

# 塑料注塑模具 CAD 概略

吴清文 王 莉\* 马建旭

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春130022)

(\* 中国第一汽车集团公司化油器厂机修车间, 长春130031)

**摘要** 概述了计算机辅助设计(简称 CAD)在塑料模具行业中的应用情况, 简述了计算机辅助注塑模具设计的内容和基本要求, 并提出了塑料模具 CAD 在我国的应用对策。

**关键词:** 计算机辅助设计; 注塑; 模具

## 1 引 言

塑料材料包括热塑性塑料和热固性塑料两种。热塑性塑料在常温下不会变形, 且不呈现可塑性, 而适当加热可呈现可塑性, 冷却后硬化定型。它由温度引起的性质变化是可逆的, 加热时分子的结构和形状不会发生变化。这种材料有尼龙、聚甲醛、聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯等。热塑性塑料产品按制品性质和特点可能使用注塑成型模、挤出成型模、吹塑成型模和真空成型模等几种主要模具。热固性塑料加热后呈粘流态或软化后呈现可塑性, 同时发生化学变化, 原料分子能互相结合变成一种不溶不熔的材料, 这种变化是不可逆的, 一次加热硬化了的塑料不可能恢复其原来的状态。酚醛树脂、环氧树脂、尿素树脂、三聚氰胺等属于热固性塑料。热固性塑料制品主要由压制成型模和压铸成型模压制而成。这里仅就热塑性塑料常用的加工方法——注塑成型法的计算机辅助设计进行探讨。

注塑成型法需要注塑模具。注塑模具占各种塑料模具的50%以上<sup>[1]</sup>, 分为阴模和阳模, 包括浇口、流道、型腔和模架等部分。阳模具有注塑口, 模内一般有一个或几个分流道, 视同时注射制品的数量而定。注塑模具主要用于加工成型不连续的、形状相对复杂的制品, 用得最多的是聚乙烯及其共聚物; 抗冲聚苯乙烯、苯乙烯-丙烯腈共聚物、苯乙烯-丙烯腈-丁二烯共聚物等, 另外聚烯烃-低密度聚乙烯、高密度聚乙烯和聚丙烯也广泛采用注塑加工。

对塑料成型模具有如下技术要求<sup>[1]</sup>:

- ①型腔表面抛光以保证制品外观, 便于脱模;
- ②型腔镶件接合面应密合, 以免树脂注入后出现毛刺或胀坏模具;
- ③保证模具各配合件间的配合精度及型腔尺寸精度;

④表面抗蚀耐磨;

⑤模具体具有足够的强度、韧性和耐热性能,长期使用不发生脆断或早期塑性变形。

## 2 CAD 在塑料模具行业中的应用

随着工程技术的需要和材料科学的不断发展,塑料制品越来越受到人们的青睐,“以塑代木”、“以塑代钢”的趋势越来越明显。我国塑料加工工业在改革开放方针的指引下,制品产量大幅度上升,1991年产量为433.3万吨,比1990年增长20.9%,1992年增至536.8万吨,比1991年约增长21%<sup>[2]</sup>。塑料作为新型的合成材料,由于重量轻、耐水、耐化学腐蚀,外形美观,制造、安装方便,广泛用于国民生产的各部门。塑料制品的大量使用推动了CAD技术在塑料行业的不断发展,CAD与CAM的结合使模具生产全盘自动化,更是塑料制品生产的重大技术革命<sup>[1]</sup>。

在国外,塑料机械工业中大量使用CAD技术始于七十年代末期,首先是在模具(die and mould)设计和制造部门。目前国外的模具CAD/CAM技术已经达到相当高的水平。据前西德联邦贸易部在1981年的报导,西德25%的模具(机头)是采用CAD/CAM技术设计和生产的<sup>[3]</sup>。美国塑料行业的CAD/CAM技术的发展也极为迅速,其CAD软件销售量以每年30%的增长率上升。英国67%的塑料模具是用CAD技术设计的<sup>[3]</sup>。据国际生产研究协会预测,到2000年作为设计和制造之间的联系手段,图纸将失去其主要作用<sup>[1]</sup>。我国也已提出了到2000年取消图纸并培养出掌握CAD的工程技术人员200万的目标,在各地已建立了CAD培训基地网点。

世界上第一套塑料模具CAD软件是澳大利亚MOLDFLOW公司于1976年推出并以公司名字命名的MOLDFLOW。目前MOLDFLOW已经发展得比较完善,实现了对注塑过程的模拟、设计原理的应用和精确计算,并逐步优化模拟过程,使设计工程师在产品阶段可以在计算机上“制造”塑料产品,并能灵活地适应市场需求的变化。应用MOLDFLOW公司的技术已经在世界范围内成功地设计出了上万副模具。继MOLDFLOW之后美国康奈尔大学、德国的亚森(Aachen)技术大学、美国的C.V.公司、MCAP公司、日本的CAD-M公司等也相继开发了塑料模具CAD/CAM系统。第一套塑料模具CAD/CAM经过数年努力研制而成,于1982年推出,它就是后来称为GRAFTEK的系统<sup>[4]</sup>。塑料模具CAD/CAM的应用带来了巨大的社会效益和经济效益。据报导,美国Prototype & Plastic Mold公司采用了Computool公司的CAD/CAM系统后,一年内生产效率提高了一倍,节省了35%的准备时间,制造周期平均缩短了30%,材料节省了10%,模具成本降低了10%~30%<sup>[3][5]</sup>。

国内部分科研单位、大专院校也在塑料行业开展了CAD技术的研制和开发工作。据《模具工业》(1993年第1期)报导,华中理工大学国家重点实验室叶显高、李德群、肖景容等研制成功了“实用化注塑模CAD/CAE/CAM微机系统HSC1.1”;北京化工学院进行了注塑充模过程计算机仿真<sup>[5]</sup>;其他部分企业科研单位也做了一些探讨工作,并且收到了一定的经济效益<sup>[7][8]</sup>。总的来讲我国塑料模具CAD仅仅处于开发使用初期,目前还是以软件引进为主。

## 3 注塑模具CAD的基本内容和要求

塑料注塑成型时将物料加入到加热料筒的加料装置中,料筒中设有由注射油缸带动的柱

塞,可将物料送到料筒的加热区。物料在加热后软化并被继续加热到所要求的温度,柱塞移动时热塑性塑料融体在压力作用下被注入闭合的模具中。融体经保压、冷却后硬化成型为所需制品。注塑模具 CAD 就是要利用计算机软件对塑料制品的成型过程中充模、保压、冷却和收缩等进行模拟仿真、计算分析,确定其在当前加工条件下时间历程中的各种状态,考虑依赖于时间和温度的聚合物的流动行为和不同生产方法的边界条件,进行流变学设计、力学设计和热设计<sup>[5,19]</sup>。这需要计算机辅助工程(CAE)技术。CAD 和 CAE 的关系如图1所示。CAE 基于 CAD,必须面向用户,考虑材料、结构等相关因素。CAD 完成几何模型的建立和部分 CAE 前处理工作,CAE 的结果又反馈给 CAD,如此循环往复,从而实现塑料制品模具的优化。目前较实用的 CAD 软件有 STRIM、UGII 等,专用的 CAE 软件有 MOLDFLOW、CADMOULD、CFLOW 等。它们较适合的典型模具有单型腔模具、多型腔模具、无流道模具和热管模等。目前大多数 CAD 软件都有与某些 CAE 软件的接口,能够完成有限元网格生成和基于 FEM(有限元法)、BEM(边界元法)等计算方法的前处理等工作,如 UGII 就有与 MOLDFLOW 的接口。如果没有现成的接口,则一般可以通过 IGES(基本图形交换规范)进行 2-D、3-D 的包括几何特性、尺寸和结构特征参数等的的数据交换。

一套比较先进的注塑模具 CAD 系统不仅能设计制品的零部件,还能对零件结构及模具结构进行分析计算,从理论上模拟充模过程和热力学过程,拷贝各种制造文件,进行成本设计计算等等。其共同特点是具有内容丰富的数据库,有完善的计算程序包及功能较强的图形处理软件。下面简述注塑模具 CAD 关于流变学、传热学和力学设计的基本内容。

#### ①流变学设计

如仅考虑一种基材,则熔体的流动行为决定于:剪切速度和剪切应力以及熔体温度、熔体中的静压力、分子量以及分子量分布,并且也决定于诸如填料、润滑剂等添加剂。流变学设计就意味着从流动特性的观点进行模具设计。经证明,由经验发现的 Ostwald 和 de-Waele 幂律定律是有价值的。

填充模式、压力消耗、温度分布和应力(剪切速度和剪切力)均要进行分析计算。流变学设计包括两部分内容:首先注塑模具中流道系统必须平衡,特别对于多型腔模具,冷管或热管的调节具有较强的的重要性。只有流道平衡,所有型腔才能在同一时刻开始其填充过程。其次是基于流动条件进行型腔设计。

填充模式能体现浇口数量及其位置、模具几何布局的影响。根据所有流动路径上压力降相等的要求可以推导出决定填充模式的简单几何条件。由此开发出了一种图形法——填充模式法<sup>[9]</sup>。这种方法能够给出作为时间函数的融体位置,可以以较高精度预测熔接处(力学薄弱环节或光学不规则斑)和空气阱的位置,还可以优化浇口。通过使用不等长度路径和不对称几何布局可以实现多型腔模具的均匀填充。

通过求解冲击和能量的转换方程以及与流动相关的其它方程的联立方程组可以计算出融

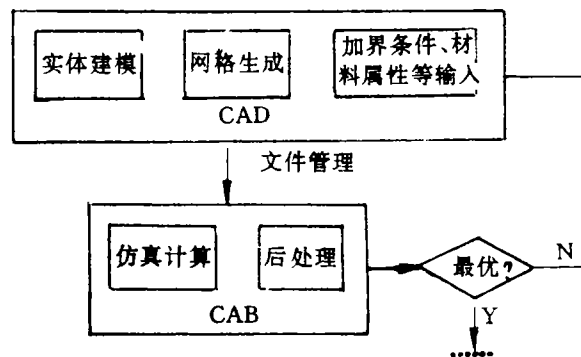


图1 CAD和CAE的关系示意图

体中温度和压力分布,以及发生在局部的剪切力和壁面剪切应力。这一过程需要对材料的流动行为进行较准确的描述。通过这些参数的计算,可以找到优化的工艺参数。经验表明,为使模具成型过程中冷却条件相对一致,最大温差不能超过 $20^{\circ}\text{C}$ ,剪切速度不要超过 $2000\text{s}^{-1}$ ,这样能减少收缩和收缩差异<sup>[10]</sup>。

适合填充分析的对象有<sup>[4]</sup>:自身流道系统不平衡的模具、无流道模具、不对称零件的模具、可能需要多浇口的大型零件的模具、薄壁或变壁厚零件的模具和具有复杂填充模式的模具。

### ②传热学设计

越来越多的塑料制品生产者认识到不仅流变学设计而且特别是热设计计算对产品的经济效益和成型质量起着决定性作用。但是直到八十年代末期依然没有满足塑料技术的这种特殊要求的专用或通用计算机辅助程序,不能描述发生在模具和融体之间的2-D或3-D热传递过程。要进行热设计时只能借助于如Abaqus或MSC/Nastran等通用FEM软件包,其缺点在于不能或很难考虑塑料材料特殊的热传递条件。目前MOLDFLOW已经解决了这一问题,用于冷却(热传导)和冷却回路的分析模块Cooling可用于改进冷却管路布置和冷却介质参数。热设计不仅用于大型塑料制品,而且应用于对收缩较为敏感的成型过程和接近制造公差的产品。与热设计有关的材料热力学参数有:密度和比容、导热系数、比热容、热扩散系数、比焓等。

进行塑料制品成型过程热设计计算的CAD软件必须满足以下要求:至少能够考虑2-D非稳态热传递过程;有能力考虑钢和塑料之间的极限传导率;通过使用特殊的单元考虑相关的几何条件;以内部热源或散热点的形式引入化学变化;能够包含不同的热传递条件和方式;能够描述材料的热传递数据对聚合物的依赖性;必须考虑不同的初始条件(即冷的模具和热的成型化合物)。

热设计的具体内容:冷却及周期计算;热流(对流、传导、辐射)计算;冷却管道尺寸及其布局计算;冷却单元计算;温控用传感器最佳位置确定;模具中温度分布计算。

在模具设计和工艺优化方面利用CAD进行热设计具有较大的潜力,在注塑成型过程中高达90%的时间用于冷却,优化模具的传热状态对整个工艺过程的经济效益具有重大影响。热设计必须达到如下目的:尽可能准确地给出所需模具平均温度;模具型腔表面尽量一致;能获得最短的设计、制造周期适应市场需求,提高经济效益。

对于箱体型制品,同一冷却条件下成型过程中角落处内外部的冷却有相当差异。外表面散失的热量较多,使得残余熔体不再是在中性层而向内表面移动,从而内外表面产生不同的收缩,导致较高内应力。卸模后应力释放会引起翘曲。通过改变冷却方式、管道布置及管道尺寸、冷却液种类及其流速来调整残余熔体位置使收缩几何对称,可以避免这种翘曲。

### ③力学设计

与可看作理想弹性体的金属材料相比,塑料材料的力学行为很难描述,这主要是由于塑料即使是在其工作温度下也呈现出粘弹性。这就意味着外部做功一部分转化为弹性应变,另一部分转化为热,以致于材料开始流动,该塑性变形的比例直接依赖于材料内部已经存储的能量的多少。材料最终的应变不仅决定于外载荷的大小,而且很大程度上依赖于过去的受力情况,材料温度和先前的传热受热情况。

其它较重要的影响因素是环境因素,它表现为辐射和化学结构上的扩散,影响塑料材料的力学行为。由此而引起的物理现象,如微裂纹或膨胀应力等,不能直接做理论化处理。在描述塑料零件的力学行为时又特别是复合材料的压制成型过程中纤维或纤维层的定向用于提高材料

的强度和刚度时,必须考虑通常被忽略了的材料对方向的依赖性。非线性程序如 Abaqus 能够考虑各向异性材料的力学行为问题。所能遇到的较大的难题是由于冲击载荷引起大变形的塑料零件的力学行为的可计算性。这种塑料的内部固有的非线性和由于几何结构引起的非线性将叠加到一起。

通常在计算时,先抛开上述的各种问题假设为纯弹性问题,得到一个粗略的估计结果后再进行细致计算。

模具力学设计不仅是模具质量问题,还是加工可靠性问题。有两个致命因素能使模具的操作处于危险状态:A 常常发生不可接受的变形,以致于模具分型面界面间隙太大而使塑料溶体往外透渗。型腔过压将导致这种“决泄”变形;B 模具压力过高使型腔扩张,聚合物的热收缩不再能容许膨胀恢复,结果在开模时模具和制品均有应力(残余压力),这可导致某些卸模问题。另外这种内部正应力将影响到制品表面,引起应力断裂,久而久之扒模面失效(如产生沟痕)或尺寸发生变化。模具力学设计要求保证型腔变形和分型面间距保持在其极限范围之内。极限分型面间距是依赖于几何特性而固定的<sup>[10]</sup>,而型腔极限变形却需要首先确定。

在注塑模具设计和制造中引入 CAD/CAE 技术,将带来比较显著的效益:A 降低成本。塑料的成型特性较大程度上受生产条件的影响,注塑成型需要在设计早期就有接近于能够投入生产的模具,所以在屏幕样机阶段就要对模具提出较高的要求。这笔费用超过了传统详图设计的费用,但它远非是不可修正流道系统和纯粹由经验设计带来的修正费用。注塑模具开发经验表明,使用流变学、传热学、力学设计软件后,特别是对大型模具和流变学特性至关重要的零件,刀具修正的费用将显著降低。B 缩短模具、产品开发周期。节约大部分结构设计时间;修模时间大幅度减少;同时提供了较大的修正可能性,进而使模具的不可修复性冒险大大减少。C 提高产品质量。

计算机辅助设计、分析软件不仅提供成型过程的总体信息,而且给出每一点的局部特性,如温度、应力分布等,这样就可以判别出如冷却阶段温度是否均匀分布等等。通过改变边界条件、进行数值模拟,可以避免(至少可以减少)实际产品中的薄弱环节。

## 4 塑料模具 CAD 应用对策

不仅注塑模具 CAD 在国内得到了应用,挤塑模具 CAD 工作也得以开展:合肥工业大学研制了挤塑模具 CAD 系统,在其协作单位得到应用;哈尔滨工业大学和哈尔滨塑料机械模具厂合作开发微机用塑料异型材挤出模具 CAD 软件<sup>[11][12]</sup>。CAD 技术的应用使塑料挤出模具的设计从经验类比发展到依靠流变学、传热学、挤出工程原理等基础科学理论进行设计,大大提高了模具设计水平,同时又取得了良好的经济效益<sup>[9][13][14]</sup>。

塑料模具 CAD 技术在我国已有了良好的开端。随着机械、电子、建筑等行业对产品质量要求越来越高,更新换代周期越来越短,市场竞争机制的引进,中小企业对 CAD 的要求越来越迫切。可以预计,一个大量推广、使用 CAD 技术的时代即将到来。目前我国尚不能提供大量适用的 CAD/CAM 系统,面对广阔的市场,我们应立足于国内,发展我国自己的 CAD/CAM 技术,形成我国自己的 CAD/CAM 产业结构<sup>[17]</sup>。

加强国产 CAD 软件的商品化

CAD 软件的商品化需要有一套软件立法和软件市场环境。目前我国对软件的价值认知

还不够,脑力劳动的价值尚未得到社会的充分承认,另外管理和技术环境较差,使得CAD技术的经济效益难于充分发挥和体现。为此建议从资金、价格、税收等方面对CAD软件的商品化制定优惠政策,尤其是那些确实能够替代进口的CAD软件和系统给以重点扶持;从行政上和经济上鼓励优先购买国产CAD软件;加强中低档CAD的出口。

通用与专用CAD相结合,高档与低档CAD相结合,重点推广国产微机CAD系统

在消化引进国外软件的基础上,开发出能够覆盖多产品设计要求的塑料模具CAD软件系统,这样不仅费用少而且效率高。

适当配备以工作站为基础的解题规模大、开发性能要求高的CAD软件和系统,重点开发以微机为基础的适合于在中小企业中使用的软件。以UNIX为操作系统、以Intel 80386、80486及其以上性能的CPU为中央处理器的微机可以作为塑料模具CAD的主要工作平台。

### 参 考 文 献

- [1] 任鸿烈,冯良为,塑料成型模具制造技术. 武汉:华中理工大学出版社,1989
- [2] 张孝传,塑料加工行业情况及面临的任务. 塑料科技,1994(1):1-5
- [3] 陈嘉壁,计算机辅助设计(CAD)在塑料机械中的应用. 塑料机械,1988(1)
- [4] D. Schuder and S. Caren Mold Design with CAD/CAM/CAE, Society of Plastics Engineers Technical Conference. ANTEC '89,1258-1261
- [5] 胡祖宣,郭宜斌,微型计算机辅助设计系统. 北京:科学技术文献出版社,1988
- [6] 郑坚强,张 政,注塑充模过程的数值模拟及计算机图形显示. 北京化工学院学报(自然科学版),1993, 20(3)
- [7] 陈飞翔,计算机系统在注塑模具设计方面的应用. 工程塑料应用,1993,21(3):35-37
- [8] 吕云伟,唐志玉,注塑模浇注系统流变学设计. 模具工业,1993(2):27-32
- [9] J. Schmidt, Munich, Use of CAE in the Design of Plastics Compnoents. Kunststoffe, 1988, 78(2):109-111
- [10] P. Thienel, P. Jehn and B. Holthoff, Ludenscheid, Computer-Aided Design of Moulds. Kunststoffe, 1992,82(4):303-307
- [11] 王世杰,吴清文,杨 斌,聚合物挤出过程口模膨胀的研究. 塑料科技,1993,(5):1-3
- [12] 吴清文,王世杰,异型材挤出模具口模成型段长度的确定. 塑料科技,1994,(1):26-29
- [13] Floutier, CAD/CAM System for the Mold Industry. Society of Plastics Engineers Technical Conference, ANTEC '89,1255-1257
- [14] M. Rosen, A Feature Based, Parametric, CAD Mold Design Program Described. Society of Plastics Engineers Technical Conference, ANTEC '89, 1251-1254
- [15] H. Potente and H. Stenzel, Paderborn, Computational Design of Sprial Shearing Sections. Kunststoffe, 1991, 81(2) 153-156
- [16] Kevin R. J. Ellwood, T. C. Papanastasion and J. O. Wilks, Three Dimensional Streamlined Finite Elements; Design of Extrusion Dies, International Journal for Numerical Methods in Fluids, 1992, 14: 13-24
- [17] 薛炎华,计算机辅助设计动向及其对策. 电子与自动化,1993,(3):1-5

## An Outline of CAD on Plastical Injection Dies & Mould

Wu Qingwen, Wang Li and Ma Jianxu

*(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)*

### Abstract

The application of CAD in plastical dies & mould industry is narrated in brief. The basic content and requirement of CAD on plastical injection dies and mould is shown in this paper, the applying strategies of CAD on plastical dies and mould are also mentioned.

**Key words:** Computer Aided Design (CAD), Injection, Dies & mould