

文章编号:1671-6833(2006)02-0029-03

注塑模具冷却管网分析计算

赵振峰¹, 王 静¹, 陈 政¹, 申长雨¹, 谭素琼²

(1. 郑州大学橡塑模具国家工程研究中心, 河南 郑州 450002; 2. 浙江台州星星集团家电产业总公司, 浙江 台州 318015)

摘 要: 注塑模具冷却管网计算, 可以准确预测冷却液的压力和和管网的流量. 目前存在两种基本的计算方法都有缺陷: 回路法计算烦琐, 迭代速度慢; 而传统的节点法当管道流量为零时液导矩阵奇异. 根据管网基本方程式, 建立了新的数学模型, 提出了一种改进的节点法. 给出了计算程序框图, 并编写了电算程序, 新方法有效地克服了传统方法的弊端, 经实例计算表明, 可以快捷准确地进行注塑模具冷却管网的分析计算.

关键词: 管网; 节点法; 回路法; 注塑模具; 冷却系统

中图分类号: TQ 320.662 **文献标识码:** A

0 引言

冷却系统是注塑模具的重要组成部分. 对大多数模具, 冷却是通过冷却液在冷却管网内的流动来实现的. 冷却管网的分析计算, 是在基本参数已定的基础上, 来确定各管段的流量和各个节点的压力. 管网分析的意义, 不但在于可以确定冷却液压力泵(大多为水泵)是否能提供足够的压力以保证管网的流量, 而且当管网有内部支路时, 可以计算各支路的流量分配. 一般而言, 管网分析方法可大致归纳为两大类: 回路法和节点法. 回路法即围绕回路列回路方程, 以各个管路的流量为待求量. 其基本做法, 是假设各个管路流量, 然后根据每个回路的压力不平衡量对流量进行反复的修正, 直至修正量足够小^[1]. 这种方法几乎在所有的流体力学教科书中均有介绍, 应用的也最为广泛^[2]. 这种方法的缺点, 是必须要事先确定管网中所有的回路. 文献[3]通过图论的方法来找到所有的回路, 对于管网分析是一项创造性工作, 但同时也导致了算法复杂, 降低了程序的可读性. 而且, 回路法所采用的迭代算法, 本质上属于反投影法, 迭代次数多, 效率低下. 当管网入口参数输入为压力控制时, 处理起来也多有不便. 节点法是以管路的交叉点(节点)的压力作为未知量, 以进出节点

的流量总和等于外部的输入(出)流量建立方程, 笔者对其原理做了一简单介绍. 然而, 节点法也有缺陷: 当某一段管路两端的压力相等, 没有液体流动时, 液导矩阵奇异. 本文将就节点法提出一个新算法: 修正流量的节点法. 该方法可以绕过图论, 不用确定所有回路, 在保持传统节点法优点的同时, 可以不必处理奇异矩阵, 并且迭代速度快, 具有实际应用价值.

1 管网分析基本方程

冷却液在管道中的流量 Q 由 Darcy - Weisbach 方程(压头损失方程)给出:

$$h_f = \frac{\Delta p}{\rho g} = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (1)$$

定义流量为

$$Q = \frac{\pi D^2 V}{4}$$

代入式(1)得

$$\Delta p = \lambda \frac{8\rho L}{\pi^2 D^5} Q^2,$$

记

$$\beta = \frac{8\rho L}{\pi^2 D^5},$$

则

$$\Delta p = \lambda \beta Q^2 \quad (2)$$

收稿日期: 2006-01-03; 修订日期: 2006-03-16

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(10590352)

作者简介: 赵振峰(1955-), 男, 内蒙古宁城人, 河南省特聘教授, 郑州大学博士生导师, 主要从事材料加工和计算力学方面的研究.

式中: h_f 为压头损失(沿程摩擦阻力损失); Δp 为冷却管道两端的压差; ρ 为冷却液的密度; g 为重力加速度; L 为冷却液孔长度; D 为冷却管道直径; V 为冷却液流速; λ 为沿程阻力系数。

其中, 沿程阻力系数与雷诺数 ($Re = \frac{4\rho Q}{\pi\mu D}$, μ 为冷却液黏度) 有关:

$$\lambda = \begin{cases} 64/Re & (Re \leq 2000) \\ 0.000016(4000 - Re) + 0.00001989(Re - 2000) & (2000 \leq Re \leq 4000) \\ 0.3164/Re^{0.25} & (4000 < Re) \end{cases}$$

2 节点法基本原理^[4,5]

节点法是以管路的交叉点(节点)的压力作为未知量, 以进出节点的流量总和等于外部的输入(出)流量建立方程。对于一个独立的管网, 首先用若干节点划分为若干管段, 如后面的图 2 所示。划分的原则, 是不同回路的交点以及进出口一定要作为节点, 即一段管段内不可以有分支; 在已经划分好的管段内, 可以根据需要添加任意数目的节点。对于由节点 i 和 j 定义的管段, 其内部的流量可由式(2)计算:

$$Q^2 = \frac{|p_i - p_j|}{\lambda\beta_{ij}} \quad (3)$$

定义流出节点的流量为正, 流入为负, 并记 Q_{ij} 为由节点 i 流至节点 j 的流量, 式(3)可进一步改写为有向流形式:

$$Q_{ij} = \frac{p_i - p_j}{\lambda\beta_{ij}|Q_{ij}|} = g_{ij}(p_i - p_j).$$

其中,

$$g_{ij} = \frac{1}{\lambda\beta_{ij}|Q_{ij}|} \quad (4)$$

类似于电工学中的电导, g_{ij} 在这里可称作液导。

对于管网中任一节点 i , 由管网内部流入流出的液体总和应等于外部的输入输出总和 q_i , 故有

$$\sum_j Q_{ij} = \sum_j g_{ij}(p_i - p_j) = q_i.$$

对管网中所有的节点均建立类似的方程, 可得到一方程组:

$$Gp = q \quad (5)$$

G 为液导矩阵, 这是一个非线性方程组, 需要对压力或流量给出一个初值, 然后反复迭代求解, 直至收敛, 即可得到各节点的压力, 进而得到各管段的流量。总体而言, 节点法的公式表达、计算程序和计算效率均优于回路法。

3 改进的节点法

由式(4)可以看出, 当某管段两端的压力相

等, 压差为零时, 管段内部的流量也为零, 从而液导趋于无穷大, 最终得到的液导矩阵奇异。为解决这个问题, 本文提出一种改进方法。

记由节点 k 流入节点 i 的流量为 Q_{ki}^- , 由节点 i 流出至节点 j 的流量为 Q_{ij}^+ , 流入节点 i 的外部流量为 q_i^- , 由节点 i 流出到外部的流量为 q_i^+ , 则我们可以建立如下流量平衡方程:

$$q_i^+ + \sum_j Q_{ij}^+ = q_i^- + \sum_k Q_{ki}^- \quad (6)$$

对上式两边取平方, 有

$$(q_i^+ + \sum_j Q_{ij}^+)^2 = (q_i^- + \sum_j Q_{ij}^+)^2 - \sum_j (Q_{ij}^+)^2 + \sum_j (Q_{ij}^+)^2.$$

记

$$(q_i^+ + \sum_j Q_{ij}^+)^2 - \sum_j (Q_{ij}^+)^2 = r_i^+.$$

并引入式(3), 注意到 $p_i \geq p_j$, 则式(6)化作

$$(q_i^+ + \sum_j Q_{ij}^+)^2 = r_i^+ + \sum_j \frac{p_i - p_j}{\lambda\beta_{ij}} \quad (7)$$

类似的, 记

$$(q_i^- + \sum_k Q_{ki}^-)^2 - \sum_k (Q_{ki}^-)^2 = r_i^-.$$

则有

$$(q_i^- + \sum_k Q_{ki}^-)^2 = r_i^- - \sum_k \frac{p_i - p_k}{\lambda\beta_{ik}} \quad (8)$$

由式(7)和(8), 式(6)取平方后化作

$$\sum_m \frac{p_i - p_m}{\lambda\beta_{im}} = r_i^- - r_i^+ \quad (9)$$

进一步, 令

$$K_{im} = \frac{1}{\lambda\beta_{im}};$$

$$r_i = r_i^- - r_i^+,$$

则式(9)最终化作

$$\sum_m K_{im}(p_i - p_m) = r_i.$$

对所有的节点列出类似的方程, 则可得到与传统节点法相似的联立方程组:

$$Kp = r \quad (10)$$

这里 K 仍可称为液导矩阵, 但不再存在奇异的问题。它是对称、稀疏的, 可以用通常有限元方法中常用的一维压缩存储和进行 LDLT 三角化分解, 求解速度是非常快的。

由于式(10)中的左右端均与流速有关, 因此为非线性的。考虑到本方程组不存在奇异问题, 可以简单的设各节点压力(或流速)的初值为零。在得到节点压力之后, 计算管网的流量, 修正式(10)的左右端, 重新计算, 直至收敛。收敛准则可由下

式确定：

$\| p^n - p^{n-1} \| < \epsilon$ (ϵ 为一小数) .

采用本文方法还有一个潜在的优点:如果阻力系数作为常数,式(10)中的液导矩阵是不变的,因此可以一次性的生成和分解,变化的仅仅是右端项,此时收敛速度将会成倍增加.

图 1 是本方法的计算程序框图.

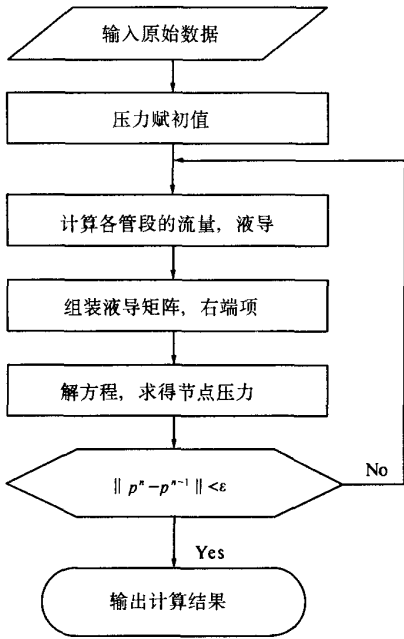


图 1 计算程序框图

Fig.1 The computational flowchart

4 算例

假设一冷却管网,如图 2 所示.管网划分为 14 个管道,11 个节点,节点 1 为进水口,节点 5 为出水口.进水口流量 $q = 1.667 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$,各管段长度均为 100 mm,管径相等,均为 10 mm,设冷却水温度为 30 ℃.采用本文所述数学模型用 C++ 语言进行了编制计算,其结果列于表 1、表 2.可以看出,各相邻管段间的流量是相互平衡的,基于管网的几何对称性,流量的分布也是对称的,节点的压力也满足对称要求.

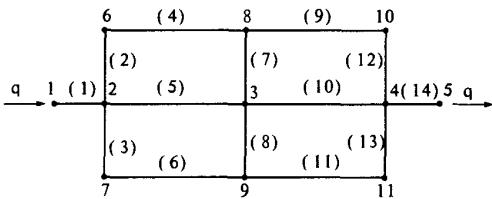


图 2 算例的管网分布

图 2 算例的管网分布 The pipe network of the example

本算例中,由于对称性,节点 3,8,9 的压力应该相等,而管段 7、8 中液体保持静止.此时用传统的节点法将会遇到麻烦,但用本文方法则毫无障碍的求得了精确解.

表 1 管网流量分布

Tab.1 Flow rate in pipe network $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

管段号	流量 Q	管段号	流量 Q
1	$16.670\ 00 \times 10^{-5}$	7,8	0
2,4	$4.781\ 41 \times 10^{-5}$	9,12	$4.781\ 41 \times 10^{-5}$
3,6	$4.781\ 41 \times 10^{-5}$	11,13	$4.781\ 41 \times 10^{-5}$
5,10	$7.105\ 14 \times 10^{-5}$	14	$16.670\ 00 \times 10^{-5}$

表 2 管网压力分布

Tab.2 Nodal press in pipe network Pa

节点号	压力 p	节点号	压力 p
1	1 373.790	5	0
2	812.986	6,7	749.941
3	686.896	8,9	686.896
4	560.807	10,11	623.852

5 结束语

针对模具冷却管网的数值分析,本文提出一种基于流量迭代的节点法,并通过一个算例进行了验证.对比于此前的回路法,由于不必确定管网中的回路,因此算法简单,运行时间短、收敛速度快;相比于传统的节点法,则无需考虑某管段流量为零时导致的方程奇异.本文方法更易于处理各种复杂情况,具有实际应用价值.本文方法虽然针对模具冷却系统而讨论,但并未加以任何限制,因此可以推广应用于任何类似管网分析计算,如供水系统、水利管网系统等等.

参考文献:

[1] 陈静波.注射模冷却管网分析计算[J].模具工业,1993,(12):64~67.
[2] 严熙世,赵洪宾.给水管网理论和计算[M].北京:中国建筑出版社,1986.
[3] 陈静波,申长雨.注塑模冷却分析系统的研究与开发[J].中国塑料,1999,13(4):93~99.
[4] 陈建功.稀疏矩阵技术在水力管网计算中的应用[J].辽宁学院学报,1996,16(3):64~67.
[5] 陈静波,张世勋,何领好,等.注塑模三维温度场的数值分析[J].郑州大学学报(工学版),2003,24(2):9~14.

(下转第 64 页)

- vent effects are used to affect the efficiency of the resolution process[J]. *Organic Process Research & Development*, 2004, 8(3): 532-534.
- [5] KUDO J, HIRATA N, YOSHIDA T. A process for the preparation of an optically active 4-(tert-butoxycarbonyl) piperazine compound[P]. EP: 1236722, 2002-09-04.
- [6] KASSAI C, BALINT J, JUVANCZ Z. Isomer and enantiomer separation of 2- and 4-alkyl-cyclohexanols by stereoselective complex formation with O,O'-dibenzoyl-(2R,3R)-tartaric acid[J]. *Synthetic Communications*, 2001, 31(11):1715-1719.
- [7] BUTLER C L, CRETCHER L H. Preparation of dibenzoyl-D-tartaric acid[J]. *Journal of the American Chemical Society*, 1933, 55:2605-2620.
- [8] 邓红霞,孔小林.二苯甲酰-D-酒石酸及其一水盐的合成[J]. *浙江化工*, 2003, (11):18.

Synthesis of L-(2R,3R)-(-)-Dibenzoyl Tartaric Acid Monohydrate

LI Wen¹, ZHAO Jun-yin², ZHANG Ya-dong¹, HU Guo-qin¹, ZHAO Wen-en¹

(1. School of Chemical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China; 2. The Second affiliated Hospital, Henan College of Traditional Chinese Medicine, Zhengzhou 450008, China)

Abstract: The preparation of chiral drugs is a significant field of new drug research and application at present. L-(2R,3R)-(-)-dibenzoyl tartaric acid monohydrate is an important resolute reagent with a high price. So, it is vital to study the improvement of its synthesis. Dibenzoyl tartaric anhydride was synthesized from tartaric acid, benzoic acid and thionyl chloride as raw material by benzylation and dehydration. Then, dibenzoyl tartaric acid monohydrate could be obtained by hydrolysis. The total yield reached 70.9% calculated from tartaric acid. Benzoic acid that created by the reaction could be re-applied by benzylation with thionyl chloride in this process. The process has the advantages of high yield and simple operation. Structure of the resultants was identified by optical rotation which agreed with the literature. The process condition was easy to control, and there was little pollution. This method had a good prospect of industrial application.

Key words: tartaric acid; benzoic acid; thionyl chloride; dibenzoyl tartaric acid; synthesis

(上接第 31 页)

Numerical Analysis for Cooling Pipe Network of Injection Mold

ZHAO Zhen-feng¹, WANG Jing¹, CHEN Zheng¹, SHEN Chang-yu¹, TAN Su-qiong²

(1. National Engineering Research Center for Advanced Polymer Processing Technology, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China; 2. Zhejiang Taizhou Xingxing Electric Appliance Inc, Taizhou 318015, China)

Abstract: There are two major methods in the numerical analysis for pipe network: loop method in which the flow rate taken as unknown and junction method in which pressure as unknown. In general, the former is more commonly used, but it is complicated and converges slowly in computation; the later can quickly converge and is easily programmed, but has to handle the special case when the flow rate is zero somewhere in the network. On the basis of the equation of pipe network analysis, a new numerical model for cooling system of injection mold is presented using pressure as nodal parameters. The method overcomes both disadvantages of the loop method and traditional junction method. The computational flowchart and a numerical example are also given. It is proved that the present method has high efficiency and accuracy in the pipe network analysis in injection mold.

Key words: pipe network; junction method; loop method; injection mold; cooling system