

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2023.09.017

薄壁深腔小脱模斜度箱体塑件注塑模具设计

赵利平¹, 秦瑞亮¹, 彭新华²

[1. 广东科技学院机电工程学院, 广东东莞 523000; 2. 茂新五金(深圳)有限公司, 广东深圳 518106]

摘要: 针对某办公设备上的薄壁深腔小脱模斜度箱体塑件为研究对象, 根据塑件深腔、薄壁、脱模斜度小的结构特点和适用于大批量生产的技术要求, 设计了一副包含: 定模芯入子优先抽芯结构、动模芯入子优先抽芯结构和四边滑块侧向抽芯结构的复杂注塑模具。模具设计采用四边滑块侧向抽芯机构, 解决塑件两侧脱模方向倒扣及塑件表面脱模斜度小、高度方向太深易黏定模的问题, 同时可以优化分型面结构, 提高加工效率; 模具设计的定模芯入子优先抽芯结构, 通过在两处环形筋位处设置的前模芯镶件入子, 利用镶件的排气特性, 解决定模侧两处环形深的筋位在注塑成型时易出现困气、烧焦及填充困难的问题, 通过优先抽芯前模芯的镶件入子, 解决此两处深的筋位黏模的问题; 模具设计的动模芯入子优先抽芯结构解决了塑件深腔、薄壁结构包紧力过大顶出困难的问题, 利用动模芯入子的优先抽芯结构, 先脱出动模芯, 即可轻松顶出塑件同时不会造成顶出变形。针对塑件成型时易出现的问题, 经过模具结构优化设计, 模具在后续实际生产中表现优异、符合预期。

关键词: 箱体塑件; 深腔; 薄壁; 滑块侧向抽芯; 定模芯入子优先抽芯结构; 后模芯入子优先抽芯结构

中图分类号: TQ320.662 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2023)09-0102-06

Injection Mold Design of Thin Wall Deep Cavity Small Release Angle Box Plastic Parts

Zhao Liping¹, Qin Ruiliang¹, Peng Xinhua²

[1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Guangdong University of Science and Technology, Dongguan 523000, China;

2. Maixin Hardware (Shenzhen) Co., Ltd., Shenzhen 518106, China]

Abstract: According to the structural characteristics of deep cavity, thin wall and small release inclination of the plastic parts and the technical requirements for mass production, a complex injection mold was designed, which includes: fixed core core priority pulling structure, moving core core priority pulling structure and four side sliding block side pulling structure. The mold design adopted four side sliding block side core-pulling mechanism to solve the problems of reverse release direction on both sides of the plastic parts, small release inclination on the surface of the plastic parts, too deep height direction and easy to stick to the mold, and optimize the parting surface structure and improve processing efficiency. In the mold design, the core of the fixed die core was preferentially drawn out. By means of the insert of the front die core set at two annular rib positions, the exhaust characteristics of the insert can be used to solve the problems of trapped gas, burning and filling difficulty in the two annular rib positions on the fixed die side during injection molding. By giving priority to the insert of the front die core, the problem of sticking the mold at these two deep rib positions can be solved. The preferential core pulling structure of the moving mold core was designed to solve the problem that the packing force of the deep cavity and thin-wall structure is too large. The preferential core pulling structure of the moving mold core was used to remove the model core first, and the plastic part can be easily pushed out without ejecting deformation. After optimizing the design of the mold structure, which is prone to problems in the molding of plastic parts, the mold performs well in the subsequent actual production and meets the expectations.

Keywords: box plastic parts ; deep cavity ; thin-walled ; slide side core-pulling ; preferential core pulling structure of the fixed die core ; preferential core pulling structure of the moving mold core

基金项目: 东莞市科技局工程技术研究中心项目(现代模具设计与制造工程技术研究中心 20221600402242)

通信作者: 赵利平, 模具制造工高级技师、机械实验师, 主要从事模具设计及制造、机械设计及机械零件加工等研究

收稿日期: 2023-06-28

引用格式: 赵利平, 秦瑞亮, 彭新华. 薄壁深腔小脱模斜度箱体塑件注塑模具设计[J]. 工程塑料应用, 2023, 51(9): 102-107.

Zhao Liping, Qin Ruiliang, Peng Xinhua. Injection mold design of thin wall deep cavity small release angle box plastic parts[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(9): 102-107.

在注塑模具结构设计中,滑块侧向抽芯是常见的复杂结构设计之一,其主要作用是脱出塑件倒扣,让塑件设计能更加灵活,方便成品结构组装。本案例针对办公设备上的薄壁深腔小脱模斜度箱体塑件结构特点和生产技术要求,模具结构采用了定模芯入子/动模芯入子优先抽芯结构和四边滑块侧向抽芯结构的设计^[1]。前期查阅了相关文献了解多位学者针对塑件深腔、薄壁、多方向抽芯结构等模具设计做了相关研究^[2-3]。如刘正平等^[4]进行了深腔物流箱注塑模设计。针对深腔物流箱的结构特点,使用一种简化型两板热流道注塑模对其进行成型。罗彦英等^[5]根据车用升降器开关面板厚度薄的特点,采用了组合式凹凸模的形式,保证塑件顺利脱模。许孔联等^[6]对汽车滤清盒盖热流道模具使用两种复杂抽芯机构进行复合多方向抽芯脱模。韩友泉^[7]针对手机盖类塑件多部位特征脱模,设计了楔紧块驱动滑块外抽芯机构,楔紧块驱动滑块内抽芯机构。

笔者针对办公设备上的箱体塑件结构特点和生产技术要求,模具设计采用四边滑块侧向抽芯机构解决塑件两侧脱模方向倒扣及塑件表面脱模斜度小、高度方向太深、易黏定模等问题,采用定模芯入子优先抽芯结构解决定模侧环形深筋位在注塑成型时易出现困气烧焦和黏模的问题;采用后模芯入子优先抽芯结构解决了塑件深腔、薄壁结构包紧力过大顶出困难的问题^[8-12]。此模具结构设计具有一定创新性和先进性,其结构设计成功经验值得同行借鉴。

1 零件结构特点和生产工艺分析

图1为塑件3D结构图,塑件的外形尺寸为110 mm×63 mm×180 mm,主体壁厚2 mm,筋位厚度1.3 mm,壁厚均匀合理,塑件选用材质为:丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS),属中小型塑件。塑件模具设计的难点有:一、塑件形状为一个长方体深腔,定模

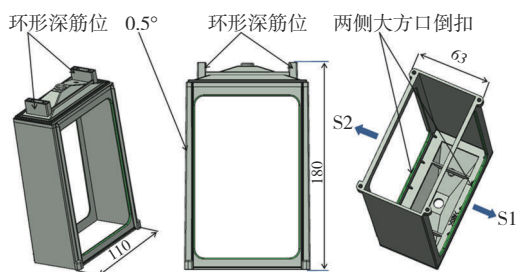


图1 塑件3D结构图

侧有较深的筋位,表面出模斜度较小,易出现黏模和脱伤的现象;二、两侧各有一个长方形减胶方孔,需要做滑块抽芯;三、塑件长度、宽度和高度的尺寸比不协调,模具型腔特别深,包紧力大容易顶出变形。塑件虽然为内观结构件,但成型要求不能有批锋、变形、脱伤等现象。

2 模具结构总体设计

2.1 浇注系统设计

塑件的整体结构是一个薄壁深腔的长方体形状,四边有两侧偷胶避空,主体壁厚2 mm,内部结构件可先选择在塑件上直接进胶,但浇口断裂处不能凸起。选择细水口模具结构,通过两点平衡进胶方式,分散进胶压力,使走胶更加顺畅,在进胶点处设计凹位防止浇口断裂处凸起,如图2所示。

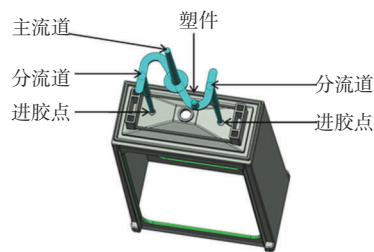
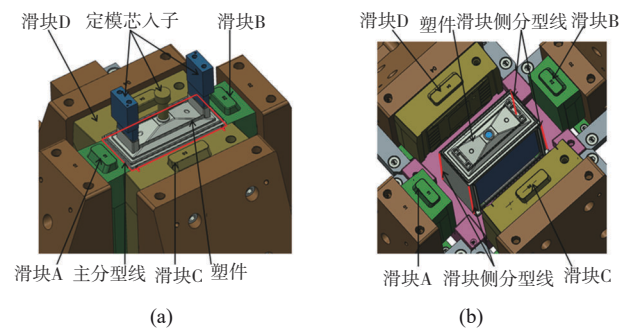


图2 进胶示意图

2.2 注塑成型生产中常见的问题

针对本案例的塑件:主分型面1的选择在图3a主分型线位置,让定模型腔的深度变浅,避免黏定模的风险,同时针对定模侧两个环形深筋位结构设置了入子镶件,在方便模具加工的同时利于定模排气,防止困气烧焦和黏模,且可让塑件获得优良外观面;滑块侧分型面2分布在塑件四个滑块侧分型线处如图3b所示,解决塑件定模型腔脱模斜度小导致易黏模和脱伤的问题,同时脱出两侧方形孔倒扣。两次分型面的设计充分解决了模具注射成型中易出现的问题。



a—主分型面1打开状态;b—滑块侧分型面2打开状态

图3 分型结构示意图

2.3 滑块侧向抽芯机构 A/B/C/D

滑块 A/B/C/D 为侧分型结构,其中滑块 C22 和滑块 D8 的作用一是解决出模方向的方形大倒扣 S1 和 S2,二是与滑块 A 和 B 构成侧分型面 2,脱出定模型腔,避免出现塑件黏模和脱伤^[13-14]。其结构组成和工作原理如图 4 所示:滑块 A42/B36/C22/D8 连接滑块座 5,通过滑块压板 34 用螺丝固定在动模 B 板 12 上,在滑块座 5 的活动接触的复位锁紧面和底部移动面上设有耐磨块 9,耐磨块 9 用中碳钢调质处理到洛氏硬度(HRC)52~56 度以延长其使用寿命,同时耐磨块更换方便快捷,利于后期钳工维修更换。开模时,斜导柱 21 提供抽芯动力,让滑块座 5 带动滑块 A42/B36/C22/D8 实施抽芯动作,斜导柱的制作材质为高碳铬轴承钢(SUJ2),滑块 A42 和滑块 B36 各一条,滑块 C22 和滑块 D8 各两条,直径 20 mm,确保强度和拉力足够;弹簧 20 提供辅助抽芯动力,当滑块抽芯完成后到达滑块 A/B 抽芯限位块 35 和滑块 C/D 抽芯限位块 10 限定的位置,弹簧 20 保持滑块 A42/B36/C22/D8 的相对位置防止合模时压模^[15-17]。

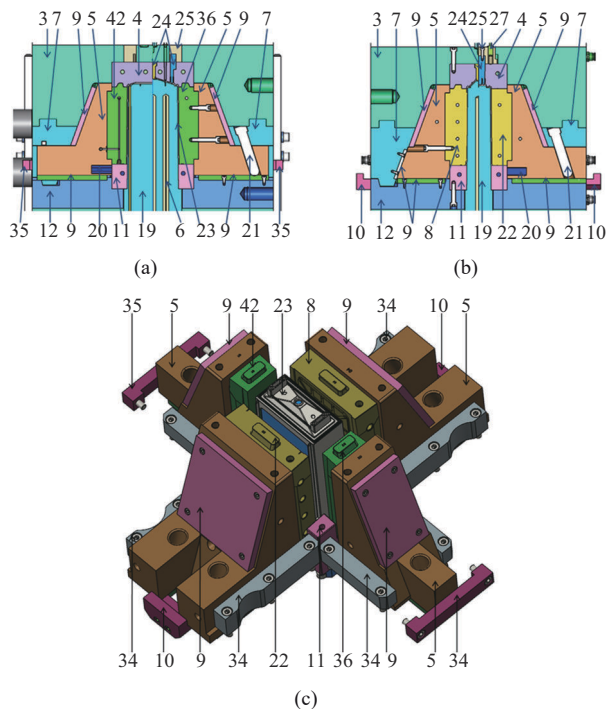


图 4 滑块侧向抽芯机构 A/B/C/D 示意图
a—滑块 A 和 B 结构 3D 剖面图;b—滑块 C 和 D 结构 3D 剖面图;
c—滑块结构 3D 分布图

3—A 板;4—定模芯;5—滑块座;6—水路;7—铲基;8—滑块 D;
9—耐座块;10—滑块 C/D 抽芯限位块;11—动模芯;12—B 板;
19—动模芯入子;20—滑块弹簧;21—斜导柱;22—滑块 C;23—塑件;
24—定模芯入子;25—定模芯优先抽芯块;27—树脂开闭器 A;
35—滑块 A/B 抽芯限位块;36—滑块 B;42—滑块 A

图 4 滑块侧向抽芯机构 A/B/C/D 示意图

2.4 定模芯入子和动模芯入子优先抽芯及定距顺序开模机构设计

图 5 为定距顺序分型开模 3D 示意图。如图 5a、图 5b 所示,定模芯入子优先抽芯机构由定模芯入子 24、定模芯优先抽芯块 25、树脂开闭器 27 组成。工作原理为:开模时,在弹簧 30 的作用下,分型面 I 优先打开,树脂开闭器 A27 带动定模芯优先抽芯块 25 完成定模芯入子 24 的抽芯动作,抽芯距离 10 mm,当开模达到水口拉杆限定的距离 175 mm 时,分型面 I 完全打开,水口板剥离水口,水口脱落。由图 5c~图 5f 可见,动模芯入子优先抽芯机构由动模芯入子 19、承板 13、限位螺丝 39 及复位弹簧 46 组成,工作原理为:模具继续打开,分型面 III 由于树脂开闭器 B38 的作用继续保持紧闭状态,分型面 II 打开,承板 13 带着动模芯入子 19 执行抽芯动作,达到动模芯入子优先抽芯限位装置 39 的行程 10 mm 时完成抽芯;开模继续,当树脂开闭器 B38 与 A 板 3 之间形成的摩擦力无法抗拒开模拉力的时候,分型面 III 打开,此时滑块 A/B/C/D 开始抽芯直至完成,当开模行程达到开模限位块 31 限定的值时,模具完成打开,整个开模过程全部完成^[18-19]。

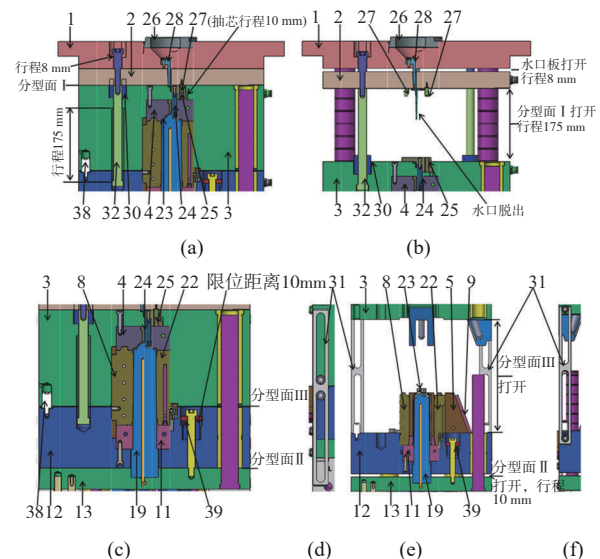


图 5 定距顺序分型开模 3D 示意图
1—面板;2—水口板;13—承板;26—法兰;28—喷嘴;30—弹簧;
31—开模限位块;32—水口拉杆;38—树脂开闭器 B;39—动模芯入子
优先抽芯限位装置;46—复位弹簧;

3,4,8,11,12,19,22,23,24,25,27 同图 4 标注

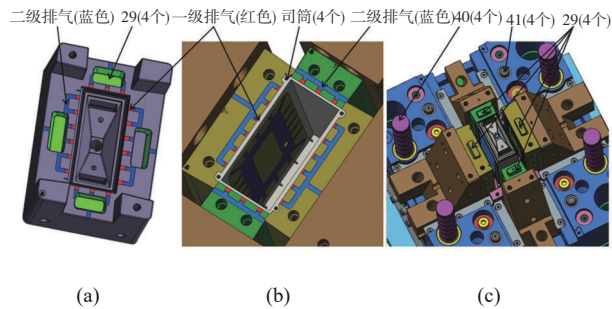
a—一次分型闭合状态 3D 剖面图;b—一次分型打开状态 3D 剖面图;
c—二次分型闭合状态 3D 剖面图;d—开模拉杆合模状态 3D 图;
e—二次分型打开状态 3D 剖面图;f—开模拉杆开模状态 3D 图

图 5 定距顺序分型开模 3D 示意图

2.5 模具导向定位、排气、冷却水路设计

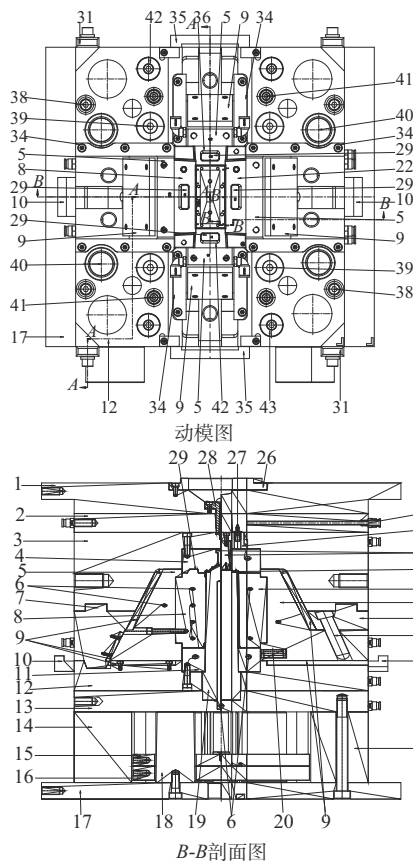
选择的简化细水口模架内部除了常规的导柱、

导套、顶针板中托司及各固定板之间的销钉定位设计外,在模具的主分型面A板和B板之间新增了四个对锁定位装置,四个滑块同样增设了对锁定位装置以确保模具的精度,如图6c所示;二级排气系统充分改善塑件成型条件,避免在成型过程中出现困气、烧焦的现象,如图6a、6b所示,在塑件的主分型面和填充末端(滑块底部)都设有整圈排气,一级排气宽4 mm,深度0.03 mm,二级排气宽6 mm,深0.3



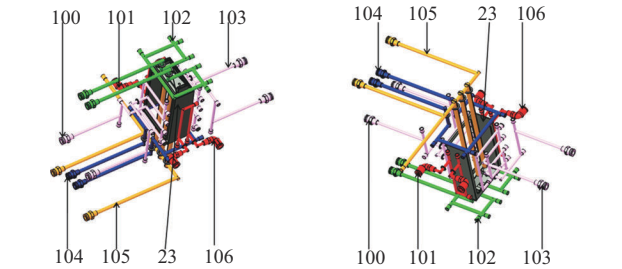
29—滑块定模侧对锁锁口结构;40—导柱;41—分型面定位对锁装置;
a—定模芯定位和排气结构3D图;b—滑块A/B/C/D排气结构3D图;
c—分型面定位结构3D图

图6 定位结构和排气系统3D示意图



mm,使塑件在成型过程中充分排出熔料所产生气体,以获得良好外观。

冷却水路3D示意图如图7所示:该塑件形状规则,水路设计有天然优势,共设有包含定模芯、动模芯、动模芯入子、滑块A/B/C/D共七条,从上到下,左至右以及塑件内部都得到充分均匀的冷却,塑件变形控制得相当好,成型品质及生产效率亦超预期。

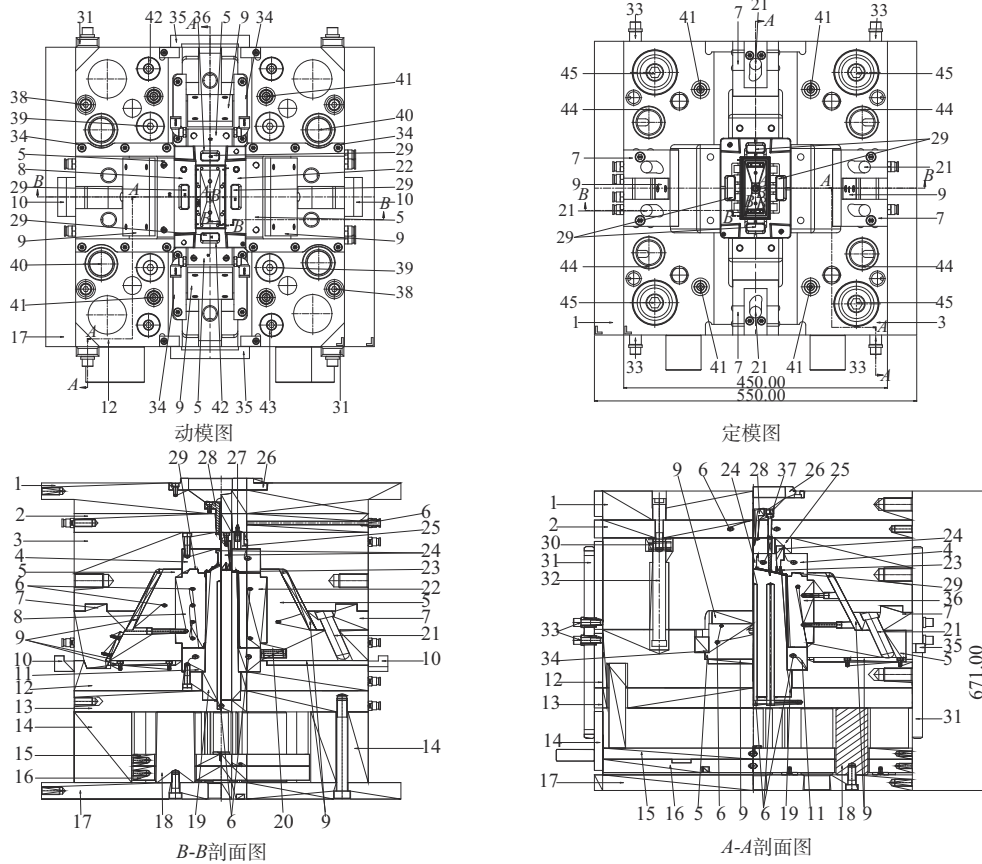


100—滑块D水路;101—滑块A水路;102—定模芯水路;103—滑块C水路;104—动模芯水路;105—动模芯入子水路;106—滑块B水路

图7 冷却水路3D示意图

2.6 模具整体结构

模具整体结构图如图8所示。由图1可以看



14—方铁;15—顶针面板;16—顶针底板;17—底板;18—撑头;33—开模限位块定位轴套;34—滑块压板;37—水口钩针;43—回针;44—导套;
45—导柱;1~13,19~32,35,36,38,39,40,41,42同图4~图6

图8 模具总装图

出,塑件的体积中等偏小,外形尺寸110 mm×63 mm×180 mm,结构形状特殊,深腔且脱模角度较小、薄壁并带较深的筋位。塑件订单量一般,品质要求较高,考虑到成型可能存在的黏、脱伤、变形等问题,模具结构设计采用一模一穴布局,上下左右四侧滑块设计,避免定模出现脱伤和黏模的可能,同时解决塑件两侧方形孔大倒扣问题,其中滑块C22和滑块D8与动模芯入子19碰穿,并通过定模芯4上与其形成的对锁装置29可防止塑件在成型时出现偏胶现象;模架采用龙记标准简化细水口FCI4550,细水口两点平衡进胶方式,模具最大外形尺寸为550 mm×500 mm×671 mm,约700 kg,属于中小型模具范畴。

3 验证和分析

首次试模100次,在试模过程中发现分型面Ⅱ承板在合模时撞击声音较大,是由于动模芯入子优先抽芯限位装置39中的复位弹簧太长导致力量太大造成,经改善后试模达到预期效果;原本担忧如图9所示的薄壁处内凹变形,经过优良的水路设计冷却后并未出现该现象,但是在成型过程中注塑机的冻水是必备的条件,同时要配合合理的注射压力和冷却时间。

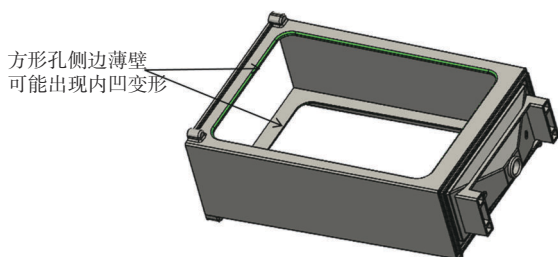


图9 塑件3D分析示意图

4 结论

(1)模具设计四边侧向滑块结构有效解决了定模黏模、脱伤及倒扣出模的问题,同时利用滑块与动模芯入子的碰穿结构,配合定模芯与滑块的定位结构解决塑件成型时的偏心问题。

(2)模具结构设计的模芯入子优先抽芯结构非常好地解决了深腔、薄壁、深筋位在成型顶出过程中出现的困气烧焦、顶出变形的问题,确保了塑件成型时的优良品质。

(3)优良的排气系统设计和精密的模具定位结构使塑件获得优秀的外观品质和精度尺寸。

(4)优良的冷却系统设计使塑件获得高效的成

型生产周期且有效地控制了塑件变形。

参考文献

- [1] 张维合. 注塑模具设计实用手册[M]. 第二版. 北京: 化学工业出版社, 2019:164-230.
Zhang Weihe. Practical manual for injection mold design[M]. 2nd Edition. Beijing: Chemical Industry Press, 2019:164-230.
- [2] 温瑞, 肖国华. 吸尘器开关扣盖复合式二次斜顶脱模机构及其注塑模设计[J]. 工程塑料应用, 2016, 44(12):85-91.
Wen Rui, Xiao Guohua. Design of a composite secondary inclined top demolding mechanism and injection mold for vacuum cleaner switch buckle cover[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(12):85-91.
- [3] 刘庆东. 某汽车储物盒二次抽芯倒装注塑模设计[J]. 中国塑料, 2019, 33(9):104-108.
Liu Qingdong. Design of the injection mold for a second core pulling flip assembly of a car storage box[J]. China Plastics, 2019, 33(9):104-108.
- [4] 刘正平, 吴戈, 王伟伟, 等. 深腔物流箱注塑模设计[J]. 工程塑料应用, 2022, 50(4):87-91.
Liu Zhengping, Wu Ge, Wang Weiwei, et al. Design of injection mold for deep chamber logistics box[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(4):87-91.
- [5] 罗彦英, 梅益, 唐方艳, 等. 汽车用升降器薄壁开关面板注塑模具设计[J]. 工程塑料应用, 2022, 50(10):84-89.
Luo Yanying, Mei Yi, Tang Fangyan, et al. Design of injection mold construction for thin wall switch panel of automobile elevator [J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(10):84-89.
- [6] 许孔联, 谭赞武. 带两种复杂抽芯机构的汽车滤清盒盖热流道模具设计[J]. 塑料, 2020, 49(5):151-155.
Xu Konglian, Tan Zanwu. Design of hot runner mold for automobile filter box cover with two complex core pulling mechanisms[J]. Plastic, 2020, 49(5):151-155.
- [7] 韩友泉. 手机盖特殊抽芯机构及注塑模具结构设计[J]. 工程塑料应用, 2018, 46(4):80-85.
Han Youquan. Special core pulling mechanism of mobile phone cover and structural design of injection mold construction[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(4):80-85.
- [8] 赵利平, 张艳华, 于维斌, 等. 扫地机器人尘盒盖注塑模具设计[J]. 中国塑料, 2022, 36(11):133-139.
Zhao Liping, Zhang Yanhua, Yu Weibin, et al. Design of Injection mold construction for dust box cover of sweeping robot[J]. China Plastics, 2022, 36(11):133-139.
- [9] 陈叶娣, 黄敏高, 严小锋. 管接头的二次抽芯机构注塑模具开发[J]. 现代塑料加工应用, 2019, 31(6):48-51.
Chen Yedi, Huang Mingao, Yan Xiaofeng. Development of Injection mold construction for secondary core pulling mechanism of pipe joint[J]. Modern Plastic Processing Application, 2019, 31(6):48-51.
- [10] 石峰, 朱超挺, 周天琦, 等. 医药中转箱隧道滑块二次抽芯机构

- 及简化型四次开模三板模具设计[J]. 中国塑料, 2019, 33(8): 118-126.
- Shi Feng, Zhu Chaoting, Zhou Tianqi, et al. Design of the secondary core pulling mechanism and simplified four stage mold opening three plate mold for the tunnel slide of a medical transfer box[J]. China Plastics, 2019, 33(8):118-126.
- [11] 傅莹龙, 邵明朝. 儿童安全座椅头枕的双滑块二次抽芯注塑模具设计[J]. 中国塑料, 2020, 34(7):92-96.
- Fu Yinglong, Shao Mingchao. Design of double slider secondary core pulling Injection mold construction for child safety seat headrest[J]. China Plastics, 2020, 34(7):92-96.
- [12] 杨素华, 肖国华, 卞平. 轴套盖内环槽抽芯机构及注塑模具结构设计[J]. 中国塑料, 2017, 31(11):130-136
- Yang Suhua, Xiao Guohua, Bian Ping. Structural design of core pulling mechanism of inner ring groove of shaft sleeve cover and Injection mold construction[J]. China Plastics, 2017, 31(11): 130-136.
- [13] 刘庆东. 某汽车储物盒二次抽芯倒装注塑模设计[J]. 中国塑料, 2019, 33(9):104-108.
- Liu Qingdong. Design of the injection mold for a second core pulling flip assembly of a car storage box[J]. China Plastics, 2019, 33 (9):104-108.
- [14] 徐生, 肖国华, 沈忠良, 等. 内藏式型针侧抽芯二次顶出脱模机构及其模具设计[J]. 工程塑料应用, 2016, 44(3):79-83.
- Xu Sheng, Xiao Guohua, Shen Zhongliang, et al. Design of a hidden needle side core-pulling secondary ejection demolding mechanism and its mold[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(3):79-83.
- [15] 赵利平, 温焯英, 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 hot runner two-color injection mold construction for automobile lamp cover parts[J]. Engineering Plastics Application, 2022, 50(3): 96-100.
- [16] 赵利平, 秦瑞亮, 侯贤州, 等. 弯管热流道模具的旋转抽芯脱模设计[J]. 塑料科技, 2023, 51(2):84-87.
- Zhao Liping, Qin Ruiliang, Hou Xianzhou, et al. Rotary core pulling demoulding design of hot runner die for elbow[J]. Plastic Science and Technology, 2023, 51(2):84-87.
- [17] 赵利平, 张维合, 侯贤州, 等. 电热水壶手柄旋转抽芯模具设计[J]. 工程塑料应用, 2023, 51(3):82-87.
- Zhao Liping, Zhang Weihe, Hou Xianzhou, et al. Design of a rotating core-pulling mold for the handle of an electric kettle[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(3):82-87.
- [18] 李振宇. 多种抽芯机构脱模的护帽注塑模设计[J]. 塑料科技, 2015, 43(11):82-86.
- Li Zhenyu. Design of protective cap injection mold for ejection of various core pulling mechanisms[J]. Plastic Science and Technology, 2015, 43(11):82-86.
- [19] 赵利平, 侯贤州, 罗哲, 等. 汽车后保险杠热流道大型精密注塑模具设计[J]. 塑料科技, 2022, 50(12):94-98.
- Zhao Liping, Hou Xianzhou, Luo Zhe, et al. Design of large precision injection mold for hot runner of automobile rear bumper [J]. Plastic Science and Technology, 2022, 50(12):94-98.

~~~~~

(上接第95页)

- [10] 殷振胜, 李瑞林, 孟庆锐, 等. 薄膜拉伸用风循环装置: CN203004304U[P]. 2013-06-19.
- Yin Zhensheng, Li Ruilin, Meng Qingrui, et al. Air circulation device for film stretching: CN203004304U[P]. 2013-06-19.
- [11] 王来. 孔板送风静压箱静压分布规律的实验研究[J]. 制冷学报, 1991(3):10-16.
- Wang Lai. Experiment on static pressure field in plenum chamber of air supply orifice[J]. Journal of Refrigeration, 1991(3):10-16.
- [12] 汪琦, 张慧芬, 俞红嘯, 等. 热载体加热炉结构与节能减排措施的研究[J]. 上海节能, 2020(10):1 135-1 140.
- Wang Qi, Zhang Huifen, Yu Hongxiao, et al. Study on structure of heat carrier heating furnace and energy saving and emission reduction measures[J]. Shanghai Energy Conservation, 2020(10):1 135-1 140.
- [13] 孟宪军, 周建平, 师拓. 风量平衡静压箱内气流组织数值模拟[J]. 安装, 2015(4):39-42.
- Meng Xianjun, Zhou Jianping, Shi Tuo. Numerical simulation of airflow organization in a static pressure chamber with air volume balance[J]. Installation (Ventilation and air conditioning), 2015 (4):39-42.
- [14] 杨增帅, 王会刚, 田有明. 双向拉伸聚丙烯薄膜生产线技术综述[J]. 世界有色金属, 2017(11):251-252.
- Yang Zengshai, Wang Huigang, Tian Youming. Technology review of BOPP film production line[J]. World Nonferrous Metals, 2017(11):251-252.