



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116644646 B

(45) 授权公告日 2024.03.22

(21) 申请号 202310557637.X

(22) 申请日 2023.05.17

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 116644646 A

(43) 申请公布日 2023.08.25

(73) 专利权人 中山大学
地址 510000 广东省广州市海珠区新港西路135号

(72) 发明人 林越翔 赖正首 黄林冲 马建军 梁禹

(74) 专利代理机构 广东合方知识产权代理有限公司 44561
专利代理师 许建成

(51) Int. Cl.
G06F 30/25 (2020.01)
G16C 60/00 (2019.01)
G01N 15/00 (2024.01)
G01N 15/02 (2024.01)
G01N 33/24 (2006.01)
G06F 119/14 (2020.01)

(56) 对比文件
CN 112507581 A, 2021.03.16

CN 114565736 A, 2022.05.31

CN 116011302 A, 2023.04.25

CN 105917389 A, 2016.08.31

CN 109063275 A, 2018.12.21

CN 109509251 A, 2019.03.22

CN 110990911 A, 2020.04.10

CN 112560125 A, 2021.03.26

CN 113254673 A, 2021.08.13

Linchong Huang et al. On the optimization of site investigation programs using centroidal Voronoi tessellation and random field theory. Computers and Geotechnics. 2019, 全文.

唐欣薇; 周元德; 张楚汉. 考虑空间相关尺度特征的细观力学模型及其应用. 岩土力学. 2012, (第07期), 全文.

夏艳华. 异质地层稳定渗流场随机多尺度有限元模拟研究. 皖西学院学报. 2012, (第05期), 全文. (续)

审查员 刘亚芳

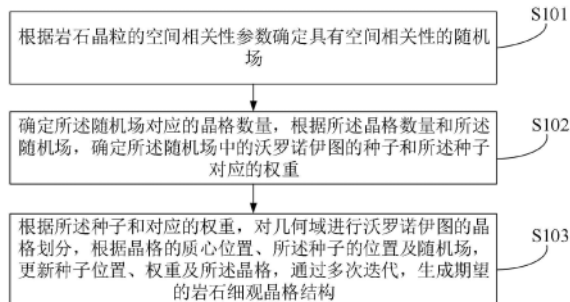
权利要求书2页 说明书8页 附图6页

(54) 发明名称
岩石的细观重构方法、装置、设备及存储介质

(57) 摘要

本申请涉及岩石重构领域, 提出了一种岩石的细观重构方法、装置、设备及存储介质。该方法包括: 根据岩石晶粒的空间相关性参数确定具有空间相关性的随机场; 确定所述随机场对应的晶格数量, 根据所述晶格数量和所述随机场, 确定所述随机场中的沃罗诺伊图的种子和所述种子对应的权重; 根据所述种子和对应的权重, 对几何域进行沃罗诺伊图的晶格划分, 根据晶格的质心位置、所述种子的位置及随机场, 更新种子位置、权重及所述晶格, 通过多次迭代生成期望的

岩石细观晶格结构。由于重构的晶格在呈现了晶粒尺寸信息的同时, 还包括晶粒的空间相关性, 从而能够更为准确的预测岩石的力学性质, 确定岩石的力学强度和结构的稳定性等。



CN 116644646 B

[接上页]

(56) 对比文件

王竟成;罗景润.基于Voronoi细观数值模型预测PBX的有效弹性模量.含能材料.2017,(第07期),全文.

康锦霞;王志华;赵隆茂.采用Voronoi模型

研究多孔金属材料准静态力学特性.工程力学.2011,(第07期),全文.

杨圣.结合特征场和标号场MRF的区域化纹理图像分割.测绘与空间地理信息.2018,(第05期),全文.

1. 一种岩石的细观重构方法,其特征在于,所述方法包括:
根据岩石晶粒的空间相关性参数确定具有空间相关性的随机场;
确定所述随机场对应的晶格数量,根据所述晶格数量和所述随机场,确定所述随机场中的沃罗诺伊图的种子和所述种子对应的权重;
根据所述种子和对应的权重,对几何域进行质心加权沃罗诺伊图的晶格划分,根据晶格的质心位置、所述种子的位置及随机场,更新种子位置、权重及所述晶格,通过多次迭代,生成期望的岩石细观晶格结构;
所述根据岩石晶粒的空间相关性参数确定具有空间相关性的随机场,包括:
获取预定大小的面域,将所述面域离散化为多个网格;
根据岩石晶粒的空间相关性参数,确定所述网格的质心处对应的随机场取值,得到具有空间相关性的随机场。
2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,根据晶格的质心位置、所述种子的位置及随机场,更新种子位置、权重及所述晶格,通过多次迭代,生成期望的岩石细观晶格结构,包括:
根据种子生成初步晶格,计算晶格质心位置,将种子移动至晶格质心位置;
根据当前质心位置和随机场重新计算对应种子权重,并更新晶格;
再次确定更新后晶格的质心位置,将种子移动至更新后的质心位置并计算权重,根据移动位置后的种子及权重迭代更新晶格,直到满足预设的迭代要求,生成期望的岩石细观晶格结构。
3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述预设的迭代要求包括当前更新后的晶格的质心,与用于更新当前晶格的种子之间的距离小于预定距离阈值,或者,迭代次数满足预定的次数要求。
4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,确定所述随机场对应的晶格数量,包括:
确定所述岩石的晶粒的平均面积;
根据所述平均面积和所述面域的总面积,确定所述面域确定的随机场中包括的晶格的数量。
5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,根据岩石晶粒的空间相关性参数,确定所述网格的质心处对应的随机场取值,得到具有空间相关性的随机场,包括:
根据所述岩石晶粒的空间相关性参数,采用柯列斯基分解确定所述网格的质心处对应的随机场取值。
6. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,根据所述晶格数量和所述随机场,确定所述随机场中的沃罗诺伊图的种子和所述种子对应的权重,包括:
根据所述晶格数量,确定设置在所述随机场内的种子数量;
根据所述种子的位置和所述空间相关的随机场,确定所述种子对应的权重。
7. 一种岩石的细观重构装置,其特征在于,所述装置包括:
随机场确定单元,用于根据岩石晶粒的空间相关性参数确定具有空间相关性的随机场;
权重确定单元,用于确定所述随机场对应的晶格数量,根据所述晶格数量和所述随机场,确定所述随机场中的沃罗诺伊图的种子和所述种子对应的权重;

晶格生成单元,用于根据所述种子和对应的权重,对几何域进行质心加权沃罗诺伊图的晶格划分,根据晶格的质心位置、所述种子的位置及随机场,更新种子位置、权重及所述晶格,通过多次迭代,生成期望的岩石细观晶格结构;

所述随机场确定单元用于获取预定大小的面域,将所述面域离散化为多个网格;根据岩石晶粒的空间相关性参数,确定所述网格的质心处对应的随机场取值,得到具有空间相关性的随机场。

8.一种岩石的细观重构设备,包括存储器、处理器以及存储在所述存储器中并可在所述处理器上运行的计算机程序,其特征在于,所述处理器执行所述计算机程序时实现如权利要求1至6任一项所述方法的步骤。

9.一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质存储有计算机程序,其特征在于,所述计算机程序被处理器执行时实现如权利要求1至6任一项所述方法的步骤。

岩石的细观重构方法、装置、设备及存储介质

技术领域

[0001] 本申请涉及岩石重构领域,尤其涉及岩石的细观重构方法、装置、设备及存储介质。

背景技术

[0002] 岩石是一种非均质材料,其细观单元参数不均匀。由于细观单元的不均匀性,使得岩石在承载过程中将使其沿着晶界面单元开始破坏,晶体单元的连续破坏,最终导致岩体的宏观破坏,造成岩石的力学性能的劣化,或者导致岩石出现断裂与失效。

[0003] 通过沃罗诺伊图(英文全称为Voronoi diagram)可以用于生成岩石的晶粒结构,但是不能准确的呈现晶粒尺寸分布以及晶粒的空间相关性,不利于准确的预测岩石的力学性质,包括如确定岩石的力学特性和结构的稳定性等。

发明内容

[0004] 有鉴于此,本申请实施例提供了一种岩石的细观重构方法、装置、设备及存储介质,以解决现有技术中不能准确的呈现晶粒尺寸分布以及晶粒的空间相关性,不利于准确的预测岩石的力学性质,确定岩石的力学特性和结构的稳定性的问题。

[0005] 本申请实施例的第一方面提供了一种岩石的细观重构方法,所述方法包括:

[0006] 根据岩石晶粒的空间相关性参数确定具有空间相关性的随机场;

[0007] 确定所述随机场对应的晶格数量,根据所述晶格数量和所述随机场,确定所述随机场中的沃罗诺伊图的种子和所述种子对应的权重;

[0008] 根据所述种子和对应的权重,对几何域进行沃罗诺伊图的晶格划分,根据晶格的质心位置、所述种子的位置及随机场,更新种子位置、权重及所述晶格,通过多次迭代,生成期望的岩石细观晶格结构。

[0009] 结合第一方面,在第一方面的第一种可能实现方式中,根据晶格的质心位置、所述种子的位置及随机场,更新种子位置、权重及所述晶格,通过多次迭代,生成期望的岩石细观晶格结构,包括:

[0010] 根据种子生成初步晶格,计算晶格质心位置,将种子移动至晶格质心位置;

[0011] 根据当前质心位置和随机场重新计算对应种子权重,并更新晶格;

[0012] 再次确定更新后晶格的质心位置,将种子移动至更新后的质心位置并计算权重,根据移动位置后的种子及权重迭代更新晶格,直到满足预设的迭代要求,生成期望的岩石细观晶格结构。

[0013] 结合第一方面的第一种可能实现方式,在第一方面的第二种可能实现方式中,所述预设的迭代要求包括当前更新后的晶格的质心,与用于更新当前晶格的种子之间的距离小于预定距离阈值,或者,迭代次数满足预定的次数要求。

[0014] 结合第一方面,在第一方面的第三种可能实现方式中,根据岩石晶粒的空间相关性参数确定具有空间相关性的随机场,包括:

[0015] 获取预定大小的面域,将所述面域离散化为多个网格;

[0016] 根据岩石晶粒的空间相关性参数,确定所述网格的质心处对应的随机场取值,得到具有空间相关性的随机场。

[0017] 结合第一方面的第三种可能实现方式,在第一方面的第四种可能实现方式中,确定所述随机场对应的晶格数量,包括:

[0018] 确定所述岩石的晶粒的平均面积;

[0019] 根据所述平均面积和所述面域的总面积,确定所述面域确定的随机场中包括的晶格的数量。

[0020] 结合第一方面的第三种可能实现方式,在第一方面的第五种可能实现方式中,根据岩石晶粒的空间相关性参数,确定所述网格的质心处对应的随机场取值,得到具有空间相关性的随机场,包括:

[0021] 根据所述岩石晶粒的空间相关性参数,采用柯列斯基分解确定所述网格的质心处对应的随机场取值。

[0022] 结合第一方面,在第一方面的第六种可能实现方式中,根据所述晶格数量和所述空间相关的随机场,确定所述随机场中的沃罗诺伊图的种子和所述种子对应的权重,包括:

[0023] 根据所述晶格数量,确定设置在所述随机场内的种子数量;

[0024] 根据所述种子的位置和所述随机场,确定所述种子对应的权重。

[0025] 本申请实施例的第二方面提供了一种岩石的细观重构装置,所述装置包括:

[0026] 随机场确定单元,用于根据岩石晶粒的空间相关性参数确定具有空间相关性的随机场;

[0027] 权重确定单元,用于确定所述随机场对应的晶格数量,根据所述晶格数量和所述随机场,确定所述随机场中的沃罗诺伊图的种子和所述种子对应的权重;

[0028] 晶格生成单元,用于根据所述种子和对应的权重,对几何域进行沃罗诺伊图的晶格划分,根据晶格的质心位置、所述种子的位置及随机场,更新种子位置、权重及所述晶格,通过多次迭代,生成期望的岩石细观晶格结构。

[0029] 本申请实施例的第三方面提供了岩石的细观重构设备,包括存储器、处理器以及存储在所述存储器中并可在所述处理器上运行的计算机程序,所述处理器执行所述计算机程序时实现如第一方面任一项所述方法的步骤。

[0030] 本申请实施例的第四方面提供了一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现如第一方面任一项所述方法的步骤。

[0031] 本申请实施例与现有技术相比存在的有益效果是:本申请实施例通过岩石晶粒的空间相关性参数确定具有空间相关性的随机场,确定该随机场对应的晶格数量,根据晶格数量和随机场的空间相关性,确定随机场中的沃罗诺伊图的种子,以及种子对应的权重。根据种子和种子的权重,对晶格进行划分,根据晶格的质心位置和种子的位置,迭代更新晶格,得到迭代更新后的晶格,生成岩石的细观晶格。由于重构的晶格在呈现了晶粒尺寸信息的同时,还包括晶粒的空间相关性,从而能够更为准确的预测岩石的力学性质,确定岩石的力学强度和结构的稳定性等。

附图说明

[0032] 为了更清楚地说明本申请实施例中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0033] 图1是本申请实施例提供的一种岩石的细观重构方法的实现流程示意图;

[0034] 图2是本申请实施例提供的一种将面域划分为网格的示意图;

[0035] 图3是本申请实施例提供的一种空间相关性方程示意图;

[0036] 图4是本申请实施例提供的具有不同空间相关性的随机场分布示意图;

[0037] 图5是本申请实施例提供的一种构建具有晶格空间相关性的Voronoi图的实现过程示意图;

[0038] 图6是本申请实施例提供的基于随机散点生成的Voronoi图的示意图;

[0039] 图7是本申请实施例提供的一种普通Voronoi图与质心Voronoi图的对比示意图;

[0040] 图8是本申请实施例提供的一种基于权重的晶格尺寸调整方法示意图;

[0041] 图9是本申请实施例提供的重构后的不同空间相关性的岩石晶格结构示意图;

[0042] 图10是本申请实施例提供的一种岩石的细观重构装置的示意图;

[0043] 图11是本申请实施例提供的一种岩石的细观重构设备的示意图。

具体实施方式

[0044] 以下描述中,为了说明而不是为了限定,提出了诸如特定系统结构、技术之类的具体细节,以便透彻理解本申请实施例。然而,本领域的技术人员应当清楚,在没有这些具体细节的其它实施例中也可以实现本申请。在其它情况中,省略对众所周知的系统、装置、电路以及方法的详细说明,以免不必要的细节妨碍本申请的描述。

[0045] 为了说明本申请所述的技术方案,下面通过具体实施例来进行说明。

[0046] 在对岩石进行细观重构时,可以通过沃罗诺伊图生成岩石的晶粒结构,用于描述晶粒的尺寸信息。但是,岩石的粒度通常是相互关联或相互依赖的。这种自相关特征可能对岩石的力学和断裂响应产生重大影响。因此,通过沃罗诺伊图生成岩石的晶粒结构,不能准确的呈现晶粒尺寸以及晶粒的空间相关性,不利于准确的预测岩石的力学性质。比如,不能准确地确定岩石的力学强度和结构的稳定性等。

[0047] 为了解决上述问题,本申请实施例提出了一种岩石的细观重构方法,如图1所示,该方法包括:

[0048] 在S101中,根据岩石晶粒的空间相关性参数确定具有空间相关性的随机场。

[0049] 本申请实施例中,可以先确定预设大小的面域。该面域可用于描述岩石的晶粒的细观结构。在确定了用于描述岩石的晶粒的细观结构的面域后,可以对该面域进行网格化处理,得到该面域所包括的多个网格。比如,可以按照图2所示的方式,通过分割线对面域进行分割,将面域划分为多个网格。

[0050] 将面域划分为多个网格后,可以通过柯列斯基(Cholesky)分解方法,确定每个网格的质心处所对应的具有空间相关性随机场的取值,从而得到一个具有空间相关性的随机场。或者,也可以采用直接生成的方法,根据随机变量的正态分布,结合指定的空间相关性

直接随机取值。

[0051] 随机场是在n维欧几里得空间 Ω 上定义的变量,其中 $x \in \Omega$ 表示空间中的一个点。考虑一组n个位置,将随机场量化为随机变量Z的向量,即 $Z = [Z_1, Z_2, \dots, Z_n]$ 。每个自变量表示为 $Z(x_i)$,其中 $i = 1, 2, \dots, n$,是变量的索引和位置。在高斯分布的平稳随机场的情况下,随机变量 Z_i 服从分布

$$[0052] \quad Z_i = N(\mu, \sigma) \quad (1)$$

[0053] 式中, $N(\mu, \sigma)$ 表示高斯分布,其中均值为 μ ,方差为 σ 。

[0054] 此外,如图3所示,变量 Z_i 和 Z_j 之间的空间相关性可以用相关性函数 $\rho(\Delta x, \theta, \varphi)$ 来描述,其中 Δx 表示位置i和j之间的相对距离。例如,本申请可以采用的指数函数定义两个变量之间的空间相关性,具体表示为:

$$[0055] \quad \rho(\Delta x, \theta, \varphi) = \exp\left(-2 \cdot \left[\left(\text{rot}(\Delta x_x, \varphi) / \theta_x \right)^2 + \left(\text{rot}(\Delta x_y, \varphi) / \theta_y \right)^2 \right]^{1/2}\right) \quad (2)$$

[0056] 其中, φ 表示位置i(Z_i)和位置j(Z_j)的空间关联角度, $\text{rot}(\Delta x_x, \varphi)$ 表示旋转方程, Δx_x 和 Δx_y 分别表示位置i和位置j在x方向、y方向上的空间距离, θ_x 和 θ_y 表示x,y方向上的相关性衰减系数。

[0057] 为了构建一组具有空间相关性的随机变量Z,本申请可以采用柯列斯基分解方法,将具有空间相关性的随机变量Z通过如下式构建:

$$[0058] \quad Z = LU \quad (3)$$

[0059] 其中,U为一组具有独立随机分布特性的向量数组,其数组长度与计划构建的随机场Z数量一致。L为协方差矩阵C的下三角分解矩阵,并且该下三角分解矩阵与该方差矩阵满足 $C = LL^T$,协方差矩阵C是一个n阶数对称矩阵。

[0060] 假设U为n阶向量数组,即 $U = [u_1, u_2, \dots, u_{n-1}, u_n]$,则协方差矩阵C为 $n \times n$ 的对称矩阵,其计算式为:

$$[0061] \quad C_{i,j} = \exp\left(-2 \cdot \left[\left(\text{rot}(\Delta x_x^{i,j}, \varphi) / \theta_x \right)^2 + \left(\text{rot}(\Delta x_y^{i,j}, \varphi) / \theta_y \right)^2 \right]^{1/2}\right) \quad (4)$$

[0062] 其中, $\Delta x_x^{i,j}$ 和 $\Delta x_y^{i,j}$ 表示独立变量 u_i 和 u_j 分别在x,y方向上的空间距离,并且 $C_{i,j} = C_{j,i}$ 。 φ 表示空间关联角度, $\text{rot}(\Delta x_x, \varphi)$ 表示旋转方程, Δx_x 和 Δx_y 分别表示位置i和位置j在x,y方向上的空间距离, θ_x 和 θ_y 表示x,y方向上的相关性衰减系数。

[0063] 根据公式(1) - (4),可以方便的生成具有特定方向的空间相关性的随机场分布。比如图4所示为具有不同方向和不同衰减系数的空间相关性的随机场示意图。从左到右,从上到下分别表示方向为0度,衰减系数为10的空间相关性的随机场、方向为45度,衰减系数为10的空间相关性的随机场、方向为90度,衰减系数为10的空间相关性的随机场、方向为0度,衰减系数为200的空间相关性的随机场、方向为45度,衰减系数为200的空间相关性的随机场、方向为90度,衰减系数为200的空间相关性的随机场的分布示意图。

[0064] 如图5中的(a)图所示,预定大小的面域通过柯列斯基分解方法,可以计算每个网格的质心处所对应的具有空间相关性随机场取值,得到一个具有空间相关性的随机场。

[0065] 在S102中,确定所述随机场对应的晶格数量,根据所述晶格数量、所述空间相关的随机场,确定所述随机场中的沃罗诺伊图的种子和所述种子对应的权重。

[0066] 在确定了预定大小的面域后,可以根据预先确定的晶粒的平均面积,结合面域的总面积,估计填充该面域需要的晶格数量。该晶格即为晶粒在面域中的描述内容,一个晶格对应一个晶粒。可以将面域的总面积与晶粒的平均面积相除得到晶格数量,即晶格数量=面域总面积/晶粒的平均面积。

[0067] 在确定了面域中包括的晶格数量后,如图5中的(b)图所示,可以在面域内布置相应数量的种子,即布置与晶格数量相同的种子。该种子的位置可以随机设置,或者也可以如图5中的(b)图所示,采用均匀分布的方式设置。并且在确定了种子的位置后,可以根据种子的位置,结合S101所构建的空间相关性的随机场进行插值,确定种子对应的权重。

[0068] 在S103中,根据所述种子和对应的权重,对几何域进行沃罗诺伊图的晶格划分,根据晶格的质心位置、所述种子的位置及随机场,更新种子位置、权重及所述晶格,通过多次迭代,生成期望的岩石细观晶格结构。

[0069] 在确定了种子的权重后,可以结合WCVT(质心加权沃罗诺伊图)方法,得到如图5中的(c)图所示的面域内划分的晶格。

[0070] 其中,沃罗诺伊(Voronoi)图是根据到一组点的距离将空间划分为多个区域。如图6中的二维图所示,构建Voronoi图需要一组随机分布的点(即图6左图中的点),这些点被称为Voronoi图的种子。这些区域(即图6右图中 C_i 的区域)被称为Voronoi图的晶格,由距离Voronoi图的种子特定距离内的点定义。每一个Voronoi图的种子对应于一个Voronoi图的晶格。种子的Voronoi图的晶格由与该种子比与任何其他种子更接近的所有点组成,这些点在数学上可以表示为:

$$C_i = \{p \in P1 \mid d(p, S_i) < d(p, S_j)\} \quad S_j \in S, j \neq i \quad (5)$$

[0072] 式中 p 式表示平面上的任意点, d 表示两点间的距离, S 表示所有种子点的集合。

[0073] 相较于传统的Voronoi图,质心Voronoi图是一种特殊类型的Voronoi图,其中,Voronoi图中晶格的种子也是该单元的质心。如图7为质心Voronoi图与普通Voronoi图的比较示意图,与一般的Voronoi图的晶格相比,质心Voronoi图的晶格在空间中的大小更均匀,分布更均匀,。尽管如此,在Voronoi图或质心Voronoi图都缺乏控制单元大小的能力。为了解决这个问题,加权Voronoi图镶嵌(WVT)被进一步用于获得各种尺寸的晶粒。

[0074] 在加权Voronoi图晶格划分中,每个Voronoi种子都与一个权重相关联,并且每个Voronoi晶格由具有以下标准的所有点组成:

$$C_i = \{p \in P1 \mid dw(p, S_i, w_i) < dw(p, S_j, w_j)\} \quad S_j \in S, j \neq i \quad (6)$$

[0076] 其中, $dw(p, S_i, w_i) = d(p, S_i)^2 - w_i^2$, w_i 表示每一个点 i 所对应的权重。

[0077] 如图8所示,如果与相邻的种子相比,指定其对应的种子具有更大的权重,则晶格将具有更大面积。以图8(b)中的 S_1 和图8(c)中的 S_2 为例,权重的增加将迫使其对应的Voronoi晶格向外扩展,从而满足方程(6)。因此,WVT提供了一种通过设置每个种子的权重来控制晶格尺寸的方法。并且,类似于质心Voronoi图的定义,质心加权Voronoi图(WCVT)是加权的Voronoi图,但其中每个Voronoi种子都位于每个Voronoi晶格的质心处。

[0078] 根据所述种子和对应的权重,对几何域进行沃罗诺伊图的晶格划分后,如图5中的

(c) 图所示,得到划分的晶格以及划分该晶格时所使用的种子。如图5中(d)图所示,可以根据所划分的晶格确定晶格的质心,计算该质心与种子之间的距离。如果该距离小于预定的距离阈值,或者晶格迭代更新的次数满足预定的次数要求,则可以结束晶格的迭代更新。如果未满足迭代结束要求,则可以如图5中的(e)图所示,将种子移动至晶格的质心位置,并基于移动后的种子重新计算和更新晶格,确定更新后的晶格的质心,进一步比较更新后的晶格的质心,与用于更新计算该晶格所使用的种子之间的距离,是否小于预定的距离阈值。如果小于预定的距离阈值,或者迭代次数满足预定的次数要求,则结束迭代更新,否则继续根据更新后的晶格计算晶格的质心,进一步迭代比较种子与质心的距离,或判断迭代次数是否符合结束迭代计算要求。

[0079] 通过多次迭代计算,在满足迭代完成的要求时,则可以生成岩石对应的细观晶格。如图9所示为不同空间相关特征的岩石晶格结构示意图,图中分别对应空间相关特征包括晶粒尺寸分别为0.5、0.35、0.25和0.2,以及衰减系数分别为10、50、100和200,以及方向分别为0度、30度、45度和90度对应的晶格结构示意图。

[0080] 本申请重构的晶格在呈现了晶粒尺寸信息的同时,还包括晶粒的空间相关性,从而能够更为准确的预测岩石的力学性质,确定岩石的力学强度和结构的稳定性等。

[0081] 应理解,上述实施例中各步骤的序号的大小并不意味着执行顺序的先后,各过程的执行顺序应以其功能和内在逻辑确定,而不对本申请实施例的实施过程构成任何限定。

[0082] 图10为本申请实施例提供的一种岩石的细观重构装置的示意图,该装置包括:

[0083] 随机场确定单元1001,用于根据岩石晶粒的空间相关性参数确定具有空间相关性的随机场;

[0084] 权重确定单元1002,用于确定所述随机场对应的晶格数量,根据所述晶格数量和所述随机场,确定所述随机场中的沃罗诺伊图的种子和所述种子对应的权重;

[0085] 晶格生成单元1003,用于根据所述种子和对应的权重,对几何域进行沃罗诺伊图的晶格划分,根据晶格的质心位置、所述种子的位置及随机场,更新种子位置、权重及所述晶格,通过多次迭代,生成期望的岩石细观晶格结构。

[0086] 图10所示的岩石的细观重构装置,与图1所示的岩石的细观重构方法对应。

[0087] 图11是本申请一实施例提供的岩石的细观重构设备的示意图。如图11所示,该实施例的岩石的细观重构设备11包括:处理器110、存储器111以及存储在所述存储器111中并可在所述处理器110上运行的计算机程序112,例如岩石的细观重构程序。所述处理器110执行所述计算机程序112时实现上述各个岩石的细观重构方法实施例中的步骤。或者,所述处理器110执行所述计算机程序112时实现上述各装置实施例中各模块/单元的功能。

[0088] 示例性的,所述计算机程序112可以被分割成一个或多个模块/单元,所述一个或者多个模块/单元被存储在所述存储器111中,并由所述处理器110执行,以完成本申请。所述一个或多个模块/单元可以是能够完成特定功能的一系列计算机程序指令段,该指令段用于描述所述计算机程序112在所述岩石的细观重构设备11中的执行过程。

[0089] 所述岩石的细观重构设备11可以是桌上型计算机、笔记本、掌上电脑及云端服务器等计算设备。所述岩石的细观重构设备可包括,但不仅限于,处理器110、存储器111。本领域技术人员可以理解,图11仅仅是岩石的细观重构设备11的示例,并不构成对岩石的细观

重构设备11的限定,可以包括比图示更多或更少的部件,或者组合某些部件,或者不同的部件,例如所述岩石的细观重构设备还可以包括输入输出设备、网络接入设备、总线等。

[0090] 所称处理器110可以是中央处理单元(Central Processing Unit,CPU),还可以是其他通用处理器、数字信号处理器(Digital Signal Processor,DSP)、专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit,ASIC)、现场可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array,FPGA)或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件等。通用处理器可以是微处理器或者该处理器也可以是任何常规的处理器等。

[0091] 所述存储器111可以是所述岩石的细观重构设备11的内部存储单元,例如岩石的细观重构设备11的硬盘或内存。所述存储器111也可以是所述岩石的细观重构设备11的外部存储设备,例如所述岩石的细观重构设备11上配备的插接式硬盘,智能存储卡(Smart Media Card,SMC),安全数字(Secure Digital,SD)卡,闪存卡(Flash Card)等。进一步地,所述存储器111还可以既包括所述岩石的细观重构设备11的内部存储单元也包括外部存储设备。所述存储器111用于存储所述计算机程序以及所述岩石的细观重构设备所需的其他程序和数据。所述存储器111还可以用于暂时地存储已经输出或者将要输出的数据。

[0092] 所属领域的技术人员可以清楚地了解到,为了描述的方便和简洁,仅以上述各功能单元、模块的划分进行举例说明,实际应用中,可以根据需要而将上述功能分配由不同的功能单元、模块完成,即将所述装置的内部结构划分成不同的功能单元或模块,以完成以上描述的全部或者部分功能。实施例中的各功能单元、模块可以集成在一个处理单元中,也可以是各个单元单独物理存在,也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中,上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现,也可以采用软件功能单元的形式实现。另外,各功能单元、模块的具体名称也只是为了便于相互区分,并不用于限制本申请的保护范围。上述系统中单元、模块的具体工作过程,可以参考前述方法实施例中的对应过程,在此不再赘述。

[0093] 在上述实施例中,对各个实施例的描述都各有侧重,某个实施例中未详述或记载的部分,可以参见其它实施例的相关描述。

[0094] 本领域普通技术人员可以意识到,结合本文中所公开的实施例描述的各示例的单元及算法步骤,能够以电子硬件、或者计算机软件和电子硬件的结合来实现。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行,取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能,但是这种实现不应认为超出本申请的范围。

[0095] 在本申请所提供的实施例中,应该理解到,所揭露的装置/终端设备和方法,可以通过其它的方式实现。例如,以上所描述的装置/终端设备实施例仅仅是示意性的,例如,所述模块或单元的划分,仅仅为一种逻辑功能划分,实际实现时可以有另外的划分方式,例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统,或一些特征可以忽略,或不执行。另一点,所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通讯连接可以是通过一些接口,装置或单元的间接耦合或通讯连接,可以是电性,机械或其它的形式。

[0096] 所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的,作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元,即可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部单元来实现本实施例方案的目

的。

[0097] 另外,在本申请各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理单元中,也可以是各个单元单独物理存在,也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中。上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现,也可以采用软件功能单元的形式实现。

[0098] 所述集成的模块/单元如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用,可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解,本申请实现上述实施例方法中的全部或部分流程,也可以通过计算机程序指令相关的硬件来完成,所述的计算机程序可存储于一计算机可读存储介质中,该计算机程序在被处理器执行时,可实现上述各个方法实施例的步骤。其中,所述计算机程序包括计算机程序代码,所述计算机程序代码可以为源代码形式、对象代码形式、可执行文件或某些中间形式等。所述计算机可读介质可以包括:能够携带所述计算机程序代码的任何实体或装置、记录介质、U盘、移动硬盘、磁碟、光盘、计算机存储器、只读存储器 (ROM, Read-Only Memory)、随机存取存储器 (RAM, Random Access Memory)、电载波信号、电信信号以及软件分发介质等。需要说明的是,所述计算机可读介质包含的内容可以根据司法管辖区内立法和专利实践的要求进行适当的增减,例如在某些司法管辖区,根据立法和专利实践,计算机可读介质不包括是电载波信号和电信信号。

[0099] 以上所述实施例仅用以说明本申请的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本申请进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本申请各实施例技术方案的精神和范围,均应包含在本申请的保护范围之内。

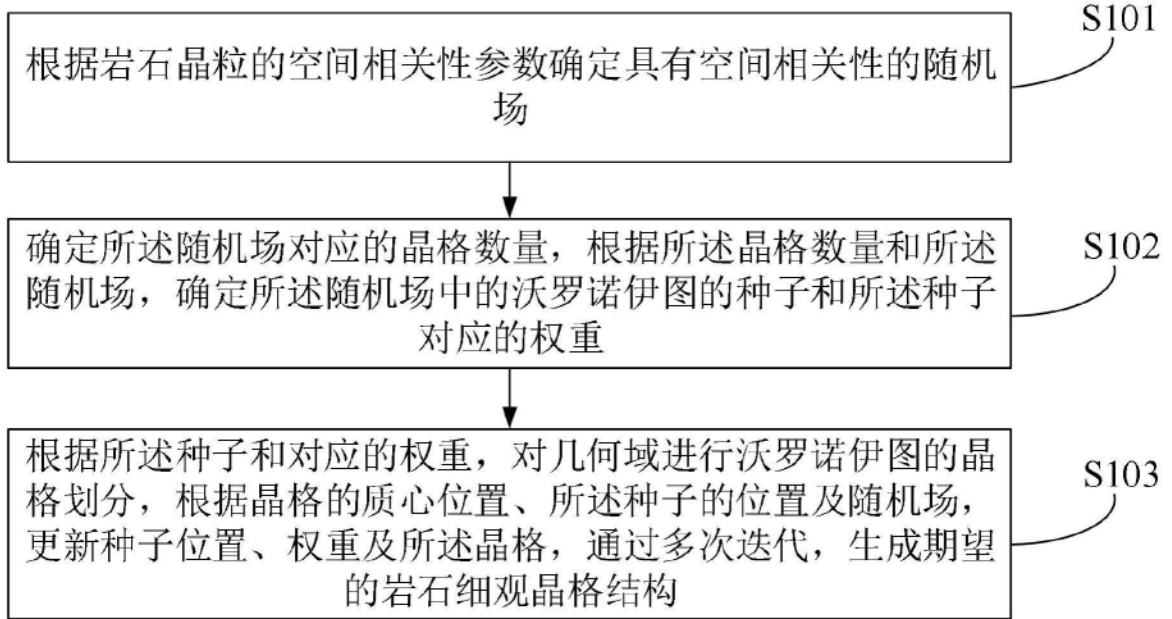


图1

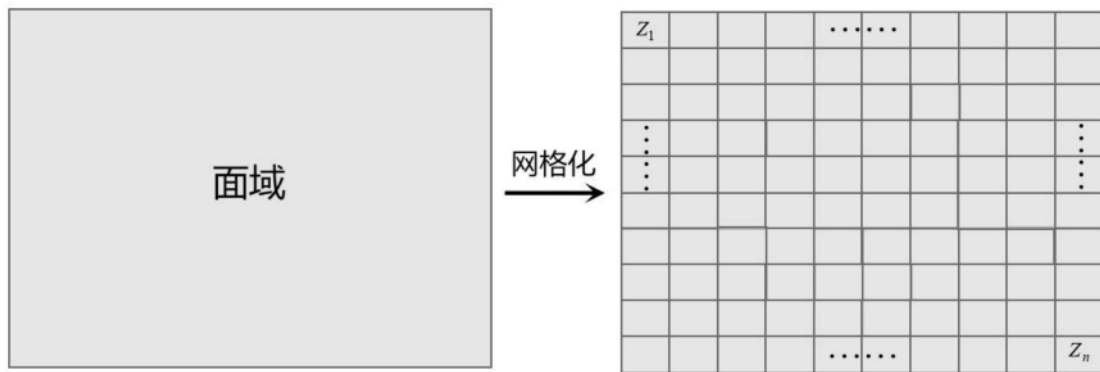


图2

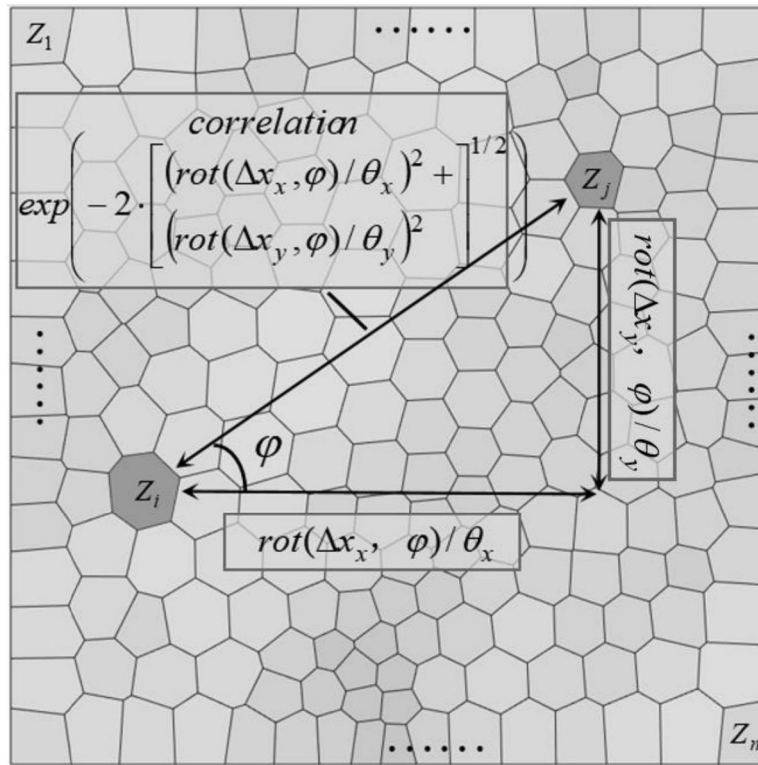


图3

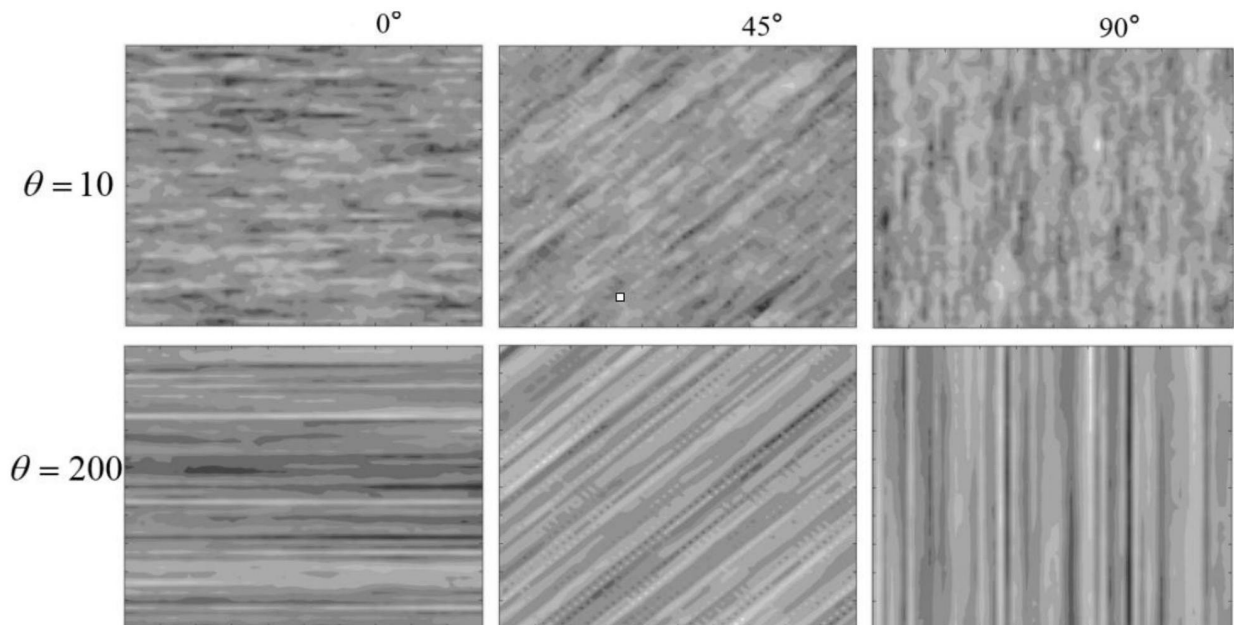


图4

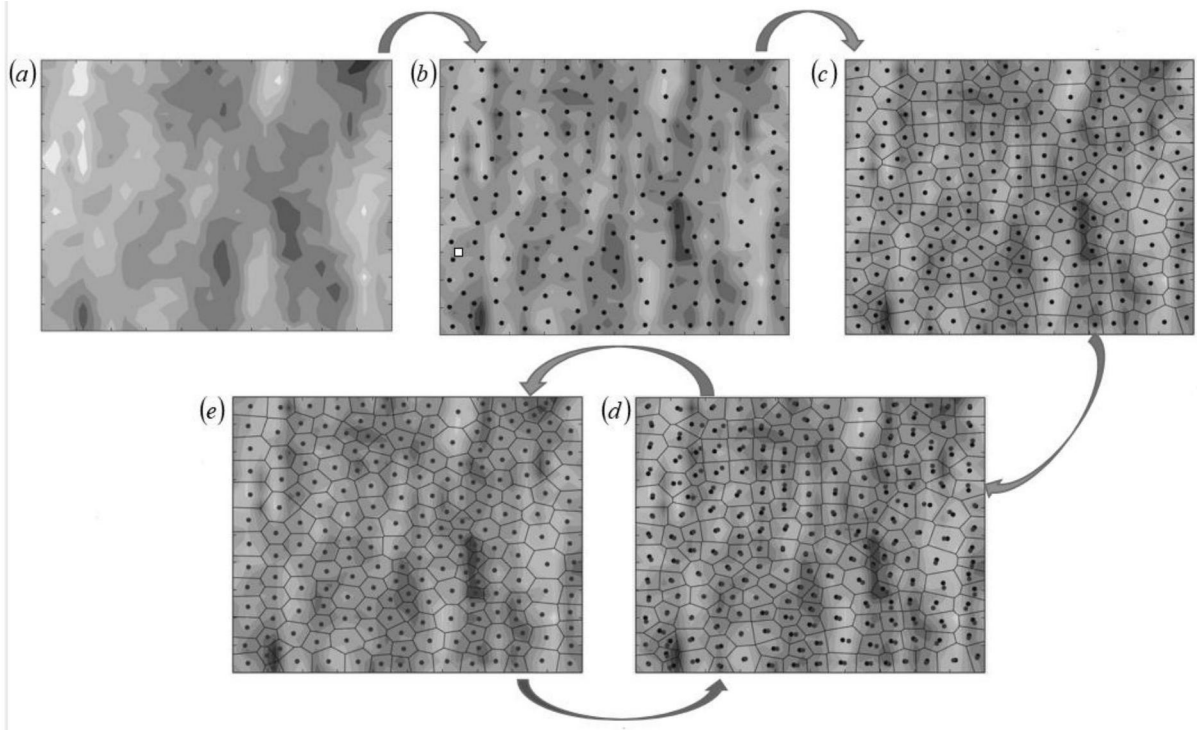


图5

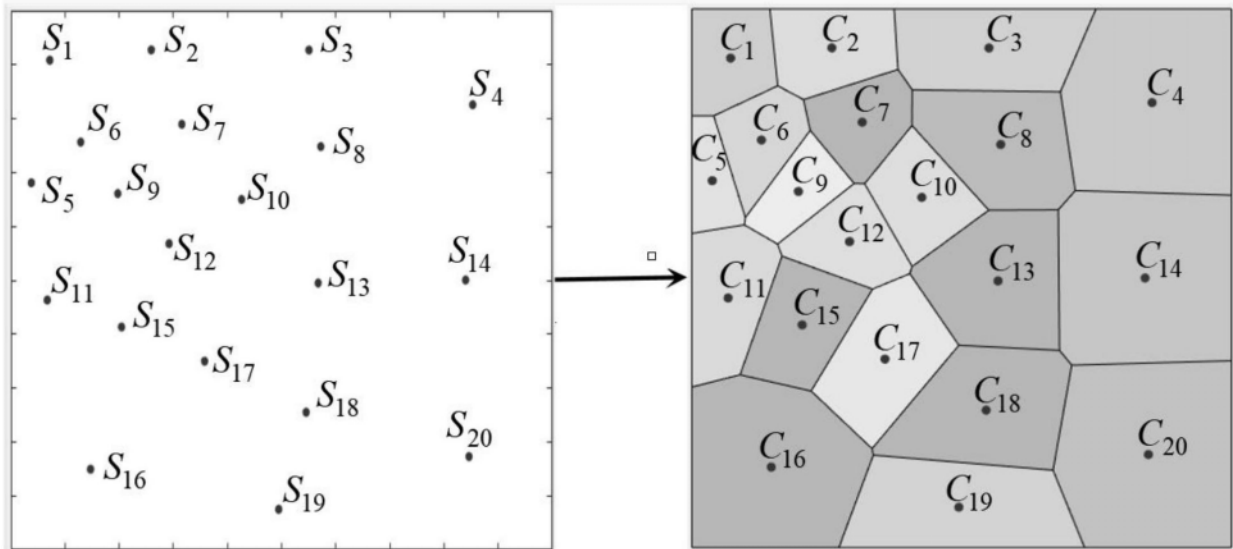


图6

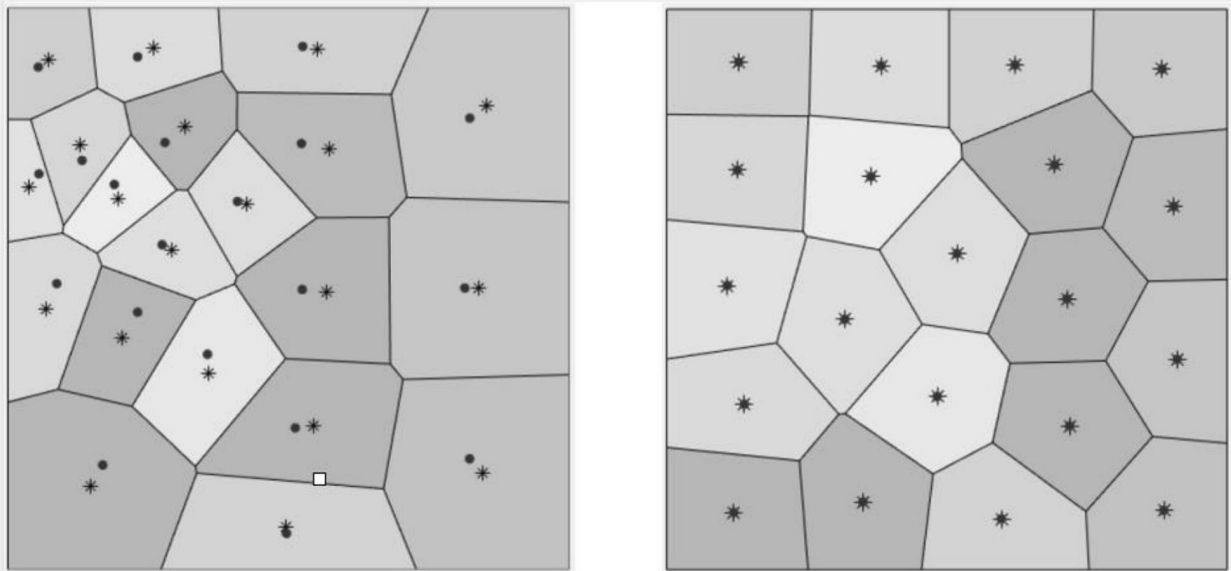


图7

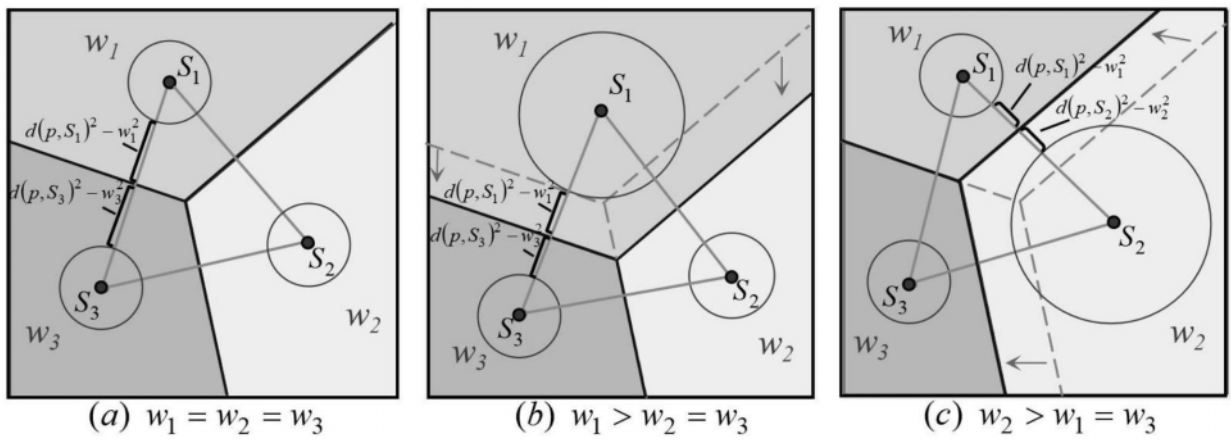


图8

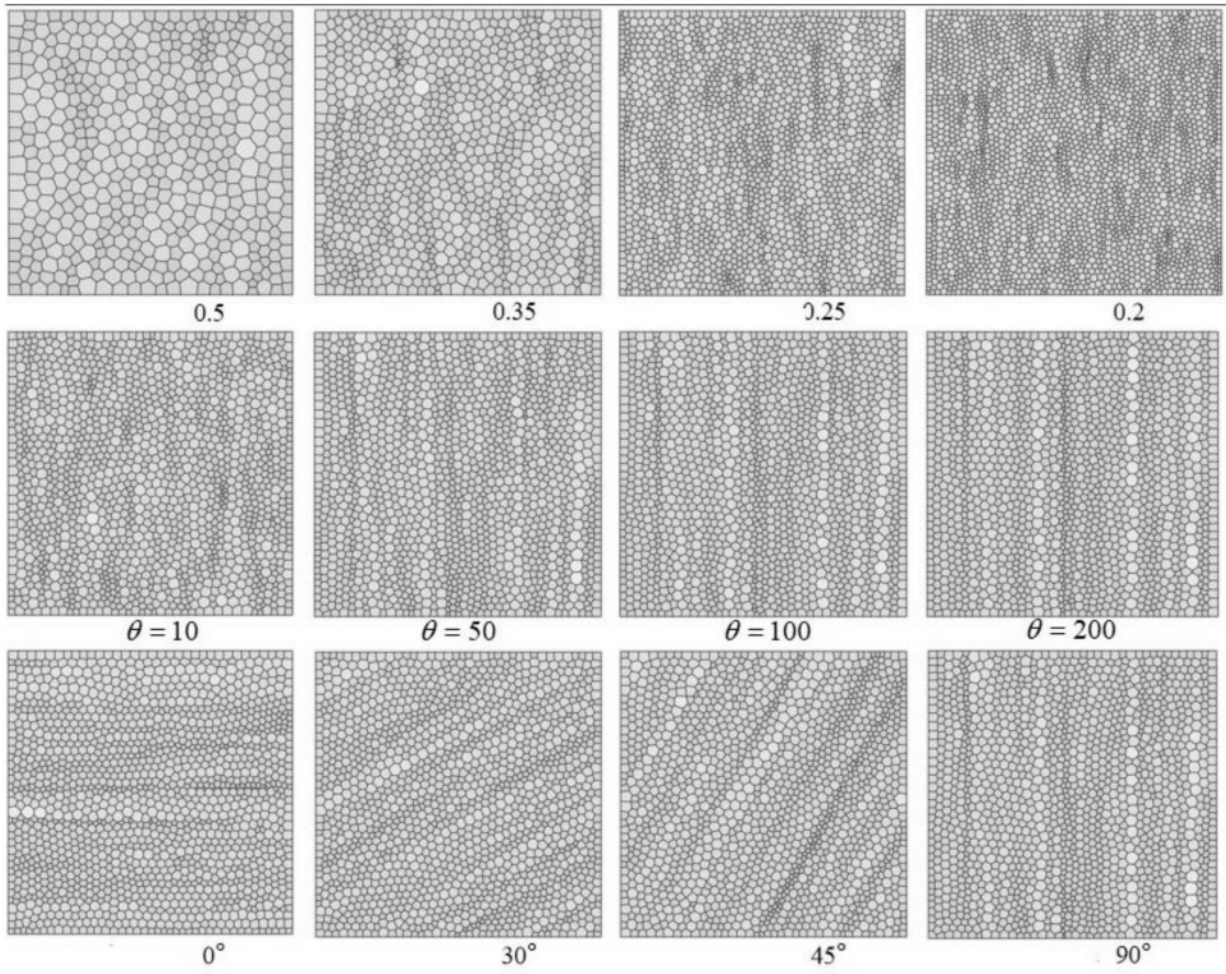


图9

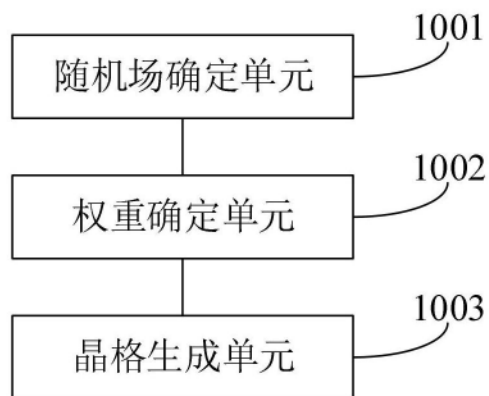


图10

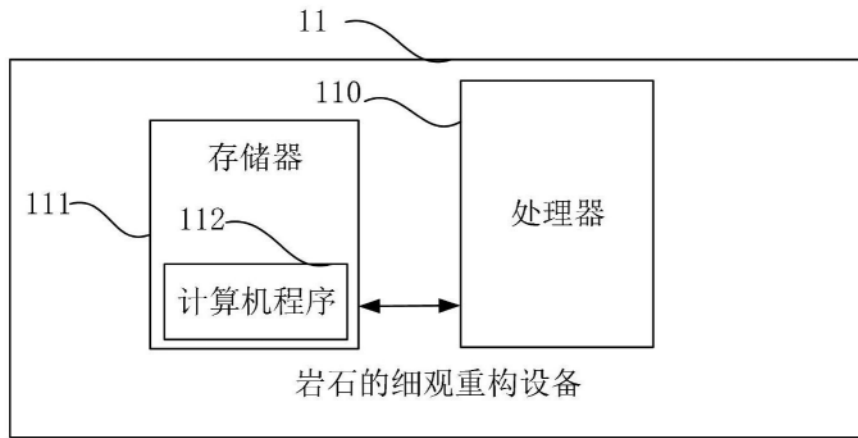


图11