碳纤维三维成形针织物的可编织性研究

李艳艳,孙晓璐,钟文鑫,马丕波

(江南大学 教育部针织技术工程研究中心,江苏 无锡 214122)

摘要:基于对碳纤维纱线性能及编织工艺参数要求的分析,本文选用规格为6 K,强度为T-300的碳纤维作为编织材料,分别采用3种不同的加油量和弯纱深度在兄弟牌KH-868手摇横机上编织圆筒形纬平针和1+1罗纹两种不同结构的针织物,通过对比织物表面特性分析不同工艺参数对线圈形态与针织物外观的影响,得出最佳编织工艺参数。验证了高强度、高模量碳纤维针织结构复合材料的灵活性和可生产性,并给出几种碳纤维三维成形针织物的编织工艺,包括圆筒形、圆锥形、变截面圆柱形、圆形弯管针织物。

关键词:碳纤维;三维成形针织物;加油量;弯纱深度;编织工艺

中图分类号:TS 184.5 **文献标志码**:B **文章编号**:1000-4033(2015)09-0008-04

Study on the Knittability of Carbon Fiber Knitted Three-dimensional Ready-made Fabrics

Li Yanyan, Sun Xiaolu, Zhong Wenxin, Ma Pibo

(Engineering Research Center for Knitting Technology, Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

Abstract: Based on the analysis of carbon fiber properties and the requirements on the technological parameters, the paper develops two kinds of knitted fabrics with different structures, i.e. plain tube fabric and 1+1 rib fabric, by using three different oiling amount and stitch cam depths on the KH-868 hand-driven flat knitting machine, which selects 6K carbon fiber with T-300 tenacity as knitting material. By contrast the impact of the process parameters on loop length and the appearance of the fabrics, it concludes the best knitting technological parameters. The flexibility and productivity of carbon fiber knitted structural composites with high strength and high modulus is verified. In addition, the knitting technology of several kinds of carbon fiber three-dimensional ready-made knitted fabrics are given, including tube fabric, cone-shaped fabric, cross-section variable tube fabric and circular curved tube fabric.

Key words: Carbon Fibers; Three-dimensional Ready-made Fabrics; Oil Load; Stitch Cam Depth; Knitting Technology

随着碳纤维增强复合材料技术的发展和应用领域的拓展,针织结构因其良好的能量吸收性和可成形性,越来越多地被用于高模量纤维增强复合材料中[1]。而在横机上编织产业用纺织品具有一定的独特性,尤其是编织具有一定宽度和形状变化的成形织物,例如,不须裁剪就可以编织两维或立体织物,以及条环、孔眼和管状结构织物,这种编织方法减少了织物的缝合(例如编织盒子)。然而,由于增强复合材料的高强度、高模量特性和针织结构编织工艺的特殊性,采用高模量纱线编织针织线圈的难度很大。本课题通过研究碳纤维纱线的编织性能,为其纬编针织物的生产提供可靠、优良的编织工艺参数,大大减少纤维损伤,提高织物性能和质量,从而实现碳纤维针织结构复合材料的可设计性和可生

基金项目:国家自然科学基金项目(11302085);江苏省产学研项目(BY2014023-34,BY2014023-20)。

作者简介:李艳艳(1994—),女,本科生。主要从事产业用针织品结构与性能的研究。

通讯作者:马丕波(1984—),男,副教授,博士。E-mail: mapibo@jiangnan.edu.cn。

产性，对于研制和开发新型纺织结构复合材料具有重要的理论和实际意义。

1 碳纤维可编织性影响因素分析

1.1 纱线性能

碳纤维除了具有高模量、高强度、低断裂伸长等高性能纤维的共同特点外，还具有摩擦系数高、纱线抗弯刚度大和脆性大的特性，因此碳纤维很难成圈编织[2-4]，具体表现如下：

a. 碳纤维纱线摩擦系数为 0.45，较大的摩擦系数使织针沿三角上升的时候布面可能随其一起上升，导致旧线圈无法退圈，从而使编织无法顺利进行，且纱线摩擦系数大，容易磨损编织机件；

b. 碳纤维本身的脆性与高模量结合在一起，使碳纤维在编织过程中容易受到弯曲应力，即使是较小的变形也会产生断裂；

c. 纱线弯曲性能差使脱圈阶段新线圈从输入纱线及相邻线圈转移的纱线量较少，所以碳纤维所编织的线圈比正常的要小且易断裂。

1.2 编织工艺参数要求

1.2.1 给纱张力

由于手动横机机头间歇式往复运动迫使导纱路径不断变化，使给纱张力波动较大，最好采用带有回喂装置的步进电动机将纱线喂入织针，以保证最小且连续的纱线张力供纱[2]；穿纱孔和各个通纱孔最好采用陶瓷孔以减小摩擦；在保证挑线弹簧能够充分吸收机头换向时产生的余线的前提下，张力装置的张力尽量调节至最小。

1.2.2 牵拉力

编织时将重锤垂直悬挂在织物边缘适当的位置，尽量使织物受力均匀。因为如果重锤悬挂位置不恰当，就会造成两边织物受力不匀，而如果选用的重锤太轻，则会出现织物上浮的现象。但是，碳纤维是脆性材料，复丝中的单丝易断裂，所以在保证旧线圈顺利退圈和新线圈能够顺利被引出编织区域的前提下，牵拉张力应尽量小一些。

1.2.3 弯纱深度

弯纱深度不仅影响纱线能否顺利编织成圈，还会影响线圈长度、织物密度等。因此，可以借助欧拉公式分析弯纱深度对弯纱张力（输出张力）的影响，欧拉公式见式（1）。

$$T=T_0^{e^{\mu\theta}} \quad (1)$$

式中：T 为输出张力，N；T_0 为输入张力，N；μ 为摩擦系数；θ 为摩擦包围角。

由式（1）可知，在输入张力不变的情况下，随着弯纱深度的增加，纱线在编织区域内所走路径变长，纱线与成圈机件包围角的总和增大。加之碳纤维摩擦系数较大，从而导致弯纱张力增大。当弯纱张力增大至碳纤维单丝断裂强力时，纱线发生断裂，导致难以顺利编织。

2 碳纤维可编织性试验与分析

2.1 试验原料和组织结构

选用规格为 6 K，强度为 T-300 的碳纤维（由江苏恒神碳纤维材料有限公司提供）作为编织材料。

选择两种基本的纬编组织结构，即圆筒形纬平针组织和 1+1 罗纹组织。为了避免单针床圆筒形纬平针织物卷边，便于测量织物密度及厚度，试验采用双针床编织圆筒形纬平针；而 1+1 罗纹组织采用 1 隔 1 排针，由一个正面线圈纵行与一个反面线圈纵行组合相间配置而成，横向延伸性较好。

2.2 设备及工艺参数设置

采用兄弟牌（Brother）KH-868 编织机，机号为 7 针/25.4 mm。

加油量设置（3 种）：用白油将海绵浸润，分别剪成长度为 2、4、6 cm，横截面一致的长方体，让碳纤维纱线竖直穿过长方体上下两个截面的中心，然后进行编织。加油量的测量见图 1。

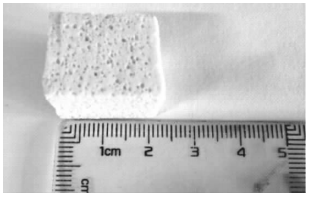


图 1 加油量的测量方法

弯纱深度设置（3 种）：分别取弯纱深度为 2、4、6 mm 进行编织，观察其与线圈长度及毛羽量的关系。

2.3 工艺参数对碳纤维针织物外观的影响

2.3.1 不同加油量

由于加油量的不同是通过纱线分别穿过 3 种不同长度的浸润白油的海绵实现的，所以以下用海绵长度的不同来描述加油量的不同。当弯纱深度均为 2 mm 时，织物外观变化见图 2。

（a）海绵长度为 6 cm

（b）海绵长度为 4 cm

（c）海绵长度为 2 cm

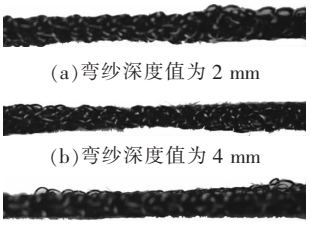
图 2 不同加油量时的织物外观

由图 2 可知，在弯纱深度一致的情况下，随着加油量的减少（即随着纱线通过的海绵长度的减少），碳纤维单丝在编织过程中的断裂增多，使织物表面毛羽量增多。这是由于加油越多，使本来扁平状的碳纤维纱线卷曲变得越来越细，纤维之间贴合得更加紧密，摩擦系数减小，导致单丝断裂减少。

2.3.2 不同弯纱深度

在加油量均为 6 cm 的情况下，织物外观变化见图 3。

由图 3 可知，在加油量一致的



(a)弯纱深度值为 2 mm

(b)弯纱深度值为 4 mm

(c)弯纱深度值为 6 mm

图 3　不同弯纱深度时的织物外观

情况下,织物表面毛羽量随着弯纱深度的增大而增加。这是因为在输入张力不变的情况下,随着弯纱深度的增加,弯纱张力增大,导致碳纤维单丝断裂,从而使织物表面的毛羽量增多[5-6]。

2.4　工艺参数对针织物线圈形态的影响

针织物性能主要取决于线圈长度,线圈长度不仅与针织物的密度有关,而且对织物的物理机械性能有很大影响,并且与织物尺寸稳定性也有较大的相关性。特定线密度的稳定针织物的克质量是由线圈大小决定的,线圈增大,则织物克质量减小[7-8]。

2.4.1　1+1 罗纹组织

a.　在加油量均为 4 cm 时,不同的弯纱深度引起的 1+1 罗纹线圈形态变化见图 4。

由图 4 可知,加油量一致时,线圈长度随弯纱深度的减小而变小。但弯纱深度值为 2 mm 时,线圈长度过小,使编织无法顺利进行,弯纱深度值为 6 mm 时,线圈长度过长,容易导致漏针。

b.　在弯纱深度值均为 6 mm 时,不同的加油量引起的 1+1 罗纹线圈形态变化见图 5。

由图 5 可知,在弯纱深度一致时,线圈长度随加油量的变化而产生的差异较小。

2.4.2　圆筒形平纹组织

a.　在加油量均为 4 cm 时,不同弯纱深度引起的平纹组织线圈形态变化见图 6。

由图 6 可知,控制加油量不变,当弯纱深度为 2 mm 时,线圈间隔紧凑,导致编织困难。当弯纱深度适当加大时,纱线间摩擦力适当,编织顺利进行。当弯纱深度为 6 mm 时,线圈路径过长,不仅容易漏针且表面部分单丝断裂,织物结构不稳定。

b.　在弯纱深度值均为 6 mm 时,不同加油量引起的平纹组织线圈形态变化见图 7。

由图 7 可以看出,在弯纱深度一致时,加油量对织物表面产生的影响还是比较大的,线圈长度随着加油量的减小而变小。当加油量过少时,线圈在与针钩接触的地方产生的纤维断裂比较多,织物容易起毛,从而使织物表面的线圈变得模糊。

3　碳纤维三维成形织物编织工艺

3.1　试验部分

试验设备及原料同 2.1 和 2.2。

3.1.1　圆筒形针织物(1#)

织物参数如下:

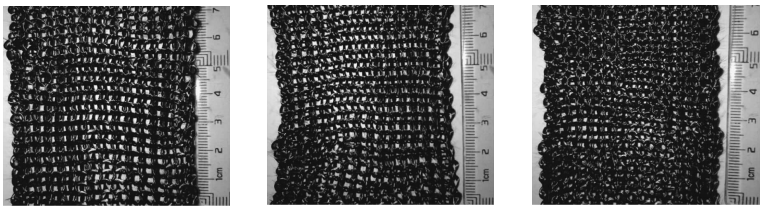
横密	35 纵行/10 cm
纵密	55 横列/10 cm
圆柱体半径	35 mm
弯纱深度值	4 mm

3.1.2　圆锥形针织物

a.　放针式(2#)

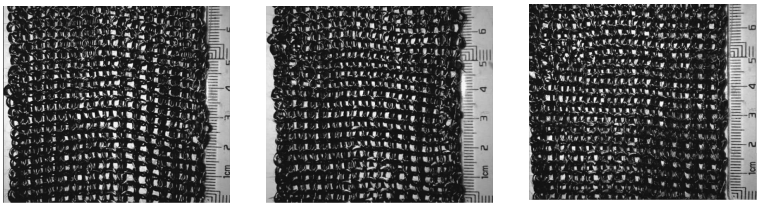
织物参数如下:

横密	40 纵行/10 cm



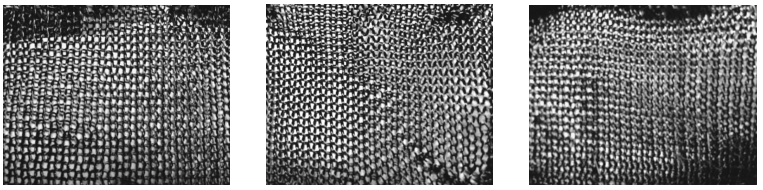
(a)弯纱深度值为 6 mm　(b)弯纱深度值为 4 mm　(c)弯纱深度值为 2 mm

图 4　不同弯纱深度时 1+1 罗纹针织物的线圈变化



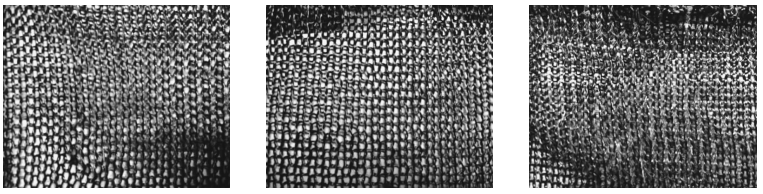
(a)海绵长度为 6 cm　(b)海绵长度为 4 cm　(c)海绵长度为 2 cm

图 5　不同加油量时 1+1 罗纹针织物的线圈变化



(a)弯纱深度值为 6 mm　(b)弯纱深度值为 4 mm　(c)弯纱深度值为 2 mm

图 6　不同弯纱深度时圆筒形平纹针织物的线圈变化



(a)海绵长度为 6 cm　(b)海绵长度为 4 cm　(c)海绵长度为 2 cm

图 7　不同加油量时圆筒形平纹针织物的线圈变化

纵密　50 横列/10 cm
圆锥高　85 mm
弯纱深度值　4 mm

b.　两侧收针式(3#)

织物参数如下：

横密　35 纵行/10 cm
纵密　60 横列/10 cm
圆锥高　55 mm
弯纱深度值　4 mm

c.　均匀收针式(4#)

织物参数如下：

横密　30 纵行/10 cm
纵密　50 横列/10 cm
圆锥高　55 mm
弯纱深度值　4 mm

3.1.3　变截面圆柱形针织物(5#)

织物参数如下：

横密　40 纵行/10 cm
纵密　60 横列/10 cm
上圆柱体半径　13 mm
下圆柱体半径　29 mm
圆锥部分高　40 mm
上圆柱体高　48 mm
下圆柱体高　75 mm
弯纱深度值　4 mm

3.1.4　圆形弯管针织物(6#)

织物参数同 3.1.2 中的 b。

3.2　试验结果与分析

3.2.1　样品展示

图 8 列出了 1#~6# 针织物样品的实物图片。

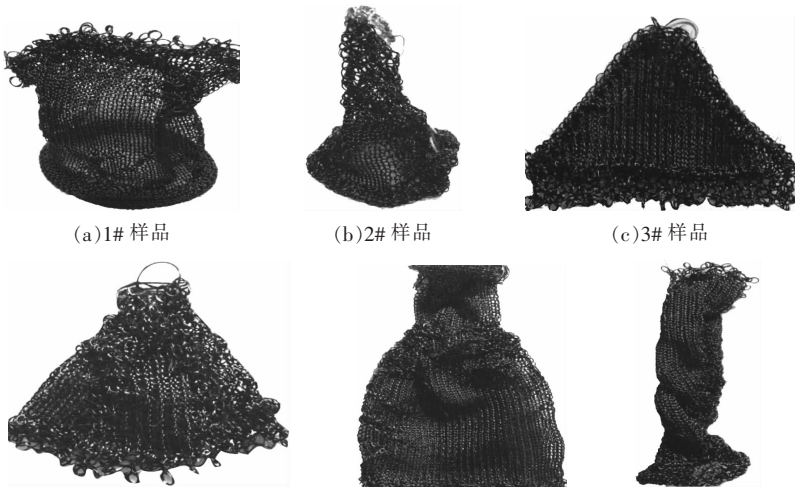
由图 8 可知，1# 与 2# 针织物具有较好的立体感且织物比较硬挺，而 3#、4#、5#、6# 织物立体感不强，三维成形效果不好，并且 4# 织物表面线圈断裂较多，结构松散，成形效果不佳。

3.2.2　编织情况分析

a.　根据经验可知，在手摇横机上编织碳纤维，必须加白油或树脂等助剂，因为不加助剂的碳纤维摩擦系数很大，加上碳纤维呈扁平状，接触面积大，纱线非常容易因摩擦而产生断裂。经过助剂处理后的碳纤维在编织过程中产生的断裂较少，但在编织完成后比较容易脱散。

b.　在三维成形针织物的编织过程中，不恰当的纱线张力、牵拉力和弯纱深度值会造成编织困难、掉套、纤维严重损伤甚至断裂等，从而严重影响产品质量。

c.　移圈过程中牵拉力不宜过大，因为碳纤维的弯曲强度很差，过大的牵拉力会导致线圈在与织针接触的地方发生断裂，因此移圈时须将牵拉所用重锤拿掉。



(a)1# 样品　(b)2# 样品　(c)3# 样品
(d)4# 样品　(e)5# 样品　(f)6# 样品

图 8　针织物样品实物图

4　结论

4.1　弯纱深度值与线圈长度呈正比，但弯纱深度值选取过大会造成线圈长度过长，在无任何牵拉的情况下，过长的线圈浮在针筒口，容易从针钩处脱出使织物脱散。弯纱深度值选取过小会造成线圈长度过小，无法顺利编织。因此弯纱深度值的选取应在有利于编织的前提下尽可能减少对纱线强力的损伤。

4.2　编织碳纤维织物时，纱线必须经过助剂处理，但若添加助剂过少，也会造成织物表面毛羽增多、强力下降。

4.3　试验证明，若选择适当的编织工艺参数和组织结构，合理编排收放针过程中各横列的编织顺序，是可以在手摇横机上实现用碳纤维编织出理想的三维成形针织物的，因此高模量碳纤维增强复合材料具有一定的可设计性与可生产性。

参考文献

[1]龙海如.玻璃纤维横机针织物编织工艺探讨[J].针织工业，2001(6)：37-39.
[2]朱梅，胡红，周荣星.高性能纤维可编织性的研究[J].上海纺织科技，2003，31(6)：30-31.
[3]LAU K W, DIAS T. Knittability of high-modulus yarns[J]. Journal of the Textile Institute，1994，85(2)：173-190.
[4]赵敏，杨昆，刘松.碳纤维编织性能的研究[J].针织工业，2012(1)：11-13.
[5]何青，胡红.玄武岩纤维纱线在电脑横机上可编织性的探讨[J].东华大学学报：自然科学版，2009(3)：279-283.
[6]吴成进，汤友谊.纬编线圈长度及其影响因素分析[J].北京纺织，2000，21(5)：19-22.
[7]宋广礼，李滨.电脑横机规定弯纱深度值与线圈长度的关系[J].天津纺织工学院学报，1999，18(4)：67-69.
[8]周罗庆.纱线编织性能测量的探讨[J].纺织学报，1991，12(9)：418-424.

收稿日期　2015 年 1 月 20 日