

玻璃纤维字型三维立体织物的设计和织造

边晓川, 方园, 居婷婷, 赵树超

(浙江理工大学材料与纺织学院, 杭州 310018)

摘要: 以玻璃纤维作为原料, 采用“压扁—拉伸法”辅以合理的组织设计和引纬路径优化, 在自动剑杆织机上织造出三种字型三维立体织物, 并对三种织物的力学性能进行了测试和分析。结果表明: 字型三维立体织物的拉伸强度和弯曲强度高于普通机织物, 拉伸强度受纤维体积分数的影响较大, 弯曲强度则受两层中间织物的影响较大。

关键词: 玻璃纤维; 三维立体织物; 弯曲强度; 纤维体积分数

中图分类号: TS105.11 **文献标识码:** A

0 引言

玻璃纤维具有高强度、低伸长以及耐燃性较好的物理特性, 以它为原料所制成的传统二维织物在建筑材料和保温材料方面都有着广泛的应用。但是其成型方式主要为多层玻璃纤维布相互糊连, 产品所受外力达到一定强度时层间界面比较容易容易出现损坏, 从而使工程产品的安全性和稳定性受到威胁。字型三维立体织物是在两层机织物的中间编织了不同结构的基础组织, 层与层之间通过这些基础组织进行连接, 此结构大大改善了传统二维织物层间强力差这一缺陷, 使其具有了更好的抗冲击和抗剪切性能, 在产业应用方面前景极其广阔。目前三维立体织物方式主要包括缝纫法和“Z”棒法, 制造方法流程长且较复杂^[1]。本实验采用的设计方法为“压扁—拉伸法”, 此方法通过合理的组织设计和引纬路径的优化, 在普通二维织机上生产三维立体机织物, 并探讨织物的力学性能。

1 玻璃纤维的选用和织物设计方法

1.1 玻璃纤维的选用

玻璃纤维是产业用纤维中常用的一种性能优异的无机非金属材料, 单丝的细度在几个微米到几十个微米之间, 每束纤维原丝都由几百根纤维单丝组成, 图 1 为玻璃纤维与普通纺织纤维的应力—应变曲线对比^[2]。图 1 可见, 玻璃纤维具有比较良好的高强度低拉伸性能。

本实验选用的玻璃纤维为无碱玻璃纤维, 其密度为 2.5 g/cm^3 , 断裂强度 850 MPa , 杨氏模量为 60 GPa , 断裂伸长率为 1.4% , 此材料具有较强的抗拉伸性能。

1.2 字型三维立体织物的设计方法和要点

实验采用的设计方法为“压扁—拉伸法”, 此方法可以织造

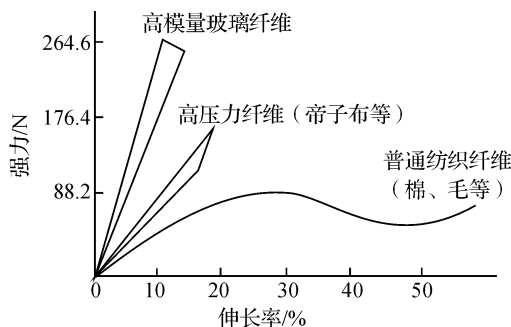


图 1 玻璃纤维和普通纤维应力—应变曲线对比

多种字型的三维立体织物,如“T”型、“十”型、“工”型、“日”型、“田”型、“目”型。本文试织的字型为改良组织设计后的“土”、“王”、“且”三种字型织物。此方法流程较短,且可以在普通织机上生产,具有比较广泛的推广价值。其主要设计步骤如下。

a) 三维结构的压扁:将所设计的三维立体结构进行充分的压扁,使它可以在普通织机上进行织造。

b) 引纬路径的优化:根据设计好的压扁图,确定并优选织造该三维织物的引纬路径组合,保证各组成部分均符合织品及可连续织造为一个整体的要求。

c) 织造说明书的制订:按设计要求添入各层织物的组织绘件上机图和相关的开口引纬等运动的说明^[3]。

截面图的形状与尺寸设计取决于三维复合材料预制件的要求,但为了便于织造,其尺寸应使压扁后的织区数和各区的层数为最小。以下为设计中的三个要点。

a) 各区层数保持一致:压扁图中层数沿宽度方向变化,则各织区织入的纬纱数随之变化。如果相邻织区的层数差异越大,则连接处纬密趋向减少,这将会影响层与层交接处的连接牢度,为此应尽量使压扁后各织区的织物层数一致。

b) 上机综框和上机穿箱数:截面压扁后的织造上机图分成几个织区,每个区所需要的综框数为区内的织物层数与组织经纱循环的乘积,各区之和便为织造该三维织物所需要的总的综框数,具有相同层数和组织的织区不得重复计算。因各织区织物层数,所以不同上机经密不同,层数多的,经密大箱穿数大,故各区的箱穿数随织区内层数变化而变化。

c) 织区总经根数的计算:整经根数与总经根数的计算方法^[4]:

$$m_{ij} = R_j \times L_i \times N_i \quad (1)$$

$$m_j = \sum_{i=1}^n m_{ij} = \sum_{i=1}^n R_j \times L_i \times N_i \quad (2)$$

式中: m_{ij} —每个织区整经根数; R_j —织物基础组织的经纱根数; L_i —每个织区包含的组织层数; N_i —每个织区中完全组织循环次数; m_j —总经根数; n —织区数。

2 三维立体织物组织设计和引纬路径优化

2.1 “土”字型立体织物组织设计和引纬路径

图2为“土”字型立体织物的设计图和引纬路径图^[5],穿综方法采用顺穿法。引纬路径图中以a1、a2、a3表示“土”字型织物结构压扁后的织区,织区中的线段自左至右,自上至下的顺序用s1~s6表示。a1区有一层织物,a2区有三层织物,a3区有两层织物。实际织造中同区层与层间距离相当小,图中为了清楚可见,已经纵向拉伸了其距离。引纬路径从上至下一共为6条,从s1开始引纬,前一引纬结束即为后一引纬开始,第六条引纬结束后即为一个循环。这三个织区的经纱循环数为别为2,6,4,根据实际情况设计这三区上机穿箱数比为1:3:2。

2.2 “王”字型立体织物上机图和引纬路径图

图3为“王”字型立体织物的设计图和引纬路径图,穿综方法采用顺穿法。以a1、a2、a3、a4表示“王”字型织物结构压扁后的织区,织区中的线段自左至右,自上至下的顺序用s1~s8表示。织区a1中有一层织物,a2中有三层织物,a3中有三层织物,a4中有一层织物。织区a2中位于上面的线段s2表示上层织物,s3表示中层织物,s4表示下层织物。上机织造时,这三层织物实际是紧贴着的,厚度很小,

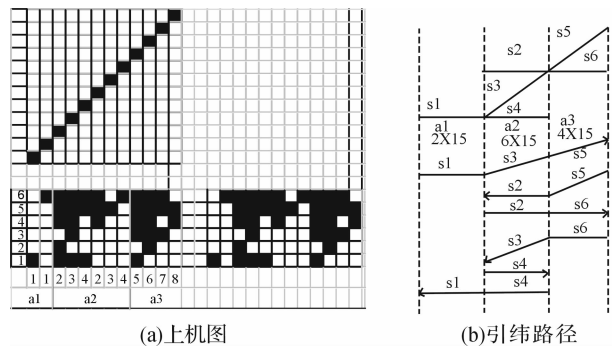


图2 “土”字型立体织物上机图和引纬路径图

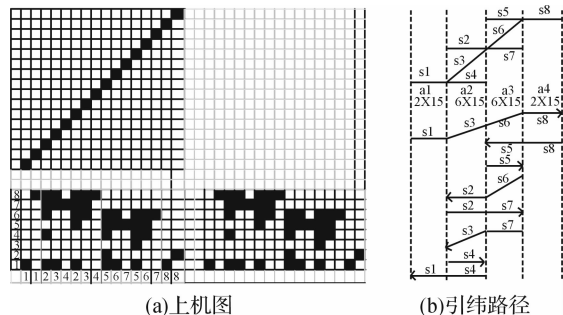


图3 “王”字型3D立体织物上机和引纬路径图

引纬路径图将它们沿纵向拉开了一段距离。引纬方向如图中箭头所示,前一引纬的结束之处便是下一引纬的开始之处。织完第 8 纬后回到第一纬的起点处,首尾相接完成了—个循环,使各织物层接结成设计所需要的三维截面形状。在织造时,由于 a1 织区中经纱循环数为 2, a2 织区中经纱循环数 6, a3 为织区中经纱循环数为 6, a4 织区中经纱循环数为 2, 根据实际情况设计这 4 个织区上机穿箱数比为 1 : 3 : 3 : 1。

2.3 “且”字型立体织物上机图和引纬路径

图 4 为“且”字型立体织物的上机图和引纬路径图。由于组织设计的原因织物经向密度较高,所以采用飞穿法以保证织造顺利进行。以 a1、a2、a3、a4、a5 表示“且”字型织物结构压扁后的织区,织区中的线段自左至右,自上至下的顺序用 s1~s12 表示。该图中, a1 中有一层织物, 织区 a2 中有三层织物, a3 中有三层织物, a4 中有三层织物, a5 中有两层织物。其中, 织区 a2 中位于上面的线段 s2 表示上层织物, s3 表示中层, s4 表示下层。进行完第 10 纬后回到第 1 纬的起点处, 首尾相接为—个循环, 使各织物层接结成设计所需要的三维截面形状。5 个织区的经纱循环数各为 2, 6, 6, 6, 4, 根据实际情况设计

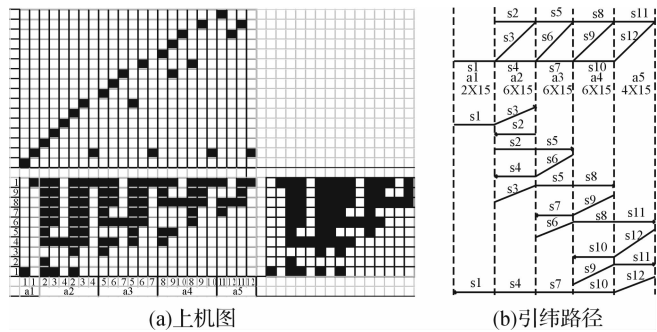


图 4 “且”字型 3D 立体织物上机图和引纬路径图

3 上机试织和织物性能测试

3.1 上机试织

实验用的玻璃纤维是无捻长丝, 未上浆的玻璃无捻长丝在织造时会发生经纱表面毛羽突出, 纤维之间抱合力不足。如果直接进行织造, 很可能会发生纱身起毛纤维游离, 产生断头, 纱身起毛还会使经纱相互粘连, 导致开口不清, 形成织疵, 最后导致织造无法进行。因此, 本实验对无碱玻璃纤维长丝进行了简单的上浆处理, 采用丙烯酸类共聚浆料, 上浆工艺掌握的原则为: 强集束, 匀张力, 小伸长, 低弹性, 低回潮率和低上浆率。

试织采用国产 SU111 全自动剑杆样机, 此样机门幅较窄所以引纬动程较小(大概在 40 cm 左右), 比较适合试织玻璃纤维制品。试织过程中应该注意以下要点^[6]。

a) 分绞棒位置: 分绞棒高低和前后位置是决定后梭口形式的关键。剑杆样机上分绞棒前后位置有两档, 长丝和 7.3 tex 以下的高支织物用后一档, 所以试织玻璃纤维应调节至后一档;

b) 经位置线: 不同经位置线的开口影响上下层纱线的张力不同, 由于玻璃纤维的伸长率极小(小于 1%), 因此应避免上下层纱线张力差异过大, 否则会造成开口不清^[7]。

c) 开口时间选定: 为了保证剑头进梭口时梭口清晰, 出梭口时经纱对梭头压力足够小, 选定开口时间为 280°, 最大开口高度在 8 cm 左右。

织物所选用的经纬纱选用为 2×2, 350 tex 的无捻玻璃纤维长丝, 试制织物规格如表 1 所示。

3.2 织物性能测试和分析

目前尚无三维立体机织物力学性能的测试标准, 本测试参考国家标准 GB 1446—1983《纤维增强塑料性能试验方法总则》和 GB/T 7689. 5《增强材料 机织物试验方法》第五部分, 玻璃纤维三维立体织物的拉伸性能测试沿织物的经向进行, 主要测试项目为织物一次拉伸断裂强度和断裂伸长率^[8]。弯曲强度测试采用三点抗弯测试方法(GB/T 6569—1986 或 ISO 14704—2000), 在织物的两支点之间施加一定数值的载荷, 得到至试件破坏时的单位面积载荷值, 测试在 Instron1195 万能材料试验机上进行。设定织物长度方向为 Z 轴方向, 长度为 L=100 mm, 宽度和高度方向分别为 X, Y 轴, 长度尺寸如图 5 所示。

表 1 试制织物规格

织物类型	织造分区与层数	单层经密/ (根/10cm)	单层纬密/ (根/10cm)
“土”字型	a1(1)a2(3)a3(2)	15	15
“王”字型	a1(1)a2(3)a3(3)a4(1)	10	10
“且”字型	a1(1)a2(3)a3(3)a4(3)a5(2)	10	10

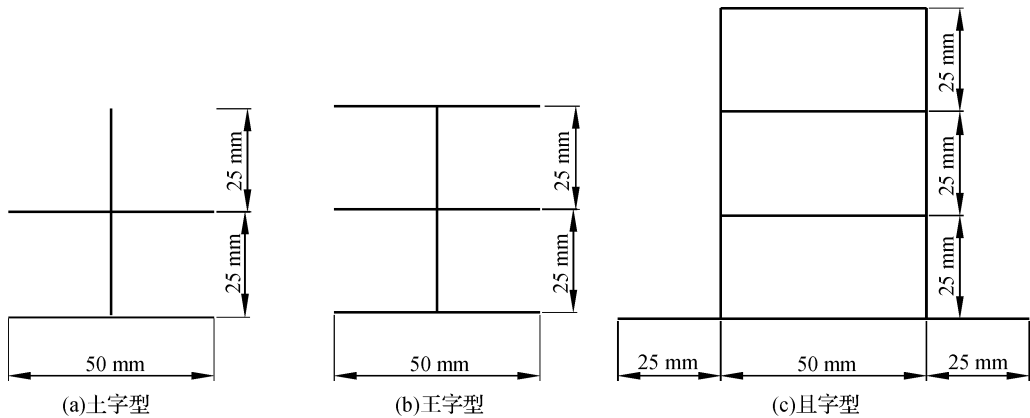


图5 三种字型立体织物性能测试 X,Y 方向的尺寸

图6为玻璃纤维材料弯曲强度的测试示意图。在试样负荷的负荷点上,以5 mm/min的位移速度加荷,记录试样断裂时的最大负荷。断裂应发生在试样中间的三等分中央部位,否则需重新实验。

试样弯曲强度值按下式计算:

$$\sigma_b = \frac{3P \cdot L}{2b \cdot d^2}$$

式中: σ_b —试样的弯曲强度,MPa; P —试样断裂时的最大负荷; L —试样支座间的距离; b —试样宽度; d —试样厚度。

表2为“土”、“王”、“且”字型试验的拉伸性能测试结果。

从表2可以看出,玻璃纤维三维织物的力学性能优于普通二维织物,其中弯曲强度这一性能指标尤其明显;而且“且”字型织物具有最高的拉伸强度和弯曲强度,“王”字型次之,“土”字型性能指标最低。其主要原因是Z轴方向由基础组织层编织而成,承受了大部分的外力,从而使整体织物层更难以破坏。“且”字型织物中间层要多于其它2种织物,有了更强层间的剪切强度,从而使三维织物整体的弯曲强度得到了大幅的改善。在拉伸强度方面字型三维织物仅比普通二维织物提高了9%~17%,究其原因,虽然改善了织物的结构方式,但是织物密度方面没有较高的提升,所以导致三维织物的纤维体积含量较二维织物无明显提高。如果可以通过改善织造条件来提升织物密度,从而提高纤维体积分数,会得到较高的抗拉强度。三种字型织物的断裂伸长率方面无明显不同。

“且”字型织物中间层要多于其它2种织物,有了更强层间的剪切强度,从而使三维织物整体的弯曲强度得到了大幅的改善。在拉伸强度方面字型三维织物仅比普通二维织物提高了9%~17%,究其原因,虽然改善了织物的结构方式,但是织物密度方面没有较高的提升,所以导致三维织物的纤维体积含量较二维织物无明显提高。如果可以通过改善织造条件来提升织物密度,从而提高纤维体积分数,会得到较高的抗拉强度。三种字型织物的断裂伸长率方面无明显不同。

4 结论

a)采用“压扁—拉伸法”配合不同的组织设计,选择合适的引纬路径,可以使织造需要的综框数减少,从而降低织造难度,保证在剑杆样机上顺利织造。只有经过上浆后的玻璃纤维才体现出很好的可织性。

b)三维机织物中由于层间有基础组织来连接,配合玻璃纤维的高强度和低伸长这一性能特点,所以相比普通二维织物有更强的层间强力和更稳定的组织结构。

c)三维立体织物力学性能受纤维体积含量因素影响很大,加大织物密度来提高纤维体积分数则能进一步提高织物力学性能。所以在整个织造过程中应优化组织设计,严格控制工艺参数,减少张力波动和纤维之间的相互摩擦,从而提高织物性能。

参考文献:

[1] 祝成炎. 3D立体机织物及其复合材料[J]. 丝绸, 2005(1): 44-47.

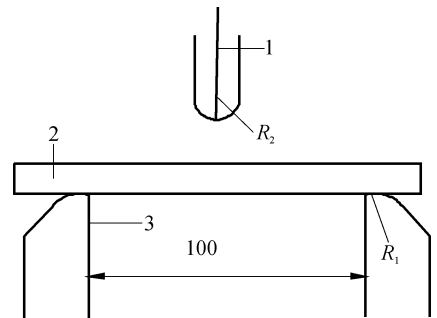
1. 上压头; 2. 试样; 3. 支架; $R_1=2$ mm; $R_2=2$ mm

图6 玻璃纤维材料弯曲强度测试方法

表2 三种字型织物力学性能测试结果

织物类型	拉伸强度/MPa	弯曲强度/MPa	断裂伸长率/%
普通二维织物	220	160	1.51
“土”字型织物	237	256	1.40
“王”字型织物	250	270	1.42
“且”字型织物	270	285	1.40

- [2] 姜肇中, 邹宁宇, 叶鼎铨. 玻璃纤维应用技术[M]. 北京: 中国石化出版社, 2001: 70.
- [3] 顾 平. 普通织机织三维机织物的试验研究[J]. 纺织学报, 23(5): 360-362.
- [4] 刘海文, 郭锦坤, 刘丹凤. 田字形立体织物的研究及织造[J]. 棉纺织技术, 2005(2): 79-81.
- [5] 陈 延, 易洪雷. 三维机织物的织制[J]. 国外纺织技术, 1998(6): 12-15.
- [6] 王文淑, 范春祥. 玻璃纤维及其建筑材料用纺织品的织造工艺[J]. 产业用纺织品, 2003(10): 9-10.
- [7] 唐鑫余. 织造玻璃纤维布经位置线的选择[J]. 玻璃纤维, 1991(3): 9-12, 17.
- [8] 汪 蔚. 玻璃纤维三维机织物增强复合材料棒材的研制与其拉伸性能的研究[J]. 产业用纺织品, 20(12): 12-15.

The Designing and Weaving of Three-Dimensional Shape of Glass Fiber Fabric

BIAN Xiao-chuan, FANG Yuan, JU Ting-ting, ZHAO Shu-chao

(School of Materials and Textiles, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: This paper introduces an experiment which makes use of glass fiber as raw materials and takes the “flattening-stretching” method as an empirical approach supported by rational organizational design and weft path optimization, it produces three kinds of the three-dimensional fabrics as the Chinese character style. The physical properties of the three fabrics are tested and analyzed, the results show that the tensile strength and bending strength of the three-dimensional fabrics are stronger than conventional woven fabrics, the tensile strength is influenced by fiber volume content and the bending strength is influenced by the middle fabric layer.

Key words: glass fiber; three-dimensional fabric; bending strength; fiber volume content

(责任编辑: 张祖尧)