丙纶 BCF 卷曲性能试验方法探究

方　杰[1]，陈　玲[1]，王　诚[2]，任　静[2]，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：以卷曲收缩率、卷曲模量和卷曲稳定度为考察指标，采用 $L_{18}(6^1\times3^3)$ 正交试验，探讨显现温度、预加张力、显现时间和平衡时间丙纶 BCF 卷曲性能的影响。结果表明，各因素对卷曲收缩率的影响大小顺序是：预加张力＞显现温度＞平衡时间＞显现时间；各因素对卷曲模量的影响大小顺序是：预加张力＞显现温度＞平衡时间＞显现时间；各因素对卷曲稳定度的影响大小顺序是：显现温度＞显现时间＞平衡时间＞预加张力；经进一步单因素重负荷试验，结果表明丙纶 BCF 卷曲性能试验最优化条件为：显现温度 90℃；预加张力 0；显现时间 10min；平衡时间 30min；重负荷 0.4414cN·dtex^{-1}。以热卷曲伸长率为考察指标，探讨显现温度、显现时间和平衡时间对丙纶 BCF 热卷曲伸长率的影响，结果表明丙纶 BCF 热卷曲伸长率试验最优化条件为：显现温度 100℃；自然卷曲状态下显现；显现时间 10min；平衡时间 2h 或以上。

关键词：丙纶；BCF；卷曲性能；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：TS101.921　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1009－265X(2013)06－0050－05

Exploration on Test Methods of Crimp Property of Polypropylene Fiber BCF

FANG Jie[1], *CHEN Lin*[1], *WANG Cheng*[2], *REN Jing*[2], *ZHANG Shunhua*[1]

(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: This paper discusses the influence of apparent temperature, pre-tension, apparent time and equilibrium time on crimp shrinkage of polypropylene fiber BCF with survey indicators of crimp shrinkage, crimp modulus and crimp stability by $L_{18}(6^1\times3^2)$ orthogonal experiment. The result shows that the order of influence of various factors on crimp shrinkage: pre-tension＞apparent temperature＞equilibrium time＞apparent time; the order of influence of various factors on crimp modulus is: pre-tension＞apparent temperature＞equilibrium time＞apparent time; the order of influence of various factors on crimp stability is: apparent temperature＞apparent time＞equilibrium time＞pre-tension. through turther test of single factor of heary looding, the result shows that optimal conditions of crimp performance test of polypropylene fiber BCF are: apparent temperature 90℃; pre-tension 0; apparent time 10min; equilibrium time 30min; heavy loading 0.4414cN·dtex^{-1}. This paper discusses the influence of apparent temperature, apparent time and equilibrium time on thermal crimp elongation of polypropylene fiber BCF with thermal crimp elongation as survey indicator. The result shows that optimal conditions for thermal crimp elongation test of polypropylene fiber BCF are: apparent temperature 100℃; appear under natural crimp state; apparent time 10min and equilibrium time 2h or above.

Key words: polypropylene fiber; BCF; crimp property; crimp shrinkage; crimp modulus; crimp stability; thermal crimp elongation

1　引　言

膨体长丝(BCF)是由热空气膨化变形技术制得的变形丝，最早由美国杜邦公司研发和生产，具有三

收稿日期：2013－04－16

作者简介：方　杰(1990－)，男，浙江台州人，2009 级材料科学与工程专业本科生。

通信作者：张顺花，E-mail：zshhzj@163.com.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

维卷曲和高蓬松性；丙纶BCF具有较轻的质量、良好的蓬松性、回弹性和良好的手感，大量应用在地毯织物、汽车坐垫和装饰织物等领域[1-4]。

丙纶BCF卷曲性能对纤维的抱合力、地毯的加工效率、回弹性和保暖性等都有着重大的影响。纤维的卷曲性能主要由卷曲收缩率(CC)，卷曲模量(CM)，卷曲稳定度(CS)和热卷曲伸长率(CEAH)等指标来表征[5]。合成纤维变形丝卷缩性能试验方法(GB/T 6506—2001)主要是针对假捻变形的弹力丝的指标测试，对BCF的卷曲性能的准确评价存在一些不足；FZ/T 54001—2012《丙纶BCF丝》标准中只涉及热卷曲伸长率的测定，单以此指标来表征BCF纤维卷曲性能不够全面[6]。合理科学的测试丙纶BCF的卷曲性能指标，对企业生产工艺制定和成品质量把关具有重要意义。本文参照现有变形丝卷曲性能的测试方法，实验研究了显现温度、显现时间、平衡时间、预加张力和重负荷等测试条件对丙纶BCF卷曲性能指标的影响。

2　试　验

2.1　试验材料

2600dtex/160f丙纶BCF长丝(企业自制)

2.2　试验及测试方法

2.2.1　卷曲性能试验设计

丙纶BCF卷曲性能测试的因素主要有显现温度、显现时间、预加张力、平衡时间、重负荷等，实验采用混合正交试验($L_{18}(6^1\times3^3)$)，见表1。参照GB/T 6506—2001《合成纤维变形丝卷曲性能试验方法》的方法进行试验，以卷曲收缩率、卷曲模量、卷曲稳定度作为指标判别各因素对实验结果的影响。根据实验结果选取最佳条件，以重负荷为单因素，采用0.3513～0.9712cN·dtex^{-1}的重负荷测试卷曲稳定度，探讨不同的重负荷对卷曲稳定度的影响。

试验过程和计算公式如下：

a) 把试样悬挂在样品架上

b) 将烘箱温度调到变形丝卷曲显现温度

c) 把挂有试样的样品架放入烘箱内的干热空气中，这时每个绞丝承受0～0.002 cN·dtex^{-1}(预加张力)的轻负荷，当箱内温度达到试验所要求的卷曲显现温度后，开始计算显现时间5～15min(显现时间)，时间到后，从烘箱中取出样品架。在标准大气条件下平衡试样20～40min(平衡时间)，这时试样仍承受相应的轻负荷。

d) 30min后加负荷，使绞丝承受0.2 cN·dtex^{-1}的张力，持续10s后，测量绞丝长度L_g。

e) 改变负荷，使绞丝承受0.001 cN·dtex^{-1}的张力，持续10min后，测量绞丝长度L_z。

f) 改变负荷，使绞丝承受0.01 cN·dtex^{-1}的张力，持续10s后，测量绞丝长度L_f。

g) 改变负荷，使绞丝承受1.0 cN·dtex^{-1}的张力，持续10s后，将绞丝所承受的负荷减至0.001 cN·dtex^{-1}，再持续20min，测量绞丝长度L_b。

卷曲收缩率：

$$CC(\%)=\frac{Lg-Lz}{Lg}\times100 \tag{1}$$

卷曲模量：

$$CM(\%)=\frac{Lg-Lf}{Lg}\times100 \tag{2}$$

卷曲稳定度：

$$CS(\%)=\frac{Lg-Lb}{Lg-Lz}\times100 \tag{3}$$

表1　卷曲收缩率、卷曲模量、卷曲稳定度正交试验表

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	70	0	10	40
2	70	0.001	5	20
3	70	0.002	15	30
4	80	0	5	30
5	80	0.001	15	40
6	80	0.002	10	20
7	90	0	15	20
8	90	0.001	10	30
9	90	0.002	5	40
10	100	0	5	20
11	100	0.001	15	30
12	100	0.002	10	40
13	110	0	15	40
14	110	0.001	10	20
15	110	0.002	5	30
16	120	0	10	30
17	120	0.001	5	40
18	120	0.002	15	20

2.2.2　热卷曲伸长率试验设计

以显现温度、显现时间、预加张力为试验因素，设计混合正交试验($L_{18}(6^1\times3^2)$)，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判别各因素对实验结果的影响。根据实验结果选取最佳条件，

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

以预加张力为单因素，0～0.0015cN·dtex^{-1}的预加张力测试试样长度，并计算热卷曲伸长率，探讨不同的负荷对热卷曲伸长率的影响。

试验过程和计算公式如下：

a) 把试样悬挂在样品架上

b) 将烘箱温度调到变形丝卷曲显现温度

c) 把挂有试样的样品架放入烘箱内的干热空气中，这时每个绞丝承受 0～0.0015 cN·dtex^{-1}(预加张力)的轻负荷，当箱内温度达到试验所要求的卷曲显现温度后，开始计算显现时间 5～15min(显现时间)，时间到后，从烘箱中取出样品架。在标准大气条件下平衡试样 30～120min(平衡时间)，这时试样仍承受相应的轻负荷。

d) 把平衡后试样一端夹在测长装置上。

e) 先加轻负荷 0.0018cN·dtex^{-1}，持续 30s，测量长度为 $L_0$500mm，作上标记；换加重负荷 0.4414cN·dtex^{-1}30s，持续 30s，测量长度为 L_1。

热卷曲伸长率用 E 表示：

$$E = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100 \qquad (4)$$

表 2 热卷曲伸长率正交试验表

水平	因素		
	A 显现温度/℃	B 显现时间/min	C 平衡时间/h
1	70	10	0.5
2	70	15	2
3	70	5	1
4	80	5	2
5	80	10	1
6	80	15	0.5
7	90	5	0.5
8	90	10	2
9	90	15	1
10	100	15	2
11	100	5	1
12	100	10	0.5
13	110	10	1
14	110	15	0.5
15	110	5	2
16	120	15	1
17	120	5	0.5
18	120	10	2

3 结果与讨论

3.1 温度对卷曲收缩率，卷曲模量，卷曲稳定度的影响

显现温度主要是使 BCF 纤维分子键活动性加强，以便从暂时的束缚状态恢复到原来的卷曲水平。图 1～图 3 分别显示了不同温度下的卷曲收缩率，卷曲模量和卷曲稳定度。由图可看出，温度对卷曲性能的影响比较明显，显现温度从 70 升到 90，CC 从5.49%升到 6.03%，CM 从 3.69%升到 4.73%。当温度从 90 升到 120，CC 和 CM 分别降到 5.14%和 3.57%。这可能由于温度过低，分子链段活动性变差，限制了纤维结构的重排，致使被“拉直”的卷曲不易恢复；随着温度的逐步升高，分子运动能量增大，分子链间的联系减弱，不但纤维的强度、假捻定型效果减弱，而且经加重负荷后保留下来的卷曲收缩率也会减少，因此卷曲稳定度(CS)在 100℃后逐渐下降。综上所述，丙纶 BCF 卷曲性能试验显现温度选择 90℃比较合理。

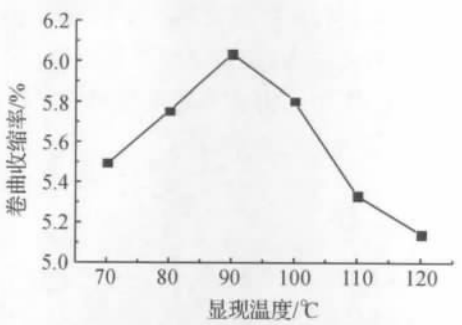

图 1 不同显现温度下的卷曲收缩率

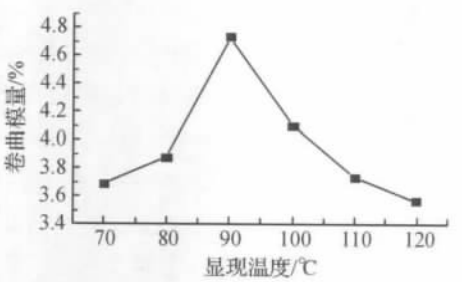

图 2 不同显现温度下的卷曲模量

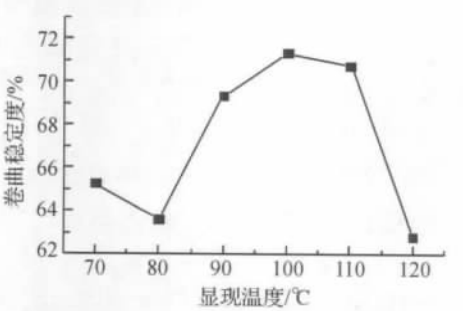

图 3 不同显现温度下的卷曲稳定度

3.2 预加张力对卷曲收缩率、卷曲模量、卷曲稳定度的影响

预加张力影响显现过程应力的消除。表 3 所示

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

为不同预加张力下的卷曲收缩率、卷曲模量和卷曲稳定度。由表3可知，随着预加张力的增大，CC、CM都减小，CS基本保持不变。在预加张力为0时，取得的丙纶BCF的卷曲性能较佳。这可能由于纤维的自重和测试挂钩的重量足够将纤维拉直，再加负荷导致纤维延伸，影响Lg反映纤维的真实长度，导致CC和CM减小。因而，选取预加张力0作为丙纶BCF卷曲性能测试参数较为合理。

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

预加张力/	卷曲收缩率/%		卷曲模量/%		卷曲稳定度/%	
(cN·dtex^{-1})	平均值	CV/%	平均值	CV/%	平均值	CV/%
0	7.22	4.51	4.81	5.37	67.08	4.80
0.001	5.10	2.68	3.76	3.67	67.25	4.32
0.002	4.45	5.30	3.34	6.44	67.22	5.84

3.3 显现时间对卷曲收缩率、卷曲模量、卷曲稳定度的影响

显现时间是纤维在显现温度下被“拉直”的卷曲恢复到原先卷曲水平所需的时间。表4所示为不同显现时间下的卷曲收缩率，卷曲模量和卷曲稳定度。由表4可得，在5～15min范围内，显现时间对CC和CM的影响很小，说明在此时间范围内内应力基本得到松弛，在5～10min范围内随着显现时间增大，纤维内的不稳定小卷曲得到消除，CS值增大；在10～15min范围内随着显现时间增大，纤维的超分子结构可能会回复到无序状态，CS值减小。综合考虑，丙纶BCF卷曲性能试验显现时间选择10min较合理。

表4 不同显现时间下的卷曲收缩率、卷曲模量和卷曲稳定度

显现时间	卷曲收缩率/%		卷曲模量/%		卷曲稳定度/%	
/min	平均值	CV/%	平均值	CV/%	平均值	CV/%
5	5.63	3.90	3.97	5.91	65.08	3.97
10	5.63	2.94	3.94	4.41	70.63	6.59
15	5.52	5.64	3.99	5.15	65.85	4.40

3.4 平衡时间对卷曲收缩率、卷曲模量、卷曲稳定度的影响

平衡时间是为了消除热显现对后续测试的影响。表5所示为不同平衡时间下的卷曲收缩率，卷曲模量和卷曲稳定度。由表5可知，平衡时间不充分，纤维处于卷曲状态，测得Lg值偏小，导致CC、CM、CS偏大；直到30min时CM基本稳定，CS达到最低；当平衡时间过长，由于在平衡过程一直处于0.001 cN·dtex^{-1}受力状态，可能导致纤维出现额外延伸，致使CC持续减小，CS增大。对于丙纶BCF卷曲性能试验平衡时间选择30min比较合理。

表5 不同平衡时间下的卷曲收缩率、卷曲模量和卷曲稳定度

平衡时间	卷曲收缩率/%		卷曲模量/%		卷曲稳定度/%	
/min	平均值	CV/%	平均值	CV/%	平均值	CV/%
20	5.97	3.18	4.12	3.73	67.11	4.96
30	5.61	4.11	3.90	5.01	66.47	5.26
40	5.19	5.19	3.99	6.74	67.98	4.74

3.5 重负荷对卷曲稳定度的影响

加重负荷的目的在于考察纤维在承受重负荷之后，其仍可保留的卷曲收缩量。图4所示为不同重负荷下的卷曲稳定度。由图4可看出，CS随着重负荷的增大而变小。这种规律显然是由于负荷加大后，纤维超分子结构中有部分大分子链发生断裂，产生了不可恢复的塑性形变，表现在纤维的卷曲上，卷曲量相对破坏就多，而保留下来的就少。因而，丙纶BCF卷曲性能试验重负荷选择0.4414 cN·dtex^{-1}比较合理。

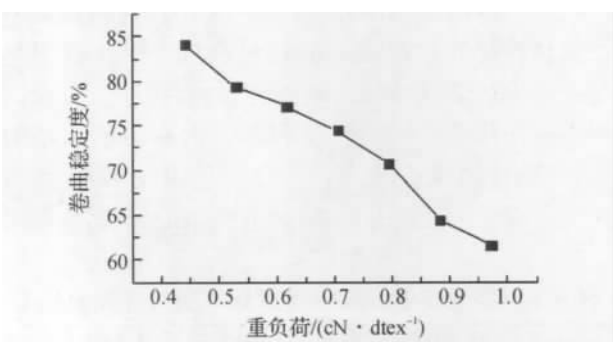

图4 不同负荷下的卷曲稳定度

3.6 不同条件对热卷曲伸长率的影响

3.6.1 温度对热卷曲伸长率的影响

显现温度主要是使BCF纤维分子键活动性加强，使“拉直”的卷曲恢复到原来的卷曲水平。图5是预加张力为0时，不同显现温度下的热卷曲伸长率。由图5可知，温度对热卷曲伸长率(CEAH)的影响比较明显。CEAH在100℃之前逐渐增加，这可能由于温度过低，分子链段活动性变差，限制了纤维结构的重排，致使被“拉直”的卷曲不易恢复；随着温度的逐步升高，分子运动能量增大，内应力得到充分消除，纤维结构基本稳定；当温度继续升高，由于松弛及热振动的结果形成新的结构单元，分子间作用力增大，高聚物会进一步结晶使非晶区或介晶区减小，结晶度有所提高，因此CEAH逐渐减小。丙

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

纶 BCF 热卷曲伸长率试验显现温度选择 100℃比较合理。

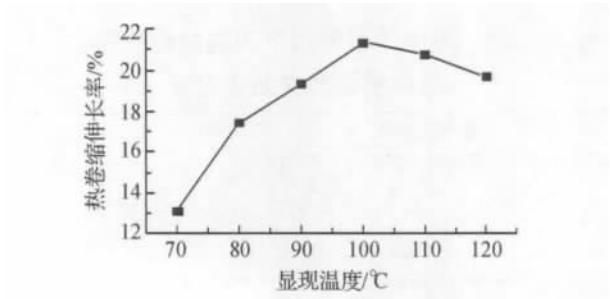

图 5　不同温度下的 CEAH

3.6.2　时间对热卷曲伸长率的影响

显现时间是纤维在显现温度下消除不稳定小卷曲所需的时间；平衡时间是为了消除热显现对后续测试的影响。表 6 是预加张力为 0 时，不同显现时间和平衡时间下的热卷曲伸长率。由不同显现时间下的卷曲性能和表 6 可知在显现 5～10min 范围内，随着显现时间增大，纤维内的不稳定小卷曲得到消除，CEAH 值减小；在 10～15min 范围内随着显现时间增大，纤维的超分子结构可能会出现回复到无序状态，CS 值继续减小。丙纶 BCF 热卷曲伸长率试验显现时间选择 10min 比较合理。平衡过程是为了消除热显现对后续测试的影响，在平衡过程试样不受任何负荷，平衡时间越久，内应力消除越彻底，CEAH 值也就越大。因此对于丙纶 BCF 热卷曲伸长率试验平衡时间选择 2h 或以上比较合理。

表 6　不同显现时间和平衡时间下的热卷曲伸长率

显现时间	热卷曲伸长率/%		平衡时间	热卷曲伸长率/%	
/min	平均值	CV/%	/h	平均值	CV/%
5	18.68	1.92	0.5	18.31	2.44
10	18.62	2.92	1.0	18.59	1.79
15	18.47	2.49	2.0	18.87	3.10

3.6.4　预加张力对热卷曲伸长率的影响

预加张力影响显现过程中应力的消除。图 6 所示为不同预加张力下的热卷曲伸长率。由图 6 可知，热卷曲伸长率随预加张力的增大而减小，在横放时，热卷曲伸长率最大。无论是无张力悬挂还是有预加张力情况都会影响显现过程中纤维内应力的消除。因此对于丙纶 BCF 热卷曲伸长率试验试样选择横放处理，使其自然卷曲显现比较合理。

4　结　论

a) 通过正交试验表 1 结果可知：显现温度 90℃、预加张力 0、显现时间 10min、平衡时间 30min 时，卷曲收缩率和卷曲稳定度测试值最佳；显现温度 100℃、预加张力 0.001 cN·dtex^{-1}、显现时间 10min，平衡时间 30min 时，卷曲稳定度测试值最佳。单因素试验结果可知：重负荷 0.4414cN·dtex^{-1}时，卷曲稳定度测试值最佳。综上所述：丙纶 BCF 卷曲收缩率、卷曲模量、卷曲稳定度测试值最佳试验条件组合为：显现温度 90℃；预加张力 0；显现时间 10min；平衡时间 30min；重负荷 0.4414cN·dtex^{-1}。

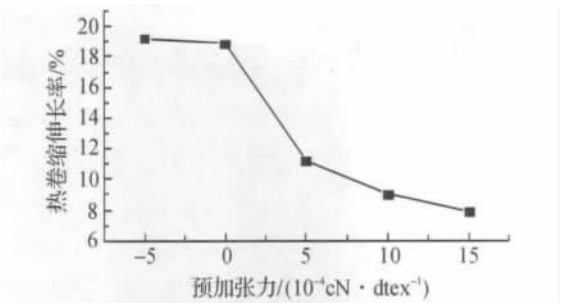

图 6　不同预加张力下的 CEAH

b) 通过正交试验表 2 结果和单因素试验结果可知：丙纶 BCF 热卷曲伸长率试验测试值最佳条件组合为：显现温度 100℃；自然卷曲状态下显现；显现时间 10min；平衡时间 2h 或以上。

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.

[2] 罗炳金，蒋艳风. 铜氨织物的性能测试与分析[J]. 丝绸，2012(3)：21-23.

[3] 芦长椿. 膨体连续长丝技术的新进展[J]. 合成纤维，2006(8)：5-8.

[4] Sarkeshick S, Tavanai H, Zarrebini M, et al. An investigation on the effects of heat-setting process on the properties of polypropylene bulked continuous filament yarns[J]. The Journal of the Textile Institute, 2009, 100(2): 128-134.

[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.

[6] 于丽华. 关于 PBT 纤维卷曲性能试验方法的探讨[J]. 中国纤检，1991(5)：12-14.

[7] Ahn S C. Orthogonality test in linear models[J]. Oxford Bulletin of Economics and Statistics, 1997, 59(1): 183-186.

（责任编辑：张祖尧）

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net