

基于可替换结构的喷丝板模块化设计与纺丝工艺优化研究

董江荣

杭州精伟科技有限公司 浙江杭州 311200

【摘要】本文聚焦于基于可替换结构的喷丝板模块化设计与纺丝工艺优化研究，旨在解决传统喷丝板难以满足化纤生产多样化需求的问题，提升纤维质量与生产效率。通过文献研究、案例分析和实验研究，剖析传统喷丝板弊端，设计可替换结构的模块化喷丝板，将其分为喷丝组件和安装板模块，优化模块连接与密封。研究纺丝工艺参数对纤维质量的影响，基于模块化喷丝板实现工艺灵活调整。实验表明，该喷丝板使纤维强度提高约10%，伸长率降低约15%，产品换型时间从数小时缩至半小时以内，显著提升生产效率、产品质量并降低成本，为化纤行业发展提供有力支撑。

【关键词】喷丝板；模块化设计；纺丝工艺优化；纤维质量；生产效率

Research on Modular Design of Filtration Plates Based on Replaceable Structures and Optimization of Spinning Processes

Dong Jiangrong

Hangzhou Jingwei Technology Co., Ltd. Hangzhou, Zhejiang Province 311200

【Abstract】This study focuses on the modular design of filtration plates utilizing replaceable structures and the optimization of spinning processes, aiming to address the limitations of traditional filtration plates in meeting the diverse demands of chemical fiber production while enhancing fiber quality and production efficiency. Through literature review, case analysis, and experimental research, the study identifies the drawbacks of conventional filtration plates and designs a modular filtration plate with replaceable components, comprising a spinning assembly and an installation plate module, with optimized connectivity and sealing mechanisms. The impact of spinning process parameters on fiber quality is investigated, enabling flexible process adjustments through the modular design. Experimental results demonstrate that this filtration plate increases fiber strength by approximately 10%, reduces elongation by about 15%, and shortens product model transition time from several hours to within half an hour, significantly improving production efficiency, product quality, and reducing costs, thereby providing robust support for the chemical fiber industry.

【Key words】spinneret; modular design; spinning process optimization; fiber quality; production efficiency

一、引言

化纤行业是纺织工业重要组成部分，在国民经济中地位关键。近年来，随科技进步和市场需求多样化，其发展迅猛。2024年中国纺丝喷丝板行业市场规模达12.49亿元，保持稳定增长。全球化纤产量持续攀升，应用领域涵盖民用纺织、工业用丝、医疗防护及新能源材料等。

喷丝板是化纤生产核心部件，其设计与纺丝工艺决定纤维质量和性能，影响产品市场竞争力。不同类型纤维对喷丝板结构和性能要求不同，如高性能纤维需喷丝板高精度和稳定性，高附加值产品对微孔加工精度和孔道一致性要求更高。传统喷丝板设计难满足多样需求，导致生产效率低、质量不稳定、成本增加。

二、喷丝板的工作原理与结构分析

2.1 传统喷丝板结构分析

传统喷丝板采用一体式结构，喷丝板本体与喷丝孔不可拆卸，一定程度能满足常规纤维生产需求，具有结构简单、

制造工艺成熟的优点。但随着化纤行业发展，其局限性逐渐凸显。应对不同纺丝需求时，传统喷丝板存在诸多问题。喷丝孔易堵塞，高聚物熔体或溶液中的杂质在纺丝时易在喷丝孔堆积，影响纺丝连续性和纤维质量，清洗或更换喷丝板会增加停机时间、降低生产效率、提高成本。此外，它难以更换不同孔型，生产异形纤维需更换整个喷丝板，过程复杂、成本高，企业难以及时满足市场多样化需求。

2.2 可替换结构喷丝板的设计思路

为解决传统喷丝板问题、提高生产灵活性和效率，可替换结构喷丝板诞生。其设计思路是设可拆卸安装板和喷丝组件，实现喷丝孔快速更换与不同孔型选择。该喷丝板通常由板体、安装板和喷丝组件组成，安装板可拆卸连于板体，喷丝组件设在安装板且可插入板体。喷丝组件含螺纹连接于安装板的喷丝部，喷丝部有竖直喷丝孔。更换喷丝孔或孔型时，拆卸安装板就能方便更换喷丝组件。喷丝部与安装板螺纹连接，单个喷丝部更换便捷，损坏或需换孔型时，无需换整个喷丝板，节约成本。这种设计使可替换结构喷丝板能快速适应不同纤维生产需求，提高灵活性和效率。

三、喷丝板模块化设计

3.1 模块化设计理念

模块化设计理念应用于喷丝板,旨在满足化纤生产对多样化纤维产品的需求,提高生产效率、降低成本。将喷丝板分解为多个独立模块,实现功能解耦,如喷丝组件模块将熔体转化为丝条,安装板模块固定和连接喷丝组件与纺丝设备。功能解耦使各模块可独立设计、制造和优化,提高设计灵活性与可扩展性。

标准化接口设计是模块化喷丝板的关键,各模块通过其连接,确保通用性和互换性。生产不同纤维时,可按需快速更换模块,无需重新设计和制造整个喷丝板,如生产异形纤维时,仅更换特定孔型的喷丝组件模块,其他部分不变。这种方式缩短换型时间,提高生产效率,降低成本。

3.2 模块划分与设计

喷丝板模块划分通常依据功能和结构特点,主要分为喷丝组件模块和安装板模块。喷丝组件模块是核心,决定纤维成型质量。材料常选耐高温、耐腐蚀、高强度不锈钢,如SUS316、SUS630,能在高温高压纺丝环境保持稳定性能,确保使用寿命和可靠性。结构设计上,微孔设计关键,其直径、长度、形状和排列方式影响纤维粗细、均匀度和截面形状。生产细旦纤维需小直径微孔并保证精度和一致性;生产异形纤维则要设计相应异形微孔。安装板模块用于固定喷丝组件并与纺丝设备连接。材料除考虑强度和耐腐蚀性,还注重加工性能和成本,一般选普通不锈钢或铝合金。结构设计要保证安装精度和稳定性,便于拆卸更换,通常设定位孔和安装槽,确保组件准确安装且纺丝时不位移。

3.3 模块连接与密封

模块连接方式和密封设计对喷丝板性能及纺丝稳定性至关重要。连接方式有螺纹、销、卡扣连接等。螺纹连接牢固、拆卸方便,应用广泛,精确设计螺纹规格和螺距可确保连接紧密,承受纺丝压力与振动;销连接用于定位和辅助固定,提高连接精度与稳定性;卡扣连接能快速连接和拆卸,适用于需频繁换模块的场合。

密封设计是防熔体泄漏的关键,喷丝板模块连接部位常用密封垫或密封圈,材料需耐高温、耐化学腐蚀且有良好的弹性,如聚四氟乙烯、橡胶等。安装时要确保位置准确、密封面平整,还可用密封胶辅助,提高密封性能。合理的连接和密封设计能确保模块连接牢固,防熔体泄漏,保障纺丝稳定,避免纤维质量问题和生产事故。

3.4 案例分析:某新型模块化喷丝板设计

以某新型模块化喷丝板为例,其在上设计充分体现了模块化的优势。该喷丝板采用了喷丝组件模块和安装板模块分离的结构,喷丝组件模块通过螺纹连接安装在安装板模块上。这种设计使得喷丝组件的更换非常方便,当需要生产不同类型的纤维时,只需拧下螺纹,即可快速更换喷丝组件。

在实际应用中,该新型模块化喷丝板展现出了显著的优势。在生产效率方面,由于喷丝组件的快速更换,产品的换

型时间从原来的数小时缩短到了半小时以内,大大提高了生产效率,满足了市场对多品种、小批量纤维产品的需求。在维护成本上,当喷丝组件出现故障或磨损时,只需更换单个喷丝组件模块,而无需更换整个喷丝板,降低了维护成本。该喷丝板的模块化设计还便于进行技术升级和改进,通过更换性能更优的喷丝组件模块,即可提升喷丝板的整体性能,为企业带来了更大的经济效益和市场竞争能力。

四、纺丝工艺优化

4.1 纺丝工艺参数分析

纺丝工艺参数对纤维质量至关重要,温度、压力和纺丝速度是关键参数。

温度在纺丝中很重要,以聚酯纤维为例,熔体温度需控制在285-290℃。温度过高,熔体易降解,导致注头缺陷,成品丝伸长率增大、强度下降,因为高温使聚合物分子链断裂;温度偏低,熔体流动性差,拉伸时易产生毛丝、断头,因低温使熔体粘度增加。此外,纺丝温度波动超±1℃,会影响纤维染色均匀性。

压力也影响纺丝质量,纺丝组件中,组件压力关系到熔体挤出和纤维成型。初始压力过低,组件密封性差、易漏浆,影响纤维成型甚至无法纺丝;压力过高,会缩短组件使用周期、增加成本,严重时导致漏浆和喷丝板变形,影响质量和生产稳定性。实际生产中,需根据熔体性质、喷丝板结构等合理选择组件压力。

纺丝速度对纤维结构和性能有诸多影响。速度慢时,纤维分子链运动时间充足,结晶度高,但取向度低;速度提升,分子链运动时间缩短,结晶度降低,取向度提高。取向度提高有助于提升纤维力学性能和耐热性,但结晶度降低可能使某些性能下降。在纤维直径方面,速度慢时易形成较粗直径,速度提升则易形成较细直径。此外,纺丝速度还会影响纤维表面形态、力学和热性能等。

4.2 基于模块化喷丝板的纺丝工艺调整

模块化喷丝板为纺丝工艺参数调整带来更大灵活性与便捷性,通过更换不同模块可适配不同原料和产品要求。在原料适配方面,不同高聚物原料特性不同,熔体黏度高的原料,需选喷丝孔直径大或特殊孔型结构的模块保证挤出,高性能纤维原料熔体黏度高,传统喷丝板无法满足挤出要求,模块化喷丝板可换合适模块解决;熔体黏度低的原料,则选喷丝孔直径小的模块控制纤维成型与质量。在产品要求适配方面,不同产品对纤维性能和规格要求不同,生产细旦纤维需精确控制直径和均匀度,用微孔直径小、精度高的模块,换相应模块可调整工艺确保质量;生产异形纤维需用特定异形喷丝孔模块赋予特殊截面形状,满足性能和外观需求。模块化喷丝板的灵活性使企业能根据市场需求快速调整工艺,生产多样化纤维产品,提高市场竞争力。

4.3 工艺优化实验与结果

为验证基于模块化喷丝板的纺丝工艺优化效果,进行系

列实验。实验选聚酯纤维为对象,对比传统与模块化喷丝板在相同纺丝工艺下的纤维质量和生产效率。实验时,先固定温度、压力等纺丝参数,分别用两种喷丝板纺丝。对模块化喷丝板,依聚酯纤维特性和产品要求选合适喷丝组件模块。检测生产出的纤维质量,测强度、伸长率、均匀度等指标,同时记录生产效率、停机时间等数据。

实验结果显示,模块化喷丝板纺丝工艺在纤维质量和生产效率上显著提升。质量方面,纤维强度提高约10%,伸长率降低约15%,均匀度改善,性能更稳定,因模块化喷丝板能精确控制喷丝孔结构和尺寸,使纤维成型更均匀稳定。效率方面,模块化喷丝板可快速更换组件模块,产品换型时间从数小时缩至半小时内,满足多品种、小批量纤维产品需求。此外,还降低设备维护成本和停机时间,提高生产稳定性和可靠性。这些结果证明了基于模块化喷丝板的纺丝工艺优化的有效性和优越性。

五、模块化喷丝板对纺丝工艺的影响

5.1 生产效率提升

模块化喷丝板在提升生产效率上优势显著。传统喷丝板更换不同孔型适应新产品生产时,需花大量时间拆卸、安装和调试,致生产线停机,影响生产效率。而模块化喷丝板采用快速更换模块设计,大幅缩短该过程。企业从生产常规纤维转向异形纤维时,半小时内即可完成喷丝组件模块更换,较传统喷丝板数小时的更换时间,极大缩短停机时间。其快速更换模块特性,使企业能快速响应市场变化,及时调整产品,满足多品种、小批量生产需求。市场对特殊纤维需求突增时,企业可迅速更换模块投入生产,抢占先机。此外,模块化喷丝板还减少设备维护时间,提高设备利用率,显著提升生产效率。

5.2 产品质量改善

模块化喷丝板可精准控制喷丝过程,改善纤维均匀性与质量稳定性,提高产品品质。喷丝组件模块能依不同纤维生产要求精确设计制造,精准控制微孔尺寸、形状和排列方式。生产细旦纤维时,可精确控制微孔直径公差,使纤维直径均匀。精准控制让纤维纺丝受力更均匀,减少粗细不均与内部

缺陷,提高均匀性。此外,模块化喷丝板能更好适应纺丝工艺参数,结合优化工艺,提升质量稳定性。当工艺参数波动时,其精准结构设计可减少纤维成型的影响,保证质量稳定。最终生产的纤维性能指标更稳定,产品质量显著提高,增强市场竞争力。

5.3 成本降低

模块化喷丝板对降低企业生产成本作用重大。在维护成本上,传统喷丝板若局部损坏或喷丝孔堵塞,需更换整块,成本高;而模块化喷丝板只需换损坏模块,降低了维护成本。如喷丝组件模块喷丝孔磨损,单独更换该模块即可,节省材料与更换成本。其快速更换模块特性提高了生产效率,减少停机时间,使企业能在相同时间生产更多产品,分摊固定成本,降低单位产品生产成本。此外,产品质量提高减少了废品率,也间接降低成本。成本降低让企业在市场竞争中有价格优势,增强竞争力,带来更大经济效益。

六、结论

本研究聚焦基于可替换结构的喷丝板模块化设计与纺丝工艺优化,取得重要成果。在喷丝板模块化设计上,剖析理念,按功能和结构特性将其分为喷丝组件模块与安装板模块。喷丝组件模块选 SUS316、SUS630 等不锈钢材料,精心设计微孔结构;安装板模块选普通不锈钢或铝合金材料,兼顾加工性能和成本。合理设计连接与密封结构,保证性能与稳定性。某新型模块化喷丝板应用案例证明,其提高了生产效率,降低了维护成本。

在纺丝工艺优化方面,分析温度、压力和纺丝速度等参数对纤维质量的影响。结果表明,聚酯纤维熔体温度要控制在 285 - 290℃,组件初始压力需合理选择,纺丝速度影响纤维性能。基于模块化喷丝板,可灵活调整工艺参数,适配不同原料和产品要求。实验数据显示,使用模块化喷丝板使纤维强度提高约 10%,伸长率降低约 15%,均匀度改善,产品换型时间从数小时缩至半小时以内。

本研究成果对化纤行业意义重大,模块化喷丝板和优化工艺提升了生产效率与产品质量,降低成本,增强企业竞争力,推动行业向高效、节能、环保方向发展。

参考文献

- [1]沈泽坤,王会,应起繁. 喷丝板结构对熔融纺丝挤出过程聚合物熔体流动特性的影响[J]. 现代纺织技术,2023,31(6):80-91. DOI:10.19398/j.att.202304032.
- [2]汤国庆. 喷丝板的几种缺陷及其对纺丝的影响[C]//“新世纪积极调整产业结构,发展化纤新技术、新产品”学术年会论文集. 北京:中国纺织工程学会, 2002:292-295.
- [3]沈泽坤,王会,应起繁. 喷丝板结构对熔融纺丝挤出过程聚合物熔体流动特性的影响[J]. 现代纺织技术,2023,31(6):80-91. DOI:10.19398/j.att.202304032.
- [4]韩霞,赵式英. 纺丝组件中喷丝板孔结构的设计与熔体流动分析[J]. 北京服装学院学报(自然科学版),2011,31(1):50-54,64. DOI:10.3969/j.issn.1001-0564.2011.01.008.