

For citation: Li Yaogang, Jiao Xiaojun, Wu Xichun, Mei Shunqi. Research status of meltblown die for non-woven fabrics // Grand Altai Research & Education — Issue 2 (20)'2023 (DOI: 10.25712/ASTU.2410-485X.2023.02) — EDN: <https://elibrary.ru/oytjgf>

UDK 677.014

RESEARCH STATUS OF MELTBLOWN DIE FOR NON-WOVEN FABRICS*

Li Yaogang¹, Jiao Xiaojun², Wu Xichun¹, Mei Shunqi¹

1 Wuhan Textile University, Hubei Key Laboratory of Digital Textile Equipment, Wuhan 430073, China;

2 Shaoyang Textile Machinery Co., Ltd, Shaoyang, Hunan, 422100, China.

E-mail: 550822106@qq.com ; meishunqi@vip.sina.com

Abstract: Non-woven fabrics as an important branch of chemical fiber production, in recent years in China has been rapid development, the production of non-woven fabrics can not be separated from the processing and manufacturing of meltblown dies, with the rapid development of non-woven products, but also led to the rapid development of meltblown die technology. As an indispensable precision part of the chemical fiber spinning machine, the meltblown die is an important component of the spinning machine spinning forming, and the two are closely linked. The quality of meltblown die is one of the important signs to ensure the quality of finished non-woven fabrics and good spinning process.

Keywords: non-woven fabric, meltblown die, spinneret

无纺布熔喷模头研究现状**

李耀钢¹, 焦小军², 吴喜春¹, 梅顺齐¹

1 武汉纺织大学, 湖北省数字化纺织装备重点实验室, 武汉 430073;

2 邵阳纺织机械有限责任公司, 湖南邵阳, 422100, 中国

E-mail: 550822106@qq.com ; meishunqi@vip.sina.com

摘要: 无纺布作为化纤生产的重要分支, 近年来在我国得到了快速的发展, 无纺布的生产制造离不开熔喷模头的加工制造, 随着无纺布产品日新月异的发展, 也导致了熔喷模头技术的快速发展. 熔喷模头作为化纤纺丝机不可或缺的精密零件, 是纺丝机纺丝成形的重要元件, 两者紧密相连. 熔喷模头的质量是保证无纺布成品质量和良好纺丝工艺的重要标志之一.

关键词: 无纺布, 熔喷模头, 喷丝板

* This paper was supported by the National and Hubei Provincial High-end Textile Equipment Intellectual Intelligence Base Programme (111HTE2022002, HWZ201819)

** 本文得到国家和湖北省高端纺织装备引智基地计划资助 (111HTE2022002, HWZ201819)

0 引言

在工业上, 无织布也被称作非织造布, 它是一种不需要通过纺纱织布而形成的织物, 是在化纤工业中的一种特殊的加工方法. 熔喷非织造布具有特殊的三维结构, 具有较多的孔隙和很大的比表面积, 纤维长度粗细不一孔隙呈现一定的分布, 缩小了纤维之间的间隙, 增加了纤维之间的密度. 基于熔喷布特殊的加工方法和微小的间隙, 使得熔喷无纺布具有很好的过滤性, 屏蔽性, 绝热性和吸油性, 广泛应用于医用防护材料, 隔音材料, 吸油材料, 保暖材料, 擦拭布及电池隔膜等领域.

1 熔喷模头的工作原理

熔喷模头的工作原理是将颗粒状的聚丙烯原料装入入料口, 在经过螺杆挤出机的加压加热作用使得颗粒状的聚丙烯颗粒变为熔融状态, 经过计量泵的作用使得熔融聚丙烯均匀进入熔喷模头流道, 利用高速热空气对模头喷丝孔挤出的聚合物熔体细流进行牵伸, 由此形成超细纤维并凝聚在凝网帘或滚筒上, 并依靠自身粘合而成为非织造布, 在经过驻极处理, 通过外加高压电荷额外加上去的内部电荷, 最后卷绕形成熔喷布.

(1) 熔喷无纺布生产工艺流程

首先将化学纤维颗粒倒入聚合物入料口, 随后通过螺杆挤出机对纤维颗粒进行加热挤压使之成为熔融聚合物即纺丝原液, 通过计量泵对熔融聚合物进行精确计量喂液, 使熔融聚合物均匀进入喷丝板主体, 随后通过衣架型流道以 0.3-3g/孔/min 的速率均匀挤出喷丝孔, 通过高温 (230°-360°) 高速 (接近或低于声速) 气流对熔体细流进行拉伸冷却, 通过卷绕接收装置对熔喷布接收处理, 最后进行静电驻极处理使熔喷布具有良好的吸附性. 熔喷无纺布生产工艺流程图如图 1 所示.

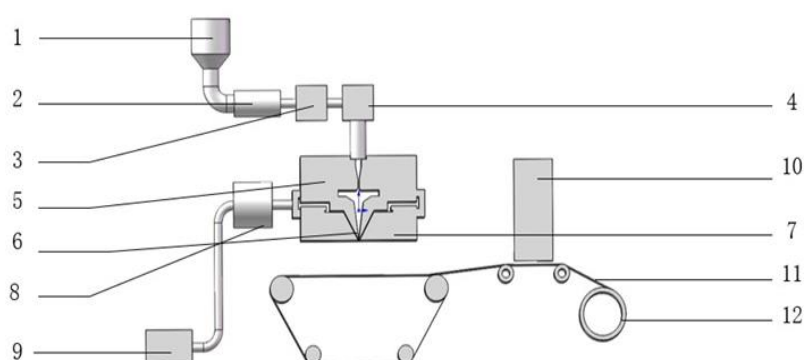


图 1: 1 – 聚合物入料口; 2 – 螺杆挤出机; 3 – 熔体过滤机; 4 – 计量泵;
5 – 喷丝板主体; 6 – 喷丝板; 7 – 风琴板; 8 – 加热器; 9 – 空气压缩机;
10 – 静电驻极处理; 11 – 传送带; 12 – 卷绕机

Fig. 1: 1 – Polymer inlet; 2 – Screw extruder; 3 – Melt filter; 4 – Metering pump;
5 – Spinnerette body; 6 – Spinnerette; 7 – Organ plate; 8 – Heater; 9 – Air compressor;
10 – Electrostatic electretreatment; 11 – Conveyor belt; 12 – Winder

(2) 熔喷设备

主要熔喷设备: 上料机, 螺杆挤出机, 计量泵, 过滤装置, 熔喷模头组合件, 空压机, 空气加热器, 接收装置机, 卷绕装置机 [1].

生产辅助设备: 模头清洁炉, 静电施加装置等.

2 熔融非牛顿流体

颗粒状的聚丙烯原料装入入料口, 在经过螺杆挤出机的加压加热作用使得颗粒状的聚丙烯颗粒变为熔融状态, 当熔融状态流体的黏度随着剪切速度的变化而不发生变化时, 称为牛顿型液体, 液体的黏度随着剪切速度的变化而变化时, 称为非牛顿型液体. 其中黏度随着剪切速率的增加而降低的液体, 称为假塑性液体; 黏度随着剪切速率的增加而上升的液体, 称为膨胀型液体.

熔喷无纺布在生产制造上, 原材料广泛采用聚丙烯等聚合物, 聚丙烯简称 pp, 密度为 $0.89\sim 0.91\text{g/cm}^3$, 熔点为 $164\sim 170^\circ\text{C}$, 聚丙烯在高温状态下是非牛顿流体, 聚合物大部分属于假塑性流体, 随着剪切速率的增大, 其粘度降低. 熔融聚合物纤维产品质量的控制是通过调整聚合物的粘度来进行控制的, 其中聚合物的压力, 结构, 剪切率, 流体成分, 温度对高分子材料粘度的影响较大. 常见的非牛顿流体有幂律模型, Carreau-Yasuda 模型, 交叉模型, Herschel-Bulkley 模型, 以及粘度曲线等, 其中 Carreau-Yasuda 模型方程既反映高剪切速率下的假塑性, 又反映低剪切速率下的牛顿性, 能够描写比幂律方程范围更广的流动性质. 因此, 在进行聚丙烯聚物流变行为模拟时一般选用 Bird-Carreau 本构方程 [2]. Bird-Carreau 本构方程公式为:

$$\eta = \eta_{\infty} + \frac{\eta_0 - \eta_{\infty}}{[1 + (\lambda\dot{\gamma})^2]^{1-n}} \quad (1)$$

上式中 n 为非牛顿指数即粘度单位 pa/s , 一般 $n < 1$; 时间常数 λ , 也称松弛时间, 指材料受力变形, 外力消失后恢复正常状态所需要的时间; η_0 为零剪切粘度, 也称第一牛顿粘度. 剪切速率很小时, 聚合物粘度较大, 且通常为一个定值, 所以常作为聚合物粘度的标准; η_{∞} 为无限剪切粘度, 也称第二牛顿粘度, 当剪切速率非常大时, 聚合物粘度随剪切速率增加而不断降低, 有时可取为 0, $\dot{\gamma}$ 为剪切速率, 流体的流动速度相对圆流道半径的变化速度 — 剪切速度, 也称之为剪切速率, 剪切速率主要和流体的温度, 粘度以及流体的类型有一定的关系 [3].

3 熔喷模头组合件的设计

熔喷模头组合件是熔喷设备中最关键的部分, 其中最重要的部分包括: 聚合物熔体在模头内的流道系统设计与模头系统设计.

(1) 模头流道系统设计

模头流道设计要求保证熔体聚合物在整个熔喷模头长度方向上均匀流动并具有相同的滞留时间, 使得熔融聚合物在整个幅宽方向上均一到达喷丝板位

置,使熔体等流量流出,熔体压力降要适当,熔体在流道内的停留的时间要尽可能短,从而保证熔喷法非织造布在整个宽度上具有较均匀的性质。

熔融喷丝板经过长期的发展,目前熔喷模头内的流道设计中主要有 T 形流道件,鱼尾形流道,衣架形流道三种方法. T 形流道局限于结构设计,模头出口幅宽方向上均匀指数较差, T 型分配系统不能均匀分配流体,只适用于幅宽较小的流道;鱼尾形流道具备较好的沿模头出口幅宽方向的均匀指数,但模头高度较高,模头内部流动均匀性较差,不适合扩大模头出口宽度,生产效率较低;衣架形模头流道是目前应用最为广泛的流道模型,结合了 T 形流道和鱼尾形流道设计的优点,流道内部歧管半径逐渐减小,衣架形模头高度较低,更有利于熔体在模头内部均匀性流动 [4]. T 型流道如图 2 所示,鱼尾型流道如图 3 所示,衣架型 [5]如流道图 4 所示。

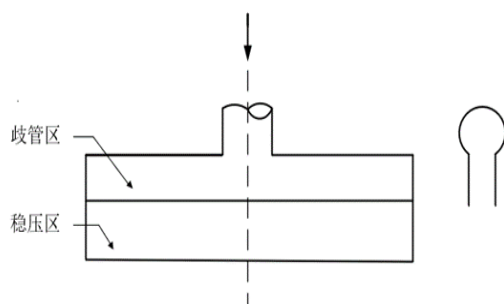


图 2 T 型流道示意图

Fig. 2. Schematic diagram of T-type runner

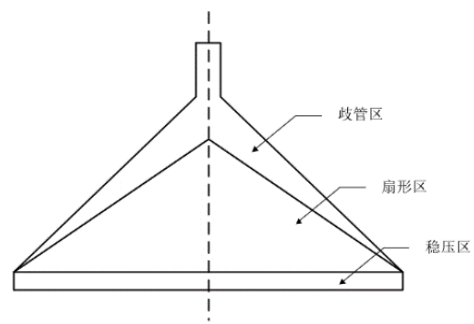


图 3 鱼尾型流道示意图

Fig. 3 Schematic diagram of fish tail type runner

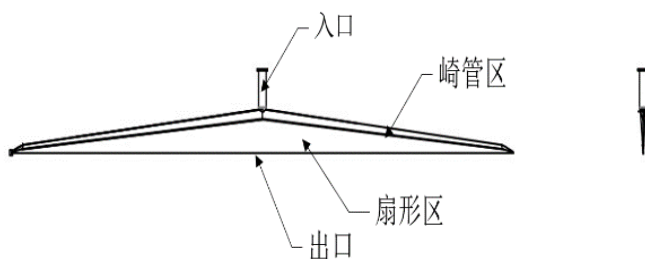


图 4 衣架型流道内部示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the inside of the hanger-type runner

(2) 熔喷模头喷丝板设计

熔喷喷丝板模头喷丝口处主要由喷丝板,模头主体,风刀,热气流控制元件,加热保温元件等部件组成.其中常见的喷丝板为单排喷丝孔设计,两侧为进风系统,喷丝板导孔形状为圆柱形.影响喷丝孔纤维质量的主要因素有微孔直径,长径比,导孔形状等,根据不同用途的熔融聚合物材料所要求的喷丝孔直径,长径比,导孔形状都存在较大的差别.其次熔喷纤维的均匀度,质量与模头加工制造精度也密切相关,喷丝孔具有数量多,尺寸小,加工困难,熔喷模头需要有较高的加工精度,因此其生产成本较高.熔喷喷丝孔结构简图如图 5 所示,熔喷喷丝板剖面简视图如图 6 所示。

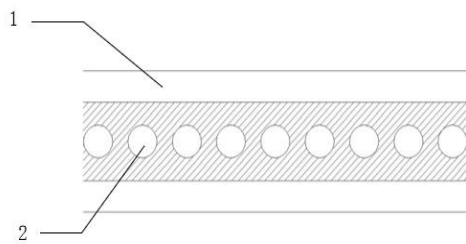


图 5 熔喷喷丝孔结构简图

1-热空气通道 2-熔体通道

Fig. 6 Sketch of the structure of the Melt blown filament holes

1-Hot air channel 2-Melt channel

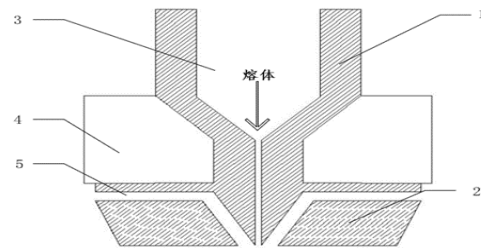


图 6 熔喷喷丝板剖面简视图

1-模体 2-风刀 3-熔体 4-加热元件 5-热气流管道

Fig. 7 Sectional sketch view of melt spraying spinneret

1-Mold body 2-Air knife 3-Melt 4-Heating element 5-Hot air flow pipe

(3) 喷丝板导孔设计

喷丝板导孔形状有圆柱形, 双圆柱形, 平底型, 圆锥形和双曲线型等类型 [6], 其中最常见喷丝板导孔形状为圆柱形导孔形状, 圆锥角一般为 $60^{\circ}\sim 120^{\circ}$. 喷丝板的长径比 (L/D 比值, 其中 L 代表孔的长度, D 代表孔的直径) 是一个重要的设计参数, 它影响着喷丝板的性能和喷射效果. 喷丝板的长径比与流体性质, 喷射速度和压力, 材料等因素密切相关. 长径比选择与确定使需要仔细考虑的设计参数, 它必须根据模头的结构, 熔喷纤维的具体需求以及流体性质来选择. 不同的应用可能需要不同的长径比, 以获得最佳性能和喷射效果. 如今, 在进行喷丝板的设计加工制造时通常会先进行计算机实验和模拟 (CFD) 来确定最适合其特定应用的长径比, 以获得喷丝板导孔的最优结构参数.

4 总结

无纺布熔喷喷丝板和模头组合件作为无纺布的关键零部件, 直接影响到熔喷无纺布的成品质量. 未来对于如何优化熔喷喷丝板和模头组合件的结构参数, 孔型, 材质, 加工成本, 模头使用寿命及出丝质量之间找到最优值是熔喷设备设计的难点和热点问题. 不断提高熔喷模头关键零部件的加工制造精度, 对于无纺布行业发展与无纺布成品质量的提高起着至关重要的作用.

喷丝板技术将更多地与人工智能和机器学习集成, 以优化喷丝过程, 检测缺陷并自动调整参数; 朝着可持续环境友好型的方向发展, 喷丝板技术将越来越注重可持续性, 包括回收利用材料, 降低能源消耗和减少废物等. 随着技术的不断进步和应用领域的扩展, 我们可以期待看到更多创新和发展. 未来, 非织造布行业会顺应纺织机械的大发展方向, 朝着智能化, 绿色化, 可持续化, 高品质化, 高技术化方向发展.

参考文献

[1] 李锐, 原海波, 李涛英. 基于喷丝板设计加工及生产过程的熔喷布生产难点分析 [J]. 纺织科技进展, 2022(01):30-32+60. DOI: 10.19507/j.cnki.1673-0356.2022.01.008.

- [2] 张思杰. 挤出熔融聚丙烯短流道 T 型模具的研究 [D]. 哈尔滨商业大学, 2020. DOI: 10.27787/d.cnki.ghrbs.2020.000544.
- [3] 朱文敏. 衣架式 ABS 模头的挤出模拟与分析设计 [D]. 华东理工大学, 2016.
- [4] 尹明富, 李晓青. 熔喷非织造布纺丝模头流道设计 [J]. 机械科学与技术, 2010, 29(05):599-601. DOI: 10.13433/j.cnki.1003-8728.2010.05.003.
- [5] 李纯清, 陈绪煌, 严海彪. 衣架型挤出机头建模分析及流动模拟 [J]. 湖北工业大学学报, 2014, 29(01):101-103+115.
- [6] 王永恒, 石彩杰, 崔再治. 喷丝板的设计 [J]. 聚酯工业, 2006(03):27-30.
- [7] 程寿国, 刘金南, 闫国伦等. 熔喷模头和熔喷流场的研究现状及发展趋势 [J]. 现代工业经济和信化, 2021, 11(09):17-18+53. DOI: 10.16525/j.cnki.14-1362/n.2021.09.07.

References

- [1] Li Rui, Yuan Haibo, Li Taoying. Analysis of the production difficulties of meltblown cloth based on the design, processing and production process of spinneret [J]. Progress in Textile Science and Technology, 2022(01):30-32+60. DOI: 10.19507/j.cnki.1673-0356.2022.01.008.
- [2] Zhang Sijie. Research on extruded molten polypropylene short runner T-mold [D]. Harbin University of Commerce, 2020. DOI: 10.27787/d.cnki.ghrbs.2020.000544.
- [3] Zhu Wenmin. Extrusion simulation and analysis design of hanger ABS die [D]. East China University of Science and Technology, 2016.
- [4] Yin Mingfu, Li Xiaoqing. Meltblown nonwovens spinning die runner design [J]. Mechanical Science and Technology, 2010, 29(05):599-601. DOI: 10.13433/j.cnki.1003-8728.2010.05.003.
- [5] Li Chunqing, Chen Xuhuang, Yan Haibiao. Journal of Hubei University of Technology, 2014, 29(01):101-103+115.
- [6] Wang Yongheng, Shi Caijie, Cui Zaizhi. Polyester Industry, 2006(03):27-30.
- [7] Cheng Shouguo, Liu Jinnan, Yan Guolun et al. Modern Industrial Economy and Informatization, 2021, 11(09):17-18+53. DOI:10.16525/j.cnki.14-1362/n.2021.09.07.