

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.09.012

# 复合材料管道连续编织-缠绕-拉挤工艺研究\*

许家忠<sup>1</sup>, 李强<sup>1</sup>, 高良超<sup>2</sup>, 张思博<sup>1</sup>

(1. 哈尔滨理工大学, 哈尔滨 150080; 2. 中国船舶重工集团公司第703研究所, 哈尔滨 150078)

**摘要:** 提出一种连续编织-缠绕-拉挤工艺, 通过分析拉挤前后复合材料管道的几何结构, 得出编织层纱束与缠绕层纱束在经过拉挤成型模具前后线型的变化关系, 给出满足制品各层纤维均匀受力的编织-缠绕-拉挤工艺的线型设计要求; 考虑缠绕层、编织层进入拉挤成型模具前后的线型变化关系和管道的设计要求, 分别设计缠绕线型和编织线型; 按设计的线型试制多种规格的复合材料管道, 通过对比分析理论纱束角度与实际测量值, 发现同一直径的管道, 编织角的误差小于缠绕角的误差, 两者均控制在 1.5° 以内, 角度误差率均小于 3%, 且误差均随管道厚度的增大而减小, 管道直径越大, 编织角与缠绕角越接近实际值。通过分析管道试件的超声波扫描图, 管道无明显缺陷, 纱束间无明显细缝, 证明设计的纱束线型变化合理。

**关键词:** 复合材料管道; 编织-缠绕-拉挤工艺; 线型设计

**中图分类号:** TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)09-0060-06

## Research on Braiding-Winding-Pultrusion Process of Composite Pipes

Xu Jiazhong<sup>1</sup>, Li Qiang<sup>1</sup>, Gao Liangchao<sup>2</sup>, Zhang Sibol<sup>1</sup>

(1. Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China;

2. China Shipbuilding Industry Corporation 703 Institute, Harbin 150078, China)

**Abstract:** A continuous braiding-winding-pultrusion process was presented. By analyzing the geometrical structure of composite pipe around the pultrusion die, the yarn linear change relationships of braiding layers and winding layers before and after through pultrusion die were got. A kind of linear design which can let each fiber layer of the pipe under uniform stress was provided. The winding and braiding linear were respectively designed by taking the fiber line change relationship of winding layer and braiding layer before and after getting into pultrusion die and the pipe design requirement into consideration. The multi-standard composite pipes based on the designed linear were produced. Through comparative analysis of yarn theory angle with the actual measurement data, the braiding angle error is less than the winding angle error of the same size pipe is found. Error angles can be controlled under 1.5°, the angle error rate is less than 3% and the error decreases with increasing pipe thickness. The more larger pipe size, the theory value of the braiding angle and the winding angle will the more close to the actual angle. The analysis of pipe ultrasound scan of the specimens shows that the pipe has no obvious defects and no obvious crack between the different yarns. It proves that design of yarn linear is reasonable.

**Keywords:** composite pipe; braiding-winding-pultrusion process; design of linear

采用纤维缠绕工艺成型的复合材料管道具有良好的承内压性能<sup>[1]</sup>, 但由于纤维大多沿环向缠绕, 纤维间的相互作用力微小, 并且树脂含量难以精确控制<sup>[2-3]</sup>, 因此制品的轴向力学性能不佳。

陈博<sup>[4-6]</sup>提出了连续树脂传递成型的制造工艺(在线编织-拉挤成型), 并对其制品进行了拉伸强度、弯曲强度、压缩强度等力学性能测试, 证明采用该工艺制备的管道性能优良, 并适合大批量生产。但是编织-拉挤成型制品由于纤维间存在缝隙, 制品承受内压能力不强; 丁传荣等<sup>[7-8]</sup>对拉挤-缠绕工艺与设备进行了研究, 并对其制品进行了横向抗

压能力、弯曲弹性模量、抗扭转矩等力学性能测试, 证明拉挤-缠绕工艺提高了拉挤管状制品的力学性能。但是拉挤-缠绕制品由于缠绕纤维受力不均, 缠绕角有时不能满足设计要求, 影响管道性能; 郭林敏等<sup>[9-10]</sup>分别采用纱、连续纤维毡和织物进行拉挤, 通过改变纤维增强材料的形态和铺放方式, 改善

\* 国家自然科学基金资助项目(50902039), 黑龙江省自然科学基金资助项目(E201301)

联系人: 许家忠, 博士生导师, 主要从事复合材料成型工艺优化研究

收稿日期: 2015-06-11

了拉挤成型复合材料横向强度,但是相比于缠绕管道的横向强度,差距依然很大;T. Ueda 等<sup>[1]</sup>提出单胞截面形状将影响三维编织材料的力学性能,并对压缩前后的试件截面形状和纱束走向进行了观察研究,但是单纯地利用单胞截面形状来改善复合材料的力学性能毕竟有限,依然无法满足某些行业对制品的要求。

笔者提出一种编织-缠绕-拉挤工艺,其原理如图 1 所示,芯轴在外力作用下带动逐层交替编织和缠绕在其上的纤维织物经过浸胶后进入成型模具,浸渍树脂的织物经模具和芯轴上的加热装置加热,并在芯轴牵引力和模具挤压的共同作用下固化成型,再切割成管件。编织-缠绕-拉挤工艺要求制品同时具备良好的耐压性能和弯曲强度,因此需要保证缠绕层和编织层纤维能够同时均匀受力。纤维复合材料制品的力学性能很大程度上取决于线型设计,缠绕层和编织层的线型关系设计不好,经过拉挤工艺后,将导致纱束发生弯曲而丧失应力,严重影响制品性能。笔者通过解析拉挤过程前后复合材料管道的几何结构,得出编织层纱束与缠绕层纱束在经过拉挤模腔前后线型的变化关系,给出了满足制品各层纤维均匀受力的编织-缠绕-拉挤工艺的线型设计要求;考虑缠绕层、编织层进入拉挤模具前后的线型变化关系和管道的设计要求,分别设计缠绕线型和编织线型;按设计的线型试制了 10 种规格的管道,通过对比制品的纱束角度与理论计算纱束角度,验证了按所设计的线型成型后,纱束角度误差满足工艺设计要求;对新工艺管道进行扫描分析,新工艺管道没有明显缺陷,设计的纱束线型合理。

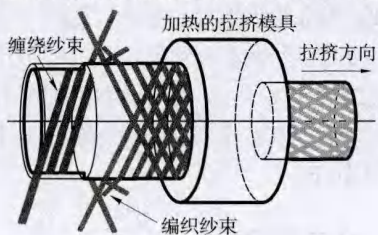


图 1 编织-缠绕-拉挤工艺原理图

## 1 复合材料管道纱束间的关系

### 1.1 同层纱束间的关系

#### (1) 编织层纱束间的关系。

编织层纱束分为三类:编织纱束、中间最终纱束及核心纱束,如图 2 所示。编织纱束是两组沿着编织螺旋轴交织且方向相反的纱束;中间最终纱束是沿着轴编织方向且被两组编织纱束锁死的纱束;

核心纱束是放置在沿编织轴最里面位置的纱束。假定所有的纱束均是宽度为  $a$  和厚度为  $b$  的椭圆截面纱束。

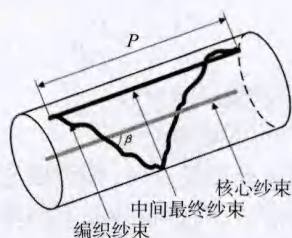


图 2 编织层纱束分布图

在编织过程中,编织轴旋转一周编织层沿旋转轴前进的距离为节距长度,记为  $P$  (见图 2)。节距长度是由拉挤速度和编织器带动编织纱束旋转速度的比率决定的。编织制品直径  $D$  即中间最终纱束中心所围成圆的直径,忽略纱束的自身厚度,编织直径即为编织制品直径。节距长度  $P$  用来计算三维编织层的编织角  $\beta$ ,如图 3 所示。

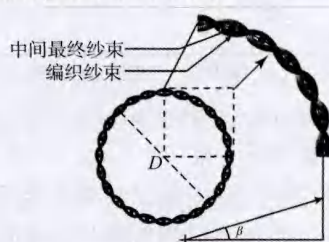


图 3 编织层径向示意图

编织角  $\beta$  的计算公式如下:

$$\beta = \arctan(\pi D / P) \quad (1)$$

由于三维编织层不同区域的纱束的编织角均不同,为了加以区别,在此定义另一种纱束角度,即表面编织角。表面编织角为编织层表面两束纱束夹角的一半,记为  $\gamma$ ,如图 4 所示。

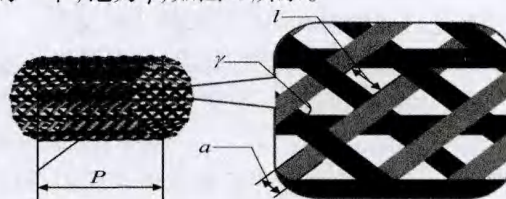


图 4 编织层网格

三维编织层的编织角  $\beta$  和表面编织角  $\gamma$  不同。两者有如下关系:

$$\tan \beta = \frac{6\sqrt{2}}{\pi} \tan \gamma \quad (2)$$

编织纱束之间存在接触挤压的点称为关键点,相邻平行的编织纱束并不是紧密编织,因此会形成

空隙。编织层纱束间主要的空隙是编织层纱束之间的宽度,记为 $l$ ,如图4所示,它取决于表面编织角 $\gamma$ 、编织纱束的宽度 $a$ 和节距长度 $P$ ,其计算公式如下:

$$l = \frac{2P}{N} - \frac{a}{\sin \beta} \quad (3)$$

式中, $N$ 表示编织纱束数。

## (2) 缠绕层纱束间的关系。

当管道通过成型模具时,编织层直接受到成型模具壁的摩擦挤压,因管道体积空间受限和编织层纱束的摩擦,紧密相邻的缠绕层纱束的位置分布会发生变化(见图5),将直接导致缠绕层纱束角度改变(见图6)。

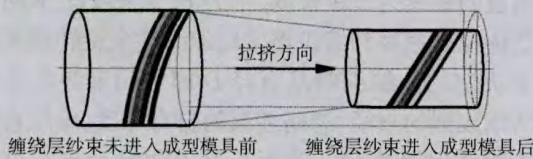


图5 缠绕层纱束通过成型模具前后纱束位置分布示意图

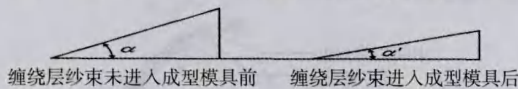


图6 缠绕层纱束通过成型模具前后缠绕角的变化图

## 1.2 异层纱束间的关系

在管道拉挤过程中,编织纱束会受到成型模具壁的摩擦,这种摩擦可以强制编织纱束朝着编织管道的轴向方向滑动,甚至编织纱束可能与中间最终纱束平行,从而增加编织管件的节距长度,这一现象有可能导致编织-缠绕-拉挤过程的急剧停止。当编织纱束发生变化时,由于编织层纱束与缠绕层纱束相互接触摩擦挤压,缠绕层纱束的位置分布也会发生改变。笔者分析了通过成型模具前后编织层纱束和缠绕层纱束之间的结构位置关系,得出了编织层、缠绕层在通过成型模具前后线型的变化关系。

编织层通过拉挤成型模具后,表面编织角减小为 $\gamma'$ ,编织纱束受到挤压,纱宽由 $a$ 增加到 $a'$ ,如图7所示。

选取一个编织网格可形象地说明编织纱束通过成型模具前后纱束本身以及表面编织角的变化,

$$\alpha = \arccos \left\{ \frac{\cos \alpha' (L + 2l + 1 + 2a \cos \gamma)}{L + 2a \cos \gamma} \left[ \left( \frac{a'}{\sin \gamma'} - \frac{a}{\sin \gamma} \right) + (\cos \gamma' - \cos \gamma) \right] \right\} \quad (9)$$

## 2 编织-缠绕-拉挤工艺线型设计

通过对管道编织层、缠绕层进入成型模具前后线型变化关系的分析,结合管道的工艺要求,分别设计编织线型和缠绕线型,进而设计出新工艺下复合

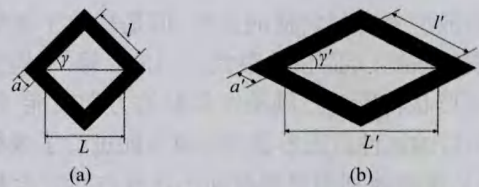


图7 编织单元通过成型模具前后示意图

同时通过三角余弦函数以及数学公式变形等方法计算一个编织网格通过成型模具后轴向长度的增加量,利用编织单元轴向长度的增加量计算一个节距长度通过成型模具后增加的长度 $\Delta P$ ,将通过成型模具前后编织单元的轴向长度分别记为 $L$ 和 $L'$ ,计算公式如下:

$$L = 2l \cos \gamma \quad (4)$$

$$L' = 2l' \cos \gamma' \quad (5)$$

通过成型模具后编织纱束的宽度增加量记为 $\Delta S$ ,计算公式如下:

$$\Delta S = \frac{a'}{\sin \gamma'} - \frac{a}{\sin \gamma} \quad (6)$$

一个节距长度通过成型模具后增加的长度 $\Delta P$ 按下式计算:

$$\Delta P = \frac{P}{L + 2a \cos \gamma} \times \left[ \left( \frac{a'}{\sin \gamma'} - \frac{a}{\sin \gamma} \right) + 2l(\cos \gamma' - \cos \gamma) \right] \quad (7)$$

假设编织层纱束前进一个节距长度 $P$ 时,缠绕层纱束出纱总长一定。当编织层纱束通过成型模具后,因纱束之间的摩擦挤压和树脂黏性,与之结构位置相邻分布的缠绕层纱束也会发生变化。当节距长度 $P$ 通过成型模具拉伸到 $P + \Delta P$ 时,缠绕层同时受到编织层的卡锁作用,缠绕层轴向长度也增加到 $P + \Delta P$ ;缠绕层整体受到摩擦向牵引的反方向滑动,造成缠绕线型发生改变,缠绕角 $\alpha$ 减小到 $\alpha'$ ,分析缠绕层通过成型模具前后的关系,可得缠绕角的计算公式如下:

$$\alpha = \arccos \left( \frac{P + \Delta P}{P} \cos \alpha' \right) \quad (8)$$

将式(7)代入式(8),得满足设计要求的缠绕角 $\alpha$ :

材料管道的纱束线型。

### 2.1 缠绕线型

缠绕出纱速度 $w$ 是缠绕纱盘转速与所用缠绕纱束数之积,假设每盘所用纱束数为 $n$ ,缠绕纱盘转

速为  $r$ , 则:

$$w=nr \quad (10)$$

为了避免缠绕层厚度不一致,必需使单位时间内的拉挤位移量等于缠绕的前进量,假设拉挤速度为  $v$ ,拉挤速度  $v$  与纱束宽度  $a$  和缠绕出纱速  $w$  有如下关系:

$$v=aw \quad (11)$$

将式 (10) 带入式 (11) 可得:

$$v=anr \quad (12)$$

缠绕线速度  $V_L$  与复合材料制品的直径  $D$  有如下关系式:

$$V_L=r\pi D \quad (13)$$

缠绕角  $\alpha$  与复合材料制品的直径  $D$ 、缠绕纱束线宽度  $a$  和缠绕纱束数  $n$  有如下关系:

$$\tan \alpha = \frac{\pi D}{an} \quad (14)$$

## 2.2 编织线型

编织纱束数均为偶数。假设纱束轴向长度为  $B$ , 纱束方向与轴线  $Y$  的法线所形成的角度为  $\theta$ , 编织纱束数为  $N$ , 则存在如下关系式:

$$B = \frac{a}{\cos \theta} = \frac{a}{\sin \beta} \quad (15)$$

$$N = \frac{\pi D}{a \cos \beta} = \frac{\pi D \sin \theta}{a} \quad (16)$$

式 (15) 中的  $a / \cos \theta$  表示纱束宽在轴向的投影, 式 (16) 中的  $a \cos \beta$  表示纱束宽在芯轴圆周上的投影。

纱束的运动轨迹为圆柱螺旋状, 如图 8 所示, 图 9 为编织角示意图。

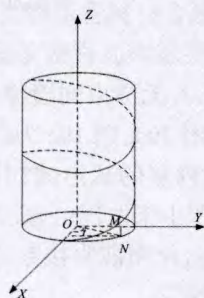


图 8 编织纱束轨迹图

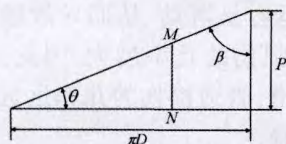


图 9 编织角示意图

式 (17) 为编织轨迹纱束方程,  $k$  为纱束轴向前

进量的影响因子, 取值范围为  $0 \sim 1$ , 其取决于拉挤牵引速度,  $t$  角度值为纱束所在锭子相对于纤维套管轴线所转过的角度。

$$\begin{cases} x = D \cos \frac{t}{2} \\ y = D \sin \frac{t}{2} \\ z = kt \end{cases} \quad (17)$$

式 (18) 给出了节距长度  $P$  与管道直径  $D$  的关系, 式 (19) 给出了编织纱束的主要参数节距长度  $P$ 、纱束轴向长度  $B$  与编织纱束数  $N$  之间的关系, 其中编织纱束数  $N$  决定编织密度。式 (20) 给出了节距长度  $P$ 、纱线宽度  $a$ 、编织纱束数  $N$  间的关系。

$$P = \pi D \tan \theta \quad (18)$$

$$N = \frac{P}{B} \quad (19)$$

将式 (15) 代入式 (19) 得:

$$P = NB = \frac{Na}{\cos \theta} \quad (20)$$

由式 (16) 得:

$$\sin \theta = \frac{Na}{\pi D} \quad (21)$$

由式 (20) 和式 (21) 可得:

$$P = Na \left[ 1 - \left( \frac{Na}{\pi D} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (22)$$

根据式 (3)、式 (9) 和式 (22), 最终可求得缠绕角  $\alpha$ 。

## 3 编织-缠绕-拉挤管道分析

### 3.1 主要原材料

单向纤维、编织纤维: 1200Tex 无碱无捻粗纱, 重庆玻璃纤维有限公司;

缠绕纤维: 1200Tex 外抽头无碱无捻粗纱, 常熟市彤科玻璃钢材料贸易有限公司;

耐高温特种环氧树脂: JEh-022, 常熟佳发化学有限责任公司。

### 3.2 主要仪器与设备

大型拉挤设备: 20T 型, 河南华鹰机械设备有限公司;

锭普通圆带编织机: 8-148 型, 徐州泽龙编织机械有限公司;

专用缠绕机: 自制;

超声波扫描仪: D9500 C-SAM 型, 美国

Sonoscan 公司;

切割机: J3G2-400 型, 杭州永盛机电设备有限公司;

全站仪: KTS442LL/442RL 型, 广州科力达有限公司。

### 3.3 试件制备

按照所述工艺原理, 在拉挤加热模具与编织机之间合理放置缠绕机, 拉挤设备的牵引装置牵引 40 束单向纤维纱束制备复合材料管道内层, 左旋缠绕机、右旋缠绕机分别缠绕 5 束缠绕纤维束制备复合材料管道的缠绕层, 编织机编织 16 束编织纤维束制备复合材料管道的编织层。将长度为 900 mm 模具均分为三段, 其温度采用表 1 所示的工艺温度, 经过上述工艺制备管道直径与厚度为  $\text{Ø}31 \text{ mm} \times 4.0 \text{ mm}$ ,  $\text{Ø}62 \text{ mm} \times 4.0 \text{ mm}$ ,  $\text{Ø}110 \text{ mm} \times 4.0 \text{ mm}$ ,  $\text{Ø}160 \text{ mm} \times 4.0 \text{ mm}$ ,  $\text{Ø}215 \text{ mm} \times 4.0 \text{ mm}$  的编织-缠绕-拉挤管道, 以及直径相同、相应厚度变为 3.5 mm 的编织-缠绕-拉挤管道。

表 1 模具三段温区采用的工艺温度

项目	第 1 段	第 2 段	第 3 段
温度/°C	130	170	165

将制备的管道用切割机切割成  $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$  的实验试件。

### 3.4 性能测试及结果

#### (1) 纱束角度的测量。

用全站仪在线测量不同试件的纱束角度, 结果见表 2。

表 2 编织-缠绕-拉挤管道试件的纱束角度测试结果

管道尺寸/ (mm × mm)	编织角			缠绕角		
	理论值/ (°)	实验值/ (°)	误差率/ %	理论值/ (°)	实验值/ (°)	误差率/ %
$\text{Ø}31 \times 3.5$	45.00	43.87	2.51	43.02	41.88	2.65
$\text{Ø}31 \times 4.0$	45.00	43.88	2.49	43.51	42.38	2.60
$\text{Ø}62 \times 3.5$	50.00	48.89	2.22	45.02	43.89	2.51
$\text{Ø}62 \times 4.0$	50.00	48.91	2.18	45.07	43.97	2.44
$\text{Ø}110 \times 3.5$	54.00	52.92	2.00	47.03	45.95	2.30
$\text{Ø}110 \times 4.0$	54.00	52.94	1.96	47.21	46.15	2.24
$\text{Ø}160 \times 3.5$	57.00	55.95	1.84	48.01	46.95	2.21
$\text{Ø}160 \times 4.0$	57.00	55.97	1.80	48.10	47.06	2.16
$\text{Ø}215 \times 3.5$	60.00	58.98	1.70	50.00	48.97	2.06
$\text{Ø}215 \times 4.0$	60.00	58.99	1.68	50.00	48.98	2.04

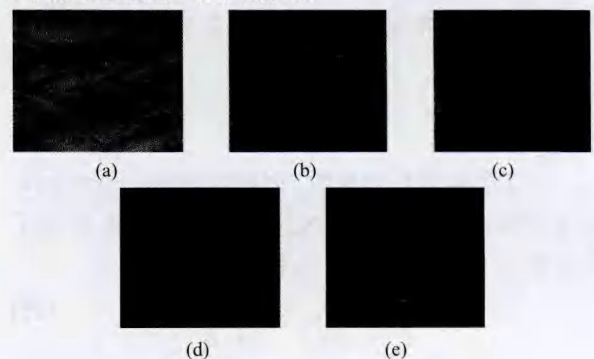
对表 2 纱束角度数据分析可知, 管道的直径越大, 其编织角和缠绕角的理论值与实验值误差越小; 同一直径的管道, 编织角的误差稍小于缠绕角的误差, 且误差随管道厚度的增大而减小。

管道编织角与缠绕角的实际测试值均小于理

论值, 且角度相差不大于  $1.5^\circ$ , 缠绕角的差值均稍大于编织角的差值。按照笔者设计的线型成型纱束角度误差控制在 3% 以下的要求, 可满足工艺设计要求。

#### (2) 无损检测。

在新工艺管道制造过程中, 由于难以准确控制各种工艺参数, 难免出现各种缺陷, 最主要的缺陷是管道内层的孔隙。将制备的  $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$  试件放置在超声波扫描仪配置的盛满水的水槽中, 调整超声波扫描仪探头置于复合材料试件的上方, 对置于水中试件的不同层纤维进行超声波扫描, 可得到超声波扫描图。图 10 为测试的管道厚度 4.0 mm 试件不同位置的超声波扫描图。



测试位置: a—管道表层; b—距管道表层 1.0 mm;

c—距管道表层 2.0 mm; d—距管道表层 3.0 mm; e—管道内层

图 10 管道厚度 4 cm 试件不同位置的超声波扫描图

由图 10a 可以清晰看到编织纱束网格, 同时图中未出现白斑, 证明表层纱束浸胶均匀; 图 10b、图 10c 为制备的管道距表层 1.0 mm 和 2.0 mm 的超声波扫描图, 均为复合材料管道缠绕层, 图中没有白斑出现, 说明在该层超声波直接穿透进入管道拉挤层, 缠绕层介质均匀, 无纱束间缝隙, 证明设计的缠绕线型变化合理; 图 10d、图 10e 为制备的管道距表层 3.0 mm 和管道内层的超声波扫描图, 均为复合材料管道拉挤层, 图中未发现白斑, 说明该层无纱束间缝隙与气泡存在, 超声波直接穿透该层进入水质中, 该层纱束浸胶均匀。

在该工艺中, 管壁越厚, 管道内部纱线因为受到摩擦挤压越容易滑动, 从而导致纱束间出现缝隙, 造成管道损伤的几率越大, 因此, 对于厚度为 3.5 mm 的管道, 管道损伤的几率远远小于厚度为 4.0 mm 的管道。

分析复合材料管道各层超声波扫描图可知, 该工艺管道各层无明显缺陷, 线型设计合理。

## 4 结论

(1) 通过分析复合材料管道通过拉挤模具前后编织层纱束和缠绕层纱束的位置分布,利用菱形截面的编织单胞,计算一个节距长度通过拉挤模具后的变化量,从而得出复合材料管道编织层纱束和缠绕层纱束的线型变化关系。

(2) 考虑到编织层、缠绕层在成型模具前后线型的变化关系和管道的设计要求,设计了新工艺管道编织层纱束线型与缠绕层纱束线型;通过分析管道三维编织角与缠绕角理论值与实验值两组数据可知,编织角与缠绕角的实际测试值均小于理论值,且角度差范围控制在 $1.5^\circ$ 以内,设计的线型成型纱束角度误差控制在3%以下,证明设计的纱束线型变化合理,可满足工艺设计要求。

(3) 通过对厚度4.0 mm试件超声波扫描图的分析可知,复合材料管道各层扫描图中都没有明显的缺陷标志——白斑,说明复合材料试件的每层纱束倾角均匀,纱束间没有明显缝隙。

### 参考文献

- [1] 陈立军,吴凤琴,张欣宇,等. 环氧树脂/碳纤维复合材料的成型工艺与应用[J]. 工程塑料应用,2007,35(10):77-80.  
Chen Lijun, Wu Fengqin, Zhang Xinyu, et al. Epoxy resin/carbon fiber composites molding process and application[J]. Engineering Plastics Application, 2007, 35 (10):77-80.
- [2] Zhang Jie. Development and specification summary of composite gas cylinder in China[J]. Fiber Composites, 2007(3):38-42.
- [3] 何亚飞,矫维成,杨帆. 树脂基复合材料成型工艺的发展[J]. 纤维复合材料,2011(2):7-13.  
He Yafei, Jiao Weicheng, Yang Fan. The development of resin matrix composites molding process [J]. Journal of Fiber Composite Materials, 2011(2):7-13.
- [4] 陈博. CRTM(在线编织-拉挤成型)薄壁纤维增强环氧树脂管制造技术[J]. 纤维复合材料. 2007, 24(7):7-11.

- Chen Bo. The CRTM (Braiding on line & pultrusion process) Technology for Manufacturing Thin Wall FREPR Pipe[J]. Fiber Composites, 2007, 24(4):7-11.
- [5] 陈博. 我国复合材料拉挤成型技术及应用发展情况分析[J]. 玻璃钢/复合材料, 2014(9):34-41.  
Chen Bo. Development of the composites pultrusion processes & applications in china[J]. Fiber Reinforced Plastics / Composites , 2014(9):34-41.
- [6] 张国利,安鹏,刘娇,等. CRTM成型工艺参数对玻璃纤维增强复合材料空隙率及弯曲性能的影响[J]. 天津大学学报, 2015, 34(2):1-5.  
Zhang Guoli, An Peng, Liu Jiao, et al. Effect of CRTM molding process parameters on porosity and flexural performance of glass fiber reinforced composite[J]. Journal of Tianjin University, 2015, 34(2):1-5.
- [7] 丁传荣. 拉挤-缠绕设备与工艺技术研究[J]. 纤维复合材料, 1998, 21(4):21-24.  
Ding Chuanrong. Pultrusion-winding equipment and technology research[J]. Fiber Composites, 1998, 21(4):21-24.
- [8] 王卫东,冯刚,江平. 共挤成型技术的研究与应用进展[J]. 工程塑料应用, 2014, 42(4):131-134.  
Wang Weidong, Feng Gang, Jiang Ping. Co-extrusion technology progress in the research and application [J]. Engineering Plastics Applications, 2014, 42(4):131-134.
- [9] 郭林敏,董国华,费云鹏. 改善拉挤成型复合材料横向强度的途径[J]. 玻璃钢/复合材料, 1998(1):17-19.  
Guo Linmin, Dong Guohua, Fei Yunpeng. Ways to elevate the transverse strength of pultrusion composites[J]. Fiber Reinforced Plastics / Composites, 1998(1):17-19.
- [10] 罗鹏,齐俊伟,肖军,等. 预浸料拉挤成型装备技术研究[J]. 玻璃钢/复合材料. 2011(2):43-47.  
Luo Peng, Qi Junwei, Xiao Jun, et al. Molding equipment technology research of prepreg pultrusion[J]. Fiber Reinforced Plastics / Composites, 2011(2):43-47.
- [11] Ueda T, Ohtani A, Nakai A. et al. Mechanical properties of square braided fabric[J]. American Society of Mechanical Engineers, 2002, 2:19-23.

### 赢创 Jayhawk 与 Dixie 合作开发 热塑性环氧树脂固化剂

赢创 Jayhawk 精细化学品公司已与美国 Dixie 化学品公司签订了一份联合开发协议,共同研发新型热塑性环氧树脂固化剂。

新型热塑性环氧树脂固化剂是赢创 Jayhawk 双酐和 Dixie 单酸酐的性能结合。

赢创市场营销和业务发展总监 Borys Schafran 说:“新产品不仅满足客户的易用性需求,还提高了环氧树脂涂料、成型化合物以及复合材料的性能。”

Dixie 公司预计,2016 年初向将市场推入该新型热塑性

环氧树脂固化剂产品。

(中塑在线)

### 韩国现代管业公司扩大塑料管道产能

韩国现代管业公司正在扩能并增加产品种类,以满足该国供水和石化工业的需求。

作为韩国现代集团的下属企业,现代管业将增加直径 2.6 m 的聚烯烃管道的产能。

该公司总裁表示,市场需要用塑料管道取代老化的铁管,高密度聚乙烯(PE-HD)管道的质量已大有改善,但还有些客户怀疑塑料管道,看不到其优越性。

该公司目前生产管道的最大直径为 1.5 m,是韩国前五大塑料管道企业之一。

(慧聪塑料网)