

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2024.01.015

内牙水管接头的注塑模具设计及CAE仿真

李波¹, 罗善明¹, 李毅¹, 陈志杭²

(1.集美大学海洋装备与机械工程学院, 福建厦门 361021; 2.精覃模具制造有限公司, 福建厦门 361023)

摘要: 针对一端带有内螺纹和另一端为光孔的水管接头, 设计了一套带有齿轮传动+抽芯液压缸的自动脱螺纹机构和斜导柱侧抽芯机构的三板式注塑模具。首先, 结合塑件的结构特点, 确定了点浇口进胶以及浇口位置和直流循环式的冷却回路, 利用模流仿真分析软件moldflow对确定的模流分析模型进行注塑成型工艺过程模拟分析。结果表明, 塑料熔体的充填时间、缩痕指数、气穴分布以及翘曲变形量等成型工艺参数都在合理范围之内, 验证了浇注系统和冷却系统设计的合理性。其次, 对模具结构进行设计, 将主分型面取在塑件的轴心面上, 其余两个分型面顺序分型实现浇注系统凝料的自动脱落。由于塑件为带内螺纹的管状零件, 针对内螺纹脱模难的问题, 设计了齿轮传动机构驱动螺纹侧型芯旋转和抽芯液压缸的直线移动的两套运动机构实施自动脱螺纹, 塑件光孔部分的成型和抽芯采用斜导柱侧抽芯机构来实现。通过模流分析, 验证了模具结构的合理性, 并且缩短了模具设计的开发周期, 有效地提高了塑件的成型质量。

关键词: 水管接头; 自动脱螺纹; 模流分析; 抽芯机构; 注塑模具

中图分类号: TQ320.5+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2024)01-0095-07

Injection mold design of inner tooth water pipe joint and CAE simulation

LI Bo¹, LUO Shanming¹, LI Yi¹, CHEN Zhihang²

(1. College of Marine Equipment and Mechanical Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. Jingtian Mold Manufacturing Co., Ltd., Xiamen 361023, China)

Abstract : For water pipe joint fittings with internal thread at one end and unthreaded hole at the other end, a set of three-plate injection mold with automatic threading removal mechanism of gear drive + core-pulling hydraulic cylinder and the core-pulling mechanism on the side of the inclined guide post was designed. Firstly, combined with the structural characteristics of the plastic parts, the point gate feeding, gate location and direct fluent circulating cooling circuit were determined. For the determined mold flow analysis model, the moldflow simulation analysis software moldflow was used to simulate the injection molding process. The results show that the molding process parameters of filling time, shrinkage index, air hole distribution and warping deformation are within the reasonable range and the design of the casting system and the cooling system is justified. Secondly, the mold structure was designed, the main parting surface was taken on the axis of the plastic parts, and the other two parting surfaces were sequentially parting to realize the automatic falling off of the condensate in the casting system. Because the plastic parts are tubular parts with internal thread, aiming at the problem of internal thread release difficulty, two sets of motion mechanisms, which drive the rotation of the threaded side core and the linear movement of the core-pulling hydraulic cylinder were designed to implement automatic threading removal, the forming and core-pulling of the unthreaded hole part of the plastic part were realized by the core-pulling mechanism on the side of the inclined guide post. Through the moldflow analysis, the rationality of mold structure was guaranteed, the development cycle of mold design was shortened, and the molding quality of plastic parts was effectively improved.

Keywords : water pipe joint ; automatic threading removal ; moldflow analysis ; core-pulling mechanism ; injection mold

基金项目: 国家自然科学基金项目(52375055), 厦门市重大科技项目(B2023008), 福建省教育厅项目(JT180276)

通信作者: 李波, 硕士, 讲师, 主要从事注塑模具设计、抗疲劳制造技术工作

收稿日期: 2023-10-30

引用格式: 李波, 罗善明, 李毅, 等. 内牙水管接头的注塑模具设计及CAE仿真[J]. 工程塑料应用, 2024, 52(1): 95-101.

LI Bo, LUO Shanming, LI Yi, et al. Injection mold design of inner tooth water pipe joint and CAE simulation[J]. Engineering Plastics Application, 2024, 52(1): 95-101.

水管接头是卫浴产品中应用较为广泛的零件,一种带有内螺纹的管状类零件的产品,其成型工艺为注塑成型。在注塑模具设计过程中,浇注系统和冷却系统的设计是否合理会严重影响产品的质量,以往传统模式开发模具,只能凭借设计人员的经验来选取浇口位置以及冷却方式,后期需要反复修模和试模才能满足塑件的使用要求,从而增加了模具的开发成本^[1]。目前CAE仿真技术日益成熟并且广泛应用,通过moldflow模流仿真分析软件确定浇注系统和冷却系统,设置注塑成型工艺参数模拟注塑成型过程,从而验证所确定的模流分析模型的合理性^[2-4]。笔者采用moldflow模流分析软件对塑件的重要成型工艺参数进行了仿真分析,确定了模具的浇注系统和冷却系统,缩短了模具结构设计的周期,保证了塑件的成型质量。

目前关于内螺纹的脱模难的问题,文献[5-8]基本都采用螺纹型芯旋转+推板推出机构,螺纹型芯在传动机构的驱动下只做旋转运动,在推件板的作用下,完成内螺纹的脱模。推件板的推出力由注塑机顶出系统提供,其大小由塑件的抱紧力确定,在推出过程中,推件力大小恒定,极有可能损伤内螺纹。另外,如果采用推板推出机构,塑件只能竖立放置,势必会增加模具高度尺寸,模具加工精度难以保证,从而导致模具制造成本增加。针对此问题,笔者设计了一种齿轮传动机构+抽芯液压缸内螺纹自动脱模机构,实现了螺纹型芯边旋转边随抽芯液压缸直线方向移动,有效避免了制件内螺纹的损伤和变形。

1 塑件的材质及工艺分析

水管接头工作环境潮湿,且需要承受压力较高的水流,要求塑件成型后的翘曲变形量较小,满足装配精度要求,避免在使用过程中出现渗水的现象。根据水管接头的工作环境和成型要求,选用尼龙66(PA66)+50%玻纤(GF),即添加比例为50%的GF增强PA66,这是一种常用的改性工程塑料,具有优良的力学性能和抗冲击性能,较好的耐磨性,尺寸稳定性和化学性能良好的特点^[9]。

该塑件大批量生产,塑件的体积为 2.1 cm^3 ,拔模斜度取 1° ,塑件的平均壁厚为 2.9 mm ,塑件表面要求无浮纤现象,变形量要求在 0.08 mm 以内,塑件的精度取MT4。图1为水管接头示意图。从图1可以看出,塑件外形为阶梯状的回转体,长度为 34 mm ,最大圆弧直径为 14 mm ,最小的直径为 8.3 mm 。塑件的一端为内螺纹,另一端为中空管,内螺纹的公称直径为 8 mm ,螺距为 1.2 mm ,因此需要设计自动脱螺纹机构来解决内螺纹脱模难的问题。

mm,最大圆弧直径为 14 mm ,最小的直径为 8.3 mm 。塑件的一端为内螺纹,另一端为中空管,内螺纹的公称直径为 8 mm ,螺距为 1.2 mm ,因此需要设计自动脱螺纹机构来解决内螺纹脱模难的问题。

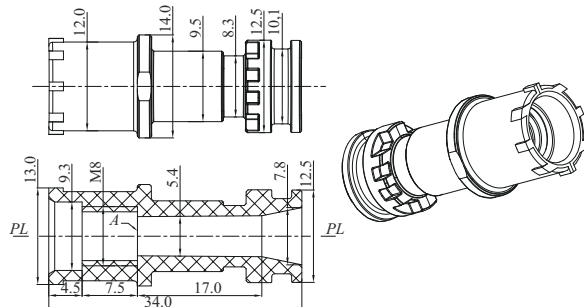


图1 水管接头

Fig. 1 Water pipe joint

2 塑件的模流分析

2.1 塑件前处理

将三维模型导入moldflow软件中,指定为双层面的网格类型,设置全局网格边长为 0.35 mm ,完成网格划分,并通过网格处理工具对划分后的网格进行修复,以保证模流分析的可行性及分析结果的可靠性,修复后的网格匹配率为 85.6% ,网格纵横比最大值为 10 ,连通性良好,由此可见,网格质量的各项信息全都符合模流分析的条件。

2.2 最佳浇口的位置

浇口的基本作用是使分流道来的熔体产生加速,以快速充满型腔,浇口(除直浇口外)在大多数情况下是整个浇注系统中截面最小的部位,合理选择浇口位置是保证塑件质量的一个重要环节^[10]。通过moldflow软件的分析,获得塑件的最佳浇口的位置,见图2所示。从图2分析结果可以看出,深蓝色区域为最佳浇口位置,位于邻近凸起环状带一侧的附近。为保证塑料熔体顺利充填型腔,将浇口的位置

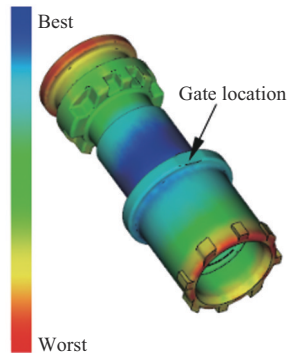


图2 浇口位置仿真结果

Fig. 2 Gate position simulation results

置设置在凸起环状带上,在凸起的环状带上有一个小平台特征,避免在外圆面上留下明显的浇口痕迹,将浇口位置设置在小平台上。

2.3 模流分析的模型建立

利用moldflow软件进行模流分析,需要建立模流分析模型,该模型主要包括浇注系统和冷却系统。根据生产批量的需求和产品结构特点,采用一模两腔和点浇口的模具结构。若采用常见的侧浇口进行浇注,塑料熔体存在爬升现象,导致熔体的流动性变差和充填不足,由于玻纤增强PA66的流动性较差,而且PA66与玻纤两种材料的流动性不一致,为保证玻纤均匀分散,不发生淤积和分层而形成浮纤,熔体须快速填充型腔^[11],另外,若采用侧浇口进行浇注,需进行二次去除,在塑件的表面留下较为明显的痕迹。冷却系统采用常见的直流循环式的冷却回路,上下模对称布置,为了提高模具冷却的均匀性,在冷却回路增加了隔水板。模流分析模型如图3所示。

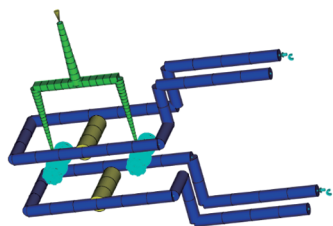


图3 模流分析模型

Fig. 3 Moldflow analysis model

2.4 注塑工艺参数的模拟分析

根据所确定的浇注系统和冷却系统的模型,选取“填充+保压+冷却+翘曲”的分析序列,在模流分析过程中,设置的注塑成型工艺参数见表1。针对塑件成型质量的要求,笔者从充填时间、缩痕指数、气穴位置、翘曲变形量四个成型工艺参数来进行模拟分析,从而验证所确定的分析模型是否合理,为后续的模具结构设计提供可靠依据,分析结果如图4所示。

表1 注射成型工艺参数

Tab. 1 Injection molding process parameters

Plastic melt temperature/°C	Mold temperature/°C	Injection pressure/MPa	Mold opening time/s	Holding time/s	Cooling time/s
280	85	120	5	10	15

充填时间是指注射开始到塑料熔体充满模具型腔的时间,此成型工艺参数对塑件的成型周期和

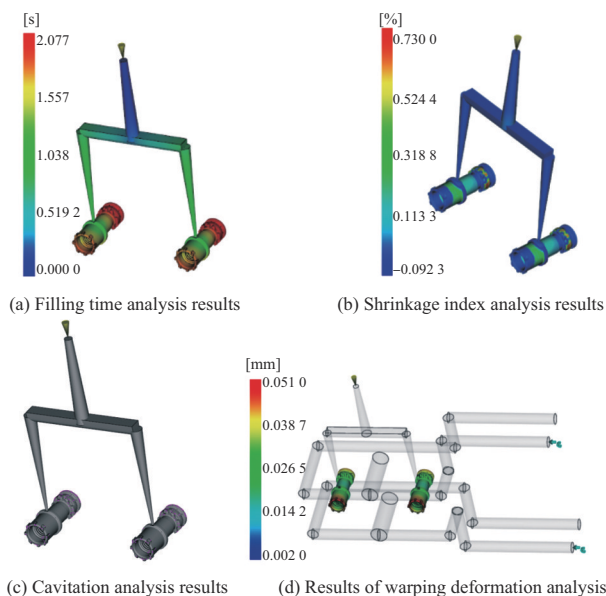


图4 注塑工艺参数的模拟分析

Fig. 4 Simulation analysis of injection molding process parameters

塑件质量起着重要作用^[12],从图4a的充填时间分析结果可以看出,料流充填时间为2.077 s,可以在较短时间内充填型腔,针对玻纤增强PA66材料,充填时间越短,越不容易在塑件表面出现浮纤现象,且整体不存在充填不完整现象,在分析的日志中也找不到存在短射的现象,可见充填完整,充填时间较为合理。

缩痕是指塑件在冷却定型过程中由于收缩过大,塑件表面出现凹陷、塌陷等缺陷。缩痕指数反映了塑件表面上某区域出现缩痕的相对可能性,其数值越大,说明此区域出现该现象的概率越高,合格的塑件要求缩痕指数小于5%^[13]。由图4b的分析结果可知,该塑件最大缩痕指数为0.73%,外表面有轻微缩水,不影响产品的装配。

从图4c的分析结果可以看出,气穴主要分布在水管接头的两个端面上,其他区域几乎没有,说明两个端面上存在困气的现象,但是气穴基本上都分布在接近端面的边缘上,靠近塑件的分型面,另外,由图1中的塑件尺寸可知,该塑件为小型制件,因此排气量不大,所以可以利用分型面的间隙以及顶杆与模板的间隙进行自然排气,消除大量的气穴。

由于水管接头处在高压水的工作环境,容易渗水,所以要求其变形量在0.08 mm以内。从图4d翘曲变形量分析结果可以看出,塑件的最大变形量大约为0.05 mm,发生在水管接头端面附近的表面,主要由于这些区域凹凸起伏的形状结构,从而导致壁

厚不一致,因此引起塑件收缩不均而发生翘曲变形,根据塑件的结构尺寸和所提出的工艺要求,翘曲变形量在合理范围之内,能够保证塑件的成型精度和工艺要求。

通过以上的工艺参数分析,验证了水管接头的浇注系统和冷却系统设计方案的合理性。

3 塑料模具结构设计

3.1 模具结构分析

根据图1塑件产品图的结构特点以及生产批量的需求,设计为一模两腔的模具结构形式。以图1剖视图中的 PL 作为主分型面,由模流分析可知,该模具采用点浇口进胶,所以必须使用三板式的模具结构,在本套模具里采用弹簧分型、拉杆定距的定距分型机构,实现模具的三次顺序分型,该机构如图5所示。为保证模具的制造精度,须控制模具的总高度,所以将塑件横置,与竖立放置相比,还可以有效避免螺牙损伤和变形,内螺纹型芯成型 $M8 \times 75$ 的螺纹,光孔侧型芯成型孔深为22 mm的内孔,螺纹侧型芯与光孔侧型芯在图1中的A面碰穿,内螺纹的抽芯机构设计为齿轮传动+抽芯液压缸自动脱螺纹机构,光孔的脱模机构设计为斜导柱侧滑块抽芯机构;该模具的推出机构设计为顶杆推出机构,顶出部位为塑件的外圆表面,为减少在塑件的外圆上留下顶出痕迹,将顶杆设计为成形顶杆,采用带弹簧的复位杆实现顶杆的先复位。

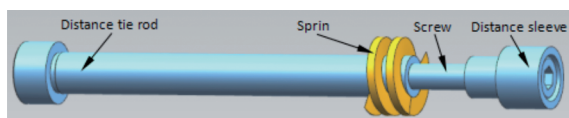


图5 弹簧分型拉杆定距机构

Fig. 5 Spring parting tie rod spacing mechanism

3.2 侧向分型与抽芯机构的设计

3.2.1 侧型芯的定位

该塑件一端带有内牙螺纹,另一端为光孔,带有螺纹端需要自动脱螺纹机构,另一端的光孔的抽芯采用常见的斜导柱侧滑块的侧向抽芯机构来实现。内螺纹侧型芯与光孔侧型芯在模具复位时在图1中的A面碰穿,须保证两侧型芯同心,才能保证塑件内孔的同轴度,笔者采用带有锥度孔定位方式来保证两侧型芯的同轴度,定位内孔和凸台分别设计在螺纹侧型芯和光孔侧型芯的端面上,定位结构和尺寸如图6所示。

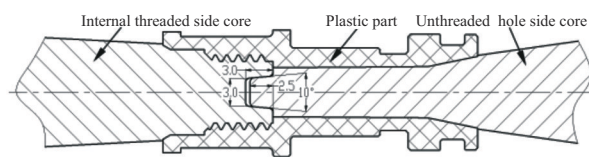
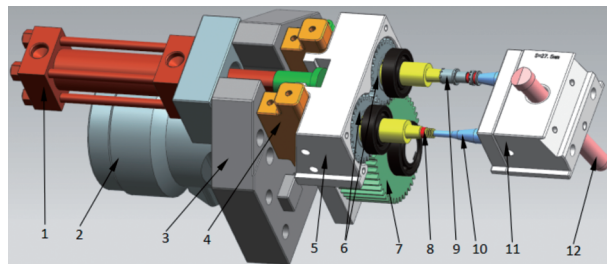


图6 侧型芯的定位

Fig. 6 Positioning of the side core

3.2.2 斜导柱侧向分型与抽芯机构的设计

图7为侧向分型与抽芯机构。斜导柱侧抽芯机构主要由光孔侧型芯10、侧滑块11、斜导柱12和楔紧块组成,由图1可知,光孔深为22 mm,为了能够顺利脱模,取抽芯距 s 为27.5 mm。斜导柱的安装定模板上,滑块安装在动模板上,斜导柱的安装角度 α 为 18° ,工作长度 L 为113 mm,按照抽芯距校核公式 $L=s/\sin\alpha$,得 $L=89\text{ mm}<113\text{ mm}$,所以斜导柱的长度足可以完成所需的抽芯距。另外,滑块采用弹簧复位,楔紧块锁紧,此套模具的楔紧装置与定模板做成整体式,为了开模时楔紧块快速离开滑块的压紧面,避免楔紧块与滑块间产生摩擦,楔紧块的斜角 α' 大于斜导柱的安装角度 α ,取 $\alpha'=20^\circ$ 。^[14]



1—Core-pulling hydraulic cylinder; 2—Electric motor; 3—Stop dog;
4—Wedge block; 5, 11—Sliding block; 6—Driven gear;
7—Driving gear; 8—Internal threaded side core; 9—Plastic part;
10—Unthread hole side core; 12—Inclined guide post

图7 侧向分型与抽芯机构

Fig. 7 Lateral parting and core-pulling mechanism

3.2.3 内螺纹脱模机构的设计

内螺纹由内螺纹侧型芯8成形,笔者采用齿轮传动机构+抽芯液压缸进行内螺纹自动脱模,主动轮和两个从动轮选用标准齿轮和标准安装,齿轮尺寸参数见表2^[15]。内螺纹的抽芯机构由电动马达2,主动齿轮7,两个从动齿轮6以及抽芯液压缸1组成,如图7所示,其中,螺纹侧型芯8通过平键与从动齿轮6连接。

由电动马达2驱动主动齿轮7旋转,主动齿轮7带动两个从动齿轮6同方向旋转,保证两个内螺纹的旋向一致,同时,抽芯液压缸1带动从动齿轮在主动齿轮上轴向滑动,实现了螺纹型芯边旋转边随抽

芯液压缸直线方向移动,两套运动机构保证了塑件的内螺纹成形精度的要求。因为塑件成型后,塑件抱紧在型芯上,所以塑件刚脱离螺纹型芯时,需要较大的脱模力^[16],其后,抽芯液压缸提供的抽芯力仅需要克服塑件移动的摩擦力即可,与齿轮传动+推板推出脱螺纹机构相比,可以很好地保证螺牙不受损伤和变形。

表2为齿轮尺寸参数。由图1可知,内螺纹部分的抽芯距为12 mm,由表2可知,主动齿轮与从动齿轮的厚度差为27 mm,当滑块5与挡块3接触时,抽芯液压缸停止抽芯,滑块与挡块之间的距离为25 mm ($12 < 25 < 27$),所以既保证了所需的抽芯距离,同时也保证了从动齿轮与主动齿轮在轴向上不脱离。改变抽芯液压缸中的油液方向,使内螺纹侧型芯复位,由楔紧块4锁紧,以便下次的浇注。

表2 齿轮尺寸参数
Tab. 2 Gear dimension parameter

Dimension parameters	Calculation formula	Driving gear	Driven gear
Module (m)/mm		2	2
Index circle pressure angle(α)		20°	20°
Number of teeth (z)		45	27
Index circle diameter (d)/mm	$d=mz$	90	54
Addendum factor (h_a^*)		1	1
Headspace factor(c^*)		0.25	0.25
Addendum circle diameter(d_a)/mm	$d_a = d + 2h_a^*m$	94	58
Dedendum circle diameter(d_f)/mm	$d_f = d - 2(h_a^* + c^*)m$	85	49
Gear thickness/mm		39	12
Installation center distance(a)/mm	$a = (d_1 + d_2)/2$	72	

3.3 模具整体结构及工作过程

水管接头的模具为三板式模具结构,有三个分型面,如图8中的P1,P2,P3,具体工作过程为:

3.3.1 注塑过程

模具闭合,注塑机通过主流道、水平分流道及竖直分流道和点浇口向2个型腔内浇注,使料流充满型腔。

3.3.2 保压和冷却过程

塑料熔体充满型腔后,按照设置的注塑工艺参数在型腔内进行保压和冷却,进而获得健全完整的塑件。

3.3.3 开模过程

随着注塑机的开模,在图8中的弹簧9的预紧力作用下,首先使模具在第一个分型面P1处分型,

在拉料杆15的作用下,竖直分流道与塑件在模腔的点浇口处拉断,流道与塑件分离。P1分型面打开120 mm以后,在定距拉杆4的拉力作用下,使脱料板19下行,此时,P2分型面开始打开,脱料板19将主流道凝料从浇口衬套17中拉出以及拉料杆15端部上的分流道凝料刮下来,完成浇注系统凝料的自动脱模。P2分型面打开8 mm后,在定距套11的作用下,脱料板19停止移动。动模部分在开模力的作用下,继续后移,P3分型面被迫打开,在侧型芯的干涉作用下,使塑件留在动模部分。

3.3.4 抽芯

通过斜导柱40带动侧型芯滑块43,使其在动模板5的导滑槽内向外移动,直至光孔侧型芯39与塑件完全脱开,完成光孔的侧向抽芯。同步地,电动马达34带动主动齿轮24,主动齿轮驱动两个从动齿轮22,使两个内螺纹侧型芯同向旋转,使其与塑件分离,同时,在抽芯液压缸的直线运动作用下,完成塑件内螺纹的侧向抽芯。

3.3.5 顶出

达到开模行程后,动模部分停止后移,注塑机中心顶杆推动推板29,从而驱动固定在推杆固定板上的顶杆33将塑件完全从模具中顶出。

3.3.6 复位

内螺纹侧型芯由抽芯液压缸驱动复位,由楔紧块锁紧;光孔侧型芯由斜导柱40和弹簧45复位,由定模板41(定模板与楔紧装置做成整体式)锁紧;顶杆由复位杆23复位,况且在复位杆上安装了预复位弹簧25,实现了顶杆先复位,防止在合模过程中,推杆与侧型芯相互碰撞干涉的现象。复位完成后,继续下一个周期的注塑过程。

4 结论

水管接头为卫浴产品的零件,针对某种带有内螺纹的水管接头,应用模流分析软件moldflow验证所确定的分析模型的合理性,并设计了自动脱螺纹的注塑模具结构,主要工作如下:

(1)首先,结合最佳浇口位置分析结果和塑件的结构特点,确定塑件的模流分析模型,该模型包括浇注系统和冷却系统。然后,利用该分析模型,设置注塑成型工艺参数进行模流分析,分析结果显示,塑料熔体充填时间为2.077 s,充填过程中无短射现象且两型腔的一致性较好;塑件最大缩痕指数为0.73%,未出现明显缩痕或缩孔的现象;气穴主要

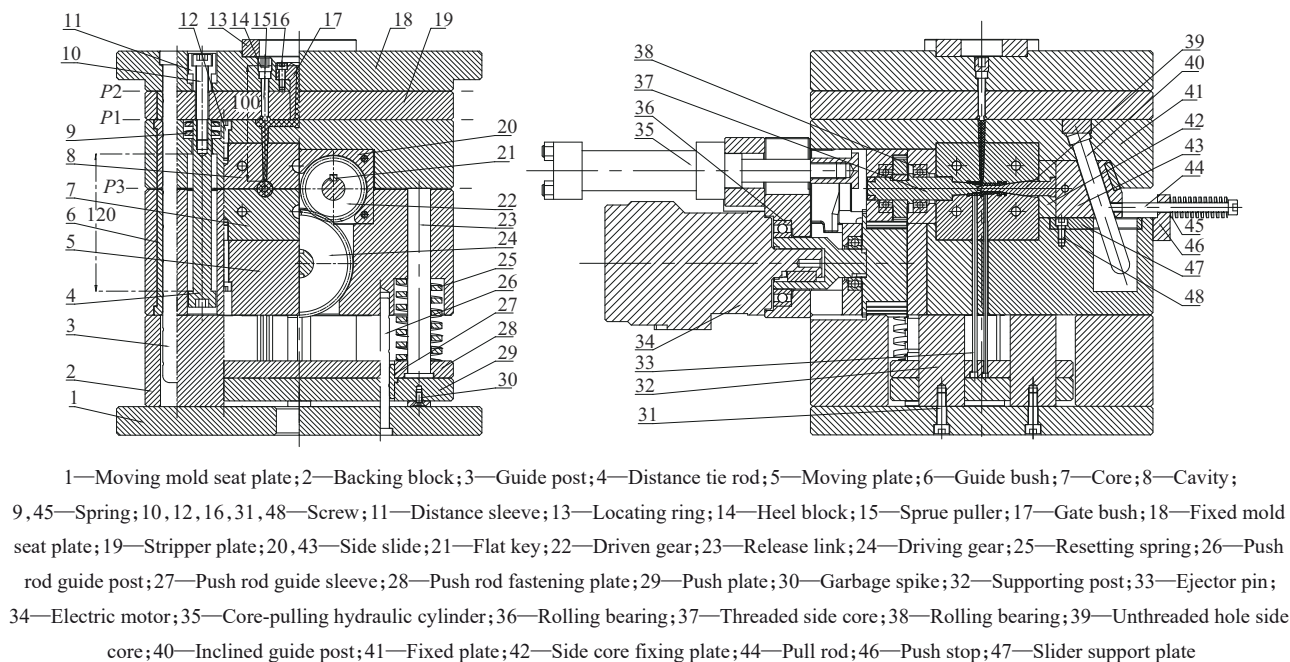


图8 模具结构图

Fig. 8 Mold structure drawing

分布在塑件端面的边缘上,利用分型面和顶杆的间隙进行自然排气,排气情况良好;塑件最大翘曲变形量为0.051 mm,满足成型工艺的要求。

(2) 由于采用点浇口进行浇注,注塑模具设计为一模两腔,三板式的模具结构,采用弹簧定距拉杆结构实现模具的三次分型;由于塑件为圆形管状类零件,分型面选择在回转体的轴心面上,采用斜导柱侧抽芯机构实现塑件光孔部分的抽芯,采用齿轮传动机构和抽芯液压缸两套运动机构实现内螺纹的自动脱模。通过实际生产证明,该机构运行稳定可靠,有效避免了螺牙损伤和变形,降低了模具开发成本,对同类型塑件的注塑模具设计具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 王丽君. 基于Moldflow的手机后盖塑件成型翘曲因素的分析[J]. 塑料工业, 2018, 46(6):48-51.
WANG Lijun. Analysis of warpage factors of the plastic parts of mobile phone back cover based on moldflow[J]. China Plastics Industry, 2018, 46(6):48-51.
- [2] 尚雪梅, 门静, 韩海燕, 等. 手机壳注塑成型模流分析及工艺优化[J]. 工程塑料应用, 2023, 51(5):75-80.
SHANG Xuemei, MEN Jing, HAN Haiyan, et al. Moldflow analysis and process optimization of mobile phone case injection molding[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(5):75-80.
- [3] 刘祥建, 周佳睿, 姜劲. 基于Moldflow的按钮开关帽注塑模具设计[J]. 工程塑料应用, 2023, 51(6):97-102.

- LIU Xiangjian, ZHOU Jiarui, JIANG Jin. Design of injection mould for button switch cap based on Moldflow[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(6):97-102.
- [4] 杨小勇, 孟祥旭, 曹新鑫, 等. 基于Moldflow的无人机上壳注塑成型优化分析[J]. 塑料, 2023, 52(2):156-160.
YANG Xiaoyong, MENG Xiangxu, CAO Xinxin, et al. Optimization analysis of injection molding of UAV upper shell based on Moldflow[J]. Plastics, 2023, 52(2):156-160.
- [5] 徐文庆, 熊建武, 陈黎明, 等. 汽车旋钮升降螺杆式推板同步推出机构注射模改进设计[J]. 工程塑料应用, 2022, 50(12):92-96.
XU Wenqing, XIONG Jianwu, CHEN Liming, et al. Improved design of injection mold for car knob with screw push-plate synchronous-pushing mechanism[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(12):92-96.
- [6] 聂艳平, 贺柳操. 洗发液喷嘴瓶盖弯管与螺纹脱模机构及其注塑模具设计[J]. 工程塑料应用, 2019, 47(2):76-81.
NIE Yanping, HE Liucuo. Design of injection mould and demoulding mechanism with bend pipe and thread for a shampoo nozzle cap [J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(2):76-81.
- [7] 任天娟. 自动脱螺纹的瓶盖三板注射模设计[J]. 模具技术, 2020 (6):38-41.
REN Tianjuan. Three-plate injection mould design of bottle cap with automatic thread removal[J]. Die and Mould Technology, 2020 (6):38-41.
- [8] 何延辉. 仪表外壳自动脱螺纹机构及注射模设计[J]. 模具技术, 2018(6):11-14.
HE Yanhui. Automatic unscrewing mechanism and injection mould design of a gauge shell[J]. Die and Mould Technology, 2018(6):

- 11-14.
- [9] 苏似鑫,马航飞,叶素娟,等. GF增强PA66复合材料注塑制品熔接痕强度改善研究[J]. 工程塑料应用, 2023, 51(1):59-63.
- SU Sixin, MA Hangfei, YE Sujuan, et al. Study on improvement of weld mark strength of glass fiber reinforced PA66 composites injection molding products[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(1):59-63.
- [10] 孙庆东,汪五二,池根才,等. 汽车车窗装饰板浇口分析及注塑工艺优化[J]. 工程塑料应用, 2023, 51(7):79-84.
- SUN Qingdong, WANG Wuer, CHI Gencai, et al. Gate analysis and optimization of injection molding process for car window decorative panel[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(7):79-84.
- [11] 刘建萍,康鹏,高达利,等. 玻纤增强聚丙烯复合材料表面“浮纤”的成因及其解决措施[J]. 塑料科技, 2022, 50(5):108-112.
- LIU Jianping, KANG Peng, GAO Dali, et al. Reasons and solutions of surface 'floating fiber' on glass fiber-reinforced polypropylene composites[J]. Plastics Science and Technology, 2022, 50(5):108-112.
- [12] 叶星,汪健,李兵兵,等. 基于Moldflow的连接过渡管成型质量分析及模具设计[J]. 工程塑料应用, 2023, 51(3):88-93.
- YE Xing, WANG Jian, LI Bingbing, et al. Moulding quality analysis and mould design of connecting transition pipe based on Moldflow[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(3):88-93.
- [13] 聂恒,赵世伟. 成型塑件表面模流分析收缩痕深度与实际收缩痕深度对应性研究[J]. 模具工业, 2023, 49(2):64-68.
- NIE Heng, ZHAO Shiwei. Correspondence study on surface of moulded plastic part between the depth of sink mark of mould flow analysis and the actual depth of sink mark[J]. Die & Mould Industry, 2023, 49(2):64-68.
- [14] 屈华昌,吴梦陵. 塑料成型工艺与模具设计[M]. 4版. 北京:高等教育出版社, 2020.
- QU Huachang, WU Mengling. Plastic molding process and mold design[M]. 4th ed. Beijing: Higher Education Press, 2020.
- [15] 荣星,陈亚洲,李波,等. 自动脱螺纹模具理论计算及CAE分析[J]. 塑料工业, 2021, 49(3):74-78, 43.
- RONG Xing, CHEN Yazhou, LI Bo, et al. Theoretical calculation and CAE analysis of automatic thread removal die[J]. China Plastics Industry, 2021, 49(3):74-78, 43.
- [16] 张俊,张冰. 基于UG的缓冲件注塑模具设计[J]. 塑料科技, 2019, 47(9):95-98.
- ZHANG Jun, ZHANG Bing. Injection mold design for buffer based on UG[J]. Plastics Science and Technology, 2019, 47(9):95-98.

(上接第88页)

- [13] YUE P. Molecular orientation distribution in PC products analyzed by birefringence[J]. Physica B: Condensed Matter, 2019, 563:56-61.
- [14] 韩健,闫辰光,王一麦,等. 面向残余应力检测的聚碳酸酯在溶剂环境下的初始应力-开裂时间关系[J]. 材料科学与工程学报, 2019(1):47-50.
- HAN Jian, YAN Chenguang, WANG Yimai, et al. Relationship between initial stress and cracking time during solvent stress cracking in polycarbonate for residual stress detection[J]. Journal of Materials Science & Engineering, 2019(1):47-50.
- [15] 邹在平,吴悦梅,赵秀丽. 聚碳酸酯耐溶剂性能研究进展[J]. 材料导报, 2021, 35(5):5 199-5 205.
- ZOU Zaiping, WU Yuemei, ZHAO Xiuli. Research progress on solvent resistance of polycarbonate[J]. Materials Reports, 2021, 35(5):5 199-5 205.
- [16] 王韬,葛勇,郎建林,等. 热力历史对PMMA残余应力和光学性能的影响[J]. 工程塑料应用, 2017, 45(8):60-64.
- WANG Tao, GE Yong, LANG Jianlin, et al. Influence of thermal-mechanical history on residual stress and optical properties of PMMA [J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(8):60-64.
- [17] YANG J, ZHAO H, ZHONG X, et al. Evolution of residual stresses in PS-PVD thermal barrier coatings on thermal cycling[J]. Journal of Thermal Spray Technology, 2018, 27:914-923.
- [18] TAKAMATSU K, SUZUKI S, NISHIMURA Y, et al. Reduction of birefringence by dynamic asymmetry in miscible blends of dissimilar polycarbonates[J]. Polymer, 2021, 222. DOI: 10.1016/j.polymer. 2021.123632.
- [19] 马加炉,刘春太,甘书峰,等. 航天服头盔面窗注塑残余应力控制与检测技术研究[J]. 载人航天, 2022, 28(5):646-652.
- MA Jialu, LIU Chuntai, GAN Shufeng, et al. Research on residual stress control and test in injection molding of spacesuit-selmet visors[J]. Manned Spaceflight, 2022, 28(5):646-652.