

文章编号: 1001-4934(2005)02-0003-03

注塑模冷却分析中特殊冷却结构的处理

崔树标, 周华民, 李德群

(华中科技大学 模具技术国家重点实验室, 湖北 武汉 430074)

摘要: 注塑模冷却过程模拟大都采用边界元法, 并将冷却水管简化为一线状均匀源, 对于特殊冷却结构, 国内外冷却模拟软件常用等效直圆柱水管来近似, 这种处理方法无论是几何形状还是流动方式与实际情况差别较大, 计算结果会有较大的误差。采用该文提出的方法可以大大提高模拟软件的计算精度和实用化程度, 真实地反映特殊冷却结构的冷却效果。

关键词: 注塑模; 数值模拟; 边界元法

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

Abstract: Most of cooling process simulation systems use Boundary Element Method and simplify cooling channels as a linear symmetrical source. For the special cooling structures, the cooling simulation softwares often use equivalent columnar pipe model. But the error of the result is rather high. By the method of this paper, the accuracy and practicability of simulation software are improved greatly. The effect of the special cooling structure is reflected truly.

Key words: injection mould; numerical simulation; Boundary Element Method

0 引言

注塑模冷却系统的设计直接影响着注塑生产率和质量, 一方面可以缩短占整个注塑周期2/3以上的冷却时间, 另一方面可以提高制品质量。因此, 注塑模温度调节系统的优化设计一直是国内外学者广泛研究的课题^[1-4]。

大部分冷却模拟软件在进行特殊结构的造型和分析时, 为了简化计算, 仅用一根或几根具有等效截面积的直圆柱水管来近似。这种处理方法无论是几何形状还是流动方式上与实际情况差别较大, 计算结果会有较大的误差。本文在研究各种冷却结构几何模型的基础上, 建立了合理的网格离散模型, 提出了针对各种冷却结构高效准确的边界元数值求解方法。

1 几何形状描述

边界元法以模具为研究对象, 在求解模具边界元积分方程的时候, 需要对模具的所有边界表面进行网格划分。特殊冷却结构形状虽然复杂, 但边界元法关心的是其表面, 内部结构被忽略。由于温度和热流在整个水管壁面上的变化不大, 可以将冷却水管简化为一线状均匀源, 因此本文在离散冷却系统表面的时候, 首先沿轴向离散为一段段管状单元, 然后对每一段管状单元进行表面离散, 不同的特殊冷却结构网格划分结果示意图如图1所示。

2 边界元系数矩阵

2.1 系数矩阵的计算

收稿日期: 2004-11-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(20490224)

作者简介: 崔树标(1975~), 男, 博士研究生。

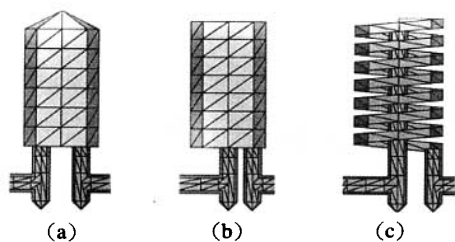


图1 特殊冷却结构网格划分示意图

(a) 隔板 (b) 喷流管 (c) 螺旋管

用Laplace方程描述的模具三维稳态温度场为:

$$k_p \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = 0 \quad (x, y, z) \in \Omega \quad (1)$$

式中: x, y, z 为三维坐标, Ω 表示模具区域, k_p 为模具材料的导热系数, T 为温度。

模具稳态温度场的确定最终归结为对Laplace方程的求解, 引入满足式(1)的基本解

$$T^*(\varphi, \xi) = \frac{1}{4\pi r(\varphi, \xi)} \quad (2)$$

式中: φ 为源点, ξ 为场点, $r(\varphi, \xi)$ 是 φ, ξ 两点间的距离。用加权余量法可导出Laplace方程的边界积分方程

$$C(\varphi)T(\varphi) = \int_{\Gamma} T^*(\varphi, \xi) q(\xi) ds - \int_{\Gamma} q^*(\varphi, \xi) T(\xi) ds \quad (3)$$

式中: $q^* = \partial T^* / \partial n$, Γ 为模具边界, $C(\varphi)$ 为角点系数, 其取值与源点所处位置有关。

离散区域边界, 则方程(3)可写成离散形式

$$\sum_{j=1}^N H_{ij} T_j = \sum_{j=1}^N G_{ij} q_j \quad (4)$$

将方程按边界条件进行移项处理, 并置全部未知量于左端, 可得到方程组

$$[A]\{X\} = \{F\} \quad (5)$$

式中: $\{X\}$ 是由未知的 T 及 q 组成的向量, 解此方程组可以得到边界上所有温度及热流。

2.2 混合单元的处理

型腔表面的网格为三角单元, 其数量由网格划分精度控制, 一般不能进行很大简化。而冷却系统表面的单元数量对问题的规模有决定性影响, 在分析计算时只有将冷却系统划分为一种特殊的管单元。使用这种混合单元的方法可以大规模提升软件计算能力, 才能够处理大型复杂模具的冷却分析。

由于模具型腔表面和冷却系统表面采用不同的网格, 在计算系数矩阵 H, G 的时候, 需要处

理混合单元带来的问题。根据单元组合方式可将 H, G 矩阵分成如图2所示四个部分。

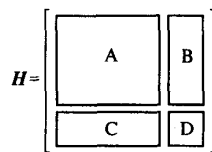


图2 矩阵分块示意图

图中 A 部分源单元和场单元均是三角单元; B 部分源单元为三角单元, 场单元为管单元; C 部分源单元为管单元、场单元为三角单元; D 部分源单元和场单元均为管单元。在计算系数矩阵时略有不同。

(1) A 部分 $\Delta + \Delta$, 此时源点 φ 和场点 ξ 均在三角单元上, 动态选择高斯积分精度计算源点对场单元的积分即可得到 H, G 矩阵系数 h_{ij} 和 g_{ij} ;

(2) B 部分 $\Delta + \bigcirc$, 此时源点 φ 在三角单元上, 场点 ξ 在管单元上, 场管单元的表面被离散为 N_{Δ} 个三角单元, 依次计算源点对每个三角场单元的积分, 然后求和即可得到 h_{ij} 和 g_{ij} , 相当于 N_{Δ} 次(1)中的积分计算;

(3) C 部分 $\bigcirc + \Delta$, 此时源点 φ 在管单元上, 场点 ξ 在三角单元上, 源管单元的表面被离散为 N_{Δ} 个三角单元, 依次计算每个三角源单元对场单元的积分, 然后求平均即可得到 h_{ij} 和 g_{ij} , 相当于 N_{Δ} 次(1)中的积分计算;

(4) D 部分 $\bigcirc + \bigcirc$, 此时源点 φ 和场点 ξ 均在管单元上, 源管单元表面被离散为 N_{Δ} 个三角单元, 场管单元表面被离散为 N_{Δ} 个三角单元, 依次计算每个源单元对所有场单元的积分, 然后求平均即可得到 h_{ij} 和 g_{ij} , 相当于 $N_{\Delta} \times N_{\Delta}$ 次(1)中的积分计算。

3 应用实例

本文对采用特殊冷却结构和等效直圆柱水管为型芯冷却系统的设计进行了冷却模拟, 为了便于对照, 零件为一简单的长方盒。图3所示为型芯采用隔板冷却时的回路布置和稳态温度场, 图4所示为型芯采用三组等效直圆柱水管冷却时的回路布置和稳态温度场。进行对比分析时, 除了

型芯冷却回路的形式不一样，其余条件如模具材

结果，采用隔板冷却时温度和温差有明显降低，冷却时间略短。

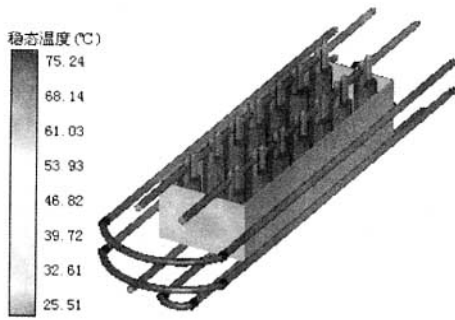


图3 隔板冷却稳态温度场

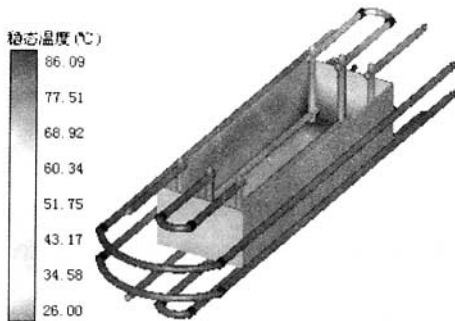


图4 等效冷却稳态温度场

料、冷却工艺条件等相同。

从分析结果统计数据，如表1所示，可以看出采用隔板冷却时各项结果均优于等效直管冷却

表1 分析结果数据对比

数据项	等效直管冷却	隔板冷却
制品温度范围(℃)	42.63~86.09	38.35~75.24
型芯型腔温差范围(℃)	-43.11~42.46	-30.80~30.51
中心面温度范围(℃)	70.62~90.48	70.00~87.76
截面平均温度范围(℃)	60.59~81.68	58.74~77.74
冷却时间(s)	23	22

4 结束语

本文将不同形式的冷却结构作为一种特殊的管单元处理，提出了相应的边界元积分计算方法，这不仅大幅度削减了边界元系数矩阵的空间规模，提高了求解速度。其次，不再使用直圆柱水管来等效特殊冷却结构，不仅大大提高模拟软件的计算精度和实用化程度，真实地反映特殊冷却结构的冷却效果，也为应力翘曲分析提供了更为准确的温度场数据。

参考文献:

- [1] 卢义强,李德群,肖景容.含隔板管分析的注塑模实用化冷却模拟系统[J].塑性工程学报,1994,1(1):59~64.
- [2] Kwon T H, Park S J. Optimal Cooling System Design for the Injection Molding Process[J]. Polymer Engineering and Science, 1998, 38(9): 1450~1462.
- [3] Henz J A, Himasekhar K. Design Sensitivities of Mold-cooling CAE Software: An Experiment Verification[J]. Advanced in Polymer Technology, 1996, 15(1): 1~16.
- [4] Forcucci S J, Kwon T H. A Computer Aided Design System for Three-dimensional Compression Mold Heating [J]. Journal of Engineering for Industry, 1988, 111(4): 361~368.

本刊加入《中国学术期刊（光盘版）》和“中国期刊网”的声明

为适应我国信息化建设需要，扩大作者学术交流渠道，本刊已加入《中国学术期刊（光盘版）》和“中国期刊网”。作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意将文章编入该数据库，请在来稿时声明，本刊将做适当处理。

《模具技术》编辑部