

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2024.07.015

# 基于 Moldflow 的摩托车前中心盖模具设计

明平象

(武汉城市职业学院, 武汉 430064)

**摘要:** 利用 Moldflow 软件对摩托车前中心盖进行了仿真分析, 结合零件结构特点及成型工艺要求, 设计了两种浇注系统方案, 依据填充时间、流动前沿温度、冻结层因子和熔接线等仿真参数分析, 优选出最佳浇口位置及数量, 并依此确定采用“3 点针阀式热流道+3 点侧浇口”的进胶方式, 最终设计了一副顺序阀热流道注塑模具。为解决 T1 区域型腔侧向抽芯的难题, 设计了“垂直油缸+连接块+T 形块”的抽芯机构, 使模具结构更加紧凑; 采用“大斜顶+小斜顶”组合的方式解决了倒扣方向不统一、抽芯空间小及难脱模的问题; 导向定位系统采用了“0°精定位块+动定模止口”的方式, 确保模具在开模和合模过程中能够准确、可靠地复位; 采用类似“随形水路”的组合式冷却系统, 滑块与大斜顶均设计有直径 12 mm 的独立冷却水路, 其余部分设计有直径 18 mm 的水路, 使模温更均匀, 成型周期缩短约 11%; 试模后, 模具运行平稳, 各机构运动安全可靠, 塑件精度及表面质量符合要求, 可为同类模具的设计提供参考。

**关键词:** 摩托车前中心盖; 浇口位置; 模具设计; 顺序阀热流道; 模流分析

**中图分类号:** TQ330.4+1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2024)07-0101-08

## Mould design for motorcycle front center cover based on Moldflow

MING Pingxiang

(Wuhan City Polytechnic, Wuhan 430064, China)

**Abstract :** A simulation analysis was conducted on the front center cover of a motorcycle using Moldflow software. Based on the structural characteristics of the parts and the requirements of the forming process, two pouring system schemes were designed. Based on simulation parameters such as filling time, flow front temperature, freezing layer factor, and fusion line, the optimal gate position and quantity were selected. Based on this, the injection method of "3-point needle valve hot runner+3-point side gate" was determined, and a sequence valve hot runner injection mold was finally designed. To solve the problem of lateral core pulling in the T1 area cavity, an innovative core pulling mechanism with "vertical oil cylinder+connecting block+T-shaped block" was designed, making the mould structure more compact. The combination of "large inclined top and small inclined top" solved the problems of inconsistent reverse direction, small core pulling space, and difficult demolding. The guiding positioning system adopted a method of "0°precision positioning block+dynamic fixed mould stop" to ensure that the mould can be accurately and reliably reset during the mould opening and closing process. Adopting a combination cooling system similar to a "conformal water path", both the slider and the large inclined top were designed with independent cooling water paths with a diameter of 12 mm, while the rest were designed with a diameter of 18 mm, making the mould temperature more uniform and reducing the molding cycle by about 11%. After the trial mould, the mould runs smoothly, the movement of each mechanism is safe and reliable, and the precision and surface quality of the plastic parts meet the requirements, which can provide reference for the design of similar moulds.

**Keywords :** motorcycle front center cover ; gate position ; mould design ; sequential valve hot runner ; mould flow analysis

通过 Moldflow 软件对塑件进行前期仿真分析, 可预测和解决潜在的缺陷, 如熔接线、银丝、烧焦、缩痕及翘曲变形等, 从而优化设计与制造流程, 提

高塑件质量, 减少试模次数, 降低成本, 缩短上市时间。摩托车前中心盖为车身结构的一部分, 位于摩托车的前部, 其主要功能为保护摩托车引擎和前部

**基金项目:** 湖北省教育科学规划课题项目(2020GB1962023)

**通信作者:** 明平象, 副教授, 主要研究方向为智能制造

**收稿日期:** 2024-04-08

**引用格式:** 明平象. 基于 Moldflow 的摩托车前中心盖模具设计[J]. 工程塑料应用, 2024, 52(7): 101-108.

MING Pingxiang. Mould design for motorcycle front center cover based on Moldflow[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(7): 101-108.

关键部件免受外来因素侵害,前中心盖顶部设计有通风口,可辅助摩托车引擎和其他机械部件运行时的散热。

对于Moldflow软件在注塑模具行业的应用,很多学者进行了相关研究。傅莹龙等<sup>[1]</sup>用CAE技术对汽车副仪表骨架进行仿真分析,预测了注塑中可能产生的潜在缺陷,优化了顺序阀热流道浇注系统。袁春霞<sup>[2]</sup>运用Moldflow软件模拟分析出水路连接器最佳进胶方案,并优化了工艺参数,注塑出了满足要求的塑件。王振刚等<sup>[3]</sup>用CAE模拟分析了空调底座3种进胶方案,根据仿真结果选取了最优方案,并分析了各成型工艺参数对最大翘曲变形量的影响。周俊杰等<sup>[4]</sup>用仿真软件确定了排水泵过滤网的进胶位置与冷却水路,并分析了工艺参数对翘曲变形的影响,最后设计出了符合要求的注塑模具。郭旭等<sup>[5]</sup>对分离罐的3种浇口方案进行了模拟分析,选出了最佳浇口位置及数量。谭安平<sup>[6]</sup>对车用保险杠针阀式浇口开启时间进行了仿真分析,结果显示熔接痕、翘曲变形量、等值线填充及锁模力等均有很大改善。孙庆东等<sup>[7]</sup>结合析因设计和响应曲面设计,对汽车车窗装饰板的4个浇口方案进行模拟分析,得到最优工艺参数组合,试生产效果良好。Mehat等<sup>[8]</sup>对不同浇口位置、浇注系统类型下的齿轮进行模拟分析,选出了最佳的注射工艺。Li等<sup>[9]</sup>建立了适用于复杂形状零件的浇口位置响应替代模型,运用效果较好。Purbaningrum等<sup>[10]</sup>利用CAE软件对喷油器进行模拟分析,找出了最佳浇口位置。

综上所述,很多学者结合其他实验方法,对浇口位置的选择进行了一定的研究,但大部分的研究没有考虑浇注系统整体充模流动情况,且对倒扣方向不统一、抽芯空间小及难脱模塑件的模具设计研究文献较少。鉴于此,笔者以摩托车前中心盖为研究对象,结合零件结构特点及成型工艺要求,设计了两种浇口位置方案,依据填充时间、流动前沿温度、冻结层因子和熔接线等仿真参数分析,选出了最佳浇口位置及数量,并设计了3点针阀式热流道+3点侧浇口进胶方式的注塑模具,可为同类模具的设计提供参考。

## 1 塑件结构分析

摩托车前中心盖结构如图1所示,其整体尺寸为493 mm×326 mm×431 mm,体积为452 000 mm<sup>3</sup>,产品主壁厚2.2 mm,局部壁厚1.5 mm,筋条与产品

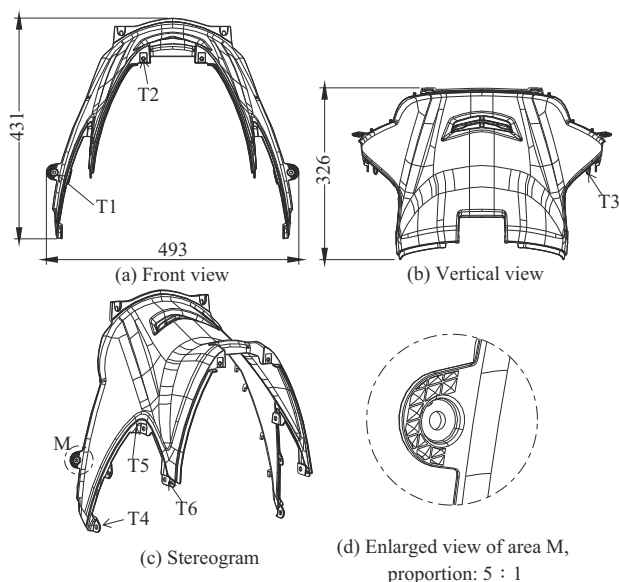


图1 摩托车前中心盖结构图

Fig. 1 Structural diagram of motorcycle front center cover

连接处壁厚1.1 mm;产品两边对称且呈拱形结构;前中心盖属于摩托车的外观件,对塑件表面质量要求很高,同时产品上也有很多装配结构特征,增加了模具设计的难度。前中心盖所用材料为金发科技股份有限公司生产的聚丙烯(PP-1210),收缩率为1.4%。产品上T2~T6倒扣特征出模方向不统一,且间距较小,如何合理设计斜顶机构或侧抽芯机构成为模具设计的难点之一;塑件上T1区域M处放大位置的整个区域均是倒扣特征,由于此区域与其他倒扣特征距离较近,若选用常规的斜顶或滑块抽芯,会造成与其他零件发生干涉,如何设计此区域的抽芯机构是本模具设计的另一个难点。产品外形呈拱形,若冷却系统设计不合理,会导致局部区域热积,从而使塑件变形量增大。

## 2 浇口位置分析

注塑浇口位置选择的优劣会直接影响到塑件质量和生产效率,尤其是对于前中心盖这类外观件,表面不允许进胶,需非外观面进胶,且注塑完成后浇口痕迹要达到最小化。浇口位置选择不合理,会导致多种注塑缺陷的产生,因此浇口位置及数量的选择是一个复杂而关键的步骤,需要综合考虑塑件结构、功能、美观及注塑成本等因素<sup>[11-12]</sup>;笔者利用Moldflow软件对产品进行仿真分析,确定合理浇口位置方案,避免后续生产中产生短射、气泡、烧焦、体积收缩不均匀及熔接线等缺陷,确保产品质量和生产效率的最优化。

## 2.1 网格划分及工艺参数设置

仿真分析采用双层面三角形网格单元,在Moldflow 2018中对前中心盖进行网格划分处理,从结果可知,模型最大纵横比为10.56,平均纵横比为1.87,三角形网格单元数量为119 487,自由边和多重边数量均为0,相互百分比为86.4%,匹配百分比为89.2%,达到分析计算要求。产品所用原材料为特定牌号的聚丙烯(PP-1210),该材料化学稳定性好,且具有优良的力学性能、耐热性能及电绝缘性能。表1为注塑工艺参数设置。

表1 注塑工艺参数设置

| Tab. 1 Injection molding process parameter settings |                 |
|-----------------------------------------------------|-----------------|
| Parameter                                           | Numerical value |
| Mould surface temperature/°C                        | 30              |
| Mould temperature range (recommended)/°C            | 20~50           |
| Melt temperature/°C                                 | 210             |
| Melt temperature range (recommended)/°C             | 190~245         |
| Absolute maximum melt temperature/°C                | 260             |
| Ejection temperature/°C                             | 114             |
| Maximum shear pressure/MPa                          | 0.25            |
| Maximum shear rate/s <sup>-1</sup>                  | 100 000         |

## 2.2 浇口位置选择

运用Moldflow软件能模拟分析出塑件上最佳进胶位置,图2为模拟得出的流动阻力指示器,蓝色区域代表流动阻力最小,熔体容易充满型腔,适合放置浇口。由图2可知,产品顶部前端及腰部均可放置浇口。根据产品结构特点和实际工程经验,可以预设1点开放式热流道和3点针阀式热流道,最后对两种方案的有限元分析结果对比分析,确定出最佳浇口数量。

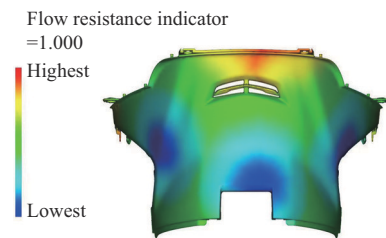


图2 流动阻力指示器

Fig. 2 Flow resistance indicator

图3为1点开放式热流道(方案1)和3点针阀式热流道(方案2)详细设计方案,两种方案均采用“热流道+冷流道”的进胶方式。根据以上设计方案和注塑工艺参数,在Moldflow软件中进行仿真模拟。

## 2.3 浇口方案模流分析

### 2.3.1 填充时间

注塑填充时间是指熔融塑料从注射开始到完

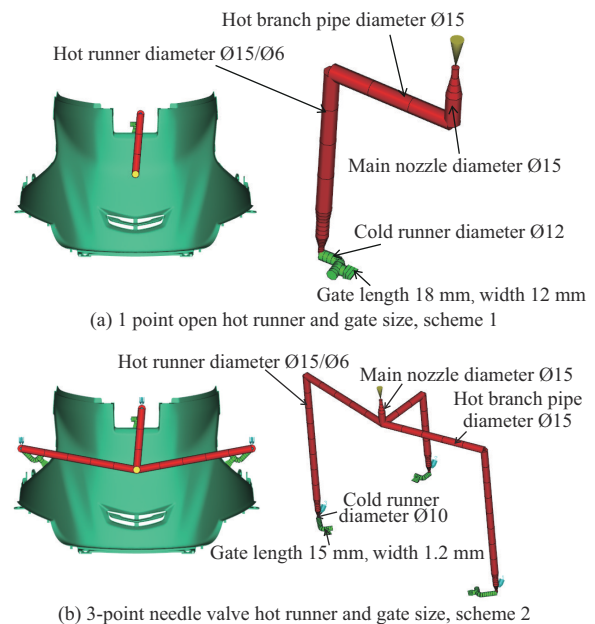


图3 浇注系统设计方案

Fig. 3 Design scheme of pouring system

全充满模具型腔所用的时间,填充时间的长短对产品质量和生产效率均有较大影响,填充时间过长可能导致烧焦或其他注塑缺陷;填充时间过短,则会发生短射,型腔未完全充满<sup>[13-14]</sup>。图4为两种浇口方案填充时间示意图,蓝色代表开始填充区域,红色代表填充末端。从图4可看出,方案1填充时间3.782 s,方案2填充时间3.714 s,两种方案填充均较平衡,表面没有滞留现象。

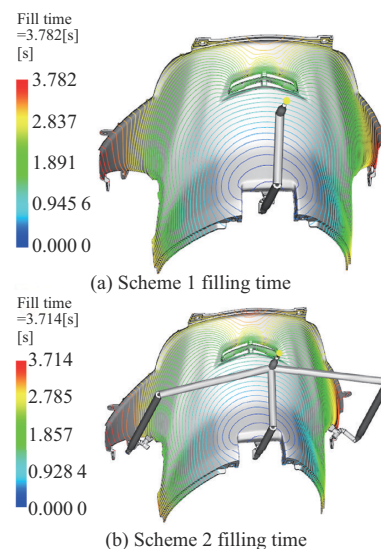


图4 不同方案填充时间

Fig. 4 Filling time for different schemes

### 2.3.2 流动前沿温度

流动前沿温度是指在注塑过程中熔融塑料流动到模具最前端时的温度,此温度会影响填充效

果、塑料流动性及产品质量等,温度均匀可提升产品外观品质,温差过大会导致注塑缺陷的产生<sup>[15]</sup>。摩托车前中心盖要求温度的升高不超过5℃,下降不超过22℃,图5为流动前沿温度在塑件主要外观面的分布,从结果看两种方案表面温度分布较均匀,方案1最大温差21.1℃,方案2最大温差为21.4℃。均符合工程应用要求。

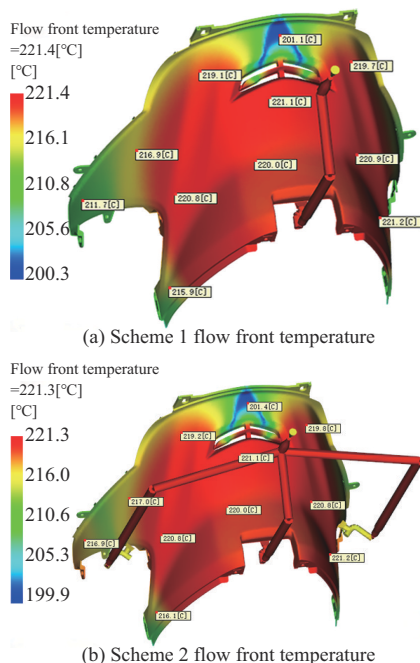


图5 不同方案流动前沿温度

### 2.3.3 冻结层因子

冻结层因子是模流分析结果中重要的参考指标,是指熔融塑料在模具型腔流动中与型腔壁面接触的熔料开始凝固并形成冻结层的程度,其取值一般在0~1,数值越大说明冻结层越厚,熔料流动的阻力随之加大,该参数对塑件的保压效果、填充质量及尺寸精度影响较大<sup>[16-17]</sup>。图6为两种浇口方案冻结层因子模拟分析结果,方案1产品末端到浇口附近未依次冻结,保压不充分,有收缩的风险。方案2从模流分析结果看,产品末端到浇口附近依次冻结,保压充分。

### 2.3.4 熔接线

熔接线是注塑过程中常见缺陷之一,是指在模具型腔内两股或多股熔料相遇而形成的线状结构,其可降低塑件强度,成为潜在的风险区,同时对塑件的外观和其他力学性能均有重要影响<sup>[18]</sup>;料流汇合角度越大,熔接线越不明显,当角度大于135°形成熔合线,其肉眼不可见,合格塑件要避免外观面

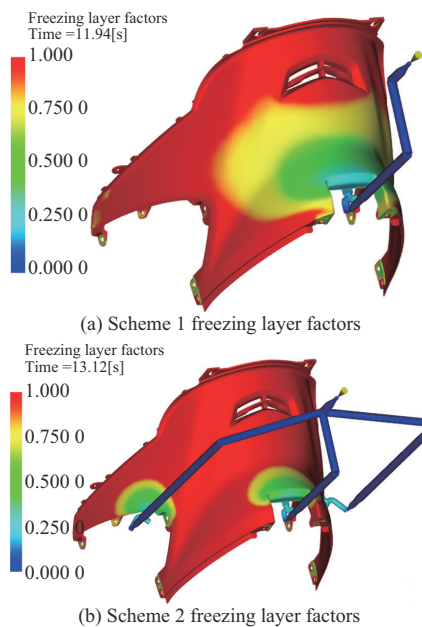


图6 不同方案冻结层因子

Fig. 6 Freezing layer factors of different schemes

和零件受力区域有明显熔接线;若塑件中某些区域熔接线不可避免,则可通过后处理的方式加以改善。图7为两种方案熔接线模拟分析结果,由图7可知,两种方案在产品通风口处均存在少量熔接线,因孔位料流汇合,这些熔接线不可避免,可以在熔接线位置设计排气镶件,加强排气,淡化熔接线。

综上所述,方案1的1点开放式热流道浇口距离末端流长为430 mm,又因产品主壁厚为2.2 mm,

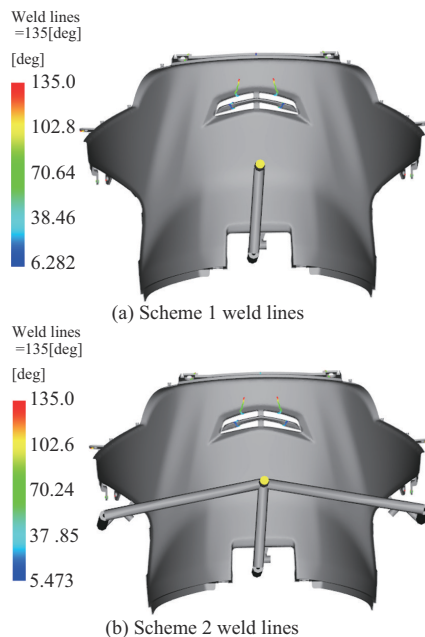


图7 不同方案熔接线

Fig. 7 Weld lines of different schemes

生产时所需注塑压力偏大,产品末端到浇口附近未依次冻结,产品表面会产生收缩飞边等风险,因此优选方案2的3点针阀式热流道。

### 3 模具主要结构设计

#### 3.1 侧抽芯机构设计

摩托车前中心盖零件表面质量和尺寸精度要求较高,倒扣多、间距小且方向不统一,使得抽芯机构的设计较为复杂;综合考虑塑件结构、成型工艺和模具制造成本,本套模具主要采用了3种形式的抽芯机构:前模“垂直油缸+连接块+T形块”的抽芯机构、“大斜顶+小斜顶”的抽芯机构和“斜导柱+滑块”的抽芯机构。

T1 整个区域均为倒扣,与 $X$ 轴线夹角约为 $34.2^\circ$ ,若使用常规的侧抽芯结构或斜顶结构会导致部件间产生干涉,如何设计脱模结构是本模具的难点之一。经反复论证,采用“垂直油缸+连接块+T形块”的前模抽芯机构可解决此难题,其结构如图8所示。液压油缸通过螺钉固定于A板上,连接块、T形块和斜滑块用螺钉相互连接。为了运动稳定可靠,在连接块上设计4个带油槽的耐磨板。注塑完成后,电磁阀控制液压油缸带动连接块开始往 $Z$ 轴方向运动,此时T形块带动斜滑块沿着连接块内与 $Y$ 轴方向呈 $14^\circ$ 的T形槽内滑动;当油缸带动连接块垂直运动28 mm时,行程开关达到上止点,此时T形块带动斜滑块脱离整个T1倒扣区域,抽芯动作完成,模具开始在分型面处打开。

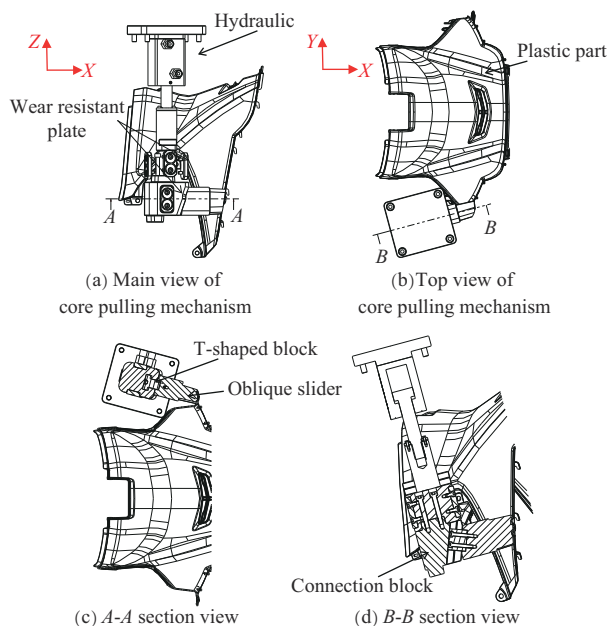


图8 前模抽芯机构

Fig. 8 Front mould core pulling mechanism

T2倒扣区域采用“斜导柱+滑块”的抽芯机构,其结构如图9所示。此抽芯机构结构简单,工作时稳定性好,方便钳工装配及维修,是常用的抽芯形式。斜导柱固定于定模A板,其他部件均在动模侧。注塑完成开模时,在开模力和弹簧力的共同作用下,斜导柱驱动滑块沿着压条槽运动,当滑块运动至13 mm时,限位块阻止滑块继续运动,此时滑块脱离T2倒扣区域,抽芯动作完成。

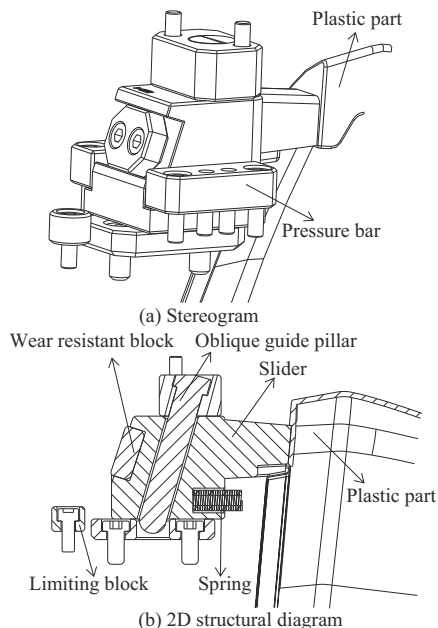


图9 斜导柱抽芯机构

Fig. 9 Oblique guide pillar core pulling mechanism

T3~T6倒扣区域均用斜顶机构脱扣,其中T4区域采用“大斜顶+小斜顶”的结构脱扣,这些斜顶机构的部件均固定于推板和推板固定板上,图10为结构示意图。当模具从分型面打开后,注塑机顶棍推动推板和推板固定板,从而带动斜顶机构运动,当

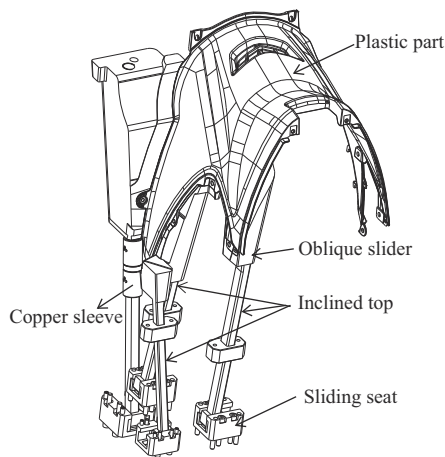


图10 斜顶抽芯机构

Fig. 10 Inclined top core pulling mechanism

推出距离达到 100 mm 时,各斜顶均脱离倒扣区域,抽芯动作完成。

### 3.2 导向定位系统设计

摩托车前中心盖模具属于精密注塑模,在注塑生产时必须有精确稳定的导向定位机构。为此在模具定模侧设计有 4 根  $\text{Ø}50\text{ mm}\times 390\text{ mm}$  的圆导柱,如图 11 所示。为方便人工或机械手取件,导柱设计在定模侧。由于整个塑件呈拱形,为使模具注塑产品时工作更平稳,设计有止口定位结构。模具动模和定模上设计有 4 组  $0^\circ$  精定位块;本模具有两组“斜导柱+滑块”抽芯机构,为使斜导柱与滑块工作配合更精确,合模时导柱要提前进入导套 20 mm,防止斜导柱不能正确复位。

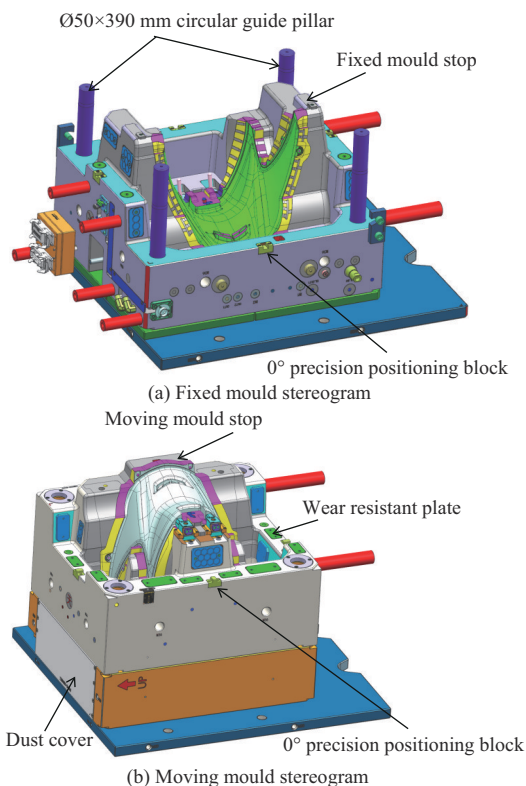


图 11 模具导向定位系统

Fig. 11 Mould guidance positioning system

### 3.3 顶出机构设计

摩托车前中心盖零件结构复杂,倒扣区域较多,顶出行程较大,需要设计合理的顶出机构,才能避免产生顶白、顶变形或顶裂现象。本套模具采用“顶杆+直顶块+斜顶块+拉料杆”的组合顶出机构,如图 12 所示。模具开模完成后,注塑机顶棍推动顶针板和顶针背板往前运动,进而带动顶杆、直顶块、斜顶块和拉料杆运动,当顶出行程达到 100 mm 时,塑件被顶出,机械手抓取塑件。为了缩短顶出机构

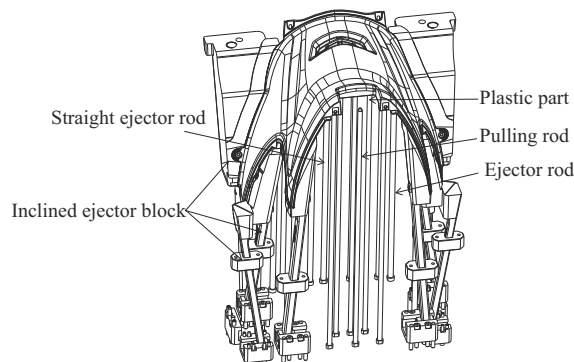


图 12 模具顶出机构

Fig. 12 Mould ejection mechanism

复位时间,采用 4 根氮气弹簧驱动顶针板和顶针背板,在 4 根复位杆导向下精确回到原位。实践证明,运用“顶棍+氮气弹簧”结构去驱动和复位顶出机构,可以缩短成型周期,提高生产效率。

### 3.4 冷却系统设计

冷却系统是模具重要组成部分,直接决定了模具能否高效运转、塑件能否达到精度要求,因此各水路要均衡布置,多余热量及时带出模具。本套模具设计有直通式水管、倾斜式水管和隔片式水井等组成的类似“随形水路”的冷却系统,冷却水流动方向与料流方向基本一致,如图 13 所示。各水路纵横交错,相互间距保持在 35~45 mm;滑块、大斜顶及热流道周围均设计有直径 12 mm 的独立冷却水路,其余部分设计有直径 18 mm 的水路,使冷却更加均匀,成型周期缩短约 11%。

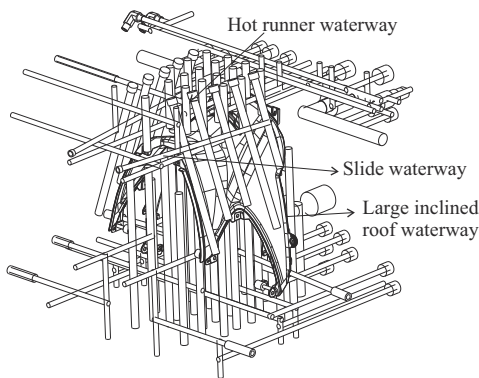


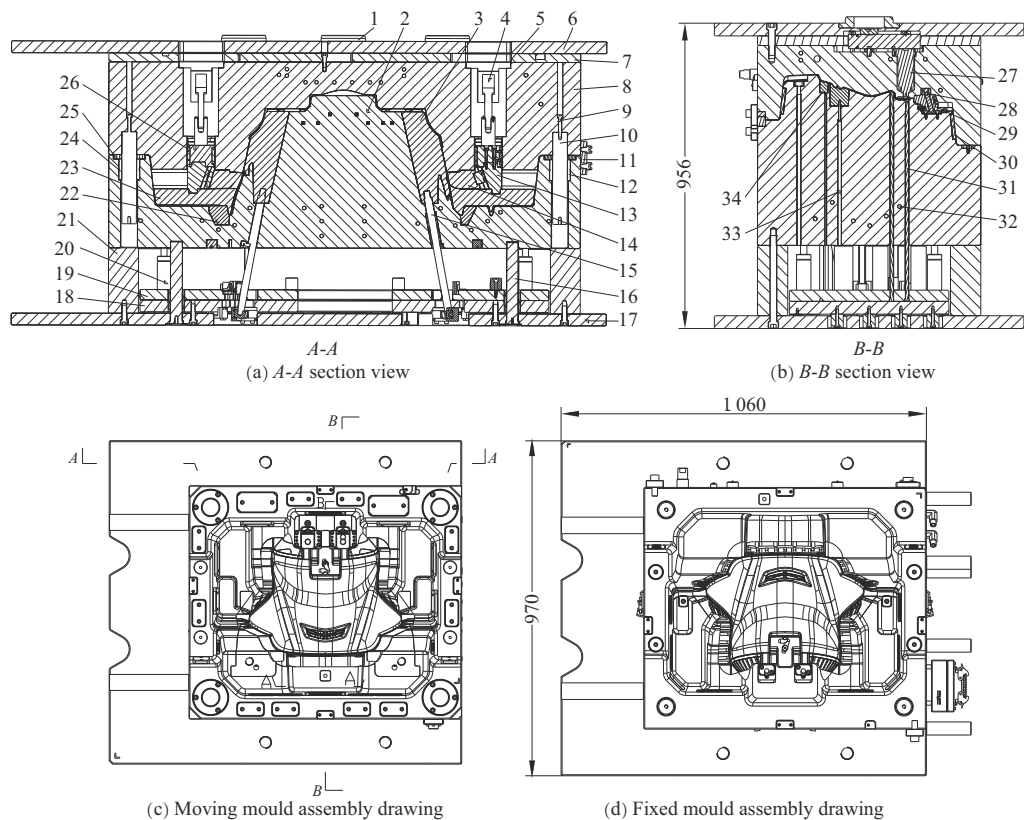
图 13 模具冷却系统

Fig. 13 Mould cooling system

## 4 模具工作原理

摩托车前中心盖注塑模具采用二板模结构形式,其二维装配图如图 14 所示。模具进胶方式采用 3 点针阀式热流道+3 点侧浇口,顶出行程为 100 mm,模具尺寸为  $1\,060\text{ mm}\times 970\text{ mm}\times 956\text{ mm}$ ,前模质量约为 1 580 kg,后模质量约为 2 280 kg,安放在

海天750T注塑机上进行生产,其工作原理如下。



- 1—Positioning ring; 2—Moving mould template; 3—Inclined ejector block; 4—Hydraulic cylinder; 5—Sleeve; 6—Fixed mould seat plate;  
7—Hot runner plate; 8—Fixed template; 9—Internal hexagonal screw; 10—Guide pillar; 11—Transport lock block; 12—Guide sleeve;  
13—Connection block; 14—Oblique slider; 15—Angel ejector rod; 16—Limiting column; 17—Moving mould seat plate; 18—Ejector pin back plate;  
19—Thimble plate; 20—Gas spring; 21—Mold foot; 22, 23—Inlay block; 24, 25, 26—Wear resistant plate; 27—Hot nozzle; 28—Oblique guide pillar;  
29—Slider; 30—Large inlay block; 31—Diagonal ejector rod; 32—Cooling hole; 33—Straight ejector rod; 34—Straight ejector block

图14 模具装配图

Fig. 14 Mould assembly drawing

(1)在注塑机注射系统作用下,塑化好的熔融塑料射入热流道板,在电磁阀精确控制下熔融塑料再通过一级热嘴和二级热嘴射进模具型腔;注射完成后,为保证熔料充满型腔,需要对熔融塑料保持一定的压力。

(2)保压、补缩结束后,在模具冷却系统的作用下,型腔内的塑件逐渐固化,直到塑件末端到浇口附近全部冻结。此时,在电磁阀的控制下,垂直液压油缸开始工作,带动连接块和斜滑块运动,完成T1倒扣区域抽芯。

(3)前模抽芯完成后,在开模力的作用下,模具A板和B板逐渐被打开;在此过程中,斜导柱抽芯机构完成T2区域倒扣抽芯。

(4)动模停止运动后,注塑机顶辊推动顶杆、直顶块和斜顶块开始运动,T3~T6倒扣区域逐渐完成抽芯;当顶出行程达到100 mm时,塑件被顶出,机

械手抓取塑件。

(5)在动模侧4根氮气弹簧驱动下,顶针板和顶针背板先行复位,在4根复位杆导向下精确回到原位,斜导柱抽芯机构和前模液压油缸抽芯机构相继复位,开启下一个循环。

## 5 结论

(1)运用Moldflow 2018软件对塑件进行仿真分析,确定了进胶最佳位置。通过比较两种方案的仿真结果,优选出方案2的3点针阀式进胶方式为最佳方案。

(2)通过设计“垂直油缸+连接块+T形块”的抽芯机构,解决了型腔侧抽芯的难题;用“大斜顶+小斜顶”组合的方式解决了倒扣方向不统一、抽芯空间小及难脱模的问题,使模具结构更紧凑,节约了模具制造成本。

(3)设计了直通式水管、倾斜式水管和隔片式水

井等组成的类似“随形水路”的冷却系统,实践证明,冷却效果较好,模具结构设计先进合理,投产运行后,各机构运行平稳,塑件尺寸精度符合要求,可为同类模具的设计提供思路。

### 参考文献

- [1] 傅莹龙,符立华,叶星辉,等.汽车副仪表骨架大型精密倒装注塑模具设计[J].塑料科技,2023,51(2):79-83.  
FU Yinglong, FU Lihua, YE Xinghui, et al. Design of large precision inverted injection mold for automobile auxiliary instrument frame[J]. Plastics Science and Technology, 2023, 51(2):79-83.
- [2] 袁春霞.基于计算机辅助工程的水路连接器注塑成型优化[J].塑料科技,2022,50(12):85-89.  
YUAN Chunxia. Optimization analysis of injection molding of a waterway connector based on computer aided engineering[J]. Plastics Science and Technology, 2022, 50(12):85-89.
- [3] 王振刚,冯晓娟,高冬冬.基于CAE的长玻纤增强PP空调底座翘曲变形优化[J].塑料科技,2023,51(4):83-87.  
WANG Zhengang, FENG Xiaojuan, GAO Dongdong. Optimization of warpage deformation of long glass fiber reinforced PP air conditioner base based on CAE[J]. Plastics Science and Technology, 2023, 51(4):83-87.
- [4] 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.
- [5] 郭旭,邢飞,王慧儒,等.基于Moldflow的分离罐浇口位置方案分析[J].塑料科技,2023,51(12):70-75.  
GUO Xu, XING Fei, WANG Huiru, et al. Analysis of gate position scheme of separation tank based on Moldflow[J]. Plastics Science and Technology, 2023, 51(12):70-75.
- [6] 谭安平,辛晋渝,刘克威.车用保险杠针阀式浇口顺序进浇数值优化[J].合成树脂及塑料,2022,39(4):55-58.  
TAN Anping, XING Jinyu, LIU Kewei. Numerical optimization of sequential injection of needle valve gate for car bumper[J]. China Synthetic Resin And Plastics, 2022, 39(4):55-58.
- [7] 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.
- [8] MEHAT N M, KAMARUDDIN S, OTHMAN A R. Modeling and analysis of injection moulding process parameters for plastic gear industry application[J]. Isrn Industrial Engineering, 2013. DOI: 10.1155/2013/869736.
- [9] LI Z, WANG X C. A black box method for gate location optimization in plastic injection molding[J]. Advances in Polymer Technology, 2013, 32(Supp1):E793-E808.
- [10] PURBANINGRUM S P. Analysis of injector location and defects of products resulting in the manufacturing of car bumpers using Moldflow software[J]. Indonesian Journal of Multidisciplinary Science, 2022, 1(9):996-1 004.
- [11] GIM J S, TURNG L S. A review of current advancements in high surface quality injection molding: Measurement, influencing factors, prediction, and control[J]. Polymer Testing, 2022. DOI: 10.1016/j. polymertesting.2022.107718.
- [12] 金志伟.基于Moldflow的注塑成型缺陷分析和工艺参数优化[D].宁波:宁波大学,2016.  
JIN Zhiwei. The defect analysis and parameter optimization of injection molding process with Moldflow[D]. Ningbo: Ningbo University, 2016.
- [13] 黄继战,侯世赞,范玉,等.模流分析在汽车后视镜外壳模具设计中的应用[J].塑料科技,2019,47(10):96-101.  
HUANG Jizhan, HOU Shiyun, FAN Yu, et al. Application of mould flow analysis in design of hot runner mould for automotive rearview mirror shell[J]. Plastics Science and Technology, 2019, 47(10):96-101.
- [14] 张留伟,顾赛君,洪维,等.基于CAE技术的带嵌件汽车前段框架大型注塑模设计[J].工程塑料应用,2023,51(2):91-98.  
ZHANG Liuwei, GU Saijun, HONG Wei, et al. Design of large injection mould for automotive front frame with inserts based on CAE technology[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(2):91-98.
- [15] 杨鸿.基于Moldflow的无人机上盖模流优化分析与模具设计[J].中国塑料,2020,34(6):92-99.  
YANG Hong. Moldflow-based optimization analysis and die design of UAV upper cover[J]. China Plastics, 2020, 34(6):92-99.
- [16] 黄可,邹华杰,刘江,等.基于MPI的雾灯盖板高光成型参数优化[J].工程塑料应用,2020,48(8):77-81.  
HUANG Ke, ZOU Huajie, LIU Jiang, et al. Optimization of high gloss forming parameters of fog lamp cover plate based on MPI[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(8):77-81.
- [17] 张留伟,顾赛君,袁博,等.汽车尾翼本体顺序阀热流道大型注塑模具设计[J].塑料科技,2022,50(11):115-119.  
ZHANG Liuwei, GU Saijun, YUAN Bo, et al. Design of large injection mold with hot runner of sequence valve for automobile tail body[J]. Plastics Science and Technology, 2022, 50(11):115-119.
- [18] HUMIENNY R, POSTAWA P, KALWIK A. Analysis of the influence of the mould temperature in the weld line areas on strength of the injection mouldings[J]. Archives of Metallurgy and Materials, 2022, 67(1):325-331.