

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2026.05.016

三色高亮汽车开关倒装注塑模具设计

刘敬祺¹, 严胜义², 胡光良², 张跃飞¹, 温英兰², 潘孝业¹

(1. 浙江工贸职业技术学院, 光电制造学院, 浙江温州 325003; 2. 浙江长江汽车电子有限公司, 浙江温州 325025)

摘要: 某汽车座椅加热开关采用三色结构设计, 以满足智能触控需要, 并且其双色外观面需由皮纹或哑光漆面升级为高亮表面。采用传统正装模具成型时, 塑件外观面易出现串色、印痕等缺陷, 导致成型塑件良品率偏低。为解决该技术瓶颈, 基于Moldflow仿真技术, 建立简易试验模型, 系统分析相关缺陷形成机理, 明确缺陷产生的核心问题。通过优化塑件界面结构、改善成型工艺方案及创新模具设计, 最终确定双工位成型及配套倒装注塑模方案。针对两副子模均采用热流道进料系统, 在动定模上实行差异化控温以保证塑件外观面质量。生产过程中, 双色聚碳酸酯(PC)在第一子模内同时成型外观面, 对应塑件随动模旋至第二工位, 与黑色PC/丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)所成型基体熔合, 搭配“拉料杆+斜顶+扁顶针”的复合脱模机构, 同步完成动模分离、卡扣抽芯与定模顶出等动作, 实现定模侧的平稳顶出。实际注塑生产结果表明, 该模具动作安全可靠、生产效率高、成型质量稳定, 可满足连续大批量生产需求。成型塑件表面无断差、鼓包、印痕等缺陷, 经钢琴漆喷涂处理, 外观质量完全符合高亮表面要求。

关键词: 三色注塑; 高亮表面; 倒装模具; Moldflow模流仿真; 印痕

中图分类号: TQ330.4+1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2026)05-0135-10

Inverted injection mould design for three-color high-gloss automotive switches

LIU Jingqi¹, YAN Shengyi², HU Guangliang², ZHANG Yuefei¹, WEN Yinglan², PAN Xiaoye¹

(1. College of Optoelectronic Manufacturing, Zhejiang Industry and Trade Vocational College, Wenzhou 325003, China;

2. Zhejiang Changjiang Automobile Electronic System Co., Ltd., Wenzhou 325025, China)

Abstract: To accommodate intelligent touch control functions, the automotive seat heating switch was designed with a three-color structure, and its two-color aesthetic surface was required to be upgraded from the textured or matte finish to high-gloss surface. When using traditional standard moulds, defects such as color bleeding and stress marks are prone to occur on the surface of the molded parts, resulting in a relatively low yield rate of qualified molded parts. To overcome the technical bottleneck, a simplified experimental model was developed based on Moldflow simulation technology to systematically analyze the defects formation mechanism and identify the core issue. By optimizing the interface structure, improving the molding process scheme and innovating the mould design, the two-station molding scheme and corresponding inverted injection mould were finally determined. The feeding system with hot runners was adopted in both sub-moulds, and differential temperature control was applied between the moving and fixed mould to ensure the aesthetic quality of the plastic part. During the production, the two-color polycarbonate (PC) materials were used for molding synchronously the aesthetic surface in the 1st sub-mould, then the corresponding molded part was rotated to the 2nd station with the moving side, while the black PC/acrylonitrile-butadiene-styrene plastic (ABS) substrate was fused together in the 2nd sub-mould. A composite ejection mechanism combining sprue pullers, angled lifters and flat ejector pins was adopted to synchronously complete actions such as moving mould separation, buckle core pulling, and fixed mould ejection, achieving stable ejection on the fixed mould side. The actual injection molding production results show that the mould operates safely and reliably with high efficiency and stable quality, meeting the requirements of continuous mass production. The molded plastic parts have no surface defects such as mismatches, bulges or stress marks. After spraying with piano black paint, the appearance quality fully meets the demands for high-gloss surface.

Keywords: three-color injection molding; high-gloss surface; inverted mould; Moldflow simulation; stress marks

基金项目: 浙江工贸职业技术学院先进模具CAX创新团队项目(CX202102), 浙江省教育厅访问工程师校企合作项目(FG2024278)

通信作者: 胡光良, 高级工程师, 高级技师, 主要从事模具工程及成型工艺研究

收稿日期: 2026-02-11

引用格式: 刘敬祺, 严胜义, 胡光良, 等. 三色高亮汽车开关倒装注塑模具设计[J]. 工程塑料应用, 2026, 54(5): 135-144.

LIU Jingqi, YAN Shengyi, HU Guangliang, et al. Inverted injection mould design for three-color high-gloss automotive switches[J]. Engineering Plastics Application, 2026, 54(5): 135-144.

新能源汽车产业正迎来市场体量爆发与技术升级迭代的双重浪潮,2025年全球销量首次突破2 000万辆,同比增长25%,成为汽车工业转型的核心引擎^[1]。伴随“双碳”战略落地,中国新能源汽车产业拥有强劲的政策支撑与发展动能,同年销量达1 290万辆,占全球2/3市场份额,已成为推动全球产业升级的主导力量^[2]。据统计,截至2025年,中国新能源车企超100家,新车型年度投放超300款^[3]。在这种发展趋势下,新能源车企对内饰质感的提升日益重视,致力于将新能源汽车内部空间从单纯驾乘空间升级为沉浸式智能座舱。而在市场竞争日趋白热化的背景下,除动力系统与智驾技术外,兼具科技感与智能化的内饰已成为新能源汽车差异化竞争的关键抓手^[4]。

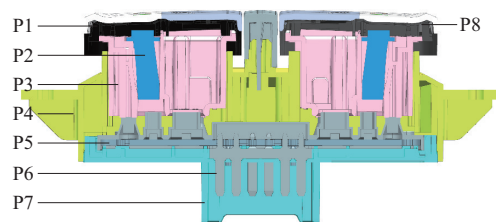
作为智能座舱内饰的典型代表,智能触控类产品集成了光、声、电等多种功能,要求具备稳定可靠的电触发性能,实现字符背光、指示功能,且字符间须无串光、漏光缺陷^[5]。面对上述复杂功能要求,唯有设计多材质复合结构方可满足。因此,多色一体注塑工艺凭借其稳定、高效的生产优势,逐渐替代原有的分体制造工艺被广泛采用。然而,随着客户对于产品质量要求的不断升级,塑件的外观面需要匹配更为精美的表面处理工艺,生产难度也大幅提高^[6]。

座椅调节按钮作为汽车内饰开关的重要组成部分,其外表面以往多数要求为皮纹或哑光喷漆处理。近年来,客户提出将产品表面喷涂钢琴漆,升级为高亮表面的要求。传统正装方案制造的产品,其表面透光区边缘常伴有印痕缺陷,喷漆后亦无法遮盖,无法满足客户的交付要求。针对此类问题,本文以汽车座椅加热开关这一实际产品为研究对象,基于Moldflow软件建立简化分析模型,深入研究印痕缺陷的产生机理及制造方案的优化策略。基于上述研究,并结合实际产品案例,本文进一步阐述了其成型工艺方案及模具设计要点,为同类产品的生产提供实践参考。

1 产品成型工艺

1.1 塑件结构分析

汽车电子内饰件一般采用模块化组装的模式。图1为某汽车座椅加热控制总成的结构示意图。该总成由座椅加热开关、内壳P3、外壳P4及底座P7等部件组成。其中,座椅加热开关是实现人机交互的核心部件,分为左右对称的两种结构(P1、P8),均安



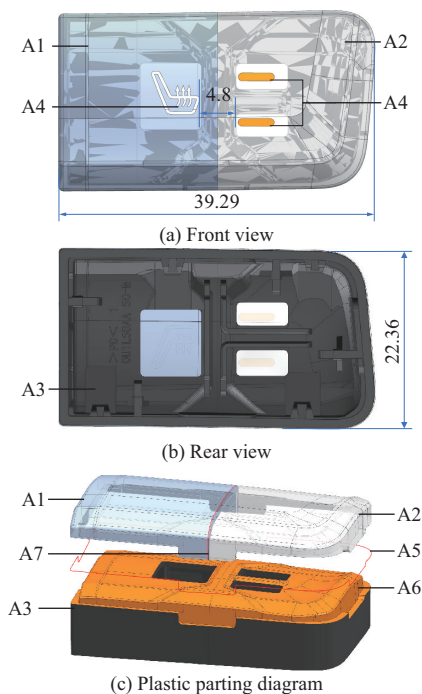
P1—Left seat heating switch; P2—Light guide; P3—Inner shell;
P4—Outer casing; P5—Conductive rubber; P6—Printed circuit board;
P7—Base; P8—Right seat heating switch

图1 汽车座椅加热控制总成结构

Fig. 1 Structure of automotive seat heating control assembly

装于内壳之上。按压开关时,内壳接触下方导电橡胶P5,底座上方电路板P6随之导通,实现加热的开/闭以及挡位调节功能,并点亮对应的LED光源。内壳内设有导光体P2,负责引导光源从开关透光区射出。由于P1、P8为镜像结构,其模具成型方案基本一致,故本文以P8为例,展开详细说明。

右座椅加热开关塑件结构如图2所示,形状近似长方体,适合上下分模,其最大轮廓尺寸为39.29 mm×22.36 mm,高度为11.14 mm,平均壁厚1.4 mm。基于外观与功能的复合要求,采用“黑色基体+透光表层”的复合结构。基体A3选用聚碳酸酯(PC)/丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)(XCY 620,



A1—PC 2807 part; A2—PC LUX2114G part; A3—PC/ABS part;
A4—Pattern area; A5—Parting line; A6—Fusion interface;
A7—Bi-color fusion boundary

图2 右座椅加热开关结构工艺分析图

Fig. 2 Structural and process analysis of right seat heating switch

沙特基础工业公司),内壁设计卡扣用于安装固定,顶面开设三个透光孔洞。为避免塑件出现串光、漏光缺陷,顶面内壁在三个孔洞间设有挡光骨位。透光层覆盖于基体顶面,结合底部光源采用双色结构,分为功能区A1和指示区A2。左侧功能区选用白色透明PC(2807,沙特基础工业公司),底部设白光光源,灯光状态即座椅加热的开闭状态,亮灯呈现背光显示效果;右侧指示区为雾状透明PC(LUX2114G,沙特基础工业公司),底部对应孔洞分别设有两色光源,橙色对应加热高档位,绿光对应低档位,灯光呈现雾化视觉效果。透光层既是塑件的外观装饰面,还兼具防水、防尘功能,其表面粗糙度要求达 $Ra0.2\ \mu\text{m}$,因此成型零件表面需做镜面抛光处理。塑件成型后三色结构需实现牢固结合,表面不得有缩痕、鼓包、印痕等外观缺陷。该塑件“麻雀虽小,五脏俱全”的结构特点,对其塑件成型工艺和模具加工技术提出了近乎严苛的质量要求^[7]。

由于基体与透光层颜色、材质均存在差异,需在两个独立的模腔内分别成型,并以其边界轮廓线A5作为模具分型线。同时,二者的结合界面A6是多色塑件熔合成型的关键表面之一,需结合模流分析对其结构进行优化。塑件成型后,表面需喷涂钢琴漆,再通过镭雕工艺去除图案区A4涂层,以实现透光功能。透光层两种原料材质基本相同,仅颜色存在差异,成型温度均为 $280\sim 320\ ^\circ\text{C}$ 。实际生产时,双色PC在其设计熔合边界A7两侧允许随机分布成型,但最终固化边界应满足串色宽度小于透光图案最小间距 $4.8\ \text{mm}$ 的要求,否则将影响塑件的外观质量。

1.2 成型工艺分析

多色注塑工艺又称为多色/组分注射成型技术,是指两种及以上不同颜色或材质的原料,通过多副模具完成一体化成型的工艺方法^[8]。早期以双色注塑为典型代表。随着技术升级,塑件结构要求日趋复杂,市场对于三色及以上多色注塑产品的需求逐渐增加。目前,市场技术应用成熟的三色/组分注射成型技术主要分为以下两种。

(1)两工位成型:生产仅需要配备两副模具,通过转盘驱动,动模实现两个工位的切换定位(工位夹角一般为 180°),完成2次模具转换。在三组注塑单元中,两组分在一个工位上的同一副模具内实现同步或顺序注塑,第三组分在另一工位模具内成型,一般适用于三组分边界非同时相邻的塑件。

(2)三工位成型:生产需配备三副模具,动模通过转盘完成三个工位的切换定位(任意两个工位夹角一般为 120°),经3次模具转换。三组注塑单元在各自工位模内分别独立注塑,一般适用于三组分边界两两相邻的塑件。

经分析,本文塑件满足“三组分边界两两相邻”的结构特征,原则上应当采用三工位成型工艺。然而,该塑件为精密小型制件,A1、A2外表面共同构成其外观面,且后续表面需喷漆处理,其边界熔合质量在可控范围内不会影响其功能。与双工位相比,三工位成型工艺对转盘控制精度要求更高,配套模具复杂程度及成型精度要求也更高,不仅拉高了设备工装及模具制造成本,而且生产效率较低,易出现外观面断差、熔合不良、应力开裂等问题^[9]。基于以上问题,本文借鉴国内外先进的模具设计经验,选用两工位三色成型工艺,通过模流分析精准控制塑件成型质量。

根据双工位成型工艺,先将部分原料注射成型于动模侧,由转盘将动模转运至第二工位,再次合模完成剩余原料注射成型。传统方案遵循“先成型基体、后成型透光层”的顺序,模具采用正装结构。对于原表面要求皮纹或哑光喷漆处理的塑件而言,该技术方案较为成熟,能够实现稳定大批量生产。然而,近年来各汽车厂商为提升市场竞争力,纷纷提高了汽车内饰表面的质量要求,电镀、真空镀、高光喷漆等先进表面处理工艺在汽车内饰开关等零部件上开始广泛应用。传统正装模具生产的塑件,表面易出现鼓包、印痕等缺陷,且喷漆无法遮盖,难以满足客户的质量要求。

Moldflow 仿真软件能直观、准确呈现熔体流动、保压、冷却全过程,量化揭示缺陷形成机理,有助于探寻制造方案的优化策略。为此,本文参考汽车内饰开关常见结构,建立双色简化模型(图3a),对其结构、选材进行简化处理,仅保留方片层及开口层结构。模型截面尺寸为 $50\ \text{mm}\times 50\ \text{mm}$,开口大小为 $25\ \text{mm}\times 25\ \text{mm}$ 。开口层选用PC 2805,壁厚 $1.0\ \text{mm}$;方片层选用PC 2807,壁厚 $0.8\ \text{mm}$ 。试验共设置两组方案:对照组为传统正装模具方案,先成型开口层,后成型方片层,模腔镶块设于动模,塑件由动模侧顶出;试验组调换成型顺序,先成型方片层,后成型开口层,模腔随之翻转,镶块设于定模,塑件成型后留在定模侧,采用倒装模具。两组模型均设

置冷却系统后(图3b、图3c),导入软件分析,旨在探究不同类型模具及成型顺序对于此类上下重叠透光结构件成型质量的影响。

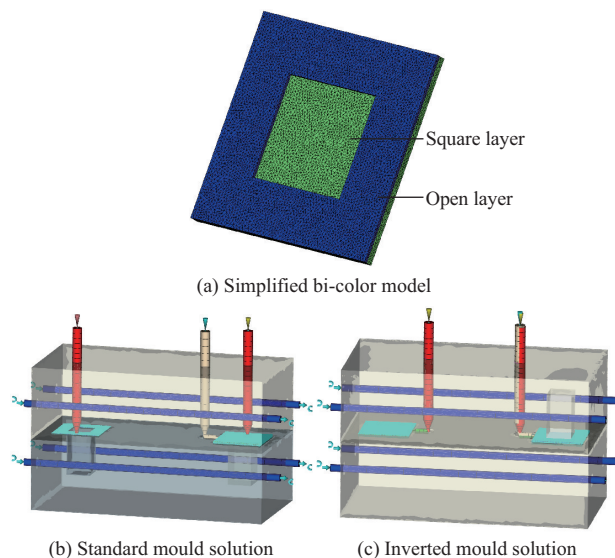


图3 仿真分析模型

Fig. 3 Simulation analysis model

正装模具成型时,方片层壁厚较小,背面与开口层熔合,而中间开口区域及其余表面与模具成型零件、镶件存在大面积接触。塑料的导热系数为金属的1/200~1/600,热膨胀系数却是金属的5~10倍,二者材料性能差异显著^[10]。与其他部位相比,中间开口区热量通过镶块快速散失,温度骤降,导致开口边缘处出现明显的收缩不均现象^[11]。仿真结果如图4所示,证实了上述分析。印痕缺陷实质上正是塑件冷却速率与体积收缩不均,产生残余应力所致,引发局部凹陷或光学特性变化,最终表现为印痕或表面发白、发亮等外观缺陷^[12]。当开口层壁厚越大时,方片层与镶件的接触面积越大,开口处散热越快,印痕缺陷也越严重。

进一步对比两方案方片层中间开口边缘处残余应力分布(图5)发现,由于倒装方案方片层的所有表面仅与成型零件及镶件接触,收缩不均现象并不显著,残余应力差异较小,有利于成型高光表面。以上结果表明,当产品形如该简化模型为上下重叠透光结构时,应优先采用倒装模。本文塑件上部外观面为双色透明PC材质,下部基体为PC/ABS,符合上述条件。若采用正装模具,应先成型基体,其成型温度低于前者,仅为260~280℃,存在重熔串色风险。该塑件外观面质量要求极高,须遵循上述结论开发模具。

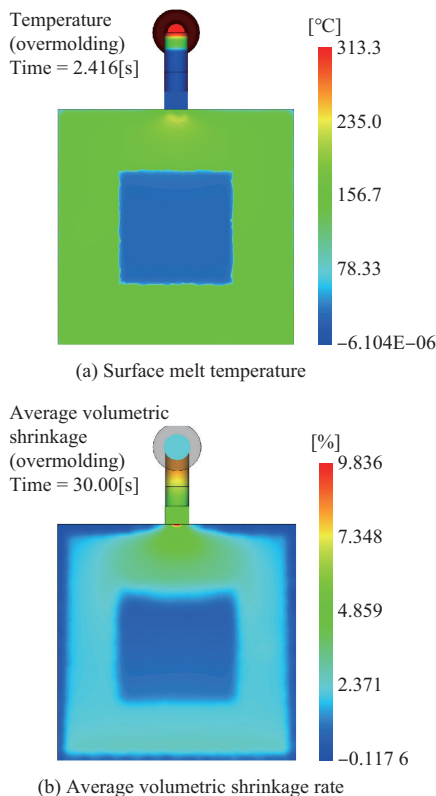


图4 正装重叠注塑仿真结果

Fig. 4 Simulation results for standard overmolding injection

综上所述,最终成型方案采用双工位三色机搭配两套倒装模具生产。双色透光层在第一工位子模内同时注射成型,并留在动模侧,经转盘随同动模一同旋至第二工位重新合模,成型基体于第二子模。以上方案从根源上避免冷却、收缩不均引起的印痕缺陷,并且工艺流程简便,能大幅提高生产效率及产品质量。

2 三色模具结构设计

根据上述方案,设计三色模具应包含两套子模,动模结构相同,第一工位成型双色透光层,第二工位成型基体。塑件外轮廓尺寸适中,要求高亮外观,不允许留有推出痕迹,应选用倒装模架,设计一模两腔,并实现定模顶出^[13],相关设计要点详述如下。

2.1 浇注系统

原料从定模侧注入,但倒装模架应在定模侧设垫块以预留顶出机构活动空间,故必须采用热流道系统进料^[14]。双色原料共注的充填状态与产品外观直接相关,浇注系统需充分考虑材料流动性及结构工艺性,使双色平稳进料,并同时充满型腔,不允许出现迟滞、困气、跑道效应等现象。基于Moldflow分析对塑件及浇注系统进行迭代优化,最终设计如图6所示。

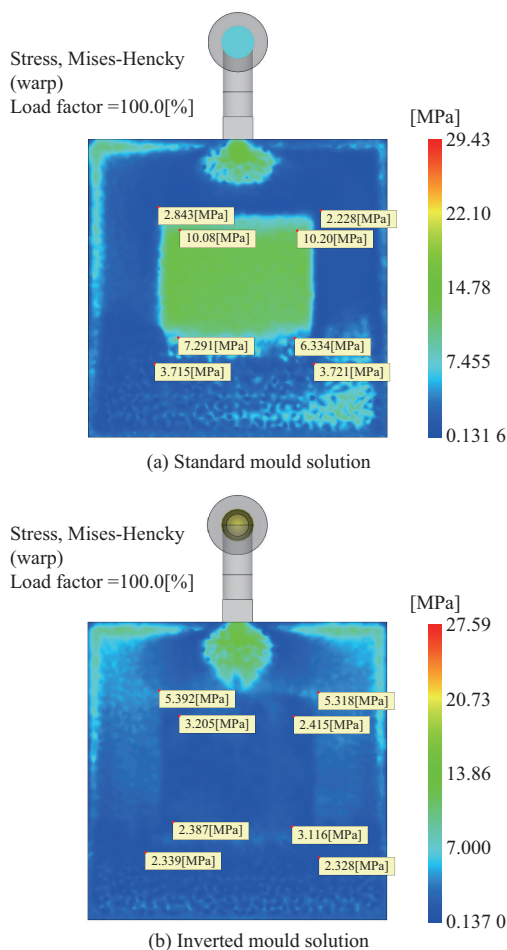


图5 残余应力仿真结果

Fig. 5 Residual stress simulation results

为方便表述,后称 PC 2807 为第一色, PC LUX2114G 为第二色, PC/ABS XCY 620 为第三色。如图 6a 所示,第一色热流道 1 位于两侧,第二色热流道 2 位于中央,随后分为两股。双色原料经各自分流道、浇口一同注入型腔汇流。由于结构功能设计需要,透光层壁厚并不均匀,注塑时易产生湍流,表面易产生困气、鼓包缺陷。因此,注塑过程应控制双色料流低速平稳充模,设计优化详述如下。

(1)在热流道后面均设计有曲折的分流道,以减缓各料流自热流道射出后的充填速度。

(2)于透光层背面在四周侧壁处朝向基体侧设置凸起(如图 2c 所示),对于型腔面应进行同样的减料处理。双色料从该位置经侧浇口引入,遭到定模型芯阻挡,随即转变流向,避免直冲模腔造成串色。前后凸起位在其模腔成型表面向外设有溢流槽,用于容纳多余熔体。

(3)料流自侧壁中央低速注入后,腔内的充填前锋线呈抛物线状。由于注射压力、速度及充填面积

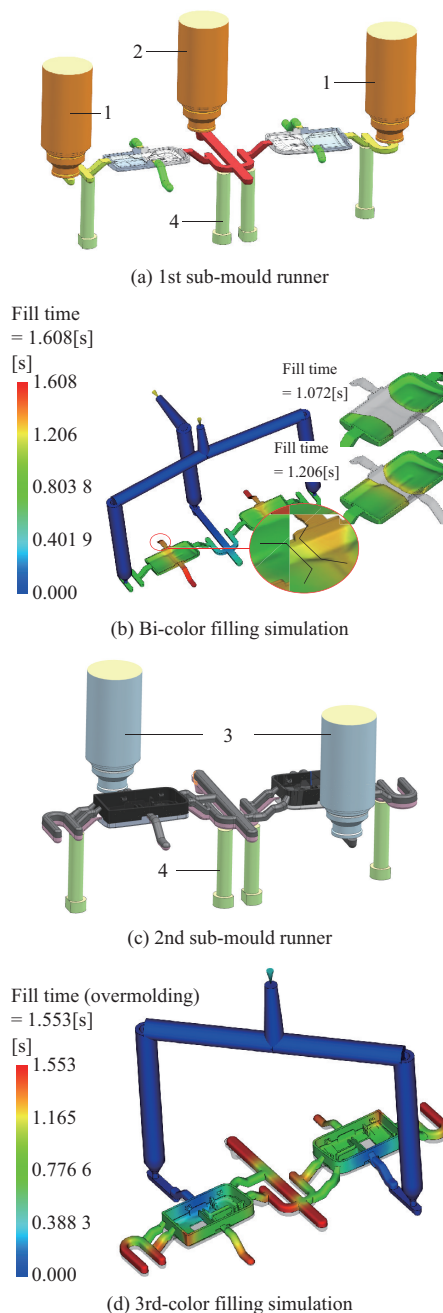


图6 浇注系统及充填分析

Fig. 6 Gating system and filling analysis

等因素存在差异,将有一方先行到达边界。若无干预,先行料流将突入对方区域,形成串色缺陷。为此,于透光层背面在两色熔合界面两侧一定宽度区域减胶 0.5 mm。该区域中间窄、两端宽,形如图 6b 放大图所示的凹陷。模内形成相应凸起,化身“堤坝”,配合两侧溢流槽,实现引流功能。

由图 6b 可知,前沿料流在边界区域附近汇流后,将由中间转向两侧流动,充填状态平稳,无串色、困气等现象发生。此外,透光层动模侧的成型

表面为光滑曲面,塑件成型后应留在动模,因此在其动模侧设计流道及拉料杆,以免后续旋转甩出塑件。

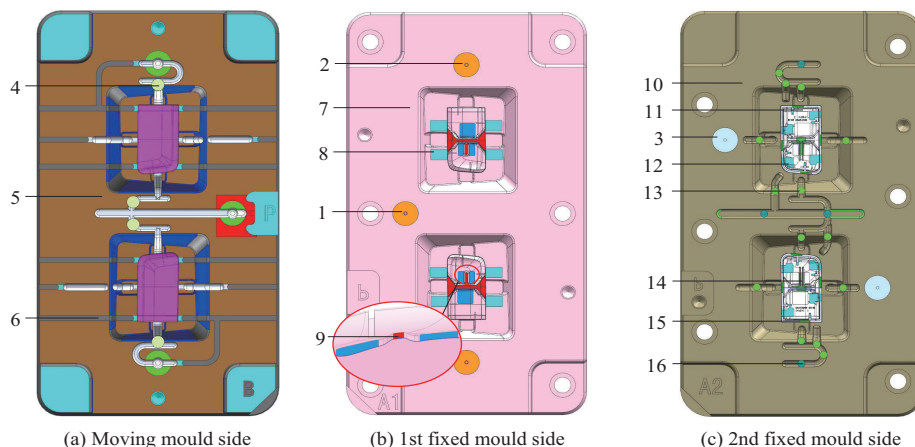
第二子模内,两个型腔的热流道3呈中心对称分布。第三色料流从热流道射出后,需先穿过定模侧分流道,从侧壁潜伏式浇口引入型腔。型腔其余三个侧壁亦向外设有潜伏式溢料槽,便于排出多余熔体。上述流道位置与第1子模保持一致,凝料成型之后融为一体,以便于后续浇口去除。

2.2 成型零件

该模具成型零件由动模型腔、定模型芯及各自

拆分镶件组成,组装结构如图7所示。型芯、型腔的拼合面即分型面,其上设有锥度面作为精定位,并按浇注系统设计加工出热流道孔位及对应流道。

两副子模的动模型腔5结构相同,其成型表面为塑件外观面,故采用整体式结构,以免镶件拼缝影响表面质量。材料选用镜面模具钢2083ESR,含碳量约0.4%,含铬量达12.5%~14.5%,经电渣重熔处理后,纯度极高,组织均匀致密,热处理变形小于0.05%,并具备优异的耐蚀性,能长期保持成型质量及精度。各流道末端在分型面上开设有深度0.3 mm的排气槽,以免深腔困气。



1—4 are same as Fig.6; 5—Moving cavity; 6—Vent slot; 7—1st fixed core; 8—Movable insert; 9—Longitudinal rib; 10—2nd fixed core; 11—Core insert; 12—Angle lifter; 13—Runner ejector pin; 14—Vent insert; 15—Ejector blade; 16—Z-shaped sprue puller

图7 成型零件设计

Fig. 7 Molding parts design

根据双工位的成型需要,两副子模的定模型芯结构应有所不同,但材料统一选用热作模具钢8402。该材料具有良好的淬透性与加工性能,有利于成型基体内部复杂结构。热处理后该材料具备良好韧性、耐磨性及出色高温性能,硬度达48~53HRC,冲击韧性大于20 J/cm²,500~600℃高温环境下拉伸强度为1 200~1 400 MPa,能保证模具长期稳定运行。

第一定模侧由第一定模型芯7及若干镶件组成,其成型表面即为透光层与基体的结合界面。由于塑件A2区为透明材质,其上两个相邻的透光孔洞在输出两色光线时,除设置内侧挡光骨位外,在基体结合界面侧中部介于两个孔洞间的位置朝向透光层设置凸起,形成矮小细长的骨位,以防内部串光现象。透光层亦相应减胶,故第一定模型芯7在图7所示位置设有纵向凸起9。如前所述,此处减胶同样会抑制第二色中部流速,故其宽度不宜过

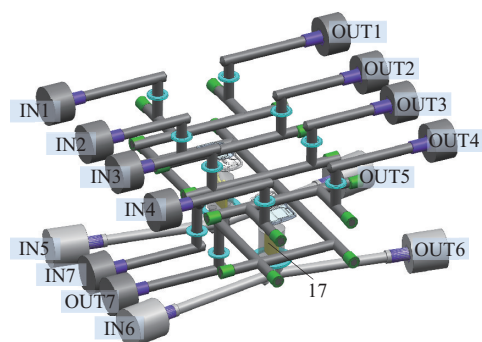
大,否则料流前锋线中部将形成波谷,并在此处产生困气。成型腔壁侧面底部对称设置有4个活动镶块8,利用配合间隙实现深腔排气。镶块底部设有弹簧,成型时受熔体压缩,在开模后将自动回弹,从定模侧顶出塑件,使其留在动模一侧。

第二定模侧由第二定模型芯10、型芯镶件11、成型斜顶12以及排气镶块14共同组成,利用镶件配合间隙作为排气通道。成型基体后,塑件整体留在定模,由定模侧脱模机构顶出。根据脱模需要,型芯上相应位置加工有顶针、拉料杆配套孔位。

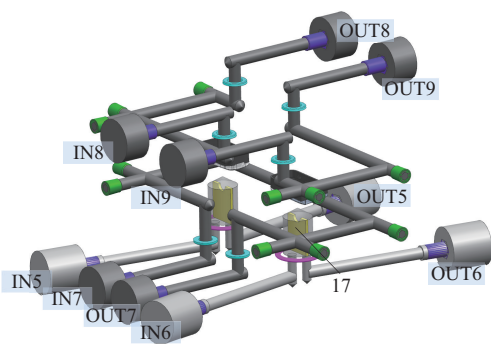
2.3 温控系统

对于表面要求高亮的汽车内饰件,PC是一种优选材料,其拥有优异透光性、抗冲击性和耐候性,被广泛采用。根据材料特性,热流道进料温度为295℃,温控回路如图8所示。

第一定模共设有四组直通回路(IN1-OUT1至IN4-OUT4),每个型芯各设有两组,回路走向与双色



(a) 1st sub-mould temperature control system



(b) 2nd sub-mould temperature control system

IN1-OUT1-IN4-OUT4—1st fixed mould water circuit;
IN8-OUT8, IN9-OUT9—2nd fixed mould water circuit;
IN5-OUT5-IN7-OUT7—Moving mould water circuit; 17—Baffle

图8 温控系统设计

Fig. 8 Design of temperature control system

边界保持一致,自其两侧贯穿型芯。第二定模则共设两组独立回路(IN8-OUT8、IN9-OUT9),环绕模腔轮廓设置,以上回路距离型腔表面的垂直距离均为20 mm,主要起控温冷却的作用。两幅子模的动模结构相同,因此温控回路也相同,同时设有2组隔板水路(IN5-OUT5、IN6-OUT6)及1组井字形水路(IN7-OUT7)。前者隔板孔直径为20 mm,配合隔板17向上引流控温液,距双色边界型腔表面最近处仅10 mm,有效强化控温效果,改善熔合质量。后者距型腔表面15 mm,环绕模腔外轮廓设置,实现整体控温。

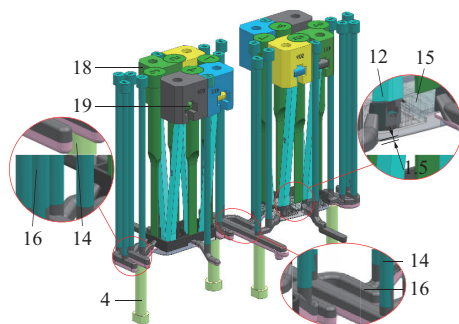
PC分子链刚性大,熔体流动性对温度敏感,冷却收缩显著,并且常伴有收缩不均现象。本塑件的透光层最大壁厚仅1.2 mm,实际模具温度(以下简称模温)达100~110℃,而PC冷却速度适中,能快速定型,并且因高温提升了熔体流动性,进而增强了界面黏合力,这将有助于降低内应力,改善双色融合不良缺陷^[15]。因此,设定动模模温为130℃,实测稳定在100~110℃,这能大幅提升产品外观表面光泽度^[16]。

为提升生产效率,对于定模侧模温应采用低模温^[17]。但透光层为薄壁结构,对翘曲敏感,其变形规

律总是背向高温侧凸起。模温差距过大时,以上变形则更为显著,进而影响产品外观面质量^[18]。第一工位成型时,透光层外观面为高温侧;第二工位成型时,熔接界面为高温侧,两次成型应力与变形方向相反,相互抵消。因此,两幅子模定模温设为70℃,实测稳定在80~90℃,合适的模温差异反而有利于高亮表面成型。

2.4 脱模机构

透光层成型后,由活动镶块8推离定模,受倒锥拉料杆4约束留在动模,旋至第二工位,故第一工位子模无需脱模机构。基体成型后,与透光层合为一体,同时受倒锥拉料杆4及内部卡扣限制,难以直接脱模。因此,第二工位定模侧的脱模机构应兼顾动模分离、卡扣抽芯与塑件顶出的功能^[19],设计如图9所示。



4 is same as Fig.6; 12, 14-16 are same as Fig.7; 18—Angle lifter slider;

19—Rolling element

图9 脱模机构设计

Fig. 9 Ejection mechanism design

首先,在第二工位的模腔两侧及中间的溢流槽上方设置Z形拉料杆16。两副子模的凝料在成型后已融为一体,上述溢流槽下方即为动模侧的流道。相比动模侧约束,Z形拉料杆的牵拉作用更强,通过强制拔出倒锥,实现动模的可靠分离。

其次,基体内壁的4处卡扣存在1.5 mm倒扣量,应设斜顶机构实现抽芯。斜顶12倾斜角 α 为6°,其顶面与型芯镶块平齐,共同构成基体的成型内表面。整套脱模机构的顶出行程 H 设为25 mm,根据斜顶抽芯距 S 计算公式得到 $S=H \cdot \tan \alpha \approx 2.6$ mm,卡扣能顺利脱模。斜顶12底部设有滑座18及滚动体19,有效降低其侧向摩擦阻力,顶出时实现平稳的相对滑动^[20]。

最后,塑件四个侧壁表面设有扁顶针,其余流道、溢流槽的上表面均匀设置圆顶针,接收脱模信号后,各顶针同步动作,完成塑件与凝料的同步顶出。

上述所有脱模零件均安装于推杆固定板上,并随其往复移动。脱模过程中,潜伏式浇口随塑件顶出实现自动拉断,其余侧浇口处的凝料通过配套工装剪断后回收待用。

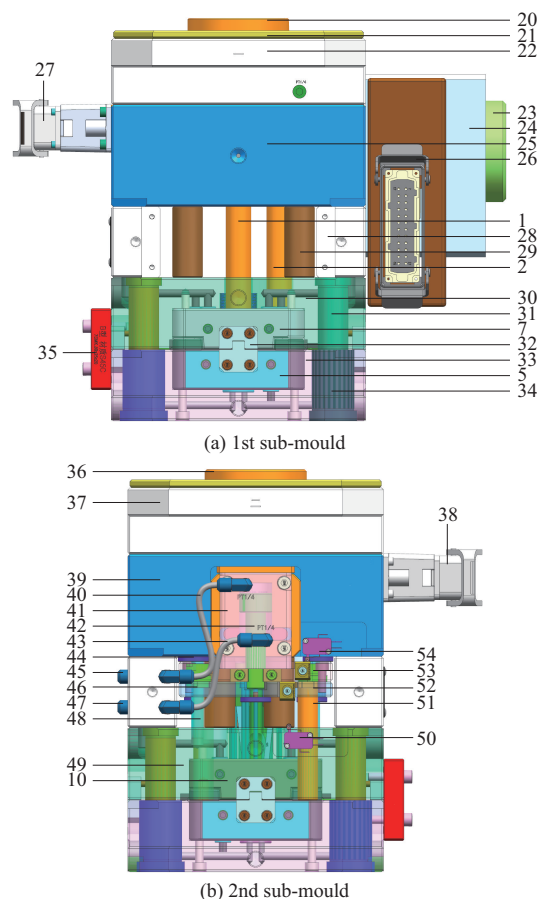
3 模具工作原理

基于上述模具结构设计,两副子模整体结构基本一致,均需设置专用热流道板确保料流温度稳定。为有效控制模具整体高度,本次设计采用简化式模架,取消动模座板,由动模板替代其承载与定位功能。模具整体尺寸为450 mm×250 mm×395 mm,其总装结构如图10所示。本塑件注塑生产采用双工位立式三色注塑机,其中第一工位除顶部常规喷嘴供料外,额外增设侧喷嘴进料,用于双色透光层的共注射成型,第二工位则通过单一喷嘴实现黑色PC/ABS基体注射成型。结合产品注塑生产的实际流程,该模具的工作原理详述如下。

(1)生产准备阶段。两副子模的定模均通过第一定模座板22、第二定模座板37安装于各自的工位,动模部分通过动模板33与转盘相连,后续生产中动模能随转盘转动实现两工位间的精准互换。之后,精准调节各浇口套轴线与注塑机喷嘴保持一致,连接外接接线盒26、27、38,启动其热流道板加热系统,并设定保温温度,确保原料流动性。为防止热流道的热量通过注塑机模板大量外溢造成能量损耗,在定模座板上增设隔热板21。正式生产前,完成模具与温控设备的连接,第二子模还需通过顶出/回位接头45、47外接液压设备。调试各系统运行正常后,即可进入待生产状态。

(2)双色共射阶段(第一工位)。模具闭合后,注塑机向第一色浇口套20、第二色浇口套23分别注入PC 2807及PC LUX2114G。熔体在热流道板25内保温,直至接收充填指令,受注射压力作用顶开针阀,通过各自热流道1、2注入第一子模型腔,经保压冷却,完成双色透光层的共注射成型。第一子模开模后,透光层受倒锥拉料杆4的牵拉作用留在动模,无顶出动作,等待转盘切换工位。

(3)基体注塑阶段(第二工位)。转盘将动模及透光层精准旋转至第二工位,等第二子模合模到位后,由注塑机向第三色浇口套36注入PC/ABS XCY 620熔体,经热流道板39、热流道3注入第二子模型腔,与透光层熔为一体。随后第二子模开模,发出脱模信号。液压油经进油管40注入液压油缸41,推



- 1—2 are same as Fig.6; 5, 7, 10 are same as Fig.7; 20—1st color sprue bushing; 21—Insulation plate; 22—1st fixed mould clamping plate; 23—2nd color sprue bushing; 24—Side nozzle fixing plate; 25, 39—Hot runner plate; 26, 27, 38—External junction box; 28—Pad; 29—Support pillar; 30—1st fixed mould plate; 31—Guide pillar; 32—Rectangular locating piece; 33—Moving mould plate; 34—Guide bushing; 35—Lock block; 36—3rd color sprue bushing; 37—2nd fixed mould clamping plate; 40—Inlet pipe; 41—Hydraulic cylinder; 42—Piston; 43—Return pipe; 44—Limit pin; 45—Ejector joint; 46—Ejection guide bush; 47—Return joint; 48—Ejection guide pin; 49—2nd fixed mould plate; 50—Position stroke switch; 51—Ejector return pin; 52—Ejector pin retainer plate; 53—Ejector plate; 54—Return stroke switch

图10 多色模具总装机构

Fig. 10 Three-color mould assembly mechanism

动活塞42与推板53同步下移,驱动脱模机构完成抽芯与顶出动作。脱模行程达到25 mm后,推杆固定板52上的撞块触发顶出到位行程开关50,发出取件信号,机械手精准抓取塑件并送至指定区域。取件完成后,液压系统反向供油,液压油经回油管43进入油缸,驱动脱模机构复位。

(4)交换合模阶段。第一工位的双色共注射与第二工位基体注塑为同步进行的联动工序。第二工位完成基体注塑、脱模及复位的同时,第一工位

完成新一轮双色透光层的共注射成型与开模动作。转盘带动两个动模实现循环互换,随后两个工位同步合模。第二子模内,分型面压实复位杆 51 的端面,推板 53 上的撞块触发回位行程开关 54,发出合模到位信号,启动新一轮生产循环。

按照上述过程,不计入生产准备及设备调试时间,塑件完整成型周期约 60 s。双工位交替工作,每次开模产出 2 个塑件。据统计,单台设备单日可有效生产塑件达 1 600 余件,满足大批量生产需求。

4 成型质量分析

采用上述优化后的成型工艺方案及设计的模具进行汽车座椅加热开关注塑生产,塑件成型质量如图 11 所示。由图 11 可知,塑件的三色原料熔合良好,无熔接痕、分层等缺陷;各部位尺寸收缩均匀,无断差、翘曲等缺陷。透光层的双色边界过渡平顺、线条较平直,串色现象得到有效抑制,宽度控制在 4.8 mm 以内,未对其透光性能产生不利影响。透光区域边缘的应力集中现象亦得到有效改善,未见明显应力收缩痕迹,表面平整度良好。外观面的表面粗糙度达到镜面标准,使用钢琴漆喷涂表面后,表面光泽度与质感进一步提升,整体呈现高级感与科技感,完全符合客户对高亮表面的设计要求。

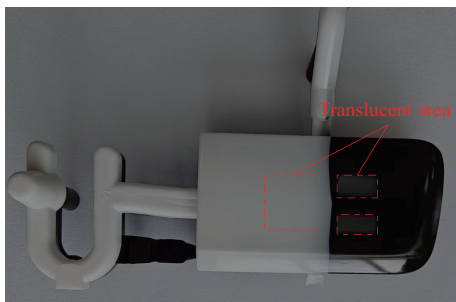


图 11 塑件成型质量

Fig. 11 Plastic product molding quality

在保证塑件成型质量的前提下,上述方案还实现了双色透光层与基体一体化连续生产,生产效率比分体式制造工艺有了大幅提升。模具采用热流道浇注系统,有效减少了原料浪费,凝料回收利用率。脱模、换模等动作均实现自动化,大幅降低人工操作强度,生产过程的稳定性与可靠性得到显著提升。以上成型工艺方案优化以及模具设计创新相结合的技术实践,为多色、高亮汽车内饰件一体化注塑生产提供了成功案例,尤其适用于各类汽车开关、装饰面板等精密塑件批量生产,应用前景广阔。

5 结论

(1)针对汽车座椅加热开关多色复合结构、高亮表面的设计特点,分析确定其分型面及开模方向,得出控制其表面串色、印痕缺陷的技术难点。基于产品功能及成型工艺需要,对塑件界面结构进行优化设计:在透光层四周侧壁增设朝向基体的凸起、在基体界面中部增设朝向透光层的挡光骨位。上述结构优化经 Moldflow 仿真分析与生产验证,塑件成功实现了防水、防尘、防串光功能,料流充填状态也得以改善,双色熔合的串色宽度控制在字符最小间距以内,满足产品需要。

(2)结合三色注塑技术的发展现状,对比了两种成熟工艺的技术特点、适用场景及制造成本,明确了双工位成型工艺对本塑件批量生产的适用性及优势。针对传统正装模具容易产生印痕缺陷的问题,利用 Moldflow 建立正装、倒装两组模型,通过研究塑件冷却、收缩及残余应力分布规律,揭示正装印痕缺陷形成机理,并验证倒装方案的可行性。最终确定了双工位三色注塑机搭配倒装子模的成型方案,从根源上避免了印痕缺陷的产生。

(3)基于塑件结构及成型方案,完成了多色高亮汽车座椅加热开关倒装注塑模的整体设计。两套子模均采用简化倒装模架,配备热流道系统与分区控温回路,动模型腔、定模型芯分别选用 2083ESR 与 8402 模具钢,并搭配复合脱模机构,同时完成动模分离、卡扣抽芯及定模顶出动作。实践表明,该模具可靠、稳定,成型质量优异,塑件无断差、鼓包、印痕等缺陷,符合客户设计要求,且生产效率高、综合经济效益好,可为同类型产品模具设计提供重要的工程参考。

参考文献

- [1] UDENDHRAN R, MOHAN T R, BABU R, et al. Transitioning to sustainable E-vehicle systems—Global perspectives on the challenges, policies, and opportunities[J]. Journal of Hazardous Materials Advances, 2025, 17. DOI:10.1016/j.hazadv.2025.100619.
- [2] 瞿国春,赵世佳,王建斌.我国新能源汽车产业高质量发展战略研究[J].中国软科学,2025(6):1-7.
QU Guochun, ZHAO Shijia, WANG Jianbin. Research on the high-quality development strategy of China's new energy vehicle industry[J]. China Soft Science, 2025(6):1-7.
- [3] LI Y, LI Q T, SHI J W. Effects of dual-credit policy on electric vehicle diffusion under subsidy transfer: A multi-stakeholder perspective[J]. Environment, Development and Sustainability, 2025. DOI:10.1007/s10668-024-05926-2.
- [4] JIANG T Y, QIN M, SU Y H, et al. Nexus of energy transition and

- climate change: Novel evidence from electric vehicles[J]. *Emerging Markets Finance and Trade*, 2025, 61(12): 3 724–3 741.
- [5] ZHAO X L, LI X M, WU Y Z, et al. Assessment of the effects of China's new energy vehicle industry policies: From the perspective of moderating effect of consumer characteristics[J]. *Environment, Development and Sustainability*, 2025, 27(2): 4 319–4 340.
- [6] 左晓超. 电镀工艺与装饰设计的融合探索[J]. *电镀与精饰*, 2024, 46(7): 120–121.
- ZUO Xiaochao. Exploration on the integration of electroplating technology and decorative design[J]. *Plating and Finishing*, 2024, 46(7): 120–121.
- [7] 杨剑萍, 肖国华, 冯振礼, 等. 汽车尾灯灯罩三色成型方法及模具结构设计[J]. *塑料*, 2022, 51(1): 84–88, 110.
- YANG Jianping, XIAO Guohua, FENG Zhenli, et al. The three-color forming method and mould structure design of the lamp cover of automobile back-lamp[J]. *Plastics*, 2022, 51(1): 84–88, 110.
- [8] 姚震, 郭国俊, 于程程, 等. 汽车三色尾灯面罩注塑模具设计[J]. *工程塑料应用*, 2025, 53(12): 136–142.
- YAO Zhen, GUO Guojun, YU Chengcheng, et al. Design of injection mould for automobile tricolor taillight mask[J]. *Engineering Plastics Application*, 2025, 53(12): 136–142.
- [9] 王健懿, 杨卫民, 储能奎, 等. 基于ADAMS的轴承选型对独立转盘侧倾影响的分析[J]. *塑料*, 2021, 50(1): 34–37, 99.
- WANG Jianyi, YANG Weimin, CHU Nengkui, et al. Analysis of the influence of bearing selection on the roll of independent turntable based on ADAMS[J]. *Plastics*, 2021, 50(1): 34–37, 99.
- [10] RAVIKIRAN B, PRADHAN D K, JEET S, et al. Parametric optimization of plastic injection moulding for FMCG polymer moulding (PMMA) using hybrid Taguchi-WASPAS-Ant Lion optimization algorithm[J]. *Materials Today: Proceedings*, 2022, 56: 2 411–2 420.
- [11] 温英兰, 严胜义, 林颖, 等. 基于Moldflow软件的双色塑料零件印痕研究[J]. *汽车电器*, 2023(6): 99–101.
- WEN Yinglan, YAN Shengyi, LIN Ying, et al. Study on the mark of bi-color plastic part based on moldflow[J]. *Auto Electric Parts*, 2023(6): 99–101.
- [12] 吴俊超. 基于Moldflow的汽车仪表板大型塑件注塑模工艺优化[J]. *中国塑料*, 2021, 35(12): 121–128.
- WU Junchao. Process optimization of injection mold for large plastic parts of automobile dashboard based on Moldflow[J]. *China Plastics*, 2021, 35(12): 121–128.
- [13] 张跃飞, 刘敬祺, 胡光良, 等. 汽车空调控制面板双色倒装热流道注射模设计[J]. *工程塑料应用*, 2024, 52(7): 116–123.
- ZHANG Yuefei, LIU Jingqi, HU Guangliang, et al. Design of dual-color inverted hot runner injection mould for automobile air conditioning control panel[J]. *Engineering Plastics Application*, 2024, 52(7): 116–123.
- [14] 庄雨乐, 赵利平, 秦瑞亮, 等. 一套复杂的倒装热流道注塑模具设计[J]. *中国塑料*, 2024, 38(9): 107–111.
- ZHUANG Yule, ZHAO Liping, QIN Ruiliang, et al. Design of large injection mold for office equipment shell[J]. *China Plastics*, 2024, 38(9): 107–111.
- [15] 谭安平, 刘克威. 基于Moldflow的PC/ABS汽车后视镜翘曲变形优化分析[J]. *合成树脂及塑料*, 2020, 37(1): 67–72.
- TAN Anping, LIU Kewei. Optimal analysis based on Moldflow for warpage deformation of automotive rearview mirror shell prepared with PC/ABS blend[J]. *China Synthetic Resin and Plastics*, 2020, 37(1): 67–72.
- [16] 郝明亮. 变模温注塑成型温度场模拟及应用[D]. 郑州: 郑州大学, 2022.
- HAO Mingliang. Numerical simulation of variable mold temperature field during injection molding and its application[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2022.
- [17] 肖成龙, 胡灿, 曾广胜. 基于FEA-PSO的变模温注塑模具嵌入式感应加热系统优化设计[J]. *工程塑料应用*, 2025, 53(11): 138–145.
- XIAO Chenglong, HU Can, ZENG Guangsheng. Optimal design of embedded induction heating system for variotherm injection mold based on FEA-PSO[J]. *Engineering Plastics Application*, 2025, 53(11): 138–145.
- [18] 陈家达, 李建伟, 席晨斐, 等. 优化注塑成型塑件变形方案的研究进展[J]. *高分子通报*, 2024, 37(2): 215–228.
- CHEN Jiada, LI Jianwei, XI Chenfei, et al. Research progress on optimizing deformation schemes of injection molded plastic parts[J]. *Chinese Polymer Bulletin*, 2024, 37(2): 215–228.
- [19] 张利华. 同步密封壳内外壁圆环凹槽复合脱模机构注塑模设计[J]. *中国塑料*, 2025, 39(2): 94–99.
- ZHANG Lihua. Design of injection mold with composite demolding mechanism for inner and outer wall ring grooves of synchronous sealing shell[J]. *China Plastics*, 2025, 39(2): 94–99.
- [20] 张雁亭, 肖国华, 郑子军, 等. 化妆盒盖双叉斜顶脱模机构注射模设计[J]. *塑料*, 2023, 52(1): 94–98, 186.
- ZHANG Yanting, XIAO Guohua, ZHENG Zijun, et al. Design of the injection mould of the double-fork inclined top demoulding mechanism of the cosmetic box cover[J]. *Plastics*, 2023, 52(1): 94–98, 186.