

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103282915 A

(43) 申请公布日 2013. 09. 04

(21) 申请号 201180063726. 4

(74) 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245

(22) 申请日 2011. 09. 29

代理人 赵蓉民

(30) 优先权数据

61/428, 436 2010. 12. 30 US

(51) Int. Cl.

G06G 7/48 (2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

2013. 07. 01

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2011/053977 2011. 09. 29

(87) PCT申请的公布数据

W02012/091775 EN 2012. 07. 05

(71) 申请人 埃克森美孚上游研究公司

地址 美国德克萨斯州

(72) 发明人 D·李 A·G·达逊

A·B·奥比格比山 S·D·肯斯二世

S·G·史密斯 A·W·斯达克尔

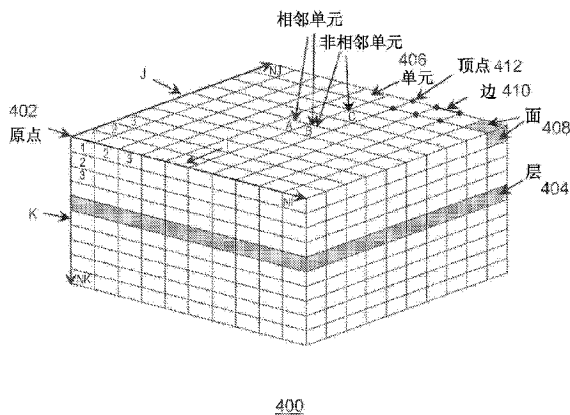
权利要求书3页 说明书19页 附图16页

(54) 发明名称

用于地下储层模拟的系统和方法

(57) 摘要

本发明涉及一种基于来自非结构化网格的数据利用结构化网格储层模拟器提供储层模拟的系统和方法。示例性的方法包括获取包含在非结构化网格上离散化的储层模型的非结构化网格储层模型。定义非结构化网格储层模型的虚拟结构化网格。通过增加单元到非结构化网格中,使非结构化网格和虚拟结构化网格具有相同数量的单元,从而使非结构化网格与虚拟结构化网格相一致。虚拟结构化网格可以表示在非结构化网格中。基于非结构化网格模型中的储层模型数据准备包含分配给虚拟结构化网格的储层模型数据的结构化网格储层模拟器输入数据。利用结构化网格储层模拟器输入数据执行结构化网格储层模拟,从而生成储层模拟。



1. 一种利用结构化网格储层模拟器基于来自在非结构化网格上离散化的储层模型的数据提供储层模拟的方法,所述方法包含:

获取非结构化网格储层模型,其包含在非结构化网格被离散化的储层模型;

定义所述非结构化网格储层模型的虚拟结构化网格;

使所述非结构化网格与所述虚拟结构化网格相一致,包含增加单元到所述非结构化网格,以使所述非结构化网格和虚拟结构化网格具有相同数量的单元;

利用在所述非结构化网格和虚拟结构化网格中单元之间的一一对应在所述非结构化网格中表示虚拟结构化网格;

基于所述非结构化网格模型中的储层模型数据准备结构化网格储层模拟器输入数据,其包含分配给所述虚拟结构化网格的储层模型数据;以及

利用所述结构化网格储层模拟器输入数据运行结构化网格储层模拟,从而生成储层模拟。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,包含基于所述结构化网格储层模拟提供感兴趣特性的可视化。

3. 根据权利要求 1 所述的方法,包含执行从所述储层模拟到所述非结构化网格储层模型的反向映射。

4. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述非结构化储层模型包含结构化单元和非结构化单元。

5. 根据权利要求 1 所述的方法,其中定义所述虚拟结构化网格包含:

确定在所述虚拟结构化网格的 K 方向的虚拟单元数量;

从所述非结构化网格储层模型获取每个层的单元数;和

确定在所述虚拟结构化网格的 I 方向和 J 方向的虚拟单元数。

6. 根据权利要求 1 所述的方法,其中表示感兴趣区域的所述非结构化网格储层模型的区域由相对于所述非结构化网格储层模型的另一区域相对更精细网格的单元定义。

7. 根据权利要求 1 所述的方法,其中使所述非结构化网格储层模型和所述虚拟结构化网格相一致包含:

从所述非结构化网格储层模型中选择顶点;

构造多个虚设单元;和

增加所述多个虚设单元到所述非结构化网格储层模型中,所述多个虚设单元包含一定数量,从而在所述多个虚设单元增加到所述非结构化储层模型之后,所述虚拟结构化网格中虚拟单元的总数等于所述非结构化网格储层模型中单元的总数。

8. 根据权利要求 1 所述的方法,其中相邻连接包含所述虚拟结构化网格中的两个相邻单元之间存在的通信特性的储存库。

9. 根据权利要求 1 所述的方法,其中非相邻连接包含所述虚拟结构化网格中的两个非相邻单元之间存在的通信特性的储存库。

10. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述虚拟结构化网格不携带几何特性。

11. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述虚拟结构化网格中的每个单元存储储层岩石特性。

12. 根据权利要求 1 所述的方法,其中在非结构化网格储层模型中表示虚拟结构化网

格包含：

建立所述非结构化网格储层模型中的 II、JJ、和 KK 特性；
初始化所述非结构化网格储层模型中的 II、JJ、和 KK 特性；
设计所述非结构化网格储层模型中的链接方案；以及
分配所述非结构化网格储层模型中的 II、JJ、和 KK 特性。

13. 根据权利要求 1 所述的方法，包含通过基于所述非结构化网格模型中单元之间的流动传输性定义所述虚拟结构化网格中单元之间的流动传输性，使得所述非结构化网格模型中的数据与所述虚拟结构化网格相关联。

14. 一种适用于利用结构化网格储层模拟器基于来自非结构化网格的数据提供储层模拟的计算机系统，所述计算机系统包含：

处理器；和

存储以供所述处理器执行的计算机可读指令的永久性计算机可读存储介质，所述计算机可读指令包含：

当所述处理器执行时引起所述处理器获取包含在非结构化网格上被离散化的储层模型的非结构化网格储层模型的代码；

当所述处理器执行时引起所述处理器定义所述非结构化网格储层模型的虚拟结构化网格的代码；

当所述处理器执行时引起所述处理器使所述非结构化网格与所述虚拟结构化网格相一致的代码，其包含增加单元到所述非结构化网格中，从而使所述结构化网格和虚拟结构化网格具有相同数量的单元；

当所述处理器执行时引起所述处理器利用在所述非结构化网格和虚拟结构化网格中单元之间的一对一对应在所述非结构化网格中表示虚拟结构化网格的代码；

当所述处理器执行时引起所述处理器基于所述非结构化网格模型中的储层模型数据准备结构化网格储层模拟器输入数据的代码，所述输入数据包含分配给所述虚拟结构化网格的储层模型数据；

当所述处理器执行时引起所述处理器利用所述结构化网格储层模拟器输入数据运行结构化网格储层模拟从而生成储层模拟的代码。

15. 根据权利要求 14 所述的计算机系统，其中所述永久性计算机可读存储介质包含当计算机执行时引起所述处理器基于所述结构化网格储层模拟提供感兴趣特性的可视化的代码。

16. 根据权利要求 14 所述的计算机系统，其中所述永久性计算机可读存储介质包含当计算机执行时引起所述处理器执行所述储层模拟到所述非结构化网格储层模型的反向映射的代码。

17. 根据权利要求 14 所述的计算机系统，其中所述非结构化储层模型包含结构化单元和非结构化单元。

18. 根据权利要求 14 所述的计算机系统，其中所述永久性计算机可读存储介质包含：
当所述处理器执行时引起所述处理器从所述非结构化网格储层模型中选择顶点的代码；

当所述处理器执行时引起所述处理器构造多个虚设单元的代码；和

当所述处理器执行时引起所述处理器增加所述多个虚设单元到所述非结构化网格中的代码,所述多个虚设单元包含一定数目,从而在所述多个虚设单元增加到所述非结构化网格储层模型之后,所述虚拟结构化网格中虚拟单元的总数等于所述非结构化网格储层模型中单元的总数。

19. 根据权利要求 14 所述的计算机系统,其中相邻连接包含存在所述虚拟结构化网格中的两个相邻单元之间存在的通信特性的储存库。

20. 根据权利要求 14 所述的计算机系统,其中非相邻连接包含所述虚拟结构化网格中的两个非相邻单元之间存在的通信特性的储存库。

21. 一种利用油田和 / 或气田的储层模拟从所述油田和 / 气田生成碳氢化合物的方法,所述方法包含:

获取包含在非结构化网格上离散化的储层模型的非结构化网格储层模型,所述储层模型表示所述油田和 / 或气田;

定义所述非结构化网格储层模型的虚拟结构化网格;

使所述非结构化网格与所述虚拟结构化网格相一致,其包含增加单元到所述非结构化网格,从而使所述非结构化网格和虚拟结构化网格具有相同数量的单元;

利用在所述非结构化网格和虚拟结构化网格中的单元之间的一一对应在所述非结构化网格中表示所述虚拟结构化网格;

基于所述非结构化网格模型中的储层模型数据准备结构化网格储层模拟器输入数据,其包含分配给所述虚拟结构化网格的储层模型数据;

利用所述结构化网格储层模拟器输入数据运行结构化网格储层模拟,从而生成所述油田和 / 或气田的储层模拟;以及

利用所述储层模拟从所述油田和 / 或天然气田中提取碳氢化合物。

22. 一种执行储层模拟的方法,所述方法包含:

获取在非结构化网格定义的储层模型;

计数所述非结构化网格中的网格单元数 M ;

定义其乘积 N 等于或大于 M 的一组整数;

将 L 个虚设单元增加到所述非结构化网格中,形成第二非结构化网格,其中 L 是 N 和 M 之差;

执行所述第二非结构化网格中的每个单元到虚拟结构化网格中的单元的一对一映射;

基于所述非结构化网格中单元之间的流动传输性定义所述结构化网格中单元之间的流动传输性;和

利用结构化网格储层模拟器基于所述虚拟结构化网格执行储层模拟。

23. 根据权利要求 22 所述的方法,其中执行所述一对一映射包含将一个或更多个单元特性从所述非结构化网格复制到所述结构化网格。

用于地下储层模拟的系统和方法

[0001] 相关申请的交叉参考

[0002] 本申请要求 2010 年 12 月 30 日提出标题为“SYSTEMS AND METHODS FOR SUBSURFACE RESERVOIR SIMULATION”的美国临时专利申请 61/428, 436 的权益,其整个内容以参考方式包括进本申请。

技术领域

[0003] 本技术涉及地下储层模拟,包括提供对应于物体的数据的三维 (3D) 数据和 / 或可视化和数据的分析。特别地,本技术的示例性实施例涉及模拟地下储层用于进行储层性能预测的方法。

背景技术

[0004] 该部分是为了引入本领域的不同方面,其可以与公开的技术的实施例相关联。认为该讨论有助于提供促进更好地理解本技术的特定方面的框架。因此,应当理解,在此基础上理解该部分,并且该部分不一定作为现有领域的一部分。

[0005] 众多学科已经广泛接收三维 (3D) 模型构造和可视化作为用于分析、传递、和理解复杂的三维数据集的机制。受到三维分析影响的结构的实例包括地球地下、设施设计、和人体。

[0006] 三维建模技术在石油和天然气产业中的勘探、开发、和生产阶段期间非常重要。例如,常规性地应用储层模拟作为用于优化拥有数十亿碳氢化合物物流体的碳氢化合物储层的回收的开发和生产策略。

[0007] 容易询问和探测三维模型的能力是三维可视化的一个方面。相关模型可以同时含有三维体积对象和位于相同位置的三维多边形对象。体积对象的实例包括地震体、核磁共振扫描、储层模拟模型、和地质模型。解释的平线、断层、和井眼轨迹都是多边形对象的实例。

[0008] 三维体积对象可以划分为两个基本种类:结构化网格和非结构化网格。结构化网格和非结构化网格可以呈现给用户,以便于探测和理解相关联的数据。对于结构化网格和非结构化网格存在大量已知的体积模拟技术。

[0009] 在油气和天然气产业中,存在储层模拟器用于在结构化网格和非结构化网格上操作。一般地,模拟器将在一个网格类型或另一个网格类型操作,而不是同时在两种网格类型上操作。

[0010] 基于结构化网格的模拟器已经用于油气领域数十年,并且证明对于该领域应用来说基于结构化网络的模拟器是高效和稳定的。基于非机构化网格的模拟器更新,比基于结构化网格的模拟器更有优势,其优势在于基于非结构化网格的模拟器可以更精确地建模储层内部和外部几何,因此,其提供更精确的储层性能预测。基于非结构化网格的储层模拟器是非商售的。因此,技术服务公司在一段时间已经尝试利用非结构化网格重写其商售的基于结构化网格的模拟器。然而,重写过程是复杂的、耗时的、和昂贵的。

[0011] 为了转换利用非结构化网格构造的储层模型以便于基于结构化网络的模拟器可使用,使用变通方案。例如,某些变通方案包括建立结构化网格模仿要转换的原始非结构化网格模型。该过程是耗时的,当非结构化网格模型高度断层和结构上复杂时,该过程可以变得非常困难或甚至不可能。当要转换的非结构化储层模型中存在大量历史匹配变化时,该情况更糟糕。历史匹配是改进或调整储层模型的特性,以便于更好地匹配模型预测和观察的储层生成数据。该过程增加模型预测的置信度。有关储层特性的历史匹配变化可以在单元内和单元的表面上。非结构化网格单元(具有任意数量的表面)一般具有比结构化网格单元可以处理的表面(限制为六个表面)更多的表面。因此,历史匹配变化不能从非结构化网格精确地映射到结构化网格,这使得非结构化模型到结构化模型的转换不可能。

[0012] 如上所述,先前在该领域已经作出若干努力。在涉及本文中公开的技术的先验美国专利中,下面的非排他性列表表示作出的努力:美国专利号 6928399 ;7043413 ;6106561 ;7047165 ;6018497 ;6078869 ;5740342 ;7634395 ;7451066 ;和 7596480。国际专利申请公开号 W02008150325 也涉及当前描述的技术。

发明内容

[0013] 本技术的示例性实施例包含用于利用结构化网格储层模拟器基于来自非结构化网格的数据提供储层模拟的示例性方法。该示例性的方法包含获取非结构化网格储层模型,其包含在非结构化网格上被离散化的储层模型。为非结构化网格储层模型定义虚拟结构化网格。通过增加单元到非结构化网格中使得非结构化网格和虚拟结构化网格具有相同数量的单元,该非结构化网格与虚拟结构化网格相一致。虚拟结构化网格可以利用在非结构化网格和虚拟结构化网格中的单元之间的一对一对应被表示在非结构化网格中。基于非结构化网格模型中的储层模型数据准备包含分配给虚拟结构化网格的储层模型数据的结构化网格储层模拟器输入数据。结构化网格储层模拟利用结构化网格储层模拟器输入数据执行,生成储层模拟。

[0014] 示例性计算机系统适用于利用结构化网格储层模拟器基于来自非结构化网格的数据提供储层模拟。示例性计算机系统包含处理器和存储由处理器执行的计算机可读指令的永久性计算机可读存储介质。计算机可读指令可以包括代码,当处理器执行代码时,引起处理器获取包含在非结构化网格上被离散化的储层模型的非结构化网格储层模型。存储在计算机可读存储介质上的额外代码包括适用于引起处理器定义非结构化网格储层模型的虚拟结构化网格的代码。存储在计算机可读存储介质上的额外指令还包含适用于引起处理器使得非结构化网格与虚拟结构化网格相一致的代码,其包含增加单元到非结构化网格,从而使得非结构化网格和虚拟结构化网格具有相同数量的单元。还存储在计算机可读存储介质上的是适用于引起处理器利用在非结构化网格和虚拟结构化网格中的单元之间的一对一对应在非结构化网格中表示虚拟结构化网格。计算机可读存储介质进一步存储适用于引起处理器基于非结构化网格模型中的储层模型数据准备结构化网格储层模拟器输入数据的代码,其中结构化网格储层模拟器输入数据包含分配给虚拟结构化网格的储层模型数据。计算机可读存储介质还存储适用于引起处理器利用结构化网格储层模拟器输入数据运行结构化网格储层模拟从而生成储层模拟的代码。

[0015] 本技术涉及用于利用油田和 / 或天然气田的储层模拟从油田和 / 或天然气田生成

碳氢化合物的方法。用于生成碳氢化合物的示例性的方法包括获取包含在非结构化网格上被离散化的储层模型的非结构化网格储层模型,该储层模型表示油田和 / 或天然气田。为非结构化网格储层模型定义虚拟结构化网格。通过增加单元到非结构化网格中使得非结构化网格和虚拟结构化网格具有相同数量的单元,该非结构化网格与虚拟结构化网格相一致。在非结构化网格中可以利用在非结构化网格和虚拟结构化网格中的单元之间的一一对应表示虚拟结构化网格。包含分配给虚拟结构化网格的储层模型数据的结构化网格储层模拟器输入数据基于非结构化网格模型中的储层模型数据准备。结构化网格储层模拟利用结构化网格储层模拟器输入数据执行,生成油田和 / 或天然气田的储层模拟。最后,利用储层模拟从油田和 / 或天然气田中提取碳氢化合物。

[0016] 本技术的示例性实施例涉及执行储层模拟的方法。执行储层模拟的示例性方法包含获取在非结构化网格上定义的储层模型和计数非结构化网格中的网格单元数量 M 。定义其乘积 N 等于或大于 M 的整数的集合。 L 个虚设单元增加到非结构化网格中,形成第二非结构化网格。在一个实施例中, L 是 N 和 M 之间的差。执行第二非结构化网格中的每个单元到虚拟结构化网格中的单元的一对一映射。结构化网格中的单元之间的流动传输性可以基于非结构化网格中的单元之间的流动传递率定义。然后,可以利用结构化网格储层模拟器基于虚拟结构化网格执行储层模拟。

附图说明

[0017] 阅读下面的实施例的非限制性实例的详细说明书和附图,可以理解本技术的优势,在附图中:

[0018] 图 1 是示出用于提供储层模拟的方法的过程流程图;

[0019] 图 2 是示出一部分非结构化网格的水平视图(鸟瞰图);

[0020] 图 3 是一部分非结构化网格的剖视图(垂直视图);

[0021] 图 4 是示出其中每个网格单元具有六个表面的结构化网格的一部分的图;

[0022] 图 5 是示出适用于转换成虚拟结构化网格的一部分非结构化网格的图;

[0023] 图 6 是示出用于定义虚拟结构化网格的过程流程图;

[0024] 图 7 是表示碳氢化合物区的非结构化网格的一部分和虚拟结构化网格的相对应部分的图;

[0025] 图 8 是示出用于定义非结构化网格中的虚设单元的方法的过程流程图;

[0026] 图 9 是示出用于创建和初始化非结构化网格中的特性从而保存虚拟单元索引的方法的过程流程图;

[0027] 图 10 是示出非结构化网格和相对应的虚拟结构化网格的映射视图的图;

[0028] 图 11 是在说明单元分配过程的手动部分中有用的非结构化网格的图;

[0029] 图 12 是具有非结构化单元和结构化单元的非结构化网格的图;

[0030] 图 13 是储层模拟器的方框图;

[0031] 图 14 是示出用于变换来自非结构化网格的数据以便于在虚拟结构化网格中使用的方法的过程流程图;

[0032] 图 15 是从虚拟结构化网格向后映射的非结构化网格的图;

[0033] 图 16 是示出用于从油田和 / 或天然气田生成碳氢化合物的方法的过程流程图;

[0034] 图 17 是示出用于执行储层模拟的方法的过程流程图 ;以及

[0035] 图 18 是可以用于执行概述对应于感兴趣特性的数据的方法的计算机系统的方框图。

具体实施方式

[0036] 在下面的详细说明部分,结合有些的实施例描述具体的实施例。然而,就下面的说明书是本技术的特定实施例或特定用途特有的来说,仅仅是为了示出和提供实施例的描述。因此,本技术不限于以下所述的具体实施例,而是这些技术包括在相关权利要求的精神和保护范围内的所有改变、改进、和等效物。

[0037] 起初,为了方便参考,阐述当在上下文中使用时本申请中使用的某些术语和其意义。就以下未定义的本文中使用的术语来说,应当提供相关领域中已经讲术语考虑为在至少一个印刷公开或发表专利中反映的最广泛的定义。

[0038] 本文中使用的术语“单元”是指面的集合或含蓄地定义面的节点的集合,其中面共同构成封闭体积。

[0039] 本文中使用的术语“计算机部件”是指计算机可读实体,硬件、固件、软件、其组合、或执行的软件。例如,计算机部件可以是,但不限于,运行在处理器的过程、处理器、对象、可执行文件、执行线程、程序、和计算机。一个或多个计算机部件可以驻存在执行的过程和 / 或线程中,和计算机部件可以定位在一个计算机上和 / 或分布在两个或多个计算机之间。

[0040] 本文中使用的术语“计算机可读介质”、“永久性计算机可读介质”等等是指参与提供指令给处理器以供执行的任何有形存储器。该介质可以采用多种形式,包括但不限于,非易失性介质或易失性介质。非易失性介质包括,例如,非易失性随机存取存储器(NVRAM)或磁盘或光盘。易失性介质包括动态存储器,例如主存储器。计算机可读介质包括,例如,软盘、软磁盘、硬盘、磁带、或任何其他磁介质、磁-光介质、CD-ROM、任何其他光介质、RAM、PROM、和 EPROM、FLASH-EPROM、像全息存储器、内存卡、或任何其他存储芯片或磁带盒的固态介质、或计算机可以从其中读取的任何其他物理介质。当计算机可读介质构造为数据库时,理解的是,该数据库可以是任何类型的数据库,例如关系数据库、层次数据库、面向对象数据库等等。因此,可以认为本技术的示例性实施例包括有形的、永久性存储介质或有形分布介质和现有领域认识的等效物和后继介质,其中存储具体体现本技术的软件实施。

[0041] 本文中使用的术语“面”是指形成表面的点的任意集合。

[0042] 本文中使用的术语“断层”是指土层和相邻水平表面,断层上存在可以看到的移位。断层可以阻止碳氢化合物的流动,产生其中碳氢化合物可以采集的圈闭,或提高碳氢化合物在储层的储层之间的流动。

[0043] 本文中使用的术语“流体接触”是指在两种不同流体之间的界面,例如,油和水。

[0044] 本文中使用的术语“地质模型”是指在 i, j, k 空间拓补构造的但是几何上变化的模型。可以就节点和单元而言定义地质模型。地质模型还可以通过立柱(连接单元的列的垂直边缘的线)定义。地质模型可以可视化地呈现为壳体(例如,具有只显示在外表面的数据的体积)。

[0045] 本文中使用的术语“ i, j, k 空间”是指具有连续单元的 (i, j, k) 的具体指定的整数坐标的地球蜂窝模型的局部水平参考坐标系。按照惯例, k 表示垂直坐标。 i, j, k 空间可以

用作采样空间,其中每个坐标表示不参考物理特征的单个采样值。

[0046] 本文中使用的术语“节点”是指定义 i, j, k 空间中的一个拓补位置的点的集合。除非分离或断层条件与该节点相关联,否则节点只具有一个点。

[0047] 本文中使用的术语“点”是指三维空间中的 X, Y, Z 位置。

[0048] 本文中使用的术语“多叉线”是指点的排序。多叉线可以显示为连接线段(或柱面),和多叉线可以或不可以闭合。多叉线的性质可以用于提供颜色或改变多叉线的厚度,并且可以是离散的或插入在已知点之间。

[0049] 本文中使用的术语“特性”是指表示在每个元素的基础上与不同的拓补元素相关联的特征的数据。一般地,特性可以是任何计算值类型,包括整数和浮点数类型等等。而且,特性可以包含值类型的矢量。特性可以只对于几何对象的元素的子集有效。特性可以用于改变对象的几何形状的颜色。术语“特性”还可以指涉及对象的特征或存储信息。合适定义的应用对于计算机科学领域的普通技术人员来说是比较直观的。

[0050] 本文中使用的术语“结构化网格”是指被称为三维像素的体数据点的矩阵。结构化网格一般和地震数据体或医学成像一起使用。

[0051] 本文中使用的术语“拓补元素”是指对象的组成部分。点、面、或单元都是最常见的实例。

[0052] 本文中使用的术语“非结构化网格”是指具有任意几何形状的单元的集合。每个单元可以具有棱柱、六面体的形状、或其他更复杂的三维几何形状。当与结构化网格相比较时,非结构化网格可以更好地表示实际数据,因为非结构化网格可以在特性值突然改变的一个区域含有更精细(例如,更小)单元,和在特性值改变得更缓慢的区域含有更稀疏(例如,更大)单元。更精细单元还可以用于具有更精确的测量或数据确定性的区域(例如,在井的附近)。定义单元几何形状的弹性允许非结构化网格比结构化网格更好地表示物理特性。此外,非结构化网格单元还可以更好地类似地下层的实际几何形状,因为单元形状不限于立方体,可以是给定的任何定向。然而,所有单元几何形状需要显式存储,因此非结构化网格需要大量的存储器。非结构化网格可以结合储层模拟模型使用。注意到,非结构化网格涉及如何定义数据和暗示数据本身没有结构。例如,可以表示地震模型,通常由结构化网格表示为具有显式定义的节点和单元的非结构化网格。结果不一定是内存密集型的,比相对应的结构化定义处理和可视化更加低效。

[0053] 本文中使用的术语“结构化表面”是指点和多边形面的集合。非结构化表面可以可视地呈现为表面。特性可以用于改变表面的颜色。

[0054] 本文中使用的术语“可视化引擎”或“VE”是指适用于呈现表示一个或多个物体的模型和/或数据可视化的计算机部件。

[0055] 本文中使用的术语“井”是指具有井眼的集合的地面位置。井可以可视化地呈现为点或字符和名字。

[0056] 本文中使用的术语“井眼”是指井的组成地下路径和相关的路径依赖数据的集合。井眼可以可视化地呈现为连接线段或曲线的集合。井眼还可以可视化地呈现为具有半径的圆柱形。

[0057] 就计算机存储器内的数据位的操作的过程、步骤、逻辑块、处理、和其他符号表示而言,呈现遵循的详细说明书的某些部分。这些描述和表示都是数据处理领域的技术人员

使用的最有效地传递其作品本质给本领域的其他技术人员的方式。在本申请中,程序、步骤、逻辑块、过程等等认为是导致期望结果的步骤或指令的首尾一致的序列。步骤是要求物理操纵物理量。这些量可以在计算机系统中存储、传输、组合、比较、和操纵。

[0058] 然而,考虑到所有这些和相似术语都与合适的物理量相关联,并且仅仅是应用于这些量的方便标记。除非明确地说明,否则根据下面的讨论,可以理解,贯穿本申请,利用诸如“调节”、“相一致”、“分配”、“比较”、“计算”、“创建”、“定义”、“确定”、“显示”、“提取”、“识别”、“限制”、“获取”、“执行”、“预测”、“准备”、“处理”、“生成”、“提供”、“呈现”、“运行”、“选择”、“存储”、“概述”、“变换”、“更新”等等的术语的讨论是指计算机系统的行为和处理,或将表示为计算机系统的寄存器和存储器内的物理(电子)量的数据变换为相似地表示为计算机系统存储器或寄存器或其他信息存储器、传输或显示设备内的物理量的其他数据的相似电子计算设备的行为和处理。参考流程图可以更好地理解示例性的方法。

[0059] 尽管为了说明的简洁性,所示方法示出和描述为一系列方框,理解的是,方法不由方框的顺序限制,因为某些方框可以按照不同的顺序执行和/或与所示和描述的其他方框同时执行。而且,需要少于所示方框执行示例性的方法。方框可以组合起来或分离成多个部件。而且,额外的和/或可选的方法可以使用不是所示方框的额外方框。尽管附图示出各种连续发生的行为,但是理解的是,各种行为可以同时发生、并行发生、和/或在充分不同的时间点发生。

[0060] 随着碳氢化合物生产行业已经倾向于包含非常大的项目的合资企业,提供在基于结构化网络的模拟器和基于非结构化网络的模拟器之间的通信的需求日益增加。此外,若干国家的政府要求转换基于非结构化网络的模拟模型以便于和商售的储层模拟器(其是基于结构化网络的)一起使用。

[0061] 本技术的示例性实施例提供处理两个问题的方法。首先,为技术服务公司提供开发基于非结构化网格而不会显著改变或重写现有的基于结构化网络的模拟器的模拟器的方法,这是性价比非常高的。第二,示例性的实施例可以提供用于将非结构化网格储层模型转换成结构化网格储层模拟器从而满足政府和合资企业/合伙人的需求的方法。

[0062] 储层模拟器通常包括三个零件:预处理器、模拟器引擎、和后处理器。储层模拟器的预处理器用于准备模拟器的引擎的输入数据。输入数据包含模拟网格、储层岩石和流体特性、储层初始条件、井数据、和井管理策略。储层模拟器的引擎利用输入数据执行所有数值计算,生成作为三维位置(x, y, z)和时间(t)的储层流体流动的结果。后处理器用于帮助储层工程师分析模拟结果。模拟器的后处理器在三维窗口中显示模拟结果,和在曲线图中显示井结果。

[0063] 通过将连续储层体再分为由精确地描述每个单元的几何形状和单元之间的连接的模拟网格组织的较小相邻单元,储层模拟器模拟储层中的流体流动。在生成模拟网格之后,有限差分/有限体积数值方法或有限元数值方法用于求解离散化的流体流动问题。当前,在油气领域,只有有限差分/有限体积方法用于商业应用,而有限数量的有限元方法用于其它目的而不是商业应用。模拟网格是储层模拟器的最重要部件中的一个,其影响模拟器的所有其它三个零件(预处理器、模拟器引擎和后处理器)。

[0064] 存在两种不同网格类型的有限差分/有限体积方法。这两个类型是结构化网格和非结构化网格。结构化网格将储层划分为通常具有六个正方形或矩形面的较小单元,其中

两个面在 x 或 y 或 z 方向。该网格被称为结构化网格,因为网格可以利用关于其物理的 x 方向、y 方向、和 z 方向的简单 i、j、和 k 索引管理。因为每个单元的面数是固定的,所以结构化网格的管理是简单且高效的。结构化网格的主要缺点是其建模具有充足数值模拟精确性的内部储层几何形状(例如,断层、沉积边界、和井)不灵活性和困难程度。非结构化网格将储层分离成可以具有任意数量的面的小单元,尤其是与水平方向垂直的面。由于在每个 x 或 y 或 z 方向的面数量是变量,所以 i、j、和 k 索引不能用于管理单元。与结构化网格相比较非结构化网格的主要优势是其精确地描述内部和外部储层几何形状的灵活性和性能。

[0065] 由油田服务公司生产的商售储层模拟器通常使用结构化网格。大多数基于非结构化网格的模拟器是由石油公司开发的,通常不公开使用。基于结构化网格的模拟器已经用于石油领域数十年,并且已经证明对于工业应用而言基于结构化网格的模拟器是高效且稳定的。基于非结构化网格的模拟器相对较新,比基于结构化网格的模拟器更有优势,其优势在于基于非结构化网格的模拟器可以更精确地建模储层内部和外部几何形状,因此,提供更精确的储层性能预测。

[0066] 本技术涉及利用结构化网格储层模拟器执行非结构化网格储层模拟的方法。该方法存在至少两个主要应用。对于第一应用,示例性的实施例可以用于在任何现存的基于结构化网格的商售储层模拟器中进行非结构化网格储层模拟。油田技术服务公司或已经开发商售的储层模拟器的其他公司可以使其现有的储层模拟器适用于非结构化网格储层模拟,而不需要重写其模拟器引擎。这可以避免数年开发模拟器引擎的成本。对于第二应用,可以应用本技术将非结构化网格储层模型转换成结构化网格储层模拟器。该转换可以是精确的,可以导致在结构化网格储层模拟器中出现非结构化网格储层模型的克隆副本。

[0067] 图 1 是根据本技术的示例性实施例的提供储层模拟的方法的过程流程图 100。在方框 102 中,获取非结构化网格储层模型。通常,非结构化网格储层模型是由公司内部建立的或是从第三方获取的。结构化网格储层模型包含非结构化单元(鸟瞰图中的非矩形)或结构化单元(鸟瞰图中的矩形)或同时包含非结构化单元和结构化单元,其中这些非结构化单元和结构化单元具有覆盖整个模型区域的全局层和细化某些区域的局部层。

[0068] 本文中使用的非结构化网格储层模型是指利用非结构化网格建立的储层模型。建立非结构化网格储层模型可以通过本领域的普通技术人员熟知的方法实现。非结构化网格储层模型可以利用典型的非结构化网格生成软件包建立。

[0069] 一般地,结构化网格包含单元的任何一组连续集,其中:1) 所以单元具有相同数量的侧面,2) 每个单元具有相同顶角集,和 3) 每个内部单元具有相同数量的共享面的相邻单元。本文中描述的非结构化网格包含不是结构化网格的任何其他网格。例如,结构化网格可以由矩形、平行四边形、等腰三角形、或对称六边形组成。这些网格中的单元干净地分成行和列(尽管行和列可能不垂直)。石油领域的大多数结构化网格储层模拟器基于使用正方形或矩形或变形的矩形单元的结构化网格。

[0070] 在方框 104 中,定义将用于以结构化方式保存非结构化网格模型的虚拟结构化网格。虚拟结构化网格具有足够的虚拟单元使单元保存在非结构化网格中。结构化网格与虚拟结构化网格相一致,如方框 106 中所示。相一致有助于确保非结构化网格和虚拟结构化网格具有相同数量的单元。虚拟结构化网格中的一个虚拟单元只对应于非结构化网格中的一个单元。

[0071] 虚拟结构化网格被表示在非结构化网格中,如在方框 108 中所示。虚拟结构化网格的虚拟单元索引可以在非结构化网格中显式地表示为虚拟结构化网格和非结构化网格之间的链接特性。该过程由搭接手动和自动过程实现。

[0072] 在方框 110 中,准备用于运行结构化网格储层模拟器的输入数据。在示例性的实施例中,所有准备的输入数据具有与结构化网格模拟器的任何其他标准输入数据相同的格式。如方框 112 中所示,运行结构化网格模拟器。在方框 114 中,结构化网格储层模拟器的模拟结果显示在非结构化网格观察器中。由结构化网格储层模拟器生成的模拟结果可以自动地映射回非结构化网格观察器。本文中更详细地描述图 1 中所示的步骤。

[0073] 图 2 是示出一部分非结构化网格 200 的水平视图(鸟瞰图)。根据鸟瞰图,非结构化网格 200 包含结构化单元 202 和非结构化单元 204。结构化单元是具有精确的四个边的正方形或矩形或变形矩形单元,而非结构化单元是其边数不等于四的多边形。非结构化单元的边数可以是三(三角形)、五(五边形)、六(六边形)、和更多。

[0074] 在非结构化网格储层模型中,在没有地质不连续的情况下可以使用结构化单元,例如断层或流体接触。非结构化单元可以用于含有地质不连续的区域。结构化单元计算方面有效,但是几何方面缺少灵活性。结构化单元不能够精确地描述地质不连续性或界面。相反,非结构化单元几何方面灵活但是计算方面低效。使用非结构化单元,但不限于,接近断层、接触、井、和不同大小的单元之间的过渡区。

[0075] 图 3 是一部分非结构化网格 300 的剖视图(垂直图)。在非结构化网格部分 300 中,只显示非结构化网格模型的一个垂直部分。在剖视图中,单元(鸟瞰图中的结构化单元或非结构化单元)组织成层。示例性的层由参考数字 302 确定。层包括横向连续的单元。层是在相似的地质时期沉积储层岩石和具有相似的岩石特性的地质单元。层可以完全或部分地覆盖储层模型面积。由于某些地质现象,例如,侵蚀(上部层截断下部层,反之亦然),层在模型的某些区域可以尖灭(消失)。在断层情况下层可以是不连续的。

[0076] 非结构化网格部分 300 还包括具有比全局网格的层更多的层的区域,由参考数字 304 确定。由于不同的地质过程,例如,沉积作用在一个区域可以比在另一个区域更快。因此,某些区域具有比其他区域更多的层,例如,在某些区域的层数与在全局网格的层数不同,如区域 304 中所示。网格单元大小可以在层之间改变。这些情况可以利用局部网格细化进行建模,该局部网格细化是为本领域的普通技术人员熟知的技术。

[0077] 如上所述,图 1 的方框 104 涉及定义非结构化网格储层模型的虚拟结构化网格。结构化网格包含多个单元和连接。连接包含单元之间的共享表面。参考图 4 和图 5 描述虚拟结构化网格的定义。

[0078] 图 4 是示出其中单元(例如,单元 406)具有六个表面(表面 408)的一部分结构化网格 400 的图。在图 4 中所示的示例性实施例中,每个表面具有准确的四个边 410;和每个边具有准确的两个顶点。几何上来说,结构化网格单元含有六个表面、12 个边、和八个顶点。利用 I、J、和 K 索引组织单元。从原点(通常在如图 4 中所示的左上角)开始,由参考数字 402 确定,单元从 1 到 N_I 编索引 I (在 I 方向的单元数)、从 1 到 N_J 编索引 J (在 J 方向的单元数)、和从 1 到 N_K 编索引 K (在 K 方向的单元数)。每个单元由索引(I, J, K)唯一地处理。I 和 J 都在水平方向,而 K 在垂直方向。K 索引还被称为层,由参考数字 404 确定,其由一组具有相同 K 索引的单元构成。结构化网格储层模拟器通常接收具有相同或不同原点的

图 4 中描述的类型结构化网格。

[0079] 在图 4 中所示的示例中, 结构化网格 400 中的每个单元(例如, 单元 406)是碳氢化合物储层的子体的储层特性的储存库。每个单元能够存储的数据的实例包括但不限于, 包含多孔性、孔隙容积、渗透性、和可压缩性的储层岩石特性; 包含流体组分、粘性、体积系数、可压缩性、饱和度、和相对渗透性的流体特性; 包含压力、电势、重力、和温度的流体动力特性。额外的实例包括单元几何特性, 其包含长度、宽度、厚度、深度、和体积。

[0080] 结构化网格中的连接是在两个单元之间传递特性的储存库。在示例性的实施例中, 每个连接存储(但不限于)涉及传输性、速度、和压力梯度的数据。单元通过传输单元之间的物理量的连接连接在一起, 例如, 碳氢化合物和其他流体。在示例性的实施例中, 单元之间存在两种类型的连接: 相邻连接和非相邻连接。相邻连接, 在结构化网格中最常见的连接类型, 是连接两个相邻单元的连接, 该两个相邻单元定义为共享公共表面, 例如, 如图 4 中所示的表面 A 和表面 B。非相邻连接, 在结构化网格中不常见但非常重要的连接类型, 是连接两个不相邻单元的连接, 这两个不相邻单元定义为不共享公共表面的单元, 例如, 如图 4 中所示的单元 B 和单元 C。

[0081] 本技术的示例性实施例提供一种方法, 其中可以定义的结构化网格是结构化网格储层模拟器引擎可以接收和理解的结构化版本的给定非结构化网格模型。非结构化网格不能够利用结构化网格几何呈现, 因为结构化单元的几何形状不足以表示非结构化单元的几何形状。每个单元的顶点、边、和表面的数量对于非结构化网格而言是变量, 但是对于结构化网格而言是常量。幸运的是, 由于包含顶点、边、和表面的几何信息对所有结构化网格储层模拟器引擎而言是任选的, 所以对要构造的结构化网格来说不一定需要几何信息, 这使得非结构化网格储层模型的结构化成为可能。因此, 根据本技术的结构化网格成为没有几何形状的结构化网格(例如, 顶点、边、和表面)。这种类型的结构化网格在本文中称为虚拟结构化网格。

[0082] 虚拟结构化网格具有除了几何形状之外的所有结构化网格特性。尽管不携带几何信息, 但是虚拟结构化网格具有在三维中利用(i, j, k)和在二维中利用(i, j)唯一编索引的单元。然而, 注意到, 具有相差一的单个索引的两个单元不具有任何连接。虚拟结构化网格中的所有单元和连接分别称为虚拟单元和虚拟连接, 因为这些单元和连接没有几何信息。与以上所述的结构化网格相似, 虚拟结构化网格具有虚拟原点, 是 I、J、和 K 的起始点; 和虚拟连接包含虚拟相邻连接和虚拟非相邻连接。每个虚拟单元可以存储的数据的实例包括但不限于, 包含多孔性、孔隙容积、渗透性、和可压缩性的储层岩石特性; 包含流体组分、粘性、体积系数、可压缩性、饱和度、和相对渗透性的流体特性; 包含压力、电势、重力、和温度的流体动力特性。额外的实例包括但不限于, 单元几何特性, 其包含长度、宽度、厚度、深度、和体积。可以由每个虚拟连接携带的数据实例包括但不限于, 传输性、流量、速度、和压力梯度。

[0083] 图 5 是根据本技术的示例性实施例的适用于转换成虚拟结构化网格 504 的非结构化网格 502 的一部分的图 500。根据本技术, 虚拟相邻连接和非相邻连接的定义不同于传统的定义。如果由该连接连接的单元在虚拟结构化网格和非结构化网格中都是相邻单元, 那么本文中使用的虚拟连接是虚拟相邻连接。否则连接时虚拟非相邻连接或根本不是连接。例如, 如图 5 中所示的虚拟单元 a 和 b 之间的虚拟连接是虚拟相邻连接, 因为 a 和 b 在虚拟

结构化网格中和非结构化网格中都是相邻单元。在相同的附图中,虚拟单元 b 和 d 之间的虚拟连接是虚拟非相邻连接,因为在虚拟结构化网格中的 b 和 d 都是非相邻虚拟单元。虚拟单元 b 和 c 之间无连接,即使在虚拟结构化网格中虚拟单元 b 和 d 是相邻单元。两个单元之间的连接性由非结构化网格确定。本文中使用的传统相邻连接可以成为非连接。然而,根据本技术传统的非相邻连接总是非相邻连接。本文中描述的连接的概念在准备结构化网格储层模拟器输入的过程中使用(方框 110 中)。

[0084] 虚拟结构化网格含有非结构化网格储层模型的所有必要网格数据,以便于结构化网格模拟器引擎进行模拟。

[0085] 参考方框 102 (图 1),非结构化网格储层模型可以具有在全局非结构化网格内的局部网格细化区域。本文中描述的全局非结构化网格的相同理念和过程可以应用于每个局部网格细化区域。为了便于说明,本文中使用的非结构化网格是指全局非结构化网格。

[0086] 图 6 是示出根据本技术的示例性实施例的用于定义虚拟结构化网格的方法的过程流程图 600。在方框 602 中,确定虚拟结构化网格的在 K 方向的虚拟单元的数量。由于在油田行业使用的非结构化网格模型是在垂直方向构造的,所以在 K 方向的虚拟单元数与非结构化网格模型中的层数相同。

[0087] 如方框 604 中所示,每个层的单元数是从非结构化网格中获取的。非结构化网格中每层的单元数(NL)不可以直接使用,因为其取决于如何为单元编索引。在为非结构化网格中的单元编索引的已知方法中,通过对域内层中的所有单元进行第一循环、对域内的所有层进行第二循环、和对所有域进行最终循环为单元编索引。因此,非结构化网格中每个层的单元数不容易获取。根据本技术,从非结构化网格中获取每个层的单元数的一个方式是使网格中单元的总数除以网格的层数。然而,非结构化网格中单元的总是不容易获取,因为大多数非结构化网格观察器只显示活动单元。寻找非结构化网格中单元的总数的一个示例性方法是选择呈现在所有(活动的和不活动的)单元中的非结构化网格的特性,例如,单元孔体积或总体积。

[0088] 在方框 606 中,确定虚拟结构化网格的在 I 方向和 J 方向的虚拟单元数。在 I 方向和 J 方向的虚拟单元数互相相关,不能单独地确定。确定在 I 方向和 J 方向的虚拟单元数有两个目的。第一目的是确定保存非结构化网格中最重要区域的 NI(在 I 方向的虚拟单元数)乘以 NJ(在 J 方向的虚拟单元数)的大小。

[0089] 图 7 是表示油气层的非结构化网格 702 的一部分和相对应的虚拟结构化网格 704 的相对应部分的图 700。非结构化网格 702 (在图 7 的上部)包括油气层 706,其中更精细的网格单元出现在对流体流动模拟最感兴趣的区域。虚拟结构化网格 704 (在图 7 的下部所示)包括对应于非结构化网格 702 中的油气层 706 的油气层 708。关于方框 606 (图 6),第二目的是确保 NI 和 NJ 的乘积等于在方框 604 (图 6)确定的 NL (每个层的单元数)。在某些情形中,例如,当 NL 是素数时,不能因式分解成 NI 处于 NJ,因为 NI 和 NJ 必须是整数。为了求解该问题,选择期望的 NI (认为是最佳的)。然后,利用 NL 估计 NJ。获得 NJ 的一个示例性方法是如果余数大于 0 设置 NJ 等于一加 NL 除以 NI 的商,否则 NJ 等于商。由此,虚拟结构化网格中每个层的虚拟单元数等于或大于非结构化网格中每个层的单元数。用这种方式,创建虚拟结构化网格,因此具有足够的单元保存非结构化网格单元。

[0090] 参考图 1 的方框 106 (非结构化网格与虚拟结构化网格相一致),当 NL (非结构化

网格中每个层的单元数)除以 NI (结构化网格的在 I 方向的虚拟单元数)的余数大于零,那么虚拟结构化网格中每个层的单元数大于非结构化网格中每个层的单元数。也就是说,虚拟结构化网格中虚拟单元的总数大于非结构化网格中单元的总数,这产生不能链接非结构化网格中任意单元的剩余虚拟单元。换句话说,虚拟结构化网格不与非结构化网格相一致。为了使两种网格相一致,需要在非结构化网格和虚拟结构化网格之间相一致。

[0091] 根据本技术,在非结构化网格中可以增加虚设单元,因此虚拟结构化网格中的虚拟单元总数等于非结构化网格中的单元总数。剩余虚拟单元可以视为不活动单元(在模拟期间将忽略这些单元),和非结构化网格可以保持原样。然而,在该方法中,需要改进结构化储层模拟器引擎。而且,模拟结果难以映射回非结构化网格。在非结构化网格中增加虚设单元不需要改进结构化网格储层模拟器,和模拟结果可以自动地映射回非结构化网格。下面将关于方框 114 (图 1) 的讨论进行描述。

[0092] 图 8 是示出根据本技术的示例性实施例的用于定义非结构化网格中的虚设单元的方法的过程流程图 800。本文中所述的结构化网格中的虚设单元是无体积和在非结构化网格三维观察器中不可见的单元。形成无体积和不可见的虚设单元的一个方式是使用单个点表示虚设单元。也就是说,所有虚设单元在非结构化网格中都表示为单个点。

[0093] 在方框 820 中,顶点是从非结构化网格中选择的。为了使虚设单元在观察器中不可见,用于构造虚设单元的点理想地是非结构化网格的顶点中的一个顶点。可以选择非结构化网格中的任何顶点构造虚设单元。然而,最简单的方法是从非结构化网格数据文件中选择第一顶点。所选的顶点可以用作构造虚设单元的点。

[0094] 在方框 804 中,构造虚设单元。本文中所述的单元包含表面,表面包含边。边包含点。在选择顶点之后,利用顶点作为边的两个点构造边,即使两个点是相同的。在示例性的实施例中,作出边的四个复制,和利用四个相同的边建立表面。相似地,一旦建立表面,就可以作出表面的六个复制。单元可以利用六个相同的表面建立。最后,如果需要虚设单元,那么作出虚设单元的 n 个复制。因此,所有虚设单元都与所选的顶点相同。

[0095] 在方框 806 中,在方框 804 建立的虚设单元增加到非结构化网格中。根据非结构化网格数据文件的格式,虚设单元可以附加到非结构化网格文件的最后一个单元。例如,如果虚设单元数是 n,那么 n 个单元增加到非结构化网格数据文件中。与此同时,用于构造虚设单元的表面和边还可以分别附加到非结构化网格的最后一个表面和边。

[0096] 关于在方框 108(图 1)提及的在非结构化网格储层模型中表示虚拟结构化网格,图 9 是示出根据本技术的示例性实施例的建立和初始化用于保存虚拟单元索引的非结构化网格的特性的方法的过程流程图 900。一旦定义虚拟结构化网格,下一个步骤就是在非结构化网格中表示虚拟结构化网格。虚拟结构化网格中的每个虚拟单元只需要链接非结构化网格中的一个单元。这是一对一链接,因为虚拟结构化网格中的每个虚拟单元映射到非结构化网格的最多一个单元。在虚拟结构化网格和非结构化网格之间链接存在许多方式。根据本技术的示例性实施例的链接方法是在非结构化网格中表示虚拟结构化网格。该方法包括三个步骤,如图 9 中所示。

[0097] 在方框 902 中, II、JJ、和 KK 特性在非结构化网格中建立,保存虚拟单元索引 (I, J, K)。利用非结构化网格观察器,非结构化网格中每个单元的三个新单元特性可以用于保存其相对应的虚拟单元 I、J、和 K 索引。三个特性可以被称为 II、JJ、和 KK,或其他方便

的名称。避免直接利用 I、J、和 K 作为特性名称的一个原因是这些名称在非结构化网格观察器中可以是保留名称。理想地关于非结构化网格中的所有(活动的和不活动的)单元使用或定义三个新特性。一般地,因为非结构化网格观察器只显示活动单元,所以当建立新的单元特性时,新特性只在活动单元中可用。为了使所有单元可用于三个新特性,活动单元和不活动单元可以同时显示在三维观察器中。可以为非结构化网格中的所有单元建立 II、JJ、和 KK。在已经建立 II、JJ、和 KK 之后,利用值 0 对其进行初始化,例如,为每个单元的所有 II、JJ、和 KK 特性分配 0。

[0098] 在方框 904 中,在非结构化网格中设计链接方案。由于虚拟结构化网格和非结构化网格具有相同的分层系统,所以虚拟结构化网格中的层索引与非结构化网格中的层索引相同。因此,将虚拟结构化网格中的 K 映射到非结构化网格中的 KK 并不复杂。KK 不需要特殊的设计。然而,在将虚拟单元索引 I 或 J 分配给非结构化网格中的每个单元的特性 II 和 JJ 之前,需要分析非结构化网格中单元的组织形式。

[0099] 非结构化网格通常包括在方框 102 (图 1)已经定义和描述的非结构化单元或结构化单元,或同时包括非结构化单元和结构化单元。为了高效地计算非结构化网格模型,结构化单元可以用于地质结构相对平滑的区域,而非结构化单元可以应用在地质结构不平滑或不连续(例如,断层)的区域。结构化单元可以用于感兴趣的区域,例如,油气层,如非结构化网格部分 702 (图 7)中所示的精细网格单元。许多方法可以用于在虚拟结构化网格和非结构化网格之间映射。然而,理想的是,选择传送计算高效的虚拟结构化网格的方法。实现该目标的一个方法是最小化虚拟非相邻连接的数量或最大化在虚拟结构化网格的虚拟单元之间的相邻连接数。因为大多数虚拟结构化网格中的虚拟单元之间的相邻连接来自非结构化网格中的结构化单元,所以,如果非结构化网格的结构化单元可以尽可能地保存在虚拟结构化网格中,那么可以最小化虚拟非相邻连接的数量和最大化虚拟相邻连接的数量。因此,理想的目标是将非结构化网格的结构化单元尽可能地映射到虚拟结构化网格中。为了实现该目标,理想的是,在非结构化网格中寻找密集填充结构化单元的区域。一旦已经确定非结构化网格的这些“结构化”区域,就可以基于其重要度关于虚拟结构化网格的变换优先化这些区域。

[0100] 可能存在未找到“结构化”区域的情况。在这些情况中,理想的是,集中于对流体流动重要的非结构化网格的区域,从而优先化这些区域和基于其优先级为每个区域分配虚拟结构化网格索引。这些类型的非结构化网格模型一般计算上的效率比含有结构化单元的非结构化网格模型的计算效率低。

[0101] 在方框 906 中,分配非结构化网格中的 II、JJ、和 KK 特性。在示例性的实施例中,为非结构化网格中的每个单元分配 II、JJ、和 KK 可以包括手动过程和自动过程。手动过程部分可以借助于非结构化网格观察器执行,而自动过程可以由计算机指示和执行。

[0102] 图 10 是非结构化网格 1002 和相对应的虚拟结构化网格 1004 的映射视图的图 1000。感兴趣的区域可以可见地确定,和这些区域的分配可以手动进行。对于认为不太重要的其他区域,分配可以自动执行。通过实例,非结构化网格部分 1002 的油气层的单元可以手动地匹配,因为碳氢化合物区域的流体流动的计算是感兴趣和相对重要的部分。远离油气层的单元可以自动地匹配。

[0103] 图 11 是根据本技术的示例性实施例的在说明单元分配过程的手动部分中有用的

非结构化网格 100 的图。在手动过程中,为结构化网格 1100 中所选的单元分配的 II 和 JJ 理想地分别在虚拟单元索引 I 和 J 的范围内。也就是说,II 值限制在 1 和 NI 之间, JJ 值限制在 1 和 NJ 之间。分配 II 和 JJ 的值不是独立的过程。而且,分配 II 需要考虑 JJ,反之亦然。在分配 II 期间,单元列的 JJ 值限制在 1 和 NJ 之间。换句话说,在该列中每个层的单元数不能大于 NJ。对于手动过程,第一选择的单元列是 II=1 的单元。列在非结构化网格观察器中利用“阈值”或“部分”的函数选择。所有层应当在该选择列中可用。然后,值 1 分配给所选列中的所有单元。相同的过程应用于 II 值从 2 到 NI 的列。例如,当 II= 时,所选列 1102 中的所有单元(如图 11 中稍微阴影带所示)分配值 I。允许所选列中有间隙。间隙的所有单元维持 II 的原始值,例如 0。

[0104] 分配 II 的相同过程可以应用于分配 JJ。在分配 II 期间,单元行的 JJ 值限制在 1 和 NI 之间。该行的每个层的单元数不能大于 NI。第一选择的单元行是 JJ=1 的单元。相似地,行在非结构化网格观察器中利用“阈值”或“部分”的函数选择。所有层应当在该选择行中可用。然后,值 1 分配给所选行中的所有单元。相同的过程应用于 JJ 值从 2 到 NJ 的列。当 JJ=J 时,所选行 1104 中的所有单元(如图 11 中暗阴影带所示)分配 J 的值。允许所选行中有间隙,例如间隙 1106。间隙的所有单元维持 JJ 的原始值,例如 0。

[0105] 图 12 是根据本技术的示例性实施例的具有非结构化单元和结构化单元的非结构化网格 1200 的图。图 12 中所示的图在说明可以在关于图 11 描述的手动匹配过程之后进行的自动匹配过程中是有用的。在完成手动分配过程之后,如图 12 中所示的结构化网格中的结构化单元和非结构化单元的剩余部分可以利用计算机代码自动地分配 II 和 JJ 值。因为非结构化网格的单元索引通常是一维数组,所以表格 1 中所示的示例性伪代码可以用于在手动分配之后为剩余单元分配 II 和 JJ 值。

[0106]

Read cell ID and store it in ID[number of cells];
Read layer ID and store it in LayerID[number of cells];
Read manually assigned II and JJ
and store them in II[number of cells],JJ[number of cells];
Define KK[number of cells];
Assign layer ID to KK
Loop(i=1 to number of cells)
{
KK[i]=LayerID[i];
}

Define unassigned virtual cells in layer 1
I[number of unassigned cells],J[number of unassigned cells];
k=0;
Loop(j=1to NJ)
{
Loop(i=1to NI)
{
If(the cell is unassigned)
{
k=k+1;
I[k]=i;
J[k]=j;
}
}
}
Assign virtual cell I and J to II and JJ;
Define index for each layer
LayerIndex[NK];
Initial LayerIndex array;
Loop(i=1to NK)
{
LayerIndex[i]=0;
}
Loop(i=1to number of cells)

{
k=KK[i];
if(the cell is unassigned)
{
LayerIndex[k]=LayerIndex[k]+1;
II[i]=I[LayerIndex[k]];
JJ[i]=J[LayerIndex[k]];
}
}

[0107]

[0108] 表格 1 :用于执行自动匹配的伪代码的实例。

[0109] 关于在方框 110 (图 1) 提及的结构化网格模拟器输入的准备,图 13 是根据本技术的示例性实施例的储层模拟器的方框图 1300。储层模拟器包括结构化网格模拟器引擎 302。一旦已经建立虚拟结构化网格和非结构化网格之间的链接,就可以为结构化网格储层模拟器 1300 构造整个输入数据。运行储层模拟器 1300 所需的输入数据包含网格单元 / 连接特性 1304、井连接特性 1306、井管理行为 1308、岩石 / 流体特性 1310、流体 PVT 特性 1312、初始条件 1314、和结果规范 1316。此外,还可以使用其他数据 1318,具体取决于具体的应用。

[0110] 示例性的实施例涉及准备输入数据的八个独立步骤。举第一个步骤来说,可以准备网格单元和连接特性。结构化网格储层模拟器引擎 1302 可以当作结构化网格特性,其包含网格几何形状、多孔性、渗透性、流体饱和度、和地质关联。利用这些特性,模拟器引擎 1302 计算每个单元的孔体积和单元之间的可传输性,以便于进行数值模拟。然而,结构化网格储层模拟器引擎 1302 可以误解在本发明中建立的虚拟结构化网格,因为在方框 1304 (图 1) 描述的不是纯结构化网格。为了使结构化储层模拟器引擎 1302 理解原始的非结构化网格,可以执行如图 14 中所示的四个步骤。

[0111] 图 14 是示出用于变换来自非结构化网格的数据以便于在虚拟结构化网格中使用的方法的过程流程图 1400。在方框 1402 中,非结构化网格的网格特性变换成虚拟结构化网格。利用在方框 108 (图 1) 建立的链接,包含 dx、dy、dz、深度、多孔性、渗透性、孔体积、和可传输性(举几个例子来说)的非结构化网格特性可以映射到虚拟结构化网格中。代替输入结构化网格,可以输入虚拟结构化网格。因为虚拟结构化网格中未出现和不需要包含单元顶点、边、和表面的详细几何形状,所以来自结构化网格模拟器的输入网格格式可以是块中心格式而不是拐角点格式。块中心格式不需要详细的网格几何信息,而拐角点格式需要详细的网格几何形状。

[0112] 在方框 1404, 丢弃由结构化网格储层模拟器计算的孔体积和可传输性的值。将错误地计算这些值, 因为在虚拟结构化网格中没有详细的网格几何信息。根据本技术, 由结构化储层模拟器引擎计算的孔体积和可传输性可以设置为 0。来自非结构化网格储层模型的预先计算的值可以用这些值代替。

[0113] 如方框 1406 中所示, 可以输入孔体积和可传输性。根据示例性的实施例, 通过非相邻连接可以输入可传输性。

[0114] 如方框 1408 中所示, 相邻连接与非相邻连接分离。只使用非相邻连接将引起结构化网格储层模拟器计算低效。而且, 某些已知的结构化网格储层模拟器能够自动地分离输入的相邻连接和非相邻连接。然而, 如果结构化网格模拟器没有该性能, 那么需要分离相邻连接和非相邻连接。进行分离的一个示例性方式是对所有连接循环, 分别过滤在 I、J、和 K 方向的相邻连接, 然后作出四个单独的连接文件。在示例性的实施例中, 三个文件关于相邻连接, 一个文件关于非相邻连接。三个相邻连接文件分别含有在 I 方向、J 方向、和 K 方向的连接。

[0115] 返回准备输入数据的示例性过程的八个步骤的讨论, 第二步包含准备井连接特性。井连接时由井渗透的单元集合。每个井连接表示连接井的单元。井连接的特性包含单元索引(I, J, K)、在井和单元之间的可传输性、外壳、和井直径。此时 I、J、和 K 都是虚拟结构化网格的索引。在方框 108 (图 1) 建立的虚拟结构化网格和非结构化网格之间的链接可以用于变换从结构化网格储层模拟器引擎 1302 (图 13) 的结构化网格到虚拟结构化网格的井连接。

[0116] 在准备输入数据的示例性过程的第三个步骤是准备井管理数据。井管理数据可以包括井生产 / 喷射约束和限制、井生产 / 喷射策略、井眼和网络管道中的流动、网络约束和限制等等。因为井管理独立于储层模型网格, 所以井管理数据可以理想地基于结构化网格储层模拟器的格式准备。

[0117] 准备岩石和流体特性包含在准备输入数据的示例性过程中的第四个步骤。岩石 / 流体数据包含相对渗透性曲线、毛细压力曲线、端点饱和、和岩石可压缩性。由于相对渗透性曲线和毛细压力曲线一般独立于储层模型网格, 所以相对渗透性和毛细压力数据应当基于结构化网格储层模拟器的格式准备。因为端点饱和和岩石可压缩性可以依赖于储层模型网格, 所以在方框 108 (图 1) 建立的虚拟结构化网格和非结构化网格之间的链接可以用于将其从非结构化网格变换成虚拟结构化网格。

[0118] 在准备输入数据的示例性过程的第五个步骤包含: 准备流体 PVT 特性。PVT 数据包含饱和压力、流体可压缩性、地层体积系数、粘性、流体组分、流体速率、流体密度、和状态方程式。因为流体 PVT 特性独立于储层模型网格, 所以流体 PVT 数据可以理想地基于结构化网格储层模拟器的格式准备。

[0119] 准备输入数据的示例性过程中的第六个步骤包含准备初始条件数据。初始条件数据包含压力、饱和、组分、温度、在初始储层条件的流体接触等等。如果模型由重力均衡初始化, 那么均衡过程独立于储层模型网格。在这种情况下, 储层模型可以像矩形结构化网格模型一样初始化。然而, 如果模型由非重力均衡初始化, 那么均衡过程依赖于储层模型网格。在这种情况下, 在方框 108 (图 1) 建立的虚拟结构化网格和非结构化网格之间的链接可以用于将初始条件数据从非结构化网格变换成虚拟结构化网格。

[0120] 在准备输入数据的示例性过程的第七个步骤包含准备模拟结果规范。模拟结果规范可以包含储层的输出和输出频率的选择与井动态特性。因为选择过程独立于储层模型网格，所以模拟结果规范基于结构化网格储层模拟器的格式执行。

[0121] 在准备输入数据的示例性过程的第八个步骤包含准备其他数据。其他数据包含可以取决于或独立于储层模型网格的含水层数据。含水层数据为本领域的普通技术人员熟知。如果含水层数据取决于网格，那么在方框 108（图 1）建立的虚拟结构化网格和非结构化网格之间的链接可以用于将含水层数据从非结构化网格变换成虚拟结构化网格。否则，含水层数据准备和结构化网格模拟器的任何其他标准含水层数据准备相似。

[0122] 返回根据图 1 提供储层模拟的谈论，在方框 112，执行结构化网格模拟器。一旦已经准备结构化网格储层模拟器的所有输入数据，结构化网格储层模拟器就可以与任何其他标准结构化网格储层模型相同的方式运行。

[0123] 在方框 114 中，显示非结构化网格储层模型的模拟结果。模拟结果可以包含井 / 设施结果和三维模拟结果。根据示例性的实施例，显示虚拟结构化网格模型的井 / 设施结果可以与显示任何其他标准结构化网格模型相同的方式执行。然而，显示包含压力、流体饱和、组分、和其他动态特性的虚拟结构化网格的三维模拟结果是不同的，因为来自结构化网格储层模拟器的输出处于虚拟结构化网格格式。基于在方框 104（图 1）的定义，虚拟结构化网格是结构化的非结构化网格。结构化虚拟结构化网格以便于计算，但是结构化非结构化网格以便于观察。因此，标准结构化网格观察期不能用于可视化该模型。为了克服这个问题，反向链接可以用于将三维模拟结果从虚拟结构化网格变换成非结构化网格，以便于观察。

[0124] 根据示例性的实施例，利用下面的公式可以建立从虚拟结构化网格到非结构化网格的反向链接：

[0125] $VirtualCellID = II + (JJ - 1) * NI + (KK - 1) * NI * NJ$

[0126] 其中 VirtualCellID 是一维中的虚拟结构化网格单元 ID。II、JJ、和 KK 都是在方框 108（图 1）建立的链接函数（数组）。下面在表格 2 中所示的伪代码可以用于证明反向链接的建立。

[0127]

Define VirtualCellID[number of cells];
Read II[number of cells], JJ[number of cells], KK[number of cells];
Loop(i=1 to number of cells)
{
VirtualCellID[i]=II[i]+(JJ[i]-1)*NI+(KK[i]-1)*NI*NJ;
}

[0128] 表格 2：伪代码用于提供非结构化网格的反向链接。

[0129] 图 15 是根据本技术的示例性实施例的从虚拟结构化网格反向映射的非结构化网

格 1500 的图。在表格 2 中所列的伪代码中,VirtualCellID 自动地将三维模拟结果反向从虚拟结构化网格反向映射到非结构化网格。因此,来自结构化网格储层模拟器的三维模拟结果可以显示在非结构化网格观察器。图 15 示出利用非结构化网格管擦器显示的虚拟结构化网格的模拟特性的实例。

[0130] 图 16 是示出根据本技术的示例性实施例的从油田和 / 或气田生成碳氢化合物的示例性方法 1600 的过程流程图。用于生成碳氢化合物的方法 1600 使用油田和 / 或气田的储层模拟。

[0131] 在方框 1602 中,获取油田和 / 或气田的非结构化网格储层模型。定义非结构化网格储层模型的虚拟结构化网格,如方框 1604 中所示。在方框 1606 中,非结构化网格储层模型与虚拟结构化网格相一致。

[0132] 虚拟结构化网格呈现在非结构化网格储层模型中,如方框 1608 中所示。在方框 1610 中,结构化网格储层模拟器输入数据是由有关虚拟结构化网格的数据准备的。然后,利用结构化网格储层模拟器输入数据执行结构化网格储层模拟,如方框 1612 中所示。结构化网格储层模拟的结果是油田和 / 或气田的储层模拟。根据示例性的实施例,可以准备储层模拟的可视化。在方框 1614 中,碳氢化合物是利用储层模拟从油田和 / 或气田中提取的。

[0133] 图 17 是示出根据本技术的示例性实施例的执行储层模拟的方法 1700 的过程流程图。在方框 1702 中,获取有关非结构化网格定义的储层模型。计数非结构化网格中的网格单元数 M ,如方框 1704 中所示。

[0134] 在方框 1706 中,定义其乘积 N 等于或大于 M 的整数集。虚设单元增加到非结构化网格中,形成第二非结构化网格,其中 L 是 N 和 M 之差(例如, $L=N-M$),如方框 1708 中所示。在方框 1710 中,执行第二非结构化网格中每个单元到虚拟结构化网格中单元的一对一映射。在示例性的实施例中,映射包含复制从非结构化网格到结构化网格的一个或多个单元特性。

[0135] 可以基于非结构化网格中的单元之间的流动传输性定义非结构化网格中单元之间的流动传输性,如方框 1712 中所示。在方框 1714 中,利用结构化网格储层模拟器基于虚拟结构化网格执行储层模拟。

[0136] 图 18 是根据本技术的示例性实施例的可以用于执行概述对应于有关非结构化网格的感兴趣特性的数据的方法的计算机系统的方框图。计算机系统一般由参考数字 1800 引用。中央处理单元(CPU)1802 耦合系统总线 1804。CPU 1802 可以是任何通用 CPU,尽管可以使用其他类型的 CPU 体系结构 1802 (或示例性系统 1800 的其他部件),只要 CPU1802 (和系统 1800 的其他部件)支持本文中所述的发明操作。本领域的普通技术人员将理解,尽管图 18 中示出只有单个 CPU 1802,但是可以存在额外的 CPU。而且,计算机系统 1800 可以包含网格化的多处理器计算机系统。CPU 1802 可以执行根据不同的示例性实施例的各种逻辑指令。例如,CPU 1802 可以执行根据以上结合图 1 或图 16 所述的操作流程执行处理的机器级指令。

[0137] 计算机系统 1800 还可以包括计算机部件,例如计算机可读介质。计算机可读介质的实例包括随机存取存储器(RAM)1806,其可以是 SRAM、DRAM、SDRAM 等等。计算机系统 1800 还可以包括额外的计算机可读介质,例如只读存储器(ROM)1808,其可以是 PROM、EPROM、EEPROM 等等。本领域中众所周知, RAM 1806 和 ROM 1808 保存用户和系统数据和程序。计

计算机系统 1800 还可以包括输入 / 输出 (I/O) 适配器 1810、通信适配器 1822、用户接口适配器 1824、和显示适配器 1818。在本技术的示例性实施例中, 显示适配器 1818 可以适用于提供三维地球模型的三维显示。而且, 显示适配器 1818 的示例性实施例可以包含适用于提供提取数据的可视化的可视化引擎。I/O 适配器 1810、用户接口适配器 1824、和 / 或通信适配器 1822 能够使用户与计算机系统 1800 进行交互, 为的是输入信息。

[0138] I/O 适配器 1810 优选地连接诸如一个或多个硬盘驱动器、光盘 (CD) 驱动器、软盘驱动器、磁带驱动器等等的存储设备 1812 和计算机系统 1800。当 RAM 1806 不满足与存储本技术的实施例的操作的数据相关联的存储需求时, 可以使用存储设备。计算机系统 1800 的数据存储器可以用于存储本文中公开使用或生成的信息和 / 或其他数据。

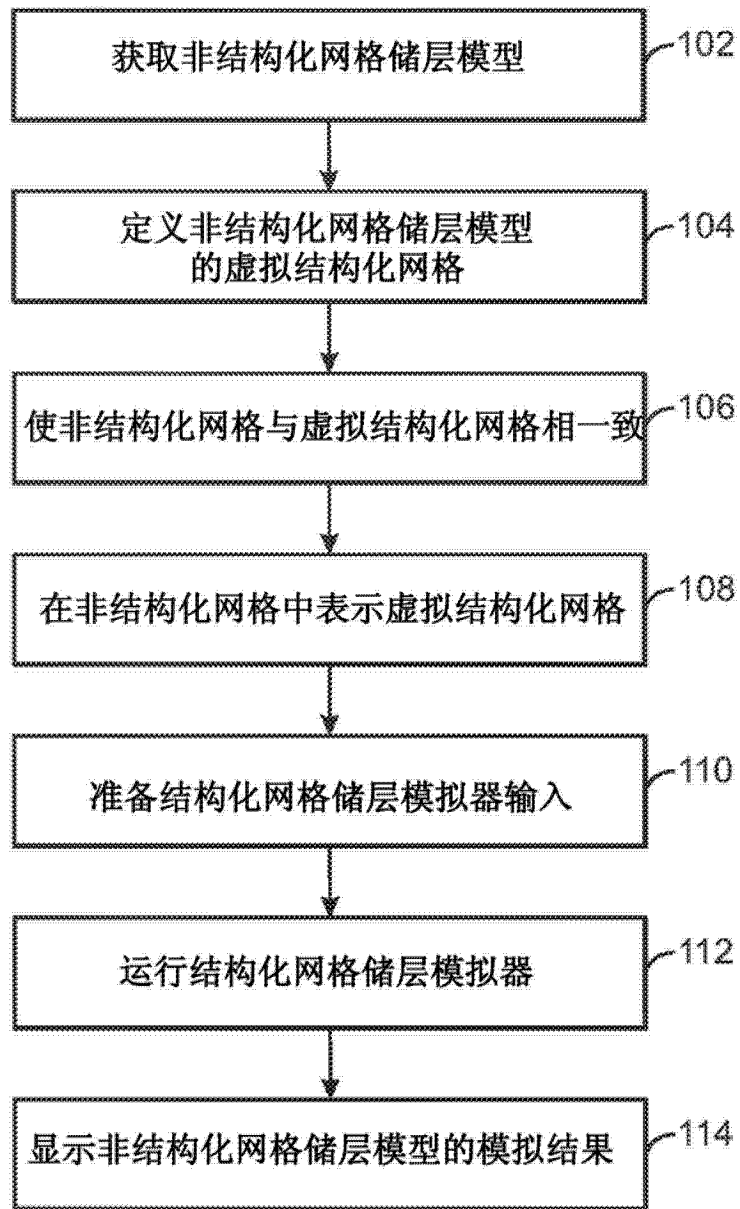
[0139] 计算机系统 1800 可以包含一个或更多个图形处理单元 (GPU) 1814, 用于执行图形处理。而且, GPU 1814 可以适用于提供在执行根据本技术的井规划过程中有用的可视化。GPU 1814 可以通过显示驱动器 1816 与显示适配器 1818 进行通信。显示适配器 1818 可以生成在显示设备 1820 的可视化。而且, 显示设备 1820 可以用于显示有关在分析的一部分地下区域的信息或表示。

[0140] 用户接口适配器 1824 可以用于耦合用户输入设备。例如, 用户接口适配器 1824 可以连接诸如定点设备 1826、键盘 1828、和 / 或输出设备的设备和计算机系统 1800。

[0141] 系统 1800 的体系结构可以根据需要改变。例如, 可以使用任何合适的基于处理器的设备, 包括但不限于个人计算机、便携式计算机、计算机工作站、多处理器服务器。而且, 实施例可以实施在专用集成电路 (ASIC) 或超大规模集成 (VLSI) 电路。实际上, 本领域的普通技术人员可以利用能够根据实施例执行逻辑操作的任意数量的合适结构。

[0142] 本技术的示例性实施例促进在单个执行中创建用于概述多个区域和特性的许多映射。而且, 示例性的实施例使得用户能够比较根据非结构化网格生成的映射和根据单独的结构化模型或非结构化模型生成的映射。在进行分析之前利用多个方法使特性在两个映射之间进行传输, 包括最近邻法或区域包容查询算法。势分析任务包括映射的来自不同模型的特性的差分或比率。此外, 单独的但是相关的工具提供模型区域概述的结果输出, 使其成为值表。

[0143] 本技术易受各种改进和可选形式的影响, 以上所述的示例性实施例仅仅是作为实例示出。然而, 本技术不限于本文中公开的特定实施例。实际上, 本技术包括在相关权利要求的真实精神和保护范围内的所有改变、改进、和等效物。



100

图 1

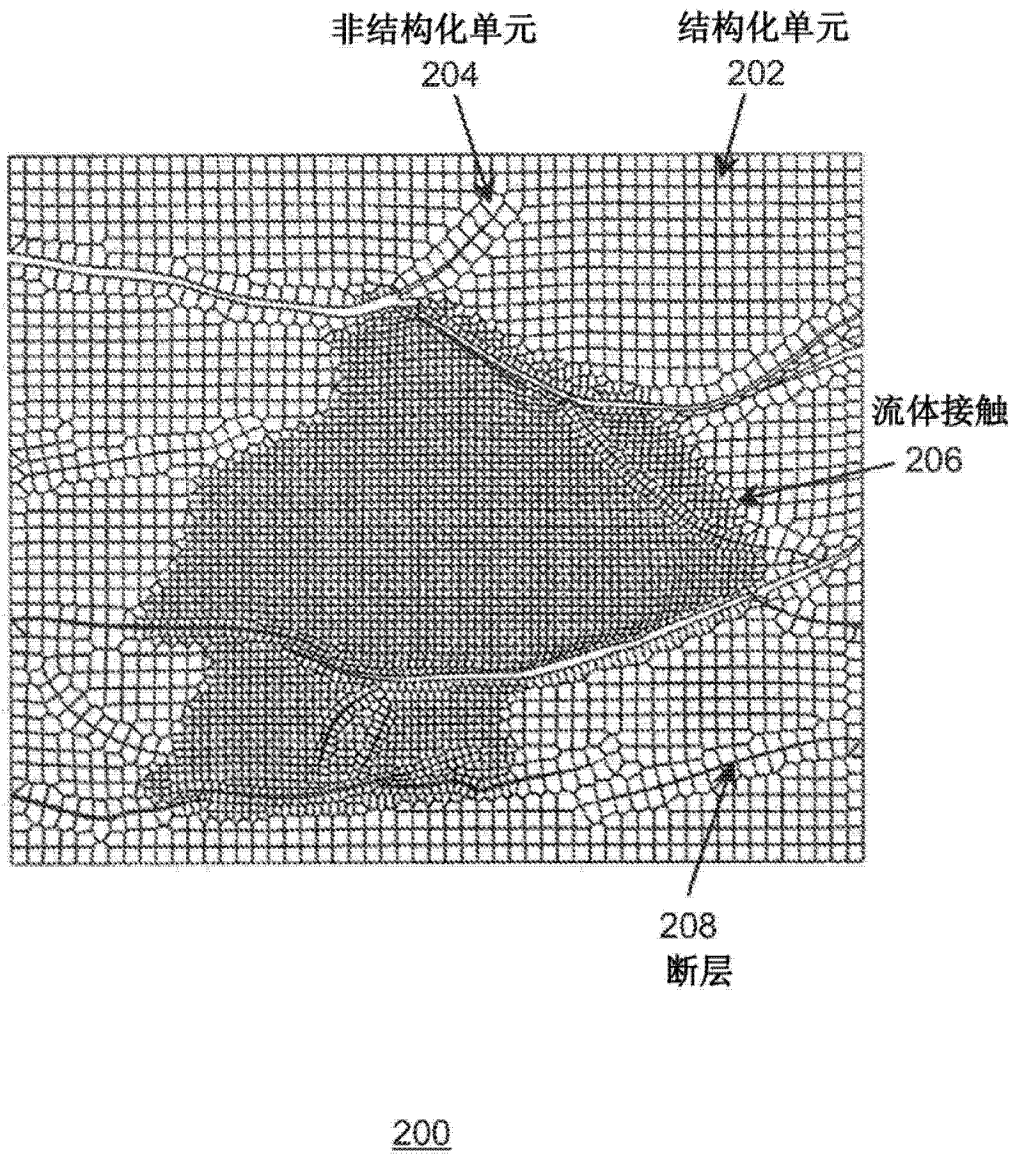


图 2

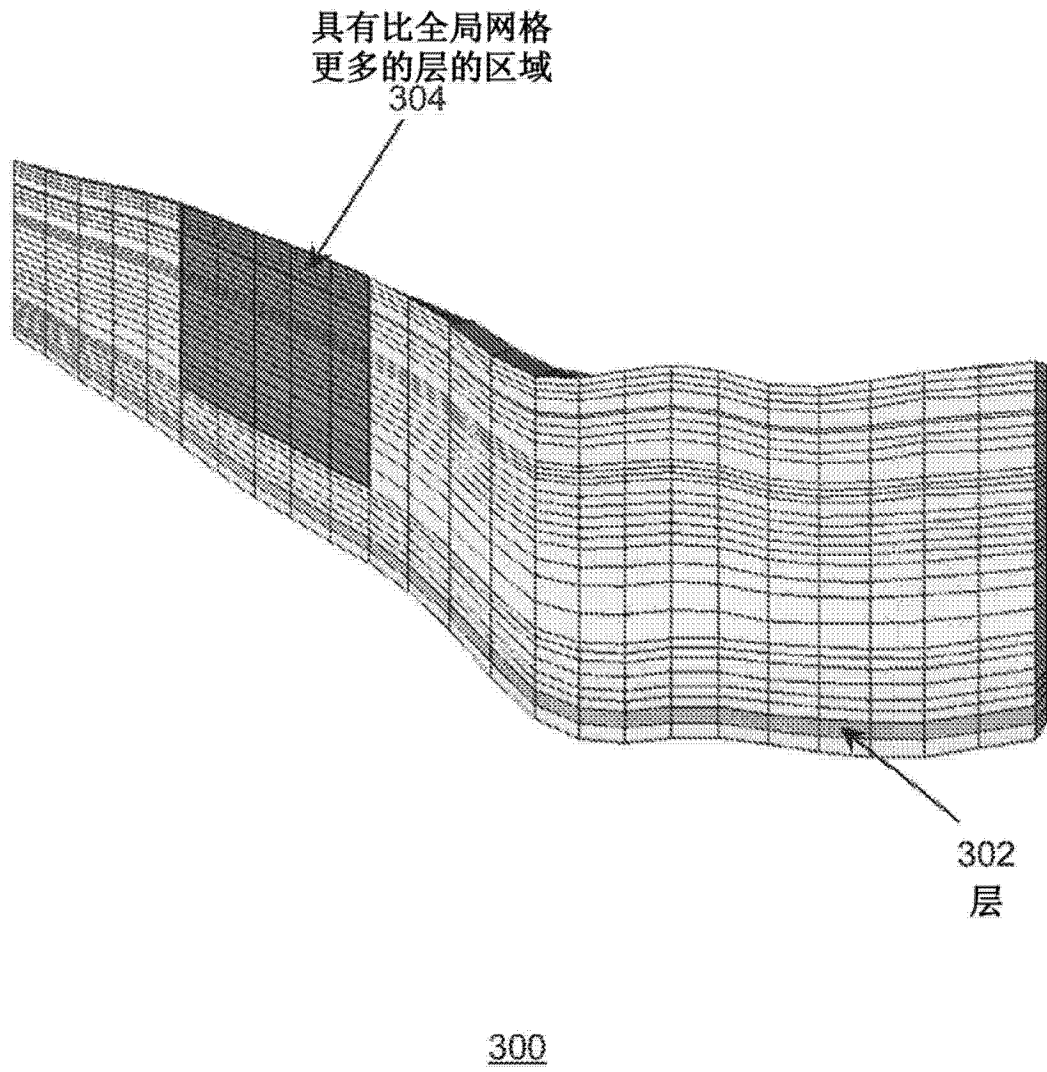
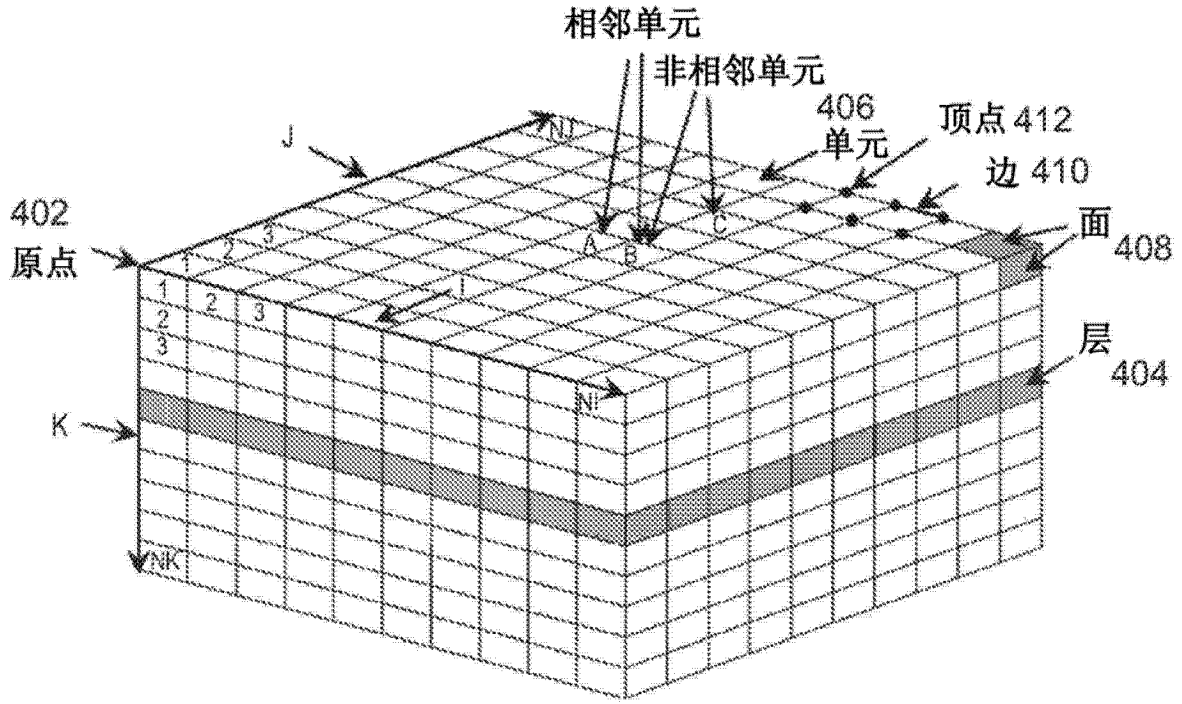
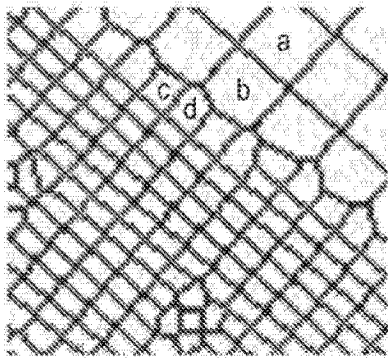


图 3

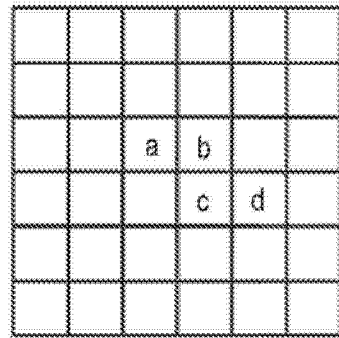


400

图 4



502



504

500

图 5

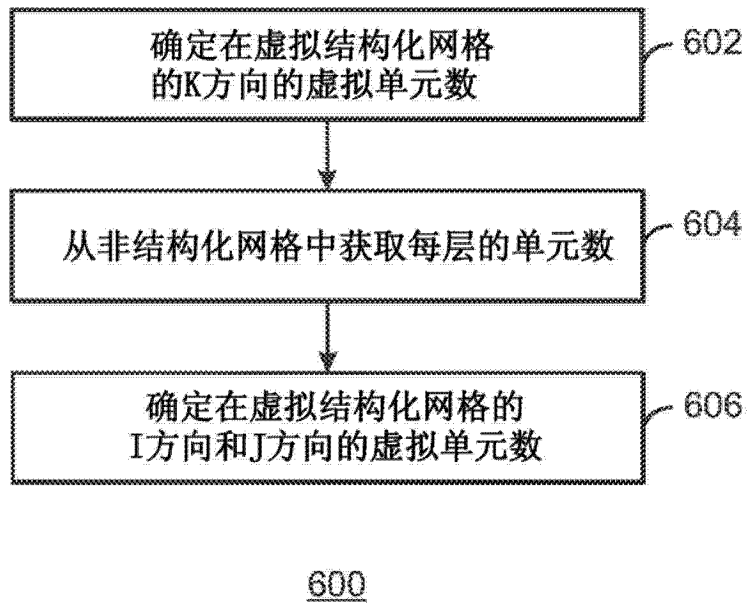
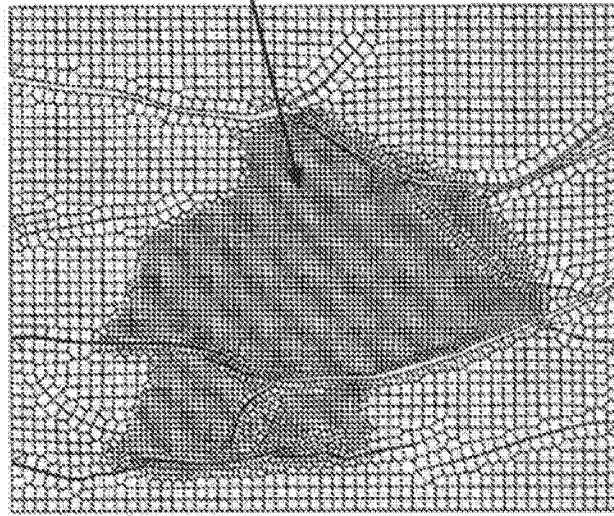


图 6

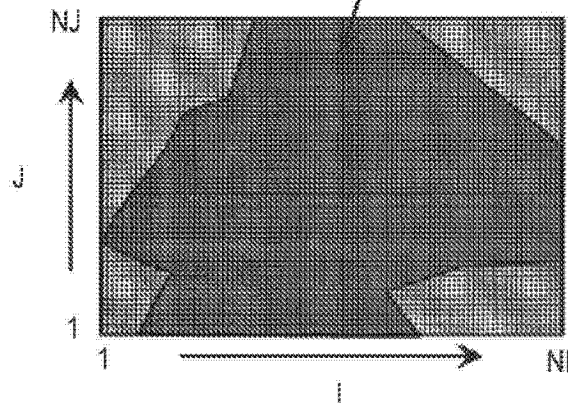
具有更精细网格单元的碳氢化合物区域 706



a. 非结构化网格的映射视图

702

虚拟结构化网格中的碳氢化合物区域 (阴影部分) 708



b. 虚拟结构化网格的映射视图

704

700

图 7

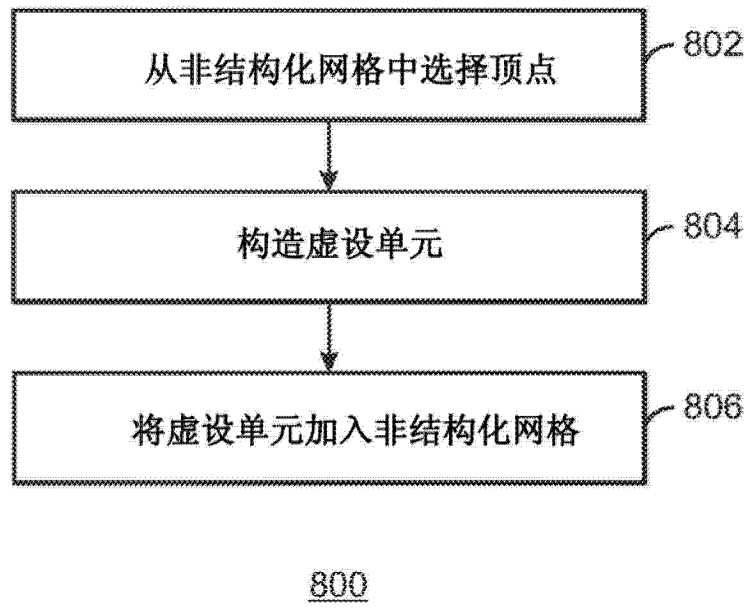


图 8

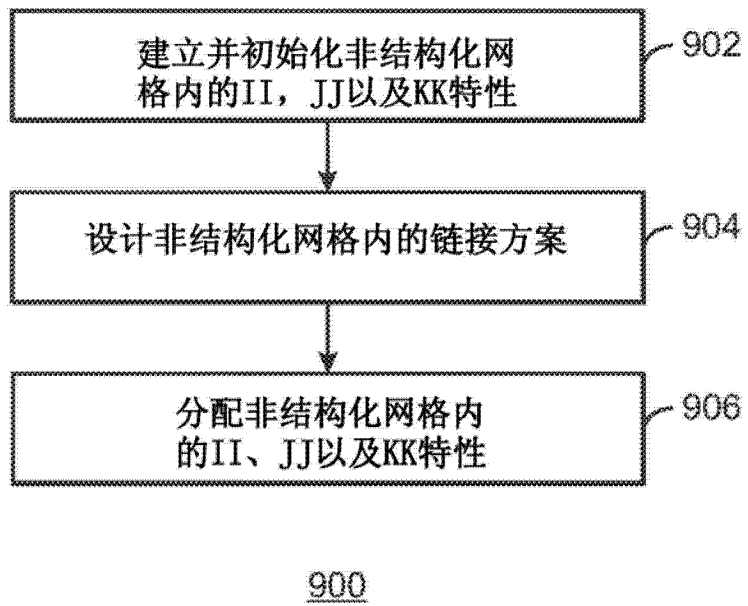


图 9

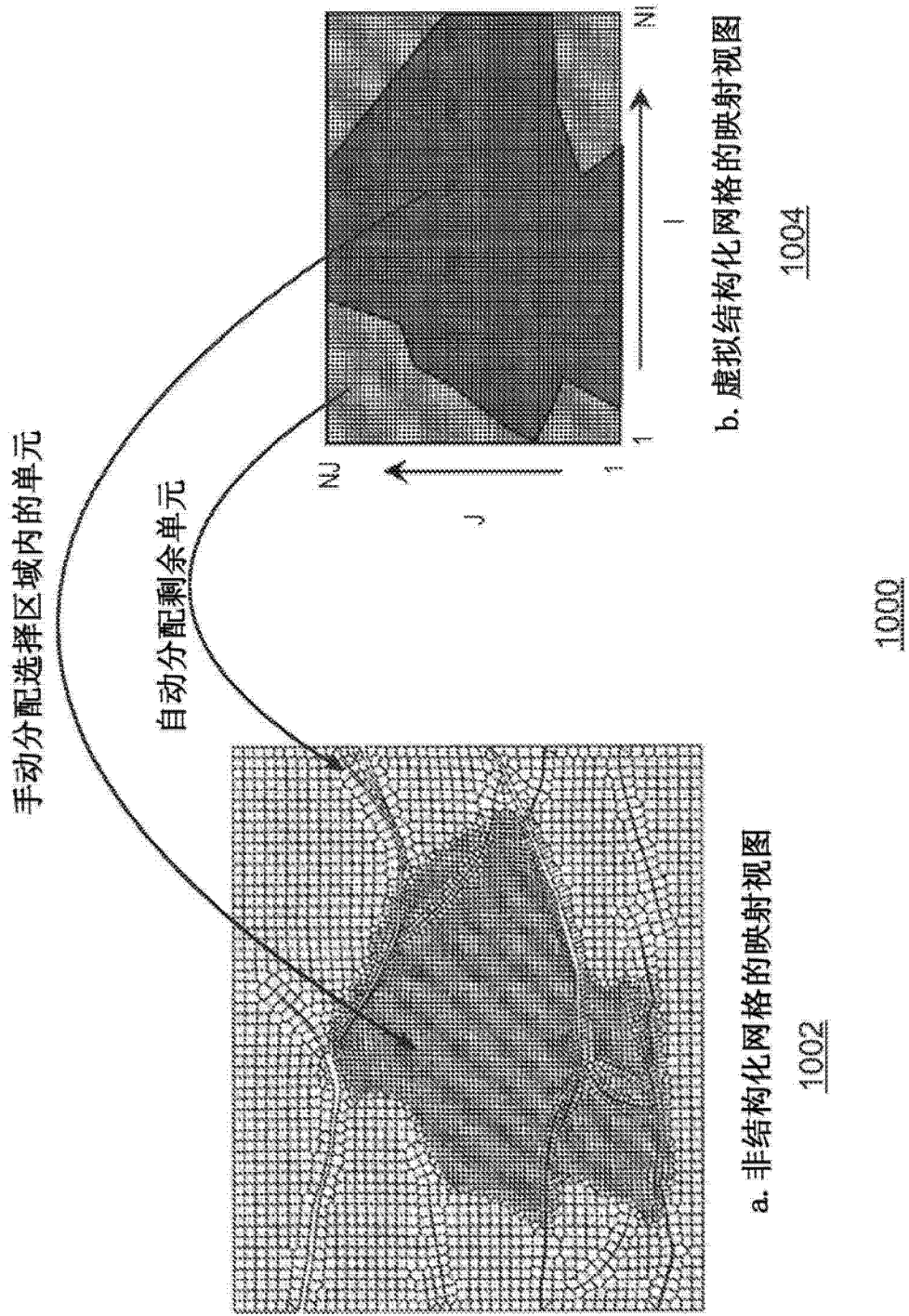
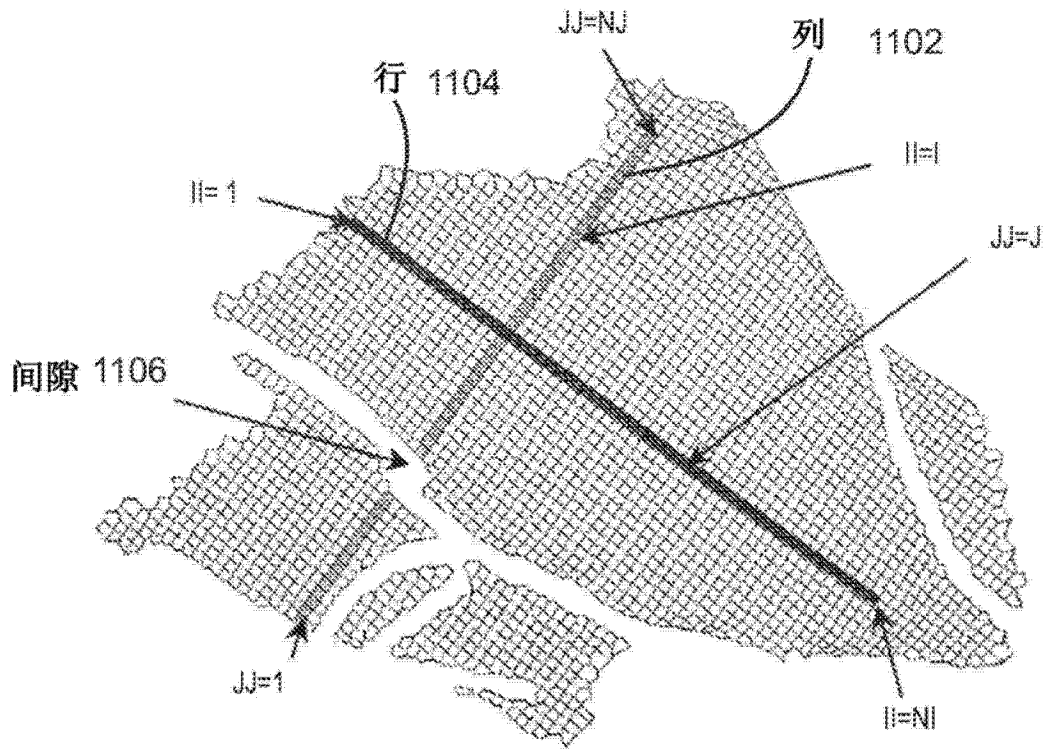
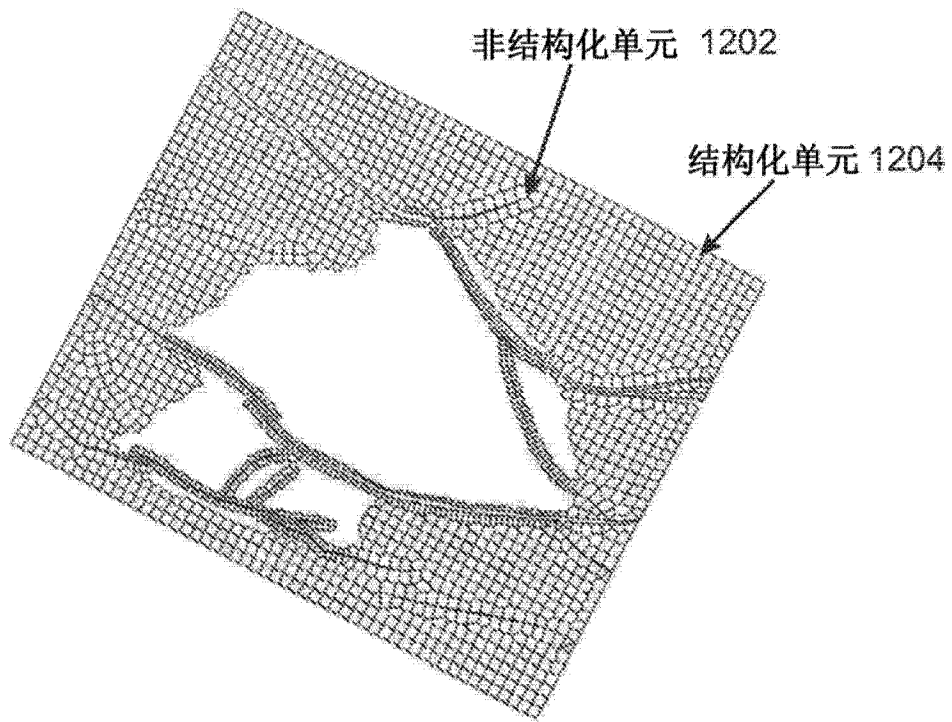


图 10



1100

图 11



1200

图 12

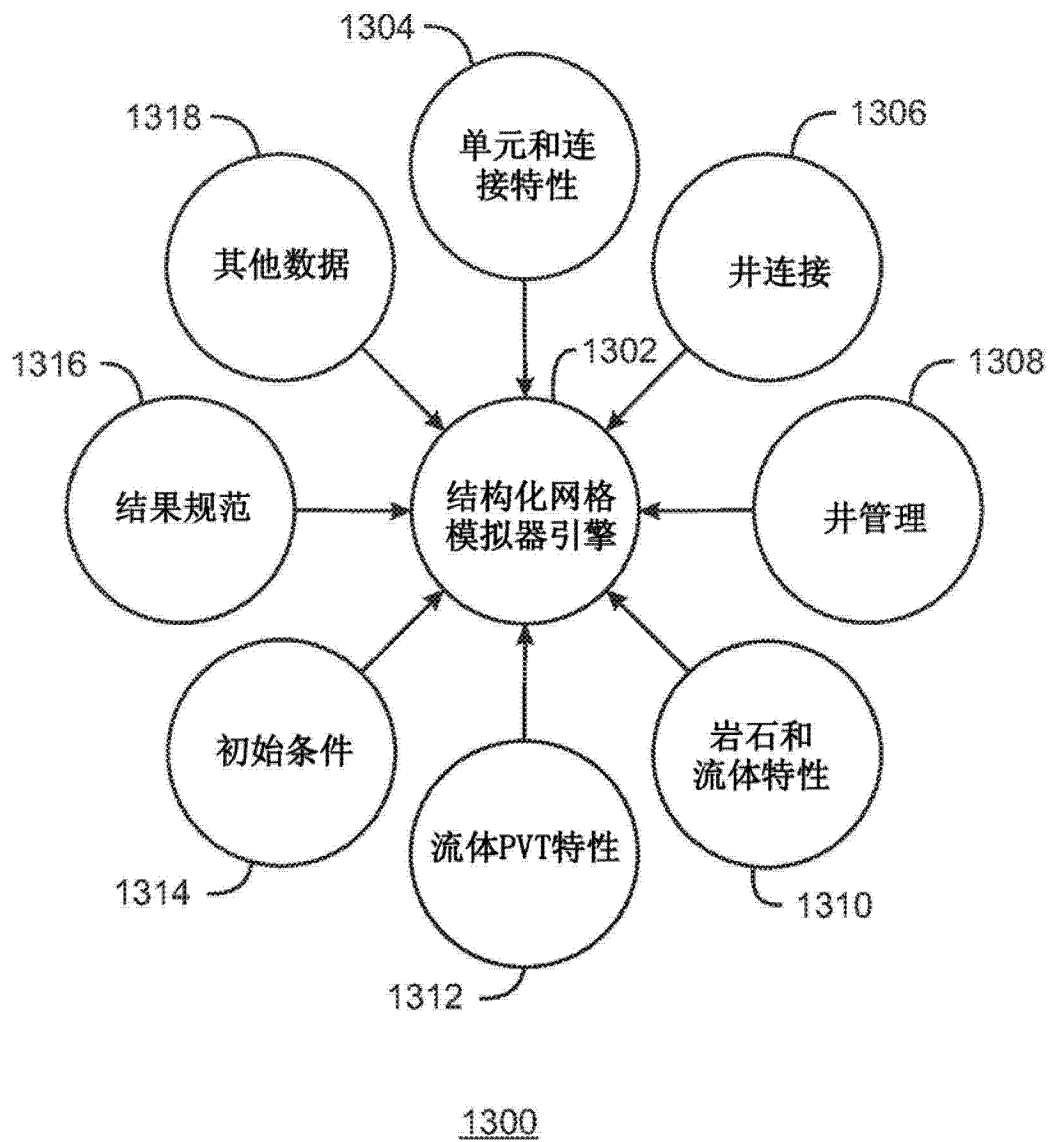
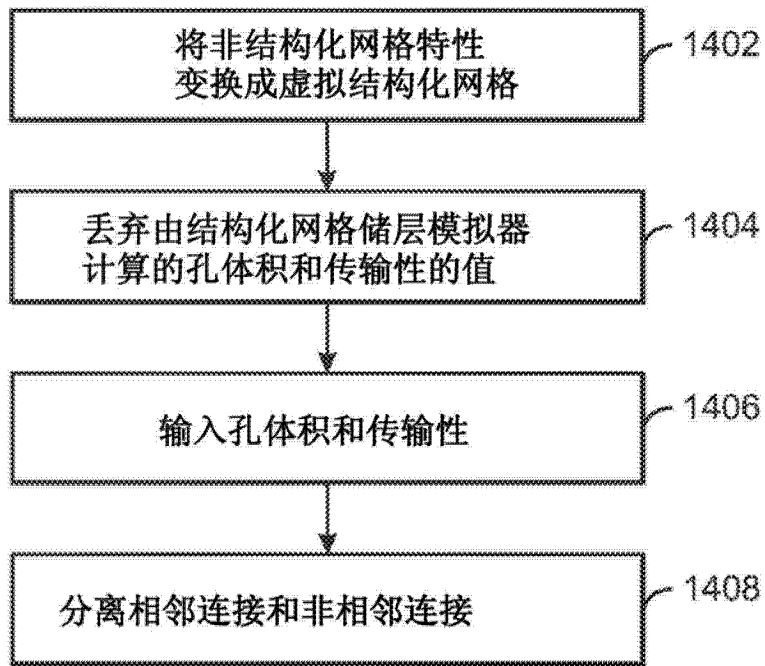
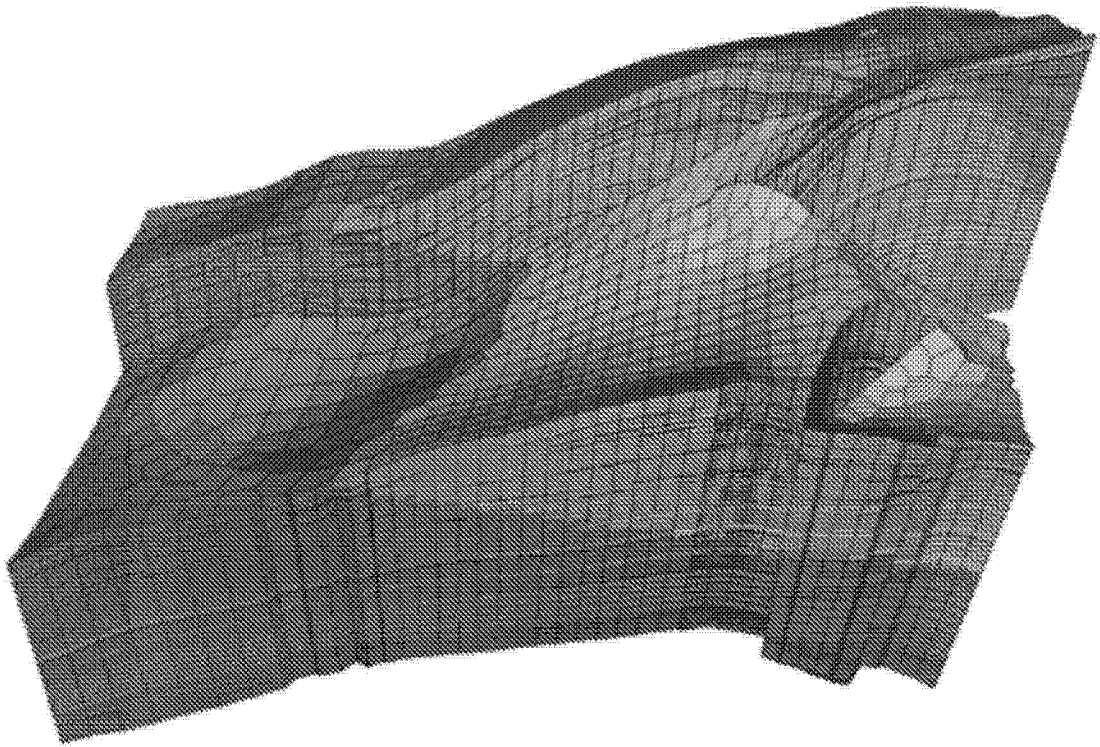


图 13



1400

图 14



1500

图 15

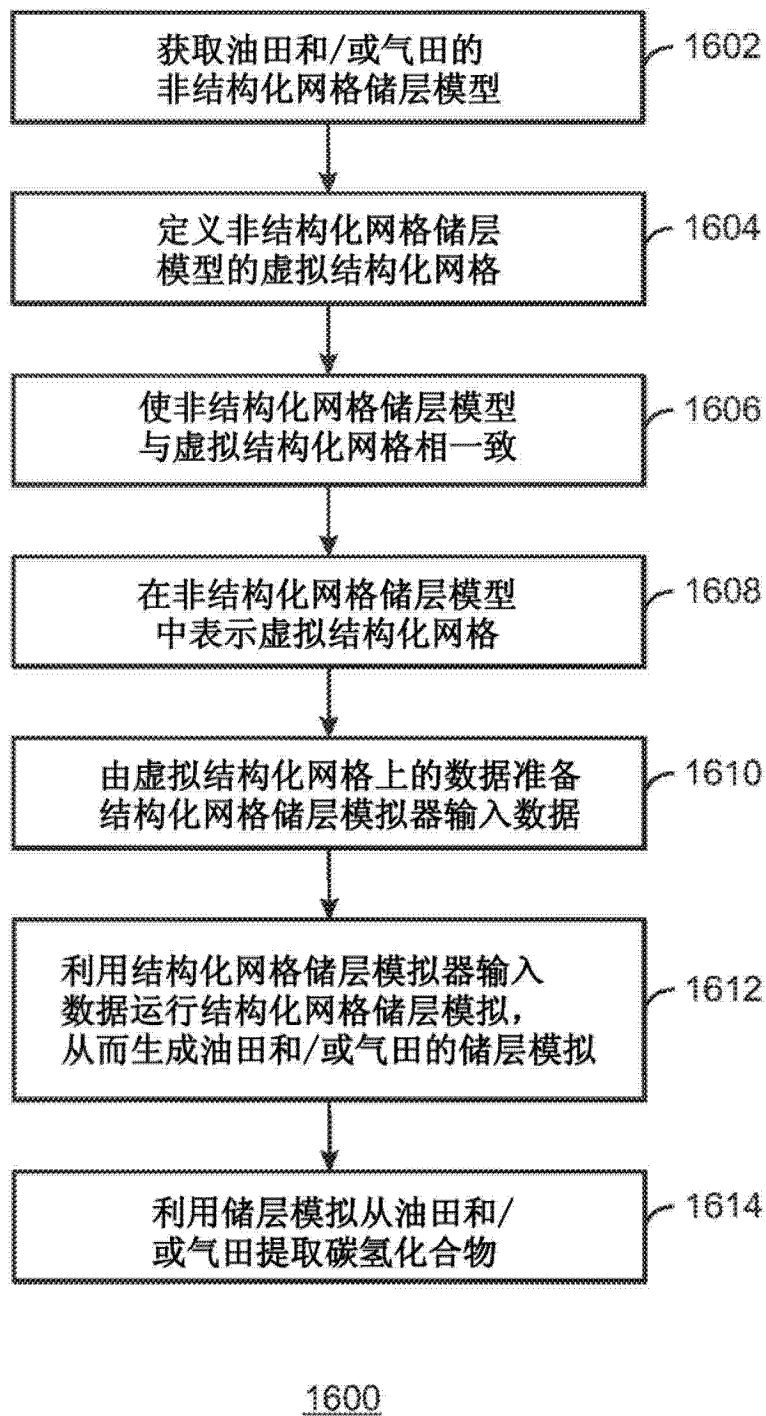


图 16

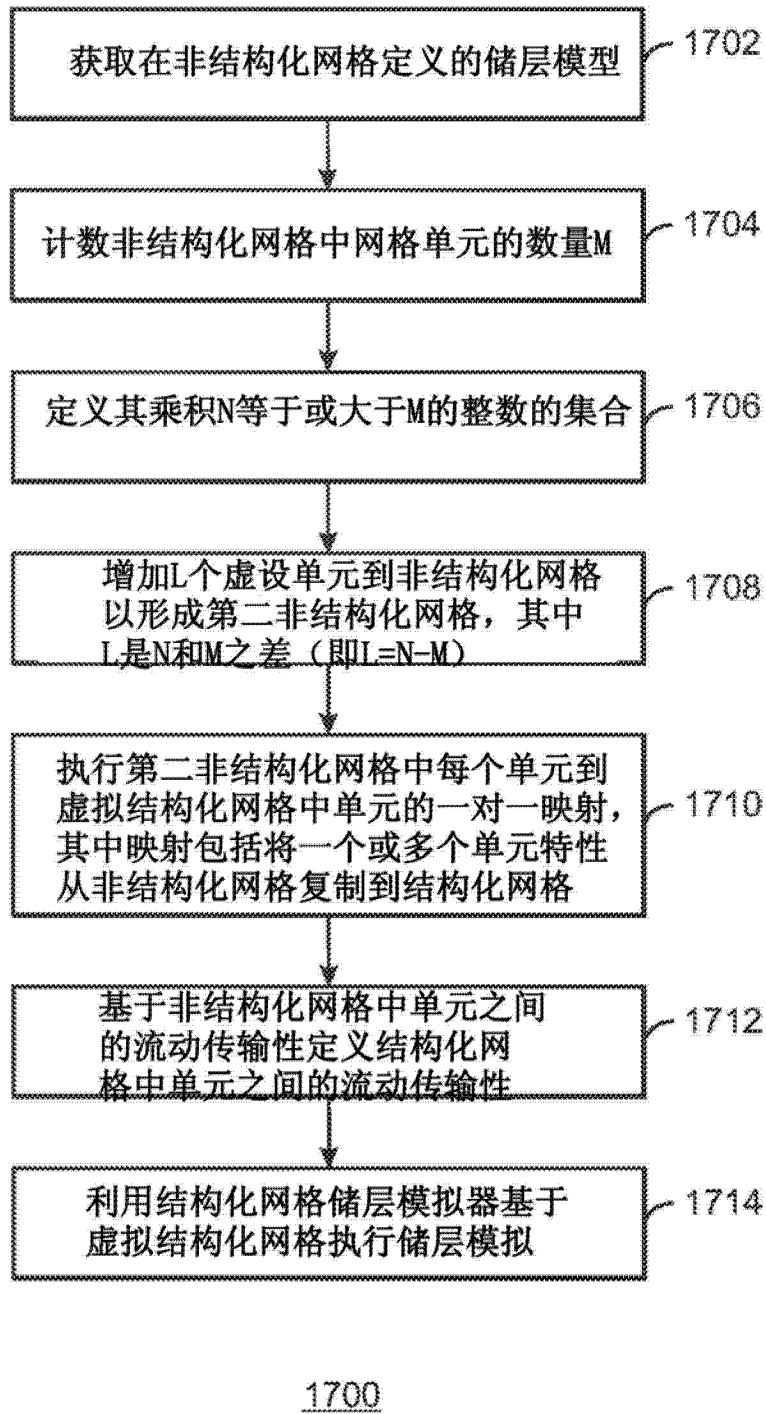


图 17

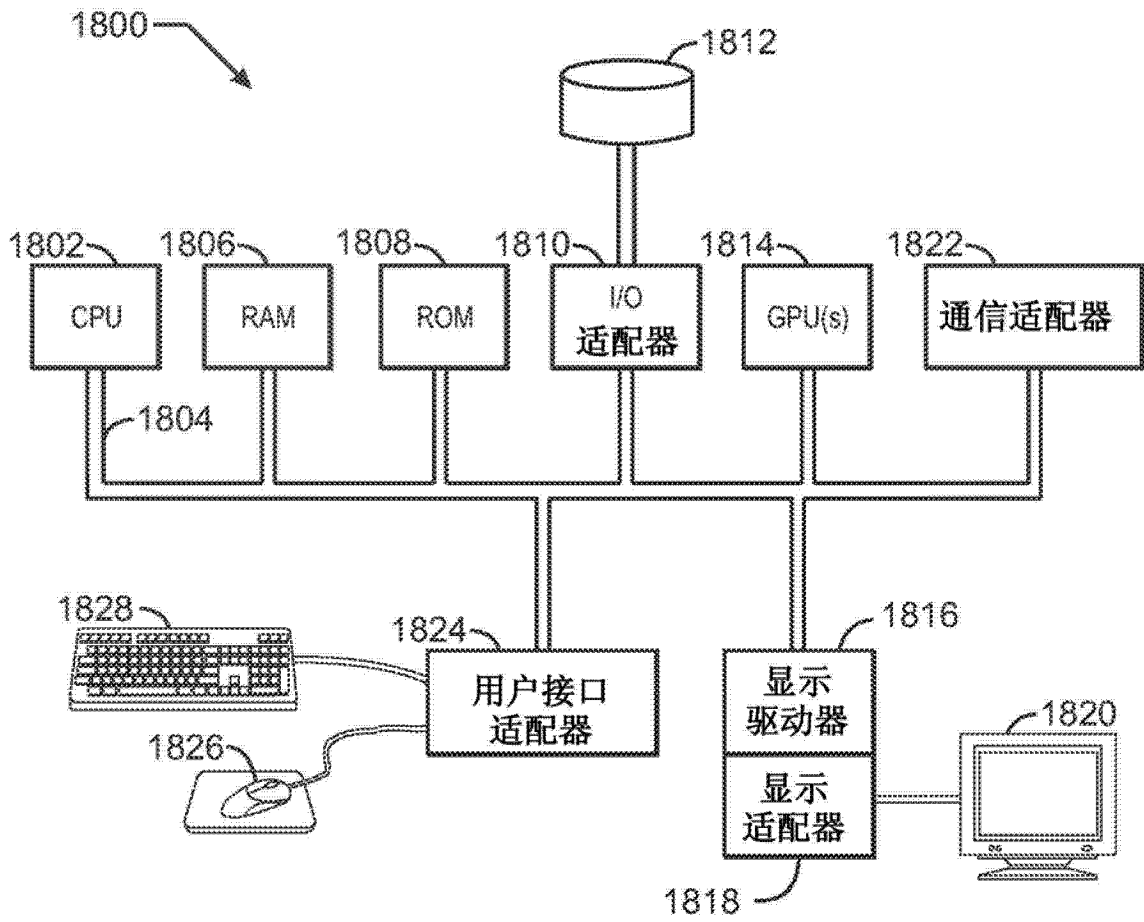


图 18