



广东工业大学

本科毕业设计（论文） 榨汁机造型设计及成型模具设计

学 院 材料与能源学院

专 业 材料成型及控制工程
（模具 CAD/CAM 方向）

年级班别 2004 级（2）班

学 号 3104007405

学生姓名 黎耀伟

指导教师 陈绮丽

2008 年 6 月

摘 要

家电产品是人们日常生活必不可少的生活用品，人们对电器产品的要求从实用性、可靠性已经提高到对舒适性、美观性、安全性、实用经济性等方面的考虑。对电器产品的这种不断提出的新要求，促使电器产品的外观不断的改进，零件的生产技术也不断得到新的发展，使家电产品外壳零件成形技术在成形领域中占有越来越重要的地位。目前，电器产品的外形设计及加工技术日益受到了国内外的高度重视，德国、美国、日本等发达国家在这方面的研究已经取得相当的进展。他们的电器产品外观美观，让人赏心悦目，而且设计高效快捷，产品更新换代加快。

目前，国内在电器产品外观零件设计制造方面的研究还处于发展阶段，与发达国家的差距很大。由于家电产品美观性的要求，零件外形多为复杂曲面，传统的设计方法在对零件成形过程分析以及对产品存在缺陷的处理方面显得无能为力，产品成形过程数值模拟技术跟不上的现状已经成为制约产品开发和生产的一个瓶颈。面对日益激烈的国际竞争，必须紧跟国际先进水平，不断提高电器产品外观零件的质量，降低设计和生产成本，加快生产周期。因而，小家电产品成形技术的研究与开发具有相当重要的理论意义和实用价值。本课题就是以一款新颖的榨汁机材料成型作为一个突破口，运用 CAD/CAM/CAE 软件进行产品设计到模具设计的产品开发过程，从而带动和促进相关电器产品外观零件成形技术的发展和技术创新。

关键词：榨汁机，产品设计，结构设计，模具设计，计算机辅助设计/制造/工程

Abstract

Household electrical appliances is essential to daily life of people living supplies, the people of electrical products from the requirements of practicality, reliability has been raised to the comfort, aesthetics, security, economic and other practical aspects of the request. On the electrical products that keep the new requirements, electrical products to the appearance of continuous improvement, parts of the production technology has been new development, household electrical appliances shell parts forming technology in the field of forming occupy more and more important position . At present, the electrical products form design and processing technology has increasingly come under the close attention both at home and abroad, Germany, the United States, Japan and other developed countries in this area of considerable progress has been made. Their aesthetic appearance of electrical products, people feast for the eyes, and efficient design of faster, speed up the upgrading of products.

At present, domestic electrical appliances appearance in the design and manufacture of parts of research is still in the development stage, the gap between big and developed countries. As home appliances aesthetics requirements, spare parts and more complex surface appearance, the traditional design methods in the process of forming parts of the product and there are shortcomings in the treatment appears powerless, product forming process numerical simulation technology has been unable to keep up with the status of a Product development and production constraints of a bottleneck. Faced with the increasingly fierce international competition, we must keep up with the advanced international level, continuously improve appearance of parts of the electrical products quality, reduce design and production costs, speed up the production cycle. As a result, small household electrical appliances forming technology research and development is very important theoretical and practical value. The issue is to a new type of Juicers molding material as a breakthrough, using CAD / CAM / CAE software products designed to mold design of the product development process and thereby stimulate and promote the appearance-related electrical products forming part of the development and technology Innovation.

Key words: juicer, product design, structural design, mold design, CAD/CAM/CAM

目 录

1 绪论	1
1.1 国内外发展状况	1
1.1.1 三维 CAD/CAM/CAE 技术梗概	1
1.1.2 我国三维 CAD/CAM/CAE 技术的应用状况	1
1.1.3 注塑模具 CAD/CAM/CAE 技术的发展概况及趋势	2
1.2 研究内容	4
1.3 研究的目的与意义	4
2 榨汁机的造型及结构设计	5
2.1 榨汁机设计概念	5
2.2 榨汁机的设计方法	5
2.2.1 Top-Down 设计方法和传统设计方法的比较	5
2.2.2 传统设计方法的缺点	6
2.2.3 Top-Down 设计方法的优点	6
2.3 榨汁机主要零件的外观设计	7
2.4 榨汁机装配图	10
2.5 榨汁机爆炸图	11
2.6 榨汁机结构设计	12
2.6.1 为满足装配要求的结构设计	12
2.6.2 为满足功能要求的结构设计	14
2.6.3 为满足成型要求的结构设计	15
3 榨汁机底座注塑模具设计	19
3.1 塑件材料的选择及其结构分析	19
3.1.1 塑件（底座）模型图：	19
3.1.2 塑件材料的选择	19
3.1.3 塑件的结构与工艺性分析	19
3.1.4 材料成型特性及加工条件	20
3.2 注射机选型	21

3.2.1 注射量计算.....	21
3.2.2 注射力校核.....	21
3.2.3 锁模力校核.....	21
3.2.4 开模行程和模板安装尺寸校核.....	22
3.3 模具浇注系统设计.....	23
3.3.1 浇注系统的作用.....	23
3.3.2 浇注系统的设计原则.....	23
3.3.3 浇口的设计.....	23
3.4 注塑模成型零部件结构设计.....	24
3.4.1 分型面的选择原则.....	24
3.4.2 确定模具基本结构及分型面的选择.....	24
3.4.3 分模过程图.....	25
3.4.4 成型零件的设计.....	26
3.5 排气结构设计.....	28
3.5.1 模内气体的主要来源.....	28
3.5.2 排气方式.....	28
3.6 导向机构的设计.....	28
3.6.1 导柱的设计要点.....	28
3.6.2 导套的设计要点.....	29
3.7 脱模机构的设计.....	29
3.7.1 脱模机构的设计原则.....	29
3.7.2 脱模机构的设计要点.....	29
3.8 侧抽芯机构的设计.....	30
3.8.1 侧抽芯机构抽出距离核算.....	30
3.8.2 侧抽芯机构的固定及安装.....	31
3.9 注射模温度调节系统.....	32
3.9.1 温度调节对塑件质量的影响.....	32
3.9.2 温度调节对生产力的影响.....	32
3.9.3 模具温度调节系统的设计.....	33

3.10	模具装配图及其运动说明	34
3.10.1	模具装配立体图	34
3.10.2	模具装配工程图	36
3.10.3	运动说明	36
4	榨汁机杯身注塑模具设计	37
4.1	塑件材料的选择及其结构分析	37
4.1.1	塑件（杯身）模型图：	37
4.1.2	塑件材料的选择	37
4.1.3	塑件的结构与工艺性分析	37
4.1.4	材料成型特性及条件	39
4.2	注射机选型	40
4.2.1	注射量计算	40
4.2.2	注射力校核	40
4.2.3	锁模力校核	41
4.2.4	开模行程和模板安装尺寸校核	41
4.2.5	注射机型号的确定	41
4.3	浇注系统的设计	42
4.3.1	最佳浇口分析	42
4.3.2	点浇口尺寸确定	42
4.3.3	填充过程模拟	43
4.3.4	脱浇口机构设计	44
4.4	分型面的设计	44
4.5	分模过程图	45
4.6	成型零部件的设计	46
4.6.1	型腔数目的确定	46
4.6.2	成型零件的尺寸计算	46
4.6.2.1	型腔径向尺寸计算	46
4.6.2.2	型芯外径尺寸	46
4.6.2.3	型腔深度尺寸	47

4.6.2.4 型芯高度尺寸	47
4.7 排气结构的设计	47
4.8 导向机构的设计	48
4.9 脱模机构的设计	48
4.10 侧抽芯机构的设计	48
4.10.1 斜滑块抽芯机构设计	48
4.10.2 斜滑块抽芯机构的固定及安装	49
4.10.3 斜导柱抽芯机构设计	50
4.10.4 斜导柱抽芯机构的固定及安装	51
4.10.5 弯销抽芯机构设计	52
4.10.6 弯销抽芯机构的固定及安装	53
4.11 注射模温度调节系统	53
4.11.1 斜滑块冷却回路的设计	53
4.11.2 型芯冷却回路的设计	54
4.12 模具装配图及其运动说明	54
4.12.1 模具的装配图立体图	55
4.12.2 模具装配工程图	56
4.12.3 运动说明	56
结语	57
参考文献	58
致谢	59
附录 A 型腔加工工艺卡	60
附录 B 斜滑块加工工艺卡	61

1 绪论

1.1 国内外发展状况

1.1.1 三维 CAD/CAM/CAE 技术梗概

计算机辅助设计（CAD：Computer Aided Design）技术是以计算机、外围设备及其系统软件为基础，包括二维绘图设计、三维几何造型设计、有限元分析（FEA）及优化设计、数控加工编程（NCP）、仿真模拟及产品数据管理等内容。

计算机辅助制造（CAM：Computer Aided Manufacturing, 简称 CAM）是利用计算机对制造过程进行设计、管理和控制。一般说来，计算机辅助制造包括工艺设计、数控编程和机器人编程等内容。

计算机辅助工程（CAE：Computer Aided Engineering）又被称作模拟仿真技术。主要是通过构造能够准确描述研究对象的某一过程或属性的数学模型；利用合适的求解方式，设置合理的边界条件和初始条件，得到研究对象的某一过程或属性的求解结果。预测可能产生的问题和发展趋势，提出科学、合理的对策、建议和解决方法^[1]。

当今世界的竞争越来越激烈，企业要赢得竞争，就要以市场为中心、以用户为中心，快速响应市场的需要，高质量高速度满足用户的要求。因此，企业如何在最短的时间以最低成本设计并制造出最优的产品，是一个企业生存的最主要目标，而 CAD/CAM/CAE 技术则为企业提供了一个可实现的平台。

1.1.2 我国三维 CAD/CAM/CAE 技术的应用状况

近几年来，我国 CAD/CAM 系统的开发和应用取得了一些成绩，国内已初步形成了二维 CAD 商品化软件市场。在一些企业特别是制造行业也引进了 CAD 系统，并取得一些效益。我国的 CAD 应用已经由试探期进入发展期，CAD 应用市场也逐步成熟，很多国内开发的具有自主知识产权的 CAD 产品以其低价格、使用习惯、技术支持强而显示出一定的市场竞争力和光明的前景，也打破了国外 CAD 系统独占国内市场的格局。

尽管我国三维 CAD 技术近年来取得很大的成绩，但还是与国外相比还是存在很大的差距。

1、我国三维 CAD 系统还不成熟，开发技术脱节

真正解决产品设计问题的是三维 CAD 系统，而目前我国自主开发的三维 CAD 系统还未真正形成商品软件。尽管国内开发的 CAD/CAM/CAE 等软件具有价格低的优势，但是功能模块和实用性相对差。主要是软件开发者大都属于计算机专业人员，缺少企业技术应

用知识，而应用 CAD/CAM/CAE 的技术人员只关心软件的功能，不具备软件开发能力。这就导致了软件功能与企业实际应用的脱节。^[3]

2、我国 CAD 软件的开发缺乏理论研究和算法的研究

CAD 技术是一项综合性的高新技术，涉及面广而复杂，技术变化快，竞争激烈。就建模技术而言会涉及很多模型建立的理论 and 算法，这些都是为解决用户需求而研究开发的，每种理论和算法用于 CAD 系统中，会产生新的 CAD 软件。如有名的 CSG、B-rep、NURBS 等等。而我国 CAD 软件开发者缺乏这方面的研究，多年来也未见过有名的理论和算法用于 CAD 中。只能引用别人的，当然也只能跟在人家的后面走。

3、信息集成技术落后

信息技术的广泛集成是以产品数据管理（PDM）和过程管理（PM）为基础，实现 CAD/CAPP/CAM 和 ERP 的有机集成，在并行工程中 PDM 也是重要的基础。而我国在这方面的研究仅仅开始，至今也没有一个在国内市场上成熟的数据库管理系统（DBMS）。因此，这类基础性软件也被国外的系统占领了市场，我们的 CAD/CAPP/CAM 集成技术又建立在国外基础系统上。

4、CAD/CAM 软件的兼容性和标准化程度低

兼容性问题是很重要的一点。一个优秀的软件，是应该具有很好的兼容性的，这样，企业将来在发展的过程中，需要购买其他方面的系统，可以顺利地进行集成，以前购买的系统也可以充分利用。这样既保护了企业用户的投资，也能够帮助企业顺利地进行信息化建设。另外，更重要的是企业不用因为使用了某一个特定的软件产品而对该软件公司产生很强的依赖性，这样的话，即使该公司倒闭了，也不会对企业造成多大的损失。

在标准化方面，我国由于技术落后，资金投入不足，对此重视不够，至今未提出一个有关 CAD 方面的标准，各个企业之间采用的标准纷繁复杂，因此造成国内 CAD 软件系统在数据交换、协同工作方面存在很多问题。

1.1.3 注塑模具 CAD/CAM/CAE 技术的发展概况及趋势

塑料注射模 CAD/CAM 是伴随着通用机械 CAD/CAM 技术发展而不断深化的。从上世纪 60 年代基于线框模型的 CAD 系统开始，到 70 年代以曲面造型为核心的 CAD/CAM 系统，80 年代实体造型技术的成功应用，90 年代基于特征的参数化实体/曲面造型技术的完善，为塑料注射模采用 CAD/CAE/CAM 技术提供了可靠的保证。目前在国内外市场已涌现出一批成功应用于塑料注射模的 CAD/CAE/CAM 系统。

现在国外一些著名的商品化三维造型软件都带有独立的注射模设计模块，如美国 PTC 公司的 Pro/E、UGS 公司的 UG-II、SDRC 公司的 I-DEAS 系统。这三个 CAD/CAM 系统目前在塑料模具工业中的应用最为广泛。此外还有美国 CV 公司的 CADDs 系统、法国 MATRA 公司的 EUCLID 系统、法国 DASSAULT 公司的 CATIA 系统、英国 DELCAM 公司的 DUCT 系统、日本造船信息系统株式会社的 Space-E 系统和日本 UNISYS 株式会社的 CADCEUS 系统等各具特色，拥有各自的用户群。

塑料注射模 CAE 技术的发展也十分迅速，从上世纪 60 年代的一维流动和冷却分析到 70 年代的二维流动和冷却分析再到 90 年代的准三维流动和冷却分析，其应用范围已扩展到保压分析、纤维分子取向和翘曲预测等领域并且成效卓着。

塑料注射成型 CAE 商品化软件中应用最广泛的当数美国 Moldflow 公司的模拟软件 MF，该软件主要包括流动模拟 (MF/FLOW)、冷却分析 (MF/COOL)、翘曲分析 (MF/WARP)、气辅分析 (MF/GAS) 和应力分析 (MF/STRESS) 等。该公司于 1998 年推出准三维的双面流软件 (Part Adviser)，2002 年推出真三维的实体流软件模块，目前该公司在世界上拥有较大的用户群。

近十余年来，我国对塑料注射成型 CAE 技术也开展了系统而深入的研究。华中科技大学、上海交通大学、郑州大学和南昌大学等都相继取得了可喜的成果。如华中科技大学模具技术国家重点实验室在最近推出的商品化塑料注射成型集成化仿真系统 HSCAE6.10，从 1989 年推出的 HSCAE1.0 版到如今的 6.10 版，经历了从二维分析到三维分析，从实用化到商品化，从局部试点到大面积推广应用的进程，已成为塑料制品设计、模具结构优化和工程师培训的有力工具，HSCAE 仿真系统目前已在国内 80 多家工厂和学校推广应用。

在信息社会和经济全球化不断发展的进程中，模具行业发展趋势主要是模具产品向着更大型、更精密、更复杂及更经济快速方面发展，技术含量不断提高，模具生产向着信息化、数字化、无图化、精细化、自动化方面发展；模具企业向着技术集成化、设备精良化、产品品牌化、管理信息化、经营国际化方向发展。

模具技术的发展趋势主要是：①CAD、CAM、CAE 的广泛应用及其软件的不不断先进和 CAD / CAM / CAE 技术的进一步集成化、一体化、智能化；②PDM(产品数据管理)、CAPP(计算机辅助工艺设计管理)、KBE(基于知识工程)、ERP(企业资源管理)、MIS(模具制造管理信息系统)及 Internet 平台等信息网络技术的不断发展和应用；③高速、高精加工技

术的发展与应用；④超精加工、复合加工、先进表面加工和处理技术的发展与应用；⑤快速成型与快速制模(RP / RT)技术的发展与应用；⑥热流道技术、精密测量及高速扫描技术、逆向工程及并行工程的发展与应用；⑦ 模具标准化及模具标准件的发展及进一步推广应用；⑧优质模具材料的研制及正确选用；⑨模具自动加工系统的研制与应用；⑩虚拟技术和纳米技术等逐步应用^[4]。

1.2 研究内容

本课题将对榨汁机的外形设计、建模方法、装配组合及其主要塑件的成型方法、模具结构进行理论和实验研究。

1.3 研究的目的与意义

当今家电产品的设计趋势正朝着个性化方向发展，时尚、外形美观的产品在市场上更具竞争优势。随着家电产品研发周期的缩短，对产品造型、结构设计和模具设计提出了越来越高的要求。每间公司都拥有产品制造技术，可是如何能快速生产新产品与公司成败密切相关，所以产品开发过程的自动化是现在的主流，也是未来的发展方向。

在制造行业中，模具工业已成为国民经济中的重要基础工业之一，我国塑料模具目前的设计、分析与制造主要依赖设计人员的经验和工艺人员的技巧，设计合理与否、制品有无缺陷只有通过试模才知道，使得模具的制造周期长、成本高。而采用计算机辅助设计、分析与制造(CAD / CAE / CAM)一体化技术，可以极大的提高塑料模具的设计制造水平及制品质量。 本课题在介绍国内外注塑模具工业的现状、发展趋势和注塑模 CAD / CAE / CAM 一体化优势的基础上，利用 Pro / Engineer 软件、Moldflow 软件分别作为开发和分析平台，以一款新颖的榨汁机为例，对其主要塑件进行设计、分析、制造(CAD / CAE / CAM)一体化的实践操作研究。使计算机技术和制造技术相互结合和渗透，实现模具工业的信息现代化。

2 榨汁机的造型及结构设计

2.1 榨汁机设计概念

随着人们生活水平的提高，小巧、精致、功能实用的小型家电产品受到大众人群的推崇。榨汁机也经历了大型到小型的过渡，追随潮流的人们需要绿色、健康、便携型的产品，榨汁机不仅要满足使用要求，而且也希望成为家具装饰的一道风景。

本课题设计的榨汁机在建模上运用了主流软件 Pro/Engineer 的强大曲面功能，使产品更具有流线感，整体形状小巧简洁，在主色彩上采用了象牙白与透明绿，充分体现了时尚与健康的完美结合。

2.2 榨汁机的设计方法

在榨汁机的造型设计中，使用了当前工业设计中应用最为广泛的 Top-Down(自上至下)的设计方法

2.2.1 Top-Down 设计方法和传统设计方法的比较

在 Top-Down 设计中，设计信息由上至下传递，如图 2.1 所示。

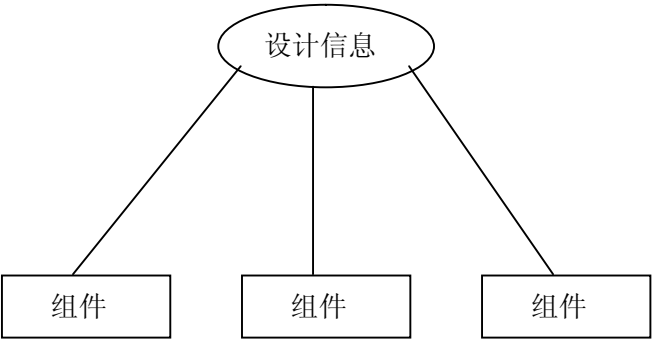


图 2.1 Top-Down 设计传递

在传统的装配设计方法中，工程师只是设计个别组件，跟装配没有关系。然后用手工方式调节各个组件的装配使之满足设计要求，如图 2.1 所示。

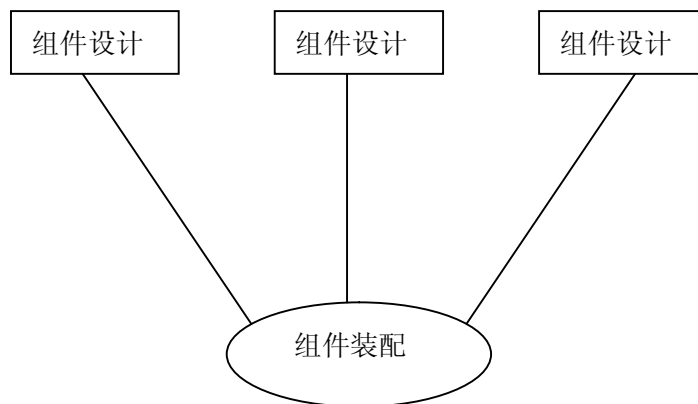


图 2.1 传统设计传递

2.2.2 传统设计方法的缺点

设计者在模型装配图中放置组件之后，组合这些组件形成装配图来开发更高一级的装配件。建立装配件后，有时会出现模型与设计标准不符的现象。例如，两个模型之间的重要的连杆连接不当的情况。如果出现问题，设计者要手动调整各个模型使之满足要求。装配件越多，这种连接不当的问题也越多。因此，发现并解决这些问题要花费很多时间。

2.2.3 Top-Down 设计方法的优点

Top-Down 设计方法有很多优点。使用此种方法可以管理大型装配件，可以进行复杂的设计，因此可以更灵活地设计装配件。

Top-Down 设计方法可用于表达装配组件间的归属性。因为实际的装配件设计中存在多种归属性和相互作用，所以最好在设计模型时表现出这些特性。属于归属性的例子，如某一零件的孔位置放置位置和响应的另一零件的孔的放置位置。在这种情况下，只要移动一个零件孔的放置位置，使其相应的另一个零件中孔的放置位置也自动随着移动。

Top-Down 设计中通过构成装配件的构造可以共用各种装配件之间的信息，且在一个模式中改变的数据在其他关联的装配件及组件中也可以使用。另外，在初期设计阶段，把复杂的装配件的设计分成多个工作步骤，使之容易分配到各组合成员中^[5]。

2.3 榨汁机主要零件的外观设计

1、榨汁机杯身



图 2.2 杯身造型图(1)



图 2.3 杯身造型图(2)

2、杯盖

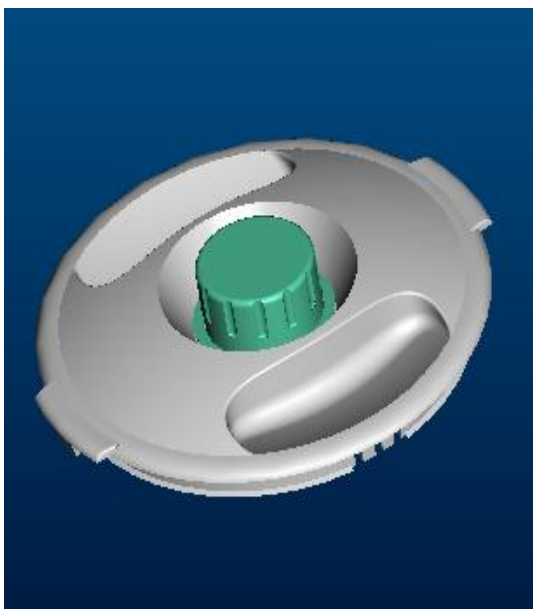


图 2.4 杯盖造型图(1)

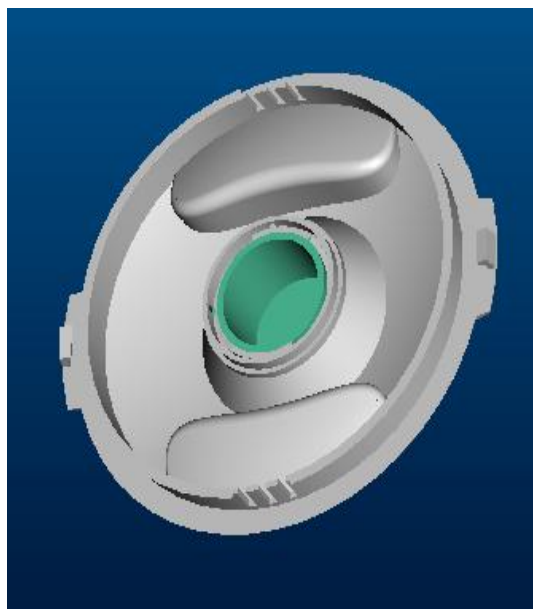


图 2.5 杯盖造型图(2)

3、面板

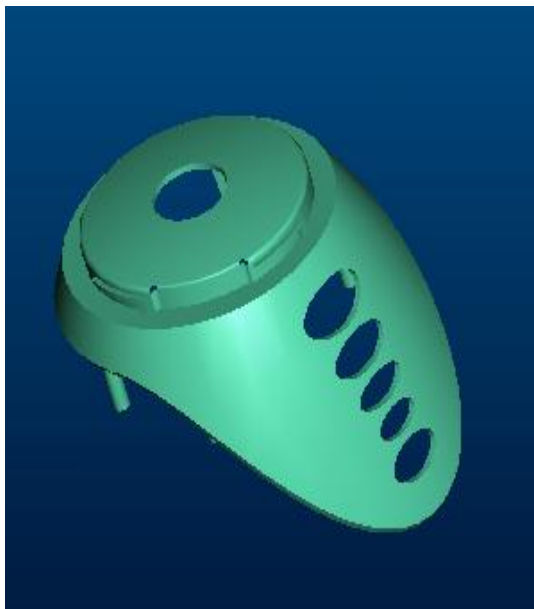


图 2.6 面板造型图(1)



图 2.7 面板造型图(2)

4、底座

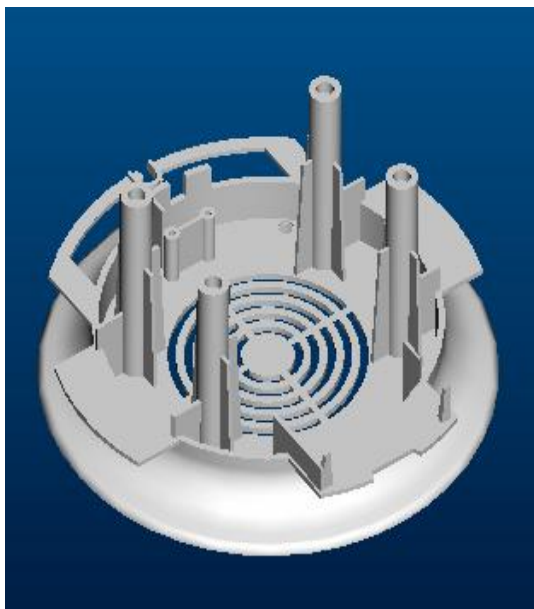


图 2.8 底座造型图(1)



图 2.9 底座造型图(2)

5、底座壳体



图 2.10 壳体造型图(1)



图 2.11 壳体造型图(2)

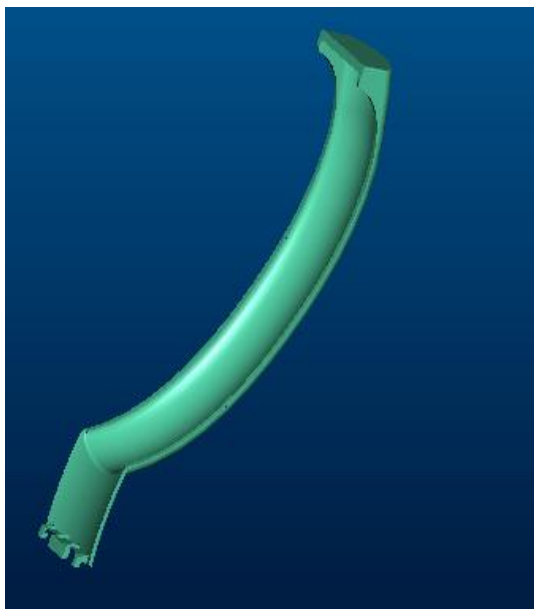


图 2.12 手柄造型图(1)

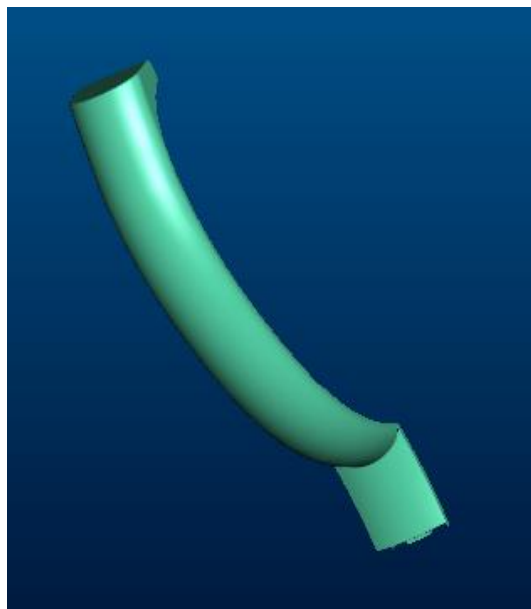


图 2.13 手柄造型图(2)

2.4 榨汁机装配图



图 2.14 主视图

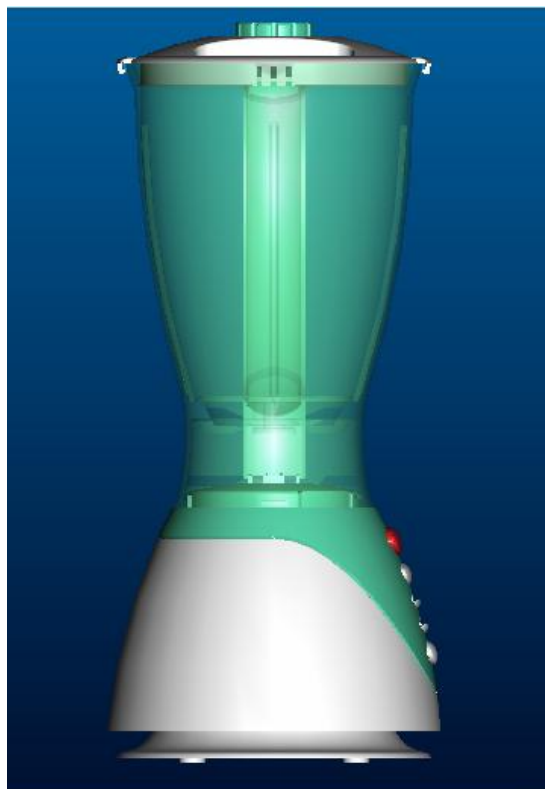


图 2.15 左视图



图 2.16 俯视图

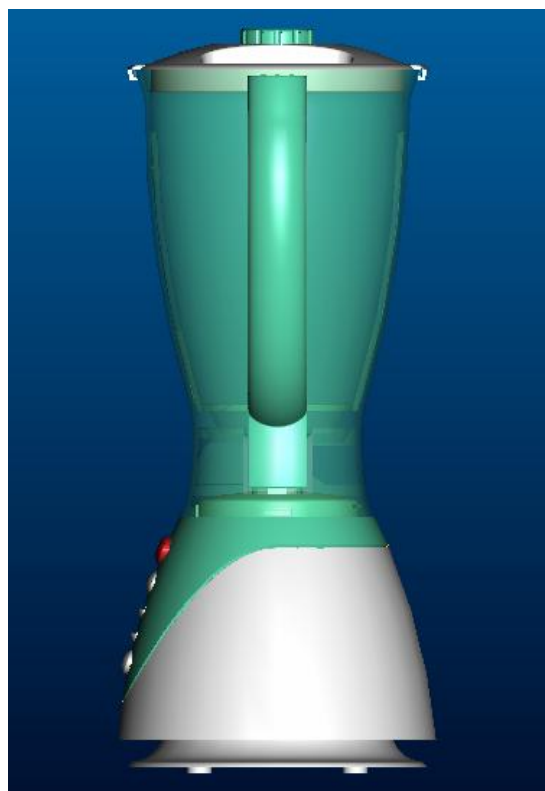


图 2.17 右视图



图 2.18 自由角度(1)



图 2.19 自由角度(2)

2.5 榨汁机爆炸图



图 2.20 榨汁机分解图

2.6 榨汁机结构设计

产品不单在外观上要引人入胜，在结构、功能方面也要有独到之处。因此在设计过程中要不断优化改进产品，改善产品结构，在保证产品质量的前提下尽可能降低产品的成本，为公司创造最大的利润。

结构设计是影响制造成本与使用功能的最主要因素，只有塑件结构设计满足成型要求，才能设计出合理低成本的模具，同时也只有结构准确合理，才能满足产品的装配要求，组装成一合格的产品，发挥其功能作用。

2.6.1 为满足装配要求的结构设计

1、卡扣设计 主要是指上壳与下壳的扣位配合。在考虑扣位数量位置时，应从产品的总体外形尺寸考虑，要求数量平均，位置均衡，设在转角处的扣位应尽量靠近转角，确保转角处能更好的嵌合，从设计上预防转角处容易出现的离缝问题。

扣位设计应考虑预留间隙，如图 2.21

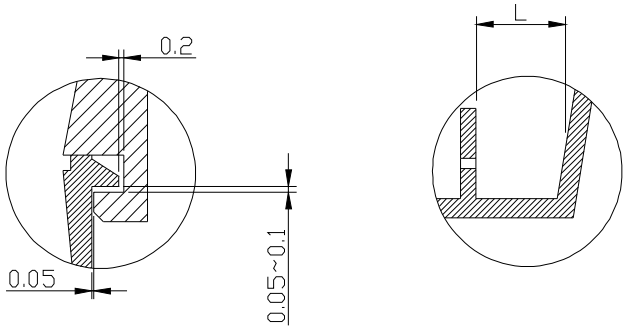


图 2.21 扣位配合间隙

榨汁机在结构设计中多处运用卡扣的设计，如杯身与杯盖的连接、杯身与榨汁机座的连接、杯身与手柄的连接等，使用卡扣连接，减少了螺钉的使用，避免了螺纹成型，也不至于影响整个产品的外观，各个组件成型后直接就可以装配组合，无需后续加工。

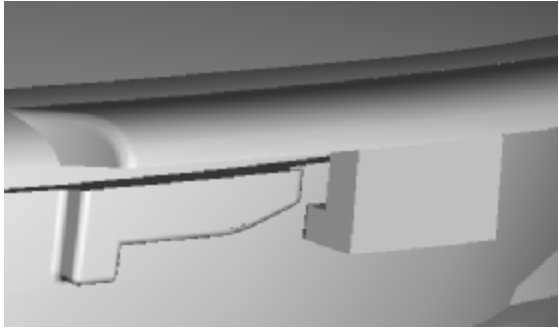


图 2.22 杯盖与杯身扣紧前

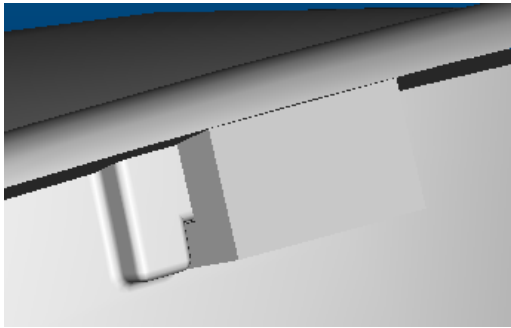


图 2.23 杯盖与杯身扣紧后

2、螺钉柱设计

采用自攻螺丝，直径为 2~3mm。

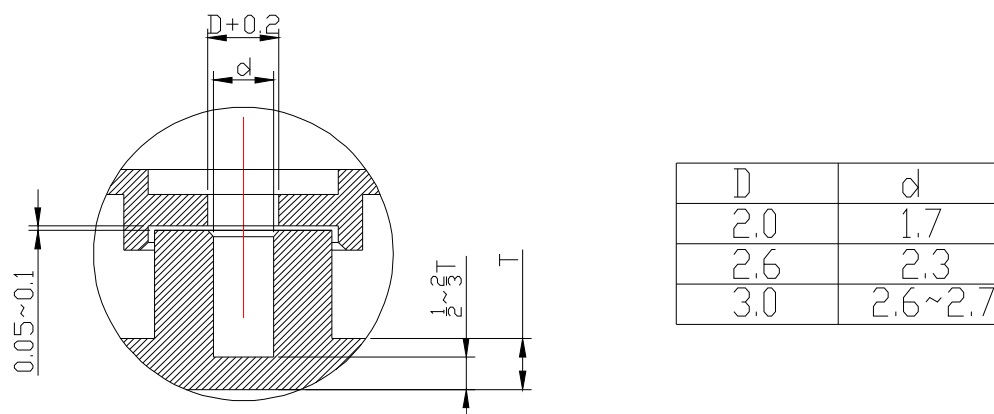


图 2.24 螺丝孔尺寸

上图中所提供的是 PP 塑料料常用螺丝孔尺寸,对于不同的材料,螺丝孔尺寸有所不同,一般来说,比较软、韧性较好的材料 d 值小,较脆的材料所选 d 值要大一点。

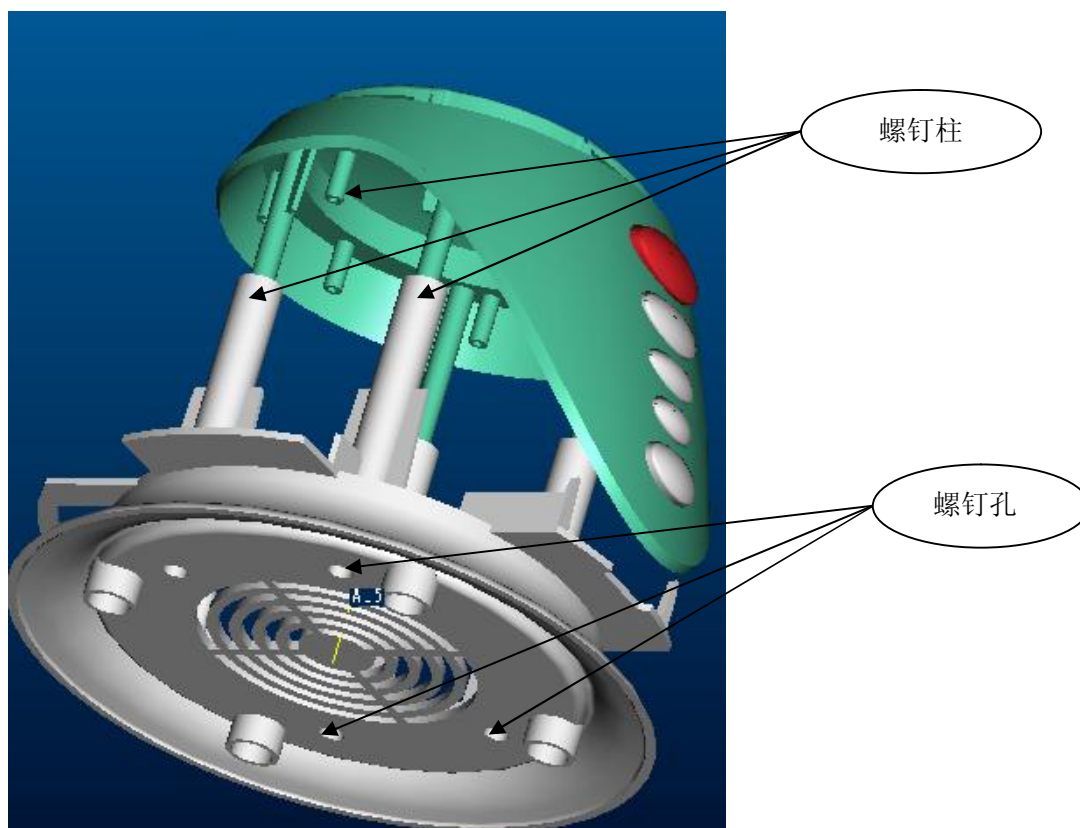


图 2.25 榨汁机螺丝孔设计

2.6.2 为满足功能要求的结构设计

每个产品的功能要求都不同，要根据产品的实际情况而定，本课题的榨汁机中，最基本的功能是利用马达的动力带动螺旋刀具的高速旋转实现对蔬果类的榨汁。

1、杯身弧嘴的设计

为了实现榨汁后，果汁能顺利从弧嘴倒出，要求既要美观大方，又要曲线流畅，成型模具不用设置抽芯机构。

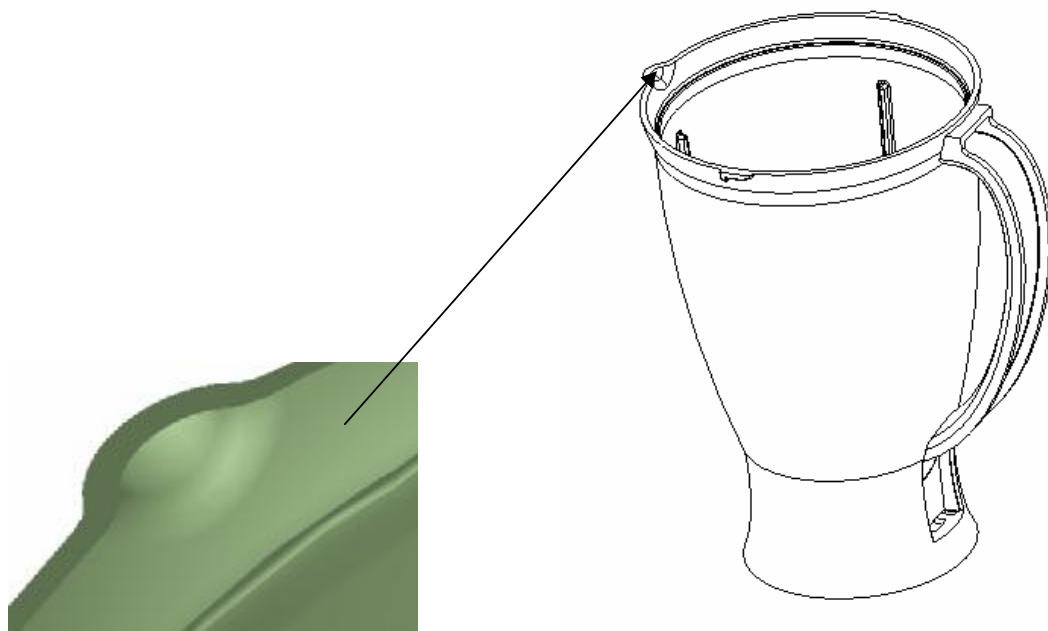


图 2.26 扣位配合间隙

2、底座散热孔的设计

为使马达工作时散发的热量能及时排走，增加产品的寿命，在榨汁机底座设置了圆形阵列的散热孔。

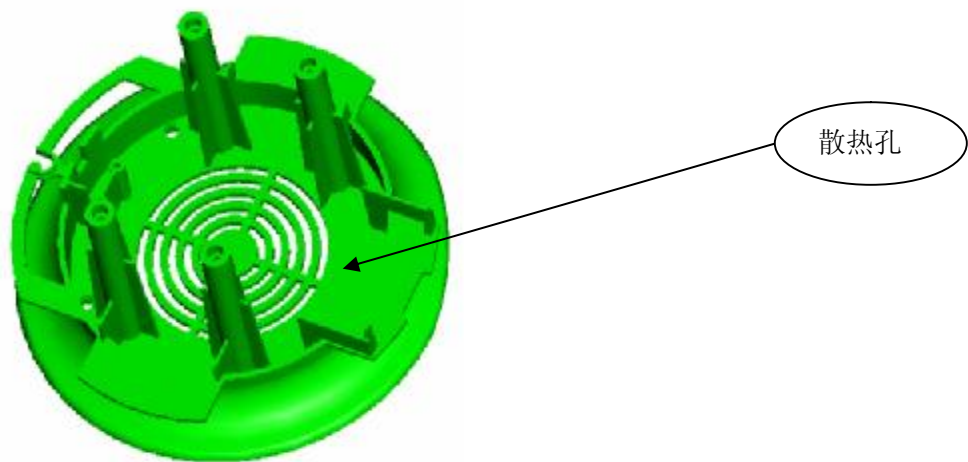


图 2.27 底座散热孔设计

2.6.3 为满足成型要求的结构设计

塑料制件成型工艺性对结构的要求主要包括：形状、壁厚、斜度、加强筋、圆角等^[6]。

1、塑料制品的内外形状

塑料制品的内外表面形状应尽可能保证有利于成型，如图 2.28 卡勾的设计，优化前卡勾形成倒扣，需要侧向抽芯，改善后如图 2.29，在倒扣位置上开设工艺孔，无需抽芯。降低了模具设计的成本。

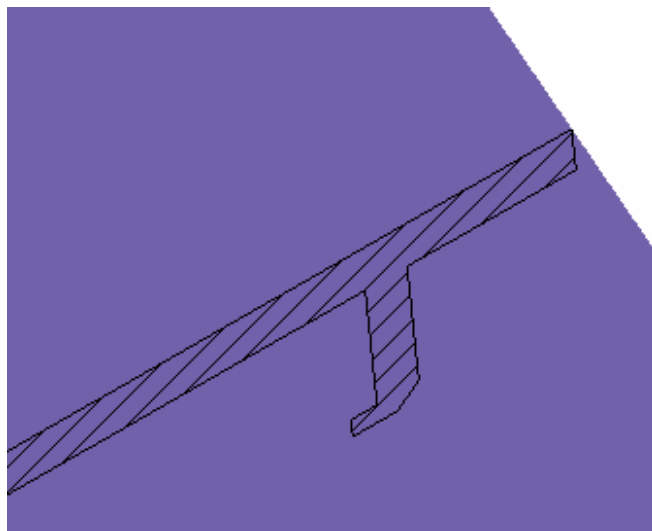


图 2.28 卡勾原结构设计

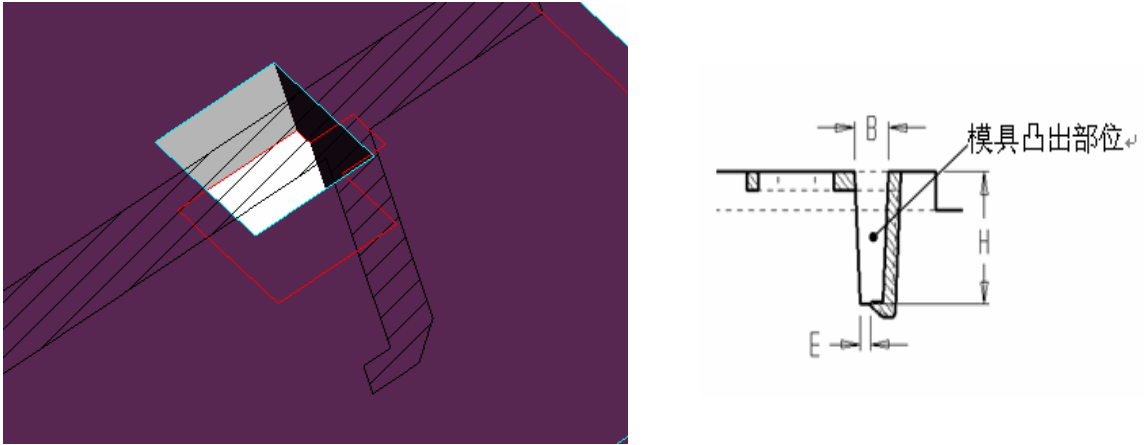


图 2.29 卡勾改善后结构设计

2、塑件壁厚应均匀一致，避免突变和截面厚薄悬殊的设计，否则会引起收缩不均，使塑件表面产生缺陷。

胶件壁厚一般在 1~6mm 范围内，最常用壁厚值为 1.8~3mm，根据榨汁机各零件的功能要求，分别采用了不同的壁厚。

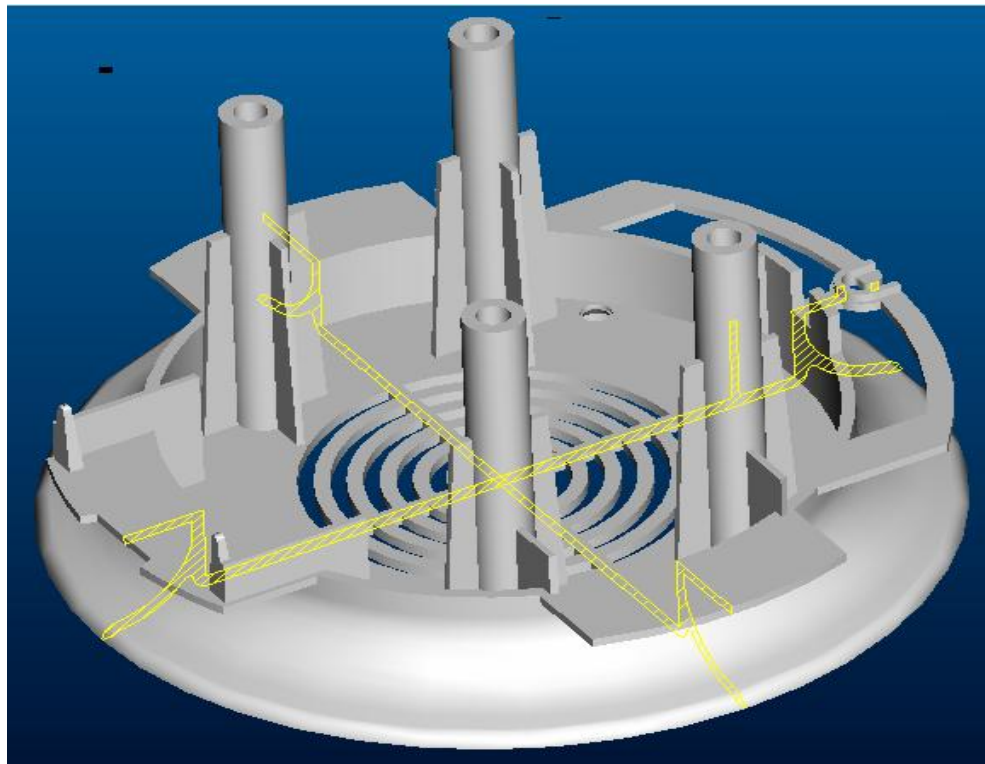


图 2.30 底座平均壁厚 2.5

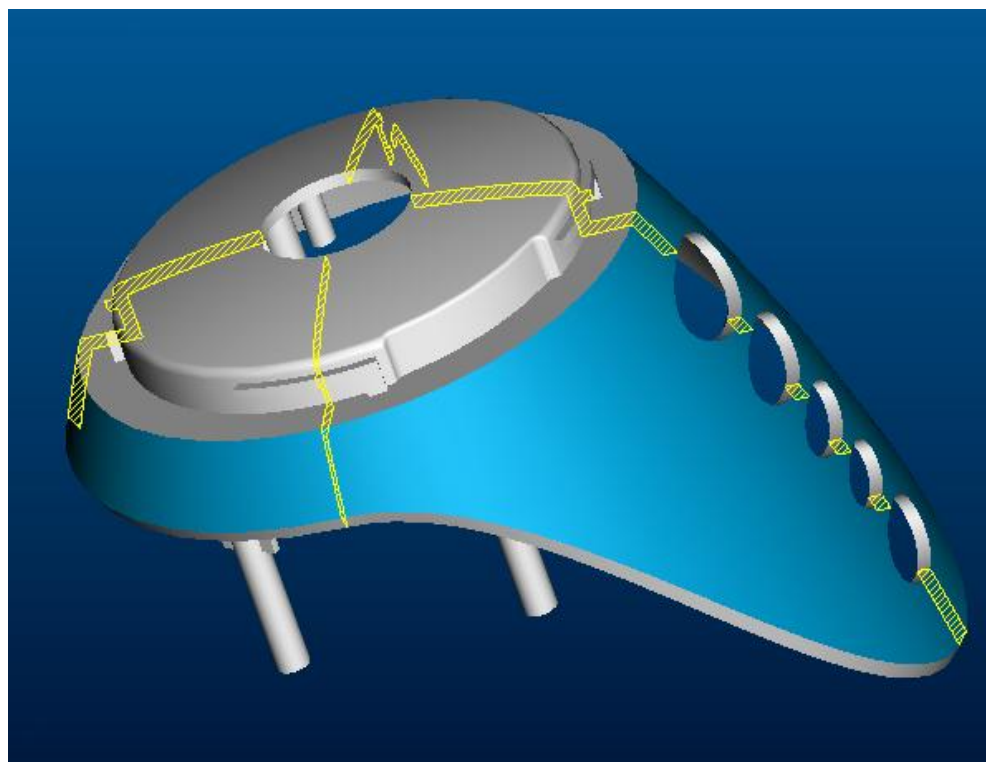


图 2.31 面板平均壁厚 2.5

3、塑件加强筋其作用有增加强度、固定底面壳、支撑架、按键导向等。由于加强筋与胶件壳体连接处易产生外观收缩凹陷；所以，要求加强筋厚度应小于等于 $0.5t$ (t 为塑件壁厚)，一般加强筋厚度在 $0.8\sim 1.2\text{mm}$ 范围。

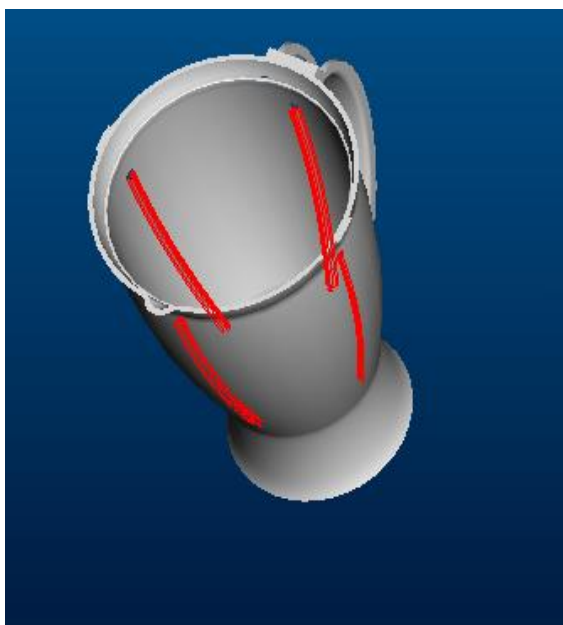


图 2.32 杯身内部加强筋设计

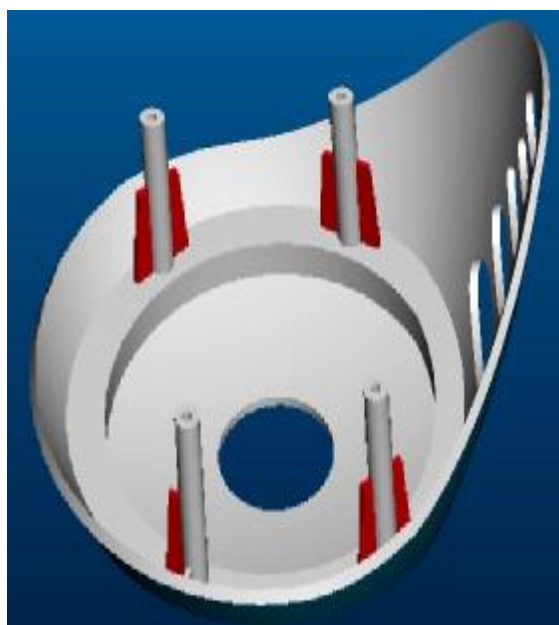


图 2.33 面板螺丝柱加强筋设计

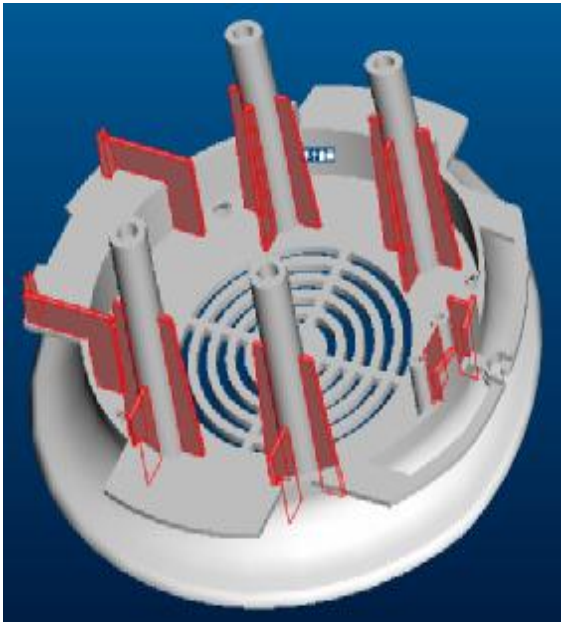


图 2.34 底座加强筋设计



图 2.35 壳体加强筋设计

4、为了便于塑件脱模，防止脱模时擦伤塑件，建立模型时必须在塑件内外表面脱模方向上留有足够的斜度 α ，在模具上称为脱模斜度。根据榨汁机塑件的形状、壁厚及 PP 的收缩率，取塑件产品的拔模斜度为 $30' \sim 1^\circ 30'$ 。建立模型后，可以利用 3D 软件对塑件进行拔模分析，检查拔模斜度是否满足成型的需要。

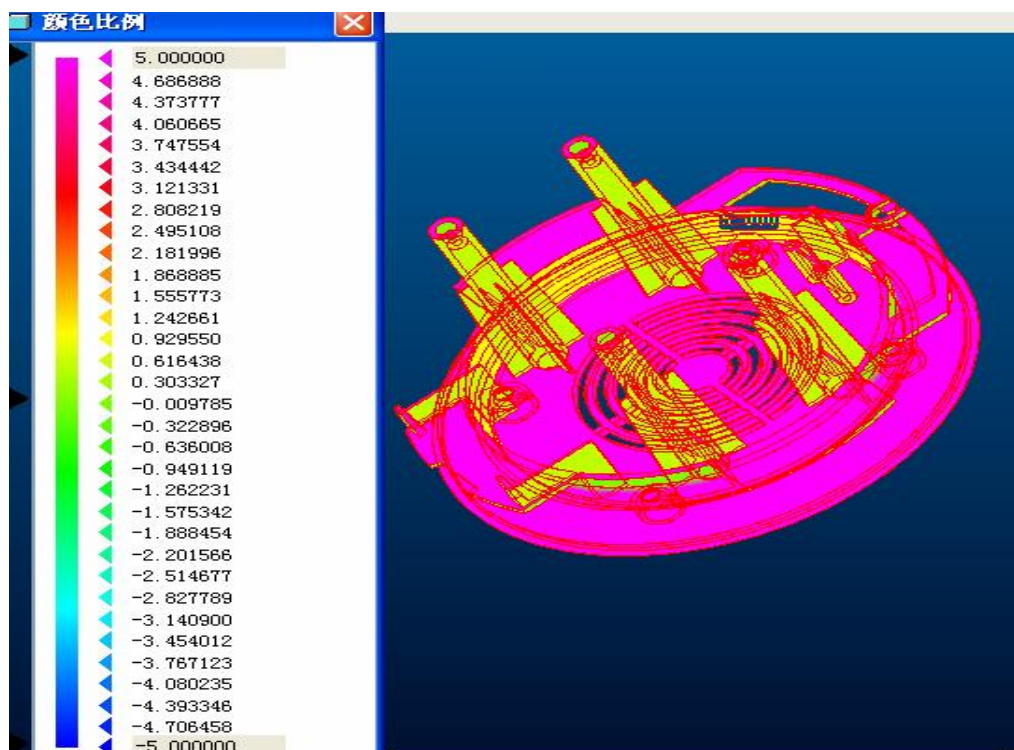


图 2.36 底座拔模检测

3 榨汁机底座注塑模具设计

3.1 塑件材料的选择及其结构分析

3.1.1 塑件（底座）模型图：

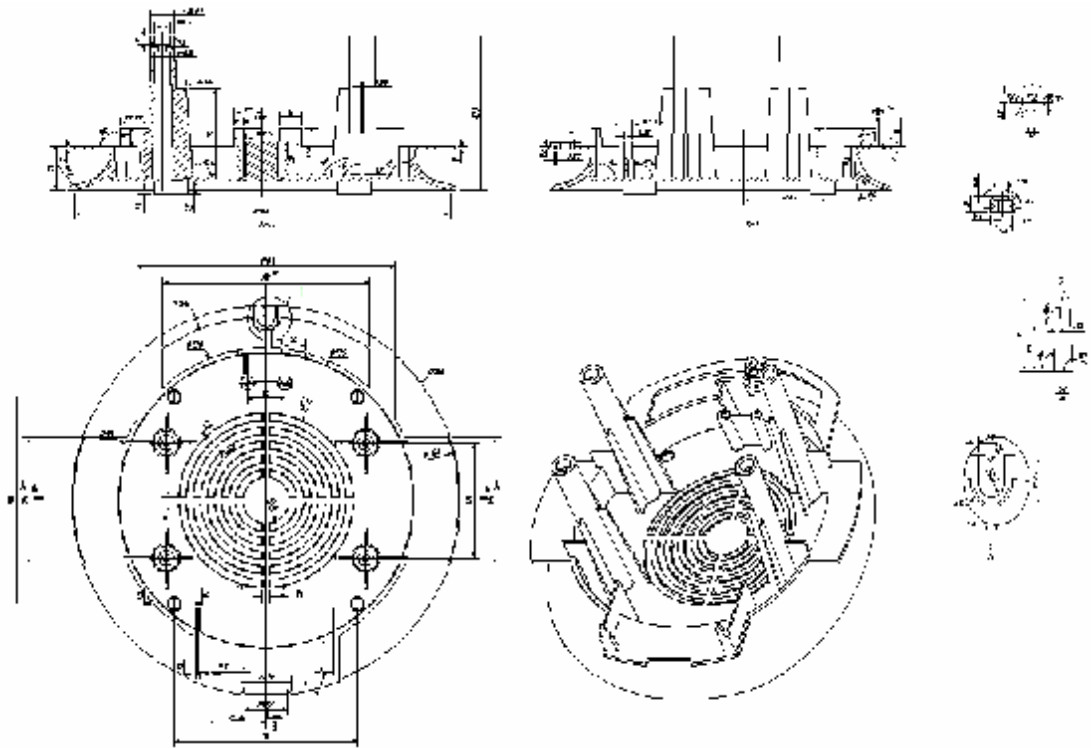


图 3.1 底座塑件图

3.1.2 塑件材料的选择

该榨汁机为中小批量，面向普通家庭，要求造价成本低，实用程度高。而榨汁机底座位于用于固定榨汁机的安放，同时承放主要的电动零件，要求有一定的耐热性，选用热塑性材料 PP（即聚丙烯）。

3.1.3 塑件的结构与工艺性分析

1、结构分析

塑件为榨汁机的底座部分，应有一定的结构强度，由于该塑件为榨汁机底部，不是主要外观面，因此对表面粗糙度要求不高。该塑件壁厚均大于塑件的最小壁厚 0.45mm，注射成型时不会发生填充不足的现象。同时该塑件中间成内凹圆形，需要采用侧向抽芯机构，为简化模具，降低成本，我们采用斜导柱侧向抽芯。

2、工艺性分析

精度等级：采用 6 级低精度

脱模斜度：塑件外表面 $40' \sim 1^{\circ} 20'$ 塑件内表面 $30' \sim 1^{\circ}$ （脱模斜度不包括在塑件的公差范围内，塑件外形以型腔大端为准，塑件内形以型芯小端为准）^[6]。

3.1.4 材料成型特性及加工条件

PP 为结晶型高聚物，密度仅为 0.91g/cm^3 （比水小），常用塑料中 PP 最轻。通用塑料中，PP 的耐热性最好，其变形温度为 $80 \sim 100^{\circ}\text{C}$ ，能在沸水中煮。PP 具有良好的耐应力开裂性能，有很高的弯曲疲劳寿命，俗称“百折胶”。

PP 的综合性能优于 PE 料，PP 产品质轻，韧性好、耐化学性好，PP 的缺点：尺寸精度低、刚性不足、耐候性差，易产生“铜害”，它具有后收缩现象，制品易老化，变脆和变形。

PP 在熔融温度下有较好的流动性，成型性能好，PP 在加工上有两个特点：

其一：PP 熔体的粘度随剪切速率的提高而明显的下降（受温度影响较小）；

其二：分子取向程度高而呈现较大的收缩率。

PP 的加工温度在 $200 \sim 250^{\circ}\text{C}$ 左右较好，它有良好的热稳定性（分解温度为 310°C ）但高温下（ $280 \sim 300^{\circ}\text{C}$ ）长时间停留在炮筒中会有分解的可能，因为 PP 的粘度随着剪切速率的提高有明显的降低，所以提高注射压力和注射速度会提高其流动性；若要改善收缩变形和凹陷，模温宜控制在 $35 \sim 65^{\circ}\text{C}$ 范围内，PP 的结晶温度为 $120 \sim 125^{\circ}\text{C}$ 。PP 熔体能穿越很窄的模具缝隙而出现披锋。PP 在熔体过程中，要吸收大量的溶解热（比热较大），产品出模后比较烫。PP 料加工时不需干燥。

表 3.1 PP 的加工条件

干燥温度($^{\circ}\text{C}$)	65~75	干燥时间约(hr)	0.5~1
模具温度($^{\circ}\text{C}$)	35~65	残料量(mm)	3~10
熔胶温度($^{\circ}\text{C}$)	200~250	背压(Mpa)	9~17
注射压力(Mpa)	80~130	锁模力约(ton/in^2)	2
注塑速度	中等	回料转速(rpm)	70~100
螺杆类别	标准螺杆(直通式喷嘴)		
停机处理	关料闸啤清即可	碎料翻用(%)	15~30

3.2 注射机选型

在成型设备的选择上，充分考虑了塑件的成型性能和工艺性，运用主流 CAE 软件 MOLDFLOW 对注射成型的过程进行模拟和分析，同时使用 CAE 软件可以很方便的获得注射成型时的最佳参数，直接方便地指导了我们的各项工作。

3.2.1 注射量计算

通过 Moldflow 进行模拟分析，我们可以得出在 PP 塑料填满塑件后，塑件和浇注系统凝料的体积如图：

Total volume	=	107.4700 cm ³
Volume filled initially	=	0.0000 cm ³
Volume to be filled	=	107.4700 cm ³
Part volume to be filled	=	105.8810 cm ³
Sprue/runner/gate volume to be filled	=	1.5884 cm ³
Total projected area	=	233.2520 cm ²

图 3.2 塑件体积分析结果

V_z —单个塑件容量 cm^3

V_j —浇注系统.凝料和飞边所需的塑料的容积 cm^3

V_g —注射机的额定注射量

根据模拟结果图示： $V_z=105.88\text{cm}^3$ ，预计浇注系统和飞边体积约为 1.59cm^3

$$V=105.88+1.59=107.47\text{cm}^3$$

$$0.8V_g \leq n \times V_z + V_j$$

$$V_g \geq 134.35 \text{ cm}^3$$

3.2.2 注射力校核

PP 塑料的推荐注射压力为 80~130，考虑到塑件的结构较为复杂，深孔，长笔直壁比较多，充模阻力较大取注射压力为 $100 \text{ MPa}^{[7]}$ 。

3.2.3 锁模力校核

注射成型时的塑料会产生模板间的涨模力，此涨模力等于塑件和浇注系统在分形面上的投影面积与型腔压力之积^[12]。为防止模具分型面被涨模力顶开，必须对模具施加足够的锁模力，否则在分型面处会产生溢料现象，因此模具设计时应使注射机的额定锁模力大于涨模力。

1、塑件和浇注系统的投影面积计算，通过 Moldflow 软件可以得出塑件及浇注系统面积如图 3.3。

Total projected area	=	233.2520 cm ²
----------------------	---	--------------------------

图 3.3 塑件面积分析结果

取 $S=233.25\text{cm}^2$

2、因为塑件属于中小型塑件，取型腔的平均压力 $P_m=20\text{Mpa}$

3、模具分型面涨开立计算：

$$F_z=P_m \times S=20 \times 10^6 \times 233.25 \times 10^{-4}\text{N}=466.5\text{KN}$$

3.2.4 开模行程和模板安装尺寸校核

模具开模取出制品所需的开模距离必须小于注射机的开模行程。注射机最大的开模行程的大小直接影响模具所形成的塑件高度，太小时塑件无法从动定模之间取出。

$$S_{\max} \geq S=H_1+H_2+(5\sim 10)$$

S_{\max} ——注射机的最大开模行程（mm）

S ——模具所需开模距离（mm）

H_1 ——塑件脱模距离（mm）

H_2 ——包括浇注流道凝料在内的塑件高度（mm）

$$S=62+65+5=132\text{mm}$$

3.2.5 注射机型号的确定

从实际注射量应在额定注射量的 20% ~80%之间考虑，初选额定注射量在 140cm^3 以上的注射成型机：震德有限公司的 CJ160M5（卧式）型注塑机，其主要技术规格如下表：

表 3-2 注塑机的主要参数

理论注射容积(cm^3)	290	螺杆直径(mm)	46
注射压力(MPa)	212	注射速率(g/s)	110
塑化能力(g/s)	18.9	螺杆转速(r/min)	10~220
锁模力(kN)	1600	拉杆有较距离(mm)	460×460
移模行程(mm)	420	模具最大厚度(mm)	500
模具最小厚度(mm)	160	锁模形式	双曲肘
模具定位孔直径(mm)	Φ100	喷嘴球半径(mm)	SR10
喷嘴口径(mm)	Φ3	模板尺寸(mm)	670×670

3.3 模具浇注系统设计

3.3.1 浇注系统的作用

浇注系统是指由注射机喷嘴中喷出的塑料进入型腔的流动通道，能使塑料熔体平稳有序地填充型腔，并在填充和凝固过程中把注射压力充分传递到各个部分，以获得组织紧密的塑件。

3.3.2 浇注系统的设计原则

- 1、要能保证塑件的质量(避免常见的充填问题)；
- 2、尽量减小及缩短浇注系统的断面及长度；
- 3、尽可能做到同步填充。

3.3.3 浇口的设计

PP 塑料熔融温度下有良好的流动性，成型性能好，适合的浇口类型比较多，包括扁侧入水，直接入水，扇形入水、潜水、细水口等，亦可以用热流道。

综合分析和考虑到制品和实际模具形状，浇口采用直接浇口，位置在散热孔中心处，装配后不作为外观面，不影响产品的外观，同时有利于模具的摆放也使填充时间平衡。选在直接浇口虽然要用到人工去除浇口，不利用产品的自动化生产，但产品的生产批量不大，直接浇口不但模具简单，也便于模具的机械加工，能降低制造成本。

通过导入数据到 Moldflow 进行最佳浇口分析，初步判断的浇口位置与结果相吻合。

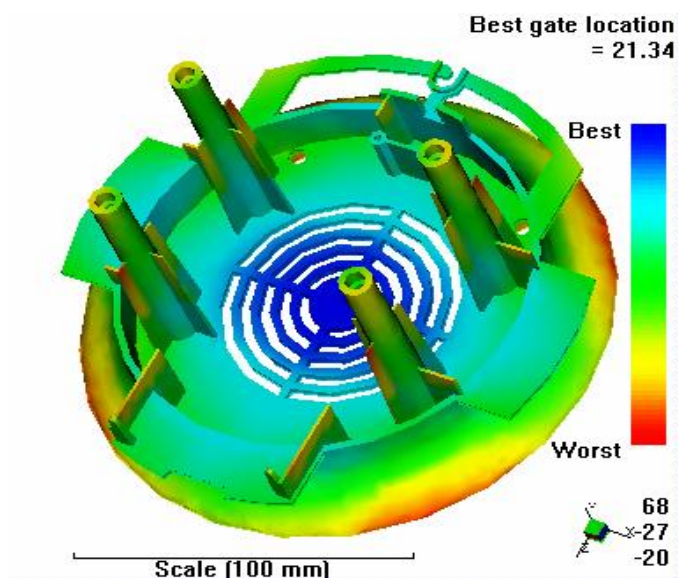


图 3.4 塑件最佳浇口分析

浇口尺寸计算：

根据模具结构，定模座板面板到塑件的高度较大，为减少直接浇口的长度，节省熔料，采用延伸型浇口套。

浇口深度（根据模具结构） $h=62\text{mm}$

浇口小端直径 $\Phi=4\text{mm}$

浇口大端直径 $\Phi=8\text{mm}$

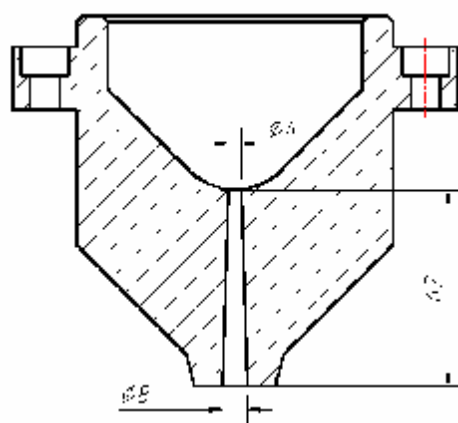


图 3.5 塑件最佳浇口分析

3.4 注塑模成型零部件结构设计

模具中决定塑件几何形状和尺寸的零件称为成型零件，包括型腔、型芯、镶块、成型杆等。成型零件工作时，直接与塑料接触，塑料熔体的高压料流的冲刷，脱模时与塑件间还发生摩擦。因此，成型零件要求有正确的几何形状，较高的尺寸精度和较低的表面粗糙度，此外，成型零件还要求结构合理，有较高的强度、刚度及较好的耐磨性能。设计成型零件时，根据塑料的特性和塑件的结构及使用要求，确定型腔的总体结构，然后根据成型零件的加工、热处理、装配等要求进行成型零件结构设计，计算成型零件的工作尺寸，对关键的成型零件进行强度和刚度校核^[8]。

3.4.1 分型面的选择原则

模具上用以取出塑件和浇注系统凝料的可分离的接触表面称为分型面，也叫合模面。

- 1、有利于脱模；
- 2、有利于保证塑件质量；
- 3、有利于简化模具结构；
- 4、有利于模具成型零件的加工。

3.4.2 确定模具基本结构及分型面的选择

经分析，该零件成型时必须采用侧向抽芯机构，可能适合的模具结构有两种，即单分型面注射模和双分型面注射模具。

鉴于前面已经分析了该模具采用直接浇口的浇注系统，所以采用方案一 单分型面

注射模，型腔在定模上；开模后塑件连同流道内的凝料一起留在动模一侧；动模设有顶出机构，用以顶出塑件和流道内的凝料。

3.4.3 分模过程图

1、合模状态

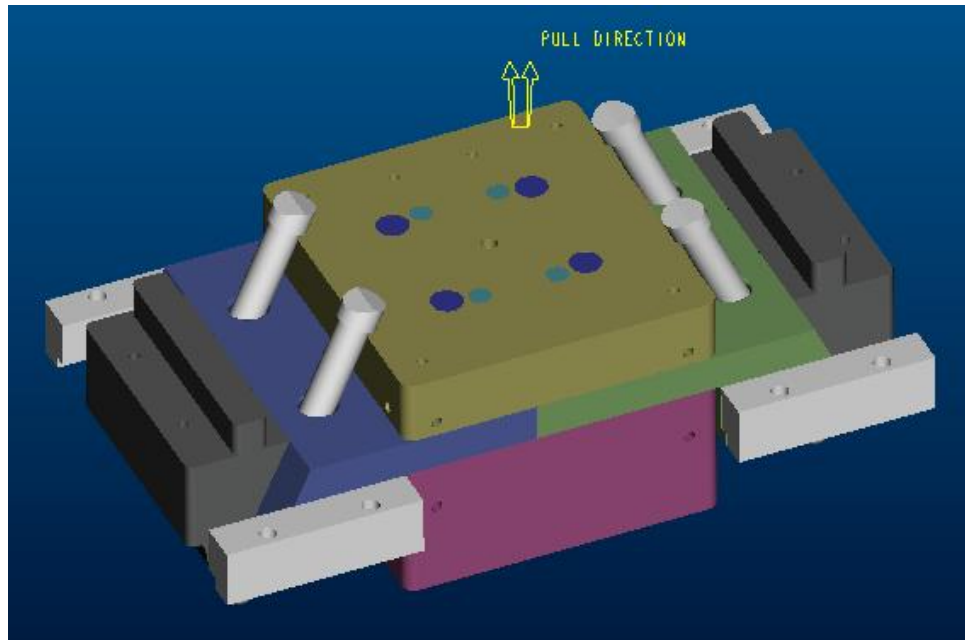


图 3.6 合模状态

2、开模状态

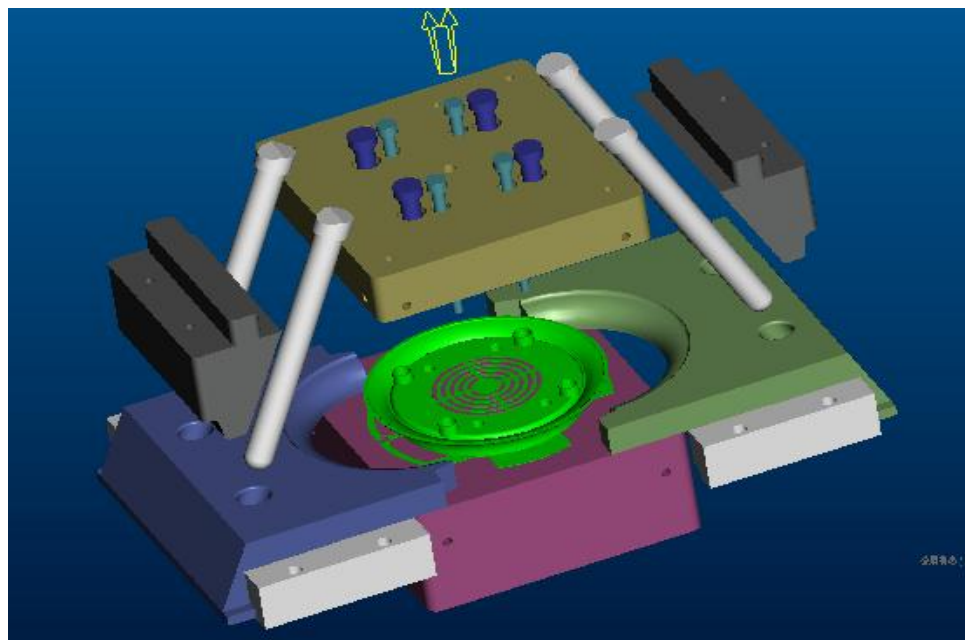


图 3.7 开模状态

3.4.4 成型零件的设计

常用型腔成型尺寸的计算方法主要有两种：平均收缩率法和公差带法，两种计算方法的区别在于平均收缩率法计算公式是建立在塑件的成型收缩率和成型零件工作尺寸的制造偏差及其磨损量分别等于它们各自平均值基础上，当塑件的尺寸精度要求较高或塑件尺寸比较大时，这种误差有可能会显著增加，这时一些模具设计单位就采用公差带法来进行尺寸计算，平均收缩率法计算简单无需验算而公差带法计算复杂需要经过多次初算验算，且考虑因素较多^[9]。考虑到榨汁机模具较简单制造成本低，设计时间短故按平均收缩率法计算成型尺寸比较简单易行^[9]。

采用 δ_z , δ_c 取固定值的平均收缩率法：

L_m -----型腔的径向工作尺寸 $L_m = [L_s + L_s \times S_{cp} - (3/4) \Delta]$

L_s -----塑件的径向图样尺寸

S_{cp} -----收缩率的平均值，查表得 PP 收缩率范围是 1.2%~2.5%

Δ -----塑件尺寸公差

δ_z -----型腔制造公差

δ_c -----型腔最大许用磨损量， δ_c 取为塑件尺寸公差 Δ 的三分之一

表 3.4： 公式表

	δ_z, δ_c 取固定值的平均收缩率法
型腔内径尺寸	$L_m = [L_s + L_s \times S_{cp} - (3/4) \Delta]_0^{+\delta_z}$
型芯外径尺寸	$l_m = [l_s + l_s \times S_{cp} + (3/4) \Delta]_{-\delta_z}^0$
型腔深度尺寸	$H_m = [H_s + H_s \times S_{cp} - (2/3) \Delta]_0^{+\delta_z}$
型芯高度尺寸	$h_m = [h_s + h_s \times S_{cp} + (2/3) \Delta]_{-\delta_z}^0$
中心距尺寸	$C_m = [C_s + C_s \times S_{cp}] \pm (\delta_z / 2)$

3.4.4.1 型腔径向尺寸计算

以最大径向尺寸计算，测量得 L_s 为 $\Phi 165 \text{ mm}$ ，塑件精度选为 MT6 对应的型腔加工精度为 IT8，以该精度查型腔的尺寸公差表，按照 A 类受模具活动部分影响的尺寸公差查表得 $\Delta = 1.4 \text{ mm}$ ， $\delta_c = \Delta / 3 = 0.47 \text{ mm}$ 。

$$L_m = [L_s + L_s \times S_{cp} - (3/4) \Delta]_0^{+\delta_z}$$

$$L_m = [165 + 165 \times (0.012 + 0.025) / 2 - (3/4) \times 1.4] = 167_0^{+0.47}$$

3.4.4.2 型芯外径尺寸

以型芯最大径向尺寸计算，测量得 L_s 为 $\Phi 160\text{mm}$ ，塑件精度选为 MT6 对应的型腔加工精度为 IT8，以该精度查型腔的尺寸公差表，按照 A 类受模具活动部分影响的尺寸公差查表得 $\Delta=1.1\text{mm}$ ， $\delta C=\Delta/3=0.37\text{mm}$

$$lm = [ls + Ls \times Scp + (3/4)\Delta]_{-\delta z}^0$$

$$Lm = [125 + 125 \times (0.012 + 0.025) / 2 + (3/4) \times 1.1] = 128.14_{-0.37}^0$$

3.4.4.3 型腔深度尺寸

以滑块型腔深度计算，测量 L_m 为 23mm ，按 B 类不受模具活动部分影响的尺寸公差值查表得 $\Delta=0.44\text{mm}$ ， $\delta C = \Delta/3=0.15\text{mm}$

$$Hm = [Hs + Hs \times Scp - (2/3)\Delta]_0^{+\delta z}$$

$$\begin{aligned} Hm &= [23 + 23 \times (0.012 + 0.025) / 2 - (2/3) \times 0.44]_0^{+0.15} \\ &= 23.13_0^{+0.15} \end{aligned}$$

3.4.4.4 型芯高度尺寸

以型芯最大高度尺寸计算，测量 $h_m=73.5\text{mm}$ ，按 A 类不受模具活动部分影响的尺寸公差值查表得 $\Delta=0.76$ ， $\delta Z=0.25\text{mm}$

$$hm = [hs + hs \times Scp + (2/3)\Delta]_{-\delta z}^0$$

$$hm = [73.5 + 73.5 \times (0.012 + 0.025) / 2 + (2/3) \times 0.76]_{-0.25}^0 = 75.37_{-0.25}^0$$

3.4.4.5 两成型杆的中心距

以四根螺丝孔柱的尺寸计算， $C_s=49\text{mm}$ ，以 IT9 精度等级制造查手册，按 B 类受模具活动部分影响的尺寸公差值查表得 $\Delta=0.56\text{mm}$ ， $\delta Z=0.19\text{mm}$

$$Cm = [Cs + Cs \times Scp] \pm (\delta z / 2)$$

$$Cm = [49 + 49 \times (0.012 + 0.025) / 2] \pm 0.19 = 49.91 \pm 0.19\text{mm}$$

注：由于本零件造型复杂，尺寸较多，曲面部分尺寸难以表达，这里只列出主要形状尺寸的计算，若加工及其它需要时请参考 dizuo-diwei.prt” 3D 文件

3.5 排气结构设计

3.5.1 模内气体的主要来源

注射成型时，模内气体主要来源：

- 1、型腔和浇注系统中存在空气；
- 2、塑料原料中含有水分，在注射温度下蒸发而成为水蒸气；
- 3、由于注射温度过高，塑料分解所产生的气体；
- 4、塑料中某些添加剂挥发或化学反应所生成的气体。

3.5.2 排气方式

此制件属中小型，且注射速度中等，如图利用 Moldflow 软件分析，气纹主要集中在型芯和镶件接合处，因此可以利用分型面和成型杆的间隙排气，不开设专门排气槽^[9]。

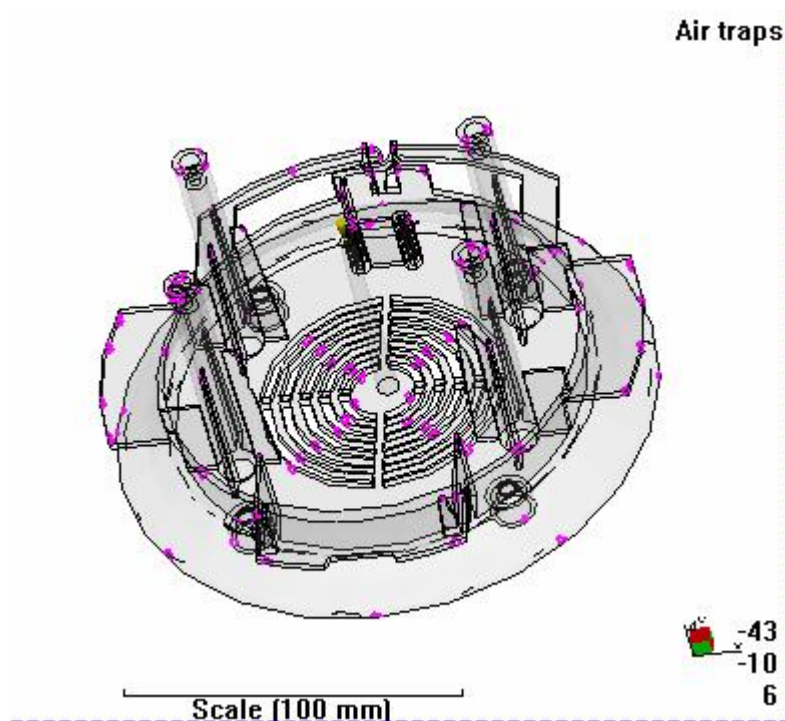


图 3.8 气纹分布

3.6 导向机构的设计

为了保证动模和定模两大部分或模内其它零部件之间的准备对准、定位和定向作用，采用导柱和导套作为该套模具的导向机构^[10]。

3.6.1 导柱的设计要点

1、这套模具选用“龙记”标准模架，其型号为大水口 CI4545, 因此导柱导套均为配做，材料为 20 钢, 硬度为 50~55HRC，以保证有足够的抗弯强度，且表面耐磨，芯部坚韧。

2、导柱的端部设计成锥形或半球形，便于导柱顺利地进入导向孔。

3 导柱的配合精度：导柱与导向孔采用间隙配合 H7/f7, 而与安装孔则采用过渡配合 H7/m6, 配合部分表面粗糙度为 Ra0.8 μ m。

4、斜导柱与其固定板的配合 H7/m6 或 H7/m8, 与滑块斜孔间采用教松动的间隙配合，留有 0.5~1mm 的间隙。

5、该套模具的导柱通过托板固定在动模，以防止导柱从安装孔中脱出。

3.6.2 导套的设计要点

1、导套选用带轴肩连接的导套，导套内孔与导柱之间为动配合 H7/f7，外表面与模板孔为较紧的过渡配合 H8/k7，粗糙度内外表面均用 Ra0.8 μ m。

2、材料选用 20 号钢渗碳淬火处理，表面硬度为 HRC55。

3、导套的固定孔与导柱的固定孔可以同时钻，再分别扩孔，以保证其配合精度。

3.7 脱模机构的设计

3.7.1 脱模机构的设计原则

1、应保证塑件滞留于动模边，以便借助于开模力驱动脱模装置，完成脱模动作，致使模具结构简单。

2、正确分析塑件对模腔的粘附力的大小及其所在部位，有针对性的选择合适的脱模装置，使推出重心与脱模阻力中心相重合。由于塑料收缩时包紧型芯，因此推出力作用点应尽量靠近型芯，同时推出力应施与塑件刚性和强度最大的部位，作用面积也应尽可能大一些，以防塑件变形或损坏。

3、保证良好的外观。在选择顶出位置时，应尽量设在塑件内部或对塑件外观影响不大的部位。

4、结构合理可靠。脱模机构应工作可靠，运动灵活，制造方便，更换容易，具有足够的强度和刚度。

3.7.2 脱模机构的设计要点

本模具根据塑件的形状和外观要求，在圆形腔内设置推杆和推管推出。

1、推杆数量及结构形式 根据推杆布置许可空间，制品设置 12 根阶梯的圆形推杆，推杆头部直径为 $\Phi 6\text{mm}$ ，为避免影响塑件的使用，装配推杆时，应使推杆端面与型腔镶件的平面平齐或高出 $0.05\sim 0.1\text{mm}$ 。

2、推管的数量及结构形式 塑件有四个均布的装配长孔，在该处所需的脱模力较大，因此分别在改四处位置设置直通式的圆形推管，推管头部直径 $\Phi 11\text{mm}$ 。

3、顶出机构的固定与导向方式 推杆、推管和推杆固定板采用轴肩连接，其断面均为形状一致的平面，无需设置防转装置。另推杆与推管的直径尺寸较大，数量不多，直接利用导柱导套的导向，不另设导向机构。

4、复位装置设计 顶出机构在完成塑件的顶出动作后，为了进行下一步循环必须回到其初始位置。常用的抚慰机构有弹簧复位机构和复位杆复位机构。因为弹簧复位机构不可靠，这里采用订制的标准模架的复位杆复位。

3.8 侧抽芯机构的设计

前面分析塑件的结构得出，塑件成型时必须采用侧向抽芯机构。

3.8.1 侧抽芯机构抽出距离核算

1、将活动型芯从成型位置抽至不妨碍塑件脱模位置所移动的距离为抽芯距。抽芯距离通常比侧孔或侧凹大 $2\sim 3\text{mm}$ 。

此塑件属于圆形二等分滑块侧抽芯

$$\begin{aligned} S_{\text{抽}} &= \sqrt{R^2 - r^2} + 2 \sim 3\text{mm} \\ &= \sqrt{(165 \div 2)^2 + (130 \div 2)^2} + 2 \sim 3\text{mm} \\ &= \sqrt{6806 - 4225} + 2 \sim 3\text{mm} \\ &= 50.8 + 2 \sim 3\text{mm} \end{aligned}$$

取 $S_{\text{抽}} = 53\text{mm}$

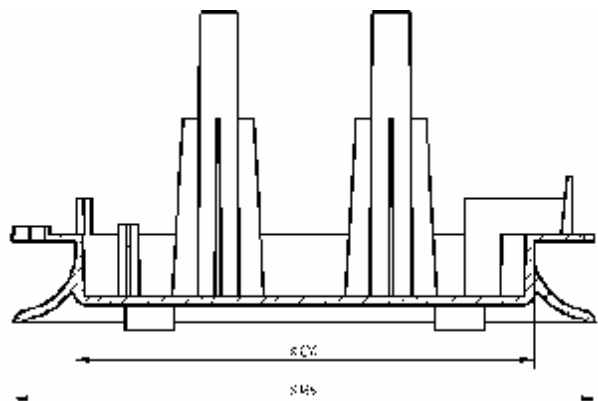


图 3.9 抽芯距离计算

2、斜导柱的倾斜角 α 斜导柱的倾斜角通常取 $15^\circ \sim 20^\circ$ ，一般不大于 25° 。考虑到抽芯距离较大，取 24° 。

3、斜导柱的数量及直径 考虑到抽芯面积、抽拔力和倾斜角较大，选择一边两根

Φ20mm 的斜导柱。

4、最小开模行程和斜导柱工作部分长度

最小开模行程： $H = S \cot \alpha = 53 \cot 22^\circ = 130\text{mm}$

斜导柱工作部分长度： $L_2 = H / \cos \alpha = 140\text{mm}$

3.8.2 侧抽芯机构的固定及安装

该抽芯机构的固定机构包括：压紧块，压条弹簧加限位块定位。

1、压紧块：用于在模具闭合后锁紧滑块，承受成型时塑料熔体对滑块的推力，以免导柱弯曲变形；开模时，又要求压紧块首先让开，以免阻碍锁死滑块，阻碍抽芯，因此，压紧块的契角应大于斜导柱的倾斜角，一般大 $2 \sim 3^\circ$ 。

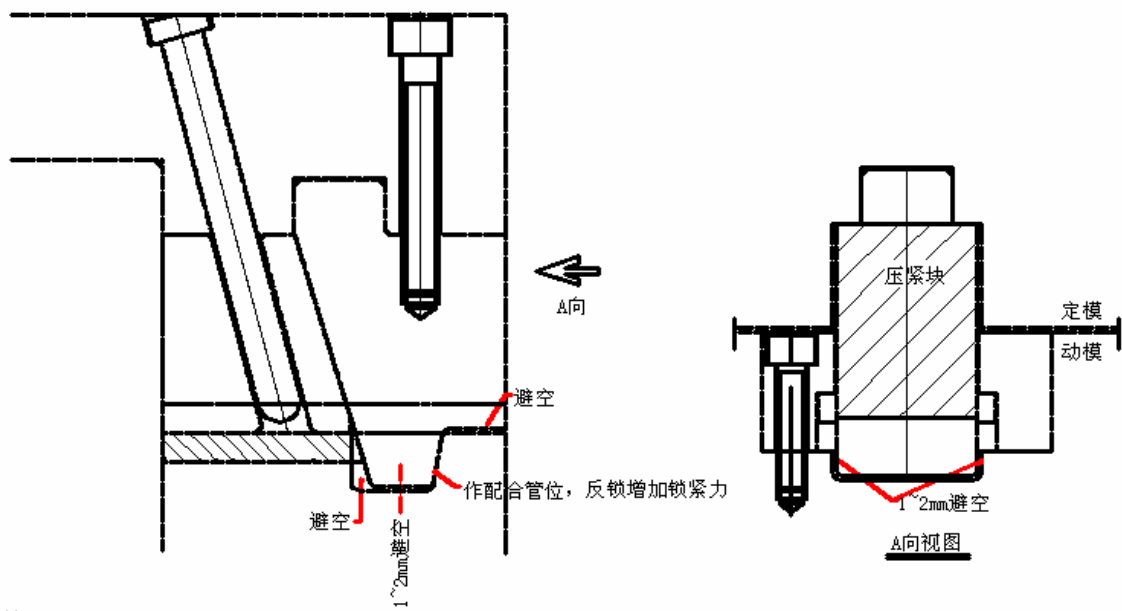


图 3.10 压紧块设计

2、压条：把滑块的导滑槽做成压条与模板的组合式，制造时容易加工。

3、弹簧加限位块定位：抽芯完成后，限位装置保证滑块停留在抽芯完成的位置，以便合模时斜导柱能准确地进入滑块的斜孔中。这里采用挡块定位形式，依靠在滑块内部两侧设置弹簧的弹力使滑块靠在设置在滑块中间的限位挡块上。具体结构详见图纸。

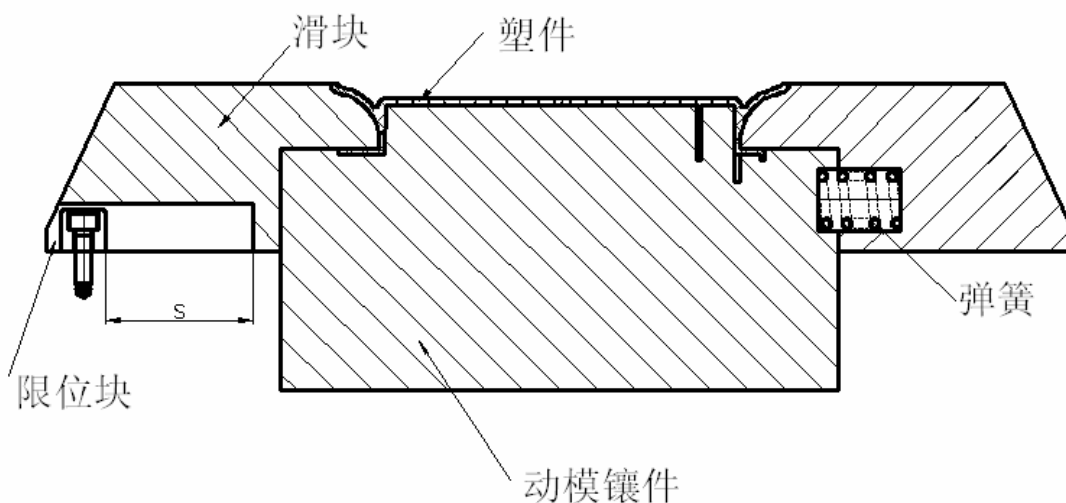


图 3.11 限位机构设计

3.9 注射模温度调节系统

塑料模具的温度直接影响塑件的成型质量和生产效率。由于各种塑料的性能和成型工艺不同，模具温度也要求不同。因此在设计注射模具时必须考虑用加热或冷却装置来调节模具的温度。对于一般的热塑性塑料注射成型时只需考虑冷却装置。

3.9.1 温度调节对塑件质量的影响

主要有以下几个方面

- a. 尺寸精度 利用温度调节系统来保持模具温度的恒定或采取较低的模温，可减少塑件成型收缩率的波动，提高塑件精度。
- b. 形状精度 模具型芯与型腔各部分温差过大，会使塑件收缩不均匀而导致翘曲变形，影响塑件的美观和使用。特别对于壁厚不一致和形状复杂的塑件，经常会出现因收缩不均匀而变形的情况，必须采用合适的冷却回路，使模具型腔各个部位的温度基本上均匀。
- c. 表面粗糙度 模温过低会使塑件轮廓不清晰，产生明显的熔合纹，提高模温可改善塑件的表面状态，使塑件的表面粗糙度降低。
- d. 塑件的力学性能。

3.9.2 温度调节对生产力的影响

温度调节系统对生产力的影响主要由冷却时间来体现。通常注射到型腔内的塑料熔体的温度为 200℃ 左右，塑件从型腔中取出的温度在 60℃ 以下。熔体在成型时释放的热

量中约有 5%以辐射、对流的形式散发到大气中，其余 95%需冷却水带走，否则由于塑料熔体的反复注入将使模温升高。为了保持模温的恒定，在每一循环中，必须由冷却系统把塑料熔体的热量带走。因此模具的冷却时间主要取决于冷却系统的冷却效果。一般的模具的冷却时间占整个注射循环周期的 2/3，因此缩短成型周期中的冷却时间是提高生产率的关键。

3.9.3 模具温度调节系统的设计

- (1) 冷却水管直径 塑件体积不大，批量要求也较小，取冷却水孔直径 $\Phi 6\text{mm}$ 。
- (2) 冷却回路的形式 型腔和型芯一样均采用单一矩形回路。

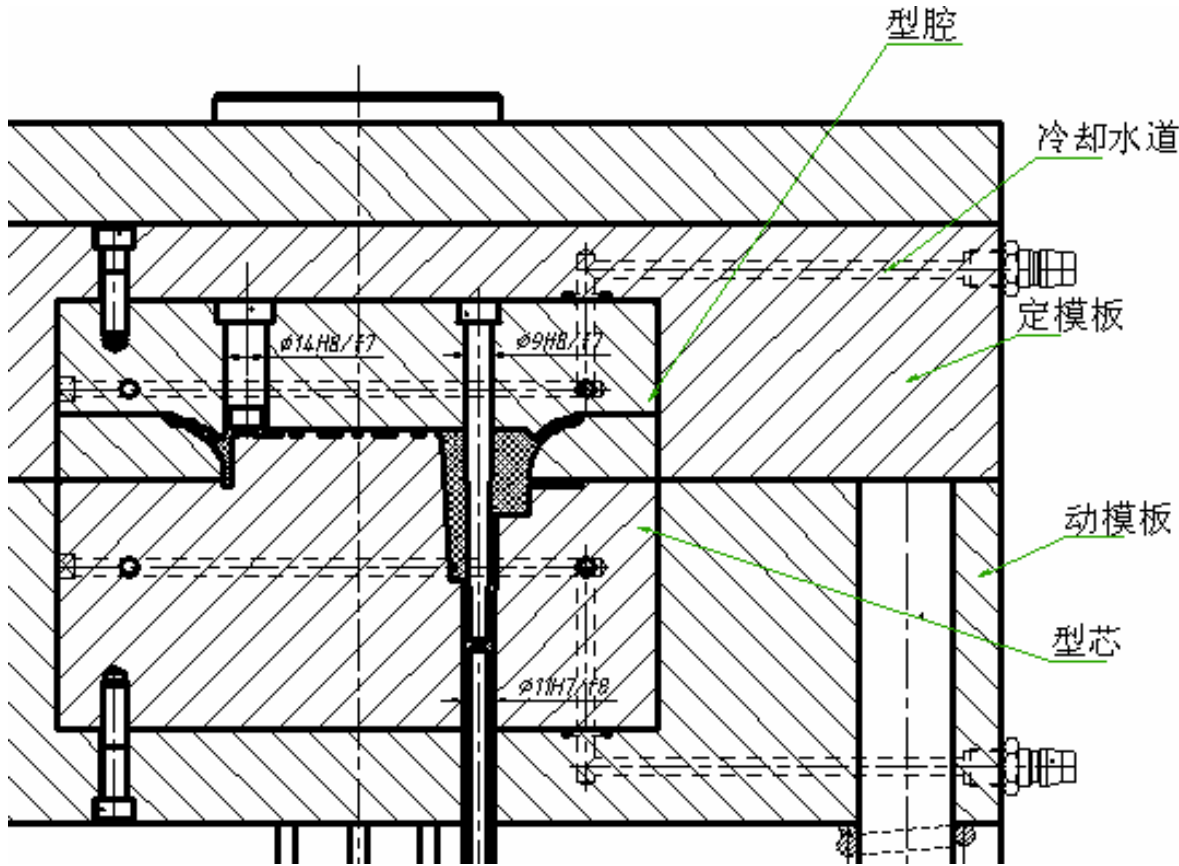


图 3.12 冷却水道

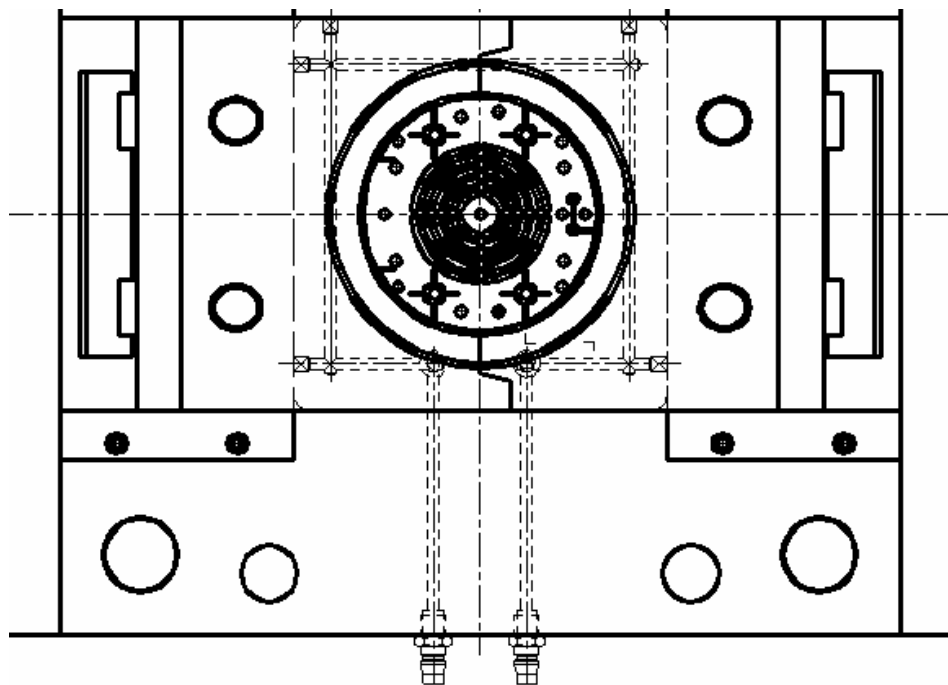


图 3.13 冷却水道

3. 10 模具装配图及其运动说明

3. 10. 1 模具装配立体图

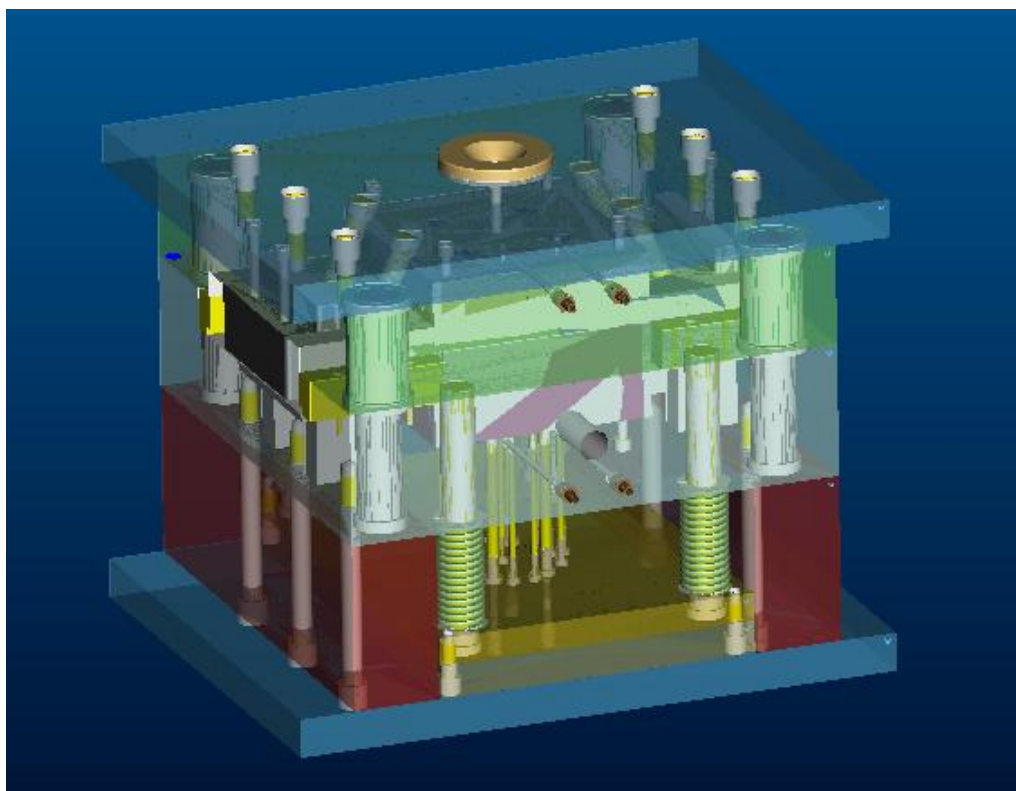


图 3.14 模具渲染图

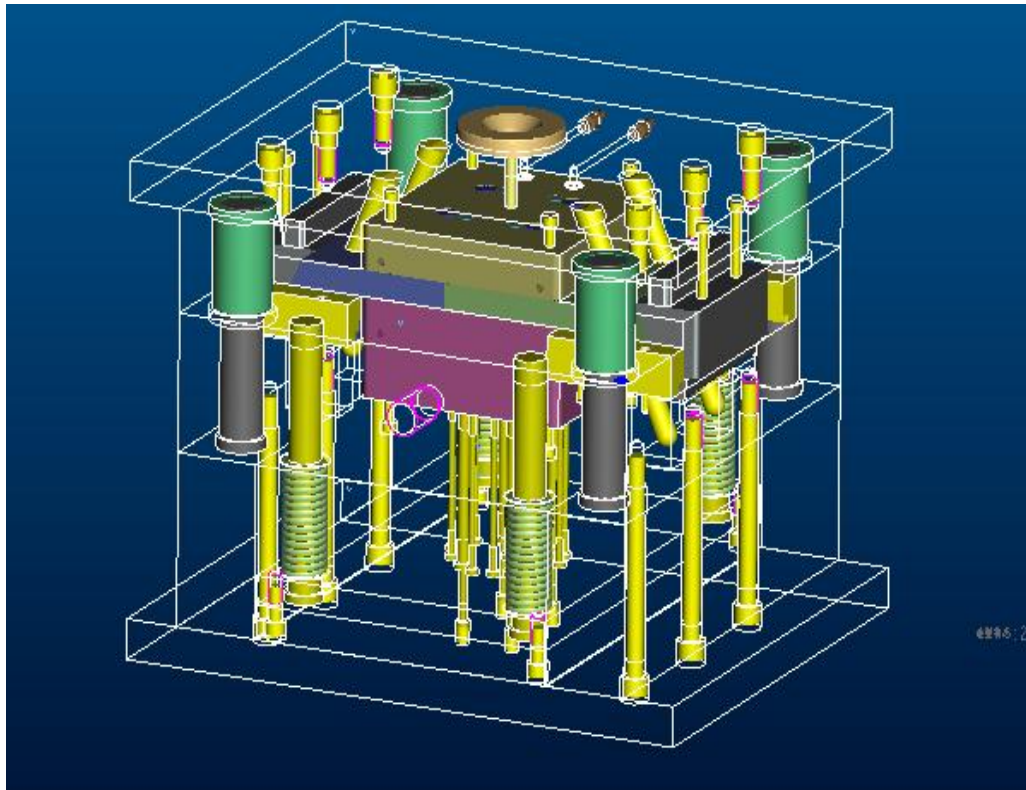


图 3.14 模具线框图

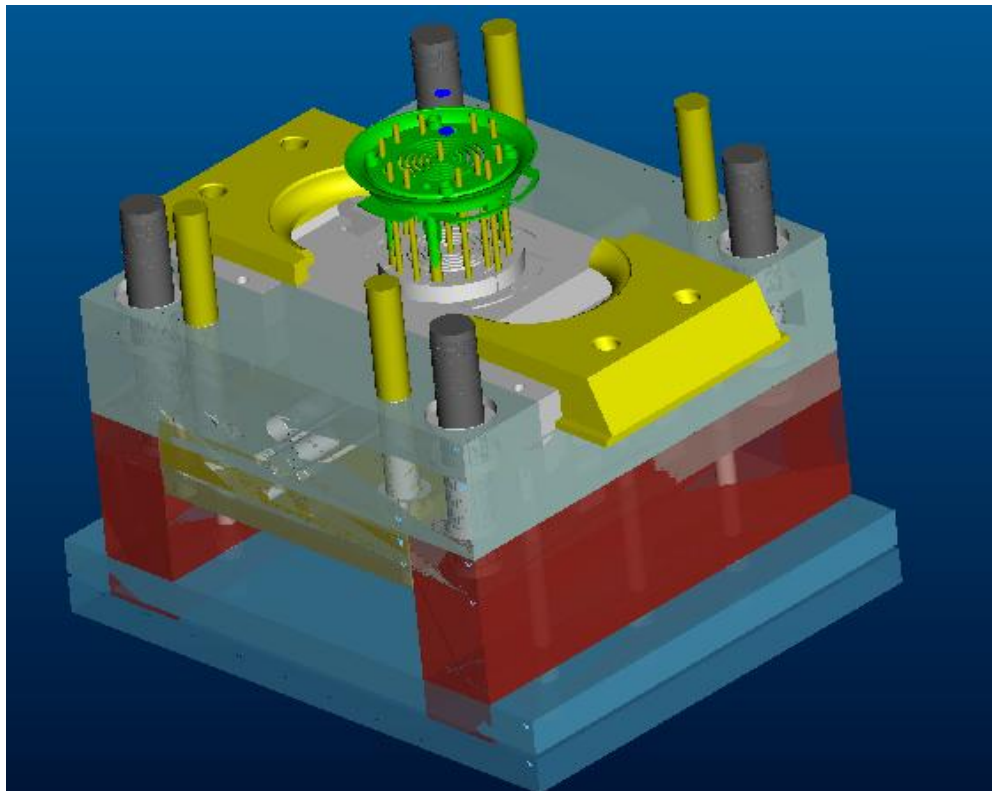


图 3.14 模具顶出图

3.10.2 模具装配工程图

榨汁机底座模具的装配工程图请参考图纸“DZ000”

3.10.3 运动说明

由于该套模具只有一个分型面，开模时分型面打开，两滑块分别在斜导柱的作用下进行侧向抽芯，当斜导柱完全脱离斜孔时，滑块型芯也完全脱离侧凹，滑块由弹簧和限位块的作用停留在固定位置。抽芯结束后，在注射机顶杆的作用下带动推杆和推管顶出塑件，至此模具的一个过程全部完成。

侧向抽芯，另外手把处长形凹槽，需要侧向抽芯，另外，杯身的底部与底座的装配卡扣需要内侧抽芯。

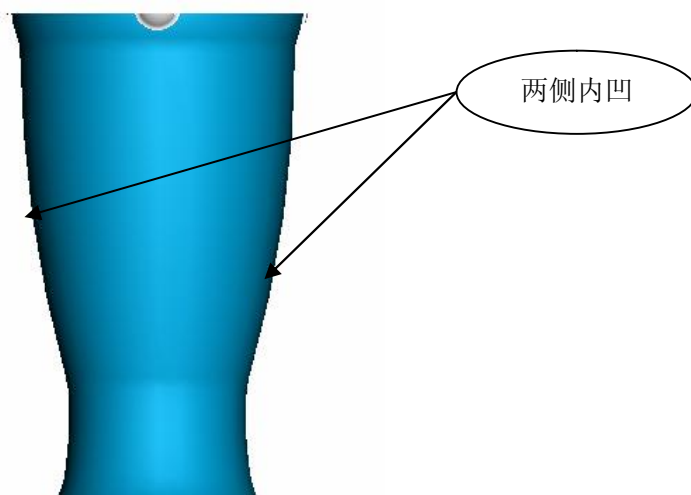


图 4.2 杯身结构分析 (1)

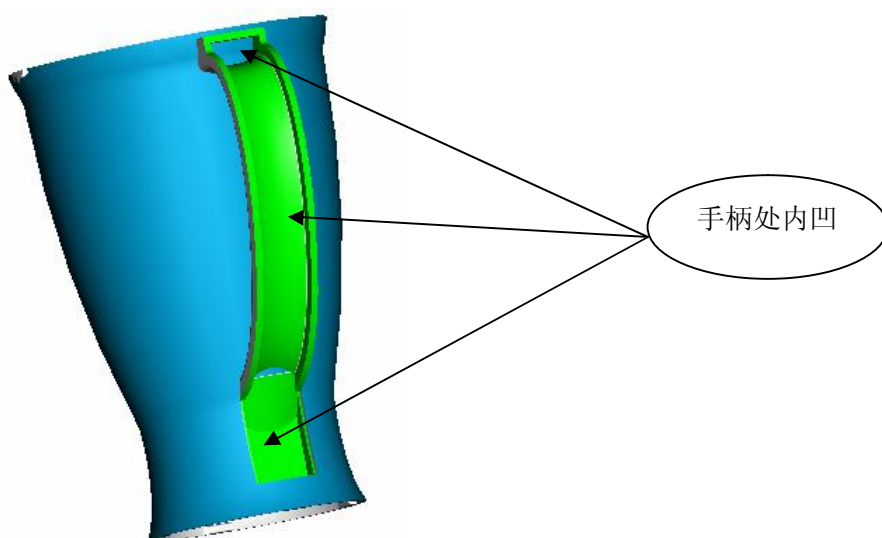


图 4.3 杯身结构分析 (2)

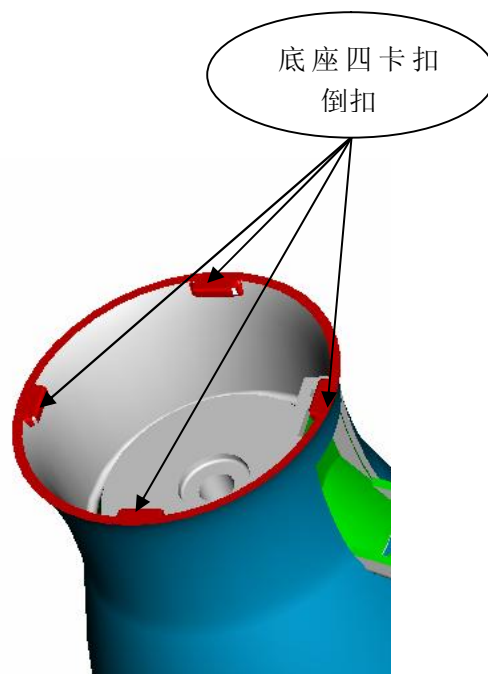


图 4.4 杯身结构分析 (3)

2、工艺性分析

精度等级：采用 8 级低精度

脱模斜度：塑件外表面 $40' - 1^{\circ} 20'$ 塑件内表面 $30' - 1^{\circ}$ （脱模斜度不包括在塑件的公差范围内，塑件外形以型腔大端为准，塑件内形以型芯小端为准）

4.1.4 材料成型特性及条件

1、AS 的性能：

AS 为丙烯-苯乙烯的共聚物，也称作 SAN，密度 $1.07\text{g}/\text{cm}^3$ 左右，它不易产生内应力开裂。透明度较高，其软化温度和抗冲击强度比 PS 搞，耐疲劳性差。

2、AS 的加工条件

AS 加工温度一般在 $210 \sim 250^{\circ}\text{C}$ 为宜。该料较易吸湿，加工前需干燥一小时以上，其流动性比 PS 稍差一点，故注射压力亦略高一些，模温控制在 $45 \sim 75^{\circ}\text{C}$ 较好

表 4.1 AS 加工条件

干燥温度(℃)	70~85	干燥时间约(hr)	1~2
模具温度(℃)	40~80	残料量(mm)	3~10
熔胶温度(℃)	210~250	背压(Mpa)	5~15
注射压力(Mpa)	100~140	锁模力约(ton/in2)	2~2.5
注塑速度	中等	回料转速(rpm)	70~100
螺杆类别	标准螺杆(直通式喷嘴)		
停机处理	关料闸啤清即可	碎料翻用(%)	0

4.2 注射机选型

在成型设备的选择上，充分考虑了塑件的成型性能和工艺性，运用主流 CAE 软件 MOLDFLOW 对注射成型的过程进行模拟和分析，同时使用 CAE 软件可以很方便的获得注射成型时的最佳参数。直接方便地指导了我们的各项工作。

4.2.1 注射量计算

通过 PROE 进行塑件体积分析：

体积 = 3.8159989e+05 毫米^3
 曲面面积 = 2.3104769e+05 毫米^2
 密度 = 1.0700000e+00 公吨 / 毫米^3
 质量 = 4.0831188e+05 公吨

图 4.5 杯身模型分析

V_z —单个塑件容量 cm^3

V_j —浇注系统、凝料和飞边所需的塑料的容积 cm^3

V_g —注射机的额定注射量

根据模拟结果图示： $V_z=382\text{cm}^3$ ，取浇注系统和飞边的体积 V_j 约为 80cm^3

$$V=382+80=462\text{cm}^3$$

$$0.8V_g \leq n \times V_z + V_j$$

$$V_g \geq 577.5\text{cm}^3$$

4.2.2 注射力校核

AS 塑料的推荐注射压力为 100~140，考虑到塑件的结构较为复杂，深孔，长笔直壁比较多，充模阻力较大取注射压力为 $100 \text{ MPa}^{[8]}$ 。

4.2.3 锁模力校核

注射成型时的塑料会产生模板间的涨模力，此涨模力等于塑件和浇注系统在分型面上的投影面积与型腔压力之积^[12]。为防止模具分型面被涨模力顶开，必须对模具施加足够的锁模力，否则在分型面处会产生溢料现象，因此模具设计时应使注射机的额定锁模力大于涨模力。

1、塑件和浇注系统的投影面积计算，根据塑件形状尺寸，在开模方向的最大投影面积约为 $\pi r^2 = 3.14 \times 8^2 = 200.96 \text{cm}^2$

取 $S=201 \text{cm}^2$

2、因为塑件属于大型塑件，取型腔的平均压力 $P_m=40 \text{Mpa}$

3、模具分型面涨开立计算

$$F_z = P_m \times S = 40 \times 10^6 \times 201 \times 10^{-4} \text{N} = 804 \text{KN}$$

4.2.4 开模行程和模板安装尺寸校核

模具开模取出制品所需的开模距离必须小于注射机的开模行程。注射机最大的开模行程的大小直接影响模具所形成的塑件高度，太小时塑件无法从动定模之间取出。

$$S_{\max} \geq S = H_1 + H_2 + (5 \sim 10 \text{mm})$$

S_{\max} ——注射机的最大开模行程（mm）

S ——模具所需开模距离（mm）

H_1 ——塑件脱模距离（mm）

H_2 ——包括浇注流道凝料在内的塑件高度（mm）

$$S = 57 + 140 + 5 = 202 \text{mm}$$

4.2.5 注射机型号的确定

从实际注射量应在额定注射量的 20%~80%之间考虑，初选额定注射量在 577.5cm^3 以上的卧式注射成型机，这里选择震德塑料有限公司的 CJ200M5（卧式）型注塑机，其主要技术规格如下表：

表 4.2 注射机参数表

理论注射容积	1216	螺杆直径(mm)	67
注射压力(MPa)	229	注射速率(g/s)	110
塑化能力(g/s)	18.9	螺杆转速(r/min)	10—220
锁模力(kN)	4000	拉杆有较距离(mm)	730×730
移模行程(mm)	670	模具最大厚度(mm)	750
模具最小厚度	250	锁模形式	双曲肘
模具定位孔直	Φ 100	喷嘴球半径(mm)	SR10
喷嘴口孔径	Φ 3	模板尺寸(mm)	1050×1050

4.3 浇注系统的设计

改零件为榨汁机的主要外观面，而且为透明塑胶，要求外表面光滑，无痕迹，可选用的浇口形式有重叠式浇口、点浇口和潜伏式浇口。根据前面分析模具的结构，要采用二次分型，所以可以选用点浇口，使用 M1odflow 软件进行最佳浇口位置，如图，综合考虑模具结构，浇口设置在塑件底部。因塑件流程比较长，采用环形四点进浇。

4.3.1 最佳浇口分析

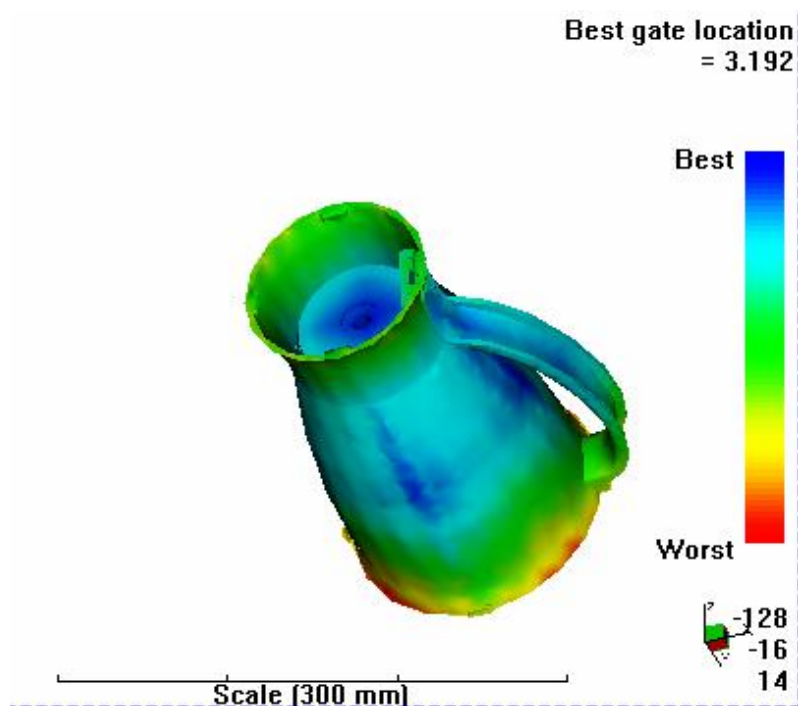


图 4.6 最佳浇口分析

4.3.2 点浇口尺寸确定

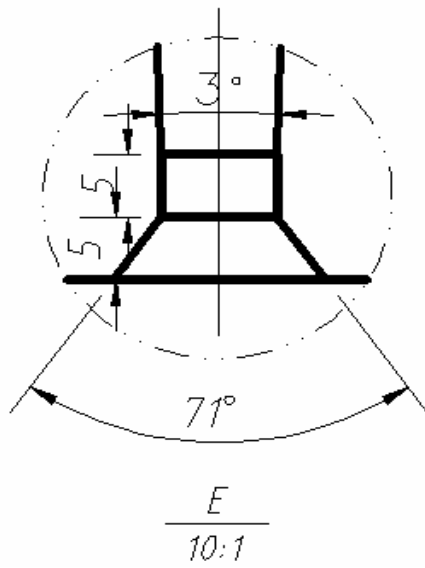


图 4.7 点浇口尺寸

4.3.3 填充过程模拟

使用 Moldflow 软件对塑件进行填充分析，塑件使用点浇口可以顺利注满。所以浇注系统设计合理。

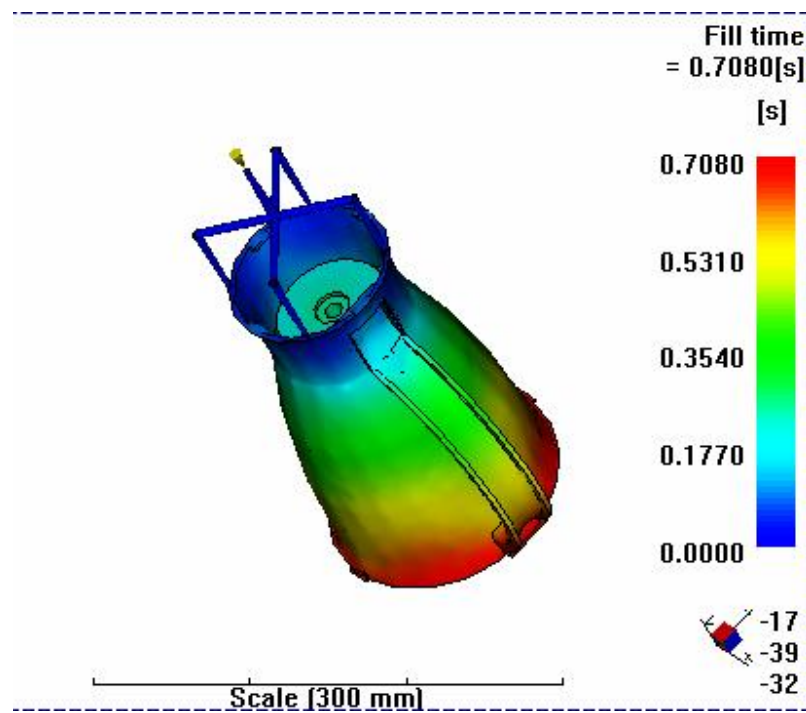


图 4.8 填充分析

4.3.4 脱浇口机构设计

为使点浇口顺利脱离塑件，杯身模具在定模一侧使用了斜窝式折损脱浇口，原则上在动模一侧应该加拉料杆，但考虑到模具高度大，拉料杆容易折断，所以这里在浇口套位置设置了弹簧托块式脱浇口机构。

脱浇口机构动作原理：

开模第一次分型时，动模板上的斜窝卡住分流道迫使其折损，而拉断浇口并带出，同时由于浇口套上安装的弹簧的作用，推动托管，使主流道从浇口套中脱出。

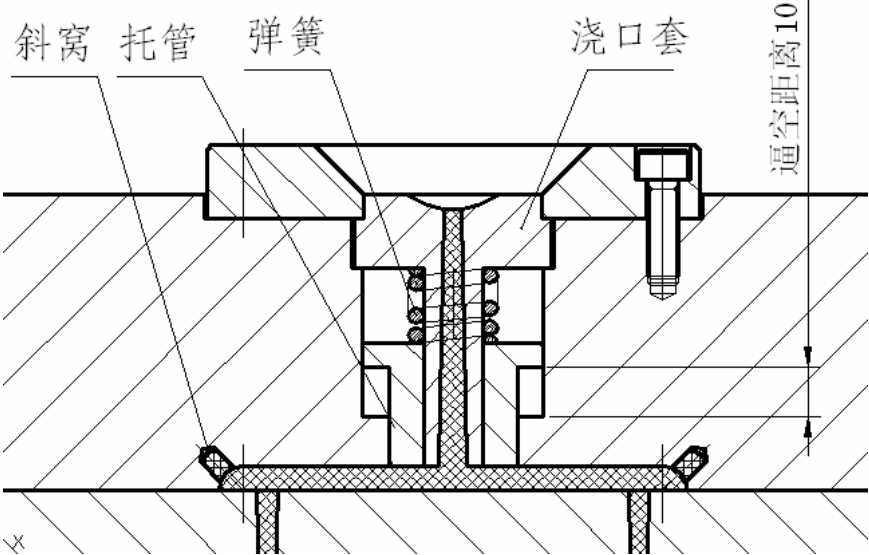


图 4.9 脱浇口机构

4.4 分型面的设计

经分析，该塑件成型时需要三处侧向分型，两处属于外侧抽芯，一处属于内侧抽芯。考虑后面浇注系统的设计，此处内侧抽要设置在定模一侧，定模抽芯，需要进行二次分型，即模具有两个分型面，如下图所示：

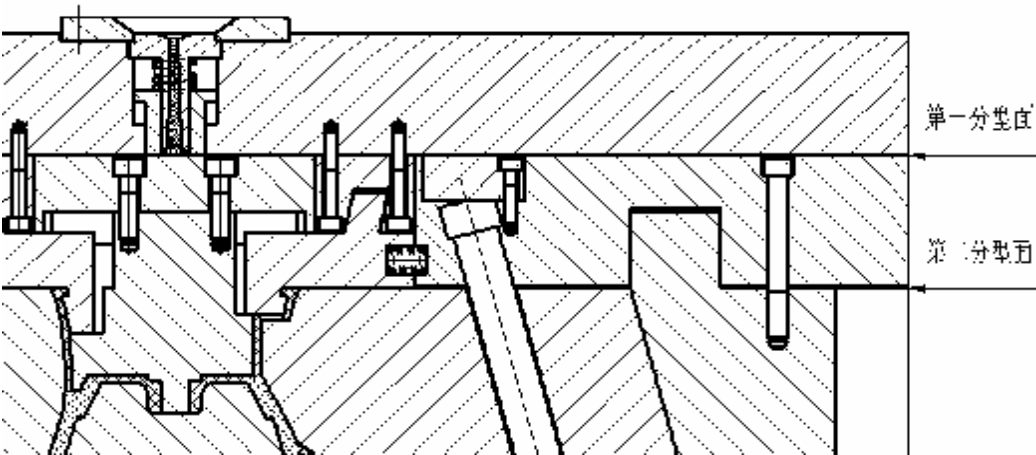


图 4.10 分型面

4.5 分模过程图

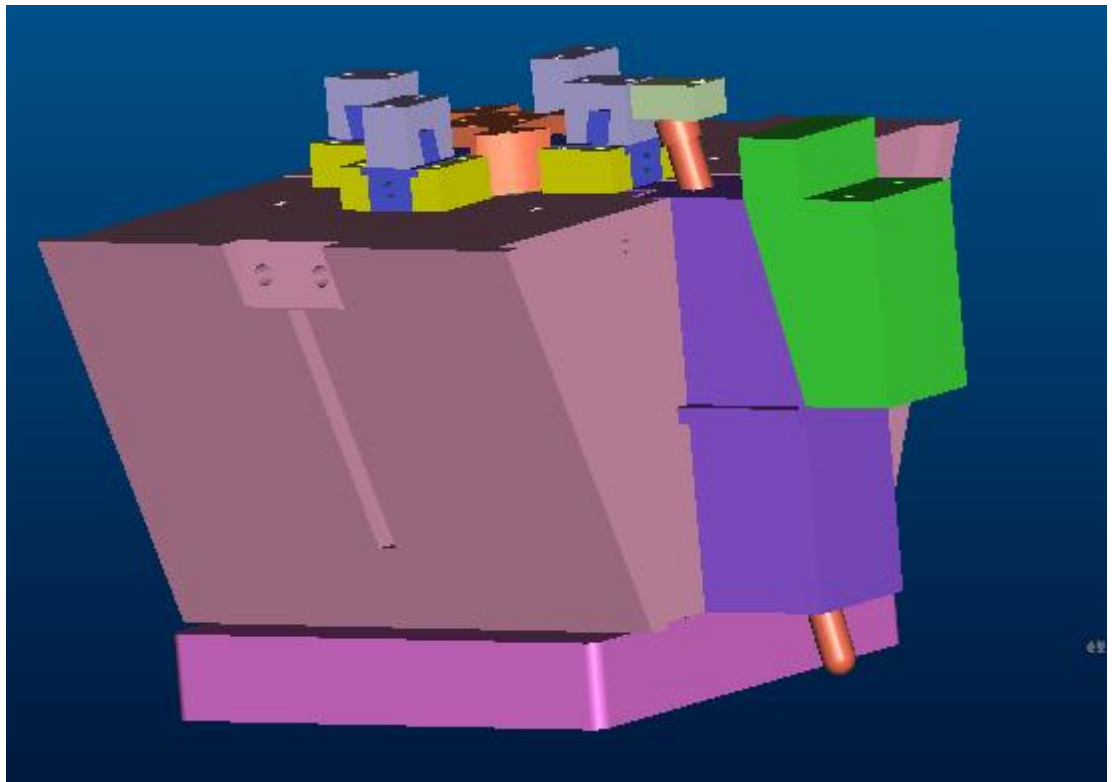


图 4.11 合模

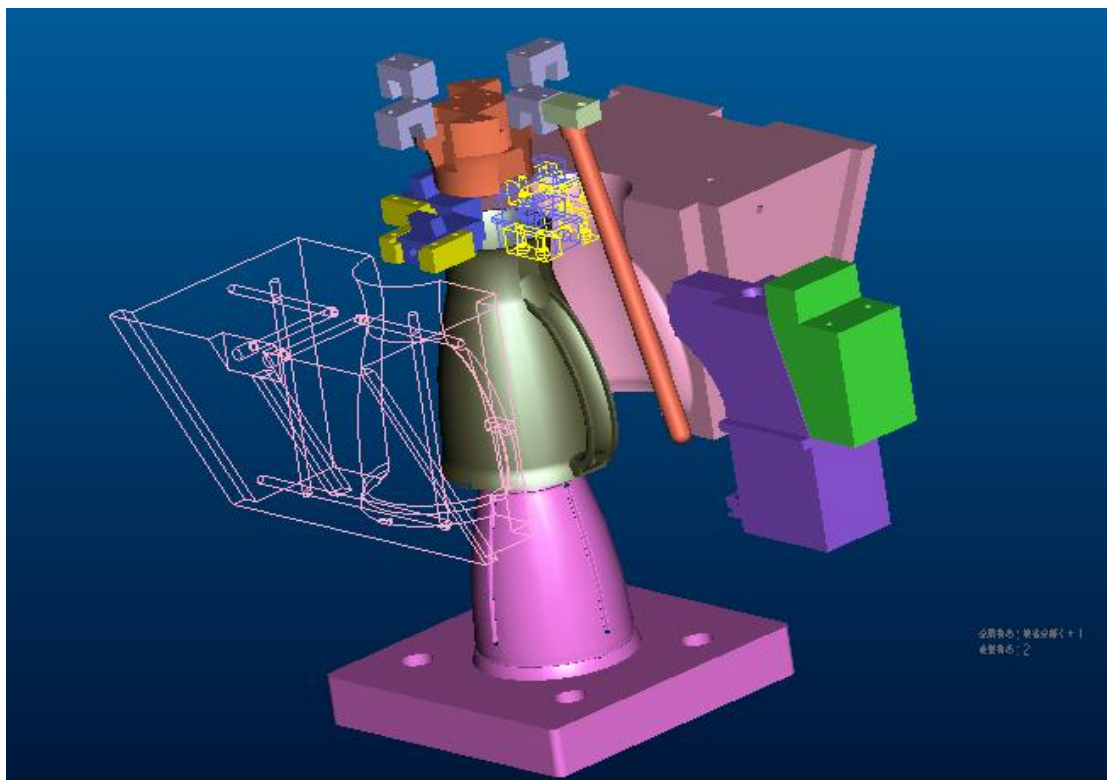


图 4.12 开模

4.6 成型零部件的设计

由于塑件的形状是圆弧面，面积较大，两斜滑块和动模型芯均采用整体式结构。

4.6.1 型腔数目的确定

根据前面结构分析可知，塑件成型模具较为复杂，塑件体积较大，而且批量要求不高，适合做单腔模具。

4.6.2 成型零件的尺寸计算

采用 δ_z, δ_c 取固定值的平均收缩率法：

L_m -----型腔的径向工作尺寸 $L_m=[L_s+ L_s\times S_{cp}- (3/4) \Delta]$

L_s -----塑件的径向图样尺寸

S_{cp} -----收缩率的平均值，查表得 AS 收缩率范围是 0.2%~0.6%

Δ -----塑件尺寸公差

δ_z -----型腔制造公差

δ_c -----型腔最大许用磨损量， δ_c 取为塑件尺寸公差 Δ 的三分之一

表 3.4 公式表

	δ_z, δ_c 取固定值的平均收缩率法
型腔内径尺寸	$L_m=[L_s+L_s\times S_{cp}-(3/4)\Delta]_0^{+\delta_z}$
型芯外径尺寸	$l_m=[l_s+L_s\times S_{cp}+(3/4)\Delta]_0^{+\delta_z}$
型腔深度尺寸	$H_m=[H_s+H_s\times S_{cp}-(2/3)\Delta]_0^{+\delta_z}$
型芯高度尺寸	$h_m=[h_s+h_s\times S_{cp}+(2/3)\Delta]_0^{+\delta_z}$
中心距尺寸	$C_m=[C_s+C_s\times S_{cp}]\pm(\delta_z/2)$

4.6.2.1 型腔径向尺寸计算

以最大径向尺寸计算，测量得 L_s 为 $\Phi 172\text{ mm}$ ，按照 A 类受模具活动部分影响的尺寸公差查表得 $\Delta=1.4\text{mm}$ ， $\delta_c=\Delta/3=0.47\text{mm}$

$$L_m=[L_s+L_s\times S_{cp}-(3/4)\Delta]_0^{+\delta_z}$$

$$L_m=[176+176\times (0.002+0.006)/2-(3/4)\times 1.4]_0^{+0.47}=175.65_0^{+0.47}$$

4.6.2.2 型芯外径尺寸

以型芯最大径向尺寸计算，测量得 L_s 为 $\Phi 160\text{ mm}$ ，按照 A 类受模具活动部分影响的

尺寸公差查表得 $\Delta=1.2\text{mm}$, $\delta C=\Delta/3=0.40\text{mm}$

$$lm = [ls + Ls \times Scp + (3/4)\Delta]_{-\delta z}^0$$

$$Lm = [160 + 160 \times (0.002 + 0.006) / 2 + (3/4) \times 1.2] = 161.54_{-0.40}^0$$

4.6.2.3 型腔深度尺寸

以斜滑块型腔的最大深度计算, 测量 Lm 为 240mm , 按 B 类不受模具活动部分影响的尺寸公差值查表得 $\Delta=1.6\text{mm}$, $\delta C = \Delta/3=0.53\text{mm}$

$$Hm = [Hs + Hs \times Scp - (2/3)\Delta]_0^{+\delta z}$$

$$\begin{aligned} Hm &= [240 + 240 \times (0.002 + 0.006) / 2 - (2/3) \times 1.6]_0^{+0.53} \\ &= 239.89_0^{+0.53} \end{aligned}$$

4.6.2.4 型芯高度尺寸

以型芯最大高度尺寸计算, 测量 $hm=195\text{mm}$, 按 A 类不受模具活动部分影响的尺寸公差值查表得 $\Delta=1.5$, $\delta z=0.50\text{mm}$

$$hm = [hs + hs \times Scp + (2/3)\Delta]_{-\delta z}^0$$

$$hm = [195 + 195 \times (0.002 + 0.006) / 2 + (2/3) \times 1.5]_{-0.50}^0 = 196.78_{-0.50}^0$$

注: 由于本零件曲面部分尺寸难以表达, 这里只列出主要形状尺寸的计算, 若加工及其它需要时请参考“beishen.prt”3D 文件。

4.7 排气结构的设计

使用 Moldflow 软件进行分析, 气纹主要集中在浇口末端, 如图因此可以利用型芯或镶件与模板的间隙排气, 不另设排气槽。

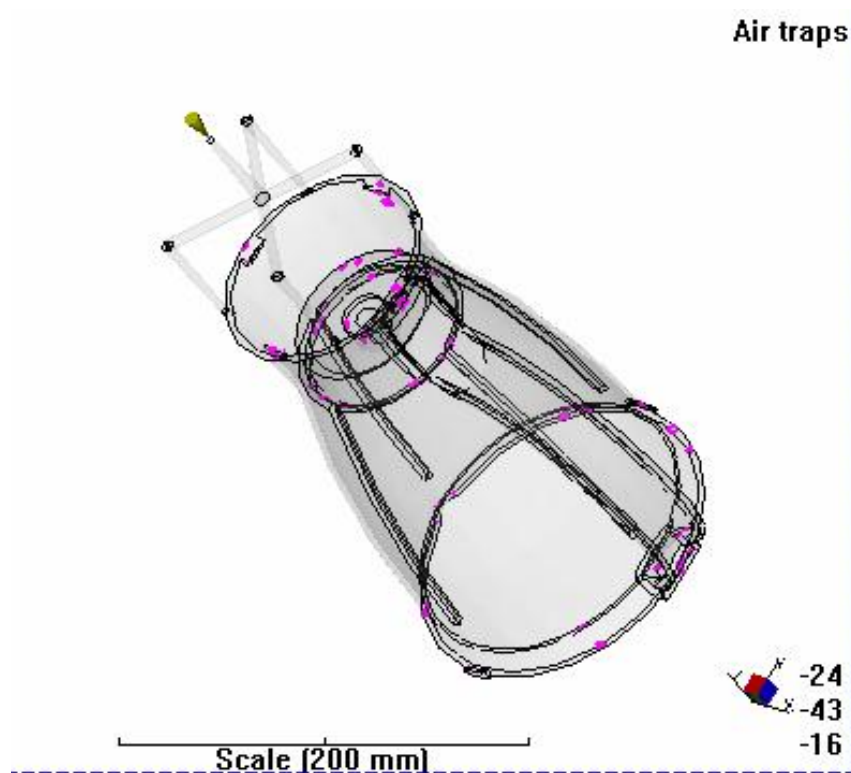


图 4.13 气纹分布

4.8 导向机构的设计

模具使用导柱导套的导向机构，其装配关系参考“榨汁机底座模具设计”，同时因模具有两个分型面，在第一次分型完成后，使用了四根限位螺钉实现二次分型。

4.9 脱模机构的设计

模具结构使用斜滑块抽芯，注射机推顶装置通过推出板使推杆和斜滑块向前移动，斜滑块在动模套板的导槽向右运动的同时向外侧移动，同时完成塑件的侧抽芯和顶出。所以该模具无需设置复位杆，也不需另设顶出机构。

4.10 侧抽芯机构的设计

前面分析塑件的结构得出，塑件成型时有三处地方要采用侧向抽芯机构，分别为斜滑块抽芯机构、斜导柱抽芯机构和弯销抽芯机构。

4.10.1 斜滑块抽芯机构设计

1、抽芯距的计算

此塑件属于圆形二等分滑块侧抽芯，如图 4.14，则

$$\begin{aligned}
 S_{\text{抽}} &= \sqrt{R^2 - r^2} + 2 \sim 3\text{mm} \\
 &= \sqrt{(164 \div 2)^2 + (110 \div 2)^2} + 2 \sim 3\text{mm} \\
 &= \sqrt{6724 - 3025} + 2 \sim 3\text{mm} \\
 &= 60.81 + 2 \sim 3\text{mm}
 \end{aligned}$$

取 $S_{\text{抽}} = 63\text{mm}$

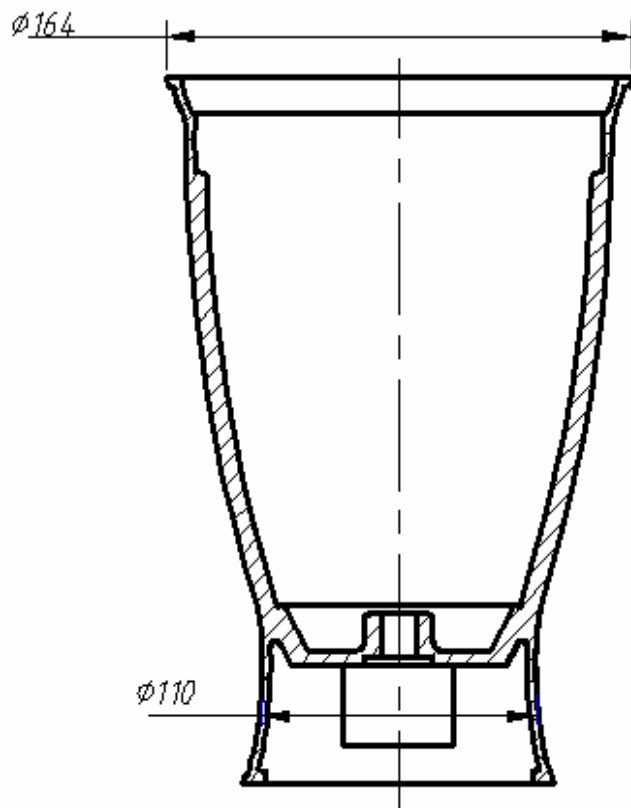


图 4.14 塑件侧凹尺寸

2、斜滑块的倾斜角 α 斜滑块的倾斜角通常取 $15^\circ \sim 25^\circ$ ，一般不大于 23° ，考虑到抽芯距离较大，取 25° 。

3、最小开模行程

$$H = S \cot \alpha = 63 \cot 25^\circ \approx 135\text{mm}$$

4.10.2 斜滑块抽芯机构的固定及安装

斜滑块通过矩形槽导滑，推出时斜滑块在滑块座中沿着滑槽平移，平移的同时向外侧移动，同时完成塑件的侧抽芯和顶出，无需设置复位杆。滑块座两侧的限位钉用于顶出終了斜滑块的限位。

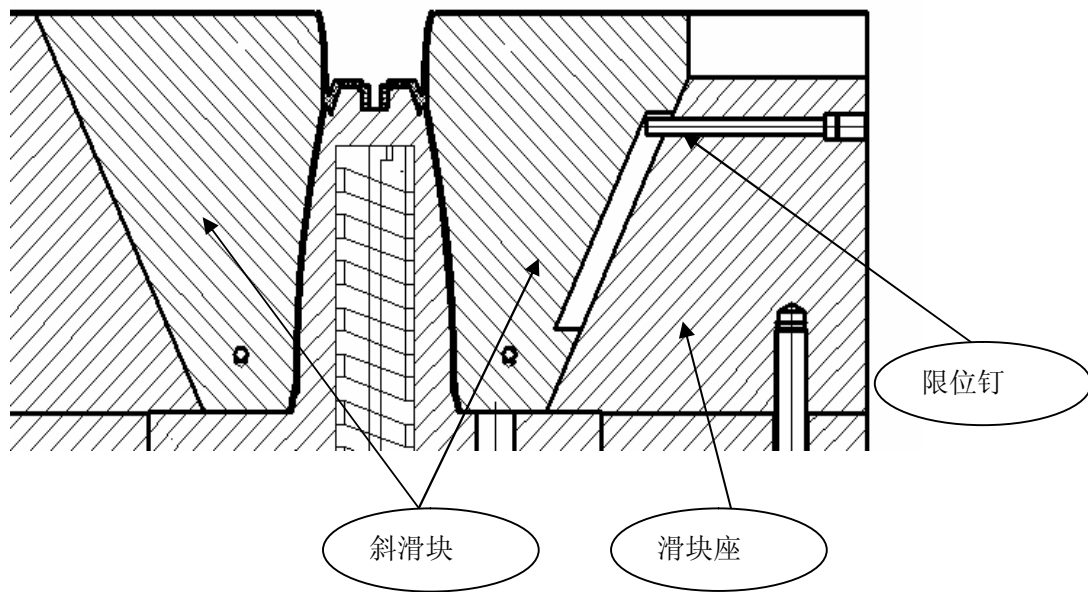


图 4.15 斜滑块结构

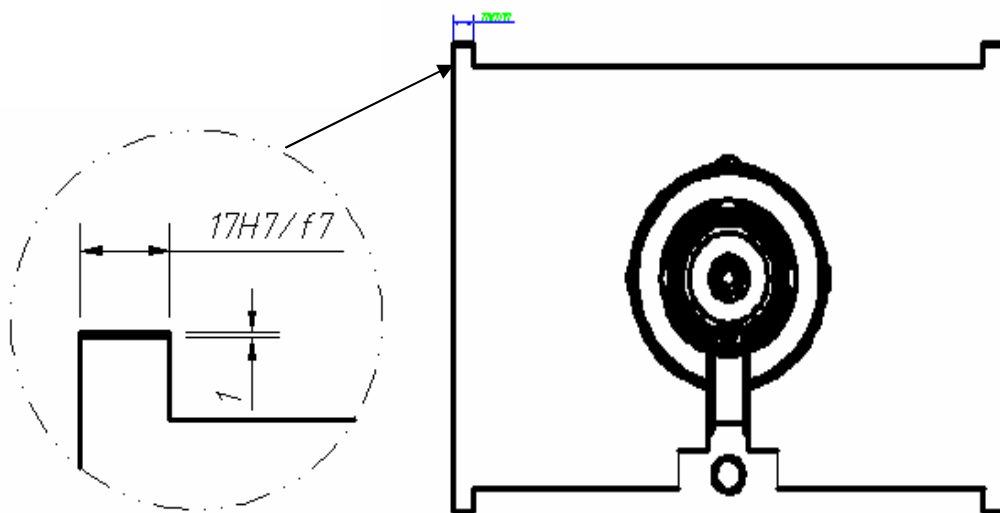


图 4.16 斜滑块导滑槽装配关系

4.10.3 斜导柱抽芯机构设计

前面分析可知，杯身手柄处有侧凹，需要侧向抽芯，考虑到模具制造的成本，在这里我们使用斜导柱抽芯。

1、抽芯距的计算

如图 4.17，手柄处最大侧凹为 $S_2=70\text{mm}$

$S_{\text{抽}} = S_2 + 2 \sim 3\text{mm} = 70 + 2 \sim 3\text{mm}$ ，取 $S_{\text{抽}} = 72$

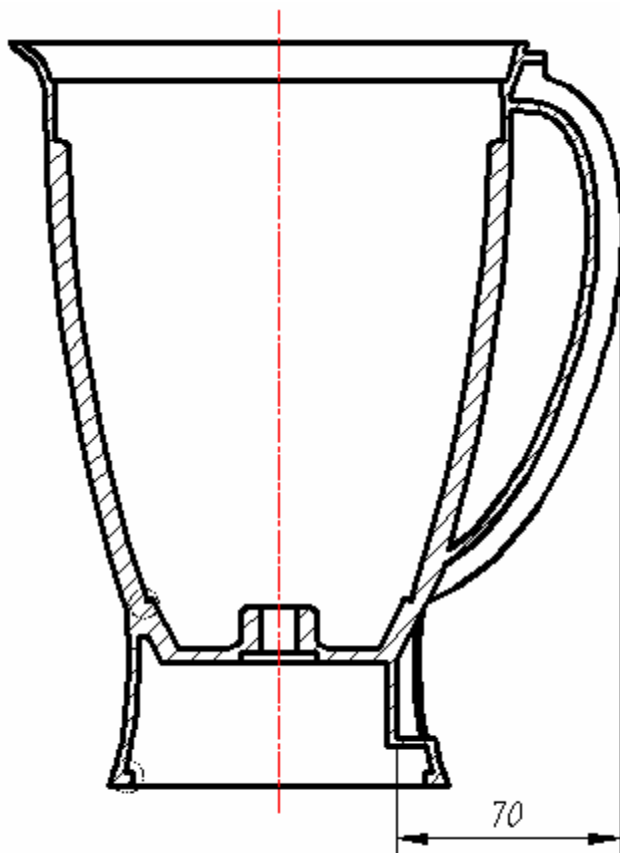


图 4.17 抽芯距离

2、斜导柱的倾斜角 α 斜导柱的倾斜角通常取 $15^\circ \sim 20^\circ$ ，一般不大于 25° 。考虑到抽芯距离较大，取 17° 。

3、斜导柱的数量及直径 考虑到抽芯面积不大，选择一根 $\Phi 20\text{mm}$ 的斜导柱。

4、最小开模行程和斜导柱工作部分长度

最小开模行程： $H = S \cot \alpha = 72 \cot 17^\circ \approx 235.5\text{mm}$

斜导柱工作部分长度： $L_2 = H / \cos \alpha \approx 245\text{mm}$

4.10.4 斜导柱抽芯机构的固定及安装

该抽芯机构的固定机构包括：压紧块锁紧，弹簧加限位块定位，如图 4.18。

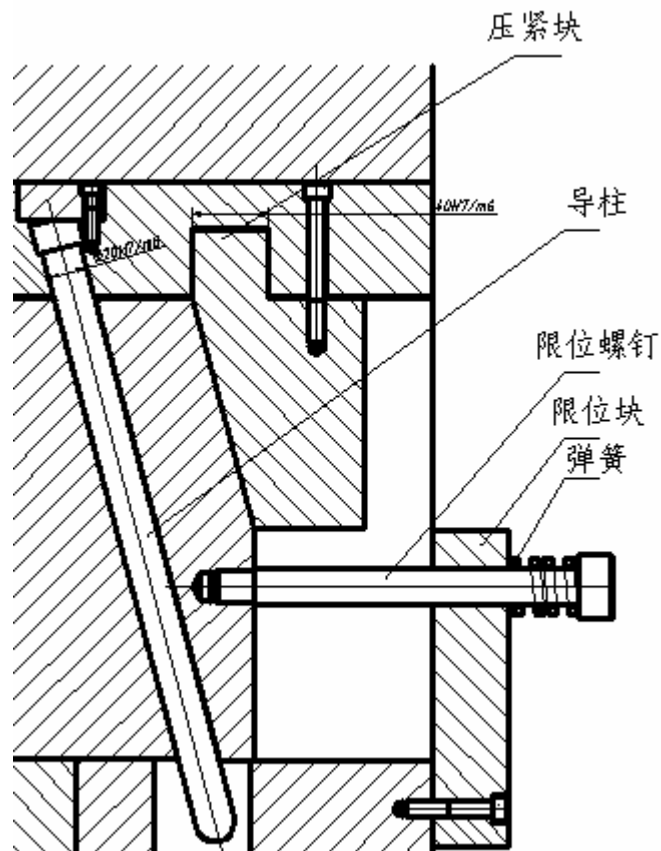


图 4.18 锁紧及限位机构

4.10.5 弯销抽芯机构设计

前面也已经分析，塑件底部有四个倒扣的卡扣，要使定模型芯能顺利脱离开塑件，必须使用定模内抽芯结构，考虑抽芯距离不大，这里选择弯销抽芯机构，因其可以设计成抽芯兼锁紧的作用，减小了设计锁紧机构的空间。

1、抽芯距的计算

如图 4.19，侧凹距离 $S_2=2\text{mm}$

$$S_{\text{抽}} = S_2 + 2 \sim 3\text{mm} = 2 + 2 \sim 3\text{mm}$$

$$\text{取 } S_{\text{抽}} = 4$$

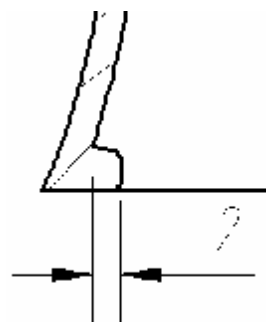


图 4.19 内侧抽芯距离

2、弯销的倾斜角 α 弯销的倾斜角通常取 $15^\circ \sim 20^\circ$ ，一般不大于 25° 。考虑到抽芯距离小，取 12° 。

- 3、最小开模形成和斜导柱工作部分长度。
- 4、最小开模行程： $H = S \cot \alpha = 4 \cot 12^\circ \approx 18.8mm$
- 5、弯销工作部分长度： $L_2 = H / \cos \alpha \approx 19.44mm$

4.10.6 弯销抽芯机构的固定及安装

该抽芯机构的固定机构包括：弯销锁紧，弹簧加型芯侧壁定位。如图

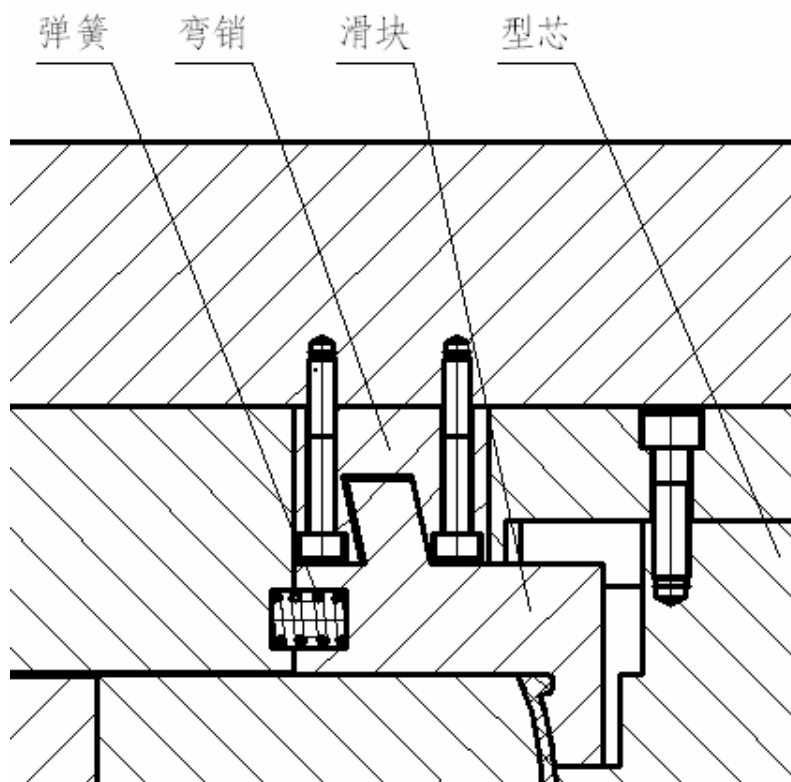


图 4.20 内侧抽芯结构

4.11 注射模温度调节系统

塑件体积较大，分别在两斜滑块和型芯使用冷却回路冷却。

4.11.1 斜滑块冷却回路的设计

由于斜滑块在开模过程中要向垂直分型面方向运动，所以外侧连接的软管也要跟着运动，输出水喉不能开设在斜滑块中部，这里开设在斜滑块顶部，并且模坯上开设逼空槽，使外置水管在运动过程中不会产生干涉。如图

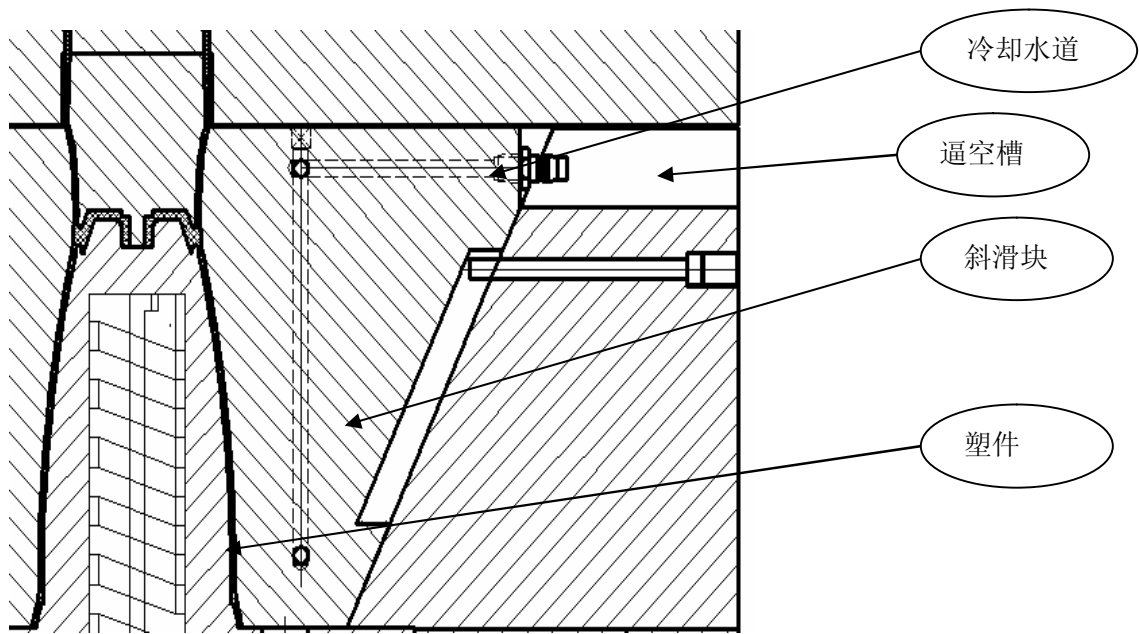


图 4.21 斜滑块冷却水路

4.11.2 型芯冷却回路的设计

塑件型芯深桶形状，四周冷却要求一致，因此在型芯开设带有螺旋水槽的镶件。如图

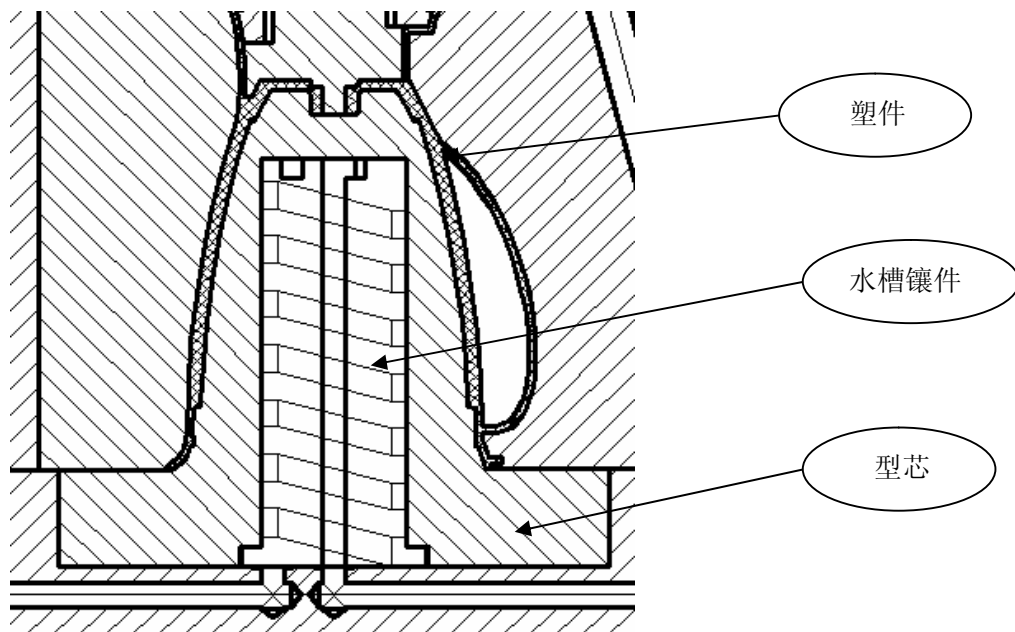


图 4.21 斜滑块冷却水路

4.12 模具装配图及其运动说明

4.12.1 模具的装配图立体图

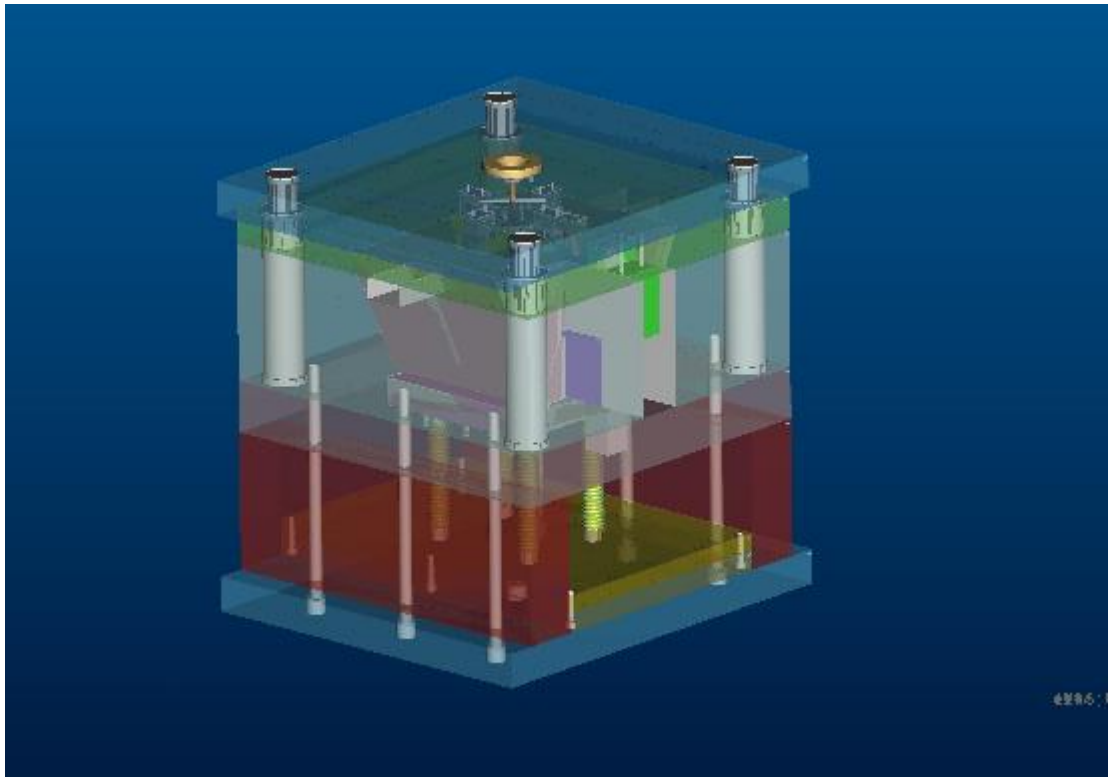


图 4.22 模具装配图

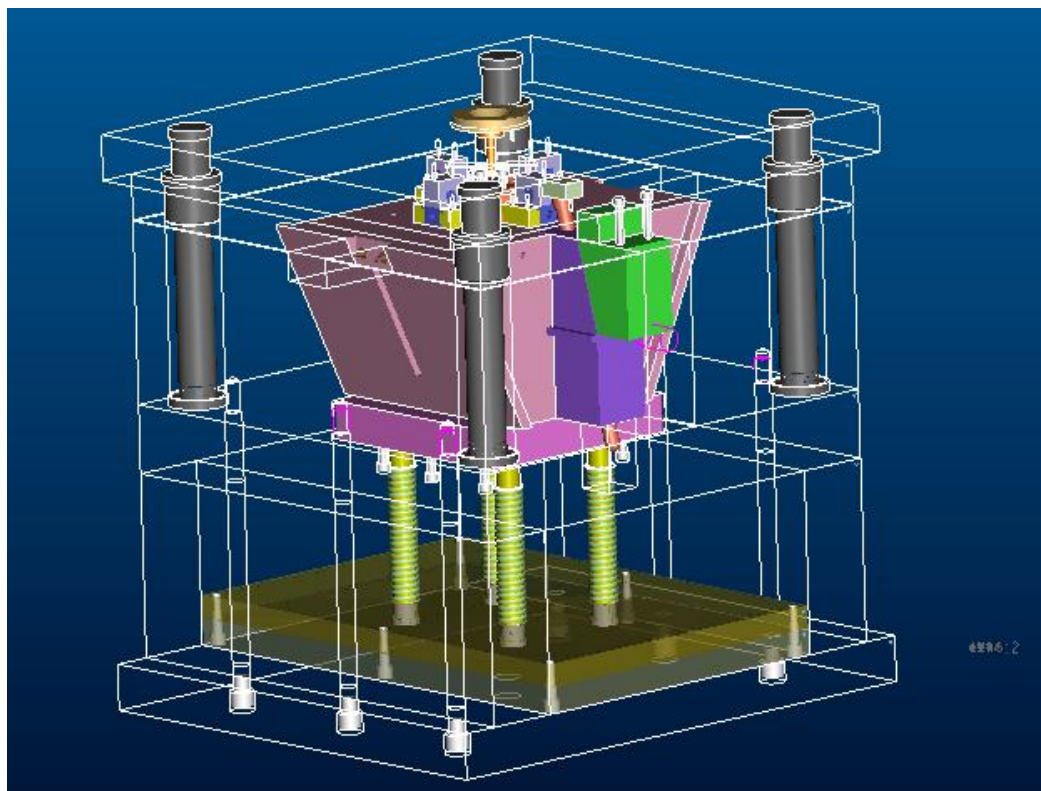


图 4.22 模具装配图

4.12.2 模具装配工程图

榨汁机杯身模具的装配工程图请参考图纸“BZ000”

4.12.3 运动说明

开模时，在限位螺钉弹簧的作用下，定模座板与定模板首先分型。在此过程中，有两个主要动作：

一是由于定模板上开设斜窝，故卡住分流道迫使其折损，拉断点浇口并带出型芯，同时浇口套上的弹簧托板，把主流道推出。

二是安装在定模座板上的弯销槽，在开模时拨动滑块，实现内侧抽芯

当限位螺钉起作用时，第二个分型面打开，定模型芯脱离塑件，接着推板上的四个推杆由于受到注射推出机构的推力，推动斜滑块沿着导滑槽运动，实现塑件侧凹抽芯的同时顶出塑件。

至此，一个开模周期完成。

结 语

榨汁机是小家电产品，零件的外形设计主要为曲面，本研究采用 Pro/E 三维建模软件进行特征分解，该软件基于特征以及参数化的特点使其具有强大的功能，能够解决这种特殊问题。在设计中使用 Top-down 的设计手法，使不同人员之间的并行工作得以实现，在整体设计上运用了骨架控制方式，各个组件参考到总的骨架模型上，使后续的设计更改能更快速有效的传递。

在结构设计中，综合考虑了产品的装配关系，功能效用，成型工艺三方面，运用 CAD 软件对产品进行了各种机构的设计。

在模具设计中，为获得高质量的产品，采用数值模拟与经验设计相结合的方法分别对榨汁机杯身和底座成型规律进行了探讨和研究，使整个模具的设计制造周期缩短，优化了模具的结构和工艺参数，大大减少了试模的次数，提高工作效率。在模具设计中综合利用 CAE 软件，方便的观测到塑件件的凝固、充模等过程，寻找出塑件可能出现的成型缺陷，从而在模具的工艺参数、塑件的尺寸形状性能特点之间获得最佳的匹配。

生产工具是生产力发展的标志，高科技的时代，全自动化生产是未来的趋向. 在产品开发的过程中，传统的设计已经满足不了生产速度的要求，在设计与制造行业中，计算机辅助软件是一把利器，能为公司在剧烈的竞争中创造效益。相信不久的将来，三维 CAD/CAM/CAE 的技术将更为成熟、企业的应用将更为之广泛。

参 考 文 献

- [1] 陈立亮, 材料加工 CAD/CAE/CAM 技术基础[M]. 北京:机械工业出版社, 2005: 1-3
- [2] 许鹤群, 唐泽顺, 张兆璞, 国内外 CAD 技术现状及其发展趋势[A] . 北京: 北京服装学院学报, 1992
- [3] 黄培. 我国 CAD 技术应用的状况与发展的思考 (DB/DL)
<http://www.sdau.edu.cn/gongyuan/srt/bluearrow/w/cad15.htm>
- [4] 李玉萍. 我国模具 CAD/CAM 技术的现状及发展[A]2005 年中国机械工程学会年会第 11 届全国特种加工学术会议专辑[C], 2005
- [5] 陈立亮, 材料加工 CAD/CAE/CAM 技术基础[M]. 北京:机械工业出版社, 2005: 1-3
- [6] 齐晓杰, 塑料成型工艺与模具设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005:80-89
- [7] 申开智. 塑料成型模具[M]. 中国轻工业出版社. 2005, 7: 34
- [8] 林旭东, 申开智, 开鹏驹. 塑料模型腔成型尺寸优化设计[J]. 塑料科技. 1999, 4 (2): 40
- [9] 李德群, 唐志玉. 中国模具设计大典第二卷轻工模具设计[M]. 江西科学技术出版社. 2003, 3: 70
- [10] 高为国. 模具材料[M]. 机械工业出版社. 2002, 6: 9
- [11] Hill S. Micromoulding-A Small Injection of Technology[J]. Material World. 2001, 7:24-25
- [12] Wichaelli and A. Spennemann. A New Injection Molding Technology for Micro Partsm. Journal of Polvmer Engineeerine[J], V21. 2001:87-98

致 谢

在本次毕业设计论文的撰写中，我的导师——陈绮丽老师给予了我悉心指导和热情鼓励，使我顺利完成了论文工作。她严谨的治学态度、渊博的知识和执着的敬业精神给我留下了深刻印象。她激励我克服困难，广泛涉猎新思想、新理论，不断地探求新的科学发展。同时，也让我懂得如何去踏踏实实地工作、勤勤恳恳地做人。本次毕业设计的工作量十分大，要完成榨汁机产品的整个产品开发过程，涉及的知识面很大，加之我的模具设计实践操作知识很少，在做课题的过程中遇到了很多困难，论文在陈老师的热心帮相下才得以顺利完成。

在此，谨向陈老师表示衷心的感谢和诚挚的敬意。

同时，感谢在做课题过程中为我提供便利和帮助的老师 and 同学们，

感谢班的所有同学们，感谢我们在一起度过的这段忙碌又愉快的时光。

在此，向所有关心和帮助过我的领导、老师、同学和朋友表示由衷的谢意！

衷心地感谢在百忙之中评阅论文和参加答辩的各位专家、教授！