

文章编号: 1671-0444(2012)02-0164-06

低扭矩环锭纱的结构分析

郭滢^{1,2}, 陶肖明², 徐宾刚², 王善元¹

(1. 东华大学 纺织学院, 上海 201620; 2. 香港理工大学 纺织及制衣系, 香港)

摘要: 从纤维在空间上的三维形态以及在纱线横截面上的分布分析了低扭矩环锭纱中纤维的三维结构特征. 研究表明, 低扭矩环锭纱中大量的纤维轨迹呈非同轴异形螺旋线, 其螺旋轴线与纱线轴线不一致, 且螺旋半径不断显著变化, 同时, 很多纤维片段的螺旋线方向与纱线正常捻度方向相反. 此外, 低扭矩纱线中纤维在纱线横截面上的分布较为集中, 有利于拉伸变形时纤维同时受力. 低扭矩环锭纱的这些结构特征揭示了其独特的物理性能, 即低残余扭矩、低捻度、高强度.

关键词: 低扭矩环锭纱; 三维空间构型; 非同轴异形螺旋线; 局部反转; 堆砌密度

中图分类号: TS 106.41

文献标志码: A

Structural Characteristics of Low Torque Ring Yarns

GUO Ying^{1,2}, TAO Xiao-ming², XU Bin-gang², WANG Shan-yuan¹

(1. College of Textiles, Donghua University, Shanghai 201620, China;

2. Institute of Textiles & Clothing, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China)

Abstract: A comparative study on structural characteristics of low torque ring and conventional ring yarns in terms of 3D fiber configurations and the fiber packing density is made. The research results reveal that many fiber specimens in low torque ring yarns follow a deformed non-concentric helix and the size of helical loops varies significantly, also the axis of the helix does not coincide with yarn axis. Local reversion phenomena appear on many fiber segments. In addition, fiber in the low torque ring yarns cross section distributes more concentratedly and presents compacter structure. Those features offer an explanation for the excellent physical properties of low torque ring yarns with low residual torque, low twist and high strength.

Key words: low torque ring yarns; three-dimensional configuration; deformed non-concentric helix; local reversion; packing density

低扭矩纺纱技术使得在普通环锭细纱机上采用低捻度纺纱成为可能, 其技术特点主要是在传统环锭细纱机的前罗拉和导纱钩之间加装一个假捻装置, 从而通过改变纱线结构得到低扭矩环锭纱^[1]. 低扭矩环锭纱具有极低的纱线残余扭矩、较少的纱线毛羽以及较高的纱线强力, 其最终织物的尺寸稳定性和手感等得到很大提高. 这些特征都与低扭矩环锭纱中纤维的独特排列结构相关, 而目前对于低扭矩环锭纱

结构的分析^[2]比较浅, 没有得到这种新型纱线中的特殊纤维形态, 因此必须对纱线结构进行深入分析, 以便建立纱线结构与性能之间的重要关系.

纱线结构主要可以从纤维在纱线内部的三维空间形态和纤维在其横截面上的分布状态来体现. 前者的分析常常建立在示踪纤维技术^[3]上, 后者一般可用纤维沿纱线径向的堆砌密度^[4]来表征. 本文主要通过与传统环锭纱形态的比较, 探讨低扭矩环锭

收稿日期: 2010-12-14

项目基金: 香港纺织制衣研发中心资助项目(RD/PR/011/06)

作者简介: 郭滢(1982—), 女, 河南洛阳人, 博士, 研究方向为低扭矩环锭单纱的结构及性能. E-mail: gy05@mail.dhu.edu.cn

陶肖明(联系人), 女, 讲座教授, E-mail: tctaoxm@inet.polyu.edu.hk

纱中示踪纤维的特殊三维构型以及纤维在纱线横截面上的分布状态,即纤维堆砌密度的变化,从而揭示影响低扭矩环锭纱性能的主要结构特点。

1 试验

1.1 材料及样品准备

由于低扭矩纺纱技术常采用较低捻度(比传统环锭纱正常捻度低 20%~40%)进行生产^[1],试验中按常用参数选取。首先采用同一批棉条(535 tex)纺制线密度为 29 tex,捻度为 440 捻/m 的低扭矩环锭纱和传统环锭纱进行主要物理性能对比,棉纤维的马克隆值为 4.2,2.5% 跨距长度为 31.8 mm,纤维强度为 24.5 cN/tex,断裂伸长率为 5.6%。考虑到棉纤维的横截面很不规则,双折射现象比较显著,而 Tencel 纤维截面为圆形,相对影响较小,试验选用 Tencel 粗纱纺制的同样参数的低扭矩环锭纱和传统环锭纱进行结构分析。Tencel 纤维的长度为 38 mm,直径为 12.08 μm。所有的纱线都是在同样条件下,在 Zinser 351 型细纱机上纺制,但在纺低扭矩环锭纱时加入了扭矩降低装置。纤维三维构型分析时,纱线中示踪纤维质量分数约为 0.32%,纤维堆砌密度分析时不含示踪纤维。

1.2 试验方法

将所有纱线样品在标准条件下(温度为(20±2)℃,相对湿度为(65±2)%)至少平衡 24 h。物理性能测试中,任意抽取备选样品中的 10 组管纱进行测试,结果取平均值。采用 Uster Tensorapid Tester 测量纱线强力和断裂伸长,每管测量 50 次。利用特制的纱线扭结测试仪^[5]测定 25 cm 长度纱线上湿扭

结的个数来表征纱线中的残余扭矩,扭结数越少即纱线残余扭矩越小,每管测量 10 次。采用 Zweigle 566 型毛羽测试仪测试毛羽,以 100 m 纱线长度上 3 mm 以上毛羽根数表征毛羽性能,每管测量 3 次。

纱线中示踪纤维的形态采用纱线结构连续测量分析系统及表征方法^[6]进行分析。试验中将含有示踪纤维的纱线浸在盛满观测溶液的观测槽中,然后在与放大器相连的 CCD 摄像机(SAMSUNG SCC-131BP 型)下观察。在观测槽中,一面剖光钢片与水平面呈 45°角放置,由此可以得到两个相互垂直的面上的示踪纤维形态。本文中, z 向为纱线的轴向, x 和 y 向分别为纱线截面上相互垂直的两个方向; r/R 表示纤维的径向位置,该值反映了纤维上某点距离纱线中心的相对位置,其中, r 为纤维上某点到纱芯的距离, R 为纱线直径。纤维堆砌密度的分析中,采用纱线张力控制装置备样^[7],随后用 Leica RM 2135 型切片机做纱线横截面切片,最后采用等面积分割法计算纤维在纱线横截面上的堆砌密度,即将纱线横截面分成若干面积相等的圆环,以圆环内纤维所占的面积与圆环面积之比表示该位置处纤维的堆砌分布密度。

2 结果与讨论

2.1 纱线物理性能

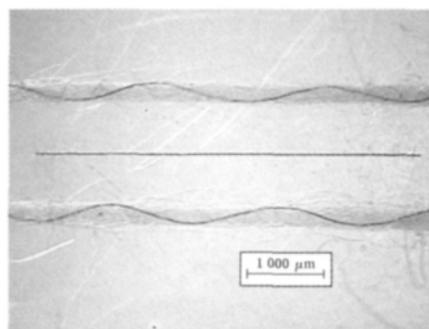
纱线的主要物理性能测试结果如表 1 所示。在同样条件下,与传统环锭纱相比,低扭矩环锭纱的强力约提高 43%,湿扭结数降低 46.5%,100 m 纱线上 3 mm 以上毛羽根数减小了 77.5%。此外从试验数据上看,低扭矩环锭纱条干与同条件下得到的传统环锭纱条干差别不大。

表 1 纱线物理性能
Table 1 Yarn physical properties

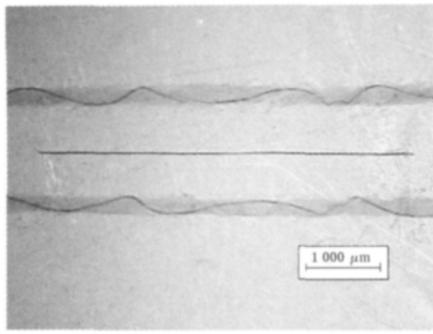
纱线样品	断裂强度		湿扭结数		毛羽根数		条干	
	/(cN·tex ⁻¹)	CV 值/%	/(个·(25 cm) ⁻¹)	CV 值/%	/(根·(100 m) ⁻¹)	CV 值/%	质量变异系数/%	CV 值/%
传统环锭纱	12.45	9.8	43	7.3	2415	16.30	9.97	2.3
低扭矩环锭纱	17.79	5.7	23	7.1	543	8.47	9.78	8.4

2.2 纤维在纱线中的空间构型

图 1 所示为两个相互垂直平面上观察到的传统环锭纱和低扭矩环锭纱中典型的示踪纤维形态。传统环锭纱中的纤维轨迹有规则,具有明显的周期性。而低扭矩环锭纱中的纤维路径非常不规则。图 1 中所示的纤维片段上,环锭纱中的纤维捻回数较低扭矩环锭纱中的少。此外,低扭矩环锭纱中纤维路径的波峰到波谷的振动幅值变化很大,较不规则。



(a) 传统环锭纱

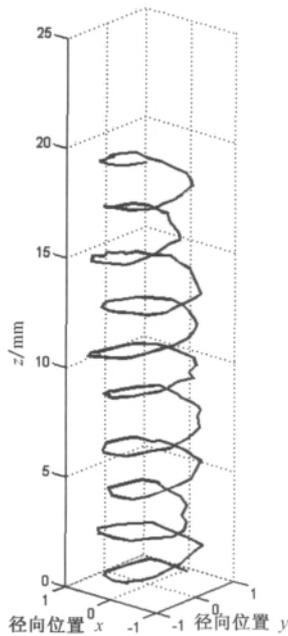


(b) 低扭矩环锭纱

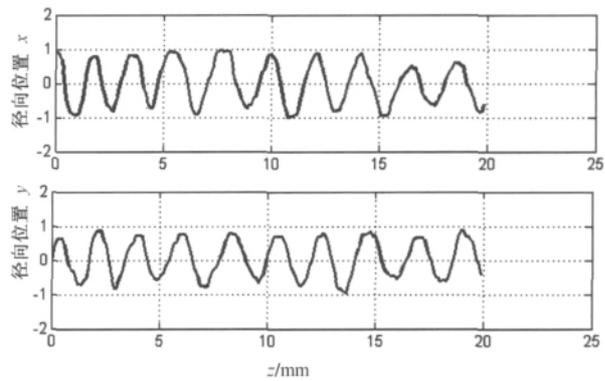
图 1 纱线中典型的示踪纤维形态

Fig. 1 Images of typical tracer fibers in yarns

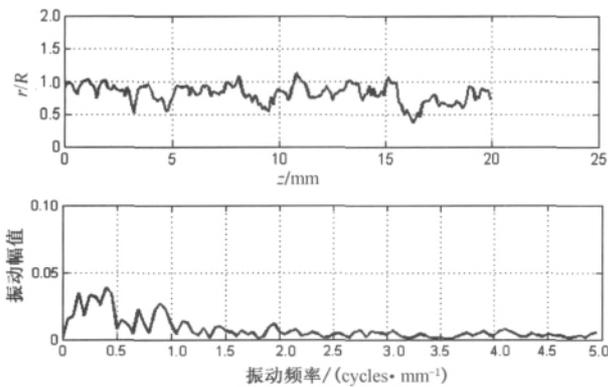
将纤维轨迹进行三维重建后,得到如图 2 和 3 所示的两种纱线典型的纤维三维构型. 在传统环锭纱体内的示踪纤维轨迹接近理想同心螺旋线,且有较为清晰稳定的螺距和螺旋半径(图 2(a)和(b)). 从纤维径向位置沿纱线轴向的分布及其傅里叶(FFT)分析谱图(图 2(c))可以看出,纤维距离纱线中心位置较远,且只在纱线中径向位置一个很小的范围内波动,即纤维内外转移幅度很小.



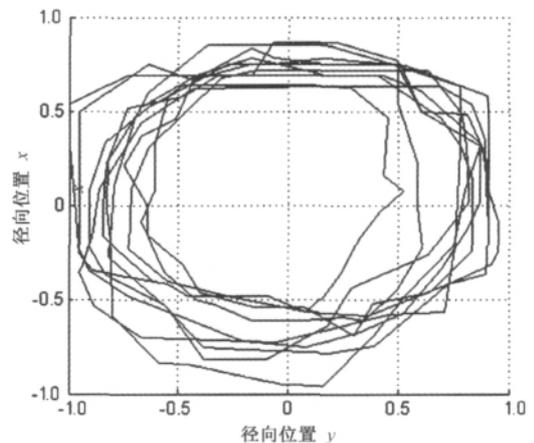
(a) 纤维的三维构型



(b) 纤维沿纱线轴向二维平面上的投影



(c) 纤维的径向位置分布及傅里叶分析



(d) 纤维轨迹在 x-y 平面上的投影

图 2 传统环锭纱中典型的纤维形态

Fig. 2 Typical fiber configuration in conventional ring yarn

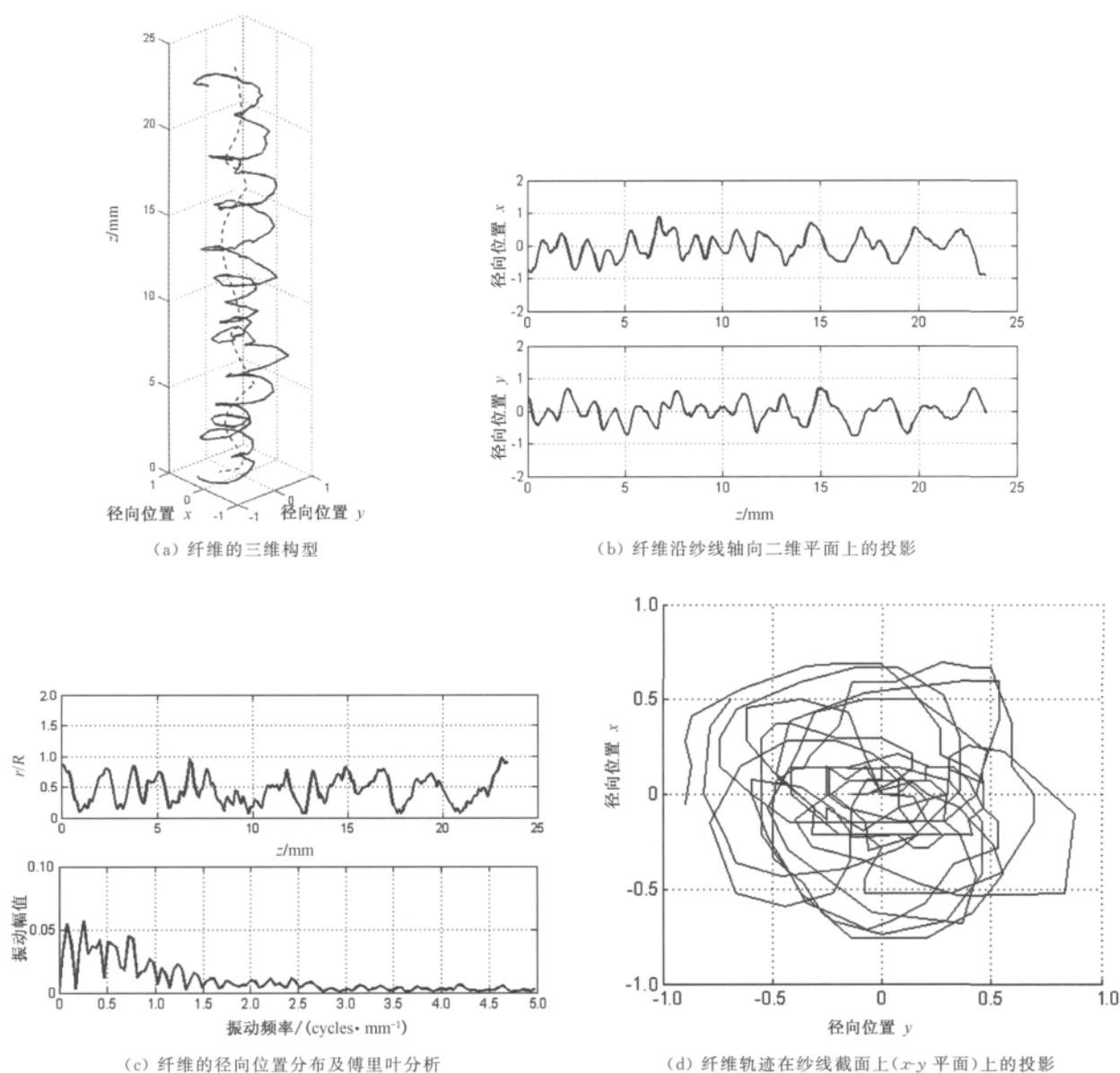


图3 低扭矩环锭纱中典型的纤维形态

Fig. 3 Typical fiber configuration in low torque ring yarn

而在低扭矩环锭纱中,大多数纤维轨迹并不是同轴螺旋线结构,而是一个“非同轴异形螺旋线”(图3(a)).文献[8]曾观察到,在低扭矩纱线形成过程中,纺纱三角区内会出现束状的纤维,这可能是导致低扭矩纱线中纤维出现这种非同轴异形螺旋构型的一个原因.同时由于低扭矩生产装置的引入,三角区内的纤维束虽然以一定形态进入纱线,但在经过扭矩减小装置时,原已成型的纱线会被拆开重组,这造成了大量纤维在纤维束间穿插交织,形成这种独特的类似于多股纱结构.但是与股纱结构最大的不同是,在低扭矩环锭纱中,除了整根纤维呈现出转移趋势外,还有一些小的转移存在于这些整体的转移路线里.整条纤维轨迹类似几段圆锥

螺旋线的叠加堆积,但是这些圆锥形螺旋线的中心轴大多与纱线的中心轴向不一致.螺旋半径也不断无规则地变化,这增加了纤维与纤维间的接触机会,增大纤维间摩擦,减小纱线受拉伸时纤维滑脱的机会,从而提高纱线强力.低扭矩环锭纱中的纤维在纱线中心到纱线表面间发生内外转移幅度比传统环锭纱中的纤维大得多(图3(c)),从纤维轨迹在纱线横截面上的投影(图3(d))也能看出,低扭矩环锭纱的结构更为紧密.

另一种存在于低扭矩环锭纱中的纤维构型特点是纤维片段的局部反转现象,即纱线中纤维某些片段的螺旋轨迹与纱线实际捻度方向相反.按照纤维空间取向角及其方向性的确定方法^[6],可以得到

沿纱线轴向螺旋上升的纤维片段相对于纱线轴向所处的位置. 如图 4 所示为在两种纱线样品中基本处于同一径向位置的纤维空间取向角的分布. 由图 4 可知, 传统环锭纱中纤维与纱线轴向的取向角大致在一个很小的范围内波动; 而在低扭矩环锭纱中, 取向角变化范围要大得多, 这些反转纤维片段的的存在有助于平衡纱线中存在的扭应力, 降低纱线残余扭矩.

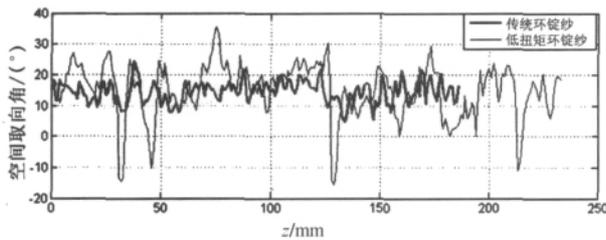
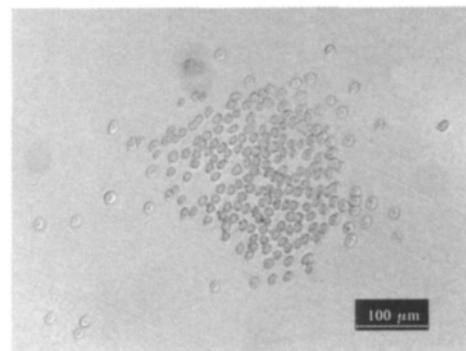


图 4 纤维的空间取向角沿纱线轴向上的分布

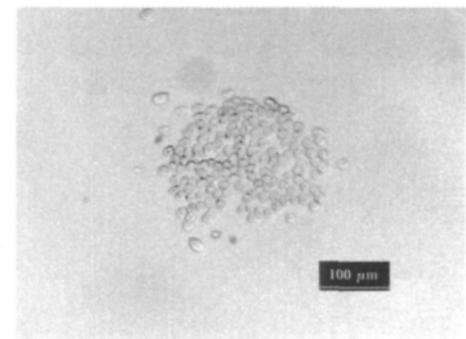
Fig. 4 The fiber spatial orientation angle along the yarn

2.3 纤维在纱线横截面的分布

考虑到纱线所受的轴向张力对纤维分布会有影响, 本文分别给出了初始未变形状态和 5 cN 轴向张力时, 两种纱线样品横截面上纤维的分布状态, 如图 5 和 6 所示. 图 7 是相应状态下纤维沿纱线径向的堆砌密度曲线. 由图 5 可知, 在初始未变形状态时, 低扭矩环锭纱中纤维的堆砌密度约是传统环锭纱的两倍, 而对于正常捻度的粗梳环锭纱而言, 纤维在纱线中心附近的堆砌密度为 0.38~0.55, 精梳纱为 0.5~0.6^[9], 紧密纺精梳纱为 0.5~0.7^[10], 转杯纱与传统环锭纱相比纤维堆砌密度小得多^[11-12], 因而对于低扭矩环锭纱来说, 在捻度大大降低的情况下, 纱线中心纤维的堆砌密度约能达到 0.65, 足以显示其结构上的紧密程度. 此外, 施加一定轴向拉力时, 纤维逐渐靠拢, 同时受力的纤维在靠近纱线中心的区域内渐渐形成一个“密集区”^[13]. 传统环锭纱截面上纤维的分布非常分散, 虽然纤维受拉伸时, “密集区”内纤维密度较大, 而外围纤维在拉伸过程中密集度较低. 而低扭矩环锭纱在 5 cN 轴向张力时, 其纤维堆砌密度已经接近紧密堆砌状态^[14], 且在低扭矩环锭纱截面上, 纤维分布非常集中, 较少有纤维分散在外围. 按照“密集区”理论^[13], 这说明低扭矩环锭纱受拉伸时, 有较多纤维受力, 这是纱线强力提高的原因之一.



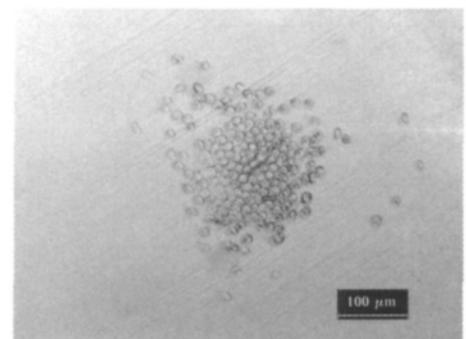
(a) 传统环锭纱



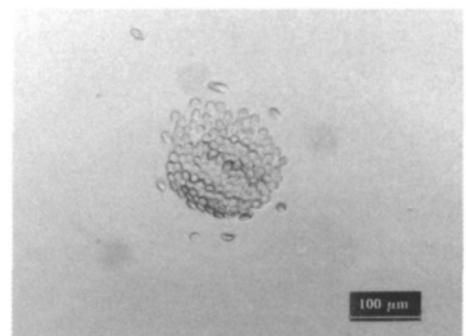
(b) 低扭矩环锭纱

图 5 初始未变形时纱线的横截面

Fig. 5 Yarn cross section under unstrained state



(a) 传统环锭纱



(b) 低扭矩环锭纱

图 6 5 cN 轴向张力下纱线的横截面

Fig. 6 Yarn cross section under 5 cN axial tension

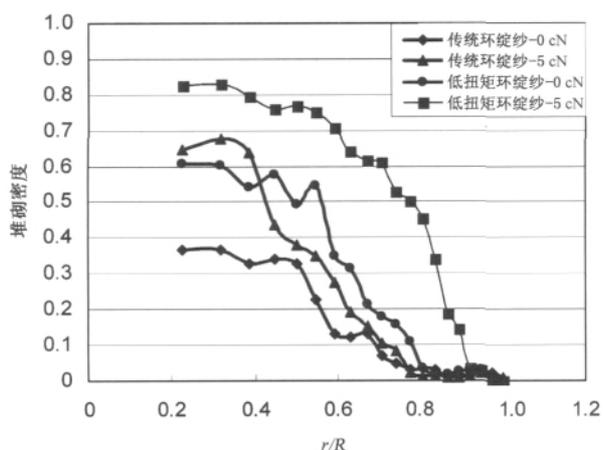


图7 纱线中纤维堆砌密度曲线

Fig. 7 Fiber packing density at various radial position

3 结 语

本文通过对低扭矩环锭纱的结构分析发现,低扭矩环锭纱中大多数纤维轨迹与传统环锭纱的近似同轴圆柱形螺旋线不同,其轨迹大致呈非同轴异形螺旋线,且其轴线以及螺旋半径在空间上不断变化。此外,低扭矩环锭纱中很多纤维片段存在无规律的局部反转现象,即其与纱线轴向的空间取向角为负值;在同样的纤维径向位置处,低扭矩环锭纱中纤维的平均取向角常常小于传统环锭纱中纤维的平均取向角,这样的结构可以有效平衡纱线扭矩。低扭矩环锭纱中,大多数纤维倾向于分布在距离纱芯较近的位置,且其径向位置从纱线中心到纱线表面以较大的转移幅值频繁变化。同等条件下,低扭矩环锭纱的纤维堆砌结构比传统环锭纱要紧密得多,纤维分布集中,因此在受到拉伸时,多数纤维能够同时受力,从而提高纱线强力。

参 考 文 献

[1] XU B G, TAO X M. Techniques for torque modification of singles ring spun yarns[J]. Text Res J, 2008, 78(10): 869-879.

[2] YANG K, TAO X M, XU B G, et al. Structure and properties of low twist short-staple singles ring spun yarns[J]. Text Res J, 2007, 77(9): 675-685.

[3] MORTON W E, YEN K C. The arrangement of fibres in fibro yarns[J]. J Textile Inst, 1952, 43: T60-T66.

[4] JIANG X Y, HU J L, CHENG K P S, et al. Determining the cross sectional packing density of rotor spun yarns[J]. Text Res J, 2005, 75(3): 233-239.

[5] MURRELLS C M, WONG K K, TAO X M, et al. Yarn snarling testing apparatus and method; US 7 219 556 B2[P]. 2007-05-22.

[6] GUO Y, TAO X M, XU B G, et al. A continuous measurement system for yarn structures by an optical method [J]. Meas Sci Technol, 2010, 21(11): 115706.

[7] GUO Y, TAO X M, XU B G, et al. Apparatus and method for preparation of yarn samples under different axial tension for yarn cross section and packing density measurements; PCT/CN2009/074925[P]. 2009-11-16.

[8] HUA T. Production, properties and structures of short staple low torque singles ring yarn for weaving[D]. Hong Kong: The Hong Kong Polytechnic University, 2006.

[9] NECKAR B, SAYED I. Structural theory of fibrous assemblies and yarns; Structure of fibrous assemblies[M]. Liberec, Czech Republic: Technical University of Liberec, 2003.

[10] YILMAZ D, GÖKTEPE F, GÖKTEPE Ö, et al. Packing density of compact yarns [J]. Text Res J, 2007, 77(9): 661-669.

[11] GÖKTEPE F. The effect of yarn structure on the deformation of the yarn cross-section[D]. Leeds: University of Leeds, 1997.

[12] NOVACKOVA J, KREMENAKOVA D. Structural analysis of fine cotton yarns[C]//10th International Conference Strutex. Liberec, Czech Republic, 2003.

[13] CHOI F K F. Modelling of singles and two-ply staple-fibre yarns: with special reference to wrap spun yarn[D]. Hong Kong: The Institute of Textiles and Clothing of The Hong Kong Polytechnic University, 1997.

[14] PETRULIS D, PETRULYTE S. Properties of close packing of filaments in yarn[J]. Fiber and Textiles in Eastern Europe, 2003, 11(1): 16-20.