

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2019.03.012

PVC-U 管材挤出机头流道优化设计

于玉真,王璐,邸海宽,赵博,李伟亮

(华北理工大学机械工程学院,河北唐山 063210)

摘要:为提高管材挤出机头的加工性能,加强机头流道的塑化作用,以挤出机头中直通式管材挤出机头作为研究对象,建立其挤出加工过程的数学模型,利用 ANSYS Fluent 软件对管材挤出机头流道的流动过程进行模拟研究,用 CFD-post 对模拟结果进行分析,并根据模拟结果对管材挤出机头流道的结构进行优化设计。模拟结果表明:优化后的管材挤出机头流道增加了熔体的流动速度,减少了熔体在机头流道内的停留时间,提高了流动性能;并降低了压缩段末端的压力降,提高了成型段上的压力降,增强了熔体的塑化性能,使制品变得更加紧密。

关键词: PVC-U; 管材挤出; 机头流道; 数值模拟; 结构优化

中图分类号: TQ320.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2019)03-0060-05

Optimization Design of Head Flow Channel for PVC-U Pipe Extruder

Yu Yuzhen, Wang Lu, Di Haikuan, Zhao Bo, Li Weiliang

(College of Mechanical Engineering, North China University of Science and Technology, Tangshan 063210, China)

Abstract: In order to improve the processing performance of the pipe extruder head, strengthen the plasticization of the head flow channel, take the straight pipe extruder head in the extruder head as the research object, and establish the mathematical model of the extrusion process. Using ANSYS Fluent software to simulate the flow process of pipe extruder head flow, CFD-post to analyze the simulation results, and according to the simulation results to optimize the structure of pipe extruder head flow. The simulation results show that the optimized pipe extruder head flow path increases the melt flow speed, reduces the melt's stay time in the head flow path, and improves the flow performance. It also reduces the pressure drop at the end of the compression section, improves the pressure drop on the forming section, enhances the plasticization performance of the melt, and makes the product more compact.

Keywords: PVC-U; pipe extrusion; head stream; numerical simulation; structural optimization

随着塑料管材在建筑、物料输送等领域的广泛应用,塑料管材已经成为人们日常生活中不可分割的一部分,人们对管材的质量要求也越来越高,既要具有良好的物理力学性能,还要具有较长的使用寿命^[1-4]。挤出成型是挤出加工塑料管材的最主要方法,在挤出成型过程中,物料特性及机头的结构极大地影响着挤出制品的质量。其中挤出机头是挤出成型的关键部件,机头流道的结构决定了塑料熔体在机头内的流动状态,直接影响着挤出制品的质量和生产效率,因此合理的流道结构非常重要^[5-8]。

传统的挤出机头设计一般采用“Trial and Error”的方法,该方法具有生产周期长、生产成本低

的缺点。笔者采用数值模拟和经验设计相结合的方法^[9-10],先根据直通式管材挤出机头建立机头流道结构,并运用 Fluent 分析熔体在流道中的流动行为,再根据模拟结果以及经验设计对机头流道结构进行改进设计,验证改进后机头流道的合理性。

1 直通式管材挤出机头的结构和工作原理

管材挤出机头的类型一般分为直通式、直角式、偏心式、螺旋式和筛篮式五种,笔者采用直通式管材挤出机头,该机头由机头体、过滤网、分流器、分流器支架、调节螺钉、芯模、口模等组成^[12],其结构如图 1 所示。

该机头的工作原理是由塑料挤出机挤出的熔

基金项目:河北省省级专业学位教学案例(库)项目(KCJSZ2018059)

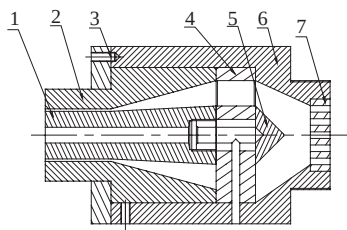
通讯作者: 于玉真,教授,博士后,硕士研究生导师 E-mail: yu_yuzhen@163.com

收稿日期: 2019-01-08

引用格式: 于玉真,王璐,邸海宽,等. PVC-U 管材挤出机头流道优化设计[J]. 工程塑料应用,2019,47(3):60-64.

Yu Yuzhen, Wang Lu, Di Haikuan, et al. Optimization design of head flow channel for PVC-U pipe extruder[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(3):60-64.

体通过过滤网进入机头的分流区,在分流区的作用下,熔体形成薄环状,再进入机头的压缩区,使熔体得到进一步的压缩,接着进入成型区,口模形成了管材的外表面,芯模形成了管材的内表面,最后在定径管中定形、冷却形成产品。



1—芯模;2—口模;3—调节螺钉;4—分流器支架;5—分流器;
6—机头体;7—过滤网

图1 直通式机头示意图

2 模型的建立

2.1 几何模型

管材挤出机头流道分为进口段、扩张段、分流段、压缩段和成型段,其中分流段设有分流筋^[13-14]。建立管材挤出机头流道三维模型,如图1所示。熔体从管材挤出机头的进口段进入,流经分流器使熔体变为薄环状,在分流筋的作用下分成数股料流,压缩段施加给熔体一定的压力,增强熔体的塑化性能,最后经过成型段,生成高分子塑料管材。分流器扩张角为 67° ,压缩段压缩角为 30° ,管材挤出机头流道入口尺寸为 90 mm ,出口尺寸为 110 mm 。

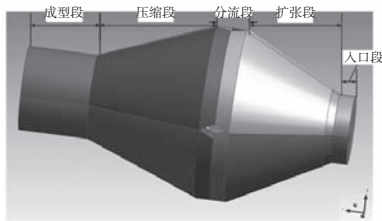


图2 管材机头流道模型

2.2 数学模型

考虑到聚合物的特性及机头内具体的工艺条件,同时也为了便于计算,对机头中的熔体作如下假设^[15-17]:

- (1) 熔体是不可压缩流体;
- (2) 流场为稳定的等温流场;
- (3) 雷诺数较小,故流动为层流流动;
- (4) 体积力远小于粘滞力,可以忽略不计;
- (5) 塑料熔体在流动中全充满;
- (6) 塑料熔体在流道内无滑移。

基于上述假设,熔体在机头中流动控制方程为:

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$-\frac{\partial P}{\partial x} + \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right) = 0 \quad (2)$$

$$-\frac{\partial P}{\partial y} + \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \right) = 0 \quad (3)$$

$$-\frac{\partial P}{\partial z} + \left(\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) = 0 \quad (4)$$

$$\tau = m|\dot{\gamma}|^{n-1}\dot{\gamma} \quad (5)$$

其中式(1)为连续性方程,式(2),式(3),式(4)为动量方程,式(5)为本构方程。

(1)~(4)式中: V_x , V_y , V_z 分别为 x , y , z 方向上的速度, P 为压力, τ_{ij} 为直角坐标系下的应力分量,其中 i, j 分别代表 x, y, z 。

(5)式中: τ 为剪切应力, m 为稠度, γ 为剪切速率, n 为幂律指数。

2.3 物性参数及边界条件

PVC-U管材所用的材料为硬质聚氯乙烯(PVC-U),主要性能参数为: $\rho=1.36\text{ g/cm}^3$,黏度 $\eta=58\,720\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 。

入口边界:采用压力入口,入口压力取 12 MPa 。

出口边界:采用压力出口,出口压力为 0 MPa 。

壁面边界:流道壁面设置为无滑移,熔体在与模壁接触面上速度为 0 。

2.4 网格无关性验证

网格的质量很大程度上影响着数值模拟的计算准确性,为了降低网格密度对计算结果的影响,对管材挤出机头流道的同一模型,在相同边界条件下划分不同数量的网格,网格数量分别为:8.8万、12.6万、21.5万、34.3万、67.2万和139.6万。比较不同网格数量下的熔体最大速度值,如图3所示。

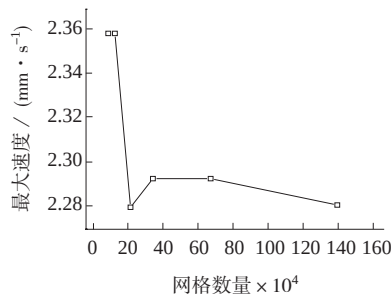


图3 熔体最大速度随网格数量的变化关系

从图3中可以看出,网格整体波动不大,当网格数量超过21万后,熔体最大速度的波动更平稳,已小于 0.6% ,说明对于该计算模型,网格数目达到21万以后,满足了网格无关性的要求。为了提高计算

结果的稳定性,采用 34 万的网格模型进行计算。

3 数值模拟分析

3.1 网格划分

用有限元分析软件 ANSYS Meshing 模块对模型的出口、入口和壁面进行命名,并对模型进行网格划分,依据流道组合的几何特点,将整个流道划分成若干个符合 ANSYS 单元划分的个体。对成型段和压缩段的流道厚度进行边尺寸控制,将厚度划分为 5 层,除扩张段部分由于不规则几何体的缘故划分为四面体单元,其余部分都划分为六面体单元。最后划分好的网格如图 4 所示,其中有 34.2 万个单元,18.3 万个节点。

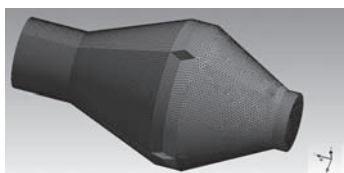


图 4 管材机头流道模型网格划分

3.2 模拟结果及分析

图 5 为管材机头流道模型整体压力分布图。从图 5 可以看出,在整个流道上,入口的压力值最大,压力沿挤出方向逐渐降低,熔体从进口段到压缩段有轻微的压力损失,在压缩末端压力开始出现明显的下降,由于出口处的相对压力为零,因此机头压力的绝大部分损失都发生在成型段处。

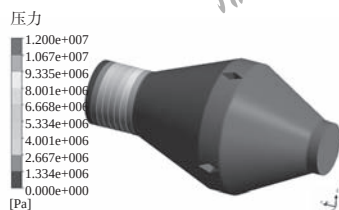


图 5 流道压力分布

图 6 为与 XY 平面呈 45° 截面的速度分布图。因为熔体在圆形 (YZ 面) 截面上成中心对称分布,所以任意选取一个过中心轴的截面就可以知道熔体在流道内的速度分布。从图 6 可知,熔体在中心处的速度最大,靠近壁面处速度较小。熔体在压力作

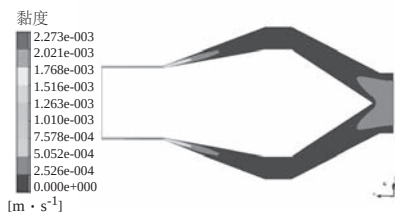


图 6 熔体速度分布

用下以一定的速度从入口进入,由于扩张角的作用,熔体在通过扩张段时,速度不断减小,经过压缩段加压,熔体的速度开始增加,在成型段,熔体速度进一步增大,最大值为 2.273 mm/s。

4 优化机头流道方案模拟分析

4.1 优化机头流道方案

为了使机头模具能够更进一步加强熔体的塑化,根据文献 [18],在保证熔体塑化的前提下,增加其收缩角并降低扩张角,分流器扩张角由 67° 降到 60°,压缩角由 30° 增加到 38°,其他结构参数不做改变。当熔体通过压缩成型部分时,依靠定型入口收缩角,增加熔体反作用力,从而增强其塑化性能,提升产品冲击性能并改善熔体流动均匀性。优化后的机头流道模型如图 7 所示。

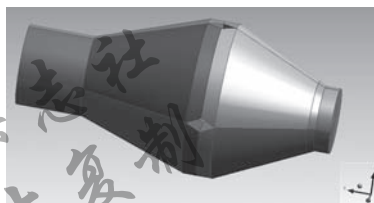


图 7 优化机头流道模型

4.2 优化机头流道的模拟分析

将优化后的机头流道模型导入 Fluent 中进行模拟分析,优化后的机头流道模拟结果如图 8 所示。图 8 为改进后的流道压力分布,从图 8 与图 5 的对比中可知,压力分布没有明显变化,都是在成型段有明显的压力损失。图 9 为改进后的熔体速度分布,从图 9 可以看出,熔体速度与改进前相比有了提高,最大速度为 2.314 mm/s。减少了熔体在机头流道内的停留时间,提高了流动性能和生产效率。



图 8 改进后的流道压力分布

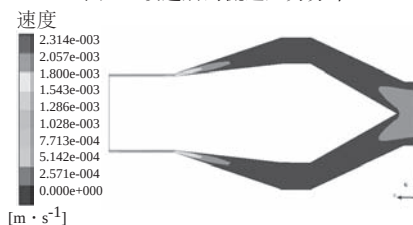
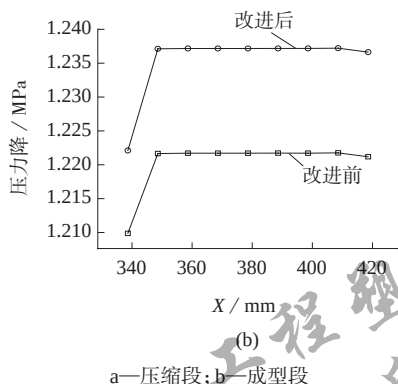
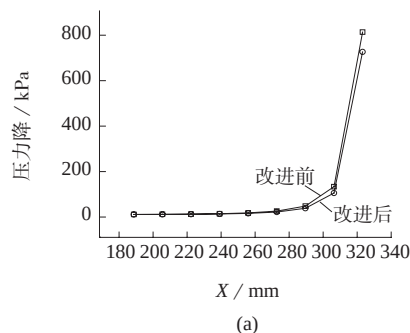


图 9 改进后的熔体速度分布

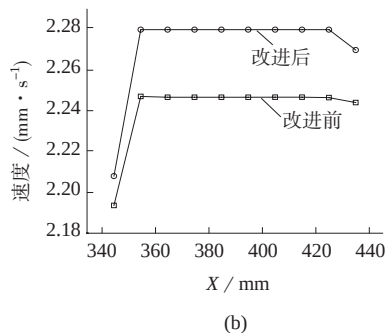
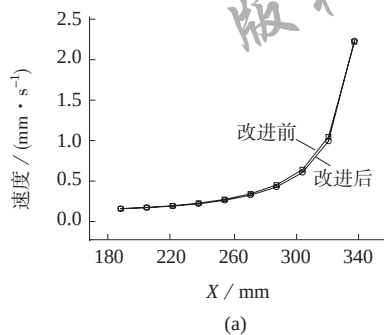
4.3 优化结果比较

沿挤出方向选取机头中间层熔体为研究对象,绘制压力降曲线和速度曲线进行分析,比较改进前后压力降曲线和速度曲线,分别如图 10 和图 11 所示。



a—压缩段;b—成型段

图 10 改进前后压力降对比



a—压缩段;b—成型段

图 11 改进前后熔体速度对比

从图 10 可以看出,优化前后的机头流道在压缩段末端和成型段入口附近都有较大压力降变化,优化后的机头流道减少了压力在压缩段末端压力损失;在成型段上,优化后的机头流道具有较大压力降,由 1.222 MPa 增至 1.237 MPa,增强了熔体的塑化性能,使制品变得更紧密。

从图 11a 可知,熔体速度在压缩段呈逐渐上升趋势,在压缩末端,由于压力降增大,速度也获得较大的提升;从图 11b 可知,速度在成型段入口有较大提升,后逐渐趋于平稳,在出口处速度稍微降低。改进后的机头流道在成型段上的熔体速度由 2.268 mm/s 增大为 2.310 mm/s。减少了熔体在流道内的停留时间,降低了温度对熔体的影响,提高了流动性能。

5 结论

(1) 通过对 PVC-U 管材挤出机头流道模拟,发现机头流道的塑化作用可以进一步加强,因此对管材挤出机头流道结构进行了改进,将分流器扩张角由 67° 降到了 60°,压缩角由 30° 增加到 38°。改进后的机头流道增强了熔体的塑化作用。

(2) 通过改进,熔体的最大速度由 2.273 mm/s 增加到了 2.314 mm/s,增加了 2%,减少了熔体在流道内的停留时间,提高了流动性能。

(3) 改进后的机头流道减少了压缩段末端的压力降,在成型段上,压力降由 1.222 MPa 增至 1.237 MPa,增强了熔体的塑化性能,使制品变的更加紧密。

参考文献

- [1] 陈开源,周南桥,刘斌,等.螺旋芯棒式管材机头内熔体流动の数値模拟[J].塑料科技,2010,38(7):77-81.
Chen Kaiyuan, Zhou Nanqiao, Liu Bin, et al. Numerical simulation of melt flow in spiral mandrel die for pipe[J]. Plastic Technology, 2010, 38(7):77-81.
- [2] 赵峰,薛平,苗立荣,等.基于正交试验与数值模拟的木塑异型材挤出机头流道设计方法[J].中国塑料,2010,24(10):94-99.
Zhao Feng, Xue Ping, Miao Lirong, et al. Design method for head flow of wood plastic extruder based on orthogonal test and numerical simulation[J]. China Plastics, 2010, 24(10):94-99.
- [3] 马秀清,程琨,王远.三层复合共挤出板材机头流道的流场分析[J].塑料,2017,46(5):5-8+12.
Ma Xiuqing, Cheng Kun, Wang Yuan. Flow field analysis of three-layer coextrusion sheet die[J]. Plastics, 2017, 46(5):5-8 +12.
- [4] 王远,马秀清.物性参数对三层共挤出机头流道流场的影响[J].塑料,2017,46(1):96-100.

- Wang Yuan, Ma Xiuqing. Influence of materials physical parameters on flow field in three-layer coextrusion die flow channel[J]. *Plastics*, 2017, 46(1):96-100.
- [5] 齐斌. 挤塑管材成型的计算机优化研究[J]. *塑料科技*, 2015, 43(10):82-85.
- Qi Bin. Study on computer optimization of extrusion molding for plastic pipe[J]. *Plastics Science and Technology*, 2015, 43(10):82-85.
- [6] 邹武, 唐跃, 郝永亮. 芯棒式管材挤出机头的流动模拟分析[J]. *工程塑料应用*, 2007(6):33-37.
- Zou Wu, Tang Yue, Hao Yongliang. Flow simulation analysis of extruder head with core rod[J]. *Engineering Plastics Application*, 2007(6):33-37.
- [7] 许祥, 李白千, 靳明, 等. 基于 Polyflow 的一出二挤管机头模拟分析[J]. *中国塑料*, 2015, 29(6):98-101.
- Xu Xiang, Li Baiqian, Jin Ming, et al. Simulation for pipe molding devices with two dies based on polyflow[J]. *China Plastics*, 2015, 29(6):98-101.
- [8] 张文明, 许乾慰, 薛平. 螺旋式管材机头内熔体流动的计算机模拟[J]. *塑料工业*, 2006(S1): 184-189.
- Zhang Wenming, Xu Qianwei, Xue Ping. Computer simulation of melt flow in the head of spiral pipe machine[J]. *China Plastics Industry*, 2006(S1): 184-189.
- [9] 刘斌, 江开勇, 上官宁. 塑料挤出流动数值分析及其模具结构的设计优化[J]. *华侨大学学报: 自然科学版*, 2008(4):481-489.
- Liu Bin, Jiang Kaiyong, Shang Guanning. Numerical analysis of plastic extrusion flow and optimization design of die structure[J]. *Journal of Huaqiao University: Natural science Edition*, 2008(4):481-489.
- [10] 林丽红, 贾晓艳, 马铁军. 基于 Fluent 的橡胶挤出机流道设计[J]. *中国机械工程*, 2016, 27(7):944-950.
- Lin Lihong, Jia Xiaoyan, Ma Tiejun. Design of extruder flow channel based on fluent[J]. *China Mechanical Engineering*, 2016, 27(7):944-950.
- [11] 邹维东, 郭奕崇, 吴大鸣, 等. 小截面精密异型管材挤出模拟与实验研究[J]. *工程塑料应用*, 2006(3):54-57.
- Zou Weidong, Gou Yichong, Wu Daming, et al. Simulation and experimental study on extrusion of precision heterotype pipe with small section[J]. *Engineering Plastics Application*, 2006(3):54-57.
- [12] 杨涛. 常用 PVC-U 管材生产设备[J]. *塑料科技*, 2007(5):80-85.
- Yang Tao. Commonly used PVC-U pipe production equipment[J]. *Plastics Science and Technology*, 2007(5):80-85.
- [13] 宗大全, 朱弟雄. PVC-U 管材模具设计与改进[J]. *工程塑料应用*, 2000(8):34-36.
- Zong Daquan, Zhu Dixiong. Design and improvement of PVC-U pipe die[J]. *Engineering Plastics Application*, 2000(8):34-36.
- [14] 刘斌, 王玉龙, 岳潼雁. 直通式管材挤出模头智能化设计系统开发及应用[J]. *塑料*, 2013, 42(2):10-13.
- Liu Bin, Wang Yulong, Yue Tongyan. Development and application of intelligent design system of straight-through pipe extrusion die[J]. *Plastics*, 2013, 42(2):10-13.
- [15] 张礼华, 贾辉, 邱建成. 微层挤出机头的流道建模与仿真研究[J]. *塑料工业*, 2018, 46(1):37-39.
- Zhang Lihua, Jia Hui, Qiu Jiancheng. The finite element simulation and optimization of the runner for micro-layer extrusion blow molding head[J]. *China Plastics Industry*, 2018, 46(1):37-39.
- [16] 周秀民, 李晓林, 吴大鸣. 在挤出机口模中聚合物不稳定流动的模拟[J]. *塑料*, 2005(1):83-85+64.
- Zhou Xiumin, Li Xiaolin, Wu Daming. Simulation of the unstable flow of polymers in the extruding die[J]. *Plastics*, 2005(1):83-85+64.
- [17] 傅志红, 刘卫, 易琪, 等. 微通道塑料薄膜挤出机头流道优化及整体设计[J]. *塑料*, 2017, 46(2):106-109.
- Fu Zhihong, Liu Wei, Yi Qi, et al. Optimization of flow channel and integral design for the extrusion die of microcapillary film[J]. *Plastics*, 2017, 46(2):106-109.
- [18] 林峰, 张正红. UPVC 管材挤出成型机头模具的改进设计[J]. *轻工机械*, 2004(4):121-122.
- Lin Feng, Zhang Zhenghong. Improved design of mold for extruded pipe molding head of UPVC[J]. *Light Industrial Machinery*, 2004(4):121-122.

(上接第 59 页)

- Han Xiao, Zhou Yuxi, Wang Zengjia, et al. Influence of plating time on continuous nickel electroplating of carbon fiber[J]. *Electroplating & Finishing*, 2014, 33(9):363-365.
- [14] Djamel Akbarov, Bakhodir Baymurotov, Rustam Akbarovo, et al. Optimizing process parameters in polyacrylonitrile production for metallization with nickel[J]. *Textile Research Journal*, 2005, 75(3):197-202.
- [15] Satyaprakash Kushwaha¹, Kamal K Kar, P Santhana Gopala Krishnan, et al. Preparation and characterization of nickel coated carbon fiber reinforced polycarbonate composites[J]. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 2011, 30(14):1 185-1 196.
- [16] Khoddamzadeh A, Liu R, Liang M, et al. A new composite material-low-carbon stellite alloy reinforced with nickel-coated carbon fibers[J]. *Journal of Composite Materials*, 2014, 48(2):179-190.
- [17] Muhammad Muddassir, Miro Duhovic, Martin Gurka. A comprehensive study of metal-coated short carbon fibers, graphite particles, and hybrid fillers for induction heating[J]. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 2018(1):1-20.