

# 铸件凝固模拟的模型化

张希俊, 朱育兵, 张红松, 张方  
(昆明理工大学机电工程学院, 云南昆明 650093)

**摘要:** 铸件的凝固模拟计算前, 必须实现模拟对象的模型化. 此过程包括几何属性和物理属性模型化. 前者指用数字模型表示铸件本身及各种铸造材料的形状和尺寸以及它们在空间的相对位置信息; 后者指将材料本身涉及传热过程的物理参数与空间信息对应结合. 本文介绍利用自行开发的通用铸件凝固模拟软件 Rainbow FT 实现凝固模拟计算模型化的基本方法.

**关键词:** 凝固模拟; 几何属性; 物理属性; 模型化; 软件

**中图分类号:** TG244.3      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1007-855X(2004)05-0049-03

## Modeling of Casting Solidification Simulation

ZHANG Xi-jun, ZHU yu-bing, ZHANG Hong-song, ZHANG Fang

(Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

**Abstract:** The modeling simulation objects should be achieved before progressing the calculation of casting solidification simulation. The process includes modeling the geometry and physics properties. The former shows that castings and all kinds of foundry materials' shape, dimension and the information of their relative space position should be expressed by digital models. The latter shows that the physical parameters of materials relating to the process of heat transmission should be combined with their space positions. A basic method about using a self-research solidification simulation software, Rainbow FT, to achieve modeling solidification simulation calculation is introduced.

**Key words:** solidification simulation; geometry property; physics property; modeling; software

### 0 引言

铸造过程的计算机模拟技术目前已在生产中得到应用, 并正在深入研究和发展中. 一个完整的凝固过程模拟软件应包括前处理、中心环节(方程求解)和后处理三个模块<sup>[1]</sup>. 其中, 前处理模块的任务是创建计算的初始文件, 赋予模拟对象特定的几何属性和物理属性, 实现模拟对象的模型化. 铸造生产中所涉及的铸造材料品种各异, 具有不同的热性能, 形状尺寸也各有差别, 在模拟计算时必须正确赋值, 才能获得接近真实条件的计算结果. 通用的凝固过程模拟软件应能适用于不同种类的铸造零件, 并使用户方便地操作.

七彩虹(Rainbow FT)是我们自行开发的通用铸件凝固模拟软件. 它以 Visual C++ 语言开发, 运行于 Windows 操作系统平台, 适用于一般铸造过程的温度场模拟和铸件缺陷预测, 已进行多个工程实例计算<sup>[2]</sup>. 本文对它的模拟对象模型化的过程作一介绍.

### 1 模拟对象几何属性模型化

几何属性指铸件本身以及各种铸造材料(如铸型、型芯、冷铁等)的形状及尺寸信息以及它们在空间的相互位置信息. 在计算前, 利用商品化实体造型软件生成包含了以上信息的实体图形文件, 并在 Rainbow FT 中转换为计算需要的离散单元文件.

收稿日期: 2003-11-17.

第一作者简介: 张希俊(1956~), 男, 副教授. 主要研究方向: 材料成形及其控制.

### 1.1 实体文件生成

模拟对象各工艺元素的形状和尺寸信息包含在实体文件中.目前许多专业化绘图软件如 AutoCAD、Solidworks、UG 等均具有三维造型功能.这些软件目前在国内已普遍应用,并提供与其它软件传递数据的接口.STL(stereo lithography)是由美国 3D SYSTEMS 公司于 1988 年制定的一个接口协议,现已为大多数 CAD 系统所接受.应用上述绘图软件对要进行模拟的铸件和工艺元素按实际尺寸进行实体造型.所有元素均可在同一模型空间内生成,以保证它们之间的相互位置关系.按不同材质(如铸件、型砂、冷铁等)分别保存为 STL 格式文件.

### 1.2 离散单元文件生成

STL 文件将物体表面划分成很多小三角形,用这些空间三角形小平面来逼近原 CAD 实体,每个三角形的每条边有且仅有一个三角形与之相邻,每个三角形面片必须有一个单位法向量从实体内指向外,具体方向可由其三个顶点按一定原则确定.STL 有文本格式及二进制两种形式.文本文件简单明了,便于在文本编辑器里观察和改动,但表示一个浮点数要 13 个字节,而且有许多冗余关键字信息.而二进制(BINARY)格式虽然简捷得多,但不便观察.在 Rainbow FT 中,要求输入文本格式的 STL 文件.

模拟计算使用有限差分法.单元剖分即是把 STL 格式文件转换为有限差分均匀正交离散单元格式文件.其原理实际上是使用尺寸相同的小长方体去近似堆砌被剖分的实体,近似的程度与实体的复杂程度和小长方体的数量及体积大小有关.过程如下:取出实体在  $X, Y, Z$  三个方向上的大小,建立一个包围实体的长方体(即虚拟砂箱),使它的六个面与世界坐标

系的三个坐标平面分别对应平行,它的一个顶点为坐标系原点;然后沿三个坐标方向均匀分割长方体,形成尺寸一致的小长方体单元;最后利用各个小长方体中心点坐标来判断它处在物体内部还是外部,如果在内部,则把这个小长方体中心坐标记录下来并写入网格文件,如在外则丢弃不管,这样就对实体进行了剖分.这种描述同时提供了一种容易理解的单元离散算法.实际上,在用程序完成上述过程时,需要对 STL 文件进行自动纠错处理,并对算法进行优化,便于快速剖分计算单元.

剖分模型时需要读入铸件(或工艺元素)和砂箱的 STL 格式形体文件,同时输入网格单元的步长( $dx, dy, dz$ ).如果模拟实体是关于某坐标轴对称的,可以只建立一半的模型,从而大大减小 STL 文件的数据量.程序在计算时,可根据指定的对称类型进行计算.

## 2 模拟对象物理属性模型化

### 2.1 热物性参数值的管理

已离散的单元格式文件仅包含模拟对象的几何属性,在计算前必须将所涉及的各种材料的热物理参数赋予各个代表不同材质的几何模型.在工程实践中,材料的密度  $\rho$ , 比热  $\kappa$  和导热系数  $\lambda$  均为温度的函数,但这些函数关系的表达往往是复杂的.尤其在不均匀温度场条件下,更难以确定某一瞬间不同几何点上对应的热物性值.因而在实际计算中将参数值近似视为常量以简化求解过程.

为了适应计算不同材质铸件的要求,建立了工程数据库文件 material.lib,收集了上百种铸造材料的导热系数、比热、密度、结晶潜热、液、固相线温度等热物性参数,并在程序中设计数据库文件管理类 Cshujuku,可调用其成员函数对数据库中的材料热物性参数进行增添、删除、修改和查询等操作.

### 2.2 计算文件的生成

特定的模拟对象具有具体的热物性参数.在进入模拟计算前,需把它们与的几何属性结合起来,即指定哪些空间点具有什么样的热物性.为此在程序中设计了 CInput 类,其功能是用人机交互手段从数据库中将计算用到的实际材料的热物理参数提取出来,并存放于由用户自定义的数据文件(.dat 文件)中,供计算时主程序调用.由于计算模型通常由多种不同材料所构成,.dat 文件中还存放了这些材料之间界面换热系数的具体数值.

在主程序中预定义 int 数 -1 至 -7,分别代表铸件、型砂、型芯、内外冷铁、保温套和空气.在开始计算之前,程序依次读入代表各种材质的空间网格文件,然后从已生成的 .dat 文件中将对编号的热物理参

数读入并赋予各空间点,这样即可将模型的几何属性和热物理属性结合起来,完成了用铸件模拟计算的模型化。

### 3 铸件模型化实例

图1为在Rainbow FT中处理的减速器壳体铸件的剖分单元图,根据几何属性文件生成.该铸件约重366 kg,采用砂型铸造.模拟计算时采用 $10 \times 10 \times 10$ 网格剖分,共46 870个单元.表1为温度场模拟计算时用到的.dat文件中包含的热物理参数.图2为温度场计算效果图,它根据模型的几何属性和物理属性生成,直观地反映了计算模型各空间点间相对位置与这些点上对应的瞬时温度。

表1 壳体铸件模拟计算的热物理性能数值表

Tab.1 Thermophysical capabilities by simulation calculation of casting monoblock

| 材料                            | 导热系数<br>$/\text{cal}(\text{cm}\cdot\text{K}\cdot\text{s})^{-1}$ | 比热<br>$/\text{cal}(\text{g}\cdot\text{K})^{-1}$ | 密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ | 潜热/ $\text{cal}\cdot\text{g}^{-1}$ | 液相点/ $^{\circ}\text{C}$ | 固相点/ $^{\circ}\text{C}$ |         |
|-------------------------------|---|---|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------------|---------|
| 铸件                            | ZG25  | 0.071 0   | 0.137 0                           | 7.820 0                            | 65.00 0                 | 1 488.0                 | 1 460.0 |
| 砂型(芯)                         | silica  | 0.003 0   | 0.295 0                           | 1.620 0                            | --                      | --                      | --      |
| 空气                            | air   | 0.000 1   | 0.260 0                           | 0.001 5                            | --                      | --                      | --      |
| 冷铁                            | ZG45  | 0.071 0   | 0.137 0                           | 7.820 0                            | --                      | --                      | --      |
| 其它计算条件                        |   |   |                                   |                                    |                         |                         |         |
| 浇注温度:1 540 $^{\circ}\text{C}$ |   | 环境温度:20 $^{\circ}\text{C}$                      |                                   | 收缩系数:0.059                         |                         |                         |         |

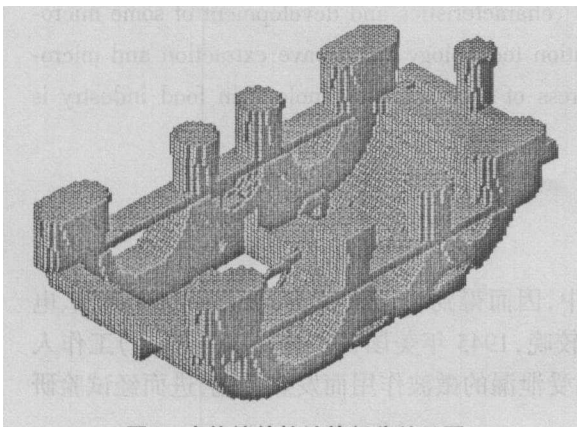


图1 壳体铸件的计算剖分单元图  
Fig.1 Calculative subdivided cell of casting monoblock

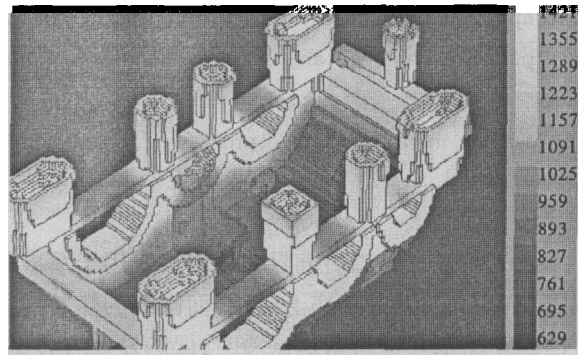


图2 壳体铸件的温度分布图  
Fig.2 Temperature distribution of casting monoblock

#### 参考文献:

- [1] 杨全,张真.金属凝固与铸造过程的数值模拟[M].杭州:浙江大学出版社,1996.4.  
[2] 朱育兵,张希俊.台车凝固过程的数值模拟及工艺优化[J].昆明理工大学学报(理工版),2003,28(2):61~63.