

棉型涤纶纤维性能结构及其应用研究

廖大庆 龙天用 梅基邦 张修宁 袁光龙

(上海纺织科学研究院)

【摘要】 本文对高强低伸、普强普伸、低强高伸三种棉型涤纶纤维的微观结构和物理机械性能进行了较系统的测试分析,通过对三种类型纤维进行纺织染加工的工艺性考察,观察其对工艺加工及最后成品品质的影响。通过测试分析,得出不同类型棉型涤纶纤维与纺纱工艺、染整工艺以及最后成品服用性能之间的关系。从10%伸长对应应力及第二转折点强伸余效的研究,得出对纺织加工和织物服用性能较理想的棉型涤纶纤维的应力应变曲线形态。在涤纶纤维及其织物热处理过程中微观结构变化,以及与热收缩、染色性能之间的关系和热定形温度等方面,也作了一些研究。

棉型涤纶纤维,根据强力和伸长,大体上可分为高强低伸、普强普伸和低强高伸三类,本文从上述三种类型涤纶纤维的微观结构和物理机械性能出发,寻求其与纺织染整加工工艺及服用性能之间的关系,用测试手段找出规律,进一步了解不同类型纤维对加工工艺及最终制品的影响。

一、样品与测试项目

本研究选用目前市场上三种棉型涤纶纤维的23个代表性样品进行测试比较,从中选取5个典型样品,进行常规的纺织染整工艺考核。还在实验室中进行了热定形小样试验,以了解其在热定形过程中微观结构的变化。

所测试的项目有:用X射线衍射法测定结晶度和取向指数;用红外光谱法测定R值;用差示扫描量热法测定熔程、熔点和 ΔH ;同时还测定强伸度、断裂功、模量、功系数、弹性回复率、热收缩率、比重、双折射率、上染率、染料吸收率、反射率等性能。

二、涤纶纤维微观结构和物理机械性能

1. 微观结构方面的比较

试验结果见表1,可看出涤纶纤维的结晶度、取向指数或双折射率、比重等,都基本上按强力下降和伸长增加而减小。

2. 物理机械性能方面的比较

从表2的测试数值可看出,几乎所有的物理机械性能都按不同类型显出不同结果。在纤维强度提高时,其他性能也会相应地有所改变,最主要的是延伸度下降,使断裂功、弹性等性能随之变差。弹性恢复性能的变化趋向是:在小伸长时,高强低伸型弹性回复率小,低强高伸型大;在中伸长时,两者基本接近;在大伸长时,普强普伸型与低强高伸型弹性回复率急剧下降。

3. 应力应变曲线形态的比较^[5]

由于不同类型涤纶纤维的微观结构和物理机械性能不同,在应力应变曲线形态上,也有相当大的差异。

图1中曲线1*、2*为高强低伸型涤纶纤维的应力应变曲线。曲线陡直,断裂强度高,模量高,断裂伸长小,屈服点不明显。起始点与断裂点连线斜率在 $53^{\circ}\sim 69^{\circ}$ 范围中变动,断裂功为0.59~0.76克/旦,功系数为0.52

表1 三种类型涤纶纤维微观结构测试结果

类型	项目 (Δn)	比重 (克/厘米 ³)	X射线衍射		红外分析 (R)	差热分析		
			结晶度(%)	取向指数		熔程	ΔH (毫 卡/毫克)	熔点(°K)
高强低伸	0.1647	1.3896	31.32	87.14	1.226	32.2	14.08	528.25 (526.26~530.24)
普强普伸	0.1561	1.3815	23.89	84.33	1.035	36	13.67	528.38 (524.78~530.19)
低强高伸	0.1432	1.3808	21.91	82.37	0.971	34	13.51	528.86 (526.70~526.93)

注：高强低伸与普强普伸型的测试值是十次平均，低强高伸型的测试值是三次平均。X射线衍射法^[1]是用日本理学2037型X射线衍射仪，CuK α 靶，Ni滤波片，反射法测定结晶度、晶粒尺寸，用(100)晶面测定取向指数，用小角散射强度分布曲线计算长周期，从(T03)晶面的宽化推算折叠链区域厚度，并用长周期和折叠链区域厚度推算无定形区的长度。红外光谱法^[2]用Perkin-Elmer 577型红外分光光度计，用溴化钾压片法制样，选用次乙基团反式构型和旁式构型的吸收谱带，用1470厘米⁻¹和1450厘米⁻¹和反式旁式构型比值R=(A1470/A1450)表征反式构型和旁式构型的相对含量，折叠链份数，用988厘米⁻¹谱带测定A值。差示扫描热法^[4]用Perkin-Elmer DSC-2型差示扫描量热计；热定形有效温度的测定的程序升温速度20度/分，量程1毫卡/秒，取与熔融小峰峰顶相对应的温度(°K)，熔程取DSC熔融峰的信号开始点温度与结束点温度之间的差值。用密度梯度法(25℃)测比重，用西德Wetzlar偏光显微镜，色拉蒙法测双折射率。

表2 三种类型涤纶纤维物理机械性能测试结果

类型	项目	强伸度		断裂功		初始模量 (克/旦)	弹性恢复率(%)		
		强度(克/旦)	伸长率(%)	比功(克/旦)	功系数		3%定伸长	5%定伸长	10%定伸长
高强低伸		5.79	19.61	0.633	0.5996	52.08	56.9	59.6	68.0
普强普伸		5.03	31.49	0.851	0.5545	36.48	66.5	61.0	44.4
低强高伸		4.46	43.01	1.171	0.6226	34.37	66.1	60.6	44.9

注：高强低伸与普强普伸型的测试数值是十次平均，低强高伸型是三次平均。用YG002型电子强力机，夹距10毫米，下降速度10毫米/分，初张力100毫克/旦，测强伸度。模量、断裂功、功系数、10%伸长对应应力均按应力应变曲线图形计算。弹性恢复率用Y151型纤维弹性仪测定，夹距20毫米，张力100毫米/旦，伸长3分钟，回复2分钟。

~0.64，模量约为40~69克/旦。曲线3*、4*为普强普伸型涤纶纤维I、II型的应力应变

曲线。这两种类型的结构和性能有较大的不同，比较如下：

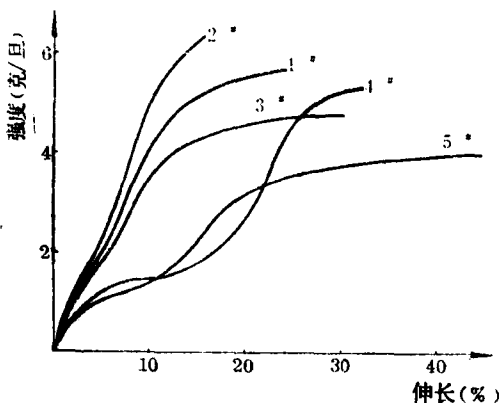


图1 五种试纺涤纶纤维的应力应变曲线

*1、*2- 高强低伸型；*3、*4- 普强普伸I、II型；
*5- 低强高伸型。

	I型	II型
连线斜率(度)	46~47	39~47
断裂功(克/旦)	0.91~0.99	0.71~1.07
功系数	0.68~0.71	0.49~0.58
模量(克/旦)	45~47	31~38

图1中曲线5*为低强高伸型涤纶纤维的应力应变曲线。曲线平坦，断裂强度低，模量低，断裂伸长大，具有明显的屈服点，起始点与断裂点连线斜率在28°~33°范围中变动，断裂功约为1.04~1.33克/旦，功系数约为0.6~0.63，模量约33~36克/旦。

4. 纺纱要求与纤维性能

在涤棉混纺时，不仅要注意在纤度和切断长度方面要与棉纤维相匹配，还应考虑其

物理机械性能与棉相接近。长绒棉的断裂强度为 4 克左右,断裂伸长一般为 8~10%,如涤纶纤维伸长 8~10% 的对应强力低于棉,则在外力作用下抗张能力主要由棉承受,结果成纱质量指标降低,易断头。因此,虽然棉型涤纶的断裂强度不一定要太高,但其 10% 伸长时的对应强力应不低于一定数值。图 2 中 P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 为不同类型涤纶纤维 10% 伸长对应强力。

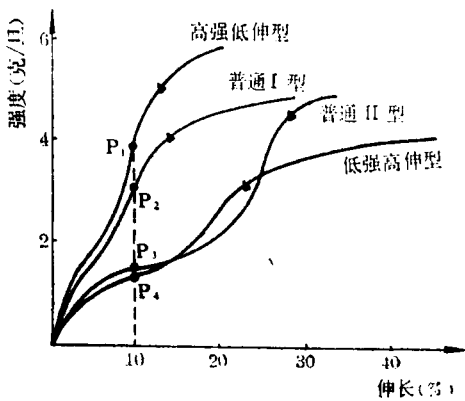


图 2 不同类型涤纶纤维 10% 伸长对应强力曲线
●—10% 伸长对应强力点; ▲—第二转折点。

从图 2 可见,10% 伸长对应强力,以高强低伸型最好,普强普伸 I 型次之,普强普伸 II 型与低强高伸型最差,大大低于棉纤维断裂强力,对纺织加工性能不利。

5. 服用性能与纤维类型^[6]

在各种类型的涤纶纤维应力应变曲线上,都存在着两个相应的转折点(高强低伸型在某种程度上不明显),将整个曲线分成三段。设以第二转折点为分界线,可以认为,在该点前着重体现其纺织加工性能,在该点后着重体现其制成品的服用性能。

现引用第二转折点强力余效和伸长余效两个指标进行比较。以纤维断裂时的强力和伸长为 100%,称为全强力与全伸长,则从 100% 减去第二转折点相应强伸值与全强伸值的比值,其差数即为强力余效和伸长余效,强伸余效数值愈高,则服用性能愈好。根据实

验算出各种类型涤纶纤维第二转折点的强伸余效大致如下:

	强力余效(%)	伸长余效(%)
高强低伸型	11.91	29.46
普强普伸 I 型	17.02	57.37
普强普伸 II 型	7.42	21.84
低强高伸型	14.12	40.26

计算方法:以普强普伸 I 型涤纶为例,其断裂强力为 7.46 克,断裂伸长为 29.23%,第二转折点强力为 6.19 克,伸长为 12.46%;强力余效为 $1 - (6.19/7.46) = 17.02\%$,伸长余效为 $1 - (12.46/29.23) = 57.37\%$ 。

综上所述,可见高强低伸型纤维的断裂强度及 10% 伸长对应强力高,模量大,所以纺织加工性能好;但伸长小,断裂功和第二转折点强伸余效低,故服用性能差。低强高伸型纤维的断裂强度及 10% 伸长对应强力低,伸长大,在高速下纺织加工性能差,但断裂功及第二转折点强伸余效高,小负荷时弹性恢复好,故服用性能好。普强普伸 I 型纤维的纺织加工性能与高强低伸型相似,而服用性能又与低强高伸型相似,故其纺织加工性能与服用性能均佳,而普强普伸 II 型则相反,纺织加工性能与服用性能都差。

三、涤纶纤维性能对纺织染整的影响

选了五种涤纶纤维进行常规纺织染加工,测定其性能,结果见表 3,分别讨论如下。

1. 纺纱性能

高强低伸型品质指标高,低强高伸型品质指标低,普强普伸型居中。另外,低强高伸型纤维纺纱时易产生不匀,粗细节及棉结较多,乌斯特不匀率也高。这可能是由于伸长率过大,在加工中不易控制所致。

2. 织物性能

原料强度好,不一定织物强力高,如 2* 样品。还可看到,原料断裂功和功系数低时织物断裂功也低;原料第二转折点强伸余效高,织物服用性能好,反之亦然。

表3 五种涤纶纤维纺织染整性能测试分析情况

	测试项目	高强低伸型		普强普伸型		低强高伸型		
		1*	2*	3*	4*	5*		
微观结构和物理机械性能	结晶度 (%)	29.51	31.48	31.08	25.05	22.63		
	取向指数 (%)	88.22	90.11	89.44	84.22	87.22		
	相对强度 (克/旦)	5.62	6.06	4.94	4.99	4.29		
	伸长率 (%)	21.34	18.14	27.82	30.54	46.62		
	模量 (克/旦)	46.67	46.76	47.78	38.53	33.88		
	断裂功	比功(克/旦)	0.752	0.583	0.903	0.771	1.257	
		功系数	0.6286	0.5114	0.6565	0.5118	0.6090	
	10%伸长对应应力(克)	5.56	4.73	4.50	2.15	1.74		
	第二转折	强力余效(%)	14.88	3.92	17.17	5.87	13.49	
		伸长余效(%)	39.73	15.33	49.61	14.16	41.20	
纺纱性能	断头得分	22	27	25	21	15		
	品质指标	4195	3997	3687	3673	3282		
	Uster 不匀率 (%)	12.91	13.17	13.43	13.37	14.11		
	细节 (个/200米)	15	20.2	20.8	24.6	42.3		
	粗节 (个/200米)	9.5	11.8	13.3	13.3	23.3		
	棉结 (个/200米)	4.7	3.3	5.2	6.1	8.8		
织物性能	坯布	强力 (公斤)	73.78	62.58	74.62	64.1	60.1	
		伸长率 (%)	16.8	14.1	19.6	19.4	23.5	
		断裂功 (公斤·厘米)	132.22	79.52	172.48	128.65	177.32	
		撕破强力 (公斤)	12.09	7.89	10.41	9.21	10.66	
		顶破强力 (公斤)	78.1	62.7	81.9	74.2	73.2	
	成品布	强力 (公斤)	75.24	60.6	72.98	57.02	60.4	
		伸长率 (%)	24.9	18.5	24.3	23.5	30.8	
		断裂功 (公斤·厘米)	180.3	119.3	185.5	150.2	186.0	
		撕破强力 (公斤)	9.37	6.3	8.94	8.66	8.68	
		顶破强力 (公斤)	79.1	59.5	72.0	61.3	69.4	
		染料吸收率 (%)	61.69	62.06	70.26	74.15	80.2	
		K/S 值	7.56	7.27	7.75	8.29	9.58	
		沸水收缩率 (%)	定形前	5.65	2.83	6.90	6.15	7.58
			定形后	0.33	0.33	0.25	0.25	0.43

注：1. 染料吸收率指对染色后织物进行剥色，用氯苯-苯酚丙酮法测定。2. 试样为1.5旦、38毫米棉型涤纶纯纺，流程为清钢联→梳棉→头并（自调匀整）→二并→粗纱→细纱→捻线。3. 用11.67号/2×11.67号/2股线，经密220根/10厘米，纬密205根/10厘米，织布流程为络筒→经浆联合机→织造。4. 在日本Nippon Dyeing Machine MFG染色机上进行喷射溢流染色，130℃半小时，用染后定形工艺。

分析表3中数值可得到以下结论：

(1) 在同一类型的纤维中，由于应力应变曲线的形态不同(参见图1)，在织物性能方面就有相当大的差异。如1*、2*同属高强低伸型，3*、4*同属普强普伸型，而1*、3*织物性能优良，2*、4*织物性能差。这是由于断裂功、功系数的不同和第二转折点的强伸余

效发生成倍相差的缘故。

(2) 纤维的强度超过一定极限时，会导致服用性能降低，如试样2*。故在生产中选用纤维时，应按制成品所要求的性能，全面平衡，要具有一定的强力和足够的伸长。

3. 染整性能

表4为不同类型的纤维在染整过程中的

表4 织物在染整加工中结晶度的变化

结晶度 试样	工序 %	原料	坯布	烧毛	炼漂	定形 (200℃)
1*		29.51	29.93	28.85	27.50	32.66
2*		31.48	27.17	27.47	25.91	31.39
3*		31.08	29.91	29.03	29.29	34.45
4*		25.05	26.84	26.73	25.27	34.60
5*		22.63	25.17	25.08	25.79	31.68

结晶度变化情况。图3~6为纤维晶粒大小、熔程、无定形区厚度等在不同张力情况与定形温度的关系。综合上述试验，得出的结论如下：

(1) 涤纶纤维的结晶度和晶粒尺寸随着定形温度的升高而增大。当定形温度超过180℃时，晶粒尺寸急剧增大，几种不同类型纤维织物的变化规律基本相似。其中原先结晶度较高的，经定形工艺后结晶与晶粒尺寸增长较少，原先结晶度与晶粒尺寸较低的，则增长较多。

(2) 涤纶纤维经纺纱、织造形成织物，再经练漂、定形、染色等加工过程，微观结构参数发生变化的程度决定于纤维类型和处理工艺条件，选择适当的工艺条件，可改善其性能。

(3) 在同一工艺条件下，五种类型纤维织物的染色性能，如染料吸收率和织物上染料的表现浓度，以低强高伸型最好。

(4) 五种不同类型纤维织物，经相同热定形工艺后，其干热收缩率与沸水收缩率趋向于接近，都可得到较满意的尺寸稳定性。

(5) 经染整后的成品综合质量，以低强高伸型5*、普强普伸型3*和高强低伸型1*较好，反映出它们应力应变曲线上的特点。

4. 染整工艺条件与微观结构的关系

热处理过程中，在结晶区，其结晶度、结晶完整性、晶粒大小都随温度的升高而增大；在非晶区，长周期、无定形区厚度、反式与旁

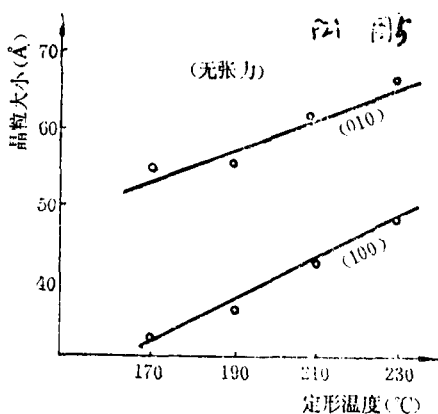


图3 热定形过程中晶粒大小变化曲线

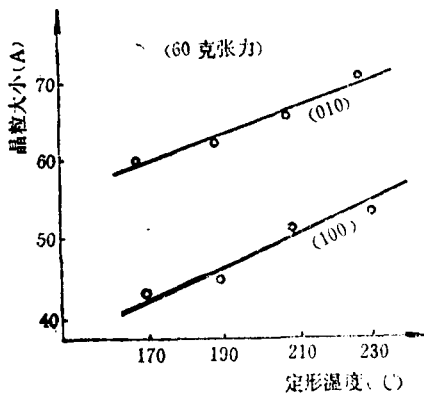


图4 60克张力下热定形过程中晶粒大小变化曲线

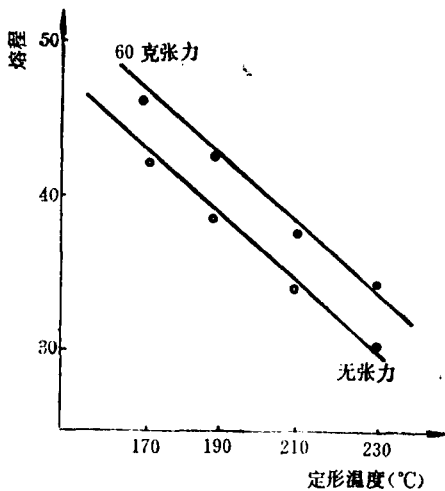


图5 熔程与定形温度的关系

式比,以及表征链折叠程度的红外 988 厘米⁻¹的吸收谱带强度,亦随之增加。而热定形过程中的张力,则阻碍了链的折叠和结晶的发展。实验结果见图 3~6。

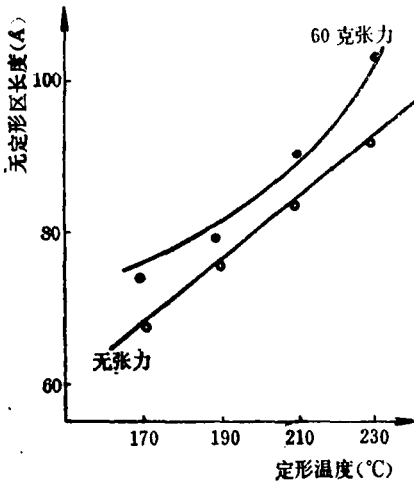


图 6 热定形过程中无定形区厚度变化

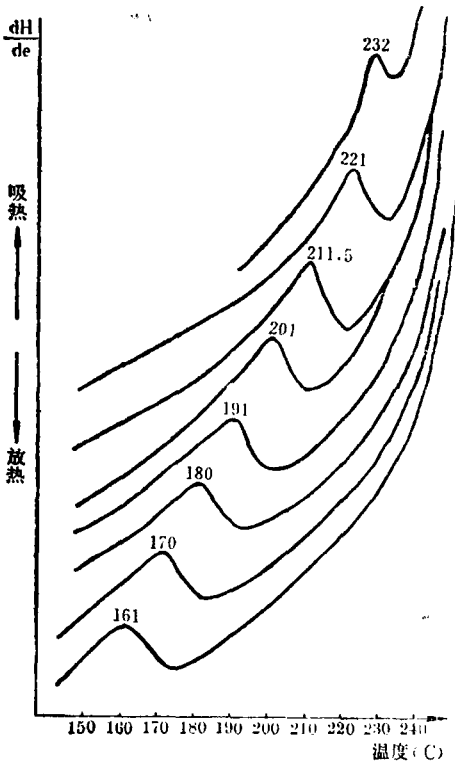


图 7 不同热处理温度涤纶纤维的 DSC 曲线
试样: 金山涤纶厂产涤纶短纤维, 热处理时间 120 秒。

在热定形温度的控制方面,研究了涤纶 DSC 热谱上熔融峰前的熔融小峰位置与形状的变化规律,前者随着热处理温度升高而线性增大,后者随着热处理温度增高而变窄。它们直接反映了涤纶纤维和织物在热处理过程中受热的影响程度,参见图 7。

四、结 语

1、不同类型棉型涤纶纤维的物理机械性能,突出表现于应力应变曲线形态上,不同类型纤维有不同的形态。作为衣着用的棉型涤纶纤维,曲线形态以 1°、3° 两种较好,2°、4° 两种有一定的缺陷(参见图 1)。

2、提高棉型涤纶纤维强度,可改善加工条件,提高纱线品质指标,但断裂强度提高到一定值以上时,反会导致服用性能的降低。对此,纤维的延伸度将起决定性作用。因而在提高强度的同时,还须保持足够的伸长。伸长率过低的高强纤维(如低于 20%),不宜作为衣着用织物的原料。

3、提高棉型涤纶纤维第二转折点的强伸余效,会给织物服用性能带来很大的好处。这实际上反映了纤维在拉伸过程中应力应变的持续性,亦即耐穿耐用的持久性。

4、涤纶织物经练漂、定形、染色等加工过程后,微观结构参数发生较大变化,其变化程度决定于纤维本身的类型和后加工工艺条件,选择适当的加工工艺条件,可改善其性能。

5、涤纶 DSC 热谱上熔融峰前的熔融小峰的位置和强度,直接反映了涤纶纤维和织物在热处理过程中所受的影响程度,能更好地反映热定形条件与效果。

参 考 资 料

[1] 《纺织学报》, 1982, No. 5, p.3~9.
 [2] 《J. Polymer Science》, Part A, 1963, p1271.
 [3] 《Applied Fibre Science》, Vol. 1, 1928(英).
 [4] 《Chemiefasern Textil-Industrie》, 1974, Vol. 24, No1, P. 46.
 [5] 纤维学会《纤维便览》(原料篇), P193222, (日).
 [6] Rowland Hill 主编,《合成纤维》, 化学工业出版社, P357~362.