

SECRET

SECRET

基于 CAE 技术的双层热流道注射模具 的优化设计

摘要

模具工业在国民经济中占有非常重要的地位。模具技术的进步,不仅关系到机械产品的开发和应用,还影响到汽车、家用电器、电子、化工等新产品、新技术的开发和应用。

当需要生产大批量扁平薄壁浅腔型的薄板(片)类和框架类塑件时,若使用传统的单层注射模具来生产,所需注射机锁模力大,注射量大,而模具的开模行程和模具厚度又很小,注塑量往往不到注射机额定值的 $1/4 \sim 1/3$,机器的生产能力未能充分施展,不但生产效率不高,而且浪费水电和工时。双层热流道技术是当今注塑及模具工业发展的一项前沿技术,该技术具有大幅度提高产量及生产效率、有效利用生产设备、改善制品质量等显著优点。运用 CAE 技术对双层热流道进行模拟分析是一项新的前沿技术。目前,CAE 模拟分析还只是停留在对单层普通浇注系统模具的分析或者是对双层冷流道的分析上,对双层热流道模拟分析还是一项技术空白。因此,运用 CAE 技术分析双层热流道具有重要的研究意义。

本课题主要工作如下:

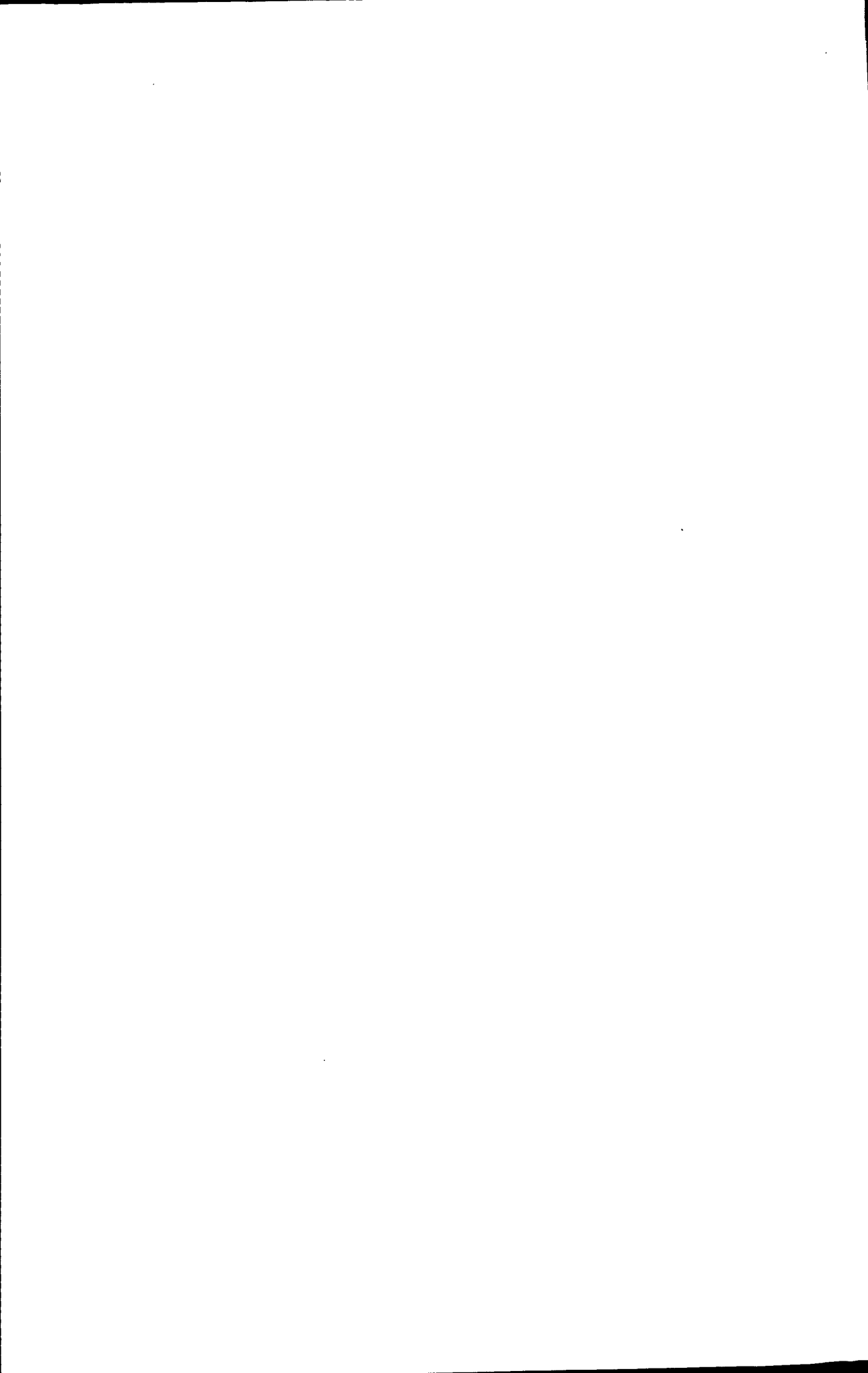
(1) 应用所学相关理论知识,研究双层热流道注射模的结构特点及理论计算,设计出新型双层热流道注射模具;

(2) 查阅国内外相关资料,在对热流道和普通流道浇注系统、单层模具与双层注射模具进行比较分析的基础上,运用 Pro/E 软件进行三维设计,检查开、合模是否有干涉现象,设计完成双层热流道注射成型模具;

(3) 对注射模 CAE 技术的内容和功能做了详细的论述,并应用注射模分析软件(MoldFlow 软件)对浇口位置以及数量进行优化分析,最终确定最佳的浇口位置和数量。

(4) 运用 Moldflow 数值模拟方法,对浇注系统、保压及成型工艺参数进行优化设计,对模具进行计算机辅助模拟分析(即 CAE 分析)。

关键词: 模具 双层热流道注射模 Moldflow 模拟分析 优化设计



OPTIMUM DESIGN FOR DOUBLE HOT-RUNNER INJECTION MOLD BASED ON CAE

ABSTRACT

Mold industry has an important status in national economy. The improvement of the mold technology can influence the research and development of new technology. The technology not only related to mechanic products but automotive industry, household appliances, Electronic Industries and chemical industry.

When we need to produce plastics molding which is large, flat, thin-walled and shallow type cavity or frame molding, the traditional single-layer injection mold needs large clamping force and large injection. Mold opening stroke and die thickness is very small. The shot weight of the machine is often less than 1/4 to 1/3 the rated capacity. The production capacity of the machine is failed to fully used. Not only the production efficiency is not high, but also a waste of working hours and hydroelectricity. Stack hot-runner injection mold technology is one new developed technology, it substantially increases the production efficiency, improves products' quality and other significant advantages. The use of CAE technology to simulate the double-hot runner is a new technology. Currently, CAE simulation just stay in the single-layer common mold or two-layer cold runner mold, it is a technology gap in the double-hot runner. Therefore, the use of CAE technology on double-hot runner has an important research significance.

The main works are as follows:

1. Apply the theoretical knowledge relevant to stack hot runner injection mold, Study the structure of double-hot runner injection mold features and theoretical calculation, and design a new double-hot runner injection mold.

2. Access to relevant information at home and abroad, Use Pro/E software for three-dimensional modeling design, and check whether there is interference when opening and closing mold. And completely design double-hot runner injection mold.

3. Injection Mold CAE technology and function have been introduced and detailed. And apply the injection mold analysis software(Moldflow) to optimize the gate locations and quantities. Ultimately determine the best gate locations and quantities.

4. Use Moldflow simulation method to optimize the gating system, cooling system and molding process parameters, and computer-aided simulation analysis of the mold (ie, CAE analysis).

KEY WORDS: mold stack hot runner injection mold Moldflow analysis optimum design

目 录

1 绪论.....	1
1.1 本课题研究的目的和意义.....	1
1.1.1 模具工业的概况.....	1
1.1.2 叠层式热流道注射模研究的意义.....	2
1.2 国内外模具工业的研究现状与发展.....	4
1.2.1 国外模具工业的现状与发展.....	4
1.2.2 国内模具工业的现状与发展.....	4
1.3 国内外叠层模具的研究现状与发展.....	6
1.3.1 国外叠层模具工业的现状与发展.....	6
1.3.2 国内叠层模具工业的现状与发展.....	8
1.4 本课题研究的主要内容和创新.....	9
2 双层热流道注射模具的结构设计.....	11
2.1 塑件结构分析及模具结构设计.....	11
2.1.1 塑件结构分析.....	11
2.1.2 设计注射模具应该考虑的问题.....	11
2.1.3 注射模具典型结构.....	12
2.1.4 注射机的选择.....	14
2.1.5 注射模具成型零部件设计.....	16
2.1.6 注射模温度调节系统设计计算.....	24
2.2 侧向分型抽芯机构.....	31
2.2.1 侧向分型机构的分类.....	31
2.2.2 侧向分型机构的设计.....	32
2.3 注射模具浇注系统的设计.....	36
2.3.1 浇注系统的设计.....	36
2.3.2 双层热流道注射模具浇注系统的设计.....	37
2.4 本章小结.....	49
3 基于 MOLDFLOW 的双层热流道注射模具 CAE 分析.....	50
3.1 注射模 CAE 分析.....	50
3.2 MOLDGLOW 软件及其功能简介.....	50
3.3 制件在注射成型过程中出现的质量缺陷.....	52
3.4 MOLDFLOW 分析前处理.....	54

3.4.1 模型准备、项目的创建以及模型的导入	54
3.4.2 模型的网格划分	55
3.4.3 网格缺陷的诊断及修复	56
3.5 分析类型的确定及浇口分析	61
3.5.1 分析前期设置及浇口方案的初步确定	61
3.5.2 填充模拟及结果分析	66
3.6 制件保压及翘曲变形模拟分析	71
3.6.1 原始保压分析及翘曲变形分析	72
3.6.2 初次改变保压方案及翘曲变形分析	75
3.6.3 再次改变保压方案及翘曲变形分析	78
3.7 本章小结	83
4 基于 PRO/ENGINEER 的双层热流道注射模具 CAD 设计	84
4.1 注射模具的 CAD 设计	84
4.1.1 Pro/Engineer Wildfire 3.0 的主要模块及其应用领域	85
4.1.2 Pro/Engineer Wildfire 3.0 模具设计的基本流程	86
4.2 基于 PRO/ENGINEER 的洗衣机控制面板注射模具设计	87
4.2.1 洗衣机控制面板设计的工艺要求	87
4.2.2 基于 Pro/Engineer 的控制面板注塑模设计	87
4.2.3 洗衣机控制面板的整体模具设计	92
4.3 本章小结	95
结论与展望	96
参考文献	98
致 谢	101
攻读硕士学位期间发表的学术论文及科研成果	102

符号说明

- δ ——塑件成型总误差;
- δ'_s ——因采用的成型收缩率不准确而引起塑件尺寸误差;
- δ_s ——因制品的成型收缩波动而引起的制品尺寸误差;
- δ_z ——模具成型零件的制造偏差;
- δ_c ——成型零件的磨损引起的制品尺寸误差;
- δ_j ——模具活动零件的配合间隙引起的制品尺寸误差;
- S_{φ} ——所采用的塑料的平均收缩率;
- Δ ——制品公差;
- D_m ——凹模径向名义尺寸;
- H_m ——凹模深度名义尺寸 (最小尺寸);
- h_s ——制品高度名义尺寸 (最大尺寸);
- x ——修正系数;
- h_m ——型芯高度名义尺寸 (最大尺寸);
- c ——由 L/h 确定的常数; 其值可查表 2—5;
- L ——侧壁边长;
- h ——型腔深度;
- S ——侧壁壁厚;
- E ——模具钢材的弹性模量; **MPa**, 对于一般中碳钢材 $E=2.1 \times 10^5$ **MPa**;
- p ——模具型腔内的最大熔体压力; **MPa**, 一般为 30~50 **MPa**;
- h ——型腔深度;
- θ ——制品内的温度 ($^{\circ}\text{C}$);
- t ——冷却时间 (s);
- k ——塑料热扩散率 (mm^2/s);
- θ_0 ——塑料熔体注射温度 ($^{\circ}\text{C}$);
- θ_w ——模具温度 ($^{\circ}\text{C}$);
- θ_1 ——制品最厚部位中心层达到的脱模温度 ($^{\circ}\text{C}$);

- W ——单位时间内注入模具型腔中的塑料的重量 (kg/h);
- N ——每小时注射次数;
- G ——每次注射塑料的注射量 (kg);
- Q_1 ——单位热流量之差 (kJ/kg);
- c_2 ——塑料的比热容 (kJ/kg·°C);
- $\theta_{1\max}$ ——进入型腔的熔体温度 (°C);
- $\theta_{1\min}$ ——冷却结束时制品温度 (°C);
- μ ——结晶型塑料的熔化质量焓 (kJ/kg);
- q_v ——所需冷却水的体积流量 (m³/h);
- $\theta_{out} - \theta_{in}$ ——出入水的温度差 (°C);
- f ——与冷却水温度有关的物理系数;
- ρ ——冷却水在一定温度下的密度 (kg/m³);
- v ——冷却水在圆管中的流速 (m/s);
- L ——斜销的总长度 (mm);
- α ——斜销的斜角 (°);
- f' ——滑块与斜销、滑块与导滑槽制件的摩擦系数;
- t ——制品厚度 (mm);
- E ——塑料的拉伸弹性模量 (MPa); PP 材料一般为 $1.6 \sim 1.7 \times 10^3$ MPa ;
- ε ——塑料的平均成型收缩率; PP 材料一般取值为 0.02;
- μ ——塑料的泊松比; PP 材料的泊松比取为 0.43;
- h ——型芯脱模方向高度 (mm);
- k_f ——脱模斜度修正系数;
- β ——型芯的脱模斜度;
- σ_{pb} ——许用弯曲应力 (MPa);
- Q ——塑料流体的体积流率 (cm³/s);
- n ——熔体的非牛顿指数;

p_c ——型腔压力 (MPa);

p ——注射压力 (MPa), $p = p_i \frac{D^2}{d^2}$;

p_i ——注射机液压系统表压 (MPa);

D ——注射机液压缸活塞直径 (cm);

d ——注塑机柱塞或螺杆直径 (cm);

Δp_p ——熔体经过注射机喷嘴的压力降 (MPa);

Δp_Q ——熔体流经浇注系统的压力降 (MPa);

Δp_E ——螺杆头与喷嘴入口之间(截圆锥通道)熔体发生剪切流动所引的压降(略去拉伸流动压降), MPa;

1 绪论

1.1 本课题研究的目的是和意义

1.1.1 模具工业的概况

模具是制造业中一种基本的工艺装备，它的作用是通过控制和限制熔融塑料的流动，使之形成所需要的形体。用模具制造零件以其效率高、产品质量好、材料消耗低、生产成本低而广泛应用于制造业中。

模具工业是国民经济的基础工业，是国际上公认的关键工业。模具生产技术水平的高低是衡量一个国家产品制造水平高低的重要标志，它在很大程度上决定着产品的质量、效益和新产品的开发能力。振兴和发展模具工业，正日益受到人们的关注。模具作为工业产品生产的基础工艺装备，是“效益放大器”，用模具生产的最终产品的价值往往是模具自身价值的几十倍甚至上百倍。因此，模具对国民经济和社会发展将发挥越来越重要的作用，其技术水平的高低已成为衡量一个国家制造业水平的重要标志。

模具工业既是高新技术的一个组成部分，而且是高新技术产业化的重要领域。模具在机械、电子、轻工、纺织、航空、航天等工业领域里，日益成为使用最广泛的主要工艺装备，它承担了这些工业领域中 60%~90%的产品零件、组件和部件的生产加工^[1]。

目前，国内外注射模具的生产及应用大多使用的是冷流道模具，热流道模具的发展和用是非常具有发展前景的一项技术。注射模热流道技术能够通过加热的方法来保证流道和浇口中的塑料始终保持熔融状态。在流道附近或者中心设置有加热棒或加热管，从注射机的喷嘴到浇口的整个流道都处于高温状态，使流道中的塑料保持熔融状态，以保证注射的正常进行，热流道注射模生产出的塑件上不带浇注系统凝料，能够节省原材料。热流道技术的推广应用是推动热塑性塑料注射成型向节能、低耗、高效方向发展的强大动力。热流道注射成型法问世于上世纪 50 年代，其推广应用虽经历了一个较长的时间，但是其市场占有率仍在逐年上升，80 年代中期美国热流道模具占注射模总数的 15%~17%，欧洲为 12%~15%，日本约为 10%，但是到了 20 世纪 90 年代美国生产的塑料注射模具中热流道模具已经占了 40%以上，在大型制品的注射模具中则占 90%以上。

热流道技术的优点：

- (1) 热流道技术无浇注系统凝料、能够节约原料、降低制品成本。普通的

冷流道浇注系统会产生大量的浇注系统凝料,尤其是在生产小型制品的时候,浇注系统凝料的重量往往可能超过制品的重量,而热流道浇注系统中的塑料一直处于熔融状态,制品不需要修剪浇口,从而减少了二次加工,基本上无废料加工,节约了大量的原材料,节省了人力。

(2) 热流道技术具有能提高产品质量、缩短生产周期、易于自动化生产等优点。采用热流道,没有凝料的反复加工和重复使用,故产品的质量可得到提高,同时,热浇口利于压力的传递,减小了塑件内应力(增加了产品的刚度与强度),在一定程度上能够克服塑件由于补料不足而形成的凹陷、缩孔、变形等缺陷,从而提高了产品的质量;采用热流道注射成型省去了取出浇注系统凝料的工作,在操作上与普通流道相比,缩短了开合模行程,不仅制件的脱模和成型周期缩短,而且有利于实现自动化生产,由于采用热流道,省去了去除料把、二次加工等后续工序因而可以实现自动化生产。据统计,与普通流道相比,改用热流道后的成型周期一般可缩短 30%。

(3) 使用树脂范围广,成型条件设定方便。由于热流道温控系统技术的完善及发展,现在的热流道技术可加工的材料范围更加广泛,不仅可以用于聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP),也能用于加工一些热敏性塑料,聚氯乙烯(PVC)、聚甲醛(POM)等,对于易产生流涎的聚氨酯(PA),通过选用阀式热喷嘴也能实现热流道成型^{[2][3][4]}。

1.1.2 叠层式热流道注射模研究的意义

当大批量生产扁平薄壁浅腔型的薄板(或片)类和框架类塑件时,在注射模具的设计中往往会遇到以下四个方面的问题:一是现有注射机的锁模力与安装模具工作台的面积成正比关系,由于塑件的投影面积大,故所需的锁模力就要很大;二是由于塑件壁薄,需要极高的注射压力和注射速度才能将熔料快速充满型腔;三是虽然塑件重量轻,但受注射机最大成型面积的限制,模具的型腔数目不能太多,这使得注射机注射能力又得不到充分发挥;四是塑件扁平,高度小,使得模具的外形长而宽,但总厚度却常常不能满足注射机最小模具厚度的要求,故必须增加模具支脚或垫板的厚度,于是又增加了模具的重量和费用。对于上述塑件,若使用传统的单层注射模具生产,由于注射机的锁模力及注射压力的高要求,故需选用中大型注射机。而模具的开模行程和模具厚度又很小,注射量往往达不到注射机额定值的 1/4~1/3,机器的生产能力未能充分施展,不但生产效率不高,而且浪费水、电和工时。为了提高生产效率,一个可行的途径就是采用叠层式模具技术。叠式模具通常是将两副常规的单层注射模具叠在一起,这样能充分利用注射机的生产能力,大批量生产扁平塑件可以降低生产成本。众所周知,热流道

技术具有节约原料、易于自动化、提高产品性能、缩短生产周期等优点，如果将热流道技术与叠式模具相结合，仅需增加少量的模具成本却能显著地增加产量、降低成本、高效自动化，故该技术的开发和应用自然受到了人们更多的关注。叠式热流道模具多应用于生产薄壁容器，如工业品包装盒盖、PET 瓶底、光盘盒、磁带盒等浅腔扁平的塑件，近年来也有向深腔厚壁大制品扩展的趋势。叠式热流道模具适用于多种树脂，包括 PE、PP、ABS、玻纤填充 ABS、苯乙烯类等，并且也逐渐应用于工程塑料注射成型^{[5][6]}。

叠层式热流道模具与常规的单层冷流道模具相比，具有以下优势：

(1) 含有两层以上型腔，能使产量翻倍增加。生产效率大幅度提高，节约成本，产品单耗明显下降。

(2) 利用普通的注射机生产，不需要再投资添置额外的机器设备，可显著提高现有设备的利用率，从而节约了为增加产量而添置机器、扩建厂房及增加劳动力等费用。

(3) 利用成型型腔“背靠背”布置，使叠式模具型腔的投影面积与单层冷流道模具一样，故锁模力理论上不增加，实际上也仅需增加 10%~15%的压力施加于中心主喷嘴(Sprue—bar)。

(4) 相比于使用两副冷流道模具完成同样的生产任务，节约了占地面积、人工、水电和模具的制造费用。

(5) 可以分别在两层型腔上生产结构复杂、形状各异、重量不同的制品，对于需要相配的塑件能通过一次成型使相互配合的塑件达到精密的配合。

(6) 结合使用热流道技术，还可减少塑件的内应力、翘曲和缩痕等缺陷，可提高塑件尺寸精度和外观质量。

综上所述，叠式热流道模具的显著优势在于：无需改进设备；同一台注射机能应用于两层、三层或四层注射模；成型周期与普通冷流道单层模具相比几乎不增加；运行速率只比单层热流道注射模慢百分之几；成型时的锁模力仅需增加 10%~15%。由于叠式模具的开、合模行程长，故相应空循环时间稍加长，因此生产效率并不能 100%增加，但可提高 90%~95%。此外，叠式热流道注射模需要稍复杂的控制系统，对模具的维护要求较高^{[7][8]}。

目前，国内注射模具的生产及应用多使用单层冷流道注射模具，在面临大批量生产和紧急交付任务时，往往采用制作两副相同的冷流道模具来达到生产目的。但是，如果采用叠式热流道模具，生产经济性将更佳。与常规模具相比，双层模具锁模力只提高了 5%~10%，但产量可以增加 90%~95%，双层注射模有两个分型面，在两块模板上的两个分型面彼此平行，两块模板上所受的合模力相等，因此模具的型腔数和每个成型周期生产的塑料制品数都是双倍的，这就极大地提

高了设备利用率和生产效率，并且降低了成本。此外，由于模具制造要求基本上与常规模具相同，且将多副型腔组合在一副模具中，所以模具制造周期也大大缩短。随着热流道技术在注射模上的广泛应用，使许多结构复杂，甚至是形状各异，重量不同的塑料制品，用双层热流道注射模来生产的经济性将更佳。

1.2 国内外模具工业的研究现状与发展

1.2.1 国外模具工业的现状与发展

随着全球经济的发展，新的技术革命不断取得新的进展和突破，技术的飞跃发展已经成为推动世界经济增长的重要因素。市场经济的不断发展，促使企业产品越来越向多品种、小批量、高质量、低成本的方向发展，为了保持和增强产品在市场上的竞争力，产品的开发周期、生产周期越来越短，对模具的要求也越来越苛刻。一方面企业为追求规模效益，使得模具向着高速、精密、长寿命方向发展；另一方面企业为了满足多品种、小批量、产品更新换代快、赢得市场的需要，要求模具向着制造周期短、成本低、快速经济制模的方向发展。计算机、激光、电子、新材料、新技术的发展，使快速经济制模技术如虎添翼，应用范围不断扩大，类型不断增多，创造的经济效益和社会效益越来越显著。

现在，高新技术在欧美模具企业中已得到了广泛应用。将高新技术应用于模具的设计与制造，已成为快速制造优质模具的有力保证。这些技术包括：气辅注塑成型、水辅注塑成型、微型精密注塑成型、金属粉末注塑成型、发泡注塑成型、低压注塑成型，以及新发展起来的“先进快速原型与模具制造技术”等。

1.2.2 国内模具工业的现状与发展

模具工业是机械工业、高新技术产业的重要组成部分。目前，我国已采取多项措施，如将部分模具及与模具有关的多项高新技术及设备列入国家科技部《当前国家优先发展的高技术产业化重点领域指南》等，从而有力的推动了我国模具产业的飞速发展，充分发挥了模具工业在整个国家工业发展中的“效益放大器”作用。但是，由于我国模具工业仍存在很多问题，所以仍不能满足快速增长的模具市场的需求，这就急需解决这些问题，目前，我国模具总量虽然已达到相当大的规模，模具水平也已有了很大提高，但设计制造水平在总体上要比工业发达国家落后许多。存在的问题和差距主要表现在以下几个方面：

(1) 总量供不应求，专业化程度和集中度不高。

(2) 企业组织结构、产品结构、技术结构和进出口结构都不合理，企业管理落后，维修等机制不健全。

- (3) 模具产品水平低, 生产周期长, 寿命短, 设备老化严重。
- (4) 各层次的模具技术人才资源不足, 研发能力较差。
- (5) 模具标准化程度不高, 经济效益欠佳。
- (6) 模具新技术、新工艺、新设备、新材料推广应用缓慢。

近几年以来, 我国的模具工业发展迅速, 模具技术水平也取得长足的进步, 许多模具企业已开始重视技术的发展, 加大了用于技术的投资力度, 将技术进步视为企业发展的重要动力, 主要表现在^[9]:

(1) 在模具设计制造中全面推广 CAD/CAE/CAM 技术。进一步扩大 CAE 技术的应用范围, 从计算机辅助工艺设计开始逐步向计算机集成制造系统乃至向虚拟制造发展, 逐步深化和提高用于模具设计制造的计算机软件向智能化、集成化方向发展。

(2) 热流道技术得到普遍推广应用。由于采用热流道技术的模具可提高产品的生产效率和质量, 并能大幅度节省能源和制件的原材料, 所以广泛应用这项技术是塑料模具的一大变革。国外热流道技术的发展很快, 许多塑料模具厂生产的模具已有一半用上了热流道技术, 效果十分明显; 国内虽然已开始推广应用, 但总体使用率与国外相比还比较低。

(3) 气体辅助注射技术和高压注射成形等工艺将进一步发展。气体辅助注射成形是一种塑料成形的新工艺, 它具有注射压力低、产品翘曲变形小、表面质量好以及易于成形壁厚差异较大的产品等优点, 可在保证产品质量的前提下, 大幅度降低成本。高压注塑成型是在模具预先处于半开模状态或者在锁模力保持中压或低压下注入熔融树脂, 然后以最大的锁模力进行压缩成型, 可增加塑件尺寸的稳定性, 得到高质量的厚壁成型件。

(4) 模具标准化程度将不断提高。我国模具标准化程度正在不断提高, 估计目前我国模具标准件使用覆盖率已达到 30%~40%左右, 国外发达国家一般为 80%左右。为了适应模具工业发展, 模具标准化工作必将加强, 模具标准化程度将进一步提高, 模具标准件生产也必将得到更大的发展。

(5) 模具加工新技术不断发展。国家规划中所涉及到的快速原型制造技术, 以及高速铣削加工技术、模具高速扫描及数字化系统、电火花铣削加工、超精加工和复合加工、优质材料及先进表面处理、自动化研磨抛光、模具自动加工系统等先进技术, 预计今后将会得到较快发展。

(6) 绿色制造、并行工程、虚拟技术将得到迅速发展。计算机和网络图像技术的出现, 使绿色制造、并行工程、虚拟技术的应用成为可能。虚拟技术可以形成虚拟空间环境, 实现虚拟设计和制造, 并能在不同的地域进行多方位的咨询、合作或共同研发。这是现代化工业发展进步的必然趋势^[10]。

1.3 国内外叠层模具的研究现状与发展

近几年来,由于叠层式热流道注射模具技术在经济上的优势,在国外得到了广泛的认同和商业化应用,尤其在北美及欧洲的普及和发展十分迅速。随着市场竞争的不断加剧,叠层式热流道注射模技术的开发应用无疑是满足日益增长的大批量消费性包装产品需求和提高生产收益的有效方式,其广泛的应用将推动我国塑料模具工业及模具技术实现一个新的飞跃。在我国,叠层式热流道注射模技术的开发和应用才刚刚起步,因此,开展对叠层式热流道模具设计和模塑原理的研究,将有助于企业在激烈的市场竞争中抢占先机,获得更大的经济效益和社会效益。

1.3.1 国外叠层模具工业的现状与发展

早在 1940 年 12 月 KNOWLESER 就取得了叠层式模具的专利权。但是最初使用的均是普通的冷流道,每次注射完成后都要脱出浇口,这样流道的脱出成为实现自动化生产的主要障碍^[11]。

20 世纪 60~70 年代,瑞士的 Schottli 公司最早开发出工业应用的叠层式热流道系统用于加工热塑性塑料^[12]。今天的叠层模具,不仅比传统的单层模具成本更低,而且增加了应用叠层式模具的灵活性。主要体现在以下几个方面:

(1) 外加热的针阀关闭喷嘴系统^[13]。20 世纪 90 年代末,加拿大制造商进一步发展了叠层模具,设计了外加热的针阀关闭喷嘴系统,开模时系统可防止喷嘴滴料。这种叠层式模具,注塑机喷嘴和第一分型面之间有一个阀关闭系统,用于关闭 2 个相对的喷嘴,有效地防止了在 2 个分型面之间的滴料。这种设计解决了由延长注射机喷嘴而引起的麻烦。但未被普遍采用,原因是它受制件特殊性的限制,例如高质量平面制件的流变学特性限制。另外,不能确保各个型腔的压力是否达到一致。

(2) 取消中心主喷嘴的叠层式热流道模具^{[14][15]}。由于开模距离的需要,中心主喷嘴的延伸有可能过长,因而产生与注射机喷嘴干涉的问题。Mold-Master 公司于 1997 年对叠层热流道模具使用一种阀对阀关闭的设计,以及 YUDO 公司结合单阀 III 和 YURI 系统申请专利的新型叠层式模 YURI-COMBI,都使用“背对背”的阀式喷嘴组件,取消了长而大的中心喷嘴,以避免使用中心主喷嘴出现的溢料问题。但是,对于型腔压力的控制仍然是技术的难题。

(3) 无阀熔体传输系统 (VMTS)。这是近来多层注射模技术发展有贡献的关键创新。通过使用交换式喷嘴,这一技术取消了传统的流道顶板,引导熔体流从侧面进入中心集流管。这一创新设计的另一个特点是熔体流到所有型腔的距离

都是相等的, 以及同样的温度和压力完全对称。

(4) 快速制品更换 (QPC) 系统。Tradesco 模具公司最新开发了一种组合式快速制品更换 (QPC) 系统的叠层式热流道模具, 它无需移动热流道或模具框架, 即可更换模具, 非常灵活方便。型芯和型腔组可滑出模具框架, 所有电、气、水的连接都是连接在框架上。QPC 系统允许使用者从一个标准的单面模升级到四叠层设计。它给叠层模具使用者可在很短时间内作运转的选择, 以帮助对存货水平管理, 对于这种复杂的模具, 不是很容易做到的事情。

(5) 旋转叠层热流道模具在多组分材料成型中应用^{[16][17][18]}。一些新的叠层式模具可在打开时旋转 90° 或 180°。如由 Engel 公司开发的一种旋转模板设计, 其中心模板有 2 个面, 每个周期旋转 180°。而由 Ferro-matik Milacron 欧洲公司与德国模具制造商 Foboha 公司合作开发的旋转叠层模具有 4 个面的中心模板, 每周期旋转 90°。这类技术的应用主要包括模塑不同类型阻透包装盒、多色手机壳, 以及由不同材料成型的医用零部件等。例如 Foboha 公司申请专利的带有 PET (40g) 阻透层的 HDPE (70g) 牙膏管式瓶肩模具, 其 4×64 的旋转叠层系统能在 8.4s 的周期中吐出 64 只双层零件, 年产量达 17500 万件。

(6) 低惯性技术 (LIT)。低惯性技术 (LIT) 来自 Caco-Pacific 公司。在这种较为简单的设计中, 带有 2 个芯组的旋转杆连接到每个模具的半边, 而不是在其他的设计中那样的单独设置。据 KTW 公司的 Ziegler 介绍, 典型情况能节省 20% 到 30% 的时间, 特别情况可节省 50% 到 80%。

(7) 三层叠层式热流道模具。Tradesco 模具公司的另一项新发展是在 2000 年成功开发了 3 层多腔叠层式热流道模具, 这项享有专利的设计具有在 2 层和 4 层叠层式模具中等水平的生产效率。它可以使注塑生产商在闭模高度、塑化能力或注射压力还不足以使用 4 层叠层式模具的情况下, 达到高于 2 层叠层式模具的生产能力。其第 3 个模具组为灵活组件, 可加在托架上, 在与 2 层叠层式模具占用同样大小空间的条件下, 可提高生产能力 50%。该公司在此领域已有 4 套 3 层叠层模具。

(8) 4 层叠层式热流道模具^[19]。早在 1990 年, Tradesco 的第 1 副 4 层叠层式 4×2 腔模具在 3500kN 注射机上成型直径为 9 英寸的 LDPE5 夸脱的冰淇淋盒盖。该项技术已申请专利, 其关键是熔体传送热流道系统的平衡、避免流涎、补偿热膨胀及 4 层型腔的运动, 采用曲轴连杆驱动开模, 使用计算机辅助分析技术, 每型腔热量和流变学的平衡使制品重量差异小于 1%。结合 VMTS 和 QPC 系统, 与传统模具具有同样的周期, 生产成本显著减少。加拿大的 Husky 在 1997 年也开发了 4 层叠层式热流道模具, 使用 5000kN 的注塑机, 每层 32 腔。运用了安装在模具上的一个传动机构, 带有外侧联接和中心支撑。

(9) 用于厚壁制件的 Tandem 模具。近来引起世人关注的是, 2002 年由德国 Bielefeld 大学应用科学院的 Jaroschek 开发的 Tandem 模具。它的型腔一前一后, 像继电器一样工作, 用于成型主要由冷却时间决定生产周期的厚壁制品。当一层在冷却时, 另一层被注射或顶出, 这种双层叠层式模具是可移动的, 也可在传统注射机上使用。Tandem 技术也可用于双组分模塑和夹心模塑。目前 Bielefeld 大学正致力于开发应用于热塑性弹性体和硅酮等材料的 Tandem 模具。

(10) 用于特薄壁制品的双层叠层式热流道模具^[20]。由于薄壁注射对注塑机的高要求, 将叠层式热流道模塑应用于特薄壁制品已成为最新的趋势之一。如 Tradesco 公司生产的侧壁厚仅 0.9mm, 流动距离比超过 300 的薄壁食品容器, 使用 2×4 双层多腔叠层式模具成型, 无后序加工和废料, 采用新式气体顶出技术。

1.3.2 国内叠层模具工业的现状与发展

直到上世纪 80 年代末, 叠层模具技术才逐渐传入我国模具行业, 但仅限于冷流道的设计。应该说, 叠层式热流道模具技术的开发目前在我国还基本上是一项空白, 而且即使是双层冷流道的叠层式模具也并不多见^[21]。

(1) 1990 年北京塑料十三厂的李书赞撰文对双层型腔塑料注射模具的结构设计进行了论述, 提出用冲切工作原理来分断 2 层型腔之间冷料道的设计方法。这种结构塑件前后布置, 采用侧浇口进料。但在成型较深型腔或需较大脱模力的塑件时不可靠。

(2) 1992 年常州轻工业学校的卜建新介绍了侧浇口和点浇口并用的双层型腔冷流道注射模结构, 一层采用侧浇口, 另一层采用点浇口进料, 利用限位拉板、拉钩等顺序分型, 可成型不相同的塑件。

(3) 1995 年江苏省的乙清设计了双层 CD 盒的普通流道模具, 通过链条传动, 带动定模顶出板顶出塑件。该模具需要将注塑机喷嘴延伸至模具的定模板上注入主流道衬套, 且浇注系统粗大。

(4) 自 1995 年起, 郑州轻工业学院的王振保和冯孝中等人致力于研究普通浇注系统的双层注射模, 采用正、反锥形主流道、卸料板、气压脱模和齿轮齿条分型脱模机构。结构较简单, 但是在第一层塑件上有流道凝料疤痕, 不适于生产外观要求高的制品。2000 年, 他们改用潜伏式浇口设计了白酒瓶盖的双层注射模具, 由摆钩与挂块的作用顺序分型, 可使各层塑件与流道凝料实现模内分离, 但要求塑件留模可靠性高和主流道衬套为深陷式。2002 年他们对轻而薄的塑件设计普通浇注系统的 4 层注射模, 采用侧浇口进料, 各级主流道依次串连, 分型时自动拉断, 由 4 级定距拉板限位。

(5) 1998 年, 天津轻工业学院的李树以生产汽车密封条的双层热流道注射

模为例，将热流道系统引入到双层注射模结构中。

(6) 2003 年，四川大学的刘廷华和陈剑玲等人与上海克朗宁技术设备有限公司合作，借鉴国外开发经验，采用热流道技术；采用限位拉杆实现顺序开模，成功研制出了将 CD 碟包装盒单层普通流道模具转变为 2×2 的双层叠层式热流道注射模具。

目前，双层热流道注射成型模具在国内的市场占有率还不足 10%，而国外则已经达到甚至超过 50%，采用双层热流道注射成型模具生产扁平塑料制品必将成为模具行业的一大发展趋势，随着双层热流道模具在塑料制品加工中的应用不断地扩大，考虑到这一技术上突出的经济性，如何更好的应用双层热流道注射成型技术，将成为各注射制品生产企业提高效率、降低成本和增加产品市场竞争力的重要途径之一。

1.4 本课题研究的主要内容和创新

双层热流道注射成型模具技术在实际生产上有着巨大优势，因而设计研究适合于扁平制件的双层热流道注射成型模具，并将其应用于实际生产，将具有一定的经济效益和社会效益，本课题正是基于双层热流道注射模在实际生产中的优势，采用三维 CAD 设计软件 (Pro/E) 来设计双层热流道注射成型模具，同时，由于计算机辅助数值模拟分析 (即 CAE) 技术在模具生产中的应用还很不成熟，尤其在热流道双层模具生产中还没有过曾经采用 CAE 模拟分析的技术先例。因此，对双层热流道模具进行 CAE 分析将具有非常重要的意义。Pro/E 软件是采用参数化设计的，基于特征的实体模型系统。采用其所特有的智能特性的基于特征的功能去生成模型。此外，Pro/E 还可以输出三维和二维图形给其他的应用软件，如有限元分析及后处理软件等。CAE 分析采用的是 Moldflow 软件，Moldflow 可以对塑料制品和模具进行深入的分析，可以在计算机上对整个注射成型过程进行模拟分析，包括填充、保压、翘曲、以及气体辅助成型分析等。使模具设计师在设计阶段就能找出未来产品可能出现的缺陷，提高一次试模成功率。

注射模 CAE 技术可以在模具投入制造之前，进行塑料熔体的充型和冷却过程的模拟，对塑件翘曲和收缩进行预测，对潜在的问题提出有效的改进方法，缩短模具制造周期并降低成本，提高了模具的设计效率和质量，然而，国内注射模 CAE 技术在实际生产中的普及应用仍然存在一定的困难。本课题的研究对于 CAE 技术的应用推广也具有一定的现实意义。在本文中对于模流分析采用的分析软件是 Moldflow 模流分析软件。

本论文主要包括以下几方面的工作:

(1) 运用三维设计软件Pro/ENGINEER (Pro/E) 对洗衣机控制面板进行三维实体造型。洗衣机控制面板结构比较复杂, 通过Pro/E可以实现从制件到模具的一体化设计, 提高了设计质量和工作效率。

(2) 将设计好的实体造型转换为Moldflow能够识别的“*.stl”格式, 将设计完成的三维模型导入MPI (Moldflow Plastics Insight)中, 对其进行网格划分和修改, 为后续工作做好准备。

(3) 通过Moldflow软件的MPI模块, 对不同的浇口及流道系统设置方案分别进行CAE模拟分析, 对熔体在型腔内的流动情况进行模拟, 并结合模具生产成本、实际生产要求, 从而获得模具的最佳浇口位置和数量。

(4) Moldflow模拟分析完成之后, 通过对成型制件进行Warp (翘曲) 分析, 分析制件产生翘曲的原因, 并提出有针对性的修改措施。能够在模具投入生产前发现问题并将翘曲变形量控制在制品质量允许的范围内。

(5) 运用 Pro/ENGINEER (Pro/E) 软件进行三维造型, 验证模具结构的合理性, 检查开合模是否有干涉现象, 设计完成双层热流道注射成型模具。

本课题的主要技术创新:

(1) 双层热流道技术目前在国内的研究和应用非常少, 是一项先进的具有技术优势的研究课题;

(2) 运用 CAE 技术对双层热流道进行模拟分析是一项新的前沿技术。目前, CAE 模拟分析还只是停留在对单层普通浇注系统模具的分析或者是对双层冷流道的分析上, 对双层热流道模拟分析还是一项技术空白。

2 双层热流道注射模具的结构设计

2.1 塑件结构分析及模具结构设计

2.1.1 塑件结构分析

塑料制品通称为塑料制件，简称塑件。

塑料制件主要是根据使用要求进行设计，由于塑料有其特殊的物理机械性能，因此设计塑件时必须考虑充分发挥其性能上的优点，避免或者补偿其缺点，在满足使用要求的前提下，塑件形状应尽可能做到简化模具结构，符合成型工艺特点^[22]。

本论文所设计的模具其制件为洗衣机控制面板，该控制面板属于中小型塑件，主要用来对洗衣机实现操纵控制，工作环境比较稳定，承受较小的压力作用，成型材料为聚丙烯（PP），表面质量要求较高，背面要求不高。该控制面板的尺寸规格为：600×150×25 mm，厚度为2 mm。制件结构如图2—1所示。

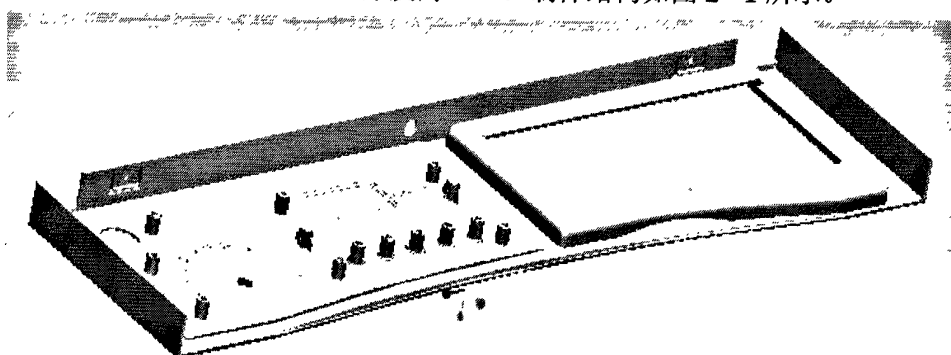


图 2—1 塑件三维造型

Fig.2—1 3D drawing of the product

洗衣机控制面板在生产过程中要求表面光滑无痕迹，属于外观质量要求很高，而背面和侧面质量要求相对较低的制件，同时考虑到在制件上存在一个较大的方孔，所以根据制件的这个特点，在设计浇口位置时，将浇口位置设置在制件大方孔的内侧，因此从喷嘴到浇口的一段流道为冷流道，而浇注系统的其他部分则采用热流道。

2.1.2 设计注射模具应该考虑的问题

在设计注射模具时，首先需要对模具的整体设计方案有个大体了解，同时既要考虑塑料熔体的流动行为等塑料加工工艺方面的问题，又要考虑到模具的加工

制造以及装配等模具结构方面的问题，归纳起来大致有以下几个方面：

(1) 了解塑料熔体的流动行为，考虑塑料熔体在各级流道和型腔各处的流动阻力，流动速度，校验最大流动长度。根据塑料在模具内的流动方向（即充模顺序），考虑塑料在模具内重新熔合和模腔内原有空气导出的问题。

(2) 考虑冷却过程中塑料收缩及补缩问题。

(3) 通过模具设计来控制塑料在模具内结晶、取向和改善制品的内应力。

(4) 进浇点和分型面的选择问题。

(5) 制件的侧向分型抽芯及顶出的问题。

(6) 模具的冷却或者加热问题。

(7) 模具有关尺寸与所用注射机的关系，包括与注射机的最大注射量、锁模力、装模部分的尺寸等的关系。

(8) 模具总体结构和零件形状要简单合理，模具应具有适当的精度、光洁度、强度和刚度，易于制造和装配。

同时，塑料制品的结构设计是决定产品成形性优良与否的重要指标之一，它直接影响着模具设计、模具制造以及塑件注塑完成后的品质。

模具零件结构设计常见的注意事项：

(1) 在满足产品设计性能的前提下决定零件的形状、尺寸、外观及所需的材料。

(2) 零件的结构设计还必须满足模具工艺要求，即尽可能遵循使模具制造、成型及后期加工都简单的原则^[23]。

在本文的设计过程中，根据制件的结构特点，考虑采用侧面进浇的注射方式，在分型开模过程中设计了齿轮齿条同步开模并且有侧向抽芯开模机构。

2.1.3 注射模具典型结构

注射模具的结构是由注射机的形式和制件的复杂程度等因素决定的。凡是注射模具，均可以分为动模和定模两大部分。注射成型时动模与定模经过导柱的导向作用闭合，从而构成模具的型腔和浇注系统，塑料熔体从注射机的喷嘴经过模具的浇注系统注射入型腔里面，成型结束后经过冷却保压后开模，开模时动模与定模分离取出制件。定模安装在注射机的固定板上，而动模则安装在注射机的移动模板上，根据模板上各个部件所起的作用不同，模具的主要结构可以细分为以下几个部分：

1. 成型零部件

成型零部件是指定模、动模部分中组成型腔的零件，是直接成型塑料制件的部分。通常由凸模（型芯）或成型杆、凹模（型腔）、镶嵌件等组成，合模时构

成型腔，用于填充塑料熔体，它决定了塑件的形状和尺寸，是成型塑件的主要部件。

2. 浇注系统

浇注系统是指熔融的塑料从注射机喷嘴一直进入模具型腔所流经的通道，它由主流道、分流道、浇口和冷料穴组成。浇注系统一般可以分为普通流道浇注系统和无流道浇注系统两大类。浇注系统设计的好坏对于制品的性能、外观和成型难易程度都有很大的影响。

3. 导向机构

导向机构分为动模与定模之间的导向机构以及推出机构的导向机构两类。前者是保证动模和定模在合模时准确对合，以保证塑件形状和尺寸的精确度；后者是为了避免推出过程中推出板歪斜而设置的，保证推出板能够准确复位。导向部分通常有导向柱、导向孔或在动模和定模上分别设置相互吻合的内外锥面。

4. 推出机构

在塑件成型的每一个循环周期中，塑件必须从模具型腔中脱出，用于开模时将塑件从模具中脱出的装置叫做推出机构，又称为脱模机构。其结构形式很多，常见的有推杆推出机构、推板推出机构和推管推出机构等。

5. 侧向分型与抽芯机构

当塑件上具有与开模方向不同的内外侧孔或者侧凹时，塑件无法直接脱模，必须将成型内外侧孔或者侧凹的零件设计成可以拆分的活动件，也就是侧向型芯。在开模推出塑件之前，必须先将侧向型芯从塑件上脱出，塑件才能顺利脱模。使侧向型芯移动的机构称为侧向抽芯机构。

6. 加热和冷却系统

在注射成型过程中，模具的温度直接影响到塑件的成型质量和生产效率。为了满足注射工艺对模具的温度要求，必须对模具温度进行控制，所以模具常常设有冷却系统或者在模具内部或者四周安装加热元件。冷却系统一般需要在模具上开设冷却水道。

7. 排气系统

在注射成型过程中，型腔内存在气体会导致制件上留有气穴，影响制件的质量，为了将型腔内的空气排出，常常需要开设排气系统，通常是在分型面上有目的地开设若干条沟槽，或者利用模具的推杆或者利用型芯与模板之间的配合间隙进行排气。对于小型塑件，由于其排气量不大，可以直接利用分型面排气，而不必另设排气槽。

由于洗衣机控制面板属于较薄的制件，因此设计过程使用分型面排气即可。

2.1.4 注射机的选择

2.1.4.1 注射机的选择

从公称注射量和锁模力考虑注射机的选择。

由注射量选定注射机，由于塑件的总体积 $V=1140\text{cm}^3$ ，总质量 $M=1037\text{g}$ （材料密度取 $\rho=0.91\text{g/cm}^3$ ），流道凝料 $V'=0.4V$ （流道凝料的体积和质量是个未知数，根据手册取 $0.4V(0.4M)$ 来估算，塑件越大则比例可以取的越小）；

实际注射量为： $V_{\text{实}}=1140\times 1.4=1596\text{cm}^3$ ；

实际注射质量为 $M_{\text{实}}=1.4M=1037\times 1.4=1451.8\text{g}$ ；

根据实际注射量应小于 0.8 倍公称注射量原则，即： $V_{\text{实}}\leq 0.8V_{\text{公}}$

得到： $V_{\text{公}}=1995\text{cm}^3$ ；

考虑到锁模力，

$F\geq F_{\text{腔}}=A\cdot P_{\text{腔}}=2\times 600\times 150\times 40=7200\text{KN}$

式中： F —注射机的锁模力（N）；

A ——制件加上浇注系统在分型面上的总投影面积之和；

$P_{\text{腔}}$ ——压力，取 $P_{\text{腔}}=40\text{MPa}$ ；

表 2-1 国产注射机 XS-ZY-4000 的参数

Tab.2-1 The parameters injection machine XS-ZY-4000 of china

特性	内容	特性	内容
结构类型	卧	拉杆内间距(mm)	1120×1200
理论注射容积 (cm^3)	4000	移模行程(mm)	1200
螺杆(柱塞)直径(mm)	110	最大模具厚度(mm)	1100
注射压力 (Mpa)	150	最小模具厚度(mm)	600
注射速率(g/s)	770	锁模形式(mm)	液压
塑化能力(g/s)	325	定位孔直径(mm)	200
螺杆转速(r/min)	0~80	锁模力(KN)	8000

结合上面两项的计算,初步确定注射机为表 2-1 所示,查国产注射机主要技术参数表取 SZ-4000/8000 参数如上表 2-1 所示。

2.1.4.2 注射机的校核

(1) 最大注射量的校核

为确保塑件质量,注射模一次成型的塑件质量(包括流道凝料质量)应在公称注塑量的 35%~75%范围内,最大可达 80%,最小不小于 10%。在此范围内都能保证塑件成型质量,发挥设备的注射成型能力。

$$V_{\text{实}} = 1596 \text{ cm}^3 \quad V_{\text{公}} = 4000 \text{ cm}^3, \text{ 而,}$$

$$\frac{V_{\text{实}}}{V_{\text{公}}} = \frac{1596}{4000} = 40\%, \text{ 在 } 35\% \sim 75\% \text{ 制件符合要求。}$$

(2) 锁模力的校核

在确定了型腔压力和分型面面积之后,可以按下式校核注塑机的额定锁模力:

$$F \geq KAP_m = 1.2 \times 2 \times 600 \times 150 \times 30 = 6480 \text{ kN}$$

由于选定的注射机的移模形成为 8000kN,所以满足使用要求。

式中: F——注射机额定锁模力, 8000kN;

K——安全系数,通常取 1.1~1.2,取 K=1.2。

(3) 开模行程的校核

所选注射机为全液压式锁模机构,最大开模行程受模具厚度影响。故注射机的开模行程应该满足下式:

$$S_{\text{机}} - (H_{\text{模}} - H_{\text{最小}}) > 2 \times [H_1 + H_2 + (5 \sim 10)]$$

$$S_{\text{机}} - (H_{\text{模}} - H_{\text{最小}}) = 1200 - (1164 - 600) = 564 \text{ mm}$$

$$2 \times [H_1 + H_2 + (5 \sim 10)] = 2 \times (25 + 25 + 10) = 120 \text{ mm}$$

所以满足使用要求。

式中: $S_{\text{机}}$ ——注射机最大移模行程, $S_{\text{机}} = 1200 \text{ mm}$;

H_{m} ——模具实际厚度, $H_{\text{m}} = 1164 \text{ mm}$

H_1 ——推出距离, $H_1 = 25 \text{ mm}$;

H_2 ——流道凝料与塑件高度, $H_2 = 25 \text{ mm}$ 。

2.1.5 注射模具成型零部件设计

2.1.5.1 成型零部件的设计

注射模具的成型零件主要是指用来构成型腔的模具零件，通常包括凹模、凸模、成型杆、镶块等。在成型过程中，注射模具的成型零件直接与高温高压的熔融塑料接触，并且在脱模过程中还受到塑料制品的摩擦作用，所以成型零件要有足够的强度、刚度和耐磨性能，同时还必须达到成型制品所要求的精度和粗糙度要求。成型零部件的设计原则应该考虑在达到制品成型质量的要求下，尽可能便于加工、装配、维修和使用等。

设计时应首先根据塑料性能和制品的使用要求来确定型腔的总体结构，进浇点的选择、分型面的设计、脱模方式和排气等，然后根据制品的尺寸以及所用塑料的成型收缩率计算成型零件的工作尺寸，同时从机械加工的角度考虑，在设计过程中要考虑型腔的各个零件之间是否采用组合式。此外还要根据塑料熔体的压力，对关键的成型零件进行必要的校核。

(1) 分型面的设计

分开模具取出制品的面，通称为分型面。注射模一般有一个分型面或者多个分型面的注射模具，分型面的开设位置有垂直于开模方向、平行于开模方向以及倾斜于开模方向等几种。分型面的形状有平面和曲面等。分型面设计的是否得当对于制品质量、操作难易、模具制造都有很大的影响。因此，选择分型面时应该综合考虑、合理选择。

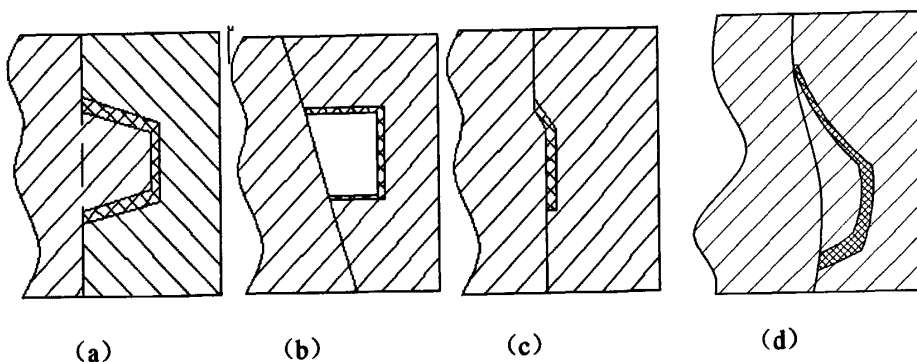


图 2—2 各种形状的分型面

Fig.2—2 Shape of parting surface

选择分型面时首先应该选择塑件断面轮廓最大的地方作为分型面。一般的分型面是与注射机的开模方向相垂直的平面，如图 2—2 (a) 所示，但是也有将分型面作成倾斜的平面的，如图 2—2 (b) 所示，也有将分型面做成弯折面的，如图 2—2 (c) 所示或者曲面，如图 2—2 (d) 所示。这样的分型面设置虽然给机械加工带来了困难，但是型腔的制造和制品的脱模比较容易。

此外，对于分型面的选择还应考虑到以下因素^[24]：

(1) 由于分型面是分开模具取出制件的面，因此分型面必然和制件的表面直接接触，这样就不可避免的要在制件的表面上留下溢料痕迹，或者拼合缝的痕迹，因此，在选择分型面时最好不要选在制品光亮的外表面、表面质量要求高的表面或者带圆弧的拐角处。

(2) 尽量使塑件开模后留在动模一边。从制件的顶出考虑，分型面的选择应满足塑件尽可能留在动模一边。因为脱模机构一般设在动模侧，否则会增加脱模的难度，使模具结构复杂化。当塑件带有金属嵌件时，由于嵌件收缩极小，对型芯几乎没有包紧力，结果带嵌件的塑件不会留在型芯上，而留在型腔内，故应该采用改进形式将型腔开设在动模，使塑件留在动模。当塑件外形较简单，内部有较多的孔或者异形孔时，塑件成型收缩后必然会包紧型芯，这时型腔可设在定模内，采用推板脱模。

(3) 当塑件有侧向抽芯时，应尽可能放在动模部分，避免定模抽芯。当塑件有多组抽芯时，尽量避免大端侧向抽芯，因为除了液压抽芯机构能够获得较大的抽拔距离外，一般的侧向抽芯的抽拔距离都比较小，故在选择分型面时，应将抽芯或者分型距离大的放在开模方向上，而将短的一边作为侧向分型抽芯。

(4) 当塑件的尺寸有同轴度要求时，分型面应尽可能使有同轴度要求的部分设计在同一侧。当制件上要求同心的部位不便于设在分型面的同一侧时，那就需要设计特殊的定位装置，如锥面中心定位。这样才能达到提高合模时的对中性要求。

按照上述原则本文设计的注射模具的分型面如图 2—3 所示：



图 2—3 主分型面

Fig.2—3 Main parting surface

(2) 多型腔的布置

一模多腔时，型腔在模板上的布置形式有多种，常见的布置形式有：圆形排列、H 形排列、直线排列、以及复合排列等。多型腔模具在设计时应该注意以下几点^[26]：

(1) 应该尽可能的采用平衡式排列，以便构成平衡式浇注系统，保证制品质量的均一和稳定。

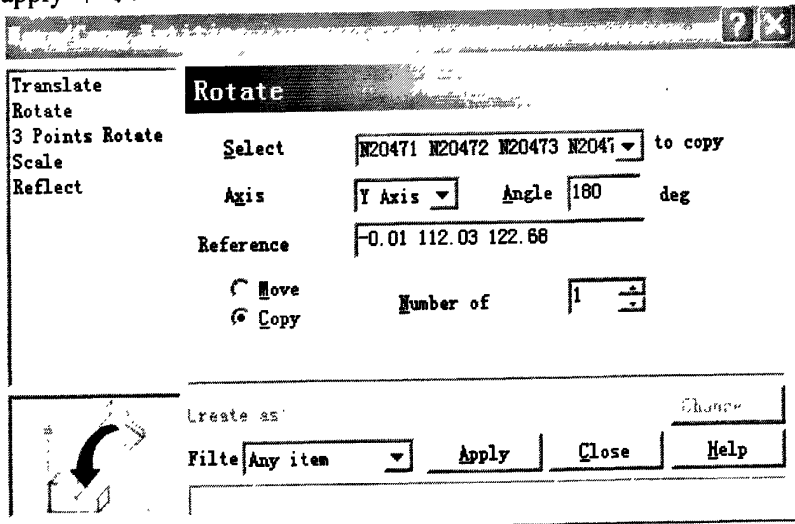
(2) 型腔布置和浇口部位的开设应该力求对称，以便防止模具承受偏载而产生溢料现象。

(3) 应该尽可能的使型腔布置的紧凑，以便减小模具的外形尺寸。

(4) 型腔的圆形排列所占的模板尺寸大，虽然有利于浇注系统的平衡，但是加工困难。除了圆形制品和一些高精度的制品以外，在一般情况下，常选用直线形排列或者 H 形排列。从平衡的角度考虑，最好选用 H 形排列。

鉴于以上对多型腔模具型腔布置的注意事项和制件的形状尺寸，本文采用每层两个型腔对称于模具中心平行排列，上下层对称于模具水平方向中心，由于是双层的型腔布置，在 Moldflow 中采用镜像旋转可以实现双层型腔的对称排列，如下图 2—4 所示为其创建过程及其最终的布置形式。

在 Moldflow 的菜单栏中选择“Molding”，然后选择“Move/Copy”命令，弹出如图所示的 Move/Copy Entities 对话框，选择 Rotate 项，Select 中选择模型全部，Axis 为 Y 轴，Reference 选择旋转中心节点，Angle 设置为 180°，选中 copy 之后点击 apply 即可。



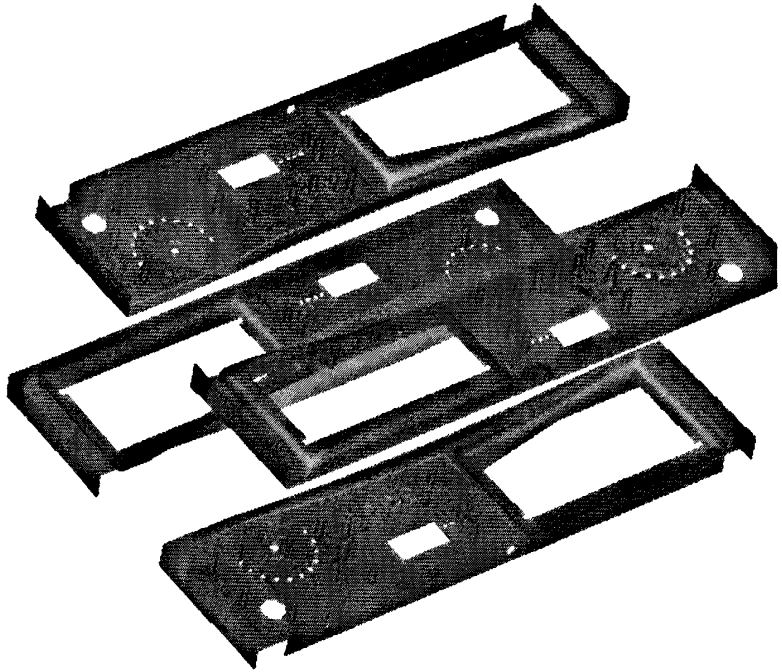


图 2—4 多型腔的布置形式

Fig. 2—4 The arrange multi-cavity

(3) 成型零件的结构设计

注射模具的成型零件是指构成型腔的模具零件，包括凹模、凸模以及成型杆等，凹模用来成型制品的外表面，凸模用于成型制品的内表面，成型杆用于成型制品的局部细节。由于成型零件直接与高温高压的熔融塑料熔体接触，并且在开模取件的过程中与制品表面之间有摩擦作用。因此，对于成型零件要有足够的强度、刚度和耐摩擦性能，达到足够的精度和表面粗糙度。

①凹模的结构设计

凹模是成型制品外表面的成型零件。按照凹模的结构不同可以将其分为整体式、整体嵌入式、组合式、以及镶拼式四种形式。整体式凹模是由整块材料加工而成。整体式凹模的特点是强度和刚度都比较高，不会使制品出现拼接缝的痕迹。对于洗衣机控制面板这种中小型的制件，设计了整体式的凹模结构，防止塑料填充过程中或者保压过程中发生变形。

②型芯结构设计

型芯是用于成型制品的内表面。与凹模相似，型芯也可分为整体式型芯和组合式型芯两种。整体式型芯的型芯和模板做成一个整体，结构牢固成型质量好，但是对材料的消耗量比较大，适合于内表面形状简单的中小型塑件；对于制件内表面成型复杂，或者为了从减少材料的角度考虑可以设计成组合式的型芯，将型芯和固定模板分别选择不同的材料加工，并且用不同的热处理方法进行热处理。

在本文设计过程中设计了整体式的型芯结构，对于中间的凸台则采用了组合的方式。

2.1.5.2 成型零件的设计计算

型腔以及型芯的尺寸计算：

成型零件中与塑料熔体接触并决定制品几何形状的尺寸称为工作尺寸。如何准确的计算成型零件的工作尺寸，是注射模具设计过程中至关重要的一项工作。

塑料制品的几何尺寸分别包括凹模尺寸、型芯尺寸和中心距尺寸。其中，凹模尺寸又可以细分为深度尺寸和径向尺寸；型芯尺寸也可以分为高度尺寸和径向尺寸。制品成型后所获得的实际尺寸与名义尺寸制件的误差称为制品的尺寸偏差。引起制品产生尺寸偏差的原因很多，但是制品尺寸可能出现的误差 δ 主要是由以下五个方面因素综合作用的结果。即：

$$\delta = \delta'_s + \delta_s + \delta_z + \delta_c + \delta_j \quad 2-1$$

式中： δ ——塑件成型总误差；

δ'_s ——因采用的成型收缩率不准确而引起塑件尺寸误差；

δ_s ——因制品的成型收缩波动而引起的制品尺寸误差；

δ_z ——模具成型零件的制造偏差；

δ_c ——成型零件的磨损引起的制品尺寸误差；

δ_j ——模具活动零件的配合间隙引起的制品尺寸误差；

在对模具成型零件工作尺寸进行计算时，必须保证制品总的尺寸误差不大于制品允许的公差值。即：

$$\Delta \geq \delta \quad 2-2$$

目前，主要是使用两种方法计算成型零件的工作尺寸，一种方法是平均值法，另一种方法是公差值法。平均值法是基于对 δ_s 和 δ_z 所做的统计规律。这种统计结果显示 δ_s 和 δ_z 呈正态分布，即它们取平均值的可能性最大，而取最大值或者最小值的概率很小，并且假设当制品的成型收缩率和成型零件的工作尺寸或者制造偏差及磨损量均为各自的平均值时，制品的尺寸误差也正好是平均值。从而推导出一套设计计算型腔、型芯和中心距尺寸的公式。平均法简单方便，适用范围最广，是最常用的计算方法^[25]。

(1) 型腔径向尺寸的计算

假设制品的成型收缩率和凹模径向尺寸的制造偏差及磨损量均为其平均值时，制品的尺寸偏差也正好是其平均值。从而由前述的尺寸规定可得：

$$d - \frac{\Delta}{2} = D_m + \frac{\delta_z}{2} + \frac{\delta_c}{2} - (L_s - \frac{\Delta}{2}) S_{\varphi} \quad 2-3$$

式中： d ——制品的名义尺寸（最大尺寸）；

Δ ——制品公差；

S_{φ} ——所采用的塑料的平均收缩率；

D_m ——凹模径向名义尺寸；

δ_z ——模具的制造偏差；

δ_c ——磨损量；

整理式 2—3，并忽略二阶小量 $\frac{\Delta}{2} S_{\varphi}$ ，凹模径向名义尺寸为：

$$D_m = (1 + S_{\varphi})d - \frac{1}{2}(\Delta + \delta_z + \delta_c) \quad 2-4$$

由于 δ_z 和 δ_c 均与制品的公差有关，所以上式可改作：

$$D_m = (1 + S_{\varphi})d - x\Delta \quad 2-5$$

式中： x ——成型零件工作尺寸的修正系数，其取值大小与制品尺寸及精度有关。

标上模具制造公差 Δ_m 之后，有

$$D_m = [(1 + S_{\varphi})d - x\Delta]_0^{+\Delta_m} \quad 2-6$$

式 2—6 即为型腔的径向尺寸计算原理式。

根据塑件尺寸与公差的关系和模具制造尺寸与制造公差的关系，并考虑到模具制造的难易和实际加工习惯，按照下表 2—2 所列对应关系选取模具型腔尺寸制造的等级精度，并决定制造偏差 δ_z 。这是按照在小尺寸范围内模具制造公差等于塑件公差的 1/3 推导出来的。

表 2—2 塑件公差等级与模具型腔机械制造公差等级对应关系^[26]

Tab 2—2 Relationship of the tolerance between part and mold cavity

塑件制造公差等级 GB/T14486-1993	MT1	MT2	MT3	MT4	MT5	MT6	MT7
模具制造公差等级 GB1800-79	IT8	IT9	IT10	IT10	IT11	IT11	IT12

当制品的尺寸很大且精度要求不高时候,影响制品尺寸误差的主要原因是成型收缩率的波动,制造误差 δ_z 和磨损量 δ_c 可以忽略不计,一般常选择 x 的范围在 $1/2 \sim 3/4$ 。下表 2—3 列出了根据制品公差查取 x 值的表格。

表 2—3 按平均值法计算模具尺寸中修正系数 x 的数值表^[27]

Tab.2—3 Value of correction factor x by means of average value method

制品尺寸 公差 Δ/mm	凹模和型 芯径向工 作尺寸计 算的 x 值	凹模深度和 型芯高度工 作尺寸计算 的 x 值	制品尺寸 公差 Δ/mm	凹模和型 芯径向工 作尺寸计 算的 x 值	凹模深度和 型芯高度工 作尺寸计算 的 x 值
—	0.1	0.80	0.5	0.7	0.58
0.1	0.2	0.75	0.7	1.0	0.56
0.2	0.3	0.70	1.0	2.0	0.54
0.3	0.4	0.65	2.0	—	0.53
0.4	0.5	0.60			0.52

由塑料收缩特性值分类确定公差等级可以知道,对于纯聚丙烯材料,一般精度标注公差的尺寸用公差等级为 0.14 mm,由上表可以知道修正系数 x 的取值为 0.75,将凹模各处的工作尺寸的制造公差按照制品公差的 $1/3$ 取值,带入凹模径向尺寸计算式可得:

$$\text{凹模的径向尺寸 } L_m = [(1+S_{\varphi})d_1 - x\Delta]_0^{+\Delta} = 611.9_0^{+0.047} \text{ mm}$$

(2) 型芯径向尺寸的计算

和凹模的情况类似,型芯径向名义尺寸的计算为:

$$d_m = [(1+S_{\varphi})D + x\Delta]_{-\Delta_m}^0 \quad 2-7$$

式中, d_m ——型芯径向名义尺寸(最大尺寸);

D ——制品的名义尺寸（最小尺寸）；

Δ ——制品公差（正偏差）；

Δ_m ——模具制造公差；

x ——修正系数。

代入数值计算得： $d_m = 608.03_{-0.047}^0 \text{ mm}$

(3) 凹模深度与型芯高度

由于计算凹模深度和型芯高度的时候，其基准平面和脱模方向相垂直，在计算这两种工作尺寸的时候，可以不考虑磨损引起的尺寸误差。类似于前面的推导过程，

$$\text{凹模深度: } H_m = [(1 + S_{\varphi})h_s - x\Delta]_0^{+\Delta_m} \quad 2-8$$

式中， H_m ——凹模深度名义尺寸（最小尺寸）；

h_s ——制品高度名义尺寸（最大尺寸）；

x ——修正系数。

带入数值计算得到凹模深度尺寸 $H_m = 25.41_0^{+0.047} \text{ mm}$

$$\text{型芯高度尺寸: } h_m = [(1 + S_{\varphi})h + x\Delta]_{-\Delta_m}^0 \quad 2-9$$

式中， h_m ——型芯高度名义尺寸（最大尺寸）；

h_s ——制品孔深名义尺寸（最小尺寸）；

x ——修正系数。

代入数值计算得到型芯高度尺寸 $h_m = 23.55_{-0.047}^0 \text{ mm}$

成型零件的力学计算：

模具型腔的侧壁厚度和底壁厚度的计算是模具设计过程中经常遇到的问题，尤其是对于大型注射模具。目前常用的计算方法是按照强度条件计算和按照刚度条件计算两种方法。但是在实际生产过程中，塑料模具的要求是既不允许因强度不足而发生明显变形甚至破坏，也不允许因为刚度不足而发生过大变形。因此，对于强度条件和刚度条件应该加以综合考虑。

理论分析和实践生产证明，在模具设计过程中对于强度和刚度的要求并非同时兼顾，对于大型模具，型腔的尺寸较大，刚度不足是设计过程中的主要问题，应该按照刚度条件计算；对于小型模具，型腔的尺寸较小，强度不足是主要的问

题, 应该按照强度条件计算。强度计算的条件是满足各种受力状态下的许用应力, 刚度计算的条件则主要考虑到溢料、塑件精度、有利于脱模等因素。

对于整体式矩形型腔, 任意一侧壁均可以简化为三边固定一边自由的矩形板, 当塑料熔体注入时, 其最大变形发生在自由边的中点, 其变形量为:

$$\delta_{\max} = \frac{c \times p \times h^4}{E \times S^3} \quad 2-10$$

式 2—10 中:

c——由 L/h 确定的常数; 其值可查表 2—5。

L——侧壁边长; L=600 mm

h——型腔深度; h=25 mm

S——侧壁壁厚。

从而得到侧壁壁厚计算式为:
$$S = \sqrt[3]{\frac{c \times p \times h^4}{E \times \delta_{\max}}} \quad 2-11$$

表 2—4 三边固定一边自由的矩形板 c 值表^[28]

Tab.2—4 Value of c on trilateral fixed side of the free rectangular plate

L/h	c	L/h	c	L/h	c
3.33	0.930	1.43	0.117	0.832	0.015
2.5	0.570	1.25	0.073	0.667	0.006
2	0.330	1.1	0.045	0.5	0.002
1.65	0.188	1.0	0.031		

c 值也可以按照近似公式计算:

$$c = \frac{3(L^4 + h^4)}{2(L^4 + h^4) + 96} \quad 2-12$$

式 2—11 中:

E——模具钢材的弹性模量; MPa, 对于一般中碳钢材 $E=2.1 \times 10^5$ MPa,

p——模具型腔内的最大熔体压力; MPa, 一般为 30~50 MPa。

h——型腔深度。

代入数值得 c 值为 1.5, 从而计算得侧壁壁厚为 S=76 mm。

2.1.6 注射模温度调节系统设计计算

2.1.6.1 模具温度调节系统的必要性

在塑料的注射成型过程中, 注射模具不仅是塑料熔体的成型设备, 还起着热

交换器的作用。模具温度调节系统直接影响到制品的质量和生产效率。由于各种塑料的性能和成型工艺要求不同,对模具的温度要求也不同,一般注射进入模具的塑料温度在 200°C 左右,而塑料固化后从模具型腔中取出时其温度在 60°C 以下,温度降低是由于冷却水的冷却作用将热量带走。但对于一些要求模温超过 80°C 的塑料模具以及大型注射模具,均需要设置加热装置。

模具温度调节系统对注塑生产的生产效率有着重要的影响。在塑料的注射成型过程中,塑料熔体所释放的热量大约有 $5\%\sim 30\%$ 由模具传导、对流和辐射的方式散发到大气中,热量的大部分是由冷却水带走,因此注塑模具的冷却时间主要取决于模具冷却系统的冷却效果,模具的冷却时间大约占整个注塑循环周期的 $2/3$,因此,缩短注射循环周期的冷却时间成为提高生产效率的关键。提高传热膜系数、提高模具与冷却水之间的温度差、增大冷却水的传热面积,这三条途径均可以缩短冷却时间,提高冷却效率。

模具温度调节系统对塑件质量也有着重要的影响。高温塑料熔体在模具型腔内凝固并释放热量,模具内存在着一个合适的温度分布,使制品的质量达到最优。评定某一制件注塑质量是否优良主要有以下六个方面的衡量标准,即收缩率小、变形小、尺寸稳定、冲击强度高、耐应力开裂性好和表面光洁度。模具温度调节系统对塑件的影响主要体现在上述的六个方面。

总之,注塑模具的温度调节系统可以有效的改善注塑成型条件,稳定塑件的尺寸精度,改善塑件机械、物理性能,提高塑件的表面质量。

2.1.6.2 模具冷却系统设计的基本原则

为了提高生产效率,得到变形小的制品,除了塑件形状与型腔设计以外,冷却系统的设计也是很重要的一个环节。一般注射模具的冷却系统设计原则主要有以下几个方面^[29]:

(1) 冷却水孔数量尽量多,尺寸尽量大。型腔表面的温度与冷却水孔的大小和冷却水的温度有关,冷却水管路越多,尺寸越多,冷却速度越快,冷却范围越大,并且冷却质量越均匀。

(2) 冷却水管至型腔表面的距离相等。当塑件壁厚均匀时,冷却水管与型腔表面各处的距离最好相等。如图 2—5 所示图 (a) 为冷却水孔与型腔等距排列,图 (b) 为不等距排列,图 (b) 所示方式会使制品冷却不均匀,引起翘曲,当制品壁厚不均匀时应在厚壁处开设距离制品较近、管间距较小的冷却管道,如图 (c) 所示。

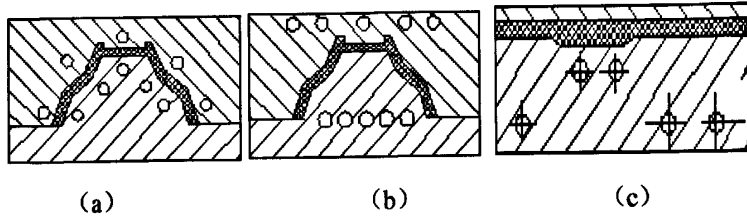


图 2—5 冷却水管与型腔等距以及不等距排列

Fig. 2—5 Isometric and unequally spaced channel

(3) 浇口处应该加强冷却。熔融的塑料熔体充满型腔时，浇口附近温度最高。一般来说，距浇口越远温度越低，因此，在浇口附近应该加强冷却。一般可以将冷却回路的入口设在浇口处，这样可使冷却水管首先通过浇口处，达到加强浇口处冷却的目的。

(4) 降低入水与出水的温度差。如果入水温度和出水温度差别太大时，使模具的温度分布不均，特别是对流动距离很长的大型制品，料温愈流愈低。为了取得整个制品大致相同的冷却速度，可以改变冷却水通道的排列形式。如图 2—6

(a) 的形式出入水温差大，冷却不均匀，图 (b) 的形式出入水温差小，冷却效果比图 (a) 好。

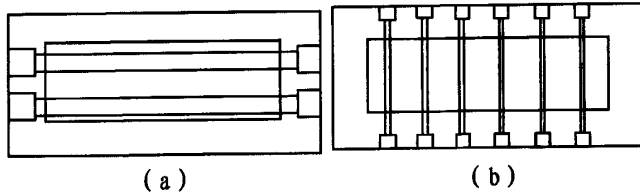


图 2—6 冷却水路排列比较

Fig.2—6 Difference effect for difference channel array

2.1.6.3 冷却通道传热面积及冷却水孔的确定

制品在型腔内冷却时，温度只沿着垂直于型腔壁的方向传递，即将制品在型腔内的冷却简化为为一维导热问题。并假定塑料熔体的注射温度不变，制品内外表面的温度在充模时候同时降低至模具的温度并且维持恒定，由此建立一维导热微分方程：

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = k \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \quad 2-13$$

式中： θ ——制品内的温度 (°C)；

t ——冷却时间 (s)；

k ——塑料热扩散率 (mm²/s)。

求解上面式 2—13 并简化后得：

$$t = \frac{s^2}{\pi^2 k} \ln \left[\frac{4(\theta_0 - \theta_w)}{\pi(\theta_1 - \theta_w)} \right] \quad 2-14$$

式中: s ——制品的最大壁厚 (mm), $s=2$ mm;

k ——塑料热扩散率 (mm^2/s), $k=0.065$ mm^2/s ;

θ_0 ——塑料熔体注射温度 ($^{\circ}\text{C}$), $\theta_0=230^{\circ}\text{C}$;

θ_w ——模具温度 ($^{\circ}\text{C}$), $\theta_w=50^{\circ}\text{C}$;

θ_1 ——制品最厚部位中心层达到的脱模温度 ($^{\circ}\text{C}$), $\theta_1=110^{\circ}\text{C}$ 。

代入数值解得: $t=19.7\text{s}$

$$\text{单位时间内模具型腔中的总的热量: } Q = WQ_1 = NGQ_1 \quad 2-15$$

式中: W ——单位时间内注入模具型腔中的塑料的重量 (kg/h);

N ——每小时注射次数;

G ——每次注射塑料的注射量 (kg);

Q_1 ——单位热流量之差 (kJ/kg)。

$$Q_1 \text{ 可以由下式近似求得: } Q_1 = c_1(\theta_{1\max} - \theta_{1\min}) + \mu \quad 2-16$$

式中: c_1 ——塑料的比热容 ($\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$), $c_1=1.926$ $\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$;

$\theta_{1\max}$ ——进入型腔的熔体温度 ($^{\circ}\text{C}$), $\theta_{1\max}=230^{\circ}\text{C}$;

$\theta_{1\min}$ ——冷却结束时制品温度 ($^{\circ}\text{C}$), $\theta_{1\min}=70^{\circ}\text{C}$;

μ ——结晶型塑料的熔化质量焓 (kJ/kg), $\mu=1.8 \times 10^2$ kJ/kg 。

PP 塑料的 $Q_1=5.9 \times 10^2$ kJ/kg ,

每秒钟注射次数 $n = \frac{1}{t} \times 0.75$,

每小时注射次数 $N=3600n=137$ 次, 所以,

$$Q = WQ_1 = NGQ_1 = 14145.25 \text{ kJ}.$$

每小时内由冷却水带走的热量 $Q_2 = Q - (Q_c + Q_r + Q_i)$, 在一般情况下由塑料熔体带入型腔热量的 90%~95% 都是通过模具冷却管道由冷却介质 (一般为冷却水) 带走的, 因此在做冷却水管道设计时, 可粗略的按照熔体带入热全部由冷却水带

走进行计算, 即 $Q_2=Q$, 这在工程计算中是合理的, 所设计的冷却系统也比较安全。

在工程实际中, 由于型芯储存的热量较多且散热条件差, 因此与型腔相比, 型芯部位应该比型腔部位加强冷却, 对于洗衣机控制面板这种整体上为壳装的塑件更是符合这一工程实际。因此, 在冷却计算过程中, 凹模 (型腔) 带走的热量 Q_{2G} 一般低于凸模 (型芯) 带走的热量 Q_{2K} , 可以近似为:

$$Q_{2G}=0.4Q_2$$

$$Q_{2K}=0.6Q_2 \quad 2-17$$

又,

$$Q_2=q_v c_1 \rho (\theta_{out} - \theta_{in}) \quad 2-18$$

式中: $\theta_{out} - \theta_{in}$ —— 出入水的温度差 ($^{\circ}\text{C}$), $\theta_{out} - \theta_{in} = 5^{\circ}\text{C}$;

q_v —— 所需冷却水的体积流量 (m^3/h);

取冷却水的出入水温差即: $\theta_{out} - \theta_{in} = 5^{\circ}\text{C}$, $c_1 = 1.926 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ 得:

$$\text{凹模侧: } q_{vG} = \frac{\theta_{2G}}{c_1 \rho (\theta_{out} - \theta_{in})} \times \frac{1}{60} = 4.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\text{凸模侧: } q_{vK} = \frac{\theta_{2K}}{c_1 \rho (\theta_{out} - \theta_{in})} \times \frac{1}{60} = 6.75 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{min}$$

求得凹模侧和凸模侧的体积流量后, 即可根据表 2—5 确定两侧的冷却水孔的直径值。下表所示为冷却水体积流量与冷却水管的直径之间的关系。

表 2—5 冷却水体积流量 q_v 与管道直径 d 的关系^[30]

Tab 2—5 Relationship between q_v and d

冷却管道直径 d (mm)	冷却水体积流量 (m^3/min)
8	5.0×10^{-3}
10	6.2×10^{-3}
12	7.4×10^{-3}
15	9.2×10^{-3}
20	12.4×10^{-3}
25	15.5×10^{-3}
30	18.7×10^{-3}

从而求得: $d_G=8$ mm, $d_K=10$ mm

冷却管道总的传热面积 A (m^2) 可以用下式进行计算:

$$A = \frac{60WQ_1}{h\Delta\theta} \quad 2-19$$

式中: W ——单位时间内注入模具中的塑料重量 (kg/min);

Q_1 ——单位重量的塑料制品在凝固时所放出的热量 (kJ/kg);

h ——冷却管道孔壁与冷却水之间的传热膜系数 ($\text{kJ}/\text{cm}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$);

$\Delta\theta$ ——模具温度与冷却水温度间的平均温度 ($^\circ\text{C}$)。

对于长径比 $l/d > 50$ 的细长冷却管道而言, 其孔壁与冷却水之间的传热膜系数 h 的计算式如下:

$$h = 3.6f \frac{(\rho\nu)^{0.8}}{d^{0.2}} \quad 2-20$$

式中: f ——与冷却水温度有关的物理系数; 冷却介质为水时, 2—6 查得。

ρ ——冷却水在一定温度下的密度 (kg/m^3), $\rho=0.998$ kg/m^3 ;

ν ——冷却水在的流速 (m/s), 型芯侧 $\nu = \frac{4q_v}{\pi d^2} = \frac{4 \times 6.75 \times 10^{-3}}{3.14 \times 0.01^{0.2} \times 60} = 1.43$ m/s ;

型腔侧 $\nu = \frac{4q_v}{\pi d^2} = \frac{4 \times 4.5 \times 10^{-3}}{3.14 \times 0.008^{0.2} \times 60} = 1.49$ m/s

d ——冷却管道直径 (mm)。

表 2—6 不同水温下的 f 值^[31]

Tab 2—6 Different value of f under different temperature

平均水温/°C	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
f	4.91	5.30	5.68	6.07	6.45	6.48	7.22	7.60	7.98	8.31	8.64	8.97

冷却水在圆管中的流速: $v = \frac{4q_v}{\pi d^2}$,

模具开设的冷却水管的孔数: $n = \frac{A}{\pi dL}$,

代入数值, 解得冷却面积 $A=262\text{cm}^2$,

所以, 型芯侧冷却水管的个数 $n = \frac{A}{\pi dL} = 6$ 个,

同理, 对于型腔侧冷却面积 $A=383\text{cm}^2$,

冷却水管的个数 $n=5$ 个。

2.1.6.4 冷却系统设计

由于塑件的形状是各种各样的, 必须根据型腔内的温度分布、浇口位置等设计不同的冷却系统。对于型腔冷却系统, 常见的是采用钻孔的方式在模具上加工冷却水槽设置冷却管道, 用堵头使冷却水沿着指定的方向流动, 进行冷却。对于型芯冷却系统, 要根据塑件的结构、深度和宽度的大小不同而设置不同的冷却方案。对于洗衣机控制面板可以采用常规的冷却水循环的冷却方案。具体冷却方案设置如下图2—7所示。

如图所示, 根据上面的计算结果, 沿着注塑产品的长度方向上, 在模具的凹模一侧开设了六条冷却水道, 在模具的凸模一侧开设五条冷却水道, 凸模一侧冷却管道直径为 $d_k=10\text{mm}$, 凹模一侧冷却管道直径为 $d_c=8\text{mm}$, 冷却水温为 25°C 。

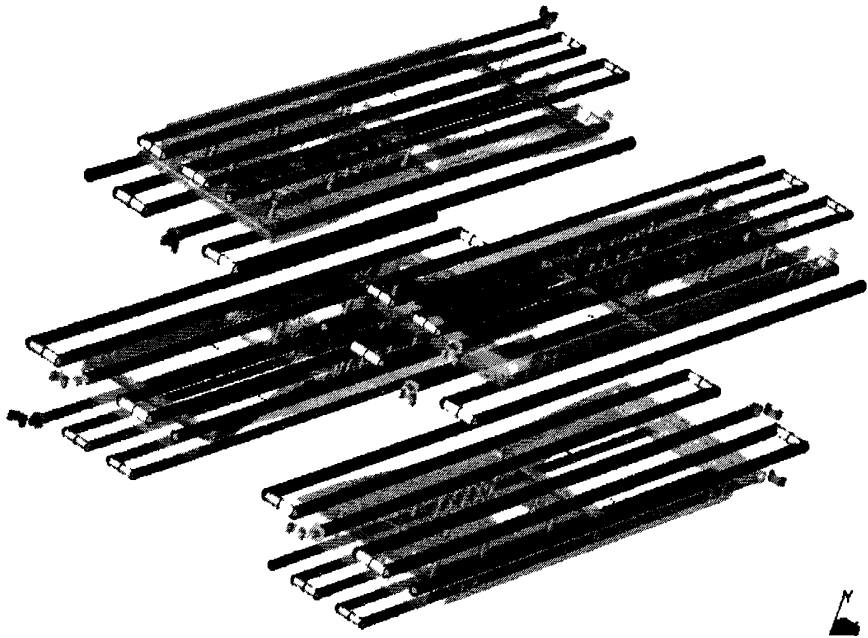


图 2-7 冷却水路设置

Fig.2-7 Cooling channel set

2.2 侧向分型抽芯机构

2.2.1 侧向分型机构的分类

当制件上存在与模具开模方向不同的外侧凸起、凹槽、孔，以及壳体制品的内侧局部凸起、凹槽和不通孔的时候，就要在模具上开设侧向分型抽芯机构。具有侧抽机构的注射模具，其活动零件多、动作复杂^[32]。

侧抽机构的类型很多，通常按照动力来源分为三种类型，包括手动、机动、气动或者液压侧向抽芯机构。其中以机动侧向分型与抽芯机构是生产中最为常见的。

(1) 机动侧向抽芯机构

机动侧向抽芯机构是在模具开模过程中借助于模具自身的开模力、顶出力或者合模力进行模具的侧向分型，这种抽芯机构经济性好、动作可靠、实用性强。这种侧抽机构的主要形式有：弹簧侧向分型抽芯、斜销侧向分型抽芯、滑块侧向分型抽芯，还有齿轮齿条分型抽芯机构以及弯销侧向抽芯等。其中斜销侧向分型抽芯机构是最为常见的一种侧抽机构。

(2) 液压（气压）侧抽机构

活动型芯由液压系统或者气压系统抽出，以压力油或者压缩空气作为动力来源驱动模具进行侧向分型抽芯以及复位。这种方法传动平稳，而且可以得到较大

的抽拔力和较长的抽芯距,不受开模过程的限制。如果注射机本身带有备用的液压缸,将更加方便。

(3) 手动侧抽机构

模具开模后,活动型芯与塑料制件一起取出,在模外使塑件与型芯分离或在开模前依靠工人操作直接抽拔或通过传动装置将型芯抽出。采用手动侧抽机构的模具结构比较简单,但生产效率较低,劳动强度大,抽拔距离有限,故在特殊场合才使用手动侧抽机构。

2.2.2 侧向分型机构的设计

对于洗衣机控制面板,其侧面有小圆孔,圆孔直径 10 mm。本设计选用的侧抽机构就是最常用的机动侧抽的方式,采用斜销侧抽机构。这种机构结构紧凑、制造方便、动作可靠,适用于抽拔距与抽拔力都不是很大的情况。。

2.2.2.1 斜销侧抽机构的结构设计

本文设计的斜销侧抽机构由斜销、滑块、导滑槽、滑块定位装置和锁紧楔组成,如图 2—13 示。

(1) 斜销。斜销轴线与开模方向的夹角,兼顾抽拔距和斜销所受的弯曲力,一取值为 15° 。材料选用 T8。淬火硬度达到 55HRC 以上。表面粗糙度要求 Ra1.6 μ m。斜销与滑块之间采用间隙配合 H11/d11。

(2) 滑块。滑块上装有侧型芯,在斜销的驱动下,实现侧抽芯,滑块是斜销抽芯机构中的重要零件。

滑块与侧型芯既可以做成整体式也可以做成组合式。滑块的滑动部分要进行表面淬火,淬火硬度达到 40HRC 以上,选用 45 号钢。

(3) 导滑槽。导滑槽是维持滑块运动方向的支撑零件,可以在导滑槽内运动平稳,没有上下窜动或者卡紧的现象。滑块的导滑部分有足够的长度,可避免运动过程中产生歪斜。

(4) 滑块定位装置。开模过程中,斜销驱动着滑块从而完成侧抽芯或者分型动作后脱离滑块,滑块可以停留在刚刚分离的位置上,以保证闭模时候顺利复位。

(5) 锁紧楔。闭模后,斜销不能够使滑块完全复位,且斜销本身也不能够承受熔体施加于滑块的侧向推力,为此设置了锁紧楔,锁紧楔的楔角:

$\alpha' = \alpha + 2^\circ$ 表面硬度达到 52~56HRC。

2.2.2.2 斜销侧抽的受力分析

当抽拔方向和开模方向垂直的时候，长度计算式如下：

$$L = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 = \frac{D}{2} \tan \alpha + \frac{h}{\cos \alpha} + \frac{d}{2} \tan \alpha + \frac{S}{\sin \alpha} + (10 \sim 15) \text{mm} \quad 2-21$$

式中：L——斜销的总长度 (mm)；

D——斜销固定部分大端直径 (mm)；

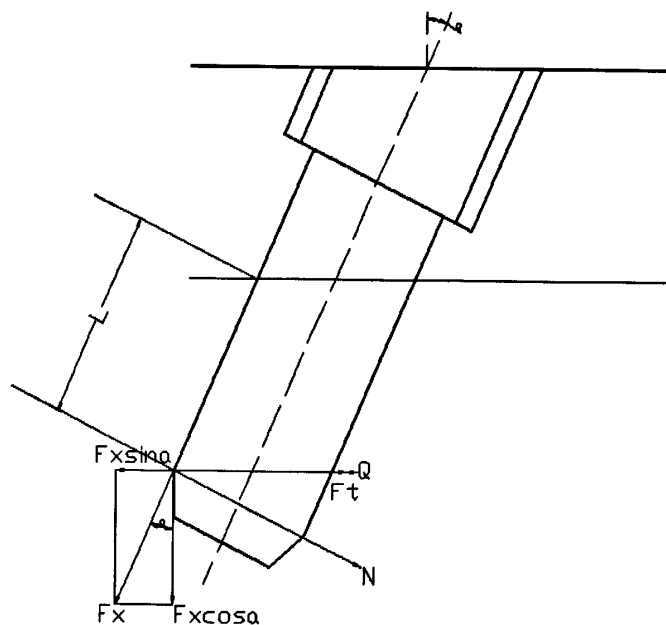
h——斜销的固定板板厚 (mm)；

d——斜销直径 (mm)；

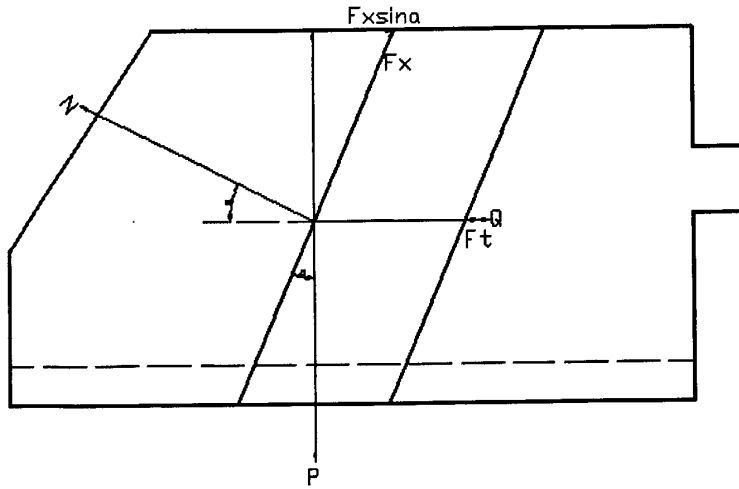
α ——斜销的斜角 ($^{\circ}$)。

其中， $\frac{S}{\sin \alpha} = l_4$ 称为斜销的有效长度。 l_5 为斜销的头部长度的，常取 10~15 mm。

完成抽拔距 S 所需的最小开模行程 $H = S \cot \alpha$ 。斜销的受力分析如下图 2—8(a)、(b) 所示。



(a)



(b)

图 2—8 斜销受力分析

Fig.2—8 Force analysis of angle pin

图 2—8 所示为当滑块运动方向与开模方向垂直的时候斜销和滑块的受力分析图。侧滑块在开模的时候受到注射机的开模力 P 的作用，这是动模上导滑槽施加于滑块的正压力。此时，斜销驱动滑块克服制品的抽拔阻力 Q 和与导滑槽接触面的摩擦力 F_t ，斜销同时与滑块上斜孔的接触表面间相互作用着法向压力 N 和摩擦阻力 F_x 。

汇交力系在直角坐标系中， $\sum F_x = 0$ 得

$$Q + F_t + F_x \sin \alpha - N \cos \alpha = 0$$

又有 $F_t = Pf'$ 和 $F_x = Nf'$

式中， f' 是滑块与斜销、滑块与导滑槽之间的摩擦系数。

带入后简化得到：

$$N = \frac{Q + Pf'}{\cos \alpha - f' \sin \alpha} \quad 2-22$$

由 $\sum F_y = 0$ 得

$$N \sin \alpha + F_x \cos \alpha - P = 0$$

带入后简化得到：

$$N = \frac{P}{f' \cos \alpha + \sin \alpha} \quad 2-23$$

联立式 2-22 和 2-23 得到:

$$P = \frac{Q(f' + \tan \alpha)}{1 - 2f' \tan \alpha - f'^2} \quad 2-24$$

再将式 2-24 代入式 2-23 中得到:

$$N = \frac{Q}{(1 - 2f' \tan \alpha - f'^2) \cos \alpha} \quad 2-25$$

对于薄壁矩形制品, 脱模力:
$$Q = \frac{8tE\varepsilon hk_f}{1 - \mu} \quad 2-26$$

式中:
$$k_f = \frac{f \cos \beta - \sin \beta}{1 + f \sin \beta \cos \beta} \quad 2-27$$

式中: t ——制品厚度 (mm);

E ——塑料的拉伸弹性模量 (MPa); PP 材料一般为 $1.6 \sim 1.7 \times 10^3$ MPa ;

ε ——塑料的平均成型收缩率; PP 材料一般取值为 0.02;

μ ——塑料的泊松比; PP 材料的泊松比取为 0.43;

h ——型芯脱模方向高度 (mm);

k_f ——脱模斜度修正系数;

β ——型芯的脱模斜度;

f ——制品与钢材表面之间的静摩擦系数。PP 的摩擦系数 $f = 0.49 \sim 0.51$ 。

斜销驱动滑块从制品中抽拔时, 法向力 N 使斜销受到力臂 L_c 的弯曲力矩, 固定端的最大弯矩: $M_{\max} = NL_c$

在危险截面上的最大弯曲应力:
$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_z} \quad 2-28$$

W_z 为斜销的抗弯截面模量,

对于圆截面,
$$W_z = \frac{\pi d^3}{32} \approx 0.1 d^3$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_z} = \frac{Nl_4}{0.1d^3} \leq \sigma_{pb} \quad 2-29$$

从而得到斜销的直径计算式: $d = \sqrt[3]{\frac{10Nl_4}{\sigma_{pb}}}$ 2-30

式中: σ_{pb} ——许用弯曲应力 (Mpa);

对于常用的模具材料, T8 钢的 σ_{pb} 为 140MPa, T10 钢的 σ_{pb} 为 155MPa。

抽拔距: $S=S_1+2$

S_1 为侧凹分开至不影响制品脱模的距离, 即侧孔深度。

完成抽拔距 S 所需的最小开模行程: $H = S \cot \alpha = 4 \text{ mm}$ 2-31

所以, 斜销的有效长度: $l_4 = \frac{S}{\sin \alpha} = 16 \text{ mm}$

取 $\beta=1^\circ$ 、 $f=0.5$, 得到 $k_f=0.476$

所以, $Q = \frac{8tE\epsilon hk_f}{1-\mu} = 855 \text{ N}$

代入式 3—5, 取 $\alpha=15^\circ$, 得到 $N=1949.7 \text{ N}$

计算得到: $d=14 \text{ mm}$, 本设计取值为 14 mm。

2.3 注射模具浇注系统的设计

2.3.1 浇注系统的设计

浇注系统的作用是将塑料熔体顺利充满到模腔的各个角落, 以获得外形清晰而内在质量优良的塑料制品。因此, 要求充模过程快而有序、压力损失小、热量散失少, 排气条件好, 并且浇注系统凝料易于和制品分离切除。浇注系统设计可分为普通浇注系统和热流道浇注系统两大类。浇注系统是指从注射机的喷嘴进入模具开始, 到型腔入口为止的那一段流道。浇注系统的作用是使来自注射模喷嘴的塑料熔体平稳的充模、压实和保压。浇注系统设计的好坏对塑料制品的性能、外观质量以及成型难易程度影响很大。浇注系统的设计内容包括: 根据塑件形状和大小进行流道布置, 决定流道的断面尺寸, 对浇口的数量、位置和形式进行优化等^[33]。

多腔模具的浇注系统由主流道、分流道、浇口和冷料穴等部分组成。本论文中所采用的结构设计为双层的热流道注射模具, 是属于热流道和冷流道相结合的

浇注系统。

(1) 主流道

主流道是指将熔融的塑料熔体从注射机的喷嘴引导至分流道为止的这一段流道。它与注射机的喷嘴在同一轴线上，物料在主流道中不改变流动方向，主流道断面形状一般为圆锥形或者圆柱形。本设计所采用的主流道为圆柱形热流道。

(2) 分流道

分流道是指从主流道末端一直到达浇口的这一段流道。一般开设在分型面上，分流道的截面形状有许多种，常见的有圆形、半圆形、梯形、U形、矩形等形状。圆形的分流道需要在动模和定模的两边同时开设流道槽，组合而成。其他断面的分流道可以直接在动模或者定模上单独开设。本设计的分流道有两级分流道，第一级分流道采用圆形热流道，第二级分流道采用圆形冷流道，属于冷、热流道相结合的形式。

(3) 浇口

浇口是将熔融的塑料熔体引入型腔的狭窄部分，是连接流道与型腔之间的一段细短通道。它是浇注系统中非常重要的部位，浇口的位置、形状和尺寸对制品的质量影响很大。

2.3.2 双层热流道注射模具浇注系统的设计

双层注射模成型技术就是在一副模具上再叠加上一层型腔生产塑料制品的技术，通常生产情况下，注射机的注射量和开模行程只使用了额定值的20%~40%，没有充分发挥出注射机的性能，而叠层式注射模具能够在几乎不增加锁模力的基础上，在一台注射机一个操作人员的条件下使产量成倍的增加，可以极大的提高生产效率和设备利用率，并能节约生产成本和人力资源。对于洗衣机控制面板，在叠层注射成型过程中，每一层均开设两个型腔，这样两层的模具开设有四个型腔，对于叠层注射模具浇注系统在设计过程中需要考虑做到四个型腔能够同时填充完毕，即做到浇注系统的平衡性。

目前，国内外注射模具的生产及应用多为单层冷流道模具，在面临大批量生产和紧急交付任务时，往往采用制作两副相同的冷流道模具的方法来达到生产目的，如果采用叠层注射模具，生产经济性将更佳。与常规模具相比，叠层模具锁模力只提高了5%~10%，但产量可以增加90%~95%，叠层注射模有两个分型面，在两块模板上的两个分型面彼此平行，两块模板上所受的合模力相等，因此模具的型腔数和每个成型周期生产的塑料制品数都是双倍的，这就极大地提高了设备利用率和生产效率，并且降低了成本。此外，由于模具制造要求基本上与常规模具相同，且将多副型腔组合在一副模具中，所以模具制造周期也大大缩短。随着

热流道技术在注射模上的应用,使许多结构复杂,甚至是形状各异,重量不同的塑料制品,用叠层热流道注射模来生产的经济性将更佳。

注射模热流道技术是通过加热的办法来保证流道和浇口的塑料始终保持熔融状态。在流道的附近或者中心设置有加热棒和加热圈,从注射机喷嘴到浇口的整个流道都处于高温状态,使流道中的塑料保持熔融,在停车后一般不需要打开流道取出凝料,再开车时只需要加热流道达到所需要的温度即可,以保证注射的正常进行,热流道注射模成型后的塑件不带浇注系统凝料,能够节省原材料,同时分流道中压力传递好,可以降低塑料成型温度和注射压力,因此,热流道技术的推广应用是推动热塑性塑料注射成型向节能、低耗、高效方向发展的强劲动力。热流道注射成型法问世于上世纪 50 年代,其应用推广虽经历了一个较长的时间,但是其市场占有率仍逐年上升,80 年代中期美国热流道模具占注射模总数的 15%~17%,欧洲为 12%~15%,日本约为 10%,但是到了 20 世纪 90 年代美国生产的塑料注射模具中热流道模具已经占了 40%以上,在大型制品的注射模具中则占 90%以上。

热流道技术的优点^{[34][35]}:

(1) 热流道技术无浇注系统凝料、能够节约原料、降低制品成本。普通的冷流道浇注系统会产生大量的浇注系统凝料,尤其是在生产小型制品时,浇注系统凝料的重量往往可能超过制品的重量,而热流道浇注系统中塑料一直处于熔融状态,制品不需要修剪浇口,减少了二次加工,基本上无废料加工,节约了大量的原材料,节省了人力。

(2) 热流道技术具有能提高产品质量、缩短生产周期、易于自动化生产等优点。采用热流道,没有凝料的反复加工和重复使用,故产品的质量可得到提高,同时,热浇口利于压力的传递,减小了塑件内应力(增加了产品的刚度与强度),在一定程度上能够克服塑件由于补料不足而形成的凹陷、缩孔、变形等缺陷,从而提高了产品的质量;采用热流道注射省去了取出浇注系统凝料的工作,在操作上与普通流道相比,缩短了开合模行程,不仅制件的脱模和成型周期缩短,而且有利于实现自动化生产,由于采用热流道,省去了去除料把、二次加工等后续工序因而可以实现自动化生产。据统计,与普通流道相比,改用热流道后的成型周期一般可缩短 30%。

(3) 使用树脂范围广,成型条件设定方便。由于热流道温控系统技术的完善及发展,现在的热流道技术可加工的材料范围更加广泛,不仅可以用于聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP),也能用于加工一些热敏性塑料,聚氯乙烯(PVC)、聚甲醛(POM)等,对于易产生流涎的聚氨酯(PA),通过选用阀式热喷嘴也能实现热流道成型。

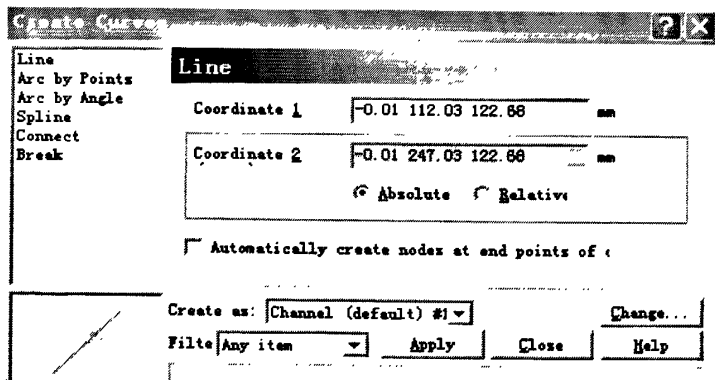
如果将热流道技术与叠层式模具相结合, 仅需增加少量的模具成本却能成倍地增加产量和实现高效自动化, 故叠层热流道注射模成型技术的应用和发展日益受到人们的关注。

2.3.2.1 双层热流道模具浇注系统截面尺寸的确定

许多种热塑性塑料熔体的流变行为实验表明, 在剪切速率 $\gamma \sim 10^3 s^{-1}$ 时, 塑料熔体的分子量、温度、剪切速率、剪切应力以及温度等对其黏度和松弛性质没有多大的影响。如果使注射成型过程在此剪切速率范围内进行, 这样得到的热塑性塑料制品的内应力和各相异性等力学性能均为最小。这种剪切速率不仅能够满足多种热塑性塑料在注塑机上以足够的体积流率进行注射成型, 而且还可以保证充模过程处于等温状态。

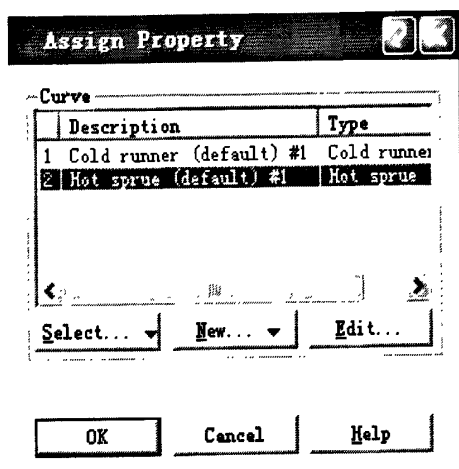
有人对 30 多种在工业上使用较为合理的注塑模, 根据所使用的注塑机的技术规格做了多种塑料流体的充模计算。结果表明, 主流道和分流道的剪切速率 $\gamma \sim 5 \times 10^2 \sim 5 \times 10^3 s^{-1}$, 浇口的剪切速率 $\gamma \sim 10^4 \sim 10^5 s^{-1}$, 且在此场合熔体接近于等温流动。由此可知, 就一般热塑性塑料或绝大多数聚合物的注射成型而言, 上述剪切速率可作为设计模具浇注系统的依据^[36]。

如图 2—9 所示为在 Moldflow 中流道设计过程图。首先选择用来创建热流道的两个端点的节点, 在 Create Curves 窗口中会显示相应的两个节点的对应坐标值, 分别如下图的 Coordinate 1 以及 Coordinate 2, 同时点击 Create as 后面的 Change, 在此选择创建的流道类型为热流道, 在打开的 Assign Property 对话框中单击 New 按钮会显示出各种流道类型, 从中选择 Hot Sprue, 即选择创建热流道。同理, 在创建分流道时选择 Hot Runner 或者 Cold Runner 即可。单击 Edit 按钮可以在打开的对话框中对流道尺寸进行设置。



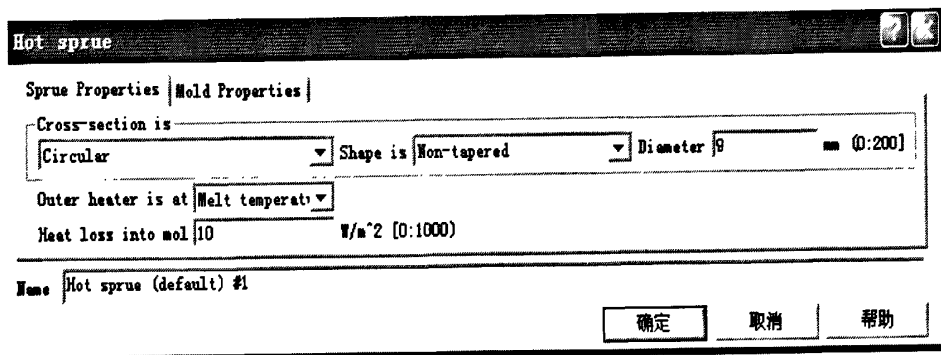
(a) 选择节点

(a) Select nodes



(b) 确定属性

(b) Assign property



(c) 尺寸设置

(c) Assign diameter

图 2—9 热流道创建

Fig.2—9 Create hot runner

对于洗衣机控制面板的注射成型，选用了三种不同浇口填充的方案，分别为：单点浇口、两点浇口和三点浇口。如图 2—10 所示为设计的洗衣机控制面板浇注系统流道图。本章节仅对浇注系统的尺寸计算进行论述，对于三种浇口方案填充的不同点将在下一章中通过 Moldflow 的分析做详细的论述。本次注射成型的洗衣机控制面板成型所需要的塑料材料以及浇注系统中占有的材料总共大约为 1140 cm^3 ，注射时间为 5s。由此得到熔体通过主流道的体积流量为 $228 \text{ cm}^3/\text{s}$ 。

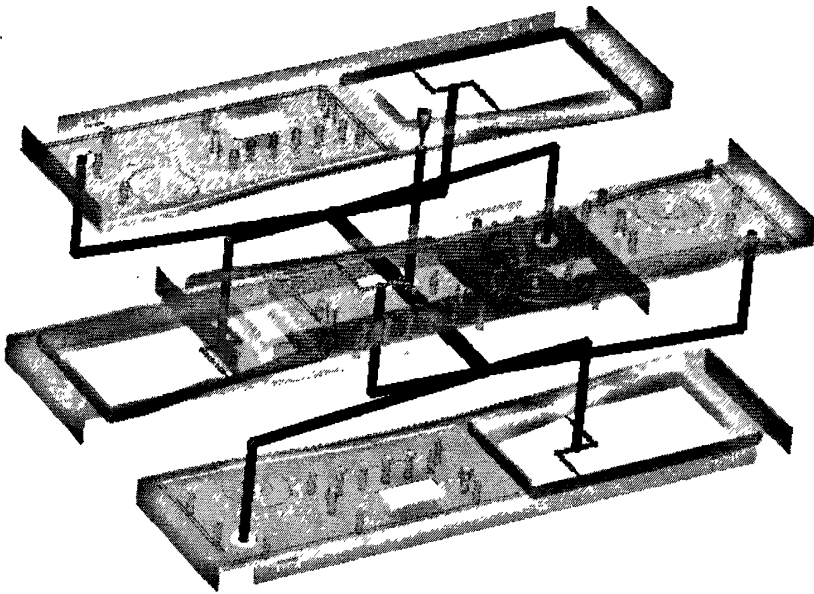


图 2—10 流道图

Fig.2—10 Mold runners

通过主流道的体积流量 $Q_s = 228 \text{ cm}^3/\text{s}$ 。主流道直径：

$$d_s = 0.2 \left[\left(\frac{3n+1}{n} \right) \cdot \frac{Q}{5\pi} \right]^{\frac{1}{3}} = 0.08 \left[\left(\frac{3n+1}{n} \right) \cdot Q \right]^{\frac{1}{3}} \quad 2-32$$

式中： Q ——塑料流体的体积流率 (cm^3/s)；由塑件的体积和注塑时间确定。

n ——熔体的非牛顿指数。其具体数值查表 2—6。

表 2-6 聚合物幂律参数^[37]

Tab.2—6 The polymer power parameter

名称	温度/°C	$\gamma \sim 10^2 \sim 10^3 \text{ s}^{-1}$		$\gamma \sim 10^3 \sim 10^4 \text{ s}^{-1}$		$\gamma \sim 10^4 \sim 10^5 \text{ s}^{-1}$	
		n	$K'/10^4$	n	$K'/10^4$	n	$K'/10^4$
PP/EPDM	220	0.36	0.84	0.30	1.26	0.20	3.20
	240	0.38	0.64	0.32	0.97	0.24	2.67
	260	0.39	0.53	0.34	0.74	0.26	2.25

$$\text{得: } d_s = 0.08 \left[\left(\frac{3n+1}{n} \right) \cdot Q \right]^{\frac{1}{3}} = 0.08 \left[\left(\frac{3 \times 0.24 + 1}{0.24} \right) \times 288 \right]^{\frac{1}{3}} = 9 \text{ mm}$$

对于单个点浇口的情况:

$$\text{流过每一分流道的体积流量: } Q_1 = \frac{1}{4} Q_s = 57 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$\text{分流道直径: } d_1 = 0.172 \left[\left(\frac{3n+1}{n} \right) \cdot Q_1 \right]^{\frac{1}{3}} = 11.2 \text{ mm}$$

$$\text{点浇口的直径: } d_{G1} = 0.0294 \left[\left(\frac{3n+1}{n} \right) Q_G \right]^{\frac{1}{3}} = 2 \text{ mm}$$

同理, 对于两个浇口的情况:

$$\text{流过第一级分流道的体积流量为: } Q_1' = \frac{1}{2} Q_s = 114 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$\text{流过第二级分流道的体积流量为: } Q_1'' = \frac{1}{4} Q_1' = \frac{1}{4} \times \frac{1}{2} Q_s = 57 \text{ cm}^3/\text{s}$$

所以,

$$\text{第一级分流道的直径: } d_1' = 14 \text{ mm}$$

$$\text{第二级分流道的直径: } d_1'' = 8.9 \text{ mm}$$

$$\text{浇口的直径: } d_{G1} = 1.6 \text{ mm}$$

对于三个浇口的情况:

$$\text{流过主流道的体积流量: } Q_s = 228 \text{ cm}^3/\text{s}.$$

$$\text{流过第一级分流道的体积流量: } Q_{R1} = \frac{1}{2} Q_s$$

$$\text{流过第二级分流道的体积流量: } Q_{R2} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{4} Q_s$$

$$\text{所以, 得到主流道直径 } d_s = 0.2 \left[\left(\frac{3n+1}{n} \right) \cdot \frac{Q}{5\pi} \right]^{\frac{1}{3}} = 0.08 \left[\left(\frac{3n+1}{n} \right) \cdot Q \right]^{\frac{1}{3}} = 9 \text{ mm}$$

$$\text{第一级分流道的直径: } d_{R1} = 0.172 \left[\left(\frac{3n+1}{n} \right) \cdot Q_{R1} \right]^{\frac{1}{3}} = 14 \text{ mm}$$

$$\text{第二级分流道的直径: } d_{R2} = 0.172 \left[\left(\frac{3n+1}{n} \right) \cdot Q_{R2} \right]^{\frac{1}{3}} = 9 \text{ mm}$$

$$\text{冷流道直径: } d = \frac{\sqrt{W} \cdot \sqrt[4]{L}}{3.7}$$

2—32

式中: W ——流经该分流道的熔体重量 (g);

L ——流过 W 熔体的分流道的长度 (mm) [38]。

$W=42.1\text{g}$, $L=34\text{mm}$,

代入数值得到: $d=4\text{mm}$,

浇口直径: $d_{G1}=1\text{mm}$ 、 $d_{G2}=1.6\text{mm}$

2.3.2.2 充模压力的校核

理论分析与实验证明,在设计注塑模具时,当浇注系统尺寸初步确定后,须对整个熔体输送通道的压力损失进行估算,以预测所设计的浇注系统的可行性。注塑成型的充模力是各个工艺参数的综合反映,对注塑成型及其制品质量具有决定性影响,并且充模力还是模具设计力学性能校核的基本依据。

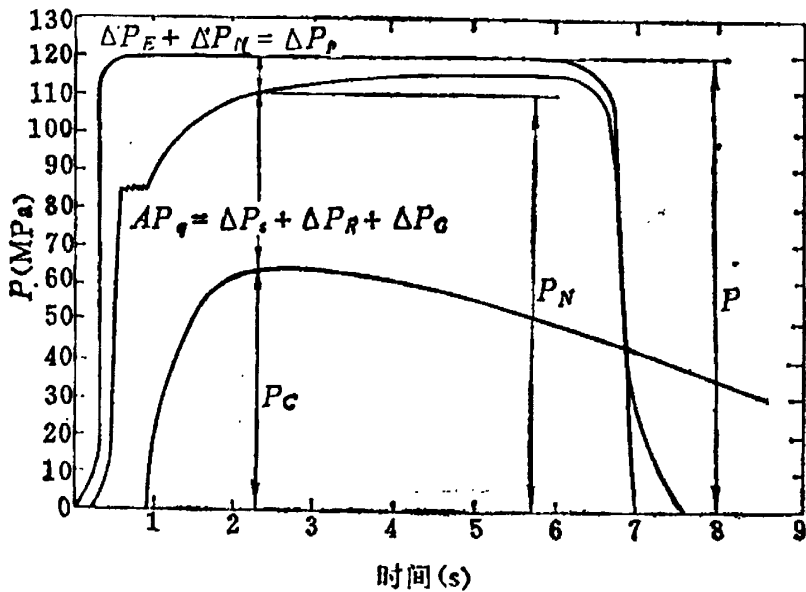


图 2—11 注塑成型周期压降分布图 [39]

Fig.2—11 Drop of pressure during injection cycle

上图 2—11 所示为注塑成型周期压降分布图,由图 2—11 可知型腔压力 p_c 远小于注塑压力 p 。这是由于塑料熔体流经注塑机喷嘴和模具浇注系统的压力损失所造成的。若以 Δp_p 和 Δp_q 分别表示熔体流经注塑机锥形端盖和喷嘴,以及模具流道系统所引起的压力降,则注塑模的充模力可表示为

$$p_c = p - (\Delta p_p + \Delta p_Q)$$

$$\Delta p_p = \Delta p_E + \Delta p_N$$

$$\Delta p_Q = \Delta p_S + \Delta p_R + \Delta p_G \quad 2-33$$

对于选定的注射机来说, 当物料为已知时, Δp_p 基本为常数。其值由 Δp_E 和 Δp_N 决定。

式中: p_c ——型腔压力 (MPa);

p ——注射压力 (MPa), $p = p_i \frac{D^2}{d^2}$

p_i ——注射机液压系统表压 (MPa);

D ——注射机液压缸活塞直径 (cm);

d ——注塑机柱塞或螺杆直径 (cm);

Δp_p ——熔体经过注射机喷嘴的压力降 (MPa);

Δp_Q ——熔体流经浇注系统的压力降 (MPa);

Δp_E ——螺杆头与喷嘴入口之间 (截圆锥通道) 熔体发生剪切流动所引的压降 (略去拉伸流动压降), MPa; 其值为:

$$\Delta p_E = \left(\frac{4}{\pi}\right)^n \cdot \frac{2K'Q^n L}{3n(R_S - R_N)} (R_N^{-3n} - R_S^{-3n})$$

Δp_N ——熔体流经注塑机喷嘴时所产生的压降, MPa。当喷嘴为圆孔形时, 其值为:

$$\Delta p_N = \left(\frac{4}{\pi}\right)^n \cdot \frac{2K'Q^n L}{R_N^{3n+1}}$$

式 2-33 表示由初步确定的浇注 (流道) 系统尺寸以及与聚合物幂律参数有关的流动所应产生的总压降。其值分别由 Δp_S 、 Δp_R 和 Δp_G 所决定。

Δp_S 为熔体流经主流道及其分支与转向所产生的压力降 (MPa), 其值为:

$$\Delta p_s = \left(\frac{4}{\pi}\right)^n \cdot \frac{2K'Q^n(L+L_s)}{R^{3n+1}} \quad (\text{圆筒形主流道})$$

Δp_R 为熔体流经第一分流道及改向和流经第二分流道所引起的压力降 (Mpa), 其值视第一分流道截面形状不同, 分别为:

$$\Delta p_R = 2 \left(\frac{4}{\pi}\right)^n K' Q_R^n \left[\frac{(L_1 - L_R)}{R^{3n+1}} + \frac{L_2 (R_2^{-3n} - R_1^{-3n})}{3n(R_1 - R_2)} \right] \quad (\text{圆形截面})$$

Δp_G 为熔体流经浇口的压力损失。根据浇口的不同类型, 其值为:

$$\Delta p_G = \left(\frac{4}{\pi}\right)^n \frac{2K'Q_G L}{R_G^{3n+1}} \quad (\text{点浇口})$$

式中: n ——塑料熔体的非牛顿指数, 见表 2—6;

R_s ——注塑机螺杆半径 (cm);

R_N ——注塑机喷嘴内半径 (cm);

K' ——熔体剪切黏度系数;

Q ——熔体体积流量 (cm^3/s);

L ——熔体流道长度 (cm);

L_1 ——第一分流道长度 (cm);

L_2 ——第二分流道长度 (cm);

R_1 ——熔体流道大端半径 (cm);

R_2 ——熔体流道小端半径 (cm);

L_s ——主流道分支及改向的当量长度 (cm), 见下表 2—7;

L_R ——主流道分支及改向的当量长度 (cm), 见下表 2—7;

表 2-7 熔体流道改向当量直径值^[40]

Tab.2—7 Fused mass runners valent weight

当量值	两分支+90°改向	90°改向	双分支<45°	四分支+90°改向
$L_s、L_R$	$3d_e$	$2d_e$	d_e	$5d_e$

d_e ——熔体流道的当量直径 (cm)。

若不计流道拐弯和截面变化所引起的局部压力损失, 则熔体流经该浇注系统所产生的压力损失为上述各项之和。

$$\text{即 } \Delta p = 25.2 \text{ MPa}$$

今设定模腔所需成型压力 $p_c = 40 \text{ MPa}$, 则成型该制品所需的注射压力至少为:

$$p = \Delta p + p_c = 65.2 \text{ MPa}$$

由于所选用注塑机的最大注塑压力为 150 MPa。所以按照上述方法设计的双层注射模具的浇注系统是可行的。实际生产操作的注射压力为 60~90 MPa。这样的注射压力必能保证充模力的要求。

2.3.2.3 热流道板设计

(1) 热流道板加热功率计算

采用由一个中心主喷嘴将浇注系统延伸到模具中间部分的热流道板, 再由热喷嘴将熔料注入模具型腔。将热流道板设计成 H 型, 由一个中心主流道将熔料引入热流道板, 再由分流道引入到各个型腔中, 完成注射。热流道浇注系统如图 2—10 所示。热流道对于热流道浇注系统尺寸的设计计算在第二章中已做了详细的计算说明。

热流道板加热器的功率是指一定时间内热流道板从室温加热升温至塑料熔体注射温度所需的功率。当热流道板达到给定温度时, 由温度调节器自动控制, 补偿热损失功率, 维持热流道温度的恒定。加热流道板所需功率要考虑到一下两个方面, 一是达到设置注射温度所需电功率; 二是补充热流道板的由于热传导、对流和辐射而损失的热功率。热流道加热功率的计算: 热流道板从室温加热到所需温度的加热功率:

$$W = \frac{0.115GT}{860\tau\eta}$$

式中: W ——加热功率, kW;

T ——热流道板所需升温的温度(热流道板温度减去室温), $^{\circ}\text{C}$;

G ——热流道板的重量, kg;

τ ——升温时间, h(习惯上大型模具以 $\tau=1\text{h}$, 中小型模具以 $\tau=0.5\text{h}$ 为准);

η ——热效率, 一般为 0.2~0.3。

热流道板在升温过程中不断的有热量损失, 热流道板通过对流和辐射引起热损失, 当热流道板温度在 200~300 $^{\circ}\text{C}$ 范围时, 由热辐射损失的热功率 W_1 (W):

$$W_1 = (0.00302T_m - 0.356) \times A \times \delta$$

由对流造成的热损失为 W_2 (W):

$$W_2 = (0.00079T_m - 0.043) \times A$$

热流道板要与支撑物总的传导热损失功率 W_3 (W):

$$W_3 = \sum \frac{A\Delta T\lambda}{l}$$

式中: T_m ——模具的工作温度, $^{\circ}\text{C}$;

δ ——表面辐射率(一般钢为 0.75, 铝为 0.11);

A ——热流道板的表面积, cm^2 ;

a ——支撑物的表面积, cm^2 ;

ΔT ——热流道板与模具的温度差, $^{\circ}\text{C}$;

l ——支撑物的高度, cm;

λ ——支撑物的导热系数, $\text{W}/\text{cm}\cdot\text{K}$; 中碳钢为 0.5366, 不锈钢为 0.1624。

所以, 热流道板的损失热功率为: $W' = W_1 + W_2 + W_3$

热流道板所需的总功率: $\sum W = (W + W' \times 10^{-3}) \times k$, 其中 k 为安全系数, 一般取为 1.1。

在本文所设计的洗衣机控制面板注射模具中, 热流道板的表面积 $A=2393\text{cm}^2$, 热流道板的总重量 $G=60\text{kg}$, 热流道板所需升温的温度 $T=210^{\circ}\text{C}$, 模具的工作温度 $T_m=230^{\circ}\text{C}$, 热流道板与模具的温度差 $\Delta T=180^{\circ}\text{C}$, 支撑物的高度 $l=1\text{cm}$ 。经过计算得到所需加热功率为 12kW。

(2) 热流道板结构设计

热流道的流道板是整个热流道系统的中心部件, 它的作用是将主流道喷嘴传输来的塑料熔体经流道平衡的输送到各个注射点的喷嘴里面。热流道板的加热形

式基本上有内加热式和外加热式两种形式。外加热的方式是将加热元件装在流道外对流道板加热，由于外加热方式制造简单，安装方便，故在实际生产中最常见的加热方式还是外加热式，外加热式使用的加热方法有电热棒和电热管两种，电热管是可以弯曲的电热管。在本文中设计了管状电热管对热流道板进行加热，电热管的布置形式如图 2—12 所示。

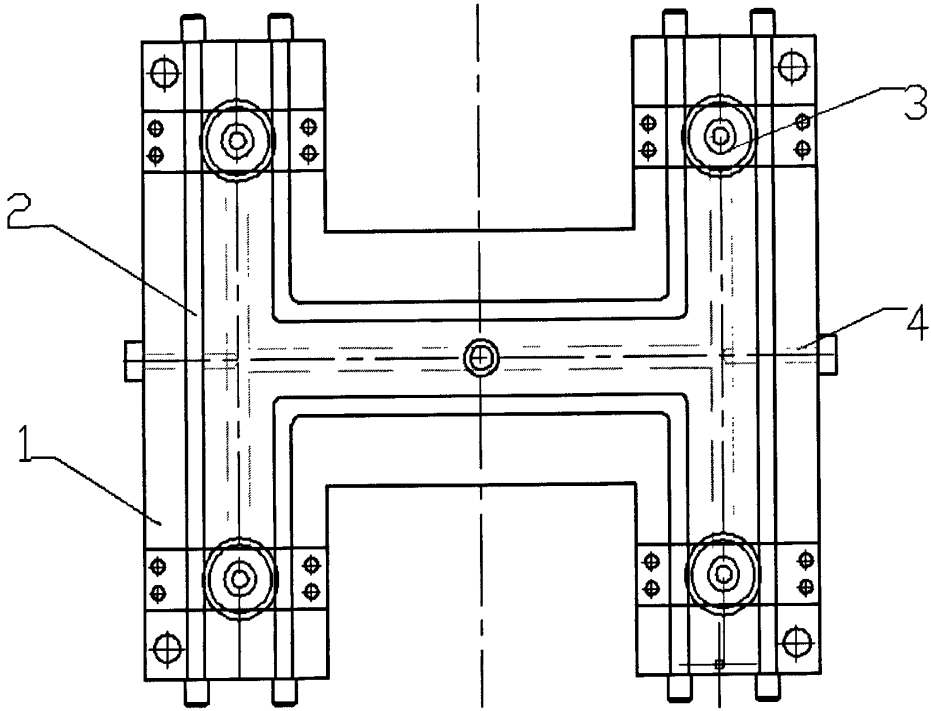


图 2—12 热流道板

Fig.2—12 Hot runner plate

1—主板；2—加热管；3—热喷嘴；4—热电偶

2.3.2.4 总体设计方案

洗衣机控制面板的整体模具设计采用 2×4 的热流道双层模具，有两个分型面，如下图 2—13 所示。本文中设计的双层模具主要由动模部分、定模部分和中间部分组成，中间部分主要由热流道板、喷嘴和型腔板组成，热流道板由于型腔板之间采用垫块隔开，定模部分和动模部分结构类似，均设置顶杆固定板，采用顶杆顶出机构。本设计中采用齿轮齿条开模机构来实现两个分型面的同时打开，而动模侧制件的顶出采用注射机的顶出机构驱动顶杆顶出制件，定模侧由液压缸驱动顶出机构实现制件的顶出。由于洗衣机控制面板的侧面需要成型小孔，所以对于侧孔的成型设计了侧向分型抽芯机构，采用斜导柱与滑块实现侧向分型，在滑块的移动板上设计燕尾槽导滑。开模过程中，在斜导柱的作用下滑块侧向移动实现侧线侧向分型。

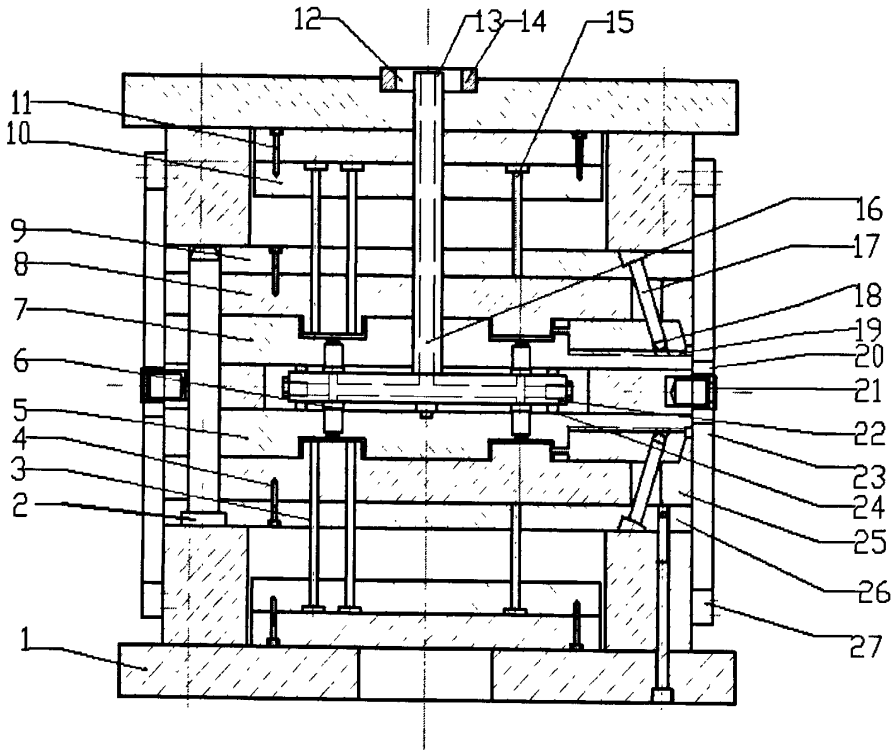


图 2-13 模具总装图

Fig.2-13 The whole schedule drawing

1-动模底板; 2-导柱; 3-顶杆; 4-连接螺钉; 5-动模型腔板; 6-喷嘴; 7-定模型腔板; 8-定模型芯板; 9-定模型芯固定板; 10-顶杆固定板; 11-顶板; 12-浇口衬套; 13-外加热圈; 14-定位圈; 15-复位杆; 16-主流道; 17-斜导柱; 18-滑块; 19-导滑槽; 20-齿轮; 21-齿轮固定轴; 22-热流道板; 23-齿条; 24-隔热垫块; 25-动模型芯板; 26-动模型芯固定板; 27-螺钉

2.4 本章小结

本章主要根据注射模制件以及模具设计注意事项,对制件的结构使用要求进行了分析,对洗衣机控制面板进行了相关的设计计算,包括分型面的选择、设计,论述了一模两腔的双层型腔的布置形式,对成型零部件的尺寸计算进行了详细的说明。同时在模具结构方面,设计了侧向分型抽芯机构,并对侧抽机构进行了受力分析和尺寸计算。同时,对双层模具的浇注系统的流变参量进行了设计计算,主要包括主流道,以及各级分流道和浇口截面尺寸的计算,对充模压力进行了校核。对洗衣进控制面板注射成型的模具进行了 CAD 二维设计,同时对热流道板的加热功率进行了计算,对热流道板进行了相关的结构设计。

3 基于 Moldflow 的双层热流道注射模具 CAE 分析

3.1 注射模 CAE 分析

传统注塑模具的设计主要是依靠模具设计人员的经验,因此模具往往需要经过反复的试模和修正才能正式投入生产。如果模具设计不合理则可能在塑件表面出现熔接缝、填充不足、表面烧伤、翘曲、缩痕以及残余应力等缺陷,并且一旦模具制造完成后发现上述缺陷,再回头对模具进行维修常常会非常麻烦,并且会拖延模具的交货日期,严重时甚至造成模具报废。解决这一问题的关键在于注塑模的设计及成型工艺参数的确定以科学分析为基础,目前,CAE 技术作为塑料模具设计的重要辅助手段已经被广泛的接受,并逐渐引起重视。目前诸多行业领域都会用到 CAE 技术。

CAE 是 Computer Aided Engineering (计算机辅助工程)的缩写,注射模具设计 CAE 技术的基本思想是将一项模具设计或成型加工作为第一步,然后根据预先确定的方法对这一特定的设计进行模拟或描述,对输入的条件和模具进行评价,通过反复修改,得到一个成功的设计方案,该方案是代表计算机快速准确的计算与设计者经验的完美结合。注塑成型 CAE 技术主要由 3 个部分组成:(1)根据连续介质力学、塑料加工流变学、传热学基本理论建立型腔内熔体流动、传热的数学模型;(2)根据成型过程中压力场、温度场、速度场等的分布,运用数值计算理论建立定量求解方法;(3)依据上述模型与计算方法,运用计算机图形学,在计算机屏幕上形象、直观地显示出实际成型中熔体的动态充填冷却过程。其中,建立可靠的数学模型及与之对应的数值计算方法是该技术的核心。

在塑胶行业中, Moldflow 作为最具代表性的注塑模 CAE 分析软件,使设计人员在设计过程中能够有目的地修正设计方案,使工程技术人员在模具加工前即可在计算机上完成“试模”工作,预测成型过程中工艺参数对制品外观和性能的影响,从而能够找出最佳的成型参数。这样借助于注射模 CAE 系统后就可以比较正确的设计注射模具,避免反复试模和修模,并能够大大的节约模具制造费用、提高模具与产品的质量 and 缩短模具制造的周期等等。CAE 与 CAD、CAM 一起,已经成为企业提升自身市场竞争力和争取更大利润空间的必备工具。

3.2 Moldflow 软件及其功能简介

Moldflow 软件作为一款优秀的注射模 CAE 软件,本文主要使用的是 MPI5.0

版本, **Moldflow** 软件主要用来为用户提供设计分析解决问题的方案和制造解决方案。其中设计分析解决方案应用最为广泛, 包括 **Moldflow Plastics Advisers(MPA)**、**Moldflow Plastics Insight(MPI)**和 **CAD Connectivity Tools**。**Moldflow Plastics Insight(MPI)**解决方案可以对塑料产品和模具进行了深入的分析, 可以在计算机上对整个注塑过程进行模拟分析, 可以模拟热塑性塑料注射成型过程中的填充、保压以及冷却阶段, 还能预测出制品成型后的缺陷, 如制品翘曲变形等, 甚至能够分析纤维填充材料的流动情况, 预测纤维的取向, 并在预测产品翘曲时加以考虑。使模具设计师在设计阶段就找出未来产品可能存在的缺陷, 提高了一次试模的成功率。本研究采用 **Moldflow** 软件对洗衣机控制面板这种薄壁产品的注射成型过程进行了动态模拟, 为该制品的模具设计及注塑工艺参数的确定提供了理论依据, 从而改善了制品的成型质量^{[41][42]}。

MPI 主要模块有:

(1) **MPI/Gate Location**

系统自动分析出最佳浇口位置。如果模型需要设置多个浇口时, 可以对模型进行多次浇口位置分析。当模型已经存在一个或者多个浇口时候, 可以进行浇口位置分析, 系统会自动分析出附加浇口的最佳位置。

(2) **MPI/Flow**

MPI/Flow 分析聚合物熔体在模具中的流动, 从而优化模具的布局、材料的选择、填充和保压的工艺参数。使用 **MPI/Flow** 可以帮助我们确定合理的浇口、流道数目和位置、平衡流道系统和评估工艺条件以获得最佳保压阶段设置来提供一个健全的成型窗口, 能够预测注射压力、锁模力和熔料流动前沿温度、熔合线和气穴可能出现的位置, 以及填充时间、压力、温度分布, 并确定和更正潜在的制品收缩与翘曲变形等质量缺陷。可以在产品允许的强度范围和合理的充模情况下, 增减塑件的壁厚, 把熔接痕和气穴调整到结构和外观允许的位置, 并且定出一个范围较宽的工艺窗口。

(3) **MPI/Fusion**

MPI/Fusion 是处理 **CAD** 实体模型的最方便的方法, 用于进行深度填充、保压、优化、冷却和翘曲模拟, 从而减少准备模型所需的时间。在使用 **MPI** 模拟模块进行热固性注塑成型时, 也可以充分利用 **MPI/Fusion**。通过使用 **MPI/Fusion**, 可以改进零件和模具设计, 确定材料和工艺条件, 从而在质量、成本和时间上获得最佳平衡。

(4) **MPI/3D**

MPI/3D 技术可以解决以前传统的有限元方法无法解决的一类问题。在厚壁零件中, 熔化的塑料可以向各个方向流动。**MPI/3D** 解决方案通过使用基于实体

四面体的有限元网络技术, 在非常厚的零件上执行真正三维模拟。

(5) MPI/Synergy

MPI/Synergy 是一个前置和后置处理器, 支持 Moldflow Plastics Insight 产品系列的所有分析模块。MPI/Synergy 环境支持传统的中平面模型, 基于 Moldflow 获得专利的 Dual Domain 技术的 MPI/Fusion 模型和 3D 实体模型, 提供所有必需的功能, 包括建模、划分网格、网络编辑、模型验证、作业设置、作业控制结果可视化和基于 Windows 的环境中生成报告。

(6) MPI/Cool

MPI/Cool 分析冷却系统对流动过程的影响, 优化冷却水道的布局和工作条件。MPI/Cool 和 MPI/Flow 相结合, 可以模拟完整的动态注射过程。完成冷却水道的设计, 使塑件冷却均匀。并由此缩短冷却周期, 减少产品成型后的内应力和翘曲分析。

3.3 制件在注射成型过程中出现的质量缺陷

通过合理的运用 Moldflow 软件, 可以预先估计出设计好的注塑制品及其模具中可能存在的缺陷, 同时结合实际生产经验, 就可以在开模之前分析缺陷出现的原因, 并最终解决这些问题, 从而减少试模、修模的次数, 提高一次试模成功率。

洗衣机控制面板在注射成型过程中可能会产生一些缺陷, 这些缺陷大致可以分为以下几种。

(1) 欠注

欠注 (Short Shot) 也可以称为填充不足或者短射, 是指聚合物不能完全充满模具型腔的各个角落的现象。产生欠注的原因主要是因为注塑设备选用不当、聚合物流动性能较差、浇注系统设计不合理、料温和模温太低、注射压力和保压不足等。

(2) 溢料

溢料 (Flashing) 也称为飞边, 当熔融的塑料熔体进入模具的分型面, 或者进入与滑块相接处的面及模具其他零件的空隙内时就会发生溢料现象。溢料现象产生的主要原因是因为锁模力太低、注塑工艺不当或者模具本身的问题。

(3) 凹陷及缩痕

凹陷及缩痕 (Sink Mark) 是指注塑制品表面产生凹坑、陷窝或者是收缩痕迹的现象。凹陷及缩痕是熔体冷却固化时体积收缩而产生的, 它容易发生在制品厚壁的部分或者加强筋和凸台的背面, 以及直浇口的背面壁厚不同的部分。

(4) 气穴

气穴 (Air Trap) 也称作气泡或者气孔, 它是在成型制品内部所形成的空隙。气穴经常导致填充不完全或者保压不充分, 并且使最终的制件表面出现瑕疵, 甚至由于气体压缩、温度上升而出现焦痕。气穴的形式大致有两种, 按其成型原因可以分为: 由于排气不良等原因造成熔体中的水分或者挥发成分被封闭在成型材料中所形成的气泡; 以及由于熔体冷却固化时体积收缩产生在制品厚壁或者加强筋、凸台等壁厚不均匀处的气泡。

(5) 熔接痕

熔接痕 (Weld Line) 属于产品外观质量缺陷, 它是产品在注射成型过程中两股以上的熔融的塑料流相汇合而形成的细线状缺陷。熔体流动性不足, 料温较低、模具设计缺陷、塑料制品结构设计不合理、模具排气不良以及脱模剂使用不当等都会引起注射成型过程中熔接痕的产生。

(6) 翘曲

翘曲 (Warpage) 是脱模后产生的制品变形, 是制品内部应力的变化而导致的收缩变形。产生翘曲的主要原因有: 制件冷却不合理, 使制件在不同时刻收缩, 从而产生内应力导致制件翘曲变形; 成型条件设置不合理, 在注射过程中, 注射压力过低、注射速度过慢、保压时间不够、熔体塑化不均匀等导致制件翘曲变形; 注塑材料不合理, 结晶性树脂 (如聚甲醛、聚丙烯、聚乙烯等) 比非结晶性树脂 (聚氯乙烯、聚苯乙烯、ABS 树脂等) 的变形大。

(7) 裂纹

裂纹 (Cracking) 是指在成型制品表面出现的头发丝状的小裂纹和小裂痕, 裂纹的存在会缩短制件的使用寿命, 影响制件的外观, 甚至导致制件不可使用。裂纹的产生原因主要是: 制件某区域残余应力过高、熔接痕的存在导致该区域结构变的相对薄弱、外力导致残余应力集中、塑件结构设计不合理。

从以上可以看出, 注射成型过程中产品出现的缺陷有各种各样的原因, 从材料、模具、工艺参数到成型设备等都对制品的质量有着直接或间接的影响, 出现产品缺陷概括起来一般有以下一些因素:

- 产品设计中存在问题;
- 模具设计不合理;
- 成型工艺参数选择不当;
- 材料 (聚合物) 性质本身造成的产品缺陷;
- 注塑成型设备选择不当。

这些缺陷中的一些可以通过不断的修整网格、提高网格划分的质量来得到改善, 另一些可以通过改变注射过程的工艺参数或者改善设计方案得到改善。本文

利用 Moldflow 软件对洗衣机控制面板的叠层热流道注塑模具进行分析、模拟，最终得出较为合理的注塑成型方法，提高产品质量以及生产效率。

3.4 Moldflow 分析前处理

Moldflow 分析的前处理过程中，主要包括以下内容，它们与 MPI 中的 Study Tasks 窗口中的内容相对应，如图 3—1 所示。

- 项目的创建以及模型的导入；
- 被分析对象的网格划分及修改；
- 设置分析类型及分析顺序；
- 选择注塑产品的材料；
- 创建浇注系统并对其进行网格划分，同时设置进浇位置；
- 设置注塑过程工艺参数。

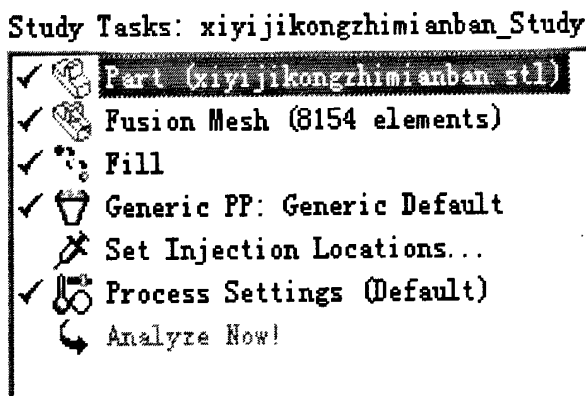


图 3—1 Study Tasks 窗口

Fig.3—1 Study Tasks windows

• 3.4.1 模型准备、项目的创建以及模型的导入

导入产品模型是 Moldflow 分析的第一个步骤，在导入模型之前，首先需要创建一个 Moldflow 可以识别的文件，在 Moldflow 软件导入的产品模型文件当中，以 STL、IGS、STP 三种为最常用。对于产品模型的准备，可以在 Pro/E 中使用“另存为”功能，将文件另存为 STL 格式。

在 Moldflow 的分析过程中，首先需要创建一个项目，用于包含整个分析过程。项目创建完成后在项目管理视窗中可以看到新建项目名称，接着导入被分析的产品

在 Project View 中右击 Project ' xiyijikongzhimianban '，在弹出的快捷菜单中选择 Import 命令，或者执行文件 File→Import 命令，如下图 3—2 所示，在对话

框中进行相关设置即完成模型的导入。

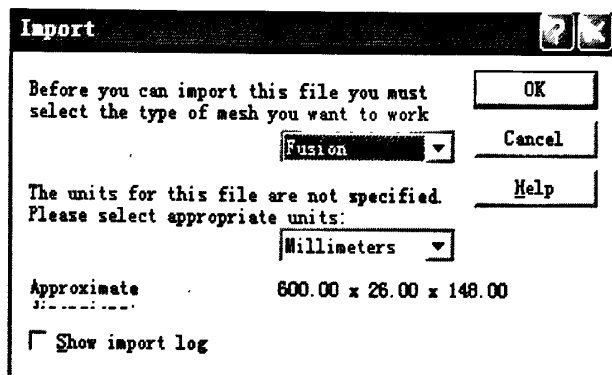


图 3—2 “模型导入选项设置”对话框

Fig.3—2 “Import setting” dialogue

3.4.2 模型的网格划分

Moldflow 网格划分是确保完成分析的重要的步骤之一，良好的网格划分，会大大降低网格前期处理和后期系统计算分析的时间，并且能够提高分析结果的精确性。Moldflow 软件自身带有强大的有限元网格自动划分功能，能够根据用户输入的网格的边长值，将导入的产品的模型划分为可供分析使用的网格模型^[43]。

在进行网格划分之前，首先需要导入产品模型，当完成模型的导入之后，会出现如下图 3—3 所示的窗口界面。

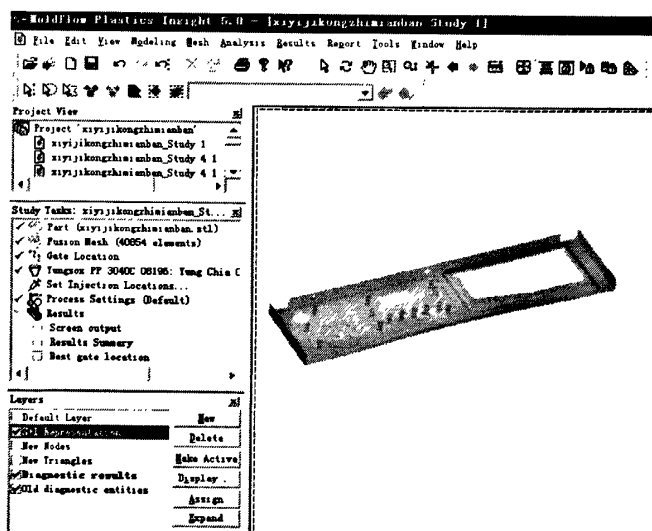


图 3—3 窗口界面

Fig.3—3 Windows interface

执行 Mesh (网格) → Generate Mesh (生成网格) 命令，或者双击 Study Tasks (任务视窗面板) 中的 Create Mesh (创建网格) 命令，会弹出“生成网格”对话框

框。在高级选项中如图 3—4 所示，在 Global edge length 选项中设定网格的初始边长值，单击 Generate Mesh 即可进行网格的划分，Global edge length 选项中的初始值为系统自动推荐的数值，这个数值越小，划分出来的网格就会越密，网格数相应的越多，相应的分析结果也更加准确，但是对于大件模型来说，过密的网格划分需要很长的分析计算时间，所以此值通常可以选所使用的分析模型的平均厚度的 1.5~2 倍。单击 Preview 按钮可以预览网格密度情况。

设置完成后单击对话框右上角的 Generate Mesh 按钮，Moldflow 会自动划分网格。网格划分完毕后，接下来需要对划分完的网格进行诊断和修改。

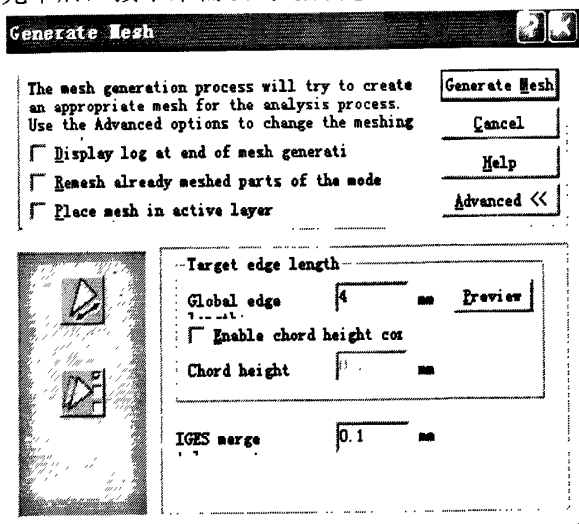


图 3—4 “生成网格”对话框

Fig.3—4 “Generate mesh”dialogue

3.4.3 网格缺陷的诊断及修复

Moldflow 划分完网格后，需要对网格进行诊断，模型网格质量的好坏直接影响到分析结果的准确性。网格划分完成后，部分网格单元会出现如纵横比过大、自由边、网格交叉和重叠等问题。当网格划分完毕后，对划分的网格进行缺陷诊断是很有必要的，只有诊断出并且修复这些问题之后，才能够使分析正常进行下去并使分析结果更为准确。

在网格修改之前，首先需要对网格状态进行统计，网格状态统计会显示出目前网格的状态包括其中存在的缺陷，再根据统计的结果对现有的网格缺陷进行修改。

网格生成之后需要对网格状态进行统计，选择 Mesh（网格）→Mesh Statistics（网格状态统计）命令，网格统计的结果就会以窗口的形式弹出，如图 3—5 所示。

Mesh Statistics	
Edge details	
Free edges	0
Manifold edges	12231
Non-manifold edges	0
Orientation details	
Elements not oriented	0
Intersection details	
Element intersections	0
Fully overlapping elements	0
Duplicate beams	0
Surface triangle aspect ratio	
Minimum aspect ratio	1.156508
Maximum aspect ratio	712.408918
Average aspect ratio	8.883553
Match ratio	
Match ratio	74.8%
Reciprocal ratio	59.6%
Close	

图 3—5 网格状态统计

Fig.3—5 Mesh statistics

对于 Fusion 模型，网格信息必须满足以下一些原则^[44]：

- Connectivity regions（联通域）的个数应该为1；
- Free edges（自由边）和Non-manifold edges（非交叠边）个数应该为0；
- Elements not oriented（未定向单元）应该为0；
- Element intersection（交叉单元）的个数应该为0；
- Fully overlapping elements（完全重叠单元）个数应该为0；
- Aspect ratio（单元纵横比）数值视具体情况而定，一般最大值应该控制在10~20之间；
- Match ratio（网格匹配率）应大于85%；
- Zero area triangle elements（零面积单元）个数应该为0。

从上面的图3—5中，我们可以看到，Moldflow中自己划分的网格质量并不高，达不到Moldflow分析时对于网格质量的要求，对照上面Fusion模型网格应该满足的原则得到Aspect ratio 和Match ratio都不能满足要求。因此，需要对网格进行修改，修改过程中可能会有其他的网格缺陷产生，修改原则是“发现即修改”，因为有时候一些随机缺陷是很难再次找到的。

在窗口界面上，可以调出 Manipulation（网格诊断）命令，网格诊断工具栏如图3—6所示。这些网格缺陷诊断工具命令还可以在Mesh（网格）下拉菜单中找到。

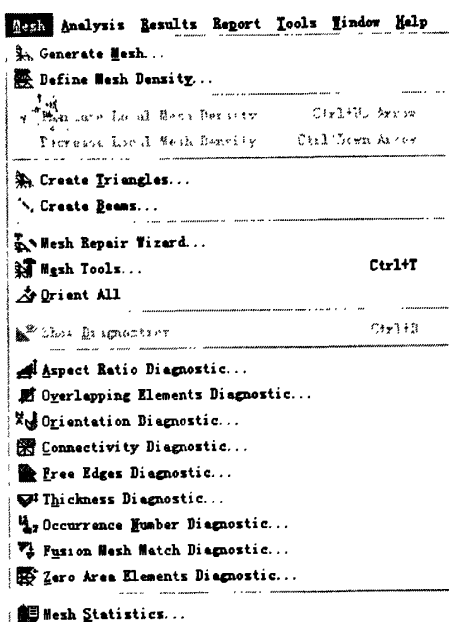


图 3—6 网格菜单

Fig.3—6 Mesh menu

网格缺陷诊断完成后，需要对诊断出的缺陷进行修改，Moldflow 软件本身带有强大的网格缺陷修复工具，通过使用这些修复工具，可以修复网格模型中的所有网格缺陷。如图 3—7 所示为“网格修复工具”对话框。

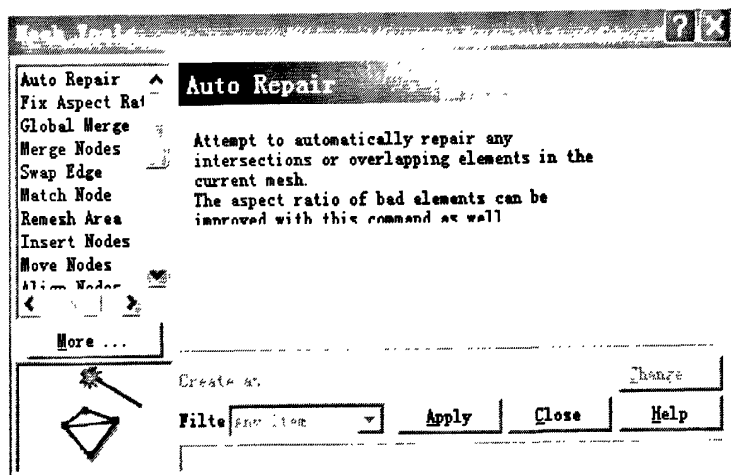


图 3—7 “网格修复工具”对话框

Fig.3—7 Mesh Tools

在网格修复工具中，Moldflow 一共提供了十八种用于修复网格的工具，在修改过程中需要对这些工具能够充分理解、灵活运用，有时候需要多个命令的结合使用才能达到充分修改网格的目的。

在网格修改的过程中，要本着“发现即修改”的原则，一旦发现缺陷应该立

即修改，否则一些随机缺陷是很难再次找到的。在产品模型中，由于小的倒角或者是其他一些小的结构上的细节，都有可能造成网格缺陷，常见的缺陷有网格重叠、网格交叉、大纵横比单元等等，这些往往是由于三角形网格的连续性和共用边的要求，当产品形状趋势发生较大变化时，且以圆角或者自由曲面过渡时，将给网格划分带来困难，从而出现网格缺陷。解决的方法通常是简化模型，即在不影响产品成型分析的前提下，尽量将小的圆角和自由曲面过渡简化为直角过渡。修改完成后的网格单元看上去三角形单元大小均匀，形状相近，整齐有序。如下图 3—8 所示为网格修改举例。

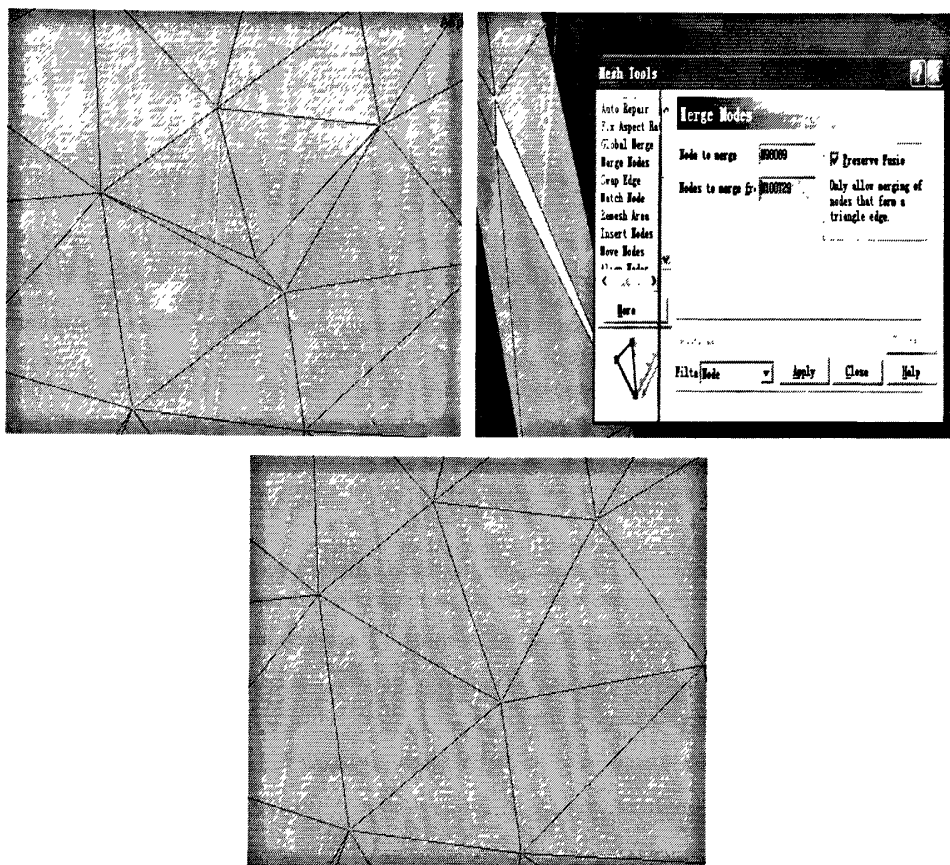
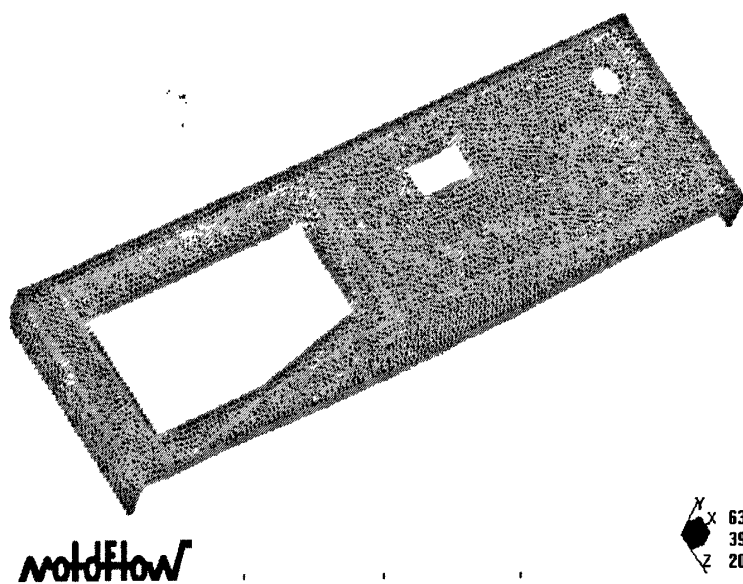


图 3—8 合并节点

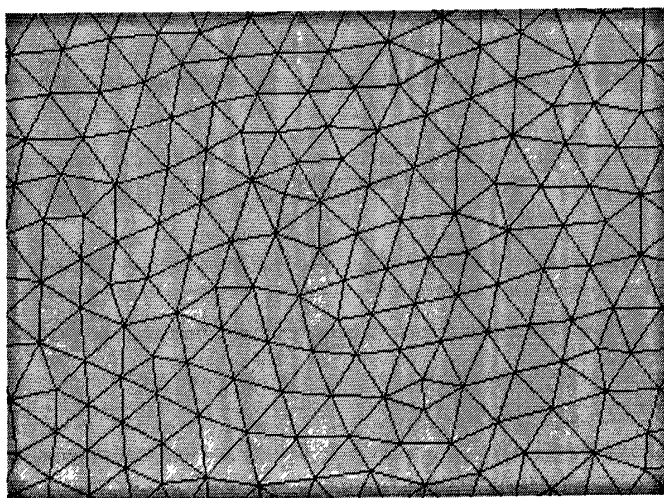
Fig.3—8 Merge nodes

由上图可知，修改之后的网格大小均匀，形状规则。由于篇幅原因，在此对于网格修复的具体过程不做一一介绍。总之，网格的修改是一项非常繁琐的工作，网格的修改需要细致、耐心、花费较长的时间。网格经过一系列的修改，基本达到分析的要求，最终修改完成的网格整体以及状态统计如下图 3—9 所示。



(a) 网格整体

(a) The whole mesh



(b) 网格局部放大

(b) The local mesh

Mesh Statistics	
Mesh volume	282.89 cm ³
Mesh area	2899.53 cm ²
Edge details-----	
Free edges	0
Manifold edges	61146
Non-manifold edges	0
Orientation details-----	
Elements not oriented	0
Intersection details-----	
Element intersections	0
Fully overlapping elements	0
Duplicate beams	0
Surface triangle aspect ratio-----	
Minimum aspect ratio	1.155803
Maximum aspect ratio	18.922816
Average aspect ratio	2.689869
Match ratio-----	
Match ratio	98.3%
Close	

(c) 状态统计

(c) Mesh statistics

图 3—9 最终的网格单元

Fig.3—9 Final mesh elements

最终网格匹配率达到 90.3%，自由边的数量变为零，非定向单元数为零，交叉单元以及重叠单元数都为零。


在确认网格缺陷修改完成之后，为了便于对 Moldflow 中模型的管理，可以利用层管理窗口，将不同层中的单元类型归于不同的类，同时删除在网格诊断过程中出现的一些新的诊断结果层，一般情况下，可以将单元归到以下几个层中：


- New Nodes——节点层；
- New Triangles——三角形单元层；
- Stl Representation——Stl 原模型层；
- Default Layer——默认层（一般为空层，但是不删除）。

3.5 分析类型的确定及浇口分析

3.5.1 分析前期设置及浇口方案的初步确定

在完成模型的网格划分和修改之后，需要根据分析的目的，依照分析任务窗口（Study Tasks）中的顺序，设置分析的类型和分析内容的次序。本文是针对洗

洗衣机控制面板的双层热流道注射模的优化设计，因此，首先需要对浇口的位置进行分析。单击 Analysis（分析）→Set Analysis Sequence（设置分析顺序）→Gate Location（最佳浇口位置）命令，或者双击 Study Tasks（案例分析）区里的 （设置分析顺序）图标，选择 Gate Location 命令。

在 Moldflow 完成了分析类型的设置之后，需要选择产品注塑成型的材料，成型材料可以直接在 Moldflow 提供的材料库中选择。本文的研究对象为洗衣机控制面板，该制件所使用的注塑材料为 PP（聚丙烯），在 Moldflow 的材料库模块中预先存储了大量的注塑材料可供选择。运行 Analysis（分析）→Select Materials（选择材料）命令，或者双击 Study Tasks（案例分析）区里的 （成型材料）图标。可以按照制造商或者产品牌号进行选择自己需要的注塑材料，如图 3—10 所示为 Moldflow 中材料选择界面。

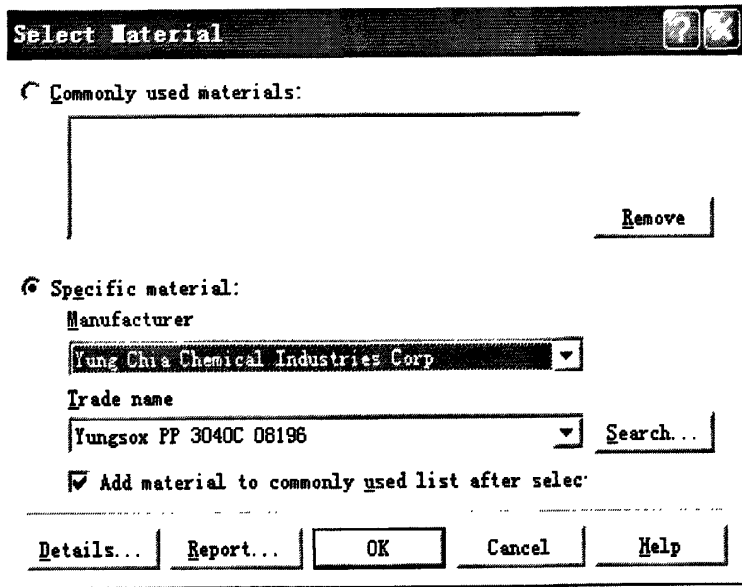



图 3—10 选择材料

Fig.3—10 Select materials

材料选择完成后，在分析任务栏窗口中，材料栏显示所选择的材料为 PP，单击 Details 按钮，可以显示所选定的材料的具体特性。根据上面选定的材料从 Moldflow 材料库中选取成型材料后，右键单击  Process Settings 设定成型工艺如图 3—11 所示。

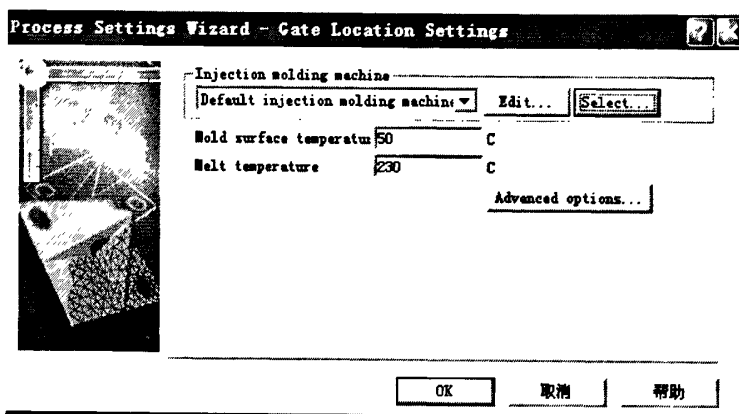

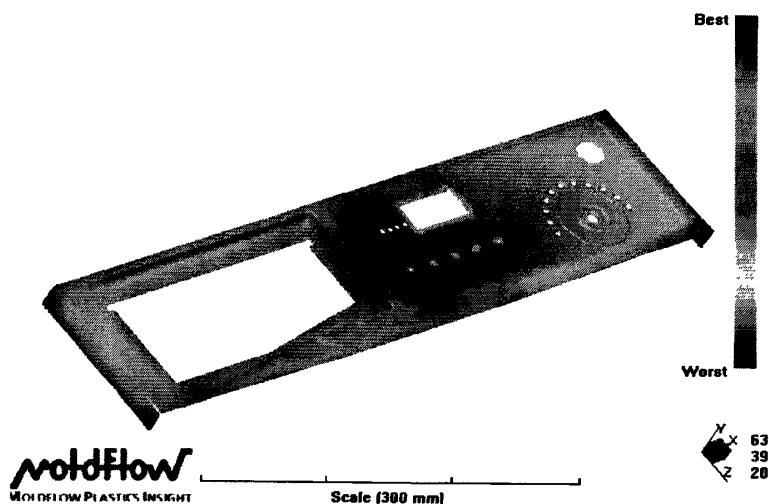


图 3—11 注塑工艺设置向导

Fig.3—11 Process settings wizard

上述各项设定完成以后，我们就可以双击  Analyze Now! 命令，开始进行最佳浇口位置的分析，Moldflow 软件经过一段时间的后台解算器的计算后最终的分析结果如图 3—12 所示。



Maximum design clamp force	=	5600.18 tonne
Maximum design injection pressure	=	140.00 MPa
Recommended gate location(s) are:		
Near node	=	18722


图 3—12 最佳浇口位置分析结果

Fig.3—12 Results of best gate location analysis

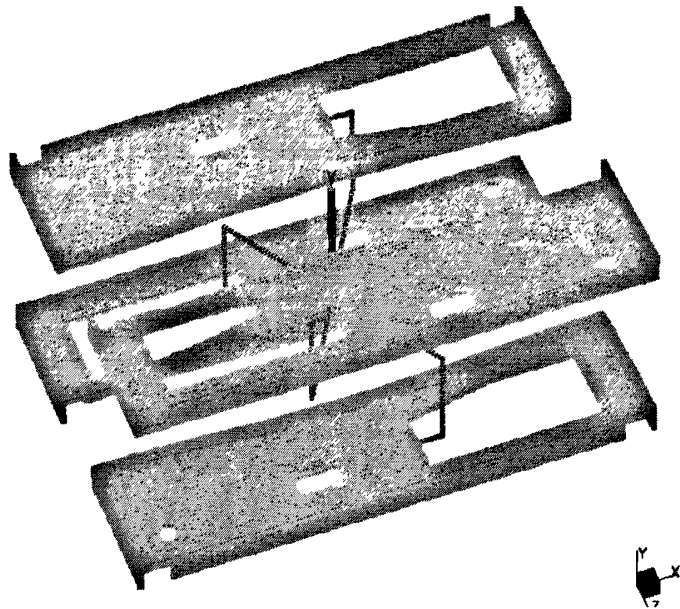
在 Moldflow 中运行 Gate Location 功能，Moldflow 可分析出最佳浇口的位置区域，Gate Location 只是为设计分析模块提供了一个最佳浇口位置区域^{[46][46]}。由

上图分析的最终结果我们可以得到制件的最佳的浇口位置在节点 N18722 附近区域。

浇口位置的设置影响到熔体在模具型腔内的流动,从而关系到产品成型后的质量,对于实际浇口的位置选择需要根据 Moldflow 分析的浇口位置区域,再结合实际制件的技术要求和生产方式进行确定。因为洗衣机控制面板属于外观质量要求比较高的注塑产品,所以设置浇口位置时,通常不会将浇口设置在外观能直接看到的表面上。同时,由于浇口处熔体的流速、压力比较大往往会产生较大的内应力,因此要避免将浇口位置设置在控制面板的承受重力的部位。根据制件的结构、实际生产经验和使用要求,决定采用侧面进浇的点浇口形式。经过大量的分析试验证明,浇口的数量对注射压力和熔接痕有着很大的影响。浇口数量越多,塑料熔体在型腔中经过的流程越短,所需要的注射压力以及注射时间越低,但这样会使塑料流的股数增加,从而可能会使熔接痕的数量增多;相反的,浇口数量越少,尽管熔接痕的数量会减少,但由于注塑流程增加,所需的注射压力较高,产品的残余内应力也会相应增高,并且有可能导致制件产生较大的翘曲变形。因此,对浇口数量进行优化设计,也是在注塑模生产中具有非常重要的意义的^[47]。

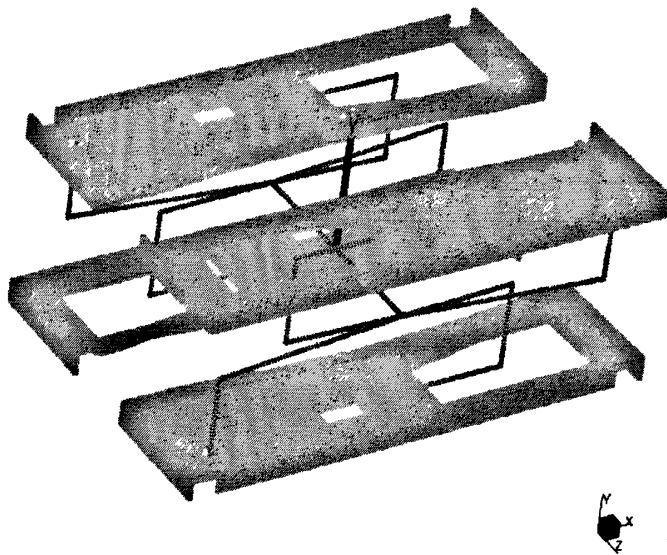
结合前面对于最佳浇口位置区域的分析结果,并根据实际生产经验以及浇口的设计原则,在本论文中对于洗衣机控制面板的浇口位置和数量的设计如下图 3—13 所示的三种进浇方案,同时根据浇口位置和数量的设计方案再完成浇注系统的设计。本设计中所使用的进浇方式为点浇口进浇,对于针点浇口注射成型有很多优点:针点浇口的注射位置不受限制,对于多腔模具,可以取得注射成型的平衡,开模时能自动切断料把,制品表面光滑,对于投影面积大而又容易变形的制品,点浇口可以防止产品的变形,热流道模具大都采用点浇口^[48]。在 Project View (项目管理窗口)中,模型名称上面通过右键单击分析模型,选取 Duplicate (复制)命令,复制分析模型,并根据浇口的设计方案分别修改复制后的模型名称与浇口数量对应为:分析方案一、二、三。并通过命令  Set Analysis Sequence (选择分析类型)命令修改分析类型为 Fill (填充分析)。

方案一如下图 3—13 中 (a) 所示,在制件的大框边缘内侧设置单个点浇口,采用单个浇口注射成型,冷、热流道结合的注射方式。



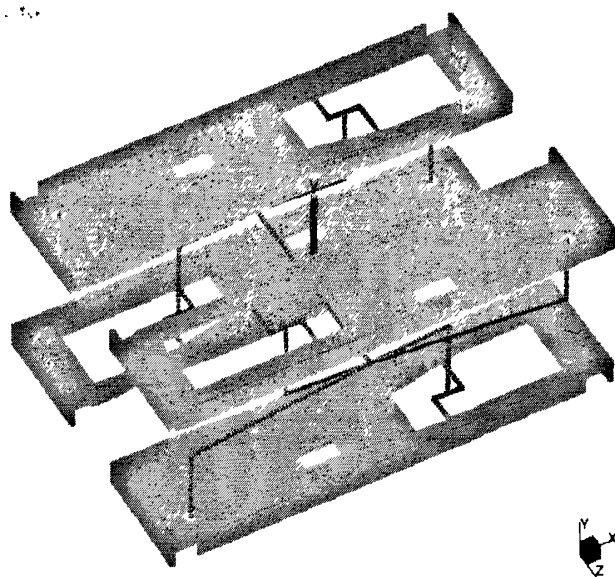
(a)

方案二如图 3—13 中 (b) 所示, 仍旧采用冷、热流道结合的注射方式, 分别在制件大框内侧和圆孔内侧设置两个进浇点。



(b)

方案三如图 3—13 中 (c) 所示, 圆孔内侧设置一个点浇口进浇, 同时在大框的内侧对应的两侧设置两个进浇点。也是采用冷、热流道相结合的方式。



(c)

图 3—13 浇口设置及填充方案

Fig.3—13 Gates set and fill methods

3.5.2 填充模拟及结果分析

填充分析的作用：通过填充分析，可以通过比较分析结果获得最佳的浇注系统，主要用于查看制件的填充行为是否合理，能否对制件完成填充等等。填充分析结果有助于确定最佳的浇口位置、浇口数量以及最佳的浇注系统布局。填充分析只是整个分析过程中的一个小模块，但是对于整个制件的注塑成型模拟来说却是非常重要的一个环节，只有填充过程顺利准确的完成，才能保证后续的模拟分析过程的顺利进行。填充分析结果包括填充时间、气穴、熔接线、流动前沿温度、压力、分子趋向和剪切速率等。Fill（填充）的分析结果列表如图3—14所示。

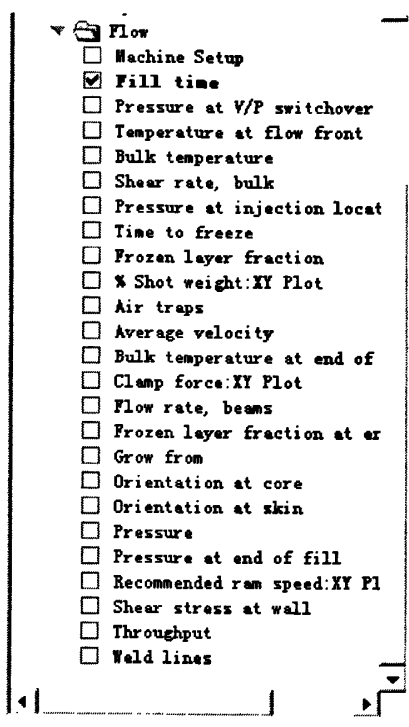


图 3—14 填充分析结果列表

Fig.3—14 List of the fill analysis results

Moldflow分析完成后,我们可以根据填充时间的动态回放结果查看填充阶段的熔体流动行为,同时借助等高线模拟云图直观的显示出分析结果,从而能够更好地判断填充流动行为是否合理。对应于上面所设计的三种填充方案,要一一的进行模拟分析,针对分析结果,对分析注射成型过程中各种方案的气穴的产生、熔解痕的位置、翘曲变形及注射成型周期等进行比较分析。从模拟结果中通过对气穴、注射成型时间、熔接痕以及注射压力等情况进行比较分析,可以看出三种浇注方案的差异,从而确定最佳的浇注系统方案。如图3—15至3—17所示为包括气穴、填充时间和熔接痕在内的模拟结果。

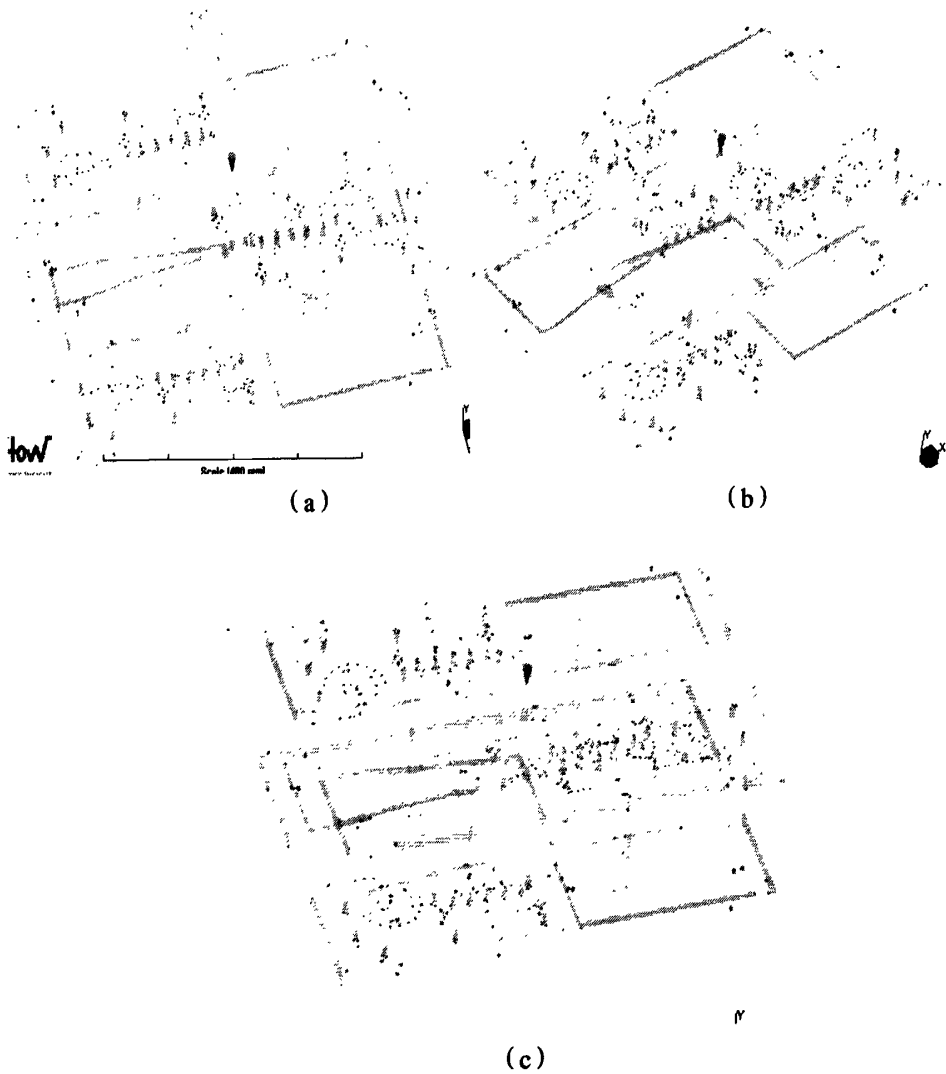


图 3—15 气穴分析结果

Fig.3—15 Air traps analysis

塑料熔体在注射成型过程中由于模内原有的空气成分以及塑料熔体中含有的蒸气等会导致气穴的产生，气穴的存在会导致填充不完全或者保压不充分，并且会使最终的制件表面出现瑕疵，甚至由于气体压缩、温度上升而出现焦痕。如图3—15所示为三种方案产生的气穴情况。通过上图可见三种方案产生的气穴大都集中在分型面上或者制件的端部，在注射充模的过程中气体能够通过模具的分型面、镶件及各项杆与孔间的间隙以及排气槽等途径排出，没有困气现象，不会出现由于气体压缩、温度上升而出现焦痕的现象，能够保证产品的表观注射成型质量。

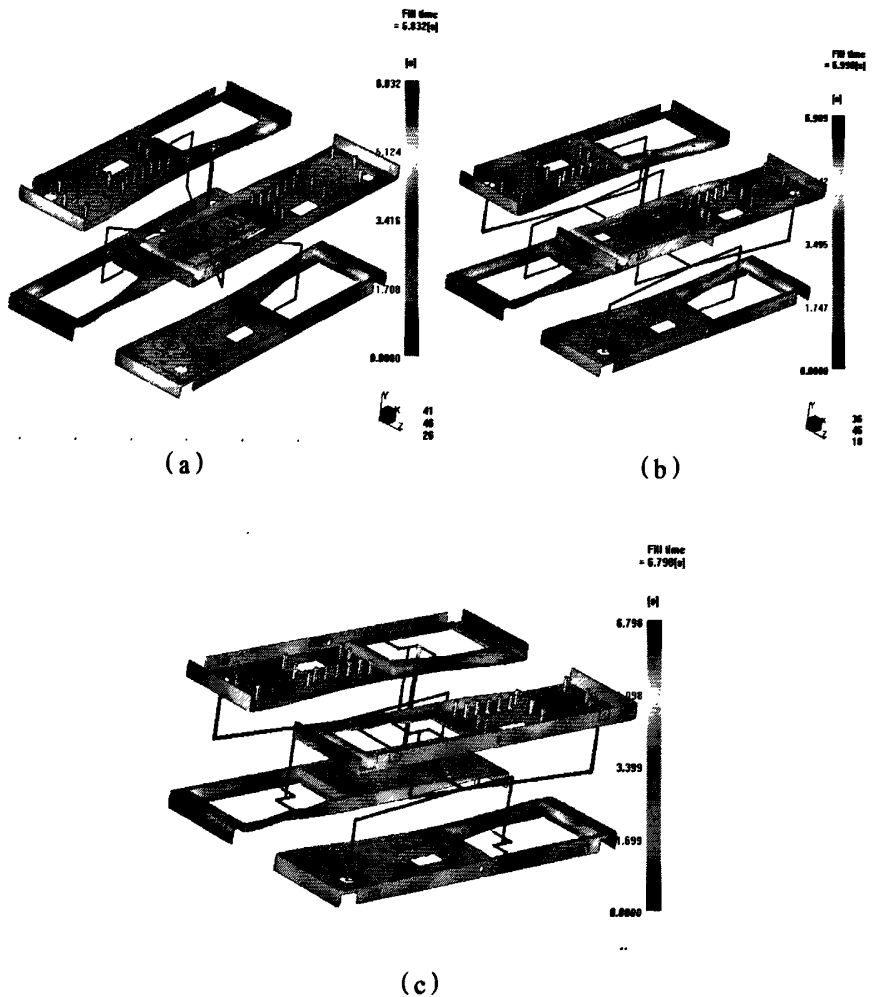


图 3—16 填充时间分析结果

Fig.3—16 Fill time analysis

Fill time为动态显示结果,它可以显示从进料开始到充填完成整个注射过程中任意时刻对应的塑料流的流动前锋(Flow front)位置,直观地反映出制件填充是否平衡^[49],由图3—16可见,单个浇口注射成型方案中填充时间为6.832s,两个浇口注射成型方案中填充时间为6.989s,三个浇口注射成型方案中填充时间为6.798s。由图可见方案(a)中浇注系统总长度短,填充时间较短,塑件端部填充时间间隔约为1.4s左右,而方案(b)的时间间隔约为2.6s,方案(c)的时间间隔约为1.6s,比较得方案(c)填充时间较短,填充平衡性较好。

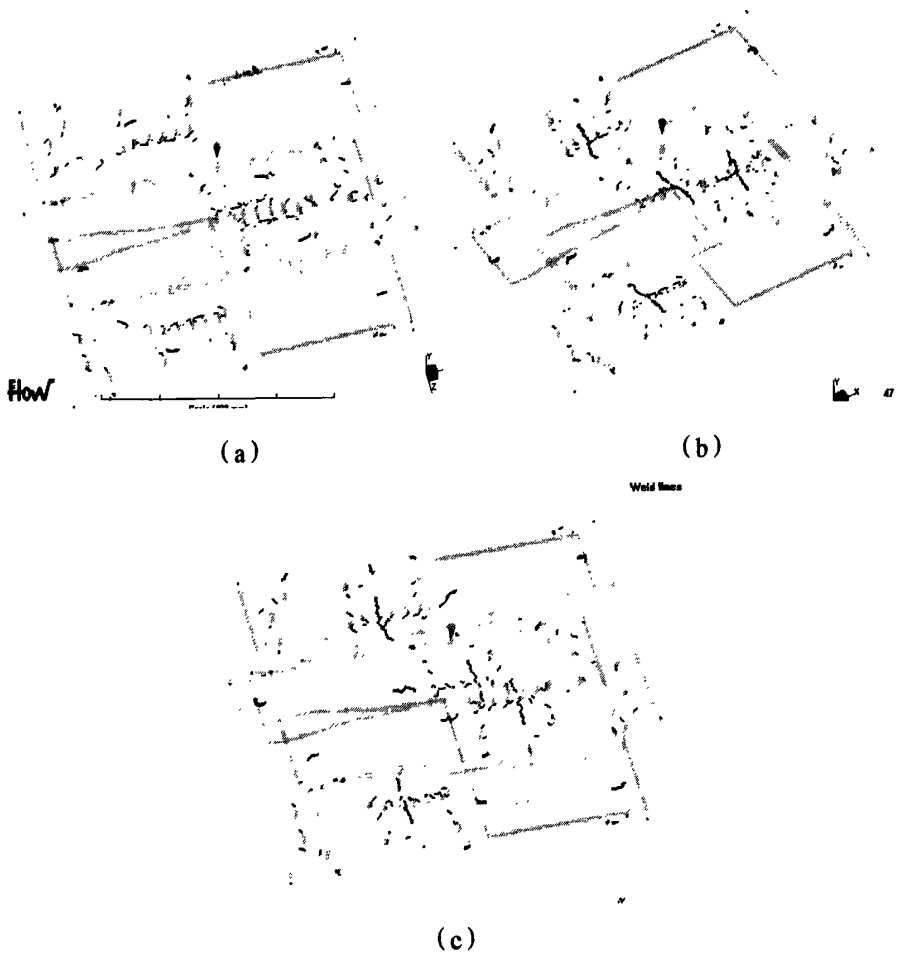


图 3—17 熔接痕分析结果

Fig.3—17 Weld line analysis

熔接痕属于产品的表观质量缺陷，它是塑料产品在注射成型过程中由两股或者两股以上的熔融树脂流相汇合所产生的细线状缺陷。由于制件的几何形状，填充过程中出现的两个或两个以上流动前沿时，容易形成熔接痕。如图 3—17 所示为三种设计方案产生的熔接痕的情况。由图可见，随着浇口数量的增多，方案 (b) 和方案 (c) 中熔接痕数量都比方案 (a) 中增多，这是由于随着浇口增多后流动树脂流增多，由图可见方案 (a) 的熔接痕比较分散，且有部分熔接痕的位置处在熔体前沿温度不高的地方，融合性不好，易形成熔接痕，冷却成型后在这些地方会形成应力集中，制件容易出现断裂等缺陷，影响到制件成型质量和使用性能；在方案 (b) 和方案 (c) 中，只是在制件的中部存在着比较明显的熔接痕，其他位置熔接痕较少，该位置熔体前沿温度在 $215^{\circ}\text{C}\sim 230^{\circ}\text{C}$ 左右，接近熔体的成型温度，具有良好的融合性，从而可以保证熔接痕产生的几率较小，不会影响制件的使用性能和外观质量，且方案 (c) 比方案 (b) 中熔接痕少，故方案 (c) 最好，

方案 (b) 次之, 方案 (a) 最差。

综合考虑可以得出方案 (c) 优于方案 (a) 和方案 (b), 从而确定出注射成型的浇口位置和数量如方案 (c) 所示。

3.6 制件保压及翘曲变形模拟分析

当填充完成后, 随着塑料熔体的固化, 体积减少, 必须将与减少的那部分熔体相称的塑料熔体注入到型腔内, 因此需要对熔体施加压力并保持该压力, 这个过程称为保压, **Moldflow** 的 **Flow** 模块能够分析预测塑料熔体的体积收缩行为, 经过保压优化后, 可以得到最佳的保压参数。**Flow** 分析的目的就是为了尽量降低体积收缩率达到最佳的保压^[50]。**Moldflow** 通常根据设置保压曲线来完成保压分析, 同传统保压分析相比, 曲线保压能够得到较均匀的制件体积收缩率, 体积收缩率的高低由熔体凝固时具有的压力大小决定, 压力越大, 收缩越小; 同时, 曲线保压还能减少保压压力、防止出现过保压现象。

保压由保压压力和保压时间两部分组成。熔融的塑料熔体充满型腔后, 通常还需要一定的保压时间, 通过保压压力对型腔内熔融的塑料进行压实、补缩, 从而使生产出的塑料制件能够获得精确地形状。

在生产中, 保压压力一般为注塑压力的 80% 左右, 此压力也可以更大或者更小。足够的保压压力可以减少产品的收缩, 并能够稳定产品的外型尺寸, 可以弥补因保压不足而使产品出现短射或者收缩较大等缺陷, 保压压力过高时, 容易造成脱模后的产品内残留应力大和脱模困难等问题。

保压时间对塑件的最终成型质量也有较直接的影响, 足够的保压时间是使塑件得到良好保压的前提之一。当浇口凝固后, 保压过程就会无效, 因此, 保压时间最长不能超过浇口凝固的时间。

Moldflow 软件能够允许用户对保压压力与保压时间进行相关设置, 以满足不同保压方案的需要。同时, **Moldflow** 软件也可以预估最佳的保压时间, 预测不同方案下的保压效果。

在制件成型过程中, 由于内部应力的分布不均匀, 会导致制件脱模后出现翘曲变形, 影响了制件的成型质量, 不能满足使用要求, **Moldflow** 中 **Warp** 模块能够分析预测出制件在成型过程中的翘曲程度及其产生原因, 从而对成型方案进行修正, 影响翘曲的原因主要有:

制件冷却不均匀, 由于模具上温度分布不均匀或者制件厚度方向上温度不同, 而导致制件翘曲变形。塑料制品由于模具的冷却系统设计不合理或者模具温度控制不当而造成的冷却不足, 都会导致制品的翘曲变形。壁厚差异较大的塑料

制品, 由于各部分的冷却收缩不一致, 尤其容易发生翘曲变形。

分子取向不均匀, 由于材料分子取向平行或者垂直的方向上收缩不均匀都会导致翘曲产生。塑料制品的翘曲变形在很大程度上是由于熔融聚合物分子的取向不同造成的。在充模过程中, 大多数聚合物分子沿着充模方向排列, 这样就会造成沿熔体流动方向上的分子取向大于垂直流动方向上的分子取向。在充模完成之后, 聚合物分子有试图恢复卷曲状态的特点, 这将会导致塑件在该方向上有缩短的趋势。这样就会导致在两个方向上的收缩不均, 从而导致了塑料制品产生翘曲变形。

模具浇注系统设计不合理, 浇注系统会影响到塑料熔体的流动性、塑件的内应力和热收缩变形, 因此设计合理的填充位置及填充的类型可以较大程度地减少塑件翘曲变形。

脱模系统不合理, 脱模过程中, 不合理的、较大的不平衡外力会造成塑件的翘曲变形, 对此, 要保证制品足够冷却固化后, 再进行脱模。

成型条件设置不当, 在注塑过程中, 注射压力太低、注射速度太慢、保压时间不够、熔体塑化不均匀都会造成塑件的翘曲变形。

为了缩小塑件成型时的变形量, 我们可以通过选用较小收缩率的成型材料以获得相对稳定的成型尺寸, 但往往会提高成本。Moldflow 中的 Warp 分析模块用于判定采用热塑性材料成型时制件的翘曲变形量, 并能够分析导致翘曲变形的原因^[61]。

3.6.1 原始保压分析及翘曲变形分析

下面将针对三个浇口填充方案进行保压和翘曲变形分析, 在 Moldflow 中制件的保压分析类型为 Flow 分析, 分析过程中 Moldflow 有一个初始的保压设置, 一般可以按照此保压设置进行模拟分析, 在 Study Tasks (任务管理) 窗口中右键点击 Process Settings 调出 Process Settings Wizard 对话框, 在此对保压分析进行参数设置, 然后点击对话框中 Packing/holding control 后面的 Edit profile 按钮弹出保压设置对话框, 如下图 3—18 所示为原始保压默认的保压曲线图。

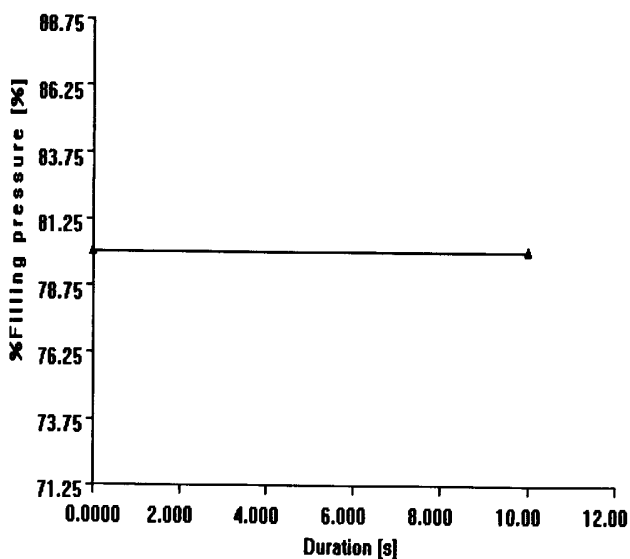


图 3—18 原始保压曲线

Fig.3—18 Chart of original packing

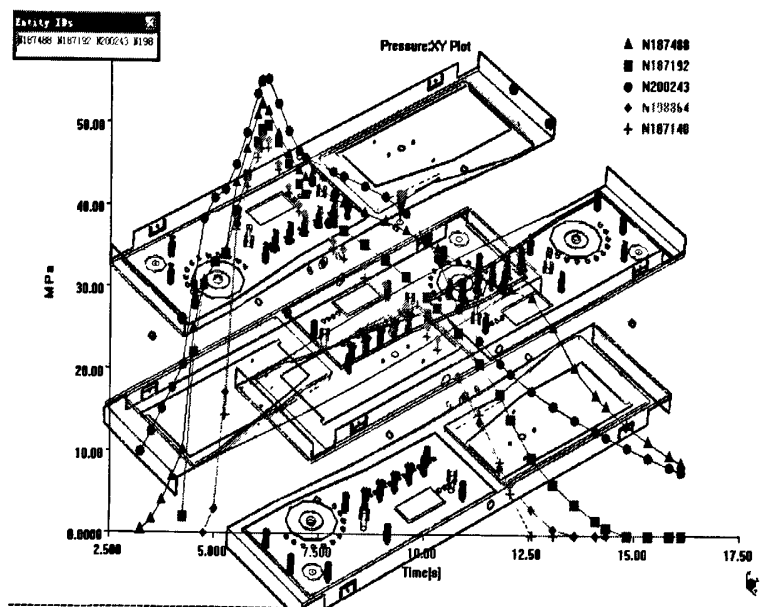


图 3—19 原始压力分布图

Fig.3—19 Chart of original pressure

对应于原始的保压曲线，在 Moldflow 分析结束后，我们在模型上分别选取五个点：浇口 N187488、填充末端节点 N187140、模型上的任意三个节点 N187192、N200243、N198864，通过这五个点将注射成型过程中制件上各点的压力值直观的以图表的形式表现出来，如图 3—19 所示为这个五个点对应原始压力曲线图。由图中我们可以很容易看出各条压力曲线之间的距离比较大，这说明制件上各个点之间的压力值相差比较大，压力分布很不均匀，不均匀的压力分布容易使制品的

表面产生厚度分布不均,同时也会造成不同程度的应力集中,造成制品脱模后产生较大的翘曲变形,影响制品的质量和使用性能,保压效果不理想。

保压曲线设置完成后,就可以运行 Moldflow 的 Flow+Warp 模块,对保压过程进行模拟分析,同时每一次保压分析结果都对应着一个 Warp 分析结果。在 Study Tasks 栏中分别选中总变形量、X 方向变形量、Y 方向变形量、Z 方向变形量,分别得到如下图所示的变形量云图。如下图 3—20 所示为原始保压方案对应的 Warp 分析的制件的总的变形量、以及 X、Y、Z 方向的变形量的比较图。

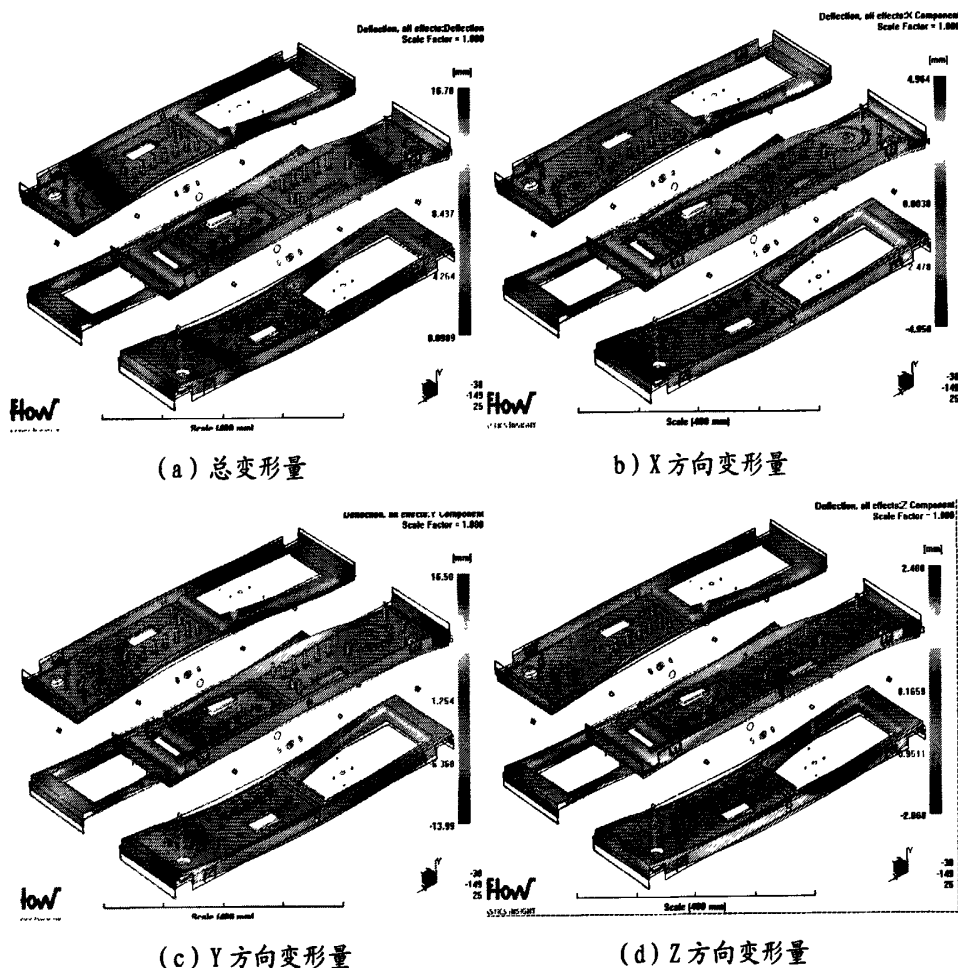


图 3—20 原始保压方案变形量

Fig.3—20 Warp of original packing

在原始的保压方案设置中,我们对制件的翘曲变形量进行分析发现,制件的总的变形量为 16.78mm,在 X 方向上的变形量为 4.964mm,在 Y 方向上的变形量为 16.5mm,而在 Z 方向上的变形量为 2.4mm。无论是制件的总的变形量还是在 X、Y、Z 三个方向上的变形量都是很大的。可见原始保压设置方案的制件成型质量并不好,保压冷却后制件会产生较大的变形,不能满足生产要求,故需要对

制件的保压方案进行重新设置，改变保压参数的设置。

3.6.2 初次改变保压方案及翘曲变形分析

在有两段保压压力的压力曲线中，第二段保压的起始时间是由填充末端的压力曲线对应的时间来决定的，如图 3—19 所示。第二段保压终止时间是由浇口的冷凝时间决定的^[62]。

从图 3—19 可知，在填充末端节点 N187140 的压力曲线上，压力峰值对应的时间为 $t_1=6.5s$ ，和压力降为零对应时间为 $t_2=13.5s$ ，所以，

$$\text{保压的起始时间: } T_1 = \frac{(t_1 + t_2)}{2} = 10s,$$

第二段保压的终止时间由浇口冷凝的时间决定，如图 3—21 所示为浇口冷凝时间图。

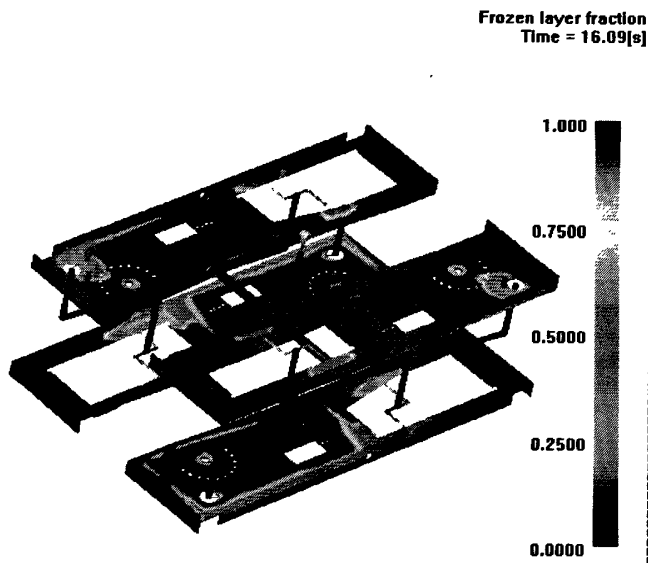


图 3—21 浇口冷凝时间

Fig.3—21 Gates cooling time

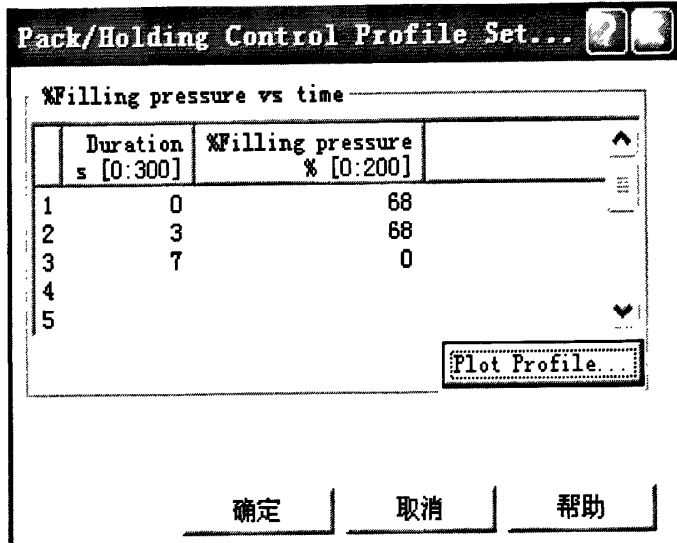
从图中可知第二段保压终止时间 $T_2=16.09s$ 。

在 Moldflow 中从 Results Summary (结果摘要)，可以得到填充完毕时的保压压力 P ，即 $P=67.85 MPa$ ；注射时间 T_3 为发生 V/P 转化的时间，即 $T_3=6.09s$ 。

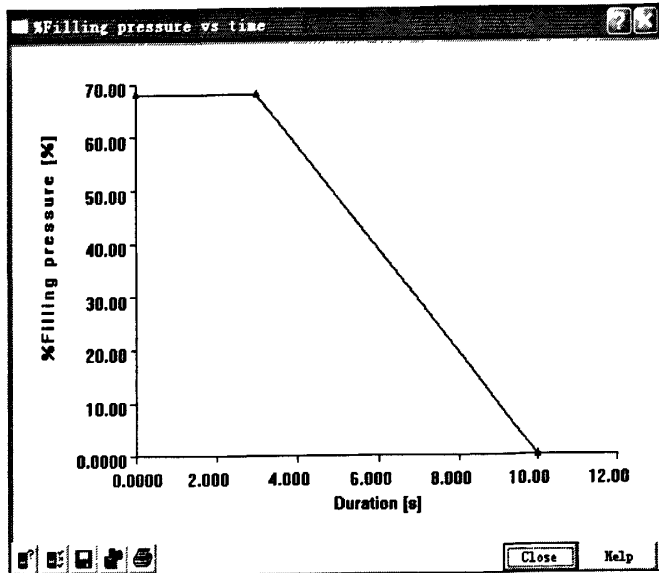
因此，优化后的保压曲线中，第一段保压时间 T_a = 第二段保压起始时间 - 注射时间 = $T_1 - T_3 = 3s$ ，第二段保压时间 T_b = 浇口冻结时间 - (第一段保压时间 + 注射时间)

$$=T_2 - T_1 = 7s。$$

其他工艺条件不变，初次改变保压方案进行保压设置如下图 3—22 所示。



(a)



(b)

图 3—22 初次改变保压设置

Fig.3—22 First change packing setting

保压设置完成以后，需要双击 Analysis now，Moldflow 重新进行模拟分析，依旧在分析模型上面选择上次分析时所选择的那五个节点作为分析对象，得到如下图 3—23 所示的经过初次改变保压方案后的压力曲线图。

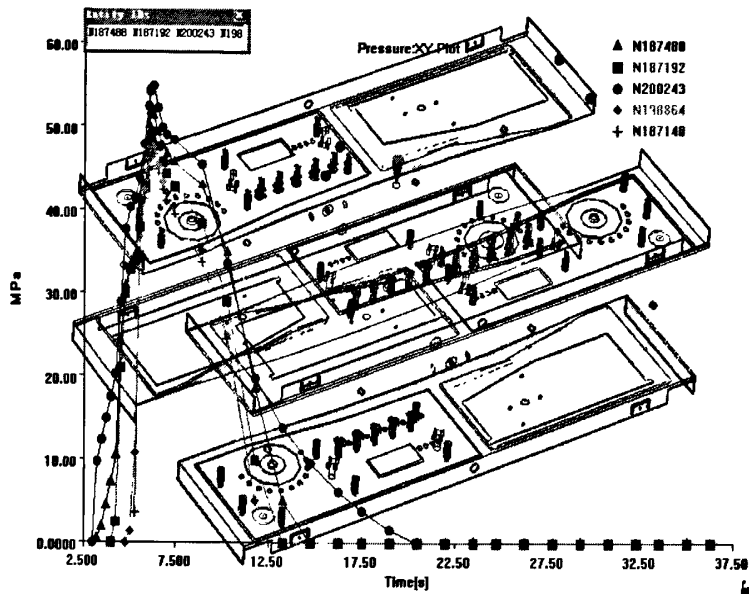
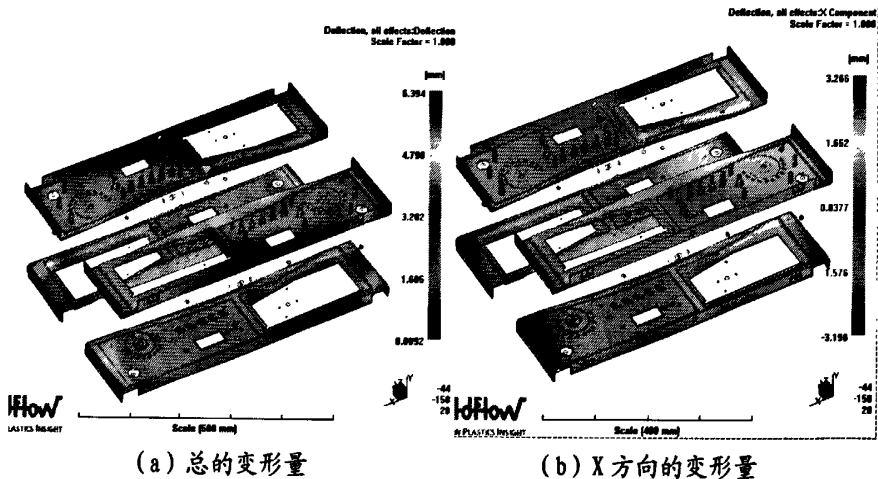


图 3—23 压力分布图

Fig.3—23 Chart of pressure

由图可见，改变保压方案后，制品表面上各点的压力分布曲线之间的距离逐渐靠近，这说明制品上各点的压力分布比原始方案中要均匀的多，塑料制品在脱模后产生的翘曲变形的程度会相应的降低。

同样在 Study Tasks 栏中分别选中总变形量、X 方向变形量、Y 方向变形量、Z 方向变形量，分别得到如下图所示的变形量云图。如图 3—24 所示为改变保压方案后，Warp 分析的制品的总的变形量、以及 X、Y、Z 方向的变形量的比较图。



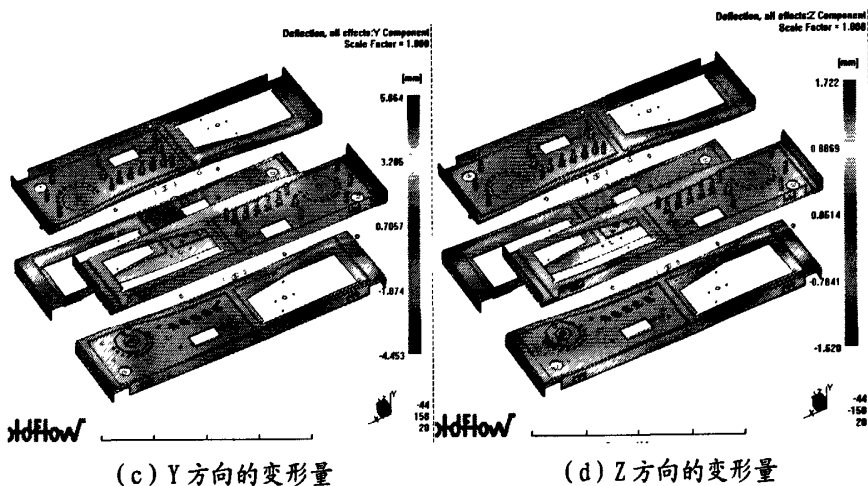


图 3—24 初次改变保压方案变形量

Fig.3—24 Warp of first change packing

在初次改变保压方案设置后，我们对制件的翘曲变形量进行分析发现，制件的总的变形量为 6.394mm，在 X 方向上的变形量为 3.266mm，在 Y 方向上的变形量为 5.864mm，而在 Z 方向上的变形量为 1.722mm。

通过对原始保压方案和初次改变保压方案后的变形量进行比较分析后，发现制件的总的变形量和在 X、Y、Z 三个方向上的变形量都比原始保压方案的变形量有了降低。可见改变保压方案后的制件成型质量有了一定的提高，改变保压后制件的变形量在逐渐的减小，但是仍然有较大的变形量，并不能够满足实际生产和使用要求，所以需要再次按照此方法对制件的保压方案进行重新设置，改变保压参数的设置。

3.6.3 再次改变保压方案及翘曲变形分析

从图 3—23 可知，在填充末端节点 N187140 的压力曲线上，压力峰值对应的时间为 $t_1' = 7s$ ，和压力降为零时对应时间为 $t_2' = 16s$ ，所以，

$$\text{保压的起始时间: } T_1' = \frac{(t_1' + t_2')}{2} = 11.5s,$$

第二段保压的终止时间由浇口冷凝的时间决定，如图 5—25 所示为浇口冷凝时间图。

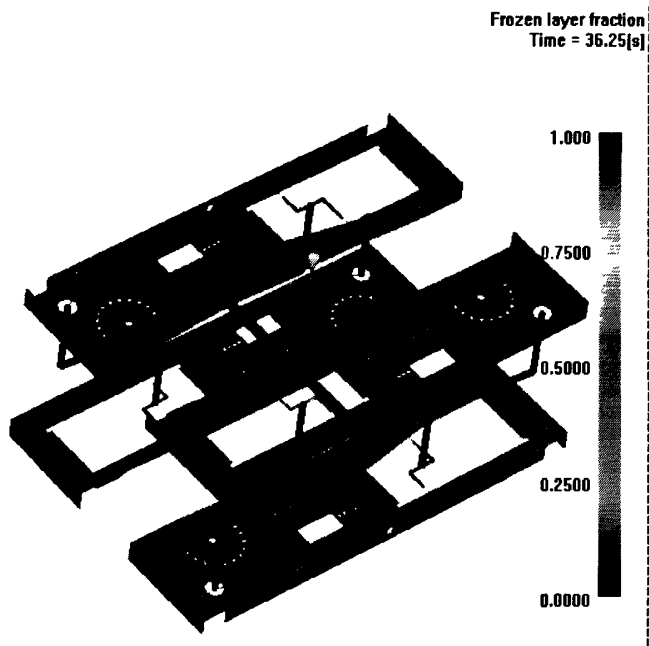


图 3—25 浇口冷凝时间

Fig.3—25 Gates cooling time

从图 3—25 中可知第二段保压终止时间 $T_2' = 36.25s \approx 36s$ 。

同样在 Moldflow 的中从 Results Summary (结果摘要) 得到 $P = 71.58 \text{ MPa}$;
 注射时间 T_3' 为发生 V/P 转化的时间, 即 $T_3' = 6.09s \approx 6s$

因此, 优化后的保压曲线中, 第一段保压时间 $T_4' = \text{第二段保压起始时间} - \text{注射时间} = T_1' - T_3' \approx 6s$, 第二段保压时间 $T_6' = \text{浇口冻结时间} - (\text{第一段保压时间} + \text{注射时间}) = T_2' - T_1' = 24.5s$ 。

其他工艺条件不变, 再次改变保压方案进行保压设置如下图 3—26 所示

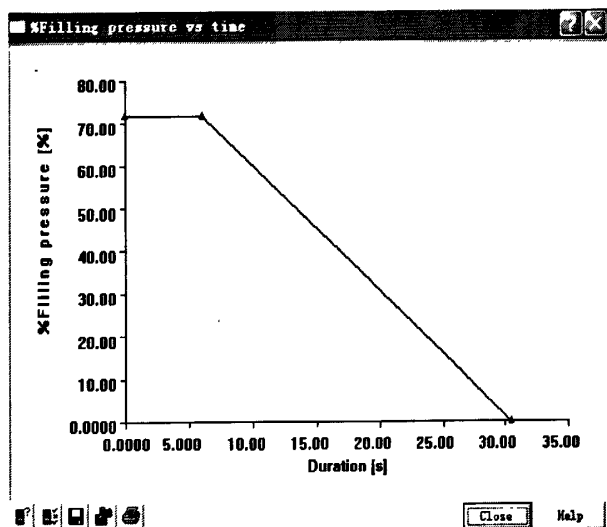
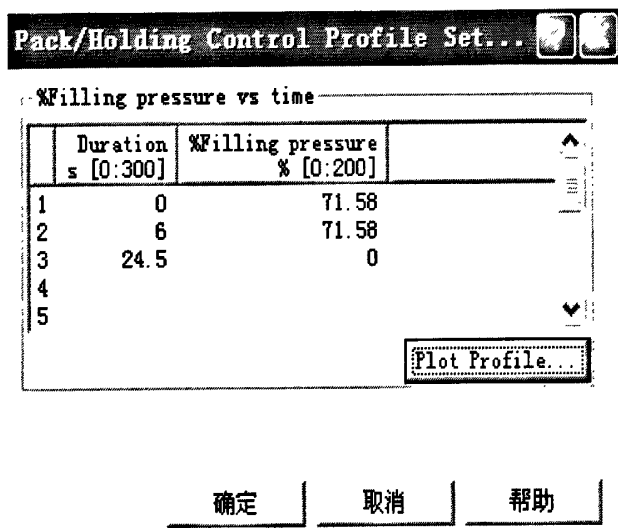


图 3—26 再次改变保压设置

Fig.3—26 Second time change packing setting

保压设置完成以后，双击 **Analysis now**，然后 **Moldflow** 会按照设置的方案重新进行模拟分析，分析结束之后得到另一组新的分析结果，在 **Study Tasks** 栏中分别选中总变形量、X 方向变形量、Y 方向变形量、Z 方向变形量，分别得到如下图所示的变形量云图。如图 5—27 所示为再次改变保压方案后，**Warp** 分析的制件的总的变形量、以及 X、Y、Z 方向的变形量的比较图。

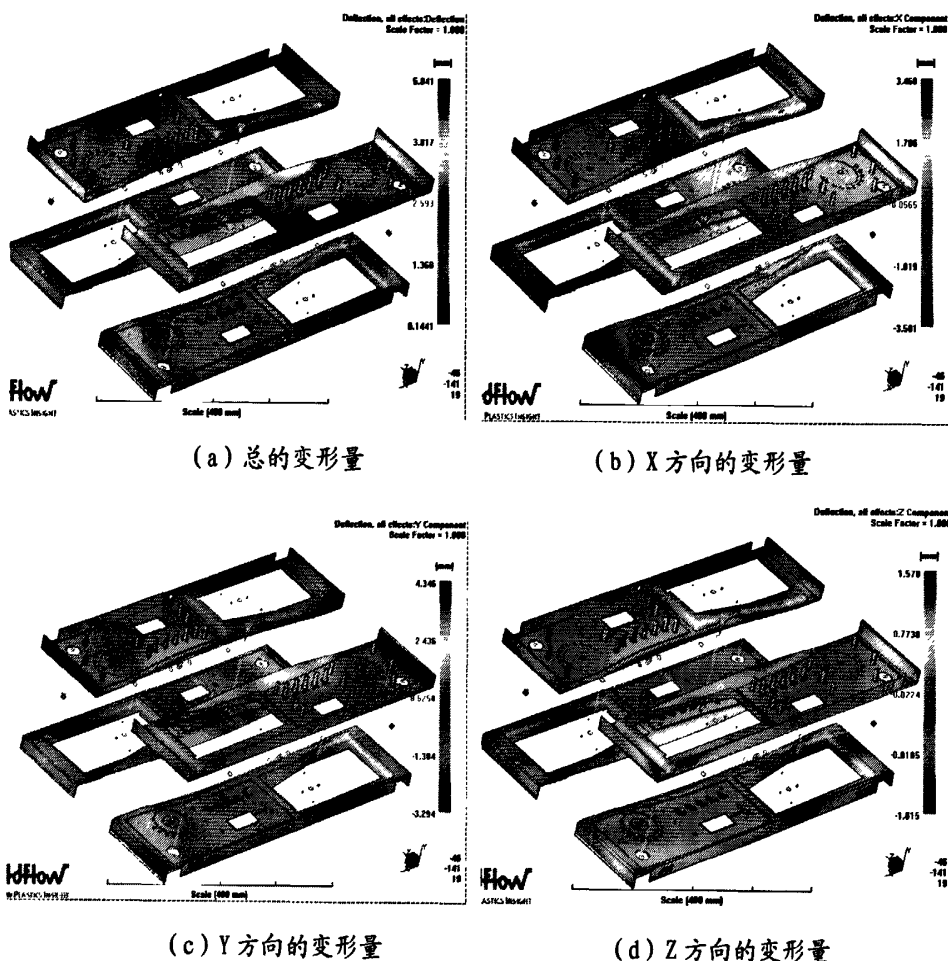


图 3—27 再次改变保压方案变形量

Fig.3—27 Warp of second change packing

在压力分布图中我们还是选择前面选择的那个五个节点，得到再次改变保压方案后制件上各个点的压力分布的情况，如下图 3—28 所示为再次改变保压方案后分析结果对应的制件表面上不同点的压力分布图。

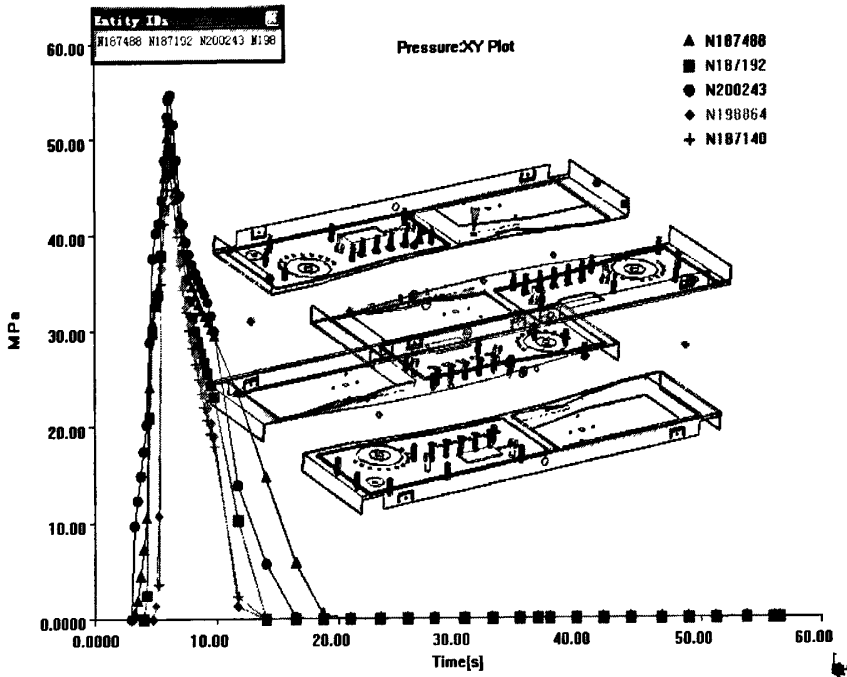


图 3—28 压力分布图

Fig.3—28 Chart of pressure

在第三次改变保压方案设置后，我们对制件的翘曲变形量进行分析发现，制件的总的变形量为 5.041mm，在 X 方向上的变形量为 3.468mm，在 Y 方向上的变形量为 4.346mm，而在 Z 方向上的变形量为 1.57mm。

通过对第三次改变保压方案和原始保压方案以及第二次改变保压方案后的变形量进行比较分析后，发现第三次改变保压方案后，制件的总的变形量和在 X、Y、Z 三个方向上的变形量都比前两次保压方案的变形量有了大幅度的降低，而在 X 方向上的变形量基本上维持在第二次保压方案时的变形量值的水平上，没有大的变化。并且，制件表面上不同位置各个点的压力值逐渐靠近，说明制件上不同点之间的压力差值在减少，制件表面上不同点的压力变的比较均匀，这样制件在保压过程中会有比较均匀的保压压力，冷却开模之后得到的制件力学性能会更好，减少了出现应力集中的现象，制件成型质量得到提高。可见改变保压方案后的制件成型质量有了很大的提高，改变保压后制件的翘曲变形量得到减小。

如下表 3—1 所示为三种不同的保压方案对应的制件的变形量的对比表。从表格中可以直观的得到三次保压方案所对应的总的变形量以及 X、Y、Z 三个方向的变形量值的变化情况。

表 3—1 三种保压方案变形量的比较

Tab.3—1 Comparison of the three packing methods

	总变形量	X 方向变形量	Y 方向变形量	Z 方向变形量
原始保压	16.78mm	4.964mm	16.5mm	2.4mm
初次保压	6.394mm	3.266mm	5.864mm	1.722mm
再次保压	5.041mm	3.268mm	4.346mm	1.57mm

3.7 本章小结

本章中主要对洗衣机控制面板注射模具进行了 CAE 优化分析,通过 Moldflow 软件的网格处理模块进行了网格的划分修改,通过 Moldflow 软件对洗衣机控制面板浇注系统不同的浇口位置和数量进行填充模拟分析,并最终确定了最佳的浇口位置和数量,在确定了浇口位置和数量后又对模型进行了保压和翘曲分析,通过对最有注射方案的三次保压方案及对应的翘曲变形量的分析比较得到较优的保压方案,从而确定了 CAE 优化后的工艺参数。

4 基于 Pro/Engineer 的双层热流道注射模具 CAD 设计

4.1 注射模具的 CAD 设计

注射模具 CAD 设计是指对于塑件的造型设计、力学分析以及图形绘制等都可以由计算机辅助设计来完成。设计人员通过人机交换的方式,直观、形象地在屏幕上建立塑件的几何模型,利用数据库和图形库完成塑件的结构设计、技术文件的编制以及全部图纸的绘制和输出。CAD 技术已经成为塑件造型设计的先进工具和主要手段,它不仅充分发挥了设计人员的智慧和创新性,而且大大提高了塑件设计的质量和效率。

注射模具 CAD 设计的主要步骤如下^[63]:

(1) 塑件的造型设计。塑件的造型设计是运用 CAD 软件的各项操作命令对塑件的材料、构造、加工方法、功能性、合理性等进行设计,在计算机中生成注塑制品的三维几何模型,这是注塑模具设计的准备工作。塑件包括了使用功能、工艺技术条件和艺术造型三个基本要素。塑件在进行造型设计时需要本着实用、美观、经济的原则进行设计。

(2) 建立模具装配模型。将在零件模式中创建的三维零件装配到模具模式中,设置收缩率、设计生成模具分型面,生成模具的主要成型零部件包括型芯、型腔、各种成型杆包括侧抽芯等,以及浇注系统的设计。

(3) 在模具主要零部件设计完成后,开始添加注射模具的模架。模架的添加一般有两种方法,即手工绘制建模后通过装配模块将模架装配完成,另一种方法是在 CAD 软件中安装常用标准模架,直接通过软件添加模架。选用标准模架功能强大,操作简单更能节省设计时间。

(4) 设计特殊零件模块。模架添加完成后模具的主要部件也就设计完成了,还需要对有侧抽机构等特殊机构的部件进行设计,主要包括侧抽机构、顶出机构、以及温度控制系统等。

(5) 生成工程图。经过全面检查,开模检测无误后,完成装配图的绘制。

如图 4—1 所示为 CAD 模具设计的几个主要流程。

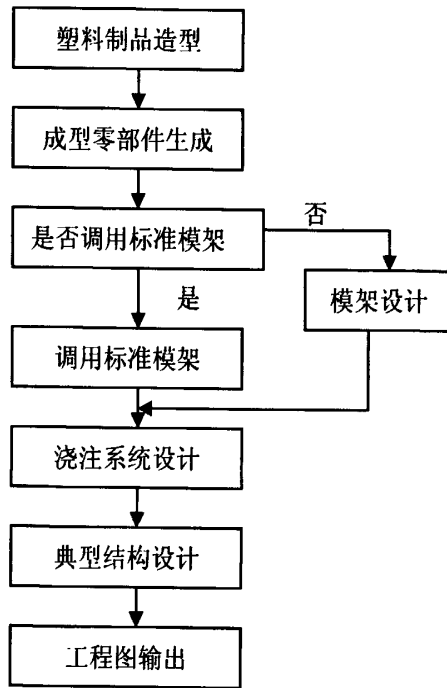


图 4—1 CAD 模具设计主要流程^[64]

Fig.4—1 The primary process of CAD design for injection molding

4.1.1 Pro/Engineer Wildfire 3.0 的主要模块及其应用领域^[65]

Pro/Engineer Wildfire 3.0 是美国参数技术公司 PTC 推出的以参数化为基础的 CAD/CAE/CAM 软件，涵盖了零件设计、曲面设计、钣金件设计、零件组装、二维工程图制作、数控加工、模具设计、机构仿真、电路设计等功能模块。它广泛应用于机械、模具、电子、汽车、航空等设计领域。

Pro/Engineer 使用单一数据库，当更改了三维实体模型的尺寸之后，其相关的二维工程图、模具设计、数控加工的后续参照的模型也会自动更改，这样可以确保更改工作的一致性。

(1) Pro/Engineer 的零件模块允许用户在三维实体建模环境中进行零件模型的实体设计，零件设计是其他模块设计的基础。在零件模块的子类型选项中还有钣金件模块，钣金件模块设计可以用于钣金零件的设计。

(2) Pro/Engineer 的组件模块提供了基本的装配工具，可以将零件装配到组件模式中，还可以在组件模式中创建零件。

(3) Pro/Engineer 的制造模块主要用于生成数控加工的相关文件，在该模块中可以设置并运行 NC 机床、创建装配过程序列、创建材料清单等。在制造模块中的子类型选项中有模具型腔选项，模具型腔模块提供了在 Pro/Engineer 软件中

进行模具设计所需要的各种工具,在该模块中可以创建、修改和分析模具元件和组件,并可以根据设计模型中的变化对它们进行快速更新。模具模块主要用于塑料模具和压铸模具的设计。

(4) Pro/Engineer 的绘图模块用于创建三维图形的二维工程图制作,还可以使用注解注释绘图、标注尺寸及使用层管理不同的项目显示。

4.1.2 Pro/Engineer Wildfire 3.0 模具设计的基本流程

打开 Pro/E 后,选择“新建”命令,依次在类型选项中选择“制造”,在子类型选项中选择“模具型腔”单选按钮,进入模具设计模式的界面,在 Pro/E 的模具模式下进行模具设计时的基本流程如下^[56]。

(1) 创建模具模型。模具模型包括参照模型和工件两部分,可以直接在模具模式中创建参照模型和工件,还可以在零件模式中创建,建好后再将其装配到模具模式中。在本次设计中,我们是将模型在零件模式中设计好之后通过装配的方法将其装配到模具模式中。

(2) 拔模检测和厚度检测。塑件或者铸件上必须要有适当的拔模斜度,才能保证制件从模具中顺利的脱出。在进行模具设计之前,首先应根据开模方向对参照零件进行拔模检测,并对参照零件上的各部位进行厚度检测。

(3) 创建收缩率。塑料制品在模具中经过冷却定形或固化后获得确定形状,从模具中脱出后尺寸有缩小的性质称为收缩,用收缩率来表示。由于收缩的存在,所以必须增加参照零件的尺寸。在一般情况下应该创建各个方向相同的收缩率。

(4) 创建分型面或体积块。分型面是一种特征曲面,主要用来分割工件。创建分型面时,需要用到曲面设计的各种功能。在创建分型面的过程中,应该考虑到便于脱模、便于加工、模具结构简单等来创建合理的分型面。体积块是没有质量的封闭的曲面组,也是用来分割工件的。

(5) 分割工件。利用创建的分型曲面或者体积块将工件分割成单独的体积块。

(6) 创建模具元件。在本次设计中模具元件主要采用抽取模具体积块的方法创建。有些时候也可以直接在模具模式中创建模具元件。

(7) 创建浇注系统。综合考虑各方面的因素之后,利用组件特征来创建浇注系统。

(8) 生成塑件或者铸件。可以用来生成塑件或者铸件,系统将根据去除提取部分后工件中剩下的体积块来自动创建铸件,用来检测模具设计的正确性。

(9) 仿真开模。定义打开模具的步骤,并对每一步进行是否与静态零件相干涉的检测。

(10) 其他零部件的创建。通过上述步骤可以创建完成模具的型腔和型芯。对于模具的其他部分如模架、滑块等,可以在模具模式下直接创建,还可以在组件模式中创建。

4.2 基于 PRO/ENGINEER 的洗衣机控制面板注射模具设计

4.2.1 洗衣机控制面板设计的工艺要求

在进行塑件的造型设计时,应该考虑到成型方法、模具分型面的选择、塑件能否顺利成形等问题,因此在进行塑件的造型设计时应认真考虑,使塑件的几何形状能满足其成型工艺要求^{[57][58]}。

(1) 脱模斜度。在塑件的内、外表面上沿着脱模方向应设计足够的脱模斜度,以便于脱模。常用的脱模斜度一般取值 $1^{\circ} \sim 1.5^{\circ}$,有时也可以小一些到 0.5° ,对于 PP 的热塑性材料常取 0.5° 即可。在一般情况下,若不妨碍制品的使用,可以将脱模斜度取的大一些。

(2) 壁厚。在控制面板的设计过程中应保证壁厚均匀,控制面板的壁厚最小尺寸处应保证具有足够的强度和刚度,脱模时能经受脱模机构的冲击和震动。洗衣机控制面板的壁厚尺寸在 $2 \sim 2.5 \text{ mm}$ 。

(3) 加强筋。加强筋能够增加制品的强度和改善制品翘曲变形,在设计加强筋时应该避免或减少塑料的局部集中,否则会产生缩孔、气泡等缺陷。

(4) 圆角。对于塑件来说,在造型设计过程中将制件的边或者拐角处设计成圆角过度,不但能够改善塑料的流动性,便于填充,而且对于脱模和模具的制造和机加工都是有利的。同时圆角过度还可以避免或者降低应力集中。在洗衣机控制面板的造型设计中将圆角设计成 $1^{\circ} \sim 1.5^{\circ}$ 。

(5) 孔。在塑件上开设孔时应不影响塑件的强度,不致增加模具制造的复杂性。在一般设计情况下常取孔间距为孔径的两倍以上。

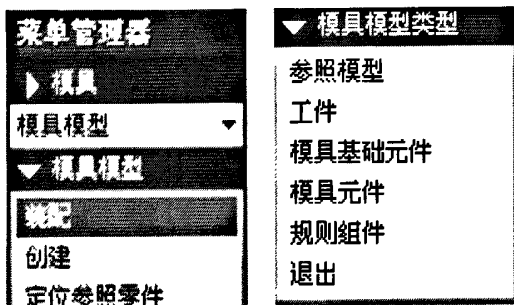
在 Pro/Engineer 的零件模式下设计的洗衣机控制面板的结构如第二章中的图 2-1 所示。

4.2.2 基于 Pro/Engineer 的控制面板注塑模设计

4.2.2.1 模具模型的创建


在使用 Pro/E 进行模具设计时,一般是将制件(即参照模型)和毛坯装配在一起,然后根据参照模型快速产生凸、凹模。除了产生模具零件之外,还可以将凸模、凹模、模板、滑块和制件装配在一起,可以检测模具的装配性、塑件的脱模等。

打开 Pro/E 后, 设置工作目录到指定文件夹, 在“新建”菜单中选择“制造”类型, 子类型中选择“模具型腔”。取消使用缺省设置, 进入设计界面。要产生模型, 需使用菜单管理器中“模具模型”→“装配”→“参照模型”命令, 系统弹出打开对话框, 在对话框中选择“xiyjikongzhimianban.prt”打开, 完成参照模型的加入, 如图 6—2 所示。



如图 4—2 菜单命令

Fig.4—2 Menu commands

在“模具”工具栏中单击“”按钮, 进入布局对话框, 在创建参照模型对话框中, 选择“按参照合并”按钮, 表示由零件模式产生参照模型。选择“参照模型起点与方向”, 在坐标系类型中选择“动态”命令, 打开“参照模型”对话框, 完成参照模型的动态设置, 如图 4—3 所示, 模型装配完成。

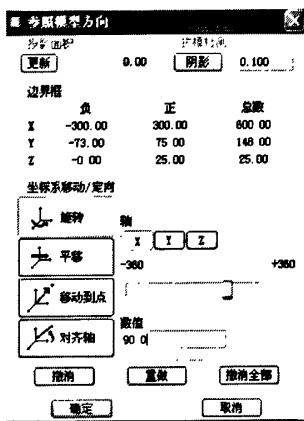



图 4—3 参照模型方向

Fig.4—3 Reference model direction

完成模型装配后, 在生成模具型腔之前需要设置收缩率, 设置完收缩率后, 将会按收缩比率增加参照模型的尺寸。

在“模具”工具栏中, 选择“”打开收缩率设置, 在图形窗口中选取“PRT—CSYS—DEF”, 在收缩率文本框中输入收缩率值 0.02, 完成收缩率设置。

4.2.2.2 型芯与型腔的生成


选择“模具”工具栏上的“”，打开“自动工件”对话框。在整体尺寸栏里设置模具的整体尺寸，模具设计相关参数如下表 4—1、4—2、4—3 所示。L 为制品的总长，W 为制品的总宽，H 为制品的总高，L₁ 为模具单边长度值，W₁ 为模具的单边宽度值，H₁ 为定模高度值，H₂ 为动模高度值^[59]。

表 4—1 模具单边长度值

Tab.4—1 One side length of the croe

L (mm)	L < 50	50 < L < 100	100 < L < 200	L > 200
L ₁ (mm)	20~25	25~30	30~40	40~65

表 4—2 模具单边宽度表

Tab.4—2 One side width of the core

W (mm)	W < 50	50 < W < 100	100 < W < 200	W > 200
W ₁ (mm)	20~25	25~30	30~40	40~65

表 4—3 模具高度值

Tab.4—3 Height of the core

H (mm)	H < 50	50 < H < 100	H > 100
H ₁ (mm)	1.3~2 H	2H	2~2.5H
H ₂ (mm)	1.5H	1.5H	1.5H

由于本文中所设计洗衣机控制面板的尺寸规格为 600×150×25 mm，所以按照上面表格的参数设计方法得到 L₁=65 mm，W₁=40 mm，H₁=50 mm，H₂=40 mm。所以设计得到模具的整体尺寸为：长度值为 720 mm，宽度值为 220，两个型腔间距为 160 mm，定模高度值为 50 mm，动模高度值为 40 mm。

参数设定完成后单击“确定”，模具工件创建完成，在“模具”工具栏中执行“抽取模具体积块”命令，进入体积块创建工作界面，在“基础特征”工具栏上，通过“拉伸”命令完成草绘，并在“编辑”→“属性”中命名体积块的名称为“slide-core-1”生成侧面体积块的创建。侧面体积块用于成型洗衣机控制面板上侧面圆孔和凹槽的成型。执行“视图”→“可见性”→“着色”显示，确定完成后生成模具侧面体积块，创建完成的侧面体积块如图 6—4 所示。

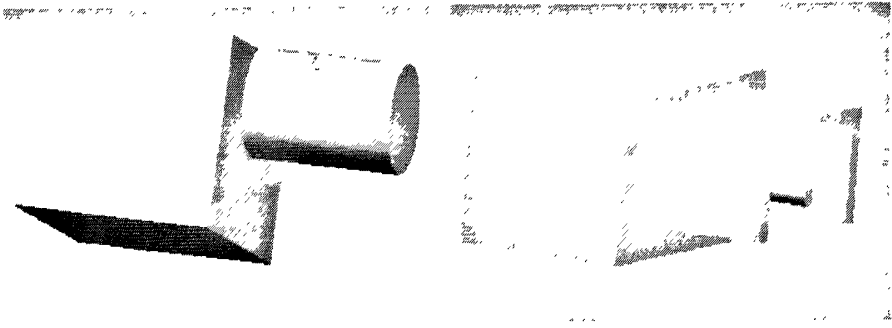


图 4-4 模具侧面体积块

Fig.4-4 Mold slide core

接下来，需要对制件表面的孔进行成型设计，即完成型芯杆的设计。型芯杆用于成型洗衣机控制面中的柱孔，在“模具”工具栏中执行“抽取模具体积块”命令，在“编辑”→“属性”中命名为“core-insert-1”，同样使用“拉伸”→“草绘”命令完成型芯杆的创建。生成的型芯杆如图 4-5 所示。

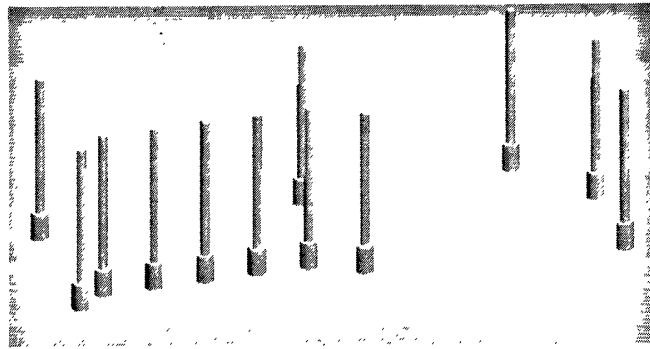


图 4-5 型芯杆

Fig.4-5 Mold insert core

4.2.2.3 分型面的生成

在侧型芯以及成型杆设计完成之后对于主分型面的生成可以在 Pro/E 中采用“阴影”命令创建分型面。在分型曲面工具栏中选择“分型曲面”工具，进入分型面创建环境，单击“编辑”→“阴影曲面”命令，创建分型面，在创建过程中可以使用“关闭平面”来设置分型面的生成底面。创建的主分型面如图 4-7 所示：

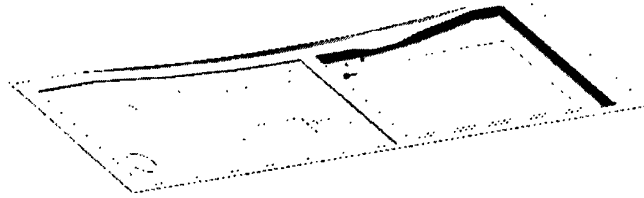


图 4—6 主分型面

Fig. 4—6 Main parting surface

4.2.2.4 型腔、型芯的生成

在“模具”工具栏中，使用“分割体积块”命令生成型芯和型腔，在“分割体积块”菜单中单击“两个体积块”→“模具体积块”→“完成”，在图形窗口中选择上面生成的主分型面，单击“选取”对话框中的确定，完成后系统加亮显示分割生成的体积块，并弹出“属性”对话框定义名称为“core”，着色显示，生成型芯体积块，确定后系统会加亮显示另一个体积块，在“属性”对话框中定义名称为“cavity”，着色显示后生成型腔体积块。如图 4—7、4—8 所示。

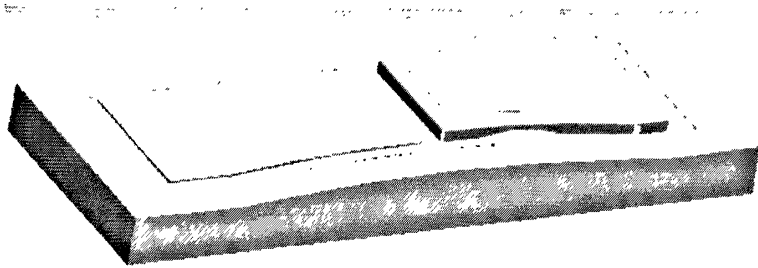


图 4—7 型芯体积块

Fig.4—7 Mold core

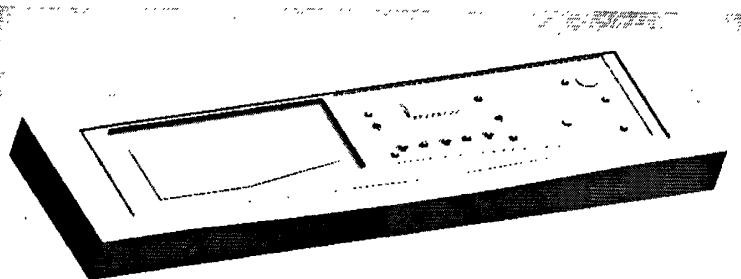


图 4—8 型腔体积块

Fig.4—8 Mold cavity

4.2.3 洗衣机控制面板的整体模具设计

4.2.3.1 模架尺寸的确定

当完成模仁值设计以及分型面和其他特征等模具机构以后，就可以选择模架进行模具的整体的设计了。模具的大小主要取决于塑件的尺寸大小及结构，在保证足够强度的前提下，结构越紧凑越好。普通塑件模具模架与镶件大小的选择，可参考下面的数据^[60]。图 4—10 为示意图，表 4—4 为对应尺寸参照。

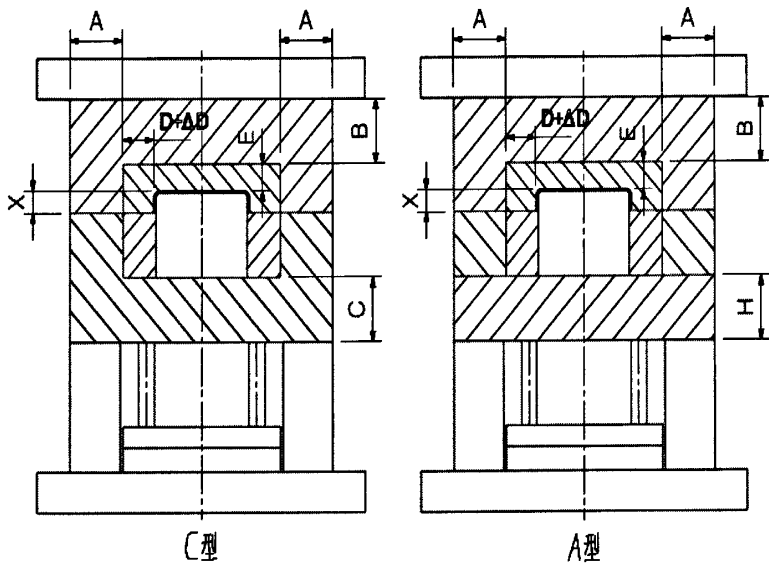


图 4—10 模架尺寸的确定

Fig. 4—10 Size of the mold

- 图中：A—表示模仁侧边到模板侧边的距离；
 B—表示定模模仁底部到定模板底面的距离；
 C—表示动模模仁底部到动模板底面的距离；
 D—表示产品到模仁侧边的距离；
 E—表示产品最高点到模仁底部的距离；
 H—表示动模支承板的厚度（当模架为 A 型时）
 X—表示产品高度。

表 4—4 模架尺寸
Tab. 4—4 Size of the mold

产品投影面积 S/mm ²	A	B	C	H	D	E
6400-14400	50-55	30-36	5065	50-65	28-32	3036
14400-25600	55-65	36-42	65-60	65-80	32-36	36-42
25600-40000	65-75	42-48	80-95	80-95	36-40	42-48
40000-62500	75-85	48-56	95-115	95-115	40-44	48-54
62500-90000	85-95	56-64	115-135	115-135	44-48	54-60
90000-122500	95-105	64-72	135-155	135-155	48-52	60-66
122500-160000	105-115	72-80	155-175	155-175	52-56	66-72

洗衣机控制面板的投影面积为 90000 mm²，所以取 A=85 mm，D=40 mm，得到：
 $W_1 = (85+40) \times 2 + 150 = 400\text{mm}$ ，模具宽为： $W = 2W_1 = 800\text{mm}$ ，模具长： $L = (85+40) \times 2 + 600 = 850\text{mm}$ ，所以选择 800×900 系列的标准模架。

4.2.3.2 洗衣机控制面板注射模具整体结构及动作原理

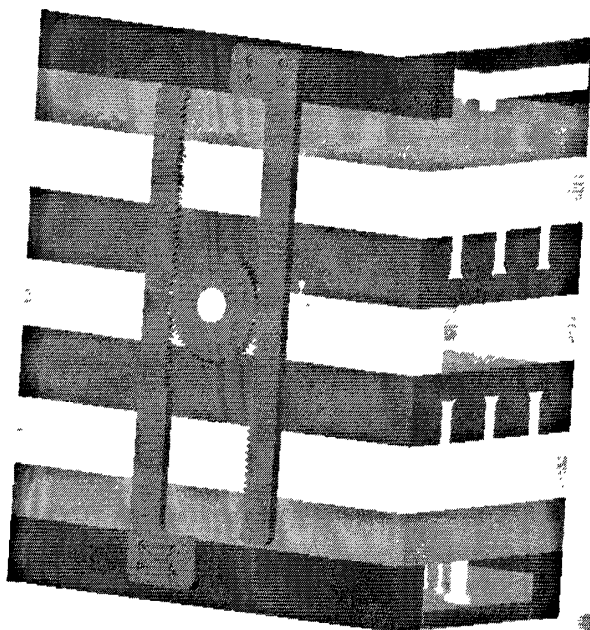


图 4-11 模具装配图

Fig.4-11 The whole mold structure

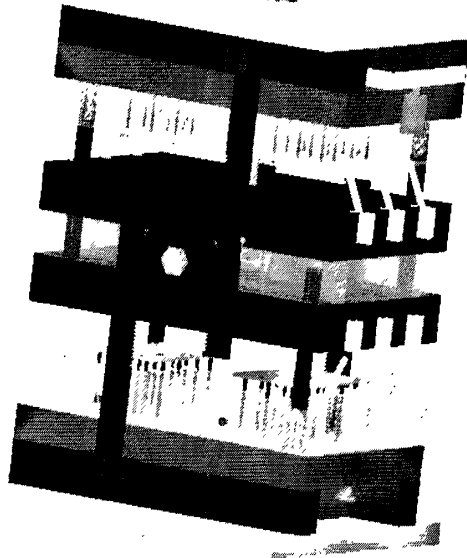


图 4—12 开模状态

Fig4—12 Open mold

如图 4—11 所示为模具的整体结构图，图 4—12 为开模状态图。下面将模具的工作过程原理作介绍。我们知道对于双层的注射模具具有两层型腔，为了保证冷却保压过程中两层型腔里的制品具有相同的冷却时间和保压时间，必须使两层型腔能够同时打开，这样才能使塑件在两层型腔中的停留时间相同，达到相同保压的目的。通常常用的开模机构有机械铰链杠杆形式、齿轮齿条形式、液压式，在本文中设计了齿轮齿条开模机构，这种开模机构制造精度不会要求太高，成本比常用的液压式顺序开模机构也不会有太大的增加^{[61][62]}。开模过程时，注射完成后进行保压冷却，冷却结束后打开模具，动模部分的齿条在机械力的作用下带动中间的齿轮转动，由于注射模具的定模部分是固定不动的，所以，中间的齿轮会在定模上的齿轮上运动，中间部分就会和定模部分分开向动模方向移动，这样动模部分就会在齿条的作用下以两倍于中间部分的速度和中间部分同向运动，这样达到两层模具同时开模的效果。当中间部分移动到一定距离的时候，在定距拉杆的作用下，顶出板带动顶出杆顶出制品。同时在侧向导柱的作用力下侧抽滑块抽出完成侧向分型，侧抽机构具体作用原理详细介绍见第三章。

合模过程中，动模向合模方向运动，动模部分上的齿条带动中间的齿轮转动同时齿轮在定模上的齿条上运动，带动中间部分向定模部分移动，合模过程中中间的速度仍然是动模部分移动速度的一半，同时顶出机构在复位杆的作用下恢复到初始位置。

4.3 本章小结

本章主要进行了注射模具的 CAD 造型设计以及 Pro/E 三维设计软件在模具设计过程中的应用, 根据上章 CAE 分析的结果, 利用 Pro/E 软件设计了双层模具的装配结构, 并对模具的工作原理进行了介绍。同时设计采用了齿轮齿条开模机构实现了两层型腔能够同时开模的效果, 能够保证制品在型腔中的保压冷却时间相同, 保证了四个型腔中的产品具有相同的质量。

结论与展望

结论

传统的注射模具的设计都是设计人员凭借多年的设计经验根据实际生产进行设计,但随着技术的发展 CAD 和 CAE 技术模具设计中的应用已经越来越广泛,在塑料制品的结构设计、注射成型模具的设计中越来越多的先以 CAE 技术进行模拟分析,根据模拟分析的结果再利用 CAD 软件进行二维或者三维设计。这样的设计流程可以直观的在设计过程中发现不合理的及时修改,避免了通过实际生产来检验模具设计的合理性,避免了反复的试模、修模,节约成本提高了生产率。

在本文中对双层热流道注射模的设计充分利用了 Moldflow 的模流分析功能,通过三维充模模拟改善设计方案,并结合 CAD 强大的设计功能完成设计,使 CAD 与 CAE 技术相结合,在设计过程中体现了设计、优化、再设计的设计过程。

1. 针对洗衣机控制面板的结构特点结合注射模具设计准则,对洗衣机控制面板进行了流变学的设计计算得到浇注系统的主要尺寸关系。

2. 在设计过程中借助于 Moldflow 分析软件对洗衣机控制面板的最佳的浇口位置和数量进行了 CAE 模拟分析,达到在电脑上即可形象的实现注射成型模拟。

3. 在 Moldflow 的 MPI/Warp 分析模块中,对洗衣机控制面的翘曲变形情况进行了模拟分析,并通过修改保压方案降低翘曲变形量,完善注射成型工艺。

4. 在 CAE 模拟分析完成以后,根据分析结果通过 Pro/E 三维软件对整体结构进行设计。在此次设计中将 CAE 和 CAD 技术结合起来使用,避免了模具的反复修模的缺点。

展望

本文对洗衣机控制面板的制件结构和注射模具的装配实体进行了 CAD 设计,并通过 Moldflow 对洗衣机控制面的注射成型过程进行了 CAE 模拟分析。在装配设计过程中可以尝试在 Pro/E 上外挂 EMX,通过 EMX 的标准模架库进行设计会节省较大时间。另外在进行 Moldflow 模拟分析的过程时,网格的划分遇到较大的麻烦, Moldflow 本身自带的网格划分功能对于较大的制件网格多,构造复杂,在划分过程中会出现很多的错误需要修改,往往需要花费很大的时间和精力,影响了工作效率。在网格划分过程中可以采用专业的网格划分软件 HyperMesh 进行

划分然后导入 Moldflow 中，可能会较大的节省时间，提高工作效率。

参考文献

- [1] 邓明等编. 现代模具制造技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2005, 6
- [2] Daniel Frenkler, Henryk Zawistowski. Hot Runners in Injection Moulds[J]. Rapra Technology, 2001
- [3] S. H. Tang, Y. M. Kong, S. M. Sapuan. Design and thermal analysis of plastic injection mould[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2006:171
- [4] 申开智编著. 塑料成型模具[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2008, 2:25
- [5] Gener D, Delkheim-Wiesbaden. Hotrunner stack mould yoghurt cups made from PP[J]. Kunststoffe German Plastics, 1989(9):56~60
- [6] 任威, 卢军. 热流道层叠式注射模具的研究[J]. 电加工与模具, 2008(5):61~63
- [7] 阎亚林, 黄晓燕. 叠层注射模的应用与设计[J]. 模具工业, 2003(12): 31~34
- [8] [德]G 曼格斯, P. 默兰. 塑料注射成型模具的设计与制造[M]. 北京:中国轻工业出版社, 1993
- [9] 邓小红, 雷云进. CAD/CAE/CAM 技术在模具开发中的应用[J]. 大众科技, 2006, 6:44~45
- [10] 罗亚平, 张海涛, 宫蕾. 中国模具工业的现状与发展[J]. 广东橡胶, 2008(3):17~19
- [11] 陈剑玲. 叠式热流道模具设计及其功能的研究[J]. 现代塑料加工应用, 2005, 17(5): 6~9
- [12] R. Strauch, Vaihingen. Development and Construction of a stack mold [J]. Kunststoffe German Plastics, 1988, (6):15~16
- [13] D. Gepner, Wiesbaden-Delkheim. Hot runner stack mould Yoghurt cups made from PP[J]. Kunststoffe German Plastics, 1989, (9):24
- [14] Merle R. Snyder. Stack molds move beyond small parts and machines[J]. Modern Plastics, 1997, (7):24~25
- [15] J. Li, Hagelstein. Valve gated nozzles as alternative[J]. Kunststoffe Plast europe, 1998:5~6
- [16] Hansjorg Keusgen. Multi-material mould with rotary mechanism[J]. Kunststoffe Plast europe, 2001, (10):37~38
- [17] Rainer Armbruster, Haslach. Turning Stack-mould technology marks a quantum leap forward[J]. Kunststoffe German Plastics, 2002, (2):20~13
- [18] MGS. New multi-material rotary stack-mold system[J]. Plastics Technology, 2003, (4):11
- [19] Vincent Travaglini, Henry Rozema. Hot-runner system boosts stack mold benefits[J]. Kunststoffe German Plastics, 1991, (7):32~34

- [20] Robert Colvin. Double-daylight mold ramps up productivity[J]. Modern Plastics, 2003, (2):43
- [21] 陈剑玲. 叠式热流道模具设计及其功能的研究[J]. 现代塑料加工应用, 2005, 17(5):9~11
- [22] 陈世煌, 陈可娟编著. 塑料注射成型模具设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007:26~27
- [23] 张玉龙, 齐贵亮编. 塑料注射成型 300 问[M]. 北京:中国纺织出版社, 2008
- [24] 黄晓燕, 申开智主编. 简明塑料成型工艺与模具设计手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006, 1:107~110
- [25] 李德群, 唐志玉主编. 中国模具工程大典[M]. 北京:电子工业出版社, 2007:322
- [26] 申开智编著. 塑料成型模具[M]. 中国轻工业出版社, 2008. 2:121~126
- [27] 《塑料模设计手册》编写组主编. 塑料模设计手册[M]. 机械工业出版社, 2007:323
- [28] 黄晓燕主编, 申开智主审. 简明塑料成型工艺与模具设计手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006:133
- [29] 黄晓燕, 申开智主编. 简明塑料成型工艺与模具设计手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006:125-128
- [30] 王敏杰等主编. 中国模具工程大典[M]. 北京:电子工业出版社, 2007:403
- [31] 邹继强编著. 塑料模具设计参考资料汇编[M]. 北京:清华大学出版社, 2005. 9:30-33
- [32] 陈万林编著. 实用塑料注射模设计与制造[M]. 机械工业出版社, 2000
- [33] 黄晓燕, 申开智. 简明塑料成型工艺与模具设计手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006:80
- [34] Daniel Frenkler, Henryk Zawistowski. Hot Runners in Injection Moulds[J]. Rapra Technology, 2001:
- [35] S. H. Tang, Y. M. Kong, S. M. Sapuan. Design and thermal analysis of plastic injection mould[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2006: 171
- [36] 唐志玉编著. 塑料模流变学设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1991:238
- [37] 唐志玉编著. 大型注塑模具设计技术原理与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004. 9:56
- [38] 李云伟, 唐志玉. 注塑模浇注系统流变学设计. 模具工业[M]. 北京: 国防工业出版社, , 1993, 27(2):50-54.
- [39] 林旭东等. 大型注塑模流道优化设计. 塑料科技, 1998, 5(1):28
- [40] 王栓虎编著. 塑料模具设计与制造[M]. 南京:东南大学出版社, 2008:56
- [41] 马文琦, 孙红镔等编著. 塑料成型模拟软件技术基础与应用[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2006. 9:15~17

- [42] 单岩,王蓓,王刚. Moldflow 模具分析技术基础[M]. 北京:清华大学出版社,2004
- [43] 单岩主编. Moldflow 模具分析应用实例[M]. 北京:清华大学出版社,2005.6:52~54
- [44] 余卫东编. Moldflow 技术在注塑成型中的应用[J]. 软件世界. 2006,3:57~58
- [45] 赵亮,杨林. 基于 CAE 技术的收纳盒注塑模浇口优化设计[J]. 大连轻工业学院学报, 2007.26(1):90~93
- [46] 褚建忠,宋荣. 基于 CAE 环境下大型塑料托盘模具的浇注系统设计[J]. 塑料, 2007.36(5):99~100
- [47] 余卫东. Moldflow 先进的前后置处理技术[J]. 软件世界,2006.12:75~76
- [48] 陈世煌,陈可娟编著. 塑料注射成型模具设计[M]. 北京:国防工业出版社,2007.9:53~57
- [49] 陈吉平,丁智平. 基于 MPI 平台随身听面板注塑成型优化设计[J]. 塑料工业,2006.34(1):22~25
- [50] 马文琦,孙红镜等编著. 塑料成型模拟软件技术基础与应用[M]. 北京:中国铁道出版社,2006:80
- [51] 马浩军,胡广洪,阮雪榆. 利用 Mold Flow 软件分析解决注塑件翘曲问题[J]. 模具技术, 2002:55~58
- [52] 马文琦,孙红镜等编著. 塑料成型模拟软件技术基础与应用[M]. 北京:中国铁道出版社,2006:128~130
- [53] 陶筱梅. Pro/E 在塑料模具设计中的应用[J]. 塑料科技, 2008.11(36):74~76
- [54] 欧阳中和,张秀玲. Pro/E 在注塑模具设计中的应用及研究[J]. 湖南工业职业技术学院学报,2008.8:3~6
- [55] 常旭睿著. Pro/ENGINEER 野火 3.0 中文版模具设计实例精讲[M]. 北京:电子工业出版社,2006:3~7
- [56] 郭晓俊,孙江宏著. Pro/ENGINEER 野火 3.0 中文版模具设计基本技术与案例实践 [M]. 北京:清华大学出版社,2007:28~29
- [57] 《塑料模设计手册》编写组著. 塑料模设计手册第三版[M]. 北京:机械工业出版社,2002:28~38
- [58] 冉新成. 塑料成型模具[M]. 北京:化学工业出版社,2007:56
- [59] 周峻辰编著. Pro/ENGINEER 中文野火版塑料模具设计专家实例精讲[M]. 北京:中国青年出版社,2006:22~24
- [60] 潘叶青,吴崇峰,高雨茁. 大型模具标准模架的选用经验数据[J]. 塑胶模具. 2004.4
- [61] 贾娟娟. 球形摄像头内侧支架叠式热流道模具的 3D 设计[J]. 塑料工业,2008.36(1):35~38
- [62] 张舜喜. 保险杠用超高冲击强度聚丙烯材料的研制[J]. 塑料科技, 1995(4):10~13

致 谢

本论文是在张惠敏导师的悉心指导下完成的，在此谨向我的导师表示衷心的感谢和崇高的敬意。

在攻读硕士学位三年的学习过程中，无论在工作学习方面，还是在日常生活方面，张惠敏导师都给予了本人很大的帮助。她诲人不倦的精神、对问题敏锐的洞察力、独特的思维方式以及严谨的治学态度都将使本人终生受益；她博采众长的灵活思维方式，对我的理论水平有了很大的提高。是导师指点我在通向未知学术领域的道路上，一步步探索前进。是多方面的指引、启发、鼓励与支持，使我在一个个难题前面，打开思路，树立信心，不断进取。我要发奋工作和学习，以报答恩师的培养。

在整个论文阶段，还得到了诸多同学的帮助和鼓励，在此也向他们表示衷心的感谢。

感谢多年以来一如既往给予我鼓励与支持的家人，是他们给了我无尽的动力去克服种种困难和艰辛。

感谢所有关心过和帮助过我的人！

对在百忙中抽出时间评审本论文的各位老师及专家表示衷心的感谢！

作者：田志强

2010年4月

攻读硕士学位期间发表的学术论文及科研成果

- 1、张惠敏、田志强、杨露露，橡胶注射成型机液压控制系统，《特种橡胶制品》，2008，29（6）：45~47
- 2、张惠敏、田志强、杨露露，汽车拉门装饰板注射模设计，《工程塑料应用》，2008，36（6）：61~63
- 3、张惠敏、田志强、焦冬梅，真空橡胶注射成型机液压系统的设计，《液压与传动》，2008，3：27~28
- 4、张惠敏、杨露露、田志强，液压控制新技术在橡胶注射成型机中的应用，《液压与传动》，2008，12：67~69
- 5、田志强、张惠敏、杨露露，基于 CAE 技术的叠层注射模具浇口优化设计，《机械》，2010，37（4）：45~47

独创性声明

本人声明所呈交的论文是我本人在导师指导下进行的研究工作并取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢中所罗列的内容以外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含本人已用于其他学位申请的论文或成果。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中做了明确的说明并表示了谢意。

申请学位论文与资料若有不实之处，本人承担一切相关责任。

本人签名：田志强 日期：2010年6月15日

关于论文使用授权的说明

本学位论文作者完全了解青岛科技大学有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权学校可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。本人离校后发表或使用学位论文或与该论文直接相关的学术论文或成果时，署名单位仍然为青岛科技大学。(保密的学位论文在解密后适用本授权书)

本学位论文属于：

保密 ，在 年解密后适用于本声明。

不保密 。

(请在以上方框内打“√”)

本人签名：田志强 日期：2010年6月15日

导师签名：张惠敏 日期：2010年6月15日

