



## (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108734751 A

(43)申请公布日 2018.11.02

(21)申请号 201810446651.1

(22)申请日 2018.05.08

(71)申请人 中山大学

地址 510275 广东省广州市海珠区新港西  
路135号

(72)发明人 周翠英 梁宁 刘镇

(51)Int.Cl.

G06T 11/00(2006.01)

权利要求书1页 说明书4页 附图3页

### (54)发明名称

一种基于随机分形的多孔介质细观结构模型生成方法

### (57)摘要

本发明提供一种基于随机分形的多孔介质细观结构模型生成方法,可模拟多孔介质内部细观结构的分布情况。通过编写程序语言模拟孔隙生成,实现孔隙模型的规范化处理,针对多孔介质中孔隙边界的复杂、不确定等形状,通过林顿伊尔系统仿真模式进行模拟,实行字符串序列的等价变换,将字符串序列转化为边界演变规则作为边界生成的依据。同时,基于分形几何的迭代方式,并结合随机分布概率模拟孔隙结构的生成,得出多样化复杂的多孔介质细观结构模型。本发明的仿真效果良好,可有效揭示多孔介质内部细观结构特性,在软件模型建立与三维重构方面可实现广泛应用。

1. 一种基于随机分形的多孔介质细观结构模型生成方法,其特征在于,包括:

(1) 基于林顿伊尔系统仿真模式,生成字符串发展序列并自动存储,以字符串序列模式实现孔隙边界模型的随机控制,通过字符串的拓展与演变,系统识别字符串排列特征,并执行字符串的等价变换,建立起孔隙边界模型的构造规则,实现孔隙边界的复杂连续性处理,体现形态各异孔隙边界的组合方式,更好的模拟实际孔隙边界;

(2) 定义异形孔隙初始元模型,运用分形几何迭代方式对孔隙初始元进行有限次迭代,模拟孔隙演变过程,结合林顿伊尔系统仿真模式并加入随机因子决定初始元迭代方向,实现孔隙生成过程的多样化、吻合度高与随机性强的无规则模拟以及孔隙模型复杂变化的动态生长方式;

(3) 对绘图区进行全局域遍历,建立非生长相内部坐标矩阵,同时给出区域内部随机概率分布元素,形成坐标矩阵、随机概率相统一的组装矩阵,控制孔隙初始元的大小与迭代步数,实现孔隙大小的随机分布,孔隙结构模型进一步优化处理;

(4) 以指定色块进行孔隙结构对非生长相的实时嵌入,并跟踪该色块对全区域所占的比例,通过该比例反演孔隙率的实时大小,通过与目标孔隙率的比较,判定孔隙生成条件,自动控制循环迭代过程。以达到循环迭代条件而终止整个模型生成,得出多孔介质细观结构模型二值图像,有效表征实际多孔介质内部结构特征。

## 一种基于随机分形的多孔介质细观结构模型生成方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于数字图像与材料工程互相结合应用的领域,涉及一种基于随机分形的多孔介质细观结构模型生成方法,适用于通过编写程序语言模拟多孔介质细观结构的分布并最终生成模型图像。

### 背景技术

[0002] 多孔介质内部细观结构的特征对其宏观力学性能有重要的影响,诸如材料的渗透性、抗压性等均与其内部细观结构的分布、排列有着密切的关系。因此,如何更切合实际地模拟多孔介质内部的细观结构并生成图像模型已成为该领域研究的热点问题,通过图像的生成,可以有效揭示多孔介质细、宏观之间的关系。目前在生成多孔介质细观结构图像的方法,主要有离散的减少距离方法生成圆形、椭圆形的两相粒状多孔介质,或采用沉积生成算法生成多孔介质。但这些方法均受限于固定孔隙模型、随机性较差,且算法过于复杂化,成图的理想程度较低,无法实现模型与实体的有效逼真与高吻合度。对此研究了一种利用随机分形迭代模式模拟多孔介质细观结构的生成方法,该方法基于林顿伊尔系统仿真模式模拟孔隙的复杂边界,由分形几何迭代方式生成多样化无规则孔隙结构,并通过分布概率的大小,随机排列于多孔介质固相内部,初始定义多孔介质的目标孔隙率从而决定孔隙的无规则定量分布,最终基于程序汇编语言将数字信息转化为图像并绘制成图。整个模型生成过程逻辑严谨,模型与实体有着较高的匹配度,能有效表征实体多孔介质内部结构特征,在软件建模平台以及多孔介质三维重构的过程中实现广泛的应用。

### 发明内容

[0003] 针对现有技术的缺陷,发明一种基于随机分形的多孔介质细观结构模型生成方法,以定义多孔介质目标孔隙率作为控制整个模拟的终结条件,确定绘图区域范围,初始假设区域为多孔介质的固相,令孔隙为生长相,固相为非生长相。由林顿伊尔系统仿真模式模拟孔隙复杂边界,通过分形几何迭代方法随机模拟多样化无规则孔隙,遍历绘图区域建立全局域坐标矩阵,同时引入随机分布概率元素,实现孔隙模型在各坐标的随机分布,建立孔隙初始元大小、孔隙迭代次数与分布概率的关联,最终实现复杂孔隙模型的生成与嵌入,并导出模型图像。该方法生成的孔隙结构随机性强、形状多样化组合,对多孔介质细观结构的模拟更为逼真、有效。

[0004] 一种基于随机分形的多孔介质细观结构模型生成方法,其发明内容如下:

[0005] 1. 复杂孔隙边界模型的生成规则。

[0006] (1) 基于林顿伊尔系统仿真模式生成字符串序列,读取并识别字符串序列特征,实现字符串的自动存储;

[0007] (2) 对字符串进行等价变换,构造模型生成规则,实现孔隙边界复杂模拟。

[0008] 2. 基于分形几何迭代方式生成多样化无规则孔隙。

[0009] (1) 定义孔隙生长模型,给出几种可能的初始元,对初始元进行编号处理并赋值ID

号提供识别功能,为后续绘图实时调用;

[0010] (2) 引入随机因子,并结合林顿伊尔系统仿真模式随机迭代过程,实现孔隙的演变处理过程;

[0011] (3) 运用分形几何迭代方式,汇合初始元编号、随机因子形成相互对应关系,实时模拟孔隙演变过程,随机迭代N次后得出复杂孔隙形状;

[0012] 3. 初始元大小与绘制区域坐标对应关系的建立。

[0013] (1) 遍历绘图区域,给定全局域内随机坐标矩阵;

[0014] (2) 定义随机分布概率元素与坐标矩阵的对应关系,组装新矩阵,以分布概率元素确定初始元的大小,以坐标元素确定孔隙生成位置,实现孔隙在固相内部的生成与嵌入;

[0015] 4. 基于图形的像素值计算孔隙率的大小,控制整体绘制过程。

[0016] (1) 整个绘图过程执行黑白二值处理,黑色块为固相,白色块为孔隙,通过计算图像白色区域块像素占全区域的比例,即可得出实时孔隙率的大小;

[0017] (2) 以实时跟踪的孔隙率大小实现迭代与绘图循环次数的控制,直至达到初始设定的目标孔隙率,完成整个绘图过程,生成多孔介质细观结构模型。

[0018] 本发明具有以下优点:

[0019] (1) 可依据林顿伊尔系统的字符串序列控制复杂孔隙边界的生成,随机效果好,符合实际材料结构特征。

[0020] (2) 基于分形迭代方式构造多样化无规则孔隙模型,可有效模型孔隙的封闭、连通、走向、大小各异等更为全面的性状,仿真效果更好。

[0021] (3) 建立绘图区域坐标矩阵、分布概率与孔隙模型迭代、嵌入方式的对接关系,由分布概率操控孔隙模型大小,并决定孔隙的分形迭代次数,实现的多重分布,模型结构进一步优化。

[0022] (4) 建立图像的像素值识别功能,将二值图像数据经过计算反演实时孔隙率大小,通过孔隙率大小智能控制整个绘图流程,以达到目标孔隙率为终止条件,完成模型构建,生成模型图像,有效表征多孔介质内部结构特征。

## 附图说明

[0023] 附图1为林顿伊尔系统仿真字符串序列与对应孔隙边界生成模型。

[0024] 附图2为几种可能的孔隙初始元与对应迭代模型。

[0025] 附图3为模型结构生成流程图。

[0026] 附图4为不同孔隙率对应的多孔介质细观结构模型图。

## 具体实施方式

[0027] 下面结合附图对本发明做进一步的说明。

[0028] 通过编写程序语言模拟多孔介质细观结构,主要包括:基于林顿伊尔系统随机模拟孔隙边界;基于分形几何随机迭代过程生成孔隙模型;遍历固相区域并建立全局域坐标矩阵,引入随机分布概率元素与坐标矩阵进行组装,建立组装矩阵与孔隙生成元模型、大小与孔隙迭代次数的对应关系、于非生长相内部生成孔隙结构;识别图像单像素大小,将其反演为孔隙率从而控制整个模型生成流程,最终生成多孔介质细观模型,具体实现步骤如下:

[0029] 1. 选定模型生成区域, 确定目标孔隙率控制参数。

[0030] (1) 给定绘图区域, 并对其进行坐标标定, 将整片区域初始化, 内部以全黑色进行填充, 计算图像的总像素R, 即假定最初状态全为非生长相(固相);

[0031] (2) 设定目标孔隙率n, 即以n的大小作为目标控制参数, 决定着整个模型生成是否的终结条件。

[0032] 2. 基于林顿伊尔系统的仿真模式随机模拟孔隙边界。

[0033] (1) 建立林顿伊尔系统仿真模式。给定初始字符, 定义字符替换规则将初始字符进行逐步替换, 形成新字符串序列, 其替换基本思路如下:

[0034] 替换规则:  $b \rightarrow a, a \rightarrow ab$

[0035] 演变规律:  $b \rightarrow a \rightarrow ab \rightarrow aba \rightarrow abaab \rightarrow abaababa \rightarrow abaababaabaab \rightarrow \dots$

[0036] (2) 对新字符串序列实行等价替换, 用“F”替换“b”, 用“+”或“-”替换“a”, “F”表示孔隙边界生成, “+”或“-”表示边界生成的两个随机方向, “+”为右转60度, “-”为左转60度;

[0037] (3) 设置孔隙边界生成规则, 声明孔隙生成起始点、起始边界长度、边界生长方向以及迭代步长等控制参数, 读取字符串序列从而控制孔隙边界生成模式完成边界生成模型过程, 如图1所示为几种可能的孔隙边界生成模型;

[0038] 3. 基于分形几何迭代方式随机生成孔隙模型。

[0039] (1) 给定几种可能的最初孔隙模式, 并对初始元赋值ID识别号, 并随机进行第一次模型演变, 得出孔隙的初始元模型, 如图2中所示的初始元;

[0040] (2) 结合第1步的林顿伊尔系统仿真孔隙边界生成模型, 同时加入随机因子, 基于分形几何的迭代方式, 实时进行边界、孔隙形状的演变, 生成孔隙模型, 如图2的几种初始元经过迭代后的孔隙模型;

[0041] 4. 建立非生长相内部坐标矩阵与分布概率的关联, 实现孔隙大小、形状多样化模拟。

[0042] (1) 建立非生长相内部随机坐标矩阵  $A[x_i, y_i]$ , 实现坐标矩阵对绘图区域的完全遍历;

[0043] (2) 建立分布概率  $p_i$ , 分布概率应满足如下条件:

$$[0044] \quad \begin{cases} 0 \leq p_i < 1 \\ \sum p_i = 1 \end{cases}$$

[0045] 将各分布概率随机嵌入坐标矩阵  $A[x_i, y_i]$  中, 形成新的矩阵  $B[x_i, y_i, p_i]$ , 在矩阵B中, 坐标元素  $x_i, y_i$  决定着孔隙生成位置的随机分布, 分布概率元素  $p_i$  决定着孔隙初始元的大小与迭代次数,  $p_i$  越大, 孔隙初始元面积越大, 且迭代次数越多, 从而实现大、小孔隙与形状多样化孔隙的随机分布, 生成孔隙, 孔隙模型以白色块嵌入、生长于非生长相内部。

[0046] 5. 计算白色区域图像像素大小r, 将白色区域所占比例转换为实时孔隙率大小  $n_p$ , 实现模型生成过程循环迭代步数的实时操控。

[0047] (1) 每完成一步迭代过程, 系统进行白色区域的识别与像素值的计算, 同时进行实时孔隙率  $n_p$  的计算, 即:  $n_p = r/R$ ;

[0048] (2) 循环终结条件的判定, 若  $n_p < n$ , 则重复2、3、4、5步操作; 若  $n_p \geq n$ , 则终止循环迭代过程, 完成孔隙的演变与嵌入, 整个绘图流程如图3所示。

[0049] 6. 终止迭代, 生成并导出图像, 得出多孔介质细观结构模型图。如图4所示为不同

目标孔隙率的多孔介质细观结构模型图。

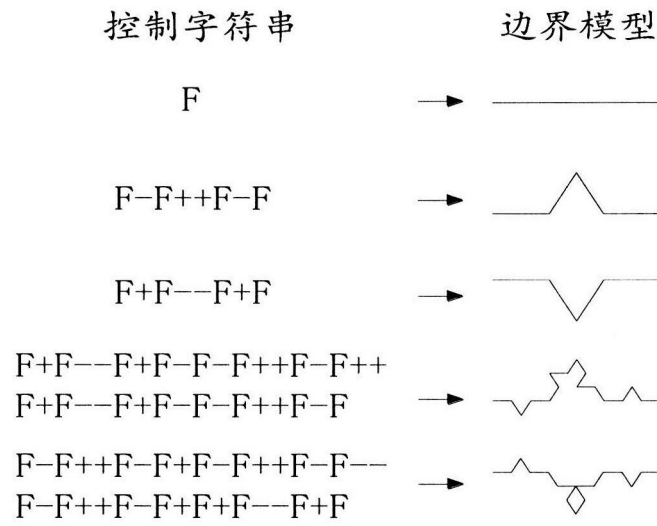


图1

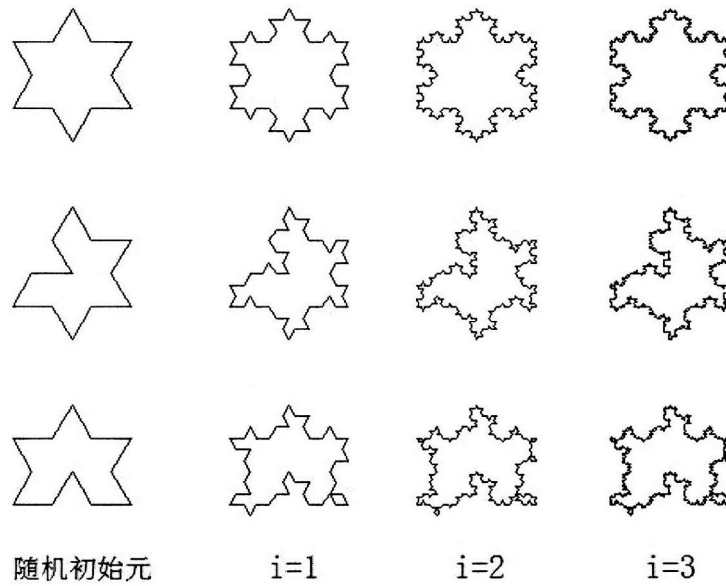


图2

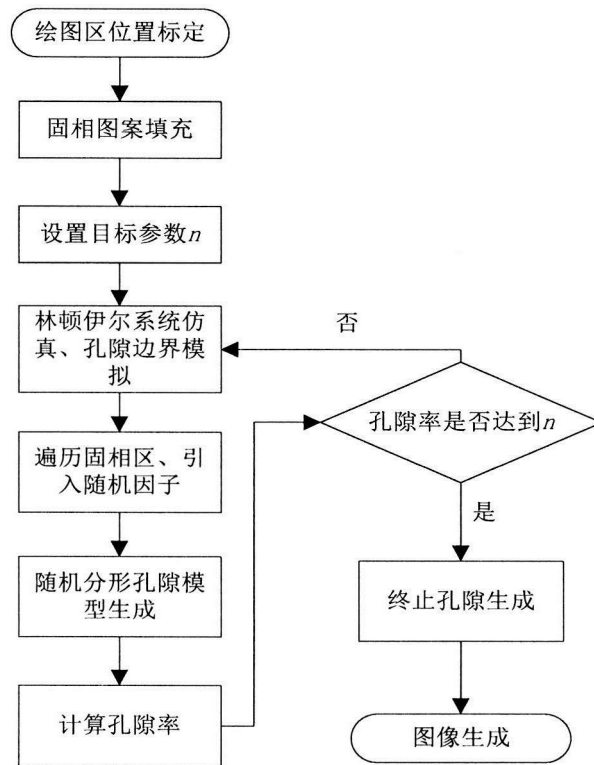


图3



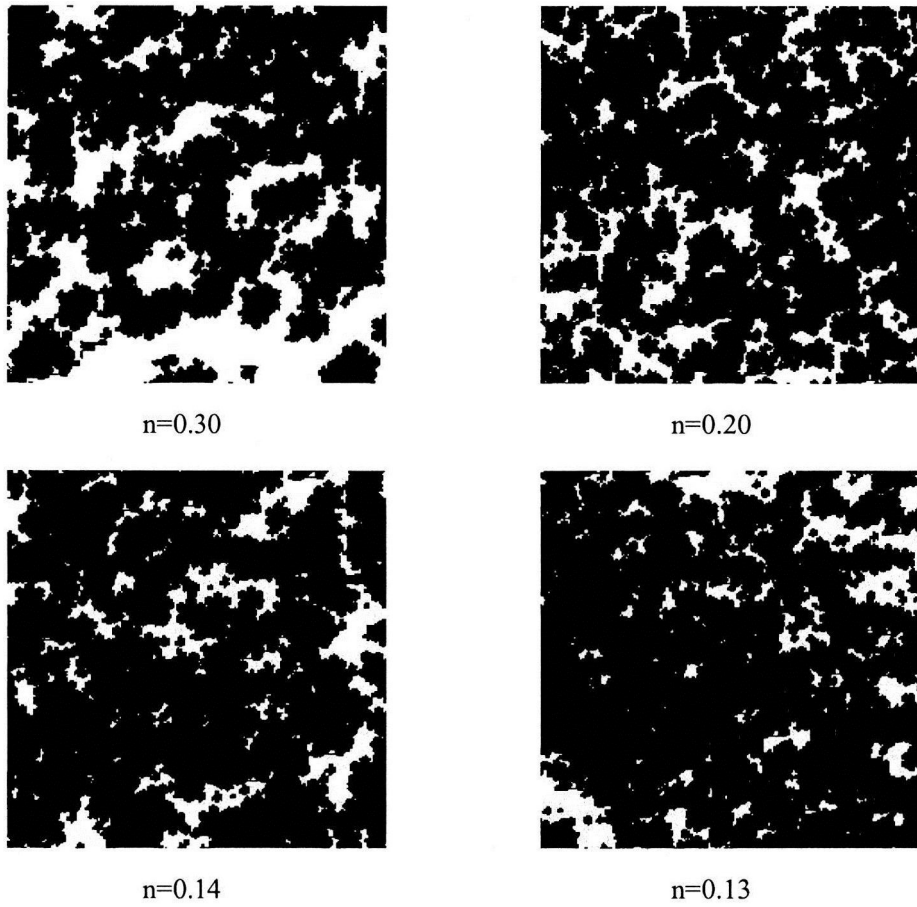


图4