

# 大型非对称结构橡胶制品注射模具冷流道的优化设计

曾宪奎<sup>1</sup>, 滕彦理<sup>1\*</sup>, 贾伟臣<sup>1</sup>, 陈洪帅<sup>1</sup>, 曾佳<sup>2</sup>

(1. 青岛科技大学 机电工程学院, 山东 青岛 266061; 2. 西南交通大学 利兹学院, 四川 成都 611756)

**摘要:**对大型非对称结构的高铁动车外风挡注射模具冷流道进行优化设计。采用正交试验法对注射模具冷流道设计8个方案,通过有限元模拟软件POLYFLOW,从流体压力、流速、剪切速率和粘度4个方面对8个设计方案进行仿真模拟,选出优化方案;对优化方案的主要变量入口流量进行一次寻优,得出最优方案:分流道选用模型二,浇口直径为6 mm,入口流量为 $90 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 。

**关键词:**注射模具;冷流道;大型非对称结构;橡胶制品;有限元分析;优化设计

**中图分类号:**TQ330.4<sup>+</sup>1/6<sup>+</sup>6

**文章编号:**1000-890X(2019)07-0551-04

**文献标志码:**A

**DOI:**10.12136/j.issn.1000-890X.2019.07.0551

在橡胶制品注射模具冷流道设计时,首先要保证的是各浇口流体压力与流速的均匀性<sup>[1-2]</sup>。对于结构对称的橡胶制品注射模具,冷流道呈对称分布,较易实现各浇口流体压力与流速的均匀性,设计流程较短。对于结构非对称的橡胶制品注射模具,冷流道呈非对称分布,浇口分布不均匀,难以保证各浇口流体压力与流速的均匀性,从而导致橡胶制品不均匀和缺胶等问题<sup>[3-4]</sup>。对于大型橡胶制品,这种问题尤为突出。

本工作以高铁动车外风挡为例,对大型非对称结构橡胶制品注射模具冷流道进行优化设计。针对各浇口直径、入口流量和分流道直径3个主要影响因素,采用正交试验法设计8个方案,利用有限元模拟软件POLYFLOW对8个设计方案进行仿真模拟,从流体压力、流速、剪切速率和粘度4个方面对各设计方案进行评价与优选,并对优化方案进行寻优,得出最优设计方案。

## 1 几何模型

高铁动车外风挡的长度为956 mm,宽度为460 mm,厚度为135 mm;密度为 $0.87 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,体积

为 $7.26 \times 10^6 \text{ mm}^3$ ,质量为6.31 kg。

高铁动车外风挡及其浇口位置三维图见图1。

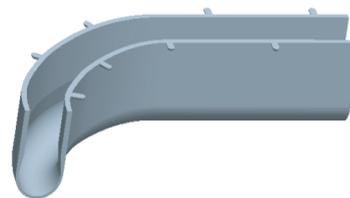


图1 高铁动车外风挡及其浇口位置

注射模具冷流道浇注系统见图2,其一侧为对称分布,另一侧为非对称分布,流道截面尺寸优化主要在非对称一侧。

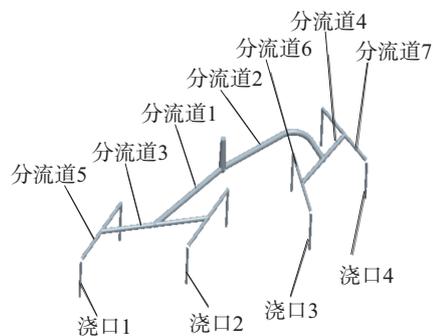


图2 注射模具冷流道浇注系统

按正交试验法设计8个方案,在非对称一侧改变截面尺寸,得到两种分流道直径尺寸模型,形成对照组,如表1所示。

基金项目:山东省自然科学基金重点项目(ZR2016XJ003)

作者简介:曾宪奎(1967—),男,山东青州人,青岛科技大学教授,博士,主要从事高分子材料加工技术与装备的教学及研究工作。

\*通信联系人(610975048@qq.com)

表1 分流道直径 mm

名称	分流道1	分流道2	分流道3	分流道4	分流道5	分流道6	分流道7
模型1	13	14	12	11	9	8	9
模型2	13	14	12	11	9	8.5	9

根据设计要求,确定各变量的取值范围,正交试验设计方案如表2所示。

## 2 模拟分析

### 2.1 浇口参数

注射模具冷流道浇注系统中各浇口尺寸相同。8个浇口中每2个对称分布,共分为4种浇口。浇口1和浇口2呈对称分布,对浇口1进行分析;浇

表2 初步设计方案

方案编号	分流道直径	浇口直径/mm	入口流量/( $\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )
I	模型1	6	73
II	模型1	6	90
III	模型1	7	73
IV	模型1	7	90
V	模型2	6	73
VI	模型2	6	90
VII	模型2	7	73
VIII	模型2	7	90

口3和浇口4为非对称分布,对二者进行分析。通过模拟计算,可得出8个方案的各浇口流体流速、剪切速率及粘度,如表3所示。

表3 各浇口参数值

方案编号	流速/( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )			剪切速率/ $\text{s}^{-1}$			粘度/( $\text{Pa} \cdot \text{s}$ )		
	浇口1	浇口3	浇口4	浇口1	浇口3	浇口4	浇口1	浇口3	浇口4
I	0.54	0.45	0.56	740	600	700	8 000	8 700	7 000
II	0.66	0.56	0.68	920	700	870	7 000	7 800	6 000
III	0.41	0.33	0.45	480	310	490	7 400	8 600	6 800
IV	0.51	0.42	0.56	580	390	600	6 400	7 500	6 000
V	0.52	0.49	0.53	560	500	480	7 200	7 700	6 600
VI	0.63	0.605	0.65	650	620	600	6 200	6 650	5 800
VII	0.38	0.36	0.405	310	280	320	16 000	10 500	14 000
VIII	0.46	0.44	0.50	380	350	390	13 500	9 000	12 000

### 2.2 压力场

用POLYFLOW软件对各方案的流体压力分布进行模拟,得到8幅压力场云图。以方案III为例,其压力场云图见图3。从图中可以看出,在分流节点处压力显著降低。该方案流体压力梯度分布均匀,各浇口流体压力趋于相同。

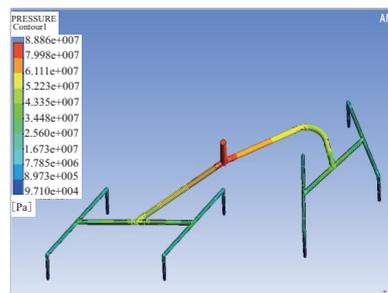


图3 方案III的流体压力场云图

对比8幅压力场云图发现,各方案流体压力分布较为均匀,其中方案II的压力降最小,但8个方案总体相差不大。

### 2.3 流速场

用POLYFLOW软件对各方案3种浇口的流体

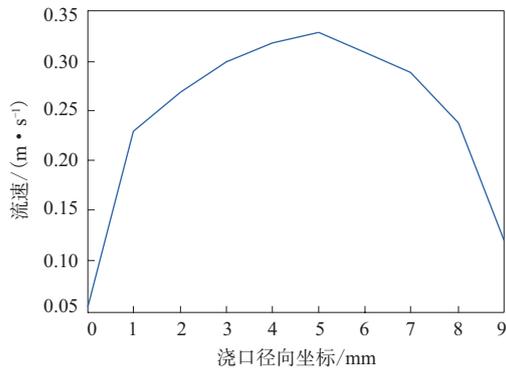
流速进行模拟<sup>[5]</sup>。以方案III为例,得到的流体流速分布见图4。3种浇口流体流速分布曲线大致相同,流速在圆心附近达到最高值,从圆心向四周逐渐降低,至浇口壁面处速度趋近于零,整体呈梯度分布。

结合表2和3可以看出,在其他条件不变时,浇口流体流速与注射流量成正比关系。在方案V—VIII中,3种浇口流体流速较为均匀;方案I—IV中,3种浇口流体流速均匀性较差,其中方案IV浇口流体流速均匀性最差。因此V—VIII方案所选用的模型二分流道更符合设计要求。

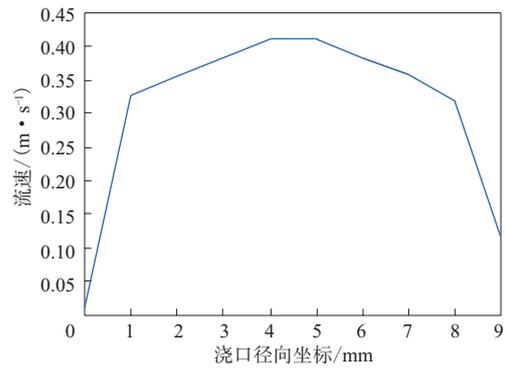
### 2.4 剪切速率场

用POLYFLOW软件对各方案的流体剪切速率分布进行模拟计算,得到8幅剪切速率分布图,以方案III为例进行说明。

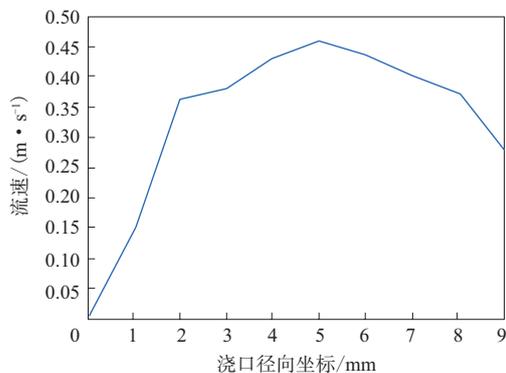
方案III的流体剪切速率云图如图5所示。可以看出,剪切速率的变化主要发生在流体分流时。再结合表3中的剪切速率数据发现,在方案I, II和VI中,各浇口流体剪切速率较大,且数值趋近理想值,比较符合设计要求。



(a) 浇口1



(b) 浇口3



(c) 浇口4

图4 方案III中3种浇口的流体流速分布

### 2.5 粘度场

用POLYFLOW软件对各方案3种浇口流体粘度场进行模拟。以方案III为例,得到的流体粘度场见图6。结合表3和图6可以看出,在其他条件相同时,流体的粘度与入口流量成反比关系;在方案IV—VI中,各浇口的流体粘度较低,能更好保证流体在冷流道中具有良好的流动性<sup>[6]</sup>;方案VII和方案VIII的浇口流体粘度过高,难以保证冷流道中流体的流动性,故排除方案VII和VIII。

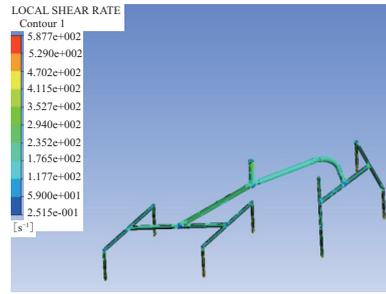
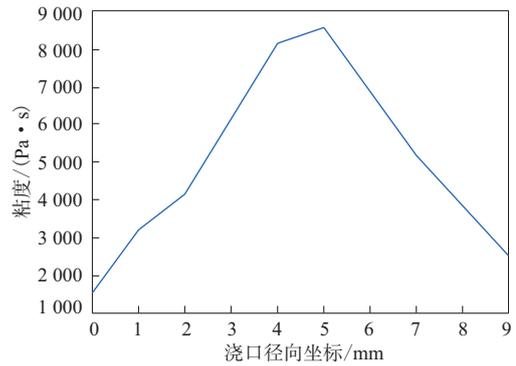
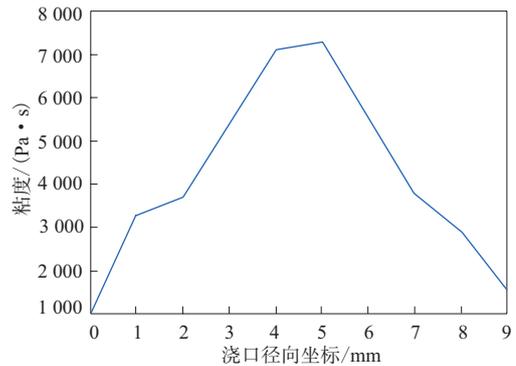


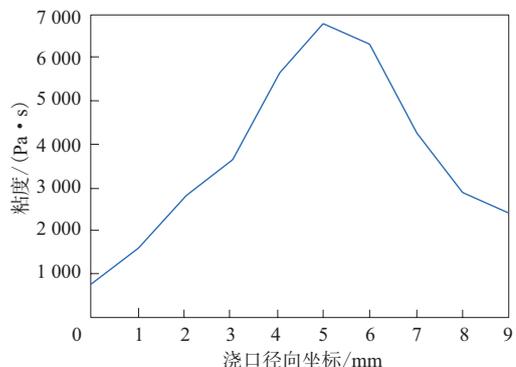
图5 方案III的剪切速率云图



(a) 浇口1



(b) 浇口3



(c) 浇口4

图6 方案III中3种浇口的流体粘度分布

### 3 冷流道系统优化分析

在压力场分析中,各方案的各浇口流体压力相差不大;在流速场分析中,确定模型2更符合设计要求;在剪切速率场分析中,方案I,II和VI更符合设计要求;在粘度场分析中,方案IV—VI更符合设计要求。由此可知,在正交试验设计中,方案VI最符合设计要求。该方案中各浇口流体压力相差不大,流速均匀稳定,剪切速率均匀且达到设计要求,粘度较低,可以保证流体在冷流道中的流动性。

除方案VI之外,方案V也较好。比较方案V和方案VI,二者只有入口流量不同,因此针对入口流量进行寻优。方案V的入口流量为 $73 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,方案VI的入口流量为 $90 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,应在 $90 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 的左右两侧寻优;寻优步长越小,寻优次数越多,所得的优化结果也越好。本工作在 $73 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 与 $90 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ 之间寻优一次。其他条件不变,入口流量取值 $85 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,再次使用POLYFLOW软件进行模拟计算,结果如表4所示。

对比寻优方案与方案VI,寻优方案的流体粘

表4 寻优方案各浇口参数值

浇口	流速/ ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	剪切速率/ $\text{s}^{-1}$	粘度/( $\text{Pa} \cdot \text{s}$ )
浇口1	0.60	640	6 500
浇口3	0.57	580	7 000
浇口4	0.62	560	6 200

度比方案VI更高,流体的流动性降低。因此,经过一次寻优后,方案VI仍为最优方案。

### 4 结论

针对影响冷流道设计的浇口直径、入口流量和分流道直径3种主要变量,本工作设计8个正交试验方案,并通过POLYFLOW有限元软件对各方案进行仿真模拟,从流体压力、流速、剪切速率和粘度4个方面,对各方案进行评价比较,得出优化方案;并对该优化方案的主要影响因素进行一次寻优,得出最优方案。最优方案各浇口压力和流速分布均匀,流体在冷流道中具有良好的剪切性能和流动性。

### 参考文献:

- [1] 刘洪. 橡胶注射成型技术[J]. 塑料工业, 2011, 39(B04): 104-108.
- [2] 刘成兵. 冷流道技术在橡胶注射领域的应用及其特点[J]. 模具工程, 2009(3): 64-65.
- [3] 刘细芬, 张帆. CAE/CAD技术在注射模设计中的应用[J]. 现代塑料加工应用, 2009, 21(4): 55-58.
- [4] Tang S H, Kong Y M, Sapuan S M, et al. Design and Thermal Analysis of Plastic Injection Mould[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2006, 171(2): 259-267.
- [5] 张晓萍, 冯连勋. 一种新型多流道分配机头的设计及其流场分析[J]. 橡塑技术与装备, 2010, 36(7): 1-5.
- [6] 张慧敏, 唐跃. 数值模拟方法在橡胶冷流道设计中的应用研究[J]. 橡胶工业, 2016, 63(6): 361-364.

收稿日期: 2019-01-02

## Optimum Design of Cold Runner of Injection Mold for Large Asymmetric Rubber Product

ZENG Xiankui<sup>1</sup>, TENG Yanli<sup>1</sup>, JIA Weichen<sup>1</sup>, CHEN Hongshuai<sup>1</sup>, ZENG Jia<sup>2</sup>

(1. Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China; 2. Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China)

**Abstract:** In this paper, the cold runner of the injection mold for large asymmetric rubber product used in the outer windshield of high-speed rail was designed and optimized. Eight schemes were designed for the cold runner of the injection mold according to the orthogonal test method. With the finite element simulation software POLYFLOW, the fluid pressure, flow velocity, shear rate and viscosity were analyzed. The optimized scheme was then obtained, from which the primary optimization was carried out using the main variable, inlet flow rate, to give the best design; model 2 was used for the diversion channel, the gate diameter was 6 mm, and the inlet flow rate was  $90 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

**Key words:** injection mold; cold runner; large asymmetric structure; rubber product; finite element analysis; optimum design