

涤纶 BCF 卷曲性能测试方法的探讨

陈琳¹, 王诚², 任静², 方杰¹, 张顺花¹

(1. 浙江理工大学 材料与纺织学院, 杭州 310018; 2. 浙江义乌金汇化纤有限公司, 浙江 义乌 322000)

摘要: 科学准确地测定涤纶 BCF 的卷曲性能对提高产品质量及满足客户要求意义重大, 以显现温度、显现时间、预加张力、平衡时间、重负荷作为试验因素, 以卷曲收缩率、卷曲模量、卷曲稳定度、热卷曲伸长率为判断指标, 对涤纶 BCF 进行卷曲性能测试方法的探讨。结果表明: 预加张力、显现温度对卷曲收缩率、卷曲模量及热卷曲伸长率影响显著, 重负荷对卷曲稳定度的影响很大。随着显现温度的升高, 卷曲收缩率、卷曲模量先增加, 而后逐渐降低, 热卷曲伸长率逐步增加, 而后略减小。随着预加张力的增大, 卷曲收缩率、卷曲模量及热卷曲伸长率逐渐减小, 卷曲稳定度随重负荷的增加快速降低。

关键词: 涤纶 BCF; 卷曲收缩率; 卷曲模量; 卷曲稳定度; 热卷曲伸长率

中图分类号: TS102.522; TS101.921

文献标志码: A

文章编号: 1001-7003(2013)12-0011-06

On the Testing Methods of Crimp Property of Polyester BCF

CHEN Lin¹, WANG Cheng², REN Jing², FANG Jie¹, ZHANG Shunhua¹

(1. College of Materials and Textiles, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China; 2. Zhejiang Yiwu Jinhui Chemical Fiber Co., Ltd., Yiwu 322000, China)

Abstract: To scientifically and accurately measure crimp property of polyester BCF is of great significance for improving product quality and meeting customers' requirements. This paper uses apparent temperature, presentation time, pre-tension and equilibrium time, heavy load as experimental factors and adopts crimp contraction rate, crimp modulus, crimp stability, thermal crimp elongation as judging indicators to discuss crimp property testing methods for polyester BCF. The results show that: the pre-tension and apparent temperature have significant effect on the crimp contraction rate, crimp modulus and thermal crimp elongation, while crimp stability is affected greatly by heavy load. As the temperature rises, the crimp contraction rate and crimp modulus increase first and then decrease gradually; the thermal crimp elongation increases and then decreases slightly; With the increases in pre-tension, the crimp contraction rate, crimp modulus and thermal crimp elongation decreases gradually. As the heavy load increases, crimp stability decreased rapidly.

Key words: polyester BCF; crimp contraction; crimp modulus; crimp stability; thermal crimp elongation

膨体长丝(Bulk Continuous Filament, BCF)是将经过拉伸后的丝束通过热空气变形装置加工而成的变形丝^[1]。BCF 以其三维卷曲性、良好的手感和高蓬松性, 广泛地应用于织造地毯、汽车坐垫和装饰织物等领域^[2]。德国 Neumag 公司采用纺丝→牵伸→变形一步法工艺设备, 从 1990 年开始生产涤纶膨体连续长丝

(PET-BCF)^[3]。PET-BCF 具有良好的覆盖性、UV 稳定性及防污抗污性, 目前已成为传统地毯材料的重要替代品。涤纶 BCF 产量逐年增加^[4]。

涤纶 BCF 的卷曲性通常由卷曲收缩率、卷曲模量、卷曲稳定度、热卷曲伸长率等指标来表征。卷曲性能的优良决定了 BCF 对各种产品的适合程度。目前, GB/T 6506—2001《合成纤维变形丝卷缩性能试验方法》, 主要用于测定假捻变形的弹力丝(DTY)的卷曲性, 而对涤纶 BCF 却不合适, 所以需要制定适用于涤纶 BCF 卷缩性能测试方法。而 FZ/T 54001—

收稿日期: 2013-5-24; 修回日期: 2013-09-30

作者简介: 陈琳(1990—), 女, 2009 级材料科学与工程专业本科生。通信作者: 张顺花 副教授 zshhzj@163.com。

1991《丙纶 BCF 丝》规定了热卷曲伸长率试验方法, 但仅适用于线密度 800 ~ 3 400 dtex 的筒装丙纶、锦纶等 BCF 变形丝, 涤纶 BCF 还没有适用的试验标准。本研究对涤纶 BCF 的卷曲性能进行测试, 探讨了显现温度、显现时间、预加张力、平衡时间、重负荷等因素对卷曲性能的影响, 并在试验基础上, 制定合理的涤纶 BCF 卷曲性能测试方法。

1 试 验

1.1 材 料

1 250 dtex/90 根涤纶 BCF(浙江义乌金汇化纤有限公司)。

1.2 方 法

1.2.1 试验条件设计

BCF 卷缩性能指标测试的影响因素主要有显现温度、显现时间、预加张力、平衡时间和重负荷等。

试验参照 GB/T 6506—2001《合成纤维变形丝卷缩性能试验方法》, 采用混合正交试验($L_{18}(6^1 \times 3^3)$), 见表 1。以卷曲收缩率、卷曲模量、卷曲稳定度为指标, 探讨各因素对试验结果的影响。根据试验结果选取最佳条件, 采用 0.351 3 ~ 0.882 9 cN/dtex 的重负荷测试卷曲稳定度, 探讨重负荷对卷曲稳定度的影响。

表 1 $L_{18}(6^1 \times 3^3)$ 正交试验

Tab. 1 $L_{18}(6^1 \times 3^3)$ orthogonal test table

水平	因素			
	A 显现温度/℃	B 预加张力/(cN · dtex ⁻¹)	C 显现时间/min	D 平衡时间/min
1	80	0.000	10	40
2	80	0.001	5	20
3	80	0.002	15	30
4	90	0.000	5	30
5	90	0.001	15	40
6	90	0.002	10	20
7	100	0.000	15	20
8	100	0.001	10	30
9	100	0.002	5	40
10	110	0.000	5	20
11	110	0.001	15	30
12	110	0.002	10	40
13	120	0.000	15	40
14	120	0.001	10	20
15	120	0.002	5	30
16	130	0.000	10	30
17	130	0.001	5	40
18	130	0.002	15	20

以显现温度、显现时间、平衡时间为试验因素, 设计混合正交试验($L_{18}(6^1 \times 3^2)$), 见表 2。参照 FZ/T 54001—1991《丙纶 BCF 丝》的热卷曲伸长率试验测试方法, 以热卷曲伸长率为指标, 探讨各因素对试验结果的影响。

表 2 $L_{18}(6^1 \times 3^2)$ 正交试验

Tab. 2 $L_{18}(6^1 \times 3^2)$ orthogonal test table

水平	因素		
	A 显现温度/℃	B 显现时间/min	C 平衡时间/h
1	80	10	0.5
2	80	15	2
3	80	5	1
4	90	5	2
5	90	10	1
6	90	15	0.5
7	100	5	0.5
8	100	10	2
9	100	15	1
10	110	15	2
11	110	5	1
12	110	10	0.5
13	120	10	1
14	120	15	0.5
15	120	5	2
16	130	15	1
17	130	5	0.5
18	130	10	2

1.2.2 操作测试过程

对卷曲收缩率、卷曲模量、卷曲稳定度性能试验作以下操作。1) 试验室卷装样品在标准大气条件下平衡 24 h 以上。2) 在卷装样品上取样, 剪取 120 ~ 150 cm 长的试样后, 将试样一端挂在测量尺上端的挂钩上, 下端加 0.1 cN/dtex 的负荷, 在刻度为 0 处及 100 cm 处做好标记, 然后将试样标记处打结, 得到 50 cm 长样品。3) 将试样悬挂在样品架上、下端挂钩上, 施加预加张力; 将烘箱调温到涤纶 BCF 卷曲显现规定的温度; 把挂有试样的样品架放入到烘箱中进行处理; 当烘箱内温度达到卷曲显现温度时, 开始计算显现时间; 达到显现时间时, 取出后在标准大气下平衡; 显现温度、预加张力、显现时间、平衡时间按设计的试验条件确定。4) 将平衡后的试样在 0.2 cN/dtex 的张力下, 持续 10 s, 测量绞丝的长度 L_g 。5) 改变负荷, 使绞丝承受 0.001 cN/dtex 的张力, 持续 10 min

后,测量绞丝长度 L_z 。6) 改变负荷,使绞丝承受 0.01 cN/dtex 的张力,持续 10 s 后,测量绞丝长度 L_f 。7) 改变负荷,使绞丝承受 0.5 cN/dtex 的张力,持续 10 s 后,将绞丝所承受的负荷减至 0.001 cN/dtex,再持续 20 min,测量绞丝长度 L_b 。

热卷曲伸长率性能试验操作: 1) 剪取 120 ~ 150 cm 长的试样后,将两端分别打上活结;将试样一端挂在样品架上,施加预加张力;2) 将试样放入到达设置温度的烘箱中显现一定时间,取出后在标准大气下平衡,温度、显现时间、平衡时间按照设计的试验条件确定;3) 将平衡后的试样施加 0.001 8 cN/dtex 的轻负荷,持续 30 s,测量长度 500 mm (L_0) 作上标记;4) 施加 0.441 4 cN/dtex 的重负荷,持续 30 s,测量长度 L_1 。

1.2.3 计算

卷曲收缩率 CC 按式(1)计算:

$$CC/\% = [(L_g - L_z) / L_g] \times 100 \quad (1)$$

卷曲模量 CM 按式(2)计算:

$$CM/\% = [(L_g - L_f) / L_g] \times 100 \quad (2)$$

卷曲稳定度 CS 按式(3)计算:

$$CS/\% = [(L_g - L_b) / (L_g - L_d)] \times 100 \quad (3)$$

热卷曲伸长率 CEAH 计算:

$$CEAH/\% = (L_1 - L_0) / L_0 \times 100 \quad (4)$$

2 结果与讨论

2.1 不同因素对卷缩性能的影响

2.1.1 温度对卷缩性能的影响

显现温度指能使得在卷绕过程中涤纶 BCF “拉直”的卷曲重新显现的温度。不同显现温度下的卷曲收缩率、卷曲模量、卷曲稳定度分别如图 1、图 2 所示。图 1 可以看出,显现温度对涤纶 BCF 的卷缩性能影响比较显著,尤其对卷曲收缩率的影响较大。随着显现温度的升高,卷曲收缩率和卷曲模量先增加后减小,在 90 ~ 100 °C 时达到最大。这可能是因为涤纶的玻璃化温度在 80 °C 左右,当显现温度在玻璃化温度以下,大分子链段运动受到限制,卷曲不易恢复。而随着温度升高到玻璃化温度以上,分子链段活动性加强,分子间作用力减小,内应力得以松弛,使纤维从束缚状态回复到原来的卷曲水平^[5],即表现为卷曲收缩率增大。此涤纶 BCF 采用 170 ~ 180 °C 热空气变形,显现温度 110 ~ 130 °C 较接近变形温度,可能会使部分变形得到的卷曲松弛,因此,在 100 °C 以上随着温度升高卷曲收缩率下降。图 2 可见,卷曲稳定

度在 90 °C 时也是最大的。综合来看,涤纶 BCF 卷缩性能测试的显现温度选 90 °C 较合适。

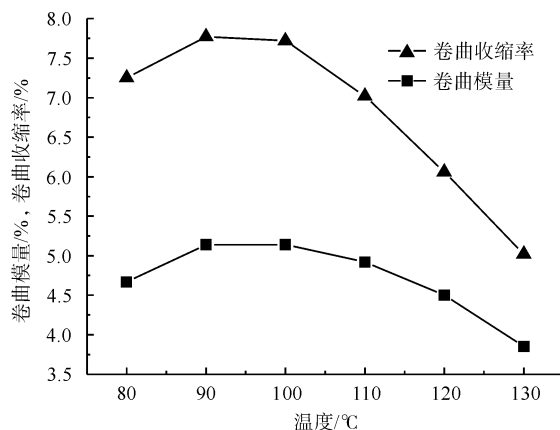


图 1 显现温度对卷曲收缩率、卷曲模量的影响

Fig. 1 The effects of apparent temperature on crimp contraction rate and crimp modulus

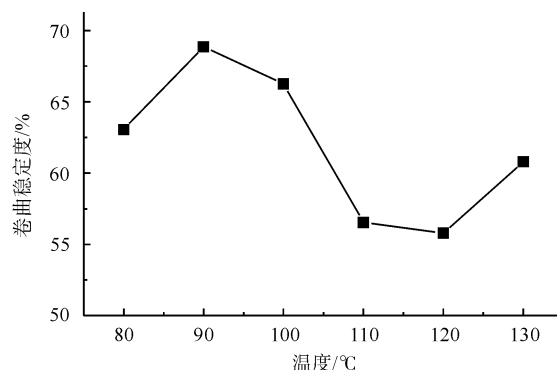


图 2 显现温度对卷曲稳定度的影响

Fig. 2 The effect of apparent temperature on crimp stability

2.1.2 预加张力对卷缩性能的影响

表 3 为不同预加张力下的卷曲收缩率、卷曲模量、卷曲稳定度的测试结果。从表 3 数据看来,随着预加张力的增大,卷曲收缩率和卷曲模量都呈下降的趋势,而卷曲稳定度有一定程度的增加。原因可能是负荷为 0 时,长丝在自重和试样架的挂钩作用下,在卷曲显现时可以较自由地伸缩,当加了一定的负荷后,部分卷曲难以显现,表现为卷曲收缩率和模

表 3 不同预加张力下的卷曲收缩率、卷曲模量和卷曲稳定度

Tab.3 Crimp contraction rate, crimp modulus and crimp stability under different pre-tension

预加张力/ (cN · dtex ⁻¹)	卷曲收缩率/%		卷曲模量/%		卷曲稳定度/%	
	平均值	CV 值	平均值	CV 值	平均值	CV 值
0	8.85	1.97	5.75	1.95	59.21	4.63
0.001	6.30	3.61	4.55	4.77	63.23	5.12
0.002	5.27	2.18	3.82	3.13	63.23	3.95

量的下降。综合比较认为,涤纶 BCF 卷缩性能测试的预加张力选用 0 较合理。

2.1.3 平衡时间对卷缩性能的影响

平衡时间是使涤纶 BCF 显现卷曲稳定的时间。表 4 为不同平衡时间下的卷曲收缩率、卷曲模量、卷曲稳定度。从表 4 可见,平衡时间对卷曲收缩率及卷曲模量影响不大,对卷曲稳定度有一定程度影响。随平衡时间的增加,卷曲收缩率和卷曲模量先略增大后减小,而卷曲稳定度先减小后增加,但升降的幅度都不大。从变异系数来看,卷曲收缩率、卷曲模量和卷曲稳定度都不大,说明在此测试条件下的数据稳定性较好。因此,认为平衡时间选择 20 ~ 40 min 都可以较好地反映涤纶 BCF 的卷缩性能。

表 4 不同平衡时间下的卷曲收缩率、卷曲模量和卷曲稳定度

Tab. 4 Crimp contraction rate, crimp modulus and crimp stability under different equilibrium time

平衡时间/min	卷曲收缩率/%		卷曲模量/%		卷曲稳定度/%	
	平均值	CV 值	平均值	CV 值	平均值	CV 值
20	6.83	2.94	4.71	1.76	63.37	4.50
30	6.90	3.01	4.77	4.07	55.30	5.62
40	6.69	1.80	4.64	4.02	61.19	3.58

2.1.4 显现时间对卷缩性能的影响

显现时间影响涤纶 BCF 卷曲的显现。表 5 为不同显现时间下的卷曲收缩率、卷曲模量、卷曲稳定度。由表 5 可以看出,显现时间对卷缩性能的影响不大,5 ~ 15 min 内随着时间的延长,卷曲收缩率和卷曲模量都是小幅度降低然后增加,而卷曲稳定度略有增加,可能是因为 5 min 时,卷曲已经显现,但有部分是不稳定的小卷曲,5 ~ 10 min 内随着时间的增加,不稳定的小卷曲被消除,卷曲收缩率和卷曲模量略下降,而卷曲稳定度略上升。因此,认为显现时间需要通过增加其他试验再作确定。将显现时间作为因素,以 10、15、20、25 min 为水平,在显现温度 90 °C,预加张力 0,平衡时间 30 min 下,做单因素变量试验,结果如图 3 ~ 图 5 所示。

表 5 不同显现时间下的卷曲收缩率、卷曲模量和卷曲稳定度

Tab. 5 Crimp contraction rate, crimp modulus and crimp stability under different presentation time

显现时间/min	卷曲收缩率/%		卷曲模量/%		卷曲稳定度/%	
	平均值	CV 值	平均值	CV 值	平均值	CV 值
5	6.90	3.51	4.71	3.62	60.85	5.45
10	6.74	1.60	4.70	2.44	61.17	3.73
15	6.78	2.64	4.71	3.80	63.65	4.52

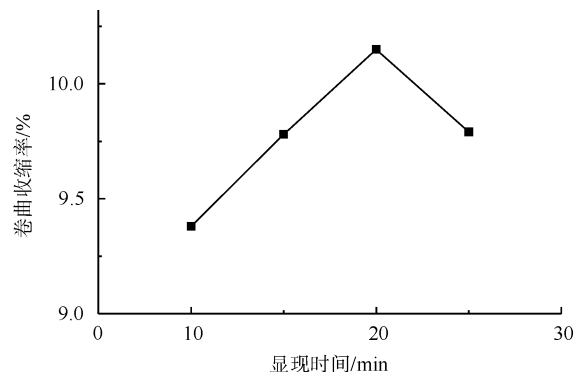


图 3 显现时间对卷曲收缩率的影响

Fig. 3 The effect of presentation time on crimp contraction rate

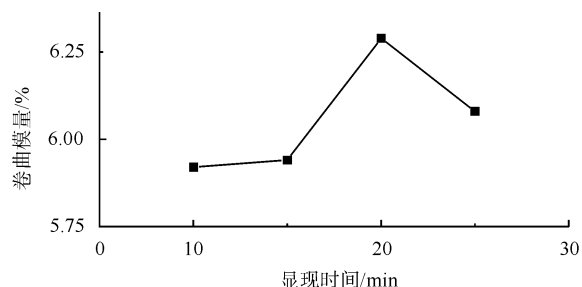


图 4 显现时间对卷曲模量的影响

Fig. 4 The effect of presentation time on crimp modulus

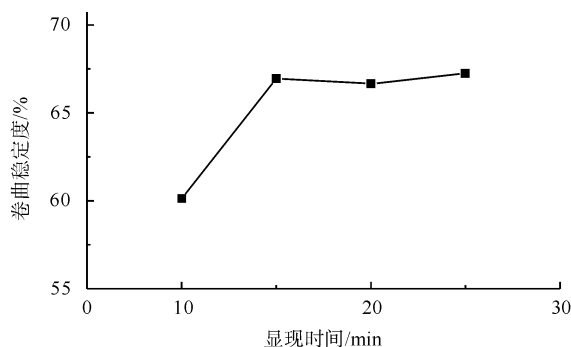


图 5 显现时间对卷曲稳定度的影响

Fig. 5 The effect of presentation time on crimp stability

由图 3 ~ 图 5 看出,在其他条件相同的情况下,卷曲收缩率、卷曲模量随时间延长先增加后减小,在 20 min 时达到最大,而卷曲稳定度基本呈上升趋势,但到 20 min 时基本稳定,说明 20 min 的显现时间可以使涤纶 BCF 的稳定卷曲较充分地显现。因此,显现时间选择 20 min 较合适。

2.1.5 重负荷对卷曲稳定度的影响

在显现温度 90 °C,预加张力 0,显现时间 20 min,平衡时间 30 min 下分别施加 0.351 3、0.441 4、0.529 7、0.618 0、0.706 3、0.794 6、0.882 9 cN/dtex 的重负荷得到卷曲稳定度数据,结果如图 6 所示。

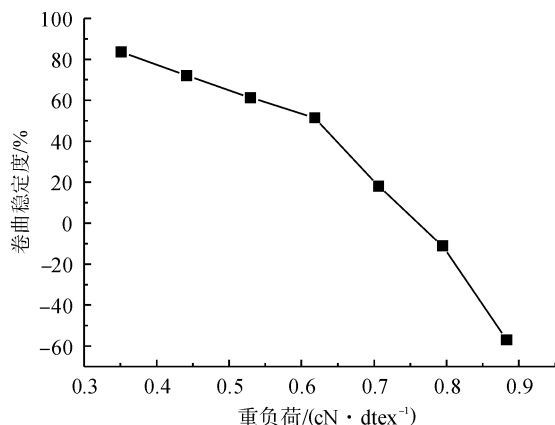


图 6 重负荷对卷曲稳定度的影响

Fig. 6 The effect of heavy load on crimp stability

卷曲稳定度反映涤纶 BCF 在受到重负荷后仍可保留的卷曲收缩量。所以 重负荷的大小直接影响卷曲稳定度的高低。从图 6 看出 随着所加重负荷的增大,卷曲稳定度快速下降,当重负荷达到 0.794 6 cN/dtex 时,卷曲稳定度变为负值,说明涤纶 BCF 丝发生了不可回复的塑形形变,甚至部分纤维发生断裂。负荷越重,长丝受到纵向的力越大,大分子链沿所受力方向排列趋势就越明显,可回复卷曲越少,卷曲稳定度越小。由于涤纶 BCF 主要应用于地毯织造、坐垫等领域,通常在使用中受到较大的压力。如果重负荷加的太轻,卷曲稳定度测试就没有意义了。所以,重负荷要选择较大的但不至于将丝条拉伸的。综上所述,重负荷选 0.6 cN/dtex 来测试卷曲稳定度较好。

2.2 不同因素对热卷曲伸长率的影响

2.2.1 温度对热卷曲伸长率的影响

显现温度是能使涤纶 BCF 分子链活动性加强,由暂时的“拉直”状态回到原来的卷曲水平的温度^[6]。图 7 为不同温度下的热卷曲伸长率。图 7 表明,显现温度对热卷曲伸长率的影响比较显著,随着温度的升高,热卷曲伸长率也逐步提高,到 110 ℃ 之后趋向于平衡,120 ℃ 时达到最大值,之后略微减小。这是因为温度低时,分子链活动受限,被拉直的卷曲不易显现,随着温度的升高,分子链运动变得越来越容易,分子间作用力减小,内应力松弛,卷绕时被拉直的卷曲得到充分显现,并恢复卷曲状态,表现为热卷曲伸长率增大。因此,选取 120 ℃ 较为合适。

2.2.2 显现时间对热卷曲伸长率的影响

显现时间影响涤纶 BCF 卷曲的显现。从表 6 看出显现时间对热卷曲伸长率的影响不是很显著,在 5 ~ 10 min 过程中热卷曲伸长率降低,10 ~ 15 min 又

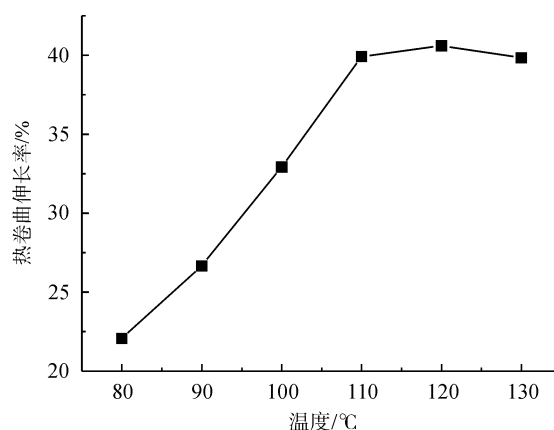


图 7 温度对热卷曲伸长率的影响

Fig. 7 The effect of temperature on thermal crimp elongation

随时间延长而升高。究其原因可能是 5 min 时,长丝还未受热均匀,卷曲部分显现了,而不稳定的小卷曲没有消除,在加热 10 min 时,不稳定的小卷曲得到消除。因此,热卷曲收缩率略微降低,加热 15 min 后,小卷曲消除,稳定的卷曲也得到了充分显现,热卷曲伸长率又有回升。从变异系数的大小看,显现时间 5 min 和 15 min 的变异系数都较小。因此,测试涤纶 BCF 热卷曲伸长率的显现时间选择 15 min 较合适。

表 6 不同时间下的热卷曲伸长率

Tab. 6 The thermal crimp elongation in different time

显现时间/min	热卷曲伸长率/%		平衡时间/h	热卷曲伸长率/%	
	平均值	CV 值		平均值	CV 值
5	33.78	2.22	0.5	32.84	1.83
10	33.26	4.46	1	33.10	3.90
15	33.98	2.20	2	35.08	3.17

2.2.3 平衡时间对热卷曲伸长率的影响

平衡时间是使涤纶 BCF 显现的卷曲稳定的时间。如表 6 所示平衡时间对热卷曲伸长率有较大影响,随着平衡时间的增加,热卷曲伸长率也逐渐增大。说明显现后的长丝需要足够的时间去平衡,使显现后的卷曲稳定下来,30 min 和 60 min 都不足以使卷曲稳定,而在 2 h 以上,可以得到较稳定的卷曲,并得到较高的热卷曲伸长率。由表 6 数据看出,从 0.5 ~ 2 h 随着时间的延长,热卷曲伸长率不断增大,并且增加的幅度较大。因此,认为需要继续增加平衡时间来测试热卷曲伸长率。

以显现温度 120 ℃、显现时间 15 min、自然卷曲条件下,分别以平衡时间为 1、2、4、6、8、24 h 进行试验,计算得到各热卷曲伸长率的值,如图 8 所示。

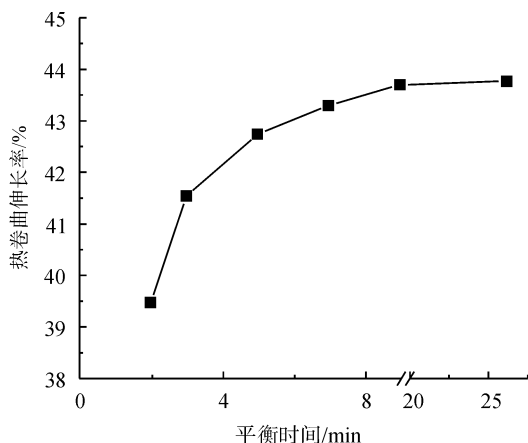


图8 平衡时间对热卷曲伸长率的影响

Fig.8 The effect of equilibrium time on thermal crimp elongation

从图8可以看出,随着平衡时间的延长,热卷曲伸长率不断上升,在1~4 h升得较快,6~24 h上升较慢,并渐渐趋于稳定。说明8 h的平衡时间基本能够让卷曲稳定下来,因此,认为平衡时间选用8 h即可。

2.2.4 预加张力对热卷曲伸长率的影响

在显现温度120℃、显现时间15 min、平衡时间2 h条件下,分别以自然卷曲(横放)、0、0.000 5、0.001 0、0.001 5 cN/dtex的预加张力测试热卷曲伸长率,结果见图9。

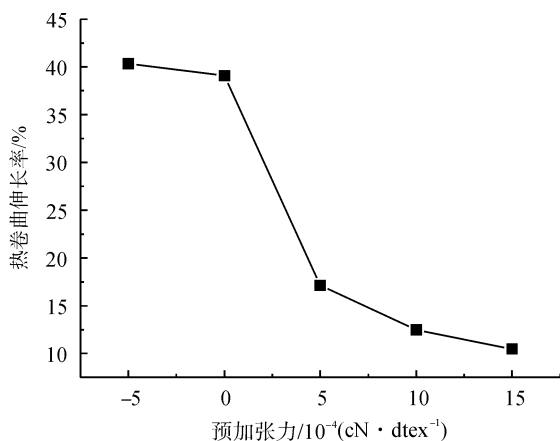


图9 预加张力对热卷曲伸长率的影响

Fig.9 The effect of pre-tension on thermal crimp elongation

预加张力影响涤纶内应力的消除。由图9可知,预加张力对热卷曲伸长率有很大影响,随着预加张力的增大,热卷曲伸长率不断减小,即使是仅在自重下悬挂显现也会使热卷曲伸长率降低。这是因为自然卷曲下的长丝可以自由收缩,加了负荷后,受到纵向上的力,卷曲回缩就变得困难,使热卷曲收缩率显著下降。因此,在自然卷曲状态下测试涤纶BCF热卷曲伸长率较为合理。

3 结 论

通过对涤纶BCF在不同显现温度、显现时间、预加张力、平衡时间、重负荷条件下的卷曲收缩率、卷曲模量、卷曲稳定度、热卷曲伸长率等卷曲性能的测试与分析,认为显现温度、预加张力对卷曲收缩率、卷曲模量、热卷曲伸长率影响显著,显现时间、重负荷对卷曲稳定度影响较大。随着显现温度的升高,卷曲性能指标先增加后减小,在90℃时卷曲收缩率、卷曲模量达到最大,热卷曲伸长率在120℃时最大。预加张力为0时,卷曲收缩率、卷曲模量、热卷曲伸长率最大。显现时间20 min时,卷曲率各指标都较好。因此,1) 涤纶BCF卷缩性能测试选用显现温度90℃,显现时间20 min,预加张力0,平衡时间20~40 min,重负荷0.6 cN/dtex较合理。2) 涤纶BCF热卷曲伸长率测试在显现温度120℃,显现时间15 min,平衡时间8 h以上,自然卷曲条件下较合理。

参考文献:

- [1] 李光. 高分子材料加工工艺学[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2010: 11.
LI Guang. Polymer Processing Technology [M]. Beijing: China Textile & Apparel Press, 2010: 11.
- [2] 胡子坡, 陈革新, 方正琴, 等. 涤纶膨体长丝的现状与发展浅析[J]. 合成纤维, 2011, 40(6): 31-34.
HU Zipo, CHEN Gexin, FANG Zhengqin, et al. The present situation and development of polyester BCF [J]. Synthetic Fiber in China, 2011, 40(6): 31-34.
- [3] 霍启亮, 陈明, 王梯义. 国外BCF发展现状及趋势[J]. 国外纺织技术, 1998(2): 1-2.
HUO Qiliang, CHEN Ming, WANG Tiye. The present development and trend of foreign BCF [J]. Journal of Textile Research, 1998(2): 1-2.
- [4] STÜNDL M. PETBCF长丝纱生产简介[J]. 国际纺织导报, 2011(7): 8-11.
STÜNDL M. Introduction to PET BCF filament yarn production [J]. Melliand-China, 2011(7): 8-11.
- [5] 韩斌. 测试条件对涤纶弹力丝卷曲性能的影响[J]. 金山油化纤, 1988(2): 12-14.
HAN Bin. Effects of test conditions on the crimp properties of polyester stretch yarn [J]. Petrochemical Technology in Jinshan, 1988(2): 12-14.
- [6] 于丽华, 孙培敏, 郭珊. 关于PBT纤维卷缩性能试验方法的探讨[J]. 纤维标准与检验, 1991(5): 12-14.
YU Lihua, SUN Peimin, GUO Shan. Study on test method for crimp properties of PBT fiber [J]. China Fiber Inspection, 1991(5): 12-14.