛玻璃片。第一种办法效果不好，一者光强按距离平方减小，造成亮度不够；其次，由于镜头的焦距太大，LED 要移动很大的距离才能消除暗区，这会使仪器的机械结构看上去很不舒服。采用毛玻璃片，不但可以消除这些暗景，由于不需要升高光源的位置，仪器的结构也好多了。图 3-10 是光学放大率为 1 时

的纤维图像，可以看到，图像的亮度比较均匀。

### 3.2.3 镜头固定架

镜头固定架见图 3-11。它将 CCD、镜头、光源固定在一起，右边是一个调节拴，它能够调节镜头的高度。镜头与光源联结在一起的好处是，一旦图像亮度调整好后，由于光源到镜头的距离始终不变，因此在对纤维图像调焦时，不会改变图像的亮度。这样的处理方法，降低了光学系统调整的难度。



1、光源支架 2、CCD 3、调节拴 4、镜头

图 3-11 镜头固定架

## 3.3 图像采集模块

图像采集模块由 CCD、图像采集卡、计算机组成。CCD 将棉纤维的光学信号转换成数字信号，通过 IEEE1394 电缆传输给图像采集卡。图像采集卡将串行图像数据变换后，存放在计算机内存中，供计算机读取。计算机负责处理图像数据并根据需要，在显示器上输出图像。

### 3.3.1 光电转换器件—CCD

#### 1) CCD 参数

CCD 选用的是德国 Basler A101f，它是黑白 CCD，因此，其分辨率将比同样点阵的 CCD 要高 2 倍。该 CCD 的参数由表 3-1 给出：

这里最重要的参数是：曝光控制 (Exposure control)、增益和亮度 (Gain and Brightness)，它们能够通过软件编程而改变。该 CCD 的电子快门的时间为： $(n+1) \times 20 \mu s$ ,  $n=0, 1, 2, 3 \dots$ 。另外一个重要参数是图像格式，因为 Basler A101f 的好多参数是自己特有的，不了解它们，难以编程。

表 3-1 CCD 参数

Specification	A101f
Sensor Type	Sony ICX085AL/AK - 2/3 inch, HAD, interline transfer progressive scan CCD
Pixels	1300 (H) x 1030 (V)
Pixel Size	6.7 μm (H) x 6.7 μm (V)
Anti-Blooming	1:100
Dark Signal Non-uniformity	± 1 DN
Photo Response Non-uniformity	± 5%
Max. Frame Rate (at full resolution)	12 frames/sec.
Video Output Signal Mono:	8 bits per pixel, IEEE 1394 Compliant IEEE 1394 Compliant
Gain and Brightness	Programmable via IEEE 1394 bus
Exposure Time Control	Programmable via IEEE 1394 bus
Synchronization	External via External Trigger signal
Power Requirements	12 VDC (± 10%), 5.0 W, < 1% ripple supplied via 1394 cable
Max. Cable Lengths	1394: 4.5 m I/O: 10 m
Shock	20G with 50 repetitions in each axis
Vibration	10G (58-500Hz) for 1 hour in each axis
Lens Adapter	C-mount or F-mount
Housing Size	(L x W x H) : 48.7 mm x 62 mm x 62 mm
Conformity	CE, FCC

图 3-12 为 Basler A101f 的原理框图<sup>[78]</sup>, 它清楚的表明如何与图像采集卡实现数据通讯。首先图像采集卡向 Basler A101f 的寄存器写控制字, 这个过程中, micro-controller2 起作用, 然后 micro-controller1 根据控制字对智能器件 FPGA 操作, 实现对 CCD 的参数修改, 包括: 快门时间 (shutter)、增益、亮度。相应寄存器地址如下:

#### Inquiry Register for Basic Functions

19ch	V_MODE_INQ_7	图像格式 Format_7
500h	BRIGHTNESS_INQ	图像亮度
51ch	SHUTTER_INQ	电子快门
520h	GAIN_INQ	增益

#### Status and Control Registers for Features

800h	BRIGHTNESS	
804h	AUTO_EXPOSURE	
61Ch	One_Shot	
81Ch	SHUTTER	Exposure time = (shutter value + 1) x 20 μs

820h GAIN

The gain can be set in a range from 0 to 511 (0x000 to 0x1FF). However, settings above 319 (0x13F) have no effect. The effective range of gain settings is 0 to 319 (0x000 to 0x13F). See Section 3.6.1 for more information.

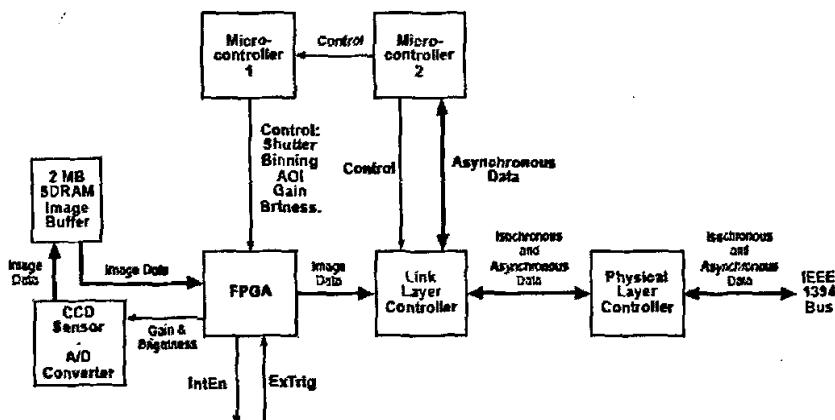


图 3-12 A101f 的原理框图

Basler A101f 有一条曝光控制信号线, 不过并没有被图像采集卡所使用, 显然, 应该有“软操作”能够实现 CCD 的曝光。经过对说明书的阅读, 看到, 只要对控制寄存器 ONE\_SHOT (地址偏移: 61Ch) 写“1”, CCD 将按照 SHUTTER 寄存器中的值进行曝光, 曝光时间  $t = (\text{SHUTTER}+1) \cdot 20 \mu\text{s}$ 。然后 CCD 将图像数据传送出去, 并同时对自己执行清 0 操作。显然曝光控制信号线是用外部逻辑电平触发曝光控制, 这与软指令触发曝光控制没什么差异。至此, 基本上已经把 CCD 的图像采集原理搞清楚了。图像采集卡 (后文有说明) 函数库提供两种抓图方式: 连续抓图和单帧抓图。在连续抓图抓图方式下, 相应的代码不是一条或者数条指令, 而是一个线程; 线程会主留在内存中, 获得 CPU 时间片, 它不会自动从内存消失。在单帧抓图方式下, 抓图函数执行完毕后, 能够返回。不理解这种差异, 会造成整个系统调试的困难。

## 2) CCD 光谱响应曲线

CCD 光谱响应曲线对选择光源有很大帮助。从它的曲线可以看到, 其峰值在 510nm 左右。LED 的光谱正是对准这个响应曲线选择的, 这样图像的亮度就能提高, 保证了图像质量。

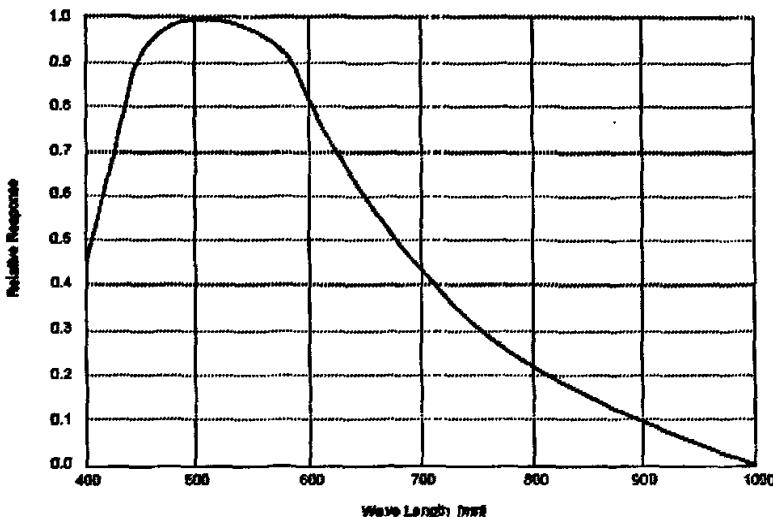


图 3-13 CCD 光谱响应曲

### 3) CCD 机械尺寸

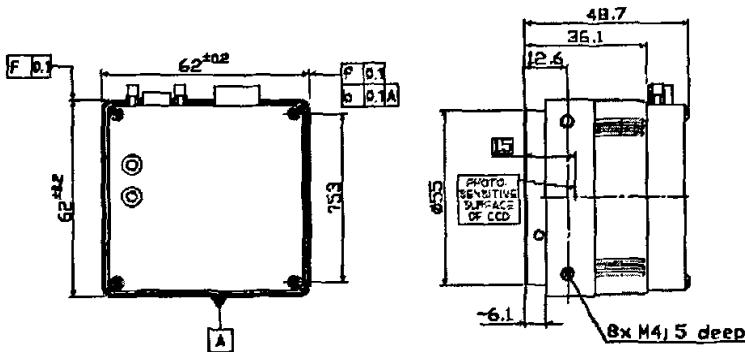


图 3-14 CCD 机械尺寸

#### 3.3.2 图像采集卡

图像采集卡选用的是加拿大 Matrox 公司的 Meteor-II/1394 型采集卡。该卡的总线结构是 PCI，带有 3 个 IEEE1394 串行接口，并提供完整的软件开发库。根据与摄像头接口类型的不同，Matrox 公司提供 4 款 Meteor-II 采集卡，其中软件开发库对 Meteor-II/1394 的支持最弱。需要注意的是，Meteor-II/1394 并不能与计算机上所有的图形显示卡兼容，因此在选主机时，一定要进行现场测试。如果使用不兼容的图形显示卡，图像会闪烁。

图 3-15 为 Meteor-II/1394 采集卡的原理框图<sup>[79]</sup>，它采用缓冲方式处理数据，即采集卡上的智能芯片将从 CCD 采集到的图像的数据，以 DMA 方式缓存到系统内

存中，这些数据既可以被用户读取，亦可用于计算机的图形显示。这样做的优点是，一幅图像数据存入系统 RAM 后，CCD 可以去采下一幅图像，而这一段时间，主 CPU(计算机上的 CPU)可以进行图像运算，从而提高整体效率。

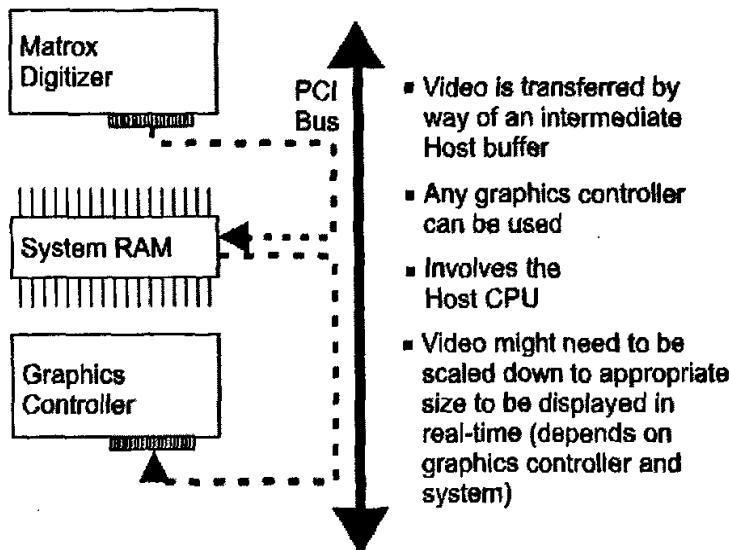


图 3-15 采集卡的原理框图

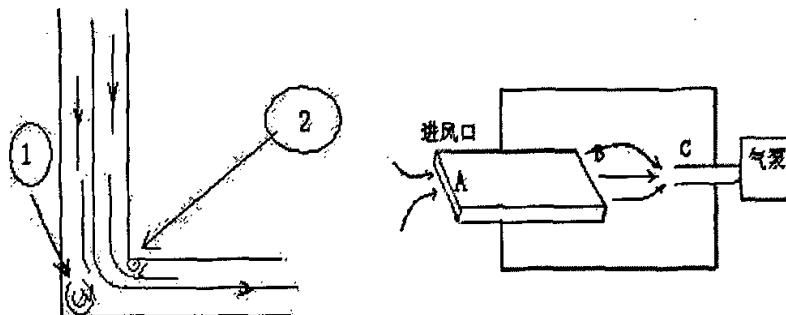
### 3.4 纤维固定系统

用气流场来固定棉须是一种便捷的方法。棉纤维的特性是有粘性、质量轻，在风洞中容易随气流快速摆动，而且容易缠绕到一起。这些因素将造成图像质量下降，或者图像失真，进而是测量结果不准确。当纤维缠绕到一起时，纤维就不可能被一根一根地识别出来。若是用统计模型来判别缠绕程度，这就回到了 HVI900 的老路上去，缺乏坚实的理论依据。因为不同地区生长的棉花含糖量（主要指外糖）不一样，粘性也不一样<sup>[80]</sup>，在相同的气流场中，缠绕的程度不一样，统计模型也就不可能是通用的。光学镜头在扫描图像时，要把一幅一幅的图像拼接起来，如果纤维左右摆动幅度过大，它会离开它该进入的图像区域，或者进入到它不该进入的图像区域。这些因素都会造成测量结果的不准确，或者根本不能接受。

#### 3.4.1 风洞流场稳定的方法

按一般的风洞原理，对于一个开口为矩形的风洞，在风洞内离入口距离为 3 至 4 个 L 时（其中  $L=ab/(a+b)$ ，a、b 为矩形风洞口的长和宽）<sup>[81]</sup>，气流场会变得稳定。根据我的试验，风洞长度不能小于 8 个 L。要保证气流的稳定，风洞不

但在设计形状上有要求，而且在某个位置要加稳流措施。有没有稳流措施，纤维在气流场中的状态大不一样。根据气流场实验<sup>[82]</sup>，当流场形状发生突变的时候（图3-16的左图，1, 2），会产生紊流，如果棉纤维出现在这个位置，就会卷绕。图3-16的A处，就是纤维进入的地方，也是它容易产生卷绕的地方。我采取常用的稳流办法，即在B、C处用纱布包上。值得说明的是，一般认为，后段气流状态不干扰前段的气流，亦即B、C处包纱布的办法不能改善AB段的流场。但有实验证明能够改善<sup>[82]</sup>，本人的实验亦证实了这一点。风洞设计的要求是棉纤维在其中不能发生卷绕，要尽可能减小抖动。抖动使图像模糊，造成测量纤维根数的不准确，但还是能够寻找补救的办法；假如发生卷绕，则纤维长度的图像测量已无法实现，也就不可能有正确结果。



气流场发生突变的几个点 1, 2, A, B, C  
图 3-16 风洞结构原理及紊流点

风洞的前段由两块玻璃板构成。由于纤维图像是对风洞中的纤维成像，所以风洞前段必须由透光介质构成。此外玻璃的表面很光滑，气流在其中的流动会更稳定。玻璃板的厚度要尽可能的薄一些，3mm的厚度是一个合适的尺寸。太厚的话，会造成进风口紊流变强；太薄的话，玻璃容易碎裂，无论是玻璃的切割还是仪器调试，都变得困难了。

如图3.16所示，气泵提供负压。进风机构由两块玻璃构成。在B、C处用纱布包上，使玻璃风洞中的气流场更为稳定，减小纤维抖动。由于夹持纤维试样的夹子，在检测时，要靠近风洞，从而会对气流场产生影响。因此，夹子的设计也有一定的要求，本章最后一节给出夹子的形状特征。

### 3.4.2 风洞结构示意图与实物图

图3-17和图3-18分别给出了风洞的结构示意图和实物图。

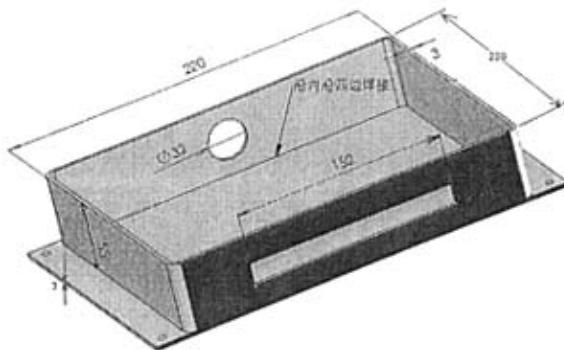


图 3-17 风洞主体结构示意图

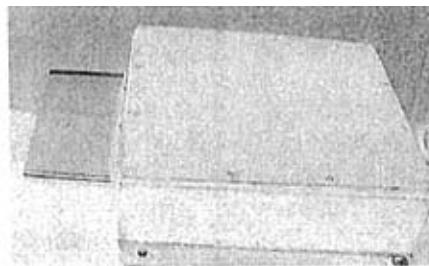


图 3-18 风洞整体实物图

### 3.5 电机运动与控制模块

电机运动与控制模块的功能是：提供控制电机的运动脉冲信号，读取运动状态，协调系统工作。它由 PCI-TMC12A 卡、自制控制板、步进电机驱动器、光电对射管构成。

#### 3.5.1 PCI-TMC12A 卡的使用

PCI-TMC12A 卡是台湾泓格公司生产的定时器/计数器卡，卡上有 4 片 82C54、16 路 DI/DO、一路中断输入。这些功能都被样机所使用。跳线设置，可以参阅该卡的用户手册<sup>[83]</sup>。具体设置与使用方法如下：

##### 1) 82C54 产生步进电机控制信号

当步进电机进行长距离运动时，需要快速加速启动，在最大速度时保持匀速。这个运动期间，我们希望主机不要过多参与其中，要尽量节约珍贵的 CPU 时间片，而 82C54 就是最佳选择。82C54 有 4 片定时器/计数器，功能上与 8253 没有太大的差别，具体功能，可参阅说明书<sup>[84]</sup>。82C54 定时器/计数器本质上是一个减一计数器，无论工作于哪一种 mode 下，当 Gate 引脚处于启动状态时，寄存器中的数据根据 clock 输入的脉冲进行减一计数。寄存器中的值减为 0 时，out 输出不同 mode 下规定的电平。令定时器/计数器工

作在 Mode 3，即可产生步进电机运动所需的方波信号，方波信号的频率与寄存器及输入时钟频率的关系为：

$$F_{sq} = F_{clock}/N \quad \text{或者} \quad F_{sq} = F_{clock}/(N-1) \quad (3-1)$$

$F_{sq}$ —方波频率

$F_{clock}$ —时钟频率

N—寄存器初值

当  $F_{clock}$  很大时，几乎可以保证  $F_{sq}$  连续变化。频率能发生连续变化的方波，使步进电机的加速易于实现。当 N 为偶数时，方波频率按前面的公式计算；当 N 为奇数时，方波频率按后面的公式计算。在 Mode 3，定时器/计数器一旦启动，且始终保持工作所需的条件，它便会源源不断的输出方波。每当寄存器中的值减为 0 时，82C54 会自动给寄存器加载上原来的初值。如果希望停止输出方波，不能通过操纵输入时钟 clock 和门控这两个引脚实现，因为 PCI-TMC12A 没有这样的操作方法。不过有一个简单的方法，即令 N 为 1，82C54 就停止产生方波，并输出高电平。这一点，82C54 的说明书，没有确切说明这个用法。

选择 chip1 的第一个计数器(Counter1)，使其时钟源 Clock1 设置为 8M(J27, J23)，令 Counter1 工作在 Mode 3 方波模式，跳线方法可参阅该卡的说明书<sup>[84]</sup>。设置好后，它便能产生步进电机运动所需的方波信号。具体读写方法，在第四章说明。

## 2) 步进电机的调整运动信号

无论镜头还是夹子，它们的位置都需要小范围的精确调整，也就是说需要对步进电机的运动脉冲，能够精确控制。我们使用两路数字输出 DO 和 chip1 的第二个计数器(Counter2)，作为两个步进电机的调整运动信号。将 Counter2 的工作模式设置为 mode0，输入时钟设定为 800k。在这种方式下，设定好寄存器的初值，计数器的门控启动以后，半开始减 1 计数。当减为 0 时，寄存器的值被自动装载为 0xFFFF。只要不断读寄存器的值，看它是否大于原始初值，就知道计数是否完毕。这个时间长度由输入时钟和寄存器初值共同确定，把它作为步进电机所需的方波频率，不断通过数字输出 DO 交错输出高、低电平，即可产生方波信号。一个方波使步进电机转过一个步距，那么根据丝杆导程和要调整的距离，就能够计算出所需的方波数。

## 3) 中断设置

仪器工作有一个整体协调问题，当某些事件发生时就必须立即处理。毫无疑问，最好的方法是采用中断。PCI-TMC12A 卡提供一路中断，16 路数字输入 DI，

完全满足仪器的需要。使用方法如下，通过跳线将中断设置为“外中断”方式，把所有的外部事件信号通过或门后，作为外中断的输入；同时，这些事件的信号分别接到 DI，提供中断事件查询。这样中断输入信号与 DI 共同构成中断服务系统。每当有中断发生时，计算机读 D1，根据 DI 的判断是什么事件产生的中断，然后执行相关的服务程序。

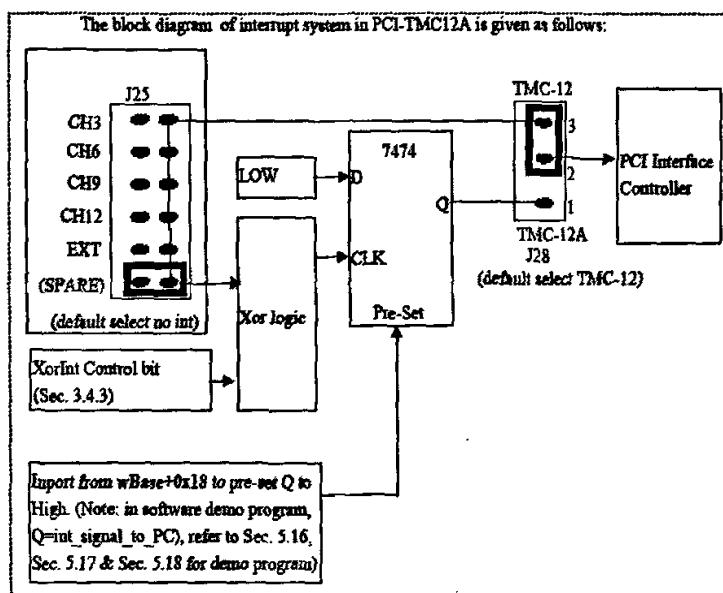


图 3-19 TMC-12A 中断接口

图 3-19 显示了 TMC-12A 中断接口特点。每当中断服务程序执行完毕，Q 点变为低电平，外部中断被封闭。只有重新预置 Q 为高电平，中断才能开启。这就方便了对中断的控制。这个特性为我们的纤维长度检测仪器所使用，没有它，仪器工作的稳定性很难保证。

#### 4) 限位光电元件

4 个光电对射管 TP808 用作两个平移台的定位传感元件。对它的要求是能够精确将平移台定位。例如，测试棉须每次送入时，夹子钳口离玻璃风洞口的距离要保证为 3mm，误差不能超过 0.2mm。每当遮光板（与平移台相连）通过 TP808 时，将产生跳变信号。该信号被用于外部中断事件，通知计算机立刻处理平移台的运动。采用限位光电元件的好处是，系统调试变得简单。比如，夹子钳口与玻璃风洞口的距离，通过调整 TP808 的位置就能够容易地确定下来。如果不使用它，就要计算步进电机接收的脉冲数（它能够转换成平移台的移动距离），就要考虑回程误差以及步进电机失步等问题。

### 3.5.2 信号控制电路板的设计

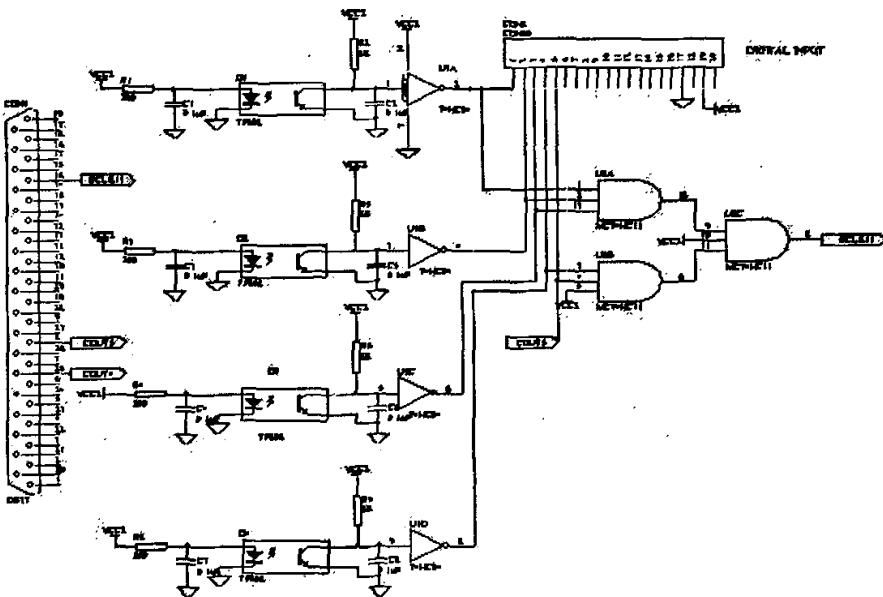


图 3-20 控制电路原理图（局部）

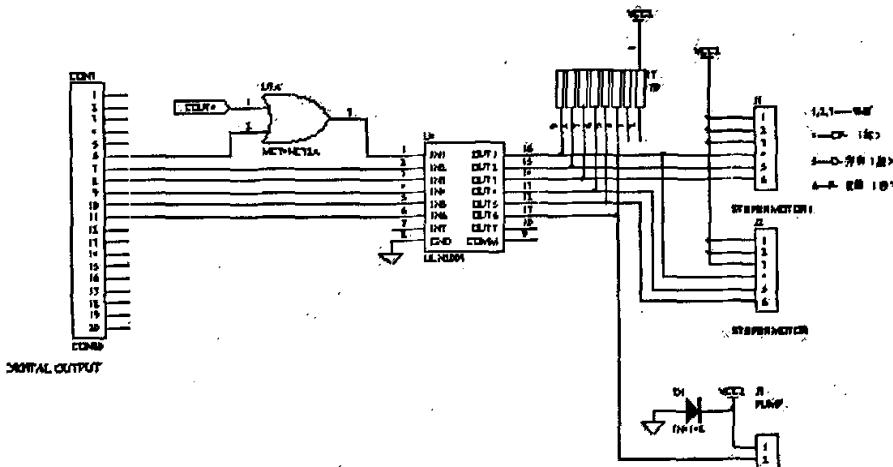


图 3-21 控制电路原理图（局部）

PCI-TMC12A 卡的输入、输出信号都是 TTL 电平，与它相连的外部器件如步进电机驱动器需要更强的驱动电流，因此要做驱动电路、信号电平的转换电路。控制板的原理图由图 3-20 和图 3-21 组成。两图中有 3 个接线端子，分别与 PCI-TMC12A 的 39 针插头、DI、DO、插头相连。由于 PCI-TMC12A 的 DO 输出能力有限，且 TTL 的逻辑 0 低于 0V (-0.2—2v)，因此使用了 2003A 增加其驱动能力，以保证逻辑 0 不小于 0v。2003A 为德州仪器公司的产品，其参数

及典型用法，可参阅器说明资料<sup>[85]</sup>。自制控制板由计算机电源供电。

### 3.6 平移台系统

平移台系统由步进电机、步进电机驱动器、平移台构成，步进电机和步进电机驱动器选用美恒公司的产品，平移台通过自行设计委托加工实现。

#### 3.6.1 步进电机驱动器

驱动器型号：M102.

这是一款功能较为全面的驱动器。其脉冲方式有双脉冲、单脉冲；细分数有4个，分别为 $0.36^\circ$ 、 $0.18^\circ$ 、 $0.09^\circ$ 、 $0.045^\circ$ ；它可用于4线、6线、8线电机。其它电气参数以及接线方法，可参阅该驱动器的说明书<sup>[86]</sup>。其输入接口的典型电路,见图 3-22

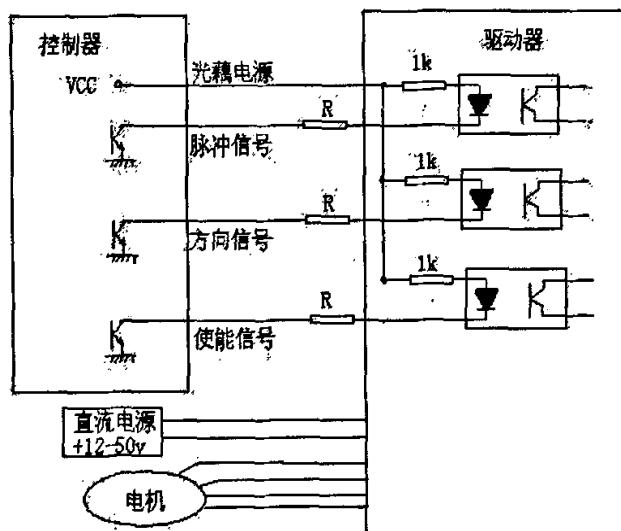


图 3-22 步进电机接口电路

#### 3.6.2 步进电机

型号：57BYGH301

参数：电流 1.5A；力矩：1.4N·M

#### 3.6.3 平移台

型号：自制

参数：导程 2mm；回程定位精度  $20\mu\text{m}$

行程：平移台 1：300mm；平移台 2：200mm

### 3.6.4 电源

生产厂家：常州成连

参数：交流输入：220V，50Hz；直流输出：电压 36V，电流 4.5A。

## 3.7 棉纤维制样

在棉纤维的各种特性测量中，多数测量方法都需要较长的时间，其中有相当一大块时间用在了纤维试样的制备上。例如棉纤维成熟度的测量，要经过手工排版<sup>[87]</sup>；斯特洛方法测强力，棉须要经过手工整理<sup>[88]</sup>；Y121 做一次实验，也需要 4-5 小时<sup>[89]</sup>。为什么说制备测试棉样这么花时间呢？原因在于棉纤维的特殊性，从不均匀的皮棉到均匀分布的测试棉条，需要做很多工作。就长度分布测量而言，如何保证每次制备的试样，其长度分布基本一致？如果这个问题不解决，就难以保证测量结果的稳定性。有些仪器在使用标准棉样测量时，结果很稳定，重复性好；当使用工作（普通）棉样时，稳定性大为降低，人们猜测这是由于纤维试样制备不稳定造成的<sup>[90]</sup>。总而言之，快速的试样制备方法很重要。

### 3.7.1 棉纤维制样方法

棉纤维制样相关结构件有纤维混合器、夹子、梳针、毛刷（牙刷）、铁刷组成。纤维混合器的作用是将纤维混合均匀，夹子用于夹取试样，梳针用来将夹子上的浮游纤维梳理掉，毛刷用于整理棉须形状，铁刷用来清理纤维混合器上的纤维，保证不同棉样之间不发生相混。这些结构件如图 3-23 所示

取标准棉样 10g 左右，然后用纤维混合器制作均匀的薄棉网。在实际取样时，要求 1) 纤维混合均匀；2) 纤维伸展方向一致；3) 夹子的夹持线与纤维伸展方向垂直。满足这三个要求，才能保证夹子上的棉须是 Hertel 的。由于纤维混合器上的刺辊同梳棉机的梳棉作用及工作机理是一样的，所以第一条能够保证。同时，只要操作方法正确，第二条也能够得到保证。棉网的厚度要控制，既不能太厚，也不能太薄。太厚的话，夹取的纤维过多，累积曲线上各点纤维累积根数就测不准；棉网太薄的话，纤维量少，由于涨落因素，使得纤维累积曲线与正确的曲线偏离过大。夹子夹取纤维量应在 1400 根——1700 根。从薄棉网夹取棉样的操作方法见图 3-24。

要尽可能使夹持线与棉网延伸方向垂直，如果以一个斜角  $\alpha$  夹取棉样，纤维

被夹取的概率将会减少到原来的  $\cos \alpha$  倍。考虑到纤维只是总体上有一致的伸展方向，不可能每根纤维都与伸展轴线一致，应该与轴线有随机的小角度偏离。当  $\alpha$  过大，会产生较大的误差。完成了纤维夹取后，用梳子将浮游纤维梳理掉，再用毛刷轻刷纤维须丛，使纤维的伸展状态好一些。接下来将夹有纤维的夹子放入自制测量仪器的插槽中，即可准备测量。

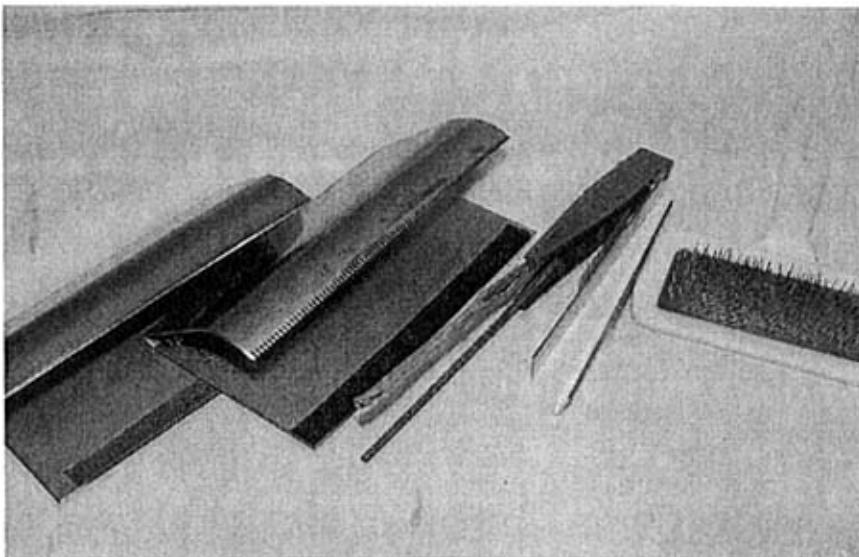


图 3-23 棉纤维制样相关结构件

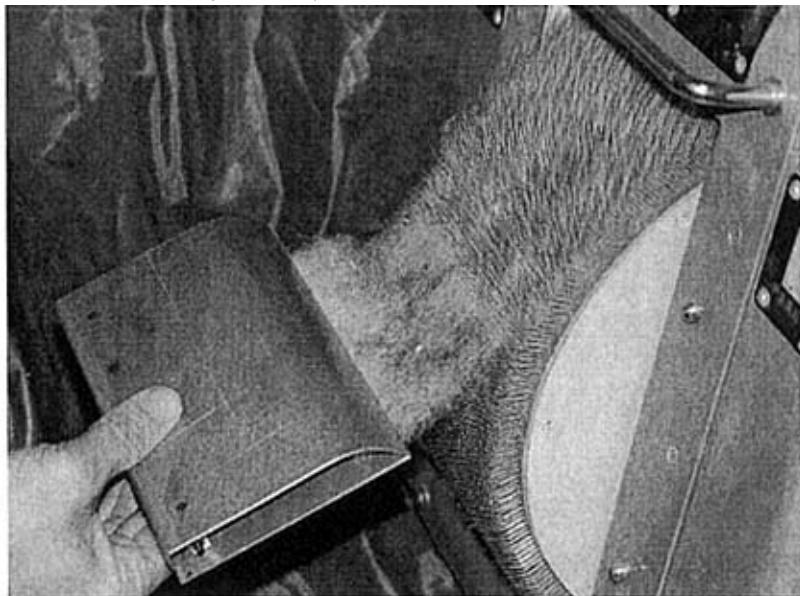


图 3-24 制取棉样的操作方法

### 3.6.1 棉须夹子的形状特征

如图 3-25 所示的夹子形状，其上部钢板靠近钳口有一段是弧形的，下部为

一平板。采用这种形状的理由是，它能够减小气流的不平稳，减小纤维的抖动。为了保证紊流最弱，测试棉须送入风洞时，夹子的夹持线的水平高度，与风洞口的下表面相同。夹子的夹持线与风洞前沿的距离不是 0，而是有一小段距离（3.0mm）。这已经是最小距离，超出此值，会使纤维急速抖动，甚至发生纤维卷绕。

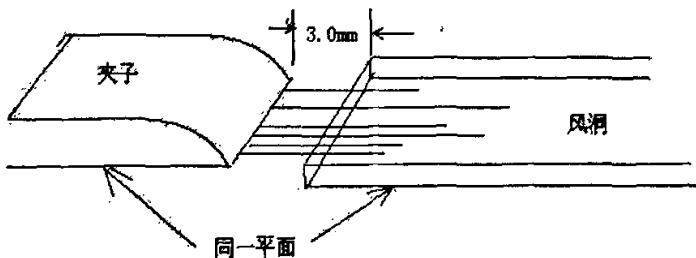


图 3-25 夹子的形状特征

### 3.6.1 棉须夹子的固定

棉须夹子采用插槽方式固定（见图 3-26），它是根据夹子的尺寸设计的。棉须夹子装入插槽时，要稍微施力，将它顶到与插槽后壁接触。这样所有的夹子在纤维送入风洞时，其夹持线都能保证与风洞入口边沿的距离为 3mm。这个标准距离不能保证的话，会导致测量结果不正确。从图 3-26 还能看到，插槽的上部有两个紧固螺钉。棉夹插入后，将这两个螺钉拧紧，夹子就不会活动。这种设计（也许不是最好的设计）使得棉夹的装卸很方便，节约了时间。

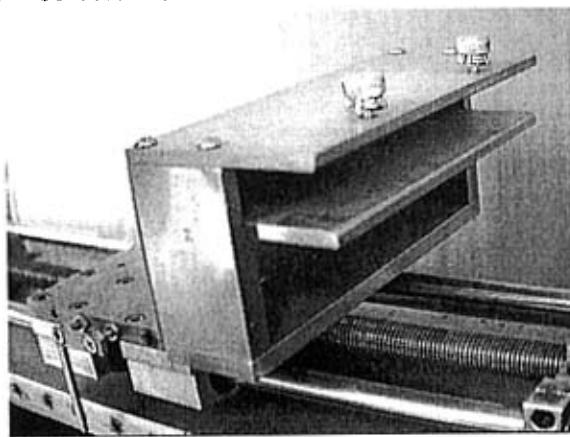


图 3-26 夹子插槽

### 3.7 仪器整体布局

仪器整体布局要考虑的一个主要问题是，减少杂扰气流对测试棉须的影响。

杂扰气流有两个来源：计算机机箱产生的气流；气泵排放出的气流。在实验中发现，这两种杂扰气流确实对棉须图像质量有不小的影响。采取的解决办法是将各个部件分两层放置。计算机和气泵放在底层，其它工作件放在上层。上下层之间用木板隔开，仪器下层的侧壁，开几个通风口。这样下面的气流就不会跑到上面来扰动测试棉须，保证了图像质量。仪器外观图见图 3-27

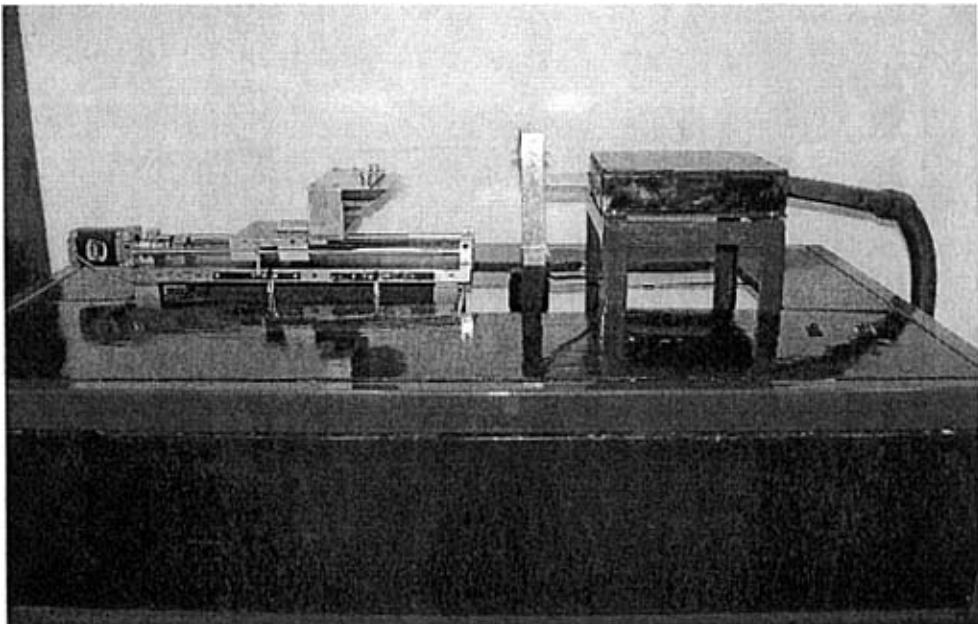


图 3-27 仪器外观图

## 第四章 软件设计

棉纤维长度分布测量软件的工作目标，简单地说，就是要能够保证仪器的正常工作，准确地测量出需要的结果。为了实现这个目标，需要解决一系列的问题。这些问题分为两类：一类与软件设计要求有关，即不同的设计要求，软件的复杂程度不一样；改变软件的设计难度，也会改变问题的难度。第二类问题是与系统有关的问题，比如平移台的驱动、图像采集与处理、纤维长度分布的算法等等。也就是说，不管在什么情况下，这些问题都要解决。当然，软件无论如何设计，它都要回答几个功能模块如何实现，这些功能模块是硬件控制模块、图像处理模块、纤维测量模块、文件系统模块、仪器调试模块。

### 4.1 软件设计要求

软件的设计要求是根据仪器的工作特性来设计的。我们要求仪器在启动对棉须的测量时，测量工作由系统自己控制完成，图 4-1 表达了其测量与控制的特点。即仪器接收到测样指令（通过点击鼠标实现）后，在测量完成之前，仪器工作于一个“封闭”的环境中，不需要人为干预。这种软件设计要求是比较高的，难度也比较大。可以看出来，硬件控制模块中包含了图像处理，而图像处理中也包含了硬件控制，纤维图像的测量也与它们互相嵌套。为了讲清楚本章内容，需要从两个方面陈述：一个是软件架构设计；另一个是关键功能模块设计，或者说一些算法，比如步进电机的驱动、图像处理等等。



图 4-1 仪器工作特征

### 4.2 软件架构设计

由上所述，考虑到测量系统的软件比较复杂，因此要需要好的软件设计方法。结构化系统分析与设计的软件技术，是专业化的软件开发方法，该方法通常适用于企业管理软件系统的设计，并被证明是一种成功的方法。笔者在整个软件设计中，采用了其核心设计思想，缩短了软件编写时间，提高了工作效率。

#### 4.2.1 仪器工作流程的系统分析

将制备好的测试棉须固定在插槽后，通过鼠标点击动作，机器接受“送样”指令后，首先抓取背景图像并将数据保存。接下来平移台1做加速启动，当运行到最大速度时，保持匀速运动。经过一段时间，光电限位开关被平移台1的挡光板触发，这表明纤维试样已经接近风洞口。平移台1做均匀减速，最后停止，并精确定位在风洞前。主控程序通过读位置信号，了解平移台2的位置，然后确定镜头移动的方向。接下来开始抓取纤维图像。完成一行16幅图像的抓取和图像处理后，计算纤维的根数，判断出纤维在纵向是否测量完毕。如果没有完成全部试样测量，平移台1将棉须向外移动6.6mm，然后平移台2再进行一次横向扫描。如此反复多次，直至纤维测量完毕。平移台2（其上有镜头）在左右移动时，会触发两端的限位开关TP808，产生中断信号。当一行扫描完毕，平移台1向外移动6.6mm时，也有可能触发限位开关TP808。该测量过程的业务流程图如图4-2所示：

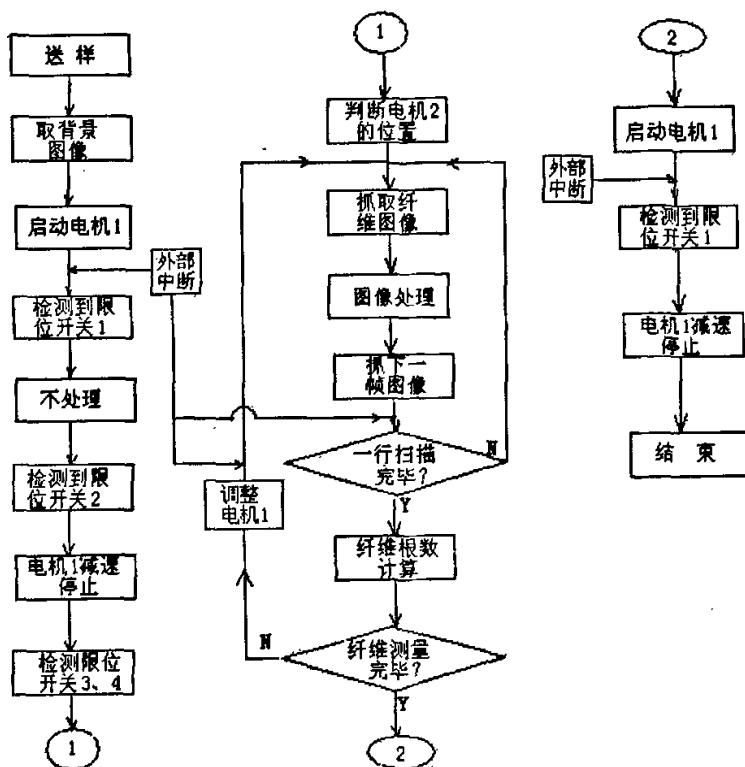


图4-2 仪器工作流程图

表面上看，业务流程很简单，与一个程序流程图基本一致，不过事实并非如此。因为当系统进行电机驱动、检测位置信号时，这些子程序的调用很难返回，除非主程序是一个无限循环程序。而无限循环程序不是多任务的，它不可能既驱

动电机运动，又能够良好地协调其它动作。一个可行的处理办法是，充分利用操作系统多任务的特性，建立一个中心控制程序。每当有事件发生，中心控制程序调用相应的服务程序，并让它自己运行。经过一段时间，该程序运行完毕后，向中心控制程序报告运行结果。如果该服务程序在运行过程中，需要系统提供新的服务，它还能够以事件申请方式，向中心控制程序提出要求。所有程序都以事件申请方式来请求运行。

#### 4.2.2 基于信息流的系统设计

##### 1) 信息流图

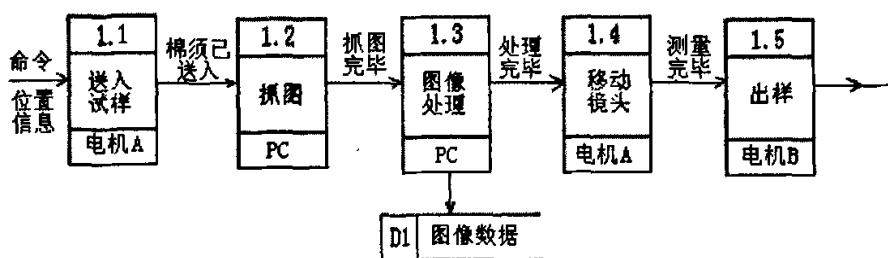


图 4-3 仪器工作的信息流图

结构化系统分析与设计方法，一般是基于数据流向为基础的。但对于测控软件，数据流很少，经常出现的是控制信息。绘制数据流图的一个原则是不能有控制。为了解决这个问题，笔者使用信息流代替数据流，这使问题一下就简化了。仪器工作的信息流图见图 4-3，当系统接受到送样指令，它调用送样程序；所有的程序模块（其功能由它的文字标志）依次执行。有一点特别之处是，在执行“图像”处理模块时，得到的纤维图像数据，要存储到“D1”中。依照结构化系统分析与设计方法，图 4-3 中的所有标识的详细说明，保存在系统设计报告中。为了不至于琐碎，这些内容略去。

##### 2) 系统功能结构图

根据图 4-3，该数据流图没有明显的变换中心，因此依据系统设计的原则，需要补充一个中心控制模块<sup>[91]</sup>，这样就得到了模块结构图，参见图 4-4。可以看到，“控制中心”的任务负责对各个功能模块的调用，它统一协调各模块之间的关系。它是典型的分支结构，根据测量系统的进程，它会发出相应的任务调用。至于功能模块的进度、运行到何处、最后结果如何等各种可能情况，它一概不管。

它只根据“监控”模块返回的操作类型及其它的命令控制，去完成相应过程调用。我们还能看到，有一个带分支选择的循环控制，它对应仪器对纤维的闭环控制的自动测量。如此一来，一个比较复杂的过程，被简化为几个简单的子过程。

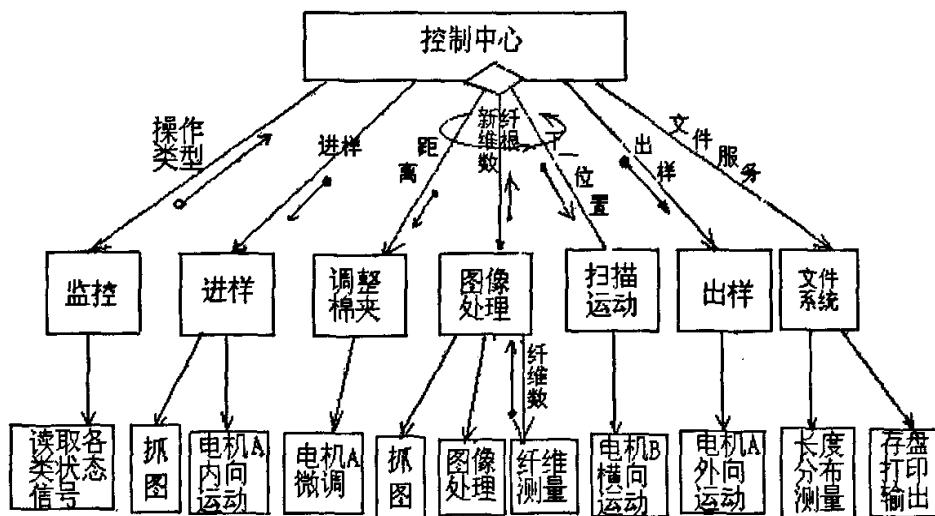


图 4-4 功能结构图

有了模块结构图，就等同于有了软件架构。依据结构图，可以设计出软件的主体架构，其形式为：

```

switch msgType
  case "监控"
  case "进样"           //调用电机 A 进样运动程序
  case "抓图"
  case "图像处理"
  case "镜头扫描运动"   //调用电机 B 横向运动程序, Break;
  case "出样"
  case "调整棉夹"
  case "文件服务"
  ----
  ----
  case "other"          break;
  
```

可以看到主体架构非常简单，主程序负责调用各种具体功能，如：“进样”、“图像处理”、“镜头扫描运动”——等等。各种功能操作由消息类型变量 msgType 定义。但主程序从不主动调用这些模块，而是由“监控”模块根据机器运行的状态，将下一步应该执行的操作告知给主程序，主程序根据这一指令，去调用相应的服务程序。子程序执行完毕后，将自己的状态告知给“监控”模块即可。所以说监控模块是软件的控制中心，有必要对其特点予以介绍。

#### 4.2.3 监控模块说明

仪器在任何时候都有一个工作状态，这些工作状态可以用不同的常数定义，且当前工作状态存储在全局变量 gWorkState 中。在任何一个工作状态下，只有有限个操作与之相关。比如机器工作在“送样”状态，它有可能触发两个限位开关。当它们被触发时，“监控”模块被调用。它首先读变量 gWorkState 了解机器的工作状态，然后分析应该执行什么操作。如果说第一个限位开关被触发，它能够分析出电机 A 在做加速运动，它知道这时不需要做任何事情。因此令消息类型 msgType=“other”即可。如果触发的是第二个限位开关，“监控”模块能够分析出下一步的操作是电机 A 要减速、停止。当电机 A 完成送样工作时，只要将自己的工作状态报告出来就行了。“监控”模块永远知道下一步应该干什么。

“监控”模块接受两类程序传送的信息：一类是在 switch msgType 下面各个功能函数执行完毕后给出的信息，另一类是硬件中断事件给出的信息。硬件的中断事件由四个限位光电对射管产生，一旦有中断，就会被一个回调函数检测到。该回调函数是 PCITMC-12A 定时器/计数器卡提供的函数，使用格式为：

```
DWORD PTMC12_InstallCallBackFunct(DWORD dwBoardNo, DWORD dwInitialState, void(* addrCallBackFunc)());
```

借助该函数，我们能够安装一个中断钩子（Hook）服务函数，读取状态信息。每当光电对射管被触发，便会产生中断，从而该中断钩子被操作系统调用。中断钩子读取PCITMC-12A的D/I，就能够知道那一个光电对射管被触发，并将此时的状态参量传给监控模块。

中断钩子的代码一定要简洁，并且要对本系统做一定的软件补偿。由于遮光板在通过 TP808 的速度非常慢，而 TP808 又是电平触发，因此触发信号不稳定。从理论上讲，遮光板每次通过 TP808 应该只触发一次，而实际上会触发多达两百多次。在短时间内这么多次的中断，且中断服务程序如果不能及时处理这些硬件

消息，会使队列中的消息溢出，造成系统死锁。这个问题当初给笔者造成不小的麻烦，因为用手动方式模拟遮光动作总是成功的，检测结果正确，系统运行正常。但是，一上到仪器，步进电机的遮光动作总会死机。为此笔者编写调试软件去观察中断特征。当观察到两百多次的TP808触发，真是令人费解。TP808是电平触发，理论上讲，遮光板通过它时，只能触发一次，许多实际经验也证明了这一点。但经过仔细分析后认为，步进电机启动阶段运动速度很慢，步进电机运动时会具有一定幅度的震动，遮光动作在TP808的临界电平触发点上，一定会左、右漂移。对于这样的问题，我们从软件和硬件两个方面解决。硬件上通过增加RC元件减少中断次数；软件上，处理完一个中断之前，将中断封闭；处理完中断之后，由“监控”模块控制中断的开启。不要使用延时去抖方法，因为它虽然适用于实时系统的单片机上，却不适用于多任务的Win2000上。

由于在硬件设计上，四个TP808的信号，不但共同作用于同一个中断源，同时还将连接到PCITMC-12A的D/I上（参考图3-20原理图），这样每当产生中断时，中断服务程序就去读中断源，以此判断哪个光电对射管被触发。通过调用下列函数，即可实现对中断源的读取：

```
DWORD PCITMC12_ReadByte(dwBoardNo, dwOffset, *Data)
```

监控模块实际上还要接受一个回调函数（线程）传送的信息。该回调函数是PCITMC-12A定时器/计数器卡提供的函数。

```
DWORD PTMC12_InstallCallBackFunct(DWORD dwBoardNo, DWORD dwInitialState,
void(* addrCallBackFunc)());
```

中断源信息将保存在Data中，读到的值为1时，表示有中断发生；0值则没有产生中断。通过这种方法，完全实现了对系统状态的监控。

我们不让“监控”模块去直接调用各个功能模块，而是绕个弯让主程序调用各个功能模块。这样做的原因是Win2000系统是一个多任务环境，所有的客户程序工作在ring 3这个级别，包括主程序。因此，在这样的情况下，有些子程序被调用后根本不返回，或者经过一段时间才返回，这样程序运行到何处，根本控制不了。若用“监控”模块去直接调，只能靠一个无限循环来限制这些子程序的返回，这种方法是不可取的。

将机器复杂的运动状态判断全部交给“监控”模块的好处是，简化了各个子功能代码的设计，也简化了仪器调试。因为每写完一段功能代码，比如“进样

运动”，就可以把它直接加到 switch msgType 下，然后在“监控”模块中增加相应的工作状态判断的代码即可。即便有的模块还没有编写，仍然可以进行整机模拟调试，只要让这些未实现具体功能的模块，返回它应该返回的工作状态信息即可。

### 4.3 电机运动控制

步进电机有两种运动，一个是长程快速运动，如步进电机A送样时的快速运动；另一个是微调运动，主要涉及镜头的等距移动；棉须从风洞中向外的等距移动。不同的运动方式，我们采用不同的控制方法。下面分别对这两种运动的控制方法做一个说明。

#### 4.3.1 步进电机长程快速运动

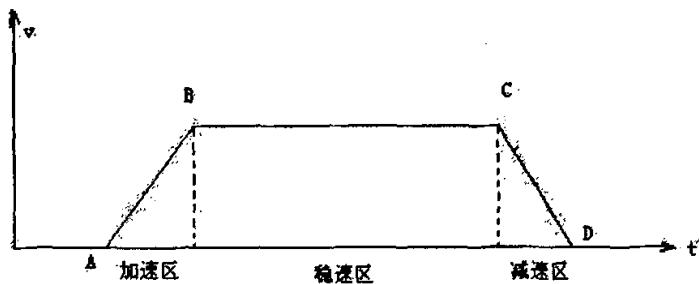


图4-5 步进电机运行特征

步进电机的长程运动的关键，是要解决好加速、减速问题。如图4-5所示，它显示了步进电机的运行特征。步进电机运动有三个运动区域：加速区、稳速区、减速区。步进电机的转速越高，能够提供的转矩就越小。因此在加速段和减速段，变速过程应该是平稳的。不能有太大的步长变化率，否则会造成丢步。驱动电机运动的脉冲是一个方波序列，每一个脉冲，使电机转过一个步角。显然，若想使电机平稳加速，需要使方波脉冲的频率逐步提升。这就是说有两个问题需要解决：（1）方波如何产生；（2）方波频率如何改变。我们通过使用TMC-12A 中的一片82c54，使它工作在方波模式下来产生方波脉冲。如果定时器/计数器82c54的时钟输入的频率为Clockin，它的方波输出频率Fout由写入定时器/计数器寄存器中的值决定。当该值（iniVal）为偶数时， $Fout = Clockin / iniVal$ ；当该值（iniVal）为奇数时， $Fout = Clockin / (iniVal - 1)$ 。当iniVal=1时，输出不是方波，而是一条直线。这一特性被用来初始化，保证步进电机不被意外干扰信号驱动。我们还可以看到，Fout不可能是连续变化的，因为iniVal是整数。但这并不是说，步

进电机不能平稳加速。82c54本质上是减1计数器，我们选用的输入时钟=Clockin的频率为8M，其周期为 $0.125\mu s$ ，它即为方波频率的最小变化间隔。所以只要所需输出力矩在步进电机的频矩曲线保证的范围以内，非丢步加速是能够实现的。82c54的方波输出，可通过如下几条指令实现：

```
i = PTMC12_WriteByte(1, &H10, 1)          //选择1号82c54
i =PTMC12_WriteByte(1, &HC, &H36)        //工作模式设定为mode 3
i =PTMC12_WriteByte(1, 0, iniValLow)    //写寄存器高字节
i =PTMC12_WriteByte(1, 0, iniValHigh)   //写寄存器低字节
```

现在已经解释清楚了如何写82c54寄存器使之输出方波，包括频率的改写方法。需要进一步说明的是，应该在什么时间间隔，由谁去改写寄存器的值。

我们希望有一个定时程序，每隔一段时间，它被操作系统“唤醒”去改写82c54输出的方波频率。Window 中的普通定时器不能使用，因为Window消息处理的优先级，除了“重绘”消息(WM\_PAINT)是最低的，接下来就是就时定时器(WM\_TIMER)消息了。因此Window 中的普通定时器的定时精度很低，定时器的性能比较差，一般认为它只适合于精度不小于100 ms 的时间要求<sup>[92]</sup>。多媒体定时器是较佳的候选对象，因为在Window操作系统中，多媒体定时器不依赖于消息机制，它是建立在中断基础上的<sup>[93]</sup>，因此它应该有较高的定时精度。根据周绿漪等人的实验<sup>[94]</sup>，多媒体定时器的定时精度，70%在±2ms内，从图4-6中可以看到，其误差范围很小，完全适用。具体使用方法如下：

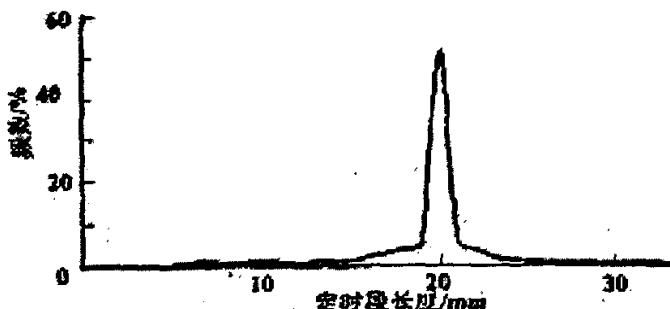


图4-6 多媒体定时器定时精度

```
MMRESULT timeSetEvent ( UINT uDelay , UINT uResolution ,
LPTIMECALLBACK fptc , DWORD dwUs2er , UINT fuEvent ) ;
```

该函数在操作系统中安装一个回调函数。回调函数fptc安装成功后，每隔uDelay个毫秒，操作系统就要调用一次fptc。因此，在fptc中不断修改82c54中

寄存器的值，82C54就会不断输出不同频率的方波。这种修改很简单，调用如下函数即可实现：

```
DWORD PTMC12_WriteWord(dwBoardNo, dwOffset, Data)
```

仪器中的实际时间间隔uDelay被设置为3ms，系统能够达到的最大速度为17mm/s，平均速度14mm/s。这是经过反复试验能够达到的最佳值。该控制程序能确保棉样每次准确地定位在风洞前。

#### 4.3.2 步进电机的微调运动

由于镜头在一个横向扫描过程中，不能将纵向的纤维全部抓图。因此，一个横向扫描完成后，棉样要向外移动6.6mm。根据平仪台的丝杆的导程，可以换算出步进电机需要的脉冲数。这种短距离运动，速度不重要，重要的是精度。步进电机A的微调运动关键是它如何得到平稳的脉冲。显然不能使用多媒体定时器，因为它的定时误差为2ms。其次笔者发现它的频率达不到1k，而实际需要的频率为2.2k。因此只能使用TMC-12A卡上的82C54作为计时基准。将82C54工作模式设定在mode 0，即计数终止中断（Interrupt On Terminal Count）方式。在该方式下，计数终止后，寄存器的值变为FFFF。该特性可用于精确延时，根据所需的频率，设定其延时宽度。然后利用TMC-12A卡的数字输出D/O，写出高、低电平即可。延时代码为：

```
void Delay_250_μs()
{
    WORD wVal;
    TMC12_Select8254(0);           // 选择8254
    TMC12_CounterSet(0, 0x30, 0x7D0); // CH-1, mode=0, 2000=&H7D0
    for( ; ; )
    {
        wVal = (WORD) TMC12_CounterRead(0, 0x00); //读寄存器的值
        if( wVal > 0xF000 )
            break;
    }
}
```

基于TMC-12A卡的数字输出D/O写高、低电平，也是很简单的，不需要再给出

代码。

## 4.4 图像测量

图像测量包括图像采集、图像处理、纤维根数测量等三部分组成。图像采集将把CCD中的光学图像，变为计算机可处理的数字图像；图像处理要将数字化的灰度图像，变为可用于测量的二值图像。纤维根数测量，要根据实际图像的特征，做一些优化运算，提高测量的精度。图像处理算法及代码编写的原则是，要满足仪器运行的速度。由于一幅图像超过100万像素，不适当的算法将占用大量的CPU时间。选用一个算法，关键是它是否有效、省时。下面就这几个方面的内容，分别予以介绍。

### 4.4.1 图像采集

Matrox图像采集卡Metro-II/1394提供了一组库函数，为了方便编程，它提供了组件模型COM的用户接口，使软件编写变的容易。图像采集系统需要初始化，完成这部分工作后才能采集图像，初始化代码在仪器初始化部分执行一次既可，具体参数设定如下：

```

object->Brightness=312      //注释：亮度设置
object->Shutter=4          //注释：电子快门100 μ s
object->Gain=210            //注释：增益
object->Format=Format_7    //注释：图像格式 Basler A101f特有格式
object->SizeX=1300          //注释：图像宽度
object->SizeY=1030          //注释：图像高度
object->ScaleX=1            //注释：x方向缩放比例
object->ScaleY=1            //注释：y方向缩放比例
object->CanGrab=1           //注释：允许抓图
object->CanDisplay=1         //注释：允许显示图像
object->GrabEndEvent=1       //注释：抓图完毕触发事件使能

```

从CCD抓取数字图像，仅需要三行语句

```

object->Grab()    //注释：从CCD中将图像数据转移到计算机内存中
void object->GrabWait(digGrabEnd) //注释：等待抓图完毕

```

```

object->Get( UserArray As Array, [Format As ImFormatConstants],
[Band As ImBandConstants], [OffsetX As Long], [OffsetY As Long],
[SizeX As Long], [SizeY As Long])

```

//注释：将计算机内存中图像数据转移到用户制定内存中

有了这两行语句，图像数据便存储在用户能够访问的数组UserArray中，数组的大小由SizeX 和SizeY确定，这里为1300x1030。

#### 4.4.2 图像处理

一个测试棉须，宽度一般在 140mm 左右，纤维依夹持线伸出的长度在 22mm 至 36mm 之间。前面已经介绍，一幅图像的尺寸为 8.8mmx6.6mm，这样完成一个棉须试样的测量，需要抓取 50—80 幅 CCD 图像。对于这些图像，我们不采用图像拼接技术将它们融合成一个完整的棉须图像，因为图像拼接需要很长的运算时间<sup>[96][98]</sup>，另外也没有必要这样做。因为纤维是随机抖动的，对于两幅相邻的图像，其边缘的纤维，存在四种情况。而极端的情况有两种：（1）本属于图像 A 的边缘纤维，在 A 图像中没有出现，且在 B 图像中也没有出现；（2）本属于图像 A 的边缘纤维，既在 A 图像中出现，也在 B 图像中出现；本属于图像 B 的边缘纤维，既在 B 图像中出现，也在 A 图像中出现。这就是说，图像拼接不能保证提高纤维根数的测量精度。因此我们设定平移台的运动长度，使它与一幅图像的尺寸吻合，然后每抓一幅图像，处理一幅图像。

棉纤维图像处理的目标是将纤维正确地分割出来。图像分割有很多种方法，如阈值法、边缘算子法、标号法、分水岭法——，章毓晋、罗希平等人口述这类处理方法<sup>[97][98]</sup>，其中绝大多数算法复杂，计算量庞大。因此我们必须找到运算量小，处理效果能够满足需要图像分割方法。经过实验对比，我们发现基于差影的图像去噪和自动阈值法的二值分割，是较好的纤维图像前期处理方法。

##### 1. 差影法对图像的噪声处理

数字图像的差影处理方法有广泛的运用，可用于印刷电路板检测<sup>[99]</sup>、目标识别<sup>[100]</sup>等等。这里使用该方法目的是为了消除图像噪声，提高图像分割的速度。因为一般的消除噪声的办法要采用 3X3 模板，处理一个像素需要 9 次代数运算，开销太大了，更别说频域滤波了。

测试棉须在送进风洞以前，计算机已经抓取了的背景图像，数据存放在背景图像数组 gImgBKArr(i, j) 中，当前图像数据则存放在数组 gImgFiberArr(i, j)。

用这两幅图像对应点的差值得到新的图像：

$$gImgFiberArr(i, j) = gImgBKArr(i, j) - gImgFiberArr(i, j) \quad (4-1)$$

新的图像——差影图像，基本上消除了亮度不均匀，使背景灰度较为平稳。整个计算耗费的 CPU 时间不会很长，因为一个减法操作，仅需要 3 个 CPU 时钟。

## 2. 阈值分割

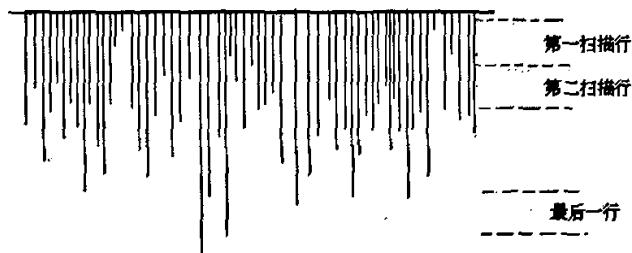


图 4-7，测试棉须分布特征

由图 4-7 所示，棉纤维依夹持线向外，纤维由密变疏，所以第一行扫描图像的亮度，比最后一行的图像亮度要低。就一幅图像而言，灰度也有这种由低到高的变化。我们希望能够用较少的时间完成图像二值化处理。最好的办法是减少需要处理的像素点个数。根据纤维图像亮度变化特征，我们借鉴了 Mpeg—Jpeg 处理图像的分块思想<sup>[101][102]</sup>，将图像由上到下等分为三个区带，每个区带的中间划出一个高度（纵向长度）为 10 个像素，宽度为 CCD 的宽度，即 1300 个像素的代表区。这个代表区的阈值即为该区带的分割阈值。这样原来需要处理 1300X1030 个像素，现在只需要处理 1300X30 个像素，时间缩短了很多。

阈值分割的算法非常多，一般采用传统的求解方法——Otsus（大津）方法，付忠良<sup>[103]</sup>、万磊<sup>[104]</sup>等对该方法做了优化，不过我们仍然使用传统的 Otsus 方法。因为图像经过差影处理后，背景灰度与前景灰度都比较平稳，而优化的算法往往需要更多的运算时间。纤维长度分布测量仪器使用的求解阈值的基本算法如下：设  $k$  是最佳分割阈值， $0 < k < 255$ 。灰度值  $k$  将图像分为两个区域，令其面积百分比为  $\theta_1(k)$  和  $\theta_2(k)$ ，因此：

$$\theta_1(k) = \sum_{i=0}^k p_i \quad (4-2)$$

$$\theta_2(k) = \sum_{i=k+1}^{255} p_i \quad (4-3)$$

其中  $p_i = n_i/n$ ,  $n_i$  表示灰度为  $i$  的像素点数,  $n$  是图像总像素点数。令  $\mu_1(k)$   $\mu_2(k)$  为区域 1、2 的平均灰度,  $\mu$  为图像的整体平均灰度, 则有:

$$\mu_1(k) = \sum_{i=0}^k g_i \cdot n_i / \sum_{i=0}^{255} n_i \quad (4-4)$$

$$\mu_2(k) = \sum_{i=k+1}^{255} g_i \cdot n_i / \sum_{i=0}^{255} n_i \quad (4-5)$$

$$\mu(k) = \sum_{i=0}^{255} g_i \cdot n_i / \sum_{i=0}^{255} n_i \quad (4-6)$$

其中  $g_i$  表示  $i$  的灰度,  $g_i=i$ 。显然有:

$$\theta_1(k) + \theta_2(k) = 1 \quad (4-7)$$

$$\theta_1(k) \mu_1(k) + \theta_2(k) \mu_2(k) = \mu \quad (4-8)$$

令

$$\sigma^2(k) = \theta_1(k) [\mu - \mu_1(k)]^2 + \theta_2(k) [\mu - \mu_2(k)]^2 \quad (4-9)$$

结合前式(4-7)、(4-8)、(4-9)可以推导出:

$$\sigma^2(k) = \theta_1(k) \theta_2(k) [\mu_1(k) - \mu_2(k)]^2 \quad (4-10)$$

当  $k$  遍取 1—225 之间的值, (4-10) 式中的  $\sigma^2(k)$  必有一个是最大值, 这时的  $k$  便是最佳分割阈值。得到最佳分割阈值后, 还要比较一下它是否在 28—37 之内, 这个区间是纤维图像的经验值。如果阈值不在此区间, 则取 33 为分割阈值。这样能够防止纤维根数计算错误。因为, 在最后一个扫描行, 测试棉须的图像有的可能只有很少的几根或者一根纤维, 背景与前景的灰度值都很高, 容易造成图像分割的失败。由图 4-8 所示, 图 a 是差影处理后纤维图像的负像 (不做负像的话, 打印不出来, 全是黑色), 其前景灰度与背景灰度差值较小。图 b 是自适应阈值对图像的分割, 它虽然对人的裸眼显得很清晰, 但有不少噪声点, 由于亮点在纤维计算时会被计入, 这样的图像是不能用的。

得到阈值后就能对纤维图像进行二值化处理, 处理方法如下:

$$gImgFiberArr(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{if } < k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4-11)$$

至此我们完成阈值分割。值得说明的是, 将差影法与 Otsus (大津) 方法结合, 对纤维图像的处理是有效的。这也是笔者经过多种算法实验后, 所能得到的最理想的处理方法。图 4-9 对比了经过差影处理和未经过差影处理后, 阈值分割

的差异。其中图 a 为未经过差影消除噪声处理的阈值分割图像；图 b 为经过差影消除噪声处理的阈值分割图像。通过对比，我们发现噪声的副作用是非常大的。笔者认为，棉纤维图像的噪声，主要是由于纤维在气流场中的抖动造成的，因而在目前的条件下，不可能通过硬件的改进来消除噪声。因此最后得到二值化的图像，仍然不是最为理想的图像，纤维的边缘不光滑，有毛刺。虽然有一些算法能够处理这些毛刺，比如使用数学形态学中开、闭运算，可有效地消除这些毛刺<sup>[106]</sup>，但测量系统对测量速度要求，已经不允许再进行这样的耗时运算。

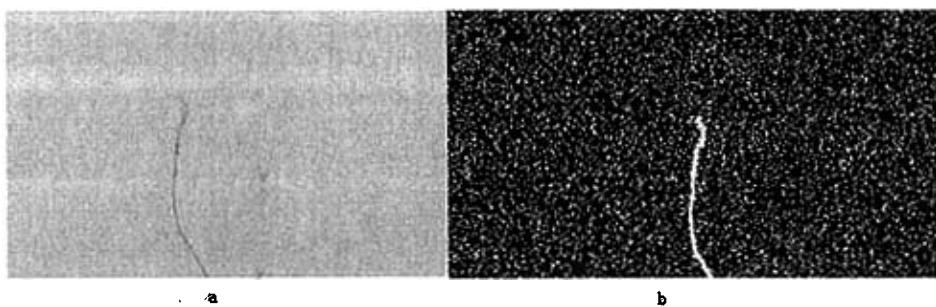


图4-8 阈值未做限时的图像分割

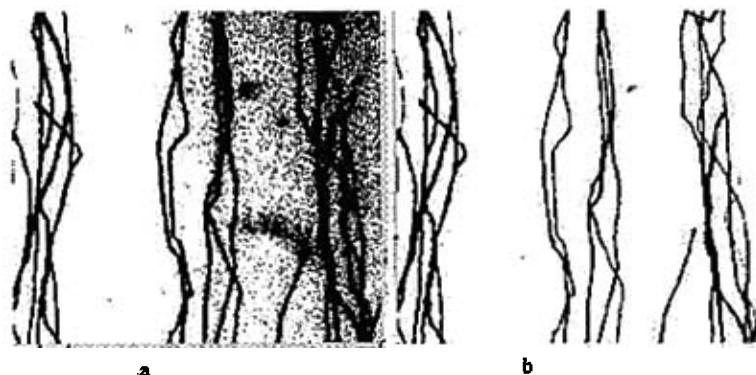


图 4-9 有、无消噪的二值分割图像

#### 4.4.3 纤维累积根数 $R(l)$ 的计算

经过二值化处理的图像，其矩阵中的元素的值只有 0 和 1，0 值代表背景，1 值代表棉纤维。对该矩阵  $gImgFiberArr(i, j)$  进行行扫描来计算纤维的累积根数  $R(l)$ 。当元素的值为 0 时，不计数；当碰到元素的值为 1 时，计数器加 1；如果紧挨着的下一个元素还是 1，计数器不计数，这是一般的纤维计数处理方法。还有两种特殊的情况需要专门处理，一种是纤维缠绕，另一种是纤维没有拉直，有一定的倾斜。对这两种情况，需要对纤维计数方法进行校正。

### 1) 纤维粘连度算法校正

如图 4-10 所示，既有纤维的缠绕，也有纤维的倾斜。通过在像素级尺度的网格中观察，绝大多数的纤维不超过 3 个像素的宽度。仅有不多的纤维宽度为 4 个像素。也就是说，在进行横向扫瞄时，如果连续有 4 个以上像素值为 1，则说明有纤维缠绕。对于缠绕情况下的纤维计数，需要对原来的算法进行改进。在对图像矩阵 gImgFiberArr(i, j) 进行横向扫瞄时，如果碰到“1”（即纤维）时，从 0 开始进行增 1 累加，直到碰到“0”值（即背景）为止。“1”像素的累加值与纤维根数的对应关系，采取如下经验公式：

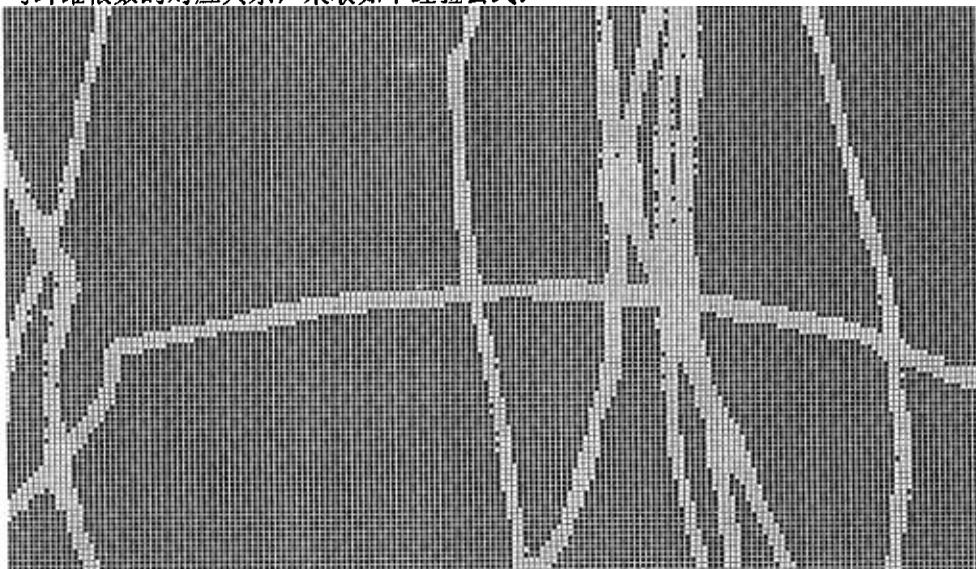


图 4-10 纤维的缠绕与倾斜

```
m_FiberPerPix(1) = 1  
m_FiberPerPix(2) = 1  
m_FiberPerPix(3) = 1  
m_FiberPerPix(4) = 1  
m_FiberPerPix(5) = 2  
m_FiberPerPix(6) = 2.6  
m_FiberPerPix(7) = 2.5  
m_FiberPerPix(8) = 3  
m_FiberPerPix(9) = 3.5  
m_FiberPerPix(10) = 3.8
```

```

m_FiberPerPix(11) = 4
m_FiberPerPix(12) = 4.2
m_FiberPerPix(13) = 5
m_FiberPerPix(14) = 5
m_FiberPerPix(15) = 5
m_FiberPerPix(16) = 5
m_FiberPerPix(17) = 5
m_FiberPerPix(18) = 5
m_FiberPerPix(19) = 5
m_FiberPerPix(20) = 5

```

`m_FiberPerPix(1)` 表示“1”像素的累加值为 1 个, `m_FiberPerPix(n)` 表示“1”像素的累加值为 n 个, 等式右边为对应的纤维根数。可以看到, 上述对应值, 有些不是整数。从理论上讲, 纤维的根数只能是整数, 非整数则是不可能的。不过上述经验公式, 是用一个自编调试软件, 对多幅图像进行对比后得来的, 使用这个关系, 能够得到较好的测量结果, 测量值与实际值最为接近。

## 2) 纤维倾斜性算法校正

根据图 4-10, 中间有一根倾斜的纤维。倾斜的纤维并虽然不多, 若按照上述经验公式的算法, 倾斜纤维会产生较大的误差, 会多计算纤维的根数。我们通过一根竖直的“标杆”来解决这个问题。“标杆”是一个竖向的、有 5 个像素的  $5 \times 1$  模板, 令它的值全部为 1, 它的中心像素对应当前图像矩阵 `gImgFiberArr(i, j)` 的扫描点。当“1”像素的累加值大于等于 4 时, 启动“标杆”, 如果“标杆”模板中的 5 个值与对应图像点的值都相等, 说明这个“标杆”完全在纤维中, 这个纤维不应该是倾斜的。如果“标杆”中有一个值与对应图像点的值不相等, 说明“标杆”露头了, 纤维是倾斜的概率极大。这时“1”值像素的累加停止, 在下一个像素开始重新累加。经过该算法修正以后, 得到了纤维横向扫描的根数, 并且存放在数组 `imgFiberCount(i)` 中。

### 4.4.4 跨距 l 的计算

`imgFiberCount(i)` 是逐点存放的纤维数据, 就整个测试棉须而言, `imgFiberCount(i)` 中的 i, 是第 i 条扫描线, `imgFiberCount(i)` 中的值是 i 条扫

描线的纤维根数。这个数组元素间距太小，前文介绍过， $6.6\text{mm} \times 8.8\text{mm}$  尺寸的实际纤维对应  $1030 \times 1300$  个像元矩阵。从扫描线的角度讲， $6.6\text{mm}$  的长度对应 1030 条扫描线。因此，有必要做平均值处理，将元素间距加大。从第一条扫描线开始，每 64 条扫描线的纤维根数取平均，然后将新的数据存放在数组  $FiberNum-SL(i)$  中。这样，新数组中元素间距为  $0.41\text{mm}$ ，每个元素的值是对应纤维(64 行扫描线的平均)根数，这样处理的另一个好处是，纤维根数更为平稳。如果知道了第一个元素与夹子夹持线的距离，那么便知道了所有元素的跨距  $I$  的值。

根据第三章之 3.6.1 的内容所述，夹子夹口的前边沿与玻璃风洞入口的距离是  $3\text{mm}$ ，玻璃风洞入口有一小段长度不能使用。首先不能保证两块玻璃的端口绝对对齐，其次经过玻璃刀切过的切口处，玻璃的光学表面有一定程度的损伤。因此实际光学表面（纤维图像起始处）离玻璃端口的距离为  $0.5\text{mm}$ ，标定方法是在玻璃端口处，放置一块有机玻璃三角板，然后利用仪器的光学系统进行调整。通过移动风洞，基本上能够将这个位置调准。至于夹子在何位置夹住纤维，只能进行尺量、目测的估算，大概在  $0.5\text{mm}$  左右。也就是说， $FiberNum-SL(i)$  中的第一个元素与夹持线的距离——又叫做起始距离，为  $4.0\text{mm}$ 。这样所有元素与夹持线的距离即跨距，都可以计算出来。

到此为止，我们解决了纤维累积根数  $R(I)$ 、跨距  $I$  的测量，下一步则是基于第二章的公式(2-15)和(2-17)，计算纤维的长度分布。我们基本上可以相信，纤维累积根数  $R(I)$  测量结果是比较准确的，虽然笔者没有进行全面实验加以验证。在中国棉花质检中心，笔者对棉须的图像第一扫描行偶然性地做过几个对比。首先计算机给出由图像测量方法，测量到第一扫描行的纤维根数，此值暂称之为测量值。然后由画板程序调出第一扫描行 16 幅纤维图像，用裸眼来数纤维的根数，此值暂称之为实际值。当时概算的结果，误差不超过 3%。现在只能找到当时这种对比测量的 3 个数据，结果如下：

测试棉须	测量值	实际值
1	1601	1598
2	1662	1640
3	1387	1372

#### 4.5 纤维长度分布的计算

首先，为了消除纤维取样的随机涨落，依据第二章的 2.3.4 节提出的滤波方法，用  $[1 \ 1 \ 1]$  模板对纤维累积根数数组  $FiberNum-SL(i)$  做 4 次中值滤波。滤波效果见图 4-11，其中的 a 图为纤维累积根数原始测量数据，b 图为滤波后的数据。完成这部分工作后，就可以求  $R(l)$  的二阶差分及  $\Delta l$ ，依据公式(2-15)，二阶差分可以表述为：

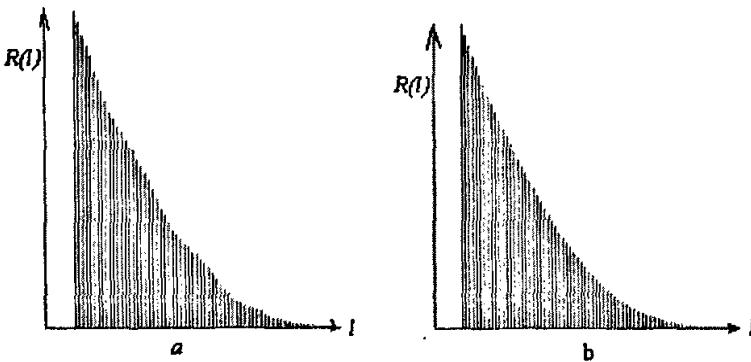


图 4-11 滤波前后的二次累积曲线

$$\Delta'' R(l) = R(l+1) + R(l-1) - 2R(l) \quad (4-12)$$

$$\Delta l = l_{i+1} - l_i \quad (4-13)$$

现在有一个问题，即二阶差分  $\Delta'' R(l)$  中的元素间距应该取多大，或者说  $\Delta l$  应该取多大。根据前文所述，纤维累积根数数组  $FiberNum-SL(i)$  中的元素间距是 0.41mm，如果将这个值做为  $\Delta l$ ，直接计算纤维的长度分布，实验证明结果不正确。数组  $FiberNum-SL(i)$  反映了  $R(l)$  的整体分布情况，并且存在涨落。现在就是要用有涨落的  $R(l)$  重构棉纤维的长度分布，这与将一幅“不清晰”的图像的复原极为类似。一般说来，一幅图像经过小波分解，通过将某个高频及其以上的频率舍去，然后重构图像。即可实现图像的小波去噪。这里有原图像做为基准，或者说，对诸多有原图像做为基准而进行的小波滤波实验，得到一般的滤波经验。张以謨先生对离焦图像的复原，提出的基准是：在齐焦状态下，细胞与背景相比灰度差最大，图像灰度值分布最广；图像离焦越大，细胞与背景相比灰度越小，图像灰度值分布越小；并依此建立起两幅图像方差的图像评价函数<sup>[106]</sup>。显然，从  $R(l)$  重构纤维长度分布，非常需要一个基准，而这个基准应该是纤维长度分布特征。但遗憾的是有关纤维长度分布特征的研究，几乎没有，仅有的一篇文献只是一个报道<sup>[107]</sup>，给出棉纤维几个长度指标在纺织工艺的所有工序中的变化范围。

而这里需要的是棉纤维在纺纱前的分布特征。然而我们不能指望棉纤维具有自然的分布特征，因为对于机采棉与手摘棉，纤维受到的损伤不会一样；轧化工艺中，设备的工作状态差异，对纤维的损伤也不一样；另外，人为的参杂也会使棉纤维分布特征弱化。这就是说，希望以棉纤维的分布特征做为基准，没有可行性。

现在从纤维的长度分组来考虑这个问题。假定一个测试绵样，其长度分布在4mm-40mm的范围。如果组距为1mm，能够分为36组；若组距设定为2mm，则能够分为18组。长度分组与分类基本上是一个意思。显然，如果组距越大，分类的错误率就越低，但测量精度会降低。因此需要一个合适的尺度，来平衡分类错误和测量精度。贝叶斯分类在这里没有帮助，因为它需要先验概率。那么我们只好使用不同的差分尺度，再用对比实验比较，寻找一个最佳尺度。实验结果表明，2.05mm是一个较好的尺度。这里出现了巧合，Y111的分组尺度是2mm。此外，在我的实验中意外地发现，2.5%跨距长度与纤维的主体长度非常接近。这说明HVI900也确实有它的独到之处。

当 $\Delta l$ 确定为2.05mm，依据公式(2-17)和(4-12)得到

$$l \cdot \Delta R(l_k) = (\Delta l \cdot \Delta l) \cdot l_k \cdot p(l_k) = W_k(l) \quad (4-14)$$

$$W_k(l) = R(l_{k+1}) + R(l_{k-1}) - 2R(l_k) \quad (4-15)$$

$$l_k = 4 + 2.05k \quad (4-16)$$

$W_k(l)$ 为棉纤维的长度重量频率分布函数，每一个 $W_k(l)$ 代表长度为 $l_k$ mm的纤维（占整体的相对）重量，也就是说求出了纤维的长度重量分布。根据这个长度重量分布，就能方便地求出主体长度、短纤维率和品质长度，具体求法如下<sup>[108]</sup>：

### 1) 主体长度

$$L_m = (L_n - 1) + \frac{2.05(W_n - W_{n-1})}{(W_n - W_{n-1}) + (W_n - W_{n+1})} \quad (4-17)$$

$L_m$ —主体长度

$L_n$ ——最重组纤维的长度

$W_n$ —最重组纤维的重量

$W_{n-1}$ ——长度为 $L_n$ 减2.05mm组纤维的重量

$W_{n+1}$ ——长度为 $L_n$ 加2.05mm组纤维的重量

## 2) 短纤维率

$$W_{all} = \sum_{l=6.05}^{l_{max}} W_l(l) \quad \text{---(4.18)}$$

$W_{all}$ —全部纤维重量

$$W_{sf} = \sum_{l=6.05}^{16.3} W_l(l) \quad \text{---(4.19)}$$

$W_{sf}$ —为短纤维含量

$$SFC = W_{sf}/W_{all} \quad \text{---(4.20)}$$

SFC—为短纤维率

## 3) 品质长度

$$L_p = L_n + \frac{\sum_{j=n+1}^k (j-n)W_j d}{Y + \sum_{j=n+1}^k W_j} \quad \text{---(4.21)}$$

$$Y = \frac{(L_{n+1}) - L_n}{2.05} \times W_n \quad \text{---(4.22)}$$

其中  $d=2.05$ ,  $L_p$ —品质长度

至此, 棉纤维长度分布测量的准备工作已经全部完成, 下面要做的事就是对比试验了。

## 第五章 对比实验

### 5.1 对比实验设计

棉纤维长度分布测量仪器测量结果的准确性，需要用实验来检验。棉纤维长度的测量有特殊性，表现在：1) 被测对象会发生变化，也就是说，一个试样 A 类仪器测量过以后，不能再被 B 类仪器测量；2) 不同测量仪器采用不同的试样制备方法，因此棉纤维的伸展形态不一样。因此，对于单台仪器，要检验其测量结果的重现性（棉纤维测量非常注重这个概念，无论怎么强调它都不为过）；对于不同仪器的对比试验，要验证它们实验结果的相关性是否显著。在没有精确的棉纤维长度测量标准方法的情况下，我们只能从相关性和重现性这两个方面来测试仪器的技术指标。

本文的研究目标是棉纤维长度分布的测量，显然，对比实验也应该围绕纤维长度分布来进行。目前尚没有完全检测棉纤维长度分布的手段，因此只能做与 Y111 的对比实验。尽管 Y111 的测量精度存在一些问题，实验也比较难做，它毕竟是国标指定的仪器。因此对比实验不使用它，对比结果是不会得到行业的认可。Y111 的测量特点是，测量结果存在因人而异的系统误差；也就是说，有的人测量结果偏大，有的人测量结果偏小，但方差能够保证在一定的限度之内。因此对比试验在结果的重现性、相关性上是有意义的。Y111 主要给出三种长度指标：品质长度、主体长度、短纤维率，它们的涵义在第一章已经给出。品质长度与短纤维率具备长度分布的意义，这一点在公式 (4.20) 和 (4.21) 完全得到反映。Y111 方法是一种手工分组，天平秤重的测量方法。它将棉纤维从 8.5mm（也有从 10.5mm 和 12.5mm）开始，做等长分组，短于 8.5mm 的纤维全部归并到 8.5mm 的组中。接下来对它们分别秤重，最后计算上述的三个长度指标。我们的对比实验主要在这三个长度指标上进行，因为这三个长度指标在皮棉商业结算和纺织工艺中最为重要。

#### Y111 实验方案设计如下

棉花试样由中国棉花质检中心提供，总共 10 个标准样品做了黑箱编号，它们分别为：

编号	品种	短纤维率	主体长度(mm)
1	郑州 2000/A		25

2	郑州 2000/B		25
3	德州 GSBW1 2003-1996A	16.7%	27.5
4	郑州 2000/D		30
5	郑州 2000/E		30
6	德州 GSBW1 2003-1996B	15.2%	31.7
7	国际标准样 S		25
8	国际标准样 L		30
9	国际标准样 P		31
10	德州 GSBW1 2003-1996E	18.6%	28.3

可以看到，这些标准棉样，都有标定的主体长度。有三个棉样——编号分别为 3, 6, 10 的棉样，还有短纤维率的标定值。这三个试样作为判断委托单位做 Y111 实验结果好、差的参考指标。Y111 付费实验的实施，共联系了 7 家单位，要求这 10 种棉样，每个样做 10 个重复。愿意承担该实验的单位有 4 家。只有 1 家做完了 10 个样的测量工作，给出了 100 个数据；另有两家分别做了 5 个样，50 个数据；最后一家只做了一个样，10 个数据。

## 5.2 Y111 与图像测量的方差分析

两个随机样本的方差分析——F 检验，能够用来检验方差的齐性。它在这里是最为合适的分析方法。参数估计方法，或者说确定置信区间的方法，不适用于此处。由于数学期望  $\mu$  根本得不到，那么方差的齐性就能够说明测量结果的重现性。这样我们就能够比较 Y111 方法与图像测量方法的优劣，比较出哪一种方法的重现性更高一些。如果说两者方差齐性一致，则在这个测试棉样上，两种测量方法能够互相校准。棉纤维长度指标的测量，强调仪器的可校准性。即不论使用什么手段测量，不管真实结果是什么，它必须能够与大家接受的测量仪器校准。

表 5-1 给出两种测量方法测量 6#棉样，10 个重复测量的结果（注：用 6#棉样制备 10 个测试棉样，测量 10 个数据，即为 10 个重复测量）。我们将置信水平定在 95%，即  $\alpha/2=0.025$ 。显然  $n_1-1=9$ ,  $n_2-1=9$ ，那么查表可得

$$F_{0.025}(9, 9)=4.03$$

在做下列方差计算时，所有符号的脚标，“1”表示 Y111 的数据，“2”表示图像的数据。

### 5.2.1 主体长度的方差齐性

依据表 5-1 中的数据，能够计算两种测量方法主体长度的方差。它们是：  
 $S_1^2=0.10461$ ,  $S_2^2=0.00432$ ,  $F=S_1^2/S_2^2=242.3>F_{0.025}(9, 9)$

显然两者总体方差在 95% 置信水平上，有差异。由于  $S_1^2 > S_2^2$ ，所以在棉纤维主体长度测量上，图像方法优于 Y111 方法。

### 5.2.2 品质长度的方差齐性

依据表 5-1 中的数据，能够计算两种测量方法品质长度的方差  $S_1^2=0.16054$ ,  $S_2^2=0.25712$ ,  $F=S_1^2/S_2^2=0.624<F_{0.025}(9, 9)$

两者总体方差在 95% 置信水平上没有差异，即两种方法的重复性在同一个水平上。

### 5.2.3 短纤维率的方差齐性

依据表 5-1 中的数据，能够计算两种测量方法短纤维率的方差  $S_1^2=0.000119466$ ,  $S_2^2=0.000203122$ ,  $F=S_1^2/S_2^2=0.588<F_{0.025}(9, 9)$

两者总体方差在 95% 置信水平上没有差异，即两种方法的重复性在同一个水平上。

表5-1 Y111与与图像测量的方差齐性检验

测量次数	Y111	图像	Y111	图像	Y111	图像
	主体长度(mm)		品质长度(mm)		短纤维率(%)	
1	30.88	30.60	33.97	33.48	20.26	16.80
2	31.33	30.62	34.22	33.19	18.85	18.30
3	30.93	30.61	33.85	33.15	17.40	16.60
4	30.48	30.57	33.57	33.34	17.77	19.70
5	30.47	30.59	33.23	32.85	17.64	16.60
6	31.25	30.57	33.97	33.15	18.45	20.90
7	30.93	30.61	33.77	34.25	19.36	18.00
8	30.89	30.63	33.82	33.56	20.50	17.20
9	31.06	30.58	34.12	33.06	17.85	17.10
10	30.39	30.61	32.93	32.28	19.10	17.50
平均值	30.86	30.60	33.75	33.23	19.10	17.87
标准差	0.32	0.02	0.40	0.51	1.09	1.43

结论：

Y111 方法与图像测量方法，它们测量结果的重复性，在品质长度和短纤维率这两个指标上，没有明显差异；在主体长度测量上，图像测量方法优于 Y111 方法。为了更直观地显示两者测量结果的可比性，我们用直方图来

对比, 见图 5-1

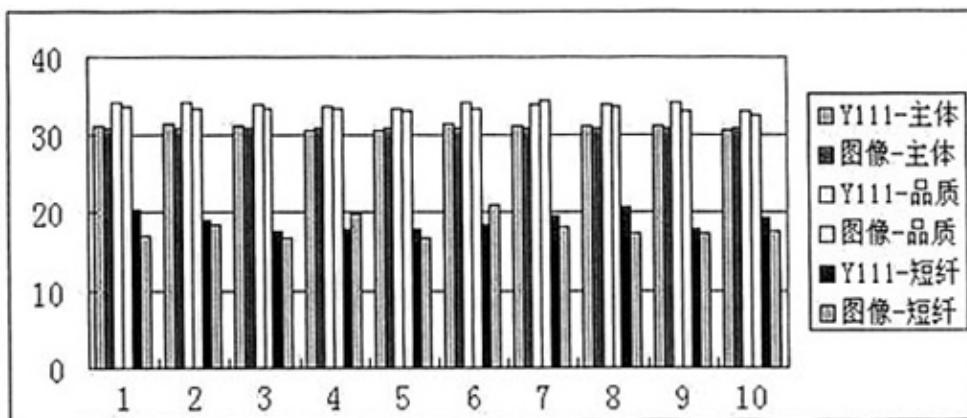


图 5-1 Y111 与图像测量结果方差分析对比

### 5.3 Y111 与图像测量的回归分析

对两组随机变量做回归分析, 如果它们之间有联系, 其互相关的显著水平反映在相关系数上。以下我们将在棉纤维的三个长度指标上做回归分析, 置信水平皆为 95%。表 5-2 是回归分析的数据。令回归公式为:

$$y=a+bx \quad (5-1)$$

y—— Y111 长度指标

x—— 图像测量长度指标

表 5-2 Y111 与图像测量的回归分析

棉样编号	主体长度(mm)		品质长度(mm)		短纤维率(%)	
	Y111	图像	Y111	图像	Y111	图像
1	25.30	24.48	28.65	27.7	19.20	19.20
2	25.60	26.51	29.33	28.91	12.80	14.50
3	27.50	26.49	30.65	28.85	18.38	16.00
5	29.50	28.61	32.54	32.85	15.50	16.70
6	30.80	30.60	33.75	33.23	18.72	17.87
7	25.60	24.45	28.43	27.09	25.60	25.00
9	33.40	34.70	36.46	36.79	13.40	12.70
10	28.30	28.53	31.04	30.85	23.10	18.70

#### 5.3.1 主体长度的回归分析

根据表 5-2 数据, 回归结果为:

相关系数的平方  $R^2=0.94$ ,  $a=5.34$ ,  $b=0.817$ , 预测标准误差为:  $0.082\text{mm}$

### 5.3.2 品质长度的回归分析

根据表 5-2 数据, 回归结果为:

相关系数的平方  $R^2=0.97$ ,  $a=5.98$ ,  $b=0.824$ , 预测标准误差为:  $0.06\text{mm}$

### 5.3.2 短纤维率的回归分析

根据表 5-2 数据, 回归结果为:

相关系数的平方  $R^2=0.82$ ,  $a=-0.85$ ,  $b=1.09$ , 预测标准误差为:  $0.21\%$

结论:

总的来看, 回归的结果令人相当满意, 相关系数比较高, 预测误差小。短纤维率的相关系数低一些, 我们有理由相信是由 Y111 不同的操作者的人为因素造成的。首先皮棉商业交接的中, 存在大量对同一包皮棉, 不同的人测量的短纤维率差异很大的事实。另外, 将表 5-2 的短纤维数据, 与 5.1 节中“棉样来源”的数据做一个对比, 即可发现, 表 5-2 中的 3#、6#、10# (分别与德州 A、德州 B、德州 E 棉样对应) 的短纤维率, 比对应的标准棉样的短纤维率要大。它们对应值分别为:  $20.6\% \rightarrow 16.7\%、18.7\% \rightarrow 15.2\%、23.1\% \rightarrow 18.6\%$ 。显然如果将标准棉样上的标定值做替换, 相关系数会高一些。但这并不是说标准棉样的上的标定值就一定是准确的。Y111 方法本身的局限性, 使我们没有可靠的根据判定哪个 Y111 的结果更好。当初设计实验方案时就已经考虑到, 如果回归分析不理想, 三个标准棉样值, 将是一个重要参考。图 5-2 为测量结果的直方图

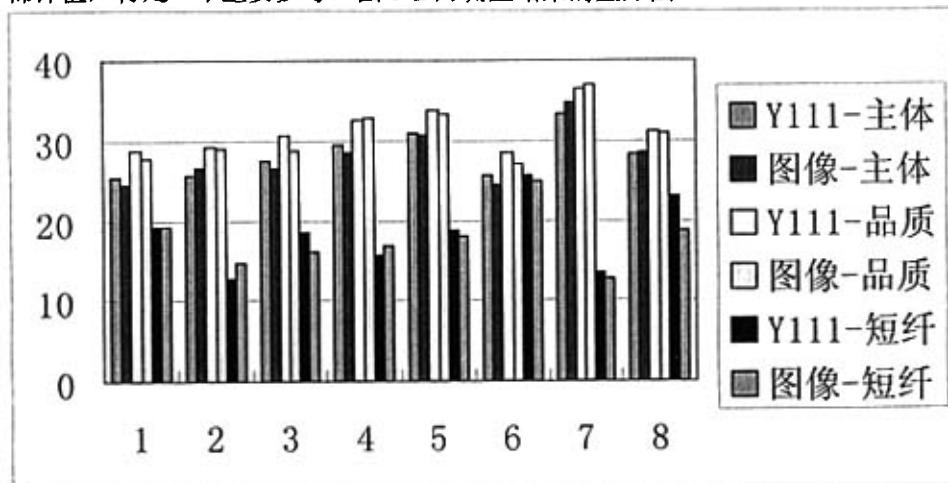


图 5-2 Y111 与图像测量结果直方图

### 5.4 棉纤维长度分布测量

### 5.4.1 同一棉须的重复测量

首先验证仪器重复性测量，即让同一个测试棉须受测 10 次。由于受测试样没有变化，如果测量结果变化大的话，说明测量方法有问题。在第四章，已经指出，由于测量结果是对几十幅纤维图像的测量，纤维的抖动会造成纤维根数测量的误差，这个误差有多大，需要搞清楚，与裸眼的目测对比仅能在纤维图像部分长度段实现，其它长度段则较难实现。不过可以通过重复性测量，判断纤维根数测量精度的大致范围。表 5-3 的数据为对 6#棉样 10 次抽测量的结果。

表5-3 棉纤维长度分布重复性测量

长度区间 (mm)	测量值(10次)			SD	置信区间(95%)
	avg	max	min		
<6.55	0.65	0.90	0.50	0.12	0.07
6.55-8.6	1.35	1.50	1.00	0.14	0.09
8.6-10.65	1.25	1.60	0.70	0.25	0.16
10.65-12.7	2.61	3.00	2.00	0.31	0.19
12.7-14.75	3.25	4.00	2.60	0.44	0.27
14.75-16.8	1.50	2.10	0.70	0.42	0.26
16.8-18.85	3.49	4.50	2.20	0.72	0.44
18.85-20.9	6.40	7.60	5.20	0.76	0.47
22.95-25	6.64	7.80	4.50	1.06	0.66
25-27.05	8.09	9.60	6.40	1.05	0.65
27.05-29.1	12.03	12.90	10.90	0.61	0.38
29.1-31.15	13.00	13.50	12.70	0.25	0.15
31.15-33.2	11.78	12.40	10.90	0.51	0.32
33.2-35.25	10.48	11.50	9.60	0.53	0.33
33.25-37.3	6.98	8.00	6.50	0.43	0.26
>37.3	10.58	12.6	8.6	1.23	0.76

可以看到，所有长度段的相对测量误差在 2.5%-12.8% 的范围里。由于重复性测量能够反映仪器的稳定程度，有必要分析纤维分段测量误差，对于短纤维率测量误差的影响。因为各长度段纤维都是通过纤维累积  $R(l)$  的二阶差分运算得到的，该差分运算使用了 4 个  $R(l)$ ，那么  $R(l)$  的测量精度应该在 0.6%-3.2% 的范围里。也就是说测量 100 根纤维，保证结果大致在 97-103 根的范围。这也与 4.4.4 中给出的数据相符。笔者认为这个精度不够，需要努力提高。假如某试样的短纤维率为 20%，测量结果会有  $20\% \times 12.8\%$  的范围，亦即 2.5% 的范围内波动。另外我们发现，31.15mm 段以上纤维（品质长度段）测量误差较小。为什么会是这样，目前不清楚，是否因为与这一部分处于测试棉须的头端，纤维总量稀少有关，笔

者尚无充分的实验证据。表 5-4 给出了这十次测量的短纤维率和品质长度（因为这两个量与纤维的长度分布有关），其中短纤维率的最大偏差在 2.5%（与刚才的理论计算相符），其精度范围证明上述推论。短纤维率一般分布在 12%-25% 的范围，因此，如果按最大偏差（12.8%-25%）的一半作为测量误差，测量误差在土 1.5% 之内，达到了国标的测量精度要求。

结论：

图象测量方法，重现性较高， $R(l)$  的最大测量误差不超过 3%。只要被测对象不变，测量结果稳定。

表 5-4 短纤维和品质长度 10 重复测量

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
短纤%	21.3	20.1	21.1	20.6	19.0	19.3	18.8	20.0	20.6	20.8
品质	33.30	33.07	32.99	33.09	33.61	33.17	33.17	33.22	33.43	33.16

#### 5.4.2 棉纤维长度分布对比

表 5-5 棉纤维长度分布对比数据

Y111方法		图像方法	
组距(mm)	相对重量	组距(mm)	相对重量
	0	短于 6.65	0.007
8.5-10.5	0	6.55-8.6	0.017
10.5-12.5	0.045	8.6-10.65	0.018
12.5-14.5	0.071	10.65-12.7	0.038
14.5-16.5	0.056	12.7-14.75	0.049
16.5-18.5	0.046	14.75-16.8	0.04
18.5-20.5	0.061	16.8-18.85	0.064
20.5-22.5	0.079	18.85-20.9	0.107
22.5-24.5	0.095	20.9-22.95	0.121
24.5-26.5	0.129	22.95-25	0.132
26.5-28.5	0.141	25-27.05	0.139
28.5-30.5	0.116	27.05-29.1	0.102
30.5-32.5	0.08	29.1-31.15	0.088
32.5-34.5	0.052	31.15 以下	0.0733
34.5 以下	0.03		0

我们对 3#棉样做 Y111 测量与图像测量，将它们的长度分布测量结果做一个

对比。存在两个问题有可能使这种对比失去意义，理由如下：（1）由于两种测量方法不一样，即便是同一个受测对像，测量对像会发生变化。Y111 需要手工整理，手汗会使纤维伸长、柔软，图像测量方法中，纤维混合器会使纤维曲卷，收缩。（2），Y111 试样的纤维长度分布，肯定与图像试样的纤维长度分布不一样。差异有多大，搞不清楚。（3）两种测量方法的系统误差都是未知的。因此，这种对比，只能反映棉纤维分布的一个趋势，没有绝对意义。为了尽可能减小各种可能的误差因素，我们使用 3#棉样，即德州 A 样。同时在 10 个（由豫北纱厂做的 Y111）测量数据中，选择一个与该标准棉样的标定值最为接近的一组数据。经筛选，3#棉样的第 5 条数据最合适。它的短纤维率是：17.13%，主体长度为 27.12mm。对比实验数据见表 5-5。图 5-3 是 Y111 测量结果，图 5-4 是图像测量结果。

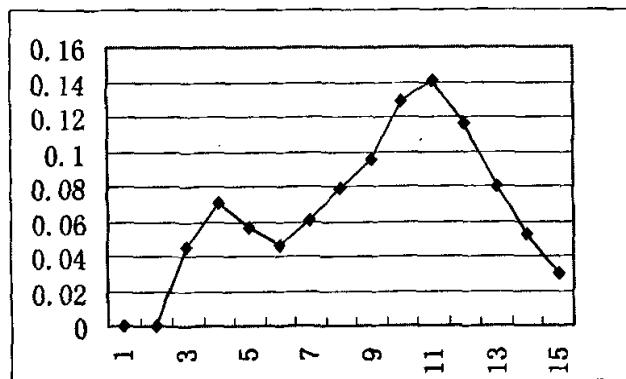


图 5-3 Y111 测量的纤维长度分布

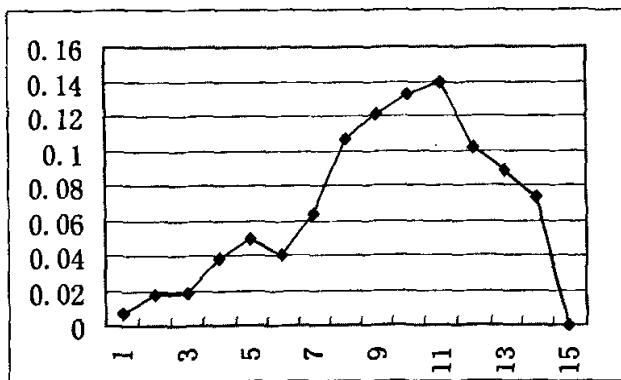


图 5-4 图像方法测量的纤维长度分布

对比两个纤维长度分布折线图，两者吻合得相当好。虽然图 5-3 横坐标为 4 的点，Y111 的测量结果有一个小尖峰，这是 Y111 的测量方法造成的。因为 Y111

是手工整理试样，当纤维短到一定程度，就没有办法分组，所以，在这个位置必然产生尖峰。

## 第六章 总结与展望

根据实验结果，我们能够得到如下四点结论

1. 证明了图像测量方法的有效性。
2. 证明了中值滤波消除取样涨落的有效性
3. 证明了本文的取样方法是 Hertel 的
4. 统计上讲，将纤维的线密度作为均匀的，不影响计算结果。

这四条结论不论在理论上还是在实际应用上，均有重要意义。

### 6.1 实际应用的意义

#### 1. 对纺织行业的意义

Y111 在我国纤检部门，基本上不使用，它主要用于纺织行业。不是说短纤维率、品质长度不重要，而是 Y111 的操作流程令人生畏。一般单人操作，做一个棉样测量需要 5 个小时；两个熟练操作员，协调操作，做一个棉样测量需要 2 个小时。而用图像测量方法，能够在 10-15 分钟内完成，且操作简便。此外由于图像测量方法的离散性小、重现性高，理论上讲多台仪器校准在一个水平上是容易实现的。仪器化测量，将避免 Y111 人为因素造成的系统误差，使测量结果具有绝对意义，实现测量结果的直接可比性。为什么这样说呢？对照 5.1 节 6#棉样的主体长度值，它的标准值为 31.6mm，按规定它可归为 31mm 的长度级；某纱厂的测量结果为 30.8mm，按规定它可归为 30mm 的长度级。在商业交接上，这两个结果有差异，因为不同的长度级价格不一样。这里我们不能说哪个数据更准，因为现在还没有一种方法能够确定哪种结果偏大，哪种结果偏小。这就是说 Y111 测量结果不具备绝对意义。

在纺织工艺上，它有助于产品质量的提高。在绪论中曾经提到，用 Y111 作为测量手段，其结果是 A 厂的配棉经验数据不适合 B 厂。纺织工艺中罗拉隔距要根据品质长度来调整，尽管不同的纺织厂对同一包皮棉的长度测量结果不一样，不过各个企业长期的配棉经验参数，能够保证工艺参数的正确设定。若希望不同纺织企业互相学习生产经验，提高产品质量，则不能实现。要是有一种测量结果稳定的仪器，这个问题就能够解决。由于本文提出的测量方法，不会有 Y111 那样的人为因素产生的测量结果偏大或偏小的误差，这就有利于积累纺织工艺水平与配棉的经验数据，对提高纺织品的质量，具有很大意义。

#### 2. 对彩色棉的测量

今天，人们不但需要绿色食物，在很多方面都需要绿色用品。正是在“绿色”日益深入我们的生活的过程中，天然彩色棉产生了。它的基本思路是，今后的纺织品不再人工染色，所有需求的颜色，用天然彩色棉的配色实现。彩色棉在我国已经形成了一定的生产规模，但彩色棉长度指标的快速测量仍是问题。用传统的光电测量方法，不能测量新兴的天然彩色棉的长度指标。虽然笔者没有进行相关试验（因为没有彩色棉样），从测量原理上看，图像测量方法应该能够测量彩色棉的长度值标。

### 3. 对传统仪器的改造

本文提出的取样方法、纤维长度分布的测量方法，是否能够用来改造传统光电法棉纤维测量仪器，是一个值得研究的问题，且很有可能取得突破。在进行图像测量试验时，笔者偶然发现 2.5% 跨距基本对应主体长度，这说明 HVI900 的确有它的独到之处。如果能够通过下一步大量实验确证，2.5% 跨距与主体长度存在对应关系，我们就有可能改造传统光电类纤维长度测量仪器。因为 2.5% 跨距对应的棉纤维很稀疏，这说明对于稀疏的纤维，用光电法有可能准确测量纤维的根数。因此，借助本文提供的纤维取样方法（该取样方法得到的棉须是单层的），应该能准确测量棉纤维的长度分布。如此一来，我们将能够以很低的成本，实现棉纤维长度分布的快速测量，有利于仪器的推广，也是对国家目前正在对棉纤维长度标准重订工作的一个有力支持。

### 4. 一些可能的其他应用领域

对于棉花育种，也有重要意义。棉花的生长受很多因素影响，如温度、日照、水分等。不同生长期，棉纤维的发育有不同的特征。根据中国农科院棉花研究所有关人员的说法，他们需要对不同生长期的棉絮长度分布做测量；需要了解棉花的生长特性，以便培养适合生产高档纺织品的棉花品种。

一般认为，皮棉的长度重量分布，具有单峰性。许多教科书、论文给出的分布曲线都是这样的。不过笔者发现主体长度较短的纤维，长度重量分布是单峰的；而主体长度较长的纤维，长度重量分布是双峰的，而且第一个峰值点在 16mm 附近，笔者怀疑“双峰”是由于长纤维打断造成的；由于实例较少，尚缺少大批样的普遍测量，不能得到一般性的结论。不过它也是一个值得研究的问题。如果上述现象具有一般性意义，它可以用来分析轧花工艺（即籽棉脱籽剥绒）并做有针对性的改进。

## 6.2 理论意义

笔者的研究成果对棉纤维其他指标的测量研究，也有意义。

目前棉纤维的强力测量不准，国家也在努力解决这个问题。测强力的第一个问题就是要搞清楚，有几根纤维受到断裂拉力，如果搞不清楚受力纤维的根数，当然测量不准其强力是多大。

棉纤维细度的快速测量，也是一个麻烦的问题。笔者提出的取样方法对这个问题很有帮助。棉、毛纤维的测量难点在于取样与测量的统一。要测细度，不是随便拽几根纤维测量一下就行了，因为你不能保证每次拽出的纤维一样粗、一样长。笔者的方法能够用夹子很快得到棉纤维试样，根据我们的实验，我们知道它与棉包中的纤维分布关系。测量完这些棉纤维的细度，然后做一个简单的数学变换，即可知道棉包整体纤维细度的情况。

总之，棉纤维长度分布的图像测量，是一个创新性成果，它将有很多应用领域。新的应用会产生什么结果，时间能给出答案。

### 6.3 尚需进一步完善的工作

我们的研究尚有很多不足，还需要进一步的完善，主要有以下几个方面

#### 1. 精确定标问题

必须承认，该仪器的测量精度没有精确标定，原因是现在没有能够用于定标的仪器，因此只能自己想办法解决这个问题。基本方案是：建立一个简单的单纤维长度测量系统，做下列实验：1) 将夹子上的棉须从根部切断，然后将这些纤维手工分开，并放置在黑绒板上，借助一般图像测量方法，测量这些纤维的长度分布，将该结果作为标准值，与仪器测量的  $R(l)$  进行对比，以此了解仪器的测量误差。2) 将夹子上的纤维取下，借助笔者简单的纤维单根分离工具，将这些纤维分离开，用图像测量方法测这些纤维的长度分布，然后将结果与仪器测量结果对比，进一步分析仪器测量机构的缺陷。通过这两种实验方法，仪器的不足之处将完全被我们了解。因为单根纤维的图像测量精度，在任何时候，都是绝对的可用于定标的精度。不经过这样的实验，我们永远不知道取样的涨落有多大，也不知道纤维拉不直对测量结果有何影响，当然也谈不上纤维长度分布测量问题的完全解决。

#### 2. 直接减小误差的方法

目前的测量系统采用的是面阵 CCD，通过扫描运动抓拍多幅纤维图像，实现对纤维的测量。由于纤维的抖动，会造成测量误差。如果采用 16000 点

的线阵 CCD，或者使用 2 至 3 个点数较少的线阵 CCD 组合成像，上述测量误差即可避免。这样的改进还有一个好处是，大大提高测量速度。目前的测量速度的瓶颈，主要是步进电机的往返运动。由于步进电机每走 8.8mm 就要停下来，让 CCD 抓图，它没办法高速运动。即便它能够高速运动，这个速度是有限的。使用了线阵 CCD，只需要一个步进电机，自然提高了测量速度。采用线阵 CCD，则不需要测量玻璃风洞内的纤维，只要测量风洞口前的纤维就行了。这样一来，玻璃风洞可以用金属材料代替，光源的强度就不需要那么大，许多问题得到了简化，系统可靠性能够有很大提高。另外，一个最大的好处是起始距离能够缩小，原来能够测量的最短纤维在 6.5mm 左右，经过改进，估计能够测量的最短纤维在 4.5mm 左右。这种改进在我们国家目前的情况下是很有意义的。因为确实存在一些轧花厂在成品皮棉中，人为掺混短纤维。这些短纤维的长度很短，通常在 5mm 左右。那么从理论上讲，起始距离必须小于 5mm 才能测量到这些短纤维。

至于其他方面的不足，如工艺上的不足等，都是一些比较容易解决的问题，不再赘述。

全文完

参考文献：

- [1] 申向宏，段素华，原棉短绒含量和马克隆值对成纱质量的影响(J)，棉纺织技术, 2004, V32(11):43-44
- [2] 屠珍雪，原棉短纤维率的控制与精梳针织纱质量的关系(J)，棉纺织技术, 1993, V27(3):33-34
- [3] 玛依拉，短纤维含量对纺织企业的影响及其测试(J)，中国棉花加工, 2003(1):30-31
- [4] Eric F. Hequet, M. Dean Ethridge, Impacts on Yarn Quality Of Afis Measurements of Cotton Fiber Length Distributions(J), Textile Topics, 2000(4):2-12
- [5] Eric Hequet , Dean Ethridge, Effect of Cotton Fiber Length Distributionon On Yarn Quality(A), Proceedings of Beltwide Cotton Conference 2000(C), Memphis TN, National Cotton Council, 2000, Volume 2:1507-1514
- [6] 中华人民共和国国家技术监督局, GB1103-1999, 棉花、细绒棉(S), 北京, 中国标准出版社, 1999
- [7] Forrest Laws , NCC Protest China Standard , Southeast Farm Express(N) , Sep 27, 2002
- [8] 中纤局, B1103-1999《棉花细绒棉》国家标准第1号修改单(J), 中国纤检, 2003(8):3-4
- [9] Kim Kaplan, USDA scientists help resolve cotton quality standard issue(N), Southeast farm Express, May , 21, 2004,
- [10] 于伟东,王兵,上官新波,罗拉法梳片法长度与PST长度指标相关分析(J), 纤维检验与标准, 1993(6):30-33
- [11] 何晓峰, 刘文耀, 徐守东, 游离棉纤维长度的计算机测量(J), 棉花学报, 2003, 15 (6) :339-343
- [12] 张喜昌, 张海霞, 许瑞超 , Y111 与 AFIS 纤维长度测试仪的对比分析(J), 现代纺织技术, 2000, 8(1): p33-35
- [13] M. Dean Ethridge, Eric F. Hequet, an Evaluation of the AFIS Short Fiber Content Measurement (J) , Textile Topics, 1999(2):p2-8
- [14] Charlse K. Bragg, Frederick M. Shofner, A Rapid, Direct Measurement of Short Fiber Content(J). Textile Research Journal, 1993, v63(3):171-176

- [15]AFIS 手册。
- [16] XiaoLiang Cui, Timothy A.Calamari, An Investigation of Cotton Fiber Lengths Measured by HVI and AFIS, Tenth EFS® System Research Forum, November 6-7, 1997
- [17] 项时康, 余南等, 论我国棉花质量现状(J), 棉花学报, 1999, 1, 11(1) :p1-10
- [18] Eric F. Hequet, Effect of Fiber Entanglements on AFIS Readings(A), Proceedings of Beltwide Cotton Conferences(C), San Antonio Tx, National Cotton Council, January 5-9, 2004, p2387
- [19] 王克敏译, 日趋完善的 HVI 测试技术 (J) , 国外纺织技术, 1999(3) :P38-39, (原载: Textile Month, 1998(6) :41-42)
- [20] Anton Schenek, Actual Developments in Cotton Testing(J), International Textile Bulletin, 1998(3) :1-3
- [21] Frydrych I, Matusiak M, Working Group Length(A), Meeting of ITMF International Committee on Cotton Testing Methods(C), Bremen, ITMF, 2000
- [22] Yupeng Zhang, True Short Fiber Content: Complete Fiber Length Distributions From Tapered Beards(A), Proceedings of BeltWide Cotton Conferences(c), Nashville, Tennessee , 9 January 2003
- [23] 王宝才, 照影仪测定棉纤维短绒率的方法[p], 中国专利: 92113920.9, 1993. 08. 18
- [24] 宋均才, Y146 型棉纤维光电长度仪三项技术参数的设计(J), 纤维标准与检验, 1991(11) :34-37
- [25] 王建岗, 杨莉松, 王桂英等, 光在散射介质中的传输和成像(J), 激光与光电子学进展 , 2000(1) :14-21
- [26] 姚穆, 棉纤维遮光率的测定, 西北纺织工学院学报, 2001, v15(2) :186-191
- [27] 周胜, 房春红, 陈文金, 等, 棉纤维径向几何特征研究, 扬州职业大学学报, 1996(1) :43-47
- [28] 陆永良, 张瑞云, 李汝勤, MATLAB 在原棉短纤维含量测试中的应用(J) , 纺织学报, 2001, 22(2) :89-90
- [29] Spinlab 手册-第三册,
- [30] Preysch, M, Production and Quality Control in Cotton Spinning(J), International Textile Bulletin Spin Survey, 1979(2) :299-312
- [31] Zeidman, M, S.K. Batra, P.E. Sasser, Determining Short Fiber Content

- in Cotton, Part II: Measures of SFC from HVI Data - Statistical Models. Textile Research Journal (J), 1991, v61(1):106 - 113.
- [32] J.D. Bargeron III, Preston E. Sasser, Cotton Short Fiber From Fibrogram And Regression Analysis(A), Proceedings of the Beltwide Cotton Conferences(C). Memphis TN, National Cotton Council, 1993, vol(2):1142 - 1145
- [33] C.K. Bragg, J.D. Bargeron, and S.R. Griffith , Use Of Mean Length As An Indicator Of Short Fiber Content(A), Proceedings of the Beltwide Cotton Conferences(C), Memphis TN, National Cotton Council, 1993, vol(2):1150 ~ 1153,
- [34] Martin K. Schreiner, Fiber Processing Research Reports(A), Proceedings of the 14th Annual EFS System Conference(C). Cotton Incorporated, 2000-8, p169-195
- [35] Knowlton, James. HVI Measurements of Short Fiber (A), Proceedings of the Beltwide Cotton Conferences(C), Memphis TN, National Cotton Council, 2001. vol(2):1245-1247.
- [36] Roger Riley, Status Report On Short Fiber Index And Elongation Measurements On The High Volume Instruments(A), Proceedings of the Beltwide Cotton Conference(c), Memphis TN, National Cotton Council, 1998, Volume 2: p1524-1530
- [37] Bargeron, J.D. Cotton Short Fiber: Measurement Problems(A), Proceedings of the Beltwide Cotton Conferences(C), San Diego, CA, National Cotton Council of America , 1994, vol(2): 1396-1999
- [38] Gibson, Lee. HVI Short Fiber Content Measurement(A), Proceedings of the Beltwide Cotton Conferences(C), Memphis TN, National Cotton Council, 1999, vol(1):666-670
- [39] Ramey, H.H., Additional Fiber Measurements Being Evaluated(A), Proceedings of the 10th Engineered Fiber Selection Conference(C), Greenville, SC, Cotton Incorporated , 1997, p147-152.
- [40] Ramey, H.H., HVI Measurements of Short Fiber Content(A). Proceedings of the Beltwide Cotton Conferences(C), San Diego, CA, Jan. 5-7, National Cotton Council of America, 1998. vol(2):1513-1514,
- [41] W.S. Anthony, Cotton Length Uniformity and Short Fiber Content(J), Transaction of ASAE, 1992, v35(2):p443-448
- [42] Jerry D. Rowland, Cotton Short-Fiber Testing(A), 12th Annual Engineered Fiber Selection System Conference(C) , Greenville SC,

Cotton Incorporated, May 17-19, 1999

- [43] Hunter L, Chairman Report, Working Group : HVI(A) , Meeting of ITMF International Committee on Cotton Testing Methods(C), Bremen , ITMF , 2002
- [44] 李汝勤, 沈小妹, 纤维长度测试方法研究(J), 纺织学报, 1990, 11(1):14-18
- [45] 邵明根译, ASTM D5867-95 大容量纤维测试仪(HVI) 测定棉纤维物理性能的标准试验方法, 中国纤检, 2002(1):20-22
- [46] 张树深, 棉花手扯长度综述 (J), 纤维标准与检验, 2001(6):6-11
- [47] J. D. Barger, Mass Determination of the Cotton Length Fibrogram (A), Proceedings of the Beltwide Cotton Conference (C), Memphis TN, National Cotton Council, 1998, Volume 2:1514-1516
- [48] Chu, Youe-Tsyr, Riley, C. Roger, New interpretation of the fibrogram (J), Textile Research Journal, 1997; 67(12):897-901
- [49] Wang BaoCai. Y146 型光电长度仪测跨距长度的探讨, (J) 中国纤检, 1998(8):19-21
- [50] Barger, J. D., Cotton short fiber content variability, Transactions of the ASAE, 1991, 34(3):787-790
- [51] 中华人民共和国国家技术监督局, GB6097-85, 棉纤维实验取样方法, 中国标准出版社, 北京, 1985
- [52] Zeidman, M., S. K. Batra and P. E. Sasser, Determining Short Fiber Content in Cotton, Part I: Some Theoretical Fundamentals (J), Textile Research Journal, 1991, v61(1):21 - 30.
- [53] 蒋素婵, 来侃, 王晓东等, 纤维长度测试中取样方法的比较研究(J), 西北纺织工学院学报, 2001, v15(2): 245-248
- [54] Preier H. W., Sasser P. E., The Mathematical Bases of Fiber Length Analysis from Fibrogram Data (J), Textile Research Journal, 1972, V42: 410-419
- [55] 张友信, 夹于取样法检测棉纤维长度的理论与实践(J). 纺织学报, 1984(2): 13-16
- [56] 刘若华, 李汝勤, 棉纤维长度测试钩夹取样法研究, 东华大学学报, 2001, 27(8): 68-70
- [57] 刘莉, 刘宝伟, 富东, 等, 原棉短纤维含量和分布探讨(J), 中国纤检, 1996(12):22-24。

- [58] Yehia El Mogahzy, Royall M. Broughton Jr, Warren S. Perkins等, Cotton Fiber Quality: Characterization, Selection and Optimization(J), National Textile Center Research Briefs: 1994(12):4-5
- [59] Richard S. Krowicki, Devron P. Thibodeaux, Holding Length:Effect on Digital Fibrograph Span Length(J), Textile Research Journal, 1990, 60(7): 383-388
- [60] 孙鹏子, 叶方, 王文, 梳棉机混合作用的实验研究 (J), 大连轻工业学院学报, 2000, 19(4):308-309
- [61] 张树深, 关于国际标准 ISO4913 与纤维照影仪的方向 (J), 纤维检验与标准, 1982(8):p23-26
- [62] 张宏伟, 王善元, 美国高容量棉纤维性能测试仪(HVI)及应用情况简介 (J), 棉纺织技术, 1995, v23(3):169-172
- [63] Microsoft Corporation, Visual Basic6.0 语言参考手册 (M), 北京, 北京希望电脑公司, 1998, p906
- [64] Microsoft Corporation, Visual C++ 6.0 运行库参考手册, 北京, 北京希望电脑公司, 1999, p815
- [65] 范佳锦, 李君利, 程建平等, 组合方法改进Monte Carlo 计算中的伪随机数发生器 (J), 核电子学与探测技术, 2004, 24(1): 15-19
- [66] 付生猛, 陈朝阳, 周亚安, 基于混沌映射的随机数产生器 (J), 计算机研究与发展, 2004, 141(14):749-754
- [67] 邱跃洪, 何晨, 诸鸿文, 一种新型均匀分布混沌伪随机数发生器 (J), 计算机工程, 2002, 28(4):51-52
- [68] 周燕, 冯天祥, 关于一种新的随机数组合发生器的研究 (J), 华北水利水电学院学报, 2000, 21(2):75-77
- [69] 王晓东, 姚穆, 棉纤维沿长度方向线密度之分布 (J), 西北纺织工学院学报, 1990(1):1-5
- [70] Fischer, H. ; Rettig, D. ; Harig, H. , Image processing for measuring the length distribution of reclaimed fibres (J), Melland Textilberichte/International Textile Reports, 1999, 80(5):94-96
- [71] Y. IKE, J. P. RUST, W. J. JASPER, Fiber Length Measurement by Image Processing (J), Textile Research Journal, 2001. 71(10):905-910
- [72] 何晓峰, 一种对拜试图计量的改进方法——计算机识别 (J), 中国棉花加工, 2001(6):12-13
- [73] Charles Smith, Felicia Shu, Lucian Ion, Image Resolution of the

- One-CCD Palomar Motion Picture Camera(A), 37th Advanced Motion Imaging Conference(C), Seattle, WA, 2003,
- [74] 王庆友, CCD 应用技术(M), 天津, 天津大学出版社, 2000 年 11 月, P28
- [75] 贺建峰, 变速运动图象的恢复(J), 昆明理工大学学报, 1998, 23(2):119-124.
- [76] 张秉仁, 陈里铭, 高游, 运动模糊图像的降质过程分析与恢复技术研究(J), 中国图象图形学报, 2004, 9(7):815-819
- [77] 美国国家半导体网站: [www.national.com](http://www.national.com)
- [78] Basler A101f Camera User's Manual, May 20, 2002
- [79] Matrox MIL User Guide
- [80] 姚穆, 杨建中, 棉花粘性与含糖的测试技术及发展趋势(J), 西北纺织工学院学报, 2001-6, V15(2):198-200
- [81] 魏润柏著, 通风工程空气流动理论(M), 中国建筑出版社(北京), 1981 年 6 月。
- [82] 艾伦·波普, 约翰 J·哈勃著, 彭锡铭等译, 低速风洞实验(M), 国防工业出版社(北京), 1977 年 5 月
- [83] PCI-TMC12(A) 用户手册 (Ver2.0), 2002 年 9 月
- [84] 英特尔网站: [www.intel.com](http://www.intel.com)
- [85] 德州仪器网站 [www.ti.com](http://www.ti.com)
- [86] 美恒网站: [www.mehen.com](http://www.mehen.com)
- [87] 曹保华, 棉短绒成熟度快速排版技术 (J), 中国棉花加工, 1992(4):34-35
- [88] 中华人民共和国国家技术监督局, GB6101-85, 棉纤维断裂强力实验方法-束纤维法(s), 北京, 中国标准出版社, 1985
- [89] Anton Schenek 等, 孟劲译, 可用于原棉纤维长度测量的 Almeter 测试法 (J), 国外纺织技术: 纺织分册, 1992(3): 1-5
- [90] Cui, Xiaoliang, Calamari, Timothy A., Measuring the short fiber content of cotton(J), Textile Research Journal, 2003, 73(10):891-895
- [91] Kenneth Kendall, Julie Kendall, Systems Analysis and Design(M), Prenticed-Hall, Inc. 1992, p670-675
- [92] 杨顺昆, 刘斌, 陆民燕, Windows NT 下几种定时器的实现原理及性能比较(J), 测控技术, 2002, 21(12):p44-47

- [93] 张志明, 孙光清, 王磊, Windows 下高精度软件定时器的研究与实现, 微型机与应用, 2003(1):55-57
- [94] 周绿漪, 秦卫仕, 柴力, 等, MS Windows 定时器性能分析及在定时-计数系统设计中的应用 (J), 核电子学与探测技术, 2003, 23 (5): 433-435
- [95] 王玉珍, 边缘重叠图像拼接中的特征块选取 (J), 西北师范大学学报, 2002, 38 (11): 38-41
- [96] 张世阳, 王俊杰, 胡运发, 一种快速全景图像拼接技术 (J), 计算机应用与软件, 2004, 21 (3): 77-79
- [97] 章毓晋, 图像分割 (M), 北京, 科学出版社, 2001
- [98] 罗西平, 田捷, 诸葛英, 等, 图像分割方法综述 (J), 模式识别与人工智能, 1999(12):300-312
- [99] 鲁昌华, 徐胜海, 刘春, 数字图像处理技术在 PCB 板检测中的应用 (J), 仪器仪表学报, 2001, 22(4)增刊:P426-429
- [100] 周彩霞, 匡纲要, 宋海娜, 等, 用差影法与多模板匹配快速实现人脸检测 (J), 计算机应用研究, 2004(5):197-199
- [101] G. K. Wallace. The JPEG Still Picture Compression Standard (J), IEEE Trans. Consumer Electronics , 1992, 38(1) .
- [102] 王兴东, 余松煜, 梁龙飞, 等, MPEG-1 实时视频压缩及其应用 (J), 电子技术, 2000(12):18-19
- [103] 付忠良, 图像阈值选取方法——Otsu 方法的推广 (J), 计算机应用, 2000, 20(5):37-39
- [104] 万磊, 白洪亮, 戴军, 扩展的 Otsu 最优阈值图像分割的实现方法 (J), 哈尔滨工程大学学报, 2003, 24(3):326-329
- [105] 崔屹, 图像处理与分析: 数学形态学方法与应用, 北京, 科学出版社, 2002, 第二版。
- [106] Zhang Yimo, Li Heqiao, Huang Zhijin, An Automated Microscope for Cell Image Processing (A), Proc. SPIE(C), 1990, 1230:604-607
- [107] Yehia El Mogahzy, M. Broughton Jr, Warren S. Perkins, 等, Cotton Fiber Quality: Characterization, Selection and Optimization (J), National Textile Center Research Briefs, 1994 (12) : 4-5
- [108] 中华人民共和国国家技术监督局, GB 6098.1-85 棉纤维长度试验方法—罗拉式分析仪法 (s), 北京, 中国标准出版社, 1985

### 发表论文和参加科研情况说明

1. 何晓峰, 刘文耀, 徐守东, 游离棉纤维长度的计算机测量(J), 棉花学报, 2003, 15 (6)
2. He Xiao-feng, Liu Wen-yao, Xu Shou-dong, Rapid Measurement of short fiber content on Hertel Sample, Journal of DongHua University (已录用)
3. 何晓峰, 刘文耀, 徐守东, 大面阵 CCD 测棉纤维长度分布, 光电子·激光 (已录用)
4. 何晓峰, 刘文耀, 徐守东, 棉纤维品质长度的图像测量, 棉花学报 (已投稿)
5. 何晓峰, 刘文耀, 徐守东, 棉纤维二次累积分布与梳夹上纤维分布函数的关系, 纺织学报 (一审通过)

**参与课题:**

科学技术部课题：“大容量棉花纤维品质检测仪 HVI900 技术开发”，课题编号：GJ-2002-2。2004 年 12 月通过专家组验收。

## 致 谢

本文是在导师刘文耀教授的亲切关怀和悉心指导与严格要求下完成的。先生（刘文耀）严谨的学风、渊博的专业知识以及孜孜不倦的敬业精神，都给我留下了难以磨灭的印象。特别是有一段时间，由于试验需要在先生的办公室工作进行，不自觉地耳濡目染了先生待人温厚、循循善诱的处事作风。所有这些，都是我在天津大学读博期间，在科学技术知识方面以外的收获。至于先生在学业上的指导、在解决问题的关键思路方面所起的指路人的作用，我难以表述。只有在黑暗中长期摸索，饱经失败痛苦的人，才能体会到个中感受。

还有一些同门手足，我要表达对他们的谢意，他们是王晋疆、王兵振，感谢他两人为我做了不少技术支持工作。师门的其他兄弟姐妹，徐艳芳、郝永杰、张宇、郑伟、左坤龙、梁燕、王晓东、朱昊、张晓波、莫旭涛、任丽让我感受到了手足般的温暖。我想道一声：谢谢了！

对于我的朋友：徐守东、吴国新、车志新，我要表达你们对我的技术上的帮助。没有你们多年的帮助，对于我这个在纤维检验方面的知识仅有半瓶子的人，是不可能将这半瓶子与我在图像测量方面的半瓶子知识，凑成一瓶子。

对于我的妻、儿，我无言以对。在我近 7 年的生活极不正常的研究工作期间，我不知道带给他们的是什么，也许一声“对不起”，会给他们造成更大的伤害。

最后让我表达对天津大学、对刘文耀先生最真挚的感谢，正是在这里，一个折磨我很长时间的问题，终于得到了解决，使我今后的生活能够得到安宁。

何晓峰

2005 年 6 月于天津大学