

熔纺中空纤维皮芯结构的动力学模拟

——冷却条件对皮芯差异的影响

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,在讨论了卷绕速度、泵供量、熔体温度、切片粘度对速度梯度、皮芯温差的影响的基础上,更详尽地讨论了冷却条件对温度、速度、张力三场及速度梯度、皮芯温差的影响。结果表明:吹风条件的改变,即吹风速度的提高(从 2m/s 到 5m/s),吹风长度的增加(从 8cm 到 20cm),吹风起点的上移(从 2cm 到 8cm)都能加速成形,其中以吹风速度、吹风起点的影响最为明显。另外,吹风速度,吹风起点对皮芯温差影响也较大。

关键词: 中空纤维 皮芯结构 计算机应用 动力学模拟

中图分类号: TS 102.528.1

从六十年代起,加濑^[1,2]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;研究中空纤维的皮芯差异就显得较重要。其中,作为重要工业参数的冷却条件对皮芯结构的形成,纺丝成形有着重要的影响。因此,在纺丝理论基础^[3]上,继前篇^[4]卷绕速度、泵供量、熔体温度、切片粘度对温度、速度、张力三场及速度梯度、皮芯温差的影响的讨论,我们在本文中讨论了冷却条件对温度、速度、张力三场及速度梯度、皮芯温差的影响。本文在计算机模拟的基础上,利用数据作图,分析冷却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:① PET 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(具体见第一报):

$$G = \rho AV \quad (1)$$

$$dV/dx = (F/\eta_e)(\rho V/G) \quad (2)$$

$$dF/dx = GdV/dx - \rho gA + P(G/\rho^0)^{0.195}V^{1.195} \quad (3)$$

$$T_{i+1,m_1+1} - T_{i,m_1+1} = (2\lambda m^2 \Delta x / \rho_i C p V_i R_i^2) (T_{i,2} - T_{i,1}) \quad (4)$$

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

$$T_{i,j-1} - 2(2j - 1)T_{i,j}]$$

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

$$T_{i+1,m} - T_{i,m} = -[\lambda m^2 \Delta x / \rho_i C p (2m - 1) V_i R_i^2]$$

$$\times [2m(T_{i,m} - T_i)hR_i/\lambda m + (2m - 2)(T_{i,m} - T_{i,m-1})] \quad (6)$$

二、冷却条件的影响

为便于说明,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,以下到卷绕头为自然冷却区。

* 98 届毕业生,现在上海市吴泾中学工作。

模拟采用的条件如表 1。

表 1 纺丝条件

条件	图示系列	吹风速度 V_y (m/s)	吹风长度 L (cm)	吹风起点 X_B (cm)
F	1	2	12	4
	2	3		
	3	4		
	4	5		
G	1	4	8	4
	2		12	
	3		16	
	4		20	
H	1	4	12	2
	2			4
	3			6
	4			8

其他条件: 泵供量: 0.033g/s.hole; 卷绕速度: 1000m/min; 熔体温度: 290℃; 切片粘度: 0.65; 中空度: 25%。

1. 吹风速度

图 1 表明在不同的吹风速度下(纺丝条件 F)丝条平均温度沿纺程的分布情况。从图中可以看到, 在纺程上某一定点, 吹风速度增加, 丝条在该点的平均温度下降, 在缓冷区和自然冷却区这种下降数值较小, 而在吹风区下降较大; 吹风速度由 2m/s 增加到 5m/s, 使丝条在吹风区的平均温度下降加快, 成形加剧。图 2 描述了在不同吹风速度下速度沿纺程的分布情况。从图中可知, 速度沿纺程递增; 在纺程上某一定

点, 随着吹风速度增加, 丝条在该点的速度增加, 这主要由于吹风速度增加, 加快成形, 凝固点上移, 速度较快地达到卷绕速度; 当丝条凝固后, 因吹风速度导致的速度差异为零。图 2 表明: 吹风速度增加, 丝条速度增加的速率加快。图 3 是变化吹风速度情况下的张力沿纺程的分布图。在纺程上某一定点, 吹风速度增加, 张力增加; 在缓冷区, 张力增加的速率较慢, 在吹风区和自然冷却区张力等速上升; 图 3 表明: 吹风速度由 2m/s 增加到 5m/s, 丝条在纺程上所受张力曲线上移。图 4 是单丝在不同吹风速度下速度梯度沿纺程的分布图。从图中可知, 速度梯度沿纺程有最大值; 随着吹风速度增加, 速度梯度的峰变窄, 吹风速度由 2m/s 增加到 5m/s, $(dv/dx)_{max}$ 由 $43.326s^{-1}$ 增加到 $57.917s^{-1}$, 且出现最大值的位置 $x=15cm$ 上移到 $12cm$ 。图 4 表明: 吹风速度增加, 速度梯度增加, 丝条成形位置提前, 成形加剧。图 5 为变化吹风速度情况下单丝的皮肤温差沿纺程的分布图。从图中可

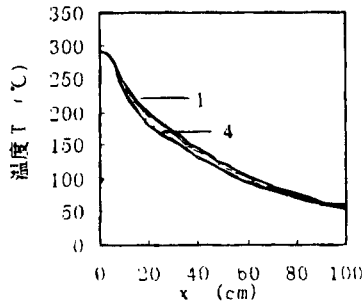


图 1 单丝在条件 F 下的温度分布

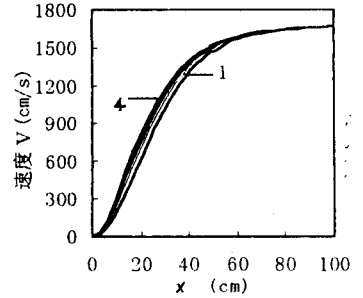


图 2 单丝在条件 F 下的速度分布

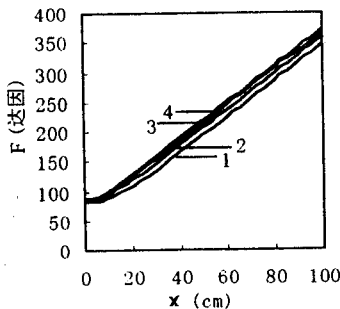


图 3 单丝在条件 F 下的张力分布

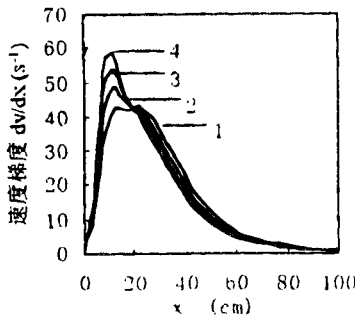


图 4 单丝在条件 F 下的速度梯度分布

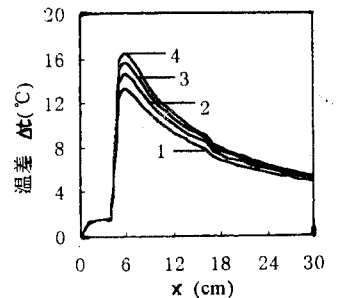


图 5 条件 F 下皮芯温差沿纺程的分布

知, ΔT 沿纺程有最大值, 沿纺程 ΔT 逐渐减小; 出现最大值的位置同为 $x=6\text{cm}$ 处, 随着吹风速度从 2m/s 增加到 5m/s , $(\Delta T)_{\max}$ 从 13.3°C 增加到 16.5°C , 表明: 吹风速度增加, 皮芯温差加大, 利于皮芯结构的形成。

2. 吹风长度(8~20cm):

图 6 是变化吹风长度(纺丝条件 G)的情况下单丝平均温度沿纺程的分布图。从图中可以看到, 在纺程上某一定点, 随着吹风长度加大, 单丝平均温度降低; 但在没有吹风的位置丝条平均温度差异很小。当吹风长度从 8cm 增加到 20cm , 吹风速度不变, 则吹风量加大, 热交换加强, 冷却成形加快。图 6 说明: 增加吹风长度, 冷却条件加剧, 有利于纤维成形。图 7 描述了不同吹风长度下单丝速度沿纺程的分布情况。速度沿纺程增加; 在纺程上某一定点, 随着吹风长度增加, 丝条在该点的速度增加; 吹风长度加大, 丝条速度较快接近卷绕速度, $x=60\text{cm}$ 时, 四种情况的丝条速度接近一致。图 7 表明: 吹风长度

增加, 丝条速度上升速率加快, 成形剧烈。图 8 表明了单丝在不同吹风长度下张力沿纺程的分布。从图中可以看到, 张力沿纺程增加; 在纺程上某一定点, 随着吹风长度加大, 纤维在该点所受张力增加; 吹风长度的变化对初始张力的影响较小; 吹风长度从 8cm 增加到 20cm , 丝条所受张力平均增加 25 达因左右。图 9 是变化吹风长度情况下单丝的速度梯度沿纺程的分布图。从图中可知, 速度梯度沿纺程有最大值, 随着吹风长度增加, 速度梯度最大值增加; 当吹风长度为 8cm 时, 在 $x=21\text{cm}$ 处 $(dv/dx)_{\max}$: 44.157 s^{-1} , 而吹风长度为 12cm 、 16cm 和 20cm 时, 在 $x=12\text{cm}$ 处有 $(dv/dx)_{\max}$: 从 38.377 s^{-1} 增加到 68.498 s^{-1} 。图 10 是变化吹风长度情况下单丝皮芯温差沿纺程的分布图。从图中可知, 丝条皮芯温差沿纺程有最大值; 在缓冷区和共同有吹风的位置 ΔT 相差较小; 随着吹风长度的增加, ΔT 略有增加, 沿纺程 ΔT 的增值减小。图中表明: 吹风长度从 8cm 增加到 20cm , $(\Delta T)_{\max}$ 几乎

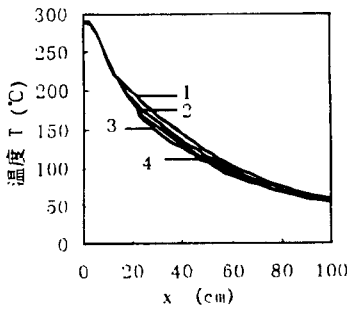


图 6 单丝在条件 G 下的温度分布

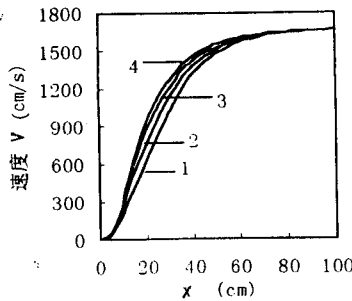


图 7 单丝在条件 G 下的速度分布

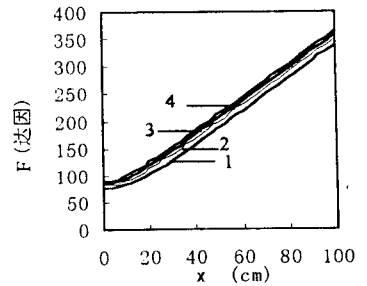


图 8 单丝在条件 G 下的张力分布
不变, ΔT 的分布略有改变。

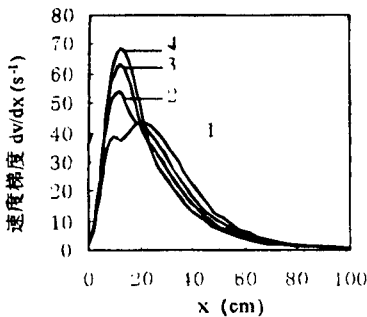


图 9 单丝在条件 G 下的速度梯度分布

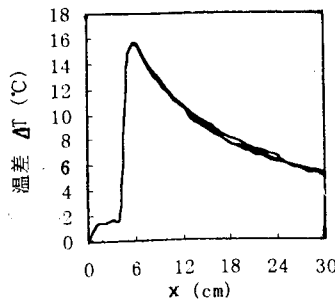


图 10 条件 G 下皮芯温差沿纺程的分布

3. 吹风起点(2~8cm):

图 11 描述了不同吹风起点(纺丝条件 H)下单丝平均温度沿纺程的分布情况。从图中可知, 在纺程上某一定点, 随着吹风起点上移, 丝条在该点的平均温度下降, 即平均温度下降速率加快; 在吹风区, 丝条平均温度曲线斜率最大, 说明在该区平均温度下降

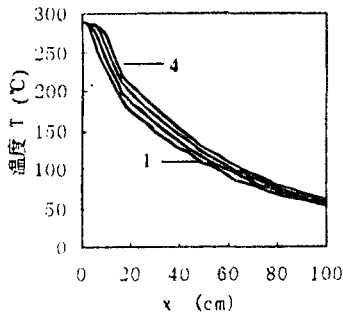


图 11 单丝在条件 H 下的温度分布

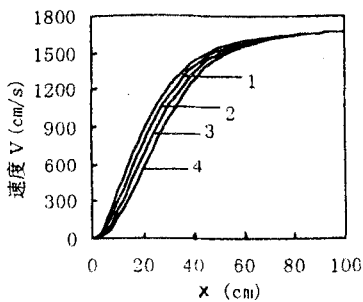


图 12 单丝在条件 H 下的速度分布

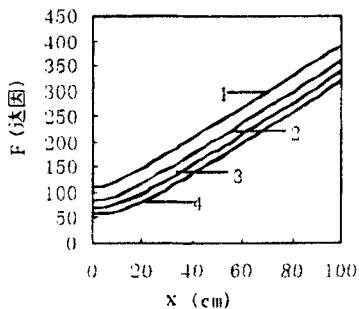


图 13 单丝在条件 H 下的张力分布

峰宽变窄;二次成形由明显到不明显。图 14 表明:吹风位置提前,成形区域也提前。图 15 描述了变化吹风起点的情况下丝条皮芯温差沿纺程的分布。从图中可以看到,皮芯温差沿纺程有最大值;随着吹风起点的上移,出现最大值的位置也上移;吹风起点从 $x=8\text{cm}$ 上移到 $x=2\text{cm}$, $(\Delta T)_{\max}$ 从 14.1°C 增加到 17°C , 出现最大值的位置从 $x=10\text{cm}$ 上移到 $x=4\text{cm}$ 。图 15 说明:吹风起点的变化对皮芯温差的影响较大。

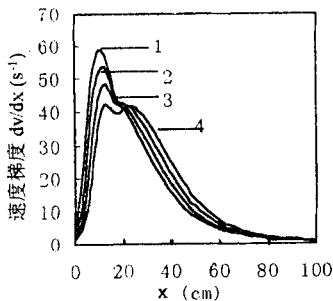


图 14 单丝在条件 H 下的速度梯度分布

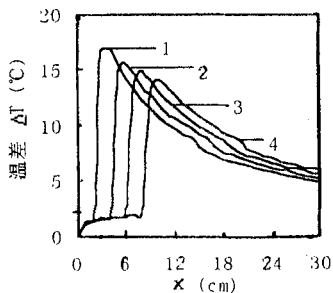


图 15 条件 H 下皮芯温差沿纺程的分布

速率最快,在自然冷却区曲线斜率逐渐减小,最后为零。图 11 表明:改变吹风起点对纤维成形影响较大,吹风起点上移,纤维成形加快。图 12 是变化吹风起点的情况下单丝的速度沿纺程的分布图。在纺程上某一定点,随着吹风起点的上移,丝条在该点的速度增加,即速度上升速率加快。图 12 说明:吹风起点上移,使纤维速度上升加快,较快地接近卷绕速度,近而纤维成形加快。图 13 是不同吹风起点的单丝的张力沿纺程的分布图。从图中可以看到,在纺程上某一定点,随着吹风起点上移,丝条在该点所受张力增加;吹风起点从 $x=8\text{cm}$ 上移到 $x=2\text{cm}$,丝条所受张力平均增加约 70 达因。图 13 表明:吹风起点上移,对纤维所受张力影响较大。图 14 描述了变化吹风起点情况下单丝的速度梯度沿纺程的分布情况。图 14 表明:速度梯度沿纺程有最大值;随着吹风起点的上移,速度梯度的最大值增加,吹风起点从 $x=8\text{cm}$ 上移到 $x=2\text{cm}$, $(dv/dx)_{\max}$ 从 42.274s^{-1} 增加到 58.199s^{-1} , 且

位置从 $x=10\text{cm}$ 上移到 $x=4\text{cm}$ 。图 15 说明:吹风起点的变化对皮芯温差的影响较大。

三、结 论

1. 吹风条件的改变,即吹风速度的提高(从 2m/s 到 5m/s),吹风长度的增加(从 8cm 到 20cm),吹风起点的上移(从 2cm 到 8cm)都能加速成形,其中吹风速度、吹风起点的影响最为明显。
2. 吹风速度、吹风起点对皮芯温差影响较大。
3. 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. S11, 251(1967).
 [3] 朱建民等:《合成纤维工业》,1999年。
 [4] 《纺织学报》,1999, No. 2, P. 7.