纱条均匀度分析

王贤洁 编著

上海市纺织科学研究院

目　　录

出　　版　　说　　明

提高纱条均匀度是纺纱工程的主要任务之一。《上海纺织科技》于1980年第7期起连载我院纺纱研究室王贤洁同志撰写的“纱条均匀度”讲座，共计10讲。为适应广大读者需要，现汇编成册，在纺织系统内部发行。

《上海纺织科技》编辑部

1981年12月

第一讲　纱条不匀率的统计分析基础

一、纱条不匀率的意义

提高成纱品质的基本要素之一是改善纱条不匀问题。在每道纺纱过程的半制品和成品纱线中，总存在着纤维在纱条长度方向上的排列不均匀状态，这是引起纱条其他各种性能不匀的基本原因之一，如产生了纱条的拈度分布不匀和纱线强力及伸长率不匀等，后三者都是从属性的。因此要改善纱线的品质，就必须首先研究分析纱条中纤维的排列不匀（即条干不匀），不匀的起因及其与其他因素的关联情况。对于纺纱过程，则更须研究各种工艺和机构因素所引起的影响。

在着手研究纱条的不匀现象时，首先可发现所研究的对象是一个由无数单位个体（即纤维）聚集而成的总体（即纱条）；因此在处理这些大量个体现象时，在很大程度上须依赖数理统计方法来进行分析。另一方面，由于事实上不可能在纱条内逐点进行纤维数量的点数，因此就很自然地要求根据纱条的其他特性的观察和归纳来评断纤维在纱条内排列的不匀情况，当然要求这些被观察的特性与纤维排列不匀情况之间具有直接关系，如单位长度纱条片段的称重，就是计算纱条不匀率的最主要而可靠的一种方法。至于应用其他方法，如应用光电管或热电偶来测定由于纱条直径不匀而引起的光通量变化；或者测定纱条上拈度分布不匀、强力不匀、伸长率不匀；观察纱条的振动性能等，都可用来决定纤维在纱条内排列的不匀情况。但在事实上，由于这些方法都或多或少地只是间接地和纤维排列不匀相关，因此所测定的数值就不能真正代表纱条纤维排列不匀，即存在着一定程度的差异。例如度量细纱直径变化，它一方面固然取决于纱条截面内纤维数量，但另一方面又受到所加拈度的影响。很显然地，拈度分布又和纱条截面内的纤维数量间存有着一定的函数关系，这是由于拈度有向纱条细节集中的趋向。因此严格地说，纱条直径和纱条截面内纤维数量之间，二者不呈线性关系。用纱条直径不匀来表征条干不匀，只有从布面直观不匀和纱条直径不匀具有关联性这一点上考虑是比较可取的，因此也有过一些测量纱条直径不匀的仪器，但由于还存在着纱条各截面处密度不尽相同，及纱条不是一个完整的圆柱体等因素，使测量纱条直径不匀的意义降低。综上所述，测定纱条单位长度重量不匀，是表征纱条条干不匀率的最基本和适宜的方法，在以后各讲中，如不特殊提明，纱条条干不匀率总是指单位长度重量不匀率而言，而所取单位长度，即所谓片段长度，则随实际需要而决定。

由于纱条条干不匀率从其实质上看，是度量纱条特性的离散性，因此可以应用数理统计中各种度量离散性的特征数来加以表述。一般在生产实用中为了简易起见，都采用对一定片段长度的纱条重量，用求平均差系数的方法来表示其不匀率。在研究工作中，纱条不匀率则大多应用方差或变异系数等来表示；其优点是对这些统计特征数能加以进

一步分析计算，但其缺点是计算较为困难，但如应用适当仪器，如乌斯脱（Uster）条干均匀度试验仪，由于仪器具有自动计算统计特征数的性能，因此应用方差、均方差和变异系数等统计特征数来表征纱条条干不匀率，得到了日益广泛的应用。

对于表征纱条条干不匀率的常用公式，为了方便参考，汇列于下。

设：x_1，x_2，x_3，……x_n为纱条单位片段重量的试验值，则

平均数

$$\bar{x}=\frac{\sum_{1}^{n} x_i}{n} \tag{1}$$

平均差

$$H=\frac{\sum_{1}^{n}|x_i-\bar{x}|}{n} \tag{2}$$

平均差系数

$$U=\frac{H}{\bar{x}}\times 100(\%) \tag{3}$$

方差

$$\sigma^2=\frac{\sum_{1}^{n}(x_i-\bar{x})^2 ①}{n}$$

均方差

$$\sigma=\sqrt{\frac{\sum_{1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n}} \tag{4}$$

变异系数

$$C=\frac{\sigma}{\bar{x}}\times 100(\%) \tag{5}$$

平均差系数也可用沙密尔公式（最先由德国H.Sommer氏提出）计算，其算式为：

$$U=\frac{2(\bar{x}-\bar{x}_{下})n_{下}\times 100}{n\bar{x}}(\%) \tag{6}$$

或 $$U=\left(\frac{n_{下}}{n}-\frac{S_{下}}{S}\right)\times 200(\%) \tag{7}$$

式中：$\bar{x}_{下}$——小于$\bar{x}$值的各试验值的平均数；

$n_{下}$——小于$\bar{x}$值的试验值个数；

S——所有试验值的总和；

$S_{下}$——小于$\bar{x}$值的试验值总和。

当试验次数n值较多时，变异系数C的计算要比平均差系数U值的计算为复杂，因此有时可使用下列近似公式来加以换算：

$$C=A\cdot U \tag{8}$$

系数A之值随试验次数n而定，其值可查表1而得。

表 1

n	A	n	A
5	1.401	15	1.297
6	1.373	20	1.286
7	1.354	50	1.266
8	1.340	100	1.253
9	1.329	100以上	1.250
10	1.321		

【例】如在一纱条长度方向上任意截取10段等长度片段的纱条，分别称重，得其重量为（重量单位可任取）：

4，8，3，6，2，4，10，5，2，6

现需求纱条不匀率，分别用平均差不匀率和变异系数表示之，并比较其相互关系。

平均值

$$\bar{x}=\frac{\Sigma x_i}{n}$$

$$=\frac{1}{10}(4+8+3+6+2+4+$$

$$+10+5+2+6)=5$$

不匀率

$$U=\frac{100}{\bar{x}}\cdot\frac{1}{n}\cdot\Sigma|x_i-\bar{x}|(\%)$$

$$=\frac{100}{5}\cdot\frac{1}{10}\cdot 20(\%)=40\%$$

①本式是样本方差，如需由样本估计总体方差时，则式中分母应用$n-1$来代替n，$n-1$称为自由度。自由度等于试样数减去1，是因为已从试样值中求取了一个平均数之故。当n值较大时（一般当n>50时），仍可以用n。

$$C=\frac{100}{\bar{x}}\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}(\%)$$

$$=\frac{100}{5}\sqrt{\frac{1}{9}\cdot 60}(\%)=51.5\%$$

$$\frac{C(\%)}{U(\%)}=\frac{51.5}{40}\doteq 1.286$$

以上算得数值和表 1 中的A值 1.321 基本接近。

在有些实际情况下，当每次试样个数很少，而重复试验次数较多时，也可采用极差方法来计算，然后根据极差和均方差间的关系，进行换算；当然也可以用极差系数直接表示不匀率。在另一种情况下，例如试验条子或粗纱条干不匀时，为了将通用的由萨氏试验仪上所测得的用极差系数所表示的不匀率和用乌斯脱试验仪上所测得的用变异系数所表示的不匀率间作对比，还常要用到由极差R换算到均方差σ，或由极差系数η换算到变异系数C的步骤，其二者的关系如下：

$$R=B\sigma$$

或 $$\eta=B\cdot G \quad (9)$$

系数B之值也随试验次数n而定，其值可查表 2。

表 2

n	B	n	B
2	1.128	11	3.173
3	1.693	12	3.259
4	2.059	13	3.336
5	2.326	14	3.417
6	2.534	15	3.472
7	2.704	20	3.710
8	2.847	50	4.50
9	2.970	100	5.01
10	3.078	1000及以上	6.48

应用极差变换公式需要注意之处是：为了计算的准确度，一般要求极差的组数在20组以上，每组内试验次数相同。当采用分组法先求极差再换算均方差时，一般宜取组数较多，而组内试验次数较少，此时所获得的均方差值准确度较高。由于一般多由极差计算标准差，故(9)式可变换为：

$$\sigma=\frac{R}{B}$$

或 $$C=\frac{\eta}{B} \quad (10)$$

通过计算极差来表征不匀率时，当试验值总体接近常态分布，同时组数较多时，其效果较好。此外，计算极差时的样本不宜过大，否则用极差表征的数据离散性就不甚可靠。

【例】某厂熟条的萨氏不匀率为20%，求其相当于用 Uster 试验仪所求得的变异系数。

萨氏条干不匀率实际上是表示了极差系数η，其和变异系数C之间关系即如式(10)所表达，系数B可根据表 2 取n为1000时近似得出，即：

$$C=\frac{\eta}{B}=\frac{20}{6.48}=3.1\%$$

二、方差加法定理

方差加法定理是数理统计学中基本内容之一，在计算和分析纱条不匀率时，用得非常广泛，适宜于当各种工艺或机械因素对产品纱条不匀同时发生影响时，进行综合估计，或对纱条不同长度片段不匀率进行分析。

方差加法定理为：如将试样总体分为若干部分，分别测定其某项特性，则试样总体之该项特性的方差σ^2，等于各部分方差σ_i^2之平均值加上各部分平均数对总体平均数的偏差平方的平均值，这二项平均值都是以各部分的单元个数n_i来加权的。这项规律就称之为方差加法定理，可引证如下：

设将试样总体分为K个部分，各部分单元数分别为n_1、n_2、n_3、$\cdots n_K$

$$\left(\sum_{1}^{K}n_i=n，\text{其中}n\text{为总体试样数}\right)$$

再设各部分方差分别为：σ_1^2、σ_2^2、

$\sigma_3^2 \cdots\cdots \sigma_K^2$，则对各部分来说，根据方差定义，可写出下列关系式①：

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{n_i}\sum_i x^2 - \bar{x}_i^2 \qquad (11)$$

其中$\sum\limits_i$表示在各部分范围内求和，而$\bar{x}_i$代表各部分平均数；由式(11)可得：

$$\sum_i x^2 = n_i\sigma_i^2 + n_i\bar{x}_i^2 \qquad (12)$$

把每个部分这样的关系加在一起，可得

$$\sum x^2 = \sum n_i\sigma_i^2 + \sum n_i\bar{x}_i^2$$

或

$$\frac{1}{n}\sum x^2 = \frac{\sum n_i\sigma_i^2}{n} + \frac{\sum n_i\bar{x}_i^2}{n} \qquad (13)$$

式(13)等号右面第一项是各部分方差的平均数，以$\overline{\sigma_i^2}$代表；第二项则为部分平均数平方的平均值，但可以看出：这项是各部分平均数对总体平均数偏差的平方的平均数（以$\overline{\delta^2}$表示）加上部分平均数的加了权的平均数的平方，因此可得：

$$\frac{1}{n}\sum x^2 = \overline{\sigma_i^2} + \overline{\delta^2} + \left(\frac{\sum n_i\bar{x}_i}{n}\right)^2$$

但括弧中的分数就是总体的平均数$\bar{x}$，由此，

$$\sigma^2 = \frac{1}{n}\sum x^2 - \bar{x}^2$$

$$= \overline{\sigma_i^2} + \overline{\delta^2} \qquad (14)$$

这就是要证明的结果。这里第一项是部分方差的平均数$\overline{\sigma_i^2}$，对纱条条干不匀来说，即相当于一般所指的内不匀；第二项是部分平均数对总体平均数偏差的平方的平均值$\overline{\delta^2}$，即一般所指的外不匀。因此如采用方差σ^2来度量纱条的不匀时，则在需求纱条的总不匀时，只要把内不匀和外不匀相加就可以了。这是一项非常有用而重要的关系式，例如在度量一段有限长度（如度量一段10米长度）纱条的不匀率时，我们只是获得了这段有限长度内纱条的不匀率，而并不代表纱条的总不匀率。如要求纱条的总不匀率时，就必须另外度量以10米片段为单位试样的片段之间的外不匀，二者予以相加。

方差加法定理也可应用在计算同一纱条上同时独立发生的、由各种不同因素所造成的总不匀率。如在一牵伸装置中有数种个别因素分别独立地引起纱条的不匀，其数值以变异系数来表示分别为：C_1、C_2、$C_3 \cdots\cdots C_K$等，则由于纱条的厚度平均值，对各项因素来说都相等，故式(14)可转变推广为下式：

$$\sigma^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \cdots\cdots \sigma_K^2 \qquad (15)$$

$$C^2 = C_1^2 + C_2^2 + \cdots\cdots C_K^2 \qquad (16)$$

从而求得总不匀率。

【例1】某工厂细纱机的细纱条干不匀率当牵伸装置正常工作时为$C_1 = 20\%$，但由于牵伸装置中某一控制元件不准确或运转不良，造成一数值为$C_2 = 5\%$的附加不匀率，故根据方差加法定理，可求得细纱的实际不匀率为：

$$C = \sqrt{20^2 + 5^2} = 20.6(\%)$$

由于因附加因素所引起的细纱不匀率总值变化。在数值上表示很小，因此需要采用较多的试样次数，方能进行判断。

【例2】某纺织厂有三个细纱工场，各细纱工场所纺的同号数细纱的每100米重量平均克数及其均方差值（试样各取30次）如表3：

表 3

平均重量(克)	均方差(克)	试验次数
2.20	0.042	30
2.32	0.033	30
2.14	0.028	30

求该厂三工场细纱混合取样的支不匀率（即100米片段长度的重量不匀率）数值。

总平均量为：

$$\bar{x} = \frac{2.20 + 2.32 + 2.14}{3} = 2.22$$

①根据方差定义式，可推导如下：

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n} = \frac{1}{n}\left(\sum x^2 - 2\sum x\bar{x} + \sum \bar{x}^2\right) = \frac{1}{n}\sum x^2 - 2\bar{x}^2 + \bar{x}^2 = \frac{1}{n}\sum x^2 - \bar{x}^2$$

各方差平均值为：

$$\overline{\sigma_i^2} = \frac{0.042^2 + 0.033^2 + 0.028^2}{3}$$

$$= 0.001212$$

各工场间的方差为：

$$\sigma_o'^2 = \frac{1}{3-1}\Big[(2.20-2.22)^2 + (2.32-2.22)^2 + (2.14-2.22)^2\Big] = 0.0084$$

但$\sigma_o'^2$值中还包含着各工场之间试验误差值，因此可得各工场之间的实际外不匀的方差为：

$$\sigma_o^2 = 0.0084 - \frac{0.001212}{30} = 0.00836$$

由此可得：

各工场的内不匀率的平方值为：

$$C_i^2 = \frac{0.001212}{2.22^2} = 0.000246$$

各工场之间外不匀率的平方值为：

$$C_o^2 = \frac{0.00836}{2.22^2} = 0.001696$$

全厂混合取样的支不匀率为：

$$C = \sqrt{0.000246 + 0.001696}$$

$$= 0.044 = 4.4\%$$

三、并合原理

在纺纱各工序中，尤其在梳理工序以后，由于需将各道半制品逐步拉细，以达到最后细纱定量要求，因此必须经过牵伸过程。牵伸过程是纺纱的必要手段，但每经一道牵伸过程，就不可避免地使各道制品的不匀率逐渐增高。和牵伸作用相反，并合作用则有促使产品均匀，即降低不匀率的性能，因此并合作用在纺纱过程中也占有重要地位，但由于并合会使定量增高，因此又必须增加牵伸来加以平衡。在实际生产实践中，合理配合牵伸和并合，以使产品纱条获得尽可能低而较为理想的不匀结构，是纺织工艺人员主要研究对象之一。

并合前后的纱条不匀率关系，可利用方差加法定理推导而得，即并合作用也可看作是方差加法定理的一特殊应用例子。

如有K根条子，其平均值（即平均单位片段重量）及均方差各为：

$$\bar{x}_1,\ \bar{x}_2,\ \bar{x}_3,\ \cdots \bar{x}_K;$$

$$\sigma_1,\ \sigma_2,\ \sigma_3,\ \cdots\cdots\sigma_K;$$

则其相应的不匀率以变异系数表示时分别为：$\frac{\sigma_1}{\bar{x}_1},\ \frac{\sigma_2}{\bar{x}_2},\ \frac{\sigma_3}{\bar{x}_3},\ \cdots\cdots\frac{\sigma_K}{\bar{x}_K};$

将这K根条子加以并合，并假定在并合时各根条子间不存在交互影响，即符合随机并合条件，则并合后（不经牵伸）的总条子的平均数和均方差将各为：

$$\bar{x} = \bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3 + \cdots\cdots \bar{x}_K \qquad (17)$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \cdots\cdots\sigma_K^2} \qquad (18)$$

如被并合的各根条子具有相同的平均值x_o和均方差σ_o时，则并合后的不匀率可简化为：

$$C = \frac{\sqrt{K\sigma_o^2}}{K\bar{x}_o} = \frac{\sigma_o}{\sqrt{K}\bar{x}_o}$$

$$= \frac{C_o}{\sqrt{K}} \qquad (19)$$

其中C_o表示未并合前的条子不匀率。由此可见，K根条子并合后，其不匀率将缩小$\sqrt{K}$倍，即并合条子不匀率将随并合根数的平方根值比例降低。

公式(19)所指出的由并合而降低的不匀率，是指并合后未经牵伸的条子而言。实际上，当并合根数增加时，为了要求纺出同样定量的条子，必须相应增高牵伸倍数，而牵伸倍数增高，又使输出条子的短片段不匀率增加。因此在并合和牵伸同时发生的情况下，输出条子的不匀率变化还得视具体牵伸装置的完善程度而定。一般说来，并合后再经牵伸对改善中、长片段不匀是有利的，短片段不匀则往往反而恶化。

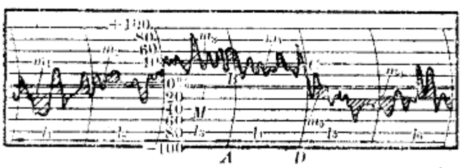
并合作用对超长片段不匀，如取以一个条筒内条子重量为单位片段，在很多实际生产情况下往往不起作用，此时应用其他方式如多机台喂入分配，或采用自调匀整装置来加以适当解决。

第二讲　纱条不匀的片段结构特性

一、CV(L)曲线和CB(L)曲线

在进行纱条不匀率测定时，一般只取有限长度的纱条予以测试，因此所测得的不匀率，只是代表了这段有限长度纱条内的不匀率，以$CV(L)$表示，其中CV代表以变异系数所表示的内不匀率，L则表示所取纱段长度。$CV(L)$仅表征了长度为L的纱条内不匀率，其值随L值的变化而有所不同，但并不表征纱条的总不匀率。为了说明$CV(L)$曲线的意义，取图(1)表示同一纱条的截面变化情况，试验纱条全长为L。在图1(1)中，计算不匀率时先将全长L分为六个等分，每等分长度分别为l_1、l_2、……l_6，每段截面的平均值分别以横线m_1、m_2、……m_6表示，因此对各分段长度为l的片段来说，其不匀率（以平均差系数表示）可从截面曲线和各该平均值m_i线所围成面积（以斜线表示）对平均值m_i线与底线所围成的面积$ABCD$之比所决定。在图1(2)中，当在全部长度L中求不匀率时，则长度为L的纱条不匀率可从全部截面变化曲线与总平均值M线所围成的面积（以斜线表示）对总平均值M线与底线所围成的总面积$ABCD$之比所确定。由图1(1)所计算而得的比值决定了$CV(l)$，而从图1(2)所计算而得的比值则决定了$CV(L)$值。显然可见，$CV(l)$值（取六段的平均值）较$CV(L)$值为小，而其差数即为分段平均数m_1、m_2、……m_6对总平均数M的差异所决定，即所谓外不匀率，以$CB(l)$代表之。综上所述，可知当研究纱条不匀时，选择被试验纱条的长度，是决定不匀率的一个重要因素。其次还可得出：在有限长度纱条内所测得的不匀率$CV(L)$和纱段长度L之间，存在着一定的函数关系。如用曲线表示CV值和L的关系时，即可得到$CV(L)$曲线，这条曲线是标征纱条不匀结构性能的一个良好标志，同时在实用上也有一定意义。

取横坐标表示所取纱条长度L，纵坐标表示在该长度内所测得的不匀率值（以变异系数表示），可得到图2的曲线。由图可见：不匀率CV值随着纱段长度的增长而不断增高。$CV(L)$曲线经过原点，这是因为当所取纱段长度趋向于零时，纱段内将不存



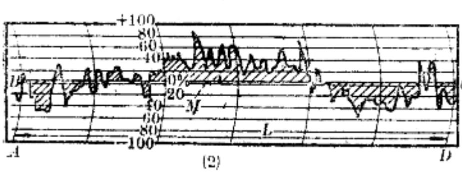


图 1

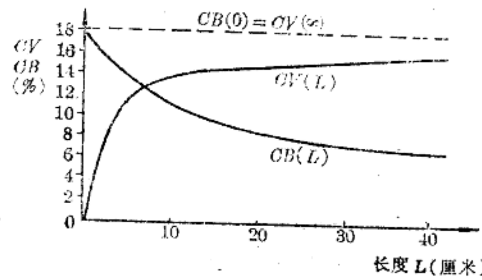


图 2

在不匀，即不匀率为零。曲线的走向，在起始段时增长率较高，CV值对L值有近乎直线关系；但随着纱段长度L值的不断增加，CV值的增长率即逐步减退。对一般纱条来说，当所取纱条长度在1米以上时，CV值已趋向定值，即曲线逐渐接近渐近线$CV(\infty)$，而$CV(\infty)$即为纱条的总不匀率数值。根据方差加法定理，在取定所试验纱条片段长度后，除了片段长度以内的不匀率$CV(L)$外，尚存在片段长度之间的不匀率，即$CB(L)$；根据$CB(L)$和所取长度L的关系，可作出图2中$CB(L)$曲线，它和$CV(L)$曲线相反，是随着片段长度的增加而减低的，即当所取片段愈长时，片段之间的外不匀率数值愈低。相反，当所取长度为无限短时，$CB(L)$值趋向$CB(0)$或$CV(\infty)$，即纱条的总不匀率。应用方差加法定理，可得到在取不同长度片段时$CV(L)$和$CB(L)$值之关系公式：

$$[CV(L)]^2+[CB(L)]^2 = [CV(\infty)]^2=[CB(0)]^2 \quad (1)$$

如用$V(L)$表示片段内不匀率的方差值，$B(L)$表示片段之间外不匀率的方差值，则(1)式可变成更为简单的形式：

$$V(L)+B(L)=V(\infty)=B(0) \quad (2)$$

由上述讨论，可得出下面几个公式，在日常应用或文献中常遇到：

$$CB(0)=CV(\infty) \quad (3)$$

$$CV(0)=CB(\infty)=0 \quad (4)$$

$$CV(L)=\sqrt{[CV(\infty)]^2-[CB(L)]^2} = \sqrt{[CB(0)]^2-[CB(L)]^2} \quad (5)$$

$$CB(L)=\sqrt{[CV(\infty)]^2-[CV(L)]^2} = \sqrt{[CB(0)]^2-[CV(L)]^2} \quad (6)$$

如$UV(L)$和$UB(L)$分别为以平均差系数表示的内不匀率和外不匀率，则上述以$CV(L)$和$CB(L)$所表征的公式，都可近似地用$UV(L)$和$UB(L)$代替应用。

在实际应用中，一般都是希望获知纱条的总不匀率，其途径有二：第一种方法是应用(1)式，测定特定片段L的内不匀率和外不匀率，二者平方相加后再开方即得总不匀率数值，这个方法比较准确，但试验较为费时。第二种方法是取较长纱条，仅测试其内不匀率数值，以作为总不匀率的近似估计值。这种方法之所以有可能采取，是借助于$CV(L)$曲线随片段长度增长而迅速地接近其渐近线，即总不匀率$CV(\infty)$这一性质而获得。对于一般生产质量正常的纺纱厂纺制的各种纱条而言，当选取试样长度为2～3米时，所测得的内不匀率CV值，已大致能接近纱条的总不匀率，为简单起见即可作为总不匀率的近似值，而不必另行计算外不匀率CB值了。只有当产品的前道工序质量及设备均较差，并缺乏必要的并合作用时，此时纱条中将存在显著的长片段不匀；在这种情况下用较短试样长度所求得的不匀率CV值和总不匀率数值间，才有较大的差异。还值得注意的是：对于一般纱条来说，不匀率在很大程度上都是由1米长度以内的短片段不匀所组成（短片段是指长度为纤维平均长度1～10倍之间的片段）；而中片段（指片段长度为纤维平均长度10～100倍之间的片段）和长片段（指片段长度为纤维平均长度100～1000倍或更长的片段）不匀的成份是较少的。各道工序的不同制品与半制品，如棉纺的生条、熟条、粗纱和细纱等，都具有不同形态的$CV(L)$及$CB(L)$曲线；加工过程或前后纺工艺对纱条处理不同，尤其是并合数的改变，都会造成曲线形态的变化。

二、理想纱条和实际纱条的CV(L)曲线比较

所谓理想纱条是指纱条中纤维除了由于随机排列所形成的较短片段不匀以外，不存在机械或工艺因素所产生的其他不匀，即认为是由一理想机构所纺制的纱条，这种纱条在实际上是不存在的，而只是纺纱工作者努

力追求的目标而已。理想纱条的不匀率总是比相同号数纱条的实际不匀率为低，其不匀结构特点是理想纱条由于不存在长片段不匀率，所以如取理想和实际纱条的 $CV(\infty)$ 均为100%（二者数值是不相同的），则在任何情况下，理想纱条的 $CV(L)$ 曲线，总是处于相同号数的实际纱条的上方，并以较快的增长率趋向 $CV(\infty)$，如图3所示。

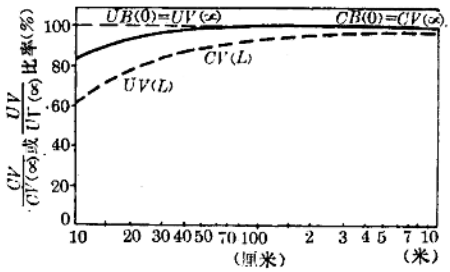


图 3

在图3中处于理想纱条下方的曲线是具有较高不匀率值和非常显著长片段不匀的纱条的 $CV(L)$ 曲线，一般实际生产中纺制纱条的 $CV(L)$ 曲线，总是处于这两条曲线中间的位置。

根据瑞典科学家Olerup和比利时数学家Breny的研究，对理想纱条的不匀结构，存在着下列关系：

$$\frac{B(L)}{B(0)}=1-\frac{L}{3\overline{l}}\text{（当}L\leqslant\overline{l}\text{时）}\quad(7)$$

$$\frac{B(L)}{B(0)}=\frac{\overline{l}}{L}-\frac{\overline{l}^2}{3L^2}\text{（当}L>\overline{l}\text{时）}\quad(8)$$

其中 $\overline{l}$ 表示纤维平均长度。上两式对等长纤维是有效的，对非等长纤维，则近似有效。式(7)和式(8)由图(4)合并表示。当片段长度大于纤维平均长度很多时，式(8)中 $\frac{\overline{l}^2}{3L^2}$ 项可以忽略，故可得到：

$$\frac{B(L)}{B(0)}=\frac{\overline{l}}{L}\text{，（当}L\gg\overline{l}\text{时）}\quad(9)$$

由于 $B(L)=V(\infty)-V(L)$

故有 $$\frac{V(\infty)-V(L)}{V(\infty)}=\frac{\overline{l}}{L}$$

或 $$\frac{V(L)}{V(\infty)}=1-\frac{\overline{l}}{L}\quad(10)$$

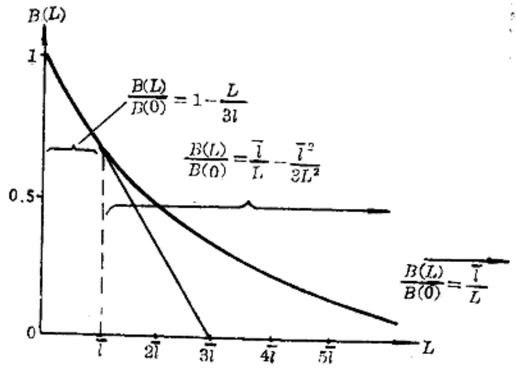


图 4

$$\frac{CV(L)}{CV(\infty)}=\sqrt{1-\frac{\overline{l}}{L}}\quad(11)$$

图(3)中理想纱条的 $CV(L)$ 曲线即是根据式(11)，当取 $\overline{l}=3$ 厘米时计算而得的。

为了进一步简化起见，还可将式(9)改变为：

$$\frac{CB(L)}{CB(0)}=\sqrt{\frac{\overline{l}}{L}}$$

或 $$CB(L)=CB(0)\sqrt{\frac{\overline{l}}{L}}\quad(12)$$

对式(12)两端取对数可得：

$$\lg CB(L)=\lg CB(0)+\frac{1}{2}\lg\frac{\overline{l}}{L}\quad(13)$$

式(13)代表了一条直线，其斜率 $\operatorname{tg}\alpha=\frac{1}{2}$，而 $\lg CB(L)$ 对 $\lg L$ 的直线斜率则为 $-\frac{1}{2}$，故得理想纱条的 $CB(L)$ 曲线取对数后所得的直线对水平轴呈26.5°倾斜。

三、实际纱条的不匀结构

对于实际纱条的不匀结构，可根据所测定的 $CV(L)$ 和 $CB(L)$ 曲线的形态，作出评价。对于曲线的形态和性质，可分成下面几个方面加以探讨。

1. $CV(L)$ 值趋近于 $CV(\infty)$ 值的速度

如两条不同来源的细纱 A、B 具有相同的总不匀率值，其中 A 纱在取样长度为1米

时，其CV_A(1米)已很趋近于$CV(\infty)$，但B纱在同样取样长度条件下所测得的CV_B(1米)距渐近线$CV(\infty)$较远，如图5所示。无论根据经验或将这两种细纱同时织成织物，加以对比，二者性能将具有显著的不同，用B纱所织的布面将具有较为显著的阴影和条花，其外观质量显然较差。由此可见：虽然两种细纱的总不匀率值相同，但由于不匀结构的不同导致二者性能的差异。故总不匀率并不能完全代表纱条的均匀性能，而对纱条不匀结构的度量则可用以补足纱条不匀率的不足之处，因此不匀率与不匀结构是相辅相成的两个方面。通过$CV(L)$曲线趋近于$CV(\infty)$的速度，可以用来度量纱条上长短片段不匀的相对分布，对了解纱条的不匀结构，是一个良好的表征。

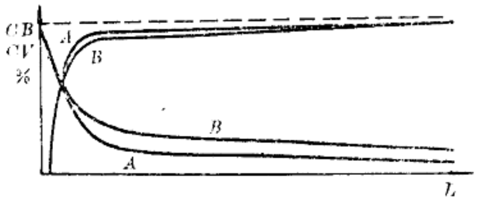


图 5

2. $CB(L)$值趋近于零的速度

相当于度量$CV(L)$值趋近于$CV(\infty)$的速度，也可用度量$CB(L)$趋近于零的速度来表征纱条长短片段间的不匀分布情况。在图5中也绘出了上例中A纱和B纱的$CB(L)$曲线。

从实际计算角度来分析，图5中A、B两纱所代表的不匀率分别为：

	A纱		B纱	
	$CV\%$	$CB\%$	$CV\%$	$CB\%$
$L=4$米	19.8	3	19.1	6
$L=200$米	19.95	1.5	19.6	4

由以上数据可见，虽然A纱和B纱不匀结构存在差异，但从CV值的变化来看是比较小的，而CB值的变化则较为显著，因此通过度量CB值的差异要比度量CV值容易发现其差异存在。故在实用上，度量纱条的CB值也比度量CV值来得使用广泛。

3. $CV(L)$曲线在靠近原点处的斜率

$CV(L)$曲线通过原点，同时在纱段长度较短（如在1～5厘米范围内）时，曲线有近乎直线的形态，因此也可用这段近似直线的斜率，来表示纱条内长短片段不匀的比例。联系到实际纱条特性，如取图6为例，以C、D代表两条不同来源的纱条，具有相似的趋向于$CV(\infty)$的速度；当所取纱段长度在1米以上时，$CV(L)$值大致已近乎固定。设C纱在靠近原点处具有较D纱为大的斜率，这就意味着C纱在较短纱段（如2厘米）内的CV值较D纱为大，而同时如以这样短片段作为称重单位长度时，则C纱在短片段间的不匀率CB值必小于D纱。在这种情况下，还不能肯定这两纱条中，那一条较为优越，还须取决于布面的风格，才能加以评断。但一般来说，可以认为C纱是比D纱为好，因为它具有较低的中片段不匀。

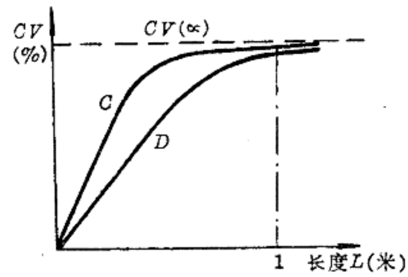


图 6

4. $CV(L)$值和支数不匀率的关系

当取试样细纱长度为100米进行不匀率测定时，所测得的不匀率只是CV(100米)的数值。为了取得纱条的总不匀率，可以把以100米作为单位片段长度的缕纱重量不匀率，即CB(100米)和CV(100米)值平方相加，再开方即得。CB(100米)即为在棉纺厂日常试验中所测定的支数不匀率。对于其他各道半制品也可应用类似方法予以处理。计算的公式是：

$$\text{纱条总不匀率}=\sqrt{[100\text{米以内的不匀率即}CV(100\text{米})]^2+[\text{支数不匀率即}CB(100\text{米})]^2} \quad (14)$$

5. 实际纱条的$\lg CB(\lg L)$线

根据理想纱条特性，已经知道对其$CB(L)$曲线纵坐标和横坐标取对数后，特性曲线将变为具有对水平轴呈26.5°倾斜的直线。

对于一般实际纱条来说，其不匀率以CB值表示时的数值和片段长度L间，也存在同样近似对数直线的关系，如图7所示。但由于实际纱条具有较高的短片段不匀，并同时还存在长片段不匀，因此对同一号数的纱条来说，实际纱条的$\lg CB(\lg L)$线总是处于理想纱条直线之上，并具有较小于26.5°的倾斜角。

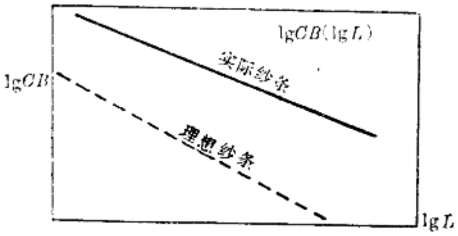


图 7

用$\lg CB(\lg L)$线来判断纱条的均匀特性比应用$CV(L)$或$CB(L)$曲线简单而有效。一般是要求对数线斜率愈大愈好。当纺纱工艺设计不妥时，造成产品中长片段不匀过分增大，结果反映于对数线的斜率降低。观察对数线的性质，还往往能找到造成不匀的原因。当纺纱工程中每一工序产品都能保持相当低的不匀数值时，则成纱的对数线斜率将会增高，说明了纺纱工艺的设计和实际生产，没有超出正常范围，这也是纺纱过程质量控制的重要内容之一。

在实际工作中对产品的均匀结构检查，可发现在棉纺工程中，精梳棉纱具有较粗梳棉纱为高的对数线斜率，如图8所示。在毛纺工程中，则梳毛纱的对数线斜率一般均较纺毛纱为高，如图9所示。

对于一般成品和半制品的不匀率对数线的分析，定性地有下列关系存在。

(1) 对数线斜率和纺纱工艺过程中的总

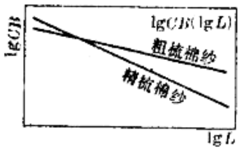


图 8

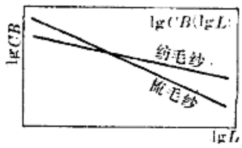


图 9

并合数成正相关关系增加，但二者不一定附合直线关系，并随具体的并合作用次序前后，而有所不同。如目前在超大牵伸细纱机上所纺制的细纱，其对数线斜率比一般纱条为低，表明对超大牵伸工艺来说，要求有更均匀的前纺半制品，或需相应增加并合次数或根数，以改善其成纱均匀结构。

(2) 粗支纱一般具有较细支纱为低的对数线斜率。

(3) 愈接近前道工序的半制品，其对数线斜率愈小。

应用不匀率对数线，可以表征整个纺纱工艺过程和各道工序的性能。根据Malatinsky和Grosberg的研究，可以从纺纱工序中各道半制品的不匀率和整个纺纱计划，预测最后产品纱条的不匀率结构曲线，或者从最后产品纱条，如细纱的不匀结构曲线推算到各道半制品不匀率，这样就使得纱条不匀率结构成为控制生产过程的有力的实验和分析武器。在一般生产中，只要将各道制品的实测不匀率结构和根据大量统计资料所获得的标准数值比较，就可以较容易地得出整个纺纱工艺是否合理的结论，并指出需要进一步改进的方向。为了供参考，给出棉纺各工序影响细纱不匀率结构曲线的大致片段范围：

细纱工序：几厘米到几十厘米片段；

粗纱工序：几十厘米到几米片段；

末并工序：几米到十几米；

头并工序：几十米；

梳棉工序：几十米到几百米。

图10和图11是精梳棉纱和粗梳棉纱系统产品纱条的不匀结构的参考数值。上面一条曲线代表平均水平，下面一条曲线代表非常均匀的高水平。

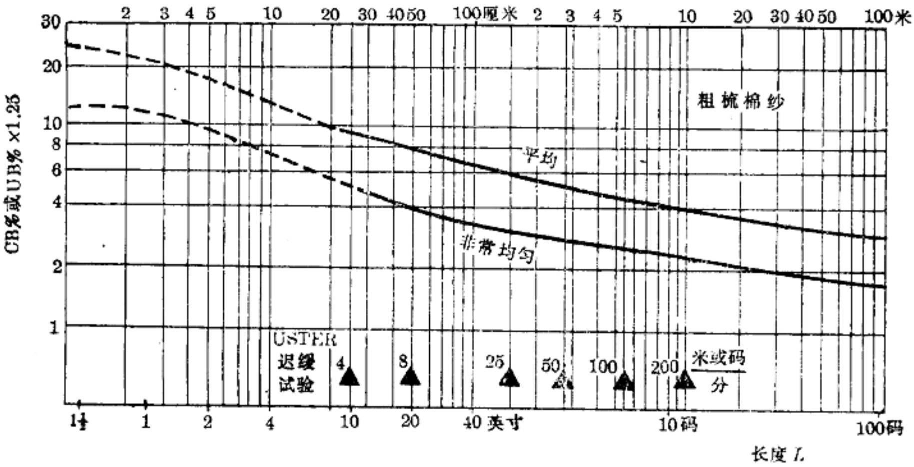


图 10

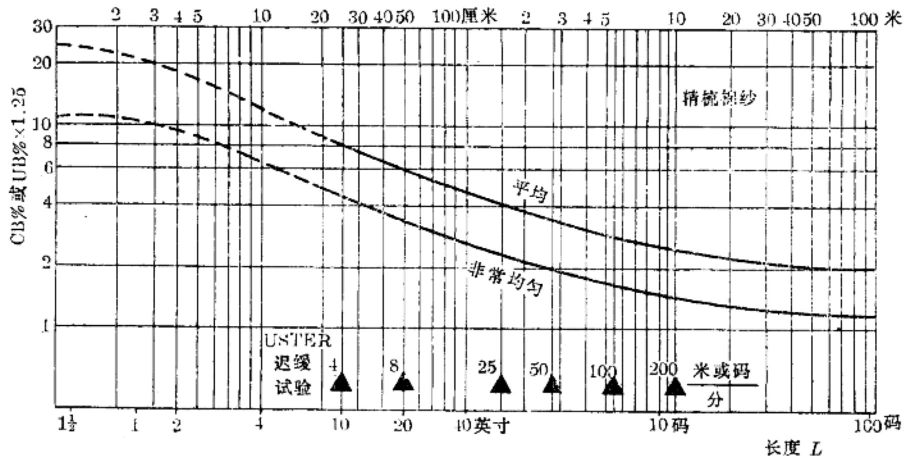


图 11

四、测量纱条不匀率的切段称重法

切段称重法是测定纱条不匀率的基本而准确的方法之一，其所取片段长度及片段数量，应视实际情况及试验精度等要求而定。切段称重的方法是首先把纱条截割成所需数量的具有尽可能准确而相同的长度片段，分别加以称重，然后计算不匀率数值。这个方法的缺点在于工作时需耗费大量时间，因此在一般生产性试验中较少应用，仅对要求准确度较高的研究工作，或校正其他测定不匀率仪器的读数时，方有应用价值。

根据数理统计原理，由试样所得到的纱条不匀率的数值，本身形成一个分布。即子样的不匀率和总体不匀率数值，并不完全相同。子样不匀率间的离散程度，可用标准误差来表示。不匀率的标准误差与子样中试验值个数有关，其计算公式为：

不匀率（用变异系数表示）的标准误差

$$\sigma_C = \frac{C}{\sqrt{2n}} \tag{15}$$

式中：C ——子样不匀率(用变异系数表示)；

n ——子样内试验值个数。

取两倍于标准误差的数值称为保证误差（在95%概率下，保证误差为标准误差的

1.96倍，可近似地取为2倍），即：

保证误差 $$E=\frac{2C}{\sqrt{2n}} \tag{16}$$

而 $$n=\frac{2C^2}{E^2} \tag{17}$$

由式(16)可见，子样不匀率的保证误差和试样数量的平方根成反比，即试样愈多时，所获得的结果愈准确。在应用切段称重法测定纱条的不匀率时，如要求所获得的不匀率数值的误差在4%以内时，则试样的数量必须具有最低数为：

$$n=\frac{2C^2}{E^2}=\frac{2C^2}{(0.04C)^2}=1250$$

即需截割试样1250段，并称重1250次，这样计算一个不匀率数值的工作量是非常可观的。为了减少上述工作量，可以根据并合原理，应用绞纱分割称重法来测定纱条的不匀率。

绞纱分割称重法只能适用于具有一定强力的纱线，如细纱及合股线等。其方法为应用一台和普通测缕纱强力相仿的纱框，在其一边上放置一平滑的钢板，其宽度可随所需截割纱条的片段长度而定。假如要测定CB（1厘米）的细纱不匀率时，则此板的宽度可取较1厘米略宽一些，纱条则按普通方法连续绕在纱框上，达到预定的圈数即可。在纱框相对于钢板的一侧，另置一块相同的钢板，以作平衡之用。当绕满纱层后，可在钢板纱层上另安放一平滑钢板，二者用销子及螺钉固紧，使纱条被夹在其中。上面一块钢板和下方钢板的接触面可略呈凹形，这样能对固紧纱条有更好的效果。上钢板的宽度应较准确地保持为1厘米。在用纱框绕纱时，须注意使纱条保持整齐的横向排列状态。在上下两钢板夹紧纱条后，用锋利刀片沿上钢板边缘截割纱条。假如纱框的周围长度为100厘米，在纱框上共绕上36圈，这样就可得到一束（包括36根）长度为1厘米的短片纱段，和长度为99厘米的长片段纱，然后将此两束纱段分别称重。假定纱条是均匀的，则1厘米片段部分的重量应为99厘米片段部分重量的1/99，但由于纱条中存在着不均匀现象，因此这两部分重量间将不存在上述准确关系，1厘米片段纱束的重量将差异于绞纱的平均单位长度（1厘米）的重量，其差异并随不匀率的增高而增大。计算的过程如下：假定共做了n次试验（即共摇了n绞，每绞36圈），每次所截取1厘米片段纱束部分（包括36根长度为1厘米的纱条）的重量分别为：m_1、m_2、m_3、……m_n；99厘米长度纱束部分（包括36根长度为99厘米的纱条）的重量分别为：M_1、M_2、M_3、……M_n，则两种片段重量的比例为：

$$R=\frac{\sum_{i=1}^{n}M_i}{\sum_{i=1}^{n}m_i}$$

当纱框长度非常准确，并假定纱条均匀时，R值应为99；实际上，由于纱框圈长并不可能非常准确，故R值只能近似地等于99，但这对计算纱条不匀率的准确性并无影响。

在计算时，可先想象由36根长度为1厘米单纱组成的纱束是一条36股线，则每条股线的单位重量平均值应分别为：

$$\frac{M_1}{R},\ \frac{M_2}{R},\ \frac{M_3}{R}\cdots\cdots\frac{M_n}{R}$$

这样就可得到股线中随机所取单位长度(1厘米)重量对平均单位长度重量的差异，即有：

$$m_1-\frac{M_1}{R},\ m_2-\frac{M_2}{R},\ m_3-\frac{M_3}{R}\cdots\cdots$$

$$m_n-\frac{M_n}{R}$$

这些数值表示了股线1厘米片段重量在100厘米试样中的不匀情况，因此可据以计算股线(1厘米片段)不匀率，即其均方差为：

$$\sigma_D=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(m_i-\frac{M_i}{R}\right)^2}{n-1}}$$

由于我们假设认为绞纱是由36条单纱所组成，因此如符合随机并合条件时，根据并合原理，可知单纱1厘米片段重量差异的变异系数C为股线的$\sqrt{36}$倍，即6倍。就均方差来说，单纱1厘米片段重量的均方差应为：

$$\sigma_S = \frac{\sigma_D}{\sqrt{K}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(m_i - \frac{M_i}{R}\right)^2}{36(n-1)}} \tag{18}$$

这一σ_S数值就表征了在3600厘米试样中取 1 厘米长度片段的重量均方差。至于要求计算纱条的总不匀率时，当然还应计算以3600厘米，即 36 米为片段长度的外不匀率CB（36 米），其数值可以根据M_1，M_2,M_3，……M_n 间的差异求得。在实际应用上，因一般细纱的长片段不匀率数值较小，对纱条总不匀率的影响不大，故通过公式(18)所表示的数值来计算纱条的不匀率，已无多大误差。

以上是假定用36条单纱组成绞纱，实际上,只要绕框和切割准确方便,单纱根数可自由选择；此外，纱框总周长和所需切割短片段长度,都可根据需要加以改变。对于各种不同情况，式(18)可表示为普遍形式，即有：

$$\sigma_S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(m_i - \frac{M_i}{R}\right)^2}{D(n-1)}} \tag{19}$$

式中：D——绞纱中单纱根数；

n——绞纱数量。

现在分析一下上述绞纱称重法较普通切段称重法的优点。一般在应用绞纱称重法时，取试验次数为 100 次时已非常准确；即如取 $n=100$，$D=36$ 时，试验结果相当于在3600米纱条中截取3600段长度为 1 厘米的纱段，并由此而求取其不匀率。这样，用绞纱称重法仅需截段100次和称重200次，再外加绕框工作，较之普通切段称重需要截取和称重各3600次，是简易得多了，故在加速研究和试验工作上，具有较大的效果。把上述绞纱称重法略作改变，还可适用于在同一绞纱上，切取几种不同片段长度，可以用较少的工作量，同时获得表征纱条不匀结构$CB(L)$曲线的几个数值。还应指出：应用绞纱切割称重法所求得的纱条不匀率，当纱条的不匀结构是充分随机时，其获得的数据准确性是足够的，符合科研工作的要求。

第三讲　用乌斯特均匀度试验仪测量纱条不匀率

一、乌斯特均匀度试验仪的应用

乌斯特（Uster）均匀度试验仪是应用电容原理检测纱条不匀率的一种电子仪器，或称电容式均匀度试验仪，可以省除用切段称重法所耗费的较大试验工作量，是目前世界各国测量纱条不匀率的最为广泛采用的仪器，并有较长的发展历史。

乌斯特均匀度试验仪可用于测量各种条子、粗纱、细纱及股线的单位长度重量不匀率，适合试验的材料包括棉、羊毛（粗梳纺和精梳纺）、化纤、混纺纤维、丝、亚麻、大麻、苎麻及黄麻等。对人造丝及各种合成纤维的长丝也可加以试验，但在试验时最好加装一假捻装置，以消除成纱“截面形态”效应。

对经过漂白、染色等后处理工艺的纱线，只要这些处理过程对纱条所附加的物质或处理性能是均匀分布时，则对不匀率的试验结果准确性，其影响是可以忽略的。对混纺纱条，则只要纤维混和均匀，试验的结果也仍然准确。当纤维混和不均匀时，在多数情况下仅产生一个较小的附加不匀率，其数值很小，并可加以计算估计。

应用电容式均匀试验仪时应注意避免具有高湿度（即比室内空气的正常湿度高出很多）或湿度不均匀的试样，在这种情况下必须先将试样在标准湿度的试样室中加以湿度平衡，其平衡时间须视原有湿度差异和试样卷装的紧密度而定。在一般情况下，试样需要约三天时间才能达到全部平衡；同时，试样的吸湿和放湿平衡的效应也不相同，应尽可能采用符合国际规定要求的吸湿平衡，且其所需时间也较短。如以棉纺细纱为例，细纱车间的相对湿度一般为55～60％，和试验室的温湿条件相近，故所需平衡时间较短。在通常情况下对生条试验所需的平衡时间较长。放置乌斯特均匀度试验仪的试验室温湿度条件一般为温度20±2℃，湿度65±3％。此外还应避免试样中包含金属纤维或较多的化学物品。

乌斯特均匀度试验仪一般还配备着各种辅助仪器，整套的试验仪包括：（1）均匀度试验仪主机，其作用为将纱条的截面重量不匀转变为连续的电信号。（2）积分仪，可分为半自动式或全自动式，其作用为将不匀信号加以积分运算，以得出纱条不匀率数值；其中半自动式积分仪还需根据多次积分读数加以平均，并以纱条平均厚度数值对积分数值加以修正；而全自动式积分仪仅需一次读数，即能得到纱条不匀率，同时也不需作平均值修正。（3）疵点仪，可根据设定灵敏度要求，根据主机不匀信号，自动记录纱条上所出现的粗节、细节和棉结数目。（4）波谱仪，能将纱条不匀率按长度变化状态转换为按周期波长分布，以获得波谱分布曲线，有利于对纱条不匀作进一步检验和分析。(5)记录仪，能记录纱条不匀的直观图和波谱

图。这些仪器的组合应用，可从下列几方面为工艺和生产管理服务：

（1）找寻各道纺纱工序的最佳工艺条件，例如可研究梳棉机产量和生条均匀度的关系，并条机并合效果，细纱机的罗拉隔距、牵伸分配等对细纱不匀率的影响，从而求得各工艺的最佳工艺参数组合。

（2）用来对个别机器或多工序机组进行系统监视，使整个纺纱系统设备处于正常运行状态。

（3）用来对产品纱线进行品质控制，使纱厂的产品保持恒定和优良的品质。

（4）作为决定取舍或比较不同设备或工艺条件的评定标准。

（5）作为寻找各道工序所发生疵病根源的探试手段（这类疵病一般可分为连续出现的、间歇出现的或周期性出现的），以便迅速而有效地解决纺纱工程出现的问题，从而进行工艺或设备改进。还可以检查各道半制品的不匀率，以保证最高度地发挥纺纱设备的效率，及时发现疵病根源所在，加以消除，以保证生产稳定进行。此外还可利用波谱仪来分析织物外表疵病，这是通过分析原料纱线的周期性不匀组成而达到的。

应用乌斯特均匀度试验仪时应加以注意的是试样通过电容检测的速度。从数理统计对不匀率测定数值的误差角度来看，用同样的试验时间，试样速度愈快，即意味着取样数据的增多，对数据准确度就愈有利。但从实践来看，试样速度也不可能无限提高，主要的限制因素有二：一是速度愈高，试样在电容测试槽就愈有机会被夹住或断裂，如细纱往往会由于棉结杂质等原因不能通过试验槽，条子则往往在高速时易发生断裂。限制纱条试验速度及记录纸走速的另一因素是记录器中记录笔的速度，一般不使超过每秒钟25次的振动频率。由于在用短纤维纺制成纱条的不匀率中，周期近于纤维平均长度2～2.5倍的短片段不匀波具有最大的振幅变化值，因此试样的速度可由下列考虑决定，即使这一最大波幅的变化频率不超过记录笔的最高频率，由此而获得的试样速度可由下式表示：

$$V = 3.34 \cdot \overline{l} \cdot f \qquad (1)$$

式中：V——试样速度(码/分)；

$\overline{l}$——纤维平均长度(英寸)；

f——记录笔的极限频率（次/秒）。

一般生产中常用的试样速度，考虑到上述两个因素，可采用：

条子	8米/分以下；
细纱	50～200米/分；
粗纱	介于条子和细纱之间。

根据试验速度和走纸速度的比率，可以在不匀率直观图上获得相当于纱条单位长度的不匀曲线相应长度，以便评断纱条不匀的结构。一般通用的试样速度对走纸速度的比率，应根据所需观察的不匀片段长度而定，其数值为：

短片段不匀	8～20；
中片段不匀	40～160；
长片段不匀	200～1000。

乌斯特均匀度试验仪还具有可选择调节的灵敏度，其值可根据试样的不匀率变化范围决定，常用的灵敏度为：

细纱	±100%；
粗纱	±50～25%；
条子	±25～12.5%。

二、电容式均匀度试验仪的检测原理

均匀度试验仪之目的在于连续地指示一个数值，该数值应以线性关系比例于条子、粗纱或细纱单位长度上的重量，这个单位长度决定于由电容检测板所构成的测量电场的长度，对乌斯特均匀度仪来说，其值为8～20毫米，其中8毫米应用于细纱，20毫米则用于重条子，其实际数值须视所试样品的定量而定。当进行试验时，记录器所记下的单位长度重量值是相对的，即指针的偏转角度