



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104755965 B

(45)授权公告日 2017. 10. 03

(21)申请号 201380056025.7

(22)申请日 2013.11.15

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104755965 A

(43)申请公布日 2015.07.01

(30)优先权数据

61/727,560 2012.11.16 US

61/727,555 2012.11.16 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.04.27

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2013/070243 2013.11.15

(87)PCT国际申请的公布数据
W02014/078624 EN 2014.05.22

(73)专利权人 雪佛龙美国公司

地址 美国加利福尼亚

(72)发明人 H·C·戴格尔
J·T·巴尔斯泽斯基

(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专
利商标事务所 11038

代理人 李玲

(51)Int.Cl.
G01V 9/00(2006.01)

审查员 孙珍珠

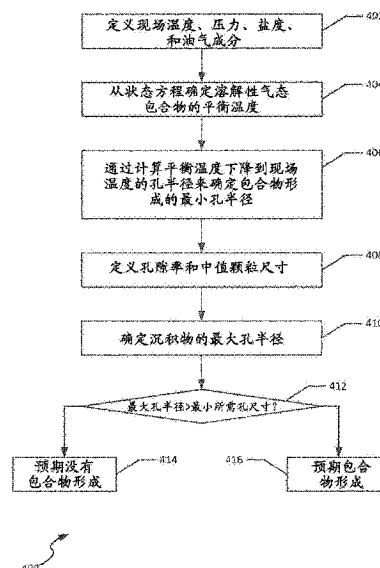
权利要求书2页 说明书9页 附图9页

(54)发明名称

用于为沉积物中出现的包合物确定最小孔隙率的方法和系统

(57)摘要

公开了用于确定是否存在出现包合物的条件的方法和系统。一种方法包括至少部分基于温度达到包合物的三相平衡温度的深度来确定包合物稳定区的厚度。所述方法还包括针对所述包合物稳定区的深度范围计算温度和三相平衡温度,以及确定所述深度范围中每个深度处的最小孔尺寸,所述最小孔尺寸允许包合物的预定饱和度水平并且至少部分基于所述温度和三相平衡温度。所述方法还包括将每个深度处的最小孔尺寸转换成最小孔隙率。



1. 一种确定是否存在出现包合物的条件的方法,所述方法包括:
至少部分基于现场温度达到包合物的三相平衡温度的深度来确定包合物稳定区的厚度;
针对所述包合物稳定区的深度范围计算现场温度和所述三相平衡温度;
确定所述深度范围中每个深度处的最小孔尺寸,所述最小孔尺寸允许包合物的预定饱和度水平并且至少部分基于所述现场温度和三相平衡温度;
将每个深度处的最小孔尺寸转换成最小孔隙率;以及
将每个最小孔隙率与所述包合物稳定区的深度范围中的多个深度处的现场孔隙率比较,以确定所述现场孔隙率是否大于所述最小孔隙率,由此指示存在可能出现包合物的条件。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中至少部分基于海底处的地温梯度和观测的温度确定所述现场温度。
3. 根据权利要求2所述的方法,其中所述三相平衡温度至少部分基于海底的深度、静液压力梯度和海水盐度。
4. 根据权利要求2所述的方法,还包括获得在考虑可能出现包合物的位置附近的观测温度。
5. 根据权利要求1所述的方法,其中确定包合物稳定区的厚度至少部分基于要被检测的包合物。
6. 根据权利要求1所述的方法,还包括确定所述包合物稳定区中地下沉积物中预期的最大孔尺寸。
7. 根据权利要求6所述的方法,还包括基于所述最大孔尺寸确定现场孔隙率。
8. 根据权利要求6所述的方法,其中从用于从不同尺寸的球形微粒的随机分布中检测最大孔尺寸的模拟导出的模型确定所述最大孔尺寸。
9. 根据权利要求8所述的方法,其中所述模拟中的每个模拟包括:
通过直到每个微粒接触一个或多个相邻微粒,在多个随机选择的微粒位置中的每个微粒位置处建模微粒的生长,来在每个随机选择的微粒位置处形成微粒;以及
在每个未被微粒占据的点处,内切一个球并且确定所述球的尺寸;以及
从每个未被占据的点处内切的球确定球的最大尺寸,由此在体积内定位最大孔尺寸位置。
10. 根据权利要求9所述的方法,其中使用具有多个不同中值微粒尺寸的微粒来执行所述模拟。
11. 根据权利要求9所述的方法,其中所述球的最大尺寸对应于最大孔尺寸。
12. 根据权利要求9所述的方法,其中所述现场孔隙率基于与所述模拟关联的中值微粒尺寸。
13. 根据权利要求6所述的方法,其中确定最大孔尺寸包括基于被地下沉积物反射的声波的衰减来估计孔尺寸。
14. 根据权利要求1所述的方法,还包括将最小孔隙率与从最大孔尺寸中获得的孔隙率比较,所述最大孔尺寸从所述包合物稳定区中获得的样本的物理测量结果确定。
15. 根据权利要求1所述的方法,还包括将最小孔隙率与从最大孔尺寸中获得的孔隙率

比较,所述最大孔尺寸基于所述包合物稳定区的可观测的特性与孔尺寸之间的经验性关系经验性地确定。

16. 根据权利要求1所述的方法,还包括针对包合物的多个不同预定饱和度水平的每个预定饱和度水平,确定所述深度范围中每个深度处的最小孔尺寸。

17. 根据权利要求1所述的方法,其中确定允许包合物的预定饱和度水平的所述深度范围中的深度处的最小孔尺寸,至少部分依赖于所述深度处的三相平衡温度、几何因子、固液界面的界面能、固相的包合物的体积密度、固相包合物的熔化潜热和孔半径。

18. 一种用于确定是否存在出现包合物的条件的系统,所述系统包括:

孔隙率确定组件,所述孔隙率确定组件被配置成建立包合物稳定区的深度范围中的多个深度处的现场孔隙率,其中要针对所述包合物稳定区确定可能出现包合物;

被配置成确定是否存在出现包合物的条件的计算系统,其中所述计算系统还被配置成:

至少部分基于现场温度达到包合物的三相平衡温度的深度来确定包合物稳定区的厚度;

针对所述包合物稳定区的所述多个深度计算现场温度和所述三相平衡温度;

确定所述深度范围中所述多个深度的每个深度处的最小孔尺寸,所述最小孔尺寸允许包合物的预定饱和度水平并且至少部分基于所述现场温度和三相平衡温度;

将所述多个深度的每个深度处的最小孔尺寸转换成最小孔隙率;以及

将每个最小孔隙率与由所述孔隙率确定组件获得的现场孔隙率比较,以确定所述现场孔隙率是否大于最小孔隙率,由此指示存在可能出现包合物的条件。

19. 根据权利要求18所述的系统,其中所述孔隙率确定组件包括被配置成从不同尺寸的球形微粒的随机分布中检测最大孔尺寸的模拟导出模型的模拟器,所述模型将最大孔尺寸与现场孔隙率关联。

用于为沉积物中出现的包合物确定最小孔隙率的方法和系统

[0001] 对相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求2012年11月16日提交的美国临时专利申请No.61/727,555,以及2012年11月16日提交的美国临时专利申请No.61/727,560的优先权,每个申请的公开都通过引用它们的全部被结合于此。

技术领域

[0003] 本申请一般涉及为介质中出现的包合物(clathrate)确定最小孔隙率。具体地,本申请涉及例如使用孔隙率和可观测的特性之间的经验性关系为沉积物中出现的包合物确定最小孔隙率。

背景技术

[0004] “包合物”一般指非化学计量的亚稳态物质,其中第一分子成分(主分子)组成的晶格结构在类似于类晶体结构中陷住或笼住一个或多个其他分子成分(客分子)。包合物有时被称为包含化合物、水合物、气体水合物、甲烷水合物、天然气水合物、二氧化碳水合物等。

[0005] 在油气勘探和开采领域,对包合物是特别感兴趣的。例如,包合物存在于水主分子晶格笼住一种或多种类型的油气客分子的情形。在出现水分子和油气分子的诸如在深水和永冻层沉积物中的相对低温和高压的环境中,自然地出现此油气包合物。较低温处的包合物在较低压力下保持稳定,并且相反地,较高温处的包合物需要较高压力以保持稳定。

[0006] 理论和实验都已经表明,包合物优先在具有较大孔的沉积物中形成。此现象已被归因于吉布斯汤姆逊效应,所述效应抑制在类似细粒度沉积物的孔空间的受限空间内的固体成核。吉布斯汤姆逊效应可用以解释观测的海洋沉积物中不同颗粒尺寸的包合物分布。但是,现有研究吉布斯汤姆逊效应的工作只关注按照孔尺寸解释已知出现的包合物的原因。按照孔隙率会是对地球物理探测的更有用的描述。但是,孔隙率与孔尺寸之间的关系是复杂的并且依赖于颗粒形状和填料(packing)。

[0007] 因此,对检测是否存在形成包合物的条件的方法和系统的改进会是期望的,尤其是在油气勘探领域。

发明内容

[0008] 根据以下公开内容,通过以下内容解决以上或其他问题:

[0009] 在第一方面,公开了一种确定是否存在出现包合物的条件的方法。所述方法包括至少部分基于温度达到包合物的三相平衡温度的深度来确定包合物稳定区的厚度。所述方法还包括针对所述包合物稳定区的深度范围计算温度和三相平衡温度,以及确定所述深度范围中的每个深度处的最小孔尺寸,所述最小孔尺寸允许包合物的预定饱和度水平并且至少部分基于所述温度和三相平衡温度。所述方法还包括将每个深度处的最小孔尺寸转换成最小孔隙率。

[0010] 在第二方面,公开了一种用于确定是否存在出现包合物的条件的计算机化的系

统。所述系统包括孔隙率确定组件,所述孔隙率确定组件被配置成建立包合物稳定区的深度范围中的多个深度处的孔隙率,其中要针对所述包合物稳定区确定可能出现包合物。所述系统还包括被配置成确定是否存在出现包合物的条件的计算系统。所述计算系统被配置成执行程序指令,当所述程序指令执行时,使得所述计算系统至少部分基于温度达到包合物的三相平衡温度的深度来确定包合物稳定区的厚度,以及针对所述包合物稳定区的所述多个深度计算温度和三相平衡温度。所述计算系统还被配置成确定所述深度范围中所述多个深度的每个深度处的最小孔尺寸,所述最小孔尺寸允许包合物的预定饱和度水平并且至少部分基于所述温度和三相平衡温度,以及将所述多个深度的每个深度处的最小孔尺寸转换成最小孔隙率。

[0011] 在第三方面,公开了一种包括计算机可执行指令的计算机可读存储介质,当所述指令执行时,使得计算系统执行确定是否存在出现包合物的条件的方法。所述方法包括至少部分基于温度达到包合物的三相平衡温度的深度来确定包合物稳定区的厚度,以及针对所述包合物稳定区的深度范围计算温度和三相平衡温度。所述方法还包括确定所述深度范围中每个深度处的最小孔尺寸,所述最小孔尺寸允许包合物的预定饱和度水平并且至少部分基于所述温度和三相平衡温度。所述方法还包括将每个深度处的最小孔尺寸转换成最小孔隙率。

附图说明

[0012] 图1是海上油气生产系统的示意说明,所述海上油气生产系统包括从一个或多个包合物储层接收和处理油气的生产设施;

[0013] 图2是陆上油气生产系统的示意说明,所述陆上油气生产系统包括从一个或多个包合物储层接收和处理油气的生产设施;

[0014] 图3是计算系统的示意说明,其中可以计算出现预定浓度的包合物的概率;

[0015] 图4是根据本公开的示例实施例说明确定是否存在出现包合物的条件的示例方法的流程图;

[0016] 图5是说明沉积物颗粒的相对尺寸和模拟形成包合物的内切球,以及介质的孔隙率之间的关系的图表;

[0017] 图6是说明在假定一微米的中值颗粒尺寸的情形下,示出可以在不同深度处形成特定浓度的包合物的最小孔隙率的实验结果的图表;

[0018] 图7是说明在假定十微米的中值颗粒尺寸的情形下,示出可以在不同深度处形成特定浓度的包合物的最小孔隙率的实验结果的图表;

[0019] 图8是说明在假定五十微米的中值颗粒尺寸的情形下,示出可以在不同深度处形成特定浓度的包合物的最小孔隙率的实验结果的图表;以及

[0020] 图9是说明在假定一百微米的中值颗粒尺寸的情形下,示出可以在不同深度处形成特定浓度的包合物的最小孔隙率的实验结果的图表。

具体实施方式

[0021] 如以上简述的,本发明的实施例涉及用于确定在特定位置处可能存在出现预定饱和度的包合物的最小孔隙率的方法和系统。特别地,本文讨论的实施例使用对现有可观测

的现象的经验性关系,来提供用于计算孔隙率并且进而计算存在充分饱和的包合物的概率的基础。

[0022] 出于本公开的目的,术语“包合物”将包括所有可能组合的任意和所有类型的晶格(主)分子以及任意和所有类型的笼住(客)分子。包合物可以包括例如各种包合物晶格结构类型之间的过渡,稳态和解离的地层(formation),以及一个或多个类型的分子被一个或多个其他类型分子的置换。

[0023] 本文描述的方法和系统允许快速确定在诸如海洋沉积物等的指定沉积物区域中是否应预期出现包合物,并且因此提供探测工具用于包合物沉积的资源评估和地球物理建模这两者。本文描述的方法和系统减少地下不确定性并且改善地球物理建模技术,为资源评估提供更高准确性。

[0024] 图1是海上或深水油气生产系统100的示例实施例的示意图。系统100包括置于海水104和海底106之下的包合物储层102。此包合物储层102生产水和油气,主要是天然气。在所实施例中,海上平台108支撑生产设施110,所述生产设施110用于至少部分地将天然气与液体、水和/或油分离。

[0025] 在此示例实施例中,包合物储层102被示出为与水下井112流体连通,水下井依次通过回接114连接到生产设施110。包合物储层102主要生产天然气和水的混合物,如果所述混合物内含有的油量显著,则所述混合物被传送到生产设施110用于天然气和水的分离。

[0026] 注意的是,在图1示出的实施例中,在整个油气生产系统100安装之前,波产生和检测系统116可被使用,并且可被用于将系统100定位在沿海底106的特定位置。所述波产生和检测系统116可以是例如地震波或其他声波产生系统,或者是能够产生能穿透海水104和海底106的波且捕获反射波并且由此基于行进速度检测波行进穿过的介质中的差异的其他系统。

[0027] 注意的是,图1示出的生产系统100仅是示例性实施例。本领域技术人员会明白,提供将多个这种包合物储层和关联的井组合起来的油气生产系统,或者这种包合物储层和关联的井与传统油气储层和井系统的组合都落入到本发明的范围内。2008年8月25日提交的美国专利No.8,232,428说明了这种系统的一个示例,所述专利通过引用它的全部被结合于此。

[0028] 图2是油气生产系统200的另一个示例实施例的示意图,在此情况中,所述系统位于陆上而不是立足于海上。生产系统200包括包合物储层202。极地平台206置于永冻层204之上。大体类似于生产系统110,生产设施208位于极地平台206顶上。生产设施208用于分离和处理从包合物储层202接收到的天然气、油和水。生产油管210用于流动地将包合物和水的混合物从包合物储层202输送到极地平台206和生产设施208。某些情况中,所述混合物可包括少部分油。

[0029] 与图1的油气生产系统100一样,注意的是,在图2的陆上布置的背景下,在整个油气生产系统200安装之前,类似于图1的系统116的波产生和检测系统216可被使用,并且可被用于将系统200定位在特定位置。所述波产生和检测系统216可以包括任意的各种类型的地震波、声波,或者是能够产生能穿透永冻层204的波且捕获反射波并且由此基于行进速度检测波行进穿过的介质中的差异的其他系统。注意的是,在图2的示例中,基于海水的相对均匀性,与陆上的地下沉积物中发现的密度变化相比,较浅深度处可能有更大的密度变化。

在任一情况中,可捕获这种数据用于在本公开的某些实施例中使用,如以下进一步深入讨论的。

[0030] 现在参考图3,示出了能用于计算是否存在出现包合物的条件的示例计算系统300,例如可用于定位如图1-2中所示的那些的生产系统。通常,计算系统300包括经由数据总线306通信地连接到存储器304的处理器302。处理器302可以是能够执行计算机可读指令以执行诸如数学和通信任务等的各种任务的各种类型的可编程电路的任意一种。

[0031] 存储器304可包括各种存储器设备的任意一种,例如使用各种类型的计算机可读介质或计算机存储介质。计算机存储介质或计算机可读介质可以是能包含或存储由指令执行系统、装置、或设备使用或与其结合使用的程序的任何介质。在本公开的背景中,计算机存储介质包括至少一些有形组件,即,不全部由瞬态或暂时信号组成。在示出的实施例中,存储器304存储包合物饱和度概率分析应用308。包合物饱和度概率分析应用308在被执行时可用于计算或确定是否存在出现预定浓度的包合物的条件。例如,应用308可以计算包合物稳定区的厚度,即,压力和温度使得可能形成包合物的深度范围。应用308也可以在计算得到的包合物稳定区内为包合物相计算现场温度和三相平衡温度。

[0032] 某些实施例中,应用308包括若干组件计算机可读代码,所述代码包括最小孔尺寸确定组件310、最大孔尺寸估计组件312、和可选的三维建模组件314。最小孔尺寸确定组件310被配置成至少部分基于现场温度和三相平衡温度来确定支持预定包合物饱和度的最小孔尺寸。所述预定包合物饱和度可以是例如可由用户可选择的期望包合物饱和度。某些实施例中,代替整个应用308,最小孔尺寸确定组件310也计算三相温度和现场温度以及包合物稳定区的厚度。在此情况中,所述包合物稳定区的厚度可以基于待检测的特定类型的包合物(例如,甲烷水合物等),或者可至少部分基于横跨地下深度范围观测的温度和压力(例如,来自区域的不同测试井或者其他历史知识)。最小孔尺寸确定组件310还被配置成计算其中可形成给定浓度的包合物的最小孔半径。例如,此计算可基于吉布斯汤姆逊效应。

[0033] 吉布斯汤姆逊效应是在受限空间域内液体溶液中固体成核的凝固点的下降。换句话说,该效应描述了在合适温度/压力条件下由于在其中经受所述条件的有限空间的原因在形成固体时的难度。如本文应用的,由吉布斯汤姆逊效应指出的凝固点的改变在本文记为 ΔT_f [K],由以下给出:

$$[0034] \quad \Delta T_f = -T_{f,h} (F \gamma_{s1} / r \rho_s \Delta H_{s1})$$

[0035] 在此方程中, $T_{f,h}$ 是本体溶液[K]的凝固点, F 是几何因子, γ_{s1} 是固液界面的界面能[J/m²], r 是受限空间的空间维度[m], ρ_s 是固相的体积密度[kg/m³],并且 ΔH_{s1} 是所述固相的熔化潜热[J/mol]。对承载包合物的沉积物, $T_{f,h}$ 代表固体包合物-溶解气体-自由气体的三相平衡温度,并且 r 是孔半径。在所考虑的包合物是甲烷水合物的情况中,上述方程中包括的相关参数包括: $\gamma_{s1}=0.27$ J/m², $\rho_s=930$ kg/m³,以及 $\Delta H_{s1}=54.5$ kJ/mol。另外,参数 F 等于2,所述参数是通常代表圆柱形孔和球形孔这两者的值。结合图4,以下讨论在本公开中对多孔沉积物应用的吉布斯汤姆逊效应。

[0036] 最大孔尺寸估计组件312被配置成经验地确定在包合物稳定区中预期的最大孔尺寸。换句话说,组件312被配置成例如基于可用的观测或检测过程而不是基于直接测量,例如通过使用以上结合图1-2讨论的声波或地震波传输并且捕获反射波,来估计最大孔尺寸。

[0037] 在某些例子中,应用308还可包括三维数据建模组件314。所述三维数据建模组件

314可被配置成在特定体积内建模不同尺寸的颗粒的分布,并且可由最大孔尺寸估计组件312使用以基于以三维数据模型建立的模型来确定最大孔尺寸。关于这种建模的进一步细节在以下专利申请中被进一步详细讨论:2012年11月16日提交的且名称为“Methods and Systems for Determining Pore Size in Sediment Using Physical Measurement of Sediment Samples”(案卷号T-9173)的美国临时专利申请No.61/727,567,以及2012年11月16日提交的且名称为“Methods and Systems for Determining Pore Size in Sediment Using Numerical Modeling”(案卷号T-9174)的美国临时专利申请No.61/727,569,以及与本申请在同一天提交的且名称为“Methods and Systems for Determining Pore Size in Sediment”的美国专利申请No.____,每个的公开都通过引用它们的全部被结合于此。

[0038] 可选地,某些实施例中,存储器304还可包括经验性数据分析模块316和物理测量数据模块318。经验性数据分析模块316包含一个或多个沉积物特性模型,并且可包括或接收与特定类型或样本的沉积物有关的数据。例如,经验性数据分析模块316可与最大孔尺寸估计组件312一起使用以基于例如历史数据、或样本数据、或其它类型的经验性数据来确定最大孔尺寸。

[0039] 物理测量数据模块318能够接收地下沉积物的物理测量并且执行各种物理测量过程的任意一种,如本文所述。这可以包括各种直接物理测量的任意一种以确定特定样本中的微粒尺寸的分布,所述直接物理测量例如是激光粒度分析、斯托克斯沉降分析、图像分析、或其他技术。

[0040] 此外,应用308可包括比较组件或另外被配置成将确定的最大孔尺寸与支持预定包合物饱和度的最小孔尺寸比较,以确定包合物稳定区中所述预定包合物饱和度是否可能。基于组件310、312的输出的这种比较,可以确定这种浓度的包合物是否可能,并且由此确定是否值得继续进行直接地下开采。

[0041] 参考图3全部,注意的是,总的来说其他模块或特征可以并入此计算系统300,或者并入诸如应用308等的应用。此外,尽管值得注意的是某些组件或模块包括指定的功能,但是总的来说此功能通常也能被说成是驻留在应用308内,或者可以横跨多处理器系统或多计算机网络来实施。

[0042] 现在参考图4,绘出了说明示例方法400的流程图,所述方法400用于确定出现包合物所需的最小孔隙率。特别地,方法400通常可结合随机尺寸的沉积物微粒的填料使用,其中使用颗粒尺寸与孔尺寸之间的经验性关系将微粒建模为球。

[0043] 在示出的实施例中,给定已知海底温度和深度、以及已知地温梯度、盐度、和包合物成分,通过计算包合物稳定区的厚度来开始方法400(步骤402)。特别地,这些特征的每个特征都是通过直接测量可识别的,并且对每个特征可计算准确厚度。尽管通常这种区的深度可以不同,但是典型的包合物稳定区在大约800米或更小的深度处形成。

[0044] 方法400还包括在稳定区上为溶解性气态包合物相计算现场温度和三相平衡温度,以确定会存在或不会存在包合物的点(步骤404)。各种实施例中,例如基于横穿其他位置处的地下深度范围观测到的温度和压力,在所述包合物稳定区的各种深度处确定计算得到的温度。某些实施例中,方法400还可包括对海底处、或另外计算得到的包合物稳定区附近的温度的直接测量。

[0045] 某些实施例中,三相平衡温度至少部分基于海底深度、静液压梯度、和海水盐度。

而且,某些实施例中,从海底温度和地温梯度计算现场温度,并且从Duan,Z.H.等在“The Prediction of Methane Solubility in Natural Waters to High Ionic Strength from 0 to 250°C and from 0 to 1600 Bar”,*Geochimica et Cosmochimica Acta*,56,1451-1460,1992中提供的状态方程计算三相平衡温度。该演算使用海底深度和假定的静液压梯度和海水盐度。使用牛顿拉普森算法迭代地确定所述两个温度相等的深度,所述算法使用迭代过程获取函数的一个根。某些实施例中,采用在“Adaptive Newton-Based Multivariate Smoothed Functional Algorithms for Simulation Optimization”,Bhatnagar,S.,*Jour.ACM Trans.on Mod.and Comp.Sim.*,Vol.18,Issue 1,(2007)中描述的方法。也可以使用其他类型的过程来确定现场温度等于三相平衡温度的深度。

[0046] 一旦已知包合物稳定区的厚度和现场温度与三相平衡温度这两者,最小孔尺寸确定组件310计算最小孔隙率,所述最小孔隙率在构成所述包合物稳定区的深度范围上会允许用户选择的包合物饱和度(步骤406)。某些实施例中,这是使用描述吉布斯汤姆逊效应的方程从现场温度与三相平衡温度之间的差异计算得到的。

[0047] 特别地,在给定深度处会支持特定饱和度包合物的最小孔隙率,至少部分依赖于所述深度处的三相平衡温度、以及几何因子、固液界面的界面能、固相的包合物的体积密度、固相包合物的熔化潜热、和孔半径。基于上述方程 $\Delta T_f = -T_{f,h} (F \gamma_{sl} / r \rho_s \Delta H_{sl})$, 并且假定参数F等于2,所述参数是通常代表圆柱形孔和球形孔这两者的值,指定的孔半径随着包合物浓度的增加通常会减小。特别地,假定包合物在孔中生长并且作为围绕球形颗粒的涂层,所述孔半径会减小因子 $(1 - S_c)^{1/3}$, 其中 s_c 是包合物饱和度,或者是孔空间被包合物占据的体积比例。使用此修改,可以使用下述方程(假定 r_0 是初始(无包合物的)孔半径)按照包合物饱和度来表达现场温度与三相平衡温度之间的差异:

$$[0048] \quad \Delta T_f = -T_{f,h} (F \gamma_{sl} / r_0 (1 - S_c)^{1/3} \rho_s \Delta H_{sl})$$

[0049] 值得注意地,随着包合物在沉积物孔空间中生长,所述三相平衡温度会下降直到其达到本地现场温度,此时包合物会停止形成,因为其不再是唯一的稳定相。因此,给定现场温度和三相平衡温度,可以在步骤406中由最小孔尺寸确定组件310从下述方程计算会允许选择的包合物饱和度 s_c 的最小初始孔隙率:

$$[0050] \quad r_0 = T_{f,h} F \gamma_{sl} / ((T_{f,h} - T) (1 - S_c)^{1/3} \rho_s \Delta H_{sl})$$

[0051] 一旦在步骤406中确定最小孔隙率,就可以确定中值孔隙率和中值颗粒尺寸(步骤408)。例如,这可以例如使用最大孔尺寸估计组件312来完成。对分开距离 $2a$ 的半径为 r 的相同的球的立方填料,由8个相邻的球生成的所述孔中的内切球的半径 r_s 可以表示为:

$$[0052] \quad r_s = \left(\frac{3}{2} \sqrt{2} - 1 \right) r + \frac{3}{2} \sqrt{2} a$$

[0053] 此外,介质的孔隙比 e 可以表示为:

$$[0054] \quad e = \frac{6}{\pi} \left(1 + \frac{a}{r} \right)^3 - 1$$

[0055] 基于这些方程,内切球半径 r_s 与具有半径 r 的球填料的比率,或者 r_s/r , 被表达成如下的孔隙比:

$$[0056] \quad \frac{r_s}{r} = \frac{3}{2} \sqrt{2} - \frac{5}{2} + \frac{3}{2} \left(\frac{\pi}{6} (e + 1) \right)^{1/3}$$

[0057] 按照示出为 φ ($e=\varphi/(1-\varphi)$)的孔隙率,以上方程可改写为如下:

$$[0058] \quad \frac{r_s}{r} = \frac{3}{2}\sqrt{2} - \frac{5}{2} + \frac{3}{2} \left(\frac{\pi}{6} \left(\frac{\varphi}{1-\varphi} + 1 \right) \right)^{1/3}$$

[0059] 基于以上方程, r_s 与 r 的比率可重写为函数形式:

$$[0060] \quad \frac{r_s}{r} = A \left(\frac{\varphi}{1-\varphi} \right)^B$$

[0061] 按照中值沉积物颗粒直径 D_{50} ,这可改写为:

$$[0062] \quad \frac{r_s}{D_{50}} = A \left(\frac{\varphi}{1-\varphi} \right)^B$$

[0063] 某些实施例中,应用308应用以上方程并且考虑1、10、50和100微米的中值颗粒直径 D_{50} ,所述直径是代表大多数海洋沉积物的范围。在以上方程中使用这些颗粒尺寸,可以产生描述各个深度处的孔隙率的图,示出了孔尺寸与会被支持的包合物饱和度之间的关系。

[0064] 在具有众多颗粒和孔尺寸的多孔介质中,最大孔的尺寸会影响包合物的出现或缺乏。基于对随机尺寸的球填料的850次模拟,已经实验性地发现以上方程中 $A=1.0913$ 并且 $B=0.3503$ 。因此,如图5中所示,图表500示出了代表孔隙率和内切球的相对半径 r_s 和中值颗粒尺寸 D_{50} 之间的关系的此示例模拟数据和回归曲线502。孔隙率通常用0到1之间的尺度代表,0代表没有孔隙率而1代表完整孔隙率。虚线504a-b代表回归曲线502的95%的置信区间。

[0065] 现在参考图6-9,绘出了使用用于布莱克海脊(Blake Ridge)的参数的分析结果。布莱克海脊是坐落在大西洋的南卡罗来纳州海岸的大量研究的甲烷水合物沉积。在此区域,温度和压力条件是2781m的水深,276.4K的海底温度,以及0.04K/m的地温梯度。如图6-9所示,对于大于10微米的中值颗粒直径(例如,如图7-9的图700、800、900所示),孔尺寸对出现的水合物几乎不起作用。但是,对于图6的图表600示出的1微米的中值颗粒直径,如果孔隙率小于大约50%,那么水合物通常不会在包合物稳定区的最低的8米中形成。这十分重要,因为这是此深度处沉积物的近似颗粒尺寸和孔隙率。

[0066] 另外,再次参考图4,还可以从颗粒尺寸分布确定在所述沉积物中可以预期的最大孔尺寸(步骤410)。某些实施例中,可以使用最大孔尺寸估计组件312和三维数据建模组件314计算最大孔尺寸。确定最大孔尺寸的各种方法是可能的。某些实施例中,可以通过建模具有不同尺寸沉积物颗粒的示例区域,并且随后模拟在位于此颗粒之间的空隙中内切球来确定最大孔尺寸。此布置的示例在同在审理中的以下专利申请中示出:2012年11月16日提交的且名称为“Methods and Systems for Determining Pore Size in Sediment Using Physical Measurement of Sediment Samples”(案卷号T-9173)的美国临时专利申请No.61/727,567,以及2012年11月16日提交的且名称为“Methods and Systems for Determining Pore Size in Sediment Using Numerical Modeling”(案卷号T-9174)的美国临时专利申请No.61/727,569,每个的公开都通过引用它们的全部被预先结合于此。

[0067] 某些这种实施例中,确定最大孔尺寸可由最大孔尺寸估计组件312例如通过激光粒度分析、斯托克斯沉降分析、图像分析、或其他技术来执行以获得颗粒尺寸分布。与中值颗粒尺寸和孔隙率关联的数据可以接着例如由应用308通过物理测量数据模块318存储为

物理测量数据。在这种实施例中,最大孔尺寸可使用经验性关系来确定。例如,这可以基于微粒类型/尺寸与其他可观测现象之间的现有经验性关系。例如,此过程可包括基于被地下沉积物反射的声波的衰减来估计孔尺寸。通常,声波会以较快速度行进穿过较高密度的材料,并且以较低速度行进穿过较低密度的材料。通过对特定位置处的地下条件执行声学分析,并且将观测到的反射波的值与具有已知最大孔尺寸的区域中的类似值比较,可确定在沉积物中可预期的此最大孔尺寸。例如,沉积物中预期的最大孔尺寸可以基于如在“Viscous attenuation of sound in saturated sand”,Hovem,J.M.,和Ingram,G.D., J.Acoust.Soc.Am.,67,1559-1563 (1979) 中讨论的经验性关系,所述公开通过引用它的全部被结合于此。

[0068] 一旦在步骤410中确定最大孔尺寸,并且在步骤406中计算支持特定浓度的最小孔尺寸,则可以比较所述两个值(步骤412)。如果最大孔尺寸小于最小所需孔尺寸,所述应用可由此确定所考虑区域不能支持期望饱和度的包合物形成(步骤414)。因此,用户可以继续不同的分析,例如通过将所述应用转为分析不同地下区域,或者调整供分析使用的期望包合物浓度(使用图3的应用308,由此重新开始图4所示的方法的至少一部分)。相反,如果所考虑区域的最大孔尺寸大于支持在给定浓度或高于给定浓度的包合物形成所需的最小孔尺寸,则包合物形成会是可能的,并且应用308会相应地通知用户(步骤416)。照此,例如通过使用以上描述的图1-2的系统,用户可以指示所考虑的特定位置是用于收获包合物的可能候选位置。

[0069] 现在参考图3-4,并且尤其是实现图4的方法和系统的计算系统,注意的是,可使用各种计算系统来执行本文公开的过程。例如,本公开的实施例可以以各种类型的电子电路实践,所述电子电路包括分立电子元件、包含逻辑门的封装电子芯片或集成电子芯片、使用微处理器的电路、或包含电子元件或微处理器的单个芯片。本公开的实施例还可以使用能够执行例如AND、OR或NOT等的逻辑运算的其他技术来实践,所述技术包括但不限于机械的、光学的、流体的、和量子技术。此外,本文描述的方法的多个方面可以在通用计算机内或任何其他电路或系统内实践。

[0070] 本公开的实施例可被实施为计算机过程(方法)、计算系统、或被实施为诸如计算机程序产品或计算机可读介质等的制成品。所述计算机程序产品可以是由计算机系统可读并且编码有用于执行计算机过程的计算机程序指令的计算机存储介质。因此,本公开的实施例可以以硬件和/或以软件(包括固件、驻留软件、微代码等)来实现。换句话说,本公开的实施例可采用计算机可用存储介质或计算机可读存储介质上的计算机程序产品的形式,所述介质具有由指令执行系统使用或结合指令执行系统使用的计算机可用程序代码或计算机可读程序代码。

[0071] 例如,以上参考根据本公开实施例的系统、方法和计算机程序产品的操作性说明和/或框图,描述了本公开的实施例。框中标明的功能/动作可以以任意流程图中示出的顺序的乱序出现。例如,依赖于涉及的功能/动作,相继示出的两个框可以实际上基本同时执行或者所述框有时可以以相反顺序执行。

[0072] 尽管已经描述了本公开的某些实施例,但是可以存在其他实施例。而且,尽管本公开的实施例已经被描述为与存储在存储器和其他存储介质中的数据相关联,但是数据也可存储在其他类型的计算机可读介质上或从其他类型的计算机可读介质中读取。进一步,在

不背离本公开的整体理念的情况下,本公开的方法的阶段可以以任何方式修改,包括通过重排序阶段和/或插入或删除阶段。

[0073] 以上说明书、示例和数据提供了使用和制造本发明的组成的完整描述。因为在不背离本发明精神和范围的情况下可以做出本发明的许多实施例,因此本发明存在于随后所附的权利要求中。

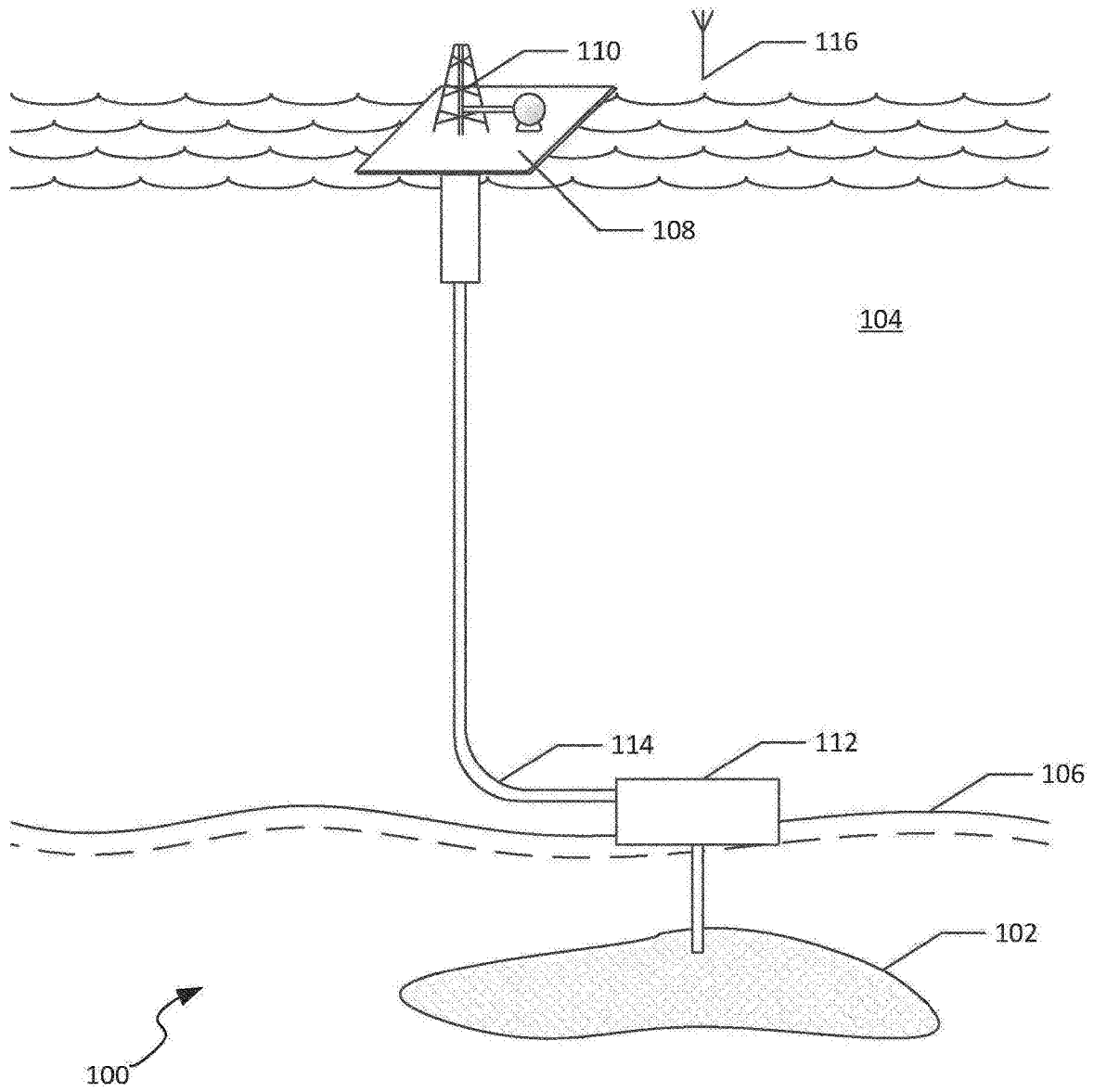


图1

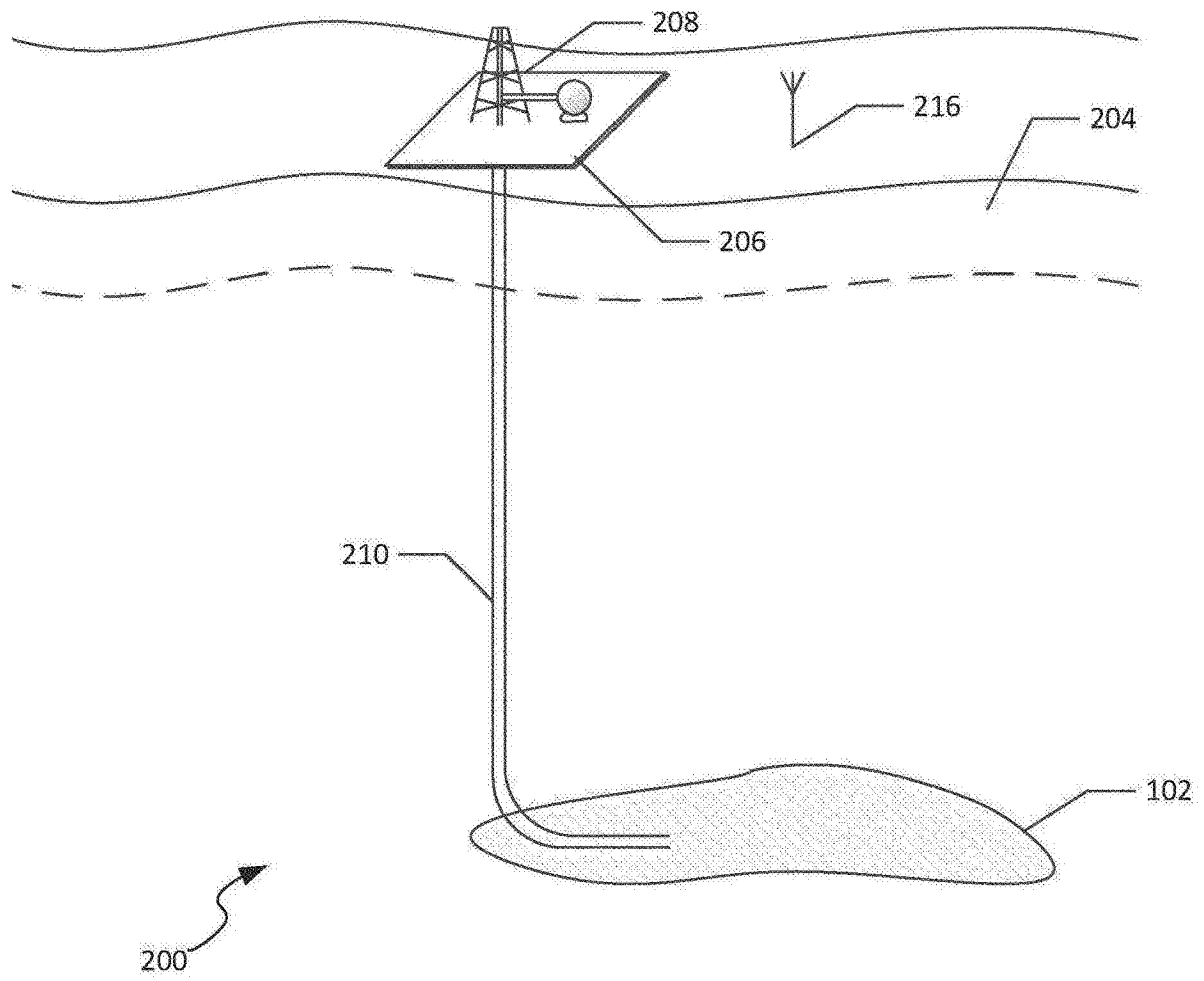


图2

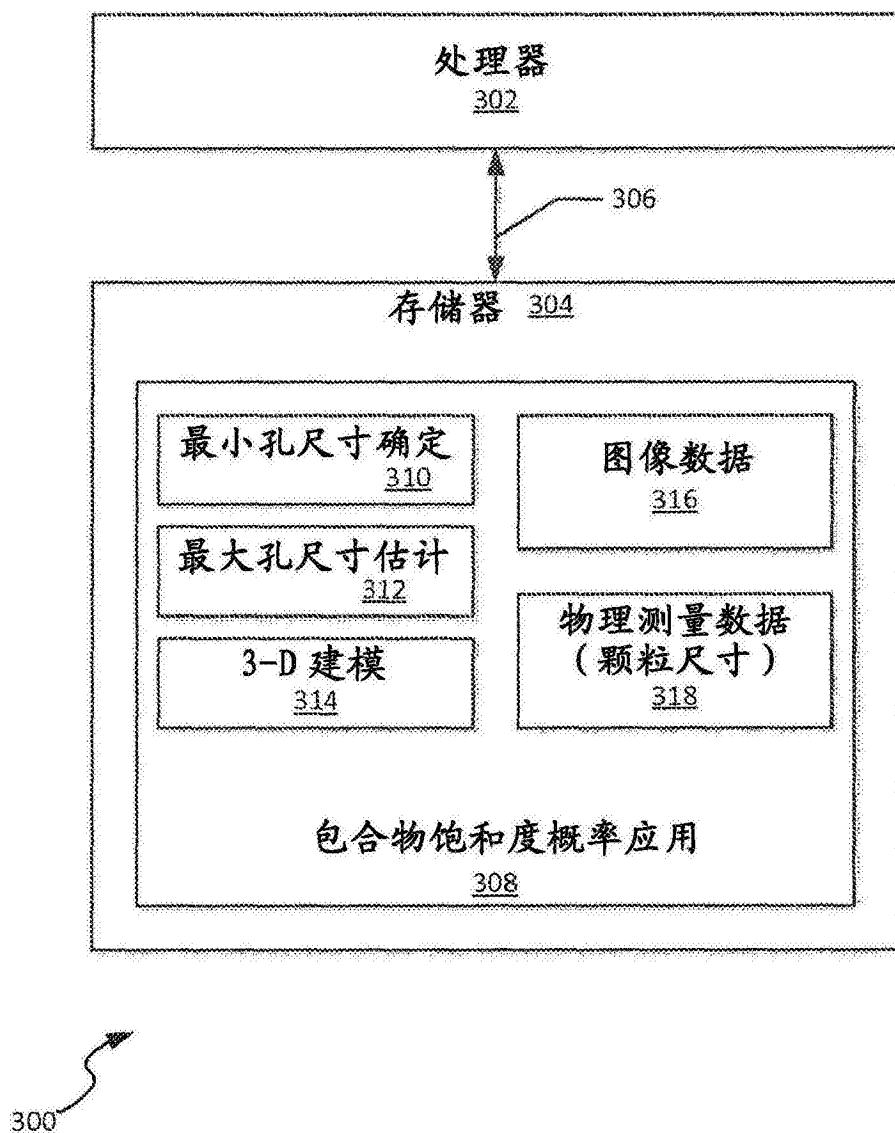


图3

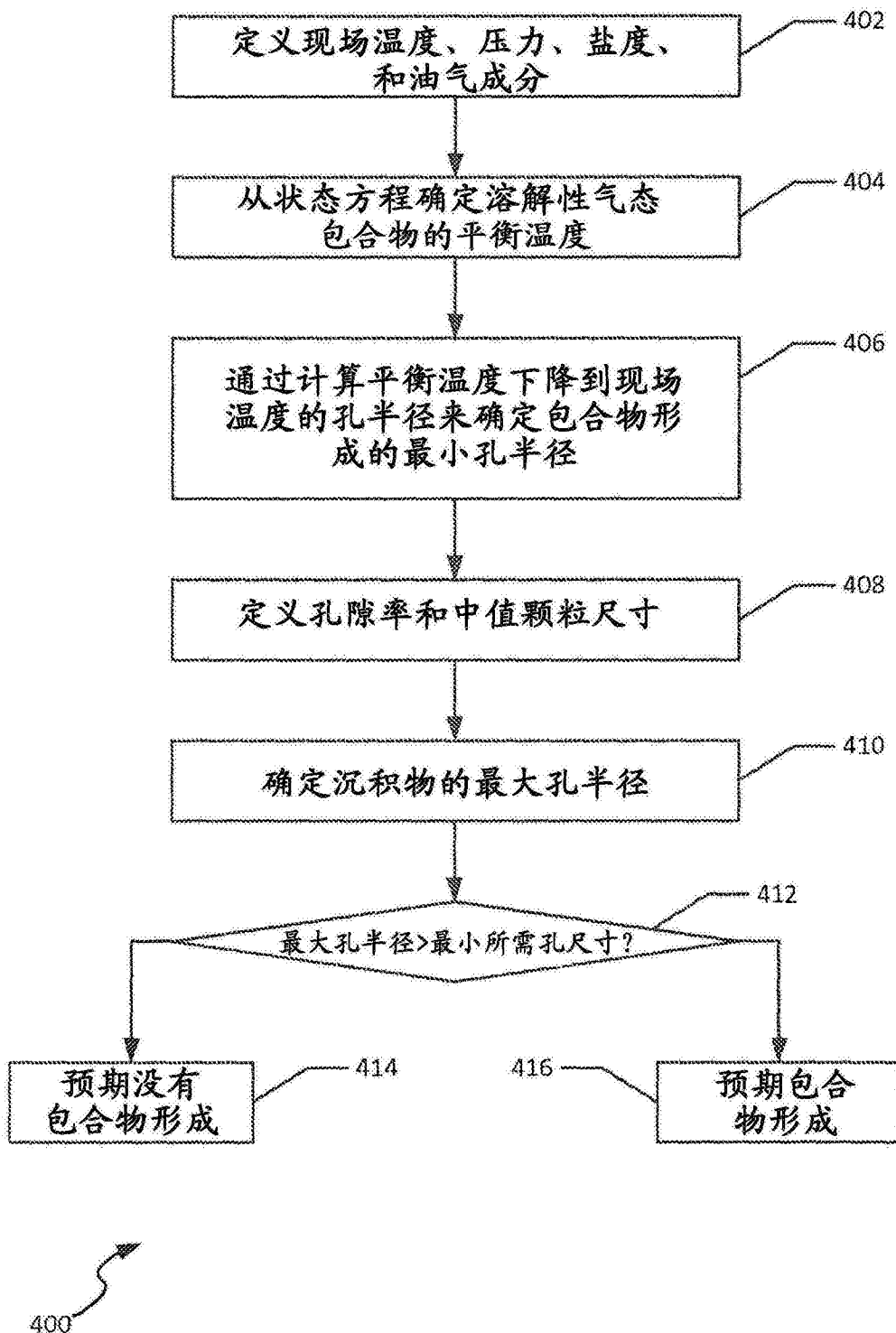
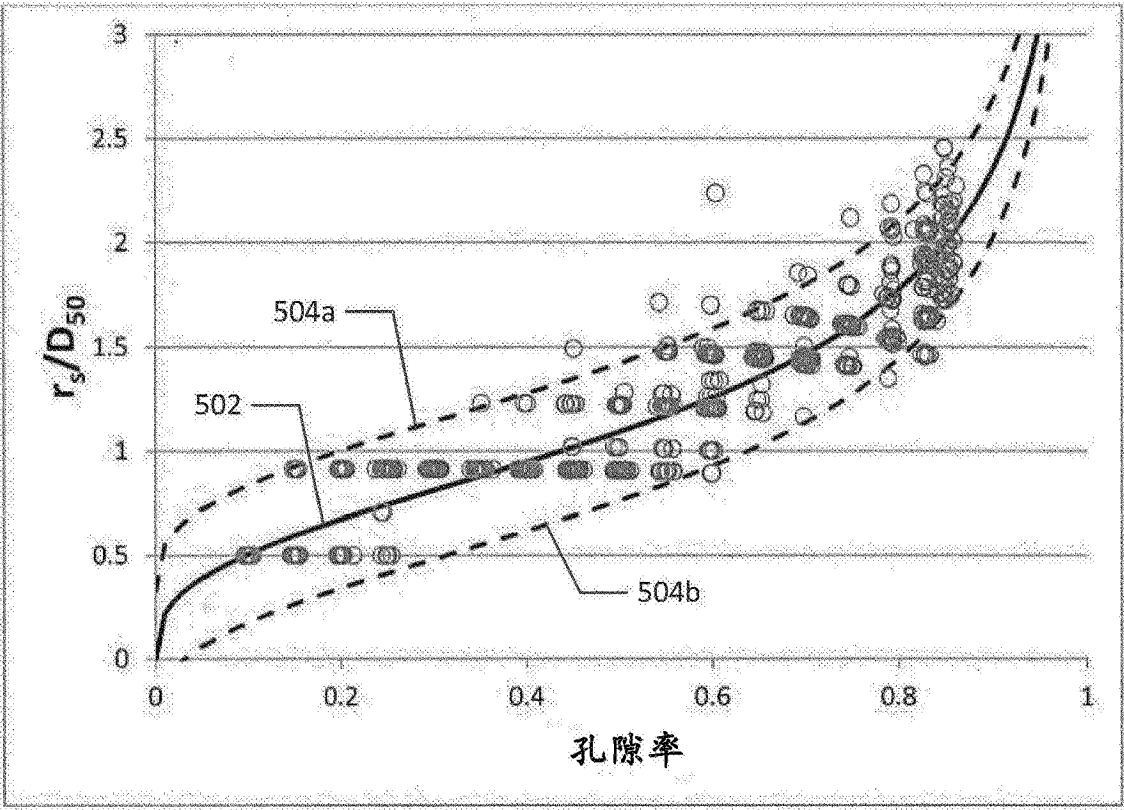


图4



500

图5

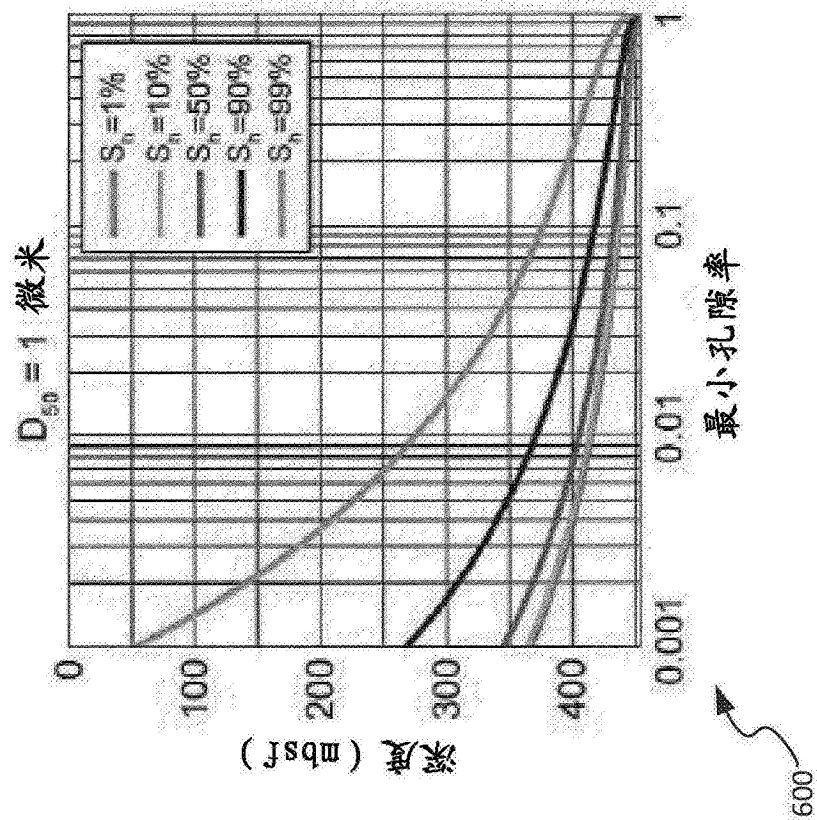


图6

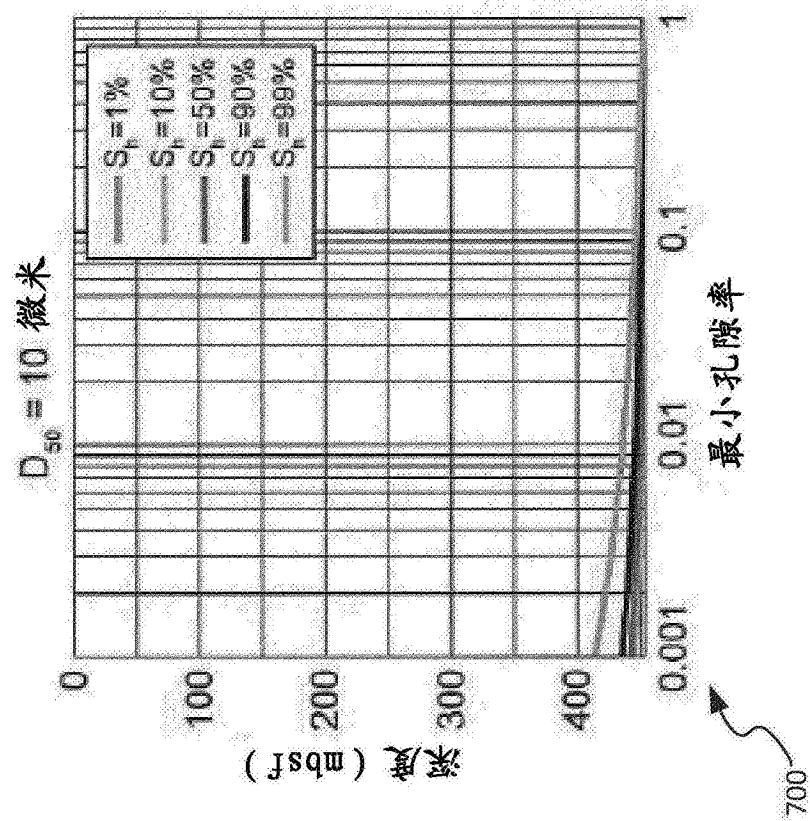


图7

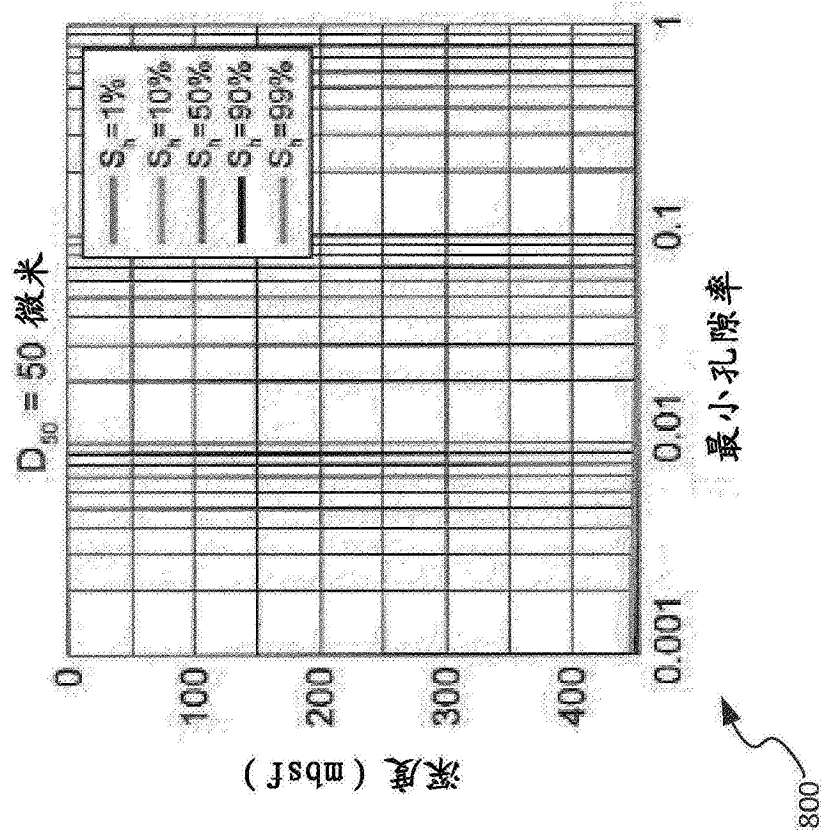


图8

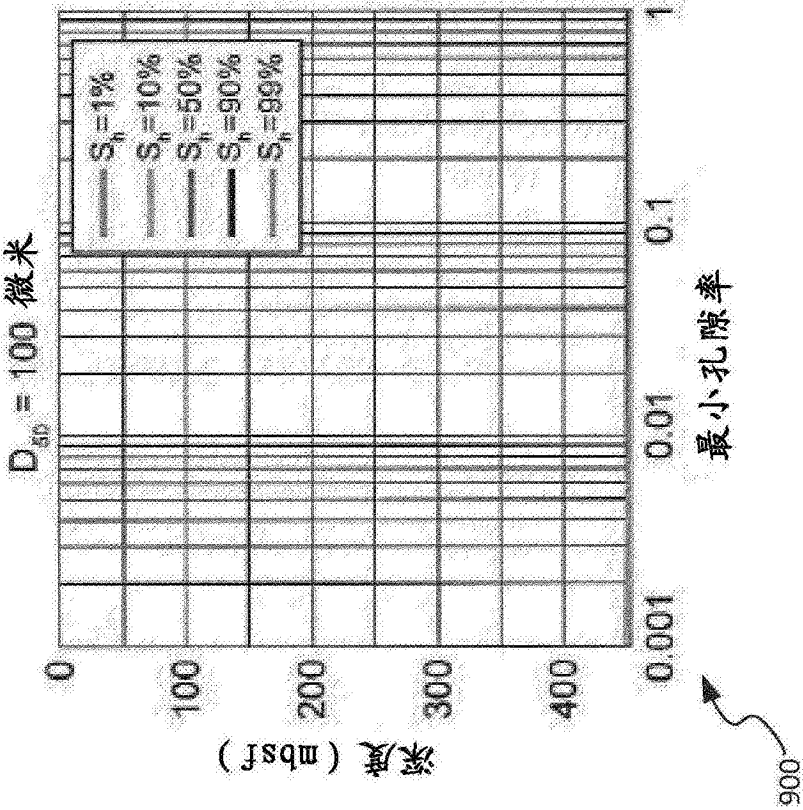


图9