

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.08.016

基于UG和Moldflow的过桥弯管圆弧抽芯注塑模具设计

李伟¹, 张晓黎²

(1. 河南机电职业学院智能工程学院, 郑州 451191; 2. 郑州大学材料科学与工程学院, 郑州 450001)

摘要: 针对过桥弯管的结构特点, 根据弯管内孔的曲率大小, 设计了双向对开的圆弧抽芯机构。针对圆弧抽芯结构块较大和抽芯弧线较长的特点, 采用了六棱柱轴结构的连接形式, 保证了圆弧抽芯机构回转中心和驱动中心的重合; 引入齿轮齿条的传动形式, 充分保证了圆弧抽芯机构精确、可靠的动作过程; 通过液压缸的驱动实现了过桥弯管的全自动注塑生产。为保证圆弧抽芯过程中产品的正确位置, 在产品两端设计了法兰凸缘; 通过Moldflow的分析, 采用截面矩形侧浇口的浇注系统, 以保证型腔的快速、完全充填; 通过在产品端部增设扁平结构, 留出顶杆的足够位置, 以保证得到无痕顶出、完好外观的产品。在整个设计过程中, 使用UG软件对圆弧抽芯机构的运动过程实施了模拟仿真, 大幅提高了模具设计的一次成功率。

关键词: 过桥弯管; 圆弧抽芯; 齿轮; 齿条; 无痕顶出; UG; Moldflow

中图分类号: TQ320.5+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2021)08-0093-06

Design of Arc Core-pulling Injection Mould for Bridge Elbow based on UG and Moldflow

Li Wei¹, Zhang Xiaoli²

(1. School of Intelligent Engineering, Henan Mechanical and Electrical Vocational College, Zhengzhou 451191, China;

2. School of Materials Science and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: According to the structural characteristics of the bridge elbow and the curvature of the inner hole of the elbow, a bidirectional opening arc core-pulling mechanism was designed. According to the characteristics of large arc core-pulling structure block and long core-pulling arc line, the connection form of hexagonal prism axis structure was adopted for ensuring the coincidence of rotation center and driving center of the arc core-pulling mechanism. The transmission form of rack and pinion which can achieve the precise and reliable action process of the arc core-pulling mechanism was introduced. The fully automatic injection molding production process of the bridge elbow was realized through being driven by the hydraulic cylinder. In order to ensure the correct position of the product during the arc core-pulling process, the flange washers were designed at both ends of the product. By analyzing with the Moldflow, the gating system of edge gate which can fill the cavity quickly and completely was used. By adding a flat structure at the end of the product, enough position of the ejector was left to ensure the product with traceless ejection and good appearance. The first-time success rate of mould design was improved greatly by using UG software to simulate motion process of the arc core-pulling mechanism throughout the design process.

Keywords: bridge elbow; arc core-pulling; pinion; rack; traceless ejection; UG; Moldflow

在流体传输的过程中, 为有效避开干涉的管道, 大量采用过桥弯管结构件, 但过桥弯管的生产常采用热弯的成型技术, 不仅弯曲的程度有限, 而且生产效率低下, 人工成本也比较高, 因此, 过桥弯管全自动注塑技术解决方案应运而生。

圆弧的孔道是塑料件中常见的特征之一, 在注塑模设计中常采用圆弧抽芯的结构解决此类产品的脱模问题^[1]。张维合^[2]采用液压缸+连杆的结构, 通过液压缸带动连杆围绕销轴的摆动方式实现了水箱注塑模具的圆弧抽芯动作; 刘少春^[3]利用斜导柱

基金项目: 河南省科技攻关项目 (192102210059)

通信作者: 李伟, 讲师, 主要从事材料成型、智能制造等方面的研究和教学工作

收稿日期: 2021-04-09

引用格式: 李伟, 张晓黎. 基于UG和Moldflow的过桥弯管圆弧抽芯注塑模具设计[J]. 工程塑料应用, 2021, 49(8): 93-98.

Li Wei, Zhang Xiaoli. Design of arc core-pulling injection mould for bridge elbow based on UG and Moldflow[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(8): 93-98.

与滑块空间异形孔的配合形式设计了一种新颖的圆弧抽芯机构;聂艳平等^[4]利用液压缸+成型块直接驱动的方式解决了圆弧弯管脱模的问题。这些方法都是将驱动源的直线运动最终转化为成型零件的圆弧运动来解决问题,但圆弧抽芯结构传动形式的安全、可靠及动作的平稳性、精确度还有待进一步的完善^[5]。

笔者针对某过桥弯管大曲率的管道孔结构,设计了一种双向对开的圆弧抽芯结构,并借助齿轮、齿条精密的传动比,保证圆弧抽芯机构运动的可靠、精准,最终实现模具安全、平稳的运行^[6-9]。

1 过桥弯管产品结构及成型工艺分析

1.1 过桥弯管产品结构特点

图1为过桥弯管产品,最大外形尺寸100 mm×52 mm,端部尺寸 $\varnothing 41$ mm,平均壁厚5 mm。为保证产品侧向抽芯过程中的正确位置,特设计法兰凸缘结构,其厚度5 mm。产品所用材料为无规共聚聚丙烯(PPR),收缩率2%,产品体积54 cm³,质量约56 g。产品虽有复杂曲面结构,但整体比较规整,外观要求光滑、不能有明显的痕迹。

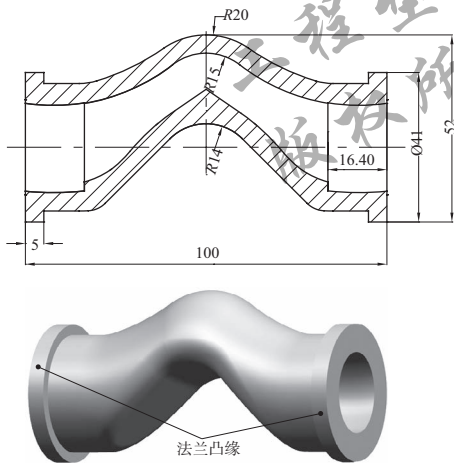


图1 过桥弯管产品图

1.2 过桥弯管成型工艺及模具设计难点分析

过桥弯管主要的作用是在保证正常流体传输的情况下,绕避一些物体。其需求量比较大,使用的塑料材质具有密度小、密封性好的优点,再加上注塑工艺效率高、产品的一致性比较好,因此采用注塑工艺生产过桥弯管的方式比较合适。但是注塑时产品的模具设计存在一些难点:①对于产品上存在的曲面结构,尤其是具有中空弯曲弧线(R54 mm)形状的孔道,采用常规方式进行脱模比较困难;②过桥弯管为外观件,对产品的进浇形式和顶出方式提出

了更高的要求。

2 模具设计

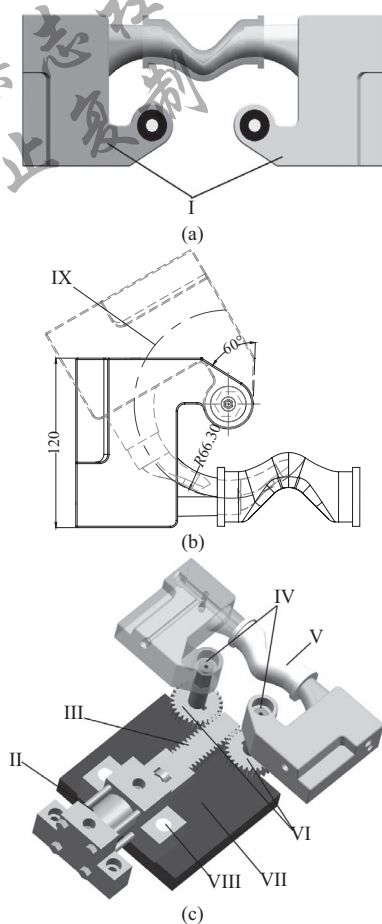
根据注塑工艺的要求,以及过桥弯管产品的结构特点,现将模具结构设计的关键点分述如下。

2.1 圆弧抽芯机构设计

为保证过桥弯管圆弧抽芯机构的结构紧凑以及运动精准安全,圆弧抽芯机构设计重点主要集中在结构设计、连接形式和传动方式。

(1) 圆弧抽芯机构结构。

由图1可知,过桥弯管的孔道为通孔,为保证脱模,只能将成型通孔的模具型芯一分为二。尺寸为R54 mm的圆弧决定着圆弧抽芯运动的方向和运动轨迹的半径大小,综合模架整体结构,设计的对开式圆弧抽芯机构如图2a所示,根据过桥弯管产品特征设计的运动轨迹如图2b所示。图2b中虚线为脱



I—对开式圆弧抽芯块; II—液压缸; III—齿条; IV—六棱柱轴;
V—过桥弯管; VI—齿轮; VII—液压缸固定板; VIII—紧固螺钉;

IX—圆弧抽芯结构块运动轨迹线

a—对开式圆弧抽芯结构块; b—圆弧抽芯运动轨迹;

c—圆弧抽芯传动结构

图2 圆弧抽芯机构的结构和传动

模转动后的位置,需要围绕六棱柱轴IV(六棱主轴的中心即为回转中心)顺时针旋转 60° ,旋转半径为 66.3 mm 。

(2) 圆弧抽芯传动方式。

圆弧抽芯得以实现的关键是顺利地将常规的直线运动转化为复杂的圆弧运动,而齿条、齿轮的啮合传动具有传动比恒定、传动效率高、力矩大、工作可靠平稳的优点,基于此,笔者选用直齿渐开线圆柱形齿轮,材料为20Cr,其表面渗碳淬火处理,传动方式的结构如图2c所示。在液压缸II动力源来回运动的作用下,其带动齿条III往复运动,在齿轮齿条和六棱柱轴IV共同作用下,将直线运动转化为对开式圆弧抽芯块I的圆周运动(圆周运动的驱动中心即为六棱柱轴IV的中心),从而实现顺利脱模。传动的动力至少要克服过桥弯管内孔与成型型芯的包紧力和摩擦力,因此,需要计算产品所需的脱模力和传动结构中齿轮的主要参数。

脱模力计算公式如式(1)所示。

$$Q=Lhp(f\cos\alpha-\sin\alpha) \quad (1)$$

式中: Q ——脱模力,N;

L ——型芯或者凸模被包紧部分的断面周长,cm;

h ——被包紧部分的深度,cm;

p ——由塑件收缩产生的单位面积上的正压力,MPa,一般取 $7.8 \sim 11.8\text{ MPa}$;

f ——摩擦系数,一般取 $0.1 \sim 0.2$;

α ——脱模斜度, $^\circ$ 。

借助于UG软件的测量指令得到 $L=6.63\text{ cm}$ (平均值), $h=5.35\text{ cm}$ (平均值),计算得到 $Q \approx 1000\text{ N}$ 。

结合需要传递的扭矩,采用了直齿圆柱形齿轮,其分度圆直径按式(2)计算。

$$d \geq \sqrt[3]{\left(\frac{3.53Z_E}{[\sigma_H]}\right)^2 \times \frac{KT_1}{\psi_d} \times \frac{u \pm 1}{u}} \quad (2)$$

式中: d ——齿轮的分度圆直径,mm;

Z_E ——齿轮材料的弹性系数, $\sqrt{\text{MPa}}$;

σ_H ——齿面工作时最大接触应力,MPa;

$[\sigma_H]$ ——齿轮材料的许用接触应力,MPa;

K ——载荷系数;

T_1 ——齿轮传递的转矩,N·mm;

ψ_d ——齿宽系数, $\psi_d=b/d$, b 为齿轮的工作齿宽,mm;

u ——齿数比。

$\pm$ ——“+”用于外啮合,“-”用于内啮合。

经查表得到 $K=1.1$, $Z_E=189.8\sqrt{\text{MPa}}$, $\psi_d=0.8$, $[\sigma_H]=1500\text{ MPa}$,得到齿轮的 $d \geq 17.58\text{ mm}$ 。

综上所述,最终选择模数为2、压力角为 20° 、齿数为28的直齿渐开线圆柱形齿轮,齿条则需要进行订制^[10]。

(3) 圆弧抽芯连接形式。

圆弧抽芯机构较大,为了保证齿轮力矩的有效传递以及转速的同步,为此专门设计了六棱柱轴连接结构,其一端通过平键连接齿轮,另一端通过六棱面配合连接圆弧抽芯结构滑块。六棱柱材料为表面镀Cr的45#钢,由脱模力 Q 以及轴的扭转强度计算公式(3),得到六棱柱内切轴直径 $d_z \geq 14.67\text{ mm}$,结合齿轮内孔尺寸,圆整后 d_z 定为 16 mm ,六棱柱轴具体结构如图3所示。

$$\tau_r = \frac{T}{W_r} = \frac{9.55 \times 10^6 P}{0.2 d_z^3 n} \leq [\tau_r] \quad (3)$$

式中: τ_r ——轴的扭转切应力,MPa;

T ——轴所传递的扭矩,N·mm;

W_r ——轴的抗扭截面系数, mm^3 ;

P ——轴所传递的功率,kW;

n ——轴的转速,r/min;

$[\tau_r]$ ——轴的许用扭转切应力,MPa^[11]。

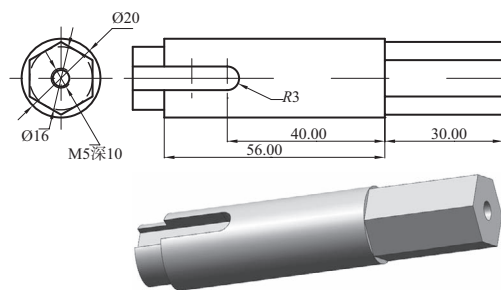


图3 六棱柱轴结构

2.2 浇注系统和顶出系统设计

根据产品外观的要求,将进胶点选在凸缘的圆弧面上,浇口为侧浇口,形状选为扁平的矩形截面。使用Moldflow软件进行浇注系统的优化。首先划分网格,采用双层面的网格类型,纵横比设为1.2,经过网格修复工具,最终修复结果为网格匹配百分比92.3%、最小纵横比2.7,符合模流分析的要求;然后通过充填分析,对多种侧浇口截面尺寸下的效果进行对比,最终选取了具有梯形截面(底边×顶边×高=6 mm×4.5 mm×5 mm)分流道和矩形截面(5 mm×3 mm)浇口(长4 mm)的浇注系统,具

体结构如图4所示。设计好浇注系统后,对该浇注系统下的充填时间、流动前沿温度、气泡分布、熔接痕分布进行模流分析,结果如图5所示。从图5可以看出,模腔的充填完成时间为3.275 s,相比产品的结构和体积,注塑相对较快;熔体流动前沿温度相差 0.5°C ,温度损失比较小;气泡主要集中在型腔的末端,恰好是圆弧抽芯的位置,这样反而有利于排气有效避免气泡的产生;熔接痕主要集中在进胶口的对侧,提高熔体温度、注塑压力以及适当加热模具将有效减少熔接痕的数量和长度^[12-15]。

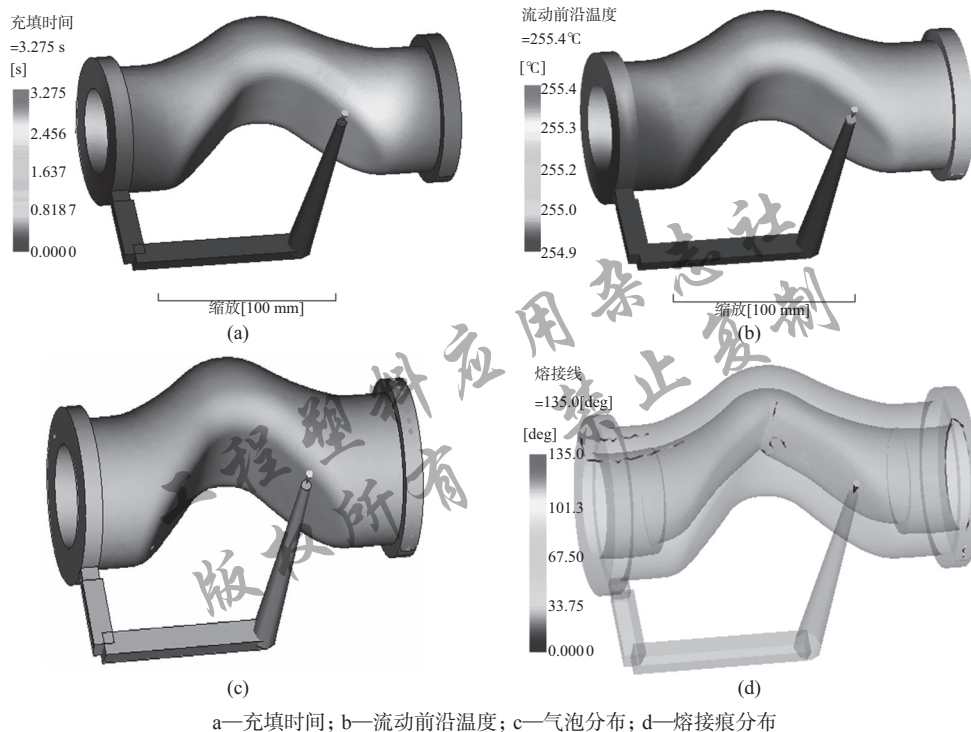


图5 模流分析情况

顶出方式则只能使用顶杆,但顶杆硬度较高且尺寸较小,在端面上进行形状的加工比较困难,另外还要增加顶杆的止转结构,这会导致结构复杂,成本变高。基于此,笔者在产品的凸缘边界增加一块扁平顶出结构(如图4所示),留足顶出的空间,并保证顶出的强度,以实现模具简单可靠的顶出动作和无痕顶出的效果,同时配合模具复位杆及其弹簧,进一步保证产品的顺利、安全、自动脱模。

3 模具工作原理

模具总装图如图6所示,模具为一模两腔,四个圆弧抽芯结构对称排布,保证了模具整体几何中心和受力中心的重合,整体尺寸为 $350\text{ mm} \times 330\text{ mm} \times 308\text{ mm}$,结构紧凑,选用“工”字型模身,方便模具的装机。

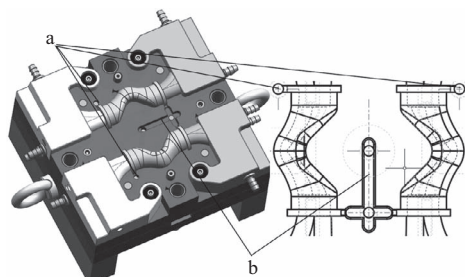
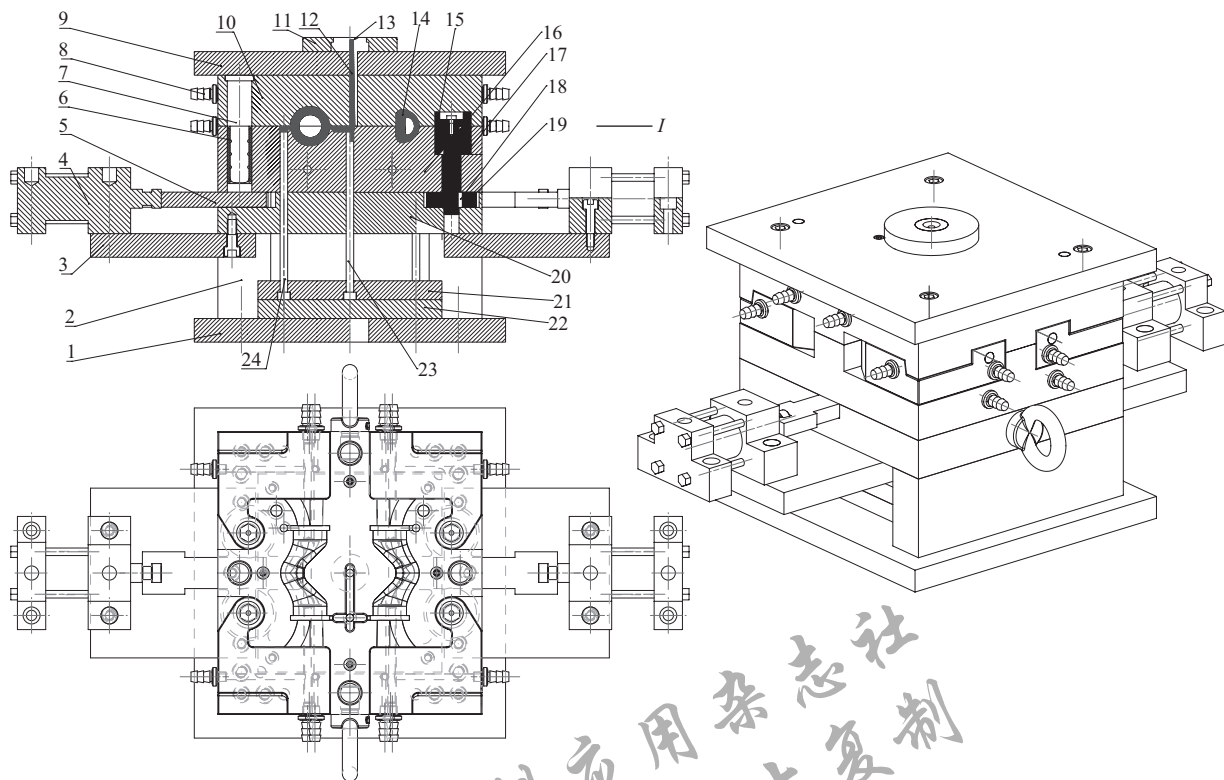


图4 浇注系统和顶出结构

由于过桥弯管全部为曲面特征,若采用常规的

3.1 工作过程

在注塑机螺杆作用下,经充分塑化、混合均匀的熔体快速通过主流道衬套13、分流道和浇口,注塑到完全闭合的模具型腔中,经过3 s的保压、冷却和固化成型,完成产品的注塑过程。随后,模具动模部分往后运动,后退150 mm,实现主分型面I处的分型。在液压系统驱动作用下,液压缸4促使活塞前行,推动齿条5向模具中心方向运动,在齿条5和齿轮19啮合以及齿轮键和六棱柱轴17共同作用下,带动圆弧抽芯滑块15围绕轴心旋转,齿条5运动10 mm,圆弧抽芯滑块15旋转 60° ,以保证弯管内孔型芯全部脱出。在此过程中,同一产品两侧圆弧处的脱模力相互抵消,并且在两端凸缘作用下,产品不发生位移,以保证正确的顶出位置。在注塑机推



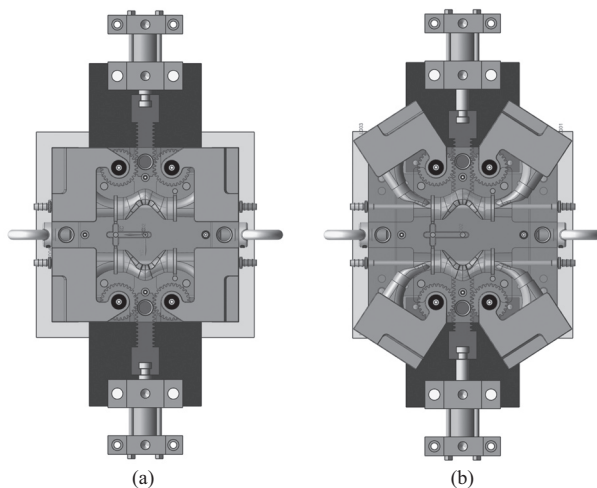
1—动模座板; 2—支撑块; 3—液压缸固定板; 4—液压缸; 5—齿条; 6—导套; 7—导柱; 8—水嘴; 9—定模座板; 10—定模板; 11—定位圈; 12—浇注系统凝料; 13—主流道衬套; 14—产品; 15—圆弧抽芯滑块; 16—动模板; 17—六棱柱轴; 18—平键; 19—齿轮; 20—垫板; 21—顶杆推板; 22—顶杆固定板; 23—拉料钩; 24—顶杆

图6 模具总装图

杆和模具顶出系统弹簧作用下,模具的顶出系统向定模部分移动 35 mm,连续顶出 2 次、时间 0.2 s,以保证产品快速顺利的完成脱模过程。延时 0.5 s 后,在注塑机液压系统驱动下,活塞回程,齿条 5 向远离模具中心方向运动 10 mm,通过啮合和连接零件的共同作用,完成圆弧抽芯滑块 15 的合模动作。最后在注塑机动模座板 1 作用下,在导柱 7、导套 6 导向作用下,动模前移,在 8 对斜面配合下完成合模并实现定位锁死,进入下一个注塑周期。

3.2 运动仿真

使用 UG 软件,对设计完成的过桥弯管圆弧抽芯注塑模具的整个运动过程进行动作模拟仿真,验证圆弧抽芯机构运行的安全、可靠。根据齿条、齿轮啮合,带动圆弧抽芯结构块运动的驱动形式,在 UG 软件动画模块中定义运动副类型、连杆零件,设定原点位置和矢量方向;依据模具正常工作零件运动的先后次序,设置初始位置、终止位置、速度、加速度等参数,运动仿真过程中模具主要零件起始和终止位置如图 7 所示。按照所设定的参数进行了模具工作过程的运动仿真,顺利完成了圆弧抽芯结构的旋进和旋出,验证了结构设计的合理性,实现了模具的安



a—起始位置; b—终止位置

图7 基于UG软件的运动仿真

全运行^[16]。

4 结语

针对过桥弯管的结构特点,设计了双向对开的圆弧抽芯结构,并引入齿条齿轮啮合的精密、高效传动方式,借助于平键、六棱柱轴的连接,高效精准地实现了圆弧抽芯脱模过程,并借助 CAD/CAE 技术对运动过程和充填过程进行模拟,实现了模具的快

速设计,整套模具紧凑,运行安全、可靠,为同类别产品的注塑模具设计提供了参考。

参考文献

- [1] 简忠武,苏曦,王品,等.给排水管三通接头旋转抽芯机构注塑模具设计[J].工程塑料应用,2020,48(9):88-91,102.
Jian Zhongwu, Su Xi, Wang Pin, et al. Design of injection mold with rotating demoulding mechanism for tee joint of water supply and drainage pipe[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(9):88-91, 102.
- [2] 张维合.水箱圆弧抽芯注射模设计[J].模具制造,2013,13(3):38-41.
Zhang Weihe. Design of arc core-pulling injection mold for the tank[J]. Die & Mould Manufacture, 2013, 13(3):38-41.
- [3] 刘少春.带圆弧结构模具抽芯机构的结构设计及运动仿真[J].科技创新与应用,2017(36):61-64.
Liu Shaochun. Structure design and motion simulation of arc core-pulling mechanism of mould[J]. Technology Innovation and Application, 2017(36):61-64.
- [4] 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 Liucan. 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.
- [5] 沈亮涵,张少飞.某冰箱抽屉圆弧抽芯结构设计[J].模具工业,2020,46(5):50-52,60.
Shen Lianghan, Zhang Shaoqi. Circular arc core-pulling design for refrigerator drawer[J]. Die and Mould Industry, 2020, 46(5):50-52, 60.
- [6] 刘琼,林富坤,林永南.欧式花洒本体注射模模流分析及结构设计[J].工程塑料应用,2020,48(2):82-88.
Liu Qiong, Lin Fukun, Lin Yongnan. Flow analysis and structure design of injection mold for european style shower body[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(2):82-88.
- [7] 罗文锋.大角度圆弧弯管抽芯机构及注射模设计[J].模具工业,2019,45(3):31-36.
Luo Wenfeng. Core pulling mechanism for large angle arc pipe and the injection mould design[J]. Die and Mould Industry, 2019, 45(3):31-36.
- [8] 黄力,许傲.异型羊角套盖双圆弧滑块抽芯机构与模具设计[J].塑料科技,2016,44(5):70-74.
Huang Li, Xu Ao. Design of double circular slider core pulling mechanism and mould of special-shaped claw cover[J]. Plastics Science and Technology, 2016, 44(5):70-74.
- [9] 沈忠良,肖国华,徐生,等.圆周多行位圆弧化直线运动抽芯模具设计[J].工程塑料应用,2016,44(5):70-73.
Shen Zhongliang, Xiao Guohua, Xu Sheng, et al. Design of core-pulling mould by rounded linear motion for multi line positions around circumference[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(5):70-73.
- [10] 成大先.机械设计手册[M].北京:化学工业出版社,2004.
Cheng Daxian. Mechanical design manual[M]. Beijing:Chemical Industry Press, 2004.
- [11] 韩玉成.机械设计基础[M].大连:大连理工大学出版社,2013:188-205.
Han Yucheng. Mechanical design basis[M]. Dalian:Dalian University of Technology Press, 2013:188-205.
- [12] 丁立刚,程国飞,魏文强,等.基于Moldflow技术的洗衣机主板注射模具设计[J].塑料,2021,50(1):12-17,23.
Ding Ligang, Cheng Guofei, Wei Wenqiang, et al. Design of injection mold for mainboard of washing machine on moldflow technology[J]. Plastics, 2021, 50(1):12-17, 23.
- [13] 刘方方,胡邓平,唐联耀,等.淋浴手柄圆弧齿轮抽芯注塑工艺研究[J].现代塑料加工应用,2017,29(4):52-55.
Liu Fangfang, Hu Dengping, Tang Lianyao, et al. Circular arc gear core-pulling molding process for shower handle[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2017, 29(4):52-55.
- [14] 程美.基于CAE分析的汽车后视镜三角座注塑模具设计[J].工程塑料应用,2019,47(1):102-107.
Cheng Mei. Design of injection mold for car rearview mirror triangle seat base on CAE analysis[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(1):102-107.
- [15] 赵安民.基于Moldflow的录音机外壳注塑成型优化设计[J].塑料科技,2021,49(2):62-65.
Zhao Anmin. Optimization design of injection molding for plastic instrument shell based on moldflow[J]. Plastics Science and Technology, 2021, 49(2):62-65.
- [16] 路英华,肖国华,杨少增.基于UG的双翻转3次顶出机构模具设计及运动仿真[J].模具技术,2018(5):22-28.
Lu Yinghua, Xiao Guohua, Yang Shaozeng. Design and motion simulation of double reverse would with three times ejection mechanism based on UG[J]. Die and Mould Technology, 2018(5):22-28.