

# 基于CAE技术的注塑模具设计 及其成形工艺分析

## Injection Mould's Design and Its Process Analysis Based on CAE

海南大学机电工程学院 刘世豪 郭志忠 李 粤 廖宇兰



刘世豪

博士,主要从事模具设计及其工艺优化的研究。

联合采用三维建模 CAD 技术和注塑模 CAE 仿真技术能够直接进行产品到注塑模具的设计与成形工艺分析,有利于减少试模,从而缩短产品的开发周期,降低模具的设计成本。

业在“十一五”期间的增长速度在 14%~16%,每年进口模具约占市场总量的 20% 左右,价值也已超过 10 亿美元,其中塑料与橡胶模具占全部进口模具的 50% 以上。因此,研究并掌握高效可行的注塑模技术是一项十分必要和迫切的任务,为了解决这个问题,本文结合近年来快速发展的 CAE 技术来探索注塑模具的设计与成形工艺分析技术,并结合实例进行应用分析。

### 注塑模 CAE 技术 及其研究现状

#### 1 CAE 技术及在注塑成形中的应用

计算机辅助工程分析(Computer Aided Engineering, CAE)是利用计算机模拟分析参数化几何模型物理性能的技术,能使设计者通过仿真方法对产品进行分析,进一步优化产品设计。在目前 CAE 技术的塑性工程运用上,主要包括结构力学性能分析、流体流场分析、热传分析、塑料注塑成形分析等<sup>[1]</sup>。注塑模 CAE 技术是以有限元法为理论依据的仿真分析,其分析模型是模具的几何模型曲面离散为三角形或四边形形式的网格模型。注塑模 CAE 技术可用于协助模具设计者在开模前和生产过程中了解熔体在填充、保压和冷却过程中

我国国民经济和社会的高速发展对模具工业提出了越来越高的要求,汽车、电冰箱、电脑、洗衣机、空调和彩电等行业各种塑料制件,建筑工程行业方面都会大大增加对注塑模具的需求量。近年来,我国的模具工业一直以每年 14% 左右的增长速度快速发展。我国模具行

的各种状态,包括温度、流速、应力及应变等的变化情况,进而根据这些参数适当地进行模具设计。

注塑成形分为如下两个阶段:开发设计阶段(包含产品设计、模具设计和模具制造)和生产阶段(包含选定材料、试模和成形)。传统注塑成形方法的主要步骤如图1(a)所示,图1(b)为现代模具开发的主要步骤。传统注塑方法是在正式生产前,由设计人员根据经验设计模具,模具装配完毕后,通常需要几次试模,在发现模具缺陷后,不仅需要重新设置工艺参数,而且还需要修改塑料制品的模具设计,这往往会增加生产成本,延长产品开发周期<sup>[2]</sup>。为了解决上述问题,本文提出采用注塑模CAE技术进行研究,该技术能提供从产品设计到生产阶段的系统解决方案,在模具制造之前,可预测塑料熔体在型腔中的整个成形过程,有效地防止成形缺陷的产生,从而缩短模具开发周期。

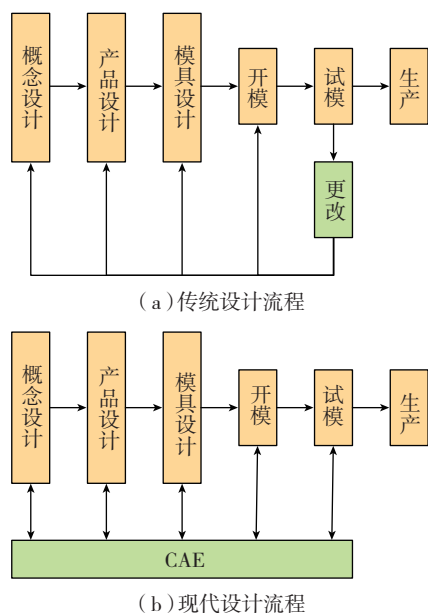


图1 传统设计方法与基于CAE的设计方法

## 2 国内外注塑模CAE技术现状

近年来塑料模具加工领域发展最快的技术是:通过对成形加工过程进行数值模拟,研究加工条件的变化规律,预测产品的力学性能,选择

产品材料、模具设计及工艺条件的最优方案,使成形加工从经验设计变为一门应用科学<sup>[3]</sup>。传统注塑模技术是一门经验技术,它的出现为快速解决注塑成形过程的工程实际问题提供了借鉴,如果对塑料加工过程中的传热以及在力和热的作用下所表现的物理、力学变化缺乏深入系统的了解,往往难以生产出优质的制品。注塑模CAE技术则是根据塑料加工流变学和传热学的基础理论,通过建立熔体在模具型腔中的传热数值模型,将动态流动过程在计算机上进行仿真分析。

1978年,美国推出了第一款注塑成形填充阶段的仿真软件Moldflow,20世纪80年代随着C-MOLD软件的推出和其他一些软件广泛用于注射成形,模具设计才成为一项基于计算机仿真的应用科学。20世纪90年代,欧美各国已将研究重点放在材料的粘弹性、复杂三维模拟、残余应力和固化现象等方面。此外,仿真计算方法在热成形、反应注射成形和气体辅助注射成形的工艺条件设定方面的应用,也成为研究热点<sup>[4]</sup>。据此可以预测,注塑模CAE技术将成为解决塑料模具设计中各类问题的有效手段。

国内开展注塑模CAE技术研究的起步较晚,但通过长期的努力与吸收国外软件开发经验与技术,取得了不少可喜的研究成果<sup>[5]</sup>。如华中

科技大学模具技术国家重点实验室自行研发了国内第一款注塑模CAD/CAM/CAE集成系统软件,浙江大学、上海交通大学、四川大学、大连理工大学、郑州大学、合肥工业大学和江苏大学等在注射模CAD/CAM/CAE系统研究方面也做了许多较好的研究工作。注塑模CAE技术的应用在国外已经十分普遍,但是在我国注塑模具设计领域,成熟的注塑模CAE技术的用户依然较少,注塑模CAE技术在我国的应用需要进一步推广应用。

## 注塑模CAE分析方法与技术流程

CAE是一个综合分析的系统过程,其核心技术是工程问题的模型化和数值仿真方法<sup>[6]</sup>。CAE技术的实现载体是软件产品,分为专用软件与通用软件两类:针对特定类型的工程或产品所开发的用于产品性能分析、预测和优化的软件称为专用CAE软件,能对多种类型产品的力学性能进行仿真分析、预测、评价和优化的软件则称为通用CAE软件。因此,注塑模CAE软件属于专用软件。

通常CAE软件架构可以分为三大组成部分:前处理器(Pre-Processor)、求解器(Solver)和后处理器(Post-Processor)。前处理器的功能是建立几何模型、划分网格、定

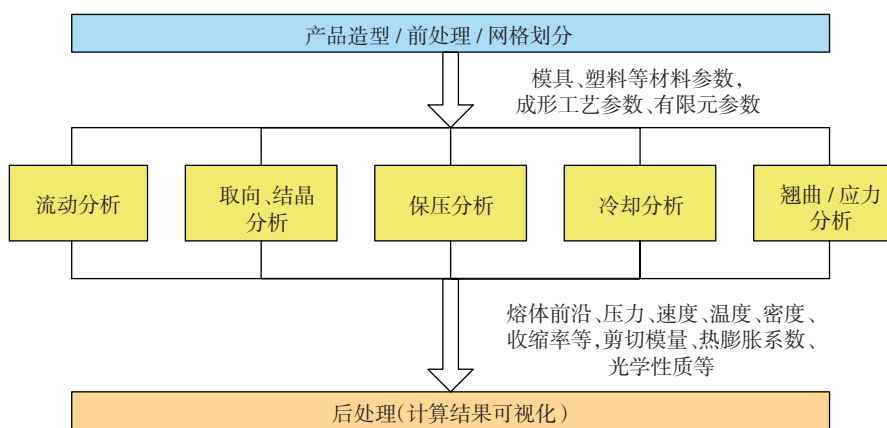


图2 目前常见的CAE软件结构

义单元类型与材料参数、设定边界条件等。求解器读取前处理器的输入信息,结合输入条件,运用数值方法进行求解。后处理器将求解后的大量数据有规则地在计算机上进行动画或图形化处理,以方便设计者直观地分析计算结果<sup>[3]</sup>。目前,常见注塑CAE软件的框架结构如图2所示,按成形工艺过程的特点,分为流动、保压、冷却、残余应力和翘曲分析等软件模块。

注塑模CAE技术可以通过改变几何模型数据\*.msh文件、材料性能参数\*.mat文件和成形条件\*.pro文件,形成不同的方案组别,模拟不同的设计方案或参数变化,分析出影响产品质量的主要条件或参数,注塑模CAE技术分析的基本技术流程如图3所示(虚线表示其他可能的步骤)。

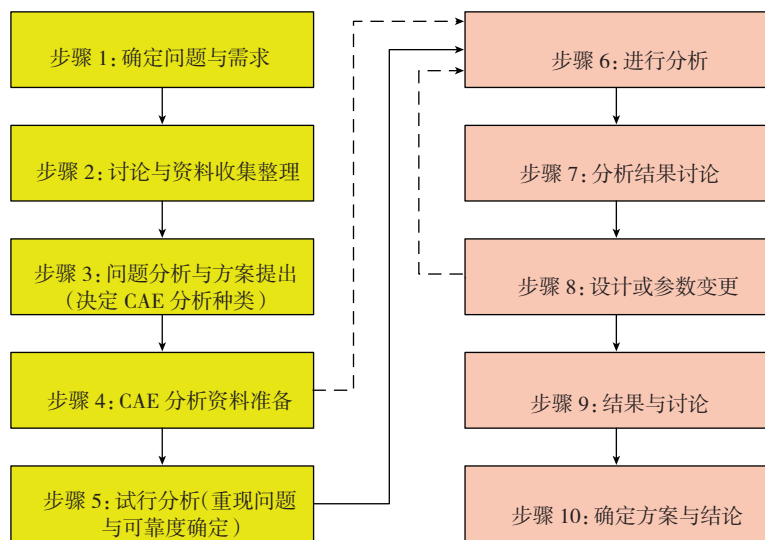


图3 CAE技术分析的流程

根据图3可以得到,步骤1~3主要用来确定研究对象,如应用动态分析方法解决塑料模具欠填充的问题,用保压分析方法解决薄板密度不均匀问题,用冷却分析方法解决内应力过大问题,用流动、保压、翘曲分析方法解决成形尺寸不佳的问题等;步骤4~7则主要用于完成注塑模CAE技术对所研究问题的解决与成形工艺分析。

## 注塑模CAE技术的实例应用

为了验证上述注塑模CAE技术的可行性和合理性,本文结合实例进行研究,并且探索注塑模成形工艺过程的内在规律,为实际的注塑模生产提供理论依据。

### 1 建模与前处理

本文的研究对象为图4所示的一种塑件,该塑件的整体结构尺寸为225mm×52mm×38mm,形状较为复杂,有较高的柱状凸起,本文采用Moldflow软件对其成形性能进行仿真分析。

先将其3D模型转化为stl格式文件,然后导入Moldflow,采用Fusion网格进行划分,如图5所示。

对划分网格后的模型进行处理,

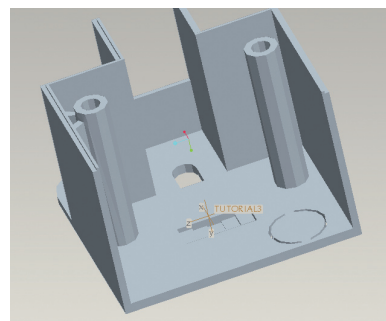


图4 塑件的3D模型



图5 划分网格后的模型

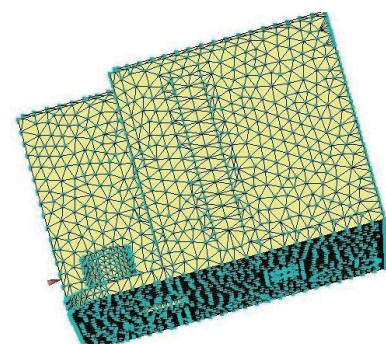


图6 进浇口位置的确定

首先,采用Moldflow进行最佳浇口位置的分析,经过仿真计算后得到理想的浇口选择区域。由于考虑到脱模方向为沿柱状方向,而且该产品采用的是一模两件,全面考虑各个方面,最后浇口位置定为如图6所示,其采用的是侧浇口进胶方法。

### 3 浇注系统与冷却系统的建立

采用软件中的型腔复制,构造两个对称的模型,利用Modling中的Runner system wizard建立浇注系统如图7所示。其中,主浇道为7mm,锥度为标准的2.38,长度为56mm,分浇道为6mm,浇口为4mm,侧浇口的锥度16°,呈现50°的倾角。

下一步是建立冷却系统,过程

包括自由边的处理,纵横比的修复,处理相交和重叠的单元,调整单元取向使其一致,网格处理完后,所得到模型网格的单元数为357243,网格的匹配率达到87.9%,而通常仿真计算的网格匹配率需要在85%以上。因此,本文的分网和计算方法较为准确,能够用于后续的仿真求解与成形工艺分析。

### 2 浇口位置的仿真分析

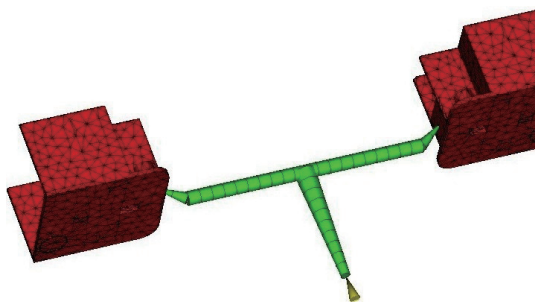


图7 带浇注系统的两腔模

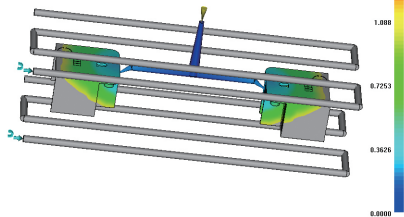


图10 时间为1.07s时的填充图

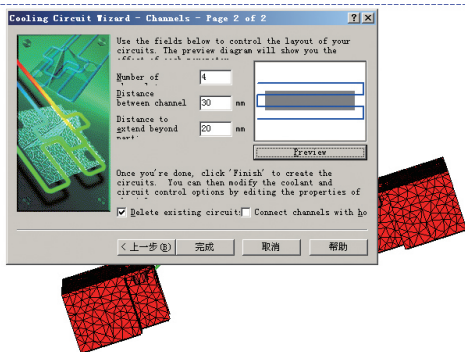


图8 冷却水道的建立过程

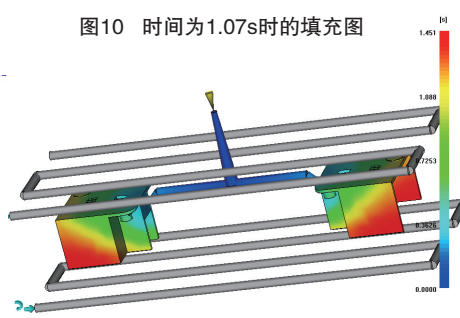


图11 时间为1.449s时的填充图

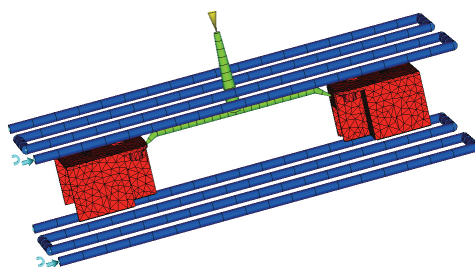


图9 带浇注系统及冷却水道的模型

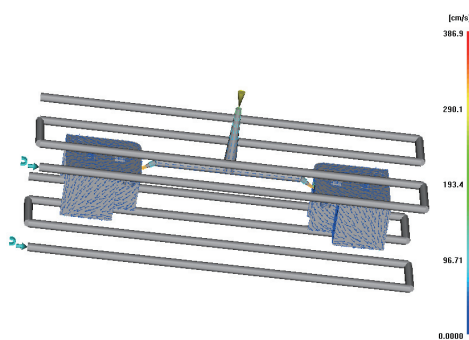


图12 流程图分析(平均速度)

如图8所示,以 Modling 中的 Cooling circuit wizard 向导建立 4 条冷却水道,根据模具的设计要求,确定水道距离塑件 20mm,如图9所示。

#### 4 填充过程的仿真分析

本次分析只研究填充过程,即 Filling 过程,选择分析的塑件材料为 Polylac PA-737,分析工艺条件采用默认值,即模温为 65℃,熔体温度为 226℃,填充控制、速度压力控制转换为自动设置,保压控制为填充压力与时间的关系,采用默认值,仿真分析完成后得到如图 10~12 所示的结果。

由上述分析结果可以得到,塑件

填充主要为平衡填充,流动前沿同时到达流程最长的部位,填充时间为 1.449s;在接近柱状特征处有熔接痕,但熔接痕比较小;困气状况在边缘处较为明显。模具设计中应该开设排气槽,根据熔体的流程图 12 也可看出,填充过程无短射现象,也没有明显的滞留及潜流现象。

根据填充结果可以认为塑件模具的浇口设置较为合理,所得产品成型质量有保障,根据 Moldflow 软件还可以进行翘曲和冷却分析,从而调整工艺参数,能够为模具设计者提供一定的尺寸和工艺参数参考。因此,本

文的实例研究证明了所设计的注塑模是合理可行的,并且本文提出的注塑模 CAE 仿真技术具有较高的工程实用价值,有助于减少实际的试模或修模,从而降低研发成本。

#### 结束语

本文详细介绍了注塑模 CAE 仿真设计与成形工艺分析技术,在 Moldflow 软件中结合实例进行了应用。采用 Pro/E 软件建立了产品三维模型,创建模具和分型面,并将其导入到 Moldflow 软件中进行了工艺过程的仿真分析。本文的分析结果表明,联合采用三维建模 CAD 技术和注塑模 CAE 仿真技术能够直接进行产品到注塑模具的设计与成形工艺分析,有利于减少试模,从而缩短产品的开发周期,降低模具的设计成本。本文的研究拓展了 CAE 技术在注塑模具领域的应用范围,对其他各类模具的设计与制造具有借鉴意义。

#### 参考文献

- [1] 邹用生. 基于流动模拟的注塑成形浇注系统优化设计与缺陷控制[D]. 杭州: 浙江大学, 2005.
- [2] 黄晓燕. 注塑模浇口位置的优化设计[D]. 成都: 西南交通大学 2004.
- [3] 朱洪艳. 薄壳件注塑成形的计算机模拟及工艺参数优化[D]. 成都: 武汉理工大学, 2004.
- [4] 郭楠, 曾珊珊, 张娜. 双色手机注塑模设计. 热加工工艺, 2009(3):134-135.
- [5] 王建和, 史玉升, 魏青松, 等. 灌水器注塑模浇注系统计算机辅助设计. 农业机械学报, 2007, 38(5):66-68.
- [6] 陶永亮. 斜齿轮注塑模脱模机构设计. 制造技术与机床, 2013(5):32-35.

(责编 深蓝)