

研究简报

纺丝组件砂腔中流体流动性的冷态模型研究

甘丽华, 李 健, 姜 鹏, 孔令熙, 李 鑫*

(中国纺织科学研究院 生物源纤维制造技术国家重点实验室, 北京 100025)

摘要:自制冷态模型实验装置, 针对熔融纺丝组件中的流体流动特征进行研究。实验结果表明: 利用葡萄糖浆溶液作为 PA6 熔体的模拟介质是可行的, 糖浆粘度与 PA6 熔体粘度有相似的变化规律及一定条件下粘度值相近, 糖浆粘度随着剪切速率的增加而出现剪切变稀现象; 在温度为 21℃ 时, 糖浆粘度与 265℃ 时 PA6 熔体粘度接近, 表明常温下, 用糖浆作为模拟介质是可行性的; 通过模拟介质在透明纺丝组件中流动特性的研究表明: 流体在纺丝组件的砂腔中流动并不是理想的平推流, 在压盖下方物料停留时间较四周长, 不利于物料性质的均匀性。此研究实验结果为优化纺丝组件奠定了一定的基础。

关键词: 纺丝组件; 冷态模型; 糖浆; 停留时间; 可视化; 流场特性

纺丝组件是纺丝设备中最核心的元件之一, 其作用是过滤掉熔体内的杂质, 使熔体充分混合均匀, 建立起一定的组件压力, 最终从喷丝板孔均匀、稳定纺出纤维。熔体在组件内部流场是否均匀直接影响到纤维单根丝的均匀性、纺丝的稳定性和纤维的性能。纺丝需要在高温高压下进行, 所以组件内部流动状态难以观测, 目前组件内部流场可视化研究结果相对较少。

冷态模型实验是在没有化学反应的条件下, 利用水、空气和砂子等惰性物料来替代化学物料, 在和工业装置结构和尺寸相似的实验装置上研究各种工程因素对实验过程的影响规律^[1,2]。其目的是利用模拟实验得到的实验规律和现象去分析、推测实际的过程, 定量和定性研究各影响因素之间的关系, 从而得到其内在本质和规律, 为新设备或新技术的研发提供理论指导。因此, 冷态模型实验越来越受到广大学者的青睐, 并逐渐应用到其他领域。自从 1968 年开始, 就不断有学者以水/空气/玻璃微球等体系进行了冷模实验研究^[3~13], 由于当时实验设备条件和方法的不同, 所得出的结论差别较大, 但是却为反应器研究和冷模实验的开展提供了基础。

本文自制了纺丝组件内部流场可视化实验平台, 主要针对葡萄糖浆和 PA6 熔体性质进行对比, 从粘度、弹性等方面分析, 验证了模拟介质的可靠性; 并通过冷态模拟实验, 初步研究了纺丝组件砂腔中流体运动的规律。

1 实验部分

1.1 实验原料

1.2 实验仪器及装置

本实验为了在常温下研究熔融纺丝组件内部流体运动规律, 选用葡萄糖浆溶液作为模拟介质; 按结构尺寸比为 1:1, 选用有机玻璃为材质, 制造加工可视化组件模型, 冷态模拟实验装置及组件模型如下图 1、2 所示。

10.14028/j.cnki.1003-3726.2017.03.006

收稿: 2016-06-19; 修回: 2016-12-20;

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目(2011BAE05B00);

作者简介: 甘丽华(1989—), 硕士生, 主要研究方向为高分子材料结构与性能;

* 通讯联系人。

表 1 实验原料

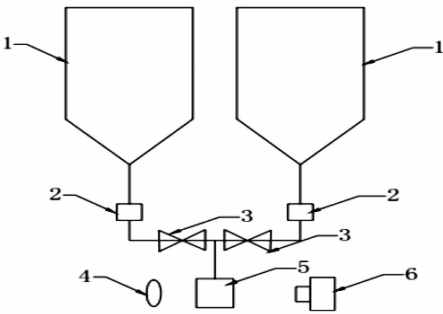
Table 1 Experimental raw materials

实验材料	规格	生产厂家
葡萄糖浆	固含量 82%	北京广盛源生物科技有限公司
PA6	$ \eta =2.56$	锦江科技股份有限公司
结晶紫	分析纯	天津市致远化学试剂有限公司

表 2 实验仪器

Table 2 Experimental apparatus

设备名称	型号	生产厂家
毛细管流变仪	Rheograph 25	德国 Göttfert 公司
真空干燥箱	ZD79-A	北京兴争仪器设备厂
电子天平	AL204	梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司
摄像机	α -5100	索尼(中国)有限公司
冷态模型系统	—	中国纺织科学研究院自制



1. 料釜;2. 计量泵;3. 阀门;4. 光源;5. 组件模型;6. 摄像机

图 1 冷态模型系统整体结构示意图

Figure 1 The cold model overall system structure diagram

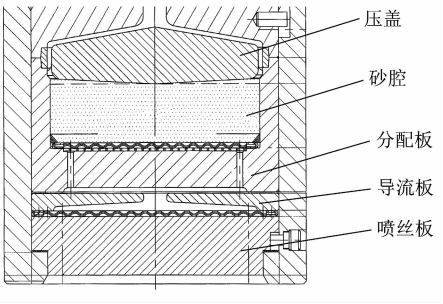


图 2 纺丝组件

Figure 2 Spinning components

1.3 实验及数据处理

物料的流变性能分析,采用德国 Gottfert 公司 RHEOGRAPH 25 型毛细管流变仪,毛细管直径为 1mm,长径比为 40/1,剪切速度范围 $18\sim10^4\text{ s}^{-1}$;糖浆溶液测试温度均为 $19\sim25^\circ\text{C}$ 。PA6 熔体测试温度

255~285℃。

组件内部流场分析借助自行设计并制作的冷态模拟实验装置,应用蓝色糖浆和纯糖浆之间的相互置换,并且通过摄相机记录变化的全过程,通过分析其不同部位物料置换的先后,来分析讨论不同部位的流体的停留时间长短,从而分析其内部流动规律。

2 结果与讨论

2.1 模拟物料流变性能分析

实验中为了研究与分析 PA6 熔体和糖浆溶液的剪切粘度和剪切速率的变化规律,并对比两者之间的相似性,将两种物质的变化曲线合并如图 3 所示。

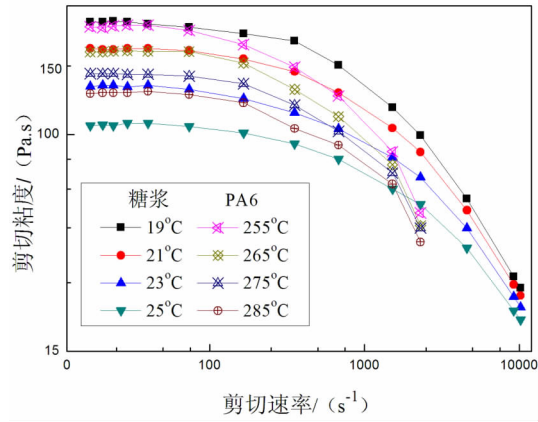


图 3 PA6 熔体和糖浆流变曲线对比

Figure 3 Comparison chart of rheological curve about PA6 and syrup

由图 3 可知:不同温度的 PA6 熔体和糖浆溶液流变曲线变化趋势基本保持一致。在低剪切速率范围内,PA6 熔体与糖浆粘度基本不随剪切速率的变化而发生明显变化,均呈现牛顿流体行为^[14];并且当剪切速率增加到一定值后,两者都出现明显剪切变稀现象。常温下的糖浆溶液的粘度和高温下的 PA6 熔体粘度数值上都保持在同一数值范围内,并且随着剪切速率变化都有相似的变化规律,进一步说明糖浆溶液与 PA6 熔体有相似的流变行为。图中清楚地可以看出,21℃的糖浆溶液和 265℃的 PA6 熔体在剪切速率约为 77s⁻¹以内时,两者的流动曲线重合性较好,这说明可以调节糖浆溶液的温度使得其流变曲线与不同温度的 PA6 熔体流变曲线一致。更加证实了用糖浆溶液常温下来作为 PA6 熔体的模拟介质是可行的。

2.2 纺丝组件内流动性分析

实验温度严格控制在 21℃,开始时通过蓝色糖浆物料输送管道,先将组件内部填充满蓝色物料。然后通过阀门关闭蓝色物料的供给,以相同的流量开启透明纯糖浆,用其来置换已经存在组建内部的蓝色糖浆溶液,当纯糖浆溶液刚进入组件入口的时,用摄像机开始记录其整个置换过程。视频图像数据通过用 KMPlayer 软件按时间顺序,间隔性截取出不同时刻的图片,并对不同条件下的图片进行比较分析。获得不同实验条件下,砂腔中流体流动特性。

如图 4 所示砂腔中没有安装过滤网时,不同时刻纯糖浆溶液置换蓝色糖浆溶液的图像。从上图可知:流体在砂腔中的流动分布并不均匀,在同一横平面上的物料不是同时流经砂腔,在砂腔中物流停留时间是存在较大差异的。物料从入口进入组件后,流经喇叭状压盖,从砂腔四周进入砂腔,这样导致压盖下方区域没有及时得到物料的补充,最终使得物料在过流盖下方的停留时间过长,不利于流体性质的均匀性,这一结论为后期过流盖结构的改造尊定了基础。

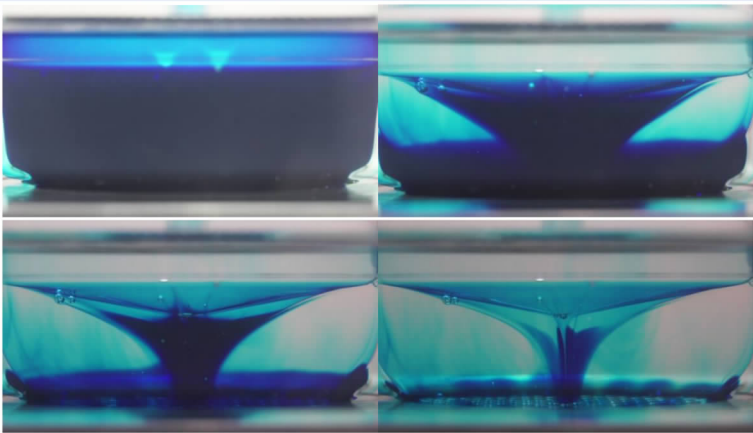


图 4 砂腔无滤网时流场分布
Figure 4 Flow field distribution of sand cavity without mesh

图 5 为砂腔中安装过滤网后,流量相同条件下,不同时刻流动图像。与图 4 流动情况进行对比,流动基本规律保持一致。但从不同时刻的图像可知,在图 4 与图 5 相同时刻时,在砂腔中没有安放过滤网的条件下,压盖下方的蓝色物料更加容易被纯色糖浆溶液所置换。这说明在没有滤网时,过流盖下方的物料流动速度比有滤网时的流动速度较快。产生这一现象的主要原因可能是流体流经砂腔后通过导孔均匀分布的分配板,再流向导流板,然而导流板结构只是中心开设一个直径为 8mm 的导流孔,将经过分配板的流体重新汇聚混合到一起。这样导致分配板上方的流动阻力不同,中心直接与导流板孔相通,产生的流动阻力小,而在有网的条件下,滤网起到增加阻力,均匀压力的作用,使得砂腔中中心流体流动速度慢些,从而蓝色糖浆溶液相对不易被置换。

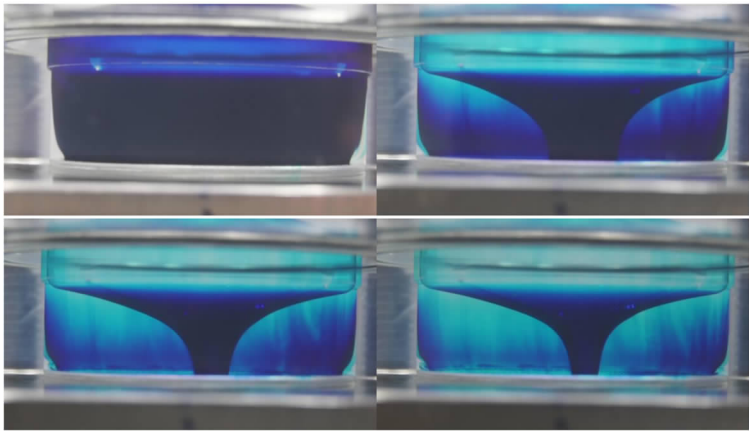


图 5 砂腔中有过滤网时流场分布
Figure 5 Flow distribution in the sand chamber with filter

从上 3 图对比可知,当砂腔中填充 40~60 目 40g 的金属砂时,在同样的流量下,总体蓝色糖浆溶液被纯糖浆溶液置换的比较快,特别是压盖下方更加容易被置换,物料在砂腔中的停留时间较短。主要是由于添加高精度过滤砂,增加阻力均压效果明显,使得四周与中心压力更加接近,使得物料流动速度更加一致,最终导致物料在中心和四周停留时间差异缩短,有利于物料性质的均匀性。

3 结 论

采用冷态模型实验装置,针对熔融纺丝组件中的流体流动特征进行研究。实验结果表明:

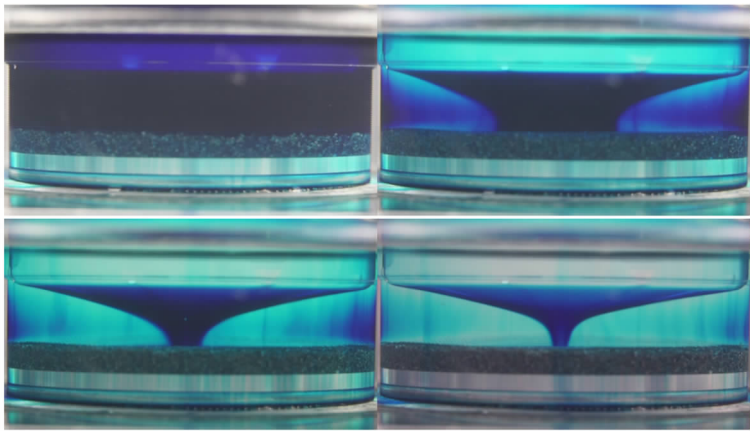


图 6 砂腔中填充滤砂时流场分布

Figure 6 Flow field distribution in sand chamber filled with filter sand

(1)糖浆粘度与 PA6 熔体粘度有相似的变化规律及粘度值也非常接近,糖浆粘度随着剪切速率的增加而出现剪切变稀现象;在温度为 21℃,糖浆粘度与 265℃时 PA6 熔体粘度非常接近,表明用常温下,用糖浆作为模拟介质是可行性的;

(2)通过模拟介质在透明纺丝组件中流动特性的研究,表明:流体在纺丝组件的砂腔中流动并不是理想的平推流,在压盖下方物料停留时间较四周长,不利于物料性质的均匀性。

参考文献:

[1] 张浩勤,章亚东,陈卫航. 化工过程开发与设计. 北京:化学工业出版社,2002,102~156.
[2] 张钟宪. 化工过程开发概论. 北京:首都师范大学出版社,2005,207~231.
[3] 刘成全,温良英. 钢铁,1990,25(11):61~65.
[4] 张庭芳,田华,吴志军等. 江西科学,2005,23(1):54~56.
[5] 李彦,刘青波,苏剑涛等. 激光杂志,2000,21(5):53~55.
[6] 冯传玉,何世平. 实验力学,1998,13(4):429~433.
[7] Standish N. Chem Eng Sci,1968,23(1): 51~56.
[8] Satterfield C N. AIChE J,1975,21(2): 209~228.
[9] Goto S, Levec J, Smith J M. Catal Rev Sci Eng, 1977,15(1): 187~247.
[10] Foscolo P U, Gibilaro L G. Chem Eng Sci, 1984,39(12): 1667~1675.
[11] Muroyama K, Fan L S. AIChE J, 1985, 31(1):1~34.
[12] 杨守志,赵玉龙,张碧江. 化学工程,1984,2:11~19.
[13] 赵玉龙. 化学工程,1986,1:37~47.
[14] 郭增革,李鑫,李健等. 天津工业大学学报,2014,33(5):33~68.
[15] 燕晓松. 聚合物溶液的弹性粘度理论及应用. 大庆:东北石油大学博士学位论文,2004.
[16] 闫未丹. 栅缝元件上粘弹性流体降膜流动研究. 广东:华东理工大学硕士学位论文,2011.

Cold Simulation Experimental Study of Fluid Flow Characteristics
of the Melt Spinning Assembly

GAN Li-hua, LI Jian, JIANG Peng, KONG Ling-xi, LI Xin*

(State Key Laboratory of Biobased Fiber Manufacture Technology, China Textile Academy,
Beijing 100025, China)

Abstract: The refrigeration state simulation equipment was established, to research the fluid flow characteristics in spinning assembly. The results show that: the use of glucose syrup solution as PA6 melt the analog medium was feasible, syrup viscosity PA6 melt viscosity was similar to the viscosity values under certain conditions and variation similar syrup viscosity with increasing shear rate appears shear thinning phenomenon; the viscosity of syrup at a temperature of 21℃ was close to viscosity of PA6 melt at 265℃, the syrup as an analog medium was feasible. Flow characteristics in a transparent spinning assembly through the analog medium show: fluid flow in the spinning pack sand in the chamber was not ideal plug flow, the residence time of the gland below the material than four weeks long, was not conducive to the uniformity of material properties. The results of this study to optimize the spinning pack to lay a certain foundation.

Key words: Spinning pack; Cold simulation; Syrup; Residence time; Visualization; Flow field characteristics