

牵伸力问题(I)

——牵伸力与纤维的摩擦性能和牵伸倍数

刘国涛

(纺织工程系)

摘要 通过数学分析方法,讨论纤维摩擦性能和牵伸倍数与牵伸力之间的关系,并阐述了“临界牵伸区”的概念。

关键词 牵伸力;纤维摩擦性能;临界牵伸;牵伸倍数

0 引 言

关于牵伸力理论的研究,最早见于 H. A. Васильев 的著作, G. A. R. Foster, J. G. Martindale 等把主要精力集中于不匀率方面的探索,而对力学因素并未引起足够的重视。直至 1948 年 D. R. Cox 才明确提出用以表达牵伸力的偏微分方程,但他建立数学模型的条件,因牵伸握持距超过纤维长度甚多,故不适用于一般罗拉握持距与纤维长度相近的情况。

50 年代初,在牵伸理论方面研究卓有成果者,首推 M. Hannah^[1],她在 G. H. Ambler 著作的基础上,提出了如下的牵伸力公式:

$$F_D = \frac{N_0}{D} \int_{R-l_m}^R \frac{\mu_0 P(x) \{1 - B(x)\}}{B(x) + \frac{\{1 - B(x)\}}{D}} \cdot dx \quad (1)$$

式中

F_D ——牵伸力

D ——牵伸倍数

N_0 ——喂入粗纱断面中的纤维数(实验时用的是有捻粗纱)

R ——罗拉中心距

l_m ——纤维的最长长度

$p(x)$ ——牵伸区内点 x 处一根纤维上受到的法向压力

$B(x)$ ——牵伸区内点 x 处的慢速纤维量*

μ_0 ——纤维间的摩擦系数

收稿日期:1993-11-04

1954年 B. Cavaney 和 G. A. R. Foster 亦提出了类似的牵伸力公式^{**}：

$$F_D = \frac{k \cdot N_0}{D} \int_0^{l_m} \frac{\{1 - C(x)\}C(x)}{1 - C(x) + \frac{C(x)}{D}} \cdot dx \quad (2)$$

式中

$$k \doteq \mu_0 \cdot p(x) \quad C(x) = \frac{1}{L} \int_0^{l_m} (x - l)f(l)dl$$

L ——纤维的平均长度

$f(l)$ ——纤维长度的频率曲线

如设棉条在牵伸区中点 x 处的截面积为 $A(x)$ ，设该处的棉条密度 ρ_0 为常数，则 $A(x)$ 正比于 N_0 ，即 $A(x) = N_0 \rho_0$ ，所以经过整理后得：

$$F_D = \frac{k N_0}{\rho_0} \cdot \frac{1}{D} \int_0^{l_m} \{1 - C(x)\}C(x) \cdot dx \quad (3)$$

与此同时，作出研究成果的还有 D. S. Taylor^[3]等人。随后 C. C. KOBHEP 在他的名著^[4]中，从理论上得出影响牵伸力的各项因素。60年代以来日本学者石川章一、清水二郎^[5~6]等也对牵伸力问题作过不少分析与检测。

上述各式均涉及到 u_0, D, L, N_0 等各因素，诸因素各自对牵伸力的影响程度及其规律性如何，正是本文要讨论的重心。

1 计算牵伸力的依据

牵伸力的计算，实际上是主要计算牵伸场中纤维间的总摩擦力。已有研究表明^[4]，牵伸场内某断面 x 处，以喂入罗拉 ($F. R.$) 速度 V_B 运动的纤维总数为

$$S^{(B)}(x) = \int_{x-R}^0 \varphi(s) \cdot d(s) \quad (4)$$

式中

S ——是 V_B 及时间的函数

而以牵伸罗拉 ($D. R.$) 速度 V_F 运动的纤维总数为

$$S^{(F)}(x) = \frac{1}{D} \int_{-l_m}^{x-R} \varphi(s) \cdot d(s) \quad (5)$$

于是 x 断面处的纤维总量为

$$S(x) = S^{(B)}(x) + S^{(F)}(x) = \int_{x-R}^0 \varphi(s)d(s) + \frac{1}{D} \int_{-l_m}^{x-R} \varphi(s)d(s) \quad (6)$$

可以设想，在牵伸场中总有某一点 x_0 ，刚好以快、慢速运动的纤维量相等，则

$$\int_{x-R}^0 \varphi(s) \cdot d(s) = \frac{1}{D} \int_{-l_m}^{x-R} \varphi(s) \cdot d(s) \quad (7)$$

我们知道，牵伸区中总摩擦力的数值是计算牵伸力大小的主要因素之一。在 x_0 以左，特

* 在牵伸区中只考虑以喂给罗拉速度运动的慢速纤维和以牵伸罗拉运动的快速纤维。

** 试验时所用半成品为棉条

别在喂入罗拉附近(图1),以 V_F 速度运动的纤维是少数。以 V_F 运动的纤维,需克服其周围以 V_B 运动的纤维摩擦阻力,并力图带走以 V_B 运动的纤维。但在 x_0 以右,特别在牵伸罗拉附近,大多数纤维以 V_F 速度前进,而且纤维间的摩擦主要发生于以 V_B 速度前进的纤维周围。

为了简化计算,在计算总摩擦力时,除考虑摩擦力及纤维间抱合力外,略去其他任何作用力。

设 a 为一根纤维单位长度的平均表面,则在喂入罗拉与点 x_0 之间的 Δx 单元上的 $S^{(F)}$ 根纤维摩擦表面等于

$$\Delta R' = a\lambda(x)S^{(F)}(x) \cdot \Delta x \tag{8}$$

式中

$\lambda(x)$ —— x 处纤维的接触面与该处纤维全部表面的比例系数

Δx 在 x_0 右方,相应的 $S^{(B)}$ 根纤维单元摩擦表面等于

$$\Delta R'' = a\lambda(x)S^{(B)}(x) \cdot \Delta x \tag{9}$$

设 $F(x)\Delta R$ 为 x 处单元表面上的摩擦力,则在 dx 长度上的摩擦力将是:

在牵伸区左面,摩擦力

$$F(x) \cdot \Delta R' = a\lambda(x)F(x) \cdot S^{(F)}(x) \cdot dx \tag{10}$$

在牵伸区右面,摩擦力

$$F(x) \cdot \Delta R'' = a\lambda(x)F(x) \cdot S^{(B)}(x) \cdot dx \tag{11}$$

在整个牵伸区内,纤维间的摩擦力总和,即为牵伸力

$$F_D = a \int_0^{x_0} \lambda(x)F(x) \cdot S^{(F)}(x) \cdot dx + a \int_{x_0}^R \lambda(x)F(x) \cdot S^{(B)}(x) \cdot dx \tag{12}$$

代入(4),(5)式后得

$$F_D = \frac{a}{D} \int_0^{x_0} \int_{-l_m}^{x-R} \lambda(x)F(x)\varphi(s)ds dx + a \int_{x_0}^R \int_{x-R}^0 \lambda(x) \cdot F(x)\varphi(s)ds dx \tag{13}$$

上式即为从摩擦力出发导出的牵伸力公式。

其次,考虑最长纤维的被控状态,如图2所示,设 l_m 前端已进入牵伸罗拉钳口,并将以 V_F 速度运动,而其后端乃处于喂入罗拉钳口后的长度为 x_1 , x_1 长度的纤维在通过喂入罗拉时将产生滑动(否则被拉断),因此凡长度大于 R 的纤维,在牵伸过程中均会经过双重被控状态,由图知

$$x_1 = -(l_m - R) = R - l_m$$

今以 $S(O')$ 表示距喂入罗拉钳口 $R - l_m$ 处的纤维根数,即考虑了长纤维通过喂入罗拉时的滑

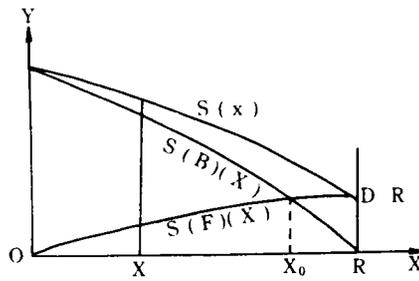


图1 x_0 的位置

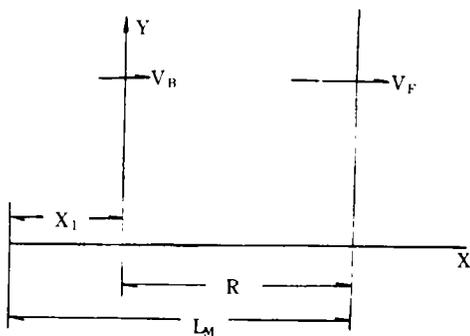


图2 最长纤维的被控情况

移,同时将 $S(O')$ 作为 $S^{(B)}(x)$ 和 $S^{(F)}(x)$ 的公因子,则

$$\left. \begin{aligned} S^{(B)}(x) &= S(O') \cdot \bar{S}^{(B)}(x) \\ S^{(F)}(x) &= S(O') \cdot \bar{S}^{(F)}(x) \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

$S(O')$ 随半制品的支数增加而减小。

2 牵伸力与纤维的摩擦性能

影响纤维摩擦性能的因素相当复杂,如纤维的长度、特数、卷曲度、方向性(羊毛逆鳞片方向的静摩擦系数为顺鳞片时的 4.7^[7]倍)、回潮率和化纤的油剂含量等。牵伸力还与半制品的结构,如纤维的开松度、平行度有关。不同的工艺参数特别是牵伸倍数,同样可使牵伸力有较大的差异。因目前在棉纺行业普遍使用天然纤维、人造纤维和合成纤维,它们的含水率差异甚大,本文仅对纤维半制品的回潮率与摩擦性能、长度以及牵伸倍数作为讨论的重点,其余有关工艺参数对牵伸力的影响将另文予以阐述。

2.1 纤维间为干摩擦时的牵伸力

纤维的种类不同,回潮率的差异甚大,所以用纤维间干摩擦与粘摩擦两种极限情况来建立数学模型,阐述牵伸力问题。

如纤维间为干摩擦时,则摩擦力可用下式表示:

$$F(x) = C_t + \mu N \quad (15)$$

式中

$F(x)$ ——纤维间单位长度上的摩擦力

C_t ——纤维间的抱合力

N ——压力

还可将(15)式写成下列形式

$$F(x) = (C_t/\mu + N)\mu = p(x) \cdot \mu \quad (16)$$

式中 $p(x)$ 等于 $(C_t/\mu) + N$ 。

结合(14)式,(12)式可写为

$$F_D = aS(O') \left\{ \int_0^{x_0} \lambda(x) p(x) \mu \bar{S}^{(F)}(x) dx + \int_{x_0}^R \lambda(x) p(x) \mu \bar{S}^{(B)}(x) \cdot dx \right\} \quad (17)$$

上式即为纤维间为干摩擦时的牵伸力理论公式,但要注意其摩擦系数实际上并非常数。式中的积分上下限均有 x_0 , x_0 是 $S^{(B)}(x)$ 和 $S^{(F)}(x)$ 相等时的根。

2.2 纤维间为粘摩擦时的牵伸力

设牵伸区中仅有 V_F, V_B 两种速度的纤维,则纤维表面的粘力可用下式表示

$$F_s = \bar{\mu} \frac{d\gamma^{[8]}}{dt} \quad (18)$$

式中

F_s ——单位表面上的粘力

$\bar{\mu}$ ——粘性系数

γ ——位移

t ——时间

$d\gamma/dt$ ——移动速度

由流体力学知,液体的移动速度等于液体流速的梯度,其方向为流层的法线方向,即

$$\frac{d\gamma}{dt} = \frac{dv}{dn} \tag{19}$$

在液体流中,是速度梯度,而在纤维流横截面中的每一点均有以 V_F, V_B 两种速度运动的纤维,所以

$$F_s = \bar{\mu} \frac{d\gamma}{dt} = (V_F - V_B) \bar{\mu} \tag{20}$$

因此,对应于(12)或(17)式,有

$$F_D = a\bar{\mu}S(O')(V_F - V_B) \left\{ \int_0^{x_0} \lambda(x) \bar{S}^{(F)}(x) dx + \int_{x_0}^R \lambda(x) \bar{S}^{(B)}(x) dx \right\} \tag{21}$$

上式即为纤维间为粘摩擦时的牵伸力理论公式。

3 牵伸力与纤维长度和牵伸倍数

由上述讨论看出,影响牵伸力的因素很多,在诸因素中首先分析纤维长度和牵伸倍数对牵伸力的影响程度问题。为此,我们假设:

- 1) 各根纤维长度相等,且等于罗拉中心距;
- 2) 纤维长度由 $0 \sim l_m$ (最长纤维),且为等概率分布。

3.1 牵伸区中各根纤维长度相等 ($L = Lm = R$)

牵伸区中任意点 x 处的纤维总量已知为(参阅图 3):

$$\begin{aligned} S(x) &= \int_{x-R}^0 \varphi(s) ds + \frac{1}{D} \int_{-l_m}^{x-R} \varphi(s) ds = \int_{x-R}^0 \varphi(s) ds + \frac{1}{D} \int_{-R}^{x-R} \varphi(s) ds \\ &= C[-(X - R)] + \frac{C}{D}[X - R + R] = CR[1 - (1 - \frac{1}{D}) \cdot \frac{x}{R}] \end{aligned} \tag{22}$$

所以 $S(O') = CR$

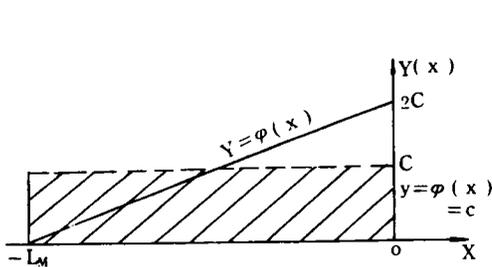


图 3 纤维长度排列模型

$$\begin{aligned} S^{(B)}(x) &= \int_{x-R}^0 \varphi(s) ds = CR - Cx \\ &= S(O')(1 - \frac{x}{R}) \end{aligned} \tag{23}$$

$$\begin{aligned} S^{(F)}(x) &= \int_{-R}^{x-R} \varphi(s) ds = \frac{C}{D}x = CR \cdot \frac{1}{D} \cdot \frac{x}{R} \\ &= S(O')(\frac{x}{DR}) \end{aligned} \tag{24}$$

如(23),(24)式中的 $x = x_0$ 时,则

$$1 - \frac{x_0}{R} = \frac{x_0}{DR}; \quad x_0 = \frac{D}{D+1}R \tag{25}$$

上式的 R 值为常数,所以 x_0 随牵伸倍数 D 而变化。因此,纤维间为干摩擦时的牵伸力公式为

$$F_D = aS(O') \left\{ \frac{1}{D} \int_0^{\frac{D}{D+1}R} \lambda(x)p(x)\mu \frac{x}{R} dx + \int_{\frac{D}{D+1}R}^R \lambda(x)p(x)\mu \left(1 - \frac{x}{R}\right) dx \right\} \quad (26)$$

为了获得上式的近似值,将 $\lambda(x)$, $p(x)$, μ 分别以平均值 $\bar{\lambda}$ \bar{p} $\bar{\mu}$ 表示,并令 $\xi = x/R$,则 $d\xi = dx/R$,因而牵伸力公式变为

$$\begin{aligned} F_D &= a \bar{\mu}' \bar{\lambda} \bar{p} S(O') R \left\{ \frac{1}{D} \int_0^{\frac{D}{D+1}R} \xi d\xi + \int_{\frac{D}{D+1}R}^1 (1 - \xi) d\xi \right\} \\ &= a \prod_R \left\{ \frac{1}{2D} \left(\frac{D}{D+1} \right)^2 + \left(1 - \frac{D}{D+1} \right) - \frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{D}{D+1} \right)^2 \right] \right\} \\ &= a \prod_R \left\{ \frac{D + 2(D+1) - [(D+1)^2 - D^2]}{2(D+1)^2} \right\} \\ &= \frac{1}{2} a \bar{\lambda} \bar{p} \bar{\mu}' S(O') \cdot R \frac{1}{D+1} \end{aligned} \quad (27)$$

上式 R 为定值,当 $D = 1$ 时, F_D 有最大值,随着 D 值的加大, F_D 逐渐减小,曲线如图4(a)所示。

当纤维间为粘摩擦时,有相应的 F_D 公式:

$$\begin{aligned} F_D &= a \bar{\mu} \bar{\lambda} S(O') R (V_F - V_B) \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{1}{D+1} \right) \\ &= a \bar{\mu} \bar{\lambda} S(O') R \frac{V_F}{2} \left(1 - \frac{1}{D} \right) \left(\frac{1}{D+1} \right) \end{aligned} \quad (28)$$

其曲线如图4的(c)所示。

3.2 牵伸区中纤维长度不等,由0到 l_m ,且为等概率分布

这时纤维排列图的方程可算得为

$$y = \varphi(x) = \frac{2C}{R} (x + R) \quad (R \leq x \leq 0) \quad (29)$$

因此

$$\begin{aligned} S(x) &= \int_{x-R}^0 \varphi(s) ds + \frac{1}{D} \int_{-R}^{x-R} \varphi(s) ds \\ &= \frac{2C}{R} \int_{x-R}^0 (x+R) dx + \frac{1}{D} \cdot \frac{2C}{R} \int_{-R}^{x-R} (x+R) \cdot dx \\ &= \frac{2C}{R} \left(\int_{x-R}^0 x dx + R \int_{x-R}^0 dx \right) + \frac{2C}{R} \left(\int_{-R}^{x-R} x dx + R \int_{-R}^{x-R} dx \right) \\ &= \frac{2C}{R} \left(-\frac{x^2}{2} - \frac{R^2}{2} + R^2 \right) + \frac{Cx^2}{DR} = CR \left[1 - \frac{x^2}{R^2} \left(1 - \frac{1}{D} \right) \right] \end{aligned} \quad (30)$$

$$S(O') = CR$$

$$\text{所以} \quad S^{(F)}(x) = S(O') \left(1 - \frac{x^2}{R^2} \right) \quad (31)$$

$$S^{(B)}(x) = S(O') \frac{1}{D} \left(\frac{x^2}{R^2} \right) \quad (32)$$

x_0 可由下式得出

$$1 - \frac{x^2}{R^2} = \frac{1}{D} \left(\frac{x^2}{R^2} \right); \quad x_0 = R \sqrt{\frac{D}{D+1}} \quad (33)$$

因此,纤维间符合干摩擦时的牵伸力公式是

$$\begin{aligned} F_D &= a \bar{\mu}' \bar{\lambda} \bar{p} S(O') R \left\{ \frac{1}{D} \int_0^{\sqrt{\frac{D}{D+1}}} \xi^2 d\xi + \int_{\sqrt{\frac{D}{D+1}}}^1 (1 - \xi^2) d\xi \right\} \\ &= a \Pi_R \left\{ \frac{1}{3D} \left[\sqrt{\frac{D}{D+1}} \right]^3 + \left[1 - \sqrt{\frac{D}{D+1}} \right] - \frac{1}{3} \left[1 - \left[\sqrt{\frac{D}{D+1}} \right]^3 \right] \right\} \\ &= a \Pi_R \left\{ \left(\frac{D}{D+1} \right)^{1/2} \left[\frac{1}{3(D+1)} - 1 + \frac{1}{3} \left(\frac{D}{D+1} \right) \right] + \frac{2}{3} \right\} \\ &= a \Pi_R \left\{ \frac{2}{3} \left[1 - \left(\frac{D}{D+1} \right)^{1/2} \right] \right\} \\ &= \frac{2}{3} a \bar{\lambda} \bar{p} \bar{\mu}' S(O') R \left[1 - \sqrt{\frac{D}{D+1}} \right] \quad (34) \end{aligned}$$

其曲线如图 4 中的 (b) 所示

如纤维间为粘摩擦时的牵伸力公式相应为

$$F_D = \frac{2}{3} a \bar{\lambda} \bar{\mu} S(O') V_F R \left(1 - \frac{1}{D} \right) \left[1 - \sqrt{\frac{D}{D+1}} \right] \quad (35)$$

曲线如图 4 中的(d)所示。曲线(e)为实验曲线^[9],用作与理论曲线(a)~(d)作比较。(曲线(e)的实验条件:半制品为0.28'棉条;纤维品质长度31.5mm;R=41mm;D=1.2~10倍)对图4中的各曲线可作如下几点分析:

1) 虽然曲线(a)~(d)的立论不同,但其走向彼此十分接近,可见,纤维的长度对牵伸力的影响并不如通常所说的那样显著;

2) 在 D = 1 ~ 1.3 范围内,曲线(e)与(c),(d)的走向拟合得很好,从 D ≈ 1.75 开始,曲线(e)又与(a),(b)走向相似,但波动性较大。可以认为,当 1 ≤ D < 1.3 时,牵伸力可按纤维间粘摩擦的规律来说明,在牵伸倍数 D > 1.75 时,牵伸力可按纤维间干摩擦的规律来解释;

3) 曲线(e)在 1.3 < D < 1.75 之间,牵伸力均不遵循干、粘摩擦规律,在此区间牵伸力不仅达极大值,而且波动很大^[9],这一区间我们可称之为牵伸力最大时的牵伸力不稳定区;

4) 纤维间为粘性摩擦时,当 D = 1,牵伸

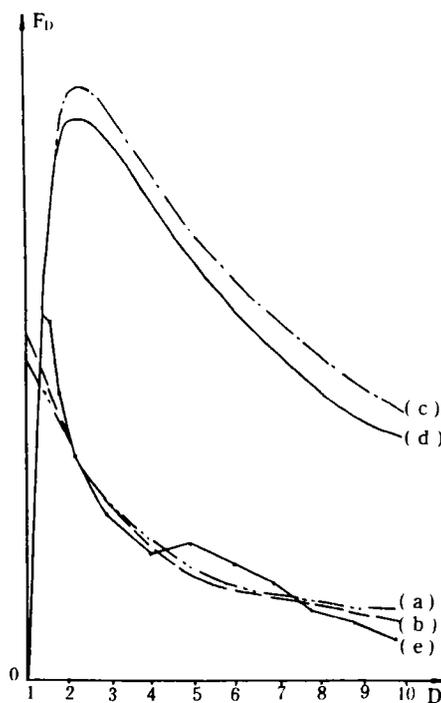


图 4 牵伸曲线
(a) 干 L = R (b) 干 L = 0 ~ l_m
(c) 粘 L = R (d) 粘 L = 0 ~ l_m

力为零,这时的所谓“牵伸”表现为纤维得到伸直,整个半制品的结构完整,纤维头端之间并未产生位移的缘故;

5) 由于喂入牵伸区的半制品的均匀度和纤维接触的随机性等原因,所有纤维并非一次性同步地变速,有些纤维可能有几次变速的反复,于是产生了牵伸力不稳定区。随着牵伸倍数逐渐加大,牵伸力下降,下降速度是先快后慢,待牵伸倍数达某一值后,牵伸力出现平稳递降过程;

6) 曲线(a),(b)牵伸力最大时的牵伸倍数均等于1. 而曲线(c),(d)牵伸力最大时的牵伸倍数,可由下法求得:令

$$\frac{d}{dD}F_D = 0$$

对曲线(c)而言:

$$\frac{d}{dD}[(1 - \frac{1}{D})(\frac{1}{D+1})] = 0$$

$$D = 1 + \sqrt{2} = 1.4142 \text{ 倍}$$

对曲线(d)而言

$$\frac{d}{dD}[(1 - \frac{1}{D})(1 - \sqrt{\frac{D}{D+1}})] = 0$$

$$D = 2.305 \text{ 倍}$$

即纤维间符合粘摩擦时,牵伸力最大时所对应的牵伸倍数要大于干摩擦;

7) 如上所述,纤维的变速过程,即由静态到动态,牵伸倍数客观上有一个范围,在此区间有两个特点,一是牵伸力达最大值,二是牵伸力波动较大。牵伸力最大时所对应的牵伸倍数称为“临界牵伸” D_c , D_c 值的大小与加工的纤维种类、半制品定量、纤维弹性与伸直平行度等因素有关。一般纺纯棉时在1.2(粗纱)~1.3(棉条)之间。纺毛与亚麻时分别在1.5和1.4左右。

临界牵伸即使在纺同一原料时,也有一个幅度,如图5所示:设 x_n, x_m 两根直线代表纤维间未产生位移条件下牵伸力变化的范围, aa', bb' 代表纤维间已产生位移条件下牵伸力的变化范围。如 D 由1增至 D_{1c} ,一般地,牵伸力的差异为 cc' ,如 D 增至 D_{2c} ,牵伸力则在 ee' 间变化。阴影部分的面积即为牵伸力的波动范围,与之对应的 D_c 值,其变化范围为 $(D_{2c} - D_{1c})$,可见, D_c 值的大小,与牵伸力值和牵伸力的变化幅度有关。幅度越大,对产品质量越不利。所以

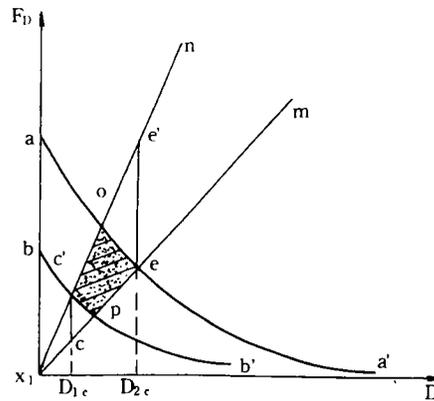


图5 临界牵伸变化区

所以在选用工作牵伸倍数时,最好要避开临界牵伸倍数。即 $D_1 \geq D_c$,二者相差大一些,对产品质量有好处。例如 Rieter F1/1 a 粗纱机的后区牵伸倍数为1.075,1.1倍;Zinser 720 并条机二并的后区牵伸倍数为1.08倍^[11]等。国内纺织纤维时,常将细纱的后区牵伸选在1.1倍左右。尚有研究^[12]表明,在后区采用较小的牵伸倍数(其目的之一也就是尽量使 D_1 远离 D_c),

而把牵伸大部集中到主牵伸区,这对提高成纱条干特别有利。

4 小 结

1) 在假定纤维等长度和不等长度条件下,求得牵伸力之间的差异很小,因此纤维长度对牵伸力的影响并不显著。

2) 当纤维材料的其他性能不变,回潮率大小对牵伸力的影响比较明显,不同的回潮率,在同一牵伸倍数时的牵伸力差异较大。

3) 分析表明,当牵伸倍数小于 1.3 倍时,纤维间的摩擦性能符合粘摩擦定律,在牵伸倍数大于 1.7 倍时,纤维间的摩擦性能符合干摩擦定律。实验指出牵伸倍数在 1.3~1.75 倍之间时,不仅牵伸力达最大值,且其波动幅度也较大,临界牵伸一般就处于这个波动区内,在选用工作牵伸倍数时,一定要尽量避开临界牵伸。临界牵伸不是某固定值,而是一个区间。在决定纺纱工艺时,后区的工作牵伸倍数应小于 1.3 倍,方能保证成纱质量。对具有某种特定的附加摩擦力界的后区牵伸机构,如 INA 牵伸,其后区牵伸倍数可以大于 1.3 倍,但国内大量实践表明也不应超过 1.5 倍,否则会恶化成纱条干。(续)

参 考 文 献

- 1 Hannah M. J T I,1950,41 T. 57
- 2 Cavaney B,Foster G A R. J T I,1954,45 T. 390
- 3 Taylor D S. J T I,1954,45 T. 310; 1955,46:59; 1957,48 T. 466
- 4 С С Ковнер. Математические Методы исследования Деформации Волокна В Процессе Вытягивания,1957
- 5 石川章一,清水二郎. ドラフトカについて(I) 纤维学志,16,6
- 6 清水二郎. ドラフトカによる"スライベむら"の検出について 纤维机械学会志,12,12
- 7 Morton and Hearle. Physical Properties of Textile Fibres Chp24,1962
- 8 郑洽余,鲁仲琪. 流体力学. 机械工业出版社,1979
- 9 А Г Севостьянов и Б. к. Кучеров. техс пром,1954,9
- 10 В Е Зотиков,И В удников,И П трыков. Основы прядения Волокнистых Материалов,1959
- 11 棉纺引进设备学术讨论会论文选辑. 中国纺织学会编. 1983
- 12 刘国涛. 论提高粗纱牵伸质量问题(I). 无锡轻工业学院学报,1992,(2)

The Problem of Drafting Force (I)

Liu Guotao

(Dept. of Textile Eng.)

Abstract Thorough the mathematical analysis,the relations of the fiber frictional property,drafting ratio and drafting force are discussed. The concept of "critical drafting scope" is also cited.

Key-words Drafting force; Fiber frictional property; Critical draft; Drafting ratio