

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2024.01.017

# 基于 Moldflow 的排水泵过滤网注塑工艺优化与模具设计

周俊杰<sup>1</sup>, 陈秋凡<sup>2</sup>, 冯文<sup>1</sup>, 蒋莹莹<sup>1</sup>, 刘朝峰<sup>1</sup>

(1. 江苏海洋大学机械工程学院, 江苏连云港 222005; 2. 江苏海洋大学应用技术学院, 江苏连云港 222069)

**摘要:** 利用 Moldflow 对塑料排水泵过滤网的注塑成型过程进行仿真, 通过对其结构分析制定了合理的浇口位置和冷却水路。利用三因素三水平正交试验, 研究了熔体温度(A)、充填压力(B)和开模时间(C)对于塑件翘曲变形的影响, 得出较优的工艺参数组合为  $A_1B_3C_3$ , 即熔体温度 220 °C, 充填压力 80%, 开模时间 6 s, 此时塑件的最大翘曲变形量为 0.632 8 mm, 与优化前相比降低了 10.37%。最后依据 Moldflow 的分析结果, 利用 UG 软件对注塑模具的结构进行了设计, 根据塑件卡扣的结构特点, 型腔采用整体式结构, 型芯设计为组合式(主型芯+滑块)结构, 并采用三组“斜导柱+滑块”式侧向抽芯机构解决脱模问题。为实现顺序脱模, 借助尼龙塞以增加定模板与动模板之间的开模阻力, 设计了内置式“小拉杆+拉杆套”结构的定距分型机构; 考虑到塑件形状和模具结构与成本, 设计了沿塑件侧壁轮廓排布的圆推杆脱模机构; 为避免气纹、气穴等缺陷的形成, 在型腔处设计了排气槽结构。该模具结构设计较为合理, 可为其他结构相似塑件的模具设计提供有益参考和指导。

**关键词:** 排水泵过滤网; 模流分析; 正交试验; 注塑成型; 模具设计

**中图分类号:** TQ320.52, TP391.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2024)01-0109-07

## Injection molding process optimization and mold design of drainage pump filter based on Moldflow

ZHOU Junjie<sup>1</sup>, CHEN Qiufan<sup>2</sup>, FENG Wen<sup>1</sup>, JIANG Yingying<sup>1</sup>, LIU Chaofeng<sup>1</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222005, China;

2. Applied Technology School, Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222069, China)

**Abstract :** Moldflow was used to simulate the injection molding process of the plastic drainage pump filter, and the reasonable gate location and cooling water channel were determined by analyzing its structure. The effects of melt temperature (A), filling pressure (B), and mold opening time (C) on the warping deformation of plastic parts were studied by using three-factor and three-level orthogonal tests. The results show that the optimal combination of process parameters was obtained as  $A_1B_3C_3$ , that is, a melt temperature of 220 °C, a filling pressure of 80%, and a mold opening time of 6 seconds. At this time, the maximum warpage deformation of the plastic part is 0.632 8 mm, which is reduced by 10.37% compared with before optimization. Finally, according to the analysis results of Moldflow, UG software was used to design the structure of the injection mold. According to the structural characteristics of the plastic fastener, the cavity adopted the integral structure, and the core was designed into a combined structure, which is composed of the main core and sliders, and three groups of “inclined guide post + slider” type side core pulling mechanism were used to solve the demoulding problem. To realize the sequential demand, the nylon plugs were used to increase the opening resistance between the fixed formwork and the moving formwork, and a fixed distance parting mechanism with a built-in “small tie rod+tie rod sleeve” structure was designed. Considering the shape of the plastic part and the structure and cost of the mold, a circular push rod ejector mechanism arranged along the side wall profile of the plastic part was designed. To avoid the formation of air marks, air pockets, and other defects, the exhaust groove structure was designed in the cavity. The design of the mold structure is reasonable and can provide useful reference and guidance for the mold design of other structurally similar plastic parts.

**Keywords :** drainage pump filter ; moldflow analysis ; orthogonal test ; injection molding ; mold design

**基金项目:** 江苏省先进材料功能调控技术重点实验室开放课题项目(jsklfctam202202), 连云港市科技成果转化揭榜挂帅专项资金项目(CA202106), 江苏省研究生科研与实践创新计划项目(KYCX2023-06)

**通信作者:** 冯文, 博士, 主要从事模具设计与制造及晶界工程研究工作

**收稿日期:** 2023-11-06

**引用格式:** 周俊杰, 陈秋凡, 冯文, 等. 基于 Moldflow 的排水泵过滤网注塑工艺优化与模具设计[J]. 工程塑料应用, 2024, 52(1): 109-115.

ZHOU Junjie, CHEN Qiufan, FENG Wen, et al. Injection molding process optimization and mold design of drainage pump filter based on Moldflow[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(1): 109-115.

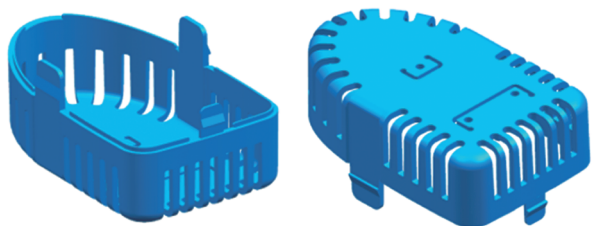
注塑成型因具有生产效率高、产品尺寸一致性好、操作可实现自动化以及能够成型复杂塑件等特点,使得注塑模具在现代机械工业中占据重要地位<sup>[1-2]</sup>。然而,影响注塑成型过程的因素较多,如模具结构、材料特性、工艺参数等,只有综合考虑这些因素的影响才能避免塑件产生翘曲变形、熔接痕、缩痕等缺陷<sup>[3-5]</sup>。传统的模具设计需经过反复的试模、修模流程才能设计出符合要求的模具,导致模具的设计与制造成本增加、周期变长,无法满足制造业对注塑模具成型品质高和设计周期短的需求。随着 Moldflow 软件的推出和应用,在注塑模具加工前利用该软件对注塑成型过程进行模拟分析,预测可能存在的缺陷,以便优化成型工艺参数,使模具在设计阶段就能得到改进和完善,能够提高一次试模成功率、缩短开发周期以及降低生产成本<sup>[6-8]</sup>。

笔者以某全自动排水泵过滤网为研究对象,利用 Moldflow 软件对其注塑成型过程进行仿真分析,确定合理的浇口位置,并研究熔体温度、充填压力和开模时间对塑件最大翘曲变形量的影响。利用三因素三水平正交试验结合方差分析对注塑成型工艺参数进行优化,以制定最佳工艺方案。在此基础上,利用 UG 三维建模软件完成模具结构设计。

## 1 塑件工艺性分析

### 1.1 结构分析

图1为排水泵过滤网三维模型图,外形尺寸为134 mm × 80 mm × 53 mm,属于中小型塑件。侧壁由圆弧面和椭圆面组成,且侧壁具有三处高于主体的卡扣形成的侧凸结构较为复杂,成型难度大,需要设计不同方向的侧向抽芯机构才能实现塑件的成型与脱模。塑件壁厚较为均匀,平均壁厚为3 mm。该塑件表面要求光洁,不得有明显的翘曲变形,同时需具有一定的强度、耐磨性、较好的韧性以及耐腐蚀性等,精度达 MT5 级以上。



(a) Interior (b) Exterior

图1 过滤网结构3D示意图

Fig. 1 3D diagram of the structure of the filter

### 1.2 材料选择

排水泵过滤网主要用于排水过程中过滤水中杂质,要求在淡水、海水中均可使用。丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)具有强度高、耐磨性好、抗酸碱盐、抗水、耐低温(可在-40 °C下使用)且成型的塑件表面光泽性好等优点,被广泛应用于汽车、电气仪表及机械零件等,能够满足排水泵过滤网的使用性能要求,故成型材料选择牌号为 TFX-210 的 ABS 塑料,该材料的推荐工艺参数见表1。

表1 ABS材料的推荐工艺参数

Tab. 1 Recommended process parameters of ABS materials

Parameter	Value
Melt temperature/°C	200 ~ 280
Mold temperature/°C	25 ~ 80
Mold surface temperature/°C	50
Ejection temperature/°C	88
Maximum shear stress/MPa	0.28
Maximum shear rate/s <sup>-1</sup>	12 000

## 2 注塑模流分析

### 2.1 Moldflow 前处理分析

将UG软件所构建的排水泵过滤网三维实体模型导入到Moldflow软件中,并对模型进行网格划分及优化。因排水泵过滤网壁厚较均匀,故选用双层面网格类型对塑件进行网格划分,网格划分后的模型如图2所示。网格统计信息栏显示该模型连通区域为1个,三角形网格单元为51 156个,表面积为444.117 cm<sup>2</sup>,最大和最小纵横比分别为8.17和1.16,平均纵横比为1.60,匹配和相互百分比分别是94.4%和92.7%,网格无重叠、交叉单元以及自由边等缺陷,说明适合选择双层面网格进行分析。

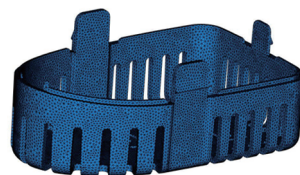


图2 排水泵过滤网网格模型

Fig. 2 Mesh model of drainage pump filter

### 2.2 浇注系统设计

浇口是注塑模具浇注系统中连接分流道与型腔的熔体通道,其位置设计得恰当与否,直接关系到塑件的成型品质,合适的浇口位置可以降低变形、避免熔接线产生<sup>[9]</sup>。图3为Moldflow分析得出的排水泵过滤网最佳浇口位置。从图3可以看出,蓝色区域匹配性较高适合作为浇口位置,而红色区域匹配性较低不适合作为浇口位置。

色区域匹配性较差,熔体在型腔内流动阻力较大,选择浇注点时应避开此区域。

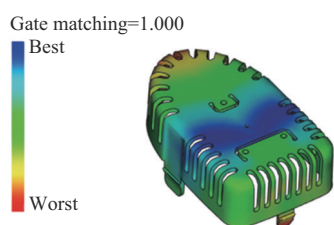


图3 浇口位置分析结果

Fig. 3 Analysis results of gate location

塑件外表面一般不应有明显的浇口痕迹以免影响产品外观,故通常将浇口设置在塑件内部。但就本塑件而言,这势必会增加脱模和模具结构设计的难度。考虑到塑件外观要求和结构形式,采用单点浇口的注射形式。本实验浇注系统中主流道的入口直径为4 mm,将浇口套镶入面板内部,长度为47 mm,锥度为5°。分流道截面为圆形,直径取7 mm。竖直流道的底部直径为4 mm,锥度为5°。浇口的始端和末端直径分别为4 mm和1.2 mm,长度为3.5 mm。图4为塑件的浇注系统。

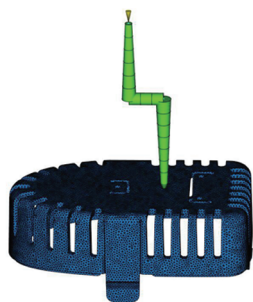


图4 浇注系统

Fig. 4 Gating system

### 2.3 冷却系统设计

塑件充填保压后需冷却至一定温度才能被开模顶出,而冷却时间约占整个生产周期的1/2以上。为实现快速冷却进而提高生产效率,需设计合理有效的冷却系统。此外,冷却系统对塑件的成型质量有较大影响,冷却不均会使塑件产生残余应力,从而导致翘曲缺陷的形成<sup>[10-11]</sup>。一般而言,对于型腔较浅的模具使用冷却水管系统即可满足冷却要求,而对于型腔较深的塑件则需采用冷却水井和传热棒来辅助。本塑件模具型腔深度为32 mm,属于深腔结构。对于定模的冷却,设计双层冷却水管,水管直径为6 mm。对于动模的冷却,为满足凸起部位

的冷却要求,采用冷却水管和冷却水井组合式冷却,冷却水管和水井直径分别为6 mm和8 mm。选择雷诺数为10 000的纯水作为冷却介质,其入口温度为25 °C,冷却水路排布如图5所示。

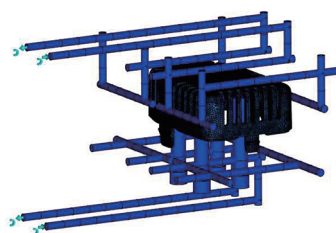


图5 冷却水路

Fig. 5 Cooling water channel

### 2.4 翘曲分析与优化

采用“冷却+充填+保压+翘曲”分析序列对排水泵过滤网塑件的成型过程进行仿真。选择分析翘曲原因以获得不同因素对塑件翘曲变形的影响程度。初步分析采用的注塑工艺参数为:熔体温度240 °C,开模时间4 s,充填压力60%,其余工艺参数选择默认。图6为塑件翘曲变形的模流分析结果。由图6可知,塑件的翘曲变形量最大为0.706 0 mm,略高于塑件允许的最大翘曲变形量要求(0.7 mm)。进一步分析发现,因冷却不均导致的翘曲变形量为0.158 8 mm,表明所设计的冷却系统能够实现较好的均匀冷却效果;由取向效应造成的翘曲变形量为0.071 5 mm,可以忽略不计;由收缩不均造成的翘曲

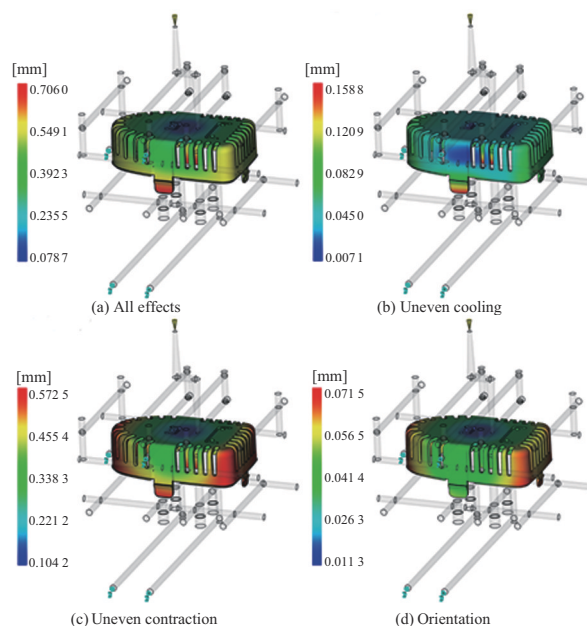


图6 翘曲变形分析结果

Fig. 6 Analysis results of warpage deformation

变形量为0.572 5 mm,说明收缩不均是引起塑件翘曲变形的的主要原因。对于收缩不均的不利影响可通过优化工艺参数进行调控<sup>[12-14]</sup>。

利用正交试验对注塑成型工艺参数进行优化,研究熔体温度(A)、充填压力(B)和开模时间(C)对塑件翘曲变形的影响。在材料推荐参数范围内各取3个水平,设计 $L_9(3^3)$ 正交表。正交试验因素水平设计见表2。通过正交试验得出最优工艺参数组合为 $A_1B_3C_3$ ,即熔体温度、充填压力和开模时间分别为220℃、80%和6 s时,塑件的翘曲变形量最小。图7为泵用过滤网塑件最优工艺参数下翘曲变形模流分析结果。从图7可以看出,所有效应下的最大翘曲变形量为0.632 8 mm,其中由冷却不均、收缩不均和取向效应造成的变形量分别为0.141 7、0.507 9、0.065 4 mm。与初始参数下的所有效应、冷却不均、收缩不均以及取向效应造成的翘曲变形量相比分别下降了10.37%、10.77%、11.28%、8.53%,结果表明工艺参数的优化降低了塑件的最大翘曲变形量,满足了塑件的精度要求。

表2 正交试验因素水平设计

Tab. 2 Factor and level settings

Level	A/°C	B/%	C/s
1	200	60	4
2	220	70	5
3	240	80	6

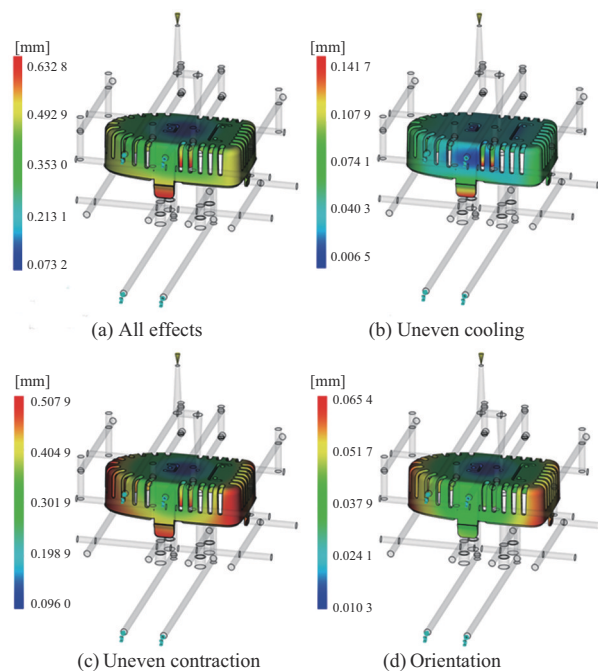


图7 优化工艺翘曲变形分析结果

Fig. 7 Analysis result of optimized warpage deformation

### 3 模具设计

#### 3.1 成型零件设计

成型零件是整套注塑模具中各方面要求都较高的部件,它不仅要能加工出符合规定的塑件,还需满足可靠、高效、易于维护和加工的要求。型腔构成一般有整体式和组合式两种,考虑到本塑件侧壁处具有三个卡扣结构,需设计侧抽机构辅助脱模,不宜采用整体式型腔,故将成型零件做成内模镶件并用螺丝固定在模架的动、定模板上,三个卡扣采用滑块镶拼成型。在上述条件下固定成型零件的动、定模板采用一般材料即可,无需像成型零件一样采用优质材料且进行特殊的热处理,从而可以节省材料成本和便于后期拆卸维修。图8为动、定模镶件的结构设计。材料选用3Cr2Mo,热处理硬度为48~50 HRC。对型腔用于成型的部位进行镜面抛光处理,型芯用于成型的部位进行普通抛光处理,与模板配合为过渡配合,配合公差为H7/m6。

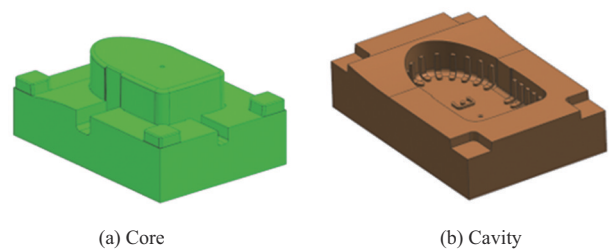


图8 成型零件3D结构图

Fig. 8 3D structure diagram of molding parts

#### 3.2 侧向抽芯机构设计

塑件上有三处卡扣结构,需设计侧向抽芯机构。侧向抽芯机构的形式有多种,对于内抽结构,一般采用斜顶式侧向抽芯机构;而对于外抽结构,则通常采用斜导柱或油缸式侧向抽芯机构。根据塑件的结构特点,采用“斜导柱+滑块”式侧向抽芯机构,具体如图9所示。因塑件上三处卡扣均较小,为保证滑块强度,将滑块设计成整体式。滑块两侧设计凸出的挂台,采用方形压条压紧。方形压条与动模固定板形成T型导向槽,用于滑块的导向。斜导柱的倾斜角一般为 $15^\circ\sim 25^\circ$ ,当角度过大斜导柱将承受较大的弯曲力,对使用寿命不利,而角度过小时必然会增加斜导柱的长度,不利于模具结构紧凑且斜导柱易磨损,本模具取 $18^\circ$ 。塑件卡扣凸出2 mm,安全距离取4 mm,经计算得抽芯距为6 mm。斜导柱固定在滑块压紧块上,滑块压紧块厚度为28 mm,计算得出斜导柱长度为47 mm。斜导柱数量

和直径一般由滑块的大小决定,取每个滑块的斜导柱数量为1,直径为10 mm。楔紧块楔紧斜面角度需比斜导柱倾斜角大 $1^{\circ}\sim 2^{\circ}$ ,故取 $20^{\circ}$ 。为使结构紧凑,将斜导柱固定在楔紧块上并由定模板压紧。因三个滑块均属于小型滑块,采用波珠定位即可满足要求。为防止滑块滑动过程中从模具中脱落,采用螺丝对滑块进行限位。

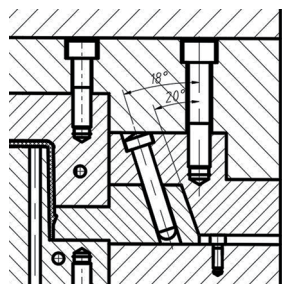


图9 侧向抽芯机构结构图

Fig. 9 Structure diagram of side core-pulling mechanism

### 3.3 定距分型机构设计

塑件成型采用三板模,需进行三次开模,模具开模顺序如图10a所示。为保证定模A板与动模B板最后打开,需在定模A板和动模B板之间增加开模阻力,常采用尼龙塞或扣基实现。本模具属于中小型模具,中等批量生产,采用尼龙塞即可满足要求。对于定模A板、流道板、面板间的开模顺序与距离的控制,因模架内部空间充足,采用内置式定距分型机构,结构为“小拉杆+拉杆套”组合式,如图10b所示。根据模架宽度,小拉杆直径确定为20 mm,数量为4根。定模A板与流道板间的开模距离由小拉杆行程控制,取小拉杆行程为125 mm。面板与流道板间开模距离由拉杆套行程控制,取值为10 mm。

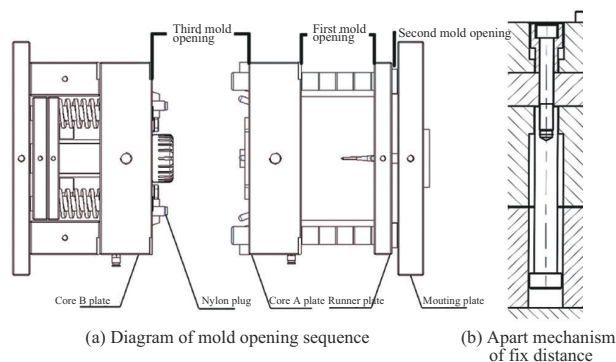


图10 模具开模顺序示意图和定距分型机构

Fig. 10 Diagram of mold opening sequence and apart mechanism of fix distance

### 3.4 脱模机构设计

脱模是塑件制造成型过程最后的一个环节,而脱模机构的设计合理与否直接决定了塑件顶出质量的好坏。常用的脱模机构形式有推杆、推管、推板等,应用场合由塑件形状、模具结构和塑件允许的受力点等多个因素共同决定<sup>[15]</sup>。顶出塑件所需的脱模力 $F$ 可由公式(1)求得。

$$F = pA(f \cos \alpha - \sin \alpha) \quad (1)$$

式中: $p$ 为塑件对型芯产生的单位正压力,取8~12 MPa; $A$ 为塑件包紧型芯的侧面积; $f$ 为摩擦系数,一般取0.15~1.0; $\alpha$ 为脱模斜度。

由UG软件测得 $A=9887 \text{ mm}^2$ ,取 $p=10 \text{ MPa}$ , $f=0.5$ ,代入公式(1)计算得出所需脱模力为4770 N。可见,脱模力并不大,结合塑件形状和模具成本,脱模机构采用直径6 mm的圆推杆。为确保推出平稳、受力均匀,圆推杆数量为10根,位置沿塑件侧壁轮廓排布,具体布局如图11所示。

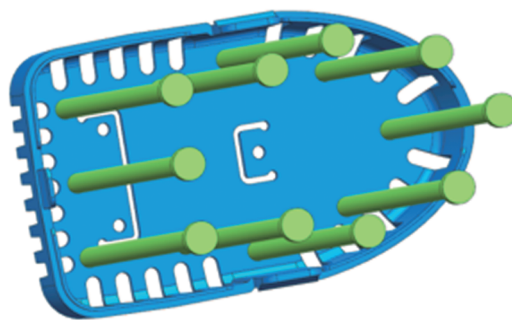


图11 圆推杆位置布局

Fig. 11 Position layout of round putters

### 3.5 排气槽结构设计

在注射过程中,型腔中气体的存在不但会降低熔体的充填速度,而且会使塑件表面形成流痕、气纹、气穴等缺陷,因此需将气体及时排出<sup>[16]</sup>。在生产实践中,注塑模具的排气系统需在试模后不断改善,直至能生产出合格的产品才认为模具排气是充分的。一般而言,对于型腔较浅、结构不复杂的中小型模具,采用模具自身的间隙即可达到排气效果,如分型面、推杆、流道以及其他活动件的配合面等。而对于型腔较深、结构较复杂的模具型腔则需考虑单独设计排气系统,常见的排气方法有加排气杆、在困气处加冷料井、采用透气钢、开设排气槽等。本模具的型腔较深,易于在塑件侧壁产生气穴,除利用模具自身间隙排气外,还需设计排气装置,综合考虑开设排气槽较为合适。排气槽一般开

设在分型面上,且尽量位于型腔一侧,具体结构如图12所示。

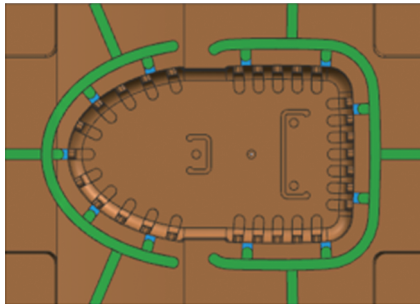


图12 排气槽结构布局

Fig. 12 Exhaust slot structural layout

#### 4 模具的工作过程

图13为排水泵过滤网注塑模具的剖面结构。根据GB/T 11335-2008,选择型号为FCI-3335-A90-B90-C120-L330-EGP的模架。注塑模具的工作过程为:

(1) 模具与注塑机配合安装后将ABS塑料颗粒加热至熔融状态。塑料熔体从注塑机喷嘴经浇注系统注入至注塑模具的型腔8中进行保压、冷却、固化等工艺流程。

(2) 注塑机带动模具动模部分运动,由于尼龙胶

塞29增大了动模固定板6与定模固定板9之间的开模阻力,使得定模固定板9与流道板10最先被打开。此时浇注系统中的凝料因拉料杆30的作用从塑件上被拉断,同时抽出定模固定板9,完成第一次开模。

(3) 在小拉杆36、小拉杆套39与内六角圆柱头螺钉38的配合带动下,流道板10与面板11依次被打开,使凝料从浇口套14中掉落,完成第二次开模。

(4) 动模部分继续运动,此时由于注塑机的拉力远大于动模固定板6与定模固定板9之间的开模阻力,动模固定板6与定模固定板9被打开,成型后的塑件脱离型腔8,包裹在型芯7上,完成第三次开模。

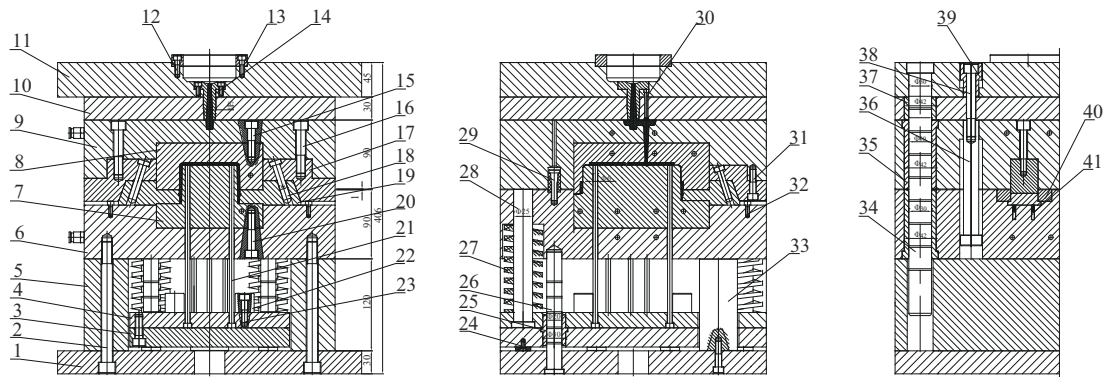
(5) 第三次开模过程中,滑块19在斜导柱18的带动下同步脱离塑件,运动至限位螺丝32处,完成侧向抽芯。

(6) 注塑机顶杆工作,推杆垫板3与推杆固定板4带动推杆21运动顶出塑件,完成脱膜。

(7) 注塑机顶杆收回,在弹簧27的作用下,推杆垫板3与推杆固定板4及推杆21完成复位。

(8) 在注塑机驱动下,动模部分反向运动,进行与开模相反的过程,模具完成合模。

(9) 重复上述步骤进入下一个注射周期。



1—Mounting plate; 2, 12, 15, 16, 20, 23, 31, 38—Hexagon socket cap screw; 3—Push rod backing plate; 4—Ejector retainer plate; 5—Square iron pad; 6—Moving die fixed plate; 7—Core; 8—Cavity; 9—Fixed die fixed plate; 10—Runner plate; 11—Panel; 13—Locating ring; 14—Sprue bush; 17—Wedge block; 18—Slider angle pin; 19—Sliding block; 21—Push rod; 22—Banking column; 24—Stop pin; 25—Push rod plate guide sleeve; 26—Push rod plate guide post; 27—Spring; 28—Release link; 29—Nylon plug; 30—Sprue puller; 32—Stopper bolt; 33—Support column; 34—Guide pillar straight; 35—Headed guide bush; 36—Small pull rod; 37—Straight guide bush; 39—Small pull rod sleeve; 40—Sliding batten; 41—Positioning wave bead

图13 排水泵过滤网注塑模具结构图

Fig. 13 Structure diagram of injection mold for drainage pump filter

#### 5 结论

以排水泵过滤网塑件为例,利用Moldflow软件对塑件的最佳浇口位置进行分析,设计了模具的浇注系统和冷却系统。在此基础上利用“冷却+充填+

保压+翘曲”分析序列探究了塑件的翘曲变形情况。采用正交试验结合方差分析,以塑件的最大翘曲变形量作为评价指标,研究了熔体温度(A)、充填压力(B)和开模时间(C)对塑件翘曲变形量的影响。结果

表明:熔体温度对塑件的翘曲变形量影响最大,开模时间的影响最小,充填压力的影响介于两者之间,获得的最优工艺参数组合为 $A_1B_3C_3$ 。基于最优的工艺参数对塑件的成型过程进行仿真分析,发现优化后的最大翘曲变形量较初始状态下的最大翘曲变形量降低了10.37%,表明通过工艺参数的优化可以实现注塑模具的成型质量的改善。

利用UG软件设计了塑件的三板式注塑模具的成型零件、浇注系统、冷却系统、侧向抽芯机构、定距分型机构、脱模机构以及排气系统等结构。为确保能够均匀冷却并缩短冷却周期,对定模设计了双层冷却水管,而动模则采用“水管+水井”组合式冷却。在定模镶件上开设排气槽以避免因气穴的产生而影响塑件表面质量。为实现塑件的平稳推出且受力均匀,设计了圆推杆,位置沿塑件侧壁轮廓均匀排布。在整个设计过程中,利用UG和Moldflow相结合的方法进行注塑模具设计可以提高塑件产品的成型质量、缩短模具的研发周期以及降低模具的制造成本。

#### 参考文献

- [1] 周红霞,罗永洪,陈平,等.基于方向盘注塑模在UG中设计与制造的应用研究[J].内燃机与配件,2021(22):96-97.  
ZHOU Hongxia, LUO Yonghong, CHEN Ping, et al. Design of CNC machine tool automatic production system based on cloud manufacturing[J]. Internal Combustion Engine & Parts, 2021(22): 96-97.
- [2] 汪政,冯文,孙袁星.基于Moldflow的揭盖式洗发水瓶盖注塑模具设计[J].工程塑料应用,2022,50(6):105-110.  
WANG Zheng, FENG Wen, SUN Yuanxing. Design of injection mold for shampoo bottle cap with a hood based on Moldflow[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(6):105-110.
- [3] 苗盈,陆忠华,金华军,等.基于Moldflow的组合型腔注塑模具成型工艺优化[J].塑料工业,2019,47(11):63-67.  
MIAO Ying, LU Zhonghua, JIN Huajun, et al. Molding process optimization of combined cavity injection mold based on Moldflow[J]. China Plastics Industry, 2019, 47(11):63-67.
- [4] LI J, ZHAO C, JIA F, et al. Optimization of injection molding process parameters for the lining of IV hydrogen storage cylinder[J]. Scientific Reports, 2023, 13(1). DOI: 10.1038/s41598-023-27848-1.
- [5] MAHSHID R, ZHANG Y, HANSEN H N, et al. Effect of mold compliance on dimensional variations of precision molded components in multi-cavity injection molding[J]. Journal of Manufacturing Processes, 2021, 67:12-22.
- [6] 李保,王正才,黄铭涛,等.基于Moldflow的双色IMD塑件模具设计与仿真[J].工程塑料应用,2023,51(1):82-87.  
LI Bao, WANG Zhengcai, HUANG Mingtao, et al. Design and simulation of bicolor IMD injection mould based on Moldflow[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(1):82-87.
- [7] 杨小勇,孟祥旭,曹新鑫,等.基于Moldflow的无人机上壳注塑成型优化分析[J].塑料,2023,52(2):156-160.  
YANG Xiaoyong, MENG Xiangxu, CAO Xinxin, et al. Optimization analysis of injection molding of UAV upper shell based on Moldflow[J]. Plastics, 2023, 52(2):156-160.
- [8] 王海兰,佟伟,欧相麟,等.基于Moldflow的盒型产品的变形优化与机理探究[J].塑料工业,2023,51(2):90-95,125.  
WANG Hailan, TONG Wei, OU Xianglin, et al. Deformation optimization and mechanism research of box-shaped products based on Moldflow[J]. China Plastics Industry, 2023, 51(2):90-95, 125.
- [9] 孙庆东,汪五二,池根才,等.汽车车窗装饰板浇口分析及注塑工艺优化[J].工程塑料应用,2023,51(7):79-84.  
SUN Qingdong, WANG Wuer, CHI Gencai, et al. Gate analysis and optimization of injection molding process for car window decorative panel[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(7): 79-84.
- [10] HE H, XING Y, WANG R, et al. Optimization design of cooling system for injection molding mold of non-pneumatic tire[J]. Thermal Science and Engineering Progress, 2023, 42. DOI: 10.1016/j.tsep.2023.101866.
- [11] 陶哲,季宁,么大锁,等.基于CAE的复杂薄壁防爆球冷流道注塑模具优化设计[J].工程塑料应用,2023,51(5):86-92.  
TAO Zhe, JI Ning, YAO Dasuo, et al. Design of cold runner injection mold for complex thin-wall explosion suppression ball based on CAE[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(5):86-92.
- [12] 赵安民.基于Moldflow的录音机外壳注塑成型优化设计[J].塑料科技,2021,49(2):62-65.  
ZHAO Anmin. Optimization design of injection molding for plastic instrument shell based on Moldflow[J]. Plastics Science and Technology, 2021, 49(2):62-65.
- [13] 黄小娣.基于Moldflow的数控机床接触式滚轮传感器的注塑模具设计与优化分析[J].塑料科技,2021,49(2):74-77.  
HUANG Xiaodi. Design and optimization analysis of injection mold for NC machine tool contact roller sensor based on Moldflow[J]. Plastics Science and Technology, 2021, 49(2):74-77.
- [14] 谷少朋,沈宗果,王生阳.基于计算机辅助技术的防尘摄像机注塑模具优化分析[J].塑料科技,2021,49(8):73-76.  
GU Shaopeng, SHEN Zongguo, WANG Shengyang. Optimization analysis of injection mold for dustproof camera based on computer aided technology[J]. Plastics Science and Technology, 2021, 49(8):73-76.
- [15] 孙令真,詹建新.基于定模斜顶的倒装塑料模具结构设计[J].塑料,2021,50(5):56-60,66.  
SUN Lingzhen, ZHAN Jianxin. Structural design of flip-chip plastic mold based on fixed mold inclined top[J]. Plastics, 2021, 50(5):56-60, 66.
- [16] 周纪委,王明伟,吴迪,等.汽车尾门左右窗框饰板气辅注塑模具设计[J].中国塑料,2023,37(11):141-148.  
ZHOU Jiwei, WANG Mingwei, WU Di, et al. Design of gas assisted injection mold construction for left and right window frame trim panels of automobile tailgate[J]. China Plastics, 2023, 37(11):141-148.