

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2024.08.017

# 空调座盖塑件模内装饰成型工艺与模具设计

谢茂青<sup>1</sup>, 王雷刚<sup>2</sup>

(1. 杭州科技职业技术学院, 杭州 311402; 2. 江苏大学材料科学与工程学院, 江苏镇江 212013)

**摘要:** 针对空调座盖采用塑件模内装饰(IMD)方式进行成型的要求, 为其设计了一种基于高压成型3D膜片镶件的IMD成型工艺用于该塑件的成型。工艺中, IMD塑件的保护层3D膜片镶件使用0.25 mm聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)薄膜高压压制+真空吸附3D成型, 内衬使用聚碳酸酯/丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(PC/ABS)合金注塑成型。所设计的IMD工艺路径包括9道工序。其中3D膜片镶件高压成型模具为一种模具闭合后具备膜片上表面高压压制和下表面真空吸附能力的双作用成型凸模, 对应的高压成型工艺参数为: 成型压力 $(35\pm 1)$  Kg/保压时间 $(7.0\pm 1)$  s/模具温度183 °C。内衬的注塑成型中, 内衬注塑模具为一种两板式单浇口热流道倒装模具, 3D膜片镶件在型腔镶件内的定位依靠2个定模限位滑块进行定位, 塑件的脱模由倒装模具动模内设置的2个油缸驱动推板及其上的10个斜顶和14根顶针共同顶出来实现。运用CAE软件Moldflow中“重叠注塑”分析序列对内衬的注塑成型进行了内衬/3D膜片镶件之间的重叠注塑成型仿真优化分析, 优化结果为: 内衬模腔注塑时, 热浇口直径取 $\varnothing 4$  mm, 模温79 °C, 熔料温度260 °C, 注塑压力90 MPa, 保压分4段保压, 分别为40 MPa-2 s/30 MPa-2 s/15 MPa-2 s/10 MPa-1.5 s。

**关键词:** 空调座盖; IMD/IMF; 膜片高压成型; 重叠注塑CAE分析; IMD注塑模; 聚甲基丙烯酸甲酯; 聚碳酸酯/丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物

中图分类号: TG243 文献标识码: A 文章编号: 1001-3539(2024)08-0117-09

## In mold decoration molding process and mould design for air-conditioning seat-cover

XIE Maoqing<sup>1</sup>, WANG Leigang<sup>2</sup>

(1. Hangzhou Polytechnic, Hangzhou 311402, China;

2. School of Materials Science and Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

**Abstract :** Aimed at the requirement of using plastic in-mold decoration (IMD) for the molding of an air-conditioning seat-covers, IMD molding process based on high-pressure forming 3D-film-insert was designed for the molding of this IMD plastic part. In the process, the protective layer 3D-film-insert of IMD plastic parts was formed by high-pressure pressing and vacuum adsorption 3D molding of 0.25 mm polymethyl methacrylate (PMMA) film, and the inner lining was formed by injection molding of polycarbonate/acrylic nitrile butadiene styrene copolymer (PC/ABS) alloy. The designed IMD process path includes 9 processes. The designed high-pressure molding mold for 3D-film-insert is a double acting convex mold that has the ability of high-pressure pressing on the upper surface of the film and vacuum adsorption on the lower surface after the mold is closed. The corresponding high-pressure molding process parameters are: molding-pressure  $(35\pm 1)$  kg/holding-time  $(7.0\pm 1)$  s/mold-temperature 183 °C. In the injection molding of the inner lining, the inner lining injection mold is a two-plate single-gate hot-runner inverted mould. The positioning of the 3D-film-insert in the mould cavity is achieved by two fixed mould limit-sliders. The demoulding of the plastic part is achieved by driving the ejector plate, 10 lifters, and 14 ejectors together with two hydraulic-cylinders set in the moving mold of the inverted mold. The simulation optimization analysis of overlapping injection molding between inner lining/3D-film-insert was carried out by using CAE software Moldflow“Overlap Injection Molding”analysis sequence for the injection molding of the inner lining. The optimization results show that during the injection molding of the inner lining cavity, the diameter of the hot-gate is taken as  $\varnothing 4$  mm, the mould temperature was 79 °C, the melt temperature is 260 °C, the injection pressure is 90 MPa, and the pressure is maintained in

基金项目: 2024年度浙江省软科学研究项目(2024C35071), 2024年度杭州市软科学研究项目(20240834M05)

通信作者: 谢茂青, 博士, 教授, 主要研究方向为先进制造技术、数据算法、新材料技术和模具设计与制造

收稿日期: 2024-06-03

引用格式: 谢茂青, 王雷刚. 空调座盖塑件模内装饰成型工艺与模具设计[J]. 工程塑料应用, 2024, 52(8): 117-125.

XIE Maoqing, WANG Leigang. In mold decoration molding process and mould design for air-conditioning seat-cover[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(8): 117-125.

four stages, which are 40 MPa-2 s/30 MPa-2 s/15 MPa-2 s/10 MPa-1.5 s, respectively.

**Keywords :** air-conditioning seat-cover ; IMD/IMF ; film high-pressure forming ; overlapping injection molding CAE analysis ; IMD injection mold ; polymethyl methacrylate ; polycarbonate/acrylic nitrile butadiene styrene copolymer

塑件模内装饰(IMD)成型技术是塑件提高外观和使用品质的一项重要成型技术,该技术有两种基本类型:模内薄膜转印注塑成型(IMR)和模内镶件注塑(IML),其中IML又称为模内贴标。塑件使用IML技术成型中,整面都被覆耐磨硬膜片的成型方法称之为模内嵌硬热塑膜片注塑成型(IMF)。

IMF工艺中,膜片的成型工艺类型有两种基本类型,一种是使用冲压+热塑成型的2D平面型膜片成型工艺IMF<sub>2D</sub>(膜片拉伸较浅,一般不超过20 mm),一种是采用高压+热塑成型的3D立体型膜片成型工艺IMF<sub>3D</sub>(膜片拉伸较深,可达250 mm)。生产中对于有一定侧壁深度膜片的成型,膜片的成型采用IMF<sub>2D</sub>工艺可行性较差,不利因素较多,包括膜片拉伸深度较深时易破裂,膜片成型时受人为因素影响比较大,温度难控制,难以成型,成型过程中图案/颜色/字体/LOGO变形大失真程度大,生产物流过程中膜片表面易损坏或拉破,薄膜厚度变化需要修改成型模费用昂贵,R角成型差等。而采用IMF<sub>3D</sub>工艺的可行性则相对较好,除克服了IMF<sub>2D</sub>成型膜片时的不利因素外,还具有以下优点:首先是能实现3D复杂形状设计和多样化风格,图案/颜色/字体/LOGO可以依客户需求创造金属电镀或天然材质特殊式样,特别是有些效果是电镀喷漆所达不到的;其次是膜片成品率高,高压成型只有下模没有上模,成型过程中不接触膜片,不会污染膜片,比较适合做3D产品和高拉伸产品;再次是薄膜厚度的变化不用改变成型模;特别地,薄膜片材还可以是皮革、置绒等,这些能非常明显地提高塑件产品的档次和质量。

IML中,IMD塑件的生产在塑件内衬注塑环节中还存在如下难题:注塑时注塑工艺难以精准控制,获得的IMD塑件成品率不高,一般成品率在30%~40%左右,生产浪费较为严重,此难题的解决,还需要结合具体生产实际做深入研究。

笔者针对某空调座盖IMD塑件采用IMF成型工艺生产的要求,首先膜片成型采用IMF<sub>3D</sub>工艺成型,并为之制定了膜片的成型工艺,设计了相应的IMF<sub>3D</sub>高压热塑成型模具;其次是运用CAE数值分析技术对IMD塑件的内衬的注塑工艺进行了重叠

注塑CAE分析仿真优化分析,并在此CAE优化分析的基础上,设计了一副IMD注塑模具,获得了满足客户指定要求的IMD塑件和良好的生产效果。以下是该工作的具体内容。

## 1 空调座盖IMD塑件分析

### 1.1 空调座盖IMD塑件构成

如图1所示,空调座盖IMD塑件的构成由3部分构成,最外表为聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)材质3D膜片镶件F<sub>PMMA</sub>,中间丝印标识I<sub>D</sub>,最内层由聚碳酸酯/丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(PC/ABS)合金注塑而成的内衬L<sub>PC/ABS</sub>。丝印标识I<sub>D</sub>位于膜片的内表面S<sub>IN</sub>上,同时也是在内衬L<sub>PC/ABS</sub>注塑后位于内衬L<sub>PC/ABS</sub>与3D膜片镶件F<sub>PMMA</sub>之间的界面上。3D膜片镶件F<sub>PMMA</sub>的表面S<sub>OUT</sub>接受环境/使用磨损。

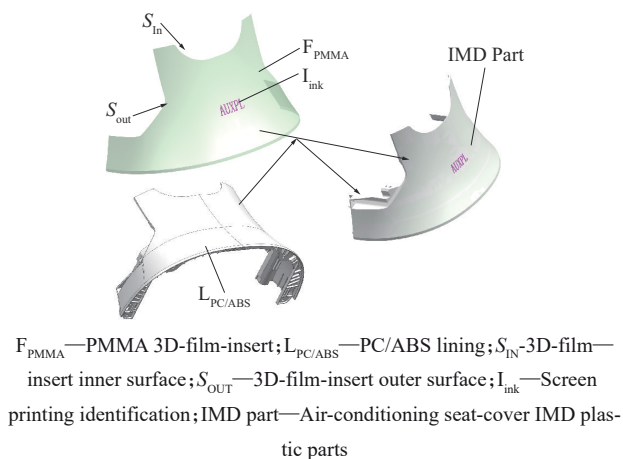


图1 空调座盖IMD塑件

Fig. 1 Air-conditioning seat-cover IMD part

### 1.2 塑件选材要求

本IMD塑件对3D膜片镶件与内衬的材料要求为:两者材料缩水率接近,否则容易产生层间开裂;3D膜片镶件材料熔化温度应高于内衬材料熔化温度,否则膜片容易在内衬注塑成型时熔化而损坏;3D膜片镶件与内衬的材料具有相融性,否则塑件会在膜片与内衬截面处产生开裂;丝印标识所用油墨能牢固地黏结在3D膜片镶件上。

3D膜片镶件F<sub>PMMA</sub>材料为聚甲基丙烯酸酯亚胺(PMI)改性的PMMA(Kamax T-260,生产厂家罗门哈斯/陶氏公司),PMI树脂是PMMA和环氧(EP)树脂的共聚物,具有PMMA的透明性和EP树脂的耐

化学腐蚀性。

内衬  $L_{PC/ABS}$  材料选用 PC/ABS 合金 (Cycology EHA, 生产厂家 SABIC Innovative Plastics 公司)。

### 1.3 塑件结构特征

如图2所示,塑件结构中3D膜片镶件  $F_{PMMA}$  的厚度为 0.25 mm,内衬  $L_{PC/ABS}$  的平均壁厚为 2 mm,最大壁厚为 3.2 mm,最小壁厚为 1.5 mm。塑件外形包装尺寸 211 mm×234 mm×393 mm。内衬  $L_{PC/ABS}$  的结构特征包括以下特征:塑件上的特征基本呈左右对称状态分布;在端面  $S_F$  上( $S_F$  面为平面)设置有多种类型筋、槽等特征,从注塑脱模角度考虑, $S_F$  面上左侧的这些特征按  $F_0$  向的脱模方向分类可以分为4类,分别位于  $q_1 \sim q_4$  四个区域, $S_F$  面上右侧的分布与左侧基本相同,不同的地方是  $q_3, q_4$  有一点不同。在内衬  $L_{PC/ABS}$  内壁上设置有10个塑件紧固安装用途特征,分别为  $T_1 \sim T_5, T_1' \sim T_5'$ 。以上结构特征主要影响塑件在内衬  $L_{PC/ABS}$  注塑成型后的脱模。内衬  $L_{PC/ABS}$  注塑完成后,若以  $F_0$  做为主开模方向, $S_F$  面上的所有特征可用抽芯方式按  $F_1$  向实施脱模;内壁的特征中, $T_1/T_2/T_3/T_4/T_5$  的部分筋/槽按  $F_2$  向的反向  $F_2'$  向抽芯脱模, $T_1'/T_2'/T_3'/T_4'/T_5'$  的部分筋/槽按  $F_2$  向抽芯脱模。

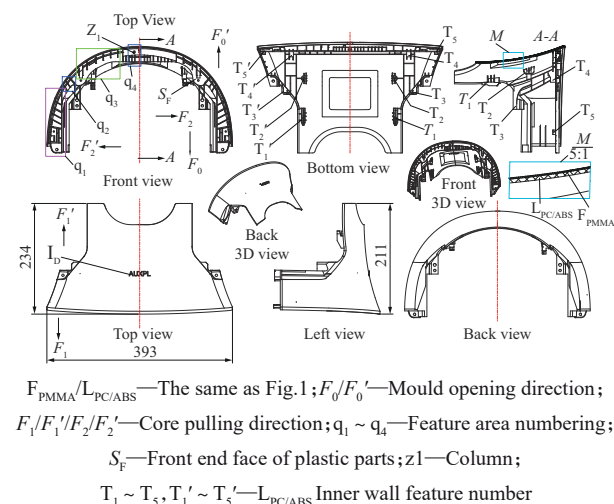


图2 IMD塑件结构分析

Fig. 2 Structural analysis of IMD plastic part

### 1.4 塑件成型难点

塑件成型有以下几个难点:一是塑件的尺寸大,且外壁为半圆曲面,对于膜片  $F_{PMMA}$  而言,3D成型难度大,采用一般冲压热成型方式成型膜片  $F_{PMMA}$  的形状难以获得其准确形状;二是塑件形状外形边沿的高低落差大,膜片边沿成型易出现毛刺;三是膜片上的商标ID文字在膜片3D成型过程中易变

形,失真程度大,同时要防止衬底  $L_{PC/ABS}$  注塑时将文字印刷油墨冲刷而造成油墨脱落而产生“飞油”现象,散落于塑件内成为斑点缺陷;四是膜片弯曲率较大的部位容易出现褶皱缺陷;五是由于两种材料的特性差异,成型后膜片与内衬之间存在一定的内应力而容易造成膜片/内衬开裂;六是在注塑模腔内定位及二次重熔问题。以上问题需要在具体的工艺设置加以预防,以提高塑件的成品率。

### 2 IMD塑件生产流程

如图3所示,本IMD塑件的生产制作采用IMF<sub>3D</sub>工艺进行制造,其流程如下。

①PMMA卷膜裁料→② $I_{ink}$ 平面印刷→③油墨干燥固定→④贴保护膜→⑤冲定位孔→⑥高压热塑成型→⑦外围裙边冲裁获得3D膜片镶件  $F_{PMMA}$ →⑧3D膜片镶件  $F_{PMMA}$  注塑PC/ABS合金材料获得内衬  $L_{PC/ABS}$ →⑨去毛边及浇口等获得成型IMD part。

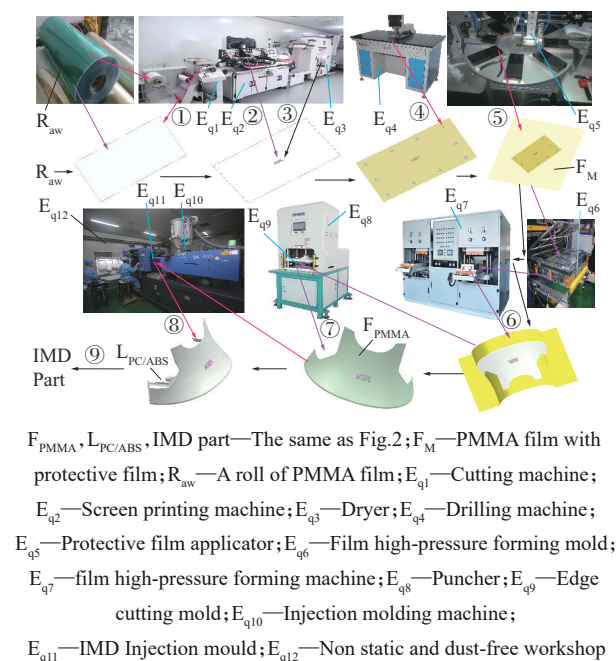


图3 塑件IMD制作流程

Fig. 3 Production process of IMD plastic parts

本塑件成型中需要用到的  $E_{q1}/E_{q2}/E_{q3}$  为非标定制设备[无型号,菱铁(厦门)机械公司];  $E_{q4}$  为非标定制设备(无型号,广州喜工机械设备有限公司);  $E_{q5}$  为非标定制设备(无型号,深圳创信力自动化设备有限公司);  $E_{q7}$  为非标定制设备(无型号,东莞市科盛实业公司);  $E_{q8}$  为非标定制设备(无型号,东莞市益启机械有限公司);  $E_{q10}$  为标准设备(SA1600/540,宁波海天塑机集团有限公司)。

自制设备有4套,分别为  $E_{q6}, E_{q9}, E_{q11}, E_{q12}$ , 其中

$E_{q12}$ 为共用设备,针对不同IMD塑件的成型,需要塑件企业对应开发和设计设备 $E_{q6}$ 、 $E_{q9}$ 、 $E_{q11}$ ,鉴于 $E_{q9}$ 相对较为简单的缘故,笔者着重介绍空调座盖IMD塑件成型工艺中 $E_{q6}$ 和 $E_{q11}$ 的设计开发。

### 3 3D膜片镶件 $F_{PMMA}$ PMMA片材高压成型模具 $E_{q6}$ 设计

#### 3.1 膜片成型工艺设计及潜在缺陷预防措施

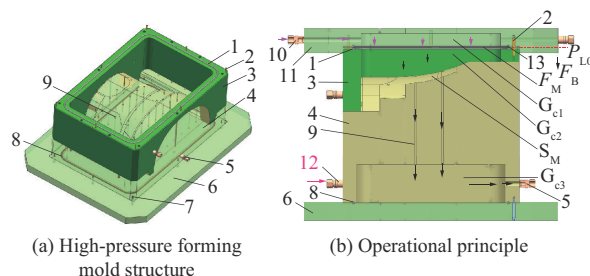
针对前述膜片 $F_{PMMA}$ 成型过程中存在的潜在问题,对应的工艺措施如下:

一是采用高压热成型机成型膜片的3D形状;二是针对边缘毛刺问题,采用配合精度高的切边冲裁模具对膜片边缘进行冲裁加工;三是针对膜片文字图案的变形,运用ABAQUS软件仿真以获得实际膜片上网格的变形结果数据后设置印刷图案形状;四是针对油墨脱落“飞油”问题采用印刷质量稳固的光固化油墨进行印刷;五是针对弯曲曲率大的部位加以去除或加以延拓设计成曲率小的特征;六是选材时尽可能选用与膜片材料缩水率差异小的供应商材料以减少因两种材料收缩差异而产生的内应力。

#### 3.2 $E_{q6}$ 模具结构设计

3D膜片镶件 $F_{PMMA}$ 的成型使用PMMA片材进行成型,即针对图3中所示第⑤工序获得的中间工序膜片 $F_M$ 在加热后使用高压气体对其上表面进行均衡压制,使之贴近成型凸模4上,再辅助以下表面抽真空吸附驱动,使 $F_M$ 贴合于凸模4上的成型面 $S_M$ 而获得成型。设计的高压成型模具 $E_{q6}$ 模具结构如图4a所示。模具结构组成件主要包括件1~件12。凸模4、垫台3、凸模垫板6使用螺丝7及定位销子等组合在一起构成模具的下模,安装在高压成型机 $E_{q7}$ 的工作台上。工作前下模中形成下气室 $G_{C3}$ 和开放式气室 $G_{C2}$ ,二者为连通状态。模具的工作原理为:模具在 $P_{L0}$ 面处先处于打开状态,而后通过手工将中间工序膜片 $F_M$ 安放在膜片定位销2上;接着高压成型机加热装置将膜片 $F_M$ 加热至软化状态;加热完成后,位于下模上方的上气室压板11按 $F_B$ 向下行,压板11内的密封圈13将膜片 $F_M$ 压住,在 $P_{L0}$ 面完全闭合后,借助于件3上密封圈1的密封作用,形成上气室 $G_{C1}$ 、中间气室 $G_{C2}$ 。紧接着,下气室 $G_{C3}$ 内的空气通过气嘴5被迅速抽走,由于凸模气孔9的联通,中间气室 $G_{C2}$ 内的空气也被迅速抽走,与之同步地,高压气体将通过气嘴10被注入上气室 $G_{C1}$ 内,在上气

室 $G_{C1}$ 内高压气体的压制和中间气室 $G_{C2}$ 内形成真空吸附的双重作用下,软化后的膜片 $F_M$ 将紧贴 $S_M$ 而获得与之同样的形状,形成3D形状毛坯膜片。待膜片冷却硬化后,件11上行, $P_{L0}$ 面打开,高压气体从气嘴12中进入下气室 $G_{C3}$ 内,并通过凸模气孔9将3D形状毛坯膜片从件4上吹出,转至工序⑦实施裁边加工。



(a) High-pressure forming mold structure  
(b) Operational principle  
 $F_M$ —PMMA film with protective film; 1, 8, 12, 13—Sealing ring;  
2— $F_M$  positioning pin; 3—Cushion table; 4—Terrace die; 5, 10, 12—Air nozzle; 6—Terrace die cushion plate; 7—Screw; 9—Terrace die porousity; 11—Upper gas cell plate;  $S_M$ —Terrace die forming surface;  
 $G_{C1}$ —Upper gas cell;  $G_{C2}$ —Intermediate gas cell;  $G_{C3}$ —Lower gas cell;  
 $F_B$ —Direction of mold closure;  $P_{L0}$ —Mold closure plane

图4 3D膜片镶件 $F_{PMMA}$ 高压成型模具

Fig. 4 3D film insert  $F_{PMMA}$  high-pressure forming mold

#### 3.3 膜片高压成型工艺

$E_{q6}$ 模具与 $E_{q7}$ 成型膜片的工艺控制如下:①烘模具2 h。②在上膜片 $F_M$ 之前把膜片、模具吹干净并除静电。③把膜片 $F_M$ 平整放入然后合模,膜片 $F_M$ 高压成型压力 $(35 \pm 1)$  kg,保压时间 $(7.0 \pm 1)$  s,模具温度 $183^\circ\text{C}$ 。④脱模时先用气枪把产品表面吹冷,然后从产品下面四周用气枪及气嘴12内通高压气体进行脱模。

### 4 IMD注塑模具设计

IMD塑件工艺制作的成功,一方面取决于3D膜片镶件 $F_{PMMA}$ 的成型,另一方面也受制于内衬 $L_{PC/ABS}$ 注塑成功与否。内衬 $L_{PC/ABS}$ 注塑成型需要在模具结构设计前进行注塑可行性分析及注塑工艺参数优化,以尽可能避免或降低模具制造试错成本。内衬 $L_{PC/ABS}$ 注塑CAE优化分析如下。

#### 4.1 CAE分析模型

内衬 $L_{PC/ABS}$ 的注塑CAE模流分析采用的分析模型为Moldflow软件中的“热塑性塑料重叠注塑”分析序列进行分析,构建的CAE模型如图5a所示。模型中由于3D膜片镶件 $F_{PMMA}$ 为已成型塑件,在重叠注塑分析模型中将其替代为第一次成型的塑件予以替代,且采用同材料同尺寸模型注射件进行替

代较为合适。重叠分型CAE模型中将其设定为重叠注塑中的第一射注塑(A射),替代模型A射的浇注采用热嘴 $G_A$ 直接进行浇注。内衬 $L_{PC/ABS}$ 的模腔注塑为第二射(B射),该模腔注塑中,由于塑件形状的特殊性,浇口只能在内衬 $L_{PC/ABS}$ 的内表面开设。在综合考虑内衬 $L_{PC/ABS}$ 内壁上结构特征 $T_1 \sim T_5, T_1' \sim T_5'$ 的脱模机构布置空间要求后,B射浇注系统浇口以采用单点热嘴浇注较为合适,经单点浇口位置CAE优化分析后,最终选择设置图5a热浇口 $G_B$ 所在位置开设热浇口 $G_B$ 进行直接浇注( $G_B$ 所在位置位于图5b中最优浇口区域 $G_{b2}$ 区域),热浇口 $G_B$ 进浇口初始直径为 $\varnothing 2$  mm。重叠注塑CAE分析中,主要考察B射熔料在型腔面为A射塑件情况下B射熔料的充模流动特点,因而冷却系统的设置可以先不设置。模型中A射材料Kamax T-260的注塑工艺参数见表1,B射材料Cycoloy EHA的注塑工艺参数见表2。B射材料推荐注塑工艺参数为模温 $79^\circ\text{C}$ ,熔体温度 $260^\circ\text{C}$ 。

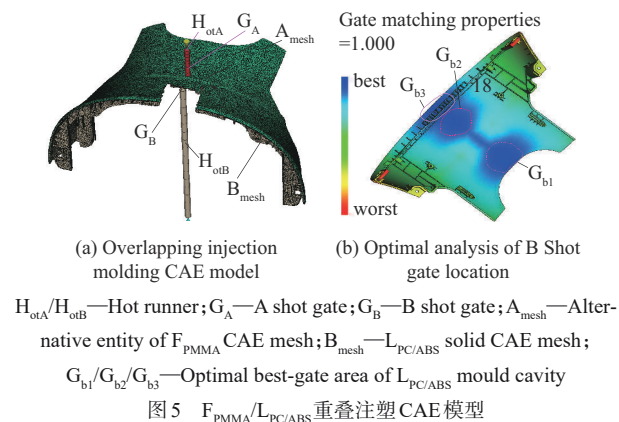


Fig. 5  $F_{PMMA}/L_{PC/ABS}$  overlapping injection molding CAE model

表1 A射材料Kamax T-260注塑工艺参数

Tab. 1 Injection molding process parameters of A injection material Kamax T-260

| Mold temperature / $^\circ\text{C}$ | Melt temperature/ $^\circ\text{C}$ | Ejection temperature / $^\circ\text{C}$ | Maximum shear stress / MPa | Maximum shear rate / $\text{s}^{-1}$ |
|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| 89 ~ 117                            | 280 ~ 320                          | 122                                     | 0.5                        | 100 000                              |

表2 B射材料Cycoloy EHA注塑工艺参数

Tab. 2 Injection molding process parameters of B injection material Cycoloy EHA

| Mold temperature / $^\circ\text{C}$ | Melt temperature/ $^\circ\text{C}$ | Ejection temperature / $^\circ\text{C}$ | Maximum shear stress / MPa | Maximum shear rate / $\text{s}^{-1}$ |
|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| 65 ~ 93                             | 246 ~ 274                          | 98                                      | 0.4                        | 40 000                               |

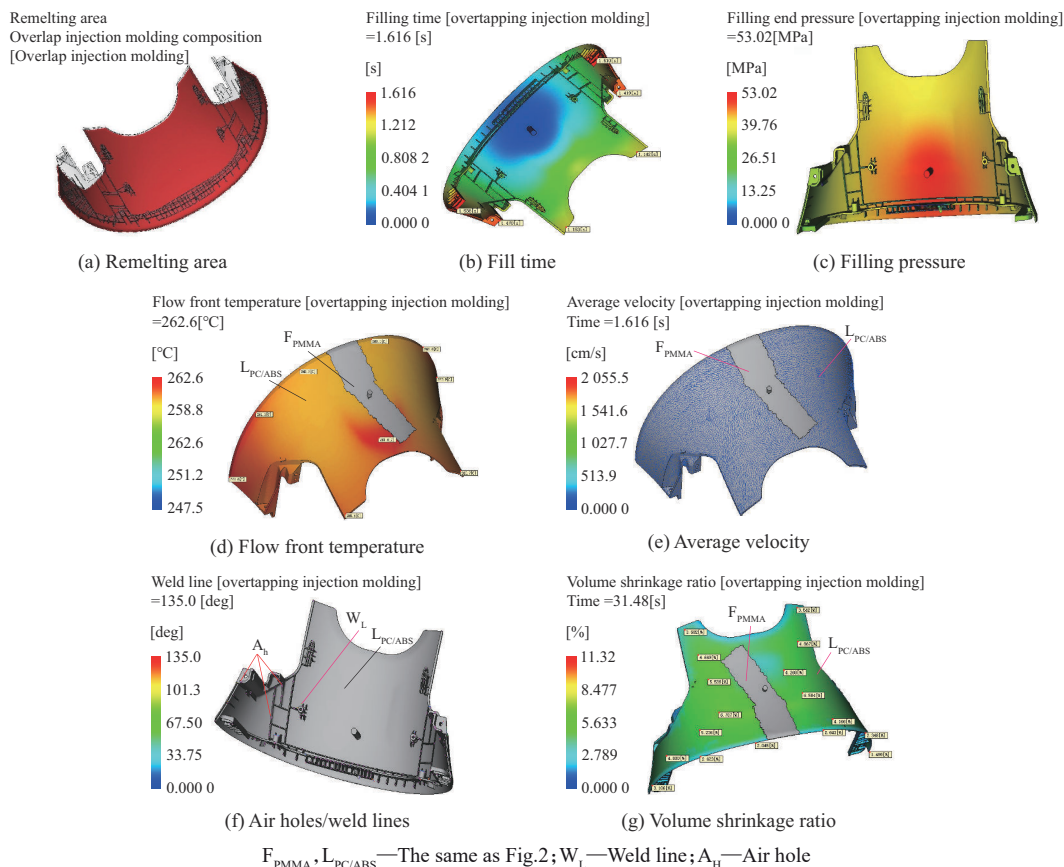
#### 4.2 CAE优化分析结果

CAE优化考察指标中,由于内衬 $L_{PC/ABS}$ 为非表

面件,因而主要针对内衬 $L_{PC/ABS}$ 的充填饱满性、充填时间、模腔所需注塑压力、熔料流动方向、流动前沿温度、熔接线、气孔、翘曲变形等指标进行观察。B射材料的推荐成型参数为:模温 $79^\circ\text{C}$ ,熔体温度 $260^\circ\text{C}$ 。显然在该熔体温度下,内衬 $L_{PC/ABS}$ 熔体与 $F_{PMMA}$ 接触时不会将其完全熔化,在此前提下,在第一次优化中,由于浇口 $G_B$ 初始值为 $\varnothing 2$  mm,模腔无法充填饱满局部区域、会出现欠料问题,因而将其优化为 $\varnothing 4$  mm,同时注塑压力提高到90 MPa,充填欠料问题得到解决。

进而在第一次优化的基础上进行第二次分析,获得的结果如图6所示。内衬 $L_{PC/ABS}$ 熔体注塑时不会将膜片 $F_{PMMA}$ 进行重熔,如图6a所示(3D网格重叠分析)。内衬 $L_{PC/ABS}$ 模腔充填时间为1.616 s(图6b),充填各末端无充填死角,不存在充填不足缺料问题。模腔充填所需压力为53.02 MPa(图6c),压力要求不高,且充填末端基本为均衡充填,有3.2 MPa以上末端充填压力,能满足末端对 $F_{PMMA}$ 进行压住的要求,不会形成末端料流进入 $F_{PMMA}$ 与型腔内壁之间的空间问题;边缘压差小于15 MPa以内,不会形成局部末端压力不足而其他局部末端因过保压而产生飞边问题。流动前沿温度最高为 $262.2^\circ\text{C}$ (图6d),远低于 $F_{PMMA}$ 内表面熔化温度, $F_{PMMA}$ 内表面不会形成熔料冲刷问题,总体温度中没有高于 $270^\circ\text{C}$ 的温度, $F_{PMMA}$ 内表面不会产生局部重熔问题。流动路径上料流能保持以浇口 $G_B$ 为中心散射状流动(图6e),确保料流能稳定压住 $F_{PMMA}$ ,使其不产生滑动。熔接线和气孔较多(图6f),气孔和熔接线多发生在内衬 $L_{PC/ABS}$ 的内壁特征上,气孔也是多发生在内衬 $L_{PC/ABS}$ 的内壁特征上,这些位置气孔的消除需要模具设计时增加排气措施加以消除,对塑件的整体强度影响不大;熔接线多为熔合线。塑件的整体收缩较为均衡(图6g),但收缩较大,需在实际试模中通过称重法确定稳定的塑件质量后通过设置对应的保压工艺来进行改善。单独对内衬 $L_{PC/ABS}$ 进行翘曲分析后,在保压工艺设定为4段(40 MPa-2 s; 30 MPa-2 s; 15 MPa-2 s; 10 MPa-1.5 s)后获得的翘曲变形最大量为0.359 mm,低于客户指定的关键尺寸精度为MT5级要求。综上所述,整体而言,B射所优化开设的浇口 $G_B$ 所在的浇注系统能满足内衬 $L_{PC/ABS}$ 的注塑生产要求。

CAE优化后,实际试模时 $L_{PC/ABS}$ 的试模初试参

图6  $L_{PC/ABS}$  模腔重叠注塑CAE优化分析结果Fig. 6  $L_{PC/ABS}$  mould cavity overlap injection molding CAE optimization analysis results

考注塑工艺参数为:模温  $79^{\circ}\text{C}$ , 熔料温度  $260^{\circ}\text{C}$ , 注塑压力 90 MPa, 保压分 4 段保压(参见上述)。注塑总周期 33 s。

## 5 IMD 注塑模具结构设计

### 5.1 模腔成型件设计

膜片  $F_{PMMA}$  在注塑模腔内定位应加以重点考虑, 基于此来设计内衬  $L_{PC/ABS}$  的注塑成型模具模腔。如图 7 所示, 模具使用单腔布局, 一模一腔。模腔的分型采用  $L_{PC/ABS}$  的最大外沿轮廓线为分型线, 然后通过平直拉伸而获得平直型分型面  $P_{sur}$ , 这样有利于分型面上排气槽  $V_{ent}$  的开设, 有利于排气也方便加工。 $P_{sur}$  分型获得的主要成型件为型腔镶件 14 和型芯镶件 24。型腔成型件构成中, 型腔镶件 14 中有一定的凹陷深度, 方便 3D 膜片镶件  $F_{PMMA}$  的定位安放, 同时为了保证 3D 膜片镶件  $F_{PMMA}$  安放好后不从型腔镶件 14 内脱出, 设置了 2 个卡位滑块 16 和 16' 对其进行定位卡住, 2 个卡位滑块 16 和 16' 分别各用一个油缸驱动以实施抽芯。模腔的排气措施须增强, 因而在型腔一侧开设排气槽  $V_{ent}$ , 而在型芯一侧除利用滑块 17、顶针 18、斜顶 19 等的装配间隙排气外, 还单

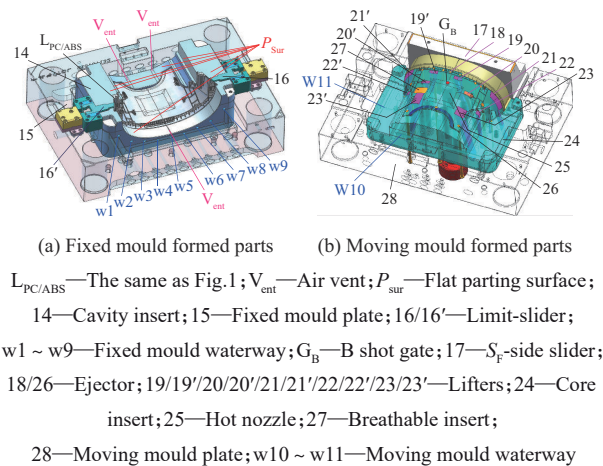


图7 模腔设计

Fig. 7 Mould cavity design

独设置了 1 个排气镶件 27 增强排气。模腔成型件的冷却主要针对型腔镶件 14 和型芯镶件 24 进行冷却, 二者内部分别开设 9 条水路(w1 ~ w9)和 2 条水路进行冷却(w10 ~ w11)。塑件  $S_F$  面上所有特征的脱模, 使用滑块 17 进行侧抽芯脱模, 塑件内壁特征  $T_1/T_2/T_3/T_4/T_5$  按  $F_2'$  向的抽芯脱模由斜顶 23'/20'/22'/19'/21' 实现,  $T_1'/T_2'/T_3'/T_4'/T_5'$  按  $F_2$  向的抽芯脱

模由斜顶 23/20/22/19/21 实现。模腔浇注系统采用倒装式浇注系统,熔料通过保温热嘴 25、浇口  $G_b$  进入模腔进行浇注。塑件的最终脱模由顶针 18 等和斜顶 19 (万能斜顶)等共同顶出而实现完全脱模。

## 5.2 模具结构

模具整体结构设计如图 8 所示,相比于普通正装两板模具,模具采用倒装两板式结构,即在普通两板模结构中,定模及型腔镶件安装在注塑机定模板上,而动模及型芯镶件安装在注塑机动模板上能开模移动。本模具中,情况则刚好相反,模具的定、动模在注塑机上的安装与普通正装两板模具刚好相反,即型腔镶件 14 和定模板 15 在注塑机上安装时位于注塑机动模板上,而型芯镶件 24 及动模板 28 则位于注塑机定模板上,与一般正装两板模具相比,型腔镶件 14 和型芯镶件 28 处于倒过来反装状态,这样做的目的是便于热嘴 25 在内衬  $L_{PC/ABS}$  的背面进料以满足浇口  $G_b$  的设置要求。模具按  $F_0$  向的反向在  $P_{sur}$  面处打开时,型腔镶件 14 跟随注塑机动模板后退,而型芯镶件 24 则保持不动,塑件留在型芯镶件 24 上。显然,塑件的最终顶出脱模由推板 47

定模板一侧的顶出,只能在动模部分的热嘴垫板 35 内平衡设置 2 个油缸 43 对推板 47 实施顶出。模具为单次开模两板模,开模面与分型面  $P_{sur}$  设置为同一个面。模具闭合时,为保证闭合复位的准确性,开模面上模板周边均衡设置了 4 个精定位块 31,同时为了平衡滑块 17 的侧向挤压力,增加了一个精定位座 29。2 个卡位滑块 16/16' 及其驱动油缸 45/44 安装在模具定模板 15 上。

## 5.3 模具工作原理

结合图 7、图 8,如图 9a 所示,模具在注塑机上安装后,其工作原理为:

(1)放 3D 膜片镶件  $F_{PMMA}$ 。模具处于打开状态,机械手将 3D 膜片镶件  $F_{PMMA}$  置入型腔镶件 14 中,待油缸 44/45 动作驱动卡位滑块 16/16' 将 3D 膜片镶件  $F_{PMMA}$  卡稳后,机械手撤离。

(2)模具闭合注塑。注塑机动模板推动模具定模右行( $F_0'$  向)使模具在  $P_{sur}$  面处闭合并锁紧,注塑机通过热嘴 25 对模腔进行充填,经冷却、保压等过程后,形成 IMD 塑件,准备开模。

(3)油缸 45/44 抽芯。开模前,油缸 45/44 先同步动作,驱动卡位滑块 16/16' 完成抽芯,解除 IMD 塑件从型腔镶件 14 中的脱出限制。

(4)开模。注塑机动模板带动模具定模左行( $F_0$  向),模具在  $P_{sur}$  处打开,IMD 塑件从型腔镶件 14 中脱出,留于型芯镶件 24 上。待 IMD 塑件的出模空间足够后,注塑机动模板停止移动。

(5)滑块 17 抽芯。油缸 41 动作,驱动滑块 17 按  $F_1$  向完成抽芯。

(6)顶出。2 个油缸 43 同步推动顶针推板 47 按  $F_0'$  向顶出,从而顶针推板 47 将推动其上的 10 个斜顶 21 等及 14 根顶针 18 等同步顶出,将塑件从型芯镶件 24 上顶出而实现完全脱模。

(7)复位。复位时,顶针推板 47 必须先复位,而后滑块 17 复位,再后 3D 膜片镶件  $F_{PMMA}$  置入型腔镶件 14 中,油缸 44/45 动作将 3D 膜片镶件  $F_{PMMA}$  卡稳,机械手撤离,模具在  $P_{sur}$  面处再次闭合,开启(2)~(7)注塑循环。

(8)成型。获得的塑件在空调主机上的安装外观如图 9b 所示,内部结构安装情况如图 9c 所示。

## 6 结论

针对空调座盖采用 IMD 制作工艺制作要求,设计的 IMD 成型工艺中包含 9 道工序实现了 IMD 塑

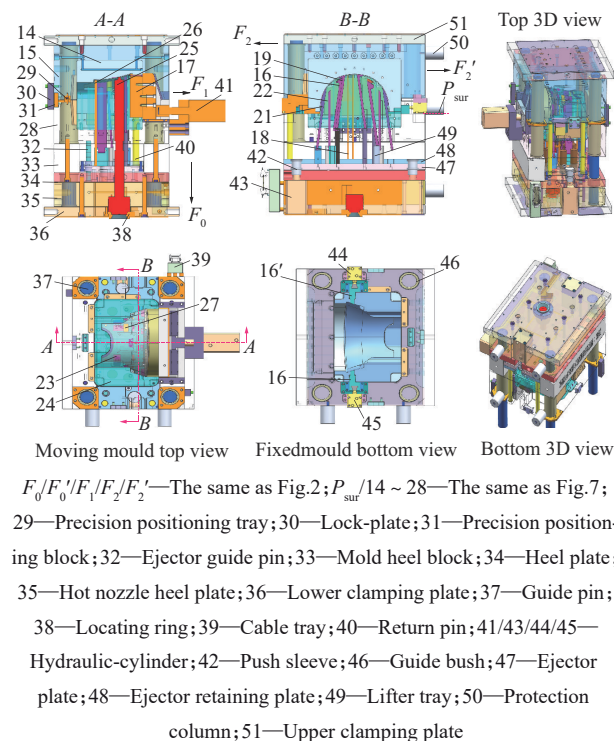
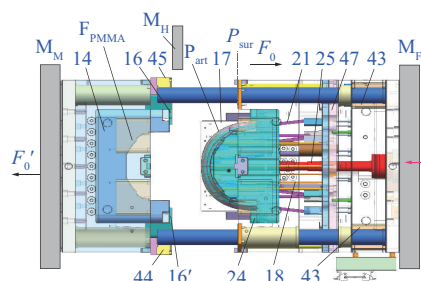


图 8 模具结构

Fig. 8 Mould structure

推动斜顶 19 等 10 个斜顶和顶针 18 等 14 根顶针共同将塑件从型芯镶件 24 上顶出脱模时,注塑机是无法提供顶出力的,为此,为实现模具动模在注塑机



(a) Principle of mould opening action



(b) Appearance of plastic parts installation



(c) Appearance of internal installation of plastic parts

$M_M$ —Injection molding machine moving plate;  $M_F$ —Injection molding machine fixed plate;  $M_H$ —Machine hand;  $P_{art}$ —IMD plastic part;  $F_{PMMA}/L_{PC/ABS}$ —The same as Fig.1;  $F_0/F_0'P_{sur}/14 \sim 44$ —The same as Fig.8

图9 模具工作原理

Fig. 9 Working principle of mould

件的成型,IMD塑件成型的关键工序在于第6道工序3D膜片镶件的3D高压成型和第8道工序3D膜片镶件与内衬的模内重叠注塑成型。

为3D膜片镶件的3D成型设计的高压成型模具控制工艺参数为:高压成型压力 $(35 \pm 1)$  kg,保压时间 $(7.0 \pm 1)$  s,模具温度 $183^\circ\text{C}$ 。

针对3D膜片镶件的注塑成型,运用CAE分析手段优化获得的注塑工艺参考参数为:模温 $79^\circ\text{C}$ ,熔料温度 $260^\circ\text{C}$ ,注塑压力 $90\text{ MPa}$ ,4段保压,分别为 $40\text{ MPa}-2\text{ s}/30\text{ MPa}-2\text{ s}/15\text{ MPa}-2\text{ s}/10\text{ MPa}-1.5\text{ s}$ 。

受限于3D膜片在模腔内的放置限制,IMD塑件内衬注塑成型模具结构为一种倒装式热流道两板模具,模具中热嘴倒装在模具动模一侧方便内衬模腔浇注,定模一侧设置了2个卡位滑块用于膜片在型腔镶件中的定位。脱模机构中设计10个斜顶用于内衬特征倒扣的脱模,斜顶结构采用万能斜顶结构;模具倒装后顶出脱模机构件的顶出由2个油缸推动顶针推板平衡顶出。

### 参考文献

- [1] 杨青.汽车饰件IMD/MIM工艺过程中传热机制与泡孔形成机理研究[D].武汉:武汉理工大学,2020.  
YANG Qing. Research on heat transfer mechanism and bubble formation mechanism of IMD/MIM process based on automotive accessories[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2020.
- [2] 陶永亮,任登安,田书竹,等.模内装饰技术在汽车外饰件上的应

用[J].模具制造,2024,24(1):37-40.

- TAO Yongliang, REN Dengan, TIAN Shuzhu, et al. Application of interior decoration technology in automotive exterior parts[J]. Die & Mould Manufacture, 2024, 24(1):37-40.
- [3] 刘毅,赵南阳,许忠斌,等.注塑成型模内电子技术的研究现状及发展趋势[J].塑料工业,2023,51(10):15-20.  
LIU Yi, ZHAO Nanyang, XU Zhongbin, et al. Research progress and development trend in in-mold electronics technology[J]. China Plastic Industry, 2023, 51(10):15-20.
- [4] 宋清华. IMD膜成型后变形问题研究[D].杭州:浙江工业大学,2019.  
SONG Qinghua. Study on the deformation of IMD film after forming[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2019.
- [5] 陈德苍.模内贴标容器用聚丙烯复合材料的制备[J].上海塑料,2023,51(3):52-57.  
CHEN Decang. Preparation of polypropylene composites for in-mold labeling containers[J]. Shanghai Plastics, 2023, 51(3):52-57.
- [6] 陈杨,何继敏,常义.模内包覆注射成型CFRT-PP的制备与性能[J].工程塑料应用,2022,50(6):67-73.  
CHEN Yang, HE Jimin, CHANG Yi. Preparation and properties of in-mold overmolded injection molded CFRT-PP[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(6):67-73.
- [7] 黄忠仕,农应斌.浅述IMD技术及其在汽车中的应用[J].时代汽车,2021(7):131-132,145.  
HUANG Zhongshi, NONG Yingbin. Brief introduction of IMD technology and its application in automobiles[J]. Auto Time, 2021 (7):131-132, 145.
- [8] 张平,梁丽娜.某车型空调控制器IMD工艺面板起泡问题改进分析[J].时代汽车,2021(8):147-149.  
ZHANG Ping, LIANG Lina. Improvement analysis of foaming problem of imd process panel of air conditioning controller of certain vehicle[J]. Auto Time, 2021(8):147-149.
- [9] 吕洋娜,贾东普,黄小玉.基于模内贴标工艺成型竖笛的优化设计[J].塑料科技,2021,49(5):87-89.  
LYU Yangna, JIA Dongpu, HUANG Xiaoyu. Optimal design of forming clarinet based on in-mold labeling process[J]. Plastics Science and Technology, 2021, 49(5):87-89.
- [10] 王新蒙.汽车功能键触摸盖IMD高压成型工艺与模具设计[J].现代塑料加工应用,2021,33(1):52-55.  
WANG Xinmeng. IMD High pressure forming process and mold design for touch cover of automobile function key[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2021, 33(1):52-55.
- [11] 杨少增,蔡永根,肖国华,等.功能键膜片成型工艺的BP神经网络优化设计[J].现代塑料加工应用,2021,33(2):37-41.  
YANG Shaozeng, CAI Yonggen, XIAO Guohua, et al. Forming process of IMD function key diaphragm based on bp neural

- network optimization[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2021, 33(2):37–41.
- [12] 熊立贵,蔡昭华,涂志刚,等.空调面板注射模设计[J].模具制造,2021,21(4):34–38.
- XIONG Ligui, CAI Zhaohua, TU Zhigang, et al. Design of injection mold for plastic panel of air conditioner[J]. Die & Mould Manufacture, 2021, 21(4):34–38.
- [13] 周磊,张凌霄,危学兵,等.汽车IMD内饰面板成型工艺优化研究[J].塑料科技,2019,47(9):83–88.
- ZHOU Lei, ZHANG Lingxiao, WEI Xuebing, et al. Research on the optimization of molding process for automobile IMD interior panel[J]. Plastics Science and Technology, 2019, 47(9):83–88.
- [14] 王金坤,孟正华,郭巍,等.模内装饰薄膜滞热对成型工艺的影响分析[J].中国塑料,2020,34(4):70–77.
- WANG Jinkun, MENG Zhenghua, GUO Wei, et al. Influence of film heat lag of in-mold decoration on molding process[J]. China Plastics, 2020, 34(4):70–77.
- [15] 陈健.斜面IMD键帽注射模设计[J].模具制造,2020,20(2):56–59.
- CHEN Jian. Design of injection mold for the curved surface of IMD key pad[J]. Die & Mould Manufacture, 2020, 20(2):56–59.
- [16] 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.