

DOI: 10. 13475/j. fzx. 20171204706

# 三维异型整体编织底盘装置的设计

张志毅, 贺辛亥, 张 婷, 杨宏蕾, 程稼穡

(西安工程大学 材料工程学院, 陕西 西安 710048)

**摘 要** 为提高三维异型整体编织的自动化程度进而提高编织效率, 通过分析现有的三维异型预制件通用法和混合式样法编织工艺以及可实现异型编织的底盘设备, 提出了一种利用步进电动机作为固定式导轨的驱动装置, 并结合直流电磁铁在导轨两端中的定位功能, 利用 DMC5400A 四轴轨迹卡、IOC1280 IO 扩展卡与 STM32F103 型微控制器控制实现了多种异型预制件自动编织的底盘装置。通过对编织底盘的结构组成和异型编织的工作过程进行分析测试, 结果表明, 利用这种底盘装置并结合其控制系统所进行的编织工艺, 可实现异型预制件的柔性化织造, 具有较好的应用前景。

**关键词** 三维异型编织; 编织工艺; 柔性制造; 底盘装置

中图分类号: TS 103 文献标志码: A

## Design of three-dimensional complex shaped overall braiding chassis device

ZHANG Zhiyi, HE Xinhai, ZHANG Ting, YANG Honglei, CHENG Jiayi

(School of Materials Science & Engineering, Xi'an Polytechnic University, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

**Abstract** In order to improve the automation degree of three-dimensional special-shaped overall braiding to thereby improve the braiding efficiency, by analyzing existing general methods and mixed style braiding method for three-dimensional special-shaped preforms and a chassis device capable of realizing special-shaped braiding, a driving device using a stepper motor as the fixed guide rail was proposed. By combining with the positioning function of direct current electromagnet at both ends of the guide rail, the control of DMC5400A four axis trajectory card, IOC1280 IO expansion card and STM32F103 microcontroller was adopted to realize the chassis device capable of automatically braiding various special-shaped preforms. The structural composition and working process of special-shaped braiding of the chassis device were analyzed. The results show that the braiding process using the chassis device in combination with the control system can realize the flexible manufacturing of special-shaped preforms, and has broad application prospects.

**Keywords** three-dimensional special-shaped braiding; braiding process; flexible manufacturing; chassis device

三维异型整体编织技术是 20 世纪 80 年代发展起来的一种新型纺织技术, 通过将高性能纤维空间分布且相互交织形成网状结构预制件, 将此预制件作为增强体形成的高级复合材料具备强度高、整体性能好和结构易设计等优点<sup>[1-4]</sup>。该技术可一次净

尺寸整体成型各种异型结构件, 避免了后续因机械加工而损伤材料特性, 有效地保障了构件力学性能的稳定性与可靠性, 因而得到宇航、武器装备等诸多领域的高度重视<sup>[5-7]</sup>。

在工程实际应用中, 三维编织复合材料构件多

收稿日期: 2017-12-25 修回日期: 2018-09-09

基金项目: 中国纺织工业联合会指导性项目(2016052, 2015116); 陕西省工业科技攻关项目(2016GY-014); 陕西 2011 产业用纺织品协同创新中心项目(2015ZX-02)

第一作者简介: 张志毅(1991—), 男, 硕士生。主要研究方向为三维编织设备运动控制技术。

通信作者: 贺辛亥, E-mail: hexinhai@xpu.edu.cn。

数为异型横截面,如工字型、L型、T型等<sup>[8-10]</sup>。采用异型编织工艺技术进行编织时,编织初始阵列由预制件截面形状相同的异型面主体阵和四周边界组成,这样得到的理论编织阵列的四周边界并不完全相等,实际编织时的可行性较差。采用异型编织设备进行编织时,由于底盘结构布局与驱动装置限制,使得所织造预制件的结构形式及编织品种适应性差。为提高三维异型整体编织的自动化程度及编织效率,解决预制件产品结构及品种单一、均匀性和可重复性差等问题,其整体成型编织工艺和设备受到了高度重视。本文在分析三维异型编织工艺及设备的基础上提出一种编织底盘装置,可对其控制系统通过软件编程与编织参数修改,自动化控制整行(列)携纱器的运动状态实现多种异型预制件的柔性化制造。

### 1 三维异型整体编织技术

#### 1.1 异型整体编织工艺

三维异型整体编织技术是运用编织工艺和设备的技术特点,通过改变底盘上携纱器的阵列形状及运动形式,实现一次整体编织成型各种异型预制件的过程<sup>[11-13]</sup>。根据底盘携纱器的初始排列形状与编织模式,异型预制件的编织工艺可分为通用法和混合法<sup>[14-15]</sup>如图1所示。

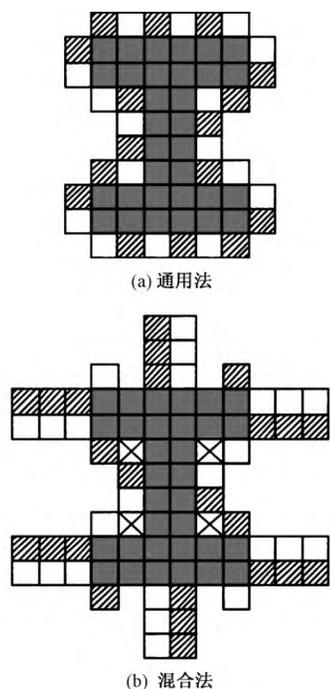


图1 三维工字型立体织物整体编织工艺原理图  
Fig.1 Principle diagram of general braiding method (a) and mixed style braiding method (b) of 3-D I-shaped overall braiding technology

由图1(a)通用法编织工字型立体织物原理可知,携纱器初始阵列按 $1 \times 1$ 的运动式样排列,将工字型横截面分为两端矩形和中间矩形2组,分别先后经过4步编织共8步循环,携纱器纵横步进时只移动一个位置数,编织方案设计比较简单,但编织速度较慢。由图1(b)混合法编织工字型立体织物原理可知,携纱器初始阵列按 $1 \times 3$ 和 $3 \times 1$ 混合运动式样排列,携纱器纵横步进时移动1个与3个2种位置数,一个循环为4步,编织速度较快,然而编织方案较难设计。2种编织工艺中携纱器运动式样与步进循环数不同,最终得到的立体织物的结构性能也不同。

#### 1.2 异型整体编织设备

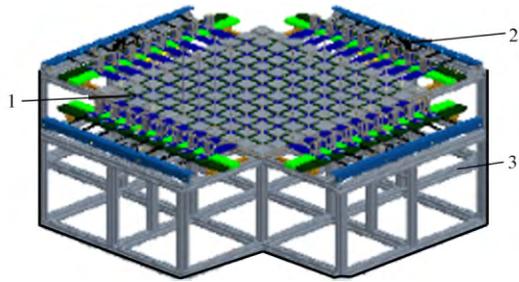
天津工业大学复合材料研究所<sup>[16-17]</sup>独立设计出一种由计算机控制的,可挂40 000根纱线的三维整体编织机。该编织机底盘采用行列式结构,为实现整行(列)携纱器的独立运动,在底盘的四周分别安装一台步进电动机,电动机通过丝杠拖动气阀左右往复运动到指定位置进行打阀动作,气阀连杆推动携纱器上下或左右运动,可自动化编织矩形及矩形组合异型截面预制件,为先进智能复合材料的研发与应用提供了依据,但该底盘行(列)携纱器纵横步进时的不同步运动使得循环周期延长,降低了编织效率,且没有解决靠编织工艺实现异型预制件编织中存在的携纱器运动式样等问题,所得预制件结构形式单一,底盘与最终成型立体编织物的尺寸相差较大,编织机的制造难度和开发成本也增加。针对上述问题,本文研究设计出一种能够改变底盘初始布局与携纱器运动状态,可实现异型件多模式多试样织造的异型整体编织底盘装置。

### 2 三维异型整体编织底盘装置

#### 2.1 异型编织底盘的整体结构设计

三维异型编织底盘的整体结构如图2所示。主要包括编织轨道1、驱动装置2和机架3。编织轨道1实现携纱器在平面内的导向移动,可以是固定式或移动式轨道,固定式轨道仅起控制携纱器运动方向的作用,携纱器步进的,动力来自于纵横2个方位4个方向的推动力,方便引入轴向纤维束<sup>[18]</sup>,故本文研究编织轨道选用固定式。编织轨道1中的固定导块以纵横等距方式排列在底板上,它们的间隔组成了携纱器的步进轨道。携纱器可根据异型件编织模式及式样灵活布局在轨道交叉处,当步进运动时,为防止其间隔距离发生变化,在相邻携纱器锭座之间放置一补偿块控制携纱器锭座纵横等距排列,以

保证编织的顺利实施。



1—编织轨道; 2—驱动装置; 3—机架。

图 2 三维异型编织底盘整体结构图

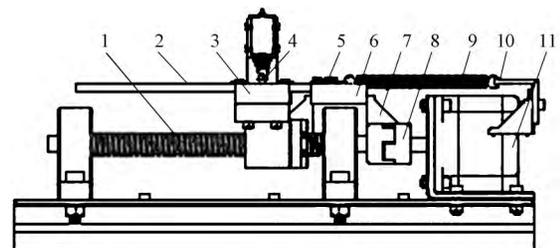
Fig. 2 Whole structure diagram of 3-D complex shaped braiding chassis

驱动装置 2 通过机架 3 与编织轨道 1 连接, 为提高编织效率使其分布于底盘东、西、南、北 4 个方位, 各机械装置是基于 DMC5 400A 型四轴轨迹卡, 其能够精确控制步进电动机实现往复直线运动的特性并配合 STM32F103 型微控制器控制定位机构动作, 实现自动控制任意整行(列)携纱器的运动状态而设计。其中, STM32F103 型微控制器可实时接收主机发出的指令信号, 然后有序控制相关定位机构动作, 辅助完成整行(列)携纱器的运动或静止状态。四轴轨迹卡与微控制器的配合使用有效缩短了控制系统的开发周期。底盘运动状态通过 IO 扩展卡控制位置传感器实时检测, 消除了异型编织过程中通过目测方式获取底盘信息, 为底盘异常的及时排除提供了保障, 使三维异型整体编织机实现完全自动化编织成为可能。

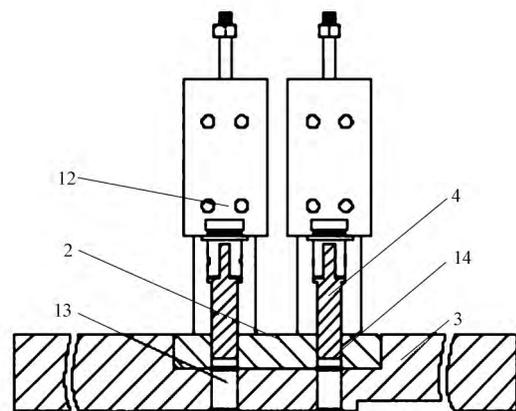
## 2.2 底盘驱动装置的设计

驱动装置的结构如图 3 所示。可知: 底盘 4 个步进电动机由四轴轨迹卡控制, 为缩小编织机整体结构尺寸, 该电动机驱动装置安装在底盘四周之下; 步进电动机 11 通过联轴器 8 带动滚珠丝杠 1, 由丝杠螺母的啮合传动来推动驱动横梁 3 随滑块沿导轨移动; 驱动横梁上设置有多组凹形通槽, 与推板 2 间隙配合, 以保证运动推板在垂直于步进方向上精确定位, 每组推板上配有可供控制整行(列)携纱器运动状态的定位机构; 定位机构由一对直流电磁铁 12 与复位弹簧 9 配合使用, 当需要某些整行(列)携纱器运动时, 相应定位机构中的电磁铁 12 带动驱动销 4 沿定位孔 14 下降到驱动槽 13 中, 使该推板与驱动横梁建立机械连接, 驱动横梁带动推板随弹簧沿凹形滑槽同步步进推动整行(列)携纱器纵横交错运动; 当需要某些整行(列)携纱器静止时, 相应定位机构的电磁铁 12 带动驱动销 4 沿驱动槽 13 上升到定位孔 14 中, 使横梁与推板脱离机械连接, 驱动横梁步进时由于复位弹簧的拉力作用使其始终限位

于固定横梁 6 的凸形槽中处于静止状态, 并不影响驱动横梁带动其他推板的移动。每组定位机构上的复位弹簧 9 一端固定在机架上的角铝 10 上, 一端固定在推板上的 D 型拉环 5 上, 处于拉伸状态, 防止在驱动横梁运动时静止推板由于摩擦力作用沿步进方向滑动产生错位现象, 导致后续编织时驱动销不能顺利进入驱动槽而影响该推板的运动; 固定横梁 6 通过角件 7 固定于机架上, 开有多组凸形通槽, 凸槽大尺寸端与推板间隙配合, 小尺寸端在弹簧拉力作用下使推板处于极限位置, 防止驱动槽与驱动销发生错位, 保证编织过程中定位机构动作的顺利实施。



(a) 驱动装置主视图



(b) 驱动装置局部视图

1—滚珠丝杠; 2—推板; 3—驱动横梁; 4—驱动销; 5—D 型拉环; 6—固定横梁; 7—角件; 8—联轴器; 9—复位弹簧; 10—角铝; 11—步进电动机; 12—直流电磁铁; 13—驱动槽; 14—定位孔。

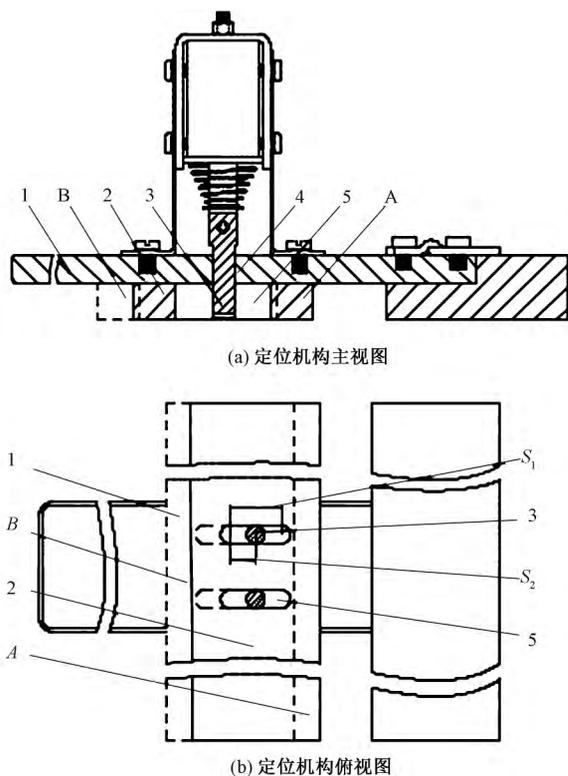
图 3 底盘驱动装置结构图

Fig. 3 Structure diagram of main (a) and partial (b) view of chassis driving device

## 2.3 定位机构的设计

定位机构是整个底盘装置的主要构件, 其结构如图 4 所示。

定位机构的功能是使驱动销 3 沿定位孔 4 进入或脱离驱动槽 5, 为推板 1 提供驱动力。为保证驱动销顺利进入或脱离驱动槽而又不致其卡死, 驱动槽 5 设计成两端为半圆形且中心距离为  $1/4$  个步长的长槽, 与驱动销间隙配合于初始位置 A, 驱动销距离槽的两端各为  $1/8$  个步长。推程运动时驱动横梁



1—推板; 2—驱动横梁; 3—驱动销; 4—定位孔; 5—驱动槽;  
驱动槽尺寸:  $S_1$ — $1/4$  步长;  $S_2$ — $1/8$  步长;  
A—初始位置; B—推程与回程位置。

图 4 定位机构原理图

Fig. 4 Principle diagram of positioning mechanism.

(a) Main view of positioning mechanism;  
(b) Vertical view of positioning mechanism

2 步进  $1/8$  个步长使驱动槽与驱动销配合于推程位置 B, 为其推板 1 提供驱动力, 回程运动时由于复位弹簧的作用使驱动销始终与驱动槽配合于回程位置 B 并且成预紧状态, 为保证后续编织时电磁铁驱动力足以带动驱动销脱离驱动槽, 因此, 当推板到达极限位置时驱动横梁继续运动  $1/8$  个步长回到到初始置 A, 所以驱动横梁在推程与回程运动相同距离。编织过程中为实时检测底盘的运动状态以防止驱动销卡死使编织发生异常, 由于定位结构限制直接对其检测比较困难, 通过给推板前后端装有位置传感器间接检测推板的位置, 实现对定位机构驱动销到位状态的实时检测, 提高了系统的可靠性。

### 2.4 异型编织底盘的工作过程

本文结合图 3 来说明异型编织底盘的工作过程。携纱器横向步进运动时, 底盘每行两端定位机构的电磁铁同时接收到主机发出的指令信号, 带动驱动销沿定位孔脱离或进入驱动槽中, 驱动销到位后, 东、西电动机同时接收到主机发出的驱动信号, 通过丝杠螺母啮合传动推动驱动横梁运动  $1/8$  个步长为推板提供动力, 并随滑块沿导轨同步移动, 推板

的步进使携纱器同时向右和向左运动所需位置数, 回程时东、西电动机沿相反方向运动相同距离到达初始位置。携纱器纵向步进运动时, 底盘每列两端定位机构的工作过程与横向运动相似, 此时南、北电动机工作, 推动携纱器同时向上和向下运动所需位置数, 回程时同理。每个循环周期内纵横交错运动, 且横向步进回程(推程)与纵向步进推程(回程)同时进行互不影响, 极大地提高了编织底盘的运行速度。由于各种异型预制件采用不同方法进行编织时底盘运动规律截然不同, 主要在于行(列)两端定位机构动作状态及电动机步进距离的变化, 即四轴轨迹卡与微控制器接受的上位机指令不同。为实现各种异型预制件的自动柔性化编织, 将每行(列)两端对应定位机构与东、西、南、北电动机的运动规律转换为计算机可识别的符号, 按照一定顺序进行排列并以文件形式存储在计算机中, 编织之前只需调用即可, 提高了系统的可扩展性。

### 2.5 异型编织底盘的应用案例

由于该异型编织底盘装置是基于纵横步进编织底盘设计的, 因此, 适应于采用通用法和混合法编织异型立体织物。该底盘可根据异型预制件的编织模式与试样需求改变携纱器布局, 并可单独控制任意行(列)携纱器的运动状态, 只需按编织规律给相应定位机构与电动机驱动装置发出指令信号, 即可实现异型立体织物的整体编织。下面以实施横截面为工字型的立体织物的异型编织为例。

图 5 示出编织  $8 \times 6$  模式工字型织物时携纱器在该底盘的排列状态。采用八步法  $1 \times 1$  试样编织(见图 5(a))时, 两端矩形截面单元编织过程中: 第 1 步控制第 2、3、8、9 行两端定位机构动作, 东、西电动机驱动装置使不同行携纱器交替地以不同方向向左或右运动 1 个位置数; 第 2 步控制第 2、3、4、5、6、7 列两端定位机构动作, 南、北电动机驱动装置使不同列携纱器交替地以不同方向向上或下运动一个位置数; 第 3 步、第 4 步分别与第 1 步、第 2 步中行(列)两端定位机构动作状态与运动方向相反, 经过 4 步; 中间矩形截面单元编织过程中, 第 1、3 步控制第 4、5、6、7 行两端定位机构动作, 第 2、4 步控制第 4、5 列两端定位机构动作, 东、西(南、北)电动机驱动装置运动规律与上述同理, 先后共经过 8 步编织达到一个运动循环, 携纱器布局回到初始状态。

采用四步法  $1 \times 3$  和  $3 \times 1$  试样编织(见图 5(b))时, 由于四步循环中行(列)携纱器纵横步进运动距离不完全相同, 其相差 2 个位置数, 而电动机驱动装置沿步进方向运动最大步长, 因此, 通过在只运动一个位置数的行(列)携纱器的起始端放置

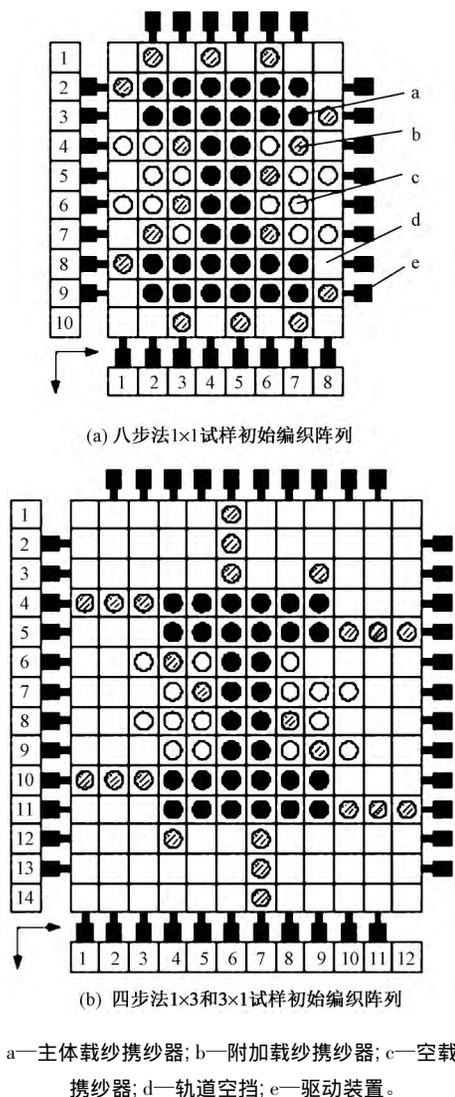


图 5 8×6 模式工字型立体织物的编织底盘初始阵列图  
Fig. 5 Chassis initial array diagram of braiding I-shaped fabric 8×6 patterns. (a) initial braiding array of eight-step 1×1 style; (b) initial braiding array of four-step 1×3 and 3×1 styles

空载携纱器使其与底盘边界形成 2 个轨道空挡,如第 7 行与第 3 列、第 8 行与第 10 列轨道交叉处的空载携纱器,编织过程中当第 4、10 行(第 5、11 行)携纱器同时向右(左)运动 2 个位置时,与第 7 行(第 8 行)携纱器继续同步运动一个位置数,列方向同理,使得东、西(南、北)驱动装置沿步进方向同时实现所需行(列)携纱器运动,充分发挥了底盘结构功能,进而提高了异型编织效率。工字型截面编织过程中第 1、3 步控制第 4、5、7、8、10、11 行两端定位机构动作,第 2、4 步控制第 4、6、7、9 列两端定位机构动作,东、西(南、北)电动机驱动装置运动规律与上述同理,经过四步一个运动循环之后,步进规律达到重复状态。在此只列举了工字型预制件进行编织时的具体应用,根据需要也可对其他 L 型、T 型等异型预制件采用通用法和混合法进行编织。

### 3 结束语

基于三维异型整体编织原理提出一种编织底盘装置,为异型横截面预制件编织提供了一种新的依据。该底盘东、西、南、北 4 组步进电动机驱动装置与对应(行)列携纱器两端定位机构配合使用,不仅使得异型预制件实现了净尺寸整体编织,避免后续因机械加工而损伤构件的力学性能,而且异型编织时,整行(列)携纱器运动状态的单独自动化控制方式在各种异型预制件的多模式多试样编织中更加实用。该底盘装置的使用一方面可通过四轴轨迹卡与 STM32F103 型微控制器接受主机发送的异型编织工艺文件信号,实现多种异型预制件的自动柔性化编织;另一方面可通过 IO 扩展卡控制底盘位置传感器实时检测底盘的运动状态,避免了异型编织过程中通过目测方式获取底盘信息,显著提高了其自动化编织效率,具有广阔的应用前景和实用价值。

FZXB

#### 参考文献:

[1] ZHENG X T, YE T Q. Microstructure analysis of 4-step three-dimensional braided composite [J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2003, 16(3): 142-150.

[2] GAO A, WAN Y Z, YAN T, et al. Three dimensional braided fabrics reinforced composites for load bearing orthopedic applications part I: mechanical performance [J]. International Journal of Materials Research, 2011, 102(3): 309-316.

[3] 孙颖, 刘俊岭, 郑园园, 等. 碳/芳纶混编三维编织复合材料拉伸性能 [J]. 纺织学报, 2018, 39(2): 49-54.

SUN Ying, LIU Junling, ZHENG Yuanyuan, et al. Tensile properties of carbon-aramid hybrid 3-D braided composites [J]. Journal of Textile Research, 2018, 39(2): 49-54.

[4] MAHMOOD A, WANG W, ZHOU C W. Modeling strategies of 3D woven composites: a review [J]. Composite Structures, 2011, 93(8): 1947-1963.

[5] 宋云飞, 杜宇. 三维编织复合材料力学性能研究现状 [J]. 玻璃钢/复合材料, 2017(10): 104-109.

SONG Yunfei, DU Yu. Progressing in the research on mechanical properties of 3D braided composites [J]. Fiber Reinforced Plastics/Composites, 2017(10): 104-109.

[6] LI J L, JIAO Y N, SUN Y, et al. Experimental investigation of cut-edge effect on mechanical properties of three-dimensional braided composites [J]. Materials and Design, 2007, 28(9): 2417-2424.

[7] DIAN S L, LU Z X, JIANG N, et al. High strain rate

- behavior and failure mechanism of three-dimensional five-directional carbon/phenolic braided composites under transverse compression [J]. *Composites Part B*, 2011, 42(2): 309–317.
- [8] 李典森, 卢子兴, 许晓燕. 异形截面三维编织复合材料细观结构分析 [J]. *北京航空航天大学学报*, 2007, 33(6): 714–718.  
LI Diansen, LU Zixing, XU Xiaoyan. Micro-structural analysis of three dimensional braided composites with profiled section [J]. *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 2007, 33(6): 714–718.
- [9] 董宏坤, 贺辛亥, 郑占阳, 等. 用于三维编织可控增减纱的携纱器设计 [J]. *纺织学报*, 2017, 38(4): 144–147.  
DONG Hongkun, HE Xinhai, ZHENG Zhanyang, et al. Design of yarn carrier with controllable yarn number used in 3-D braiding [J]. *Journal of Textile Research*, 2017, 38(4): 144–147.
- [10] MUNGALOV D, DUKE P, BOGDANOVICH A. High performance 3D braided fiber preforms: design and manufacturing advancements for complex composite structures [J]. *Sampe Journal*, 2007, 43(6): 53–60.
- [11] 于陈陈, 瞿畅, 邓婕, 等. T形截面三维编织复合材料细观结构分析及弯曲性能预测 [J]. *纺织学报*, 2015, 36(6): 42–49.  
YU Chenchen, QU Chang, DENG Jie, et al. Micro-structure analysis and bending property prediction of three-dimensional braided composites with T section [J]. *Journal of Textile Research*, 2015, 36(6): 42–49.
- [12] 冯伟, 王延荣, 魏大盛. 三维四向编织复合材料细观建模 [J]. *航空动力学报*, 2013, 28(6): 1243–1249.  
FENG Wei, WANG Yanrong, WEI Dasheng. Meso-scale modeling of 3-D four-directional braided composites [J]. *Journal of Aerospace Power*, 2013, 28(6): 1243–1249.
- [13] 吴涛, 曹海建, 钱坤, 等. T型编织复合材料的制备及弯曲性能研究 [J]. *材料导报*, 2012, 26(19): 410–420.  
WU Tao, CAO Haijian, QIAN Kun, et al. Preparation and bending property of T-type braided composites [J]. *Materials Review*, 2012, 26(19): 410–420.
- [14] KOSTAR T D, CHOU T W. A methodology for cartesian braiding of three-dimensional shapes and special structures [J]. *Journal of Materials Science*, 2002, 37(13): 2811.
- [15] 刘兆麟, 俞建勇. 变截面三维编织异型件减纱工艺与力学性能的研究进展 [J]. *材料导报*, 2010, 24(10): 104–107.  
LIU Zhaolin, YU Jianyong. Research progress in reducing-yarn technique and mechanical properties of 3D braided composites with tapered cross-section [J]. *Materials Review*, 2010, 24(10): 104–107.
- [16] 李静东. 三维异型整体编织技术及控制系统研究 [D]. 天津: 天津工业大学, 2013: 10–15.  
LI Jingdong. Research on three-dimensional complex shaped overall braiding technology and control system [D]. Tianjin: Tianjin Polytechnic University, 2013: 10–15.
- [17] 赵展, IKBAL M H, 李炜. 编织机及编织工艺的发展 [J]. *玻璃钢/复合材料*, 2014(10): 90–95.  
ZHAO Zhan, IKBAL M H, LI Wei. Development of braiding machine and braiding technology [J]. *Fiber Reinforced Plastics/Composites*, 2014(10): 90–95.
- [18] 李毓陵, 丁辛. 纵横步进法编织三维预型件 [J]. *国际纺织导报*, 2000(1): 62–65.  
LI Yuling, DING Xin. Track-and-column braiding method for the 3D knitted preform [J]. *Melliand China*, 2000(1): 62–65.