

基于种子填充算法的热节快速显示 在三维铸造工艺 CAD 中的应用

汪俊¹, 廖敦明¹, 张恒², 周晓静¹, 周建新¹

(1.华中科技大学 材料成形及模具技术国家重点实验室, 湖北武汉 430074;

2.江苏万恒铸业有限公司, 江苏滨海 224500)

摘要: 研究了种子填充算法 (the seed filling algorithm) 在三维铸造工艺 CAD 快速预测及显示热节过程中的应用, 给出了一个铸件应用实例。并利用华铸 CAE 对铸件孤立液相区域进行模拟验证, CAE 模拟结果与铸造工艺 CAD 中的模拟结果相符。缩短了用户制定合理铸造工艺的时间, 提高了工艺设计效率。

关键词: 种子填充; CAD; CAE; 工艺优化

The Application of the Seed Filling Algorithm in the Rapid Display of Hot Spot by 3D Casting Process Software

WANG Jun¹, LIAO Dun-ming¹, ZHANG Heng², ZHOU Xiao-jing¹, ZHOU Jian-xin¹

(1.State Key Laboratory of Material Processing and Die & Mould Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, Hubei; 2.Wanheng Casting Industry Co. Ltd, Binhai 224500, Jiangsu)

Abstract : This paper introduced the application of the seed filling algorithm in the rapid prediction and display of hot spots by 3D casting process software. In this case, we give an example of successful application in a casting factory. We have also used CAE software to help us to do the simulation of the isolated liquid region, the results of our 3D casting process simulation match with the CAE's simulation results. So we can use this simulation software of 3D casting process which based on UG to help the casting process designers to make better designs and shorten their designing time and improve the efficiency of process design.

Key words : seed Filling; CAD; CAE; process optimization

在工厂生产过程中, 工艺设计人员往往首先依赖自身实际生产的经验来进行铸造工艺设计, 然后在铸造 CAE 软件中对所设计的铸造工艺进行模拟, 根据模拟反馈的结果决定如何进行下一步工艺优化, 然后在铸造 CAE 中再次模拟, 直到得到符合要求的铸造工艺为止。如果能够直接在三维建模软件中模拟出铸件热节所在位置及分布, 就可在建模阶段有根据地设计较好的铸造工艺, 可大大节约设计时间及 CAE 模拟的时间开销。基于这个设想, 作者在三维铸造工艺 CAD 的基础上开发了一个基于种子填充算法的预测铸件热节位置及分布的程序, 在实际生产中能够指导铸造工艺设计人员更好地进行工艺设计, 提高工艺设计效率。

1 种子填充算法基本理论及应用

种子填充算法是图形处理软件中常用的填充算法, 最熟悉不过的就是 Windows 画图的油漆桶功能。种子填充算法又称为边界填充算法, 其基本思想是: 从多边形区域的一个内部点开始, 由内向外用给定的颜色点填充直到区域边界为止。如果边界是以一种颜色指定的, 则种子填充算法可逐个

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划 (NCET-13-0229); 中央高校基本科研业务费专项资金资助 HUST(2012TS010); 国家数控重大专项 (2012ZX04010-031, 2012ZX04012-011)。

作者简介: 汪俊 (1988-), 男, 硕士研究生, 主要从事 CAD 二次开发研究, E-mail: jun_wang08@163.com。

像素地处理直到遇到区域边界为止。种子填充算法常用四连通域和八连通域进行填充操作。所有种子填充算法的核心其实就是一个递归算法，都是从指定的种子点开始，向各个方向上搜索，逐个像素进行处理，直到遇到边界。常用的实现方法是点点填充递归算法。点点填充可以利用广度优先搜索（Breadth-First-Search）或深度优先搜索（Depth-First-Search）来完成，其主要思想是对种子点的四邻域(或八邻域)逐点进行判断，其优点是程序简单直观，缺点是没有考虑像素相关性，每个像素都有可能多次入栈出栈，当图像填充面积很大时，需要的栈空间和运行时间急剧增加，导致程序爆炸^[1]。

这里有两个基本概念就是“四连通算法”和“八连通算法”。从区域内任意一点出发，通过上、下、左、右四个方向到达区域内的任意像素。用这种方法填充的区域称为四连通域，这种填充方法称为四向连通算法；从区域内任意一点出发，通过上、下、左、右、左上、左下、右上、右下八个方向到达区域内的任意像素。用这种方法填充的区域就称为八连通域。如图 1 所示，假设中心的蓝色点是当前处理的点，如果是“四连通算法”，则只搜索处理周围蓝色标识的四个点，如果是“八连通算法”则除了处理上、下、左、右四个蓝色标识的点，还搜索处理四个红色标识的点。两种搜索算法的填充效果分别如图 3 和图 4 所示，假如都是从黄色点开始填充，则“四连通算法”只搜索填充左下角的区域，而“八连通算法”则将左下角和右上角的区域都填充了。

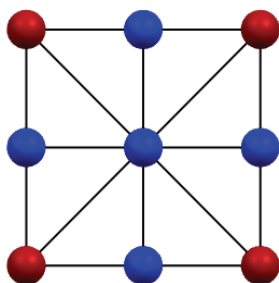


图 1 点模型)

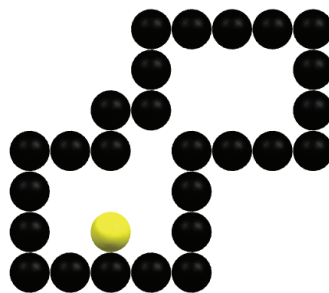


图 2 当前点

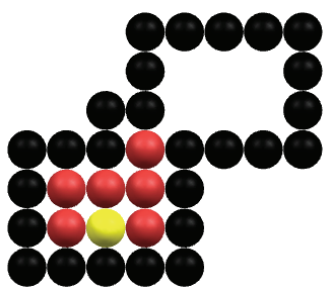


图 3 填充四连通域

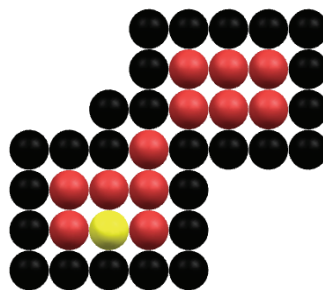


图 4 填充八连通域

四向连通填充算法如下：

- (a) 种子像素压入栈中；
- (b) 如果栈为空，则转 (e)；否则转 (c)；
- (c) 弹出一个像素，并将该像素置成填充色；并判断该像素相邻的四连通像素是否为边界色或已经置成多边形的填充色，若不是，则将该像素压入栈；
- (d) 转 (b)；
- (e) 结束。

八连通填充算法与此类似，另外，由平面填充可以扩展到空间三维填充，本文就是基于 UG 三维模型基础上的空间热节区域填充显示，采用的是三维种子填充算法^[2]。

2 种子填充算法的开发与应用过程

在进行填充之前，需对铸件进行网格划分，在这里采用立方体模型，并将所有划分点的信息保存在 `vector` 容器内，并且对所有立方体中心点进行分层，分层编号由铸件外表面至铸件内部依次增加。在实际铸造生产过程中，铸件由液相凝固转化为固相，这个过程中，铸件体积会发生收缩，程序中对热节体积的判据为：热节总体积 < 铸件总体积 × 收缩率。这样，可以将从某一层开始的所有内部点视为热节区域。接下来便是利用此算法进行热节显示区域的划分。其基本流程如下：

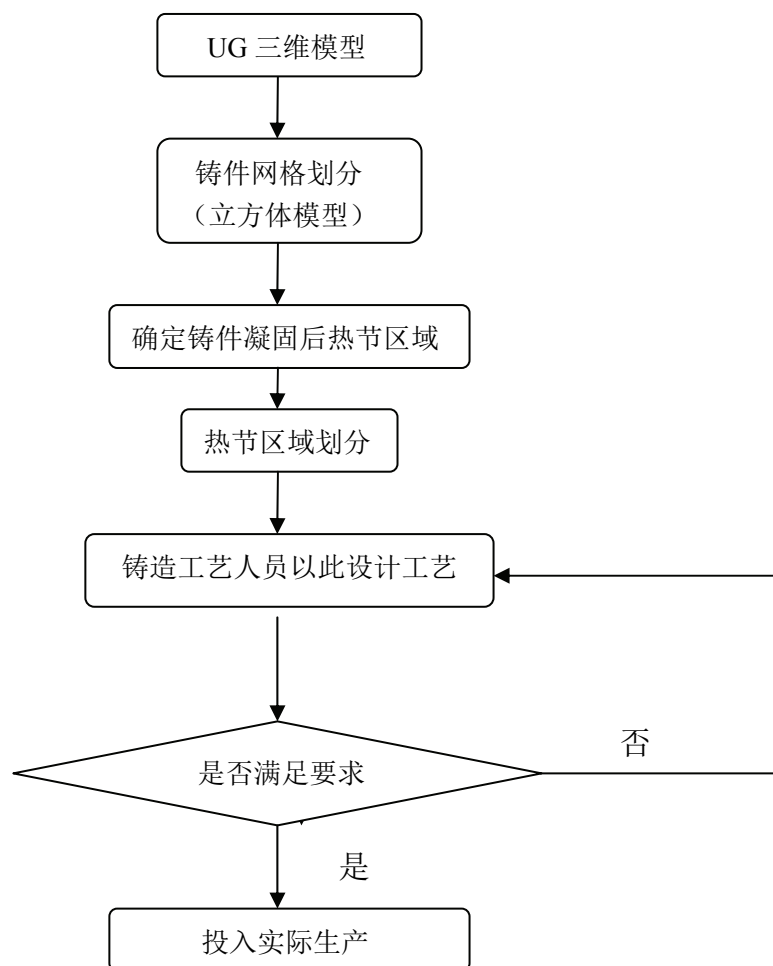


图5 设计及生产流程

热节显示区域划分的具体内容为：

- (1) 先在热节区域内任意找到一点，把这个点的信息存储到一个空容器内。
- (2) 将该容器中最后一个元素从容器中取出，并将这个点的属性设置为显示点，标记状态为已标记。
- (3) 采用种子填充算法，将与步骤(1)中的点距离小于等于 $\sqrt{3}$ 倍网格边长并且未被设为已标记状态的点放入容器内，且把这些点标记为显示点。
- (4) 重复以上步骤(2)和(3)，直到此容器为空，至此完成了一个热节显示区域的划分。
- (5) 如果所有热节区域内的点并未被标记完，那么从未被标记为显示的点中取出一个点来，继续(1)至(4)步骤的操作，以此类推，得到第二个、第三个热节显示区域。
- (6) 当所有热节区域内的点全部被标记为已显示状态，种子填充算法执行完毕，铸件的热节区

域划分就此全部完成。

经过这些步骤之后，对孤立液相区建立表面模型，然后利用 UG 二次开发函数 UF_FACET_create_model()、UF_FACET_add_facet_to_model() 对划分好的热节区域添加面片^[3]，最后在 UG 界面铸件内显示出来，铸造工艺设计人员利用计算好的热节参数并结合华铸 CAD 已有的冒口库来设计冒口类型、摆放的位置及尺寸，这样就给工艺设计人员在实际生产中放置冒口提供了判断依据，避免完全依赖生产经验来制定工艺。最后，可以拿此工艺方案到铸造 CAE 模拟软件中进行模拟，如果结果不甚理想，可以重新来设计工艺。

3 热节分区域显示应用实例

本文基于 UG 二次开发，首先在 UG 软件中建立三维模型，接着进入计算铸件热节模块，首先选择铸件（如图 6 所示），得到包容盒尺寸，网格大小初始设置为 3，网格尺寸可由用户修改，利用这两个参数可以算出三个坐标轴方向上的网格数。本例中网格大小设置为 8，选择铸件三维模型后得到 X 轴向网格数为 78，Y 轴向网格数为 72，Z 轴向网格数为 62，整个铸件总共划分网格 348192 个。

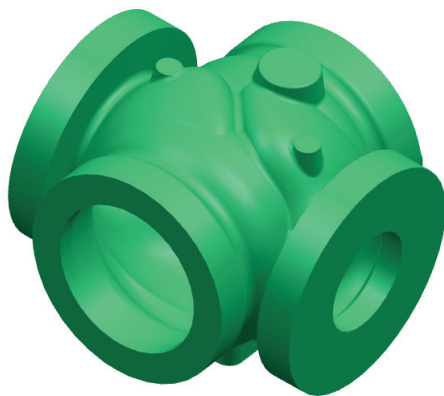


图 6 铸件三维模型

以上相关初始化参数如图 7 所示。



图 7 网格剖分初始参数



图 8 热节参数

接着分割与显示热节两部分，剖分完毕之后进行热节显示，如果铸件尺寸较大，那么这个过程需要等待一定时间。通过用户交互界面，用户可以直观地看到每个热节区域的体积、表面积及模数大小，由此推及冒口模数并确定冒口尺寸。计算结果显示，共有 10 个热节区域，第一个为左侧的环状热节，其模数为 5.08，对应热节参数如图 8 所示，此时的热节在铸件中的位置为图 9 中左上侧所示黄色区域。

最终的热节分区域显示如图 10 所示，从图中可以看到，铸件两侧及前后厚大部位为热节较为集中的区域，呈环形分布，顶部底部也有少数散布的热节。

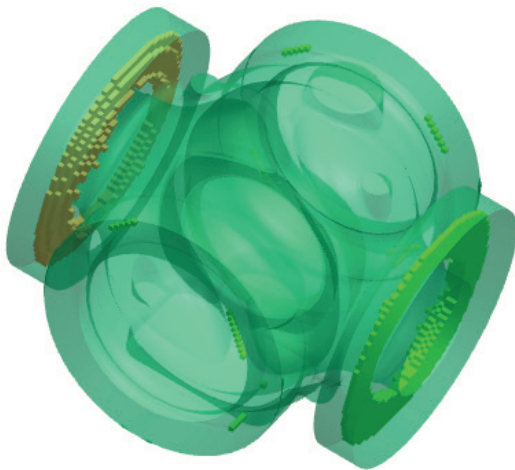


图 9 热节位置

将铸件导出 STL 文件，在华铸 CAE 模拟软件中进行模拟运算^[4]。图 11 为华铸 CAE 纯凝固模拟结果。纯凝固计算只考虑凝固过程，没有考虑充型的影响，基于“瞬间充型，初温均布”假设。由于本例只是利用 CAE 分析结果与种子填充算法算得结果进行初步比对，并不要求较高精度，目的是为工艺设计人员初步预判工艺，故选择纯凝固计算。在此基础上，工艺设计人员可以根据 UG 中已显示出的热节部分来制定合理的铸造工艺方案，设置冒口、浇注系统以及冷铁，本例通过在热节区域周边的铸件外侧设置侧冒口座、侧冒口，在铸件顶部设置顶冒口座、顶冒口，浇注系统则采用该铸造企业常用的圆管浇道，采用参数化建模技术^[5]，整体铸造工艺方案如图 12 所示。

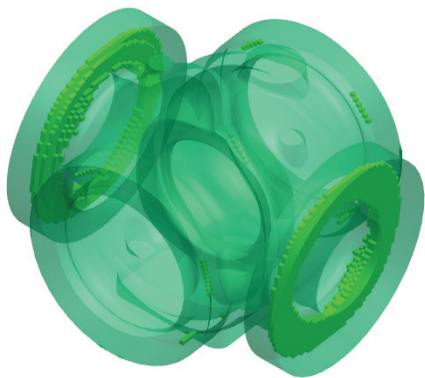


图 10 铸件热节区域

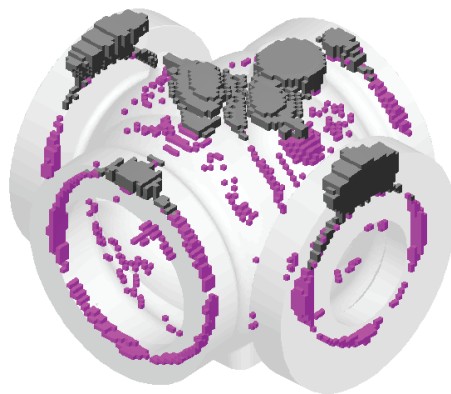


图 11 华铸 CAE 纯凝固模拟结果

另外,本例在三维 CAD 工艺设计的基础上还利用华铸 CAE 铸钢模块对热节模拟以作对比^[6],CAE 的热节模拟显示结果与本例中的热节区域吻合度较高,这也从另一方面验证了本研究的合理性。

本例所用铸件由某铸造厂提供,铸造工艺设计方案也在实际生产中得到了校验,软件模拟计算与实际生产均表明,这种基于种子填充算法的铸件热节快速显示方法在铸造企业的实际生产过程中可以发挥实际的作用,辅助工艺设计人员合理地进行铸造工艺设计,而传统的方法则是通过生产经验来设计工艺方案并在铸造 CAE 中模拟,利用模拟结果反馈来优化工艺设计,因此本例所作研究有利于提高工艺设计效率,帮助企业增产。

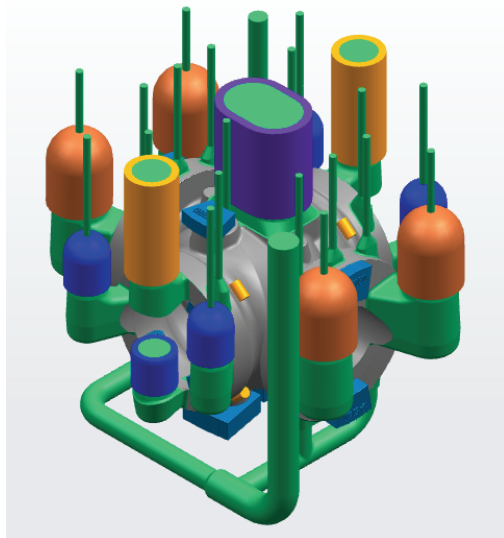


图 12 铸造工艺方案

4 结语

本研究基于 UG 平台,在华铸已有的三维铸造工艺 CAD 的基础上开发了基于种子填充算法的快速预测铸件热节的功能模块,能够在 UG 建模完成之后开始铸造工艺设计过程,利用本研究结果,工艺设计人员可以快速进行热节区域定位,在此基础上进行浇冒口设置,部署完整的铸造工艺,提高了工艺设计效率,缩短了工艺设计所需时间开销。实际应用表明,铸件热节区域的模拟及快速显示有助于工艺设计人员有效预测铸件缺陷,优化工艺方案。

参考文献:

- [1] 秦晓微. 区域填充算法的研究[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2011, 6 (6): 47-49.
- [2] 薛斌党, 薛文芳, 姜志国. 三维种子填充算法的改进[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2006,10(10):1554-1555.
- [3] 廖敦明, 陈立亮, 周建新, 魏鹏程, 龚雪丹. 铸造 CAD/CAE 智能冒口工艺优化设计[J]. 铸造, 2010,59(5):484-485.
- [4] 惠订, 陈立亮, 周建新, 廖敦明. 铸造数值模拟专用 CAD 系统的研究与开发[J]. 铸造, 2007,56(1):53-54.
- [5] 胡侨丹, 陈立亮, 廖敦明, 罗蓬. 基于 UG 的铸钢件冒口 CAD 系统开发关键技术研究[J]. 铸造, 2005,54(11):1093-1094.
- [6] 周建新, 刘瑞祥, 陈立亮, 廖敦明. 铸造 CAE 技术在铸钢件中的应用[J]. 热加工工艺, 2004(11):67-68.