

[补充信息]

## 含缺陷三维编织复合材料拉伸性能试验

梁双强<sup>1</sup>, 陈 革<sup>1,2,✉</sup>, 周其洪<sup>1</sup>, Frank Ko<sup>3</sup>

1 东华大学机械工程学院, 上海 201620

2 新疆大学纺织服装学院, 乌鲁木齐 830046

3 英属哥伦比亚大学材料工程系, 加拿大温哥华 V6T1Z4

[Supplementary Information]

## Tensile Property Test of 3D Braided Composites with Defects

LIANG Shuangqiang<sup>1</sup>, CHEN Ge<sup>1,2,✉</sup>, ZHOU Qihong<sup>1</sup>, Frank Ko<sup>3</sup>

1 College of Mechanical Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China

2 College of Textile and Clothing, Xinjiang University, Urumchi 830046, China

3 Department of Material Engineering, University of British Columbia, Vancouver V6T1Z4, Canada

### 预制件的设计与制备

本试验设计并准备两种预制件, 分别为 A 型 (三维五向结构, 42%垂纱和 58%编织纱) 和 B 型 (三维四向结构, 100%编织结构)。用一种四步法 (1×1) 三维编织机加工完成预制件, 其设计编织角为 12°, 实际编织角均为 ±12° ±1°。两种预制件的组织结构如图 S1 所示, 结构参数如表 S1 所示。须注意的是, 三维编织复合材料对边缘加工非常敏感, 为避免边缘加工影响编织结构的整体性, 所设计预制件在复合之后应直接满足试验件标准尺寸要求。

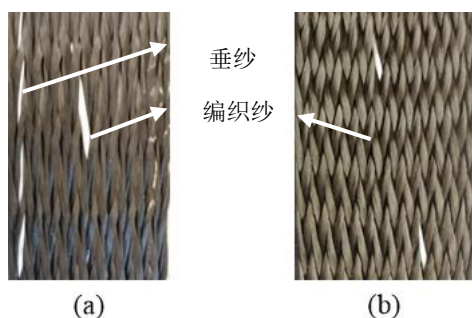


图 S1 三维编织预制件: (a) A 型; (b) B 型

Fig.S1 3D braided preform: (a) type A; (b) type B

表 S1 3D 编织预制件参数

Table S1 Fabrics used as reinforced in the 3D braided composite

Fabric type	No. of layers	No. of yarns	Dimension/mm	Braiding angle/°
A	4	129	25 * 3±0.1 * 250	±12±1°
B	5	124	25 * 2.9±0.1 * 250	±12±1°

## 试验件复合固化

3D 编织复合材料的制备采用 RTM (树脂传递成型)。首先将预制件放置在预成型的真空模具中, 将树脂与固化剂按照质量比 3.68: 1 进行混合, 并在真空箱中抽真空以去除树脂中的气体; 按照 RTM 工艺复合预制件, 在室温下放置 24 h 进行完全固化。

## 三维编织复合材料含孔周边应力分析

根据 Lekhnitskii<sup>[18]</sup>可知, 从应力集中点 B 开始至无穷远处应力逐渐递减, 其分布服从公式 (1):

$$\frac{\sigma_x}{\sigma_\infty} = \left[ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{R}{y} \right)^2 + \frac{3}{2} \left( \frac{R}{y} \right)^4 - \frac{(n+1)-3}{2} * \left\{ 5 \left( \frac{R}{y} \right)^6 - 7 \left( \frac{R}{y} \right)^8 \right\} \right] \quad (1)$$

$$n = \sqrt{2 \left( \frac{E_1}{E_2} - \nu_{12} \right) + \frac{E_1}{G_{12}}} \quad (2)$$

其中:  $\sigma_\infty$  为沿 Y 轴无穷远处应力,  $E_1, E_2, \nu_{12}, G_{12}$  为三维编织复合材料性能参数,  $E_1$  为最大方向弹性模量, 本例为受拉伸载荷方向。