

# 熔纺中空纤维皮芯结构的动力学模拟

——泵供量、卷绕速度、熔体温度、切片粘度的影响

王华平 余晓蔚 韩淑丽\*

(中国纺织大学化纤工程研究中心)

**【摘要】** 本文基于纺丝动力学模拟模型及理论,根据计算机模拟结果详尽讨论了卷绕速度、泵供量、熔体温度、切片粘度对速度梯度、皮芯温差的影响。结果表明:泵供量、卷绕速度、切片粘度对速度梯度影响较大,从而影响纺丝成形;泵供量、熔体温度对皮芯温差影响较大,从而影响皮芯结构。

**关键词:** 中空纤维 皮芯结构 计算机应用 模拟 卷绕速度 泵供量 熔体温度 切片粘度

**中图分类号:** 102.528.1

## 前 言

众所周知,合成纤维生产中的纺丝过程是生产的核心工序,人们通过多年实践经验的积累和总结,可以在非常广泛的范围内对所纺纤维的规格与结构进行调节。为了更透彻的了解纺丝过程中各种因素的变化和各个参数变化对纤维结构与性能的影响,并对其作出定量分析,从六十年代起,加濑<sup>[1,2]</sup>等开始提出纺丝过程的

模型,建立相应的数学表达式,借以能描述纺丝过程中各点温度、速度和张力等的变化,以能更有效的控制纺丝过程。但是,这种模拟只能得到丝条沿纺程的变化情况,对于纤维在纺丝过程中产生的皮芯差异无法进行讨论研究,而中空纤维的皮芯差异对纤维的品质影响较大;研究

\* 98 届毕业生,现在上海市吴泾中学工作。

中空纤维的皮芯差异就显得较重要。实际生产中,工艺参数对皮芯结构的影响,人们只有定性的概念,本文在计算机模拟的基础上,利用数据作图,分析不同纺丝条件对中空纤维皮芯差异的影响,给出定量说明,以指导生产实践。

### 一 基本原理简介

为了对纺丝过程作出定量分析,首先应当结合实际过程作适当的简化处理,为此设定:

- ①PET的成形过程是一稳态过程;
- ②纺程上热量只是通过对流方式传给冷却空气,辐射散热予以忽略;
- ③热量的传导在纺线方向上设定为零;
- ④在本文设定的纺丝速度范围内纺程上不发生明显的结晶效应;
- ⑤中空纤维的内腔空气与丝条之间不传热。

用以计算机模拟的基本方程有<sup>[3]</sup>:

$$G = \rho AV \tag{1}$$

$$\frac{dV}{dx} = \frac{F}{\eta_c} \frac{\rho V}{G} \tag{2}$$

$$\frac{dF}{dx} = G \frac{dV}{dx} - \rho g A + p(G/\rho^0)^{0.195} V^{1.195} \tag{3}$$

$$T_{i+1,j} - T_{i,j} = \frac{2\lambda m^2 \Delta x}{\rho_i C p V_i R_i^2} (T_{i,j+1} - T_{i,j}) \tag{4}$$

$j = m_1 + 1$

$$T_{i+1,j} - T_{i,j} = \frac{\lambda m^2 \Delta x \pi}{\rho_i C p (2j - 1) V_i R_i^2} \times [2j \cdot T_{i,j+1} + (2j - 2)T_{i,j-1} - 2(2j - 1)T_{i,j}] \tag{5}$$

$m_1 + 2 \leq j \leq m - 1$

$$T_{i+1,m} - T_{i,m} = - \left[ \frac{\lambda m^2 \Delta x}{\rho_i C p (2m - 1) V_i R_i^2} \right] \times \left[ \frac{2m(T_{i,m} - T_s)hR_i}{\lambda m} + (2m - 2)(T_{i,m} - T_{i,m-1}) \right] \tag{6}$$

### 二 泵供量、卷绕速度、熔体温度、切片粘度对皮芯差异的影响

利用方程(1)~(6)可以模拟不同泵供量、

卷绕速度、熔体温度、切片粘度的速度梯度、径向温差分布。为了便于说明,人为的把纺程分成三个区,从喷丝头到吹风起点为缓冷区,从吹风起点到吹风终止为吹风区(距喷丝板距离4cm~16cm区域),以下到卷绕头为自然冷却区。各参数变化条件如表1:

表1 纺丝条件

条件	图示系列	泵供量 (G) g/s. 孔	卷绕速度 (V <sub>i</sub> ) m/min	熔体温度 (T <sub>0</sub> ) °C	切片粘度 (η)
A	1	0.011	1000	290	0.65
	2	0.022			
	3	0.033			
	4	0.067			
B	1	0.033	600	290	0.65
	2		800		
	3		1000		
	4		1200		
C	1	0.033	1000	280	0.65
	2			285	
	3			290	
	4			295	
D	1	0.033	1000	290	0.55
	2				0.60
	3				0.65
	4				0.70
标准		0.033	1000	290	0.65

其它条件: 吹风速度: 4m/s; 吹风长度: 12cm; 吹风起点: x=4cm; 中空度: 25%。

#### 1. 泵供量

由模拟结果(见图1,2)知: 速度梯度沿纺程有一最大值; 随着泵供量的增加, 出现最大值的位置后移, 且最大值的数值减小, 泵供量为0.011g/s·孔时, (dv/dx)<sub>max</sub>为193.42s<sup>-1</sup>, 泵供量为0.067g/s·孔时, (dv/dx)<sub>max</sub>为21.62s<sup>-1</sup>, 说明泵供量增加, 减慢了速度的增加速率。图2是不同泵供量下皮芯温差沿纺程的分布情况。从图可见: 皮芯温差沿纺程有最大值, 在喷丝头附近和远离喷丝头的位置 ΔT 最小; 在吹风区前 ΔT 较小, 在吹风区 ΔT 在同一位置出现最大值, 泵供量为0.011g/s·孔时, (ΔT)<sub>max</sub>为21°C, 泵供量为0.067g/s·孔时, (ΔT)<sub>max</sub>为13°C, 泵供量增加皮芯温差减小, 说明增加泵供量, 不利于皮芯结构的形成, 有利于形成质量均

一稳定的丝条。

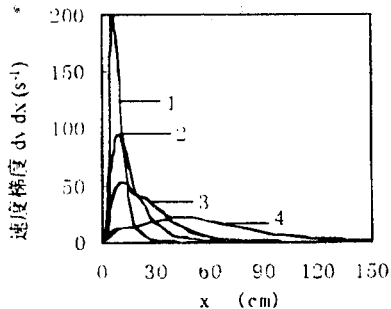


图 1 单丝在条件 A 下的速度梯度分布

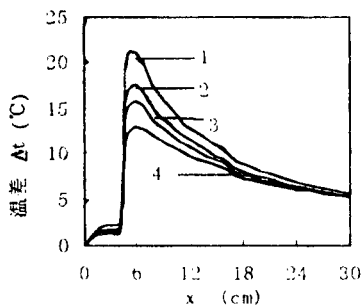


图 2 单丝在条件 A 下温差沿纺程的分布

位置从  $x=9\text{cm}$  下移到  $12\text{cm}$ ;  $x=0$  到  $6\text{cm}$ , 四线合一,  $dv/dx$  趋于一致;  $x=80\text{cm}$  时,  $dv/dx$  趋于零。图 4 是不同卷绕速度下皮芯温差沿纺程的分布图。由图可见皮芯温差沿纺程有一最大值, 出现在吹风区。图 4 表明卷绕速度从  $600\text{m}/\text{min} \sim 1200\text{m}/\text{min}$  时, 纤维的皮芯温差沿纺程的分布情况不变, 四线基本重合。说明卷绕速度对纤维的皮芯结构影响很小。

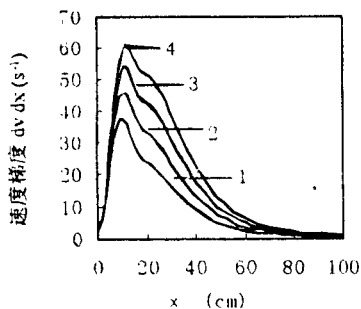


图 3 单丝在条件 B 下的速度梯度分布

## 2. 卷绕速度

由模拟结果(见图 3, 4)知: 速度梯度沿纺程有一最大值; 随着卷绕速度增加速度梯度增加, 卷绕速度从  $600\text{m}/\text{min}$  增加到  $1200\text{m}/\text{min}$ , 则  $(dv/dx)_{\text{max}}$  从  $37.8\text{s}^{-1}$  增加到  $61.2\text{s}^{-1}$ , 出现最大值的

## 3. 熔体温度

由模拟结果(见图 5, 6)知: 熔体温度对速度梯度分布的影响不大。  $x =$

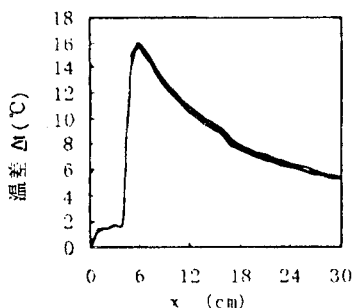


图 4 单丝在条件 B 下温差沿纺程的分布

$= 21\text{cm}$  时,  $dv/dx$  分布曲线出现一小峰, 说明纤维在此处有二次成形过程。图 6 描述了在纺丝条件 C 下皮芯温差沿纺程的分布情况。从图可知皮芯温差沿纺程有最大值; 在  $x=6\text{cm}$  时, 四线同时出现最大值, 熔体温度从  $280^\circ\text{C}$  上升到  $295^\circ\text{C}$  时  $(\Delta T)_{\text{max}}$  从  $15^\circ\text{C}$  增加到  $16^\circ\text{C}$ ; 在缓冷区,  $(\Delta T)$  较小只有  $2^\circ\text{C}$  左右, 在吹风区  $(\Delta T)$  急剧上升, 并出现最大值, 在自然冷却区  $(\Delta T)$  逐渐减小, 直到零(由于数据系统庞大, 本文在模拟径向温度分布时只模拟到  $30\text{cm}$  处); 从图 6 可以看出: 熔体温度的变化对皮芯温差有一定影响。

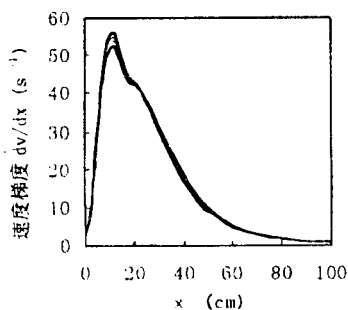


图 5 单丝在条件 C 下的速度梯度分析

片粘度低, 曲线出现第二极值, 粘度越低, 二次成形越明显; 切片粘度从  $0.55$  增加到  $0.70$ , 在纺程  $12\text{cm}$  处,  $(dv/dx)_{\text{max}}$  从  $41.267\text{s}^{-1}$  增加到  $58.439\text{s}^{-1}$ , 成形加剧。图 8 是不同切片粘度下皮芯温差沿纺程的分布图。从图中可以看到, 皮芯温差沿纺程有最大值, 且最大值出现在吹风区。在缓冷区  $(\Delta T)$  很小, 只有  $2^\circ\text{C}$  左右; 在自然

$12\text{cm}$  时速度梯度同时出现最大值; 熔体温度从  $280^\circ\text{C}$  到  $295^\circ\text{C}$ ,  $(dv/dx)_{\text{max}}$  从  $56.16\text{s}^{-1}$  减小到  $52.61\text{s}^{-1}$ ;  $x$

## 4. 切片粘度

由模拟结果(见图 7, 8)知: 速度梯度沿纺程有最大值; 且出现最大值的位置相同; 切

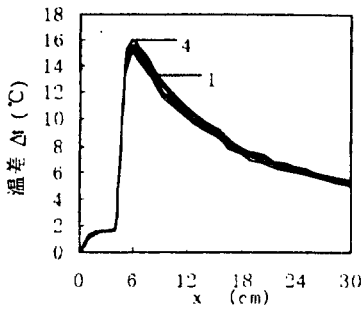


图6 单丝在条件C下温差沿纺程的分布

明切片粘度对纤维的皮芯结构影响很小。

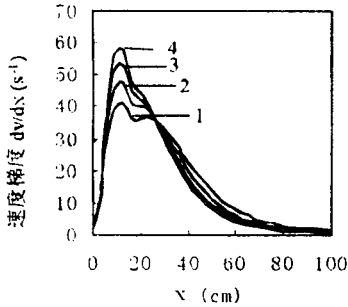


图7 单丝在条件D下的速度梯度分布

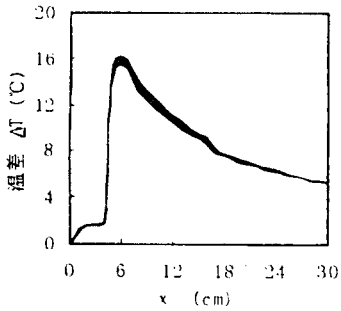


图8 单丝在条件D下温差沿纺程的分布

大；在缓冷区和自然冷却区皮芯温度差异较小。图9表明：在吹风区皮层与芯层的温度差异较大，吹风区是皮芯结构形成的主要区域。

### 三 结 论

1. 泵供量从 0.11g/s. 孔增加到 0.067g/s. 孔，其最大速度梯度从 193.42s<sup>-1</sup> 迅速降低至 21.62s<sup>-1</sup>，几乎与泵供量成反比；随着泵供量增

冷却区  $\Delta T$  沿纺程减小。图8表明切片粘度从 0.55 增加到 0.70， $(\Delta T)_{max}$  几乎不变，沿纺程  $(\Delta T)$  也不变；说

5. 标准条件下的皮芯温差分布

图9是标准纺丝条件(参见表1)下的丝条皮芯温度沿纺程的分布比较图。从图中可知，丝条温度沿纺程降低，皮层的温度低于芯层的温度；在吹风区，皮层与芯层的温度差异较

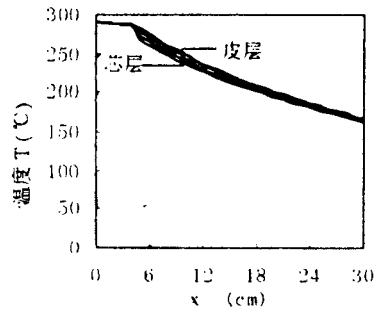


图9 标准条件下的皮芯温度分布

加，速度梯度峰变宽，峰位沿纺程从 6cm 下移至 45cm。温度变化随着泵供量的增加而减慢，其皮芯温差也大大降低，当泵供量为 0.011g/s · 孔时，皮芯温差最大可达 21°C，为 0.067g/s · 孔时，其最大温差为 13°C，对皮芯结构影响较大。

2. 卷绕速度从 600m/min 增加到 1200m/min 其最大速度梯度从 37.8s<sup>-1</sup> 增加到 61.2s<sup>-1</sup>，最大值位置沿纺程从 9cm 下移到 12cm，其温度变化及皮芯温差的影响则不明显。

3. 熔体温度从 280°C 升到 295°C 时，最大速度梯度从 56.16s<sup>-1</sup> 减小到 52.61s<sup>-1</sup>；最大温差从 15°C 增加到 16°C，对皮芯温差有一定影响。

4. 切片粘度从 0.55 增加到 0.70 时，最大速度梯度从 41.267s<sup>-1</sup> 增加到 58.439s<sup>-1</sup>，成形加剧；而其对皮芯结构影响不大。

5. 在吹风区皮层与芯层的温度差异较大，吹风区是皮芯结构形成的主要区域。

### 参 考 资 料

[1] S. Kase, J. P. S A3, 2541(1965).  
 [2] S. Kase Matsuo, J. A. P. S 11, 251(1967).  
 [3] 胡学超等：《合成纤维》，1984, No. 2, P68.