

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2025.08.019

# 基于纤维取向优化的支架注塑模具设计

叶銜真<sup>1</sup>, 荣星<sup>2</sup>, 曾世勇<sup>1</sup>, 蔡部林<sup>3</sup>

(1.集美大学诚毅学院,福建厦门 361021; 2.集美大学海洋装备与机械工程学院,福建厦门 361021;

3.厦门部林科技有限公司,福建厦门 361100)

**摘要:** 某结构塑件支架材质为聚丙烯添加 15% 玻璃纤维(PP+15%GF),该材质成型时的纤维取向会显著影响塑件产品的力学性能、外观及材料收缩各向异性,塑件 U 形悬臂结构的两只支撑脚外侧特征脱模时因粘模、模具冷却不均匀、顶出不均衡等会产生塑件弯曲、扭曲、尺寸超差等现象。基于 CAE 模流分析得出最合适的 4 个浇口位置,以达到调整纤维取向、材料收缩各向异性的目的,并优化了成型工艺参数应用于注射成型。利用简易三板模的定模板可以活动的特点,设计了定模侧模内抽芯机构,解决了因空间狭小造成抽芯运动受限的问题,该型芯采用铍铜制造,解决了结构导致冷却困难的问题。塑件侧面结构复杂、加强筋多,在传统的动模侧滑块抽芯机构内设计了顶针延时退回机构,解决了塑件支撑脚粘黏滑块型腔问题;为保证合模顺序可靠性,设计了塑件顶出系统强行复位机构,其结构简单、安全可靠。经试验测得成型塑件,在正常加载(600 N)状态下,塑件支架位移最大值/允许最大位移在 X 方向的比值为 0.77, Y 方向的为 0.68, Z 方向的为 0.62,变形量比值在品管监控线 0.8 之内,刚度性能满足设计要求;测得极限承载为 1 200 N。模具经客户实际应用证实生产的塑件品质稳定。

**关键词:** 纤维取向;模流分析;浇口优化;模内抽芯机构;延时退回机构;注塑模具

**中图分类号:** TQ320.66+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2025)08-0148-09

## Design of injection mould for bracket based on fiber orientation optimization

YE Xianzhen<sup>1</sup>, RONG Xing<sup>2</sup>, ZENG Shiyong<sup>1</sup>, CAI Bulin<sup>3</sup>

(1. Chengyi College, Jimei University, Xiamen 361021, China; 2. Jimei University, College of Marine Equipment and Mechanical Engineering, Xiamen 361021, China; 3. Xiamen Bulin Technology Co., Ltd., Xiamen 361100, China)

**Abstract:** The structural bracket is made of polypropylene with 15% glass fiber (PP+15%GF), a material where fiber orientation during molding significantly affects the part's mechanical properties, appearance, and anisotropic material shrinkage; phenomena like warpage, twisting, and dimensional deviations occur due to causes such as the outer features of the U-shaped cantilever's support legs sticking to the mold, uneven mold cooling, and unbalanced ejection. Based on CAE mould flow analysis, the four most suitable gate locations were determined to adjust fiber orientation and anisotropic material shrinkage, and optimized molding process parameters were applied to injection molding production. Utilizing the movable characteristic of the stripper plate in a simplified three-plate mould, an in-mould core-pulling mechanism on the fixed mould side was designed to solve the restricted core-pulling movement caused by limited space. This core was manufactured from beryllium copper to resolve cooling difficulties inherent in the structure. Given the part's complex side geometry and numerous ribs, a delayed retraction mechanism for ejector pins was designed within the traditional moving mould side slider core-pulling mechanism, solving the issue of the part's support legs sticking to the slider cavity. To ensure reliable mold closing sequence, a forced reset mechanism for the part ejection system was designed, featuring a simple, safe, and reliable structure. Experiments on the molded part under normal loading of 600 N show the maximum displacement ratio of the measured displacement and allowable maximum displacement of the bracket is 0.77 in the X-direction, 0.68 in the Y-direction, and 0.62 in the Z-direction. The deformation ratio is within 0.8 of the quality control monitoring line,

**基金项目:** 厦门市科技补助项目(No. 2022CXY0306),福建省高校产学研合作项目(No. 2021H6032)

**通信作者:** 荣星,副教授,主要从事产品及模具设计加工、塑胶成型技术、数控技术研究与应用

**收稿日期:** 2025-06-05

**引用格式:** 叶銜真,荣星,曾世勇,等.基于纤维取向优化的支架注塑模具设计[J].工程塑料应用,2025,53(8):148-156.

YE Xianzhen, RONG Xing, ZENG Shiyong, et al. Design of injection mould for bracket based on fiber orientation optimization[J]. Engineering Plastics Application, 2025, 53(8): 148-156.

confirming stiffness met design requirements. The measured ultimate load capacity is 1 200 N, and application recommendations are provided to the customer, customer feedback from actual usage confirms stable part quality.

**Keywords :** fiber orientation ; Moldflow analysis ; gate optimization ; in-mold core-pulling mechanism ; delayed return mechanism ; injection mould

塑料结构件具有轻量化、低成本和高效批量成型的特点,并能满足复杂几何形状和多样化需求,在航空航天、汽车、工农业和日常生活等领域得到广泛应用<sup>[1]</sup>。由于塑料本身力学性能的限制,其强度和刚度难以与传统金属结构件相比。通过在塑料基体中填充不同比例、不同长度的纤维(如天然纤维、玻璃纤维、碳纤维等)增强材料,可以显著提升塑料结构件的强度、刚度和耐热性<sup>[2-5]</sup>。为满足力学性能的要求,选用纤维增强聚合物基复合材料成型的塑件,在设计阶段可基于其材料参数使用 LS-DYNA, ANSYS, AutoDYN, Abaqus 等商业软件进行 CAE 力学性能静态仿真分析<sup>[6-7]</sup>。但注塑模具结构、成型工艺不同,纤维取向分布会发生变化,而纤维取向是影响塑件力学性能(如强度、刚度及耐冲击性)和外观质量(如浮纤、表面光泽)的关键因素,纤维取向的不均匀性还会导致塑件收缩各向异性、冷却不均匀、顶出不均衡等问题,引发塑件弯曲、扭曲和尺寸超差等缺陷<sup>[8-11]</sup>。为保证塑料结构件的强度,其形状一般都设计的较复杂,并增加较多的加强筋,这些都会增加模具设计加工难度,以及塑料熔体在模具型腔中流动行为的不确定性。模流分析能够预测塑料熔体在模具中的流动行为,尤其是纤维的取向分布,从而为优化模具设计和成型工艺提供科学依据。通过模流分析,工程师可以在模具设计阶段优化浇口位置及数量、流道布局 and 冷却系统,确保纤维在成型过程中取向合理、分布均匀,提高产品的力学性能和尺寸精度<sup>[12-15]</sup>。模流分析还能识别潜在缺陷(如气泡、翘曲和短射),降低试模和修正成本,缩短产品开发周期。

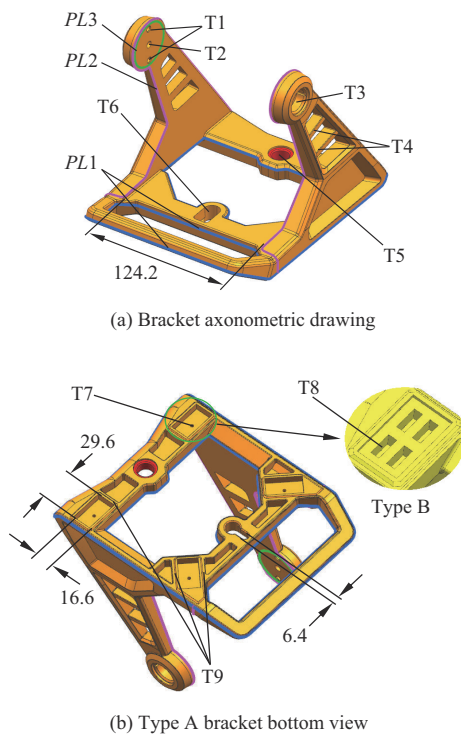
有学者采用 Moldflow-Digimat-Abaqus 或 Ansys 开展联合仿真,对纤维增强塑件刚度、强度、疲劳等性能在理论上进行预测<sup>[16-17]</sup>,从试验上进行验证<sup>[18]</sup>,均表明纤维取向会显著影响塑件力学性能。故笔者以某塑料支架为研究对象,基于 Moldflow 模流分析纤维取向为导向,优化注塑模具设计结构,以实现纤维取向最优分布,保证塑件的力学性能和尺寸精度。

## 1 塑料产品结构及成型技术分析

### 1.1 塑料产品的基本结构及塑料性能

塑料支架最大外形尺寸为 155.6 mm×186.8 mm×

163.1 mm,质量为 344 g,如图 1 所示,支架为对称结构,分为 A,B 型,区别在 4 个 29.6 mm×16.6 mm 长方型沉孔内,A 型长方沉孔中只有 1 个  $\Phi 2.6$  mm 的盲孔,B 型长方沉孔中有 4 个 9.4 mm×3.4 mm 的长方型盲孔。外形六边形  $\Phi 16$  mm 孔嵌件植入动模型腔包塑成型,安装时作为定位固定孔与 M6 螺栓共同起固定作用。支架支撑脚为加强筋加强中间镂空的结构,端部内侧设计 2 个  $\Phi 5.2$  mm 盲孔,内侧  $\Phi 6$  mm 孔与外侧  $\Phi 23.2$  mm 台阶孔贯通。为实现塑料支架底座胶厚均匀,在底面(见图 1b)设计了减胶凹槽,之间用加强筋分隔,以保证其强度。



PL1—Main parting line; PL2—Outward-pulling core parting line; PL3—Inward-pulling core parting line; T1—2- $\Phi 5.2$  mm blind hole; T2— $\Phi 6$  mm through hole; T3— $\Phi 23.2$  mm step hole; T4, T9—Rib; T5— $\Phi 16$  mm insert; T6—M6 bolt hole; T7— $\Phi 2.6$  mm blind hole; T8—4-9.4 mm×3.4 mm blind hole

图 1 塑料支架 3D 图(单位:mm)

Fig. 1 3D drawing of plastic stent (unit:mm)

塑料支架选用的材料为聚丙烯添加 15% 玻璃纤维(PP+15%GF)改性复合塑料,其物理性能结合了聚丙烯的基体特性及玻璃纤维的增强协同效应,

玻璃纤维的弹性模量远大于普通不含玻璃纤维的基体材料,玻璃纤维复合材料的弹性模量和强度主要由玻璃纤维来决定,玻璃纤维在注塑件里取向排列很大程度上决定了该材料在特定方向上的性能,可以通过调整纤维取向使其力学性能得到显著提升<sup>[19-20]</sup>。PP+15%GF 注塑件的拉伸强度为 50~70 MPa,弯曲模量为 2.5~3.0 GPa,长期负载下形变减少,热变形温度为 120~140 °C,耐高温性能显著增强,线膨胀系数降低 30%~50%,尺寸稳定性更好,保留了聚丙烯的耐酸、碱、盐和有机溶剂特性,收缩率为 0.5%~0.8%,但熔体流动速率下降,注塑需提高温度(200~240 °C)和压力,模具设计需优化流道。适用于对力学性能、轻量化有综合需求的场景。

注射成型工艺参数对塑件性能的影响显著<sup>[21]</sup>,PP+15%GF 塑件注塑时,熔体熔融温度为 200~240 °C,需确保材料充分熔融,但避免高温导致玻璃纤维降解或树脂分解;模具温度为 40~80 °C;注塑压力为 70~120 MPa。浇口设计优先采用扇形或潜伏式浇口,减少流动阻力,避免玻璃纤维断裂。

## 1.2 塑件分型及模具结构要点难点分析

该模具设计要点及难点在于:纤维增强塑件的浇口设计关系到纤维取向及分布,对塑件的外观质量、翘曲及缩痕等质量问题产生影响;塑件产品在熔接区域的力学性能通常会低于其它非熔接区域,因此在无法避免不出现熔接痕的情况下,必须通过调整浇口的布置使熔接痕出现在非受力区域;塑件两只支撑脚间距只有 124.2 mm(见图 1a),空间狭小运动受限,定模侧模内抽芯机构的设计问题;塑件为 U 形悬臂结构,两只支撑脚外侧加强筋、 $\Phi 23.2$  mm 台阶孔等特征可能粘黏滑块型腔,引起塑件变形甚至损坏;一套模具能够成型 A、B 型塑件;模具冷却需均衡以免引起塑件变形。

将塑料支架最大投影面边界拓展形成动定模分型面,如图 1 中 PL1 线所示;支撑脚外侧表面、加强筋及大端  $\Phi 23.2$  mm 台阶孔由动模侧抽芯机构成型,其分型线位置如 PL2 所示;支撑脚内侧 2 个  $\Phi 5.2$  mm 盲孔由定模侧模内抽芯机构成型,其分型线位置如 PL3 所示;动模侧抽芯成型支撑脚加强筋、镂空结构,并与定模侧模内抽芯型芯碰穿成型  $\Phi 6$  mm 通孔。根据塑料支架每月需求量,选用一模一腔的布局。

## 2 浇注系统设计

Moldflow 可以通过数字化模拟将“经验驱动”

转变为“数据驱动”,用于优化塑料产品的设计、模具开发和成型工艺,预测潜在问题,减少试模次数,降低成本并提高生产效率。基于此,在模具设计初期,利用 Moldflow 软件进行模拟仿真以期得到成型塑件最优浇口位置、数量及成型工艺。Moldflow 自动分析得出最佳浇口匹配位置,如图 2a 中  $G_0$  所示,该位置位于塑件外侧,对于一模一腔框架结构的塑件支架,从进浇平衡、浇口去除后对塑件外观的影响及模具加工等方面综合分析,其最佳进浇位置应设计在框架内侧。在  $G_0$  对侧(如图 2a 中  $G_1$  所示)设计 2 点进浇作为方案一,进一步设计了 3 点进浇方案二(如图 2b 中  $G_2$  所示)及 4 点进浇方案三(如图 2c 中  $G_3$  所示)。

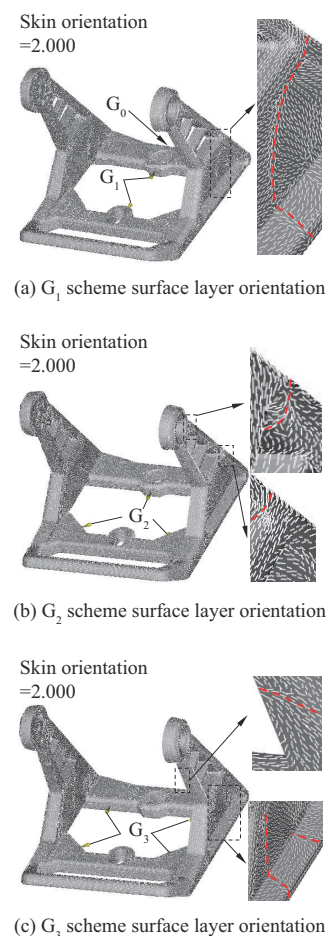


图2 3种浇口方案塑件表层取向

Fig. 2 Surface layer orientation of plastic parts in three gating schemes

以优化后成型工艺参数熔体熔融温度 230 °C、模具温度 50 °C、保压时间 10 s 及冷却时间 12 s 对 3 种方案进行注塑模拟仿真,得出主要参数结果见表 1。表 1 结果表明,3 种方案的缩痕估算基本接近,方案二、方案三的充填时间基本一致,方案二的所用效

应变形优于方案一、三,方案三的速度/压力切换时的 压力、保压压力、锁模力均优于方案一、二。

表1 3种浇口方案模拟仿真结果比较

Tab. 1 Comparison of simulation results for three gate designs

Gate design scheme	Fill time/s	V/P transition pressure/MPa	Holding pressure/MPa	Clamping force/Tonne	Sink mark estimation/mm	Total deformation/mm	Poisson's ratio	Tensile modulus in first principal direction (average)/MPa	Tensile modulus in second principal direction (average)/MPa
Scheme 1	1.725	3.926	3.8	7.2	1.144	1.737	0.439 0	3 707.30	2 111.77
Scheme 2	1.009	3.355	3.3	6.3	1.164	1.479	0.438 9	3 715.73	2 110.21
Scheme 3	1.010	2.910	2.8	5.5	1.155	1.651	0.439 0	3 689.38	2 111.76

Moldflow 模流分析中,“纤维取向”描述的是塑料熔体在充填模具过程中,材料的分子链或纤维(如增强材料中的玻璃纤维)因剪切力和流动方向作用而形成的排列方向。这种取向现象主要发生在靠近模具型腔壁的表层区域称之为表层取向<sup>[22]</sup>,塑件芯部熔体剪切速率较低,纤维受剪切力影响较小,芯部取向排列方向随机或受拉伸流场主导。纤维增强塑料表层取向会显著影响塑件产品的力学性能及外观。通过分析表层取向可预测塑件产品力学性能,取向方向上的拉伸强度更高,但横向可能较弱<sup>[23]</sup>。熔体交汇处(熔接痕)的取向混乱可能导致熔接处结合弱或表面光泽差异变化,在不同材料和不同工艺下的熔接痕的强度可能是非熔接区域的10%~90%,而熔接痕的形成特性就决定了玻璃纤维材料在熔接区域内部不连续,应尽可能的减少零件的熔接痕或者使其出现在非受力区域,防止塑件在使用过程中因为熔接区域的强度不够导致断裂失效<sup>[24-25]</sup>。

图2为基于Moldflow模流仿真分析得出3种方案塑件表层纤维取向分布情况。方案一中,如图2a放大图中红色虚线所示,在支撑脚与基座之间,贯穿熔接痕导致玻璃纤维表层取向杂乱,该区域在受力时产生拉伸变形,会导致局部强度不足。方案二中,如图2b放大图中红色虚线所示,有两处由于熔接痕导致的玻璃纤维表层取向杂乱的贯穿区域,该区域在受力时产生拉伸变形,会导致局部强度不足。方案三中,如图2c支撑脚上部放大图中红色虚线所示,表层取向杂乱但不贯穿,该区域在受力时产生压缩变形,所以不受影响,下部放大图中红色虚线所示,该区域表层取向杂乱而不贯穿,对支架塑件强度有一定影响,但不在主要受力区域。

Moldflow 模流分析中纤维充填取向分析结果还包括泊松比(纤维)、第一主方向上的拉伸弹性模量及第二主方向上的拉伸弹性模量。泊松比是指由第一主要方向上的应力引起的第二主要方向上的应变变量,从表1可见三个方案的平均泊松比基本

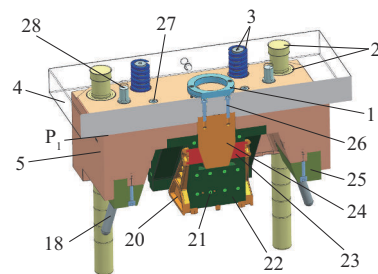
一致。拉伸弹性模量为拉伸应力与拉伸应变的比值;第一主方向指材料局部区域内纤维取向最集中的方向,即纤维取向的主要方向;第二主方向正交于纤维取向的第一主方向。由表1可知,3种方案的拉伸弹性模量值非常接近。

综上分析结果,选择方案三,采用直浇口分4点扇形浇口进胶,流道直径为6 mm圆柱形。可保证支架塑件力学性能,且填充时间短、过程更加均匀,保压压力小,锁模力小,使注塑过程更稳定,产品不容易产生毛边、成型质量更稳定<sup>[26]</sup>。

### 3 模具结构设计

#### 3.1 定模侧模内抽芯机构设计

模架选择简易三板模,定模座与定模板之间运动由导柱导套定位导向。定模侧内抽芯机构设计如图3所示,双斜面楔紧块由2支M8螺栓固定于定模座,定模型腔由8支M10螺栓固定于定模板内,开模时,在定模板与定模座之间4支弹簧作用下,首先在P<sub>1</sub>位置开模,双斜面楔紧块T型斜滑轨驱动一对抽芯型芯沿其轴向同时作内缩移动,实现内抽芯。开模距离由限位杆控制,经计算设定为30 mm。斜导柱由锁模块紧固在定模板内,斜导柱用于驱动动模侧抽芯机构开合模,锁模块起到锁紧动模抽芯机



1—Locating ring; 2—Guide pillar and guide bush; 3—Guide rod and spring; 4—Fixed mold base; 5—Fixed plate; 18—Angled guide pin; 20—Plastic part; 21—Cavity cooling channel; 22—Cavity; 23—Core pull; 24—Double-tapered wedge block; 25—Locking block; 26—M8 Bolt; 27—M10 Bolt; 28—Limit rod

图3 定模装配图

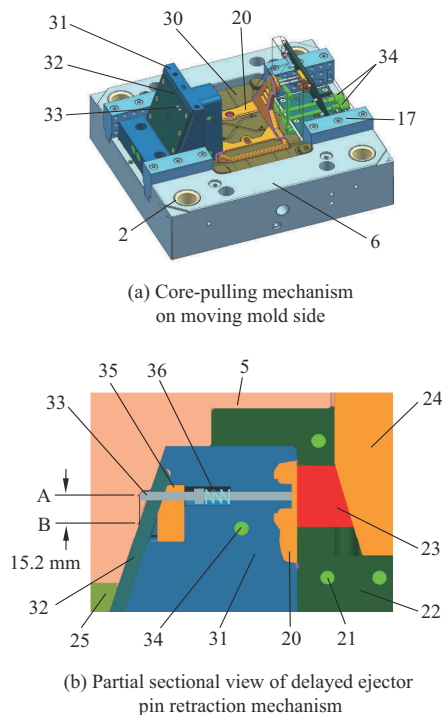
Fig. 3 Fixed mold assembly drawing

构的作用。

### 3.2 动模侧抽芯机构设计

动模侧抽芯机构成型塑件支撑脚外侧形面、加强筋、孔等特征,其结构及装配关系如图4a所示。动模滑块在双斜导柱驱动下,于滑块压板与动模板装配形成的导轨槽内滑动。耐磨块保证模具使用寿命及精度。

为防塑件粘黏滑块型腔,设计了如图4b所示顶针延时退回机构。在 $\Phi 23.2\text{ mm}$ 台阶孔内设计了2支 $\Phi 5\text{ mm}$ 防黏顶针,在定模板锁模斜面对应位置加工 $AB=15.2\text{ mm}$ 平面滑槽(与脱模方向平行);合模后弹簧、防黏顶针处于压缩状态(顶针压在塑件表面),当动定模分离时,滑块型腔脱离塑件形面,而防黏顶针继续顶着塑件表面,并从A向B点滑动,在动定模分开距离 $>15.2\text{ mm}$ ,防黏顶针才沿定模板锁模斜面滑动并逐渐脱离塑件表面。



(a) Core-pulling mechanism on moving mold side

(b) Partial sectional view of delayed ejector pin retraction mechanism

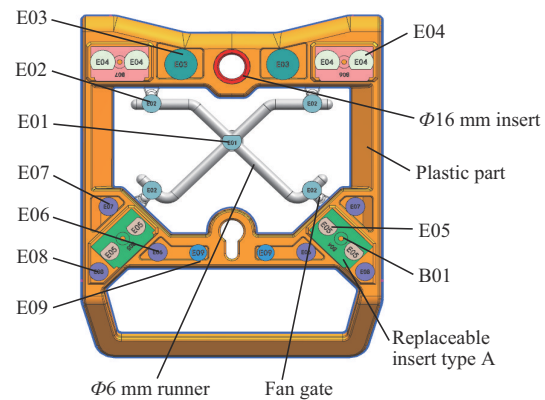
2—Guide bush; 5—Fixed plate; 6—Moving plate; 17—Slider clamp plate; 20—Plastic part; 21—Cavity cooling channel; 22—Cavity; 23—Core pull; 24—Double-tapered wedge block; 25—Locking block; 30—Core; 31—Slider; 32—Wear plate; 33—Ejector pin; 34—Slider cooling channel; 35—Fixed block; 36—Spring

图4 动模装配图(部分)

Fig. 4 Moving mould assembly drawing (partial)

### 3.3 动模侧其它辅助系统设计

(1)塑件采用顶针顶出,按照均匀、对称排布,保证顶出平衡,如图5所示。



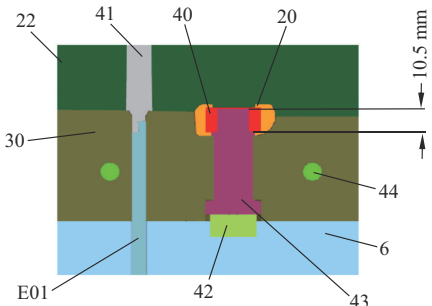
E01— $\Phi 6\text{ mm}$  sprue puller pin; E02— $\Phi 6\text{ mm}$  cold slug puller pin; E03— $\Phi 12\text{ mm}$  ejector pin; E04, E05—Forming insert pins; E06, E07, E08— $\Phi 6\text{ mm}$  ejector pins; E09— $\Phi 5\text{ mm}$  ejector pin

图5 顶针及浇口排布图

Fig. 5 Layout of ejector pins and gates

(2)成型A, B型塑件,只需更换替换镶件组件。A型替换镶件组件包括E04( $\Phi 8\text{ mm}$ 顶针)、E05( $\Phi 6\text{ mm}$ 顶针)及 $\Phi 2.6\text{ mm}$ 镶针;B型替换镶件组件包括 $\Phi 8\text{ mm}$ 扁顶针、 $\Phi 6\text{ mm}$ 扁顶针。

(3)外形六边形 $\Phi 16$ 孔嵌件为定制件,其厚度为 $(11\pm 0.05)\text{ mm}$ ,固定嵌件镶针突出端长度尺寸设计为 $(10.5\pm 0.05)\text{ mm}$ ,如图6所示。在镶针的底部设计了聚氨酯弹簧,以保证合模后嵌件上端面与定模型腔面紧密贴合,达到封胶目的。

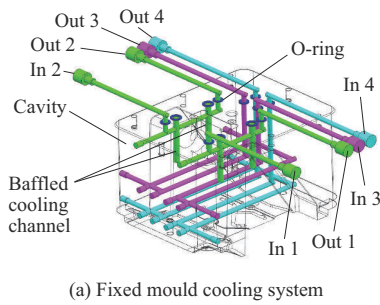


E01— $\Phi 6\text{ mm}$  sprue puller pin; 6—Moving plate; 20—Plastic part; 22—Cavity; 30—Core; 40— $\Phi 16\text{ mm}$  Insert; 41—Sprue; 42—Polyurethane spring; 43—Insert pin; 44—Core cooling channel

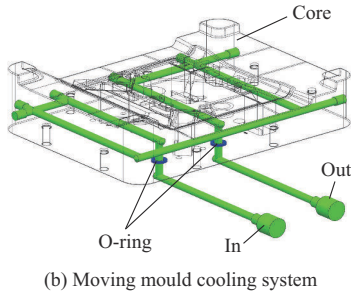
图6 固定嵌件部位剖视图

Fig. 6 Sectional view of the positioning-fixed insert area

(4)定模设计4条直径 $8\text{ mm}$ 从定模板潜入定模型腔的循环冷却水道,如图7a所示,其中水道1,2各串联2支 $\Phi 10\text{ mm}$ 隔片式冷却水井;由于结构原因定模侧模内抽芯型芯无法加工冷却水道,故采用铍铜[导热系数约 $105\sim 200\text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ]加工,实现快速散热。动模设计1条直径 $8\text{ mm}$ 从动模板潜入动模型腔的循环冷却水道,如图7b所示;动模侧抽芯机



(a) Fixed mould cooling system



(b) Moving mould cooling system

图7 冷却系统

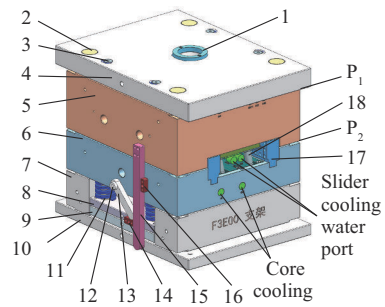
Fig. 7 Cooling system

构设计如图4a所示的直径8 mm循环冷却水道。

### 3.4 模具整体结构及工作过程

塑件顶出系统在复位杆、复位弹簧作用下复位,为防止其失效,设计了强制复位保险机构。如图8所示,插杆固定在定模板侧面,转销、摆杆及挡块16固定在动模板侧面,挡块14固定在顶针固定板侧面。模具开模完成,插杆脱离摆杆,注塑机顶杆推动顶出系统顶出塑件,同步地,挡块14推动摆杆逆时针转动;合模时,如果顶出系统没有复位,插杆插入时将推动摆杆顺时针转动并推动挡块14及顶出系统一起强行复位;挡块16对插杆起导向并防止其偏转的作用。

模具工作过程为:注塑射胶完成经保压冷却,接到注塑机发出的开模信号后执行开模动作,在弹簧3的作用下,定模板与动模部分(含塑件支架)一起后退,模具从 $P_1$ 处实行第一次开模,双斜面楔紧块驱动定模抽芯型芯实现内抽芯, $P_1$ 处开模距离达30 mm后,动模继续后退,在 $P_2$ 处实行第二次开模,同时斜导柱驱动动模滑块组件向模具外侧滑动,实现外抽芯,开模动作完成,插杆完全脱离动模,注塑机顶杆推动顶出系统完成顶出塑件动作。接下来进行合模,顶出系统在复位弹簧的作用下复位,如果出现意外,插杆驱动顶出系统强行复位。模具首先在 $P_2$ 处合模(由于弹簧3的作用),同时斜导柱驱动动模滑块组件合模,然后在 $P_1$ 处合模,同时定模侧模内抽



1—Locating ring; 2—Guide pillar and guide bush; 3—Guide rod and spring; 4—Fixed mold base; 5—Fixed plate; 6—Moving plate; 7—Spacer block; 8—Ejector pin retainer plate; 9—Ejector plate; 10—Moving mold base; 11—Return pin, Return spring; 12—Pivot pin; 13—Swing lever; 14—Stop block; 15—Insert pin; 16—Stop block; 17—Slider clamp plate; 18—Angled guide pin

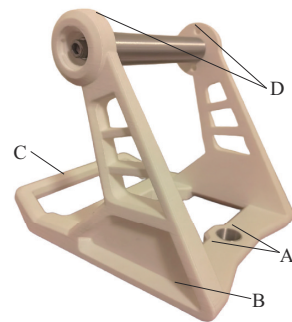
图8 模具轴测图

Fig. 8 Mould axonometric diagram

芯机构合模。进入下一注塑循环。

## 4 试验验证

注射成型的支架实物如图9所示,经观察塑件表面无浮纤层积现象,由于塑件胶厚突变引起的表面缩痕位于A,B部位,最大深度约0.35 mm,最大变形位于C,D部位,在两只支撑脚之间安装金属轴后D部位的变形得到校正,C部位的变形为1.15 mm,塑件质量符合设计要求。



A, B—Indicate shrinkage mark locations;  
C, D—Indicate maximum deformation locations.

图9 支架实物图

Fig. 9 Bracket physical object photo

对支架塑件进行刚度性能试验验证。在进行塑件支架测试试验前,用45号钢加工 $\Phi 20\text{ mm} \times 124\text{ mm}$ 轴,两端M6螺纹孔,将其置于两只支撑脚之间,两端用M6螺栓紧固,准备千分表及固定座3套;按照工作状态将支架组件固定在工作台上,按照图10所示,在45号钢轴上加载力 $F$ ;按下列步骤及要求进行试验。

(1)首先验证正常工作承载 $F=600\text{ N}$ ;(2)逐步增

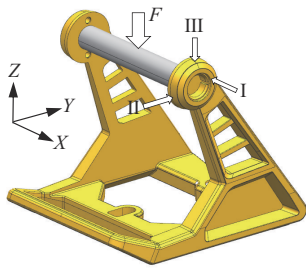


图10 试验加载测试图

Fig. 10 Experimental loading test

加承载力,每次200 N,测得极限承载。

在图10所示I、II、III区(分别对应X、Y、Z方向),用千分表测量最大位移值,反复10次。并记录正常、极限两种状态下最大位移值,见表2。最终测得极限承载 $F=1200$  N。

分析试验数据得出,在正常加载状态下,X方

向位移最大值为0.46 mm,Y方向位移最大值为0.68 mm,Z方向位移最大值为0.62 mm;X、Y、Z三个方向位移最大值在设计的产品管监控线0.8(位移最大值/允许最大位移值)范围之内,满足设计刚度要求。在极限加载状态下,X方向位移最大值为1.10 mm,平均值1.07 mm,已超出允许最大位移值,原因是塑件结构造成X方向失稳;Y方向位移最大值为1.48 mm,平均值1.46 mm,处于设计标准的临界;Z方向位移最大值为1.2 mm,平均值1.16 mm,在产品管监控范围内。

结果表明,在正常加载状态下,塑件支架可以正常安全使用,应避免在极限加载状态下使用。经过小批量生产,客户组装测试满足设计要求后,模具已交付使用,经回访,模具成型动作可靠,塑件质量稳定。

表2 试验数据与标准值比较

Tab. 2 Comparison of experimental data with standard values

Test type	Loading force/N	Test direction	Allowable maximum/mm	Maximum displacement measured value/mm										Result	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		Average
Normal	600	X	0.60	0.44	0.45	0.42	0.42	0.40	0.46	0.42	0.42	0.44	0.46	0.43	Pass
		Y	1.00	0.60	0.64	0.66	0.64	0.61	0.63	0.66	0.68	0.63	0.64	0.64	Pass
		Z	1.00	0.53	0.56	0.54	0.56	0.55	0.56	0.55	0.58	0.62	0.60	0.57	Pass
Ultimate	1 200	X	1.00	1.10	1.08	1.08	1.06	1.00	1.04	1.08	1.10	1.08	1.06	1.07	Out
		Y	1.50	1.48	1.48	1.45	1.46	1.40	1.46	1.48	1.42	1.46	1.48	1.46	Marginal
		Z	1.50	1.20	1.18	1.18	1.12	1.10	1.16	1.14	1.18	1.20	1.16	1.16	Pass

## 5 结论

(1)纤维取向是CAE模流分析中评估材料流动行为和塑件产品力学性能的关键指标。通过分析塑件纤维取向,工程师可以预测产品的力学性能及外观缺陷风险。据Moldflow模流分析结果,设计了最合适的4个浇口,以达到调整纤维取向、材料收缩各向异性的目的,并优化了成型工艺参数,保证了塑件产品质量并降低试模成本,具有明确的工程应用价值。

(2)经试验测得塑件支架,在正常工作(加载力600 N)状态下,X、Y、Z三个方向位移最大值均在设计的产品管监控线0.8(位移最大值/允许最大位移值)范围之内,满足设计刚度要求,并测得极限承载为1 200 N。

(3)利用简易三板模定模板可以活动的特点,设计了定模侧模内抽芯机构,解决了空间狭小问题;其抽芯型芯采用铍铜制造,解决了冷却问题。

(4)塑件支撑脚外侧面结构复杂、加强筋多,在传统的动模侧滑块抽芯机构内设计了顶针延时退回机构,解决了塑件粘黏滑块型腔的问题。

(5)为保证合模顺序可靠性,设计了塑件顶出系统强行复位机构,结构简单,安全可靠。

### 参考文献

- [1] 袁铁军,孙强,吕红明,等.复合材料在汽车防撞梁上的应用研究进展[J].工程塑料应用,2024,52(4):169-174.  
YUAN Tiejun, SUN Qiang, LYU Hongming, et al. Research progress on application of composite materials in automotive crash beams[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(4):169-174.
- [2] 李陵洲,冉宝清,王廷,等.新能源汽车充电小门用玻纤增强PBT/PC复合材料的开发与应用[J].工程塑料应用,2025,53(3):40-47.  
LI Lingzhou, RAN Baoqing, WANG Ting, et al. Development and application of glass fiber reinforced PBT/PC composites for charging port doors of new energy vehicles[J]. Engineering Plastics Application, 2025, 53(3):40-47.
- [3] 喻九阳,张天义,刘博文,等.短切玻璃纤维复合材料有限元模拟及其随机分布快速生成算法[J].塑料科技,2025,53(3):121-128.  
YU Jiuyang, ZHANG Tianyi, LIU Bowen, et al. Finite element simulation of short-chopped glass fiber composites and a fast generation algorithm for their random distribution[J]. Plastics Science and Technology, 2025, 53(3):121-128.
- [4] 苏英霞,陈鑫,乔蒙,等.汽车天然纤维复合材料轻量化技术[J].塑料,2024,53(5):24-27.

- SU Yingxia, CHEN Chu, QIAO Meng, et al. Lightweight technology of natural fiber composite materials for automobiles[J]. *Plastics*, 2024, 53(5):24–27.
- [5] DING Y F, CAMANHO P P, SILVA A. A new quantitative method to evaluate the spatial distribution of fibres in composites: The degree of randomness[J]. *Journal of Materials Research and Technology*, 2023, 26:7 248–7 258.
- [6] 卢卓,李树虎,徐井利,等.连续纤维增强聚合物基复合材料CAE仿真材料参数测试方法[J]. *工程塑料应用*, 2024, 52(12):133–143. LU Zhuo, LI Shuhu, XU Jingli, et al. Test method for CAE simulation material parameters of continuous fiber reinforced polymer matrix composites[J]. *Engineering Plastics Application*, 2024, 52(12):133–143.
- [7] 张守会,孟凡涛.玻纤增强PA6焊机外壳性能的影响因素数值模拟[J]. *工程塑料应用*, 2024, 52(7):87–93. ZHANG Shouhui, MENG Fantao. Numerical simulation for factors influencing performance of glass fiber reinforced PA6 welder shell [J]. *Engineering Plastics Application*, 2024, 52(7):87–93.
- [8] 田科.玻纤增强尼龙复合材料车门拉手座热流道模具设计[J]. *工程塑料应用*, 2024, 52(6):47–54. TIAN Ke. Design of hot runner mould for door handle seat with glass fiber reinforced nylon composite[J]. *Engineering Plastics Application*, 2024, 52(6):47–54.
- [9] 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.
- [10] 黄珍媛,程斌,赵亚萌,等.短切碳纤维增强塑料纤维分布的精细化表征[J]. *复合材料科学与工程*, 2020(3):26–30, 36. HUANG Zhenyuan, CHENG Bin, ZHAO Yameng, et al. Fine characterization of the fiber distribution of short carbon fiber reinforced plastic[J]. *Composites Science and Engineering*, 2020(3): 26–30, 36.
- [11] RAMORINO G, CECHEL S, COMACCHIA G. Effect of fiber orientation and residual stresses on the structural performance of injection molded short-fiber-reinforced components[J]. *Advances in Systems Science and Applications*, 2020, 20(2):1–19.
- [12] 姜旭,毕凤阳,刘长喜,等.基于响应曲面设计的短碳纤维增强塑料注塑成型工艺优化[J]. *合成树脂及塑料*, 2024, 41(6):38–42. JIANG Xu, BI Fengyang, LIU Changxi, et al. Optimization of injection molding process for short carbon fiber reinforced plastics based on response surface methodology[J]. *China Synthetic Resin and Plastics*, 2024, 41(6):38–42.
- [13] 张庆伟.基于多尺度联合仿真技术的注塑结构件的成型优化与轻量化设计[D].南昌:华东交通大学, 2023. ZHANG Qingwei. Molding optimization and lightweight of injection molded structural parts based on multi-scale co-simulation technology[D]. Nanchang:East China Jiaotong University, 2023.
- [14] 左继红,刘丽丽,蔡颂.基于Moldflow对某电器塑料外壳最佳浇口的研究[J]. *模具技术*, 2023(2):46–53. ZUO Jihong, LIU Lili, CAI Song. Research on the optimum gate of an electrical appliance plastic shell based on Moldflow[J]. *Die and Mould Technology*, 2023(2):46–53.
- [15] 刘绘龙,孙文森,吴艳,等. CF/PEEK 注塑充填过程及碳纤维取向分析[J]. *塑料工业*, 2021, 49(11):64–69. LIU Huilong, SUN Wensen, WU Yan, et al. Analysis of CF/PEEK injection filling process and carbon fiber orientation[J]. *China Plastics Industry*, 2021, 49(11):64–69.
- [16] 唐乐.汽车发动机底板护板复合材料塑件的成型工艺优化及多尺度联合仿真[D].南昌:南昌大学, 2023. TANG Le. Optimization of forming process and multi-scale co-simulation of composite plastic parts for automotive engine bottom protection plate[D]. Nanchang:Nanchang University, 2023.
- [17] 代元祥.玻纤增强PA66气门室盖注塑工艺及力学性能优化研究[D].昆明:昆明理工大学, 2022. DAI Yuanxiang. Research on injection molding process and mechanical properties optimization of glass fiber reinforced PA66 valve cover[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2022.
- [18] 项菲菲,郭鹏程,肖罡,等.考虑注射成型特性影响的汽车前端模块结构性能仿真[J]. *塑性工程学报*, 2024, 31(11):195–204. XIANG Feifei, GUO Pengcheng, XIAO Gang, et al. Structural performance simulation of automotive front end module considering influence of injection molding characteristics[J]. *Journal of Plasticity Engineering*, 2024, 31(11):195–204.
- [19] 钱胜.短纤维增强复合材料注射成型工艺优化及力学性能研究[D].重庆:重庆理工大学, 2023. QIAN Sheng. Study on injection molding process optimization and mechanical properties of short fiber reinforced composites [D]. Chongqing:Chongqing University of Technology, 2023.
- [20] GUO G J, KETHINENI C. Direct injection molding of hybrid polypropylene/wood-fiber composites reinforced with glass fiber and carbon fiber[J]. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2020, 106(1):201–209.
- [21] 郑津烁,何继敏,张文武,等.连续纤维增强热塑性复合材料嵌件注射成型研究进展[J]. *工程塑料应用*, 2024, 52(9):178–182. ZHENG Jinshuo, HE Jimin, ZHANG Wenwu, et al. Research progress on insert injection molding of continuous fiber reinforced thermoplastic composites[J]. *Engineering Plastics Application*, 2024, 52(9):178–182.
- [22] 胡鲲鹏,王迪,金鏢,等.微电子元件注塑封装模流仿真工艺优化研究[J]. *中国塑料*, 2025, 39(1):44–47. HU Kunming, WANG Di, JIN Biao, et al. Optimization of simulation process for injection molding packaging of microelectronic component[J]. *China Plastics*, 2025, 39(1):44–47.

- [23] 于洋,卢宇,王夏丹,等.基于纤维填充取向的无人机固定翼浇口位置优化设计[J].塑料科技,2018,46(11):78-80.  
YU Yang, LU Yu, WANG Xiadan, et al. Optimization design of gate location for UAV fixed wing based on fiber filling orientation [J]. Plastics Science and Technology, 2018, 46(11):78-80.
- [24] 姜曙,周俊,王华欣,等.纤维增强注塑熔接线强度预测模型与实验研究[J].工程塑料应用,2024,52(5):81-87.  
JIANG Shu, ZHOU Jun, WANG Huaxin, et al. Prediction model and experimental study of weld line strength in fiber reinforced injection molding[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(5):81-87.
- [25] 谭龙检.玻璃纤维增强塑料的前端模块刚度仿真精度研究[D].长沙:湖南大学,2018.  
TAN Longjian. Research on stiffness simulation accuracy of front-end module of glass fiber reinforced plastics[D]. Changsha:Hunan University, 2018.
- [26] 王星星,施允洋,张杰.基于响应曲面的卡盖双浇口工艺参数优化与模具设计[J].塑料工业,2024,52(1):67-75.  
WANG Xingxing, SHI Yunyang, ZHANG Jie. Optimization of injection process parameters and mold design for card-cover based on the response surface methodology[J]. China Plastics Industry, 2024, 52(1):67-75.