

使用水平集方法对熔喷纤维运动进行模拟

曾泳春, 郝习波, 张潇敏, 滕德芳, 李辉
纺织学院, 东华大学, 上海

简介:熔喷是工业上用于制备微米纤维非织造布的一种工艺方法。在熔喷过程中, 高聚物熔体经过高速、高温气流的拉伸, 在接受装置上固化结晶形成微米纤维非织造布。由于纤维的拉伸细化发生在气流场的运动过程中, 因此对纤维运动的研究具有重要意义。本研究将高聚物与气流所形成的混合体系作为两相流来处理。

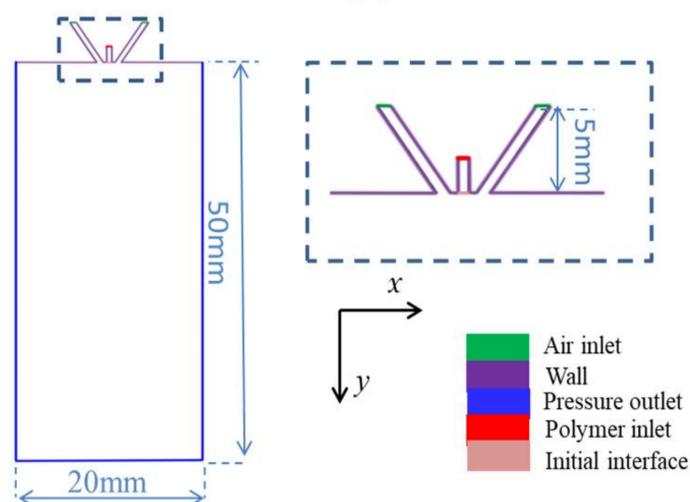


图 1. 模型几何形状与边界条件设置

结果:图2(a)所示为高聚物与气流的耦合流畅速度云图, 图2(b)所示为将气流过滤之后高聚物的速度分布。我们使用高速摄影技术, 获得了实际纺丝过程中纤维的速度值。图3所示为高聚物的横向纵向速度与横向速度和实验值的对比, 发现实验值与模拟值在同一范围内波动。

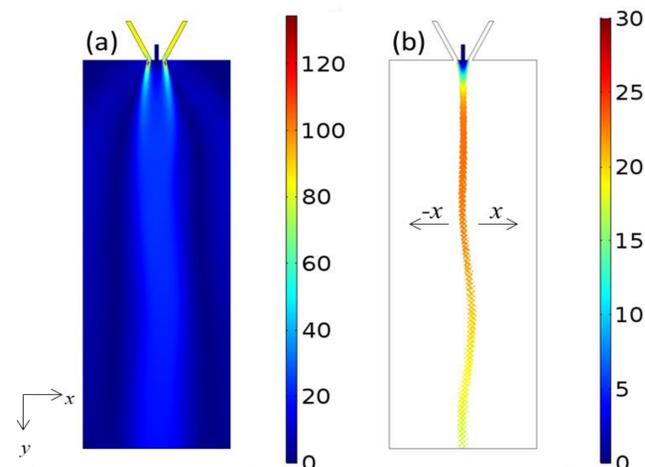


图 2. 纤维-气流场速度分布

计算方法:本研究使用Comsol multiphysics的两相流水平集方法对气流与熔融高聚物的两相流体系进行模拟。为了简化计算, 采用进行二维模拟, 如图1所示。为了研究纤维的动态运动, 使用瞬态求解。由于入口速度较高, 为了增加收敛性, 使用速度递增法对入口速度进行参数化扫描。由于气流速度高, 使用水平集的湍流接口。重新初始化参数设置为6 m/s, 控制方程如下:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \nabla \cdot (\phi \mathbf{u}) + \gamma \left[\left(\nabla \cdot \left(\phi(1-\phi) \frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) \right) - \varepsilon \nabla \cdot \nabla \phi \right] = 0$$

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\nabla p + \nabla \cdot [(\mu + \mu_T)(\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T)] + \mathbf{F}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0$$

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \rho(\mathbf{u} \cdot \nabla) k = \nabla \cdot [(\mu + \mu_T \sigma_k^*) \nabla k] + P_k - \beta_0^* \rho \omega k$$

$$\rho \frac{\partial \omega}{\partial t} + \rho(\mathbf{u} \cdot \nabla) \omega = \nabla \cdot [(\mu + \mu_T \sigma_\omega) \nabla \omega] + \alpha \frac{\omega}{k} P_k - \rho \beta_0 \omega^2$$

$$\mu_T = \rho \frac{k}{\omega}$$

$$P_k = \mu_T \left[\nabla \mathbf{u} : (\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T) - \frac{2}{3} (\nabla \mathbf{u})^2 \right] - \frac{2}{3} \rho k \nabla \cdot \mathbf{u}$$

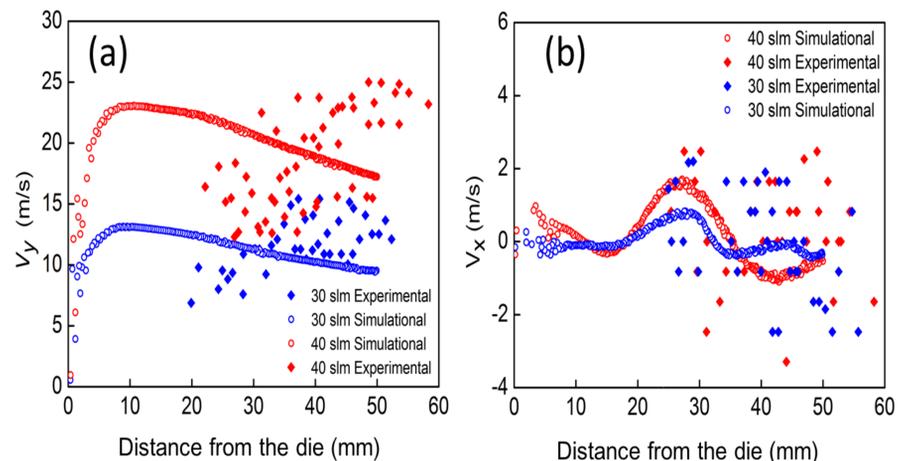


图 3. 纤维速度模拟值与实验值的对比

结论:经过模拟值与实验值的对比, 发现两相流水平集方法可以有效的模拟熔喷过程中的纤维运动。但是模型中对高聚物粘度的处理太过简单, 下一步我们考虑在计算纤维应力时, 模型中加入高聚物的粘弹性。