牵伸的理论与实际应用

(英) P.F.葛雷欣 著

王 哲 中 譯

紡 織 工 业 出 版 社

內 容 簡 介

本書作者P.F.葛雷欣，对苏联华西里也夫教授的牵伸理論作了比較深入的分析，其中特别对部分牵伸的分配、牵伸过程中纖維的位移、并合原理和半成品及成紗的不匀率从各方面加以分析；同时說明了如何將理論应用到实际中去；最后还探討了超大牵伸采用棉条喂入和粗紗喂入的比較和超大牵伸机構采用两对罗拉的可能性。本書涉及的理論較多，对於目前正从事牵伸理論和牵伸机構研究的技术人員有一定的帮助。本書可供从事紡紗生产、研究和教学人員閱讀。

牵伸的理論与实际应用

P.F. 葛雷欣 著
王　哲　中 譯
严　灝　景 校

紡織工业出版社

目 录

序

本書的目的是为了发展控制牽伸过程的主要定律。全文都針对棉紡工程而言，但按第四章所述方法算出相应的系数后，这些定律就可适用于任何纖維。如果情况理想，牽伸規律发現后，就有可能对牽伸問題的研究用計算方法来代替規模巨大的試驗，虽然目前的措施与理想相差很远，但作者还用很多的数据說明这种可能性。

早在1902年，华西里也夫教授首先在紡紗問題上应用机率与統計理論。近年来F.T.皮尔斯、A.J.透納、L.H.C.鉄別脫、F.蔡萊等均有成就地加以应用，他們的著作構成了本書的基础。

本書分成如下四个主要部分：

一、現有牽伸理論的研討，即对华西里也夫的著作作了特别的論述，因此本書实际上是华西里也夫理論的繼續与合理推論。

二、牽伸过程的分析，即对牽伸过程中纖維的运动作了分析与实驗。

三、牽伸过程的綜合，即由单纖維的研討逐步推演成对纖維束断面的研究，从而导出牽伸定律。

四、牽伸理論的实际应用，將目前大家所熟悉的牽伸机構及牽伸过程作了比較，根据前面各部分推导出的理論得出最适宜的紡紗条件。

第一章　現有理論、特别是华西里也夫理論的研討

第一节　現有的牽伸理論

各别地来討論現有的卽使是最重要的牽伸理論是很困难的，所以本書只准备对各种牽伸理論作簡要的分类。除了实驗部分外，根据著述者采取的方式，所有的处理方法可分为四种主要类型：

一、敍述法及定性法

这一类不具备或很少具备数学基础。这一类型的典型研究可参閱参考文献〔4〕〔5〕〔15〕〔29〕。这些著作企图以牽伸造成不匀的常識来表达牽伸过程的实質。

二、机构法

它的特点是或多或少地以实踐来計算牽伸机構中纖維束每一截面的纖維数，或計算牽伸时的纖維速度。这方面的典型研究可参閱参考文献〔1〕〔2〕〔9〕〔11〕〔12〕〔24〕〔25〕〔26〕〔28〕〔31〕〔33〕〔34〕。

三、統計法

这是指所有采用大数法則，或其他統計学定律，或机率理論以及用不匀的特殊情况所进行的研究。这些著作大部分根本不論述牽伸，但是却探求所謂“理想不匀率”，使它成为截面中纖維根数及纖維性質的函数。正如在本書第三章中可以看出的，它們是代表牽伸理論的特殊情况。这是一个重要的部分，如果不考虑纖維数目的影响，那末对牽伸造成不匀的研究，将是无成效的。在很多情况下，所謂“牽伸波”就是指牽伸时的統計現象。这类著作可参閱参考文献〔1〕〔6〕〔7〕〔8〕〔14〕〔16〕〔17〕〔18〕〔19〕〔20〕〔21〕〔23〕〔30〕〔32〕。

四、綜合法

这一类是指机構法及統計法的綜合研究，研究的目的是探求产品不匀的函数，这一函数的因素比截面中纖維数目的因素要多，包括牽伸本身、隔距、纖維的长度及长度不匀率等。这类著作可参閱参考文献〔10〕及〔27〕。本書也屬于这一类，因为本書主要是根据参考文献〔10〕〔11〕〔12〕〔13〕〔14〕的著作写出的。参考文献目录中的部分研究项目可同时屬于几个类型。

第二节　华西里也夫的理論〔1〕

一、引言

本書所述的理論是华西里也夫教授的著作在邏輯上的繼續。这一著作最先发表于1915年，它企图用数学来表达浮游纖維的問題。所以对华西里也夫的理論必須作較詳尽的叙述，但是理論中的数学部分已加以簡化，并且避免应用机率理論。

二、浮游纖維的理論

（一）华西里也夫从下列基础出发：

1. 只观察纖維丛中的一根或两根纖維。

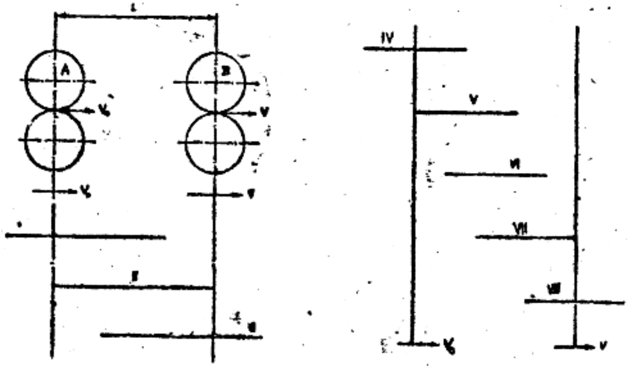

图 1　正常纖維与浮游纖維

2.假設纖維是伸直和平行的。

（二）图1中的l是纖維长度，L是罗拉中心距离，$l=L$。纖維用三个位置Ⅰ、Ⅱ及Ⅲ来表示。

当纖維在第一个位置时，纖維的速度是完全固定不变的。当在第二个位置时，纖維的速度瞬时地从V_0变成V。而在第三个位置时，纖維以前罗拉的速度运动。因此在任何时候，纖維位置与牽伸罗拉的相对关系是可以知道的，并且牽伸后产品中纖維的位置是完全一定的。

（三）当纖維长度小于罗拉中心距离，即$l<L$时，纖維的运动情况如图1中从位置Ⅳ到Ⅷ。在Ⅴ位置上，纖維已离开后罗拉，但还沒有到达前罗拉，从这一点开始纖維的速度变成不固定。在Ⅵ位置上，纖維的位置介于后罗拉与前罗拉之間，受到被前罗拉及后罗拉握住的纖維所包围。纖維的速度显然介于V_0与V之間，实际速度将取决于与这一根特殊纖維相接触的、以后罗拉速度V_0及前罗拉速度V运动的纖維的相对根数。在任何情况下，在后罗拉与前罗拉之間运动的纖維是浮游的，并以經常改变着的速度移动着，其平均速度无法知道，因为它取决于很多变数。

（四）如果纖維位于某一特殊位置，就会形成紗条厚度的增加或减小。华西里也夫論証出被牽伸产品中短纖維的位置不固定是产生不匀的一个根源。

这种想法加以进一步的推論后，即能証明产品的不匀率随纖維长度不匀率的增加而增加。实踐中必須使罗拉中心距离大約等于最长的纖維长度，因为隔距过小会造成纖維断裂或成紗断裂，使大多数纖維变成浮游，造成成紗的不均匀。

棉纖維的长度不匀率約为25%，亚麻纖維的长度不匀率約为50～60%。这里所說的不匀率是統計学中的变异系数，用百分率表示。虽然在棉紡中仍能采用最基本的簡单的加压罗拉的牽伸机構，但在亚麻紡紗过程中則不能采用，因为纖維长度差异很大。

即使纖維非常整齐（如粘膠短纖維），但是由于纖維的伸直或

平行不充分，仍有可能引起不均匀。如果纖維不眞正伸直或平行，其实际长度对罗拉中心距离来說还是不固定的，这样就能产生浮游纖維与不均匀。纖維的松解不充分是不均匀的另一个重要因素。这在后面将作討論。

三、“移距”及“浮游速度”的原理

（一）纖維条截面的大小与其中包含的纖維根数成正比。华西里也夫曾建議：牵伸前与牵伸后纖維条截面大小的比較只須将图2中上部纖維排成下面位置即可很便利地获得。

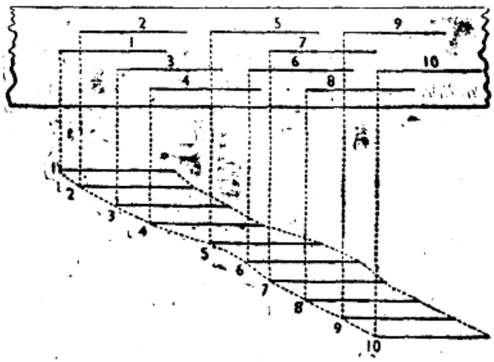

图 2 纖維的分布与产品的不匀

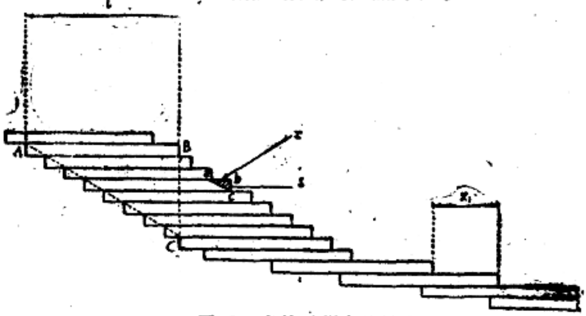

图 3 牵伸过程中的轉变

图 3 的纖維排列是根据华西里也夫所提出的方法排列而成的理想纖維束。纖維的相对位置可以根据纖維头端或纖維中心来决定。在以后会知道最好是以纖維的重心卽纖維的中心点为根据。华西里也夫則取纖維的前端为基准面，两根相邻纖維前端之間的距离称为移距，用x来表示。

（二）为了証明移距与牽伸倍数成正比例，可以参看图 3 中的△ABC及△abc，

$$\frac{x}{\delta}=\frac{l}{\tau}$$

式中 x＝移距，l＝纖維长度，δ＝纖維厚度，τ＝牽伸后的纖維束厚度（卽BC）。

同样，在牽伸后

$$x_1=\frac{l\delta}{\tau_1} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

但牽伸后纖維束的厚度与牽伸倍数z成反比，其关系式为

$$\tau_1=\frac{\tau}{z} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

將（2）式代入（1）式后

$$x_1=zx \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

由图3可知，在理想情况下，显然所有纖維的移距都相等。

（三）由图 4 可見，当移距不变时，牽伸后的纖維束截面也不变（截面AB及CD）；移距愈大，截面愈小，例如移距为y时，截面为MN。可見由于不均匀的移距結果，牽伸后纖維束从P点到Q点形成細的部分。因而纖維束有可能变細或变粗，卽牽伸后的纖維束厚度有减少或增加。

（四）公式（3）在数学上幷不适用于这一情况，与正常移距有偏差存在，这一偏差用α来表示，

$$x_1=zx+\alpha \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

因而正常移距的偏差为正常移距 zx 的一种增量。这一偏差为牵伸后

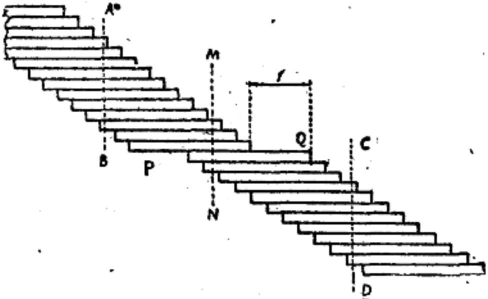

图 4　根据华西里也夫理論产生細截面的情况

纖維束不均匀的根源，也就是不匀率計算的出发点。

（五）設維纖的伸直平行度相当理想，其方向与牽伸方向一致。浮游纖維对长度等于罗拉中心距离的纖維的关系，可用横坐标表示。

（六）取两根纖維，設 $\bar{x}$ 表示这两根纖維前端之間的移距，y 表示两根纖維后端之間的移距，x 是两根纖維中心点之間的移距。图

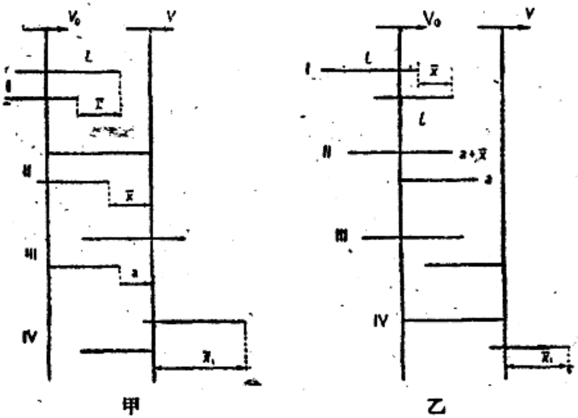

图 5　牽伸过程中纖維的位置

5中Ⅰ的位置表示两根纖維进入牽伸罗拉以后移距保持不变，直至长度为 l 的纖維完全离开后罗拉为止（如Ⅱ的位置）。从这时起，短纖維接受前罗拉所握持纖維的影响，而較长纖維則落在后面。超前值的大小将取决于各随机因素，纖維到达位置Ⅲ后，两根纖維間的距离将与位置Ⅰ及Ⅱ的距离不同。在位置Ⅲ上，短纖維以前罗拉的速度运动，移距变化很快，直至长纖維抵达前罗拉为止（如图中位置Ⅳ所示）。此时移距一直保持不变，除非它的数値为牽伸机構中另一对罗拉所改变。

（七）現在来計算移距 x 及正常移距的偏差α。設纖維的浮游时間为 t_1，改变移距的总时間为t。設浮游的距离为 a，

$$a=L-l \quad \cdots\cdots (5)$$

而浮游速度，卽纖維在距离 a 中的平均速度用 u 表示。

$$t_1=\frac{a}{u}$$

設t_2为纖維从位置Ⅲ过渡到位置Ⅳ的时間，$t_2=t-t_1$，則

$$t=\frac{a+\bar{x}}{v_0}$$

$$t_2=\frac{a+\bar{x}}{v_0}-\frac{a}{u}$$

但是移距$\bar{x}_1$为

$$\bar{x}_1=vt_2=v\,\frac{a+\bar{x}}{v_0}-\frac{a}{u}v$$

将上式与下式合并

$$\frac{v}{v_0}=\frac{N}{N_0}n=z \quad \cdots\cdots (6)$$

得出

$$\bar{x}_1=az+z\bar{x}-\frac{a}{u}v$$

或根据（4）式$\bar{\alpha}=a\left(z-\frac{v}{u}\right) \quad \cdots\cdots (7)$

（八）这样就求出了纖維前端与正常移距的平均偏差，卽所謂

"头端移距"。平均偏差显然是随纖維的平均速度的增加而增加，因为 z 大于 $\frac{v}{u}$；由此得出結論，头端移距应該只能是正的或是零，后者只有当浮游纖維 l 的速度等于后罗拉速度时才能发生，这是最有利的条件。最不利的情况是浮游纖維随前罗拉速度运动，在这种情况下，偏差用下式表示：

$$\alpha_{最大}=a(z-1) \cdots\cdots(8)$$

四、总牽伸分解成部分牽伸

（一）华西里也夫主要用机率理論的几何方法来解这个問題。而对牽伸罗拉情况下的另一种解法可以用下列方法进行。

以三綫式牽伸机構为例，正和华西里也夫所假設的一样，假定罗拉中心距离相等，则

$$x_1=\bar{x}_0 z_1+\bar{\alpha}_1 \cdots\cdots(9)$$

式中 $\bar{x}_0$ 是后罗拉牽伸前的移距，z_1 是后罗拉的牽伸倍数，$\bar{\alpha}_1$ 是后罗拉区正常移距的偏差。同样，在第二对罗拉牽伸后。

$$\bar{x}_2=\bar{x}_1 z_1+\bar{\alpha}_2 \cdots\cdots(10)$$

因为 $z_1 z_2=z$，由公式(9)及(10)：

$$\bar{x}_2=\bar{x}_0 z+\bar{\alpha}_1 z_2+\bar{\alpha}_2 \cdots\cdots(11)$$

式中 $\bar{\alpha}_1 z_2+\bar{\alpha}_2$ 显然为正常移距 $\bar{x}_0 z$ 的总偏差，即

$$\bar{\alpha}=\bar{\alpha}_1 z_2+\bar{\alpha}_2 \cdots\cdots(12)$$

（二）华西里也夫所作的更进一步的推演如在本書中介紹将嫌过于繁复，它主要根据下列几个假設：

1. $\bar{\alpha}_1$ 及 $\bar{\alpha}_2$ 的频率曲綫是平行于 x 軸的直綫，即任一正常移距的偏差的机率是常数。

2. 偏差 α_1 及 α_2 之間最合宜的关系为：选擇 α_1 与 α_2 时，必須使它們的最小与最大总偏差的机率为極小值，而总偏差接近其平均値的机率为極大値。必須注意，当 $\bar{\alpha}$ 的値改变时，$\bar{\alpha}$ 的机率也随之改变。

本書对这問題不能作詳細討論。必須提一下的是第二个假定似乎是錯誤的，因为在最合宜的情况下，我們对总偏差的要求为它的

最小值(接近于零)的机率是極大值，而最大值的机率是極小值。但是正如作者〔9〕所指出的，华西里也夫的这一个假設，只不过是他的另一个假設的修正，即假設移距是纖維前端之間的距离而并非纖維中心間的距离(見本書第二章)。

华西里也夫推演的近似方法列示在下列基本分析中，当然这种近似方法在数学上并不像华西里也夫的推演那样严格。

設α_1及α_2为平均偏差（均方差)，則对移距分布的任何法則来說，平均偏差和偏差分布的極差成比例，或和(8)式得出的移距偏差的極大值成比例。取华西里也夫更簡化的形式，即牽伸的条件及两对罗拉間的中心距离相同，則

$$\bar{\alpha}_1 = ka(z_1 - 1)$$

及 $$\bar{\alpha}_2 = ka(z_2 - 1) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (13)$$

偏差$\bar{\alpha}_1$及$\bar{\alpha}_2$的选擇必須使总的偏差$\bar{\alpha}$等于零，但是在华西里也夫所采用的条件下这是不可能的，因为在(12)式中$\bar{\alpha}_1$及$\bar{\alpha}_2$只能是正值，因此需要有像华西里也夫所作的上述修正那样的修正。这个修正就是移距可以是正値或負値〔这在第二章中将詳加証明，公式(33)就是其結果，移距必須只当作纖維中心間的距离〕。

使$\bar{\alpha}_1$及$\bar{\alpha}_2$具有相反的符号，将(13)式代入(12)式：

$$(z_1 - 1)z_2 - (z_2 - 1) = 0$$

这就是华西里也夫得出的結論。故

$$z_2 = \frac{z+1}{2}; \qquad z_1 = \frac{2z}{z+1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (14)$$

这是著名的华西里也夫的双区牽伸分配公式。

(三)可以很容易地为任意对牽伸罗拉得出相当于(14)式的公式。如果牽伸机構有m对罗拉，須将总牽伸倍数进行分配，那末可以假設，对任意二对罗拉来說，(14)式是适用的。假定分成的两个牽伸倍数是z_i及z_{i+1}，則根据(14)式

$$z_{i+1} = \frac{z_i z_{i+1} + 1}{2}$$

于是 $$z_{i+1}=\frac{1}{2-z_i}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(15)$$

这是一个递推公式，即由前面的牽伸倍数轉化变成后面牽伸倍数的公式。例如討論四对罗拉三个部分牽伸z_1、z_2、z_3。

由(15)式

$$z_2=\frac{1}{2-z_1};\quad z_3=\frac{1}{2-z_2};\quad z_1\times z_2\times z_3=z$$

或

$$\left.\begin{aligned}z_1&=\frac{3z}{2z+1}\\ z_2&=\frac{2z+1}{z+2}\\ z_3&=\frac{z+2}{3}\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(16)$$

(四)(16)式是华西里也夫的公式适用于隔距相差不很大的机台。

必須注意，牽伸罗拉的連續序号1、2、3等是按工艺次序排列的，即从后面数向前面。如果保持像習慣上采用的与此相反的序号时，則用罗馬字Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ等表示。

(五)五罗拉牽伸机構的相应公式为：

$$z_1=\frac{4z}{3z+1};\quad z_2=\frac{3z+1}{2z+2};\quad z_3=\frac{2z+2}{z+3};\quad z_4=\frac{z+3}{4}\cdots(17)$$

在有m个部分牽伸时，

$$z_1=\frac{mz}{(m-1)z+1};\quad\cdots\cdots;\quad z_m=\frac{z+m-1}{m}\cdots\cdots(18)$$

实际上从公式(18)求出z_1后，再由公式(15)算出所有的牽伸倍数较为簡便。

(六)有趣的是总牽伸倍数z很大时，除最后牽伸区的牽伸倍数外 所有的部分牽伸倍数都是不大的有限值 例如四罗拉牽伸机構，当总牽伸倍数$z=\infty$时，各部分牽伸接近于

$$z_1=1.5;\qquad z_2=2;\qquad z_3=\infty$$

头二个牽伸倍数很小。

对五罗拉牽伸机構来說，头三个牽伸倍数相对地較小，即头三个区的牽伸的总倍数趋近于4。

$$z_1=1.333;\quad z_2=1.5;\quad z_3=2,\quad z_4=\infty$$

对m个部分牽伸来說，除了最后的牽伸区外，总牽伸倍数是

$$z_{1\cdot2\cdot3\cdots\cdots(m-1)}=\frac{mz}{z+m-1}\cdots\cdots\cdots\cdots(19)$$

但是当 $z\to\infty$时，

$$z_{1\cdot2\cdot3\cdots\cdots(m-1)}\to m;$$

即对六对罗拉来說，其值接近5，对十对罗拉来說，其值接近9等。因此最后一个牽伸区的牽伸倍数总是远比前面所有牽伸倍数的总值大。这不难从公式(12)得到解释。前罗拉造成的偏差α_2仅限于前罗拉，而后罗拉造成的偏差 α_1 最后在前罗拉处增大很多，从数学上来說要乘上前罗拉的牽伸倍数即 z_2 倍〔見(12)式〕。因此即使同样隔距，在前罗拉处可以进行难以相对比的高倍数的牽伸。

(七)对华西里也夫的理論作了討論后，就可将华西里也夫理論所得出的部分牽伸与正常实际紡紗的数据作一比較。

表 1 按华西里也夫公式求得的部分牽伸

机構型式	z	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5
三罗拉………	5	1.67	3.00	—	—	—
四罗拉………	6	1.38	1.63	2.66	—	—
五罗拉………	14	1.30	1.43	1.77	4.30	—
六罗拉………	16	1.23	1.30	1.43	1.75	4.00

表 2 实际紡紗时采用的部分牽伸

机 構 型 式	z	z_1	z_2	z_3	z_4
三罗拉精紡机……	7	1.1	6.35	—	—
三罗拉粗紡机……	5	1.2	4.17	—	—
四罗拉幷条机……	6	1.25	1.86	2.58	—
五罗拉幷条机……	14	1.40	1.54	1.90	3.35
五罗拉幷条机……	16	1.20	1.60	2.50	3.32