

多型腔注塑模的流动平衡计算与分析^{*}

陈静波¹ 陆宜清² 祁东霞¹

(1. 郑州大学橡塑模具国家工程研究中心, 郑州 450002; 2. 郑州牧业工程高等专科学校, 郑州 450008)

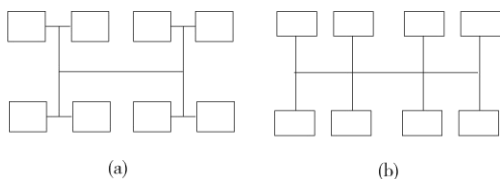
摘要 给出一种基于流动模拟的多型腔注塑模流动平衡计算方法, 在流道和型腔布置确定后, 根据流动模拟的结果, 通过迭代调整流道和浇口尺寸, 自动实现非平衡布置多型腔注塑模的流动平衡。利用数值模拟试验研究了注射时间、料温和模温等成型条件变化对流动平衡的影响, 结果表明, 注射时间的变化对流动平衡有显著影响。

关键词 多型腔 注塑模 流动平衡 流动模拟

在实际生产中, 为提高生产效率常采用一模多腔模具来生产中、小型塑料制品。对多型腔模具设计来说, 为保证各型腔制件的件重、性能等质量指标均匀一致, 必须对浇注系统进行平衡分析, 以使浇注系统流动平衡, 即各型腔在相同压力下同时充满。

1 概述

根据多型腔模具的几何布局, 其浇注系统分为平衡布置和非平衡布置两类, 见图 1。对于平衡布置的浇注系统, 熔体到各型腔的流动距离相等, 如果忽略制造误差, 则流动过程是自然平衡的, 即不论成型条件如何变化, 各型腔均会在相同的压力下同时充满。在实际生产中, 为使模具结构不致过大并减少流道废料, 常采用非平衡布置浇注系统, 经过人工平衡, 即在成型工艺参数一定的情况下, 通过调整流道和浇口尺寸使熔体同时充满各型腔, 达到流动平衡。



a—平衡布置; b—非平衡布置

图 1 浇注系统几何布局示意图

传统的流动平衡是根据设计者的经验通过反复试模、修模调整流道和浇口尺寸来实现的, 费时费力。注塑模 CAE 技术的出现使人们不再需要制造实际的模具就可预测流道系统的性能, 然而, 设计者必须首先给定流道和浇口的尺寸并依据经验进行调节, 通过反复模拟才能实现流动平衡。将优化技术与 CAE 技术有机结合起来, 利用 CAE 的模拟结果, 借助于优化理论构造有效的算法, 改变目前 CAE 分析仍“被动”依靠人的经验提供设计方案的局面, 实现注塑模浇注系统的自动优化设计是注塑模 CAE 技术发展的必然趋势。

V. W. Wang 等^[1] 较早尝试从理论上解决流动平衡问题, 他们基于等温流动假设, 把浇注系统设计分为两个阶段, 首先调节流道尺寸使熔体前沿同时到达流道末端, 然后通过调节浇口尺寸, 重新分配流量使各型腔同时充满。由于各流道流动阻力的不同及熔体流动的非等温性, 该方法并不能保证所有型腔同时充满。R. K. Irani 等^[2] 基于常压力梯度和各分支流道压力降相等的假设, 运用分支流动法开发了自动模具设计系统 AMDS, 在流道布置确定后, 可自动给出流道尺寸, 但由于未考虑流动过程的非稳态性, 此方法难以给出真正最优的流道尺寸。W. R. Jong 等^[3] 将优化理论和流动模拟技术结合起来, 把各流道半径当作设计变量, 充填结束时各个型腔入口处的压力差的总和作为目标函数, 流道总体积和最大注塑压力作为约束函数, 发展了一种浇注系统自动优化设计方法, 但该方法存在的主要问题是, 在接近最优解时步长无法确定, 使迭代收敛变慢甚至出现振荡。

笔者给出了一种基于流动模拟的流动平衡计算方法, 在流道和型腔布置确定后, 根据流动模拟的结果, 通过迭代调节流道和浇口尺寸, 自动实现非平衡布置多型腔注塑模的流动平衡并给出优化的流道和浇口尺寸, 具有较大实用性。

2 流动平衡算法

在流道布置确定后, 给出流道初始直径进行流动模拟, 根据模拟结果确定最先充满的型腔和其它型腔未充满的体积, 计算各流道理论上需要减小的横截面积, 并按“多减少增”的原则重新确定各流道横截面积, 该过程反复进行直到满足收敛条件, 其具体步骤如下:

^{*} 河南省杰出青年科学基金资助项目 (0212002000)

收稿日期: 2004-05-17

(1) 确定流道初始直径。根据经验, 选择流道直径时应考虑塑料件重及其最大壁厚。初始流道直径可根据经验公式(1)估算:

$$D = \frac{W \times^4 L}{3.7} \quad (1)$$

式中: D ——流道直径, mm, 一般取 2 ~10 mm;

W ——塑料件重, g;

L ——流道长度, mm。

(2) 进行流动模拟, 确定最先充满的型腔 j 和其它型腔未充满的体积。未充满的总体积可由式(2)计算出:

$$U_t = \sum_{i=1}^n u_{i,t} \quad (2)$$

式中: U_t ——次迭代结束时未充满的总体积,
mm³;

$u_{i,t}$ ——在 t 次迭代结束第 j 个型腔充满时, 型腔 i 的未充满体积, mm^3 ;

n ——型腔数。

(3) 按式(3) 确定各个流道横截面积应减小的比例:

$$P_t = \frac{U_t}{V} \quad (3)$$

式中: P_i ——次迭代结束时每一流道横截面积应减小的比例;

V ——所有型腔总体积, mm^3 。

(4) 按式(4) 确定各个流道横截面应减小的理论面积:

$$t_{i,t} = P_t \times C_{i,t} \quad (4)$$

式中: $t_{i,t}$ ——次迭代结束时流道 i 应减小的横截面积, mm^2 ;

$C_{i,t}$ ——次迭代结束时流道 i 的横截面积,
mm²。

(5) 按式(5) 计算流道实际应减小的总横截面积:

$$T = n \times L_{i,t} \times s \quad (5)$$

式中: T ——流道实际应减小的总横截面积, mm^2 ;

 $L_{i,t}$ —— $t_{i,t}$ 的最小值, mm^2 ;

s ——变量, 计算出的实际应减小横截面积的比例, 其初始值为 1。

(6) 按式(6)重新确定各流道的横截面积:

$$C_{i,t} = C_{i,t-1} - L_{i,t} \times s + \frac{u_{i,t}}{U_i} \times T \quad (6)$$

(7) 进行流动模拟, 计算 U_t 。

(8) 若 $U_i > U_{i-1}$, 则令 s 减半, 重复步骤 (3) ~ (6); 若 U_i 仍大于 U_{i-1} , 则将流道尺寸设置为最接近的可切削尺寸, 结束计算。

(9) 若 $U_i < U_{i-1}$, 则重复步骤(3) ~ (7), 直至满足如下收敛条件时结束迭代。

$$\frac{U_{t-1} - U_t}{U_t} < \varepsilon \quad (7)$$

式中: ε ——允许误差,一般为 1%。

3 算例分析

有一带 12 个型腔的注塑模,浇注系统布置见图 2(因对称性,取其 1/4),其流道和浇口均为圆形截面,初始尺寸见表 1。成型所用塑料为聚苯乙烯 (PS),注射时间 1 s,料温 220℃,模温 30℃。利用郑州大学橡塑模具国家工程研究中心开发的 Z-MOLD 软件^[4]进行流动模拟。

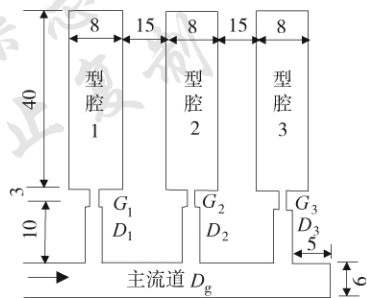


图2 浇注系统布置

表 1 初始流道与浇口直径/mm

D_g	D_1	D_2	D_3	G_1	G_2	G_3
6.0	5.0	5.0	5.0	1.6	1.6	1.6

图3给出了初始设计的各型腔的充填状态。由图3可看出,各型腔从左到右依次充满,这意味着当所有型腔都充满时型腔1将产生很大的过压。各型腔的充满时间及型腔内的平均压力见表2。由表2可看出,尽管型腔充满时间的最大差只有0.07 s,但型腔平均压力最大差却有6.77 MPa,约占最大型腔压力的39%,这会导致不同型腔制品的质量不一致。

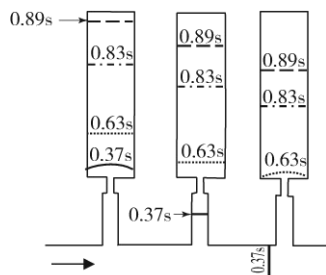


图 3 初始设计型腔充填状态

表 2 初始设计的型腔充满时间与平均压力

型腔	充满时间 /s	平均压力 /MPa
1	0.90	17.31
2	0.95	15.90
3	0.97	10.54

运用上述算法经过迭代后得到优化的流道与浇口尺寸,见表 3。图 4 给出了优化设计的各型腔充填状态,所有型腔同时充满,平均压力大幅度降低,充填结果见表 4,实现了流动平衡。

表 3 优化的流道与浇口直径 mm

D_g	D_1	D_2	D_3	G_1	G_2	G_3
6.0	4.12	4.97	5.77	1.33	1.61	1.86

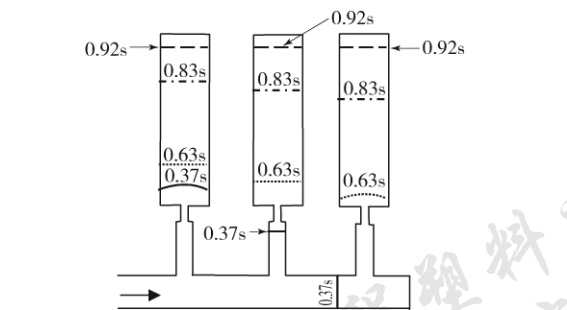


图 4 优化设计型腔充填状态

表 4 优化设计的型腔充满时间与平均压力

型腔	充满时间 /s	平均压力 /MPa
1	0.97	6.54
2	0.97	6.56
3	0.97	6.64

4 成型条件对流动平衡的影响

非平衡布置浇注系统的流动平衡是有条件的,当成型条件发生变化时,如流道和浇口尺寸保持不变,则原来流动平衡赖以维持的条件如注射时间、料温、模温等发生变化,流动平衡就会被破坏。为研究注射时间、料温和模温等成型条件变化对流动平衡的影响,注射时间、料温和模温各取 3 个水平,根据正交表 $L_9(3^4)$ 设计试验方案^[5],利用 Z-MOLD 软件对模具型腔充填过程进行 9 次数值模拟试验,用充填结束时各型腔平均压力差的最大值表征流动的不平衡程度(即平均压力差的最大值越大,流动的不平衡程度越高),其结果见表 5。为分析各因素的影响大小,对上述试验结果进行方差分析^[6],结果见表 6。

因 $F_{0.05}(2,8)=4.46<10.21$,所以注射时间的变化对流动平衡有显著影响,而模温和料温对流动平衡的影响并不显著。充模过程中熔体先流到距主

表 5 成型条件数值模拟试验结果

序号	模温 /℃	料温 /℃	注射时间 /s	平均压力差 /MPa
1	20	210	0.75	4.56
2	20	220	1.00	0.17
3	20	230	1.25	2.78
4	30	210	1.00	1.35
5	30	220	1.25	0.09
6	30	230	0.75	1.72
7	40	210	1.25	0.21
8	40	220	0.75	3.29
9	40	230	1.00	0.15

表 6 试验结果方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	F 比
模 温	3.79	2	1.90	3.28
料 温	1.11	2	0.56	0.94
注射时间	11.84	2	5.92	10.21
误 差	4.64	8	0.58	
总和	21.3	14		

流道最近的分流道末段,如果注射时间较长,即注射速率较低,不能迅速产生足够大的压力差使熔体克服浇口阻力快速通过浇口,则浇口处熔体温度可能迅速降低,甚至凝固,浇口处会产生更大的流动阻力,这样,熔体将先充满距主流道最远的型腔,然后再返回来依次冲破阻力最小的浇口并充满各型腔;如果注射时间较短,即注射速率较高,则熔体将先充满距主流道最近的型腔,最后充满距主流道最远的型腔。充填结束时,先充满的型腔压力较高,而后充满的型腔压力较低,使各型腔压力有较大差别,流动失去平衡。因此,与平衡布置的多型腔模具相比,非平衡布置的多型腔模具的充模过程更为复杂,实际生产中应严格控制成型条件,保证流动平衡,以使一模多腔模具所生产的各制件质量均匀一致。

5 结论

- (1) 给出的基于流动模拟的多型腔注塑模流动平衡计算方法,可在流道和型腔布置确定后,通过迭代计算自动给出非平衡布置浇注系统的优化设计方案,实现多型腔注塑模的流动平衡。
- (2) 如考虑实际应用中流道的可加工性,可根据刀具尺寸将流道尺寸设定为一系列离散值,则该方法更具有工程实用意义。
- (3) 利用数值模拟试验研究了注射时间、料温和模温等成型条件变化对流动平衡的影响。结果表明,注射时间的变化对流动平衡有显著影响,而模温和料温对流动平衡的影响并不显著。

参考文献

1

Wang V W, Wang K K, Hieber C A. An interactive computer program for runner-system design in injection molding. ANTEC ' 83, 1983. 663

2

Irani R K, Kim B H, Dixon J P. Automated design of the feed system of injection molds. Manufacturing International '90, 1990. 25

3

Jong W R, Wang K K. Automatic and optimal design of runner systems in injection molding based on flow simulation. ANTEC ' 90, 1990. 385

4

申长雨. 塑料模具计算机辅助工程. 郑州: 河南科学技术出版社, 1998.

5

陈魁. 试验设计与分析. 北京: 清华大学出版社, 1996.

6

浙江大学数学系高等数学教研组. 概率论与数理统计. 北京: 人民教育出版社, 1979.

CALCULATION AND ANALYSIS OF FLOW BALANCE IN MULTI-CAVITY INJECTION MOLDS

Chen Jingbo¹, Lu Yiqing², Qi Dongxia¹

(1. NERC for APPT, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China;

2. Zhengzhou College of Animal Husbandry Engineering, Zhengzhou 450008, China)

ABSTRACT A method for automatical balancing multi-cavity injection molds is presented with the aid of flow simulation. After the runner and cavity layouts are designed, the runner and gate sizes are adjusted iteratively based on the flow simulation results to make each cavity fill up automatically at the same time under the same pressure. Numerical simulation test is used to study the effects of fill time, injection temperature and mold temperature on the flow balance. The result shows that fill time has a significant impact on the flow balance.

KEYWORDS multi-cavity, injection mold, flow balance, flow simulation

欢迎订阅《工程塑料应用》和《化学分析计量》

邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

欢迎读者直接通过邮局或银行汇款向《工程塑料应用》杂志社办理《工程塑料应用》和《化学分析计量》的订阅手续, 请注明订阅期刊名称、收件人、邮编及地址。

《工程塑料应用》, 国内外公开发行的全国性塑料专业技术类刊物, 月刊, 大16开本, 每月10日出版。本刊为中文核心期刊, 是中国工程塑料工业协会会刊, 荣获首届、第二届国家期刊奖等19项国家、省部委级优秀期刊奖, 入选美国化学文摘(CA)千种表。2005年定价7.5元/期, 全年90元。1986年以来的期刊价目见表1。欢迎读者来函(附名片)免费索取样刊。

表1 《工程塑料应用》单册期刊、合订本价格表

年份	期数	每册单价/元	全年定价/元	合订本/元
1986~1989	16	0.825	13.2	23
1990~1992	12	1.4	16.8	27
1993、1994	10	2.4	24	34
1995	6	2.8	16.8	27
1996	6	4	24	34
1997	6	5	30	40
1998	12	3.5	42	52
1999	12	4	48	58
2000	12	5	60	70
2001	12	5.5	66	82(两本)
2002	12	6	72	88(两本)
2003	12	6.5	78	94(两本)
2004	12	7	84	100(两本)
2005	12	7.5	90	106(两本)
合计	152		664.8	700(优惠)

邮局汇款:

收款单位: 山东省济南市108信箱杂志社
邮编: 250031 传真: (0531) 5816706-808 5947355
电话: (0531) 5816706-805, 802, 801 5947355

银行汇款:

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

《化学分析计量》, 国内外公开发行的全国性分析、计量专业技术类刊物, 双月刊, 大16开本, 单月20日出版。本刊荣获多项部委级优秀期刊奖, 被美国化学文摘(CA)收录。2005年定价7.5元/期, 全年45元。创刊号以来的期刊价目见表2。欢迎读者来函(附名片)免费索取样刊。

表2 《化学分析计量》单册期刊、合订本价格表

年份	期数	每册单价/元	全年定价/元	合订本/元
创刊号~1998	9	4	36	46
1999	4	3.5	14	68
2000	4	5	20	
2001	6	4	24	
2002	6	5	30	76
2003	6	6	36	
2004	6	7	42	97
2005	6	7.5	45	
合计	47		247	260(优惠)