

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2025.11.021

大型复杂薄壁汽车门板热流道注塑模全3D结构设计

王静, 刘浩, 陈川, 程方启

(浙江机电职业技术大学智能制造学院, 杭州 310053)

摘要: 针对某汽车前护门板塑件复杂薄壁的结构特点, 设计了一副大型顺序阀控制的热流道注塑模具, 解决了该塑件脱模困难, 不易实现自动化注塑的生产难题。针对塑件尺寸较大且内部薄壁筋槽结构所导致的充模困难难题, 模具采用热流道浇注系统, 热射嘴通过顺序阀控制进料时间, 通过热流道转冷流道经扇形浇口的方式, 实现了大型薄壁塑件熔体的均匀填充。针对门板塑件内部具有的七处不同朝向多层扣位特征, 创新设计了“锥形顶块”侧向抽芯机构, 这种锥形结构封胶严实且容易实现侧抽芯动作, 与“顶针+司筒+顶块”的复合顶出结构相配合共同顶出, 顺利解决了塑件内侧倒扣多、脱模困难的难题。针对塑件外观曲面形状落差大所导致的简单直管道无法均匀冷却问题, 通过采用“直通式管道+隔片式冷却水井”的结构形式, 构建了近似“随形水路”的模具冷却系统, 达到了模具型面均衡充分冷却的目的。经生产实际验证表明, 该模具结构合理, 机构动作顺畅, 成型塑件的精度均达到客户要求, 为汽车类似塑件精密模具设计提供了有益参考。

关键词: 汽车门板; 顺序阀热流道; 大型注塑模具; 侧向抽芯机构; 模具设计

中图分类号: TQ320.52 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2025)11-0154-07

Full 3D structural design of hot runner injection mould for large and complex thin-walled automotive door panels

WANG Jing, LIU Hao, CHEN Chuan, CHENG Fangqi

(College of Intelligent Manufacturing, Zhejiang Polytechnic University of Mechanical and Electrical Engineering, Hangzhou 310053, China)

Abstract : To address the complex and thin-walled structural characteristics of a plastic part for a certain car's front door panel, large injection mold with the hot runner controlled by sequential valve was designed to solve the production difficulties of demolding the plastic part and achieving automated injection moulding. To overcome the filling challenge caused by the part's large size and internal thin-walled ribs/grooves, a hot runner gating system was employed. The hot nozzle controls the feeding time through a sequential valve, and the uniform filling of large thin-walled plastic parts melt was achieved by converting the hot runner to the cold runner through a fan-shaped gate. In response to the characteristics of seven multi-layer buckles in different orientations of buckle features inside the door panel plastic parts, an innovative design of a lateral core pulling mechanism with the conical top block was developed. This conical structure is tightly sealed and easy to achieve lateral core pulling action, which works together with the composite ejector structure with the ejector pin, the driver tube, and the ejector block to successfully solve the problems of multiple inverted buckles on the inner side of the plastic parts and difficult demolding. In response to the problem of uneven cooling of simple straight pipes caused by large differences in the appearance and surface shape of plastic parts, a mould cooling system with an approximate conformal waterway was constructed by adopting a structure with the straight through pipes and the baffle cooling water wells, achieving balanced and sufficient cooling of the mould surface. Through practical production verification, it has been shown that the mould structure is reasonable, the mechanism operates smoothly, and the accuracy of the formed plastic parts meet customer requirements, providing useful reference for the design of precision moulds for similar plastic parts in automobiles.

Keywords : automotive door panel ; sequential valve hot runner ; large injection mould ; lateral core pulling mechanism ; mould design

基金项目: 浙江机电职业技术大学2022年度校级科教融合重大研发孵化项目(A-0271-22-103)

通信作者: 王静, 博士研究生, 研究方向为模具CAD、智能化设计、数字化设计

收稿日期: 2025-08-08

引用格式: 王静, 刘浩, 陈川, 等. 大型复杂薄壁汽车门板热流道注塑模全3D结构设计[J]. 工程塑料应用, 2025, 53(11): 154-160.

WANG Jing, LIU Hao, CHEN Chuan, et al. Full 3D structural design of hot runner injection mould for large and complex thin-walled automotive door panels[J]. Engineering Plastics Application, 2025, 53(11): 154-160.

汽车门板作为汽车内部的重要结构件和装饰件,其质量、性能和外观直接影响汽车的整体品质和用户体验。汽车门板塑件尺寸大、结构复杂,所配套的注塑模具属于典型的大型、精密、高寿命且结构复杂的类型,设计难度高、设计周期长。在汽车产业高速扩张、消费者对整车品质提出更高要求的背景下,汽车门板注塑模具的性能与精度面临着更高的技术挑战。当前,针对汽车门板注塑模具的研究也在不断深化,提出了很多新颖实用的模具方案。其中,张维合等^[1]借助“斜顶+斜顶杆”与“油缸+T形块+滑块”的组合式侧向抽芯机构,顺利克服了塑件内外倒扣密集、脱模阻力大的瓶颈。石波等^[2]针对某车型左/右前门内饰板,采用“1+1+1+1”方案均衡型腔布局,通过镶嵌结构与弹顶机构的配合设计,镶件用于精准“隐藏”分型线,弹顶负责喇叭罩网的顶出,并辅以热流道顺序阀和“水路+水井”的立体结构来完成浇注系统及冷却系统的设计,达到了对制品外观及尺寸的成型要求。刘赛科等^[3]针对汽车门板上门框塑件存在的复杂形状脱模问题,设计了弹针结构和第三直顶块组合的脱模结构,通过在脱模过程中提供有效支撑,降低产品变形的可能

性。赵利平等^[4]通过把异形斜顶抽芯与直顶顶出“混搭”设计,在常规斜顶无处安放的狭窄空间里突破了位置受限的瓶颈,顺利完成侧向抽芯动作。闫丽静等^[5]借助“双斜推杆+导向杆”的内斜顶抽芯组合,有效克服了大型注塑模具斜推杆易弯曲、易断裂的弊端。白松^[6]采用斜导柱+整体式T形滑块机构与斜顶杆交叉辅助机构实现倒扣、内部异形孔等结构的抽芯脱模,通过优化组合设计从整体上优化了模具结构,降低了模具制造成本。然而随着消费者对汽车需求的提升,作为重要内饰件的汽车门板其结构特征也在不断变化,以往门板模具研究文献虽然有一定的参考意义,但还是难以完全解决新的模具结构问题,笔者针对一款新式的汽车门板塑件,详细介绍了其注塑模具的设计要点与经验技巧。

1 塑件结构分析

某款汽车门板塑件图如图1所示,使用聚丙烯树脂、三元乙丙橡胶与滑石粉共混改性材料(PP/EPDM/TD20)制成,PP/EPDM/TD20收缩率为1.2%。相比传统PP材料,其综合性能显著提升,兼具良好的流动性、较高的表面光泽与刚性,以及更优的抗

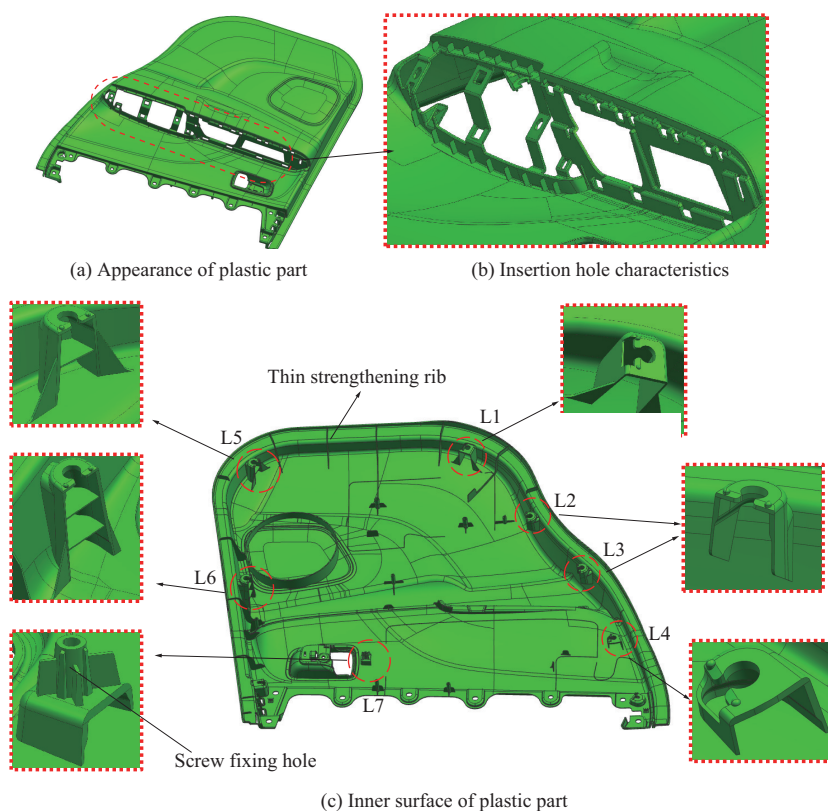


图1 汽车门板零件模型

Fig. 1 Automotive door panel component model

冲击性能。同时具备良好的耐划痕、耐臭氧、耐热和耐候性能,热变形温度为100℃,显著增强了门板的柔韧性与耐用性^[7-8]。产品的最大外形尺寸约为745 mm×720 mm×106 mm,属于较大型塑件制品,内部具有很多薄壁加强筋结构,平均壁厚2.5 mm,最小壁厚1.8 mm。塑件整体呈现板状壳体结构,如图1a所示,在其中部具有阶梯落差,并伴有大量异形插穿孔,如图1b所示。塑件四周分模线为复杂的空间曲线,导致其外分型面也将具有空间曲面的特征。塑件内表面存在多处加强筋、螺丝柱位(共6处)及倒扣结构(共7处),如图1c所示,L1至L7为7个不同方向的倒扣,会造成产品脱模困难,需考虑斜顶抽芯来解决这些地方的局部脱模问题。塑件表面不能有飞边、凹痕等缺陷,不允许存在黑斑及浇口痕迹。

2 模具结构设计

2.1 进胶及排气设计

汽车门板塑件由于其尺寸大、结构复杂、外观要求高,在充模过程中极易出现包括喷射痕在内的多种缺陷,因此需要通过优化模具的进胶及排气系统设计来加以控制。汽车门板模具浇注系统的设计需兼顾大型制件的充填平衡与表面质量,通常采用热流道多点进浇结合非平衡式冷流道布局,以确保熔体均匀填充^[9-10]。浇口多选用潜伏式浇口或侧浇口,其中潜胶可避免进胶痕迹并易实现浇口与产品的自动分离;侧浇口则易于加工,模具结构(两板模)简单,成型后只需简单切剪即可去除,残留痕迹小,后续无需打磨或补漆,可直接进入装配线^[11]。在具体工程实践中,设计师可灵活根据实际情况,凭借自身设计经验,或借助模流分析优化浇口位置,以避免不良成型现象的发生。汽车门板塑件属于大型、复杂且薄壁的平板类塑料制品,且具有喇叭网通孔数量较多的结构特征,如采用传统多点进胶时,易出现虎皮纹、流痕及喷射痕等不良结果,该产品对于企业来说,属于类型产品,设计师积累了较多的以往类似模具的设计经验,无需运行模流分析,参考以往类似案例采用了“3点针阀式热流道转冷流道”的组合式进胶方案,如图2所示。热射嘴的具体位置由G1, G2和G3符号表示,为防止长距离输送所造成的热量及压力损耗,三处热射嘴距离塑件边缘的冷流道长度均小于50 mm,顺序阀在油缸驱动下根据模具智能控制系统设定的节拍分时开启,精准调控三个热射

嘴的射胶次序,熔体先经热流道再入冷流道,最终由三个扇形侧浇口注入模腔,实现平稳有序填充,从而保证了产品的质量。由于该产品的模具内部有较大空腔,在充模过程中,极易在模腔内部发生困气现象,为解决这个问题,围绕模具的外侧分型面,设计有环形排气槽,深度为0.02 mm,在环形排气槽周线上又分别设计有多条线段排气槽(0.02~0.04 mm),可保证顺利排气。

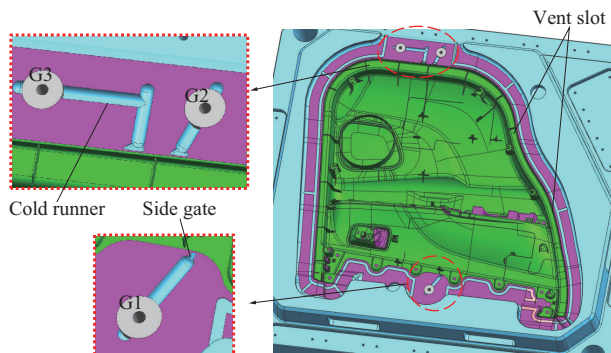


图2 浇注系统及排气设计

Fig. 2 Gating system and exhaust design

2.2 成型零件设计

在汽车模具设计中,成型零件是指直接参与塑料材料成形过程,即与熔胶直接接触、决定最终产品形状、尺寸及表面质量的模具核心部件,一般情况下工程中常常把定模和动模视为核心成型零件^[12]。在进行分模设计时,构建分型面是完成分模从而得到定模和动模结构的重要前提,由于汽车门板造型复杂,周侧分模线的空间几何形状变化不定,因此在进行汽车门板模具分型面设计时,应尽可能将分型线绕开可视外观区,以避免在产品外观面出现合模痕,分型面的拔模角一般取 $\geq 0.5^\circ$ 并加0.1~0.3 mm的研磨量,以方便后续配模。

汽车门板塑件外形轮廓大、三维曲面复杂,对型腔刚性及尺寸稳定性要求极高,因此模具采用“单腔整体式”结构:即直接在定模板(图3)、动模板(图4)上通过高速铣削和精密电火花加工出模具成型面,避免多套镶拼带来的累计误差,也省去了拼接缝后期研配的工作量。为增强模具的刚性和稳定性,确保注塑过程中模具能够承受高压,保证成型精度和产品质量,模具在定、动模的四周边缘设置了一圈连续的“虎口”结构,如图3所示,形成闭合的框架结构。该虎口不仅能在合模瞬间提供精准定位,还能把注射压力均匀地传递到整块模板,显著降低模板局部弹性变形,保证塑件外观面不会出

现由于模板微张而产生的飞边或厚度突变。如图4所示,模具外侧分型面相衔接处采用顺滑无尖角结构,可有效保证CNC的加工精度,同时圆角过渡的插穿结构也可避免出现飞边等注塑缺陷,外侧分型面的周围裙边也做了全周虎口设计,插穿配合面的斜度设计为 5° ,此种结构在合模时可形成楔形自锁效应,既保证定位精度,又降低金属面之间的硬摩擦,延长模具寿命。由于汽车门板塑件内表面存在有多处加强筋,其在动模表面形成了诸多的窄槽特征,不但会影响型腔排气,更不容易加工,如图4所示,采用镶件结构,且将螺丝安装孔设计在镶件胶位面,这种设计既改善了排气,也简化了加工与维护。

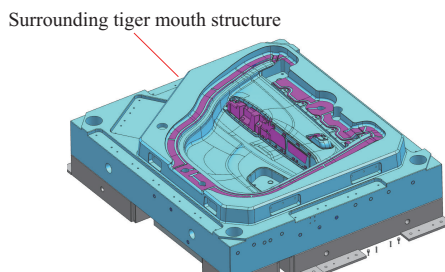


图3 模具的定模板结构

Fig. 3 Fixed template structure of mould

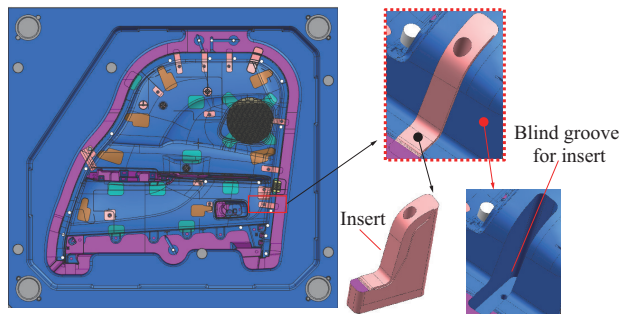


图4 模具的动模板结构

Fig. 4 Moving template structure of mould

2.3 顶出系统设计

汽车门板作为大型薄壁注塑件,对表面质量要求极高,其模具顶出系统不仅是模具设计的关键环节,更是保障产品质量、提高生产效率的核心要素。顶出系统若设计不当,极易在塑件表面留下顶针痕、顶白、顶凸等缺陷,影响外观,甚至导致产品报废。考虑到汽车门板塑件具有的大尺寸、薄壁、复杂曲面及多嵌件特点,在进行顶出系统设计时将优先采用“斜顶+直顶”组合,其中斜顶可以处理倒扣的侧向分型,直顶则承担着塑件的整体脱模。顶出位置宜采用多点均衡顶出以防止塑件脱模时变形,布置于加强筋或螺钉柱下方可以有效减少顶白^[13],

在此动态设计过程中应避免冷却通道等各种内部构件,从而优化设计顶出位置。在此模具中,由于汽车门板面积较大,为了保证塑件顶出安全及美观,模具的顶出系统采用了“顶块+司筒+顶针”复合脱模结构。在塑件周围不易脱模部位,如图5c中标号1所示,设计了直径为12 mm共18根顶针均匀排布;然而单凭顶针的力度不足以完成塑件顶出,为防止塑件顶白,设计了顶块结构,顶出面积平均尺寸约 $56\text{ mm}\times 42\text{ mm}$,如图5c中标号2所示,共计12根顶块,顶块胶位面均设计在塑件的关键受力区域,如图5b所示,以保证塑件顶出时受力均匀。顶块采用锥度结构以保证密封胶,如图5e所示,顶块内部开有销钉孔,使用销钉与连接杆进行固定;如图5a所示,对于塑件内表面存在的螺丝柱位(BOSS柱)塑胶的脱出,模具采用了司筒顶出结构,如图5d所示,全模具共使用了7根司筒参与顶出动作,顺利地解决了塑件的脱模问题。这种由顶针、顶块、司筒及斜顶(见2.4节)组合的复合顶出系统,可实现多点均衡施力,保证塑件安全顺利脱模,从而确保产品外观与尺寸精度。

2.4 侧抽芯机构设计

汽车门板塑件结构多具有大量的侧凹特征,主要集中在拉手盒、玻璃导槽、卡扣和扬声器面罩处,其方向多维,常与皮纹、电镀面相邻。侧凹局部壁厚且交汇有加强筋,易收缩变形,其位置多位于外观可视边界,模具设计时必须考虑抽芯行程、顶针干涉和表面瑕疵等因素^[14-15]。如图1所示,由于汽车门板塑件内侧空间狭窄,其内表面设有7个形状各异的倒扣,脱模难度不一,模具最终全部采用斜顶侧向抽芯机构来实现这些扣位的顺利脱出。根据倒扣结构的形状可将7个斜顶分为6类,如图6所示。在该模具中,全部七个斜顶结构的设计原理是相似的,其基本构造主要由斜顶块、斜顶杆、连接销钉、斜顶座组成。虽然扣位形状不同,但是斜顶块均采用了整体式结构,斜顶头部设计成可拆卸的镶件,镶件在包住扣位胶位的前提下,将前端胶位面与斜顶块本体连为一体且有高度差(约35 mm),这种创新结构设计突破了传统斜顶头部单薄力度不够的弊端,使得斜顶块的强度得以充分保障,解决了顶出平衡的难题。斜顶头的整体结构采用类冬菇头的倒锥形,锥度取 3° ,同时斜顶块非胶位面棱边做了倒圆处理,此种结构设计不但起到了良好的密封胶作用,且使得拆卸换装十分方便。

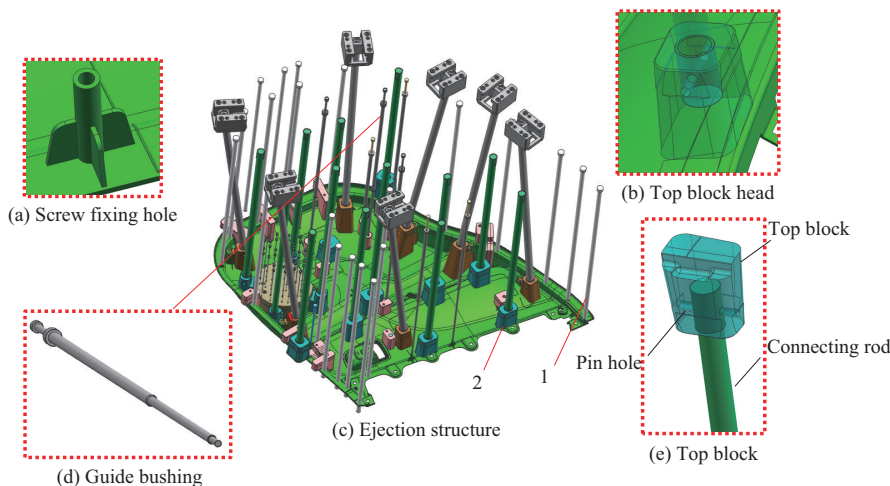


图5 模具的顶出系统

Fig. 5 Ejection system of mould

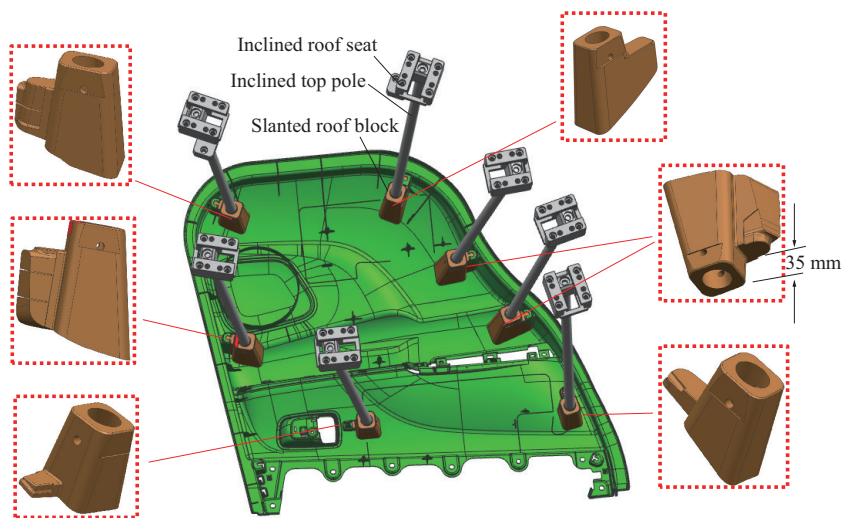


图6 模具的侧抽芯系统

Fig. 6 Side core pulling system of mould

2.5 冷却系统设计

在注塑成型过程中,冷却阶段所占用的时间大约占整个成型周期的80%,在实际工程中,成型塑件出现填充不足以及翘曲变形等问题,通常是由于模腔内部各区域温度分布不合理造成的^[16-17]。汽车门板模具的冷却系统必须“又快又稳”,在均衡、可控的前提下把模具内部热量迅速带走,以达到缩短成型周期、确保尺寸稳定与外观质量的目的。汽车门板作为汽车内饰件中最关键且尺寸较大的部件之一,模具温度控制系统设计需遵循“均衡+速冷”的双原则,既要保证水路管道的均匀排布,也要注意在模具内部关键区域加设冷却水井或钎铜镶件,以实现制品快速均匀冷却。按“等距、等深”规则布管——水道与型腔面保持均一距离,合理规划冷却水道之间的间距,以确保冷却效果的均匀性与

高效性。如图7所示,模具采用“直通式水路+隔片式水井”的立体冷却水网结构,在模具的动、定模均设计有冷却水路,且各冷却管道近似随形的覆盖模具型面,以保证塑件受到均匀快速的冷却,冷却液流动方向尽可能要与熔体流动方向一致,进出水路长度大致相等,水道之间的间距为50~60 mm之间,管道内壁距模具型面距离在20~25 mm之间,冷却水道与顶针孔保持了至少6 mm的距离。其中动模设计了8组水路,如图7a所示,定模设计了10组水路,如图7b所示。这些冷却管道沿着模具型面呈等距离布置,且在动定模内纵横交错,在每条直管道上设计隔片式冷却水井,如图7c所示,来实现高度方向上的冷却,从整体来看形成了“随形水路”结构,达到了较好的冷却效果,大大提高了塑件的成型质量和生产效率。

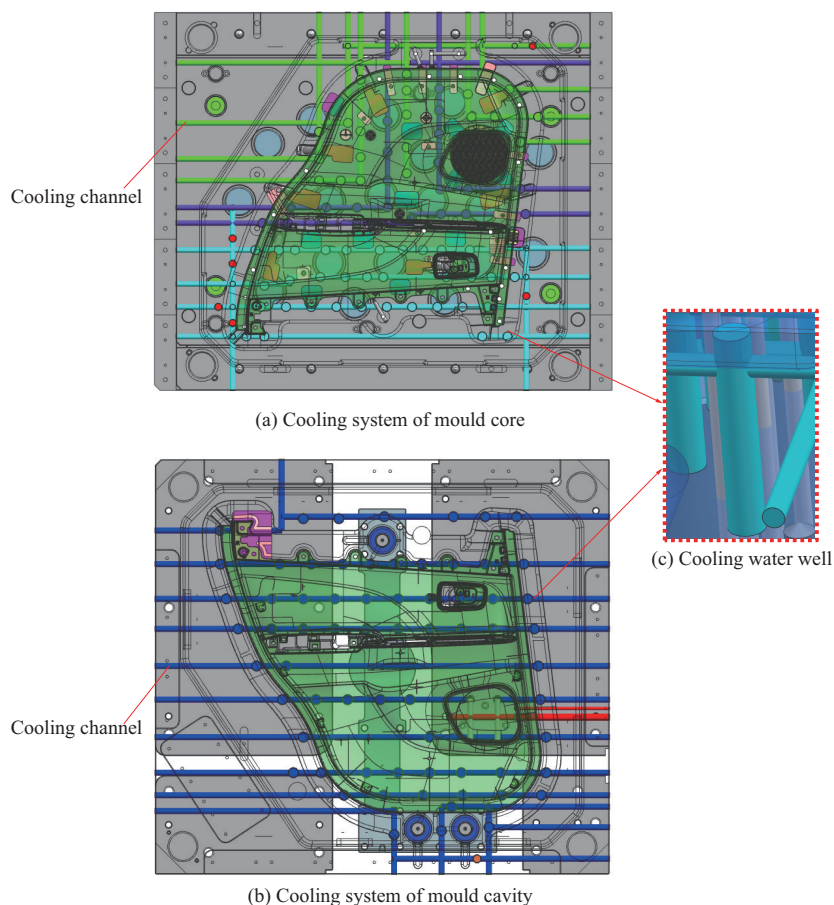


图7 模具的冷却系统

Fig. 7 Cooling system of mould

3 模具工作过程

注塑机喷嘴注胶后,塑胶熔体通过一级热射嘴、热流道板、二级热射嘴及分型面上的冷流道,经由扇形浇口进入模具型腔。此后,注塑过程基本可分为三个阶段:充模、保压、冷却。经过充模和保压之后,塑胶熔体在模具内部冷却管网作用下得到了充分的冷却,并逐渐固化至足够的刚度,在注塑机驱动下,如图8所示,模具的动、定模从I处分开,开

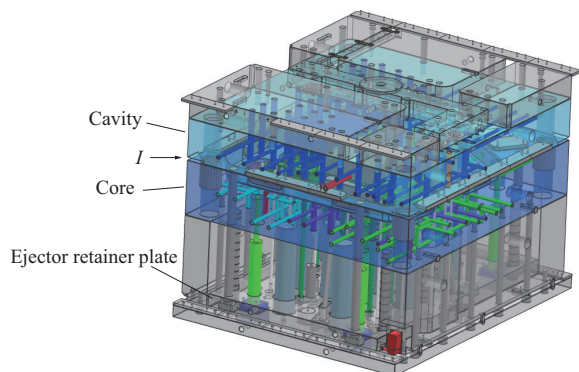


图8 冷却系统设计

Fig. 8 Cooling system design

模结束后,注塑机的油缸推动顶针固定板,同步带动其上的顶针、顶块、司筒及斜顶一起运动,斜顶在完成模具侧抽芯动作的同时,配合顶针、顶块及司筒一起将塑件完全从模具型芯上顶出,被顶出的塑件可经由机械手取出,模具经注塑机驱动重新闭合,开始新的一次注射成型。经生产实际验证,该模具结构简洁实用、设计合理,机构动作顺畅,投产后运行平稳且安全可靠,成型塑件的精度、合格率及各项指标均达到客户要求。

4 结论

(1)模具集成顶针、顶块、斜顶与司筒的复合顶出系统,多点均衡施力,实现塑件安全顺利脱模,完好保障产品外观与尺寸精度。

(2)模具以“直通式水路+隔片式水井”的结构形式构成立体冷却网,近似随形的覆盖模具型面,保证了塑件受到均匀快速的冷却。

模具结构简洁实用,投产后模具运行平稳、安全可靠,塑件各项指标均符合客户要求。

参考文献

- [1] 张维合,冯国树,朱晓敏,等.汽车右后门板顺序阀热流道大型薄壁注塑模具设计[J].中国塑料,2022,36(1):166-171.
ZHANG Weihe, FENG Guoshu, ZHU Xiaomin, et al. Design of large and thin-walled injection mold with SVG for car right-tuer hinten[J]. China Plastics, 2022, 36(1):166-171.
- [2] 石波,李昌雪.某车型门饰板注射模设计[J].模具工业,2022,48(4):58-62.
SHI Bo, LI Changxue. Design of multi-cavity injection mould for door trim panel of car[J]. Die & Mould Industry, 2022, 48(4): 58-62.
- [3] 刘赛科,王一栋,丁宏参,等.汽车门板上框架注塑模脱模机构设计[J].电加工与模具,2024(增刊1):60-63.
LIU Saike, WANG Yidong, DING Hong(Can/Cen/Shen), et al. Design of demoulding mechanism of injection mold for upper frame of automobile door panel[J]. Electromachining & Mould, 2024(Suppl 1):60-63.
- [4] 赵利平,张维合,彭新华.汽车座椅侧护板注塑模具创新设计[J].中国塑料,2023,37(10):139-143.
ZHAO Liping, ZHANG Weihe, PENG Xinhua. Innovative design of injection mold for car seat side guard plate[J]. China Plastics, 2023, 37(10):139-143.
- [5] 闫丽静,张维合,邓成林.汽车A柱上护板大型复杂内侧抽芯注塑模设计[J].中国塑料,2023,37(7):110-114.
YAN Lijing, ZHANG Weihe, DENG Chenglin. Design of large injection mold with complex inner core pulling for door cladding under A-pillar of car[J]. China Plastics, 2023, 37(7):110-114.
- [6] 白松.一种汽车B柱内饰板注塑模具设计[J].模具技术,2024(5):22-28.
BAI Song. A kind of automobile B-pillar interior trim plate injection mold design[J]. Die and Mould Technology, 2024(5):22-28.
- [7] 刘义考.新能源汽车仪表罩热流道注射模设计[J].塑料,2023,52(6):136-141,146.
LIU Yikao. Design of hot runner injection mold for new energy car instrument cover[J]. Plastics, 2023, 52(6):136-141, 146.
- [8] 孙宝林,陈誉,张艳芹,等.汽车电控单元保护壳翘曲变形特性及成型优化[J].工程塑料应用,2023,51(10):69-75,84.
SUN Baolin, CHEN Yu, ZHANG Yanqin, et al. Warping deformation characteristics and molding optimization of automotive electronic control unit protective shell[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(10):69-75, 84.
- [9] 陈兵,胡银芬.基于Moldflow分析的汽车左/右支撑托架注射模设计[J].模具工业,2024,50(3):53-58.
CHEN Bing, HU Yinfen. Injection mould design of left and right support brackets of automobile based on Moldflow analysis[J]. Die & Mould Industry, 2024, 50(3):53-58.
- [10] 赵利平,温煌英,罗哲,等.汽车灯饰面盖零件热流道双色注塑模具设计[J].工程塑料应用,2022,50(3):96-100.
ZHAO Liping, WEN Huangying, LUO Zhe, et al. Design of two-color injection mold for hot runner of automobile lamp cover[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(3):96-100.
- [11] 孙君慧,佟林宝,孙金生.大型复杂汽车高光内外饰件模具设计及注塑缺陷解决方法[J].商用汽车,2024(6):64-67.
SUN Junhui, TONG Linbao, SUN Jinsheng. Design of high gloss interior and exterior decoration molds for large and complex cars and solution to injection defects[J]. Commercial Vehicle, 2024(6): 64-67.
- [12] 李祥伟.基于UG软件技术设计注塑模具的研究[J].中国设备工程,2023(15):126-128.
LI Xiangwei. Research on design of injection mold based on UG software technology[J]. China Plant Engineering, 2023(15): 126-128.
- [13] YING W, WANG Y, LI X, et al. Design of plastic injection mould for plastic bracket[J]. Journal of Physics:Conference Series, 2020, 1653(1). DOI:10.1088/1742-6596/1653/1/012020.
- [14] LI J Y, ONG Y C, WAN MUHAMAD W M. Optimization design of injection mold conformal cooling channel for improving cooling rate[J]. Processes, 2024, 12(6) DOI:10.3390/PR12061232.
- [15] HOU B K, XUE S C, YANG J, et al. A seamless CAD/CAM integration approach for venting system generation in injection mold design[J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2024, 131(9):4 903-4 913.
- [16] HE H, XING Y, WANG R G, et al. Optimization design of cooling system for injection molding mold of non-pneumatic tire [J]. Thermal Science and Engineering Progress, 2023, 42. DOI: 10.1016/J. TSEP.2023.101866.
- [17] PARK H S, DANG X P, NGUYEN D S, et al. Design of advanced injection mold to increase cooling efficiency[J]. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology, 2020, 7(2):319-328.