

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2025.07.016

新能源汽车用后保险杠本体注塑模具设计及试验验证

黄可, 邹华杰, 靳敏, 许喆, 许晨晨, 强宇汉

(常州机电职业技术学院, 江苏常州 213164)

摘要: 对某型号新能源汽车后保险杠本体进行模具结构分析, 在避开塑件侧凹及倒扣结构的前提下, 设计组合分型面以满足关键尺寸精度要求。基于 Moldflow 2024 数值模拟软件获得的制品温度场分布及浇口布局分析结果, 针对主流道板设计了不同规格的“U”型截面, 以平衡流道长度, 确保熔体压力均匀分布, 避免滞流或烧焦现象。综合考虑结构强度、运动精度及维护便利性, 在定模侧设计了三种抽芯机构, 顶杆-T型滑槽转向机构、气缸抽芯机构和弹簧延迟开模机构。针对动模侧存在的大量倒扣及侧凹特征, 设计了多组二级斜顶抽芯机构。该机构通过二级斜顶的联动运动实现分阶段脱模, 有效克服了传统斜顶因行程不足导致的脱模失效问题。此外, 设计了由5部分组成的冷却系统, 显著减小了因冷却速率差异引起的制品变形。经试验验证, 成型制品表面无缩痕等缺陷; 各分型线处无飞边溢料, 表明模具制造精度符合要求; 各扣接特征及孔洞特征成型完整, 证实模具设计合理。

关键词: 保险杠本体; 顶杆-T型滑槽转向机构; 气缸抽芯机构; 弹簧延迟开模机构; 二级斜顶抽芯机构

中图分类号: TQ320.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2025)07-0108-07

Design and experimental verification of injection molds for rear bumper bodies of new energy vehicles

HUANG Ke, ZOU Huajie, JIN Min, XU Zhe, XU Chenchen, QIANG Yuhao

(Changzhou Vocational Institute of Mechatronic Technology, Changzhou 213164, China)

Abstract : A mold structure analysis was performed on the rear bumper body of a specific new energy vehicle model. To meet key dimensional accuracy requirements, a combined parting surface was designed under premise of avoiding side recesses and undercut structures in plastic part. Leveraging temperature field distribution and gate layout analysis results from Moldflow 2024 numerical simulation software, various "U"-shaped cross-section schemes were developed for main runner plate. These schemes balance runner lengths and ensure uniform melt pressure distribution, thereby preventing melt stagnation or scorching. Considering structural strength, motion precision, and maintenance convenience, three core-pulling mechanisms were integrated into fixed mold side: a ejector pin-T-type slide groove steering mechanism, a cylinder core-pulling mechanism, and a spring delayed mold opening mechanism. For numerous undercuts and side recesses on moving mold side, multiple sets of two-stage inclined top core-pulling mechanisms were designed. This mechanism achieves staged demolding through coordinated movement of two-stage inclined cores, effectively addressing demolding failures caused by insufficient stroke in traditional inclined cores. In addition, a five-component cooling system was developed, which markedly reduces product deformation induced by uneven cooling rates. Experimental verification demonstrated that molded product exhibited no surface shrinkage marks or other defects; no flash or overflow was observed at any parting line, indicating that mold manufacturing accuracy meets requirements; and all snap-fit features and hole structures were fully formed. These results confirm the rationality of mold design.

Keywords : bumper body ; ejector pin-T-type slide groove steering mechanism ; cylinder core-pulling mechanism ; spring delayed mold opening mechanism ; two-stage inclined top core-pulling mechanism

基金项目: 2025年度江苏省科技智库计划项目(JSKX0125066), 江苏高校“青蓝工程”中青年学术带头人(苏教师函[2024]14号), 江苏省高校自然科学研究面上项目(23KJD230001), 常州市基础研究计划(应用基础研究)项目(CJ20240018), 2025年江苏省科技副总项目

通信作者: 黄可, 高级实验师, 主要从事模具设计研究

收稿日期: 2025-04-24

引用格式: 黄可, 邹华杰, 靳敏, 等. 新能源汽车用后保险杠本体注塑模具设计及试验验证[J]. 工程塑料应用, 2025, 53(7): 108-114.

HUANG Ke, ZOU Huajie, JIN Min, et al. Design and experimental verification of injection molds for rear bumper bodies of new energy vehicles[J]. Engineering Plastics Application, 2025, 53(7): 108-114.

新能源汽车保险杠的设计趋势正从单一防护功能,向智能化、集成化、生态化等方向演进,成为体现整车技术竞争力的关键部件。诸多学者展开了研究,李爽爽^[1]等为降低轻型客车在行驶中的空气阻力,研究了前保险杠导流板迎风角度对整车风阻的影响;吴国荣^[2]等通过对多种品牌汽车保险杠的材料、加工工艺和保险杠造型设计进行分析,探讨了保险杠的轻量化与这三方面因素的关系;赵利平^[3]等设计了一副大型顺序阀控制的汽车后保险杠热流道注塑模具;吴俊超^[4]等建立了轿车前保险杠CAE分析模型。上述研究对保险杠成型设计有一定的启发,但后保险杠两侧大倒扣特征的成型仍是需要解决的关键技术难点。

笔者分析了某型号新能源汽车用后保险杠本体结构,设计了组合分型面,避开塑件侧凹及倒扣结构,保证后保险杠本体关键尺寸精度。设计了定模侧抽芯机构及动模侧抽芯机构,并通过试验检验模具设计的合理性。

1 产品材料及结构分析

某型号新能源汽车后保险杠结构如图1所示。为提升车辆续航能力,该保险杠选用中广核俊尔新材料有限公司的碳纤维增强塑料替代传统钢材^[5],牌号为LGF-P1G6H,其内部填充泡沫吸能材料以增强缓冲性能。通过拓扑优化结构设计,保险杠下部采用更平滑的曲面造型,以优化气流走向^[6],在减少冗余材料实现轻量化的同时,确保碰撞安全性能不受影响;配合电池包后置的布局设计,该区域需覆

盖高压线缆通道,并预留阻燃材料及物理防护层的安装空间。

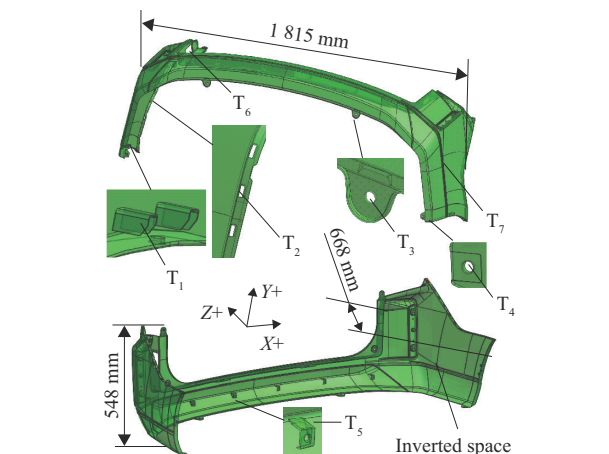
后保险杠外形尺寸为1 815 mm×668 mm×548 mm,最大壁厚为4.5 mm,最小壁厚为2.5 mm,平均壁厚为3 mm。设计上采用贯穿式尾灯与保险杠融合结构,提升了视觉整体性^[7];后保险杠与车身一体化设计有效减少了气流分离现象^[8];集成了自动驾驶雷达传感器安装槽 T_5 ;采用卡扣式接口 T_2 ,便于传感器维修或电池维护,降低后期维修成本^[9]。制品两侧存在较大倒扣空间,无法直接分模成型;同时,制品设有多处定位槽及安装槽且方向各异,因此需要设计多向抽芯机构^[10-12]。

2 成型方案设计

2.1 分型面设计

分型面的合理设计直接影响模具结构复杂度、塑件质量及生产效率^[13]。分型面应位于制品最大投影轮廓处,优先选择平面或简单曲面作为分型面,避免复杂曲面导致加工困难。

结合本制品结构,考虑脱模斜度及分型面与顶出机构(顶针、推板等)位置协调,设计组合分型面,具体如图2所示。避开了塑件侧凹及倒扣结构,保留了塑件重要外观面,避免了因分型面错位导致尺寸偏差,保证了后保险杠关键尺寸精度。分型面呈对称分布,提高了充填平衡性,同时便于模具加工及装配;分型面预留了排气槽,可有效避免成型过程中因困气导致的充填不足或塑件烧焦等缺陷。



T_1 —Locating slot; T_2 —Mounting groove; T_3 —Lateral fixing hole; T_4 —Bottom fixing hole; T_5 —Radar installation slot; T_6 —Trunk lighting installation square hole; T_7 —Full-width taillight installation slot

图1 制品整体结构

Fig. 1 Overall structure of product

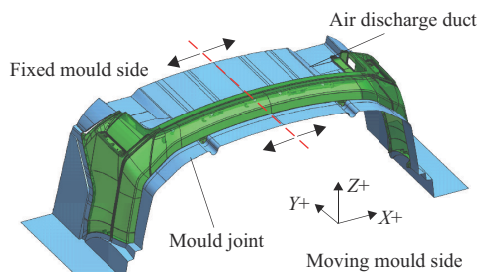


图2 分型面设计

Fig. 2 Design of parting surface

2.2 浇口设计与优化

保险杠熔体流长最大为3 300 mm,平均壁厚为3 mm,若单浇口充填,则熔体流长比为1 100:1,将浇口数量设置为11个,则熔体流长比为100:1,低于碳纤维增强塑料的极限流长比要求。

在Mold Flow 2024数值模拟软件中,初始设置11个注塑位置进行模拟分析,所得结果如图3所示。

模拟显示对称中线处设置一个浇口,对称中线两侧各分布5个浇口。但各充填位置位于制品表面,不符合外观检验要求。根据成型工艺规范,应在制品壁厚较厚处,设计潜伏式侧浇口,保证保压阶段能有效补偿收缩,减少缩痕^[14-16]。以对称中线一侧为例,对各充填位置进行调整,保证熔体以最短路径均匀填充型腔,避免流动不平衡导致的翘曲、缩痕或熔接痕,将浇口位置 $A\sim F$ 分别调整至位置 $A'\sim F'$ (见图4),调整后的浇口位置仍在工艺可接受范围内。

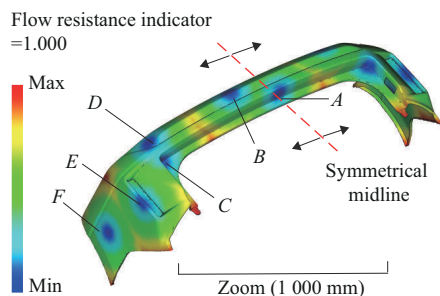


图3 注射位置模拟

Fig. 3 Injection position simulation

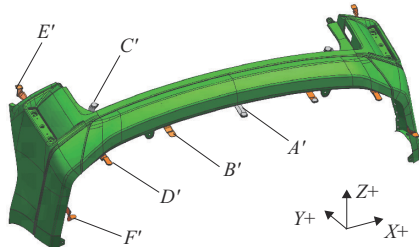


图4 潜伏式侧浇口设计

Fig. 4 Design of latent side gate

2.3 热流道设计

热流道作为塑料模具的独立组件,由第三方公司提供,从模具概念设计阶段开始合作,同步设计热流道系统。

通过Moldflow 2024数值模拟软件,模拟制品温度场分布,避免滞流或烧焦。根据保险杠外形尺寸及分型面布局,设计主流道板,具体如图5所示,主流道板整体选用耐高温合金(H13, 4Cr5MoSiV1)制造,表面镀钛以增强主流道耐腐蚀性;主流道板内根据各浇口分布情况,设计不同规格的“U”型截面,来平衡流道长度,确保熔体压力均匀分布。为防止材料在流道内发生热降解,设计11根针阀式线圈加热器,采用出口温度控制闭环控制方式,各出口温差控制在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内,同时设计伸缩结构,避免高温膨胀导致模具损坏;为适应不同浇口位置,选

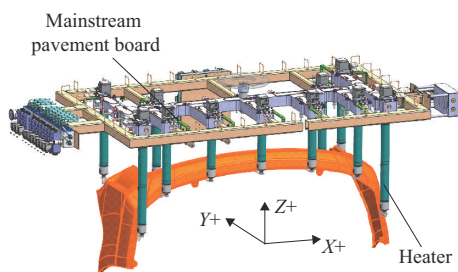


图5 热流道系统设计

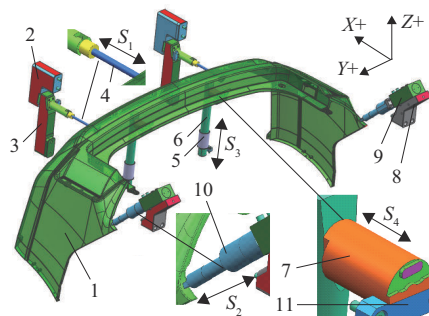
Fig. 5 Design of hot runner system

取整数长度加热器,浇口起点位置通过与针阀式线圈加热器出口位置的精密配合实现微调。

2.4 抽芯机构设计

2.4.1 定模侧孔特征抽芯机构设计

定模侧侧孔抽芯机构的设计需以“可靠脱模”为核心目标,综合平衡结构强度、运动精度、工艺成本及维护便利性。本制品定模侧有6处侧孔,且孔径较小,不适宜设计斜导柱-滑块抽芯机构,因此针对性设计了3组不同结构抽芯机构,具体如图6所示。



1—Product; 2—Shovel base; 3, 6—Ejector pin; 4, 7, 10—Side hole insertion; 5—ejector guide O ring; 8—Cylinder mounting seat; 9—air cylinder; 11—Reset spring limit plate; S_1 —Movement direction of side hole inlet 1; S_2 —Movement direction of side hole inlet 3; S_3 —Movement direction of ejector pin 6; S_4 —Movement direction of side hole inlet 2

图6 定模侧侧孔特征抽芯机构设计

Fig. 6 Design of core-pulling mechanism with side hole characteristics on the fixed mold side

设计顶杆-T型滑槽转向机构,顶杆3向Z+向合模,驱动侧孔入子1作 S_1 向运动,实现侧孔入子1与定模仁闭合,合模后,铲基2牢牢锁住顶杆3,防止因注塑压力导致侧孔入子1后退。设计气缸抽芯机构,保证侧孔入子3,能够与定模模仁精确配合,气缸安装座8的安装面平行于产品侧孔轴线,确保脱模顺畅。设计弹簧延迟开模机构,顶杆6安装在动模板内,底部设有弹簧,能够在开合模间隙,留出缓冲时间;侧孔入子2内也设有复位弹簧,待顶杆6开

模离开,复位弹簧驱动侧孔入子2作 S_4 向运动,实现抽芯。

2.4.2 动模侧抽芯机构设计

动模侧存在大量倒扣特征及侧凹特征,需设计多组抽芯机构,鉴于制品尺寸较大且部分倒扣特征间距较小,设计多组二级斜顶抽芯机构,具体如图7所示。通过二级斜顶的联动运动,分阶段脱模,避免传统斜顶因行程不足或干涉导致的脱模失败,设计3组二级抽芯机构,分别用于成型侧向大倒扣区域及T5雷达安装槽区域。

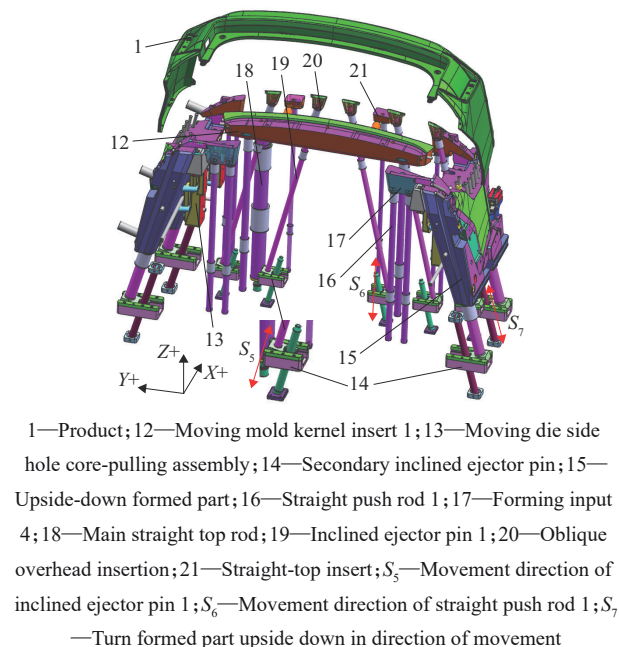
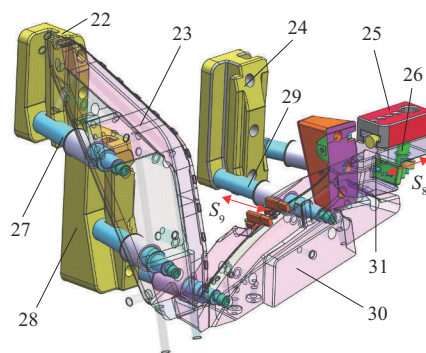


图7 动模侧倒扣特征抽芯机构设计

Fig. 7 Design of side-inverted feature core-pulling mechanism for moving mould

将动模仁分区域设计,划分为动模仁本体区、镶件成型区、倒扣大斜顶成型区。动模仁本体与动模板固定在一起,其上开设斜顶入子20及直顶镶块21的避空槽位;动模仁本体内设置模温调节系统,部分狭小空间设计铍铜散热片。镶件成型区能够开模直接成型,动模仁镶件12下设主直顶杆18,主直顶杆18上安装导套,保证顶出平稳,避免顶出卡死。倒扣大斜顶成型区设置倒扣成型件15,针对该区域的侧孔特征,设计动模侧孔抽芯总成13。

图8为动模侧侧孔抽芯总成设计。为了减小倒扣成型件15脱模时的包紧力,设计动模仁镶件2(23)及动模仁镶件3(30)。倒扣成型件15顶出时,动模仁镶件2(23)及动模仁镶件3(30)保持在原位不动,待定向导轨1(22)及定向导轨2(24)下部变向



22—Directional guide rail 1; 23—Moving muold kernel insert 2; 24—Directional guide rail 2; 25—Inclined guide post fixing plate 1; 26—Slider 1; 27—Side pull rod 1; 28—Directional guide rail 3; 29—Side pull rod 2; 30—Moving mold kernel insert 3; 31—Slider insert; S_8 —Movement direction of slider 1; S_9 —Movement direction of side pull rod 2

图8 动模侧侧孔抽芯总成设计

Fig. 8 Design of side hole core-pulling assembly on moving die side

导轨接触侧抽杆1(27)及侧抽杆2(29),动模仁镶件2(23)及动模仁镶件3(30)与制品分离。

设计斜导柱滑块结构用于成型制品动模侧侧孔。斜导柱固定板1(25)安装在定模,模具开启,滑块1(26)在斜导柱驱动下,作 S_9 向运动,实现滑块镶件31的抽芯。

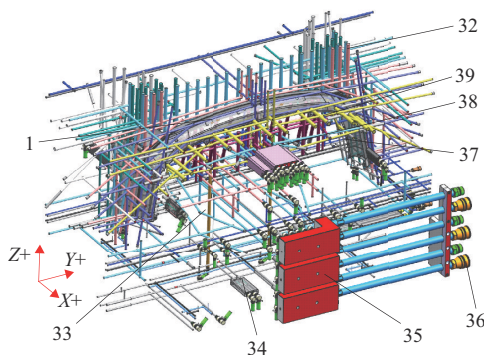
2.5 冷却系统设计

在模具设计中,冷却系统的设计对产品质量、生产效率和模具寿命至关重要;合理的热管理可减少模具热应力,防止模具开裂或变形^[17-18]。

针对模具结构,设计了5部分冷却系统(如图9所示),分别为定模侧冷却系统、动模侧冷却系统、镶件冷却系统、大斜顶冷却系统、斜顶冷却系统。定模侧冷却系统32沿中线呈对称分布,避免因冷却速率差异造成定模侧制品变形,冷却水路直径10 mm,其中心线距制品表面25 mm。动模侧冷却系统33需避开顶针、滑块、斜顶等运动部件,结构相对复杂,针对不能开设常规水路的区域,设置隔水管以快速带走动模局部集中的热量。为了避免水路过长导致水路出口温度过高,通过定模集水排38、动模集水排35、斜顶水路接口34,将多条水路并联,各冷却水路进口通过流速调控,出口通过温度实时检测,实现动、定模及各镶件、斜顶区温度一致,防止产品因局部过热或过冷而导致的收缩不均。

2.6 模具工作流程

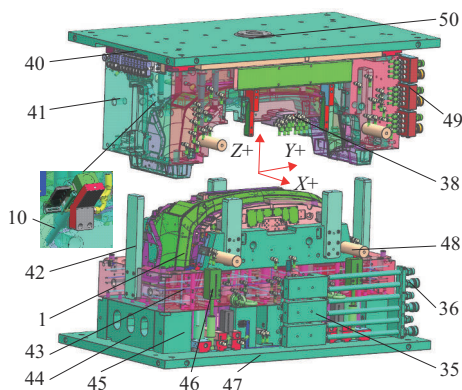
新能源车用后保险杠的动定模装配图如图10所示,模具工作过程如下。



1—Product; 32—Waterway system on fixed mould side; 33—Waterway system on moving mold side; 34—Inclined roof waterway interface; 35—Moving mold water collector; 36—Fast interface; 37—Large sloping roof waterway system; 38—Fixed-mold water collection manifold; 39—Insert waterway system

图9 冷却系统设计

Fig. 9 Design of cooling system



1—Product; 10—Side hole insertion 3; 35—Moving mold water collector; 36—Fast interface; 38—Fixed-mold water collection manifold; 40—Front-panel; 41—Fixed die plate; 42—Fine positioning; 43—Moving template; 44—Support plate; 45—Mold feet; 46—Push plate guide rail; 47—Baseplate; 48—Guard column; 49—Fixed-mould waterway exchange valve; 50—Sprue bush

图10 模具装配爆炸图

Fig. 10 Explosion diagram of mould assembly

2.6.1 合模

注塑机驱动动模向定模缓慢移动,经精定位42约束,确保模具分型面(PL面)初步贴合,避免因高速合模导致模具碰撞发生定位偏差;当模具接近闭合时,注塑机切换至高压模式,通过液压或电动驱动系统施加数千吨的锁模力,使动模与定模完全压紧。

2.6.2 注塑

塑料颗粒通过注塑机料斗进入料筒,在电加热圈和螺杆旋转剪切作用下熔融塑化;螺杆后退并计量熔体量,确保一次注射量的准确性。针对保险杠薄厚差异,分段调整注射速度和压力。

2.6.3 保压及冷却

塑料冷却时体积收缩,保压通过持续补料防止缩痕和内部空洞,消除注塑阶段因流动不均导致的微观缺陷,提升产品力学性能。当熔体填充模腔至95%时,注塑机从注射压力切换至保压压力,同时冷却系统开始工作,冷却介质经快速接口36及定模水路交换阀49,在模具水道内循环,使熔体固化定型。

2.6.4 开模与顶出

模具开模后制品留在动模,开模前,定模侧完成抽芯动作,侧孔入子3(10)等在气缸作用下,先行与制品分离。注塑机驱动动模缓慢后移,使动模与定模初步分离,避免因真空吸附导致产品拉伤;模具分型面完全脱离后,动模快速后退至设定开模行程,缩短生产周期;接近最大开模位置时减速,防止机械冲击。推板经推板导轨46约束,同步驱动斜顶及直顶机构,完成动模侧制品抽芯及顶出。

2.6.5 复位

顶出机构在弹簧驱动下复位,避免下次合模时顶针与模具干涉,模具闭合,进入下一个注塑循环。

3 试验验证

对所设计模具进行试验验证,各部件选材综合考虑耐磨性、强度、导热性、耐腐蚀性等因素。模仁直接接触熔融塑料,选用H13材质,经淬火后硬度达HRC52;各抽芯入子与斜顶选用与模仁相同材质,保证导热系数一致,提高匹配性,其表面经氮化处理,提高表面硬度至HRC60;流道系统引导熔体进入型腔,需经高温冲刷,选用P20材质;浇口套选用SKD61高耐热钢;顶针、顶杆选用SUJ2高碳铬轴承钢,表面镀铬处理以降低摩擦系数,具有优异的耐磨及抗弯曲性能。

具体模具结构如图11所示。定模仁经镜面抛光处理,表面粗糙度控制在 $Ra \leq 0.05 \mu m$,避免了注塑后制品外观面出现流痕、熔接线或光泽不均等缺陷;动模仁侧向区域,通过化学蚀刻形成特定细砂纹理,纹理深度均匀,提升了抗刮擦性和美观度。

成型后的保险杠制品如图12所示。制品表面没有缩痕、银纹、气孔、流痕等缺陷;两侧细砂纹理深度偏差 $\leq 10\%$;尺寸公差经专业检具检测合格,各缝隙透光均匀;各分型线处没有飞边溢料,佐证了模具制造精度达标,各扣接特征及孔洞特征成型完全,验证了模具设计合理。

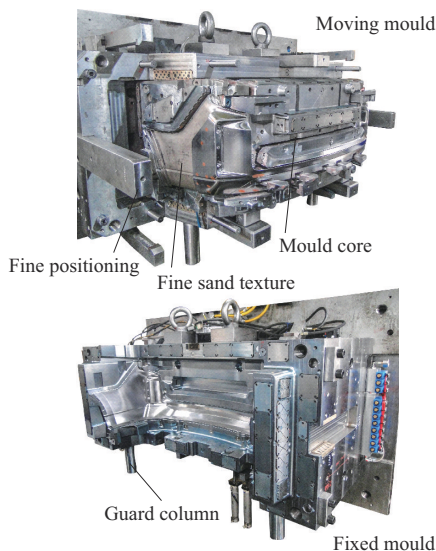


图 11 注塑生产现场的保险杠模具

Fig. 11 Mould of bumper at injection molding production

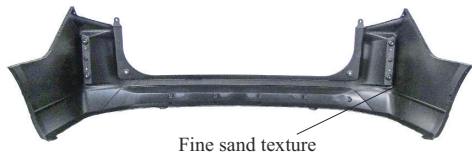


图 12 实际注塑产品

Fig. 12 Actual injection molding product

4 结论

(1)对某型号新能源汽车后保险杠进行了结构分析,设计了组合分型面,避开了塑件侧凹及倒扣结构,保留了塑件重要外观面。通过Moldflow 2024数值模拟软件,模拟制品温度场分布,结合各浇口分布情况,对主流道板设计不同“U”型截面来平衡流道长度,确保熔体压力均匀分布。

(2)综合平衡结构强度、运动精度、工艺成本及维护便利性,设计定模侧抽芯机构,分别设计顶杆-T型滑槽转向机构、气缸抽芯机构、弹簧延迟开模机构,所设计模具的外形尺寸较采用传统斜顶结构的模具大幅减小。针对动模侧的大量倒扣特征及侧凹特征,设计多组二级斜顶抽芯机构,通过分阶段脱模,降低了大行程顶出的故障率,避免传统斜顶因行程不足或干涉导致的脱模失败。设计5部分冷却系统:定模侧冷却系统、动模侧冷却系统、镶件冷却系统、大斜顶冷却系统、斜顶冷却系统,避免了因冷却速率差异造成的制品变形。

(3)经试验验证,成型后制品表面没有缩痕等缺陷,各分型线处没有飞边溢料,佐证了模具制造精度达标;各扣接特征及孔洞特征成型完全,验证了模具设计的合理性。

参考文献

- [1] 李爽爽,宋伟,邹亮,等.前保险杠导流板迎风角度对轻型客车风阻的影响[J].汽车工程,2022,44(11):1 779-1 785.
LI Shuangshuang, SONG Wei, ZOU Liang, et al. Influence of the windward angle of front bumper deflector on the aerodynamic drag of a light bus[J]. Automotive Engineering, 2022, 44(11): 1 779 - 1 785.
- [2] 吴国荣,陈旭辉,黄诗雯.汽车前置保险杠材料造型与安全性比较研究[J].材料导报,2022,36(18):199-205.
WU Guorong, CHEN Xuhui, HUANG Shiwen. Comparative study on material modeling and safety of automobile front bumper[J]. Materials Reports, 2022, 36(18):199-205.
- [3] 赵利平,侯贤州,罗哲,等.汽车后保险杠热流道大型精密注塑模具设计[J].塑料科技,2022,50(12):94-98.
ZHAO Liping, HOU Xianzhou, LUO Zhe, et al. Design of large precision injection mold for hot runner of automobile rear bumper [J]. Plastics Science and Technology, 2022, 50(12):94-98.
- [4] 吴俊超,邵海军,陈爱霞,等.基于CAE分析和熵值法的轿车前保险杠注塑工艺多响应优化[J].工程塑料应用,2023,51(2):74-83.
WU Junchao, SHAO Haijun, CHEN Aixia, et al. Multi-response optimization of injection molding process for front bumper of car based on CAE analysis and entropy method[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(2):74-83.
- [5] 董婧晗,赵一权,张铜柱,等.汽车保险杠用再生聚丙烯材料的性能研究[J].中国塑料,2022,36(12):121-126.
DONG Jinghan, ZHAO Yiquan, ZHANG Tongzhu, et al. Study on properties of recycled polypropylene for automobile bumpers[J]. China Plastics, 2022, 36(12):121-126.
- [6] 钟厉,姚志军,韩西,等.基于遗传算法的碳纤维保险杠注射成型优化[J].塑料,2022,51(5):29-36.
ZHONG Li, YAO Zhijun, HAN Xi, et al. Optimization on injection molding of carbon fiber bumper based on genetic algorithm[J]. Plastics, 2022, 51(5):29-36.
- [7] 陈运胜,孙令真,张勇维.汽车保险杠塑料模具设计[J].塑料,2024,53(5):72-76.
CHEN Yunsheng, SUN Lingzhen, ZHANG Yongwei. Plastic mold design of car front bumper[J]. Plastics, 2024, 53(5):72-76.
- [8] 张留伟,符立华,洪维,等.基于Moldflow的汽车前保险杠大型精密注塑模具设计[J].塑料科技,2024,52(11):130-135.
ZHANG Liuwei, FU Lihua, HONG Wei, et al. Design of large precision injection mold for automotive front bumper based on moldflow[J]. Plastics Science and Technology, 2024, 52(11): 130-135.
- [9] 植才华.汽车保险杠模具结构设计[J].工程塑料应用,2022,50(8):97-102.
ZHI Caihua. Automobile bumper mould structure design[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(8):97-102.
- [10] 黄可,钱子龙,李恒,等.水下连接器灌胶用保持架冷却水路分析及模具设计[J].工程塑料应用,2024,52(8):134-139,153.

- HUANG Ke, QIAN Zilong, LI Heng, et al. Analysis and mold design of cooling waterway of cage for glue filling of underwater connector[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(8): 134–139, 153.
- [11] 余健, 陈龙, 李兴秀. 汽车中控壳注塑模及其五次六元复合斜滑块设计[J]. 工程塑料应用, 2024, 52(4): 108–115.
- YU Jian, CHEN Long, LI Xingxiu. Design of injection mould with five-times six-element composite angle-slider mechanism for the automotive central control shell[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(4): 108–115.
- [12] 黄可, 蒋庆斌, 李兵兵. 进气歧管盖多向抽芯热流道注塑模具设计[J]. 工程塑料应用, 2023, 51(8): 106–111.
- HUANG Ke, JIANG Qingbin, LI Bingbing. Injection mould design of inlet manifold cover multi-core hot runner[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(8): 106–111.
- [13] 黄可, 许成中, 韩志良, 等. 轿车进气弯管多向复合抽芯模具结构设计[J]. 塑料工业, 2022, 50(11): 82–87.
- HUANG Ke, XU Chengzhong, HAN Zhiliang, et al. Structure design of multi-directional composite core-pulling die for car intake elbow[J]. China Plastics Industry, 2022, 50(11): 82–87.
- [14] 黄可, 邹华杰, 钱子龙, 等. 轿车用皮纹后饰条注塑参数优化及试验验证[J]. 中国塑料, 2025, 39(3): 77–80.
- HUANG Ke, ZOU Huajie, QIAN Zilong, et al. Optimization and experimental verification of injection-molding parameters of leather back trim for vehicle[J]. China Plastics, 2025, 39(3): 77–80.
- [15] 黄可, 邹华杰, 许喆, 等. 新能源汽车用防擦条翘曲量田口试验及验证[J]. 工程塑料应用, 2025, 53(3): 127–132, 159.
- HUANG Ke, ZOU Huajie, XU Zhe, et al. Taguchi test and verification of warpage of anti-scratch strip for new energy vehicles[J]. Engineering Plastics Application, 2025, 53(3): 127–132, 159.
- [16] 黄可, 邹华杰, 钱子龙, 等. 汽车用前保险杠注塑参数田口试验及试验验证[J]. 塑料工业, 2025, 53(2): 90–96.
- HUANG Ke, ZOU Huajie, QIAN Zilong, et al. Taguchi tests and test verifications of injection molding parameters of automobile front bumpers[J]. China Plastics Industry, 2025, 53(2): 90–96.
- [17] 王静, 刘浩, 陈川, 等. 注塑模具螺旋式随形水路快速设计技术[J]. 工程塑料应用, 2024, 52(9): 97–103.
- WANG Jing, LIU Hao, CHEN Chuan, et al. Rapid design technology of spiral conformal cooling channels for injection mould[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(9): 97–103.
- [18] 王静, 吴浩杰. 注塑模具随形冷却管道自动生成技术[J]. 工程塑料应用, 2024, 52(5): 121–127.
- WANG Jing, WU Haojie. Automatic generation technology of conformal cooling channels for injection mold[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(5): 121–127.

(上接第 107 页)

- [14] 吴鹏, 王幼民, 刘司诚, 等. 面向注塑工艺参数优化的多元高次回归分析模型建立方法[J]. 塑料工业, 2020, 48(9): 71–75.
- WU Peng, WANG Youmin, LIU Sicheng, et al. Multiple higher order regression analysis model establishment method for injection molding process parameter optimization[J]. China Plastics Industry, 2020, 48(9): 71–75.
- [15] 朱红萍, 王星星. 基于灰色关联-熵权法的座体注塑工艺参数优化[J]. 工程塑料应用, 2024, 52(9): 79–85.
- ZHU Hongping, WANG Xingxing. Injection process parameters optimization of base by grey correlation-entropy weight method[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(9): 79–85.
- [16] 陈禹良, 张俊, 吴何畏, 等. 基于响应曲面法的汽车外饰塑件胶接工艺参数优化[J]. 塑料工业, 2024, 52(8): 89–94, 106.
- CHEN Yuliang, ZHANG Jun, WU Hewei, et al. Optimization of bonding process parameters of automotive exterior plastic parts based on the response surface method[J]. China Plastics Industry, 2024, 52(8): 89–94, 106.
- [17] 周毅, 甘云华, 杨泽亮. 采用多元非线性回归法的生物柴油动力学分析[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2020, 41(7): 1 036–1 042.
- ZHOU Yi, GAN Yunhua, YANG Zeliang. Kinetic analysis of biodiesel based on multivariate nonlinear regression method[J]. Journal of Harbin Engineering University, 2020, 41(7): 1 036–1 042.
- [18] 顾嘉琦, 胡宇宣, 郭永环, 等. 基于均匀试验设计的温控器上盖注塑模具工艺参数优化[J]. 塑料科技, 2017, 45(8): 67–70.
- GU Jiaqi, HU Yuxuan, GUO Yonghuan, et al. Optimization of process parameters of injection mold for thermostat upper cover based on uniform experimental design[J]. Plastics Science and Technology, 2017, 45(8): 67–70.