

# 长丝纱线弹性综合测定

王 文 臣

(天津纺织工学院)

**【提要】** 本文主要说明长丝纱线弹性综合测定的原理和用长丝纱线弹性摩擦系数测试仪进行定延伸率重复测试的方法。弹性的综合测试与剩余伸长、张力和延伸率有关；延伸率与张力有弹性模量关系，又与剩余伸长有弹性回复关系；定延伸率、剩余伸长和张力三者在重复拉伸过程中有弹性性能关系。利用这些关系，可以鉴别长丝纱线的质量和差别。

弹性综合测试方法的特点是：在定延伸率的情况下重复拉伸、回复，同时检测张力和剩余伸长的数值，目的是选择适当的延伸率使剩余伸长最小，甚至为零，从而确定最佳张力。张力值可作为制订工艺流程和保证织物良好性能的参考数据，这些数据还反映长丝纱线的耐疲劳性。检测方法如下。

长(厘米)； $t$  为用记录纸格数  $n$  表示的时间。

## 一、测试方法

取 2.5 米长的长丝纱线，接成线圈，如图 1 所示套在测试机上。

1.  $n_1$  与  $n_2$  表示两个主动辊的转速。 $n_2$  与  $n_1$  的转速比确定延伸率  $\varepsilon$ ：

$$\varepsilon = [(n_2/n_1) - 1] \times 100\% \quad (1)$$

2. A、B、C、D 四点分别在四个加压辊上，其中，BH、C 长度为一米。被测长丝纱线循环绕过这段区间时，总是按延伸率  $\varepsilon$  伸长，故为定延伸率反复拉伸。长丝纱线从 C 到 D 的长度为 0.25 米，在此段保持伸长状态。DH<sub>1</sub>A 长度为一米，长丝纱线在此区间为弹性回复阶段。长丝纱线从 A 到 B 长度为 0.25 米，在此段保持回复后状态。图上箭头表示循环转动方向，H<sub>2</sub> 是张力传感器，用以检测线圈被拉伸部分的张力。H<sub>1</sub> 为测伸长传感器，用以检测线圈回复阶段的剩余伸长。P 为较小的预张力。将所测张力值和剩余伸长值记录成曲线，如图 2 所示。图中 P 为张力(克力)； $\Delta L$  为剩余伸

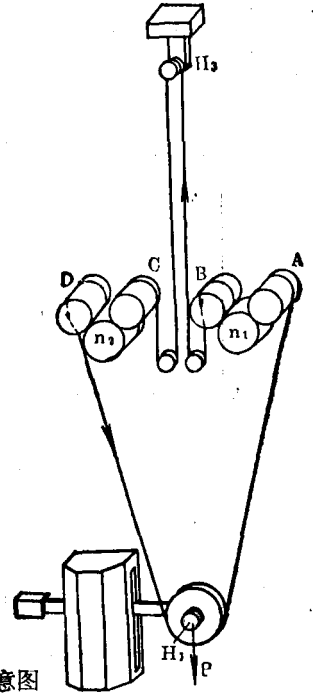


图 1 测试机示意图

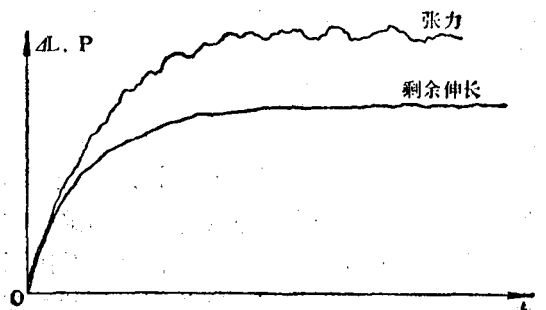


图 2 张力、剩余伸长曲线

## 二、曲线分析

检测长丝纱线张力与剩余伸长的记录曲线，是计算弹性模量、弹性回复与消耗功的根据，剩余伸长曲线尤为重要。图3中取三种不同长丝纱线的剩余伸长记录曲线，它们的共同特点是：曲线都是单增函数，而且一般都是有极限的。长丝纱线在循环测试过程中，总应变逐渐增加而趋近常数，剩余变形增量逐渐减小而趋近于零。当被测长丝纱线的弹性质量很差时，曲线是发散的，剩余变形增量逐渐增大或等于常数，如图3曲线C所示。形成这种曲线的长丝纱线已没有讨论的必要。以下只讨论图3中a、b两种剩余伸长曲线。

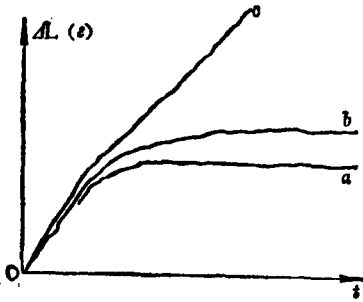


图3 三种不同剩余伸长曲线

### 1. 弹性模量关系

长丝纱线在测试过程中张力是比较平稳的，而且循环连续动态测试的张力大小接近，故取张力平均值，以 $\bar{P}$ 表示。 $\bar{P}$ 与延伸率 $\epsilon$ 具有弹性模量关系。初始弹性模量 $E$ 可用下式表示。

$$E = \bar{P} / \epsilon D \text{ (克力/旦)} \quad (2)$$

式中： $D$ 为长丝纤度(旦)， $\epsilon = 0.01$ 。

在材料、条件(温湿度)相同的情况下，我们对两种长丝，分别用本文介绍的测试机和金山涤纶厂试验室的动态张力仪进行对比测试，所得数值基本相似。现将测得的数据列于表1。

### 2. 弹性回复关系

表1 两种不同测试方法测得的数值对比

延伸率 ( $\epsilon$ )		1%	2%	3%	4%	5%
150旦	$\bar{P}$	TD 152.0	230	310	370	425
		EF 151.6	226	302	373.8	0
涤纶丝	$E$	TD 101.33	76.67	68.89	61.67	
		EF 101.08	75.34	67.15	62.3	
160旦	$\bar{P}$	TD 30.25	63.00	104.50	430.5	154
		EF 30.23	63.33	102.17	133.6	152.34
涤纶	$E$	TD 18.91	19.69	21.77	20.39	19.25
		EF 18.89	19.79	21.29	22.26	19.04

注：EF表示本文介绍的测试方法；  
TD表示金山涤纶厂试验室测试仪。

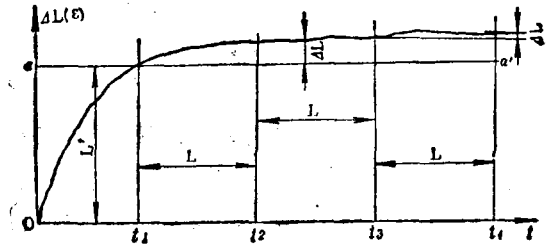


图4 弹性回复分析

为了检测弹性回复率，对剩余伸长曲线作如下分析。图4中以记录纸格数表示时间 $t$ ，而 $t$ 又表示 $n_1$ 辊所通过的长丝纱线长度 $L$ 。

$$L = (v_1 / v_2) \times n \text{ (厘米)} \quad (3)$$

式中： $v_1$ ——纱线速度(厘米/秒)；

$v_2$ ——记录纸速度(格/秒)；

$n$ ——记录纸格数。

在测试过程中一般取 $t_1 \sim t_2 \sim t_3 \sim t_4$ 各段间的距离为 $L = 10$ 米的时间间隔。 $t_1$ 点位置是 $a-a'$ 线与记录曲线的交点。 $a-a'$ 线与横坐标 $ot$ 平行，两线间的距离 $L'$ 应该是：

$$L' = 1.25\epsilon / (1 - \epsilon) \text{ (米)} \quad (4)$$

式中1.25为 $BH_3CD$ 间的线长。在这段线长中既包括通过 $n_1$ 辊的长度 $L'' = 1.25 - L'$ ，也包括按延伸率拉伸的长度 $L'$ 。所以，被测长丝纱线的2.5米长线圈在 $n_1 \sim n_2$ 间牵伸作用下长出了 $L'$ (这是理论上分析 $a-a'$ 线的位置，实际测量时，取 $0-t$ 为5米线长的距离

即可)。a—a' 线以上至曲线的垂直距离为剩余伸长  $\Delta L$ 。实际检测时只要量取  $t_1 \sim t_2, t_3 \sim t_4, \dots$  各点至曲线的垂直坐标差即为  $\Delta L$ 。 $\Delta L$  与  $\epsilon$  则为弹性回复关系。计算弹性回复率 R 的公式是：

$$R = [1 - (v_2 \Delta L / v_1 n \epsilon)] \times 100\% \quad (5)$$

式中： $v_1, v_2, \epsilon, n$  均为仪器给定的常数。如  $L = 10$  米， $\epsilon = 0.03$ ，则计算公式为：

$$R = [1 - (\Delta L / 30)] \times 100\% \quad (6)$$

用公式(6)计算比较方便。通过本文方法与金山涤纶厂纱线电子强力机以及国产纱线强力机检测所得数据基本近似，数据如表 2 所示。

根据公式(2)、(6)对几种长丝进行测试的结果列于表 3。

表 2 不同试验方法测得的弹性回复率

材 料	涤纶丝 150 旦	涤纶变形丝 160 旦	涤纶丝 60 旦	涤纶丝 45 旦	涤纶变形丝 135 旦
本文测试方法(%)	95.2	91.0	96.3	93.5	90.83
金山电子强力机(%)	94.9	90.6	—	—	—
国产强力机(%)	—	—	97.2	92.5	89.6

注：延伸率  $\epsilon = 3\%$ 。

表 3 不同长丝的弹性回复率和初始模量

材 料	锦纶丝 120 旦	涤纶丝 150 旦	强力涤纶 50 旦	日 本 涤纶丝 50 旦	美 国 涤纶 变形丝 150 旦	瑞 士 涤纶 变形丝 150 旦	丙 纶 变形丝 70 旦	涤 纶 变形丝 135 旦	涤 纶 变形丝 120 旦
弹性回复率(%) ( $\epsilon = 3\%$ )	98.46	95.2	99.45	98.12	93.3	89.68	91	92.94	94.31
初始模量( $\epsilon = 1\%$ )	23.6	101.74	153.74	99.26	21.7	9.1	36.57	18.54	18.8

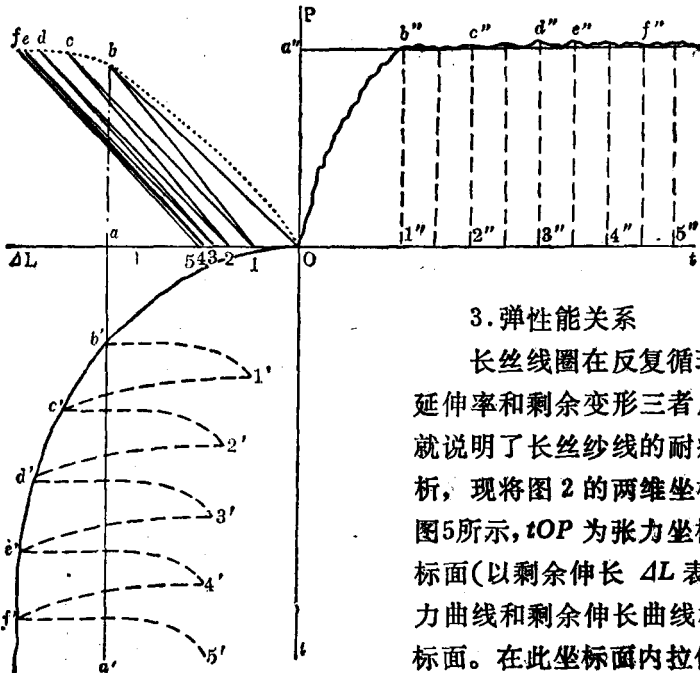


图 5 时间、张力、伸长三维曲线

### 3. 弹性能关系

长丝线圈在反复循环拉伸过程中，张力、延伸率和剩余变形三者反映了功能关系，也就说明了长丝纱线的耐疲劳性。为了便于分析，现将图 2 的两维坐标改为三维坐标。如图 5 所示， $tOP$  为张力坐标面， $tO\Delta L$  为应变坐标面（以剩余伸长  $\Delta L$  表示）， $PO\Delta L$  则为张力曲线和剩余伸长曲线相对应的拉伸曲线坐标面。在此坐标面内拉伸曲线与  $O\Delta L$  坐标轴所包围的面积，即拉伸功。但是，这条拉伸曲线不同于单根长丝在强力机上试验时的拉

伸曲线,因为这是往复循环测试的记录曲线,是最大值的网络线。为了说明这个问题,取被测线圈中的任一小段,这一小段在测试过程中反复拉伸、回复,它的张力变化是间断的,如图5中 $tOP$ 面内虚线所示的状态。该小段的变形与脉冲相似,如 $O_t\Delta L$ 面内虚线所示。张力与变形的变化周期是相同的,间隔时间是2.5米线圈通过 $n_1$ 的时间。在每个周期内该小段的最大张力点 $b''\sim f''$ 和最大变形点 $b'\sim f'$ ,分别向 $PO\Delta L$ 面内对应,则得 $b\sim f$ 点。圆滑连接 $O, b\sim f$ 点,则得拉伸曲线。因为,每个周期均有 $L'$ ( $BH_3CD$ 间)的定值伸长,故平移 $b'\sim f'$ 曲线 $L'$ 距离得 $1'\sim 5'$ 曲线。将 $1'\sim 5'$ 点向 $O\Delta L$ 坐标轴对应得 $1\sim 5$ 点,则 $\overline{01}, \overline{12}, \overline{23}\dots$ 即为每拉伸一次的剩余伸长。利用此剩余伸长 $\Delta L$ ,可计算消耗功。

我们现在检测长丝纱线的弹性是低伸长,可以认为遵从虎克定律,故可视拉伸曲线为直线,如此可得如下结果。

(1) 在 $PO\Delta L$ 坐标面内 $\Delta Oba$ 的面积可视为拉伸功。

(2)  $\Delta bO1$ 面积可视为消耗功 $W_T$ 。

$$W_T = (Oa'' \times O1') / 2 = \bar{P}\Delta L / 2 \quad (7)$$

其体积比功

$$W = W_T / LD = \bar{P}\Delta L / 2LD \text{ (尔格)} \quad (8)$$

由公式(8)可见,消耗功取决于剩余伸长的大小。当剩余伸长越来越小( $\overline{01} > \overline{12} > \overline{23} > \dots$ ),接近于0时,消耗功 $W=0$ ,这时恢复系数为1,近似纯弹性体。长丝在这样延伸率条件下工作时,弹性和耐疲劳性最好。利用此式对不同长丝纱线进行测试,结果如表4。

表4中每个延伸率后面有两行以上数据时,表示在曲线上按图4分段,如第一行取 $t_1\sim t_2$ 间的数据,第二行取 $t_3\sim t_4$ 间的数据。

从以上四个表所列的数据可见,弹性综合测试是在给定延伸率之后,主要是从测试曲线上确定平均张力值和剩余伸长值,而后

表4 不同材料伸长时的消耗功

材料名称	旦	延伸率 (%)	平均张力 (克力)	剩余伸长 (厘米)	消耗功 (尔格)
日本腈纶丝	90	1	7.1 7.55	0.7 0.5	0.000028 0.000021
		3	51.5 54.5	1.3 1.2	0.00037 0.00036
日本粘胶丝	150	2	108 108	1.2 9	0.000432 0.000324
日本腈纶色线	100/2	2	219 200	0.1 0.09	0.000056 0.000048
美国缝纫线	90/2	1	62.5	0	0
		2	350*	5.4	0.27
美国涤纶变形丝	150	1	26	0.35	0.000026
		2	55.5	1.9 0.5	0.00029 0.000152
		3	101	0.9 0.6	0.0003 0.0002
		4	125	0.7 0.4	0.000292 0.000167
弹力锦纶丝	100/2	2	4.2	0	0
氨纶丝	120	2	9.5	0	0
涤纶丝	150	1~3	160~ 240	0	0
		4	290 290	0.15 0	0.0001135 0
丙纶变形丝	70	3	60.25 68.6	1.6 0.9	0.00069 0.00044
		3	90	1.2 0.9	0.00108 0.00087
锦纶丝	120	3	70	0.25 0.21	0.000073 0.000057
涤纶强力丝	90	3	320	0.5 0.7	0.00089 0.00124
		2	195	0	0
锦纶变形丝	70	1~4	5~7	0	0
		5	12	10.2	0.00089
			24	10	0.00174
			50	6	0.00214
62	5		0.0221		

注: \*断头

就可计算各种弹性指标。分析表中数据可得如下观点。

1. 初始模量是决定长丝弹性质量的重要参数。它不仅直接影响织物的刚度,也是确定低弹变形丝工艺过程中张力的重要数据。如表3中同是150旦涤纶变形丝,美国的初始模量为21.7克力/旦,其整经张力应为33克力;瑞士的初始模量为9.1克力/旦,其整经张力则应为14克力。某针织厂同时用这两种丝,确定的整经张力相同,均为30克力,结果美国长丝织物因张力略小而使单位面积重量增加,而瑞士长丝织物因超伸使面料质量不良。

2. 剩余变形越小,弹性越好,等于零时弹性最好。与此相对应的张力为最佳张力。表

4中美国生产的缝纫线,当延伸率为0.01时,经过重复拉伸剩余变形为零,相应的张力为62.5克力,此张力值即为缝纫过程中的最佳张力。

3. 剩余伸长的变化率反映长丝纱线的弹性情况。一般在延伸率、张力不变的情况下,剩余伸长的增量由大变小时弹性好,由小变大时弹性差,如表4中涤纶强力丝在延伸率为3%时, $\Delta L$ 是增大的,说明这种材料在此情况下弹性太差,不能使用。

4. 张力超过最佳弹性张力后,长丝纱线将趋于断裂。但是不同材料的表现形式也不同,如表4中锦纶变形丝,当张力很大时,剩余变形减小,而消耗功增大,原因是长丝纤维中大分子链逐渐伸展,分子定向提高。