

多型腔注射模浇注系统优化设计

余晓容 申长雨 陈静波 刘春太

(郑州大学橡塑模具国家工程研究中心, 郑州 450002)

摘要 以所有型腔同时充满获得平衡的流动模式为目标, 提出了一个自动平衡多型腔注射模的算法。利用流动模拟结果, 在流道布置及浇口尺寸确定后对分流道尺寸进行优化。算例表明, 给出的优化模型和求解算法是有效的。

关键词 多型腔注射模 浇注系统 优化设计 流动平衡

在注射过程中, 由流道和浇口构成的浇注系统引导塑料熔体从喷嘴进入型腔, 它的设计合理与否对塑料件的质量和生产效率都有决定性影响^[1]。对于图1所示的具有自然平衡布置的浇注系统, 设计流道布置和浇口尺寸都非常简单。但是通常模具型腔相当复杂, 且从节省能源等方面考虑, 即使是具有一致型腔尺寸的多型腔模具也无法保证流道设计能自然平衡, 而且对于家族制模具(即一组具有不一致型腔尺寸的多型腔模具)就更无法采用自然平衡流道设计了。对于图2和图3所示的非自然平衡布置的多型腔浇注系统和家族制模具浇注系统, 设计者所关注的是如何在短时间内合理调节流道尺寸使流动尽快达到平衡。

估算流道和浇口尺寸(一般尽量先把尺寸设计得小一些)^[1,2], 然后通过不断试模来调整流道和浇口尺寸, 直到基本满足要求为止。但这个过程费时、成本高, 且并不能保证制品质量, 甚至有可能导致模具报废。随着数值模拟技术的不断完善和发展, 它已经可以较好地再现熔体在型腔中的流动行为。因此如何将该项技术和优化算法相结合用于模具设计、工艺参数设计, 则是现在这一研究领域的“热点”问题^[3-6]。笔者现试图将数值模拟技术和优化算法相结合, 以所有型腔同时充满达到流动平衡为优化目标, 在流道布置及浇口尺寸确定后对分流道尺寸进行优化设计, 并通过两个算例验证算法的有效性和正确性。

1 充填过程数值模拟技术

塑料熔体在三维薄壁型腔内的流动属于带有运动表面的粘性不可压缩流体的流动, 忽略垂直于流动方向的速度分量, 可采用广义的 Hele-Shaw^[7] 流动模型来描述:

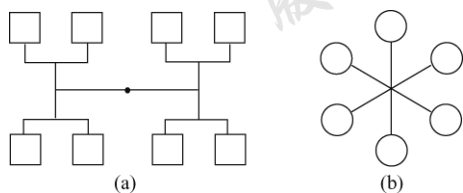
$$\frac{(\bar{b}\bar{u})}{x} + \frac{(\bar{b}\bar{v})}{y} = 0 \quad (1a)$$

$$\frac{P}{x} - \frac{1}{x} \eta \frac{u}{z} = 0 \quad (1b)$$

$$\frac{P}{y} - \frac{1}{z} \eta \frac{v}{z} = 0 \quad (1c)$$

$$\rho_p \frac{T}{x} + u \frac{T}{x} + v \frac{T}{y} = K \frac{T}{z^2} + \eta \dot{\gamma}^2 \quad (1d)$$

式中: u 、 v 分别是 x 、 y 方向的速度分量; $\bar{u}$ 、 $\bar{v}$ 分别是 u 、 v 在 z 向的平均值; b 是型腔半厚; P 、 T 、 ρ 、 c_p 、 η 分别是压力、温度、密度、比热容和剪切粘度; $\dot{\gamma}$ 为剪切速率。考虑到塑料熔体剪切变稀行为, 粘度模型可采用与温度相关的五参数 Cross 粘度模型。可以认



a—H形布局; b—圆形布局

图1 自然平衡布置多型腔浇注系统

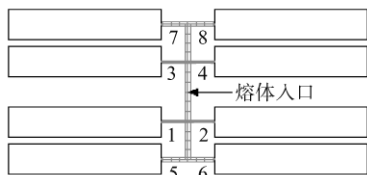


图2 非自然平衡布置多型腔浇注系统

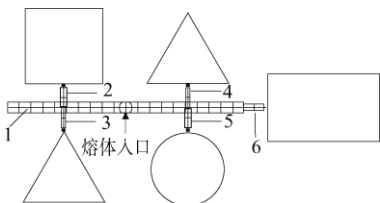


图3 家族制模具浇注系统

目前, 大多数模具设计者还是采用试错法来设计浇注系统, 即首先根据经验或一些设计公式大概

为, 压力边界条件在熔体入口处为给定的注塑压力 $P_E(t)$, 熔体前沿压力为零, 模壁处压力满足无渗透边界条件; 温度边界条件在模壁处等于模壁温度, 并沿型腔中面对称。通过对式(1a)、(1b)和(1c)的积分并利用相应的边界条件可得到压力场求解的控制方程:

$$-\frac{1}{x}S\frac{P}{x}+\frac{1}{y}S\frac{P}{y}=0$$
$$S=\int_0^b\frac{Z^2}{\eta}dz$$

(2)

式中: S 为流通率。

采用流动分析网络分析法^[8]的基本思想, 利用控制体积法建立型腔面内压力场求解的有限元方程, 沿厚度和时间域差分建立方程温度场求解的差分方程, 耦合利用有限元/有限差分来求解控制方程, 并根据节点控制体积的充填状况更新流动前沿。

2 优化问题

2.1 目标函数与设计变量

对于图 2 和图 3 给出的浇注系统, 当某个型腔在其它型腔还未充满时就已充满称为流动不平衡。由于熔体进入各型腔的时间不一致, 各型腔充满及固化的时间也不相同, 容易导致塑料件出现流痕、缩孔、过压、翘曲、飞边、密度不一致或充填不满等缺陷。因此优化的目标是使所有型腔同时充满并达到流动平衡, 从而提高塑料件的性能和质量。考虑到调整浇口剖面尺寸的方法非长久之计(若浇口小, 容易耗蚀, 流动平衡不能持久), 且如果浇口厚度也在调整之列, 就会失去浇口作为确定封凝时间的功能。因此笔者选取主流道和浇口之间的各分流道直径 D 作为流道设计优化问题的设计变量, 构造相应浇注系统设计优化问题:

$$\min \quad V(D) = \sum_{i=1}^n v_i$$

(3)

$$\text{s. t.} \quad D_i^{\text{low}} \leq D_i \leq D_i^{\text{high}}$$

(4)

式中: D 对应于圆形流道直径(或非圆形流道的等效直径)的 n 维向量, 需要优化 D 使得所有型腔同时

充满; D_i^{low} 和 D_i^{high} 为第 i 个流道直径的下界和上界; 目标函数 V 为型腔未充填体积之和; v_i 为型腔 i 的未充填体积。

2.2 优化求解算法

在流道布置确定后, 首先用充填分析数值软件(笔者采用郑州大学橡塑模具国家工程研究中心开发的流动模拟数值分析软件 Z-FLOW) 计算目标函数式(3), 并根据模拟结果计算当第一个型腔充满时对应于其它各型腔未充填百分比和平均未充填百分比, 按式(5)更新未充填百分比低于平均未充填百分比型腔对应的流道尺寸, 然后再次计算目标函数, 判断优化迭代是否已达到所规定的优化条件, 若未满足, 则重复该过程直到满足所要求的优化条件为止。

$$D_{i,j} = D_{i-1,j}[1 - p_{i-1,\text{ave}}(1 - p_{i-1,j})s]$$

(5)

式中: $D_{i,j}$ 是型腔 j 的分流道在第 i 次迭代时的直径; $p_{i-1,\text{ave}}$ 是第 $i-1$ 次迭代时型腔的平均未充填百分比。

3 算例

3.1 算例 1

对于一个具有非自然平衡布置浇注系统的一模八腔模具(图 2), 型腔尺寸为 20 mm × 100 mm × 3 mm。初始设计依据文献[2]给出的计算公式计算各流道径 D 和浇口直径 G , 相应的数据见表 1。制品材料为尼龙 66, 幂律指数为 0.68; 熔体温度为 230 ℃, 充填时间为 0.160 s。图 4a 为采用该设计的熔体前沿等值线图(考虑到对称关系, 只显示了 1/4 个模具), 三条粗的等值线依次为充填到 0.016、0.136、0.160 s 的熔体前沿等值线。由图 4a 可清楚看到靠外边的型腔最先充满, 充满时间为 0.136 s; 图 4b 为充填结束时的压力分布等值线图(浅色为高压区域, 深色为低压区域)。由图 4b 可见, 充填结束时靠外边的型腔承受的压力非常大, 且不存在压力梯度, 这很有可能导致飞边、短射等一系列制品缺陷, 因此该设计为不平衡设计。

表 1 算例 1 初始设计和优化设计结果比较

项目	流道直径/mm		浇口直径/mm		最大入口压力/MPa	体平均温度差/℃
	$D_1、D_2、D_3、D_4$	$D_5、D_6、D_7、D_8$	$G_1、G_2、G_3、G_4$	$G_5、G_6、G_7、G_8$		
初始设计	1.440	3.180	0.658	0.500	93.914	16.88
优化设计	1.350	1.900	0.658	0.500	83.466	14.55

采用式(5)迭代 6 次可得到基本满足流动平衡的优化设计, 它的平均未充填百分比为 3%。为减

少机加工损耗, 将流道尺寸设计为最接近的可加工尺寸, 结果见表 1。图 5 给出优化后相应的熔体前

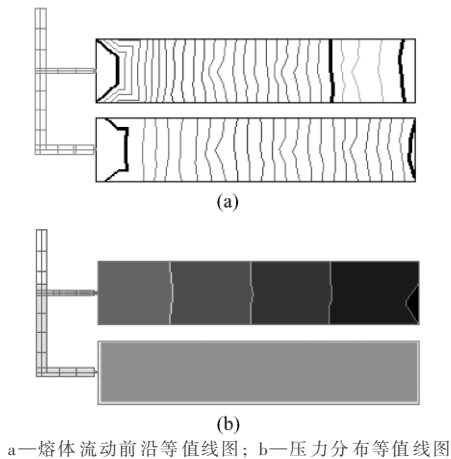


图4 算例1初始设计流动分析结果

沿等值线图和充填结束时的压力分布等值线图。由图5可知,该设计可满足同时充满型腔的要求,是一种较优的设计。比较表1给出的两种设计所需的最大入口压力和体平均温度(指熔体在厚度方向加权平均温度,熔体流动时,加权因子是熔体流动速率;熔体流动停止时,直接指厚度方向的平均温度)差值,优化设计所需最大入口压力比初始设计降低了10%左右,体平均温度差也有改善,降低了7%左右。

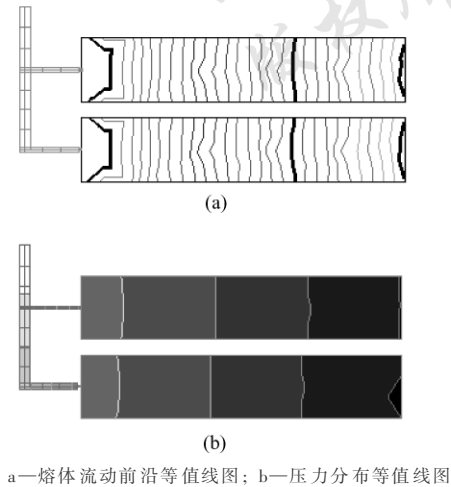


图5 算例1优化设计流动分析结果

3.2 算例2

图3给出的是一模五腔的家族制模具,5个型腔的尺寸如下:正方形边长为60 mm,两个正三角形边长均为60 mm,圆形直径为60 mm,长方形为50 mm×80 mm;型腔厚度均为2.5 mm。进入各型腔的浇口长3 mm,直径1.6 mm。各流道尺寸初始设计尺寸见表2。制品材料为ABS,生产厂家为朝日化学工业公司,牌号为Stylac ABS 180,注射温度为

表2 算例2初始设计和优化设计结果比较

项目	流道直径/mm					最大入口压力/MPa	体平均温度差/℃
	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆		
初始设计	6.0	4.0	4.0	5.0	6.0	40.0	10.47
优化设计	3.1	2.5	2.2	2.9	5.7	28.6	9.40

240℃,模具温度为30℃,充填时间为0.27 s。图6a为采用该设计的熔体前沿等值线图,三条粗的等值线依次为充填到0.106、0.159、0.212 s的熔体前沿等值线。由图6a可以看出,右上角的三角形型腔最先充满,充满时间为0.212 s;长方形型腔最后充满,该设计显然为不平衡设计。图6b为充填结束时的压力分布等值线图。由图6b可以看出,正方形、三角形和圆形型腔出现过压现象,这将导致飞边、短射等一系列制品缺陷。

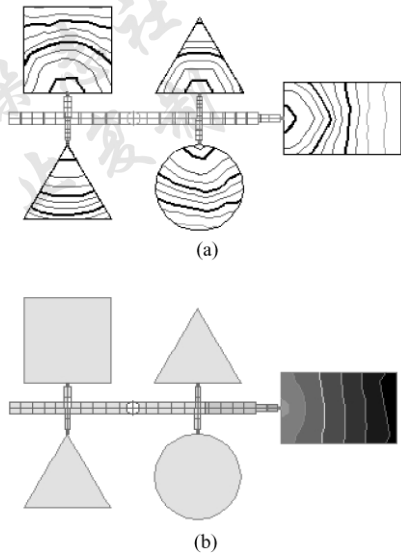
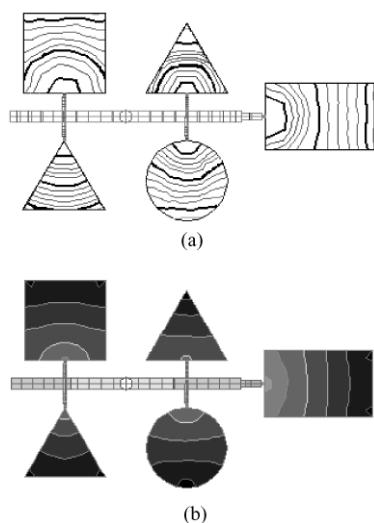


图6 算例2初始设计流动分析结果

采用式(5)迭代8次可得到基本满足流动平衡的优化设计,它的平均未充填百分比为4%,表2给出相应流道最接近的可加工尺寸。图7给出了优化后相应的熔体前沿等值线图和充填结束时的压力分布等值线图。由图7可知,该设计可满足同时充满型腔的要求,是一种较优的设计。比较表2给出的两种设计所需的最大入口压力和体平均温度差可知,优化设计所需最大入口压力比初始设计降低了30%左右,体平均温度差也有改善,降低了10%左右。

4 结语

在多型腔注射模浇注系统设计中,对于非自然流道平衡问题,人们关注的是如何快速有效地得到最优的平衡设计。笔者给出的基于流动模拟软件



a—熔体流动前沿等值线图; b—压力分布等值线图

图 7 算例 2 优化设计流动分析结果

Z-FLOW 计算结果的非自然平衡流道的自动平衡算法, 可以在 10 次迭代内得到平衡的浇注系统, 大大缩短了设计时间, 节约了制品的成本, 缩短了设计周期。

OPTIMAL DESIGN OF RUNNER SYSTEM FOR MULTI-CAVITY INJECTION MOLD

Yu Xiaorong, Shen Changyu, Chen Jingbo, Liu Chuntai

(NERC for APPT, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

ABSTRACT A methodology for automatically balancing multi-cavity injection mold was developed with the objective of filling all cavities at the same time and getting a balanced flow pattern. After the runner layout and gate size were decided, it could adjust runner size iteratively based on the of flow simulation results. The examples showed that the optimal model and methodology were effective.

KEYWORDS multi-cavity injection mold, runner system, optimal design, flow balancing

欢迎订阅《2003 年塑料助剂和塑料加工应用技术研讨会论文集》

为推动我国工程塑料加工应用技术进步, 中国工程塑料工业协会加工应用专委会与塑料助剂专委会于 2003 年 11 月 4 日 ~7 日联合在浙江余姚市召开“2003 年塑料助剂和塑料加工应用技术研讨会”。为配合这次会议, 《工程塑料应用》杂志社从本次会议征集的众多会议论文中优选了 105 篇优秀论文, 编辑出版了本次会议的《论文集》。论文内容涉及有关塑料助剂和工程塑料的合成、改性、生产、加工、应用、测试、模具、加工设备、文献综述、供需市场及预测等。在这些论文中, 有新型塑料助剂、国内外塑料助剂进展及市场、塑料加工新工艺、塑料改性新技术、塑料新材料及其应用, 以及塑料模具与设备改进、计算机在塑料模具设计制造中的应用等反映塑料助剂及塑料改性、加工、应用等方面最新发展的论文。

该《论文集》内容丰富、技术水平高, 集中研讨了当前行业人士关心的“热点”、“难点”问题, 给塑料行业今后的发展指出了明确的方向。适于从事塑料助剂、工程塑料的研究、

参考文献

- 1 《现代模具技术》编委会. 注塑成型原理与注塑模设计. 北京: 国防工业出版社, 1996.
- 2 叶显高, 李德群, 陈兴. 一模八腔注射模浇注系统设计. 模具工业, 1994(6): 15
- 3 Wang V W, Wang K K, Hieber C A. Interactive Computer Program for Runner System Design in Injection Molding. ANTEC '83, SPE Conference. 1983. 663
- 4 Jone W R, Wang K K. Integrated Design System for 3-D Runner Balancing of Injection Molding Process. ANTEC '94, SPE Conference. 1994. 749
- 5 Kim B H, Ramesh M. Automatic runner balancing of injection molds using flow simulation. J Engineering for Industry, Transactions of the ASME, 1995, 117: 508
- 6 余晓容, 申长雨, 王利霞, 等. 注塑模流道优化设计. 力学与实践, 2003, 25(6): 23
- 7 Hieber C A, Shen S F. A finite-element/finite-difference simulation of the injection-molding filling process. J Non-Newt, Fluid Mech, 1980, 7: 1
- 8 Tadmor Z, Broyer E, Gutfinger C. Flow analysis network (FAN) — a method for solving flow problems in polymer processing. Polym Eng Sci, 1974, 14: 660

生产和教学的工程技术人员、大专院校师生阅读。另我社尚有部分 2002 年、2001 年和 2000 年编辑出版的《论文集》, 价格优惠, 欢迎广大读者同时订阅。

《2003 年塑料助剂和塑料加工应用技术研讨会论文集》 50 元/册;
《2002 年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集》 40 元/册;
《2001 年中国工程塑料加工及模具技术研讨会论文集》 30 元/册;
《2000 年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集》 20 元/册。

邮局汇款

收款单位: 山东省济南市 108 信箱杂志社
邮政编码: 250031
电话: 0531-5816706-805, 802 5947355

银行汇款

户名: 中国兵器工业第五三研究所
开户银行: 济南市工商银行八一一分理处
帐号: 1602001209014424079