

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2025.08.020

汽车中冷器气室多向深腔塑件注塑模设计

俞文涛¹, 高永生¹, 阮顶伟¹, 潘铁军¹, 丁素芳², 俞益辉³

(1. 宁波大学科学技术学院, 浙江宁波 315000; 2. 宁波技师学院, 浙江宁波 315000; 3. 宁波铭业汽车部件有限公司, 浙江宁波 315000)

摘要: 针对某汽车中冷器气室多向深腔复杂塑件设计了一副两板式模具, 解决了该塑件脱模困难、难以实现自动化注塑的生产难题。塑件方形主体顶部设有与水平方向呈73°夹角的圆管接头, 外表面分布密集网状加强筋, 四个侧壁均存在多处需侧向抽芯成型的复杂特征, 且部分特征抽芯方向相互干涉, 导致脱模机构设计非常困难。为解决该问题, 运用分层式型腔设计方法, 将整体塑件依据几何拓扑与脱模约束分解为四个逻辑层次。针对脱模方向冲突最为集中的第二层特征群, 应用脱模方向集中优化法, 设计了四个侧向抽芯机构: 模具天侧因需大抽芯力及空间允许, 配置了液压缸抽芯机构, 其余三侧均采用斜导柱抽芯机构。特别针对顶部圆筒特征两个相互垂直脱模方向的空间运动干涉, 创新设计了“滑块嵌套滑块”式二次抽芯机构。该机构通过时序控制, 驱动内层滑块(负责垂直方向特征)执行首次抽芯, 解除约束后, 外层滑块(负责径向特征)完成二次抽芯。此分步动作有效规避了干涉, 实现了塑件自动完全脱模。生产验证表明, 该模具结构合理, 机构运行稳定。其分层设计理念及嵌套式二次抽芯机构, 有效解决了复杂塑件脱模、多向抽芯协同控制难题, 为汽车高功能塑件精密模具设计提供了有益参考。

关键词: 中冷器; 气室; 聚酰胺; 分层式型腔设计法; 嵌套式二次抽芯机构; 脱模机构

中图分类号: TG243 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2025)08-0157-08

Design of injection mould for multi-directional deep cavity plastic parts of automobile intercooler air chamber

YU Wentao¹, GAO Yongshen¹, RUAN Dingwei¹, PAN Tiejun¹, DING Sufang², YU Yihui³

(1. College of Science and Technology, Ningbo University, Ningbo 315000, China; 2. Ningbo Technician College, Ningbo 315000, China; 3. Ningbo Mingye Auto Parts Co., Ltd., Ningbo 315000, China)

Abstract : A two-plate mould was designed for a complex multi-directional deep cavity plastic part of an automobile intercooler air chamber, solving the production challenges of difficult demolding and the difficulty in achieving automated injection molding. The square main body of the plastic part is equipped with a round tube joint at a 73° angle to the horizontal direction, and the outer surface is densely covered with mesh-like reinforcing ribs. The four side walls all have multiple complex features that require lateral core pulling molding, and some of these features have interfering core pulling directions, making the design of the demolding mechanism very difficult. To solve this problem, a layered cavity design method was employed, decomposing the overall plastic part into four logical levels based on geometric topology and demolding constraints. For the second layer of feature groups where the conflict in demolding directions is most concentrated, a centralized optimization method for demolding directions was applied, and four lateral core pulling mechanisms were designed. Due to the need for large core pulling force and space availability on the mold top side, a hydraulic cylinder core pulling mechanism was configured, while the remaining three sides all adopted inclined guide post core pulling mechanisms. Specifically, for the spatial motion interference between the two mutually perpendicular demolding directions of the top cylindrical feature, an innovative slider nested slider type secondary core pulling mechanism was designed. This mechanism, through timing control, drives the inner slider which is responsible for vertical direction features to perform the first core pulling, and after releasing the constraints, the outer slider which is responsible for radial features completes the second core

基金项目: “科创甬江2035”重点研发计划(2025Z130), 宁波市重点研发项目(2023Z228), 宁波市校企合作优质课程建设项目(cj2024021)

通信作者: 高永生, 硕士, 高级讲师, 从事高分子材料成型工艺、模具设计与制造等研究

收稿日期: 2025-06-28

引用格式: 俞文涛, 高永生, 阮顶伟, 等. 汽车中冷器气室多向深腔塑件注塑模设计[J]. 工程塑料应用, 2025, 53(8): 157-164.

YU Wentao, GAO Yongshen, RUAN Dingwei, et al. Design of injection mould for multi-directional deep cavity plastic parts of automobile intercooler air chamber[J]. Engineering Plastics Application, 2025, 53(8): 157-164.

pulling. This step-by-step action effectively avoids interference and achieves automatic and complete demolding of the plastic part. Production verification shows that the mould structure is reasonable and the mechanism operates stably. Its layered design concept and nested secondary core pulling mechanism effectively solve the problems of complex plastic part demolding and multi-directional core pulling coordination control, providing a useful reference for the design of precision molds for high-functional plastic parts in automobiles.

Keywords : intercooler ; air chamber ; polyamide ; layered cavity design method ; nested secondary core pulling mechanism ; demolding mechanism

汽车涡轮增压中冷器作为增压发动机的关键热管理部件,其核心功能在于将增压后的高温空气(峰值温度 $\geq 200\text{ }^{\circ}\text{C}$)进行强制冷却,以降低发动机热负荷并提升进气密度,最终实现功率强化目标。中冷器作为涡轮增压系统的必备配套装置,其结构可靠性直接决定发动机的服役寿命。气室塑件作为中冷器气流通路的密封腔体,长期承受 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温工况及 0.2 MPa 脉动压力及多轴机械振动,必须满足高温尺寸稳定性、气密结构完整性及抗疲劳蠕变三大核心性能指标^[1-2]。为此,塑件材料选用质量分数30%的玻璃纤维(GF)增强的聚己二酰己二胺(PA66)工程塑料。笔者结合某汽车2.0T涡轮增压发动机中冷器气室使役工况及量产需求,设计了一副冷流道侧浇口两板模具,模腔采用1模1腔布局以确保曲面复制精度。针对气室塑件多向深腔嵌套的几何复杂性,须设计几个特殊机构才能实现自动化生产。生产验证表明,该模具结构合理,机构运行稳定。其分层设计理念及嵌套式二次抽芯机构,有效解决了复杂塑件脱模、多向抽芯协同控制难题,为汽车高功能塑件精密模具设计提供了参考。

1 汽车中冷器气室塑件

1.1 塑件结构分析

图1为某型汽车发动机涡轮增压中冷器气室塑件结构尺寸。由图1a和图1b可知,塑件主体为一“L”形通腔结构,供高温气体流通;底部呈矩形,尺寸为 $116\text{ mm}\times 79\text{ mm}$,顶部圆筒外径为 51 mm ,与水平方向的夹角为 73° ;塑件总体长宽高为 $190\text{ mm}\times 153\text{ mm}\times 142\text{ mm}$,平均壁厚为 3.5 mm ,壁厚均匀。从图1c~图1f可知,为了增强塑件的强度和刚度,塑件外表面设计了大量网状的加强筋,同时,塑件外表面的四个侧向均有多个复杂的侧向特征需要成型和脱模,且部分特征侧向抽芯方向互相干涉,这就导致模具设计难度大大增加。此外,产品表面要求光滑、饱满、色泽均匀,无色差、缩孔、熔接痕、焦痕、缺

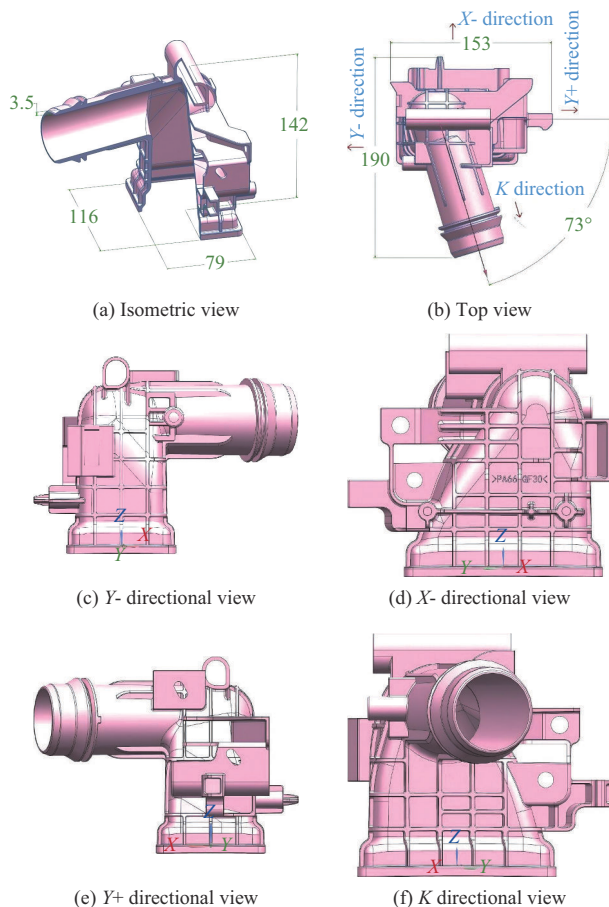


图1 涡轮增压中冷器气室塑件

Fig. 1 Left air chamber plastic part of turbocharger intercooler

料、飞边等缺陷,成型精度为MT3~MT4级,总产量为3万件。

1.2 塑件成型工艺

塑件材料选用质量分数30%GF增强的PA66工程塑料,材料牌号为MAPEX® AN4720SB 01(晋伦科技股份有限公司),该材料通过分子链端基封端与GF界面协同强化,实现热力学性能突破:30%GF增强网络使热变形温度(HDT@1.82 MPa)提升至 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$,GF定向排布赋予材料 159 MPa 的拉伸强度与 $8\ 960\text{ MPa}$ 的弯曲模量;其成型收缩率为 $0.3\%\sim 0.4\%$,熔体黏流态温度窗口 $265\sim 295\text{ }^{\circ}\text{C}$,窄温加工区间要求精密热控制。同时,该材料具有优异的电绝缘性、自

润滑性、耐磨性、耐气候性、自熄性和力学性能,在较高温度下也能保持较强的强度和刚度。但缺点是对强酸和碱的耐药性差,吸水性较大,因而尺寸稳定性较差,使用前须进行干燥处理^[3-6]。

根据塑件材料 PA66+30%GF 的热力学性能及其成型特性,中冷器气室注塑生产时拟采用的工艺参数为:塑料原料须提前烘料,干燥温度为 $(140\pm 10)^\circ\text{C}$,注射机料筒温度(包括喷嘴温度)分为5段区间设定,最低温度为 265°C ,最高温度为 295°C ;模具定模温度为 90°C ,动模温度为 60°C ,通过水式模温机来控制模具温度保持在合理区间。剪切应力不大于 0.31 MPa ,剪切速率不大于 $100\,000\text{ s}^{-1}$ 。采用分级注塑,一级注塑采用较低的注射压力(60 MPa)和注射速度,慢速填充浇口和流道,避免喷射纹;二级和三级注塑采用较高压力(78 MPa)和注射速度,高速填充塑件主体,以确保 GF 均匀分布、防止短射及减少或消除熔接痕;四级注塑又采用较低的压力(60 MPa)和速度,慢速填充型腔末端,以减少飞边、降低内应力。注射时间为 3.5 s ,采用一段保压,保压压力为 40 MPa ,保压时间为 2 s ,冷却时间为 20 s ,成型周期为 45 s 。

2 塑件成形难点及解决办法

根据塑件材质及结构特点,气室塑件成型及模具设计的主要难点可以表现为以下几点:(1)浇口位置的选择比较困难,需要综合考虑塑料的成型特性、塑件的结构及相应的模具结构,一般要在模具的脱模方案基本确定的情况下才能实施浇口位置及数量的布置;(2)塑件结构复杂,脱模方向较多,导致主分型面的选取及模腔成型件的分型设计较为困难;(3)局部位置的特征自动脱模比较困难,需要创新设计特殊的脱模机构才能自动高效脱模。

基于以上难点分析,涡轮增压中冷器气室塑件的模具设计方案如下。

2.1 模腔整体分型设计

由于塑件结构相当复杂,侧面四个方向都需要进行侧向分型与抽芯,因此采用一模一腔的型腔布置形式。对于复杂塑件,通常可采用分层式型腔设计方法^[7-8],如图2所示,模腔外壁设计三层主分型面 PS_1 、 PS_2 、 PS_3 ,实施分层式分型,分别获得四个层:I层、II层、III层和IV层。分层分型后再根据每一层的结构特征及其脱模方向采用脱模方向集中法分别设计每一层内外壁特征的脱模机构,这样能有效

地解决复杂塑件的分型方案及脱模机构设计问题。图2中,分型面 PS_1 以上、分型面 PS_3 右侧的I层塑件外壁特征采用沿 Z^+ 方向脱模的形式,成型零件位于模具定模侧;分型面 PS_2 以下的III层塑件内外壁特征采用沿 Z^- 方向脱模,成型零件位于模具动模侧;位于分型面 PS_1 和 PS_2 之间的II层塑件外壁特征,需要按照脱模方向集中原则至少沿四个方向进行侧向分型与抽芯;分型面 PS_3 把塑件左侧圆筒分为两段, PS_3 分型面左侧的IV层塑件内外壁特征为快换接头部位,可沿着圆筒轴线方向进行抽芯,避免了拼接线, PS_3 右侧外壁特征需要上下两侧分型,在圆筒外壁有拼接线,且在脱模方向上与其他部位存在干涉,需要创新设计特殊抽芯机构。

在以上分型方案的基础上再进行浇注系统的设计,由于塑件结构异常复杂,无论浇口开设在塑件哪一部位,都无法严格实现塑件填充末端的压力平衡^[9-12],因此,综合考虑塑料流动性及塑件结构特征,在没有过保压及填充末端基本平衡的前提下,浇口位置选择在如图2所示的Gate区域,采用大水口1点转侧浇口的浇注系统较为合适,不会出现短射,且后期浇口去除也较为方便。

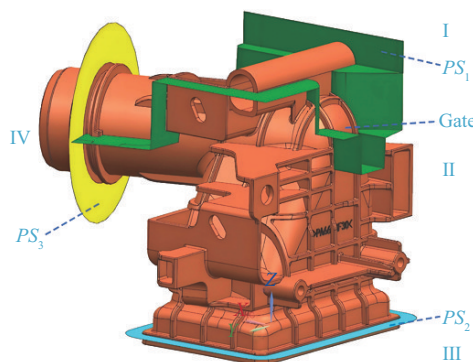


图2 分层分型设计方案

Fig. 2 Layered paring design scheme

2.2 各层局部特征分型及脱模设计

在上述四层分型方案的基础上,对塑件各层的内外壁局部特征分别进行分型与脱模设计,具体设计方案如下。

(1)图3为I层分型设计。如图3所示,分型面 PS_1 以上的塑件外表面 $F1$ 、 $F2$ 、 $F3$ 等均沿 K_z^+ 方向脱模,浇注系统也位于定模一侧,浇口位置设置在 $F3$ 表面下方加强筋上,利用筋的导向作用,使塑料熔体更顺畅、均匀地填充型腔,同时可以提升塑件外观质量,有效减少主体表面缩痕(缩水)和喷射纹等缺陷,提升塑件外观平整度^[13-16]。由于主流道正下

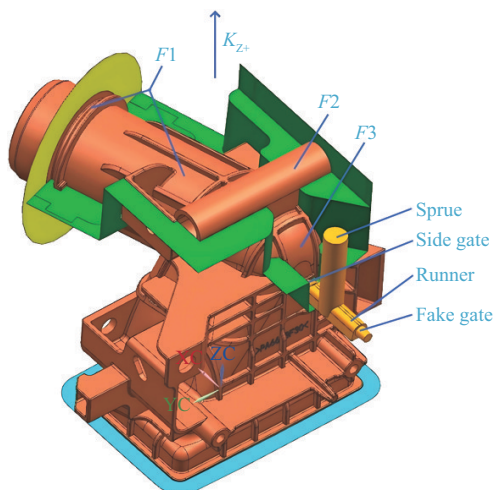


图3 I层分型设计

Fig. 3 I-layer paring design scheme

方要设置侧向抽芯机构,无法布置拉料杆,为此设置了如图3所示的伪浇口,不仅可以顺畅地把主流道凝料从浇口套拉出,还可以起到冷料穴的作用,避免冷料前锋进入型腔,改善了塑件的成型质量。

(2)分型面 PS_2 以下塑件外壁表面及塑件内壁特征如图4所示。塑件内壁为一“L”形通腔,由于脱模方向不同,需要设计一分型面 PS_4 进行分型,分型面 PS_4 左侧层VI的表面F4为圆筒内壁,须沿着 K_4 方向抽芯;右侧层V的内壁表面F7等组成模具的主型芯,在推出机构作用下须沿着 K_z 方向脱模;由于存在F5圆角面,导致主型芯无法直接沿着 K_z 方向脱模,因此需要在F5圆角面部位设置斜顶机构,这样F5、F6表面在脱模顶出时的同时可以实现侧向抽芯。

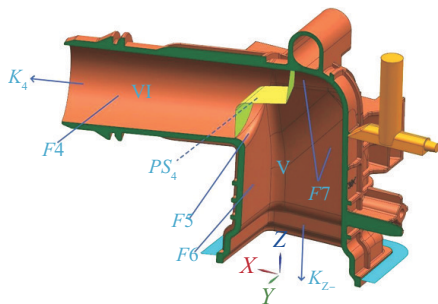


图4 内壁分型设计

Fig. 4 Inner wall paring design scheme

(3)在分型面 PS_1 和 PS_2 之间的第II层特征区域,是分型及脱模结构设计的难点。按照脱模方向集中原则,设计了4个方向的侧向分型与抽芯方案^[17-18],如图5所示。

图5a中,根据塑件结构特征,II设置了分型面

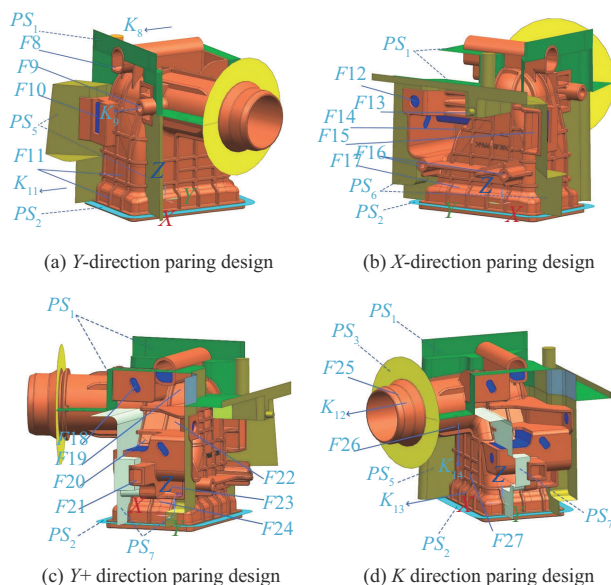


图5 II层分型设计

Fig. 5 II-layer paring design scheme

PS_5 进行分型,其中,内壁表面F8和F9为负Y向深孔,需要设计侧向抽芯机构,抽芯距为95 mm;蓝色表面F10为异形孔的分型面,将此异形孔分为沿负Y向和负X向分别抽芯,两个不同方向的型芯拼合后通过碰穿成型此异形孔;其余表面F11及加强筋特征的高度较浅,抽芯距较短,只需沿着负Y向分型抽芯即可。

图5b中,分型抽芯方向均集中为负X向,根据结构特点设计了 PS_6 分型面进行分型,其中,蓝色面F12均为补孔面,通过碰穿或插穿方式来实现图中多个孔的成型;表面F13为伪浇口特征,需要侧向抽芯脱模,外壁表面F14和F15为较深的腔体,深度分别为70.86 mm及30.56 mm,表面F16为两个圆形深孔,深度为23 mm,其余表面F17主要是较浅的凹腔或凸起的加强筋,抽芯距较短。以上特征通过一组侧向分型与抽芯机构即可实现完全脱模,抽芯距可确定为85 mm,但是成型面积较大,需要校核抽芯力。

图5c中的特征均沿着正Y向进行分型与抽芯,根据塑件结构特征设计了 PS_7 分型面进行分型,图中多个蓝色面F18为补孔面,通过型芯的拼合实现靠破孔的成型,需要注意的是,由于拼合孔的型芯均为活动型芯,设计时需要考虑型芯的磨损问题;外壁表面F19、F20、F21、F22、F23、F24均为不同深度的腔体或凸台,其中最深处为表面F19的凹腔,深度为91.73 mm,因此,抽芯距可确定为95 mm。

图5d中由分型面 PS_5 和 PS_7 分型的区域分型与抽芯最为困难。由图1b可知,塑件顶部圆筒与水平

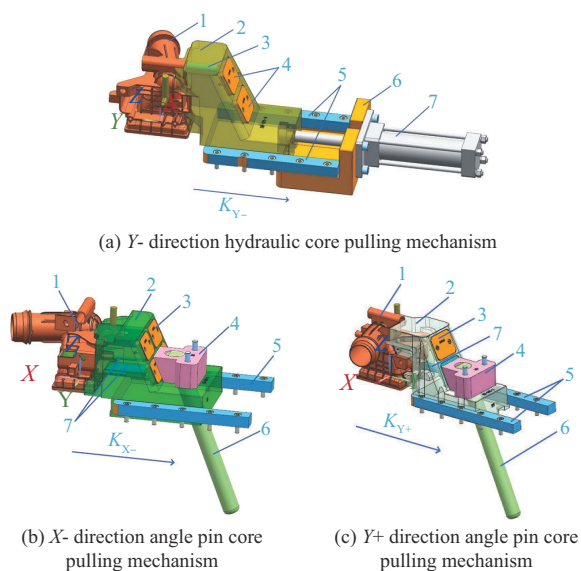
方向的夹角为 73° ,因此,本区域的分型抽芯方向需要沿正 X 向向正 Y 向偏斜 17° ,为了简化模具结构设计,经客户同意,将原塑件该区域的加强筋特征也向正 Y 向偏斜了 17° ;分型面 PS_3 左侧的外壁表面 $F25$ 及圆筒内表面均沿着 K_{12} 方向抽芯,抽芯距为 125 mm ;分型面 PS_3 右侧及 PS_1 下侧的圆筒下半部表面 $F26$ 须沿着 K_{14} 方向进行分型,抽芯距为 20 mm ;位于表面 $F26$ 下方的塑件侧壁表面 $F27$ 为较浅的加强筋凸起特征,抽芯距较短,但抽芯方向为 K_{13} ,与表面 $F26$ 的 K_{14} 抽芯方向在结构设计存在干涉,给模具结构设计带来很大困难,须创新设计特殊的抽芯机构以避免干涉现象,且能够实现先沿着 K_{14} 方向抽芯再沿着 K_{12} 或 K_{13} 方向完成整体抽芯脱模。

3 成型件及分型抽芯机构设计

针对上述分型及脱模难点及解决方案,设计了具体的成型件及脱模机构,如图6、图7、图8所示。

3.1 与 X,Y 轴平行抽芯的成型件及脱模机构设计

针对图5a、图5b、图5c三图所分析的塑件侧向与 X 轴 Y 轴平行的分型抽芯方案,分别设计了相应的侧向分型与抽芯机构,如图6所示。图6a所示的方向位于模具天侧,滑块重量大,且抽芯距达 95 mm ,如果采用斜导柱抽芯机构,则滑块的弹簧限位机构无法保证抽芯机构长期工作的可靠性,因此采用了抽芯距和抽芯力更大、可靠性更高的液压缸抽芯机构,主要由滑块2、侧型芯3、耐磨块4、压条5、



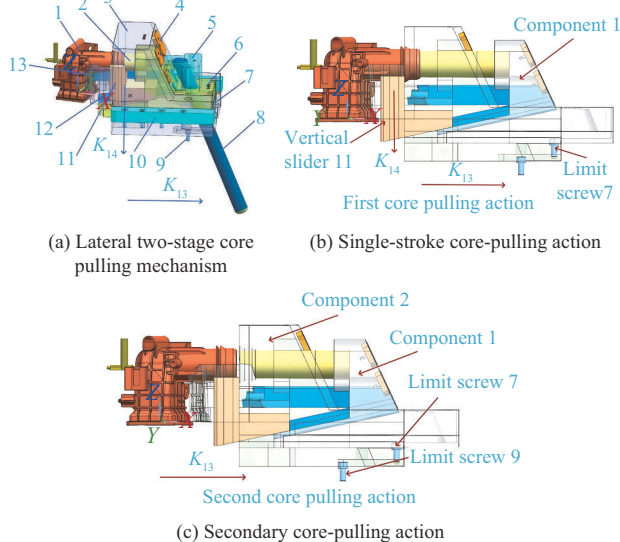
1—Plastic part; 2—Slider; 3—Core insert; 4—Wear block;
5—Guide rails; 6—Hydraulic cylinder bracket; 7—Hydraulic cylinder

图6 与 X,Y 轴平行抽芯的脱模机构

支架6及液压缸7组成。抽芯方向为 K_Y 向。图6b所示为斜导柱分型与抽芯机构,主要由滑块2、耐磨块3、楔紧块4、压条5、斜导柱6及侧型芯7所组成,用于沿 K_X 向的侧向特征成型与抽芯。该机构位于模具的水平方向,抽芯距为 85 mm 。图6c同样采用斜导柱侧向分型与侧向机构,沿 K_{Y+} 进行侧向抽芯,位于模具的地侧,抽芯距为 95 mm 。其结构组成与图6b类似,工作原理亦相同,斜导柱6用于驱动滑块2进行抽芯与合模运动,楔紧块4在合模后压紧滑块,承受型腔压力,压条5和滑块上的导轨对滑块运动进行导向,确保滑块运动平稳且无松动与卡滞现象。

3.2 与 X 轴正向倾斜抽芯的成型件及脱模机构设计

针对图5d所分析的侧向分型与抽芯方案,为了实现顺利脱模,设计了滑块嵌套滑块的斜导柱二次侧向分型与抽芯机构,如图7所示。由于塑件顶部圆筒特征与 X 轴正向成 17° ,因此整个斜导柱二次分型抽芯机构需要沿正 X 向向正 Y 向偏斜 17° 。图7a中,按抽芯动作可以将该机构分为两个组件,内滑块6及其上的耐磨块、侧向型芯2和13、导轨12及与其配合的滑块11、内滑块限位螺钉7组成1号组件,外滑块3及其上的耐磨块4、外滑块限位螺钉9组成2号组件。斜导柱8驱动1号组内滑块沿 K_{13} 方向抽芯,固定在内滑块上的倾斜角为 12° 的导轨12同时



1—Plastic part; 2, 13—Lateral core; 3—Outer slider; 4—Wear block;
5—Locking block; 6—Inner slider; 7—Inner slider limit screw;
8—Angle pin; 9—Outer slider limit screw; 10—Guide rails;
11—Vertical slider; 12—Slide guide

图7 与 X 轴正向倾斜抽芯的脱模机构

图7 Core-pulling mechanism inclined in the $X+$ axis direction

驱动竖向滑块11沿 K_{14} 方向分型,直到内滑块底部的限位槽碰到安装在外滑块3上的限位螺钉7,一次抽芯动作完成,如图7b所示。此时,1号组件抽芯距离为95 mm,竖向滑块11实现20 mm的竖向分型运动。随着开模动作不断进行,斜导柱8继续驱动1号组件进行抽芯动作,此时,在限位螺钉7的带动下,2号组件与1号组件共同沿着 K_{13} 方向进行抽芯运动,直至外滑块3底部的限位槽与固定在动模板的限位螺钉9接触,二次抽芯动作结束,如图7c所示。此时,二次抽芯实现的抽芯距为30 mm,两次抽芯动作共完成了125 mm的抽芯距离,所有侧向特征均实现了脱模,塑件可以顺利顶出。

3.3 塑件内表面成型件及脱模机构设计

针对图4分析的塑件内壁表面分型方案,设计了如图8所示的分型件及脱模机构。主要由动模仁1、主型芯2、斜顶3、侧向型芯4及顶杆5组成。斜顶3的倾斜角度为 5° ,顶出距离为90 mm,因此,在顶出塑件的同时可实现7.8 mm的侧向抽芯运动,塑件可以顺利从主型芯上脱模。虽然斜顶抽芯距较小,但由于塑件内腔转弯处为圆弧表面,为了斜顶工作时有足够的抽芯空间,特将斜顶头部表面设计成低于主型芯顶部表面,主型芯成为阶梯形,如图所示,这样即可使斜顶上表面不会接触塑件,避免了顶出时斜顶铲胶。顶杆5顶部表面为异形面,参与塑件的成形,因此四根顶杆要设置防转机构。

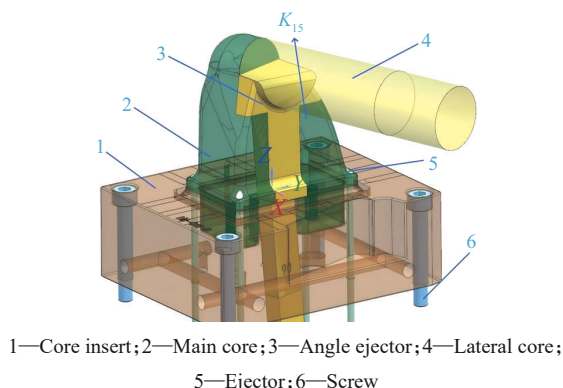


图8 塑件内壁成型件及脱模机构

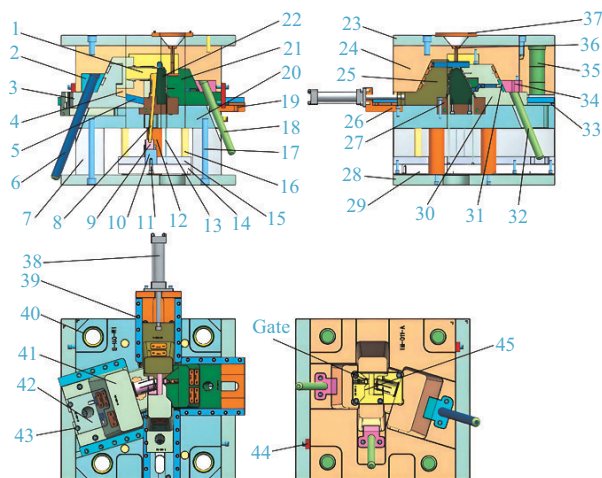
Fig. 8 Inner-wall molded part and ejection mechanism

4 模具结构设计

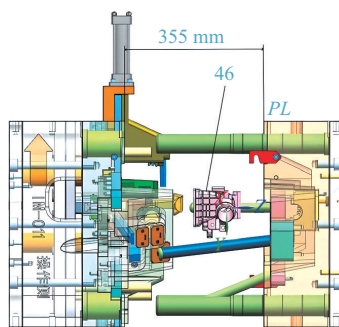
4.1 模具整体结构

模具整体结构如图9a所示。模具采用一模一腔布局,由于浇口位于塑件侧面,采用大水口1点转侧浇口的浇注系统,因此主流道偏离模具中心,偏移量 X 向93 mm、 Y 向69 mm。这种结构对于小批量

(3万件为小批量生产)塑件的生产可以满足成型工艺及模具寿命的要求。但对于大批量塑件的生产,就必须考虑因模具受力不平衡所导致的不利影响,甚至会大大缩短模具寿命。模具为两板模具,在模具四周均布置有侧向分型与抽芯机构,考虑到模具天侧采用弹簧限位不可靠,因此采用液压缸分型与抽芯机构,其他三侧均采用斜导柱分型与抽芯机构。开模前,需要事先设置好四个侧抽机构的动作序列,才能保证模具正常工作。



(a) Mould structure



(b) Mould working principle

1—Lateral core; 2, 34—Locking block; 3, 42—Inner slider; 4—Vertical slider; 5—Slide guide; 6, 18, 32—Angle pin; 7—Mould foot; 8—Angle ejector; 9—Guide slider of angle ejector rod; 10—Angle ejector seat; 11, 17—Screw; 12—Supporting column; 13—Ejector; 14—Ejector plate; 15—Ejector retainer plate; 16—Return pin; 19—Slider bracket; 20—Moving mould plate; 21, 25, 30—Slider; 22—Main core; 23—Fixed clamping plate; 24—Fixed mould plate; 26—Hydraulic cylinder bracket; 27—Core insert; 28—Moving clamping plate; 29—Stop pin; 31—Wear block; 33, 43—Slider stop screw; 35—Guide pin; 36—Sprue bushing; 37—Locating ring; 38—Hydraulic cylinder; 39—Guide rails; 40—Guide bush; 41—Outer slider; 44—Mould locker; 45—Cavity insert; 46—Plastic part

图9 模具结构及工作原理

Fig. 9 Mould structure and working principle

4.2 模具工作原理

模具安装在注塑机上,经调试后即可开启注塑工作循环,如图9b所示,模具工作原理如下。

(1)注塑:合模后,注塑机注射装置中的螺杆前进推动熔融塑胶高速高压注入模腔,经填充、保压、冷却定型后,准备开模。

(2)开模:在注塑机动模板驱动下,模具动模部分沿分型面 PL 打开的同时,斜导柱驱动滑块开始抽芯动作,到达设定开模位置后,油缸开始抽芯,动模继续后移,斜导柱和油缸共同驱动各自滑块动作,直到开模行程结束,滑块完成两次抽芯动作后,塑件侧向特征实现完全脱模。总开模行程为355 mm。

(3)顶出:开模结束后,注塑机顶棍推动模具推出机构动作,在顶杆及斜顶共同作用下,塑件从主型芯上脱出,并完成侧向抽芯,塑件完全从模具中脱出,最后由注塑机机械手取出塑件。

(4)模具闭合:设定油缸复位行程后,油缸先带动滑块复位,然后模具开始闭合,斜导柱带动滑块复位,注塑机锁紧模具,开启下一注塑循环。

生产试制成品件如图10所示。由图10可知,产品表面光滑,无熔接痕、缺料等成型缺陷,符合生产标准。

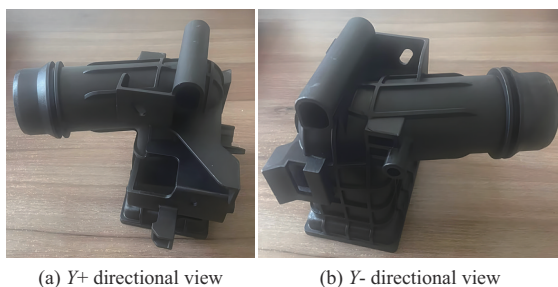


图10 试制塑件

Fig. 10 Trial production of plastic parts

5 结论

(1)针对涡轮增压中冷器气室的使役要求,选用PA66+30%GF工程塑料成型塑件,采用直浇口1点转侧浇口填充型腔,成型参数为熔体温度285℃,模具温度90℃;采用分级注塑,一级注射压力为60 MPa,慢速填充浇口和流道,二级和三级注射压力为78 MPa,高速填充塑件主体,四级注射压力为60 MPa,慢速填充型腔末端。注射时间为3.5 s,保压压力为40 MPa,保压时间为2 s,冷却时间为20 s,成型周期为45 s。

(2)模具结构为两板式冷流道模具,一模一腔,运用分层式型腔设计法,将整体塑件依据几何拓朴与脱模约束分解为四个逻辑层次。针对脱模方向

冲突最为集中的第二层特征群,应用脱模方向集中优化法,设计了四个侧向抽芯机构:模具天侧因需大抽芯力及空间允许,配置了液压缸抽芯机构,其余三侧均采用斜导柱抽芯机构。

(3)针对顶部圆筒特征两个相互垂直脱模方向的空间运动干涉,创新设计“滑块嵌套滑块”式二次抽芯机构。该机构通过时序控制,驱动内层滑块(负责垂直方向特征)执行首次抽芯,解除约束后,外层滑块(负责径向特征)完成二次抽芯。此分步动作有效规避了干涉,实现了塑件自动完全脱模,较好地解决了塑件成型的实际生产难题。

参考文献

- [1] 王香梅,薛英龙.基于Profibus-DP中冷控制器的方案设计[J].电子测量技术,2021,44(3):11-15.
WANG Xiangmei, XUE Yinglong. Based on the Profibus-DP inter-cooler controller scheme design[J]. Electronic Measurement Technology, 2021, 44(3):11-15.
- [2] 马超,李延昭,张健健,等.车用涡轮增压器径流涡轮的背盘冷却技术研究[J].车用发动机,2020(5):28-35.
MA Chao, LI Yanzhao, ZHANG Jianjian, et al. Back-disc cooling technology of radial turbine for vehicle turbocharger[J]. Vehicle Engine, 2020(5):28-35.
- [3] 段伟,熊建武,陶军,等.新能源电车前车灯模块反射镜底壳模具设计[J].工程塑料应用,2025,53(2):112-117.
DUAN Wei, XIONG Jianwu, TAO Jun, et al. Mould design for bottom shell of reflective mirror of front light module of new energy electric vehicles[J]. Engineering Plastics Application, 2025, 53(2):112-117.
- [4] 徐文庆,熊建武,陈黎明,等.医用无影灯架注射模设计[J].工程塑料应用,2024,52(4):116-121.
XU Wenqing, XIONG Jianwu, CHEN Liming, et al. Design of injection mould for medical shadowless lamp holder[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(4):116-121.
- [5] 杨琴,王清,吴芳榕,等.直升机座舱连接件注塑模具设计[J].工程塑料应用,2024,52(11):110-115.
YANG Qin, WANG Qing, WU Fangrong, et al. Design of injection mould for helicopter cockpit connectors[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(11):110-115.
- [6] 夏雨,高云霄.汽车空调管接头复杂塑件注塑模设计[J].工程塑料应用,2024,52(10):100-108.
XIA Yu, GAO Yunxiao. Design of injection mould for complex plastic parts of automobile air conditioning pipe joint[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(10):100-108.
- [7] 王伟伟,肖国华,徐生,等.四缸发动机进气管歧管热流道注射模设计[J].工程塑料应用,2024,52(5):108-114.
WANG Weiwei, XIAO Guohua, XU Sheng, et al. Design of hot runner injection mould for four-cylinder engine intake-manifold[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(5):108-114.
- [8] 曹钱,李光明,陈磊,等.大曲率弯扭叶片涡轮产品注射模具设计

- 关键技术的研究[J].机械科学与技术,2024,43(10):1 739–1 746.
- CAO Qian, LI Guangming, CHEN Lei, et al. Study on key technology of injection mold design for turbine products with large curvature bowed-twisted blades[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2024, 43(10):1 739–1 746.
- [9] 丁立刚,李玉兰,程国飞,等.带二级顶出机构的电器面框注射模具设计[J].塑料工业,2023,51(增刊1):72–77.
- DING Ligang, LI Yulan, CHENG Guofei, et al. Design of injection mold with two-stage ejection mechanism for electric frame[J]. China Plastics Industry, 2023, 51(Suppl 1):72–77.
- [10] 陈波,贺柳操,唐志.基于双色成型方式的灯泡外壳注拉吹成型模具设计[J].工程塑料应用,2025,53(2):106–111.
- CHEN Bo, HE Liucuo, TANG Zhi. Design of injecting-stretching-blowing molding mould for light bulb shell based on bio-color molding method[J]. Engineering Plastics Application, 2025, 53(2): 106–111.
- [11] 谢海深,陆玉宝,李睿,等.喇叭盖的成型工艺分析与注射模具设计[J].塑料,2025,54(2):166–172, 183.
- XIE Haishen, LU Yubao, LI Rui, et al. Molding process analysis and injection mold design of horn cover[J]. Plastics, 2025, 54(2): 166–172, 183.
- [12] 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.
- [13] HAO Z, SHEN J Q, SHENG X, et al. Enhancing performances of polyamide 66 short fiber/natural rubber composites via in situ vulcanization reaction[J]. Fibers and Polymers, 2020, 21(2): 392–398.
- [14] 张斌,童大权,申荣卫,等.碟刹封盖内滑块抽芯注射模设计[J].工程塑料应用,2021,49(9):92–97.
- ZHANG Bin, TONG Daquan, SHEN Rongwei, et al. Design of injection mold for disc brake cover with inner slide block core pulling mechanism[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(9):92–97.
- [15] 马宝荣,程晓冬,李桂阳,等.HyLED 9700型无影灯故障分析与改进[J].中国医学装备,2021,18(7):196–198.
- MA Baorong, CHENG Xiaodong, LI Guiyang, et al. Failure analysis and improvement of Hyled 9700 shadowless lamp[J]. China Medical Equipment, 2021, 18(7):196–198.
- [16] 薛丽,王训杰.涡旋压缩机气阀复杂脱模机构及模具结构优化设计[J].中国塑料,2020,34(10):86–93.
- XUE Li, WANG Xunjie. Design of complex demolding mechanism and mold structural optimization for air valve of scroll compressor[J]. China Plastics, 2020, 34(10):86–93.
- [17] 徐慧.端盖双滑块+斜顶3次复合抽芯机构注射模设计[J].中国塑料,2020,34(10):80–85.
- XU Hui. Design of injection mold with compound core pulling mechanism for end cover[J]. China Plastics, 2020, 34(10):80–85.
- [18] 费晓瑜,郑伟.汽车车灯边框薄壁件多向侧抽芯注塑模具设计[J].工程塑料应用,2020,48(10):80–85.
- FEI Xiaoyu, ZHENG Wei. Design of injection mould with multi-directional side core pulling for thin wall plastic parts of automobile lamp frame[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(10):80–85.