

摘 要

市场竞争日趋激烈，用户的需求朝着多品种、小批量、高质量、低价格的方向发展。为了提高产品的市场竞争力，缩短产品的开发周期，降低产品的生产成本，将计算机辅助设计技术和有限元分析技术应用到模具产品开发中成为必然。本课题利用 Pro/E 和 Moldflow 软件实现固定框注塑模设计，主要研究内容如下：

1. 应用 Pro/E 软件完成了固定框注塑模具设计。设计了模具的成型零件、浇注系统、冷却系统、抽芯机构、推出机构等。实践表明，将 Pro/E 软件应用于塑料模具设计，开发周期缩短，并能提高设计精度。

2. 在 Pro/E 环境下的注塑模设计中，利用 Pro/E 的外挂软件 EMX4.0（注塑模设计专家）模架库使得设计周期更加缩短，其开模仿真模拟、干涉检查使得设计的准确度较传统设计提高。

3. 运用注塑模具分析软件 Moldflow 对注塑模具进行了最佳浇口分析、填充分析、冷却分析、翘曲分析等工作，并在分析的基础上，针对存在的问题，进行优化设计，直到获得满意的分析结果为止，最后将注塑模 CAE 的优化设计的结果，反馈到注塑模 CAD 的三维模型上，及早修改不合理设计，避免后期实际试模、生产时出现不合格产品，保证试模一次成功，节省了模具开发的时间和成本。

关键词：注塑模；CAD；Pro/E；Moldflow；CAE

ABSTRACT

Market competition becomes intense day by day , more kind,small batch,high quality and low cost must be the demand of user. In order to raise the market competition ability of product, shorten the development cycle of product, reduce the production cost , therefore the CAD technology and the finite unit analysis applied into mould product development become necessary. This program realizes fixing frame using Pro/E and Moldflow software to mould design, major research content as following:

1. applying the software of Pro/E completed the injecting mold design of fixing frame. Design of the mold forming parts, gating system, cooling system, core-pulling mechanism to launch institutions. Practice shows that the Pro/ E software can make design cycles shorter and improve the design accuracy.

2. In the Pro/E environment for mold design, the use of Pro/E plug-ins EMX4.1 (Injection Mold Design experts) Mold Base Library makes design cycles even shorter, The result of animation simulation of the mold tooling has approved the rationality of the mold.

3.Applying the software of Moldflow into injection mould went on the best gating analysis , filling analysis, cooling analysis and warping analysis etc. based on the foundation of analysis, according to existent problem,we carried out optimization design, until getting satisfactory analysis result , modified the three-dimensional model which was not reasonable design by the result of optimization design of mould CAE quickly , avoided the rejected product in actual examination mould and production of later stage, guaranteed to try mould successfully, saved cost and the time of mould development

Key words: injection mould; CAD; Pro/E ;Moldflow;CAE

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权江苏大学可以将本学位论文的全部内容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和汇编本学位论文。

保 密 ，在 年解密后适用本授权书。

本学位论文属于

不保密 。

学位论文作者签名：孙建英

指导教师签名：任飞

2009 年 12 月 18 日

2009 年 12 月 20 日

独创性声明

本人郑重声明：所提交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已注明引用的内容以外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：刘建英

日期：2009年12月18日

第一章 绪论

1.1 引言

塑料是 20 世纪才发展起来的一大新型材料,是高分子材料中最大的一类。塑料工业是国民经济中的一个非常重要的产业。由于塑料的机械性能和加工性能优良,而且具有质量轻、耐腐蚀、电绝缘性能好、比强度高优点,在国民经济和人们日常生活的各个领域得到了日益广泛的应用。在交通运输、电子、机械化工、航空航天以及日常消费品等领域,塑料已成为金属的良好代用材料,并显示出其巨大的优越性和发展潜力,出现了金属材料塑料化的趋势,极大地促进了塑料工业的不断发展和塑料加工工艺的不断完善。

注射成型是塑料制品成型加工最重要的工艺过程之一,目前,除了少数几种塑料外,几乎所有的塑料都可以采用注塑成型。注塑成型技术能一次成型各种结构复杂、尺寸精密和带有金属嵌件的制品,后期只需少量修整或完全不需修整,成型周期短,可以一模多腔,生产率高,大批生产时成本低廉,易于实现自动化半自动化生产,因此在塑料加工行业中占有非常重要的地位。

随着我国汽车、摩托车、家电等工业的迅速发展,工业产品的外形在满足性能要求的同时,变得越来越复杂,而这些产品的制造离不开模具,这就要求模具制造行业以最快的速度、最低的成本、最高的质量生产出模具。

传统的注射制品设计、注射工艺设计,以及模具设计大多采用尝试法。设计者依据有限的经验和比较简单的计算公式进行相应工作。但是在注射成型生产实际中,塑料熔体的流动性千差万别,制品和模具的结构千变万化,工艺条件各不相同,仅凭有限的经验和简单的公式难以对这些因素作全面的考虑和处理,而且设计者经验的积累和公式的总结也往往跟不上塑料材料的发展和制品复杂程度及精度要求的提高^[1]。因此,正式生产之前,要经历反复的试模、修模和工艺参数调整等过程。用这种尝试法开发和生产,周期长、费用高,并且质量难以得到有效保证,不利于新产品的研制与开发。特别对大型制品和精密制品来说,问题更加突出。

解决这一问题的有效途径是将计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工程(CAE)和计算机辅助制造技术(CAM)应用于塑料成型领域^{[2][3]}。资料表明,应用计算机技

术后, 模具的设计时间缩短 50%, 制造时间缩短 30%, 成本下降 10%, 塑料原料节省 7%。因此, CAD/CAE/CAM 技术在塑料成型加工方面的应用是提高注塑成型效率和质量的最有效的途径。

1.2 注塑成型技术概述

1.2.1 注塑成型加工原理

注塑成型, 是先把塑料加入到注塑机的加热料筒内, 塑料加热熔融成流动态, 由柱塞或螺杆的推动, 施以高压经过料筒前端喷嘴注入闭合塑模中, 由于物理及化学作用而硬化定型成为注塑制品^[4]。

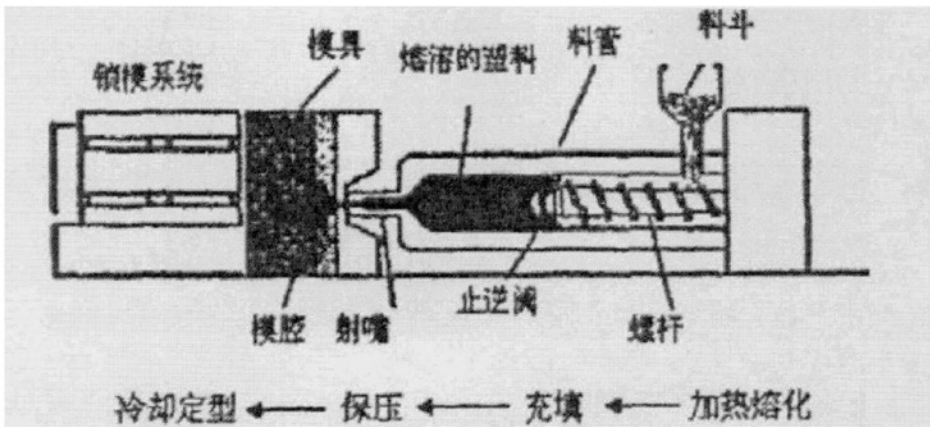


图 1.1 注塑成型机基本组成及成型过程

注射成型过程大致可分为以下 4 个主要阶段: 塑化(烘料, 加料, 受热塑化, 压实)、充填(计量, 合模, 注射)、保压(防回流, 收缩补料)和冷却定型(固化, 开模取出, 后加工)等, 具有周期性的成型特点, 如图 1.1 所示^[5]。注塑成型理论主要研究塑料材料在转变成制品的过程中, 其性能的变化和它所表现的变形流动行为与各种加工条件之间的关系。注塑成型加工过程包括原料、设备和模具结构设计及成型工艺等各个方面因素。这些因素之间相互影响, 共同制约着注塑制品的质量。

1.2.2 注塑成型过程的基本要素

注塑成型的目的是生产出符合用户要求的塑料制品。要想取得合格的制品, 必须要有设计合理、制造精良的模具, 还要有和该模具配套的先进的注射设备(注塑机)以及合理的加工工艺。因此, 人们常将模具、注塑机以及成型工艺称之为

注塑过程得以顺利进行的三个基本要素^[6]。

注塑模具——注塑模是注塑成型的重要工艺装备，其结构形式多样，典型的注塑模由定模和动模两大部分组成，定模安装在注塑机的固定模板上，动模安装在注塑机的移动模板上。合理的模具结构设计是得到好的制品的前提。注塑模具在质量、精度以及注射成型过程中的生产效率等方面的水平高低，直接影响产品的质量、产量、成本及产品的更新换代，并最终决定着企业在市场竞争中的反应能力和速度。

注塑机——注塑机也是注射成型必须的要素之一。一般来说，市场上供应各种形式和规格的注塑机，但是在实践中，必须根据模具的实际情况和注塑厂家的设备情况进行选择。注射机是将经过预塑熔化后的颗粒状高分子材料，由喷嘴高速射入模腔，再经过冷却成型塑料制品的设备。

成型工艺——注塑成型工艺是指为了获得所需的成型品，而设定的温度、压力、速度、时间、行程等机器成型参数的组合。在成型过程中，要想确立一组最佳的成型条件决非易事，因为影响成型条件的因素很多，除制品的形状、模具结构、注塑设备、原材料等之外，电压的波动，环境温度的变化对成型都有一定的影响。合理的成型工艺是塑料成型的又一关键问题，对于提高塑件质量有着重要作用。

1.2.3 注塑模的基本结构

注射模可分为动模和定模两大部分，注射时动模和定模闭合构成型腔和浇注系统，开模时动模和定模分离，取出制件。

注射模的基本结构分为：成型部分——构成型腔，决定塑件形状、尺寸和精度。浇注系统——将从注射机喷嘴过来的熔融塑料引流到型腔中。排气系统——充模时，排除模腔中多余的气体或料流端的冷料等。温度调节系统——控制模具的温度，使熔融塑料在充满模腔后迅速可靠定型。脱模机构——把模腔中定型后的塑件从模具中脱分并取出的机构。模架——将模具的各个部分有效连接、导向、定位，并在使用时，通过它与注射机联系在一起。

1.3 注塑模 CAD/CAM/CAE 技术的发展概况

60年代中期，英国、美国、加拿大的学者就开始了有关塑料熔体在模具型腔

内流动和冷却的基础研究。塑料流变学、几何造型技术、数控加工及计算机技术的发展有力地推动了注塑模 CAD/CAE/CAM 研究的深入,由最初的 CAD 技术和 CAM 技术以图纸为媒介传递信息向 CAD/CAM 一体化方向发展。特别是注塑模 CAE 技术的运用是塑料成型加工及模具设计发展过程中的一个重要里程碑^[7]。它是计算机辅助设计/计算机辅助制造(CAD/CAM)技术向纵深方向发展的体现。注射模 CAE 技术是根据塑料加工流变学和传热学等基本理论,建立塑料熔体在模具型腔中流动、传热等的物理、数学模型,利用数值计算理论构造其求解方法,利用计算机图形学技术在计算机屏幕上形象、直观地模拟出实际成型中熔体的动态填充、冷却等过程,定量地给出成形过程中的状态参数(如压力、温度、速度等)。注射模技术可以在模具制造之前,在计算机上对模具设计方案进行分析和模拟,预测设计中潜在的缺陷,为设计人员修改设计提供科学的依据。

CAE 技术的载体是软件产品,技术的核心内容是计算机模拟与仿真,因此技术的发展主要体现在软件产品上。注塑模 CAE 软件的发展经历了从中面流技术到双面流技术再到实体流技术的三个重要的里程碑^[8]。

1. 中面流技术:于 20 世纪 80 年代开始应用。所谓中面就是提取的位于模具型腔和型芯中间的层面来简化 3D 模型,用一维和二维的耦合算法来代替三维计算。

2. 双面流技术:于 20 世纪 90 年代后期诞生。双面流是指在制品的内外表面产生有限元网格,而不是在中间面。与中面流技术相比在模型处理上大大减轻了用户建模的负担,提高了有限元建模的效率。但由于上下网格无法一一对应,造成上下对应表面的熔体流动前沿存在差别,使得双面流技术分析的准确性受到一定的限制。此外,双面流技术也只是一种从中面流技术向实体流技术过渡的手段。

3. 实体流技术:在现实原理上与中面流相同,所不同的是数值分析方法有较大差别。在实体流技术中熔体的厚度方向的物理量变化不再被忽略,这时只能采用三维有限元网格,依靠三维有限差分法或三维有限元法对熔体的充模流动进行数值分析。三维有限元模型分析已经成为注塑成型模拟发展的热点^[9]。

80 年代以来,注塑模 CAD/CAE/CAM 技术已经从实验室研究阶段进入了实用化阶段,出现了许多商品化注塑模 CAD/CAE/CAM 软件:

1. 美国 Ac-Tech 公司的注塑模 CAE 软件 C-Mold。

该公司最新推出的 C-Mold3.0 版本具有三个层次。第一层次的软件用于初始阶段的设计,如优选注塑材料、选择标准模架、优化成型工艺参数、诊断注塑缺陷、平衡流道系统等,第二层次为单独运行的三维流动模拟与三维冷却分析软件,第三层次将流动、保压与冷却分析软件结合起来,以便得到更为精确的分析结果,并用以分析制品出模后的变形和翘曲。AC-Tech 公司还对 K·K·Wang 教授所领导的美国康乃尔大学 CIMP 组织的科研成果进行推广应用。

2. 澳大利亚 Moldflow 公司的 CAE 软件。该软件包括流动模拟、冷却分析、应力分析和翘曲变形预测等程序。

3. 德国 IKV 研究所的 CAD/CAE 软件 CADMOULD, 该软件包括模具结构设计、模具强度与刚度分析、流动模拟及冷却分析等程序。

4. 美国和意大利的 P&G 公司的 CAD/CAE/CAM 软件 TMCONCEPT。该软件包括注塑材料选择、成形工艺参数优化、模具成本优化、流动模拟、冷却分析及型腔设计等程序。

5. 美国 SDRC 公司的 I-DEAS 系统。

I-DEAS 原为通用机械的 CAD/CAM 系统。近几年来,该公司先后自行开发出冷却分析、流动模拟及翘曲分析等 CAE 软件,并将它们与 I-DEAS 集成,推出了塑料成型的 I-DEAS 系统。

6. 美国麦道飞机公司的 UGI 软件。

UGI 本是通用的 CAD/CAM 软件。该公司引入了 Moldflow 公司与 AC-Tech 公司的 CAE 软件,经过集成,作为塑料模 CAD/CAE/CAM 系统出售。

7. 美国 PRIME-CV 公司的塑料模设计制造软件包。该系统以几何造型软件 CADD5 为主,集成了该公司的多轴曲面数控加工软件 CV-NC 以及其它公司的 CAE 软件。

8. 美国 PRIME-CALMA 公司的塑料模设计制造软件包。

该系统以几何造型软件 DDM/PRISM 为主,集成了该公司的多轴曲面数控加工软件 DDM-NC 以及其它公司的 CAE 软件。

9. 法国 CISIGRAPH 公司的塑料成形系统 STRIMIO。

该系统以几何造型软件 Design Firm 为主,集成了自行开发的流动模拟和数控加工软件。

10. 英国 DELTACAM 公司的 DUCTS 是 CAD/CAM 软件。

可与其它公司的注塑模 CAE 软件集成, 在欧洲颇为流行。

我国注塑模 CAD/CAM 研究始于 70 年代末, 发展也很迅速。“八五”期间, 由北京航空航天大学、华中理工大学、四川联合大学等单位联合进行了国家重点科技攻关课题“注塑模 CAD/CAE/CAM 集成系统”^[10], 并于 1996 年通过鉴定, 部分成果已投入实际应用, 使我国的注塑模 CAD/CAE/CAM 研究和应用水平有了较大提高。

目前出现的拥有自主知识产权的软件有: 华中科技大学开发的塑料注塑模 CAD/CAE/CAM 系统 HSC7.1; 郑州工业大学研制的 Z-MOLD 分析软件等。这些软件正在一些模具企业中推广和使用, 有待在试用中逐步完善。

1.4 注塑模 CAD/CAM/CAE 技术的发展趋势

目前, 要想较快地设计出结构合理和经济实用的注塑模具仍是一件困难的事情。为此, 世界各国在 CAD/CAE/CAM 技术上进行了大量的研究和实践。由于我国塑料模具技术底子薄, 研究起步晚, 在综合水平, 特别是 CAD/CAE/CAM 技术应用上与国外同行相比仍有一定差距。

鉴于目前国内外注塑模 CAD/CAE/CAM 发展状况, 应从以下几个方面着手^[11], 加强注塑模 CAD/CAE/CAM 集成系统的研究与应用。

1、专家系统技术

在注塑成型过程中, 模具寿命的高低与模具的结构形状、尺寸及材质有很大关系。我国的模具设计水平目前仍处于经验设计为主的阶段, 模具寿命低, 制约了模具工业的发展。为提高模具的设计水平, 实现注塑模具的优化设计, 寻求一种高效、通用的注塑模具专家系统一直是模具工作者努力探索的课题。传统的专家系统中知识获取主要依靠人工移植, 知识存储是一一对应的, 系统缺乏柔性, 其推广和应用受到限制。目前, 基于结构模拟的以非线性并行处理为主流的神经网络技术的发展, 为人工智能和专家系统的研究开辟了一条新的途径。将神经网络理论与传统专家系统技术相结合, 并以有限元模拟结果作为知识的获取与推理, 为有限元计算模型中特征参数之间关系难以确定等问题的解决提供了可行的手段, 目前已成为很有发展前景的专家系统。在这方面需针对应用实际进行深入的

研究。

2、工程数据库管理技术

合理的模具设计对提高制品的质量、产量和成品率以及节约模具材料等方面都具有极其重要的意义。由于国内注塑模设计仍是一种经验设计,设计时一方面需参考引用众多设计标准和经验数据,另一方面会同时产生大量的中间(或过程)数据。运用工程数据库管理技术,采用统一的方式有效地存储和管理这些数据,以方便设计者与设计系统的查阅调用,是提高设计效率,保证设计结果一致性所需解决的重要问题。此外,借助工程数据库管理技术,还可使设计专家的经验知识不再受时间、空间的限制而得以长时间保留和应用。

3、注塑模软件技术的集成化

运用现代设计理论进行工程设计,需要无缝连接的集成化软件。具有专业特色的 CAD/CAE/CAM 集成品应运而生。该系统具备的基本功能是:用户在专家系统的支持下按设计要求和注塑制品特征,优先从典型模具库中拟定出合适的设计方案(若无合适方案,则通过交互方式进行模具方案设计),然后对设计方案进行模拟分析和综合评估,并选取最优方案进行模具详细设计,最后利用 CAM 模块生成模具零件的加工工艺和相应的数控加工指令。

4、逆向工程技术的应用

在许多情况下,一些产品并非来自设计概念,而是起源于另外一些产品或实物,要在只有产品原型或实物模型,而没有产品图样的条件下进行模具的设计和制造以便制造出产品。此时需要通过实物的测量,然后利用测量数据进行实物的几何模型的重新构造,这种过程就是逆向工程。逆向工程能够缩短从设计到制造的周期,是帮助设计者实现并行工程等现代设计概念的一种强有力的工具,目前在工程上正得到越来越广泛的应用^[12]。

5、快速成形技术的应用

快速成形制造技术 RPM 是基于层制造原理,迅速制造出产品原型,而与零件的几何复杂程度丝毫无关,尤其在具有复杂曲面形状的产品制造中更能显示其优越性。它不仅能够迅速制造出原型供设计评估、装配校验、功能试验,而且还可以通过形状复制快速经济地制造出产品模具,从而避免了传统模具制造的费时、高成本的 NC 加工,因而 RPM 技术在模具制造中日益发挥着重要的作用^[13]。

1.5 选题的意义

1、利用 Pro/E 的模具型腔功能进行塑件三维实体设计，输入收缩率后，确定分模方向以及分型面设计，抽取模具元件生成模具型腔和型芯。设计浇注系统及冷却系统，生成模具成型零件的三维实体模型，由于软件存在着相关性，当塑料制件的尺寸发生改变时，模具成型零件的尺寸也会发生相关的变化。利用 Pro/E 强大的特征造型功能完成其他零件的设计以及模具开启和干涉检查，再利用 Pro/E 系统的布局及装配模块，可以进行模具的顶出系统和三维的总装配设计，并最终利用工程图模块生成二维工程图。其间将使用 Pro/E 的外挂软件 EMX4.0 来进行模具标准元件的导入，以使设计更快速，修改更方便。

2、在 Pro / E 中造型后，产品信息及模具有关信息可通过*STL 格式文件传入 MoldFlow，在 MoldFlow 中选择塑料牌号及合适的注射温度、注射压力和注射机后即可进行分析。软件提供了流动分析、冷却分析、翘曲分析等功能。分析结束后，软件可提出修改意见，注塑模 CAE 的结果反馈到注塑模 CAD，为设计者提供工程模拟的结果，指导其检查和更改设计；设计人员提早修改不合理设计，避免后期实际试模、生产时出现不合格产品，保证试模一次成功，节省了模具开发的时间和费用。

总之，将 Pro / E 和 MoldFlow 软件与实际需要相结合，在计算机上完成注塑模的设计和对整个注射成型过程进行全过程模拟分析，使设计人员能尽早发现问题，及时修改模具设计，这不仅是对传统模具设计方法的突破，而且对减少甚至避免模具返修，提高制品质量，降低成本都有较大的意义。

第二章 塑件的工艺性分析

本塑料制件是固定框，具体形状如图 2.1 所示

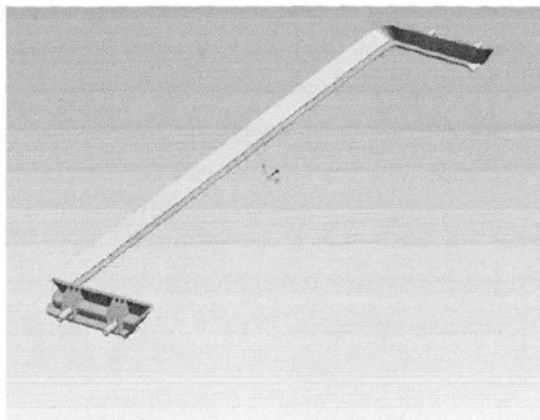


图 2.1 固定框

2.1 塑件的原材料分析

该塑件采用 ABS，ABS 是聚苯乙烯的改性产品，是目前应用最广、产量最大的工程塑料。ABS 是不透明非结晶型化合物，无毒、无味，密度为 $1.02\sim 1.16\text{g}/\text{cm}^3$ 。ABS 具有良好的综合力学性能，坚固、坚韧、坚硬；具有一定的化学稳定性和良好的介电性能；具有较好的尺寸稳定性，易于成型和机械加工，成型塑件表面有较好的光泽，经过调色可配成任何颜色，表面可镀铬。其缺点是耐热性差，连续工作温度为 70°C 左右，热变形温度为 93°C 左右，但热变形温度比聚苯乙烯、聚氯乙烯、尼龙等都高；在紫外线作用下易变硬发脆。ABS 可采用注射、挤压、压延、吹塑等多种成型加工方法。

ABS 成型性能如下：

- A. 易吸水，成型加工前应进行干燥处理，表面光泽要求高的塑件应长时间预热干燥。
- B. 流动性中等，溢边值为 0.04mm 左右。
- C. 壁厚和融料温度对收缩率影响极小，塑件尺寸精度高。
- D. 比热容低，塑化效率高，凝固也快，故成型周期短。
- E. 表观黏度对剪切速率的依赖性很强，因此模具设计中大都采用点浇口形

式。

- F. 顶出力过大，塑件表面会留下白色痕迹，脱模斜度宜取 2° 以上。
- G. 易产生熔接痕，模具设计应注意尽量减小浇注系统对料流的阻力。
- H. 宜采取高料温、高模温、高注射压力成型。在要求塑件精度高时，模具温度可控制在 $50\sim 60^\circ\text{C}$ ；而在强调塑件光泽和耐热时，模具温度应控制在 $60\sim 80^\circ\text{C}$ 。

ABS 主要技术指标如下：

屈服强度/MPa:	50	吸水率 24h 长时间(%):	0.2~0.4
拉伸弹性模量/GPa:	1.8	熔点(或粘流温度)/ $^\circ\text{C}$:	130~160
弯曲强度/MPa:	80	热变形温度/ $^\circ\text{C}$:	90~108
体积电阻率/($\Omega \cdot \text{m}$):	6.9×10^{16}	计算收缩率(%):	0.4~0.7
密度/(g/cm^3):	1.02~1.16	比热/(ml/g):	0.86~0.98

ABS 注射成型的主要工艺参数有：

注射机类型:	螺杆式	模具温度/ $^\circ\text{C}$:	50~70
螺杆转速/(r/min):	30~60	注射压力/MPa:	70~90
喷嘴形式:	直通式	保压压力/MPa:	50~70
喷嘴温度/ $^\circ\text{C}$:	180~190	注射时间/s:	3~5
料筒温度/ $^\circ\text{C}$ /前段:	200~210	保压时间/s:	15~30
料筒温度/ $^\circ\text{C}$ /中段:	210~230	冷却时间/s:	15~30
料筒温度/ $^\circ\text{C}$ /后段:	180~200	成型周期/s:	40~70

2.2 塑件的结构和精度及表面质量分析

2.2.1 结构分析

1、从零件图上分析，该零件外形为 U 形，外形尺寸大，圆角过渡且无尖角存在，壁厚均匀，且符合最小壁厚要求。

2、塑件的外侧设有多个加强筋，可增强塑件的刚度，减少塑件的变形，筋的厚度为 1mm，筋的侧壁设有 1° 左右的斜度，底部等处设有 R0.5 左右的圆角过渡；

塑件外侧同时设有内径为 $\varnothing 4$ 的孔，深度为 6mm，要考虑侧向分型抽芯机构。

3、塑件的内侧也设 U 槽，也要考虑侧向分型抽芯机构

4、为使塑件顺利脱模，可在塑件加强筋处增设 $1^{\circ}\sim 2^{\circ}$ 的拔模斜度。

2.2.2 尺寸精度分析

该零件的尺寸均为自由公差，故尺寸精度取为 5 级。由于该零件的尺寸精度要求不高，对应的模具相关零件的尺寸加工可以保证。

从塑件的壁厚上来看，壁厚最大处为 1.32mm，最小处为 1.01mm，壁厚差为 0.31mm，较均匀，有利于零件的成型。

2.2.3 表面质量分析

该零件的表面除要求没有缺陷、毛刺外，没有特别的表面质量要求，故比较容易实现。

综上所述可以看出，注射时在工艺控制得较好的情况下，零件的成型要求可以得到保证。

2.3 塑件的生产批量

塑件的生产类型对注射模具结构、注射模具材料选用均有重要影响。在大批量生产中，由于注射模具价格在整个生产费用中所占比例小，提高生产率和注射模具寿命问题比较突出，所以可以考虑使用自动化程度较高、结构复杂、精度寿命高的模具。如果是小批量生产，则尽量采用结构简单、制造容易的注射模具以降低注射模具成本。该塑件生产批量达 10 万件，生产类型属于中等批量生产，可以考虑采用单型腔模、快速脱模以及成型周期不宜太长的模具，同时模具造价要适当控制。

第三章 注射机的选择及有关工艺参数的校核

3.1 注射机的选择

3.1.1 塑件体积和质量的计算

计算塑件的质量是为了选用注射机及确定型腔数。经 Pro/E 三维造型可计算出塑件的最大体积约为 $V = 47534 \text{ mm}^3$ ；计算塑件的质量：根据^[14、15、16、17]可查得 ABS 的密度 $\rho = 1.06 \text{ g/cm}^3$ ，故塑件的质量 $W = V \rho = 50.4 \text{ g}$ 。

3.1.2 确定型腔数目

模具的型腔数目一般根据注射机最大锁模力和最大注射量确定，同时兼顾产品的精度要求和生产经济性。单型腔模具结构简单、制造成本低、周期短、塑件精度高、工艺参数易于控制，但塑料成型的生产率低、塑件成本高、适用于塑件较大、精度要求较高或者小批量生产及试生产。多型腔模具成型塑料生产率高、塑件成本低，但互换性差、工艺参数难以控制、模具结构复杂、模具的制造精度和成本高、周期长，适用于小塑件大批量生产。

由于该塑件尺寸过大，外面三侧均设有加强筋和中空的凸台，数目多，内侧设有 U 型槽，都要考虑侧抽芯机构，而且壁厚较薄，表面光洁度要求高。为了保证浇注系统分流道的流程短、模具结构紧凑、模具能正常工作，故考虑采用单型腔模，以方便侧抽的实现和浇口的布置。

3.1.3 确定注射成型的工艺参数

根据该塑件的结构特点和 ABS 的成型性能，初步确定塑件的注射成型工艺参数如下：

预热和干燥： 温度 $80 \sim 90^\circ\text{C}$ 时间 2h

料筒温度 $^\circ\text{C}$ ： 后段 180~200

中段 210~230

前段 200~210

喷嘴温度 $^\circ\text{C}$ ： 180~190

模具温度 $^{\circ}\text{C}$: 50~70

注射压力 MPa: 70~90

成型时间 s: 注射时间 3~5

保压时间 15~30

冷却时间 15~30

总周期 40~70

螺杆转速(r/min): 30~60

后处理: 方法——红外线灯烘箱

度 $^{\circ}\text{C}$ ——70

时间 s——2~4

3.1.4 确定注射成型设备

注射机合模部分的基本参数包括模板尺寸、拉杆空间、模板间最大开距、动模板的行程、模具最大厚度和最小厚度等。这些工艺参数规定了注射机所安装模具的尺寸范围。该塑件采用一模一件的模具结构,考虑其外形尺寸、注射时所需的压力等情况,初步选用注射机为 XS-ZY-500,其技术规范及特性如下:

螺杆(柱塞)直径: $\phi 50\text{mm}$

注射容量: 500cm^3

注射压力: 104Mpa

锁模力: 3500KN

最大注射面积: 1000cm^2

模具最大厚度: 450mm

模具最小厚度: 300mm

模板行程: 700mm

喷嘴的圆弧半径: 18mm

喷嘴的孔直径: $\phi 7.5\text{mm}$

定位孔直径: $\phi 150^{+0.05}_0$

3.2 注射机有关工艺参数的校核

3.2.1 最大注射量的校核

最大注射量和制品的质量或体积有直接的关系，两者必须相适应，不然会影响制品产量和质量，若最大注射量小于制品的质量，就会造成制品的形状不完整或内部组织疏松，制品强度下降等缺陷；而注射量过大，注射利用率降低，浪费电能，而且可能性导致塑料分解。因此，为了保证正常的注射成型，注射机的最大注射量应稍大于制品的质量或体积(包括流道及浇口的凝料和飞边)。通常注射机的实际注射量最好在注射机的最大注射量的 80%以内。当注射机最大注射量以最大注射容积标定时，为保证正常的注射成型，注射机的最大注射容积就等于或大于所需塑料容积，即

$$K_1 V_z \geq V_1$$

式中 K_1 —— 注射机的最大注射量的利用系数，一般取 $K_1 = 0.8$ ；

V_z —— 注射机的最大注射量(公称容积)， cm^3

V_1 —— 所需塑料的容积(包括浇注凝料及飞边在内)， cm^3

因塑料的体积和压缩率有关，所以所需塑料的体积为

$$V_1 = K_s V_M$$

式中 K_s —— 塑料的压缩率，现取 $K_s = 1.6^{[3]}$ ；

V_M —— 塑料制品的体积(包括浇注凝料及飞边在内)， cm^3

则 $V_1 = K_s V_M = 1.6 \times V_M = 1.6 \times 1.2 \times 47.534 = 91.265 \text{ cm}^3 \leq$

$K_1 V_z = 0.8 \times 500 = 400 \text{ cm}^3$

故满足要求。

3.2.2 注射压力的校核

注射压力校核的目的是校验注射机的最大注射压力能否满足塑料制品成型的需要。因此，注射机的最大注射压力应稍大于塑料制品成型所需的注射压力。

$$P_j \geq P_z$$

式中 P_j —— 注射机的最大注射压力，现 $P_j = 104 \text{ MPa}$ 。

P_z —— 塑料制品成型时所需的注射压力，它由注射机类型、喷嘴形式、塑料流动性、浇注系统及型腔的流动阻力等因素确定，此制品塑料的成型压力为 30 MPa 。

故满足要求。

3.2.3 锁模力的校核

锁模力是在成型时锁紧模具的最大力。用于实现动、定模紧密闭合，保证塑料制品的尺寸精度，尽量减少分型面外的溢边(或毛边)厚度和确保操作者的人身安全。因此，成型时高压熔融塑料在分型面上显现的涨力(或称推力)应小于锁模力。该涨力大小等于塑料制品加上浇注系统在分型面上的垂直投影面积之和乘以型腔内熔融塑料的平均压力。

$$F \geq \frac{kp_c A}{1000}$$

式中 F —— 注射机的额定锁模力，KN；

A —— 塑料制品与浇注系统在分型面上的总投影面积， m^2 ；

p_c —— 熔融塑料在型腔内的平均压力，根据^[14]表 8-2 查得

$p_c = 30 \text{ MPa}$

k —— 安全系数，常取

$$k = 1.1 \sim 1.2$$

$$A = nA_z + A_j = 1 \times (119.29 + 372.4) \times 16.8 + 132.56 = 8.3924 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

式中 n —— 型腔数；

A_z —— 单个型腔在分型面上的投影面积， m^2 ；

A_j —— 浇注系统在分型面上的投影面积， m^2 ；

则 $\frac{kp_c A}{1000} = \frac{1.2 \times 30 \times 10^6 \times 8.3924 \times 10^{-3}}{1000} = 302 \text{ KN} \leq F = 3500 \text{ KN}$

故注射时锁模力能满足要求。

3.2.4 开模行程 L 的校核

因为本固定框注塑模具其开模行程与模具厚度无关。

$$L \geq H_1 + H_2 + a + (5-10) \text{ mm}$$

式中 H_1 —— 制品的脱模距离；

H_2 —— 包括与制品相连的浇注系统凝固后在制品高度；

a —— 定模板于定模座板之间的分开距离；

L —— 注射机最大的开模行程，为 700 mm。

已知 $H_1 = 28 \text{ mm}$ ， $H_2 = 20 \text{ mm}$ ， $a = 80 \text{ mm}$ ，则 $L = 28 + 20 + 80 + 8 = 136 \text{ mm}$ ，故符合注射机要求。

3.2.5 模具与注射机合模部分相关尺寸的校核

设计模具时应校核的主要参数有喷嘴尺寸、定位圈尺寸、模具最大厚度和最小厚度、开模行程、模板上安装螺孔尺寸等。

注射机喷嘴与模具主流道衬套关系，如附图 3.1 所示

注射机喷嘴尖端孔径 d 和球面半径 r 与模具主流道衬套的小端直径 D 和球面半径 R 一般应满足以下关系

$$R = r + (1 \sim 2) \quad (\text{mm})$$

$$D = d + (0.5 \sim 1) \quad (\text{mm})$$

以保证注射成型时在主流道衬套处不开成死角，无熔料积存，并便于主流道凝料的脱模。

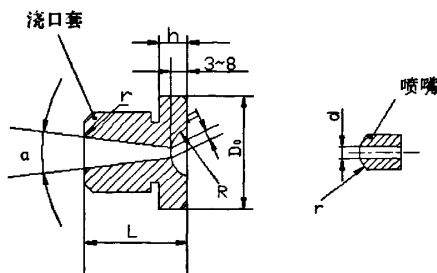
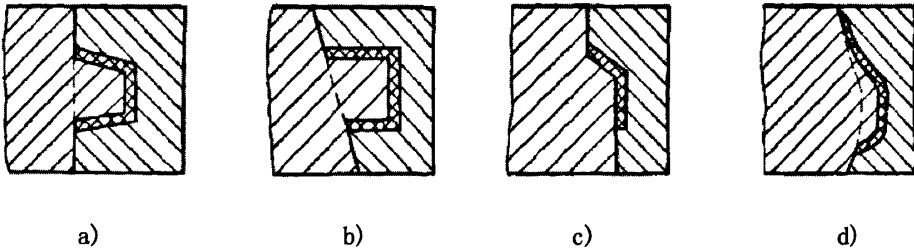


图 3.1 注射机喷嘴与浇口套

第四章 成型零部件的设计

4.1 分型面的确定

模具上用以取出塑件和凝料的可分离的接触表面称为分型面。注塑模具有的有一个分型面，也有多个的。分型面通常有平面、斜面、阶梯面和曲面四种类型，如图 4.1 所示。



4.1 分型面的形状

a)平面

b)斜面

c)阶梯面

d)曲面

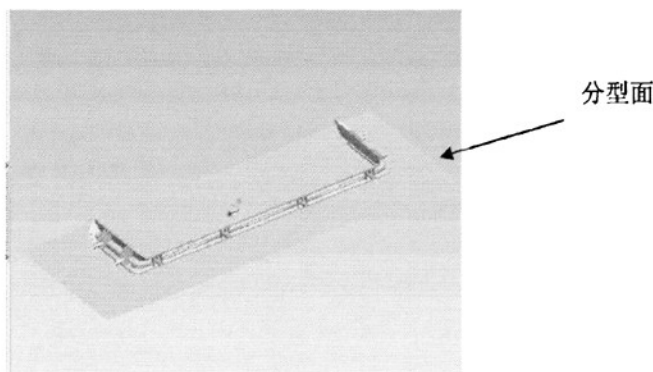
合理的分型面，有利于制品的质量的提高、工艺操作和模具的制造。因此，分型面的选择在模具设计过程中是一个不容忽视的问题。

选择分型面一般根据以下原则^[18, 19]：

- A. 分型面不仅应选择在对制品外观没有影响的位置，而且还须考虑如何能比较方便地清除分型面上产生的溢料飞边。同时，还应避免分型面上产生飞边；
- B. 分型面的选择应有利于制品脱模，否则，模具结构便会变得比较复杂，通常，分型面的选择应尽可能使制品在开模后滞留在动模一侧；
- C. 分型面不应影响制品的形状和尺寸精度；
- D. 分型面应尽量与最后填充熔体的型腔表面重合，以利于排气；
- E. 选择分型面时，应尽量减少脱模斜度给制品大小端尺寸带来的差异；
- F. 分型面应便于模具加工；
- G. 选择分型面时，应尽量减少制品在分型面上的投影面积，以防止面积过大，造成锁模困难，产生严重的溢料；
- H. 有侧孔或侧凹的制品，选择分型面时应首先考虑将抽心或分型距离长的

一边放在动，定模的方向，而将短的一边作为侧向分型抽心机构时，除液压抽心能获得较大的侧向抽拔距离外，一般分型抽心机构侧向抽拔距离都较小。

按上面的 A, B, C, F 原则, 根据塑件的外形、结构和注塑过程选取如附图 4.2 所示的位置为分型面。



4.2 分型面

4.2 成型零件工作尺寸的计算

制品尺寸能否达到图纸尺寸要求, 与型腔、型芯的工作尺寸的计算有很大的关系。成型零件的工作尺寸的计算内容包括: 型腔和型芯的径向尺寸(含矩形的长和宽)、高度尺寸及中心距尺寸等。

成型零件工作尺寸的计算方法很多, 现以塑料的平均收缩率为基准计算。

4.2.1 型腔内径尺寸计算

$$D_M = (D + DQ - \frac{3}{4}\Delta)^{+\delta_z} \quad (\text{mm})$$

式中 D_M —— 型腔内径尺寸, mm;

D —— 制品的最大尺寸, mm;

Q —— 塑料的平均收缩率(%), ABS 的平均收缩率为 0.55%;

Δ —— 制品公差;

$\frac{3}{4}$ —— 系数, 可随制品精度变化, 一般取 0.5~0.8 之间;

δ_z —— 模具的制造公差, 一般取 $\delta_z = \frac{1}{6} \sim \frac{1}{4} \Delta$ 。

该制品外形是一个长方形，其长度、宽度上的最大尺寸分别为

$$D_1=406 \text{ mm} \quad D_2=119.29 \text{ mm}$$

而

$$\Delta_1=3.7 \text{ mm} \quad \Delta_2=1.36 \text{ mm}$$

则

$$D_{M1} = (406 + 406 \times 0.0055 - \frac{3}{4} \times 3.7)^{+0.2} = 405.458^{+0.2} \text{ mm}$$

$$D_{M2} = (119.29 + 119.29 \times 0.0055 - \frac{3}{4} \times 1.36)^{+0.1} = 118.926^{+0.1} \text{ mm}$$

4.2.2 型芯径向尺寸计算

模具型芯径向尺寸是由制品的内径尺寸所决定的，与型腔径向尺寸的计算原理一样，分长、宽两部分计算：

$$d_w = (D_i + D_i Q + 3/4 \Delta)_{-\delta_z} \quad (\text{mm})$$

式中 d_w —— 型芯外径尺寸，mm；

D_i —— 制品内径最小尺寸，mm。

其余符号含义同型腔计算公式。

则孔 $\Phi 4$ 的外径尺寸：

$$d_w = (4 + 4 \times 0.0055 + \frac{3}{4} \times 0.1)_{-0.2} = 4.097_{-0.2} \text{ mm}$$

4.2.3 型腔深度尺寸的计算

模具型腔深度尺寸是由制品的高度尺寸所决定。

$$H_w = h_1 + h_1 Q - 2/3 \Delta)^{+\delta}$$

式中 H_w —— 型腔深度尺寸，mm；

h_1 —— 制品高度最大尺寸，mm。

$h_1=19.4 \text{ mm}$ 型腔 $\Delta=0.2$

$$H_w = (19.4 + 19.4 \times 0.0055 - 0.2 \times 2/3)^{+0.2} = 19.37^{+0.2} \text{ mm}$$

4.2.4 型芯高度尺寸计算

模具型芯高度尺寸是由制品的深度尺寸所决定，设制品高度名义尺寸为最大

尺寸公差为正偏差 $+\Delta$ ，型芯高度设计为最大尺寸，其公差为负偏差 δ_z 。根据有关的经验公式：

$$H_M = (H_1 + H_1 Q + \frac{2}{3} \Delta) - \delta_z \quad (\text{mm})$$

式中 H_M —— 型芯高度尺寸，mm；

H_1 —— 制品深度最小尺寸，mm；

由零件三维图可知，

$H_1 = 18.08\text{mm}$ 型芯： $\Delta = 0.2$

$$H_M = (18.08 + 18.08 \times 0.0055 + 0.2 \times 2/3) - 0.2 = 18.31_{-0.2} \text{ mm}$$

4.3 型腔与型芯结构设计

4.3.1 凹模（型腔）结构设计

凹模也称为型腔，是成型塑件表面形状的模具零部件。按其结构不同可分为五种：

- A. 整体式凹模：是由整块金属材料模板加工而成。
- B. 整体嵌入式凹模：凹模带台阶，加工好后整体嵌入模板定位孔中，常应用小型塑件多型腔模。
- C. 镶嵌式凹模：局部易磨损部位、难加工部位和形状复杂部位做成镶件嵌入模板。
- D. 四壁拼合式凹模：凹模四壁和底部分别加工，再嵌入模套内。应用于大型!形状复杂的矩形凹模。
- E. 瓣合式凹模：线圈骨架类有侧凹的塑件，凹模分成两块或多块，成型时瓣合，脱模时瓣开。

本注射模采用了整体式凹模，其好处是较好的保证塑件的表面质量，而且便于机械加工和热处理。

4.3.2 型芯的结构设计

型芯是成型塑件内表面的模具零件，根据成型情况不同，型芯可分为以下结构形式：

- A. 整体式型芯
- B. 镶嵌式型芯
- C. 组合式型芯

本注射模采用了整体式型芯，其好处是较好的保证塑件的表面质量，而且便于机械加工和热处理。

第五章 其它系统的设计

5.1 模架的选择与校核

5.1.1 模架的选择

模架是模具的骨架，由支承零件、导向装置和推出机构组成，用模架将模具的各个部分联系在一起。支承零件包括定模座板、定模板、动模板、支承板、垫块、动模座板。导向机构一般是导柱与导套采用间隙配合，必要时可增设锥面定位。对于注塑模具常常用通用型的模架，其模架是标准的，可以在市场上够买，也可以自己设计。标准模架的主要类型有：

A. 中小型模架适用于模板尺寸： $B \times L \leq 560\text{mm} \times 900\text{mm}$

有基本型（A1~A4）四种，派生型（P1~P9）九种。

B. 大型模架适用于模板尺寸： $B \times L \leq 630\text{mm} \times 630\text{mm} \sim 1250\text{mm} \times 2000\text{mm}$

有基本型 A 型：定模两块板、动模一块板、推杆推出机构，有导向，用于单分型面注射模；基本型 B 型：定、动模均两块板、推杆推出机构，有导向，用于侧向抽芯机构注射模。此外还有派生型。

确定模板的尺寸的原则：

A. 根据型腔的大小和布置方式；

B. 根据所选用模架的类型，将导柱、导套分布在合理的位置上；

C. 考虑抽芯机构对模架的影响。

根据第四章零件的成型计算结果，考虑模具型腔壁厚及型腔布置，采用标准的 A₂ 型模架，其规格为 400×710。

其配置件的参数选择如下：

动模板厚度：100mm

定模板厚度：59 mm

动模垫板厚度：50 mm

带头导柱：4—Φ32 mm

复位杆：4—Φ16 mm

紧固螺钉：6-M16

5.1.2 模具闭合厚度的校核

模具闭合厚度必须在注射机，动、定模板的最大闭合高度和最小闭合高度之间，即应满足下列关系：

$$H_{\min} \leq H_n \leq H_{\max}$$

$$H_{\max} = H_{\min} + \Delta H$$

式中 H_n —— 模具闭合厚度，mm；
 H_{\min} —— 注射机允许的最小模具厚度，mm；
 H_{\max} —— 注射机允许的最大模具厚度，mm；
 ΔH —— 注射机调节螺母长度，mm。

由模架的选择可知该模具的闭合厚度：

$$H_n = 40 + 60 + 60 + 80 + 100 + 40 = 380 \text{ mm}$$

故 $H_{\min} = 300 \text{ mm} \leq H_n \leq H_{\max} = 450 \text{ mm}$

模具的闭合厚度满足要求。

5.2 导向系统的设计

5.2.1 导柱的选用

根据模具结构和模板厚度，采用四条导柱导向，查表^[20]GB/T4169.4-84，选用标准导柱：

导柱： $\phi 32 \times 100$ (I) GB4169-84 其具体参数如下：

$$D=40\text{mm}、S=8\text{mm}、d_1=32\text{mm}、$$

材料为 20 钢。

5.2.2 导套的选用

由导柱的尺寸查标准 GB4169-84，得导套的尺寸，选用带头导套 I 型，其标记为：

导套 $\phi 32 \times 32$ (I)—T8A GB4169-84，其具体参数如下：

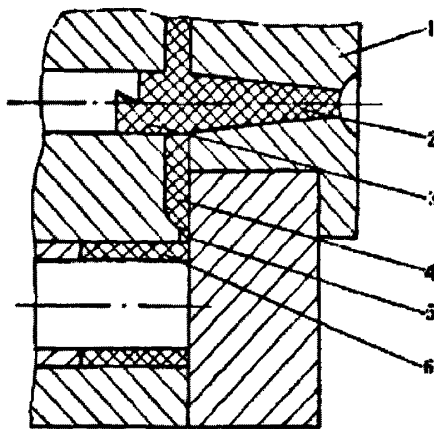
$$D=48\text{mm}、S=8\text{mm}、d_1=42\text{mm}、d_2=42\text{mm}、$$

材料为 T8A 钢。

5.3 浇注系统的设计

注射模的浇注系统是指模具中由注射机到型腔之间的进料通道。它的作用是将熔体平稳地引入模具型腔，并在填充过程中将压力传递到型腔的各个部位，以获得组织致密、外形清晰、表面光洁和尺寸稳定的塑件。因此浇注系统设计是否正确直接关系到注射成型的效率和塑件质量。

注塑模具的普通浇注系统一般包括主流道、分流道、浇口及冷料穴，如图 5.1 所示为卧式注射机用模具的普通浇注系统。



5.1 卧式注射机用模具普通浇注系统

1—主流道衬套 2—主流道 3—冷料穴 4—分流道 5—浇口 6—型腔

5.3.1 确定浇注系统的原则

在设计浇注系统时应考虑下列有关因素^{[16]、[18]、[21]、[22]}：

- A. 塑料成型特性：设计浇注系统应适应所用塑料的成型特性的要求，以保证塑件质量。
- B. 模具成型塑件的型腔数：设置浇注系统还应考虑到模具是一模一腔或一模多腔，浇注系统需按型腔布局设计。
- C. 塑件大小及形状：根据塑件大小，形状壁厚，技术要求等因素，结合选择分型面同时考虑设置浇注系统的形式、进料口数量及位置，保证正常成型，还应注意防止流料直接冲击嵌件及细弱型芯受力不均以及应充分估计可能产生的质量弊病和部位等问题，从而采取相应的措施或留有修整的余地。

- D. 塑件外观：设置浇注系统时应考虑到去除、修整进料口方便，同时不影响塑件的外表美观。
- E. 注射机安装模板的大小：在塑件投影面积比较大时，设置浇注系统时应考虑到注射机模板大小是否允许，并应防止模具偏单边开设进料口，造成注射时受力不匀。
- F. 成型效率：在大量生产时设置浇注系统还应考虑到在保证成型质量的前提下尽量缩短流程，减少断面积以缩短填充及冷却时间，缩短成型周期，同时减少浇注系统损耗的塑料。
- G. 冷料：在注射间隔时间，喷嘴端部的冷料必须去除，防止注入型腔影响塑件质量，故设计浇注系统时应考虑储存冷料的措施。

5.3.2 主流道的设计

根据以上设计原则，因该塑件属于典型的中型模具，故其主流衬套与定位环设计成整体式。由于注射机的喷嘴的圆弧半径：18mm，喷嘴的孔直径： $\phi 4\text{mm}$ ，故为了使主流衬套和注射机的喷嘴头部相匹配，主流衬套的圆弧半径取20mm，喷嘴的孔直径取 $\phi 5\text{mm}$ 。

5.3.3 分流道截面形状和尺寸的设计

分流道是熔料从主流道进入型腔前的过度部分，起作用是通过浇道截面及方向变化，使熔料平稳的转换流向，注入型腔。

设计中常采用的分流道截面形状有圆形、正方形、半圆形、梯形、矩形、U形和六角形等。截面尺寸应根据塑件的体积、形状、壁厚、所用的塑料工艺性能、注射速率以及分浇道的长度等因素来确定。分浇道的布置形式有平衡式和非平衡式两种。平衡式主要特点是从主流道到各个型腔的分流道，其长度、断面形状及尺寸均相等，可实现各个型腔同时均衡进料。非平衡式主要特点是各型腔的流程不同，为了各型腔同时均匀进料，将浇口加工成不同尺寸。同样空间时非平衡式比平衡式容纳的型腔数量多、型腔排列紧凑、总流程短。本塑件的分浇道应选择平衡式。

5.3.4 浇口的设计

浇口是连接分流道和型腔的一段细短浇道，有限制性浇口（截面小、距离短，

又称小浇口)和非限制性浇口浇口截面大两大类,具体形式有直接浇口、中心浇口、侧浇口、点浇口、潜伏式浇口、护耳式浇口等。

浇口位置选择应遵循以下原则:避免产生喷射、蠕动(蛇形流);使塑料流动能量损失最小、流程短、变向少;有利于型腔排气;有利于减少或避免造成塑件熔接痕;有利于减少塑件翘曲变形(如对于较大的平板制件,可以设置多个点浇口以减小翘曲变形);防止型芯、嵌件位移或变形;避免设置在塑件光滑表面且清理方便。

本塑件的体积不是很大,考虑到结构和其他因素,选择了点浇口。由于塑件长度尺寸较大,故设置两个点浇口。

5.3.5 冷料穴的设计

冷料穴是用来存储注射间隔期间喷嘴产生的冷凝料头和最先身入模具浇注系统的温度较低的部分熔体,防止这些冷料进入型腔而影响制品质量,并顺利充满型腔。这里采用钩形(Z形)拉料杆的冷料穴。

5.4 脱模机构设计

脱模机构按执行元件分类,有推杆脱模、推管脱模、推件板脱模、推块脱模、成型零件脱模、综合脱模。

由于该塑件的脱模阻力不大,而推杆又加工简单、更换方便、脱模效果好,因此采用圆形推杆脱模机构。推杆的设置位置采取以下原则:

- (1) 推杆设在脱模阻力大的地方
- (2) 推杆位置均匀分布
- (3) 推杆设在塑料制品强度刚度较大的地方
- (4) 推杆直径应满足相应的强度、刚度条件

5.4.1 脱模力计算

当开始脱模时,模具所受的阻力最大,推杆刚度及强度应按此时计算,亦即无视脱模斜度($a=0$)由于制品是薄壁矩形件,故

$$Q=8t \cdot E \cdot S \cdot l \cdot f / (1-m) (1+f) \quad (\text{kN})$$

式中 Q —— 脱模最大阻力 (kN)

- t —— 塑件的平均壁厚 (cm)
 E —— 塑料的弹性模量 (N/cm²)
 S —— 塑料毛坯成型收缩率 (mm/mm)
 l —— 包容凸模长度 (cm)
 f —— 塑料与钢之间的摩擦系数
 m —— 泊松比, 一般取 0.38~0.49

由 ABS 的性能可知: $S=0.0055$, E 取 $2.5 \times 10^5 \text{ N/cm}^2$

已知, $t \approx 0.1165 \text{ cm}$, 查^[16]得: $f=0.28$

$$Q=8 \times 0.1165 \times 2.5 \times 10^5 \times 0.0055 \times 2 \times 0.28 / (1-0.43)(1+0.28) \\ =0.99 \text{ kN}$$

5.4.2 推杆的设计

1、顶出行程:

$$S_{\text{顶}} = h_{\text{凸}} + (5 \sim 10)$$

式中 e —— 顶出行程余量,

$h_{\text{凸}}$ —— 型芯成型高度

已知 $h_{\text{凸}}=18 \text{ mm}$, $e=10 \text{ mm}$, 则 $S_{\text{顶}}=28 \text{ mm}$

2、开模行程

对于双分型面的开模行程

$$L=H_1+H_2+e+a$$

式中 L —— 注射机开模行程 (mm)

H_1 —— 脱模距离 (mm)

H_2 —— 包括浇注系统在内的制品高度 (mm)

a —— 定模板于定模座板之间的分开距离;

已知 $H_1=28 \text{ mm}$, $H_2=20 \text{ mm}$, 则 $L=28+20+80+8=136 \text{ mm}$, 符合注射机要求。

3、推杆的直径计算

根据压杆稳定公式计算出顶杆直径, 由^[14]式 8-67, 8-68 得

$$d = \varphi \left(\frac{L^3 Q}{nE} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (\text{mm})$$

式中 d ——推杆的直径 (mm)

φ ——安全系数, 取 1.5

L ——推杆的最大长度 (m), $L=0.16\text{m}$

Q ——脱模阻力 (N)

n ——推杆数目, $n=6$

E ——弹性模量, $E=1.8 \times 10^3 \text{Mpa}$

$$\begin{aligned} d &= 1.5 \times \left(\frac{0.16^3 \times 990}{6 \times 1.8 \times 10^3} \right)^{\frac{1}{4}} \\ &= 2.09 \text{mm} \end{aligned}$$

取 $d=3\text{mm}$ 来进行强度校核:

$$\sigma = \frac{4F}{n\pi d^2} = \frac{4 \times 990}{6 \times 3.14 \times 3^2} = 23.35 \text{Mpa}$$

故所取推杆大小符合强度要求。

5.5 冷却系统和排气系统的设计

在注射过程中, 模具的温度直接影响制品的质量和注射周期。对于一些开模温度较底的塑料由于模具不断被注入熔融塑料, 模温升高, 单靠模具自身散热已不能满足其保持较底的温度, 因此, 必须加入冷却系统, 模具的热量是由辐射传热, 对流散热, 向模板的传热和与注射喷嘴接触的传热等很多因素综合作用的结果, 现仅考虑冷却介质在管内强制对流的散热, 而忽略其他传热因素^[29, 30]。假设由熔融塑料放出的热量全部传给模具, 其热量为:

$$Q_1 = nmC(T_1 - T_2) \quad (\text{kJ/h})$$

式中 Q_1 ——单位时间内塑料传给模具的热量 (kJ/h);

n ——每小时的注射次数;

m ——每次注射的塑料量 (kg);

C ——塑料的比热容 ($\text{J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$), 查[5]表 8-62 得 $C=1340 \text{J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$;

T_1 ——熔融塑料进入模腔的温度 (°C);

T_2 ——制品脱模温度 (°C)。

确定注射机每小时注射的次数, 根据合模时间、注射时间、保压时间、冷却时间和开模取件时间等, 确定注射的总周期 T 为 56S (其中合、开模时间各 3S, 注射时间 1S, 保压时间 20S, 冷却时间 26S, 取件时间 3S), 则 $n=3600/56=65$ 次, 所以

$$Q_1 = 65 \times 60.48 \times 10^{-3} \times 1340 \times (160 - 60) = 5.27 \times 10^5 \text{ kJ/h}$$

冷却时所需的冷却水量

$$M_1 = \frac{Q_1}{\lambda(T_3 - T_4)} = \frac{nmc(T_1 - T_2)}{\lambda(T_3 - T_4)}$$

式中

M_1 —— 通过模具的冷却水质量 (Kg)

T_1 —— 熔融塑料进入模腔的温度 (°C) $T_1=160^\circ\text{C}$

T_2 —— 制品脱模温度 (°C) $T_2=60^\circ\text{C}$

T_3 —— 出水温度 (°C) $T_3=40^\circ\text{C}$

T_4 —— 进水温度 (°C) $T_4=20^\circ\text{C}$

C —— 塑料的比热容 (J/Kg. °C) $C=1340\text{J/Kg. }^\circ\text{C}$

λ —— 导热系数 (J/m. °C) $\lambda=829\text{ J/m. }^\circ\text{C}$

所以

$$M_1 = \frac{65 \times 60.48 \times 10^{-3} \times 1340 \times (160 - 60)}{829 \times (40 - 20)} = 31.8\text{Kg}$$

根据冷却水处于湍流状态下的流速与水管直径的关系。确定模具冷却水管直径 d

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 10^3 M_1}{\pi v \rho}}$$

式中

v —— 管道内冷却水的流速 $v=1\text{m/s}$

ρ —— 水的密度 (Kg/m³) $\rho=10^3\text{Kg/m}^3$

所以

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 10^3 \times 31.8}{\pi \times 10^3}} = 6.37 \text{ mm}$$

现取冷却水道的直径 $d=7\text{mm}$

冷却管道总传热面积:

$$A = \frac{M_1}{R \Delta T}$$

式中 R —— 冷却管道壁与冷却介质间的传热系数 ($\text{J}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)

$$R = \frac{4187f(\rho v)^{0.8}}{d^{0.2}} \quad (\text{J}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

f —— 与冷却介质有关的物理系数, 查表 8-29 得 20°C $f=6.45$

ΔT —— 模温与冷却介质之间的平均温差, $\Delta T=30^\circ\text{C}$

$$R = \frac{4187 \times 6.45 \times (1000 \times 1)^{0.8}}{7^{0.2}} = 4.6 \times 10^6 \text{ J}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$A = \frac{22.6 \times 10^3}{4.6 \times 10^6 \times 30} = 0.165 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

冷却孔道的孔数: $n = \frac{A}{\pi d L}$

式中 A —— 冷却装置总的传热面积 (m^2)

d —— 冷却水道管道直径 (m)

L —— 冷却管道长度 (m)

$$n = \frac{0.165 \times 10^{-3}}{\pi \times 6 \times 10^{-3} \times 250 \times 10^{-3}} = 0.035$$

由以上计算可知只需动、定模板之中设置一个管道即可满足冷却要求, 但为对称布置, 以使模温均衡, 防止模具由于局部模温不同而产生热变形, 影响制品精度, 现在定模板之中取两根管道, 管道直径按计算得出。

当塑料熔体在注入型腔时, 如果型腔内有气体、蒸汽或塑料降解等产生的气体不能顺利的排外型腔, 则将在制品上形成气孔、接缝、表面轮廓不清晰, 不能完全充满型腔, 同时还会因气体被压缩而产生高温灼伤制品, 使之产生焦痕, 色泽不佳甚至烧坏材料等缺陷, 而且型腔内气体压缩产生的反压力会降低充模的速

度，影响注射周期和产品的质量（特别是在高速注射时）。因此设计型腔必须考虑排气问题。

在本模具中，由于生产的塑件较小，利用分型面，推杆的间隙排气，为此本模具不必再设计排气系统，从而减少加工量，降低成本。

第六章 注塑模 CAD/CAE

6.1 注塑模 CAD

6.1.1 Pro/E 软件的介绍

Pro/Engineer (Pro/E) 软件集 CAD/CAE/CAM 于一体, 具有零件设计、产品装配、模具开发、NC 加工、钣金件设计、逆向工程、自动测量、机构模拟、应力分析、产品数据库管理等功能, 广泛应用于机械、模具、工业设计、汽车、航天、家电、玩具等行业。

Pro/E 采用面向对象的统一数据库和参数化造型技术, 具备概念设计、基础设计和详细设计的功能, 为模具的集成制造提供了优良的平台。在实际生产过程中, 应用 Pro/E 软件, 将原来模具结构设计→模具型腔、型芯二维设计→工艺准备→模具型腔、型芯设计三维造型→数控加工指令→编程数控加工的串行工艺路线改为由不同的工程师同时进行设计、工艺准备的并行路线, 不但提高了模具的制造精度, 而且能缩短设计、数控编程时间达 40% 以上。使产品在各单元系统之间实现了数据的自动传递与无缝转换和集成, 能保证产品、模具设计、模具数控加工的刀具轨迹及加工代码数据自动更新, 避免了重复产品设计建模和数控编程的工作, 实现了数据的全相关性设计^[1]。

Pro/E 各功能模块的优势在注塑模具计算机辅助设计中体现得淋漓尽致。Pro/E 的注塑模具设计功能可以帮助模具设计工程师完成: 根据产品零件图, 轻而易举地创建型腔、镶件以及其他零件; 绘制所要求的任何类型草图; 使用草图和厚度检测, 评估零件; 直接参照产品零件图形, 创建模具型腔 (动模、定模) 几何图形; 各向同性及各向异性收缩补偿; 创建单腔及多腔注塑模具; 自动创建分模曲面, 并把模具划分成动模部分和定模部份; 装配来自 D-M-E、Futaba、Hasco、DMS 以及 National 的模具标准件; 创建模具特殊零件 (如浇注口、流道、注射口以及顶杆孔等); 用干涉检查来仿真模具开模顺序; 计算填充容积、型腔曲面面积等; 生成可交付使用的模具产品图, 其中型腔组件的实体模型与产品模型相关联, 并且可用于数控加工。同时 Pro/E 的注塑模具零件库提供了一组基于 D-M-E、Futaba、Hasco、DMS 以及 National 等公司标准目录的标准模具零件库,

可用于模具组装，使设计效率大大提高。

总之，Pro/E 软件的模具设计模块提供了几乎所有模具设计所需的功能。

6.2.2 基于 Pro/E 的固定框注塑模设计

此次设计使用了设计软件“PRO/ENGINEER WILDFIRE4.0”，其模具设计流程如下^[21, 22]：

1、首先应根据零件尺寸在零件模块下绘出零件的 3D 图，如图 2.1 所示。

2、设置工作目录。

3、创建参照模型。

选取零件，并正确放置，并进行合理布局。

4、设置收缩率为 0.005。

5、创建模具工件。

根据计算出的型腔壁厚创建毛坯。

6、创建分型面。

7、分割模具体积块。

通过分割模具体积块，可分别得到定模（如图 6.1 所示）和动模（如图 6.2 所示）。

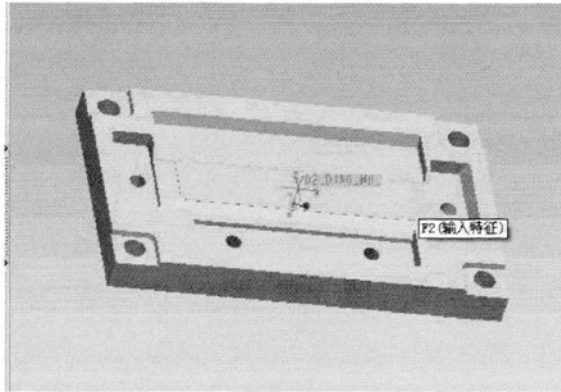


图 6.1 定模

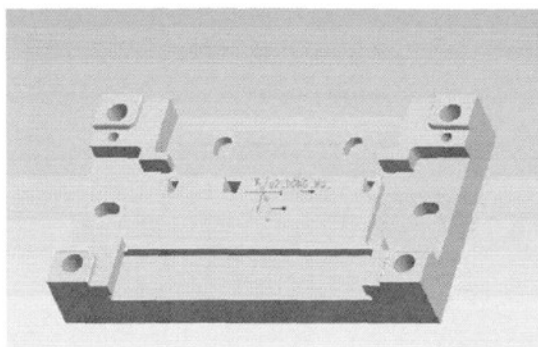


图 6.2 动模

8、侧抽芯机构的设计

动模与定模设计完成后，就在此基础上创建侧抽芯机构的零件：后滑块如图 6.3 所示；左滑块如图 6.4 所示；右滑块如图 6.5 所示；前滑块如图 6.6 所示。

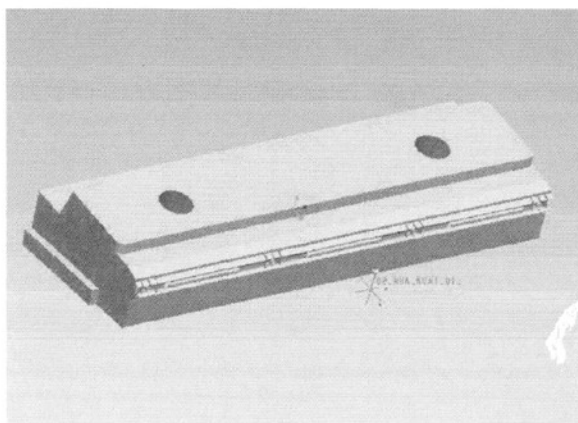


图 6.3 后滑块

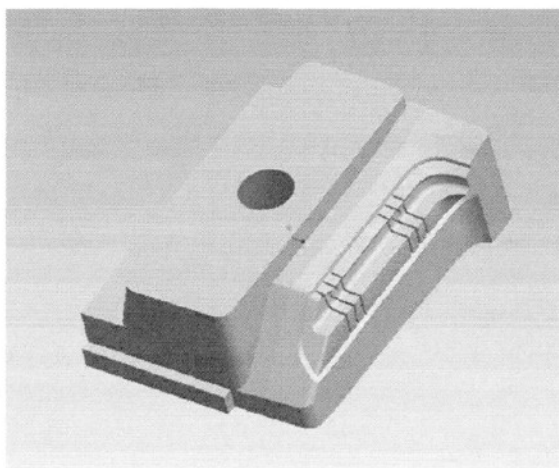


图 6.4 左滑块

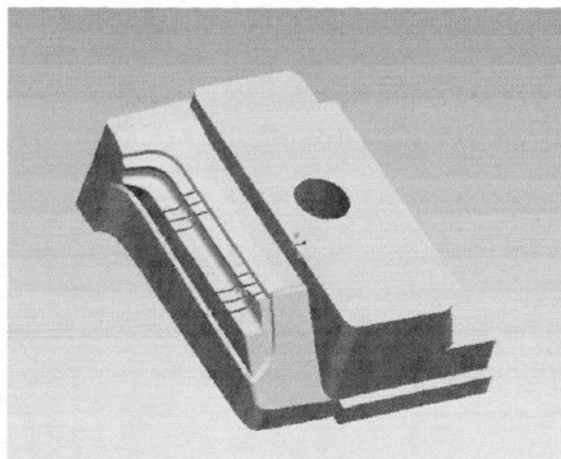


图 6.5 右滑块

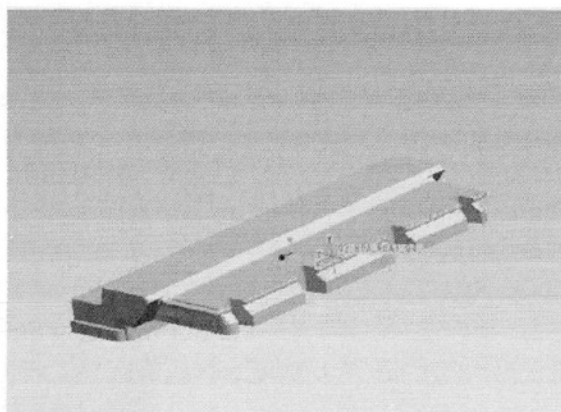


图 6.6 前滑块

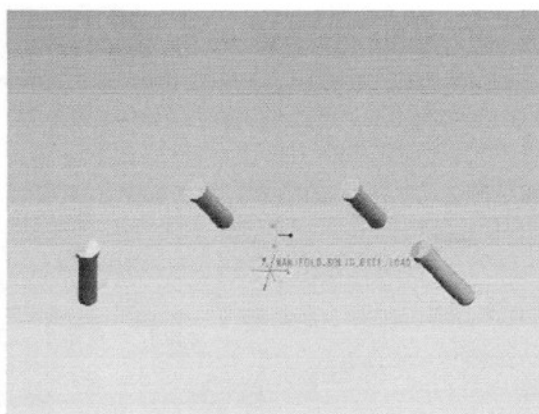


图 6.7 斜导柱

模具设计出来后，打开 PRO/ENGINEER WILDFIRE4.0 的 EMX4.1 模块，创建新的模架，根据以上的设计数据选用标准的模架，并输入相应的参数，到此，完整

的模具基本上组装完成，回到组件模块加入遗漏的零部件完成最后的模具组装。模具装配三维图如图 6.8 所示。

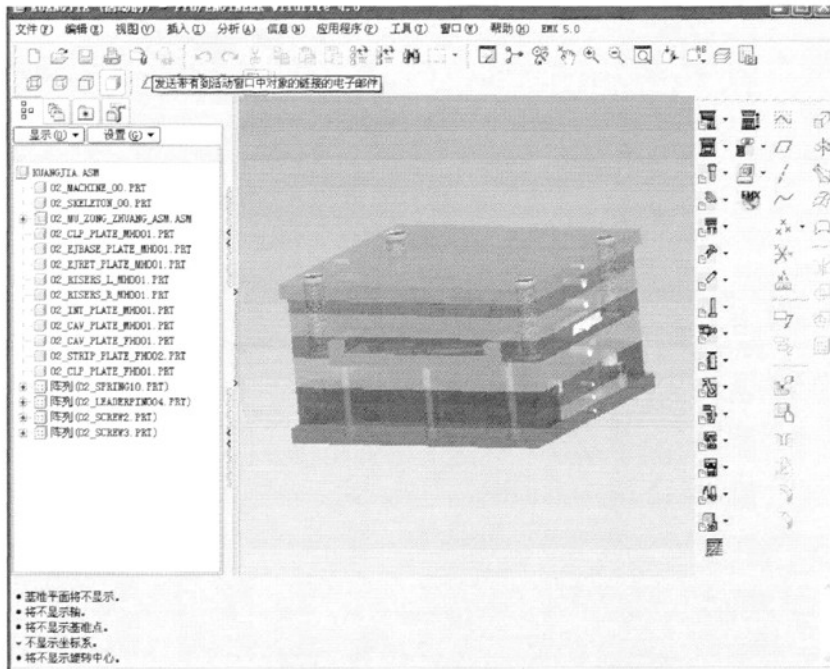


图 6.8 模具装配三维图

6.2 注塑模 CAE

设计到此阶段理论部分已经完成，从传统上来说，接下来的就是试模了，这样的做法不但使研发周期延长，而且如果试模过程中发现问题得重新修改模具结构，因为模具材料一般比较昂贵，所以工程分析就显得格外重要。

6.2.1 注塑过程的数字描述

塑料融体的充填过程被认为是粘性非等温不可压缩流动与传热过程，可采用粘性不可压缩流动的基本方程来描述，鉴于大多数塑料件都是薄壁件，故可认为熔体是在扁平型腔内流动，并引入一些假设和简化，在此基础上，根据连续介质力学和热动力学理论，可得到填充过程的数学模型^[31]。

(1) 连续性方程

$$\frac{\partial \bar{\mu}}{\partial t} + \left(\frac{\partial (b\bar{v})}{\partial \gamma} \right) = 0$$

式中 \bar{u} 、 \bar{v} 为 x 、 y 方向的平均速度。

(2) 动量方程

$$\frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial u}{\partial z} \right) = 0$$

$$\frac{\partial P}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial v}{\partial z} \right) = 0$$

式中 P 为熔体的压力。

(3) 能量方程

$$\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \eta \dot{\gamma}^2$$

式中： ρ 为密度； c_p 为比热容； k 为传热系数； T 为熔体的温度。

(4) 粘度模型

根据计算精度和计算时间等方面的不同需求，可以选择幂律型或者 CROSS 粘度模型。

CROSS 粘度模型中，粘度对温度和压力的依赖性，间接地通过零剪切度来表示，有两种形式，分别为 5 参数的 EXP 和 7 参数的 WLF 模型。

(5) 边界条件

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial v}{\partial z} = 0 \qquad \frac{\partial T}{\partial z} = 0$$

$$z = 0 \qquad u = v = 0 \qquad T = T_w \qquad z = \pm b$$

式中 T_w 为薄壁温度； b 为型腔半厚。

在流动前沿 $c_m(t)$ 上 $P = 0$

在型腔边界 c_0 和型芯边界 c_i 上

$$P = 0 \qquad \frac{\partial P}{\partial n} = 0$$

在熔体入口处 $T = T_e$

式中 T_e 为熔体入口温度。

6.2.2 Moldflow 软件的介绍

Moldflow 注塑成型与模拟软件系列用于帮助制件设计者和模具设计者检测其设计的工艺性。Moldflow 软件在注塑模设计中的作用主要体现在以下三个方面，首先可以优化塑料制品，运用 Moldflow 软件，可以得到制品的实际最小壁厚，从而优化制品结构，降低材料成本，缩短生产周期，保证制品能全部充满；其次运用 Moldflow 软件可以优化模具结构，可以得到最佳的浇口数量与位置、合理的流道系统与冷却系统，并对型腔尺寸、浇口尺寸、流道尺寸和冷却系统尺寸进行优化，在计算机上进行试模、修模，大大提高模具质量，减少修模次数；最后通过 Moldflow 软件，用户可以非常方便地优化注塑工艺参数，用户可以确定最佳的注射压力、保压压力、锁模力、模具温度、熔体温度、注射时间、保压时间和冷却时间，以注塑出最佳的塑料制品。

Moldflow 软件包括软件 MPA/MPI/MPX 三部分：其中 Moldflow PlasticsAdvisers（产品优化顾问，简称 MPA）主要用于优化产品的设计方案，并确认产品表面质量。Moldflow Plastics Insight（注塑成型模拟分析，简称 MPI）可以在计算机上对整个注塑过程进行模拟分析，包括填充、保压、冷却、翘曲、纤维取向、结构应力和收缩，以及气体辅助成型分析等，使模具设计师在设计阶段就找出未来产品可能出现的缺陷，提高一次试模的成功率。而 Moldflow PlasticsExpert（注塑成型过程控制专家，简称 MPX）可以直接与注塑机控制器相连，可进行工艺优化和质量监控，自动优化注塑周期、降低废品率及监控整个生产过程。

1、Moldflow Plastics Advisers (MPA) 基本功能

Moldflow Plastics Advisers 包括注塑产品设计指导（MoldflowPart Adviser）和注塑模具设计指导（Moldflow Mold Adviser）两个产品。MPA 系列产品易于使用，为注塑成型过程提供了实用的分析工具，不仅可以使用户获得更高的分析能力、解决方案，对环形热流道及网状流道系统进行建模和分析，而且其表面可视化程度更高，与 Moldflow Plastics Insight (MPI) 连接更加密切。

Part Adviser 使产品设计者在产品初始设计阶段就注意到产品的工艺性，并指出容易发生的问题。

产品设计者可以了解到如何改变壁厚、制件形状、浇口位置 and 材料选择来提高产品的制造工艺性。系统提供了关于熔接痕位置、困气、流动时间、压力和温度分布的准确信息。Mold Adviser 用于模具设计者、采购者、制造者提供了一个准确易用的方法来优化他们的模具设计与制造,可以非常快速地进行注塑系统平衡、计算注塑周期、锁模力和注射体积,可以建立单型腔系统或多型腔系统模具。它基于网络的分析报告使设计人员、制造人员、检测人员快速的交流有关模具尺寸流道尺寸和形式、浇口的设计等信息。

MPA 技术是随着产品和模具设计的要求而发展起来的,其解决方案能使我们在产品和模具设计的初期就符合严格的制造和品质标准,能够预测出后期潜在的制造问题。使用 MPA,塑料注塑产品能够很好的设计出来,便于制造,得到良好的形状尺寸和使用功能。通过使用 MPA,可以在产品开发早期,甚至是在设计的概念阶段,就可以发现问题,并找到有效的解决方案、缩短开发时间、节省成本、抢占市场、创造效益。

MPA 模块能直接分析 CAD 模型,而并不需要转换图形格式和进行复杂的修补网格工作。该软件能自动生成网页形式的分析报告,可以在整个产品设计小组之间相互传递分析结果,并且对潜在的设计问题提供有实践意义的建议。

2、Moldflow Plastics Insight (MPI) 基本功能

Moldflow 的分析产品可以模拟塑料流动和保压、模具冷却和零件收缩和翘曲,以进行热塑性注塑成型、气体辅助注塑成型、连续注塑成型和注塑压缩成型过程。其他的模块模拟反应注塑成型过程,包括热固性和橡胶注塑成型、反应注塑成型(RIM)、结构化反应注塑成型(SRIM)、塑脂传递注塑成型、微芯片封装模拟和底部灌充封装模拟。通过使用基于实体四面体的有限元体积网格经证实的解决方案技术,能够对非常厚的实体执行真正的、三维的模拟,同时也可以模拟具有非常大的厚薄变化的实体。Moldflow 的 MPI 技术可以在所有 CAD 模型几何体类型上实施,包括传统的中平面模型、线框和表面模型、薄壁实体和厚的或不同中平面的实体,用户可以在一个易于使用的、一致的、集成的环境中完成模拟任务。

MPI 提供三种分析方法对模型进行输入与修复,分别是基于中心面的分析、基于表面的分析与三维分析。中心面既可运用 MPI 软件的造型功能完成,也可从

其它 CAD 模型中抽取再编辑;表面分析模型与三维分析模型直接读取其他 CAD 模型,如快速成型 STL 格式、IGES、STEP、Pro/E、UG 等模型的文件格式。软件提供了多种模型修复工具,以生成既能得到准确结果,又能减少分析时间的网格。在用户采用线框和表面造型文件时,MPI 可以自动生成 Midplane 网格并准确计算单元厚度,进行精确地分析并节省了用户大量的 CAE 建模时间、分析和优化时间。对于薄壁实体,MPI 的 FUSION 模块基于 DualDomain 分析技术,使用户可以直接进行薄壁实体模型分析,这将原来需要几小时甚至几天的建模工作缩短为几分钟,无需进行中型面网格的生成和修改,FUSION 可以直接从塑件顾问中读取模型而进行进一步的分析。对于厚壁实体 Moldflow 的 MPI/Flow3D、和 MPI/Cool3D 等模块采用全三维的自适应网格进行全三维分析,这三种方法提供了最广泛的几何设计模型的集成。

MPI 是一个提供深入制件和模具设计分析的软件包,它提供强大的分析功能、可视化功能和项目管理工具,这些工具使客户可以进行深入地分析和优化。MPI 使用户可以对制件的几何形状、材料的选择、模具设计及加工参数设置进行优化以获得高质量的产品。集成的用户界面使用户可以方便地输入 CAD 模型、选择和查找材料、建立分析模型、进行一系列的分析,并采用先进的后处理技术使用户方便的观察分析结果、它还可以生成基于 INTERNET 的分析报告,方便的实现数据共享。

Moldflow 着重于 3D 技术和加工前后生产改进,同消费者的要求紧密相连。软件可以提供全球最大的数据库,囊括 7800 多种用于塑料计算机半自动工程分析的材料,其注塑机数据库包含了 290 种商用注塑机的运行参数。在优化注塑工艺参数方面,系统根据给定的模具、注塑机、塑件材料等参数以及流动分析结果自动产生控制注塑机的填充保压曲线,从而免除了在试模时对注塑机参数的反复调试。MPI 通过流动分析结果还可以确定合理的塑料收缩率,保证模腔的尺寸在允许的公差范围内,从而减少塑件废品率,提高产品质量。

MPI 系统还提供改进的几何故障诊断、清除工具和自动网孔固定等功能,系统提供用于模仿 9 个独特注塑模压技术的 19 种模块。如图 2 所示为 Moldflow 用于热固性塑料成型、热塑性塑料成型、气体辅助注射成型、反应注射成型、RTM 成型等方式的模拟菜单。用户可以进行充型分析、流动分析、冷却分析、翘曲分

析、模具设计、浇口优化设计等，为产品的优化设计与模具的优化设计制造提供较好的指导帮助作用，下面分别对其基本模块进行介绍。

MPI/Midplane 中型面生成工具可以大大缩短对塑件进行造型的时间，造型时间几天甚至几周缩短至几小时。Midplane 可以自动产生网格化的实体中型面，使用户可以致力于深入的工艺分析，而不必花费很大的费用。

MPI/Fusion 模块采用了被称为 DaulDomain 的有限元算法，快速便捷地将 CAD 文件转化为可以深入分析 CAE 模型。可以在 Fusion 模型上直接设置浇口、流道系统，进行注塑模拟分析。

MPI/Flow3D 是唯一能对厚壁件或不可能用传统的模流分析求解器来仿真的注塑成形件进行模拟的 CAE 软件。Flow3D 采用了基于 3D 四面体有限元网格的全新求解技术，是对 Flow3D 技术的理想补充。两者结合起来，其应用范围已覆盖了现今全部的注塑工程领域。MPI/Flow 用于分析聚合物在模具中的流动，并且优化模腔的布局、材料的选择、填充和压实的工艺参数。可以在产品允许的强度范围内和合理的充模情况下减少模腔的壁厚，把熔接线和困气定位于结构和外观允许的位置上，并且定义一个范围较宽的工艺条件，而不必考虑生产车间条件的变化。

MPI/Cool 用于冷却分析系统对流动过程的影响，优化冷却管路的布局和工作条件。Cool 与 Flow 相结合，可以产生十分完美的动态注塑过程分析。这样可以改善冷却管路的设计，从而产生均匀的冷却，并由此缩短成型周期，减少产品成型后的内应力。

MPI/Wrap 应用于分析整个塑件的翘曲变形（包括线性、线性弯曲和非线性），同时指出产生翘曲的主要原因和相应的补救措施。Wrap 能在一般的工作环境中考虑到注塑机的大小、材料特性、环境因素和冷却参数的影响，预测并减少翘曲变形。

MPI/Stress 用于分析塑件产品在受外界载荷的情况下的机械性能，在考虑到注塑工艺条件下，优化塑料制品的强度和刚度。Stress 预测在外载荷和温度作用下所产生的应力和位移。对于纤维增强塑料，Stress 根据流动分析和塑料的种类的物性数据来确定材料的机械特性，用于结构应力分析。

MPI/Shink 可以通过对聚合物的收缩数据和对流动分析结果来确定模腔尺寸

大小。通过使用 Shink, 可以在较宽的成型条件下以及紧凑的尺寸公差范围内, 使得模腔的尺寸可以更准确地同产品的尺寸相匹配, 相似的模腔修补加工以及模具投入生产的时间大大缩短, 并且大大改善了产品组装时的相互配合, 进一步减少废品率和提高产品质量。

MPI/Optim 根据给定的模具、注塑机、注塑材料等参数以及流动分析记过自动产生控制注塑机的填充保压曲线。用于对注塑机参数的设置, 从而免除了在试模时对注塑机参数的反复调试。Optim 采用拥护给定或缺省的质量控制标准有效地控制产品的尺寸精度、表面缺陷以及翘曲。

MPI/Gas 用于模拟目前市场上常见气体辅助注塑机的注塑过程, 对整个气体辅助注塑成型过程进行优化。Flow 与 Gas 耦合求解, 完成聚合物注射阶段的分析, 此时熔体可以部分或全部充满模腔。注塑成型过程的工艺条件、流道和模腔的流动平衡以及材料的选择等可以从中得到优化组合。

MPI/Fiber 用于分析塑件纤维取向对塑件的性能(如拉伸强度)的影响。Fiber 使用一系列集成的分析工具来优化和预测整个注塑过程的纤维取向, 使其趋于合理, 从而有效地提高该类塑件的性能。

MPI/Reactive Molding 用于热固性塑料的流动及融合分析, 由于热固性塑料具有低热传导率和低粘度的优点而被广泛应用。ReactiveMolding 可以对热固性塑料的流动和融合等复杂过程进行模拟, 从而减少表面缺陷, 保证材料的热传导和融合, 控制塑料在型腔中的流动。

6.2.3 塑件模拟分析及优化过程

此次分析采用 MoldFlow 分析软件, 将由 PRO/E 创建的三维模型, 以*STL 的文件格式导入到 MoldFlow 分析软件。要对制件进行分析, 首先要在塑模表面生成三角网格来覆盖整个工件表面, 为以后的分析提供一个基础平台。由于网格生成的成功与否直接影响后面的分析工作, 所以在生成网格后要用网格状态统计表工具来检查网格生成中产生的缺陷和不足, 并用相应的网格编辑工具来修复网格, 消除缺陷。需注意的是在修复过程中有时会破坏其他已修复好的区域, 从而产生新的缺陷, 另外, 修复时有时会产生失真现象, 例如有的平面修复后不再是平面等, 因此, 修复必须重复进行, 直到得到满意的网格为止。分析中采用 fusion 网格模型, 有限元分析模型(如图 6.9 所示)数据为: 单元数 12983, 节点数为

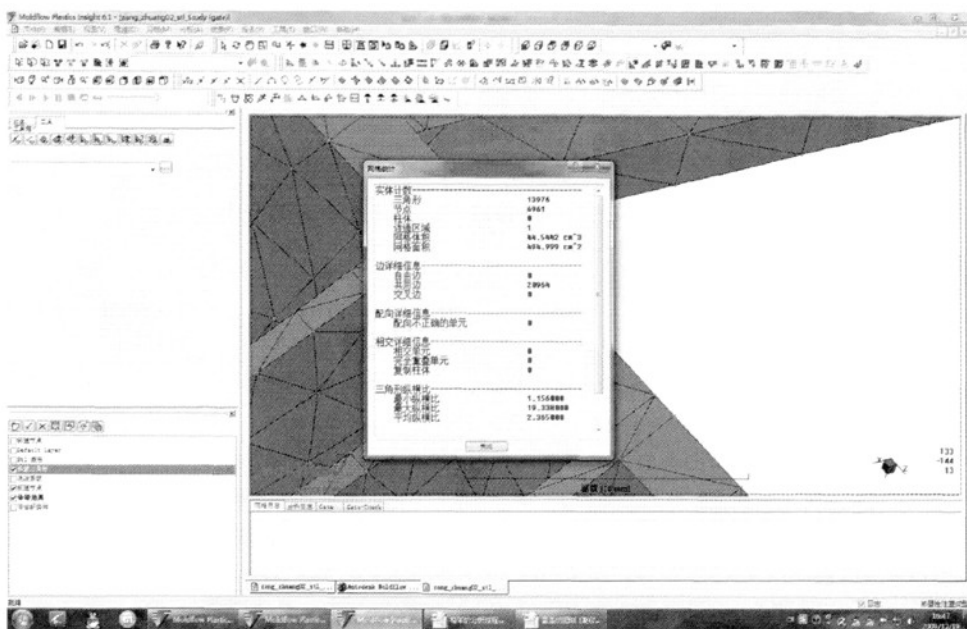


图 6.10 修复后的网格模型

1、最佳浇口分析

在模具设计之前应该分析塑件的浇口位置，无论采用什么形式的浇口，其位置对塑件的成型性能及质量的影响都很大。MoldFlow 中的优化分析可以根据模型几何以及相关材料参数、工艺参数分析出浇口的最佳位置。依据分析结果设计浇口位置可以避免由于浇口位置不当而引起的塑件缺陷^[81]。图 6.11 所示为最佳浇口位置。从分析结果可以看出，蓝色代表最佳浇口位置，因此，浇口应当设置在蓝色区域内。

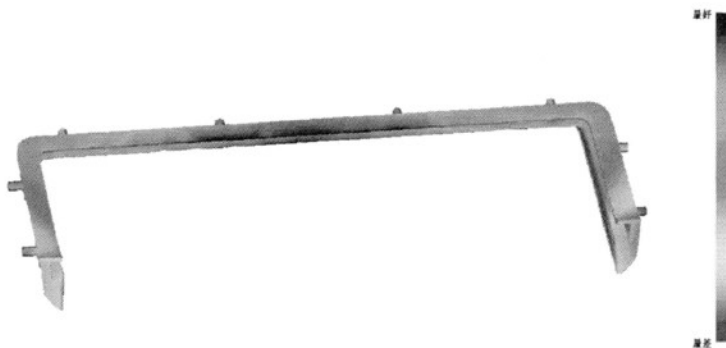


图 6.11 最佳浇口位置

2、填充分析

填充分析结果主要用于查看塑件的填充行为是否合理，填充是否平衡，能否完成对塑件的完全填充等。可以根据动态的填充时间、填充结果查看填充阶段的熔体流动行为，以便更好地判断填充流动行为是否合理^[36, 37, 38]。

浇注系统的性能直接影响到塑件的填充行为，因此进行填充分析的最终目的是为了获得最佳浇注系统的设计。通过对不同浇注系统的分析比较，选择最佳的浇注系统布局。填充分析结果如图 6.12、6.13 所示。

根据图 6.12 模拟结果，主流道两侧填充时间均为 1.191s，达到填充平衡，填充时间较短、效率高、填充完全。

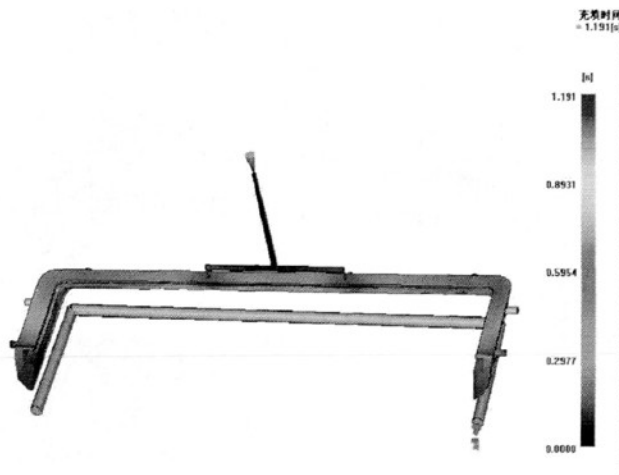


图 6.12 填充时间分析

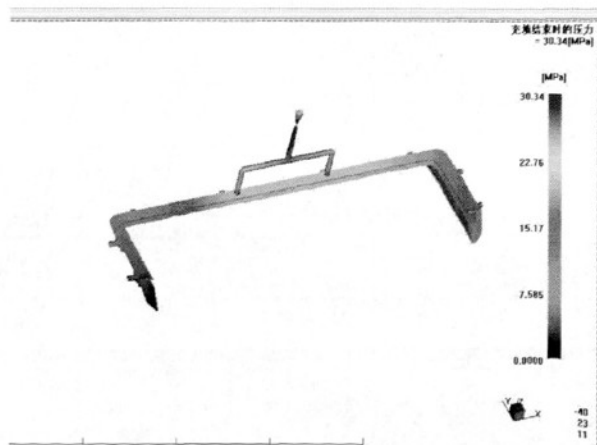


图 6.13 冲填结束时的压力

3、冷却分析

用 MoldFlow 对模具的冷却系统进行分析, 根据冷却效果计算出冷却时间的长短, 确定成型周期所用的时间。在获得均匀冷却的基础上优化冷却管道布局, 尽量缩短冷却时间, 从而缩短单个制品的成型周期, 提高生产率, 降低生产成本。

冷却管道的设计应当兼顾实现合理可行的均匀冷却和缩短成型周期两个方面, 根据其均匀冷却和成型周期的比例做出不同的设计。



6.14 冷却系统温度分析

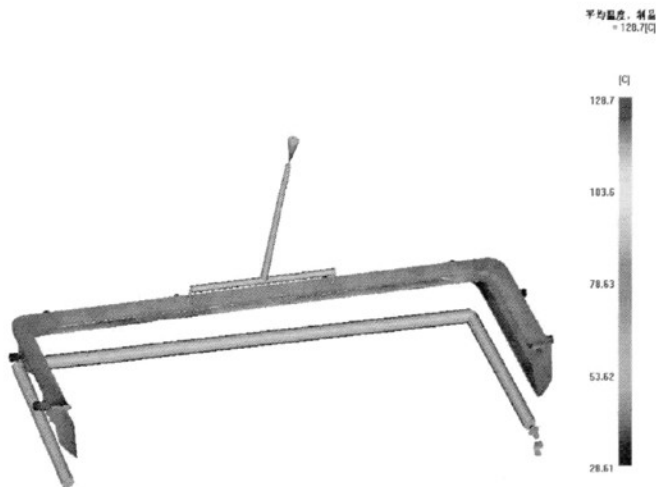


图 6.15 制品平均温度分析

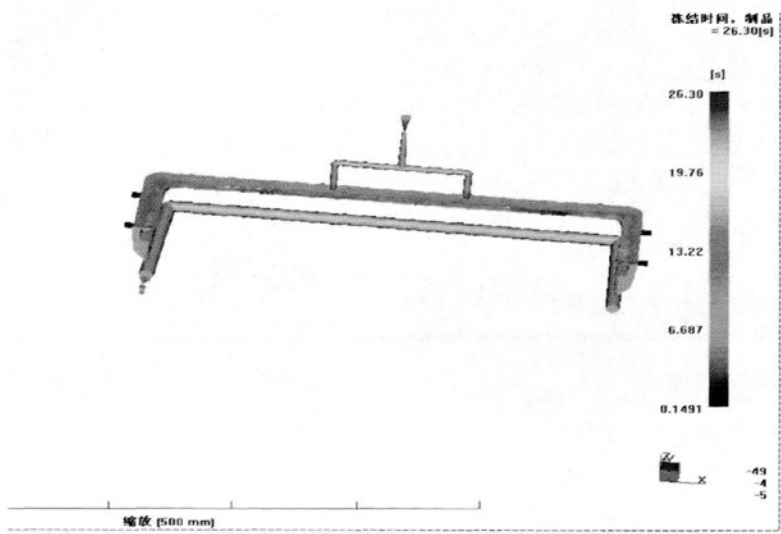


图 6.16 制品冷却时间

图 6.14 为冷却系统温度分析, 图 6.15 为制品平均温度分析, 图 6.16 为制品冷却时间分析, 从图 6.14 可以看出冷却液升温 0.39°C , 不超过 3°C , 符合要求; 从图 6.15 可以看出, 在塑件冷却过程中, 塑件基本上均匀冷却, 且塑件的温度达到预定的顶出温度 (60° 左右); 从图 6.16 可以看出, 在塑件冷却过程中, 塑件各部分的冷却时间比较接近。

4. 翘曲分析

翘曲变形是指注塑制品的形状与模具型腔的形状超出了所规定的范围, 它是塑料制品常见的质量缺陷之一。翘曲变形与塑件的收缩有关, 一般均匀收缩只引起塑件体积上的变化, 只有不均匀收缩才会引起翘曲变形^[39]。

通过翘曲分析可以判定采用的塑料是否会出现变形, 为了减少翘曲缺陷, 在模具设计时, 准确预测塑料的收缩率和冷却系统的设计成了控制变形量的主要措施。图 6.17 是塑件总体翘曲图, 翘曲变形最小 0.24mm , 最大 1.984mm 。最大翘曲部位在塑件两端自由处, 绝大部分是由收缩引起的。经过 CAE 分析, 该设计方案已能满足塑件质量要求。

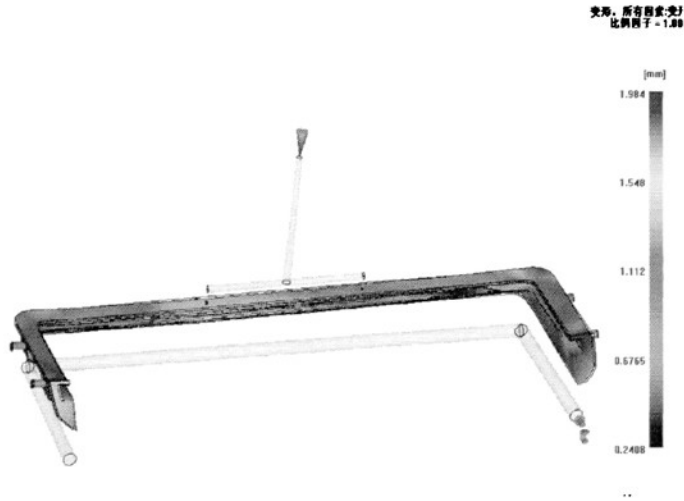


图 6.17 塑件总体翘曲图

5、气穴分析

图 6.18 所示为塑件气泡分布。可以看出，气泡主要集中在分型面上，可利用分型面排气，扣位处气泡也较多，此处设置了斜推杆侧向抽芯，也有助排气。

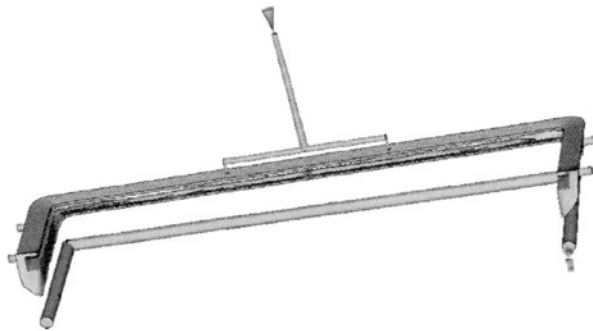


图 6.18 塑件气泡分布

6、熔接痕分析

根据经验设计的模具在注塑时，制品经常有熔接痕，不仅影响产品外表的美观，而且产品的强度降低^[40]。图 6.19 所示为塑件熔接痕分布。塑件存在加强筋和凸台结构，所以在熔体接合处有熔接痕，对塑件的外观有一定影响，通过提高模具的温度、把浇口适当加大、适当降低锁模力、在熔接缝处开设排气系统等措施后，注塑出的产品熔接痕变得不明显，降低了废品率，能满足实际生产的需要。

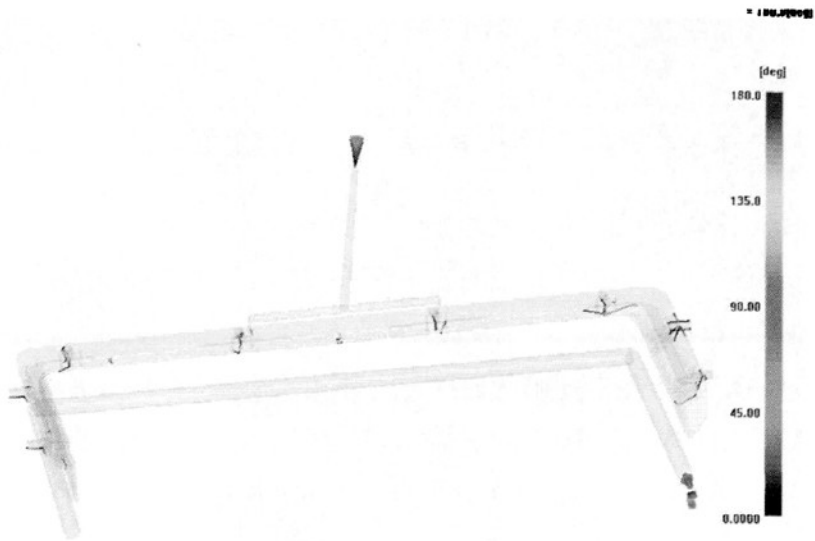


图 6.19 塑件熔接痕分布

至此，模具的设计工作全部完成，从中体现了应用计算机后给模具设计带来的方便，大大缩短了模具的制造周期，以前开发这种中等复杂程度的模具需要三个多月的时间，现在只需一个月左右的时间，极大的提高了生产效率，进一步降低了生产成本。此外，应用计算机辅助工程分析，可以模拟注塑过程进行各方面的分析，如：结构应力分析、应变分析、振动分析、流体流场分析、热传分析、机构运动分析、塑料射出成形模流分析等等，进行仿真以研究产品的行为，进一步改良或最佳化设计。同时使模具设计工作拥有最大的柔性。随着 CAD/CAM/CAE 软件的不断开发创新，模具行业必将进入另一片新的天空！

第七章 结论与展望

7.1 本论文完成的主要工作

1、理论分析与必要的设计计算

本论文分析了塑件的工艺性，即塑件原材料、塑件结构和精度及表面质量、塑件体积和质量；分析了注射机的选择及有关工艺参数的校核即最大注射量的校核、注射压力的校核、锁模力的校核、开模行程的校核及模具与注射机合模部分相关尺寸的校核；说明了成型零部件的设计、分型面的确定、成型零件工作尺寸的计算、型腔壁厚与底板厚度的计算；还说明了模架的选择与校核、导向系统的设计、浇注系统的设计、脱模的结构设计及冷却系统和排气系统的设计。

在本模具中，由于生产的塑件较小，利用分型面，推杆的间隙排气，为此本模具不必再设计排气系统，从而减少加工量，降低成本，而且结构简单、操作方便、安全、易于制造。

2、基于 Pro/E 的注塑模设计

利用 Pro/E 的模具型腔功能进行塑件三维实体设计，输入收缩率后，确定分模方向以及分型面设计，抽取模具元件生成模具型腔和型芯。设计浇注系统及冷却系统，生成模具成型零件的三维实体模型，由于软件存在着相关性，当塑料制件的尺寸发生改变时，模具成型零件的尺寸也会发生相关的变化。利用 Pro/E 强大的特征造型功能完成其他零件的设计以及模具开启和干涉检查，再利用 Pro/E 系统的布局及装配模块，可以进行模具的顶出系统和三维的总装配设计。最后使用 Pro/E 的外挂软件 EMX4.0 来进行模具标准元件的导入，以使设计更快速，修改更方便。

3、基于 MoldFlow 的注塑模分析与优化设计

在 Pro / E 中造型后，产品信息及模具有关信息可以 *STL 格式文件传入 MoldFlow，在 MoldFlow 中选择塑料牌号及合适的注射温度、注射压力和注射机后即可进行分析，完成了最佳浇口分析、填充分析、冷却分析、翘曲分析等工作，并在分析的基础上，针对存在的问题，进行优化设计，然后再利用 MoldFlow 软件进行分析，通过不断的分析、优化、再分析、再优化的反复过程，直到获得满意的分析结果为止，最后将注塑模 CAE 的优化设计的结果，反馈到注塑模 CAD

的三维模型上,及早修改不合理设计,避免后期实际试模、生产时出现不合格产品,保证试模一次成功,节省了模具开发的时间和成本。

7.2 展望

本论文利用 Pro/E 完成了注塑件的三维建模及模具设计,利用 MoldFlow 进行分析及优化,并将优化结果反馈到模具三维模型上,从而缩短了开发周期,降低了开发成本,提高了企业的市场竞争能力。但在以下几个方面仍需改进:

- 1、尽管利用模具 CAE 技术实现了注塑分析,但在优化过程中,仍需依赖设计者的实践经验,因此,能否将优化技术与 CAE 技术有机结合起来,充分利用优化理论,开发智能化的分析系统,明确优化方向,降低对设计者实践经验的依赖程度;

- 2、应当将模具 CAD/CAE 技术与模具 CAM 技术结合起来,实现并行设计,从而进一步缩短开发时间,减少试模、修模次数和模具报废率,提高产品质量。

致 谢

论文成稿之际，特别感谢指导教师任乃飞教授为我讲解新技术以及在我遇到难题时，能及时为我解答，使我顺利完成学位论文。导师渊博的知识、严谨的治学态度、踏实的工作作风和敏锐的分析能力给我留下了深刻的印象，并将在我今后的工作和学习中留下永久的影响。

常州轻工职业技术学院的多位教师在我撰写学位论文过程中，给予了很多热情帮助和大力支持。为此，向他们表示诚挚的谢意！

向所有关心、支持、帮助过我的各位老师、同学、朋友们表示谢意！最后，向热心评审本论文和参加答辩的老师们致以衷心的感谢！

参考文献

- [1] 李海梅,申长雨.注塑成型及模具设计实用技术[M].北京:化学工业出版社,2002;
- [2] Gao F.Zhao C.. Melt temperature profile prediction for thermoplastic injection molding[J].Polymer Engineering and Science,1999,39(9);
- [3] Palit K. and Chen I.J..How to Access CAE Injection Mold Design Softwares for production Applications[J].SPE ANTEC Tech.Papers,1989,35;
- [4] 陈嘉真. 塑料成型工艺及模具设计. 北京:机械工业出版社, 1995.
- [5] 王孝培主编.塑料成型工艺及模具简明手册.机械工业出版社.2000,6
- [6] 刘来英.注射成型工艺.北京:机械工业出版社,2005
- [7] 申长雨,陈丹波,刘春太.塑料模 CAE 发展技术概况.模具工业,2001(1):51~56
- [8] Chen Xuewen,Li Dequn,zhou Huamin.Development of Integrated Simulation for Plastic Injection Molding.CADDM,2005,15(1):9~15
- [9] Geng Tie,Li Dequn, zhou Huamin.Numerical Filling Simulation of Injection Molding Using Three-Dimensional Model.CADDM.2003,13(1-2):6~14
- [10] 唐志玉.塑料模现状及发展趋势.模具工业,1996(5):35 ~ 38;
- [11] 龙玲,彭必友.注塑模 CAD/CAE/CAM 集成系统的发展.成都纺织高等专科学校学报, 2005, 4: 6~8;
- [12] 王春香.基于实例的注塑模具 CAD/CAE 关键技术应用研究:[硕士学位论文].合肥:合肥工业大学,2008
- [13] 袁中双,李德群,肖景容.注塑模 CAE 技术的进展与趋势.中国机械工程,2006,(6):13~16.
- [14] 党根茂,骆志斌,周小玉主编.模具设计与制造.机械工业出版社,1995,12
- [15] 章飞主编.型腔模具设计与制造.化学工业出版社.2001,6
- [16] 瞿金平,黄汉雄,吴舜英主编.塑料工业手册.化学工业出版社.2001,12
- [17] 《塑料模设计手册》编写组编著.塑料模设计手册(软件版).机械工业出版社.2003,7
- [18] 唐志云编著.塑料挤塑模与注塑模优化设计.机械工业出版社.2004,10
- [19] 刘保臣,杨晓东,申长雨.注塑模分型面设计方法及应用.工程塑料应用,2007(5):64~66
- [20] 李文星,闵朝勃.确定塑料注塑模分型面的研究.黑龙江科技信息
- [21] 塑料模具设计制造与应用实例.机械工业出版社.2002,4
- [22] 金国珍主编.工程塑料.化学工业出版社.1998,6

- [23] 实用塑料注射模设计与制造.2005,8
- [24] 章日晋主编.机械零件的结构设计.北京机械工业出版社.1987,2
- [25] 阮锋,黄珍媛,刘伟强主编.PRO/ENGINEER 2001 模具设计与制造实用教程.机械工业出版社.2003,4
- [26] 唐志云编著.塑料挤塑模与注塑模优化设计.机械工业出版社.2004,10
- [27] 张惠编.注塑模设计.西北工业大学出版社.2003,1
- [28] 金国珍主编.工程塑料.化学工业出版社.1998,6
- [29] 屈华昌主编.塑料成型工艺与模具设计.高等教育出版社.1998,6
- [30] 刘兆栋, 苏文斌,姚海剑.冰箱抽屉注塑模冷却系统.模具技术,2009,(2):42~46.
- [31] 袁国定等.基于 CAE 技术的注塑模浇口优化设计.江苏大学学报(自然科学版).2004.25(6):477~481.
- [32] 黄恒星编著.PRO/ENGINEER 2001 实用问题解答.人民邮电出版社.2002,8
- [33] 苏厚合,黄俊贤,黄圣杰主编.PRO/ENGINEER 2001 入门指南.人民邮电出版社 2002,5
- [34] 葛正浩主编.PRO/ENGINEER WILDFIRE 塑料模具设计入门与实践.化学工业出版社.2004,4
- [35] 蒋继宏,王效岳主编.注塑模具典型结构 100 例.中国轻工业出版社.2001,10
- [36] 兰芳,覃波.CAE 技术在注塑产品中的应用.中国制造业信.2009.38(9):54~57.
- [37] 刘细芬, 黄家广.CAD/CAE/CAM 在注塑模设计中的应用.塑料科技.2007.35(2):68~71.
- [38] 詹春毅,岑运福.塑料注射成型充填阶段中熔体流动的研究.轻工机械,2006(2):26~29.
- [39] 王华侨,张文齐,邓方亮.MoldFlow 在某大型薄壁异形件注塑成型模拟分析中的应用.CAD/CAM 与制造业信息化,2007,(9):59~61.
- [40] 李云塑.料模具型腔壁厚的强度与刚度分析.模具设计.2008,(12):78~80.