低扭矩单纱的纤维强度利用效率研究

郭 滢
(南通大学 纺织服装学院, 江苏 南通 226019)

摘 要: 分别采用标准强度测试方法、变隔距低速拉伸测试法、断裂端显微镜分析法,对比分析了环锭单纱与低扭矩单纱的拉伸断裂特点及纤维强力利用效率。结果表明,在同捻度情况下低扭矩纱中的纤维具有更高的强度利用效率,甚至在捻度更低的情况下,低扭矩纱仍能保持较高的强度。变隔距低速拉伸测试发现,低扭矩纱受拉断裂时,常在拉伸曲线上最大比应力后又出现一个或多个断裂峰值。这些特点印证了关于纱线内部结构的分析及推论。

关键词: 断裂; 低扭矩纱; 强度利用效率; 结构
中图分类号: TS101.921.3 **文献标识码**: B **文章编号**: 1001-2044(2018)01-0004-04
DOI:10.16549/j.cnki.issn.1001-2044.2018.01.002

Fiber tenacity utilization efficiency of low torque singleyarn

GUO Ying
(School of Textile and Clothing, Nantong University, Nantong 226019, China)

Abstract: The tensile failure and fiber tenacity utilization efficiency of ring single yarn and low torque single yarn are compared and examined with standard test method, low speed method with different test gauges, and microscopy observation method respectively. Experimental results indicate that the low torque single yarns have higher fiber tenacity translation efficiency under the same twist level. Low torque single yarns can keep relatively high strength even at lower twist. The results of low speed tenacity test show that on tensile curves of low torque yarns, there is often one even more peak after the maximum specific stress. Those failure features can be explained from structural characteristics of yarns.

Key words: breaking; low torque single yarn; tenacity utilization efficiency; structure

在纱线的诸多性能要素中,强度既是成纱的基本保证,也对织造及后道加工起着至关重要的作用。对于纺织行业最常使用的短纤纱,其强度主要来源于构成短纤纱的纤维强度,但单纱强度总是小于其断面内各根纤维断裂强度之和,两者的比值称为单纱中纤维强度利用系数,其百分数形式即为纤维强度利用效率。单纱中纤维强度利用效率非常低,尤其是短纤纱,其值通常小于 50%,如棉纱常为 40%~50%,毛纱常为 20%~30%[1]。当采用相同的原料在同样的条件下纺纱时(如采用相同捻度),纺纱方法对纤维强度利用效率的影响最为显著,归根结底还是单纱中纤维的空间构型起着决定性的作用[2]。单纱结构不同,断裂机理不同,即单纱在受力拉伸断裂过程中,纤维受力不同,能够同时参与断裂的纤维根数不同,则纤维强度到单纱强度的转换效率不同。例如,Lawrence 等[3]人曾指出转杯纱之所以比环锭纱强度低的原因是两种纱结构不同。同理,喷气纺棉纱的拉伸断裂强度只有环锭纱的 55%~60%。近年来出现了一种新型低扭矩纺纱技术,研究表明,低扭矩纱在低捻度的条件下有较高的断裂强度。

本文采用多种方法对低扭矩纱的拉伸过程进行详细分析,并与环锭纱进行对比,结合低扭矩纱内部的结构特点,揭示低扭矩纱拉伸断裂特点与其内部结构之间的关系。

1 试验

1.1 原料及纱线准备

原料为棉纤维,在 Spinlab900 型大容量棉纤维测试仪上测得纤维的马克隆值为 4.2,2.5%跨距长度为 31.8 mm,断裂强度为 24.01 cN/tex,断裂伸长率为 5.6%。试验采用 535 tex 的棉粗纱纺制细纱,细纱机型号为 Zinser351,配有低扭矩纺纱系统。由于低扭矩纱通常在低捻情况下纺制,捻度过低时,环锭纱不能正常纺纱,故设计单纱类型及英制捻系数分别为:环锭纱-2.8(试样 1#),低扭矩纱-2.8(试样 2#),低扭矩纱-2.5(试样 3#),纱支均为 29.25 tex。

1.2 试验方法

在温度为(20±2)℃、相对湿度为(65±2)%的条件下平衡 24 h 后,先采用百米称重法测试纱线 3 次,求其平均值作为单纱实际纱支,再采用退捻加捻法在 Y331N 型纱线捻度机上测试 10 次,求其平均值作为单纱实际捻度。随后对单纱的断裂强度进行测试,测试

收稿日期: 2017-11-04
基金项目: 南通市应用基础研究计划项目(GY12015006);常熟科技发展计划项目(CG201601)
作者简介: 郭滢(1982-),女,副教授,主要从事新型纺纱的研究。

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

分三步进行。第一步,先根据 ASTMD 2256—2002《纱线拉伸性能的标准试验方法——单纱法》在 Uster Tensorapid Ⅲ型纱线强伸测试仪上测试单纱断裂强度,测试速度为 5 000 mm/min,测试长度 50 cm,每种纱测试 50 次。第二步,采用“变换夹持长度,低速拉伸”的方法进行拉伸测试。试验仪器为 Instron 4411 型万能材料试验机,拉伸速度为 10 mm/min,纱线夹持隔距分别为 1、2、10、25 cm,每种纱测试 50 次。在前两步中,将根据纤维及单纱拉伸性能的数据,分别分析不同测试隔距下单纱的拉伸断裂强度分布,并计算不同单纱、不同拉伸条件下的纤维强度利用效率。第三步,在 Leica 165C 型显微镜下对纱线断裂处两端的纤维断裂和滑脱情况进行分析,对照该纤维相应的拉伸曲线与结构特点,进一步研究纱线断裂特性。

2 结果与讨论

2.1 单纱性能的测试结果及分析

3 种单纱的性能测试结果见表 1。

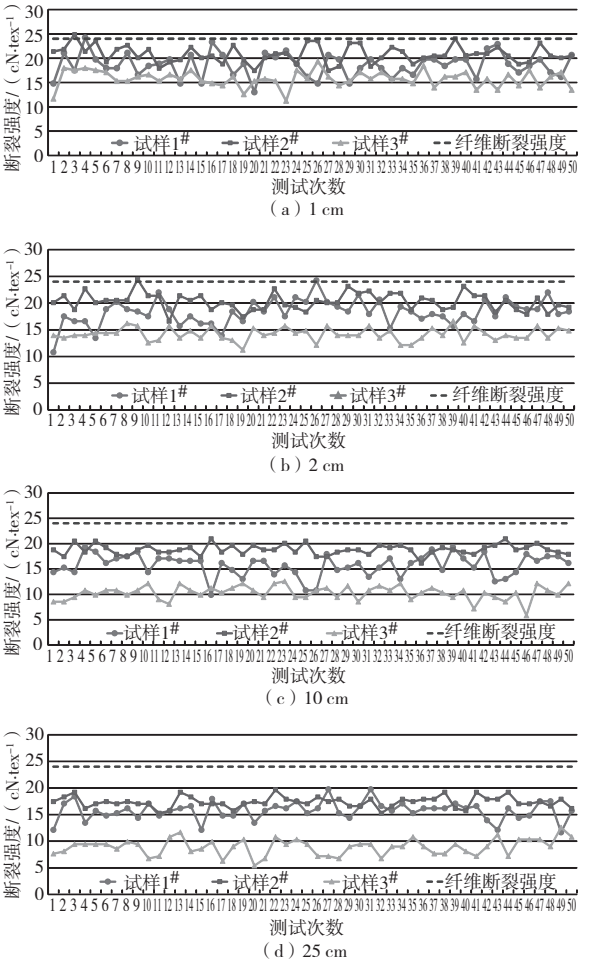
表 1 单纱性能测试结果

项目	1#	2#	3#
实测细度/tex	29.81	30.73	29.87
实测细度 *CV*/%	0.10	0.49	0.34
实测捻度/[捻 · (10 cm)$^{-1}$]	54	56	48
实测捻度 *CV*/%	2.70	3.99	9.49
平均断裂强度/(cN · tex^{-1})	13.28	20.07	16.86
平均断裂强度 *CV*/%	8.3	3.6	7.2
最小断裂强度/(cN · tex^{-1})	9.86	18.56	13.09
最大断裂强度/(cN · tex^{-1})	15.46	21.80	19.48

从表 1 可以看出,在捻系数和实测捻度大致相同的情况下,低扭矩纱(试样 2#)的平均断裂强度比环锭纱(试样 1#)高出 51%,且 *CV* 值较小;另外,环锭纱的最小断裂强度仅为低扭矩纱的一半,说明在该捻度条件下,环锭纱存在强度很弱的片段,这对后道织造是极为不利的。若捻度再降低 11%为 48 捻/10 cm 时,则环锭纱不能正常生产,而低扭矩纱(试样 3#)的平均断裂强度比较高捻度的环锭纱还要高出约 27%,且最大断裂强度和最小断裂强度也比环锭纱(试样 1#)高出 25%以上。

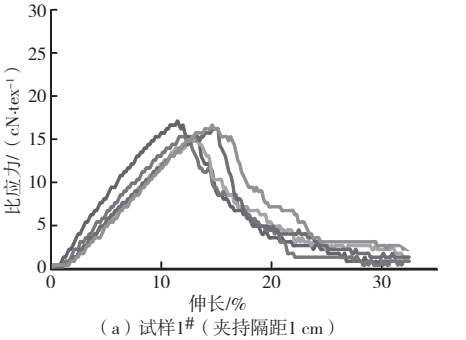
2.2 变隔距低速拉伸测试结果及分析

在夹持隔距分别为 1、2、10、25 cm 时,3 种单纱 50 次的拉伸断裂强度见图 1。部分单纱的典型拉伸曲线见图 2。

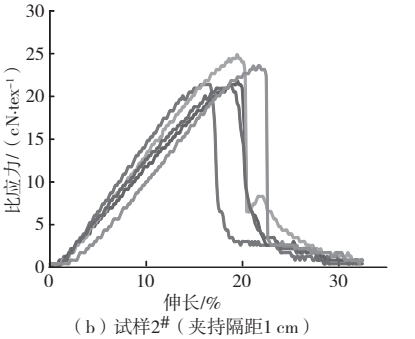


(a) 1 cm
(b) 2 cm
(c) 10 cm
(d) 25 cm

图 1 不同夹持隔距时单纱的拉伸断裂强度

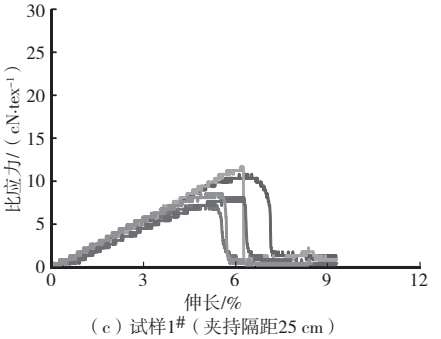


(a) 试样1#(夹持隔距1 cm)

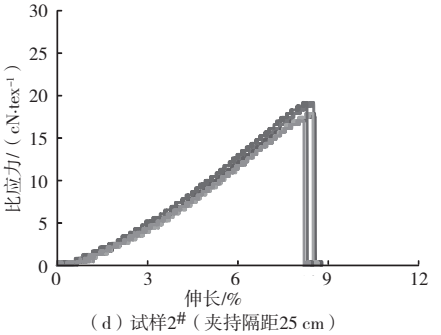


(b) 试样2#(夹持隔距1 cm)

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



（c）试样1#（夹持隔距25 cm）



（d）试样2#（夹持隔距25 cm）

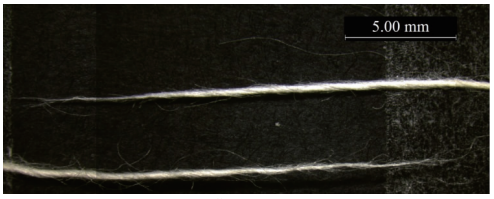
图2 部分纱线典型的拉伸曲线

由图1、2可见，当纱线被低速拉伸时，纤维发生应变的反应时间较长，结合其拉伸曲线和断裂处的纤维状态，可以更深入地了解拉伸时纤维断裂或滑脱的过程。当夹持隔距较短时，夹持点之间的纤维头端非常少，此时断裂的主要形式是纤维断裂，单纱断裂强度主要取决于能够同时参与断裂的纤维根数。从图2(a)、(b)的拉伸曲线形态来看，环锭纱(试样1#)中有部分纤维同时断裂，随后其他纤维陆续发生断裂；低扭矩纱(试样2#)拉伸曲线后期较陡，且从图1(a)、(b)可见其断裂强度普遍较大，说明在低扭矩纱中有较多纤维同时断裂。从图1(c)、(d)可见，随着夹持隔距增加，夹持点之间的纤维头端增多，纱线的弱节增多，拉伸过程中容易产生纤维滑脱，即部分纤维不能参加断裂，因此无论环锭纱还是低扭矩纱的单纱断裂强度都显著降低，但环锭纱的断裂强度仍明显低于同捻度水平的低扭矩纱，甚至低于更低捻度的低扭矩纱。此外，从图2(c)、(d)的拉伸曲线上能看出低扭矩纱在断裂时持续的时间比较短，纤维同时受力，瞬间断裂。

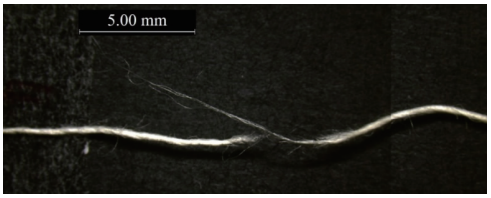
3种单纱的纤维强度利用效率见表2。与常用的针织纱捻系数3.2相比，本文设计的英制捻系数为2.8，这已经属于较低的捻度水平。如表2所示，低扭矩单纱(试样2#)中纤维强度利用效率高达83.59%。在夹持隔距较小的低速拉伸测试中，部分片段的单纱断裂强度接近甚至超过束纤维断裂强度值，虽然不排除受到纱线横截面纤维根数不同的影响，但也足以说明低扭矩纱中某些片段的纤维强度利用效率非常高，即几乎所有的纤维同时参与断裂。这个断裂特征也可以从对断裂端的显微镜分析中得到印证，如图3所示，捻度极低的低扭矩纱被拉断时，断面上仅有很少量纤维滑脱。

表2 平均纤维强度利用效率 %

项目	夹持隔距				
	1 cm	2 cm	10 cm	25 cm	50 cm
1#	65.64	59.06	42.90	37.15	55.31
2#	86.63	84.46	78.38	72.30	83.59
3#	77.51	76.26	65.60	65.60	70.22



（a）试样1#（夹持长度1 cm）



（b）试样3#（夹持长度1 cm）

图3 纱线断裂端的显微镜分析

在低扭矩纱中，纤维存在频繁地内外转移，且转移幅值较大，大多数纤维轨迹呈非同轴圆锥形螺旋线，而环锭纱中的纤维呈同轴圆柱形或同轴圆锥形螺旋线。低捻的环锭纱中纤维螺旋轨迹以圆柱形居多，其螺旋线中心轴与纱线中心线一致。另外，在同样的径向位置处，低扭矩纱中纤维的平均取向角常常小于环锭纱中纤维的平均取向角。低扭矩纱中特殊的纤维构型增加了纤维间的抱合力和摩擦力，大大降低了纱线受拉伸时纤维滑脱断裂的机率，使得大部分纤维可以同时受力，同时参与断裂，从而提高纱线强力。

除此之外，低扭矩纱中很多纤维螺旋线上存在半径较小的“螺旋结”，这些“螺旋结”将部分纤维紧紧地捆绑在一起，在纱线内部形成纤维束结构，增强了纤维间的抱合力。这种结构的纱线片段在受到拉伸时，有可能出现纤维分批断裂，即在拉伸曲线上最大比应力后又出现一个或多个断裂峰值，见图4。

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

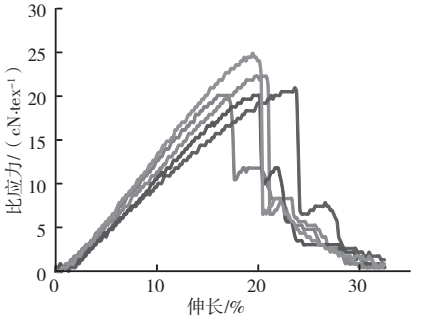


图 4 低扭矩纱特殊的拉伸曲线

3 结 语

本文通过标准强度测试法、变隔距低速拉伸测试法、断裂端显微镜分析法,对比分析了环锭单纱和低扭矩单纱的拉伸断裂特点,并结合低扭矩环锭单纱内部纤维三维构型,分析了低扭矩环锭单纱中纤维强度利用效率,得到结论如下:

(1)无论在标准测试条件下还是低速拉伸断裂时,在低扭矩纱中同时参与断裂的纤维根数较多,即纤维的强度利用效率较高,因此低扭矩纱的断裂强度明显高于同捻度的环锭纱,甚至在捻度更低的情况下,低扭矩纱仍能保持较高的强度。

(2)结合对纱线断裂端的显微镜分析,在小隔距低速拉伸时,低扭矩纱中部分纤维片段具有极高的纤维强度利用效率。

(3)变隔距低速拉伸测试发现,低扭矩纱受拉断裂时,常在拉伸曲线上最大比应力后又出现一个或多个断裂峰值,尤其是在小隔距拉伸时,这主要是因为在低扭矩纱内部纤维螺旋线上有较多的"螺旋结"。

(4)低扭矩纱的拉伸断裂特点印证了以往关于其内部结构特点的分析。

参考文献:

[1] 于伟东.纺织材料学[M].1 版.北京:中国纺织出版社,2006.
[2] ISHTIAQUE S M,RENGASAMY R S,SHARMA O P,et al.Influence of fiber strength and yarn structural characteristic on tensile failure of blended spun yarns: a prediction model[J].The Journal of the Textile Institute,2016,107(1):127-135.
[3] LAWRENCE C A,FOSTER W.A study of the structure and properties of friction spun yarns:The VI International IZMIR Textile Symposium [C].1992.

(上接第 3 页)

高,可制备大尺寸、结构复杂的产品,但是其模具的设计加工较为复杂。

4 展 望

未来雷达天线罩材料不仅要求介电常数和损耗角正切值小,还要满足在更高温度、更加恶劣环境中的工作要求,能够承受更大的载荷和热冲击,并保证传输功率与瞄准误差满足制导系统的要求。因此,天线罩材料除了具有优良的力学性能和介电性能外,还必须具备耐高温烧蚀、抗热冲击以及抗雨蚀能力。树脂基复合材料具有很高的比强度,力学性能、耐高温性能和介电性能好,密度小、质量轻,能够在减少飞行器质量的同时又确保较高的结构强度。现有的纤维增强材料的耐高温性能有待提升,新型高性能增强纤维与树脂基体的选择以及相应的复合材料制备工艺有待做进一步研究。

参考文献:

[1] 范叶明,温广武.几种新型陶瓷天线罩材料与制备工艺[J].热处理技术与装备,2008,29(6):1-5.
[2] 肖卫东,黄一清,蔡正燕.潜用雷达天线罩材料及成型工艺研究[J].造船技术,2013(5):24-25.
[3] 宗熙,张其助,王玉功.微波介质基片介电常数测量[M].北京:中国计量出版社,1991.
[4] 赵磊,秦华宇,梁国正,等.氰酸酯树脂在高性能印刷电路板中的应用[J].绝缘材料,1999(3):7-10.
[5] LIU H K,HUANG C C.Impact response and mechanical behavior of 3-D ceramic matrix composites[J].Journal of the European Ceramic Society,2001,21(2):251-261.
[6] 姜勇刚,张长瑞,曹峰,等.高超音速导弹天线罩透波材料研究进展[J].硅酸盐通报,2007,26(3):500-505.
[7] 胡伟,邬浩,王萍萍,等.陶瓷天线罩材料的研制进展[J].纤维复合材料,2010(3):16-23.
[8] 刘萝葳,曹运红,王蕾,等.导弹雷达天线罩用的工艺材料[J].战术导弹技术,2004(1):23-28.
[9] 石毓锑,梁国正,兰立文.树脂基复合材料在导弹雷达天线罩中的应用[J].材料工程,2000(5):36-39.
[10] 方志宁.新型聚酰亚胺材料及其合成[J].化学工程与装备,2009(10):124-126.
[11] 赵磊,梁国正.氰酸酯树脂在宇航复合材料中的应用[J].宇航材料工艺,2000,30(2):17.
[12] 秦华宇,梁国正.氰酸酯树脂的合成与表征[J].化工新型材料,1998,26(10):33.
[13] 胡连成,黎义,于翘.俄罗斯航天透波材料现状考察[J].宇航材料工艺,1994,24(1):48.
[14] 杨燕.石英纤维/有机硅树脂复合材料的制备及性能研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2011.

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net