

引用格式:郭超,焦冬梅. 响应面法优化 L 型宽幅挤出机头流场的研究[J]. 北京化工大学学报(自然科学版), 2023, 50(2): 105 - 111.

GUO Chao, JIAO DongMei. Optimization of the flow field of an L-shaped wide extruder head by response surface methodology[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology (Natural Science), 2023, 50(2): 105 - 111.

响应面法优化 L 型宽幅挤出机头流场的研究

郭 超 焦冬梅*

(青岛科技大学 机电工程学院, 青岛 266000)

摘 要: 在宽幅胶片的生产中, 只有选择合理的机头结构参数、工艺参数才能实现高质、高效的生产, 故基于数值模拟技术与响应面方法提出了机头流场的多目标优化分析方法。以机头出口截面挤出速度均值和标准差为目标函数来研究生产过程中各参数对机头三维非等温挤出流动稳定性的影响规律, 基于 Fluent 模拟结果, 通过单因素试验筛选出对目标函数影响显著的参数, 再由 Box-Behnken 法设计试验, 分析显著参数间的交互效应, 建立目标函数与各参数之间的回归方程并验证。结果表明回归方程预测值与 Fluent 模拟值的偏差在允许范围内; 获得了满足多目标优化的机头结构及工艺的最优设计点, 对最优设计点进行 Fluent 模拟试验验证, 结果表明在以出口截面挤出速度标准差为表征的挤出质量均匀性要求下, 较工厂原有参数模拟得到的生产效率(以出口截面挤出速度均值表征)提高了 13.2%, 说明 Fluent 模拟结合响应面的方法可用于 L 型宽幅挤出机头流场的分析及优化, 为工业生产提供指导建议。

关键词: L 型宽幅挤出机头; 挤出稳定性; 响应面法; 回归方程

中图分类号: TQ330.4 + 6 **DOI:** 10.13543/j.bhxbzr.2023.02.013

引 言

近年来, 随着计算流体力学的发展, 通过计算机模拟的方式以及利用数值优化进一步提高挤出机机头流场稳定性的方法越来越受到重视。关于运用计算流体力学软件进行流体仿真已有大量研究^[1-3], 但模拟过程普遍缺乏对非等温模型的涉及, 且在优化过程中采用的主要方法仍然是借助设计经验进行优化, 得到结果往往耗时长、精密度差。林丽红等^[4]采用经验设计与数值分析相结合的方法对挤出机流道进行设计, 改进了阻尼的 3 个重要结构参数, 分析各参数对流道内胶料流动状态的影响, 并根据影响规律选定了最终的结构参数。梁晨等^[5]利用流体计算软件 Polyflow 分析了两种熔体在口型内的流动规律, 提出增加窄缝区域高度和扩充口模入口的方法, 并分析了不同口型流道结构对共挤出产品尺寸、速度和压力分布的影响规律。Smith 等^[6-7]

基于衣架式口模熔体的流动机理, 结合灵敏度分析和数值模拟的方法, 对衣架式口模流道进行了优化设计, 使得口模出口处的速度分布和胶料滞留时间更加均匀。然而大部分针对机头流场模拟的研究主要以挤出质量为目标, 且只能得到各参数间的定性关系, 优化目标单一且未建立起关于各参数与优化目标之间的定量数学模型。在保证产品质量的前提下实现高效率的生产, 需要确定合理的机头结构参数及工艺参数, 所以非常有必要在数值模拟的基础上寻求合理的实验方法及手段。响应面法是一种用于探究多个变量之间、变量与目标函数之间定量关系的常见方法, 可由获得的理论方程来对生产进行更有针对性的指导。王春林等^[8]和彭光杰等^[9]利用响应面法探究泵体的叶片及管道参数与泵最高效率之间的定量方程关系, 进而得到各参数的最优设计。

本文利用流体计算软件 Fluent, 以 L 型宽幅挤出机头的三维非等温挤出流体为研究对象, 基于单因素试验设计筛选出重要参数, 再利用响应面法分析重要参数对反映挤出稳定性的关键目标函数—挤出速度均值及标准差的影响, 通过显著性分析确定

收稿日期: 2021-11-29

第一作者: 男, 1995 年生, 硕士生

* 通信联系人

E-mail: jiaodongmei@gmail.com

目标函数的回归方程,建立多目标优化分析过程,确定了挤出速度均值与标准差的最佳匹配点,并得到对应的最优工艺及结构参数,以为生产提供理论指导。

1 目标函数定义

出口截面挤出速度和速度分布是评价生产效率和挤出质量的关键参数。出口截面速度分布不均匀会导致挤出制品壁厚不均、制品使用性能下降,因此在生产中如何选取合理的结构及工艺参数,在保证制品质量的前提下提高生产效率是工厂亟待解决的问题之一。本文建立了以机头出口截面挤出速度均值 \bar{V} 和标准差 σ 为目标函数的多目标优化过程,其中 \bar{V} 与机头的挤出效率相关, σ 与产品质量相关,计算式见式(1)、(2),其中 m 为统计点个数,本文中 m 为机头出口截面中间层处均匀选取的 48 个点。

出口截面挤出速度均值计算公式为

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^m V_i}{m} \tag{1}$$

出口截面挤出速度标准差计算公式为

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (V_i - \bar{V})^2}{m}} \tag{2}$$

式中, V_i 为每个统计点的速度。

2 模型建立

2.1 L 型宽幅挤出机头流场模型

L 型机头挤出生产时,胶料从主流道一侧进入机头,通过小流道转向,在与主流道垂直方向上挤出宽幅胶片。如图 1 所示,机头内流场由主流道流场和小流道流场两部分组成,其中小流道流场包括阻尼区、压缩区和定型区,流体流场在阻尼区逐渐分布均匀,而压缩区和定型区是出口成型区,最终挤出符合要求的片材。流场几何模型的坐标原点建立在入口挤出中心位置,物料的挤出方向为 Y 方向,物料的填充方向为 Z 方向。本文挤出片材毛坯宽度为 1 400 mm,厚度为 3 mm。由于一端进料且挤出产品幅宽大,故流场中的速度、压力不均匀易造成挤出制品均匀性和稳定性差。为改善挤出质量,采用如图 2 所示的阻尼块来调整流场中的压力与速度。阻尼块是一个梯形的柱形条,梯形的上底面宽度沿 Z 方向由靠近入口的 $w = 4$ mm 逐渐增加至与下底面同

宽,阻尼块高度沿 Z 方向由靠近入口的 $h = 9$ mm 逐渐降低至与小流道底部平齐。

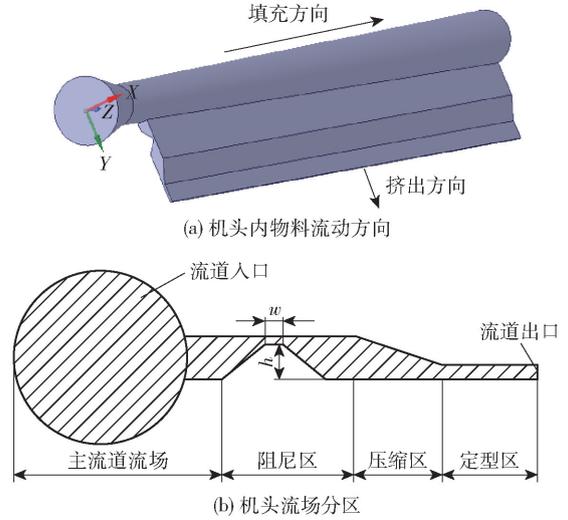


图 1 L 型机头流场几何模型

Fig. 1 Geometric model of the flow field in the L-shaped head

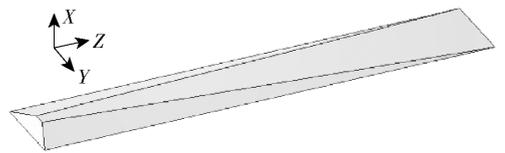


图 2 阻尼块形状

Fig. 2 Shape of the damping block

2.2 网格划分

合理的网格数量是保证计算精度和效率的关键。图 3 为网格数量对目标函数 \bar{V} 和 σ 的影响,可以看出在网格数量为 90 万左右时, \bar{V} 稳定在 7.4×10^{-3} m/s 左右, σ 稳定在 2.5×10^{-4} ,说明此时网格数对计算结果的影响较小,计算结果稳定,故取网格数量为 880 562 进行后续的模拟分析。如图 4 所示,为了提高阻尼区和机头出口处模拟计算结果的精度,在相应结构处进行网格加密,并采用钻石型网格。

2.3 数学模型与边界条件

本文采用非等温 Carreau 流变模型,其本构方程为

$$\eta = \eta_{\infty} + (\eta_0 - \eta_{\infty}) (1 + \lambda^2 \dot{\gamma}^2)^{\frac{n-1}{2}} \exp \left[\frac{E_0}{R_0} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right) \right] \tag{3}$$

式中, η 为剪切黏度,Pa·s; η_{∞} 为无穷剪切黏度,Pa·s; η_0 为零剪切黏度,Pa·s; λ 为松弛时间,s; $\dot{\gamma}$ 为剪切速率, s^{-1} ; n 为非牛顿指数; E_0 为活化能,J/(kg·mol);

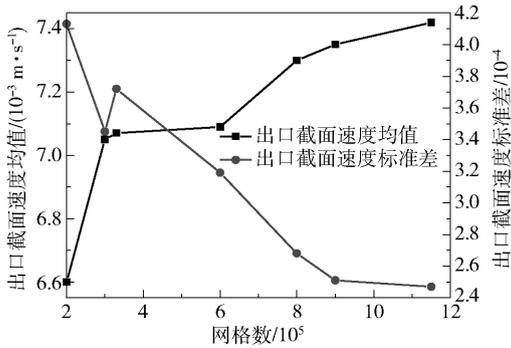


图 3 网格独立性检验结果

Fig. 3 Grid independence test results

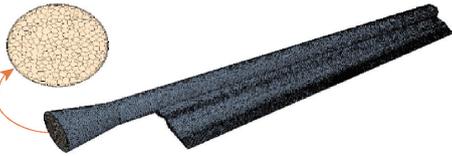


图 4 L 型机头流场网格

Fig. 4 Flow field grid of the L-shaped head

R_0 为理想气体常量, $\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$; T 为温度, K ; T_0 为参考温度, K 。

本文所用物料三元乙丙橡胶 (EPDM) 的非牛顿指数 n 为 0.6, 密度为 $1\,200 \text{ kg}/\text{m}^3$, 比热容 $C_p = 2\,200 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, 导热系数为 $0.26 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。模型的边界条件如表 1 所示。

表 1 模型的边界条件

Table 1 Boundary conditions of the model

模型区域	边界条件
入口	压力入口, 温度为 $120 \text{ }^\circ\text{C}$
出口	相对压力为 0
壁面	壁面速度为零, 温度保持恒温

3 单因素试验设计筛选参数

设 h 为阻尼高度, w 为阻尼宽度, p 为入口压力, T 为壁面温度。通过单因素试验分析各参数对目标函数影响的显著性, 并确定是否存在对目标函数影响不显著的参数, 为参数选择提供依据。

对上述参数进行 Plackett-Burman 设计, 因素水平设计如表 2 所示。对 4 个优化设计变量进行筛选, 另加 7 个虚拟变量, 每个变量分别定义 (+) 和 (-) 2 个水平, 共进行 12 次试验以确定每个因素的影响因子。

根据表 3 中影响因子的显著性分析, w 对目标函数 \bar{V} 和 σ 的影响程度为不显著, 因此在下文的响

表 2 Plackett-Burman 设计因子水平

Table 2 Levels for factors of Plackett-Burman design

因素	低水平	高水平
h/mm	9	13.5
w/mm	2	8
p/MPa	10	25
$T/^\circ\text{C}$	70	85

应面法分析中只考虑 h 、 p 、 T 这 3 个关键影响因素。其中, 阻尼高度 h 的增大导致胶料在靠近入口侧的挤出量变小, 从而影响挤出速度在出口截面的分布; 入口压力 p 的增大导致胶料在流道内的流动加快, 从而对 \bar{V} 和 σ 产生影响; 壁面温度 T 对胶料黏度有显著影响, 而胶料黏度的变化会导致胶料与流道之间的摩擦力发生变化。

表 3 影响因子的显著性分析

Table 3 Significance analyses of effect factors

因素	\bar{V}		σ	
	P 值	显著性	P 值	显著性
h	0.153 2	*	0.032 1	**
w	0.865 2	N	0.952 3	N
p	0.012 5	**	<0.000 1	***
T	<0.000 1	***	<0.000 1	***

N— $P > 0.5$, 不显著; *— $P < 0.5$, 一般显著; **— $P < 0.05$, 显著; ***— $P < 0.01$, 极显著。

4 响应面分析及优化

响应面法利用合理的试验设计方法并通过试验得到数据, 采用多元回归方程拟合因子和响应值之间的函数关系, 来指导多变量优化问题。通过响应面法建立目标函数 \bar{V} 、 σ 与已筛选重要影响参数 (阻尼高度 h 、入口压力 p 、壁面温度 T) 关系的回归方程, 并通过优化分析确定各参数的最优设计点。

4.1 试验设计及各因素交互作用分析

采用 Box-Behnken 法, 对阻尼高度 h 、入口压力 p 、壁面温度 T 进行试验设计, 以 -1 、 0 、 1 作为各因素的低、中和高水平, 变量因素编码及水平见表 4。试验分析时其他参数保持初始值, 非牛顿指数 n 为 0.6, 阻尼宽度 w 为 2 mm。

根据试验设计, 共需进行 17 组模拟试验, 其中 12 个试验点是析因点, 5 个试验点为区域中心点, 重复计算用以估算试验误差。对模拟试验结果进行回归分析, 各因素对 \bar{V} 和 σ 的显著性结果如表 5 所示。

表4 试验因素和水平

Table 4 Experimental factors and levels

水平	因素		
	阻尼高度 h/mm	入口压力 p/MPa	壁面温度 $T/^\circ\text{C}$
-1	9	10	70
0	11.25	17.5	77.5
1	13.5	25	85

表5 \bar{V} 和 σ 影响因子的显著性分析

Table 5 Significance analysis of influence factors for \bar{V} and σ

来源	\bar{V}			σ		
	F 值	P 值	显著性	F 值	P 值	显著性
回归模型	3.60	0.042 8	**	12.60	0.001 5	***
A	1.15	0.452 1	*	1.48	0.462 1	*
B	13.11	0.008 5	***	69.19	0.030 7	**
C	6.69	0.036 1	**	4.53	<0.000 1	***
AB	5.20	0.036 7	**	0.606 4	0.046 7	**
AC	0.007 1	0.935 1	N	0.917 5	0.037 0	**
BC	0.761 0	0.411 9	*	0.128 4	0.730 7	N
A ²	2.13	0.188 2	*	36.46	0.000 5	***
B ²	0.992 1	0.352 4	*	0.014 4	0.907 7	N
C ²	2.57	0.153 1	*	0.140 4	0.719 0	N

N— $P > 0.5$, 不显著; *— $P < 0.5$, 一般显著; **— $P < 0.05$, 显著; ***— $P < 0.01$, 极显著。

由表5可知关于 \bar{V} 的回归模型显著,说明此回归方程在回归区域内拟合较好,入口压力(B)对 \bar{V} 的影响极显著,壁面温度(C)对 \bar{V} 的影响显著,阻尼高度(A)对 \bar{V} 的影响一般显著;二次项A²、B²、C²对试验的影响为一般显著水平;各因素的交互作用中

AB影响显著。综合以上因素进行分析,由F检验可知影响 \bar{V} 的因素主次关系为B > C > A,即入口压力 > 壁面温度 > 阻尼高度。同理,由F检验可知影响 σ 的因素主次关系为C > B > A,即壁面温度 > 入口压力 > 阻尼高度。

影响 \bar{V} 的参数间的交互作用如图5所示。从图中可以看出,p的影响较大,在h和T处于一定水平时,目标函数 \bar{V} 随着p的增大而增大;h对目标函数 \bar{V} 的影响最小,且当h处于中间水平时,T对 \bar{V} 的影响程度最显著。影响 σ 的参数间的交互作用如图6所示。由图6(a)、(b)可知,h在11.2 mm附近时目标函数 σ 取得较小值;由图6(c),p对目标函数 σ 的影响较大,在h和T处于一定水平时,目标函数 σ 随着p的增大而增大。

4.2 回归方程的建立及有效性验证

通过模拟数据,利用最小二乘法得到各因素关于目标函数 \bar{V} 和 σ 的回归方程,再由表5中数据对 \bar{V} 回归方程进行方差分析,可得 $F = 3.60, P < 0.05$,表明模型具有良好的预测显著性,其中AC对 \bar{V} 的影响程度不显著,故在回归方程中不考虑该项的影响。同理对 σ 回归方程进行方差分析可知, $F = 12.60, P < 0.05$,表明模型具有良好的预测显著性,其中BC、B²、C²对 σ 的影响程度不显著,故在回归方程中不考虑这3项的影响,最终得到的方程如式(4)、(5)所示。

$$\bar{V} = 2.1632 \times 10 + 9.89 \times 10^{-1}h - 6.28 \times 10^{-1}p - 6.98 \times 10^{-1}T - 1.3 \times 10^{-2}hp + 1.4 \times 10^{-2}pT - 2.7 \times 10^{-2}h^2 + 5 \times 10^{-3}p^2 + 5 \times 10^{-3}T^2 \quad (4)$$

$$\sigma = 4.437 \times 10^{-3} - 1.1 \times 10^{-3}h + 6.8 \times 10^{-5}p + 2.5 \times 10^{-5}T - 1.7 \times 10^{-6}hp + 2.1 \times 10^{-6}hT + 4.2 \times 10^{-5}h^2 \quad (5)$$

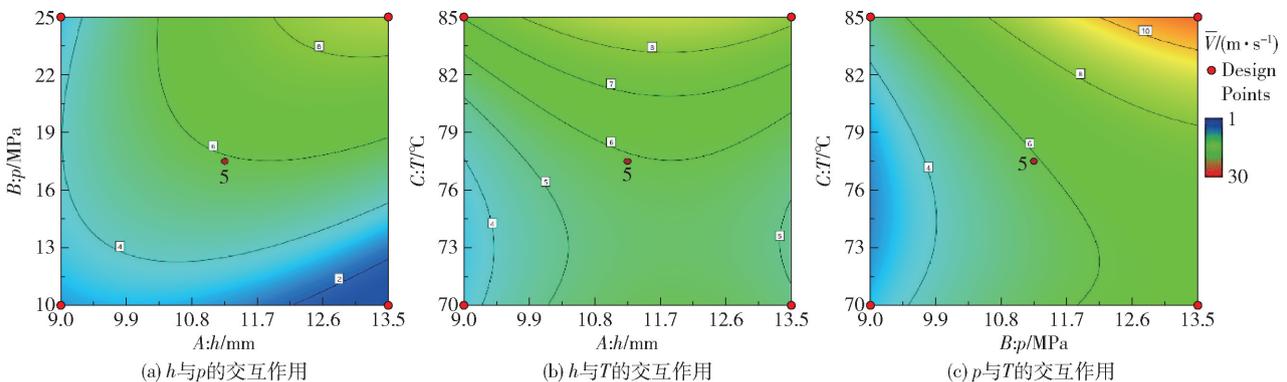


图5 影响出口截面挤出速度均值 \bar{V} 的因素间交互作用

Fig. 5 The interaction between factors affecting the mean extrusion velocity \bar{V} at the exit section

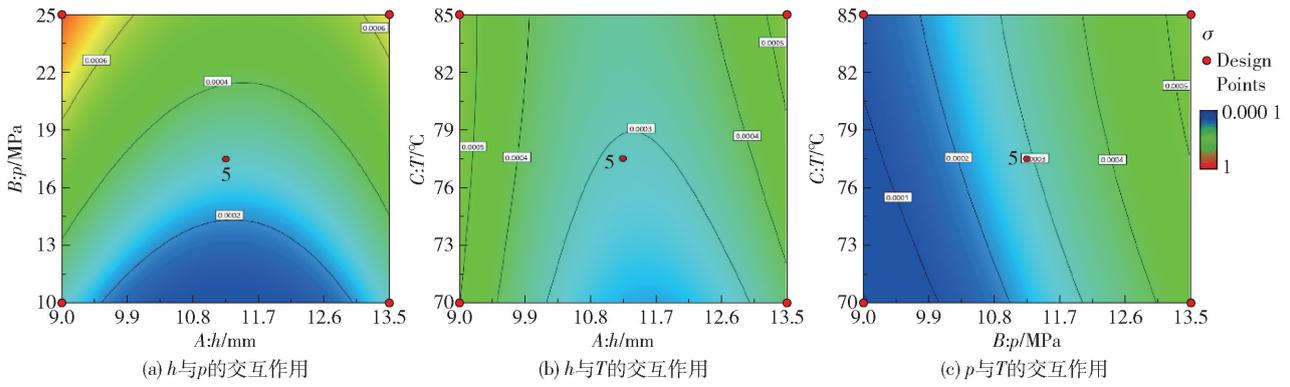


图 6 影响出口截面挤出速度标准差 σ 的因素间交互作用

Fig. 6 The interaction between factors affecting the standard deviation σ of the extrusion velocity at the exit section

为验证建立的二次回归方程的有效性,另取 10 组和 σ 的预测值,将预测值与 Fluent 模拟值进行比较,结果如表 6 所示。

表 6 \bar{V} 和 σ 的预测值和模拟值比较

Table 6 Comparison between the predicted and simulated values of \bar{V} and σ

h/mm	p/MPa	$T/^\circ C$	$\bar{V}/(m \cdot s^{-1})$		\bar{V} 偏差/%	σ		σ 偏差/%
			预测值	模拟值		预测值	模拟值	
11.25	10	77.5	8.88×10^{-3}	8.71×10^{-3}	1.95	7.46×10^{-6}	7.56×10^{-6}	-1.32
9	17.5	70	9.63×10^{-3}	9.72×10^{-3}	-0.93	4.53×10^{-4}	4.39×10^{-4}	3.19
11.25	17.5	70	1.01×10^{-2}	9.90×10^{-3}	2.02	1.56×10^{-4}	1.49×10^{-4}	4.7
11.25	17.5	77.5	1.22×10^{-2}	1.18×10^{-2}	3.39	2.25×10^{-4}	2.21×10^{-4}	1.8
11.25	25	85	1.965×10^{-2}	1.973×10^{-2}	-0.68	4.62×10^{-4}	4.74×10^{-4}	-2.53
9	17.5	77.5	1.176×10^{-2}	1.12×10^{-2}	-2.14	4.87×10^{-4}	4.78×10^{-4}	1.88
9	17.5	85	1.45×10^{-2}	1.39×10^{-2}	2.88	4.93×10^{-4}	4.99×10^{-4}	-1.2
13.5	15	85	1.38×10^{-2}	1.32×10^{-2}	4.55	4.08×10^{-4}	4.21×10^{-4}	-3.09
13.5	15	77.5	1.15×10^{-2}	1.2×10^{-2}	-4.17	3.26×10^{-4}	3.16×10^{-4}	3.16
9	17.5	75	1.1×10^{-2}	1.13×10^{-2}	-2.65	4.79×10^{-4}	4.70×10^{-4}	1.91

由表 6 中数据可知,目标函数 \bar{V} 和 σ 的预测值与模拟值的偏差均在允许范围(5%)以内,说明该回归方程对实际生产具有指导意义。

4.3 参数优化及试验验证

为找到平衡挤出效率和质量的最佳点的工况参数,以工厂实际生产该制品的质量标准为依据,寻求与之匹配的最优生产效率并确定最优结构和工艺参数。其中工厂实际生产中产品质量满足要求的标准如下:挤出制品在厚度方向的尺寸偏差在 $\pm 4\%$ 以内。因制品厚度偏差受挤出均匀性影响,经计算可得评价挤出均匀性的指标为目标函数 σ 不超过 2.6×10^{-4} 。

多目标优化的过程如下:以目标函数 σ 不超过

2.6×10^{-4} 、 \bar{V} 最大为优化目标,获得 100 组的迭代优化数据,得到最优设计参数为阻尼高度 11.15 mm,入口压力 14.95 MPa,壁面温度 85 $^\circ C$,此时 \bar{V} 为 $8.58 \times 10^{-3} m/s$,较工厂原有参数模拟得到的 \bar{V} 提高 13.2%。

用最优化设计参数模拟得到的出口截面挤出速度云图如图 7 所示,经计算得 $\sigma = 2.51 \times 10^{-4}$, $\bar{V} = 8.37 \times 10^{-3} m/s$,与优化结果的偏差分别为 3.6% 和 2.4%,均在偏差允许范围内,表明响应面法优化设计是合理有效的。

5 结论

(1) 利用响应面法对高分子流体的挤出工艺条

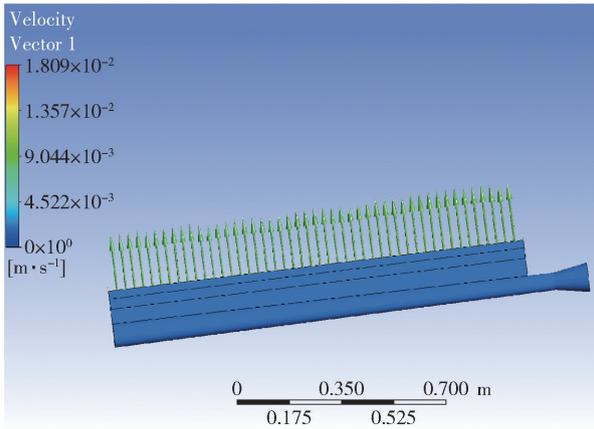


图7 优化结果试验出口速度分布

Fig. 7 Exit velocity distribution for optimized result test

件进行优化,结果表明影响 \bar{V} 的因素主次关系为入口压力 $p >$ 壁面温度 $T >$ 阻尼高度 h ,影响 σ 的因素主次关系为壁面温度 $T >$ 入口压力 $p >$ 阻尼高度 h 。

(2) 基于 Box-Behnken 法和响应面法建立了 L 型宽幅机头出口截面挤出速度均值 \bar{V} 和标准差 σ 与阻尼高度 h 、入口压力 p 、壁面温度 T 的回归方程,预测值与模拟值的偏差均在 5% 以内,可以对生产中各参数的选择提供理论依据。

(3) 以出口截面挤出速度标准差 σ 符合生产要求、出口截面挤出速度均值 \bar{V} 最大为目标,经过优化设计最终确定最优设计点,在满足出口截面挤出速度标准差的情况下,较工厂原有参数模拟得到的挤出速度均值提高 13.2%,对实际生产具有指导意义。

参考文献:

- [1] 杨卫民,程源. L 型挤出机头中胶料流动的均匀性分析[J]. 橡胶技术与装备, 1991(3): 12-17.
YANG W M, CHENG Y. Uniformity analysis of rubber flow in L type extruder head[J]. China Rubber/Plastics Technology and Equipment, 1991(3): 12-17. (in Chinese)
- [2] 吕炜帅,边慧光. 基于 ANSYS-polyflow 宽幅机头流道优化设计与应用[J]. 机床与液压, 2019, 47(13): 160-164, 205.
LV W S, BIAN H G. Optimal design and application of wide head channel based on ANSYS-polyflow[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2019, 47(13): 160-164,

205. (in Chinese)
- [3] 闫普选,吴志勇. 厚胶板挤出模流道的数值分析[J]. 橡塑技术与装备, 2009, 35(12): 5-9.
YAN P X, WU Z Y. Numerical analysis of flow channel of thick rubber sheet extrusion[J]. China Rubber/Plastics Technology and Equipment, 2009, 35(12): 5-9. (in Chinese)
- [4] 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 L H, JIA X Y, MA T J. Design of extruder flow channel based on Fluent[J]. China Mechanical Engineering, 2016, 27(7): 944-950. (in Chinese)
- [5] 梁晨,王磊,姜波,等. 基于数值分析的轮胎胶料共挤出口模设计[J]. 机械工程学报, 2013, 49(22): 103-108.
LIANG C, WANG L, JIANG B, et al. Design of tire compounds coextrusion die based on numerical simulation[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2013, 49(22): 103-108. (in Chinese)
- [6] SMITH D E, TORTORELLI D A, TUCKER III C L. Optimal design for polymer extrusion. Part I: sensitivity analysis for nonlinear steady-state systems[J]. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 1998, 167(3): 283-302.
- [7] SMITH D E, TORTORELLI D A, TUCKER III C L. Optimal design for polymer extrusion. Part II: sensitivity analysis for weakly-coupled nonlinear steady-state systems[J]. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 1998, 167(3): 303-323.
- [8] 王春林,彭海波,丁剑,等. 基于响应面法的消防泵 S 型叶片改进优化设计[J]. 机械工程学报, 2013, 49(10): 170-177.
WANG C L, PENG H B, DING J, et al. Optimization for S-type blade of fire pump based on response surface method[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2013, 49(10): 170-177. (in Chinese)
- [9] 彭光杰,黄鑫,尤保健. 基于响应面法的管道泵优化设计[J]. 水电能源科学, 2021, 39(2): 138-141.
PENG G J, HUANG X, YOU B J. Optimization design of pipeline pump based on response surface method[J]. Water Resources and Power, 2021, 39(2): 138-141. (in Chinese)

Optimization of the flow field of an L-shaped wide extruder head by response surface methodology

GUO Chao JIAO DongMei*

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266000, China)

Abstract: An appropriate choice of the structure and process parameters of the nose is an important step in the efficient production of high quality wide films. In order to solve this problem, a multi-objective optimization analysis method of the nose flow field has been proposed based on numerical simulation technology and the response surface method. Taking the mean and standard deviation of the extrusion velocity of the exit section of the nose as the objective function, the influence of various parameters on the stability of the three-dimensional non-isothermal extrusion flow of the nose in the production process has been studied. Based on Fluent simulation results, the parameters having a significant influence on the objective function were identified by single factor tests, and the Box-Behnken method was then used to design the test. The interaction between the significant parameters was analyzed, and the regression equation between the objective function and each parameter was established and verified. The results show that the deviation between the predicted value of the regression equation and the simulated value from Fluent is within the allowable range. Satisfaction multi-objective optimization of the nose structure and the optimal design point process was obtained using the Fluent simulation test for the optimal design point. Using the exit section extrusion speed standard deviation as the criterion of extrusion quality uniformity, the original parameter simulation of plant production efficiency (given by the average of exit speed characterization) increased by 13.2%. The results show that Fluent simulation combined with Box-Behnken experimental design and the response surface method can be used to analyze the flow field of L-shaped wide-width extruder head and provide guidelines for its use in industrial production.

Key words: L-shaped wide-width extruder head; extrusion stability; response surface method; regression equation

(责任编辑:吴万玲)