

For citation: Ming Yong. Design and research on injection mould for the upper shell of three-in-one temperature controller // Grand Altai Research & Education — Выпуск 1 (26)'2026 (DOI: 10.25712/ASTU.2410-485X.2026.01) — EDN: <https://elibrary.ru/BCPSIJ>

UDK 675.92.027.62

DESIGN AND RESEARCH ON INJECTION MOULD FOR THE UPPER SHELL OF THREE-IN-ONE TEMPERATURE CONTROLLER

Ming Yong¹

1 School of Mechanical Design and Automation, Wuhan Textile University, Wuhan, 430073, China
E-mail: 1770235062@qq.com

Abstract. With the transformation and upgrading of the manufacturing industry, efficient and economical production methods have become the mainstream. Taking the upper shell of a three-in-one temperature controller as the research object, this paper completes the injection mold design using UG and CAD software. The mold adopts a two-cavity layout with symmetrical arrangement and a side gate feeding scheme. The parting surface, gating system, cooling system, ejection mechanism and guide mechanism are systematically designed and calculated. The mold features reasonable structure, reliable operation and stable molding quality, providing a technical reference for the development of similar thin-walled shell plastic parts.

Keywords: three-in-one temperature controller; injection mould; two cavities; parting surface; ejector pin

三合一温控器上壳注塑模具设计与研究

明勇¹

1 武汉纺织大学, 机械工程与自动化学院, 武汉 430073
E-mail: 1770235062@qq.com

摘要: 以三合一温控器上壳为研究对象, 采用 UG, CAD 等软件完成注塑模具整体设计, 确定一模两腔对称布局与侧浇口进料方案, 系统完成分型面设计, 浇注系统设计, 冷却系统设计, 脱模机构设计及导向机构设计的计算与匹配. 模具结构合理, 运行可靠, 成型稳定, 可为同类薄壁壳体塑件的模具开发提供技术参考.

关键词: 三合一温控器上壳; 注塑模具; 一模两腔; 分型面; 推杆

0 引言

注塑成型是现代塑料制品批量生产的核心工艺, 具备生产效率高, 制品一致性好, 易于自动化等突出优势, 在家电, 电子, 智能制造等领域应用广泛 [1]. 塑料模具作为成型关键装备, 其结构合理性直接决定塑件尺寸精度, 表面质量与生产稳定性. 随着制造业向高效, 绿色, 智能化方向转型升级, 塑件日趋精密化与复杂化, 传统经验设计方式已难以满足高质量成型需求 [2]. CAD/CAM 技术的全面普及, 推动模具设计从经验化走向数字化与可视化, 显著提升设计效率与成型可靠性 [3].

本文以三合一温控器上壳为研究对象, 结合塑件结构特征与使用要求, 系统开展材料选型, 工艺分析, 模具总体方案确定, 关键机构设计及设备校核工作, 完成一套一模两腔, 侧浇口进料, 推杆与斜顶杆复合脱模的注塑模具设计. 本设计兼顾实用性与经济性, 可为同类薄壁壳体塑件的模具开发提供直接参考与技术支撑.

1 塑件工艺分析与方案确定

三合一温控器上壳属典型矩形薄壁壳体件, 外形尺寸 $101.6\text{mm} \times 50.8\text{mm} \times 7.8\text{mm}$, 壁厚均匀 2mm , 如图 1 所示. 内壁两侧设有卡扣结构, 用于后续装配固定; 外观面要求平整光洁, 无缩痕, 熔接痕及飞边等成型缺陷. 该塑件结构规整, 壁厚均匀, 有利于熔体平稳充填与均匀冷却, 成型工艺性良好.

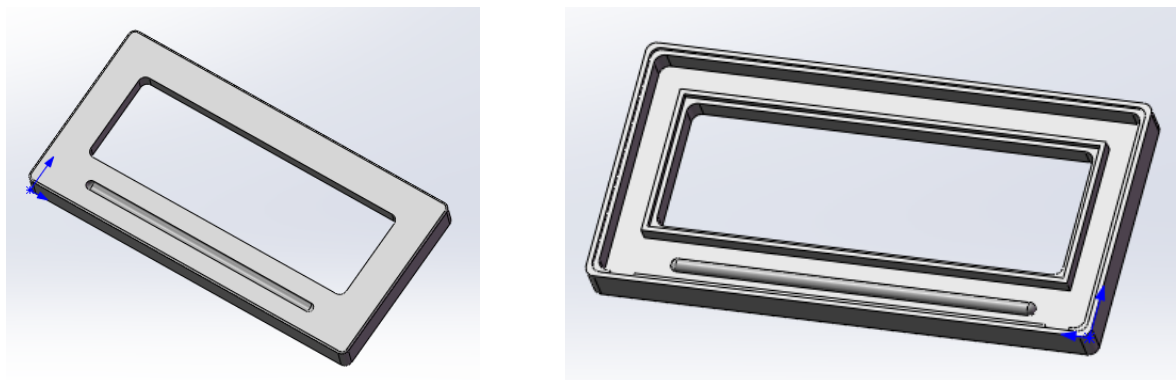


图 1 塑件三维图

Fig. 1 3D model of plastic part

精度等级依据 GB/T 14486–2018 «塑料模塑件尺寸公差» 确定. 作为通用家电配套件, 未注公差按 MT5 级执行, 可在保证装配互换性的同时适当放宽模具加工公差, 有效降低制造成本. 塑件平均壁厚 2mm , 脱模斜度取 1° [2], 以减小冷却收缩后对型芯的包紧力, 避免顶出过程中产生刮伤或变形 [2]. 外表面粗糙度控制于 $Ra1.6 \sim 3.2 \mu\text{m}$, 型腔成型面须经精密加工与抛光处理, 确保制品外观品质.

注塑材料选用丙烯腈 — 丁二烯 — 苯乙烯共聚物 (ABS). 该材料收缩率 $0.5\% \sim 0.7\%$ [4], 成型温度区间 $195 \sim 240^\circ\text{C}$, 熔体流动性适中, 热稳定性良好 [4]. ABS 制件兼具较高的强度, 刚度与表面硬度, 耐化学腐蚀性优良, 且适于喷涂, 电镀等二次加工, 其成型周期短, 尺寸稳定性高, 可充分满足温控器上壳对力学性能与外观质量的综合要求.

分型面选取遵循“便于脱模, 保证外观”的基本原则. 塑件最大轮廓截面位于底面平面处, 此处分型可使开模后塑件留于动模型芯一侧, 便于顶出机构布置. 侧壁卡扣结构位于分型面以下, 开模方向无倒扣干涉. 分型面位置如图 2 所示.

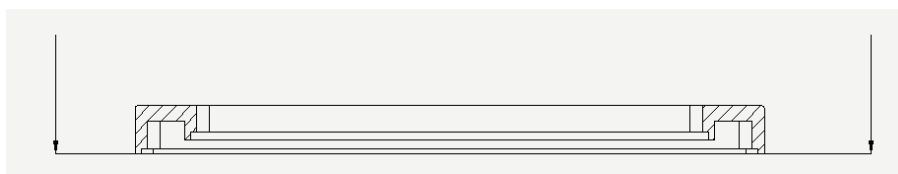


图 2 分型面示意图

Figure 2 Schematic of parting surface

型腔数目依据塑件尺寸, 批量需求及注塑机容量综合权衡. 单件体积 11.4cm^3 , 属中小尺寸制品. 采用一模两腔对称布局, 可使熔体充模路径相等, 型腔压力分布均衡, 制品尺寸一致性好. 两腔中心距取 31.2mm , 兼顾流道长度与模板强度; 型腔至模仁边缘距离设为 30mm , 预留冷却水路与紧固螺钉布置空间. 布局形式如图 3 所示.

型腔边界尺寸为 161.6mm×192.8mm, 型芯高度 30mm, 型腔高度 37.8mm. 经计算, 动, 定模板轮廓尺寸分别达 300mm 与 270mm. 结合侧浇口进料方式与推杆脱模结构需求, 选用龙记 CI 型二板式标准模架, 型号 CI-2730-A70-B70-C80 [5]. 该模架定模设两块模板, 动模设一块模板, 结构紧凑, 刚性充足, 完全支持推杆顶出与环形冷却水路布置.

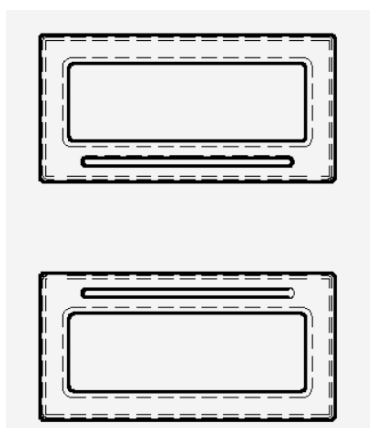


图 3 型腔布局图
Figure 3 Schematic diagram of the cavity layout

以上分析表明, 三合一温控器上壳成型工艺性良好, ABS 材料与壳体注塑需求高度适配; 单平面分型, 一模两腔对称布局及 CI-2730 标准模架的方案组合, 兼顾成型质量, 生产效率与经济性, 为后续结构设计奠定了可靠的基准框架.

2 注塑设备选型与浇注系统设计

经三维建模测算, 单个三合一温控器上壳体积为 11.4cm³. 浇注系统凝料按塑件体积的 20% 估算, 一模两腔总注射量为:

$$V_{\text{实}} = 11.4 \times (1 + 0.2) \times 2 = 27.36 \text{ cm}^3 \quad (1)$$

按注塑机最大注射量利用系数 0.8 计 [6], 所需最小理论注射量为 27.36/0.8=34.2cm³. 综合注射量, 锁模力及安装空间要求, 选用 SZ-100/630 型卧式注塑机, 理论注射量 100cm³, 额定锁模力 630kN, 主要技术参数见表 1. 表 1 SZ-100/630 型注塑机.

表 1 SZ-100/630 型注塑机主要参数
Table 1 Main parameters of SZ-100/630 injection molding machine

注塑机型号	sz-100/630
理论注射量/cm ³	100
选用模内压力/MPa	150
最大注射面积/cm ³	320
锁模力/kN	630
最大模具厚度/mm	300
最小模具厚度/mm	150
模板行程/mm	270
档杆空间(长 x 宽)	370x320
定位孔直径/mm	100
喷嘴球半径/mm	14
喷嘴孔径/mm	3

设备与模具的匹配性须经关键参数严格校核. 型腔数量校核表明, 允许型腔数 $n \leq 6$, 大于实际型腔数 2, 满足批量生产要求. 实际注射量 27.36cm³ 介于最小注射量 25cm³ 与最大注射量 80cm³ 之间, 塑化能力利用充分. 注射压力方面, ABS 成型所需压力为 70~100 MPa, 注塑机最高压力 150 MPa, 取安全系数 1.4, 满足 $P_{\text{max}} \geq 1.4 \times (70 \sim 100) = 98 \sim 140 \text{ MPa}$, 压力储备充足.

锁模力是确保成型过程中模具可靠闭合的关键参数. 锁模力须大于型腔内熔体张力, 校核公式为:

$$F_{\text{锁}} = K \cdot P_{\text{腔}} \cdot A_{\text{分}} \quad (2)$$

式中: K 为安全系数, 取 1.2; P 腔为型腔压力, ABS 材料取 30 MPa; A 分为塑件与流道在分型面上的投影面积之和. 单件投影面积约 5161mm², 两腔合计 10322mm², 流道投影面积按 20% 估算约 2064mm², 总投影面积 A 分≈12386mm². 代入式 (2) 得:

$$F_{\text{锁}} = 1.2 \times 30 \times 12386 \times 10^{-3} \approx 446 \text{ kN} \quad (3)$$

计算值 446 kN 低于额定锁模力 630 kN, 锁模力储备充裕, 满足设计要求. 此外, 模具开模行程, 装模厚度及拉杆间距均与设备参数良好匹配, 装配条件完全具备.

浇注系统是熔体从喷嘴进入型腔的通道, 其设计质量直接决定充填效果与成型效率. 主流道采用圆锥形结构, 小端直径取 $d=3.5\text{mm}$, 球面凹坑半径取 $SR=16\text{mm}$ [7], 以便冷凝料顺利脱出. 浇口套与定模座板采用 H7/m6 过渡配合, 头部嵌入定位圈内孔. 分流道选用圆形截面, 直径经计算取 5mm, 长度 27mm, 处于 ABS 推荐值 4.8~9.5mm 区间内. 圆形截面流阻小, 热量散失少, 可有效保证一模两腔充填均衡.

浇口类型与尺寸对制品外观及充模流动具有决定性影响. 本设计采用侧浇口, 设于塑件侧面非外观区域. 截面尺寸参照经验数据确定: 深度 $h=0.8\text{mm}$, 宽度 $b=2.5\text{mm}$, 长度 $L=2.1\text{mm}$ [8]. 该尺寸组合既能满足熔体快速充填要求, 又便于开模时浇口与塑件自动分离, 切口平整无拖丝. 相较于点浇口, 侧浇口无需三板模结构, 模具制造成本显著降低; 相较于潜伏浇口, 其加工简便, 流道凝料易于去除, 特别适用于薄壁壳体类塑件的大批量生产.

经系统计算与校核, SZ-100/630 型注塑机在注射量, 锁模力, 开模行程及装模尺寸等方面均满足成型要求. 浇注系统采用圆锥形主流道, 圆形截面分流道及侧浇口设计, 流道尺寸经理论计算与经验数据双重校验, 熔体充填路径均衡, 流动阻力可控, 为成型零件设计提供了可靠的进料保障. 浇注系统结构如图 4 所示.

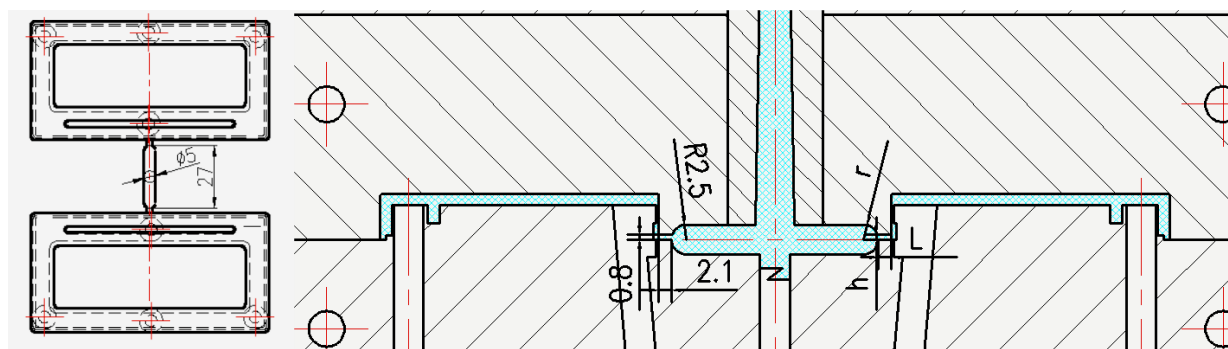


图 4 浇注系统结构图

Figure 4 Structure diagram of gating system

3 关键成型部件与脱模机构设计

成型零件是决定塑件尺寸精度与表面质量的核心结构. 型腔与型芯均采用整体式结构, 材料选用 T8A 工具钢, 热处理后表面硬度不低于 50 HRC. 型腔成型塑件外表面, 粗糙度严格控制于 $Ra1.6\sim3.2\ \mu\text{m}$, 须经精密加工与抛光处理; 型

芯成型内表面及卡扣特征, 配合面须保证尺寸精度. 整体式结构刚度充足, 加工便捷, 完全满足中小批量生产需求.

成型零件工作尺寸依据塑件公称尺寸, 材料收缩率及制造公差综合确定. ABS 平均收缩率 S_{cp} 取 0.6%, 精度等级按 MT5 执行, 制造公差 δz 取塑件公差 Δ 的 1/4. 以型腔径向尺寸为例, 计算公式为:

$$LM^{+\delta z} = \left[(1 + S_{cp})LS - \frac{3}{4}\Delta \right]^{+\delta z} \quad (4)$$

式中: LM 为型腔径向工作尺寸; LS 为塑件径向公称尺寸; Δ 为塑件公差. 型腔深度, 型芯径向及高度尺寸算法类同, 仅修正系数与公差方向有别, 不再赘列. 关键成型尺寸经计算均满足 MT5 精度要求. 成型零件结构如图 5 所示.

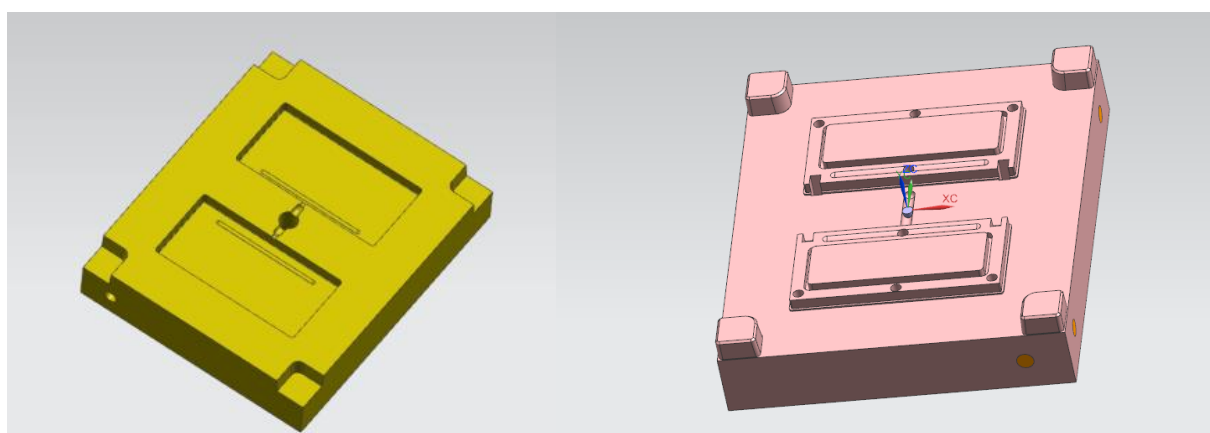


图 5 成型零件结构图

Figure 5 Structure diagram of molding parts

脱模机构是本设计的核心难点所在. 塑件内壁两侧设有卡扣结构, 冷却收缩后塑件紧抱型芯, 若采用常规推杆直接顶出, 卡扣将与型芯发生刚性干涉, 导致卡扣拉伤甚至塑件变形. 为解决这一技术难题, 本设计采用推杆与斜顶杆复合脱模机构: 推杆布置于塑件底面, 提供轴向顶出力; 斜顶杆设于卡扣内侧, 顶出过程中同步产生侧向位移, 使卡扣先行脱离型芯约束, 随后塑件平稳脱出.

脱模力是确定顶出机构参数的基本依据. 矩形薄壁件脱模力按下式计算:

$$Q_c = [8t \cdot E \cdot S \cdot L \cdot K_f / (1 - \mu)] + A \cdot P \quad (4)$$

式中

- t 为壁厚 2mm;
- E 为 ABS 弹性模量 2900 MPa;
- S 为收缩率 0.6%;
- L 为型芯包裹长度 5.8mm;
- μ 为泊松比 0.38;
- K_f 取 1;
- A 为投影面积 5161mm²;
- P 为型腔压力 30 MPa.

代入得单腔脱模力约 14.5 kN, 两腔合计 29 kN. 据此确定推杆直径与数量保证顶出平稳.

斜顶杆倾斜角取 8° , 顶出行程内水平位移约 1.1mm, 足以使卡扣脱离型芯. 顶出时斜顶杆与推杆同步运动, 复位由复位杆驱动. 推杆与斜顶杆布局如图 6 所示, 顶出机构装配关系如图 7 所示. 排气依靠推杆与模板配合间隙实现, 不设独立排气槽.

经计算与校核, 成型零件尺寸精度满足设计要求; 推杆与斜顶杆复合脱模机构有效化解卡扣脱模难题, 结构紧凑, 动作可靠.

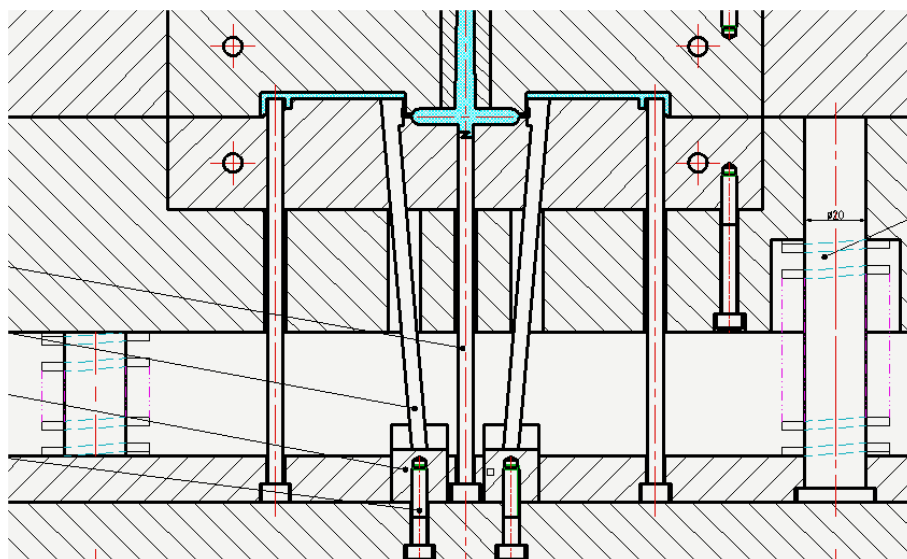


图 6 推杆与斜顶杆布局图
Figure 6 Layout of ejector pins and lifters

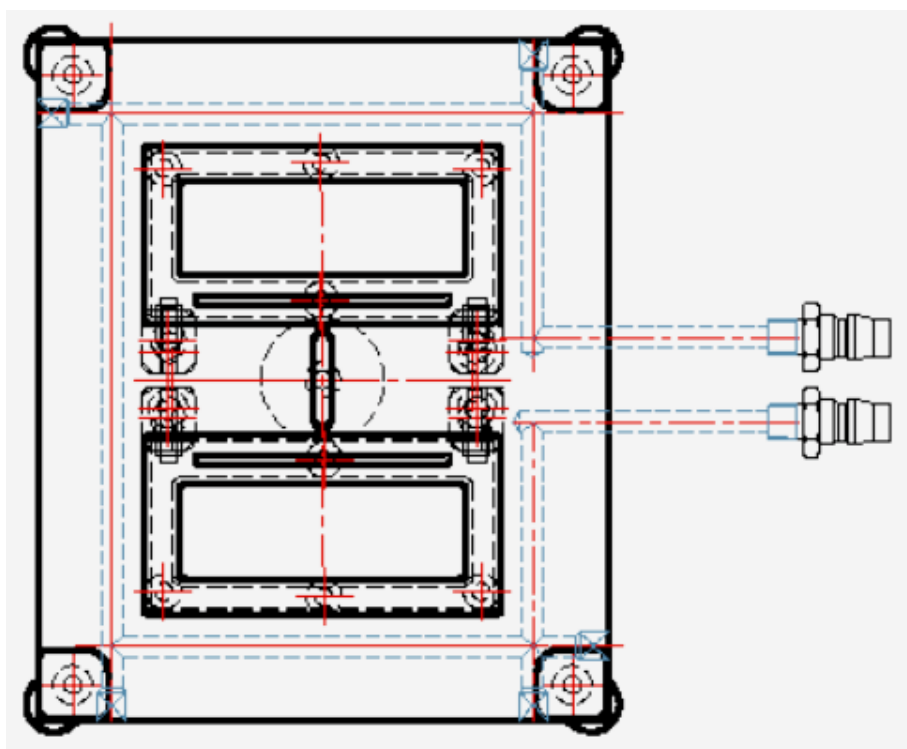


图 7 冷却水路布局图
Figure 7 Layout of cooling water channels

4 模具冷却与导向系统设计

冷却系统调控模具温度, 直接影响成型周期与塑件尺寸稳定性. 模具温度过高则冷却时间延长, 生产效率下降; 温度过低则熔体充填阻力增大, 制品内应力上升. ABS 成型模温宜控制在 $38\sim 93^{\circ}\text{C}$, 本设计选用常温自来水作为冷却介质.

冷却系统设计以热平衡计算为依据. 单位时间内注入模具的塑料质量约 1.44kg/h . 经计算, 冷却水体积流量约 0.4 L/min , 冷却水道直径取 6mm , 水流速度约 0.24m/s , 处于推荐流速 $0.2\sim 1.0\text{m/s}$ 区间内, 冷却效果可得到充分保证. 冷却水道与水温间的传热系数约 $1.34\text{kW}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$, 总传热面积约 0.019m^2 . 本设计在型腔与型芯周向布置 8 条环形冷却水道, 保证模具温度分布均匀. 冷却水路布局如图 7 所示.

导向机构是保证动定模合模精度与运动平稳性的重要保障. 本设计选用标准导柱与导套, 对称布置于模架四角. 导柱表面开设环形油槽, 有效降低往复运动摩擦阻力; 导套采用带肩式结构, 由定模板压紧固定. 导柱与导套配合间隙按 H7/f7 选取, 既保证导向精度, 又避免热膨胀引起卡滞. 导向机构结构从略, 采用标准件形式.

经计算与校核, 冷却系统水路直径 6mm , 8 孔环形布置的设计满足热平衡要求, 模具温度可控, 成型周期合理; 导向机构采用标准件对称布置, 合模精度与运动平稳性均有可靠保障.

5 模具总体装配与工作过程

模具总体结构采用单分型面二板式布局, 由定模部分, 动模部分, 浇注系统, 脱模机构, 冷却系统及导向机构组成. 定模部分包含定模座板, 定模板及型腔; 动模部分包含动模板, 型芯, 垫块及动模座板. 模具三维结构如图 8 所示.

模具工作循环分为合模注射, 保压冷却, 开模, 顶出脱模四个阶段. 合模阶段, 动模在注塑机合模机构驱动下向定模靠拢, 导柱与导套精准引导, 分型面闭合, 锁模力抵御熔体压力. 注射阶段, 熔融 ABS 经喷嘴进入主流道, 沿分流道均匀分配至两侧浇口, 通过侧浇口平稳充填型腔, 经保压补缩后进入冷却阶段. 冷却阶段, 环形水路持续带走热量, 模具温度保持稳定, 塑件在型腔内充分冷却固化. 开模阶段, 动模后退, 模具沿分型面分离, 在包紧力与拉料杆作用下, 塑件与流道凝料均留于动模型芯一侧. 顶出阶段, 注塑机顶杆推动推板与推杆固定板, 带动推杆与斜顶杆同步运动; 斜顶杆在顶出过程中产生侧向位移, 使塑件内壁卡扣脱离型芯约束, 随后塑件平稳脱出. 顶出结束后, 推杆与斜顶杆在复位杆作用下返回初始位置, 动模前移合模, 进入下一工作循环.

整套模具动作连贯, 机构协调. 斜顶杆与推杆复合脱模机构成功化解卡扣脱模难题, 顶出过程无刮伤, 无变形. 模具总装结构紧凑, 各系统布局合理, 完全满足连续批量生产要求.

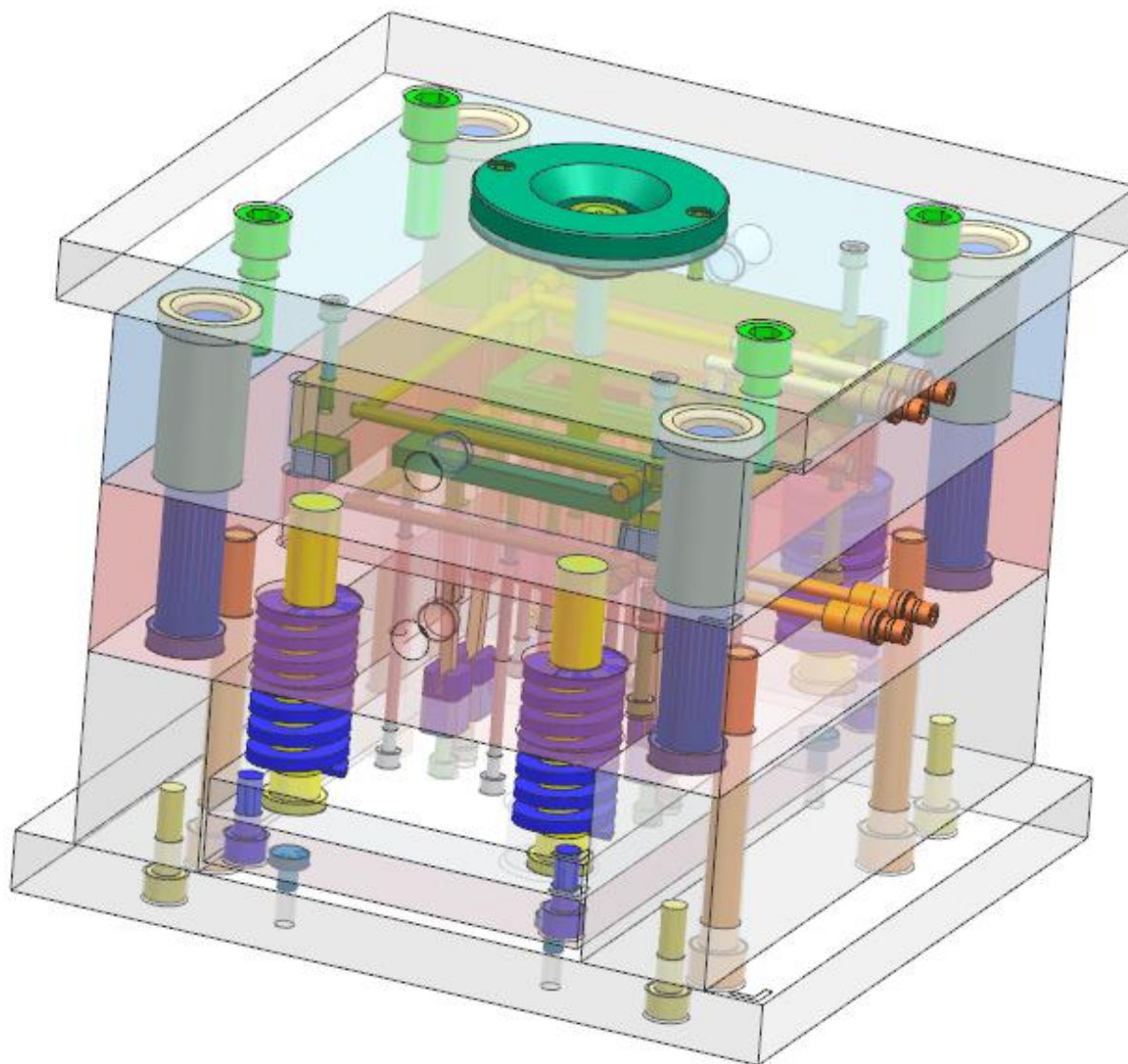


图 8 模具三维装配图

Figure 8 3D assembly drawing of the mold

6 总结

本文以三合一温控器上壳为对象, 完成注塑模具全套设计与校核. 塑件材料选用 ABS, 收缩率 0.5%~0.7%, 精度等级 MT5, 脱模斜度 1° , 成型工艺性良好. 模具采用一模两腔对称布局, 单平面分型, 侧浇口进料, 选用 SZ-100/630 型注塑机, 锁模力校核值 446 kN 低于额定值 630 kN, 设备匹配性满足要求. 成型零件采用整体式结构, 尺寸按平均收缩率法计算, 精度达标. 推杆与斜顶杆复合脱模机构有效解决内壁卡扣脱模难题, 单腔脱模力约 14.5 kN, 顶出平稳无损伤. 冷却系统布置 8 条环形水路, 直径 6mm, 热平衡计算表明散热能力充足; 导向机构采用标准导柱导套, H7/f7 配合, 合模精度可靠. 整套模具结构紧凑, 动作协调, 各系统经计算校核满足批量生产要求, 为同类薄壁壳体塑件的模具开发提供了直接参考与可靠技术支撑.

参考文献

- [1] 杨磊. 模具工业发展现状及注塑模具新工艺和新技术 [J]. 南方农机, 2021, 52(14).
- [2] 李国强. 塑料成型工艺与模具设计 [M]. 机械工业出版社, 2021.
- [3] 伍先明, 潘平盛. 塑料模具设计指导 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2020.
- [4] 古远明. 薄壁塑件 CAE 分析与注射模设计 [J]. 模具制造, 2023(6).
- [5] 梅益等. 模具专业标准模架的结构分析与改造 [J]. 中国铸造装备与技术, 2021(3).
- [6] 王超先, 陈宏愿, 王少鹏. 塑料注塑试样制备标准修订及注塑机选型 [J]. 塑料工业, 2022(5).
- [7] 曹忠亮等. 基于 CAE 技术的智能咖啡机座体注塑模优化设计 [J]. 工程塑料应用, 2022(12).
- [8] 陈文等. ABS 自动化设备电子元器件外壳注塑成型工艺优化研究 [J]. 塑料科技, 2023(6).

References

- [1] Yang L. Development Status of Mould Industry and New Technology of Injection Mould [J]. Southern Agricultural Machinery, 2021, 52(14).
- [2] Li G.Q. Plastics Molding Process and Mould Design [M]. Beijing: China Machine Press, 2021.
- [3] Wu X.M., Pan P.S. Plastics Mould Design Guidance [M]. Beijing: China Machine Press, 2020.
- [4] Gu Y.M. CAE Analysis and Injection Mould Design for Thin-Walled Plastic Parts [J]. Mould Manufacturing, 2023(6).
- [5] Mei Y., Wang H., Yang M. Structural Analysis and Modification of Standard Mould Bases for Mould Specialty [J]. China Foundry Machinery & Technology, 2021(3).
- [6] Wang C.X., Chen H.Y., Wang S.P. Revision of Standard for Preparation of Plastics Injection Moulding Specimens and Selection of Injection Moulding Machine [J]. China Plastics Industry, 2022(5).
- [7] Cao Z.L., Zhang W. Optimization Design of Injection Mould for Smart Coffee Machine Base Based on CAE Technology [J]. Engineering Plastics Application, 2022(12).
- [8] Chen W., Li G. Research on Optimization of Injection Molding Process for ABS Electronic Component Housing of Automation Equipment [J]. Plastics Science and Technology, 2023(6).