

文章编号:1671-6833(2007)03-0105-04

注塑冷却管网数据处理

田中, 石宪章, 申长雨, 谢英

(郑州大学 橡塑模具国家工程研究中心, 河南 郑州 450002)

摘要: 基于节点的管网分析方法不适用于含有喷管、折流管的特殊管网, 作者用拆分技术将含有喷管、折流管的特殊管网转化为普通管网, 能够采用节点法进行计算. 在进一步的冷却分析中, 由于较先进的冷却分析模型将冷却剂温度当常量处理, 致使管网上的温度结果不能直接使用, 必须进行修正和均化处理, 提出了管道进入度、连出度的概念, 据此能够沿着冷却剂流动的方向, 对管网的各个管段进行修正和均化处理, 取得较好效果.

关键词: 注塑; 冷却分析; 管网

中图分类号: TQ 320.66 **文献标识码:** A

0 引言

在冷却分析中, 管网由普通管道、软管、喷管和折流管组合而成, 折流管内内置有折流板, 折流板将管道沿流通方向一分为二, 冷却剂从折流板一侧流入, 从另一侧流出. 喷管则是由内外管组成, 冷却剂从中间的内管进入, 然后从内外管之间流出. 喷管、折流管的特点是它们的进出口非常接近, 适合用于位置狭小、普通管道难以布置的区域, 在冷却分析建模中, 认为它们的进出口在同一个点上, 共用一个节点数据. 图1所示的是一种打印机墨盒的冷却分析模型, 共有4组冷却管道, 每组管道上有两根喷管, 喷管的进出口连在普通管道的同一个点上, 另一端深入到墨盒内部, 冷却剂的流动方向如图中箭头所示.

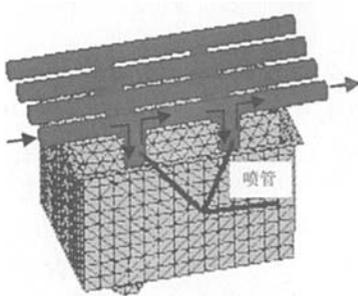


图1 墨盒 CAE 模型

Fig. 1 CAE model of ink-box

管网分析的最终目的是计算管网压力分布及流量分配情况, 为后面的冷却分析计算提供基础参数. 管网分析计算的方法有两种, 一种是基于回路的均差法^[1]. 另一种是基于节点的类有限元法^[2-3], 基于节点的方法具有计算工作量小、能够计算包含多个进出口的管网以及入口参数设定灵活等优点, 不仅适用于普通给排水管网的计算, 也非常适合于注塑冷却管网分析计算^[4]. 但该方法不能直接应用于注塑成型分析计算, 这是因为注塑成型加工的专业性强, 模具结构复杂, 冷却管网的配置及管段的结构往往不同于通常的水管, 这些因素限制了类有限元法的应用, 因此为应用该方法, 必须对冷却管网做相应的处理. 与此相关的另外一个问题是, 在模具温度场分析计算中, 冷却剂温度被视为常量, 计算的结果不可直接应用, 必须进行修正和均化处理.

1 管网计算基本方法

管网计算的基本公式是 Darcy-Weibach 方程^[5] (沿程损失):

$$h_f = \lambda \frac{LV^2}{D2g} \quad (1)$$

式中: h_f 为沿程损失; λ 为阻力系数; D 、 L 为管道的直径和长度; V 为冷却介质的平均速度.

当用 A 表示冷却管道横截面积, 用 Q 表示冷却剂的体积流量时, 则有 $V = Q/A$, 最终阻力损失

收稿日期: 2007-03-13; 修订日期: 2007-05-31

基金项目: 国家自然科学基金重大项目 (10590352)

作者简介: 田中 (1958-), 男, 江苏扬州人, 郑州大学实验师, 主要从事材料加工方面的研究.

可表示为流量 Q 的函数:

$$h_f = \lambda \frac{L}{D} \frac{Q^2}{2gA^2} = K'Q^2 \quad (2)$$

阻力损失用压降表示,公式(2)可改写为:

$$\Delta P = hf' \rho g = KQ^2 \quad (3)$$

基于节点的计算方法利用方程(3)求得各管段的流量,然后根据节点流量平衡方程建立节点压力的非线性方程组.节点流量平衡指的是对任一节点(冷却管道单元的端点),流进节点的流量与流出节点的流量相等,它们的代数和为零.即:

$$\sum Q_{ij} + q_i = 0 \quad (4)$$

式中: Q_{ij} 为与 i 节点相连管道的流量; q_i 为外界供给 i 节点的流量.

由上面的计算公式可知,该方法适用于由首尾相连的管段组成的普通管网,但在注塑冷却管网中,存在喷管或折流管,由于它们的进出口重叠,与上面的计算方法是矛盾的,对于它的处理以前有一些变通的方法,比如不直接将喷管、折流管纳入管网计算,而将它们折算到与其相连的普通管段上,由它们引起的阻力损失采用延长与其相连的普通管段的长度加以补偿,这虽是一种可行的方法,但计算量较大,要保证计算精度,存在重复计算的现象,效率较低,特别是在折流管被划分成多个单元时,检索、计算这些单元并将它们折算到相连的普通管道比较麻烦,笔者采用单元拆分的方法较好地解决了这一问题.在进一步的冷却分析计算中,为提高计算速度,新的冷却分析 BEM 模型将冷却剂温度当作常量处理,这样计算出来的冷却管道表面温度、冷却剂温度等结果不能直接应用和显示,必需予以修正和均化处理,本研究基于连入度、连出度的数据处理方法有效地解决了这些问题,顺利完成管网数据的处理.

2 数据处理

2.1 单元、节点的拆分

这里的单元、节点指的是喷管单元、折流管单元和与其相连的普通管道单元以及这些单元上的节点,拆分的方法是将与喷管、折流管相连的普通管道从连接点断开,同时将喷管、折流管一分为二,按照一定的规则增加辅助节点和管道,然后重组这些管道,将它们转化为进出口分别在两端的普通管段,可直接纳入管网分析计算.

图 1 中喷管单元与普通管道单元的连接可用图 2 左侧表示,单元①-④为普通管道,⑤-⑥为喷管(或折流管),因此需对单元⑤-⑥进行拆

分,拆分的主要步骤如下:

④记录目前单元、节点的数量 E 、 N .

⑤遍历所有节点(假定节点编号为 N_j),检索与之相连的单元,如果有喷管或折流管单元,继续下一步,否则转至①.

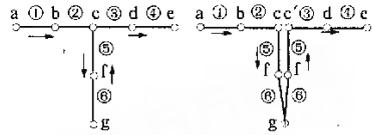


图 2 拆分

Fig. 2 Disconnection

⑥如果节点 N_j 只属于一个喷管或折流管单元,转至步骤①,否则继续下一步.

⑦在节点 N_j 附近增加一个临时节点 N_j' ,遍历节点数组中序号 N 以后的节点数据,检查是否有节点的坐标与 N_j' 重合,若有则转至步骤①,否则将 N_j' 加入节点数组,同时查找与 N_j 相连的另一普通管道单元,将其编号为 N_j 的端点改为 N_j' .

⑧假设节点 N_j 相连的喷管或折流管单元的编号为 E_j ,遍历单元数组序号在 E 以后的单元,查找原始编号为 E_j 的单元是否存在,若存在,转至步骤①,否则复制单元为 E_j 并将其添加到单元数组,最后将其编号为 N_j 的节点改为 N_j' .

⑨判断是否计算完毕,若是就退出计算,否则转至步骤①.

按照该方法进行拆分,管网中所有的单元都首尾相连,管网分析计算可顺利进行,图 2 左侧管段的拆分结果如图 2 右侧所示.

2.2 结果数据处理

注塑 CAE 后置程序,主要用颜色图直观地显示结果数据,目前多采用基于 OpenGL 的图形显示技术,它接收单元的节点数据,自动计算单元内部各点上的值并以相应的颜色显示出来,我们需要做的就是提供给 OpenGL 正确的单元节点数据,其它的工作由 OpenGL 来做.但如前所述,管网分析的一些结果是不可直接应用的,如冷却剂温度,它的值等于初始温度,显然不符合实际情况;再比如冷却管道表面温度,它的值是单元表面温度的平均值,不能反映温度的渐次变化,必需进行修正和均化处理才能正确显示,本研究仅介绍冷却剂温度及冷却管道表面温度结果数据处理方法,其它结果的处理方法与此相似.

冷却管网结果数据处理方法的难点在于它不仅存在方向性,而且存在先后顺序,比如处理某个单元的冷却剂温度,必须沿着冷却剂流动方向处

理,同时有个前提条件,那就是与该单元入口节点相连的、冷却剂流动方向向着该节点的所有单元都已被处理过,否则所做的一切工作都是无效的.为了做到这些,笔者借助图论^[6]的连通度概念,规定了管段的连入度、连出度,它的计算规则如下:

连入度:对于任一节点,初始连入度为0,检索所有与其连接的单元,若单元中流体的流动方向向着该节点,则该节点的连入度增加1.

连出度:对于任一节点,初始连出度为0,检索所有与其连接的单元,若单元中流体的流动方向背向该节点,则该节点的连出度增加1.

连出度主要用于对压力结果的处理,笔者仅用到连入度.由定义可知,对于没有喷管和折流管的管网,只有管网入口节点的连入度为0,如果有喷管和折流管,虽然会出现除管网入口以外的节点的连入度为0的情况,但由于管道类型不同,很容易加以区分,不会给计算造成困难.冷却剂温度和冷却管道表面温度的处理可同步进行,它的过程简述如下:

①计算管网各节点连入度.

②遍历所有单元,找出一端连入度为0、另一端连入度大于0的管道单元.

③判断该单元是否属于喷管或折流管,若是,转步骤④继续查找,若不是则继续下一步.

④如果是管网入口,将初始冷却剂温度赋给入口节点,然后根据下面公式计算单元出口冷却剂的温度.

$$q = c_p m \Delta t \quad (5)$$

式中: q 为单元吸收或释放的热量; c_p 为定压比热; m 为质量; Δt 为进出口温差.

⑤由于冷却分析中冷却管道表面温度是基于初始冷却剂温度计算的,现在按照能量平衡原则,对其进行修正,计算出管道单元表面两端的温度,最后将单元出口的连入度减1.

⑥判断单元出口的连入度是否为0,不为0,转步骤④,若为0继续下一步.

⑦判断出口是否连接有喷管或折流管,若没有则直接进入下一步,若有则转入折流管或喷管的修正程序.

⑧找出与出口节点相连,且冷却剂流动方向背向出口节点的所有单元,将计算出的冷却剂温度赋值给这些单元.

⑨所有单元是否计算完毕,若不是则转步骤⑥,若是则计算结束.

如果管网分析采用的是基于回路的均差法,万方数据

还需要对压力进行修正,其过程与温度修正类似,只是起始位置及计算次序正好相反.

3 工程实例分析

图1所示为打印机墨盒制件,采用郑州大学自主研发的ZMold软件进行冷却分析,分析能够顺利进行,说明本研究介绍的管网拆分方法是可行的,这里给出管网温度结果,如图3、图4、图5、图6所示.

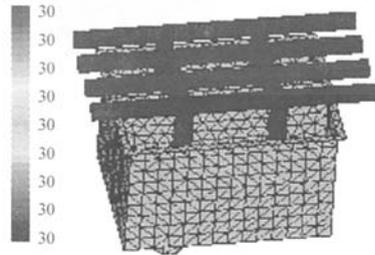


图3 冷却剂温度(处理前)

Fig.3 Coolant temperature (before processing)

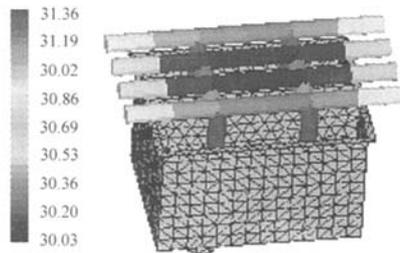


图4 冷却管道表面温度(处理前)

Fig.4 Surface temperature of cooling channel (before processing)

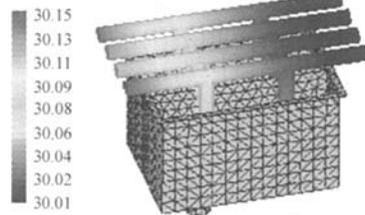


图5 冷却剂温度(处理后)

Fig.5 Coolant temperature(after processing)

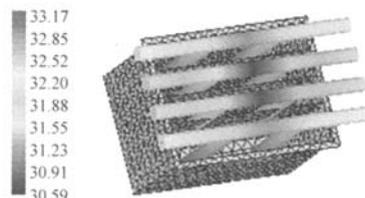


图6 冷却管道表面温度(处理后)

Fig.6 Surface temperature of cooling channel (after processing)

在不对温度结果做任何处理时,冷却剂、冷却管道表面的温度分布如图3、图4所示,冷却剂的温度是一个定值,大小等于系统设定的温度,而冷却管道表面的温度呈跳跃式变化,这样的结果显然没有实际意义,不具备任何参考价值,而图5、图6所示为经过处理的温度分布图,清晰地反映冷却剂以及冷却管道表面温度变化的规律,温度的大小以及变化的幅度一目了然,模具设计人员能够据此判断冷却管系统配置是否合理,工艺参数设置是否合适等,为确定或修改设计方案提供了科学的依据。

4 结论

(1)将喷管、折流管进行拆分的做法是可行的,这样不仅使得管网分析计算能够顺利进行,而且也有利于局部阻力的计算。

(2)管网温度结果的处理存在先后顺序,基于管段连入度、连出度的处理方法是简洁、有效

的,大量试验算例证明这种方法较稳定、可靠。

参考文献:

- [1] 严煦世,赵洪宾. 给水管网理论和计算[M]. 北京: 中国建筑出版社, 1986. 26-59.
- [2] DONKIN C T B, A G G I. Elementary practical hydraulics of flow in pipes[M]. London: Oxford University Press. 1959. 128-145.
- [3] 王 静. 注塑模具冷却管网分析计算[D]. 郑州大学硕士学位论文, 2006. 11-50.
- [4] 赵振峰,王 静,陈 政,等. 注塑模具冷却管网分析计算[J]. 郑州大学学报(工学版), 2006, 27(2): 29-31.
- [5] 江宏俊. 流体力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1986. 107-159.
- [6] 王朝瑞. 图论[M]. 北京: 人民教育出版社, 1980. 66-262.
- [7] 石宪章,申长雨. 注塑冷却管网的简化计算[J]. 中国塑料, 2004, 18(8): 91-93.

Data Processing Method of Pipe Network in Cooling Analysis

TIAN Zhong, SHI Xian-zhang, SHEN Chang-yu, XIE Ying

(NERC Center for Advanced Polymer Processing Technology, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Node-based analysis method of pipe network is not applicable to special pipe network which includes bubbler and baffle. This paper using separation technology which changes the pipe network from special to ordinary makes the method run successfully. In the next cooling analysis step, the coolant temperature is regarded as constant. This lead to the fact that the temperature results of pipe network can't be used directly. They must be modified and averaged. This paper presents two concepts for pipe segments: link-in and link-out degree. With these concepts and along with the flow direction of coolant, the temperature results of each pipe segment is modified and averaged successfully.

Key words: injection molding; cooling analysis; pipe network