

平面卷曲纤维伸展时负荷与 卷曲率之间的关系

陈运能

(纺织服装学院)

摘要 建立了纤维平面圆弧卷曲模型,并以曲杆弯曲时弯矩-曲率方程为基础,推导出了平面卷曲纤维负荷-卷曲率理论关系式。通过实验验证,证明该模型及所建立的理论关系式在一定范围内与实测结果相符性良好。还对影响纤维伸展过程的因素等进行了分析讨论。

主题词 纤维;负荷-卷曲度;影响因素

中图分类号 TS101.721.4

0 前言

纤维卷曲影响纤维抱合力,它对成纱风格也有一定影响。在纱线加工与使用时,纤维卷曲的作用与它在外力作用下的行为有关。为了合理设计和使用纤维的卷曲性质,对纤维卷曲的力学特性,进而对卷曲在纤网、条子及成纱中的作用机理进行研究是必要的。

化学纤维(尤其合成纤维)卷曲常采用填塞箱法,由此获得的纤维一般只有平面卷曲。对这种纤维多用弯折线模拟^[1,2],并由此定出卷曲特征指标。作者则采用一种圆弧线模拟方法,与原有方法相比,它具有便于进行力学分析的特点。

1 模型建立

1.1 假设条件

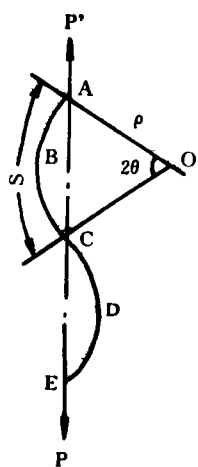
对卷曲纤维进行力学分析时,作出以下假设:

- 1) 纤维卷曲为平面卷曲;
- 2) 纤维卷曲是均匀的,卷曲波大小相同,纤维上不存在非卷曲区;
- 3) 假定开始时卷曲波都是圆弧,卷曲伸展后仍为圆弧;
- 4) 在整个卷曲伸展过程中纤维的一些力学性质(如抗弯刚度、弹性模量)不变;
- 5) 纤维在小负荷下可忽略纤维本身的伸长和剪切应力的影响。

1.2 理论推导

如图1,在以上假设条件下,卷曲纤维可用一组相同的圆弧连接表示。取卷曲弧单元

收稿日期:1995-09-08



$\overline{ABC}$ 和 $\overline{CDE}$, 假定卷圆弧曲率半径为 ρ , 卷圆弧对应圆心角为 2θ , 在卷圆弧两端施加拉力 P , 那么, 在小负荷下可将卷曲伸展过程看作曲杆弯曲问题, 则有^[3]

$$1/\rho - 1/\rho_0 = M/(EJ) \quad (1)$$

式中 ρ_0 为卷圆弧初始曲率半径; ρ 为卷圆弧伸展后曲率半径; M 为外加弯矩; EJ 为纤维抗弯刚度。若弯矩以使曲率增加方向为正, 减小方向为负, 那么外力 P 对卷圆弧 ABC 中 B 点产生的弯矩为

$$M = -P \cdot (\rho - \rho \cos \theta) = -P \cdot \rho (1 - \cos \theta) \quad (2)$$

假定单个卷圆弧长度为 S , 则 $\theta = S/(2\rho)$, 当此值较小时, $\cos \theta$ 可近似作 $\cos \theta \approx 1 - (S^2/8\rho^2)$ 代入式(2)中, 则得

$$M = -(P \cdot S^2/8\rho) \quad (3)$$

将式(3)代入式(1), 整理后得

$$\rho = \rho_0 \left(1 + \frac{P \cdot S^2}{8EJ} \right) \quad (4)$$

图1 平面卷曲圆弧模型

在初始卷曲时, 单个卷圆弧在纤维轴方向上的投影长度 $L_0 = 2\rho_0$

$\sin S/(2\rho_0)$ 。当 $\theta = S/(2\rho_0)$ 较小时, $\sin \theta$ 可近似作

$$\sin \theta \doteq \frac{S}{2\rho_0} - \frac{(S/2\rho_0)^3}{3!} = \frac{S}{2\rho_0} - \frac{S^3}{48\rho_0^3}$$

$$L_0 = S - S^3/(24\rho_0^2)$$

$$\rho_0 = \sqrt{\frac{S^3}{24(S - L_0)}} \quad (5)$$

同理, 当纤维受力 P 作用伸展时单个卷圆弧的投影长度也可近似作

$$L = S - S^3/(24\rho^2) \quad (6)$$

将式(5)代入式(4)得

$$\rho = \frac{S}{2} \cdot \sqrt{\frac{S}{6(S - L_0)}} \cdot \left(1 + \frac{P \cdot S^2}{8EJ} \right)$$

令 $(S - L_0)/S = \eta_0$, 则

$$\rho = \frac{S}{2} \cdot \sqrt{\frac{1}{6\eta_0}} \cdot \left(1 + \frac{PS^2}{8EJ} \right) \quad (7)$$

式(7)代入式(6), 整理后得

$$L = S - \frac{S \cdot \eta_0}{[1 + P \cdot S^2/(8EJ)]^2} \quad (8)$$

若被测纤维上有几个相同的卷圆弧, 则纤维卷曲率为

$$\eta = \frac{n(S - L)}{n \cdot S} = \frac{S - L}{S} = \frac{\eta_0}{[1 + P \cdot S^2/(8EJ)]^2} \quad (9)$$

则

$$P = \frac{8EJ}{S^2} \cdot (\sqrt{\eta_0/\eta} - 1) \quad (10)$$

在圆弧、均匀卷曲假设条件下, 式(10)中卷圆弧长度 S 与卷曲数 n_0 (个/cm) 有关, $n_0 = 1/S$; 因此, 式(10)又可写成

$$P = 8EJn_0^2(\sqrt{\eta_0/\eta} - 1) \quad (11)$$

式(10),(11)即反映了平面卷曲纤维卷曲伸展过程中负荷与纤维卷曲状态(卷曲度)间的关系。

2 试验结果

在温度 14.5℃,相对湿度 66%大气条件下,对两种规格涤纶纤维卷曲伸展试验的部分结果如图 2,3 所示,所测两种纤维有关性质如表 1。卷曲测定在 YG361 型卷曲弹性测定仪上进行。试样经过测试环境充分平衡,并对被测纤维作了适当选择,以使纤维尽量具有规整和均匀的卷曲,非卷曲区尽量少。为了除去纤维小皱曲,开始测定时施加了 1~3mg 的轻负荷。

表 1 两种涤纶纤维的主要规格特征

试 样	规 格 (dtex×mm)	实测细度 (dtex)	实测初始模量 (cN/dtex)
仪化公司涤纶	1.56×38	1.56	30.3
辽化一厂涤纶	2.78×65	2.68	19.7

对所测结果进行回归分析,可得出两种涤纶纤维卷曲伸展时的回归曲线方程及相关系数,其中回归曲线数组容量 $n = 14$,回归曲线与实测结果如图 2,3 所示。

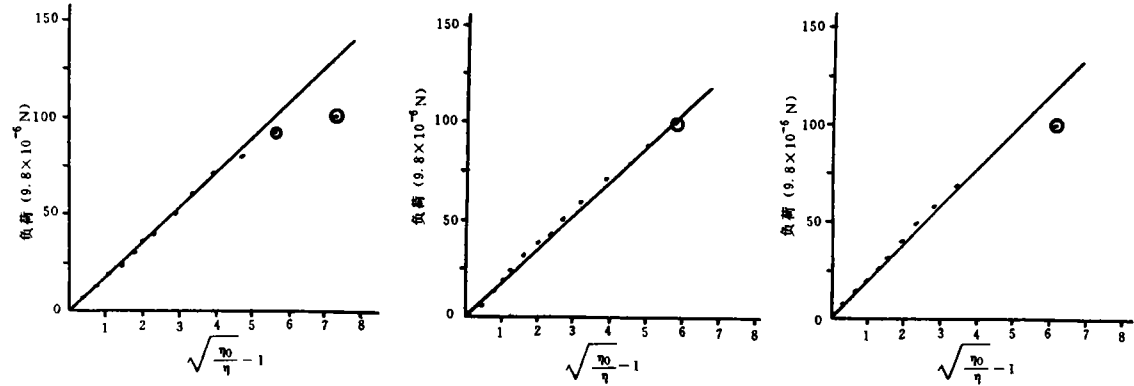


图 2 棉型涤纶纤维负荷 - 卷曲度关系曲线

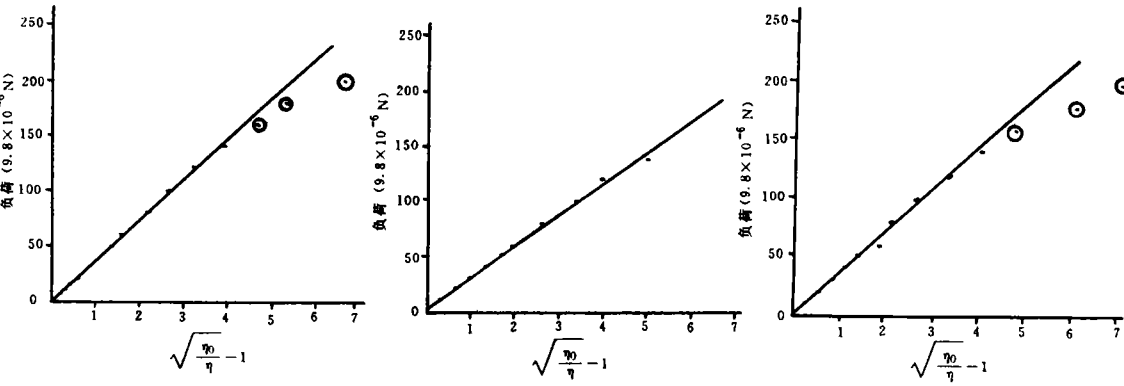


图 3 中长涤纶纤维负荷 - 卷曲度关系曲线

仪化公司棉型涤纶 图 2(a) 回归方程 $P = 14.16(\sqrt{21.64/\eta} - 1) + 1.958$, 相关系数 $\gamma = 0.9971$; (b) $P = 17.90(\sqrt{21.99/\eta} - 1) + 0.03716$, $\gamma = 0.9989$; (c) $P =$

$$18.04(\sqrt{21.10/\eta} - 1) + 0.4862, \gamma = 0.9981$$

辽化一厂中长涤纶 图 3(a) $P = 36.38(\sqrt{22.64/\eta} - 1) + 1.890, \gamma = 0.9983$;
(b) $P = 28.97(\sqrt{27.45/\eta} - 1) + 2.956, \gamma = 0.9988$; (c) $P = 32.80(\sqrt{18.1/\eta} - 1) + 2.778, \gamma = 0.9915$

3 分析与讨论

3.1 试验结果分析

以上实测结果回归方程可写成

$$P - B = A \cdot (\sqrt{\frac{\eta_0}{\eta}} - 1)$$

其中, A, B 为常数。在所测纤维中, B 值范围为 $0.4 \sim 3.0$, 这与试验时纤维的预加轻负荷有关。

从试验结果可得出, 在纤维负荷约 $0 \sim 0.049 \text{ cN/dtex}$ 范围内, 纤维卷曲伸展负荷(P)与纤维卷曲率(η)之间显著相关。以上负荷范围大体相当于将纤维由初始拉直到剩下原卷曲的 $3.0\% \sim 3.5\%$ 左右(重负荷(cN) = 纤维名义纤度(dtex) $\times 0.0009$)。这表明, 在纤维伸展过程中, 平面圆弧卷曲模型假设条件下推导的伸展负荷和纤维卷曲度之间的理论关系式和填塞箱法涤纶卷曲纤维卷曲伸展过程相符很好。理论关系式在卷曲伸展的较宽范围里能够较好地反映卷曲纤维受外力作用时的伸展过程。

当负荷较大时, 实验结果和理论值间出现了较大偏差, 而且两者差距随负荷增大而加剧, 如图 2, 3 所示。其主要原因在于所建立的模型本身有一定的适应范围, 即当

$$\eta \rightarrow 0 \text{ 时, } \sqrt{\eta_0/\eta} - 1 \rightarrow +\infty$$

除此之外, 负荷较大时, 纤维本身已出现较大伸长, 这也是产生偏差的重要原因。

3.2 影响纤维卷曲伸展的因素

从建立的平面卷曲伸展力学模型可知, 纤维卷曲伸展主要和以下因素有关。

3.2.1 纤维截面惯性矩(J) J 是影响纤维抗弯刚度的重要因素, 它取决于纤维细度和纤维截面形状。 J 较大的纤维抗弯刚度高, 纤维弯曲困难, 卷曲伸展时需要较大的力, 不易弯曲伸直。所以, 纤维较粗, J 大的纤维有利于卷曲保持和增强纤维抱合。

3.2.2 拉伸模量(E) 纤维卷曲伸展过程实质上如曲杆弯曲过程, 纤维弯曲时的模量实际上是拉伸和压缩模量的综合。模量大的纤维, 抗弯刚度高, 卷曲不易伸直。因此, 纤维卷曲伸展曲线与纤维品种有关。

3.2.3 卷曲数(n_0) 合成纤维初始卷曲状态是在纤维生产过程中形成的。式(10)中的 S 或式(11)中的 n_0 和 η_0 都反映了纤维的初始卷曲状态。由式(11)可知, 在 η_0 不变情况下, n_0 高的纤维由于其卷曲弧曲率半径小, 卷曲弧长度短, 使纤维卷曲伸展的负荷就大, 表明纤维卷曲较难伸直, 容易保持, 有利于纤维抱合、蓬松。反之, 则纤维卷曲易伸展消失, 对发挥卷曲作用不利。

3.2.4 纤维初始卷曲率(η_0) 由于圆弧假设下卷曲率是圆心角的函数, $\eta = 1 - (\sin\theta/\theta)$, 因此, η_0 事实上反映了卷曲弧初始圆心角(θ_0) (与卷曲波形有关) 对卷曲伸展的影响。由式(11)可知, η_0 高的纤维使卷曲伸展所需负荷较大, 所以提高纤维卷曲程度, 即加大 θ_0 , 使卷曲波加深, 在其它条件不变时可以提高卷曲保持和纤维抱合能力。

3.3 卷曲纤维的抗弯刚度

由纤维卷曲伸展负荷——卷曲率曲线回归系数(A)依据式(11)计算得到的部分被测两种涤纶的抗弯刚度值如表2所示。由式(11)可知,如果纤维卷曲足够均匀规则,且假定纤维抗弯刚度在所产生变形范围内较稳定的话,则理论上可按此方法测出卷曲纤维的抗弯刚度,但尚需进一步实验验证。

表 2 两种涤纶纤维的抗弯刚度

试样及序号	n_0 (个/cm)	A	实测	$EJ(10^{-5}N \cdot mm^2)$		
				平均	均方差	变异系数(%)
仪化棉型涤纶	1	5.81	14.16	5.24	6.57	1.19
	2	5.26	18.96	8.56		
	3	5.68	17.90	6.93		
	4	6.62	19.18	5.47		
	5	5.81	18.04	6.67		
辽化一厂中长涤纶	1	5.00	36.14	18.10	14.80	3.10
	2	4.81	26.57	14.40		
	3	5.32	36.38	16.10		
	4	6.21	30.33	9.83		
	5	4.78	28.97	15.80		

4 结 论

- 1) 从对纤维受力伸展特性的分析结果看,文中所建立的平面卷曲模型及其负荷——卷曲率理论关系式与填塞箱法涤纶卷曲纤维的实测结果基本相符。
- 2) 由建立的卷曲伸展力学模型和实验结果得知,纤维卷曲伸展过程主要受4个因素——截面惯性矩(J)、拉伸模量(E)、卷曲数(n_0)和初始卷曲率(η_0)的影响。因此,在纤维品种、纤维细度和截面形态已确定的情况下,卷曲率和卷曲数不同的纤维具有不同的卷曲保持和抱合能力。
- 3) 对卷曲伸展方法测得卷曲纤维的抗弯刚度还需进一步研究。

参 考 文 献

- 1 余振浩. 合成纤维卷曲的理论与实践. 纺织工业出版社,1982
- 2 (美国)Ominicon 3600 纤维分析系统说明书
- 3 М. М. филюпенко-бордич,陶学文译. 材料力学教程(第二卷). 高等教育出版社,1965

Relationship Between Tension and Crimpness for Plane Crimped Fibre

Chen Yunnan

(Inst. of Textile & Costume)

Abstract Unter the supposition of a fibre having plane and circular arc crimp. A relationship between tension and crimpness for plane crimped fibre is derived from the equation of bending moment and currature of the pole when a winding pole is bent. Some polyester staple fibres which crimped with mechanical extrusion method, is used to demonstrate the relationship. Some factors influence the fibre straighten are analysed.

Subject-words Fibers; Loads-crimpiness; Influencing factors