



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111784839 B

(45) 授权公告日 2023. 02. 07

(21) 申请号 202010305137.3

G06T 7/62 (2017.01)

(22) 申请日 2020.04.17

G06T 7/136 (2017.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

G06T 7/187 (2017.01)

申请公布号 CN 111784839 A

G06T 7/00 (2017.01)

(43) 申请公布日 2020.10.16

(56) 对比文件

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所

CN 101556703 A, 2009.10.14

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

CN 109448104 A, 2019.03.08

WO 2012118866 A2, 2012.09.07

(72) 发明人 徐志朋 林緬 江文滨 姬莉莉
曹高辉 曾彦

CN 109448104 A, 2019.03.08

CN 106780744 A, 2017.05.31

CN 108876901 A, 2018.11.23

CN 106127816 A, 2016.11.16

(74) 专利代理机构 北京和信华成知识产权代理
事务所(普通合伙) 11390
专利代理师 胡剑辉

审查员 宋佳璇

(51) Int. Cl.

G06T 17/10 (2006.01)

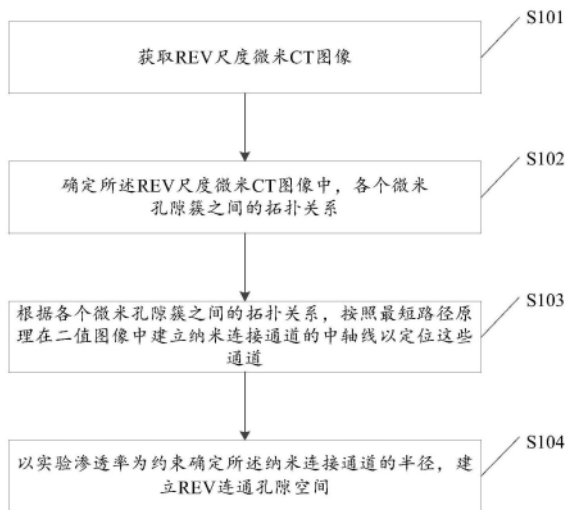
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

(54) 发明名称

一种REV连通孔隙空间的构建方法、装置

(57) 摘要

本发明实施例涉及一种REV连通孔隙空间的构建方法、装置,所述方法包括:获取REV尺度微米CT图像;确定所述REV尺度微米CT图像中,各个微米孔隙簇之间的拓扑关系;根据各个微米孔隙簇之间的拓扑关系,按照最短路径原理在二值图像中建立纳米连接通道的中轴线以定位这些通道;以实验渗透率为约束确定所述纳米连接通道的半径,建立REV连通孔隙空间。如此基于REV尺度微米CT图像建立REV连通孔隙空间,可以反映纳米尺度孔隙空间和微米尺度孔隙空间的全部信息,并且节省经济和时间成本。



1. 一种REV连通孔隙空间的构建方法,其特征在于,所述方法包括:
获取REV尺度微米CT图像;
确定所述REV尺度微米CT图像中,各个微米孔隙簇之间的拓扑关系;
根据各个微米孔隙簇之间的拓扑关系,按照最短路径原理在二值图像中建立纳米连接通道的中轴线以定位这些通道;
以实验渗透率为约束确定所述纳米连接通道的半径,建立REV连通孔隙空间。
2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述获取REV尺度微米CT图像,包括:
扫描致密岩石获得REV尺度微米CT图像。
3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述以实验渗透率为约束确定所述纳米连接通道的半径,建立REV连通孔隙空间,包括:
以所述致密岩石的实测渗透率为约束,确定所述纳米连接通道的半径,建立REV连通孔隙空间。
4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述确定所述REV尺度微米CT图像中,各个微米孔隙簇之间的拓扑关系,包括:
将所述REV尺度微米CT图像中孔隙空间与岩石骨架进行区分,获得二值图像;
对所述二值图像中孔隙空间进行连通性分析,确定各个微米孔隙簇对应的连通子块;
通过各个微米孔隙簇对应的连通子块的顶点坐标确定各个微米孔隙簇之间的拓扑关系。
5. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,所述将所述REV尺度微米CT图像中孔隙空间与岩石骨架进行区分,获得二值图像,包括:
通过阈值分割算法将所述REV尺度微米CT图像中孔隙空间与岩石骨架进行区分,获得二值图像。
6. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,所述对所述二值图像中孔隙空间进行连通性分析,确定各个微米孔隙簇对应的连通子块,包括:
基于孔隙体素的6连通规则对所述二值图像中孔隙空间进行连通性分析,确定各个微米孔隙簇对应的连通子块。
7. 根据权利要求4所述的方法,其特征在于,所述通过各个微米孔隙簇对应的连通子块的顶点坐标确定各个微米孔隙簇之间的拓扑关系,包括:
依次遍历各个微米孔隙簇对应的连通子块,根据各个子块的顶点坐标确定各个微米孔隙簇之间的拓扑关系。
8. 一种REV连通孔隙空间的构建装置,其特征在于,所述装置包括:
图像获取模块,用于获取REV尺度微米CT图像;
关系确定模块,用于确定所述REV尺度微米CT图像中,各个微米孔隙簇之间的拓扑关系;
通道建立模块,用于根据各个微米孔隙簇之间的拓扑关系,按照最短路径原理在二值图像中建立纳米连接通道的中轴线以定位这些通道;
空间建立模块,用于以实验渗透率为约束确定所述纳米连接通道的半径,建立REV连通孔隙空间。
9. 根据权利要求8所述的装置,其特征在于,所述图像获取模块具体用于:

扫描致密岩石获得REV尺度微米CT图像。

10. 根据权利要求9所述的装置,其特征在於,所述空间建立模块具体用于:

以所述致密岩石的实测渗透率为约束,确定所述纳米连接通道的半径,建立REV连通孔隙空间。

一种REV连通孔隙空间的构建方法、装置

技术领域

[0001] 本发明实施例涉及致密岩石成像与分析技术领域,尤其涉及一种REV连通孔隙空间的构建方法、装置。

背景技术

[0002] 致密岩石的孔隙空间由纳米孔隙空间连接微米孔径的微米孔隙簇组成,由于分辨率不够高,微米CT扫描不能识别纳米孔隙空间,得到的岩心图像中各个微米孔隙簇没有相互连接成一个表征单元体尺度 (Representative Elementary Volume, REV) 的连通孔隙空间。

[0003] 单个微米孔隙簇内的孔隙是相互连通的,但是单个微米孔隙簇的尺寸没有达到REV尺度,单独分析每个微米孔隙簇得到的结果不具备代表性。如果使用更高分辨率的纳米CT或者FIB-SEM等成像技术,可以捕捉到岩石中的纳米孔,但更高的分辨率导致扫描的岩石区域更小,得到的岩心图像没有达到REV尺度不具备代表性,也无法反映全部的微米孔径的微米孔隙簇信息。此外,更高分辨率的成像技术需要的时间和经济成本也相应增加。

发明内容

[0004] 鉴于此,为解决上述技术问题或部分技术问题,本发明实施例提供了一种REV连通孔隙空间的构建方法、装置。

[0005] 第一方面,本发明实施例提供了一种REV连通孔隙空间的构建方法,所述方法包括:

[0006] 获取REV尺度微米CT图像;

[0007] 确定所述REV尺度微米CT图像中,各个微米孔隙簇之间的拓扑关系;

[0008] 根据各个微米孔隙簇之间的拓扑关系,按照最短路径原理在二值图像中建立纳米连接通道的中轴线以定位这些通道;

[0009] 以实验渗透率为约束确定所述纳米连接通道的半径,建立REV连通孔隙空间。

[0010] 在一个可选的实施方式中,所述获取REV尺度微米CT图像,包括:

[0011] 扫描致密岩石获得REV尺度微米CT图像。

[0012] 在一个可选的实施方式中,所述以实验渗透率为约束确定所述纳米连接通道的半径,建立REV连通孔隙空间,包括:

[0013] 以所述致密岩石的实测渗透率为约束,确定所述纳米连接通道的半径,建立REV连通孔隙空间。

[0014] 在一个可选的实施方式中,所述确定所述REV尺度微米CT图像中,各个微米孔隙簇之间的拓扑关系,包括:

[0015] 将所述REV尺度微米CT图像中孔隙空间与岩石骨架进行区分,获得二值图像;

[0016] 对所述二值图像中孔隙空间进行连通性分析,确定各个微米孔隙簇对应的连通子块;

[0017] 通过各个微米孔隙簇对应的连通子块的顶点坐标确定各个微米孔隙簇之间的拓扑关系。

[0018] 在一个可选的实施方式中,所述将所述REV尺度微米CT图像中孔隙空间与岩石骨架进行区分,获得二值图像,包括:

[0019] 通过阈值分割算法将所述REV尺度微米CT图像中孔隙空间与岩石骨架进行区分,获得二值图像。

[0020] 在一个可选的实施方式中,所述对所述二值图像中孔隙空间进行连通性分析,确定各个微米孔隙簇对应的连通子块,包括:

[0021] 基于孔隙体素的6连通规则对所述二值图像中孔隙空间进行连通性分析,确定各个微米孔隙簇对应的连通子块。

[0022] 在一个可选的实施方式中,所述通过各个微米孔隙簇对应的连通子块的顶点坐标确定各个微米孔隙簇之间的拓扑关系,包括:

[0023] 依次遍历各个微米孔隙簇对应的连通子块,根据各个连通子块的顶点坐标确定各个微米孔隙簇之间的拓扑关系。

[0024] 第二方面,本发明实施例提供了一种REV连通孔隙空间的构建装置,所述装置包括:

[0025] 图像获取模块,用于获取REV尺度微米CT图像;

[0026] 关系确定模块,用于确定所述REV尺度微米CT图像中,各个微米孔隙簇之间的拓扑关系;

[0027] 通道建立模块,用于根据各个微米孔隙簇之间的拓扑关系,按照最短路径原理在二值图像中建立纳米连接通道的中轴线以定位这些通道;

[0028] 空间建立模块,用于以实验渗透率为约束确定所述纳米连接通道的半径,建立REV连通孔隙空间。

[0029] 在一个可选的实施方式中,所述图像获取模块具体用于:

[0030] 扫描致密岩石获得REV尺度微米CT图像。

[0031] 在一个可选的实施方式中,所述空间建立模块具体用于:

[0032] 以所述致密岩石的实测渗透率为约束,确定所述连纳米接通道的半径,建立REV连通孔隙空间。

[0033] 本发明实施例提供的技术方案,通过获取REV尺度微米CT图像,确定REV尺度微米CT图像中各个微米孔隙簇之间的拓扑关系,根据各个微米孔隙簇之间的拓扑关系,按照最短路径原理在二值图像中建立纳米连接通道的中轴线以定位这些通道,以实验渗透率为约束确定纳米连接通道的半径,建立REV连通孔隙空间。如此基于REV尺度微米CT图像建立REV连通孔隙空间,可以反映纳米尺度孔隙空间和微米尺度孔隙空间的全部信息,并且节省经济和时间成本。

附图说明

[0034] 为了更清楚地说明本说明书实施例或现有技术中的技术方案,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说明书实施例中记载的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,还可以根据这些附

图获得其他的附图。

[0035] 图1为本发明实施例示出的一种REV连通孔隙空间的构建方法的实施流程示意图；

[0036] 图2(a)为本发明实施例示出的一种REV尺度微米CT图像示意图；

[0037] 图2(b)为本发明实施例示出的一种二值图像示意图；

[0038] 图3为本发明实施例示出的一种连通子块示意图；

[0039] 图4为本发明实施例示出的一种连通子块顶点编号、表面标记示意图；

[0040] 图5(a)为本发明实施例示出的一种两个连通子块对应表面之间的包含关系示意图；

[0041] 图5(b)为本发明实施例示出的一种两个连通子块对应表面之间的被包含关系示意图；

[0042] 图5(c)为本发明实施例示出的一种两个连通子块对应表面之间的相交关系示意图；

[0043] 图6为本发明实施例示出的一种删除被遮挡的连通子块示意图；

[0044] 图7为本发明实施例示出的一种纳米连接通道中轴线示意图；

[0045] 图8为本发明实施例示出的一种孔隙空间示意图；

[0046] 图9为本发明实施例示出的一种确定纳米连接通道的真实半径的实施流程示意图；

[0047] 图10为本发明实施例示出的一种建立一个REV尺度的连通孔隙空间的流程示意图；

[0048] 图11为本发明实施例示出的一种REV连通孔隙空间的构建装置的结构示意图。

具体实施方式

[0049] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0050] 为便于对本发明实施例的理解，下面将结合附图以具体实施例做进一步的解释说明，实施例并不构成对本发明实施例的限定。

[0051] 如图1所示，为本发明实施例示出的一种REV连通孔隙空间的构建方法的实施流程示意图，该方法具体可以包括以下步骤：

[0052] S101，获取REV尺度微米CT图像；

[0053] 在本发明实施例中，扫描致密岩石获得REV尺度微米CT图像，如图2(a)所示。

[0054] 通过阈值分割算法将所述REV尺度微米CT图像中孔隙空间与岩石骨架进行区分，获得二值图像，其中每个体素用0(岩石骨架)或1(孔隙空间)表示，如图2(b)所示。

[0055] S102，确定所述REV尺度微米CT图像中，各个微米孔隙簇之间的拓扑关系；

[0056] 致密岩石孔隙空间由纳米孔隙空间连接微米孔径的微米孔隙簇组成，由于微米CT扫描的分辨率不够高不能识别纳米孔，得到的岩石图像中各个微米孔径的微米孔隙簇是相互孤立的。

[0057] 因此，本发明实施例基于孔隙体素的6连通规则对所述二值图像中孔隙空间进行

连通性分析,确定各个微米孔隙簇对应的连通子块,如图3所示。

[0058] 连通子块的六个表面根据方位分别标记为U,D,W,E,S,N,每个表面由其四个顶点表示,如图4所示。依次遍历各个微米孔隙簇对应的连通子块,确定各个微米孔隙簇之间的拓扑关系,具体步骤为:

[0059] 1、对于连通子块C的某个表面,寻找可能与该表面连接的所有连通子块,并建立链表 $\{C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_n\}$,其中 C_i 表示连通子块的编号。举例说明,对于连通子块C的W面,如果连通子块 C_i 的E面的Y坐标比其小,则连通子块 C_i 是可能与连通子块C的W面连接的,并将 C_i 放入C的链表中。

[0060] 2、确定连通子块C的某个表面和链表中各个连通子块的位置关系。举例说明,连通子块C的W面沿法线方向投影,如果连通子块 C_i 的E面被投影完全覆盖,则连通子块C的W面与 C_i 的E面是包含关系,如图5(a)所示;如果投影只是连通子块 C_i 的E面中一部分,则连通子块C的W面与 C_i 的E面是被包含关系,如图5(b)所示;如果投影和连通子块 C_i 的E面有部分相交,则连通子块C的W面与 C_i 的E面是相交关系,如图5(c)所示;否则连通子块 C_i 与连通子块C的W面无连接关系,将 C_i 从C的链表中删除。

[0061] 3、删除连通子块C某个表面的连接链表中被遮挡的连通子块。举例说明,连通子块C的W表面的连接链表中有连通子块 C_1, C_2 和 C_3 (图6),其中 C_2 的E面完全被 C_1 的E面遮挡, C_3 的E面部分被 C_1 的E面遮挡,则把 C_2 和 C_3 从C的链表中删除。这样做的考虑是被遮挡的 C_2 的E面会与 C_1 的W面建立连接关系, C_3 的E面会与 C_2 的W面建立连接关系,如果 C_2 和 C_3 再与C建立连接关系会造成冗余连接。

[0062] 4、按照上述步骤分别处理连通子块的六个表面。

[0063] 遍历完所有连通子块就确定了各个连通子块之间的拓扑关系,如下表1所示。

[0064]

	W	E	S	N	U	D
1	{3, ...}	{...}	{...}	{2, ...}	{...}	{...}
2	{...}	{...}	{1, ...}	{...}	{...}	{...}
3	{...}	{1, ...}	{...}	{...}	{...}	{...}
...

[0065] 表1

[0066] S103,根据各个微米孔隙簇之间的拓扑关系,按照最短路径原理在二值图像中建立纳米连接通道的中轴线以定位这些通道;

[0067] 根据各个微米孔隙簇之间的拓扑关系,按照最短路径原理在二值图像中建立纳米连接通道的中轴线以定位这些通道。以一个例子:连通子块C的W面与连通子块 C_1 的E面有连接关系,说明具体步骤:

[0068] 1、确定 C_1 中孔隙空间在平行于E面且距离E面最近的平面上的分布,同理确定C中孔隙空间在平行于W面且距离W面最近的平面上的分布;

[0069] 2、按照两个平面上各孔隙中心体素的坐标匹配各个孔隙,给C中平面上的孔隙匹配 C_1 平面上距离其最近的孔隙;

[0070] 3、根据匹配关系,依次为两个平面上的孔隙建立纳米连接通道中轴线。对于两个平面上匹配的两个孔隙 P_1 和 P_2 ,建立方法为从孔隙 P_1 的中心体素开始,按照26连通寻找与其相连的体素,并在找到的体素中选择保证 P_1 和 P_2 连接最短的体素作为纳米连接通道中轴

线上的体素,并以该体素为中心继续寻找直到建立连接P1和P2的中轴线,如图7所示。

[0071] 按照上述步骤并根据各个连通子块之间的拓扑关系,按照最短路径原理建立纳米连接通道的中轴线以定位这些通道,最终可以把各个孤立的微米微米孔隙簇连接为一个连通的孔隙空间,如图8所示。

[0072] S104,以实验渗透率为约束确定所述纳米连接通道的半径,建立REV连通孔隙空间。

[0073] 由于纳米连接通道是在二值图像中建立的,所以其最小半径是1个体素即是扫描的分辨率,为了能确定纳米连接通道的真实半径,以所述致密岩石的实测渗透率为约束,确定所述纳米连接通道的半径,建立REV连通孔隙空间,具体步骤如图9所示。

[0074] 最终建立了一个REV尺度的连通孔隙空间,所构建的连通孔隙空间为后续的流动模拟等研究提供了基础数据,整个流程可以如图10所示。

[0075] 通过上述对本发明实施例提供的技术方案的描述,通过获取REV尺度微米CT图像,确定REV尺度微米CT图像中各个微米孔隙簇之间的拓扑关系,根据各个微米孔隙簇之间的拓扑关系,按照最短路径原理在二值图像中建立纳米连接通道的中轴线以定位这些通道,以实验渗透率为约束确定纳米连接通道的半径,建立REV连通孔隙空间。如此基于REV尺度微米CT图像建立REV连通孔隙空间,可以反映反映纳米尺度孔隙空间和微米尺度孔隙空间的全部信息,并且节省经济和时间成本。

[0076] 与上述方法实施例相对应,本发明实施例还提供了一种REV连通孔隙空间的构建装置,如图11所示,该装置可以包括:图像获取模块1100、关系确定模块1110、通道建立模块1120、空间建立模块1130。

[0077] 图像获取模块1100,用于获取REV尺度微米CT图像;

[0078] 关系确定模块1110,用于确定所述REV尺度微米CT图像中,各个微米孔隙簇之间的拓扑关系;

[0079] 通道建立模块1120,用于根据各个微米孔隙簇之间的拓扑关系,按照最短路径原理在二值图像中建立纳米连接通道的中轴线以定位这些通道;

[0080] 空间建立模块1130,用于以实验渗透率为约束确定所述纳米连接通道的半径,建立REV连通孔隙空间。

[0081] 在本发明实施例的具体实施方式中,所述图像获取模块1100具体用于:

[0082] 扫描致密岩石获得REV尺度微米CT图像。

[0083] 在本发明实施例的具体实施方式中,所述空间建立模块1130具体用于:

[0084] 以所述致密岩石的实测渗透率为约束,确定所述纳米连接通道的半径,建立REV连通孔隙空间。

[0085] 专业人员应该还可以进一步意识到,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、计算机软件或者二者的结合来实现,为了清楚地说明硬件和软件的可互换性,在上述说明中已经按照功能一般性地描述了各示例的组成及步骤。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发明的范围。

[0086] 结合本文中所公开的实施例描述的方法或算法的步骤可以用硬件、处理器执行的

软件模块,或者二者的结合来实施。软件模块可以置于随机存储器(RAM)、内存、只读存储器(ROM)、电可编程ROM、电可擦除可编程ROM、寄存器、硬盘、可移动磁盘、CD-ROM、或技术领域内所公知的任意其它形式的存储介质中。

[0087] 以上所述的具体实施方式,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施方式而已,并不用于限定本发明的保护范围,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

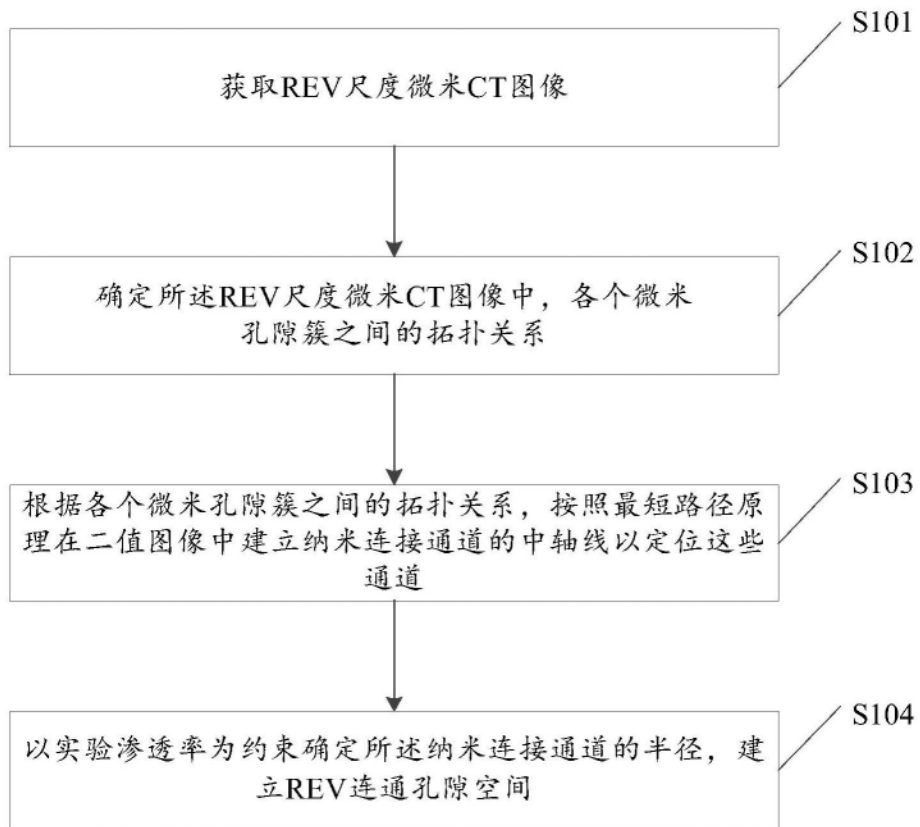


图1

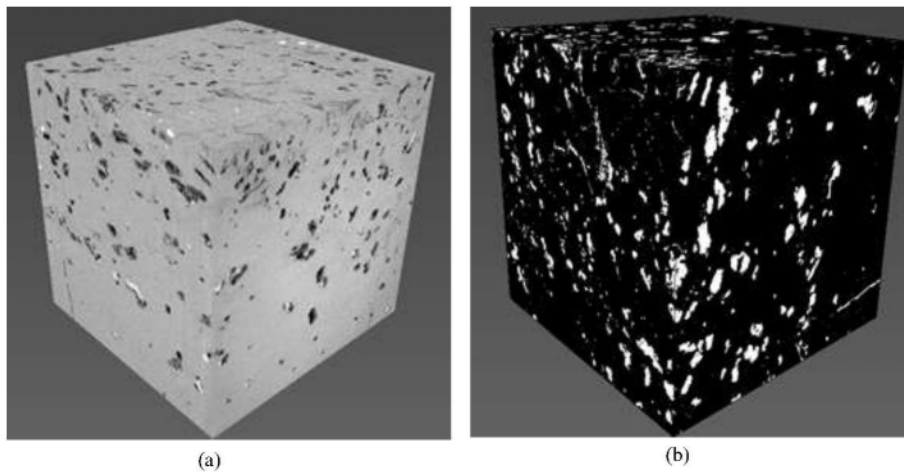


图2

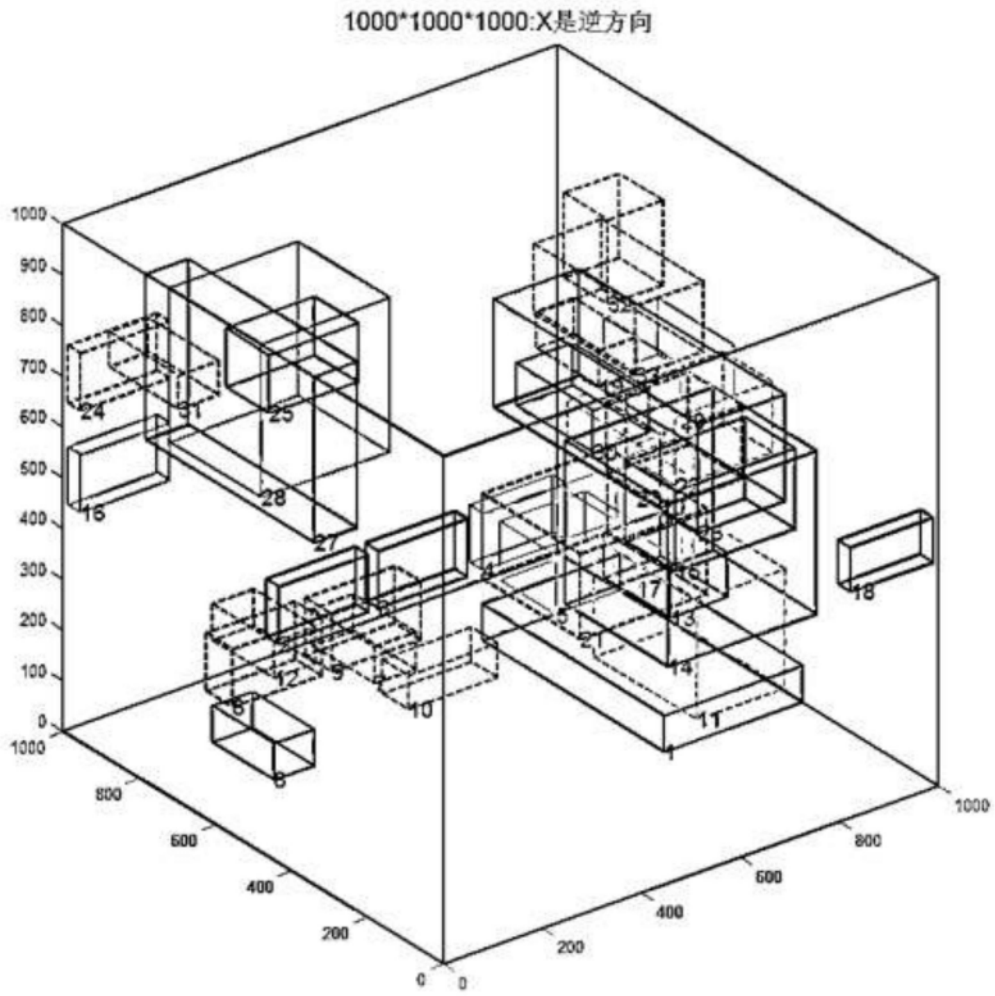


图3

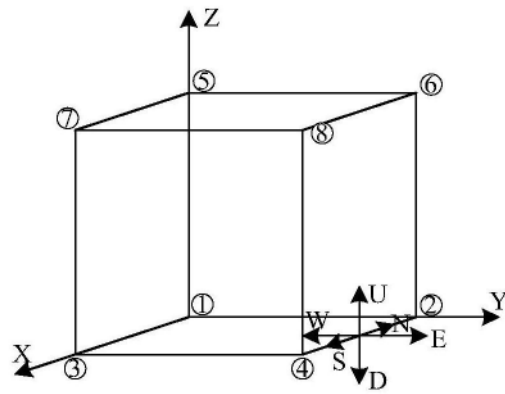


图4

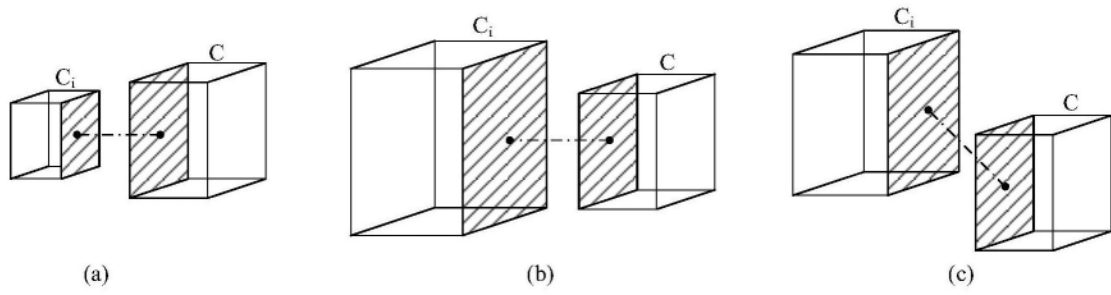


图5

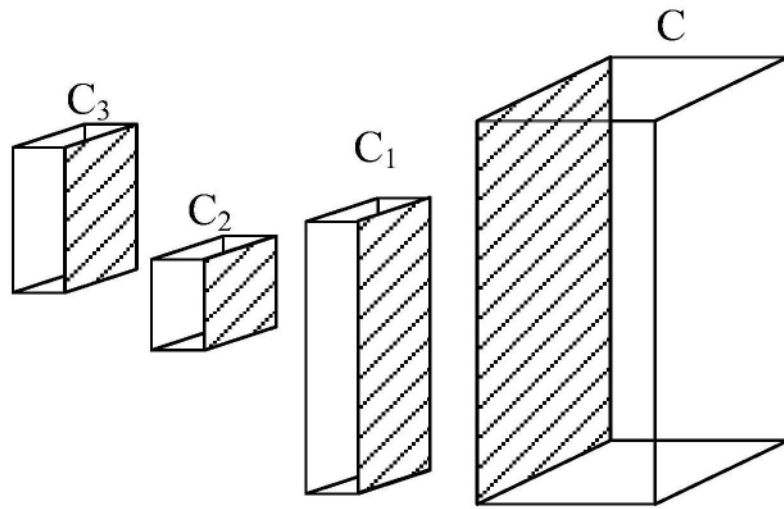


图6

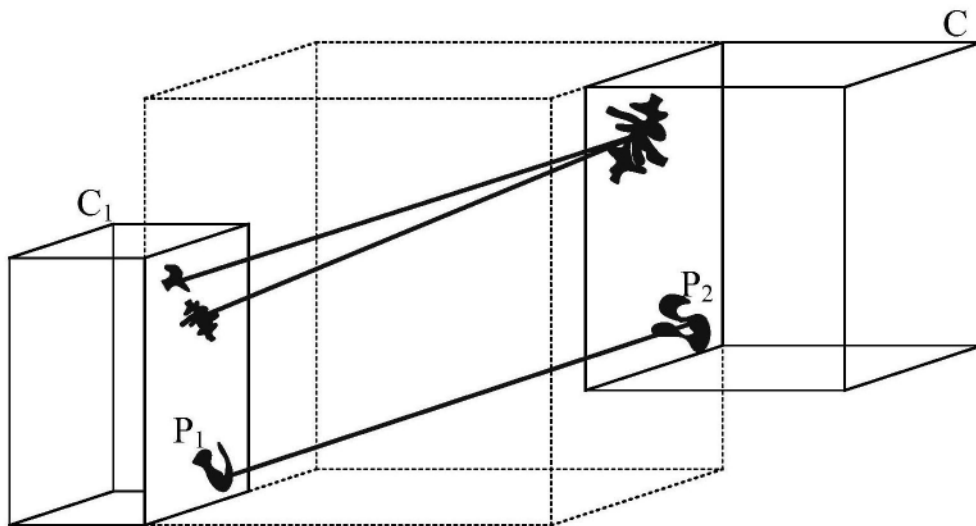


图7

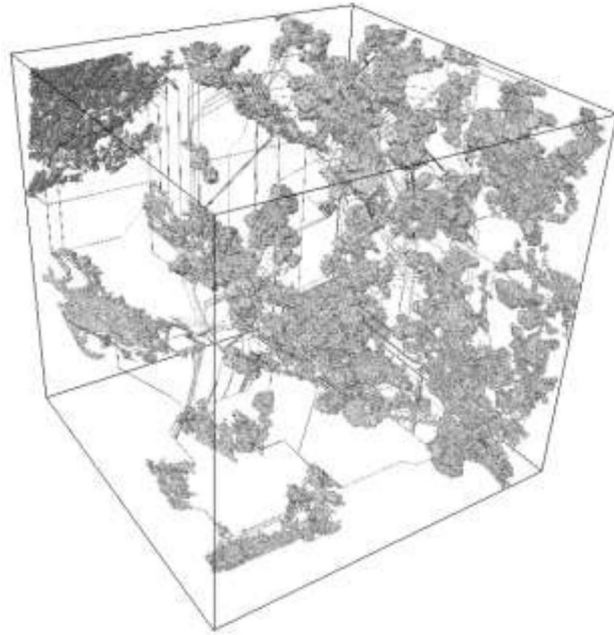


图8

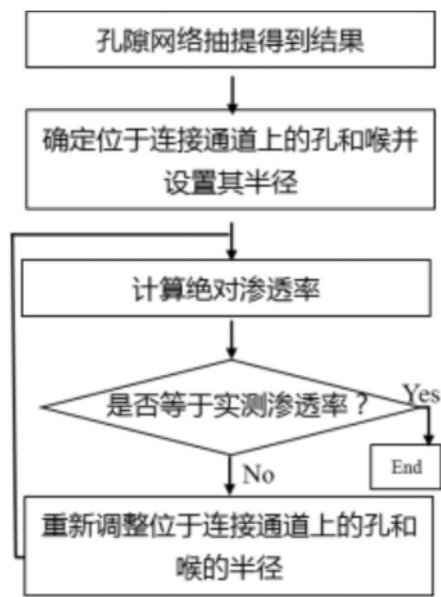


图9

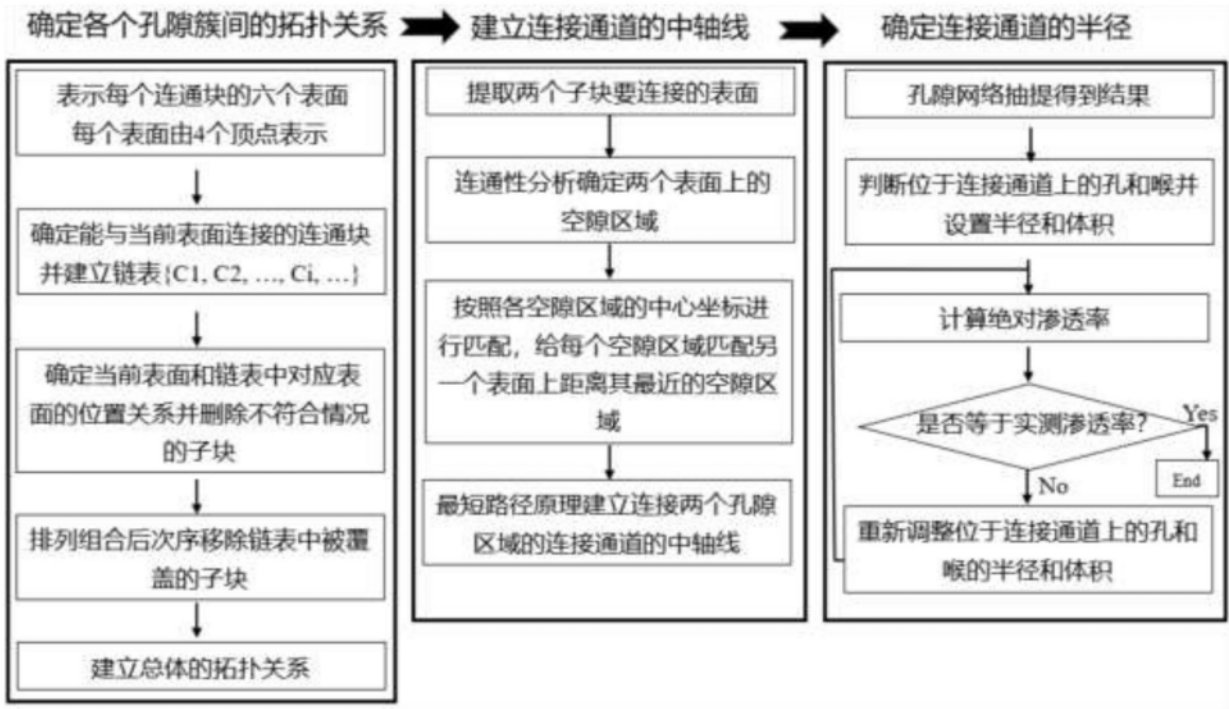


图10



图11