



天津中德应用技术大学
Tianjin Sino-German University of Applied Sciences

本科生毕业设计

传感器外壳冷流道注塑模设计

Design of Injection Mold for Cold Runner of Sensor Shell

姓 名 安栋财

学 院 机械工程学院

专 业 材料成型及控制工程

指导教师 谢久明

职 称 副教授

完成时间 2021 年 6 月

天津中德应用技术大学
本科生毕业设计（论文）的声明

本人郑重声明：所呈交的毕业设计（论文），是本人在指导教师指导下，进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本毕业设计（论文）的研究成果不包含任何他人创作的、已公开发表或没有公开发表的作品内容。对本设计（论文）所涉及的研究工作做出贡献的其他个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本毕业设计（论文）原创性声明的法律责任由本人承担。

毕业设计（论文）作者签名：

年 月 日

本人声明：该毕业设计（论文）是本人指导学生完成的研究成果，已经审阅过设计（论文）的全部内容，并能够保证题目、关键词、摘要部分中英文内容的一致性和准确性。

毕业设计（论文）指导教师签名：

年 月 日

摘 要

塑料制品由于密度和尺寸都比较小、强度和模量相对较大的特点，被越来越多地应用于生产和生活中。尤其是经济及文明的快速发展与进步，在工业、农业、国防和日常生活中塑料制品普遍使用，塑料成形技术的发展蒸蒸日上。塑料模具在加工过程中，制件精度高，能够生产复杂的制件，适合大规模生产，并具有生产效率高、能耗少的特点。大量地应用于我们的现代化工业，如仪器、玩具等，模具设备现在已经成为我们生产中的重要零部件和加工设备，发展日新月异。

该论文对工业塑料制件传感器外壳的注塑模具进行设计研究，首先，分析了传感器外壳的结构特点和成型工艺，介绍了传感器外壳的设计与制造和主要零件的制造要点与工艺。第二，在此基础上，合理分析了传感器外壳注塑模的设计并采用合理的型腔布局，为了使设计达到理想效果，基于 Moldex3D 模流分析软件，对传感器外壳注塑模具的浇注系统和冷却系统进行了工艺参数分析及结构优化。结果表明，本文设计的工业塑料制件传感器外壳的注塑模具满足设计要求，该研究对注塑模具的设计以及对模具的设计和优化具有重要的作用，具有一定的研究意义和工程应用价值。

关键词：注塑模设计；Moldex3D；模流分析；传感器外壳

ABSTRACT

Plastic products are increasingly used in production and life due to their relatively small density and size, and relatively large strength and modulus. Especially with the rapid development and progress of economy and civilization, plastic products are widely used in industry, agriculture, national defense and daily life, and the development of plastic molding technology is booming. During the processing of plastic molds, the precision of the parts is high, and complex parts can be produced, which is suitable for large-scale production and has the characteristics of high production efficiency and low energy consumption. Largely used in our modern industries, such as instruments, toys, etc., mold equipment has now become an important part and processing equipment in our production, and its development is changing with each passing day.

This paper conducts design research on the injection mold of the sensor housing of industrial plastic parts. First, analyzes the structural characteristics and molding process of the sensor housing, and introduces the design and manufacturing of the sensor housing and the manufacturing key points and processes of the main parts. Secondly, on this basis, the design of the injection mold of the sensor housing was analyzed reasonably and a reasonable cavity layout was adopted. In order to achieve the ideal design effect, based on Moldex3D mold flow analysis software, the gating system and cooling system of the injection mold of the sensor housing were carried out. Process parameter analysis and structure optimization. The results show that the injection mold of the sensor housing of industrial plastic parts designed in this paper meets the design requirements. This research has an important role in the design of injection molds and the design and optimization of molds, and has certain research significance and engineering application value.

Keywords: injection mold design; Moldex3D; mold flow analysis; sensor housing

目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 研究背景和意义.....	1
1.2 模具的概述.....	1
1.3 国内外研究状况.....	2
1.3.1 注塑模具的精度研究.....	2
1.3.2 模具标准化程度研究.....	2
1.4 论文的研究内容和章节安排.....	3
第二章 工艺分析.....	4
2.1 前言.....	4
2.2 传感器外壳的工艺分析.....	4
2.3 零件成型的工艺分析.....	4
2.3.1 注射成型原理.....	4
2.3.2 注射成型工艺过程.....	6
2.3.3 注射成型工艺条件.....	7
2.4 总结.....	9
第三章 模具的设计.....	10
3.1 前言.....	10
3.2 注射机初选.....	10
3.2.1 注射机的初选.....	10
3.2.2 校核锁模力.....	11
3.2.3 校核注射压力.....	11
3.3 分型面确定.....	12
3.3.1 确定型腔数目及布局.....	12
3.3.2 分型面选择.....	12
3.4 成型零件设计.....	12
3.4.1 成型零件结构设计.....	12
3.4.2 成型零件工作尺寸计算.....	13

3.5 浇注系统设计.....	13
3.6 推出机构设计.....	14
3.7 其他机构的设计.....	15
第四章 模具设计的模拟分析.....	16
4.1 前言.....	16
4.2 软件介绍.....	16
4.2.1 UG NX.....	16
4.2.2 Moldex3D.....	16
4.3 建模.....	17
4.4 模拟分析.....	17
4.5 总结.....	19
第五章 结论与展望.....	20
5.1 结论.....	20
5.2 展望.....	20
参考文献.....	21
致 谢.....	22
附录.....	23
附录一 中文译文及外文资料.....	23
附录二 传感器外壳冷流道注塑模设计结构图.....	29
附录三 传感器外壳冷流道注塑模设计部分零件图.....	30

第一章 绪论

1.1 研究背景和意义

当今，每一个产品几乎都需要注塑制品，这些注塑制品都需要注塑模具进行成型。项目来源于企业的实际生产，基于传感器的应用场景，对传感器外壳进行模具设计，使其满足企业规模生产的要求，并降低企业的生产成本，提高产品质量，从而进一步提高企业的经济效益^[1]。

该项目研究成果对企业及工程师具有一定的指导意义和工程应用价值，同时，能为同类产品的生产开发提供思路，提高新产品研发周期。

1.2 模具的概述

在工业生产过程中，各式各样的模具被广泛应用。目前，中国模具产业的复兴与发展正引起社会各界的广泛关注。电子件，汽车，电机等领域，模具制造以生产精度高、产品可重复性好、可用于各种尺寸零件生产、生产效率高、生产过程能耗低等不可替代的优势，占主导地位，统计表明，模具制造占领了市场大于 60~80%的零件制造份额^[2]。

一般可以认为，模具的精度和质量水平可以作为权衡一个国家生产水平的重要标志和指标，对国家的经济实力有直接的影响，因此模具产业在国家经济发展中的地位也十分重要。但是，随着中国制造 2025 的实施，其红利效果表现明显，为了适应工业等的快速发展，开发新型模具、智能化模具势在必行^[3]，图 1-1 为工程应用中所用的模具。



图 1-1 模具的应用场景

1.3 国内外研究状况

随着塑料产品在社会上的大量、普遍使用，模具技术已成为了判断一个发达国家制造业的发展水平是否处于技术前端的重要标志之一。在模具工业发达的国家，标准化、数据化、网络化已称为其主要特点。在最近这几年，随着我国工业模具制造的发展和先进生产、制造技术的开发、引进，模具制造水平已经逐步得到了很大的提高和进步^[4]。但是由于开始较晚，产业基础薄弱，技术、设备和管理水平不够高，使中国注塑行业整体水平与其他发达国家相比落后了好多。

1.3.1 注塑模具的精度研究

注塑模具以其独有的特点在注塑成型工艺中占主要地位。随着产品客户及市场对产品的质量要求越来越高，对注塑模具精确度要求也逐渐提高^[5]。当今世界上许多发达国家注射模的型腔精度在 0.005~0.001mm 之间，其型腔表面粗糙度值在 0.10~0.05 μm 之间。

在我国，型腔精度可控制到 0.02~0.03mm 之间，型腔表面粗糙度也已达到 0.20 μm 。在一些领域中，如国防、军事、航空航天等，高精度是非常重要的，对一些高科技产品的发展有深远的影响。

1.3.2 模具标准化程度研究

模架标准化它是未来模具行业发展的重要方向，国内外专家、学者及生产厂家开展了大量包括模架制造标准化和模架工艺实施标准化的工作，对节约材料，缩短产品生产制造周期，降低成本、提高经济效益、生产效益及社会效益等起到重要作用^[6]。现在发达国家模具标准化程度很高，专业的模具制造分工精细、人员少、自动化控制并且产能很高，而且研发与模具制造也形成了较完善的体系。

在我国，对标注化的重视程度也不断提高，带来了我国模具标准化水平的不断提高，尤其是面对国内广阔的市场前景，我国仍面临着标准化工作起步较晚、水平低、设计水平及智能化技术水平相对落后等一系列问题，标准化研究有待进一步深入。

1.4 论文的研究内容和章节安排

论文中首先进行了传感器外壳的结构特点和成型工艺，介绍了传感器外壳的设计与制造与其相对应的主要零件的制造要点与工艺。分析外壳注塑模注塑工艺并采用合理的型腔布局，基于 Moldex3D 模流分析软件，对传感器外壳注塑模具的浇注系统和冷却系统进行了的工艺参数优化及结构分析。

第一章：介绍了本课题的研究背景和意义，对模具的概念进行了论述，通过对比国内外研究状况表明了我国模具发展状况。

第二章：对零件参数以及零件材料的优劣进行了详细的分析，并对成型时的原理进行概述。

第三章：完整的把压力机的选择以及模具内部零件的计算概括出来。

第四章：详细介绍了 Moldex3D 软件，并描述了建模过程以及模拟分析的步骤。

第五章：对课题结论进行一个合理的概括以及对未来的展望。

第二章 工艺分析

2.1 前言

传感器壳体用来保护内部的感应器以及电器元件，对整体也有一定的保护作用，在日常使用中，由于长期暴露在空气中，有时会受到外界的挤压和磕碰，要求部件能够完全阻止这些外界的冲击，感应器壳体的质量对整个传感器的质量和安全有很大的影响，在生产过程中，应保证塑件的质量，以免出现缺陷。

2.2 传感器外壳的工艺分析

传感器器外形尺寸 $101\text{mm}\times 16\text{mm}\times 20\text{mm}$ ，材质为 ABS，如图 2-1 所示。ABS 是一种新型的工程塑料，性能指标优良，适用于手机，家用电器外壳的成型。另外，ABS 还具有良好的电绝缘性，耐酸碱性，耐磨性和染色性。塑件成型后，应避免毛刺、塑性变形以及表面处理后出现的明显缺陷。

本塑件外形为不规则矩形，对外形要求较高，成型困难，主要在塑件底部的内侧两个端部，由于与零件有连接要求，所以需要较高的强度。

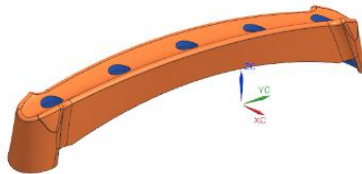


图 2-1 传感器外壳

2.3 零件成型的工艺分析

2.3.1 注射成型原理

注射成型不仅能够成型热塑性塑料，其能够生产流动性能比较好的热固性塑料，目前，一些复合材料也可以采用注射成型的方式进行成型。市场常用的注塑成型注射机主要以柱塞注射机及螺杆注射机为主。

柱塞注射机的工作原理如图 2-2 所示。

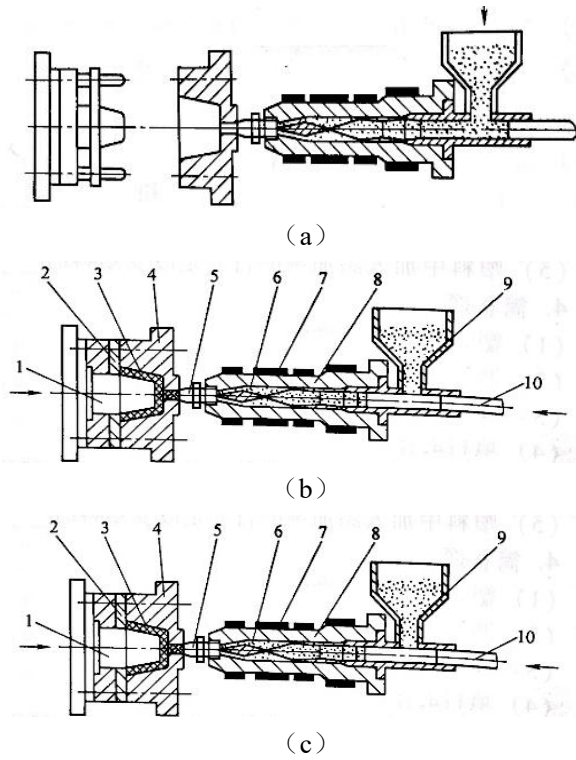


图 2-2 柱塞式注射机的成型原理

柱塞注射机在成型过程中，也尤其不可避免的缺点，如：成型厚度不均匀，制件由于塑性变形导致内应力大；注射过程压力损失大，注射效率低；注射量增加有限，塑料不能达到良好的流动状态，料筒难以清洗等。

螺杆注射成型原理的工作原理如图 2-3 所示。

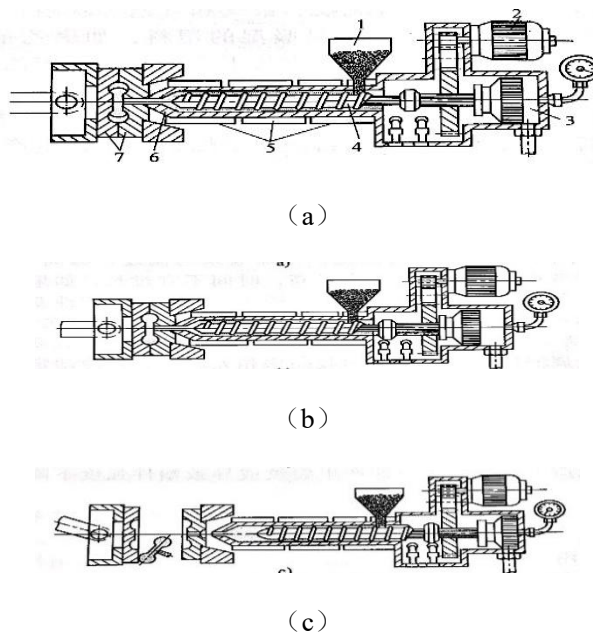


图 2-3 螺杆式注射机的成型原理

图 2-4 中显示了螺杆注射机注塑的工作循环过程。

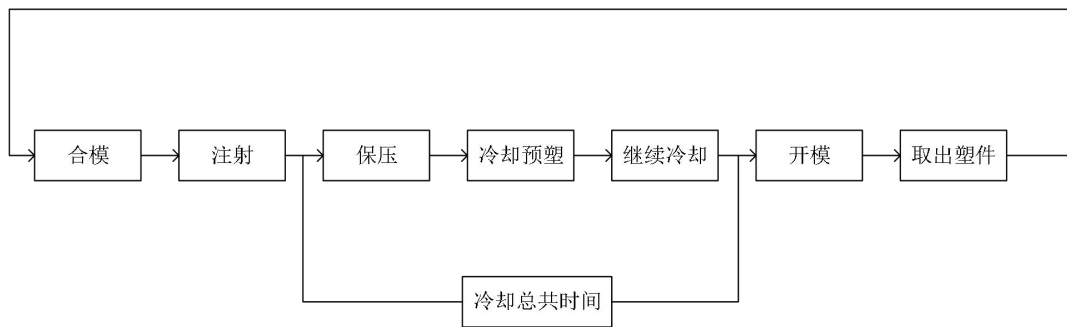


图 2-4 工作循环过程

在本文中，基于传感器外壳形状及要求，注射机选择螺杆注射机。

2.3.2 注射成型工艺过程

注射成型工艺过程如图 3-5 所示。

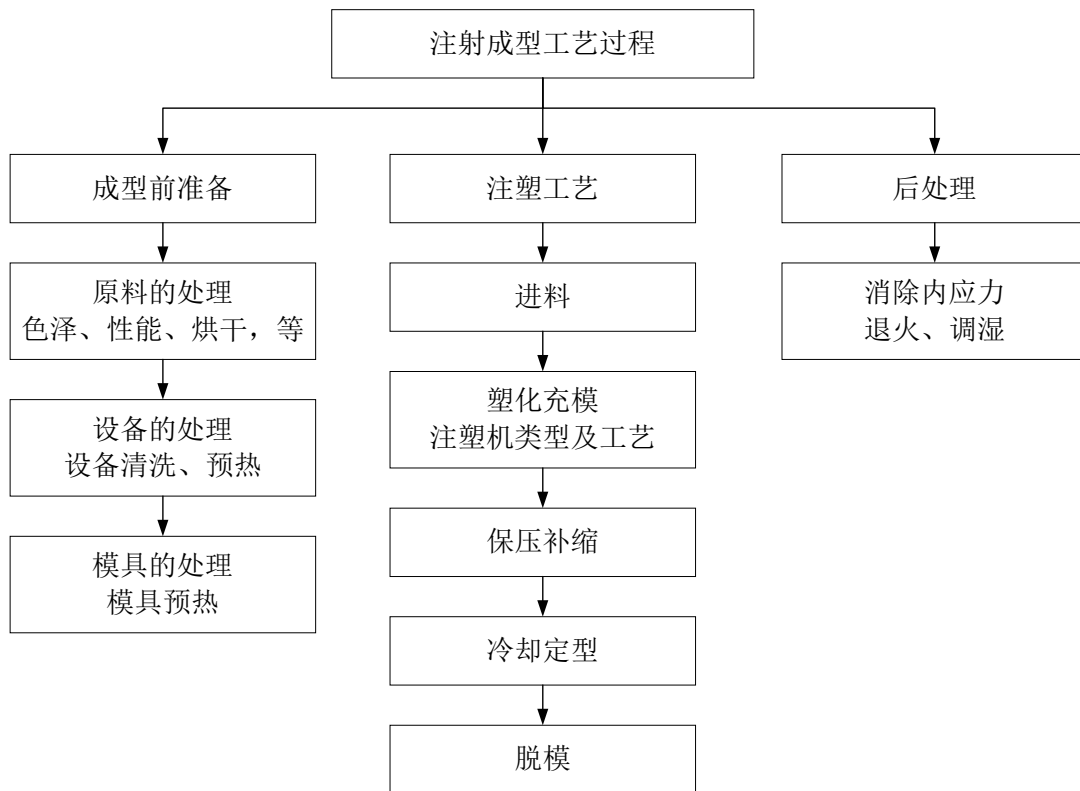


图 2-5 注射成型工艺流程图

当然，在注射过程中，各个环节需要注意的问题很多，结合制件的材料、尺寸、形状等，需要在加工、生产的过程根据实际情况进行分析。

2.3.3 注射成型工艺条件

影响注射成型质量的因素很多，本文主要对主要因素进行分析。

(1) 温度

在传感器外壳零件注射成型过程中，为降低材料塑性的影响，提高充模的质量，主要需要控制料筒、喷嘴和模具的温度。各温度的影响因素如表所示：

表 2-1 成型工艺温度的影响因素

类型	影响因素	要求
料筒温度	材料粘合温度	一般逐渐升高
	聚合物的相对分子量和分布	
	注射机的类型	
喷嘴温度	制件的结构特点	低于料筒温度
	注塑压力	
	料筒温度	
模具温度	材料的特性	结合结晶情况
	制件的结构和尺寸	

同样，在设置成型工艺温度时，需要结合制品的材料、形状、精度及产品的应用场合进行综合考虑。

(2) 注射压力的选择

塑化压力一般都取较低的值，一般不超过 6MPa。根据塑料的种类来确定塑化压力的大小，应注意的是，料筒中熔体的实际温度除与料筒温度直接相关外，还与塑化压力、螺旋转速、螺旋结构和螺旋长度等因素有关^[7]。提高螺杆转速时，熔体温度也会升高；对于长径比小的螺杆，应选择较高的塑化压力和螺杆转速，反之则选择较低的塑化压力和螺杆转速。

对于注射压力，起关键作用的是注塑系统的结构和尺寸。熔融粘度高的塑料，其注塑压力比粘度低的塑料要高；柱塞注塑机因其筒内压力损失较大，注塑压力比螺杆注塑机要高^[8]。

注塑压力应按下列原则确定：熔体粘度高，冷却速度快，薄壁和长流程塑件，以及玻璃钢塑件，注塑应采用高压注塑(否则其表面会出现不均匀、不光滑等现象)；

除此之外，一般应尽量采用较低的注塑压力，一般热塑性工程塑料注塑压力在 40~130MPa 之间；聚砜、聚酰亚胺、聚芳砜等塑料的注塑压力在 40~130MPa 之间。实践中，可先进行注塑试样的试制，然后根据注塑制品的质量酌情增减，最终确定合理的注塑压力值。

保压压力是指注入器在冷却和收缩过程中，在充满型腔后，持续对熔体施加的压力。保持压力的作用是将型腔内的熔体压实，使塑料与模壁紧密结合，形成精确的形状，将不同时间、不同方向进入型腔同一部位的塑料熔合成一体，补充冷却收缩^[9]。保压压力与制件的密度成正比关系，与尺寸收缩成反比关系。压力越高，力学性能良好，但脱模后残余应力较大；强压解除后塑件回弹较大，可能卡住型腔，造成脱模困难^[10]。所以保压压力大小要适当。

此外，为了达到压实的效果，除注意适当降低流道冷却速度，增加保压时间外，还应注意添加量。每一次注塑成型，在熔体充满型腔后，料筒前端仍留有一定数量的熔体作为传压介质，以满足压实、补缩的要求。

（3）保压时间的选择

保压时间的选择对于壁厚特别大的塑件，注塑时间可达 5~10 min。保压时间的选择与许多因素密切相关，若工艺条件正常，则主流道和浇口尺寸合理，保压时间一般以收缩幅度最小的塑件为最佳^[11]。前面已经说过，保压时间对型腔的熔体压力和塑件质量都有影响，所以要适当确定它的长度。

模内冷时间主要与塑件壁厚、模温、塑料的热性能及结晶性有关。同时，也与与自动化程度以及生产组织管理水平相关。为了缩短成型周期和提高劳动生产率，应尽可能缩短这些时间^[12]。

通过上述分析可以看出，正确选择注塑工艺条件，对于保证注塑顺利进行，提高塑件质量具有重要意义。与此同时，我们也看到，这些工艺条件的影响因素比较复杂，各因素之间的联系也非常密切。所以，正确地确定成型工艺条件，既要对其影响因素及其相互关系有较深刻的认识，又要有较丰富的实践经验。实践中，常通过对塑件的直观分析或“空腔注塑”等工艺条件检查，然后再酌情对原工艺条件进行修正^[13-14]。

2.4 总结

传感器壳体材料为热塑性 ABS 塑料，成型性能好，易于注塑成型。注塑制品需要大批量生产，注塑模具结构相对复杂，成本较高。压注成形常被用于热固性塑料制品或小批量热塑性塑料制品。挤压成型主要用于制造截面形状为常数的连续型材。传感器外壳总体上采用注塑成型工艺。

第三章 模具的设计

3.1 前言

注塑制品注塑成型将占塑件总量的 30%左右，逐渐取代传统的金属和非金属材料制品，相应的注塑成型机也从单一品种发展到系列化、标准化、自动化、专用化、高速高效、节能省料，成为塑料机械制造业增长最快、产量最高的品种之一，约占成型设备总量的 50%^[15]。注塑机是生产热塑性塑料制品的主要设备，近几年也被用于热固性塑料制品的成型。

3.2 注射机初选

3.2.1 注射机的初选

根据经验，注射机选择时考虑需考虑传感器外壳质量，如公式：

$$M_s = 3.79 \times 1.1g = 4.11g \quad 3-1$$

在此基础上，估算浇注系统凝料的体积和质量。

体积 V_n 用公式进行计算，为

$$V_n = 0.2V_s = 0.2 \times 3.74cm^3 = 0.75cm^3 \quad 3-2$$

凝料的质量 M_n 用公式进行计算，为：

$$M_n = 1.1 \times 0.75g = 0.83g \quad 3-3$$

此时，需要塑料熔体总重为 $M_{总}$ 为：

$$M_{总} = 2 \times (M_s + M_n) = 2 \times (4.11 + 0.83) = 9.88g \quad 3-4$$

(4) 综上，初选最大注射量为 125g 的东华机械有限公司型号为 90T 卧式螺杆式注射机，其主要参数参见表 3-1

表 3-1 注射机的主要技术参数

项目	参数	项目	参数
结构形式	卧式	锁模力/Ton	90
注射方式	螺杆式	模板最大间距/mm	680
螺杆直径/mm	35	锁模行程/mm	320

理论射胶容积/cm ³	158	最小模具尺寸/mm	250×250
射胶压力/MPa	181	顶针力/Ton	2.7
射胶行程/mm	164	顶针行程/mm	85
射台拉力/Ton	3.6	系统压力/MPa	17
射台行程/mm	255	净重/Ton	2.8

3.2.2 校核锁模力

如图 3-1 所示，传感器外壳在分型面上的投影面积 A_s 为

$$A_s = 1921\text{mm}^2 \quad 3-5$$

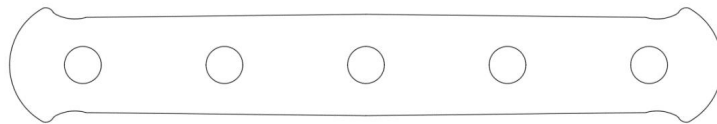


图 3-1 零件投影面积

浇注系统在模具分型面上的投影面积 A_j 为 300mm^2

此时，胀型力 F 为

$$F = (A_s + A_j)P_{\text{模}} = (1921 + 300) \times 40\text{N} = 63.64\text{kN} \quad 3-6$$

估算注射传感器外壳所需的注射机锁模力为

$$F / 0.8 = 63.64\text{kN} / 0.8 = 79.17\text{kN} \quad 3-7$$

由表 3-1 可知东华机械有限公司型号为 90T 的锁模力为 90000kN，远大于 299.5kN，满足要求。

3.2.3 校核注射压力

传感器成型所需得压力为 80MPa。选择东华机械有限公司型号为 90T 注射机，满足 ABS 材料传感器成型要求^[16]。

综合以上计算和校核结果，选择型号为东华机械有限公司型号为 90T 卧式柱塞注塑机可行。

3.3 分型面确定

3.3.1 确定型腔数目及布局

传感器外壳塑件采用一模两腔的平衡式布局，模具尺寸小，成本低。

3.3.2 分型面选择

传感器外壳塑件的分型面选择如图 3-2 所示，选择界面尺寸最大的面作为分型面。同时，保证排气通畅，以提高产品质量。

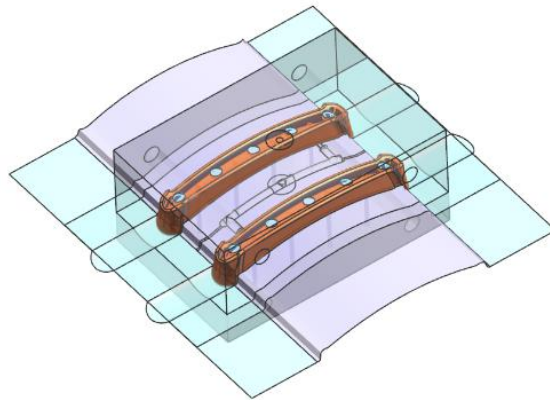


图 3-2 传感器外壳模具的分型面

3.4 成型零件设计

3.4.1 成型零件结构设计

传感器壳体的模塑部件结构见图 3-3。

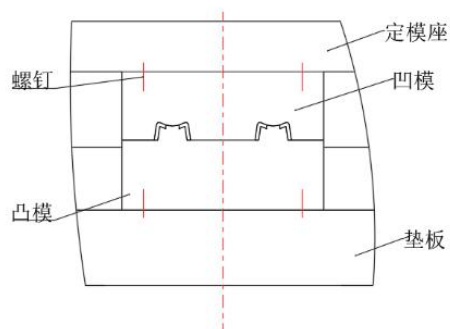


图 3-3 模塑部件结构

3.4.2 成型零件工作尺寸计算

根据表 3-2 查得 ABS 的收缩率为 0.4%-0.7%，则可知 ABS 材料的平均收缩率

$$s = \frac{0.4 + 0.7}{2} \times 100\% = 0.55\% \quad 3-8$$

根据成型零件工作尺寸计算公式可知:制造误差 $\delta_z = \frac{\Delta}{3}$,磨损误差 $\delta_c = \frac{\Delta}{6}$,其中 Δ 为塑件的尺寸公差^[17]。

表 3-2 各个材料的性质

成型材料	线性膨胀系数/(10 ⁻⁵ /°C)	成型收缩率(%)
ABS	6.0~9.3	0.4~0.7
SAN(AS)	6.0~8.0	0.2~0.7
聚苯乙烯(PS)	6.0~8.0	0.5~0.6
聚碳酸酯(PC)	6.6	0.5~0.7
乙醋酸纤维素(CA)	0.8~16.0	0.3~0.42

3.5 浇注系统设计

根据前面任务的分析和计算，传感器外壳塑件成型选择的注射机为东华机械有限公司型号为 90T，其他参数如表所示：

表 3-3 浇注系统参数

名称	尺寸	备注
主流道—小端直径	5mm	
主流道—衬套固定端	56mm	定位圈配合
主流道长度	88mm	取决于模板厚度
主流道锥度	2°	
粗糙度	0.8	

最终主流道衬套结构如图 3-4 所示。

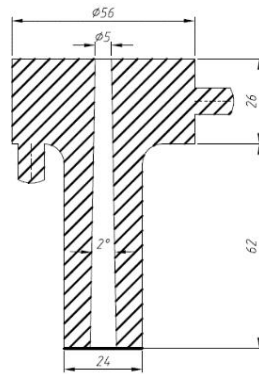


图 3-4 主流道

分别对浇口、分流道、冷料穴等进行设计，最终综上所述，传感器外壳注射成型的浇注系统示意图如图 3-5 所示。

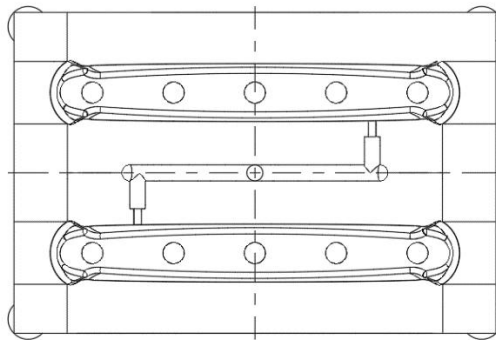


图 3-5 流道示意图

3.6 推出机构设计

传感元件壳体底面光滑连接的平面，考虑脱模时应受力均匀，无变形，设计其推出机构如图 3-6 所示。

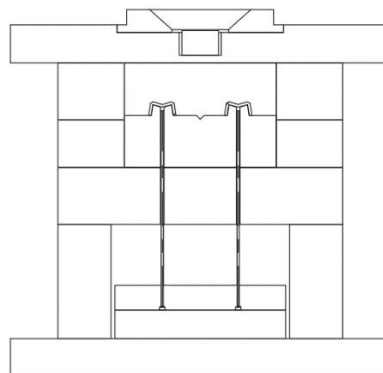


图 3-6 顶出机构

3.7 其他机构的设计

选用大水口系统 A 型模架。

按照设计标准选择螺钉、定位圈等标准件，并对顶杆孔、限位钉进行选择，如图所示。

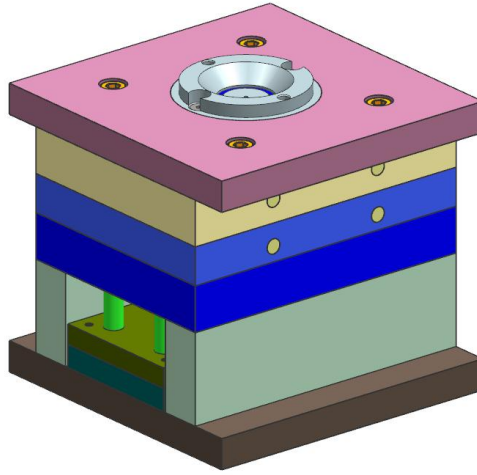


图 3-7 模架

第四章 成型过程的模拟分析

4.1 前言

传感器壳体因其特殊的结构和深腔结构，在成型时容易发生变形，模具设计存在技术难点，影响到塑件的成型质量和实际使用功能。利用 Moldex3D 模流分析软件对注塑冷却系统和浇注系统进行了分析，使 X, Y, Z 三个方向的翘曲变形量均在可接受的范围内，再通过模具预形变设计达到装配要求^[18]。基于 Moldex3D 分析结果，确定传感器壳体的注塑模具设计方案。

4.2 软件介绍

4.2.1 UG NX

UG NX 由 Siemens PLMSoftware 公司开发，UG NX 系统具有交互 CAD/CAM (计算机辅助设计、计算机辅助制造)等功能，以方便、快捷、友好的人机交互界面等特点，在模具工业中的应用也得到了快速的发展^[19]。

本文中，将采用 UG NX 三维软件，建立传感器外壳冷流道注塑模各部分零件的三维模型并进行装配。

4.2.2 Moldex3D

虽然长期以来，计算机模拟仿真技术在航空航天、船舶、汽车等领域得到了广泛的应用，但随着科技的发展，近年来在制造业的其他领域也开始采用。塑料注射模行业中，很多企业都引入了注射成型 CAE 模拟软件，其中中国台湾科盛科技公司开发的 Moldex3D 模流分析软件，广泛应用于各种注射成型产品，采用实体混合网格，结合高效有限元法计算体积，在设计验证和问题解析时，能准确地预测产品制造的可行性，给出较优的设计方案。但采用传统注塑工艺，要想获得合格的产品，就必须重新调整产品和模具设计方案，使生产成本不断上升，效率降低，生产周期延长，最终导致企业竞争力下降。塑料制品的注射成型仿真可以有效地辅助设计，CAE 软件可以在模具设计和制造前，对产品的充填、保压、冷却及其收缩、熔接痕、困气、翘曲等方面进行有效的评价，避免了在试错法中浪费

大量的人力物力。

4.3 建模

首先在 UG NX 的软件里进行建模，具体建模过程可分为以下几个步骤，如图 4-1 所示。

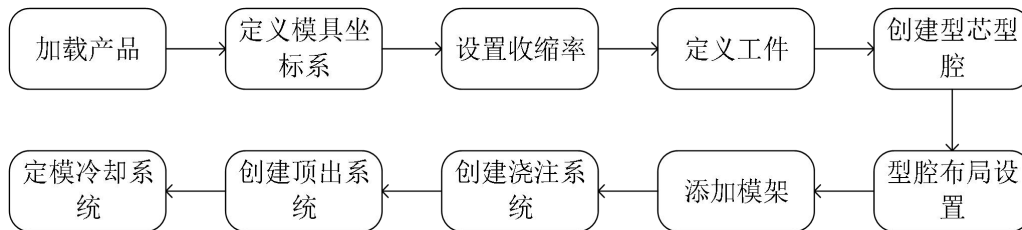


图 4-1 建模过程

用 UG NX 建模后的图形如图 4-2 所示：

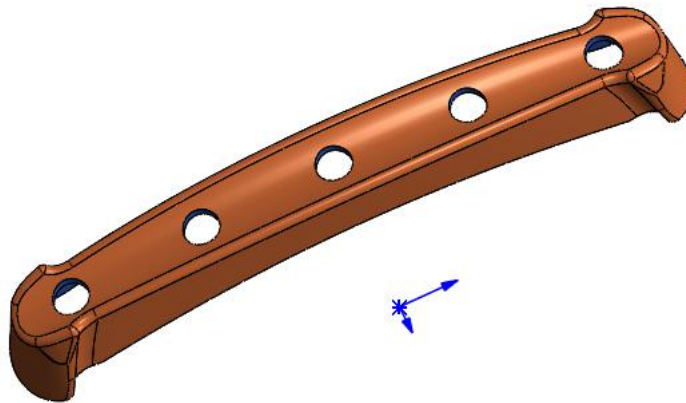


图 4-2 建模后图形

其次将 UG X 里的主流道，分流道，塑件，水路，以.stp 的格式导入 Moldex3D 的软件当中，定义其属性为塑件，其次再定义冷流道、浇口、水路的属性。因零件是一模两腔，所以对主流道进行分割并设置流道对称。设置完交口点进行导入模架水路的设置，然后检查水路看是否报错。对零件进行网格划分后进行最终检查，材料选择然后进行成型条件的设置后并开始分析充填与保压。

4.4 模拟分析

(1) 充填-流动波前时间。

从图 4-1 中可以看出充填的流动完整且充满零件各个部分，熔体流动方向符合

预期，所用的充填时间为 0.451 秒，实际充填时间与设定注射时间偏差在 1s 以内，在短时间内可以充填 100%，说明在此加工条件下没有发生短射的问题^[20]。

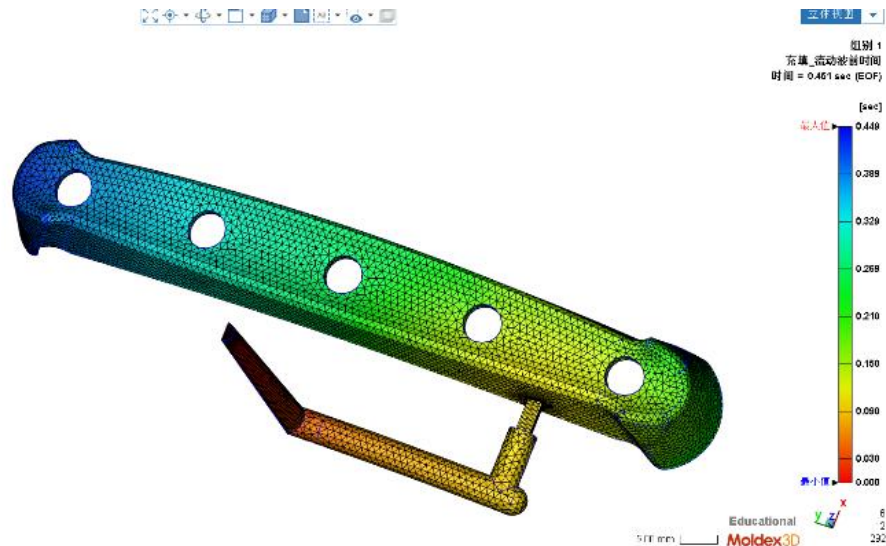


图 4-1 流动波前时间

从图 4-2 中可以看出缝合线的最低温度也在 233°C 以上，不存在缝合线暴露明显的情况。

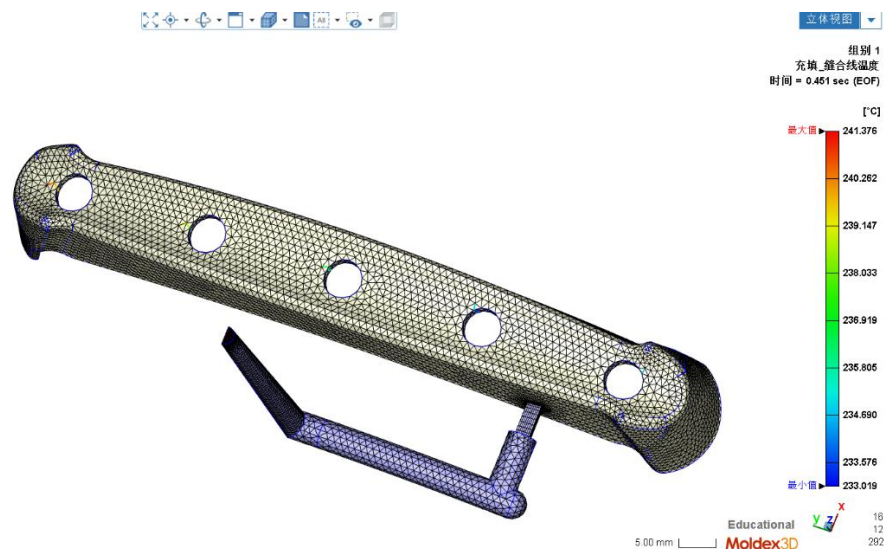


图 4-2 缝合线温度

(2) 保压-压力。

从图 4-3 中可以看出，整个注塑件的颜色分布均匀，说明其压力分布均匀，压力传递稳定，流道系统内不存在压降的情况，塑件内流动平衡没有出现熔胶过度保压和出现毛边的情形且流动末端压力的峰值达到 30MPa 以上图 4-4 表现了注塑

过程中的体积收缩率。其最大收缩率小于 10%，达到了结果评估的标准。

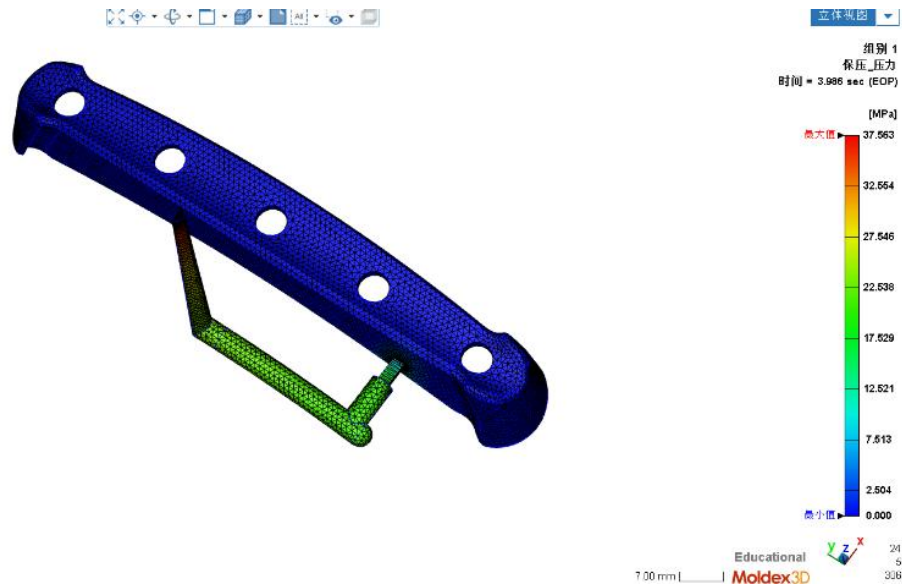


图 4-3 保压压力

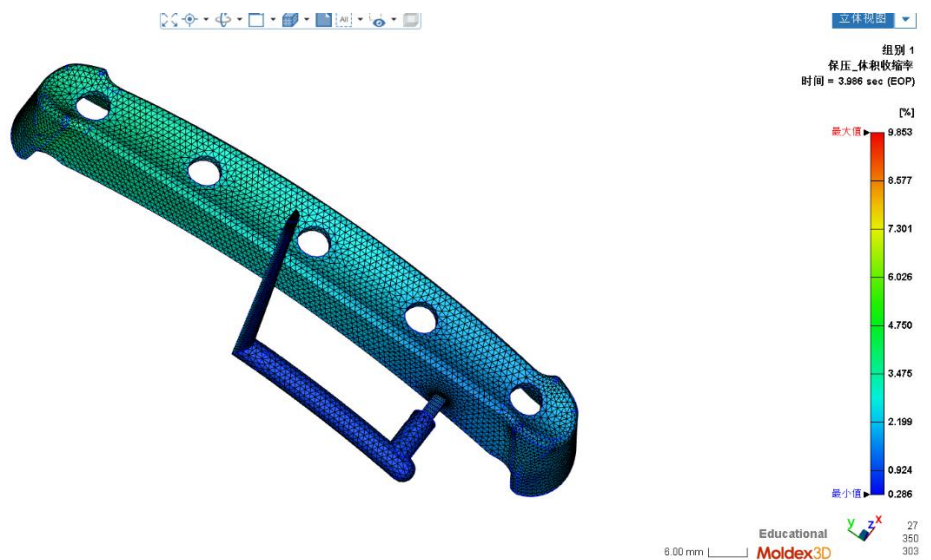


图 4-4 体积收缩率

4.5 总结

运用 Moldex3D 模流分析软件对注射成型冷却系统及浇注系统进行分析，仿真结果显示 X、Y、Z 方向的翘曲变形量都在可接受范围内再通过模具预变形设计达到装配要求。根据 Moldex3D 的分析结果，最终确定传感器外壳的注射模设计方案可行。

第五章 结论与展望

5.1 结论

模具在日常的生产生活中有着重要的作用。本文在对模具的基础理论知识进行分析的基础上，结合传感器外壳，对冷流道注塑模进行设计。分析了传感器外壳的结构特点和成型工艺，介绍了传感器外壳的设计与制造、和主要零件的制造要点与工艺。分析传感器外壳注塑模并采用合理的型腔布局，对浇注系统和冷却系统进行了基于 Moldex3D 模流分析软件的工艺参数优化和分析。从结果表明，此设计方案可行并予以采用。

利用 UGNX 建立注塑模的三维模型，分析其各部分组成及功能。

5.2 展望

基于本论文的研究，注塑模具向以下两个发展：

第一，模具的设计、生产的智能化；

第二，研究多种结构及类型模具，以适应多种多样的市场需求。

参考文献

- [1] 张立光, 熊守美. “铸造质量专家 FQExpert”的研制(3):统计质量管理体系[J]. 中国铸造装备与技术, 2000.
- [2] 陈钢锋.我国注塑模具关键技术的研究与应用进展[J].时代农机,2018,45(05):52.
- [3] 李佳. 五机架冷连轧机自动控制系统的研究与应用[D]. 燕山大学.
- [4] 李玉炜. 模具深腔曲面多轴数控铣削加工技术研究[D]. 广东工业大学, 2015.
- [5] 武兵书.中国模具工业的发展及现状[J].中国制造业信息化,2010,39(08):58-60.
- [6] 张霄. 淋浴喷头的气体辅助注射成型模具的设计及研究[D]. 青岛科技大学, 2011.
- [7] 林晨. 高光注塑成型数值模拟及优化[D]. 合肥工业大学, 2014.
- [8] 夏江梅. 塑料成型模具与设备(模具专业教学用书)[M]. 机械工业出版社, 2005.
- [9] 钱泉森. 塑料成型工艺及模具设计——21 世纪高等职业教育通用教材[M]. 山东科学技术出版社, 2004.
- [10] 王树勋. 注塑模具设计[M]. 华南理工大学出版社, 2005.
- [11] 张玉龙, 李长德. 塑料配方与制备手册[M]. 化学工业出版社, 2005.
- [12] 周达飞. 高分子材料成型加工[M]. 中国轻工业出版社, 2000.
- [13] A.Y.C. Nee,M.W. Fu,J.Y.H.et.al Determination of Optimal Parting Directions in Plastic Injection Mold Design[J]. CIRP Annals - Manufacturing Technology,1997,46(1).
- [14] Jeffrey M Lawrence,Kuang-Ting Hsiao,Roderic C Don,Pavel Simacek,Gonzalo Estrada,E.Murat Sozer,Hubert C Stadtfeld,Suresh G Advani. An approach to couple mold design and on-line control to manufacture complex composite parts by resin transfer molding[J]. Composites Part A,2002,33(7).
- [15] 翟豪瑞,葛晓宏,陈长秀,熊新,郑竹安.基于 Moldex3D 碳罐本体优化分析及模具设计[J].模具工业,2018,44(01):40-45+52.
- [16] Santosh Reddy Sama, Jiayi Wang, Guha Manogharan. Non-conventional mold design for metal casting using 3D sand-printing[J]. Journal of Manufacturing Processes,2018.
- [17] 殷筱依. 薄壁塑件注塑成型翘曲变形控制研究[D]. 重庆交通大学, 2018.
- [18] 李海林. 基于 CAD/CAE 塑料支架注射模设计[J]. 模具制造, 2014, 14(001):64-66.
- [19] 王秀梅, 翟豪瑞. 玻纤增强汽车注塑件成型工艺优化分析及模具设计[J]. 汽车实用技术, 2018, 044(009):108-111.
- [20] Junyu Fu, Yongsheng Ma. A method to predict early-ejected plastic part air-cooling behavior towards quality mold design and less molding cycle time[J]. Robotics and Computer Integrated Manufacturing,2019,56.

致 谢

《传感器外壳冷流道注塑模设计》毕业论文顺利完成首先离不开谢老师的谆谆教导，谢老师一直倾心关注我的论文进展，虽然我的问题较多，但是她很耐心地解答了我的许多困惑。她详细审查了我的论文，并对我的论文结构进行了专业的指导，使之逻辑清晰、易于理解。谢老师渊博的知识和认真的学术态度让我学到很多。我很感激有谢老师的帮助，解答了我关于学业前景的问题，让我对自己的人生规划有了进一步的认识。

同时，感谢在我完成毕业论文期间所有为我解答问题的所有老师，正是这些老师的耐心教导，不仅让我学到了专业知识，而且也在其他的方面给予了我很大的帮助。在此向我所有老师们致以诚挚的谢意。

其次，我要感谢帮助过我的同学，当我遇到难题向他们请教时，总能得到他们的热情援助，正是因为有大家的帮助我才可以顺利的进行毕业设计。

再者，感恩我伟大的母亲和父亲，正是因为他们辛苦的劳动与付出和无条件的支持，我才能专心完成学业。我的父母很朴实，没有华丽的语言，但跟我讲过最多的也是最让我感动的一句话是：“你不用考虑其他，只要你想继续读书深造，爸妈就能一直供你念下去。

最后，我要感谢我的女朋友，从高中同窗到大学相伴，我们见证了青春的美好。遇见你是我莫大的幸运，是你给予了我在学习上莫大的鼓励与支持，你的积极向上一直影响着我。山高路远，我们共同努力，一起奔赴未来。

论文的完成标志着我的大学生活也即将结束，之后我一定在学习与工作中脚踏实地，实事求是，争做新一代优秀青年，为祖国的发展奉献自己的力量。

附录

附录一 中文译文及外文资料

注塑模具设计中最佳分模方向的确定

摘要

底切特征的自动识别和提取是计算机辅助注塑模具设计中的一个瓶颈。底切的数量及其位置影响分型方向和表面。侧芯机构，滑块和升降机设计。和模具的整体结构。本文提出了一种基于塑件几何特征和拓扑关系的咬边识别和提取方法。用开发出来的软件。可以从模制零件的模型中自动分类和识别底切。为了明确底切准则，提出了一种新的分类方法。由于大多数注射成型零件由曲面和自由曲面组成，因此也引入了这些曲面的识别和提取。在所有的底切被提取之后，基于所提出的考虑可能的底切的数量和它们相应的底切体积的标准来选择最佳的分离方向。通过对几个工业零件的案例研究，发现所开发的方法在确定注射成型零件的最佳分型方向方面是有效的。

引言

虽然越来越多的塑料零件用于工程和消费产品，但塑料注射模具制造和成型行业正在快速扩张，其生产规模通常较小，品种繁多。随着产品生命周期变得越来越短，对缩短注塑模具的设计和制造提前期的需求也越来越高。当务之急是：**(a)**缩短设计和制造周期；**(b)**提高尺寸精度和整体质量；以及**(c)**设计变更易于适应。为了解决这些问题，一种方法是通过使用自动化制造过程和设备来缩短处理时间；另一种方法是减少设计准备时间。使用计算机辅助设计系统自动设计注塑模具是目前解决该问题的首选方法。在计算机辅助注塑模具设计系统(CAIMDS)中，自动生成分型方向和分型面、滑块和挺杆以及侧型芯机构是重要步骤之一。底切特征的识别和提取以及分型方向的自动确定是首先要解决的几个问题。

虽然底切的确定在 CAIMDS 中很重要，但由于注射成型零件的复杂性，出版的作品相对较少。陈等人基于需要侧型芯或侧型腔来成型的底切最小化，获得了模具的分型方向。他们提出了一种基于表面沿某一方向可见性的算法。如果表面

不完全可见。在该方向上可能存在底切。然而，他们的方法没有考虑到内部的削弱。罗森等人从几何推理的角度提出了一种算法。他们的原则和陈的几乎一样。这些方法的缺点是难以确定可见方向的性质和数量。可见方向代表无限个可能的分离方向之一。作为陈工作的继续，温斯坦等人使用相互可见度标准来确定模制零件的凹和凸区域。分离方向是基于凹入区域的允许绘制范围生成的，而凹入区域的允许绘制范围又由每个表面绘制范围的交点确定。然而，对于曲面，很难以这种方式定义曲面绘制范围，因为凹入区域可以由曲面和自由曲面组成。申和李提出了一种通过检查产品和模具之间的干涉面来识别底切的方法。这种方法只能用于确定是否需要侧型芯或侧型腔，并为滑块和挺杆的设计提供信息，因为分离方向和表面首先被选为已知条件。除了这些方法，望月等人和甘特也报告了他们在这一领域的工作。他们的方法仅限于平面，不能处理内侧根切、内侧外根切和自由曲面零件的根切条件。尽管在这些方法中，模制部件的几何形状限于平面或简单的曲面，但是它们的方法和算法本质上是通用的，并且可以应用于复杂的表面特征。这些方法都是注塑模具自动化设计的有益探索。

Determination of Optimal Parting Directions in Plastic Injection Mold Design

A. Y. C. Nee (1), M. W. Fu, J. Y. H. Fuh, K. S. Lee, Y. F. Zhang

Department of Mechanical and Production Engineering, National University of Singapore, Singapore,

Received on December 30, 1996

Abstract

Automatic recognition and extraction of undercut features is a bottleneck in computer-aided injection mold design. The number of undercuts and their locations affect the parting directions and surfaces, side-core mechanism, sliders and lifters design, and the overall structure of a mold. In this paper, a methodology is proposed for the recognition and extraction of undercuts based on their geometrical characteristics and topological relationships of the molded parts. With the developed software, undercuts can be classified and recognized automatically from a 3-D model of a molded part. In order to define the undercut criteria clearly, a new classification method is presented. Since most of the injection molded parts consist of curved surfaces and free-formed surfaces, recognition and extraction of these surfaces are also introduced. After all the undercuts are extracted, the optimal parting direction is chosen based on the proposed criterion of considering the number of possible undercuts and their corresponding undercut volumes. From the case studies on several industrial parts, the methodology developed is found to be efficient in determining the optimal parting direction of injection molded parts.

Keywords: Injection, Molding, CAD.

1. Introduction

Although more plastic parts are used in engineering and consumer products, plastic injection mold-making and molding industries are fast expanding, their production runs are typically of small lot-size and with great varieties. There is a high demand for shorter design and manufacturing lead time of injection molds as product life cycles are becoming very short. It is imperative that: (a) the design and manufacturing lead time be reduced; (b) dimensional accuracy and overall quality be increased; and (c) design changes can be easily accommodated [1]. To solve these problems, one way is to shorten the processing time by using automated manufacturing processes and equipments; another way is to reduce the design lead time. Automating the design of injection molds using a CAD system is currently a preferred method to solve the problem. In a computer-aided injection mold design system (CAIMDS), the generation of parting directions and surfaces, slider and lifter, and side-core mechanisms automatically is one of the important steps. Recognition and extraction of undercut features and the automatic determination of the parting direction are the first few issues to be resolved.

Although the determination of undercuts is important in CAIMDS, there are relatively few published works because of the complexity of injection-molded parts. Chen et al. [2,3] obtained the parting direction of a mold based on the minimization of undercuts which require side-cores or side-cavities for molding. They presented an algorithm based on the visibility of a surface along a certain direction. If the surface is not completely visible, an undercut may exist in that direction. Their approach, however, did not take into account of the internal undercuts. Rosen et al. [4] presented an algorithm from the viewpoint of geometric reasoning. Their principle is nearly the same as Chen's. The shortcomings of these methods are the difficulty in determining the nature and

number of visible directions. The visible direction represents one of the infinite number of possible parting directions. As a continuation of Chen's work, Weinstein et al. [5] used the mutual visibility criterion to determine the concave and convex regions of a molded part. The parting direction is generated based on the allowable draw range of the concave region which, in turn, is determined by the intersection of every surface draw range. For curved surfaces, however, it is difficult to define the surface draw range in this manner as the concave regions can be composed of curved and free-formed surfaces. Shin and Lee [6] presented a procedure to recognize the undercuts by checking the interference faces between the product and mold. This method can only be used to determine if side-cores or side-cavities are needed and to provide information for the design of sliders and lifters because the parting directions and surfaces are first chosen as a known condition. Besides these approaches, Mochizuki et al. [7] and Ganter [8] also reported their work on this field. Their methods are limited to planar surfaces and could not deal with internal undercuts, inside external undercuts and the undercut conditions of the parts with free-formed surfaces. Although the geometry of the molded parts is limited to planar surfaces or simple curved surfaces in these approaches, their methodologies and algorithms are general in nature and can be applied to complex surface features. All these approaches are good exploratory work in automated design of injection mold.

2. Types of undercuts and their classification

Undercuts can be defined as the convex and concave portions of the molding that cannot be removed from the mold along the parting direction. If the possible undercuts cannot be molded in by cores and cavities, they will require the incorporation of a side-core or side cavity in the mold structure. In determining the optimal parting direction, all the possible undercuts should be recognized and extracted first.

The undercuts can be classified into two types: external and internal undercuts. The external undercut is the restriction region which prevents the molding from being withdrawn from the cavity, and the internal undercut is the one that prevents the molding from being ejected from the core. The external undercuts can be further classified into inside and outside external undercut. In order to define the inside external undercuts shown in Fig.1(a), the target surface is investigated. It is found that the edges of the target surface form the different edge-loops in which the edges are linked together. The largest edge-loop is the outside boundary of the target surface and is designated the external edge-loop like external edge-loop1 as shown in Fig.1(b). The other edge-loops lying inside the largest edge-loop are known as the internal edge-loop as internal edge-loop2 and edge-loop3. On the other hand, from the viewpoint of surface features, the adjacent surfaces (S_a) of a target surface are classified into external and internal adjacent surfaces. In Fig.1(a), the target surface is the top surface of the block, the external adjacent surfaces are four-sided surfaces. Its internal adjacent surfaces compose two undercuts lying inside the target surface. The internal adjacent surfaces can be divided into different groups in which the adjacent surfaces are linked together and form an undercut. Based on these definitions, it is found that the internal and external edge loops are the intersection boundaries of the internal and external adjacent surfaces with the target surfaces respectively. Therefore, the inside external undercut is composed of the inside adjacent surfaces and its intersection boundary with the target surface is the internal edge-loop. The outside external undercut is a kind of boundary perturbation which is constituted by the whole target surface and its adjacent surfaces. The undercuts are classified in such a way that it is easy to set up their determining criteria. Similarly, the internal undercuts can

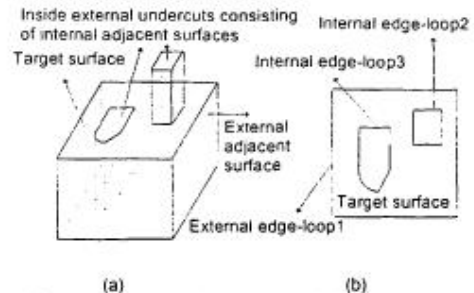


Fig.1 Inside external undercuts and their edge-loops

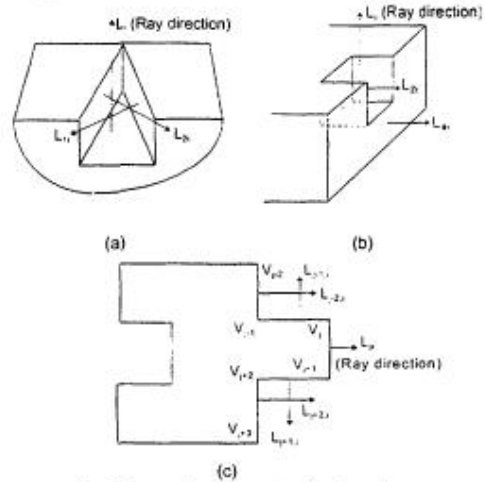


Fig.2 Cases of outside external undercuts

Table 1 Criteria and U_0 of outside external undercuts

Types	Three- S_a	Four- S_a	More than four- S_a
Cases	Fig.2(a)	Fig.2(b)	Fig.2(c)
Undercut criteria	(1) $L_1 > 0, x_{1k} > x_{1j}, x_{2k} > x_{2j}$ and $x_{3k} < x_{3j}$ QR $L_1 < 0, x_{1k} < x_{1j}, x_{2k} < x_{2j}$ and $x_{3k} > x_{3j}$. (2) P: Nil	(1) $L_1 > 0, x_{1j} > x_{1k}, x_{2j} > x_{2k}$ and $x_{3j} < x_{3k}$ QR $L_1 < 0, x_{1j} < x_{1k}, x_{2j} < x_{2k}$ and $x_{3j} > x_{3k}$ (2) P: Nil	(1) $V_{1,1}, V_{1,2}$ and $V_{1,3}$ constitute a concave portion and $V_{1,1}, V_{1,2}$ and $V_{1,3}$ form another one. (2) P: Nil
Undercut direction	(1) L_1 , when $L_1 \bullet L_{1,1} \geq 0$ and $L_1 \bullet L_{2,1} \geq 0$. QR (2) $(L_1 \times L_{1,1} + L_2 \times L_{1,1}) / L_1 \times L_{1,1} + L_2 \times L_{1,1} $, when $L_1 \bullet L_{1,1} < 0$ or $L_1 \bullet L_{2,1} < 0$.	(1) L_1 , when $L_1 \bullet L_{1,1} \geq 0$ and $L_1 \bullet L_{2,1} \geq 0$. QR (2) $(L_1 \times L_{1,1} + L_2 \times L_{1,1}) / L_1 \times L_{1,1} + L_2 \times L_{1,1} $, when $L_1 \bullet L_{1,1} < 0$ or $L_1 \bullet L_{2,1} < 0$.	(1) $(L_{1,1} \bullet L_{1,2} + L_{1,2} \bullet L_{1,3}) / L_{1,1} \bullet L_{1,2} + L_{1,2} \bullet L_{1,3} $, when $L_{1,1} \bullet L_{1,2} \geq 0$ and $L_{1,2} \bullet L_{1,3} \geq 0$. QR (2) $(L_{1,1} \bullet L_{1,2} + L_{1,2} \bullet L_{1,3}) / L_{1,1} \bullet L_{1,2} + L_{1,2} \bullet L_{1,3} $, when $L_{1,1} \bullet L_{1,2} < 0$ or $L_{1,2} \bullet L_{1,3} < 0$.

also be classified into inside and outside internal undercuts. The definitions are similar to the above.

3. External undercuts

3.1 Outside external undercuts

Let x_j and L_j be the centre coordinates and the directional cosine or centre normal vector of the target surface F_j , respectively, and x_k be the centre coordinates of the adjacent surfaces. Let $L_k = \text{Max}\{L_k\}$, where k is the coordinate axis in which the component of directional cosine is maximal. There are three types of possible outside external undercuts. The undercut criteria and undercut directions (U_0) of the specific cases shown in Fig.2 are listed in Table 1. In order to determine if an undercut is an outside external undercut, a ray in the normal vector direction of the target surface F_j is fired. If the number of intersection points (P) of the ray with the molding is zero excluding the point from which the ray is cast, the undercut is an outside external undercut. For the above three types of outside external undercuts, only one case is given. The other cases and their criteria can be developed based on the geometrical characteristics and topological relationships of the molding.

3.2 Inside external undercut

Fig.3(a) shows two types of inside external undercuts, a boss on the target surface and a hole. The procedures to recognize the undercuts are as follows:

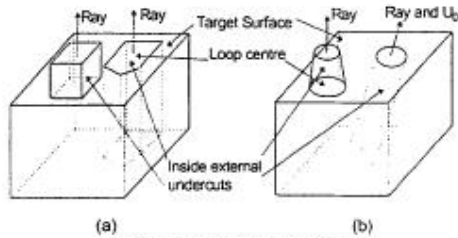


Fig.3 Inside external undercuts

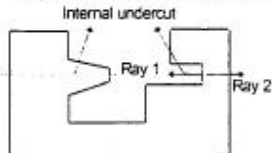


Fig.4 Internal undercuts

(a) Extract all edges of F , and divide them into different groups. In each group, the edges should link together and form an edge-loop. If the number of the loops is N , the possible undercut number will be $(N-1)$.
 (b) Determine the external edge-loop, which constitutes the outside boundary of the target surface, the other internal edge-loops and the centres of these edge-loops. Let xv be the coordinates of each vertex of an edge-loop, the edge-loop centre xv is:

$$xv = (xv_1 + xv_2 + \dots + xv_n) / n \quad (1)$$

If there is no loop vertex, the loops will be the intersection boundary of the revolutionary surfaces with the target surface. The loop centre is at the centre of the intersection boundary, as shown in Fig.3(b).

(c) Fire a ray in L , from xv . If P is equal to two including the point from which the ray is cast, there exist a boss or block on the surface which becomes the possible undercuts as shown in Fig.3 and a side-cavity is needed for molding. If there is no intersection point, there may exist an undercut and a side-core is needed.

(d) Determine the undercut direction. The adjacent surfaces whose edges constitute the internal edge-loop form the inside undercuts and its U_0 can be determined based on the centre normal vectors of these adjacent surfaces or their axis directions. If they are all bounded planar surfaces and B-surfaces, and L_j ($j=1, 2, \dots, n$, n is the surface number) are the directional cosines at surface centre, U_0 should be in the direction of

$$(L_1 \times L_2 + L_3 \times L_4 + \dots + L_{n-1} \times L_n) / |L_1 \times L_2 + L_3 \times L_4 + \dots + L_{n-1} \times L_n| \quad (\text{If } n \text{ is an even number})$$

OR

$$(L_1 \times L_2 + L_3 \times L_4 + \dots + L_{n-1} \times L_n) / |L_1 \times L_2 + L_3 \times L_4 + \dots + L_{n-1} \times L_n| \quad (\text{If } n \text{ is an odd number})$$

If they are revolved surfaces, U_0 should be in the axis direction A_0 or their resultant direction as shown in Fig.3(b).

(e) Determine the undercut centre. Let x_{ud} be the centre of the inside external undercut and it can be determined from x_j and

$$x_{ud} = (x_{1j} + x_{2j} + \dots + x_{nj}) / n \quad (2)$$

4. Internal undercuts

The internal undercut can be molded in by a form pin

which is retracted during the ejection phase. Fig.4 is an illustration of internal undercuts. There are also two types of internal undercuts, namely inside and outside internal undercuts. The criteria of internal undercuts are similar to external undercuts. If the undercut is an internal undercut, the rays in U_0 and $-U_0$ will have more than one intersection point with the molding besides the point in which the rays are cast. In Fig.4, if Ray 1 is in U_0 , there are two intersection points between the ray and the molding excluding the point from which the ray is cast. Similarly, Ray 2 has more than one intersection excluding the casting point.

5. Curved-surface Undercuts

The main curved surfaces used in the moldings are as follows:

5.1 Cylindrical surfaces(CY) and conical surfaces(CO)

Based on the number of vertices (V), edges (E), adjacent surfaces (S_A), and the intersection points (P) of rays in the directions along A_0 or opposite A_0 with the molding excluding the casting point, there are five types of CY and CO as summarized in Table 2. U_0 can be determined according to the connecting surface (S_c) with the molding and the adjacent surfaces of S_t (top adjacent surface), S_b (bottom adjacent surface) and S_m (middle adjacent surface).

5.2 Spherical surface

A spherical surface and its adjacent surface can form an undercut. Let h be the distance between the spherical centre and its adjacent surface and L_n be the directional cosine of S_A (if the spherical centre is outside its adjacent surface, $h > 0$, otherwise, $h < 0$). The undercut direction determined based on the location of the sphere centre is summarized in Table 3.

5.3 Revolved surfaces and B-Surfaces

The vertices, edges, adjacent surfaces can be recognized and extracted from the surface models of the revolved surfaces and B-Surfaces. For a given B-surface, it can be recognized by the parametric coordinates $[u, v]$ or absolute coordinates. Any point coordinates and normal vectors of the surface can also be extracted. After the geometrical information and topological relationships with other adjacent surfaces are determined, the undercut can be identified based on these relationships using the previously mentioned criteria.

6. Criterion of optimal parting direction (O_p)

O_p is selected by maximizing the number of undercuts which can be molded in by the main core and cavity or minimizing the number of undercuts which can only be molded in by side-cores or side-cavities. Our approach, however, considers not only the number of undercuts but their volumes as well. If the x direction is chosen as the parting direction, the possible undercuts with an undercut direction not parallel to the parting direction will be the real undercuts. Let all the possible undercuts be divided into different groups such that each group has the same undercut direction and $V_j(x)$ be the volume of the j th undercut in the i th group, O_p will be selected based on the following criterion:

$$V_{max} = \text{Max} \left\{ \sum_{j=1}^n V_j(x) \right\} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

Table 2: CY and CO and their undercuts

(CY)	(CO)	Properties	U_o
		V: Nil E: Two P: Two S_A : S_r and S_b S_C : S_r or S_b	CY: U_o : Ray1 or Ray2 CO: U_o : Ray1 if $S_C=S_b$
		V: Nil E: Two P: One S_A : S_r and S_b S_C : S_r , S_b and itself.	CY: U_o : Ray1 CO: U_o : Ray1
		V: Nil E: Two P: Nil Sc: itself.	CY: U_o : Ray1 or Ray2 CO: U_o : Ray2
		V: Four E: Four S_A : Three(S_r , S_b and S_u)	CY: U_o : $+A_o$ or $-A_o$, if $S_C=S_r$ or S_b , $\perp A_o$ if $S_C=S_u$ CO: U_o : $+A_o$ or $\perp A_o$

Table 3: Spherical surface undercuts

Concave		Convex	
$h>0$; U_o : L_u	$h<0$ U_o : difficult to draw	$h<0$ U_o : L_u	$h>0$ U_o : - section string

where x indicates the undercut direction, n is the undercut group number and m is the undercut number in the i th group. The undercut direction x which satisfies the above criterion will be the optimal parting direction O_p . Based on the above criterion, the sum of the undercut volumes (V_{max}) in the optimal parting direction should be greater than the ones in any other groups. Usually, in the optimal parting direction, the number of undercut in this undercut group is also maximized.

7. Case study

For a given injection molded part, all the possible undercuts can be recognized and extracted based on the proposed method and O_p can be automatically identified. The programs have been applied to several industrial parts and the solutions are consistent and satisfactory. Fig.5 shows a thin-walled plastic part made up of various types of surfaces. It takes 123 seconds to recognize and extract all the possible undercuts and to generate O_p on a workstation. All the possible undercuts are recognized and their directions are shown. No.1 and No.10 are inside external undercuts. No.2-9 are outside external

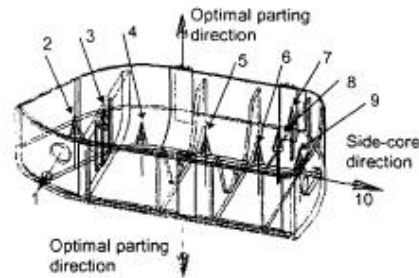


Fig.5 The case study

undercuts. O_p is determined based on these undercuts. It is found that No. 1 and No. 10 undercuts need side-cores for molding, but No.2-9 undercuts can be molded by the core and cavity.

8. Conclusions

An efficient algorithm for automated recognition and extraction of possible undercuts and generation of an optimal parting direction based on the geometrical characteristics and topological relationships of injection molded parts is described in the paper. A new classification of undercuts and the criteria of all types of undercuts are presented. The optimal parting direction is generated based on the proposed criterion of considering the number of possible undercuts and their corresponding undercut volumes. A case study shows that the methodology developed is able to provide solutions to complex molded parts.

References

- [1] Altan, T., Lilly, B., W., Kruth, J. P., Konig, W., Tonshoff, H. K., Van Luttervelt, C. A. and Khairy, A. B., 1993, Advanced techniques for die and mold manufacturing, Annals of the CIRP, 42/2:707-716
- [2] Chen, L. L., Chou, S. Y. and Woo, T C, 1993, Parting direction for mold and die design, Computer-aided Design, 25:762-768
- [3] Chen, L. L., Chou, S. Y. and Woo, T C, 1995, Partial visibility for selecting a parting direction in mold and die design, Journal of Manufacturing Systems, 14:319-330
- [4] Rosen, D. W., 1994, Toward automated construction of moulds and dies, Computers in Engineering, ASME, 1:317-326
- [5] Weinstein, M. and Manoochehri, S, 1996, Geometric Influence of a molded part on the draw direction range and parting line locations, Journal of Mechanical Design, ASME, 118:29-39
- [6] Shin, K. and H., Lee, K., 1993, Design of side cores of the injection molds from automatic detection of interference faces, J. of Design and Manufacturing, 3:225-236
- [7] Mochizuki, T. and Yuhara, N., 1992, Methods of extracting potential undercut and determining optimum withdrawal direction for mold designing, Int. J. Japan Soc. Prec. Eng., 26:68-73
- [8] Ganter M. A. and Skoglund, P. A., 1993, Feature Extraction for Casting Core Development, Journal of Mechanical Design, ASME, 115:744-749

