

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2025.09.019

一体化成型汽车旋钮总成双色注塑模设计

刘敬祺¹, 胡光良², 严胜义², 张跃飞¹, 朱少军²

(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: 汽车旋钮总成由旋钮主体、内壳构成, 受零件结构及模具复杂程度等多方面限制, 通常在分体注塑后采用卡扣人工组装的传统制造工艺实现。该方式存在装配间隙小、组装过程控制难、结构磨损后使用稳定性差等缺陷。基于多年模具设计制造的实践总结, 提出了一种旋钮总成一体化成型的工艺方案, 利用双色注塑过程, 第1色成型聚碳酸酯内壳, 第2色成型丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物的旋钮主体。结合塑件结构特征, 模具采用了四次分型的细水口标准模架, 选取主体外形最大轮廓作为主分型面, 并分析确定最优的多行位拆镶方案。双色子模的浇注系统、成型零部件、温控系统及行位机构设计存在差异, 分别实现第1色前模预抽、第2色子模多行位分段抽芯等不同过程的成型需求。实践表明, 模具设计结构合理、动作可靠。对比传统工艺, 批量生产节拍缩至32 s, 废品率减少23%, 质量提升的同时生产效率大幅提升, 相关客诉数量大幅降低。

关键词: 旋钮总成; 一体化成型; 双色模具; 前模预抽; 分段抽芯

中图分类号: TQ330.4+1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2025)09-0147-08

Design of two-color injection moulds for integrated automotive knob assembly

LIU Jingqi¹, HU Guangliang², YAN Shengyi², ZHANG Yuefei¹, ZHU Shaojun²

(1. Zhejiang Industry and Trade Vocational College, College of optoelectronic manufacturing, Wenzhou 325003, China;

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

Abstract : Automotive knob assembly consisted of main body and inner shell. Due to various constraints such as part structure and mould complexity, traditional manufacture process of assembling with hook after separately injection was usually adopted, which had the defects of small assembly gap, difficult to control manual process, and poor stability after structural wear. Based on years of practical experience in mould design and manufacturing, an integrated moulding process was proposed, using the process of two-color injection with the 1st color moulding inner shell of polycarbonate, and the 2nd color moulding main body of acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer. Combined with structural characteristics of plastic part, the maximum contour was selected as main parting surface, and the optimal solution for multiple side-core removal inserts was analyzed and determined. The standard mould base of pin-point gate with four times parting was adopted. The two-color sub-mould has differences in design of its gating system, moulding parts, temperature controller and side-core mechanism, enabling different moulding processes such as pre-core pulling in the fix side of the 1st color sub-mould and segmented core pulling in the moving side of the 2nd color sub-mold. Practice shows that the design of mould structure is reasonable, and the action is reliable. Compared with traditional processes, the production cycle reduces to 32 s, the scrap rate reduces by 23%. Production efficiency was greatly improved, while quality was enhanced. As a result, the number of related customer complaints significantly reduces.

Keywords : knob assembly ; integrated moulding ; two-color mould ; pre-core extraction ; segmented core pulling

随着消费者对产品品质和功能需求的日益提升, 汽车内饰零部件设计制造工艺不断革新。电镀类旋钮在汽车内饰开关中广泛运用, 常由主体及内壳两部分组成。其中, 主体显露在外, 属于人机交

基金项目: 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: 2025-07-22

引用格式: 刘敬祺, 胡光良, 严胜义, 等. 一体化成型汽车旋钮总成双色注塑模设计[J]. 工程塑料应用, 2025, 53(9): 147-154.

LIU Jingqi, HU Guangliang, YAN Shengyi, et al. Design of two-color injection moulds for integrated automotive knob assembly[J]. Engineering Plastics Application, 2025, 53(9): 147-154.

互部件,设计常考虑人体工程学,通过改变其大小、形状及表面纹理,提升其操作舒适性及便捷性。内壳属于总成内部支撑框架,设计各种接口用于电气连接,并具备防尘、防潮、防碰撞等作用^[1]。

由于旋钮总成功能需要,其主体表面纹理及内壳侧壁凹凸的卡扣结构均需要多行位成型。此外,旋钮主体需电镀以提升质感,对于成型段差控制极为敏感。由于零件结构及模具复杂程度等多种限制,双色成型方案实施存在困难。因此,传统工艺通常采用分别注塑成型再人工装配的传统制造工艺,配合定位一般采用设计筋、槽、卡扣等结构实现,如图1所示。二者Z向利用卡扣连接,X,Y向利用筋、槽配合定位,装配公差控制在 ± 0.02 mm,制造配合精度要求极高。产品质量虽满足其功能要求,但过程控制难、周期长、成本高,并且长期使用时配合位易磨损,引起结构晃动,稳定性变差^[2]。基于上述产品问题,笔者在多年设计、仿真、加工经验积淀的基础上,提出了一种旋钮总成一体化成型及其配套模具设计方案,利用原料良好相容性,经双色注塑将主体、内壳合二为一,无须二次人工装配,具有缩减零件数量、提高装配精度、降低生产成本等多方面优势,因而受到广泛关注^[3]。

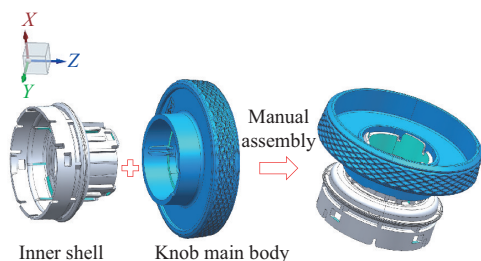


图1 传统汽车旋钮及内壳组表示意图

Fig. 1 Schematic diagram of traditional automobile knob and inner shell assembly

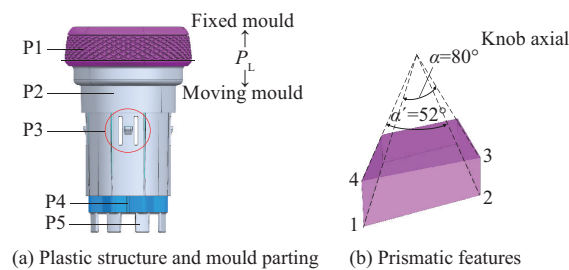
双色注塑采用专用成型设备,通过独立的注塑控制系统,在第1色成型后交换动模注入第2色塑料^[4]。两幅配套子模结构虽基本一致,但在其浇注系统、成型零件、温控系统、行位机构等方面存在差异。笔者以某汽车电镀旋钮总成为例,结合产品结构及要求,阐述一体化成型此类塑件的双色模具设计思路及要点。

1 塑件成型工艺性分析

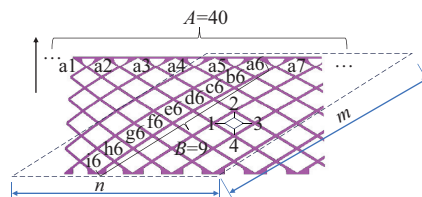
本塑件整体尺寸 $\Phi 34.00$ mm $\times$ 50.00 mm。如图2a,上部为主体P1,选用电镀级丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)(D-2400);下部内壳结构P2,选用聚碳

酸酯(PC)(2805 901510)。由于PC成型温度高于ABS,第1色先行成型内壳,第2色主体在其基础上成型。塑件沿轴线上、下分模,以外形最大轮廓为主分型面。塑件年产量6.5万件,模具寿命要求达50万次,关键部位尺寸精度要求达MT2级。产品的结构工艺分析如下。

主体P1平均壁厚0.95 mm,最厚处达2.66 mm,表面规律分布着大量棱台凸起结构,赋予内饰件独特造型美感及良好的操纵体验。如图2b,棱台顶面为菱形。其中1,3棱相对,夹角 $\alpha=80^\circ$,与其轴线近似垂直;2,4棱相对,夹角 $\alpha'=52^\circ$,与轴线共面。单个棱台径向脱模不存在倒扣面。棱台分布如图2c,水平成行,行号为a~i;沿其中心连线斜向成列,列号为1~40,共计9行40列(顶部及底部的小平面不影响脱模,未计算在内)。任一相邻列(如a5,a6)的周向角 $\gamma=360/40=9^\circ$;当棱台相隔两行一列时(如a5,c6),均沿轴向上、下相对,并保持彼此轴线平行,故任一同行列邻行棱台(如a6,b6)周向夹角 $\gamma'=\gamma/2=4.5^\circ$ 。因此,任一对棱台的行列关系可简化为轴向平移及周向旋转的添加态。平移时,上棱台2棱与下棱台4棱夹角始终为 α' 不变,不影响脱模;在旋转时,左棱台1棱与右棱台3棱夹角随行列间距增大而减小。当其夹角小于2倍脱模斜度时,难以脱模。实践表明,行位设置越多,对模具制造及成型越不利,应结合塑件确定最少行位数^[5]。为保证成型精度,行位分型线应沿棱台列走向的间隙中心线设置,端面应



(a) Plastic structure and mould parting (b) Prismatic features



(c) Prismatic distribution

P1—Knob main body; P2—Inner shell; P3—Side hole and emboss;
P4—Gear slot; P5—Tab; A—Circular prism columns; B—Entire prism rows; m—Side-core prism rows; n—Side-core prism columns

图2 塑件结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of plastic product structure

为包含 m 行 n 列的平行四边形。为使行位数量最少, m 应取最大, 即 $m=9$; 其中, 左下、右上行列间距最大。当二者符合脱模关系时, 行位即可顺利抽出。当其脱模斜度 $\beta=1.5$ 时, 列式并推导见式(1)和式(2)。

$$\alpha - (n-1)\gamma - (m-1)\gamma' \geq 2\beta \quad (1)$$

$$n \leq \frac{\alpha - 2\beta - (m-1)\gamma'}{\gamma} + 1 \quad (2)$$

由上式可得: $n \leq 5.6$ 。单行位包含列数 n 应为整数, 向下取整, 即最大成型 5 列。本例主体棱台共 40 个, 至少应设置 8 个行位。成型质量方面, 因主体后续需电镀处理, 要求整体无飞边毛刺, 表面质量达镜面, 电镀后无积镀、鼓包、起皮等缺陷, 重点关注行位分型线处, 控制段差在 0.02 mm 内^[6]。

内壳 P2 外形为圆柱, 平均壁厚为 1.1 mm。顶部与主体 P1 相连, 外壁中部均匀分布有 4 处侧孔及侧凸 P3, 应设置 4 个行位成型。底部有档位槽 P4 及 8 个插片 P5。档位槽 P4 外形复杂, 属内壳厚胶位, 最大壁厚 2.28 mm。为赋予旋钮拨档良好的阻尼感, 其表面要求达镜面质量, 其余面为光面即可^[7]。档位槽区域的成型精度要求较高, 对应型腔易损坏, 模具应拆镶处理。

2 双色模具设计

结合上述分析, 双色模应包含两幅子模, 二者动模相同, 定模结构各异, 并排装在设备转盘上。PC 料经第 1 色注入, 成型内壳于动模, 第 1 色动模经转盘旋转后与第 2 色定模合模; ABS 料经第 2 色注入, 在其基础上成型第 2 色旋钮主体, 随后一同脱模。

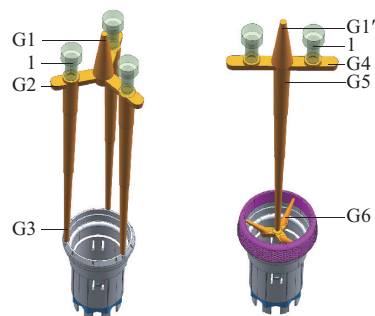
因此, 该双色模具采用四次分型的细水口模架, 两幅子模的定模在浇注系统、成型零件、温控系统及行位机构方面存在差异, 分别满足第 1 色前模预抽、第 2 色子模多行位分段抽芯等不同成型需求。一体成型塑件结构复杂, 需设置多行位配合成型, 导致模具的内部空间紧凑, 生产及制造要求精度较高, 故采用一模一腔方案, 型腔设置在模具中央。

2.1 浇注系统设计

汽车内饰对产品外观质量尤为关注, 成型表面不允许留有浇口痕迹。本塑件体积较小, 并带有薄壁、棱台等精细结构, 模具内部空间有限。同时定模侧应实现四次顺序分型, 因其结构及动作限制无法设计满足塑件成型所需的热流道。因此, 应采用冷流道注塑, 进料位置避开外观面, 设置点浇口或

潜伏式浇口为宜^[8]。

相关文献表明^[9], 对称浇口进料将有利于塑件注塑充填平衡, 并保证成型真圆度。本塑件属薄壁回转体, 故应设置多点对称浇口。浇注系统设计及其编号如图 3 所示。第 1 色 PC 流动性较差, 经主流道 G1、分流道 G2, 通过直径 1.0 mm 点浇口 G3 从内壳顶部三点进料。分流道末端设冷料井过滤凝料, 配合拉料针 1, 实现分模时浇口自动分离。第 2 色 ABS 流动性较好, 对浇口磨损小, 能以较低压力充填型腔, 成型尺寸稳定性也较好。熔料经点浇口 G5 充填再次分流, 通过直径 1.0 mm 潜伏式浇口 G6 从主体内壁三点进料, 浇口痕迹不明显, 对塑件外观质量影响较小。点浇口以下设置有冷料穴, 并在其底部设有拉料杆。分模后, 浇注凝料在点浇口处分离, 上部受拉料针 1 及拉料流道 G4 作用留在定模, 下部因拉料杆限制留在动模。



(a) Feeding system of the 1st color (b) Feeding system of the 2nd color

1—Sucker pin; G1, G1'—Sprue; G2—Runner; G3, G5—Pin-point gate; G4—Sprue puller runner; G6—Submarine gate

图 3 双色塑件浇注系统设计

Fig. 3 Design of feed system of two-color plastic

图 4 为双色塑件充填分析结果。如图 4 所示, 经 Moldflow 分析可知, 第 1 色 PC 充填时间 1.517 s, 第 2 色 ABS 充填时间 1.258 s。结果表明, 双色塑料在型腔内充填流动平衡, 无迟滞、困气、跑道效应等成型问题, 并且在两者相交处重熔效果良好, 成型后可牢固结合代替人工装配, 符合产品制造工艺改善需要。

2.2 成型零件设计

复杂塑件的型芯、型腔整体加工难度大, 通常以多个简单成型零件形式组合成型。针对不同零件选取合适工艺, 有助于提高加工精度及生产效率。易损部位的拆镶, 既便于局部的维修及更换, 也节约了高性能模具钢的用量。此外合理设计镶件, 在配合间隙处设置排气槽, 能有效改善成型条

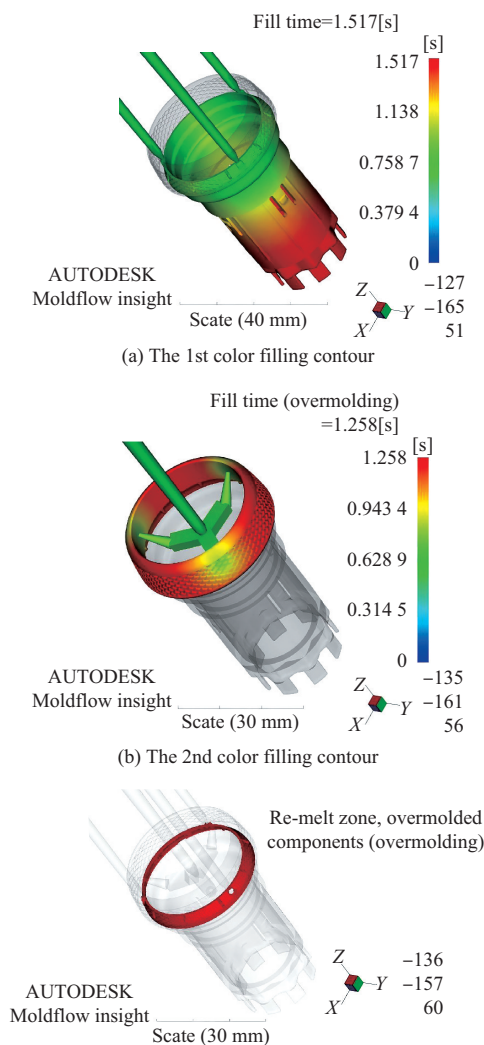


图4 双色塑件充填分析结果

Fig. 4 Results of two-color plastic filling analysis

件,提高塑件的成型质量。综上所述,在保证塑件成型及模具寿命基础上,成型零部件应拆镶处理^[10]。基于强度、刚度等多维考量,模仁整体尺寸设为190 mm×190 mm,拆分镶件编号及设计如图5所示。

第1色定模由定模仁F1及内镶件F2组成。F2负责流道引入及内壁成型,并经中央镶件孔与F1装配。为确保塑件开模时留在动模并自动切断浇口,F2应设计预抽芯动作。为满足双色成型需要,双色子模动模结构相同,由动模仁F6、流道镶件F7、动模侧型芯F8、档位槽成型镶件F9、插片成型镶件F10及内壳外壁镶件F11组成。其中,F7内设有第2色流道及拉料杆导向孔,外壁底部均布设有8条扁顶针导向槽,但由于第1色子模与F2插穿,以上结构不起作用,仅成型底圈内壁;F8负责成型外壁侧孔及侧凸,尾端与滑块相连;F9~F11分别成型内壳档

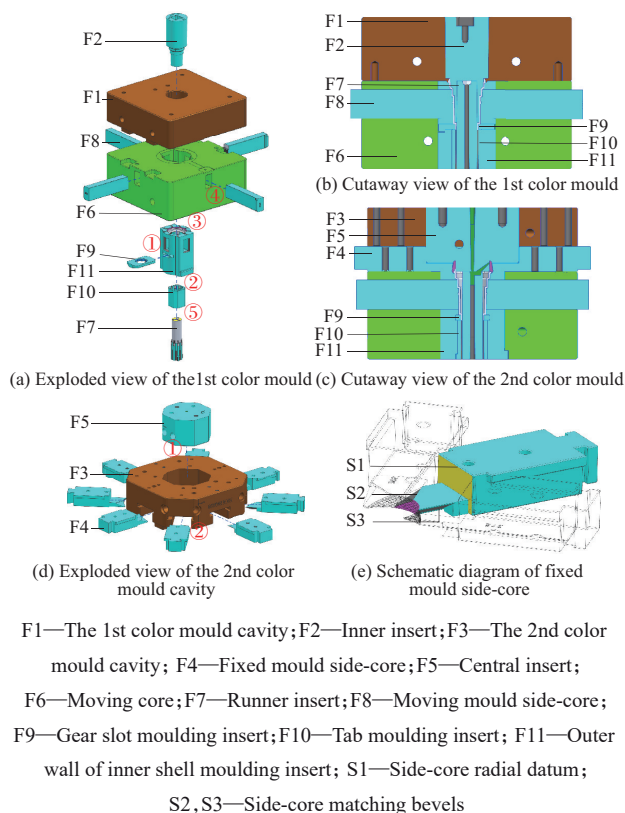


图5 双色模具成型零件示意图

Fig. 5 Schematic diagram of moulded parts of two-color mould

位槽、插片及外壁。为保证模具制造精度,以上镶件应严格按照图5a所示顺序装配及加工。

第2色定模包含定模仁F3、中央镶块F5及8个相互配合的定模侧型芯F4。F3中央设置有镶件孔,并在分型面侧加工8条行位导滑槽,用于组件装配定位。F5外形为正八边形,内部设有流道,第2色子模与F7碰穿,形成完整的浇注通路。此时,F7装配形式不同,侧面存在避空,进料时利用已成型内壳外壁封胶。定模装配按照图5d、图5e执行,行位拆分及导向槽的设置参考第1色排布,以便行位机构设计。8个定模行位沿各自导滑槽装入,径向基准S1对齐F5外表面,周向靠左右相邻行位斜面S2,S3配合定位,组合端面用于主体外表面成型。

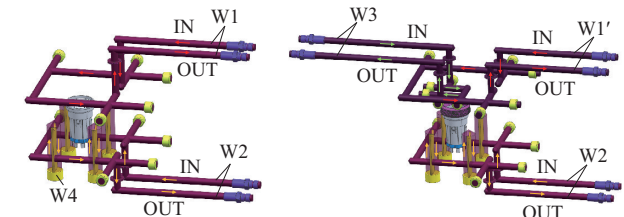
以上镶件孔、导滑槽采用慢走丝工艺加工,镶件组合分型面及配合基准面通过工艺磨提高配合精度。为保证主体外表面成型质量,行位端面采用组合加工工艺。行位单独下料时,其端面保留加工余量;模具装配后,其组合内圆端面采用慢走丝加工,确保真圆度达0.02 mm。随后,所有行位沿着导滑槽后退一段安全距离,利用与F3同步加工的定位孔系,结合定位销对其进行准确定位。五轴CNC加

工的整体式电极移至模仁中心,并下降对齐行位水平面,通过 x,y 联动对其成型表面实现组合加工。该工艺借助模具装配关系,在一次装夹中完成多行位组合放电成型,实测加工质量精密且高效^[11-12]。

结合模具寿命及质量要求,成型零件应、根据其结构及功能选用高性能模具钢^[13]。其中:定模仁及参与塑件外观面成型的镶件选用防锈镜面模具钢 2083ESR,并经过电渣重熔处理,具有较高表面光洁度,热处理后抛光效果好,长期使用仍有较高精度,表面粗糙度达 0.05 以上;内壳整体埋入动模,脱模阻力大,模具磨损严重,动模仁应选用耐磨性相对较好的 8402 模具钢,热处理后硬度达 HRC 62~64,且韧性良好,冲击韧性值 α_k 达 67 J/cm²,并保持较小热处理变形,有利于保证其寿命及精度。其余镶件则选用热作模具钢 2344,加工性能优良同时具有较好导热能力,退火硬度为 HB180-210,工作温度下的导热系数为 33.4 W/(m·K),有助提高成型效率及质量。

2.3 温控系统设计

第1色子模中,内壳属于回转体,且整体在动模成型。因此,温控以冷却为主,模温约 90~110 °C,水路距离塑件表面 15~20 mm。水路设置如图 6a,定模设置“井字形”循环 W1,动模同样设有“井字形”水路 W2,并增设具有优良导热的铍铜隔板 W4,覆盖内壳型腔的整体高度,加速深腔处成型零件冷却。



(a) The 1st color mould water circuit (b) The 2nd color mould water circuit

W1—The 1st color fixed mould water circuit; W2—The 1st color moving mould water circuit; W1'—The 2nd color fixed mould water circuit; W3—Central insert water circuit; W4—Bulkhead

图6 双色模具温控水路示意图

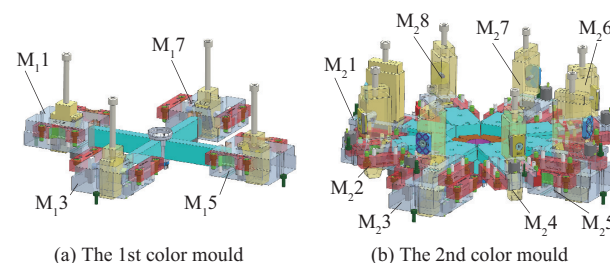
Fig. 6 Schematic diagram of temperature-controlled water route of two-color mould

第2色子模中,动模水路及温控条件则与第1色子模完全一致。然而,主体属电镀件,外观面上分布有大量棱台,并主要在定模成型。成型时应拉高模温,提高塑料流动性,将使其熔融更充分,成型更饱满,同时也有助于释放内应力,改善后续电镀起皮、脱落等缺陷^[14]。相比普通 ABS 产品,成型模

温应拉高 20~30 °C,实际控制在 80 °C 左右。此外,其定模仁 F3 因拆镶在内部形成 8 个行位活动空间。基于水路与活动部件不相干涉原则,定模仁水路 W1' 距离型腔表面较远(约 30 mm),温控能力有限。因此,在中央镶件 F5 设置有“井字形”水路 W3 (如图 6b),距离型腔表面 15 mm,有助于精准控制模温,提高成型质量。

2.4 行位机构设计

行位机构设计布局如图 7 所示,依照模仁导滑槽方位,顺序编号 1~8,相邻方位夹角为 45°。所有行位驱动元件安装于定模侧,依靠模具开合模对行位产生作用。第1色子模仅在 1,3,5,7 四个方位需完成动模抽芯,故设有 4 组相同行位机构(分别为 M₁1, M₁3, M₁5, M₁7);第2色子模定模侧设有 8 个行位,故在 8 个方位均设有机构。不同方位机构驱动行位数量会有所差异, M₂1, M₂3, M₂5, M₂7 机构同时作用于其对应方位动、定模行位,而 M₂2, M₂4, M₂6, M₂8 仅作用于定模行位。



(a) The 1st color mould

(b) The 2nd color mould

M₁1, M₁3, M₁5, M₁7—The 1st color side-core mechanism;

M₂1~M₂8—The 2nd color side-core mechanism

图7 双色模具行位机构布局示意图

Fig. 7 Schematic diagram of side-core mechanism layout of two-color mould

各行位在双色塑件成型不同阶段存在动作差异。内壳在第1色子模成型,在第2色子模作为主体成型基础。由于模具的制造误差不可避免,动模行位第1色开模时不抽离成型位置,由第2色行位机构完成抽芯,以免反复抽芯、复位破坏已成型部分。第2色在抽芯时,两类机构驱动的行位数目有所差异,抽芯力亦有所不同。为确保动作可靠、无卡滞,应设计分段抽芯动作^[15-16]。除此之外,两类行位机构动作原理基本一致。为便于分析,以下分别以 M₁1, M₂1 为例说明其设计要点,如图 8 所示。

第1色行位机构由普通弯销 3 驱动,装于定模板。合模时,弯销内侧斜面装有耐磨块 7,压紧动模滑块 5,同时锁紧行位;外侧表面为竖直面,平行于滑块导向孔;左右侧与滑块上安装弹簧弹块组件 9

仅因轴向受压接触。因此开模时,弯销对行位无任何力的作用,可实现不抽芯的动作需求。

第2色行位机构由T型弯销11驱动,装于抽芯板。合模时,弯销依次穿过定模板、定模滑块14及动模滑块5,其截面也相应分为三段。其中,定模板段内外侧均为竖直面,并在外侧装有耐磨块12;动、定模滑块段均为T型截面,倾斜角 $\alpha=16^\circ$,并在内侧分别装有耐磨块7,17,压紧滑块并锁紧行位。不同的是,动模滑块段外表面为立面,与滑块保持平行,有助于实现互不干扰的分段抽芯。具体过程如图8c所示。

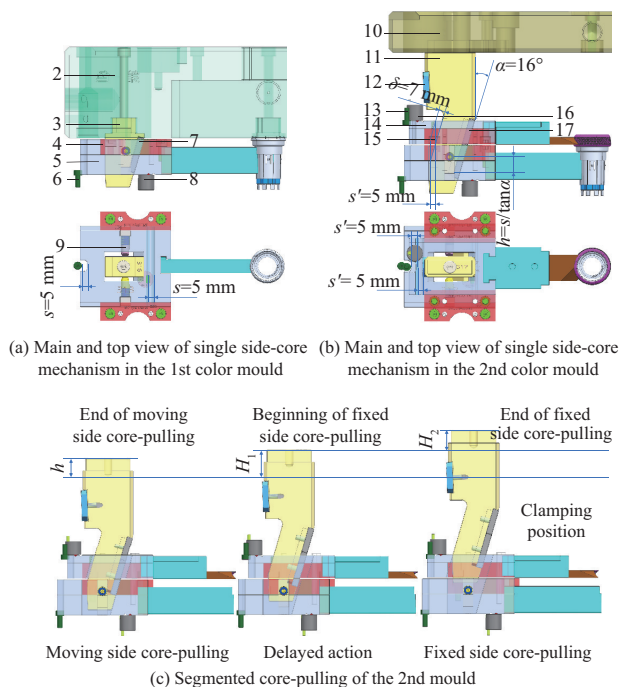


图8 双色模具行位机构示意图

Fig.8 Schematic diagram of side-core mechanism of two-color mould

(1)动模抽芯。

抽芯板打开时,T型弯销11与弹簧弹块组件9之间产生侧向挤压作用,驱使动模侧抽芯率先开始。二者相接触的纵向距离 h 应根据其抽芯距 s 确定(本文为5 mm),关系见式(3)。

$$h=s/\tan\alpha=17.44\text{ mm} \quad (3)$$

开模达上述距离 h 时,弯销脱离弹簧弹块组件,动模滑块因限位螺钉6、限位块8立即停止运动。定模滑块14与弯销11外表面存在间隙 $\delta=7\text{ mm}$,并且

满足 $\delta>s\cdot\cos\alpha$ 。因此,动模抽芯结束时,定模抽芯未开始,存在延时动作。以上两段开模距离之和 H_1 满足式(4)。

$$H_1=\delta/\sin\alpha\approx 25.40\text{ mm} \quad (4)$$

(2)定模抽芯。

延时结束后,定模抽芯将立即开始。此时动模抽芯已经完成,8个行位抽芯处于平衡状态。抽芯距 $s'=5\text{ mm}$,同时对应弯销动模段竖直面与定模滑块的横向重叠距离。继续开模,定模滑块与弯销分离,因定模限位元件13,16停止运动,抽芯动作结束。这一段开模距离 H_2 满足式(5)。

$$H_2=s'/\tan\alpha\approx 17.44\text{ mm} \quad (5)$$

3 模具工作原理

为实现上述成型过程,双色模采用细水口模架,设有四个分型面。除上述结构及部分零件差异,两幅子模保持基本一致,开模状态如图9所示。

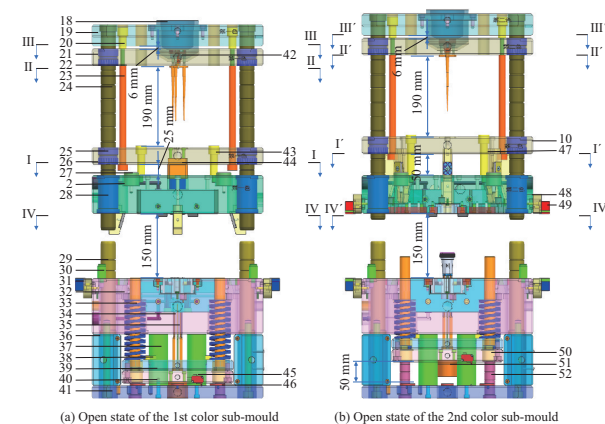


图9 模具结构示意图

Fig.9 Schematic diagram of mould structure

依照分型面打开顺序,叙述模具工作原理如下。

(1)合模状态。第1色PC及第2色ABS在注射机的作用下,经定位套18、浇口套42注射进入双色

模具,并充满型腔。第1色PC成型于动模侧,第2色ABS在定模侧成型于第1色基础上。

(2)I-I分型。在弹力胶27及拉模扣30的作用下,塑料冷却定型后,定模板2随动模板32后退,I-I分型面打开,实现与定模预抽板26分离。第1色子模随之拔出预抽镶件44及定模内镶块F2,并拉断浇口凝料。凝料将完整留在定模,内壳因动模行位及脱模阻力留在动模。预抽距离受定距螺钉43长度控制,开模行程 H_1 设为25 mm。第2色子模I-I分型,即抽芯板10与第2色定模板48分离,分段抽芯立即开始。为避免抽芯时模板的微小窜动影响成型质量,第2色子模在动模侧外挂磁性锁模块49,配合定模侧磁性锁模块31,共同作用加强主分型面锁紧效果。浇口套内部凝料在点浇口被拉断,点浇口以上留在定模侧,以下部分因拉料杆35与塑件一同留在动模。为确保抽芯动作完成,开模行程 H_1' 须大于两段抽芯开模行程 H_1, H_2 之和,由抽芯定距螺钉M32控制,设为50 mm。

(2)II-II分型。I-I分型结束后,II-II分型随即开始。第1色子模因预抽板26后退,使其凝料脱离预抽镶块44;第2色因抽芯板10后退,带动凝料与之分离。凝料由于拉料针作用最终留在推料板侧,并且应足够从II-II分型面取出。双色模均通过定距拉杆23限制II-II分型面打开,并且利用螺钉22与定模座板19内的定距套20相连,设计行程 H_{II} 为190 mm。

(3)III-III分型。II-II分型结束后,定距套20带动推料板21后退,III-III分型面随即打开。此分型实现凝料自动脱离浇口套42,便于后续机械手自II-II分型面取出凝料,因此所需的开模行程极短。设计行程 H_{III} 为6 mm,通过定模座板19与定距套20内部的活动距离控制。

(4)IV-IV分型。继续分模,双色模定模定距元件均已限位,主分型面IV-IV被强制打开。第1色子模开模到位后,受注射机控制无顶出动作,PC内壳留在动模型腔内,将与动模一同旋转180°后,模具重新闭合,等待第2色注射。第2色主分型面IV'-IV'打开到位,注塑机接收信号并通过顶出块52驱动推出机构顶出塑件。推出元件为8根扁顶针34,设于插片P5间隙,均匀作用于内壳档位槽P4下端;顶出距离为50 mm,通过限位块38控制。开模行程 H_{IV} 设为150 mm,足以在产品脱模后经机械手取出

塑件。随后顶出块52后撤,复位杆33回弹带动顶出机构复位。重新闭合模具后,分型面将压实其端面,触发到位开关45,向注塑机发出信号,进入下一注射循环。

4 成型质量及效率

按照上述设计制造的双色模具,动作灵活、可靠,无卡滞。批量生产塑件实物如图10所示。对照生产质量要求,塑件外观及功能面质量达预期镜面标准,表面粗糙度达 $0.1\ \mu\text{m}$,主体操作面经显微观察未见明显的分型段差,关键部位尺寸精度达MT2级;电镀表面均匀、光亮,结合力良好,无剥落、气泡、麻点等质量缺陷;总成零件经一体化成型,结合牢固,定位准确,经安装调试后,旋钮操作及换挡的手感良好,符合改善预期目标。相比单独注塑后人工组装的传统制造工艺,批量成型该旋钮总成的生产节拍缩短为32 s,废品率减少了23%,质量提升同时生产效率提升了20%。产品因长期使用磨损导致使用稳定性降低从而引发客诉的数量大幅降低。

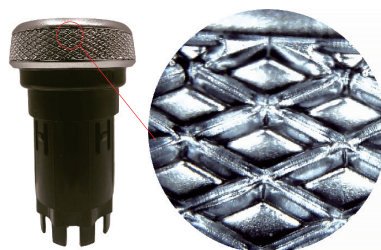


图10 试模产品质量

Fig. 10 Quality of trial moulded products

5 结论

(1)针对旋钮总成“分体注塑+人工组装”的传统工艺,分析其缺陷,并结合塑件产量、结构及材料,研究提出了一体成型工艺:采用双色注塑过程,第1色先成型PC内壳,第2色成型ABS主体。模具分型面选取塑件外形最大轮廓处。根据其侧向结构及分布,分析制定了最优行位设置方案。内壳侧孔及凸起由动模侧4个行位分别成型,旋钮主体表面棱台结构由定模侧8个行位组合成型。

(2)针对上述方案,详细阐述了配套双色子模设计要点。第1色子模采用了点浇口三点进料,塑件主要在动模成型,设置“井字形”水路配合隔板冷却模具。开模时,通过预抽芯板分离内模镶件并拉断凝料。塑件未顶出留在动模。第2色采用潜伏式浇口三点进料,主要在定模成型,内模镶块增设“井字形”水路,近距离拉高模温,实现精准控制。顺序开

模时,通过抽芯板完成行位分段抽芯,在设备控制下顺利顶出塑件,配合机械手实现自动化生产。

(3)针对上述模具设计,进行小批量试模验证。验证结果表明,模具结构合理,开模、抽芯动作灵活可靠。试模产品外观质量良好,双色结构结合可靠,安装调试手感良好,综合质量满足设计要求。以上研究为塑件结构设计及优化提供了思路创新和实践参考,对同类一体化成型的双色塑件生产具有一定的借鉴价值。

参考文献

- [1] 李艳,陈楚玲,宋武.产品形态功能示意性ERP实验研究——以旋钮造型为例[J].南京艺术学院学报(美术与设计版),2020(1):175-179.
LI Yan, CHEN Chuling, SONG Wu. Experimental ERP study on product shape and function schematic—A case study on knob modeling[J]. Journal of Nanjing Arts Institute (Fine Arts & Design), 2020(1):175-179.
- [2] 杨爱萍,呼慧敏,徐云妮.旋钮操作工效学试验研究[J].机械设计,2021,38(6):64-69.
YANG Aiping, HU Huimin, XU Yunni. Experimental study on ergonomics of knob operation[J]. Journal of Machine Design, 2021, 38(6):64-69.
- [3] 刘昕宇,黄瑶.基于顺序注塑的大型双色注塑件翘曲研究[J].现代塑料加工应用,2024,36(4):40-43.
LIU Xinyu, HUANG Yao. Study on warping of large two-color injection molded parts based on sequential injection molding[J]. Modern Plastics Processing And Applications, 2024, 36(4):40-43.
- [4] WANG Z Y, FENG W, YE J L, et al. A study on intelligent manufacturing industrial Internet for injection molding industry based on digital twin[J]. Complexity, 2021(1). DOI:10.1155/2021/8838914.
- [5] 刘敬祺,胡光良,张跃飞,等.基于组合加工的多齿形汽车旋钮注塑模设计[J].工程塑料应用,2025,53(1):105-112.
LIU Jingqi, HU Guangliang, ZHANG Yuefei, et al. Multi-tooth automotive knob injection mould design based on combined processing[J]. Engineering Plastics Application, 2025, 53(1):105-112.
- [6] GIM J, TURNG L S. A review of current advancements in high surface quality injection molding: Measurement, influencing factors, prediction, and control[J]. Polymer Testing, 2022, 115. DOI:10.1016/j.polymertesting.2022.107718.
- [7] 杨北京,杨旭,苏婧颖,等.免喷涂注塑件的成型品质及应用概述[J].中国塑料,2020,34(6):118-125.
YANG Beijing, YANG Xu, SU Jingying, et al. Processing qualities and applications of injection molded spray-free plastic parts[J]. China Plastics, 2020, 34(6):118-125.
- [8] 陈洪土,张维合.车载探测雷达固定架双色注塑模设计[J].中国塑料,2021,35(6):106-110.
CHEN Hongtu, ZHANG Weihe. Design of bicolor injection mold for fixing frame of vehicle[J]. China Plastics, 2021, 35(6):106-110.
- [9] 王晓燕.电机线圈支架注塑成型过程模拟与低圆柱度优化方案探究[J].塑料科技,2021,49(9):75-80.
WANG Xiaoyan. Study on injection molding process simulation and low cylindricity optimization scheme of motor coil bracket[J]. Plastics Science and Technology, 2021, 49(9):75-80.
- [10] 贾秋霜.汽车中控箱座双料双射成型注射模设计[J].工程塑料应用,2025,53(1):119-124.
JIA Qiushuang. Design of dual material injection mould for automobile central control box seat[J]. Engineering Plastics Application, 2025, 53(1):119-124.
- [11] 胡光良,严胜义,宋小尉,等.注塑模表面齿形花纹结构加工工艺的设计优化[J].工程塑料应用,2023,51(6):73-79.
HU Guangliang, YAN Shengyi, SONG Xiaowei, et al. Design and optimization of processing technology of tooth pattern structure on injection mould surface[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(6):73-79.
- [12] 严胜义,王甘平,胡光良,等.一种高效加工旋钮模具表面齿形花纹的方法:CN112975015B[P].2022-06-17.
YAN Shengyi, WANG Ganping, HU Guangliang, et al. An efficient method for processing the tooth patterns on the surface of knob molds:CN112975015B[P].2022-06-17.
- [13] MADHANKUMAR S, HARI NARAYANAN K R, HARINI V, et al. Study and selection of hot forging die materials and hardness [J]. Materials Today: Proceedings, 2021, 45:6 563-6 566.
- [14] LAMARCHE-GAGNON M É, MOLAVI-ZARANDI M, RAYMOND V, et al. Additively manufactured conformal cooling channels through topology optimization[J]. Structural and Multidisciplinary Optimization, 2024, 67(8). DOI:10.1007/s00158-024-03846-3.
- [15] 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.
- [16] 彭贤峰,符立华,李朋,等.基于多重滑块与复合抽芯的汽车水室模具设计[J].工程塑料应用,2025,53(3):140-145.
PENG Xianfeng, FU Lihua, LI Peng, et al. Mould design of automobile water chamber based on multiple sliders and composite core pulling[J]. Engineering Plastics Application, 2025, 53(3):140-145.