(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 102834834 B
(45)授权公告日 2016.08.03

(21)申请号 201180017983.4
(22)申请日 2011.01.13
(30)优先权数据
61/321,358 2010.04.06 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2012.10.08
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2011/021141 2011.01.13
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2011/126585 EN 2011.10.13
(73)专利权人 埃克森美孚上游研究公司
地址 美国德克萨斯州
(72)发明人 R·J·米福林 M·B·雷
(74)专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245
代理人 赵蓉民
(51)Int.Cl.
G06G 7/48(2006.01)

(56)对比文件
US 2007/0179742 A1,2007.08.02,
US 2009/0276736 A1,2009.11.05,
US 2009/0288881 A1,2009.11.26,
US 2007/0094216 A1,2007.04.26,
US 2006/0225030 A1,2006.10.05,

审查员 房琦

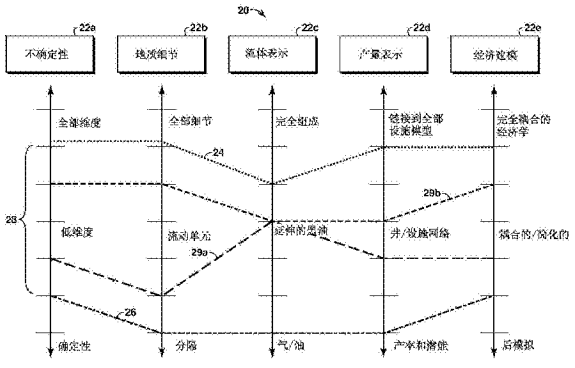
权利要求书4页 说明书16页 附图8页

(54)发明名称

物理系统及其不确定性的分级建模的方法和系统

(57)摘要

本发明提供一种分级建模工具或方法，其表现碳氢化合物系统特性的全部范围，精确地包括影响该系统的不确定性和潜在事件。潜在事件可包括采取的行动和掌握的信息。分级建模工具可嵌入决策支持系统或以独立方式使用。本发明公开的方面可将精确(高细节)物理模型链接到精确不确定性表示，且然后简化该精确不确定性表示为物理模型和可用于优化器的不确定性的高速表示。



CN 102834834 B

1.一种建立碳氢化合物管理系统的分级模型的方法,包括:

识别建模维度,在所述建模维度中表示与所述碳氢化合物管理系统相关的已知参数和不确定性;

通过为每个建模维度评估细节的地面实况水平生成地面实况模型;

通过为每个建模维度评估细节的充分精细水平生成充分精细模型;

评估表达所述充分精细模型中模型实例结果的参数空间;

使用计算机,运行地面实况模型实例从而生成所述地面实况模型的结果,选择所述地面实况模型实例以表示所述参数空间的所需区域;

通过为每个建模维度识别在所述细节的地面实况水平和所述细节的充分精细水平之间的细节的第一中间水平生成第一中间模型;

使用计算机,运行第一中间模型实例从而生成所述第一中间模型的结果,所述第一中间模型实例被选择以表示所述参数空间的所需区域;

通过比较所述第一中间模型的结果和所述地面实况模型的结果,确定所述第一中间模型是否相对所述地面实况模型被充分校准;

当所述第一中间模型没有相对所述地面实况模型被充分校准时,

通过识别在每个建模维度的所述细节的地面实况水平和每个建模维度的所述细节的第一中间水平之间的细节的第二中间水平,生成第二中间模型,

运行第二中间模型实例以生成所述第二中间模型的结果,通过比较所述第二中间模型的结果和所述地面实况模型的结果,确定是否所述第二中间模型相对所述地面实况模型被充分校准;

当所述第一中间模型和第二中间模型之一相对所述地面实况模型被充分校准时,连接所述第一中间模型和第二中间模型之一到所述充分精细模型;以及

输出所述充分精细模型、所述第一中间模型实例以及所述第二中间模型实例中的一个或更多模型实例。

2.根据权利要求1所述的方法,其中全部已知的所述参数和不确定性在所述建模维度中表示。

3.根据权利要求1所述的方法,其中与所述模型目的相关的所述不确定性在单个建模维度中表示。

4.根据权利要求1所述的方法,其中与所述模型的目的相关的所述不确定性在多于一个建模维度中表示。

5.根据权利要求1所述的方法,进一步包括用输出的模型实例生成模型替代品,所述模型替代品接近所述碳氢化合物管理系统。

6.根据权利要求5所述的方法,其中所述模型替代品包括接近所述碳氢化合物管理系统的一个或更多等式或公式。

7.根据权利要求5所述的方法,进一步包括:

输入生成的模型替代品到优化子程序中;以及

输出优化器的结果。

8.根据权利要求1所述的方法,进一步包括重复完成下面步骤,直到所生成的中间模型中的一个相对所述地面实况模型被充分校准:

通过识别每个建模维度的两个前面生成的细节水平之间细节的额外中间水平，生成额外的中间模型；

通过所述额外的中间模型，运行与所述额外的中间模型关联的模型实例，从而生成所述额外的中间模型的结果；

通过比较所述额外的中间模型的结果和所述地面实况模型的结果，确定是否所述额外的中间模型相对所述地面实况模型被充分校准。

9.根据权利要求1所述的方法，其中与所述建模维度中的一个关联的所述细节的地面实况水平与和所述建模维度中的另一个关联的所述细节的地面实况水平不同。

10.根据权利要求1所述的方法，其中所述细节的地面实况水平是能够完全建模所述碳氢化合物管理系统的细节的最粗糙水平，以至该细节的最粗糙水平的进一步的精细不影响所述碳氢化合物管理系统预测的特性。

11.根据权利要求1所述的方法，其中由所述建模维度表示的所述已知参数包括地质细节、流体表示、产量表示、经济建模、以及政治考虑中的一个或更多个。

12.根据权利要求1所述的方法，其中所述第一中间模型的结果和所述地面实况模型的结果包括分隔化、连通性、通道化、井排水体积、井产量率指标、井临界产率、储层间产率指标、含水层指标以及气驱和水驱稳定数中至少一个。

13.根据权利要求1所述的方法，其中连接所述第一中间模型和第二中间模型之一到所述充分精细模型包括：

(a)识别具有细节的最粗糙水平的所述中间模型，且所述中间模型相对所述地面实况模型直接或间接被充分校准；

(b)如果剩余生成的模型中没有能够相对所述相对所述地面实况模型被充分校准的中间模型而被充分校准的，则生成第一额外中间模型，其具有比所述相对所述地面实况模型被充分校准的中间模型粗糙的细节水平；

(c)当所述第一额外中间模型不能相对所述相对所述地面实况模型被充分校准的中间模型而被充分校准，则生成第二中间模型，其具有比所述第一额外中间模型精细的细节水平，且其相对所述第一额外中间模型被充分校准；

(d)当所述额外中间模型能够相对所述相对所述地面实况模型被充分校准的中间模型而被充分校准，则重复步骤(a)、(b)和(c)以生成更多额外中间模型，直到所述地面实况模型通过一个或更多中间模型相对所述充分精细模型被充分校准。

14.根据权利要求1所述的方法，进一步包括：

确定是否所述第一中间模型实例表示所述参数空间的所有所需区域；

当所述第一中间模型实例不表示所述参数空间的所有所需区域时，生成补充第一中间模型实例；以及

运行所述补充第一中间模型实例从而生成第一中间模型的补充结果，其与所述第一中间模型的结果包括在一起。

15.根据权利要求1所述的方法，其中所述碳氢化合物管理系统包括至少一个碳氢化合物储层。

16.根据权利要求1所述的方法，其中所述碳氢化合物管理系统包括碳氢化合物提取设备。

17.一种用于创建碳氢化合物管理系统的分级模型的系统，其包括：

(a)识别建模维度的装置，在所述建模维度中表示与碳氢化合物管理系统相关的已知参数和不确定性；

(b)通过为每个建模维度评估细节的地面实况水平，生成地面实况模型的装置；

(c)通过为每个建模维度评估细节的充分精细水平，生成充分精细模型的装置；

(d)评估表达所述充分精细模型中模型实例结果的参数空间的装置；

(e)运行地面实况模型实例以生成地面实况模型的结果的装置，所述地面实况模型实例被选择表示所述参数空间的所需区域；

(f)通过为每个建模维度识别在所述细节的地面实况水平和所述细节的充分精细水平之间的细节的第一中间水平而生成第一中间模型的装置；

(g)运行第一中间模型实例从而生成所述第一中间模型的结果的装置，所述第一中间模型实例被选择表示所述参数空间的所需区域；

(h)通过比较所述第一中间模型的结果和所述地面实况模型的结果，确定所述第一中间模型是否相对所述地面实况模型被充分校准的装置；

(i)当所述第一中间模型没有相对所述地面实况模型被充分校准时，通过识别位于每个建模维度的所述细节的地面实况水平和每个建模维度的所述细节的第一中间水平之间的细节的第二中间水平，生成第二中间模型的装置，

运行第二中间模型实例，从而生成所述第二中间模型的结果，通过比较所述第二中间模型的结果和所述地面实况模型的结果，确定所述第二中间模型是否相对所述地面实况模型被充分校准的装置；以及

(j)当所述第一中间模型和第二中间模型之一相对所述地面实况模型被充分校准时，连接所述第一中间模型和第二中间模型之一到所述充分精细模型的装置。

18.根据权利要求17所述的系统，进一步包括输出所述充分精细模型、所述第一中间模型实例和所述第二中间模型实例中的一个或更多模型实例的装置。

19.根据权利要求18所述的系统，进一步包括：

使用输出的模型实例生成模型替代品的装置，所述模型替代品是接近所述碳氢化合物管理系统的一个或更多等式或公式；以及

优化生成的模型替代品的装置。

20.一种从地下区域提取碳氢化合物的方法，其包括：

识别建模维度，在所述建模维度中表示与碳氢化合物管理系统相关的已知参数和不确定性；

通过为每个建模维度评估细节的地面实况水平，生成地面实况模型；

通过为每个建模维度评估细节的充分精细水平，生成充分精细模型；

评估表达所述充分精细模型中模型实例结果的参数空间；

运行地面实况模型实例，从而生成所述地面实况模型的结果，选择所述地面实况模型实例以表示所述参数空间的所需区域；

通过为每个建模维度识别在所述细节的地面实况水平和所述细节的充分精细水平之间的细节的第一中间水平，生成第一中间模型；

运行第一中间模型实例从而生成所述第一中间模型的结果，选择所述第一中间模型实

例表示所述参数空间的所需区域；

通过比较所述第一中间模型的结果和所述地面实况模型的结果，确定所述第一中间模型是否相对所述地面实况模型被充分校准；

当所述第一中间模型没有相对所述地面实况模型被充分校准时，通过识别位于每个建模维度的所述细节的地面实况水平和每个建模维度的所述细节的第一中间水平之间的细节的第二中间水平，生成第二中间模型，运行第二中间模型实例，从而生成所述第二中间模型的结果，通过比较所述第二中间模型的结果和所述地面实况模型的结果，确定所述第二中间模型是否相对所述地面实况模型被充分校准；

当所述第一中间模型和第二中间模型之一相对所述地面实况模型被充分校准时，连接所述第一中间模型和第二中间模型之一到所述充分精细模型；以及

输出所述充分精细模型、所述第一中间模型实例以及所述第二中间模型实例中的一个或更多模型实例；

使用输出的模型实例预测所述地下区域中碳氢化合物的存在和位置中的至少一个；以及

从所述地下区域提取碳氢化合物。

物理系统及其不确定性的分级建模的方法和系统

[0001] 相关申请的交叉参考

[0002] 本申请要求2010年4月6日提交的美国临时专利申请61/321358的权益，其标题为HIERARCHICAL MODELING OF PHYSICAL SYSTEMS AND THEIR UNCERTAINTIES，其全部内容包括在此以供参考。

技术领域

[0003] 本发明涉及数值优化，其中确定数值模型的自由参数，以便最终预测最小化或最大化，本发明用于评估、计划和/或管理物理系统。

背景技术

[0004] 本节介绍本技术领域的不同方面，其可与公开的技术和方法关联。本节的结尾处提供了窗口文件的列表，并在下面引用。该讨论包括参考文献被认为辅助提供促进更好理解本公开特定方面的框架。因此，本节应在该前提下阅读而不必当作对现有技术的承认。

[0005] 在石油或天然气储层开发和管理中所做的决策对经济结果是重要的。开发计划包括关于产量设施和潜在的后续延伸和连接的尺寸、时序和位置的决策。分配给每个油田中要钻探和完工的油气井设施和时序的数目、位置、路径也是重要决策。储层管理决策包括运营策略，如注入方案、井间生成率的分配、井加工处理(working over)、以及钻探新井。为获取或配置精确评估资源的经济潜力有重要性。这些决策/评估由于不确定性变得极为复杂，不仅是储层特性的不确定性，而且包括井以及设施特性的不确定性，和/或经济条件。帮助改进储层开发和管理的决策系统应解决不确定性。

[0006] 精确的储层开发和管理决策依赖于精确的储层、井、设施和响应这些决策的经济特性(系统)的预测。除了最简单的情形，这些决策依赖于评估影响相关特性的特性，且确定特性和特性之间的关系要求 数值建模。改善的计算机性能最佳可包括在模型中的细节的量，且该增加的细节可导致更精确的储层和流体特性的预测，导致表示关键特征的复杂的、精密标度(米或更低量级)的模型。另一方面，不确定性的表示驱动对表示全范围参数空间的模型系综的需求。同时，给定计算技术的状态，产量情形的优化可要求使用代表性的、但更快运行的模型，这必然是较低详细的。因此同时需要详细的(“高保真度”)模型和高速模型。如果高速模型可校准并与高保真模型关联，则可满足对精度和速度的需求。然而，生成和校准模型可产生问题。该问题被不确定性的存在放大，因为在该情形中，不确定性表示也必须在以许多模型的高速表示和新模型的高保真表示之间校准，且在这些水平之间传播。因此，需要建模系统，该建模系统是精确的快速的，因此可使开发计划和储层管理决策可靠和快速。精确性最终是根据相关预期的(所有可能的不确定结果的加权平均值)作为应用于其上的条件和控制函数的储层流动响应确定的。

[0007] 现有方法中，模型输入倾向于以点对点方式处理。地震数据用于定义地下区域的结构，地理信息用于构建地层及其特性、等等。正常情形下，基于直觉和经验，模型适于当前需求。当不同的个体工作于不同物理方面时，建立不同模型，然后其需要组合到单个模型

中。虽然有某些软件应用程序允许集成建模储层和设施(Beckner等人),该领域中许多工作都聚焦于将物理模型集合到一起。需要更系统的建模方法,其包括相关物理学和不确定性。

[0008] 在某些复杂情形中,难于将以下面的方式提出的问题公式化,即,甚至单个、确定性模型可以合理时间量运行。然而,具有充分经验和判断的工程师通常可以充分的努力发现建立好模型或建立能够调节/校正从而确定充分精确结果的方式。为了探索不确定性空间,要求建立大量(数百、数千、或更多)模型,但这些可"出租"给大量中央处理单元(CPU)并分开解决。

[0009] 另一方面,优化技术太差具有非常差的优化问题尺寸的性能(如,要确定的决策数目)特征,通常成几何甚至幂指数增加。优化技术通常要求在大量情形(数百、数千、或更多)中生成模型结果。因此,当为单个确定性情形应用优化技术时,表示系统要优化从而运行更快 的模型是有用的,如少于一CPU秒。在优化或不确定性评估中,精确但快速的模型有助于获得正确的答案。当试图评估优化和不确定性时,快速模型几乎只在最琐碎情形中有帮助。图1示出模型细节(沿水平轴12测量的)和不确定性细节(沿垂直轴14测量的)之间平衡的图形表示。有角度的线16表示计算能力限制。有角度线的位置取决于使用的计算系统。图1示出增加某些细节(沿水平轴1)限制可建模(沿垂直轴14)的不确定性范围,且增加不确定性细节限制可明确建模的物理细节。

[0010] 为了减小储层流动建模的计算要求,提升(upscaling)可用于链接粗(即,快速)模型和更精细尺度模型,且具体地,链接储层-地质模型(静态岩石和流体模型)到储层-流动模型。提升由确定粗尺度特性组成,该粗尺度模型提供对精细尺度特性的一定程度的保真度。即使对于单相流动(渗透性提升),提升问题也没有完全解决。简单或复杂平均技术有瑕疵,这是由于实际岩石的几何复杂性导致的。流动基方法使用更好,且不会过度计算困难,只要可以使用具有相当局部化的方法(参看Khan和Dawson(2000),Stern和Dawson(1999))。然而,对于多相流动,提升方法是有问题的。开发来克服计算速度限制的经典技术导致特性严重依赖于假定的流动的模型。而且,基于两个基础,使用测量的岩石特性表示模型特性是有无效的。首先,要建模或表示的区域通常有多个岩石类型组成。第二,区域内流体流动在该区域内几乎不均匀。更近开发的用于多相流动的提升方法处理该情形(参看Jenny等人、Zhou等人(1997))。这些方法基本涉及在粗尺度上嵌入精细尺度解。精细尺度模型保持在其原始形式或另一种形式,并用于计算局部流动特性。然而,根据计算时间这些方法是昂贵的,且不能适当解决如何确定粗尺度特性。

[0011] 人们还没有广泛认识到粗尺度的模型特性中系统误差。Christie等人(2008)做了某些初步工作,但其比较箱式模型(tank model)和非常粗模型对许多应用是不足的。确定所有尺度的系统性误差需要适当验证和校准模型。

[0012] 上述方法暗示性或明确地假定精细模型是确定性的。对于通常在储层模型中发现的不确定性的水平,包括要建模系统中的不确定性, 可使实现精确模型的能力复杂化。最常用的方法是建立小数目(通常仅一个或两个)的额外模型,其被当作表示系统中的不确定性,且对所有这些情形的储层工程或开发计划问题工作。

[0013] 近来的努力在表示不确定性方面做得更透彻,例如通过开发一系列单特性分布图或双特性互相关图。然而,现实中发现的实际地质学、地球物理学、和地球化学必须更复杂。

[0014] 除非数据丢失,不确定性随时间求解。因此,真实不确定性应单调减少。然而,观察

到的不确定性可随着学习到关于储层的意外信息而经历增加。前面指“总”(场宽(field-wide))不确定性。对于储层以后进入生命期的旁通区域,局部不确定性(空间的特定区域)可保持大。如果形成邻近区域,且因此这些区域的特性已知,邻近旁通区域的不确定性是结构质量(通常通过地震数据评估的)和邻近区域可关联到旁通区域的程度的强函数。

[0015] 以前建模复杂开发计划或储层管理系统的试图聚焦于链接(但不完全集成)储层和设施模型。当使用基本集成的方法时,这样的努力基本是无需的,如Beckner等人(2001)的描述。使用链接的(未集成)建模方法使得分级建模困难,但非不能应用。

[0016] 下面是相关的参考文献。

[0017] 授予Hamman等人的美国专利No.7373252 B2。

[0018] 授予Khan等人的美国专利No.6826520。

[0019] 授予Orangi等人的美国专利申请No.US2008/0133550 A1。

[0020] 授予Guyaguler等人的美国专利申请No.US2007/0299643 A1。

[0021] 授予Couet等人的美国专利申请No.US2007/0265815 A1。

[0022] 授予Kosmala等人的专利公开WO2004046503 A1。

[0023] 授予Anderson等人的专利公开WO2001027858 A1。

[0024] Schulze-Riegert R.,Ghedan S.,“Modern Techniques for History Matching”;9th International Symposium on Reservoir Simulation,Abu Dhabi(2007)

[0025] Frykman,P.,和Deutsch,C.V.,“Practical Application of Geostatistical Scaling Laws for Data Integration”,Petrophysics 43(3),May-Jun 2002,pp 153-171(2002)

[0026] Monfared,H.,Christie,M.,Pickup,G.,“A Critical Analysis of Upscaling”,13th Congress of Research Inst.Of Petroleum Industry (National Iranian Oil Co.)(2007)

[0027] Jenny,P.,Lee,S.H.,和Tchelepi,H.A.,“Adaptive Multiscale Finite-Volume Method for Multi-Phase Flow and Transport in Porous Media”,Multiscale Model.Simul.3(1)pp 50-64(2004)

[0028] Zhou,H.,和Tchelepi,H.A.,“Operator Based Multiscale Method for Compressible Flow”,SPE106254 presented at the 2007 SPE Reservoir Simulation Symposium,Feb 26-28,2007,Houston,Texas

[0029] Beckner,B.L.,Hutfilz,J.M.,Ray,M.B.,Tomich,J.F.,“Empower:ExxonMobil’s New Reservoir Simulation System”,2001 SPE Middle East Oil Show Bahrain,March 2001

[0030] Stern,D.,Dawson,A.G.,“A Technique for Generating Reservoir Simulation Grids Preserving Geologic Heterogeneity”,1999 SPE Reservoir Simulation Symposium,Houston,TX

[0031] Christie,M.A.,Pickup,G.E.,O’Sullivan,A.E.,Demanyov V.,“Use of Solution Error Models in History Matching”,11th European Conference on Mathematics of Oil Recovery,Bergen,Norway,Sept.8-11,2008

[0032] Scheidt,C.,Zabalza-Mezghani,I.,“Assessing Uncertainty and

Optimization Production Schemes-Experimental Designs for Non-Linear Production Response Modeling and Application to Early Water Breakthrough Prevention",9th European Conference on Mathematics of Oil Recovery,(IFP) Cannes,France,Aug.30-Sept.2,2004

[0033] Caers,J.,Park,K.,"A Distance-based Representation of Reservoir Uncertainty:the Metric EnKF",11th European Conference on Mathematics of Oil Recovery,Bergen,Norway,Sept.8-11,2008

发明内容

[0034] 一方面,本发明提供了建立碳氢化合物管理系统的分级模型的方法。识别建模维度,其中表示了与碳氢化合物关联系统相关的已知的参数和不确定性。地面真值模型是通过为每个建模维度评估细节的地面真值水平生成的。充分精细的模型是通过为每个建模维度评估细节的充分精细水平生成的。评估参数空间,其表达充分精细模型中模型实例(instance)的结果。使用计算机,运行地面真值模型实例生成地 面真值模型结果。地面真值模型实例被选择来表达所需的参数空间区域。选择第一中间模型实例表示参数空间的所需区域。通过比较第一中间模型的结果和地面真值模型的结果,确定是否第一中间模型相对地面真值模型充分校准。当第一中间模型没有相对地面真值模型充分校准时,通过识别细节的第二中间水平基本在每个建模维度细节的地面真值水平和每个建模维度细节的第一中间水平之间,生成第二中间模型,且运行第二中间模型实例生成第二中间模型结果,然后通过比较第二中间模型结果和地面真值模型结果,确定是否第二中间模型相对地面真值被充分校准。当第一和第二中间模型之一相对地面真值模型充分校准时,第一或第二中间模型连接到充分精细的模型。输出充分精细模型的模型实例、第一中间模型、和/或第二中间模型。

[0035] 根据公开的方法和技术,所有已知参数和不确定性可以建模维度表示。与模型目的相关的不确定性可以单个建模维度表示。与某些目的相关的不确定性可以一个以上的建模维度表示。模型替代品可用输出的模型实例生成,这里建模替代品接近碳氢化合物管理系统。模型替代品可以是接近碳氢化合物管理系统的一个或更多等式或公式。生成的模型替代品可输入到优化程序,且优化器的结果可输出。与一个建模维度关联的细节的地面实况水平可与和另一个建模维度关联的细节的地面实况水平不同。细节的地面实况水平可定义为细节的最粗水平,该细节最粗水平可完全建模碳氢化合物管理系统,以便细节的最粗水平的进一步细化基本不影响碳氢化合物管理系统预测的特性。由建模维度表示的已知的参数可包括地质细节、流体表示、产量表示、经济建模、和/或政治考虑。第一中间模型的结果和地面实况模型的结果可以是特性或其他量,如分隔化、连通性、通道化、井排水体积、井产量率指标、井临界产率、储层间产率指标、含水层指标、以及气驱和水驱稳定数。碳氢化合物管理系统可以是一种或更多碳氢化合物储层和/或碳氢化合物萃取设备。当确定第一中间模型实例基本不表示参数空间的所有所需区域时,可生成补充第一中间模型实例,因而生成第一中间模型的补充结果,这些结果和第一中间模型的结果包括在一起。

[0036] 根据其他公开方法和寄生,重复执行下面的过程直到一个生成的 中间模型相对地面实况模型充分校准:通过为每个建模尺度识别两个前面发生的细节水平之间额外的中

间水平，生成额外的中间模型。运行与额外的中间模型关联的模型实例生成额外的中间模型的结果。通过比较额外中间模型的结果和地面实况模型的结果，确定是否额外的中间模型相对地面实况模型充分校准。

[0037] 根据其他方法和寄生，连接第一和第二中间模型之一到充分精细的模型包括如下步骤：(a)识别具有细节粗水平并对地面实况模型直接或间接充分校准的中间模型；(b)如果没有剩余生成的模型可相对中间模型充分校准，其中中间模型相对地面实况模型充分校准，则生成细节水平通常比相对地面实况模型充分校准的中间模型粗糙的第一额外中间模型；(c)当第一额外中间模型不能相对中间模型充分校准时，生成细节水平通常比第一额外中间模型更精细且相对第一额外中间模型充分校准的第二中间模型；(d)当额外中间模型对中间模型充分校准时，其中中间模型相对地面实况模型充分校准，则重复步骤(a)、(b)、和(c)生成更多额外中间模型直到地面实况模型通过一个或更多中间模型相对充分精细模型充分校准。

[0038] 另一方面，本发明提供的计算机程序产品具有记录在有形、机器可读介质上的计算机可执行逻辑。该计算机程序产品包括：(a)识别建模维度的代码，其中表示了已知参数和关于碳氢化合物管理系统的不确定性；(b)通过为每个建模尺度评估细节的地面实况水平生成地面实况模型的代码；(c)通过为每个建模尺度评估细节的充分精细水平生成充分精细的代码；(d)评估表达充分精细模型中模型实例结果的参数空间的代码；(e)运行地面实况模型实例生成地面实况模型的代码，选择地面实况模型实例表示参数空间的所需区域；(f)通过识别通常在细节的地面实况水平和细节的充分精细水平之间的每个建模尺度细节的第一中间水平生成第一中间模型的代码；(g)用于运行第一中间模型实例从而生成第一中间模型结果的代码，选择第一中间模型实例表示参数空间的所需区域；(h)用于通过比较第一中间模型结果和地面实况模型的结果，确定是否第一中间模型相对地面实况模型充分校准的代码；(i)用于当第一中间模型没有相对地面实况模型充分校准的第一中间模型时，通过识别通常在每个建模维度细节的地面 实况水平和每个建模维度细节的第一中间水平之间的细节的第二中间水平，运行第二中间模型实例从而生成第二中间模型的结果，通过比较第二中间模型的结果和地面实况模型结果，确定是否第二中间模型相对地面实况模型充分校准，生成第二中间模型的代码；以及(j)当第一和第二中间模型之一相对地面实况模型充分校准时，连接第一和第二中间模型之一到充分精细模型的代码。

[0039] 根据其他公开的方法和寄生，可提供代码输出充分精细模型的一个或更多模型实例、第一中间模型实例、和第二中间模型实例。可用模型输出模型实例提供生成中间模型替代品的代码，其中模型替代品是接近碳氢化合物管理系统的一个或更多等式或公式。可提供优化生成的模型替代品的代码。

[0040] 另一方面，提供了从地下区域提取碳氢化合物的方法。识别建模维度，其中表示了已知参数和与碳氢化合物管理系统相关的不确定性。地面实况模型是通过为每个建模维度评估细节的地面实况水平生成的。充分精细的模型是通过为每个建模维度评估细节的充分精细水平生成的。评估表达充分精细模型中建模事例结果的参数空间。运行地面实况模型实例从而生成地面实况模型结果。选择地面实况模型实例从而表示参数空间的所需区域。通过为每个建模维度识别通常在细节的地面实况水平和细节的充分精细水平之间的细节的第一中间水平生成第一中间模型。运行第一中间模型实例生成第一中间模型的结果。选

择第一中间模型实例从而表示参考空间的所需区域。通过比较第一中间模型的结果和地面实况模型的结果，确定是否第一中间模型相对地面实况模型充分校准。当第一中间模型没有相对地面实况模型充分校准时，通过识别通常在每个建模维度的细节的地面实况水平和每个建模维度的细节的第一中间水平之间的第二中间水平的细节，生成第二中间模型，且运行第二中间模型实例生成第二中间模型的结果，然后通过比较第二中间模型的结果和地面实况模型的结果，确定是否第二中间模型相对地面实况模型充分校准。当第一和第二中间模型之一相对地面实况模型充分校准时，第一或第二中间模型连接到充分精细的模型。输出充分精细模型、第一中间模型的模型实例、和/或第二中间模型实例，并用于预测地下区域中碳氢化合物的存在和/或位置。碳 氢化合物是从地下区域提取的。

附图说明

[0041] 在阅读了实施例非限制性例子的下面详细说明和附图后，可显然看出前面和其他优点，其中：

[0042] 图1示出模型细节和模型不确定性的相互作用；

[0043] 图2是模型层级的示意图；

[0044] 图3是生成模型层级方法的流程图；

[0045] 图4示出参数空间的曲线图；

[0046] 图5示出优化结果方法的流程图；

[0047] 图6是计算环境的简化图；

[0048] 图7A和7B包括描述机器可读代码的流程图；

[0049] 图8是地下区域的侧视图；以及

[0050] 图9是提取碳氢化合物方法的流程图。

[0051] 就下面详细描述针对特定实施例或公开的技术特殊使用而言，其仅是例示性的，而不同解读为限制本发明的保护范围。相反，是为了涵盖所有包括在权利要求定义的本发明精神和范围内的所有替换、修改和等价物。

具体实施方式

[0052] 下面详细描述的某些部分是根据计算系统或计算设备的存储器中数据位操作的程序、步骤、逻辑块、处理和其他符号表示。这些描述和表示是数据处理领域技术人员使用的措施，从而有效地向本领域技术人员传输其工作本质。在详细描述中，程序、步骤、逻辑块、过程、等等被构思成物理量的步骤或指令的自洽序列。通常但不是必须，这些量采用能够存储、传输、组合、比较和操纵的电气、磁性、或光学信号。原则上由于通用的原因，将这些信号称为位、值、元素、符号、字符、术语、数字等被证明是方便的。

[0053] 除非另外特别指出，否则可从下面的讨论中显然看出，术语如“建立”、“识别”、“表示”、“发生”、“评估”、“表达”、“运行”、“选择”、“确定”、“比较”、“连接”、“输出”、“输 入”、“预测”、“重复”、“校准”等等，可指计算机系统、或其他电子设备的行动和过程，该其他电子设备将表示为某些电子设备的存储器内物理(电子、磁性、或光学)量的数据变换为类似表示为存储器内、或传输中或显示设备中物理量的其他数据。这些和类似术语与适当物理量关联并且是仅应用于这些量的便利标签。

[0054] 这里公开的实施例也涉及执行这里操作的设备。该设备可为要求目的特别建立，或其可包括由存储在计算机中的计算机程序或代码选择性激活或再配置的通用计算机。这类计算机程序产品或代码可存储或编码在计算机可读介质中或经某些类型的传输介质实施。计算机可读介质包括存储或传输机器，如计算机(“机器”和“计算机”这里是同义使用的)可读形式的任何介质或机构。作为非限制性例子，计算机可读介质可包括计算机可读存储介质(如，只读存储器(“ROM”))、随机存取存储器(“RAM”)、磁盘存储介质、光学存储介质、闪存设备、等等)。传输介质可以是绞线对、同轴电缆、光纤、或某些其他合适传输介质。

[0055] 而且，模块、特征、属性、方法、和其他方面可实施为软件、硬件、评估或其中任何组合。只要本发明的组件实施为软件，则该组件可实施为独立程序、较大程序的部件、多个分开程序、作为静止或动态链接的程序库、作为核心可加载模块、作为设备驱动器、和/或计算机编程领域技术人员现在已知或未来已知的每种和任何其他方式。此外，本发明不限于以任何特定操作系统或环境实施。

[0056] 这里使用不同术语在下面定义。权利要求中使用的术语没有在下面定义，但应该给以相关技术领域人员所赋以这些术语最宽泛的可能定义，如至少一种印刷出版物或公开的专利所给与的定义。

[0057] 如这里所用，位于地实体和第二实体之间的“和/或”意味着(1)第一实体、(2)第二实体、和(3)第一实体和第二实体三种情形之一。以“和/或”列出的多个元素应以相同方式建立，即“一个或更多”如此结合的元素。

[0058] 如这里所用，“显示”包括引起显示的直接行动，以及促进显示的任何间接行动。间接行动包括提供软件给终端用户，维护网站，用户可通过该网站实现显示、超级链接到这类网站、或与执行这类直接 或间接行动的实体合作或配合。因此，第一方可单独或与第三方卖方配合，从而实现在显示设备上生成参考信号。显示设备可包括任何适于显示参考图像的设备，例如但不限于CRT监视器、LCD监视器、等离子体设备、平板显示设备、或打印机。显示设备可包括这样的设备，其已经利用任何用于评估、校正、和/或改善显示结果(如，已经用监视器校准软件调节的彩色监视器)的传统软件校准。不是(除了)在显示设备上显示参考信号，与本发明一致的方法可包括提供参考图像给对象。“提供参考图像”可包括通过物理、电话、或电子交付建立或分布参考图像到物体，经网络提供对参考的存取，或建立或分布软件到经配置在对象工作站或计算机上运行的对象上，包括参考图像。在一个例子中，提供参考图像可涉及使对象经打印机以硬副本形式获得参考图像。例如，信息、软件、和/或指令可传输(如，电子或物理地经数据存储设备或硬副本)和/或可用(如经网络)，以便促进对象使用打印机打印硬副本形式的参考图像。在这样的例子中，打印机可以是利用任何传统软件校准的打印机，该软件是用于评估、校正、和/或改善打印结果(如，已经用色彩校正软件调节的彩色打印机)。

[0059] 如这里所用，“碳氢化合物储层”包括含任何碳氢化合物的储层，例如包括一种或一种以上的任何下列物质：油(通常称为石油)、天然气、气体凝析油、焦油和沥青。术语“碳氢化合物储层“也包括用于存储CO_2的储层，例如增强碳氢化合物的产量或析出CO_2。

[0060] 如这里所用，“碳氢化合物管理”或“管理碳氢化合物”包括碳氢化合物提取、碳氢化合物产量、碳氢化合物开采、识别潜在碳氢化合物资源、识别井位置、确定井注入和/或提取产率、识别储层连接性、获取、部署和/或放弃碳氢化合物资源、考查现有碳氢化合物管理

决策、以及任何气体碳氢化合物相关的行动或活动。术语“碳氢化合物管理”也可用于碳氢化合物或CO_2的注入或储存，例如CO_2析出。进一步，术语“碳氢化合物管理”可包括开发规划这里讨论的活动和决策。

[0061] 如这里所用，“机器可读介质”指参与直接或间接提供信号、指令和/或数据的介质。机器可读介质可采用的形式包括但不限于：非易失性介质（如ROM、硬盘）和易失性介质（RAM）。常见形式的机器可读介质包括但不限于：软盘、柔性盘、硬盘、磁带、其他磁性介质、CD-ROM、或其他光学介质、RAM、ROM、EPROM、FLASH-EPROM、或气体存储器芯片或卡、存储棒、和其他介质，计算机、处理器或其他电子设备可从其读取数据。

[0062] 如这里所用，术语“最优”、“优化”、“最佳化”、“最优性”、“最优化”（以及，这些术语衍生词和其他形式以及语言相关的词或短语）是为了在要求方法或系统发现最佳解或做出最佳决策意义上的限制。虽然，数学最优解实际上达到所有数学可用可能性，优化程序、方法、模型、和过程的真实世界实施例可向着这样的目标工作，而无需实际达到完美。因此，应该理解，这些术语是更一般性的。术语可描述向着解工作，其可以是最佳可用解、优选解、或在约束范围内提供特定益处的解；或持续改善；或精细化；或为目标搜索高点或最大（或低点或最小值）；或处理减小罚函数或成本函数；等等。

[0063] 如这里所用，“物理学”表示不确定性之外的所有建模因子，包括但不限于地质学、液体流、经济学、市场和其他商务或政治因素。

[0064] 如这里所用“岩石”包括不同地质材料，包括在钻探操作过程中碰到的不同地质材料，如盐、粘土、页岩、沙子等等，以及哪些被正式分类为“岩石”的材料。

[0065] 如这里所用，“地下”指位于任何海拔或海拔范围内任何质量陆地的顶表面，无论海平面以上、以下或在海平面处，和/或任何质量水的底表面以下，无论在海平面以上、以下或在海平面处。

[0066] 如这里所用，“模型”是可以数学术语表达的系统的近似。模型可要求多种维度适当表达系统特性。

[0067] 如这里所用，“模型实例”是规定参数值处系统的近似的表达。对于根据渗透性和多孔性描述系统的模型，模型实例是通过使用每个渗透性和多孔性的特定值求解模型建立或生成的。额外的模型实例可通过用渗透性和多孔性的不同的特定值求解模型建立或生成。

[0068] 如这里所用，“维度”是要由模型层级解决的问题或难题的类别或方面。优选每个维度基本或完全独立于模型层级中每个其他维度，或换句话说，与维度关联的变量、语句和/或等式基本或完全不受与其他维度关联的变量、语句和/或等式的变化影响。碳氢化合物系统中维度的例子包括地质细节、流体表示、产量表示、经济考虑、地理政治 考虑、和不确定性。维度可具有多种可用于描述其多个方面的模型。每个模型可具有与其关联的不同水平的细节。

[0069] 如这里所用，“建模空间”是细节地面实况水平和细节充分精细水平之间的模型层级的一个或更多维度中的区域。

[0070] 示例性方法可参考流程图更好地理解。虽然为了解释的简单性，所示方法是以一系列功能块图示和描述的，应该理解，方法不受功能块的顺序限制，由于某些块可以不同顺序发生和/或与所示和所述的其他块同时发生。而且，额外的和/或替换的方法可采用这里

没有示出的额外的功能块。虽然附图示出串联发生的不同行动，但应该理解不同行动可串联、基本并行、和/或基本不同的时间点发生。

[0071] 系统特性的不确定性可通过建模减小。基本不确定性可通过获得更精确的数据减小，但建模可使数据产生结果(bear)，以便可确定真实(最小)不确定性的更好评估。一方面，不确定性是作为应尽可能精确表示的另一个建模因子处理的。换句话说，模型中的不确定性应匹配数据中不确定性。不确定性应建模为与其实际一样小，而非更小。

[0072] 根据公开的方面和方法，提供了分级建模工具或过程，其表示碳氢化合物系统全范围的特性，精确地包括影响系统的不确定性和潜在事件。潜在事件可包括采取的行动和学习到的信息。分级建模工具可嵌入决策支持系统，或以独立方式使用。公开的方面可从精确物理模型联系到精确的不确定性表示，且然后减小精确的不确定性表示为物理模型和用于优化器的确定性的高速表示。

[0073] 图2示出模型层级20的示意图。该模型层级包括多个维度22a-22e，这些维度一起数学描述几乎所有关于要建模系统已知的方面。图2中，地球物理系统的物理学维度示为地质细节22b、流体表示22c、产量表示22d、经济建模22e。而且包括不确定性维度22a。每个维度具有从非常精细改变到非常粗糙的细节水平。例如，流体表示维度22c的非常精细的细节可表达或描述完全组合模型，同时非常粗糙水平的细节可表达或描述简单或二元气/油分化(differentiation)。

[0074] 模型层级的另一个方面是每个维度的细节24的地面实况水平。细节的地面实况水平是可完全建模系统的细节的最粗糙水平，如手边直接(“强力”)评估决策所需的那样。从细节的地面实况水平进一步 的细节/细化实际上不影响预测的系统特性细节24。的地面实况水平表示为图2中虚线。如可看到的那样，对于每个维度，细节的地面实况水平可不同并可根据输入的数据量、模型对维度的细节水平以及维度对模型结果重要性变化的敏感度改变。对于每个维度，用户通常基于这些和其他因子选择细节的地面实况水平，常考虑细节过度精细水平增加的计算时间和成本。一般地，细节的地面实况水平可在模型上和与手边决策相关的操作/响应特性的范围上随空间和时间改变。然而，如果细节的单个地面实况水平对于所有相关运算行动和完整建模时间跨整个模型识别的，则可实现相当的简化。细节的地面实况水平不完全独立于参数空间(如下面所述)。实际上，对于高水平不确定性的情形，参数空间的不同区域将一定程度上具有不同的细节地面实况水平。需要考虑这样的情形，如这里进一步所述。所示不确定性维度22a具有单个细节的地面实况水平。然而，当不确定性细节的地面实况水平在不确定性参数上宽范围改变时，将不确定性空间划分为多个不确定性维度是有利的，其中每个维度都具有近似一致的细节的地面实况水平。这使得更容易建立、校准、和解释模型。

[0075] 模型分级的另一个方面是对于每个维度的充分精细水平的细节。充分精细水平的细节26在图2中示为虚线，是保持充分细节实现正确解答的模型类别中具有最大量粗糙度的细节水平。充分精细水平的细节可在空间和施加上改变，并作为参数空间的函数。用户用类似于选择细节的地面实况水平时使用的因子为每个维度选择充分精细水平的细节。

[0076] 细节的地面实况水平和细节的充分精细水平之间的区域28，称为建模空间，是这样的区域，其中操作或生成模型分级。特别地，通过开发跨每个相关维度链接充分精细水平的细节(高速)和细节的地面实况水平(高保真)的分级模型，以便不同细节水平的模型集合

互洽，模型分级精确地表示物理学和不确定性。每个维度可具有多个水平的细节，因为至少在某些维度中，从最详细模型一路到最粗糙模型的跳跃可导致精度损失，这不能通过校准校正。跨细节水平的一致性不仅要为更典型的物理和经济维度实施，而且要为不确定性维度或多个维度实施。在每个细节水平的模型考虑有每个模型表示的参数空间的区 域。另一方面，层级中的建模可灵活适应于被解决的特定商业需求，其中每个维度中复杂性变化。这样的模型分级可显著改善优化、不确定性和灵敏性分析。

[0077] 图3是流程图，其示出根据观看的方法和技术方面的分级建模的方法30。在方框32，考虑并分析建模的目的。目的可以是要回答或要做决策的问题。示例性问题或决策可包括与碳氢化合物管理相关的问题或决策。可获得并分析与目的相关的数据。计算机系统，如图6中示出且这里描述的计算机系统可用来组织和分析数据。分析数据应辅助识别相关参数和不确定性。基于数据，在方框34，识别相关建模维度从而表示相关模型参数和不确定性。应表示所有相关模型参数和不确定性，以便有多个维度，如图2所示。用户建立几个系统模型从而获得什么参数和维度是精确接近系统所需的判断力。在方框36，生成的地面实况模型包括在每个维度评估的地面实况水平的细节。生成的充分精细的模型包括在每个维度评估的充分精细水平的细节。

[0078] 在方框38，评估参数空间。图4示出由两个独立参数x和y表示的参数空间60。参数空间表示对于给定精细模型的不同模型实例的结果。在方框40，建立在细节的地面实况水平的少量(例如，3和30之间)模型实例并通过地面实况模型运行。地面实况模型实例应充分改变，从而简化参数空间的关键区域62a-62d。进一步，模型实例应充分改变从而涵盖预期的灵敏度。这些厨师模型实例在图4中示为点64。在方框42，在每个维度，通过识别通常在细节的地面实况水平和细节的充分精细水平之间的细节的第一中间水平，生成第一中间模型。这可利用一个或更多技术实现，如局部流动基(flow-based)和全局流动基技术。细节校正和补偿的水平可用来解决可能发生的随机和系统误差。图2中第一中间水平的细节示为虚线29a。在方框44，基于细节的第一中间水平，生成第一中间模型实例，并通过第一中间模型运行。这些第一中间模型实例在图4中示为点66。选择这些新模型实例从而最大化参考空间中点66之间的间隔，同时保持在参数空间的所需范围内。在方框46，模型尺度用于确定第一中间模型相对地面实况模型是否充分精确，或被校准。模型尺度可包括但不限于分隔化(无流动或低流动)、连通性或通道化、井排水体积、井产量率指标(PI)、井 临界产率、储层间PI、含水层指标、以及气驱和水驱稳定数。关联第一中间模型(及其关联结果)和地面实况模型(机器关联结果)的模型尺度比较可指示何时第一中间模型充分校准或连接到地面实况模型。关于这一点，“适当校准的”或“充分校准的”意味着本领域技术人员将判断第一中间模型可用作具有可接受水平误差的更详细地面实况模型的代理。通过这里使用的“充分的”定义的暗示，可接受误差水平取决于建模系统、分级模型的预期使用、细节水平改变的维度灵敏性、计算要求、和/或用户判断。如果前面生成的中间模型实例不足以涵盖参数空间，则可生成并运行基于第一中间模型的进一步模型实例。如果第一中间模型没有充分链接或校准，则通过重复方框42和44中的步骤直到模型被适当校准，生成额外的中间模型。与第二中间模型关联的第二中间水平细节在图2中表示为虚线29b。在方框48，具有最精细细节的中间模型用于校准或连接到充分精细的模型，要么通过前面公开的步骤，要么通过分析模型减少技术，如主分量分析或输入/输出映射，其将充分精细的模型从具有可识别物理

学表示的模型转换为数学性模型。在方框54，显示来自一个或更多模型的一个或更多模型实例，或输出供进一步使用。

[0079] 具有最精细细节的中间模型如何连接到充分精细模型或相对其校准的例子是连接到或校准所述中间模型到具有较低水平细节的中间模型，然后连接到或校准具有较低水平细节的中间模型到充分精细的模型。如果模型不能连接到下一模型或相对其校准（如这里的解释），则可根据这里公开的方面生成一个或更多通常位于其间的额外中间模型。特别地，识别中间模型，其具有最粗水平的细节（即，最接近充分精细的模型），且其是直接或间接通过其他中间模型相对地面实况模型充分校准的。如果没有剩余生成的模型（其可包括其他中间模型和充分精细模型）可相对地面实况模型校准的中间模型充分校准，可生成额外中间模型，其细节水平通常比校准的中间模型粗糙。如果额外中间模型不能相对校准的中间模型充分校准，则生成另一个额外中间模型，其细节水平通常比第一中间模型更精细，且相对第一额外中间模型充分校准。当额外中间模型可相对校准的中间模型充分校准时，则其变成相对地面实况模型充分校准的最粗糙中间模型，但是间接的。该过程持续进行，直到中间模型链定义在地面实况模型和充分精细模型之间，链中每个模型相对链中比其自身更粗糙的下一模型和链中比其自身更精细的下一模型充分校准。以该方式，通过中间模型，地面实况模型连接到充分精细模型并相对该充分精细模型充分校准。当然，如果地面实况模型和充分精细模型可相对彼此充分校准，则中间模型不是必须的。

[0080] 一旦确定中间模型和/或充分精细模型（即，较高速度模型）通过一个或更多中间模型相对地面实况模型（即，高保真模型）校准，则在最高速度水平细节的模型实例可用于在不同应用程序中接近系统，如优化程序。预期使用校准的高速水平事例的优化程序可提供精确输出，同时使用的计算时间和成本比使用高保真模型实例所要求的计算时间和成本低。然而，优选可以转换模型实例为更有助于这类优化器使用的形式。图5示出可与这里公开的其他方面一起使用的方法。在方框56，与充分精细模型关联的模型实例用于生成模型替代品。模型替代品可包括更易于被优化程序使用的等式或公式。在方框58，替代品输入到优化程序。在方框59，优化程序的输出可根据需要显示或输出。

[0081] 这里公开的方法和技术可要求所公开过程的额外迭代。例如，当计算模型实例时过度的运行时间表明关联的模型太细节化，且应开发更粗糙的模型。当粗糙水平细节的模型实例没有适当地与较精细水平细节的模型实例对应时，不适当的校准表明对较粗糙模型或精细模型的定义的修改。此外，对系统应用该模型分级的早期尝试可能是不成功的，因此要求重复整个过程。当然，从应用模型分级的尝试获得的知识可用于改善后续尝试。具体地，可以缩窄与改善精度和减小建模成本问题相关的建模空间的区域。

[0082] 数据，流动建模和误差分析可用于通过模型分级产生误差尺度。可评估每个模型对于其参数空间区域的典型性。处理的响应表面类型可用来评估区域内模型特性。产生完整模型分级要求的建模活动是基本的，因此需要专用系统，如由动态建模（这里所述的）提出的系统。无论模型分级是如何产生的，每个维度的精细水平细节模型与验证和校准根据物理学相互作用，且每个维度的粗糙水平模型与要求快速建 模的优化器或其他工具相互作用。每个模型分级适于其特殊目的或要解决的特定问题，且因此可要求不同维度中不同水平的细节。与验证模型分级关联的计算工作量可使循环通过建模维度和逐个解决每个维度是必须的。虽然一般来说，每个要建模的问题或难题中维度、模型、细节的水平、和尺度不

同，但大多数模型分级通常对相关情形是有用的。校准可发生于位于参数空间中央的点和/或极限处，因此区域内特性是通过内插法发现的。然而，计算限制可要求建模与将外推而非内插的模型分级关联的参数空间许多区域的特性。而且，对于比较不确定性不同解析作用的不同过程的应用，模型分级可包括覆盖或解决所有相关潜在结果的维度。潜在结果的激增进一步强调了需要高速模型。

[0083] 可通过一个或更多方法实现的数据输入，如手动数据录入、电子数据表、和数据库。用户可使用任何已知的软件实施数据存储和输入数据的检索，然后通过计算机编程语言将其链接到模型层级。数据输入可包括模型参数的规范及其不确定性(概率分布、和解析的模式和时间)、约束(均一性或不均一性、硬的或软的)、储层特性、设施、商业/经济数据、政治因素、和决策变量(包括其实施的时间)、等等。数据输入被用于填充模型。然后解数学模型，且输出可显示和/或用来生成报告、计算、表格、图、图表、等等，这些可用于不同碳氢化合物管理设施和决策。数学模型可用于测试多个情形的迭代过程，然后作为过程的一部分，并列比较各情形。

[0084] 除非完全与现有数据冗余，否则新信息可在最小程度上导致不确定性的减小，且通常导致参数空间移位(大或小)。对于小移位，不确定性维度中函数的调节可充分解决变化。可以再使用原始/刚过去(immediate-past)分级的开发中使用的基础设施。这包括在所有水平细节再使用模型自身，其中调节模型的概率从而解决新数据。对于适度到大变化，模型分级需要修改。这样的修改可包括在一个或更多细节水平生成或除去模型实例，且在极端情形中，可包括完整的维度再生。因为修改通常是在计划过程中嵌入的，因此所需修订的频率较低。已经在一定程度上预期并解决的新信息可不必要求对模型系统的更新。

[0085] 跨模型的校准可通过使用多个、复杂距离尺度(参看，例如，Caers 和Park(2008))量化模型之间差别。该距离尺度是根据模型的特征/特性及其输出，如井产率或压力测量的。某些距离尺度可有效地独立于建模目标/目的。其他距离尺度可以是所考虑的决策或回收过程的函数，如与仅用于气体-驱动开采过程的气体置换相关的尺度。

[0086] 在地面实况模型和充分精细模型之间的模型分级中中间模型的数目可针对特定目的和/或所需的模型分级输出调节。一方面，最小化中间模型数目将更有效。另一方面，模型分级中邻近模型之间差别大可使建模无效。在许多应用中，三水平分级效果最佳。当模型之间链接校准变弱时，可加入具有中间水平细节的额外模型。如果确定其邻近模型(即更粗糙模型和更精细模型)可适当校准，则中间水平的细节模型可从模型分级中除去。模型数目可为不同维度改变也是可能的。

[0087] 这里公开的方面讨论了具有通常在与前面定义的模型关联的细节水平之间的细节水平的中间模型。这样描述包括事例，其中每个维度的细节水平从前面定义的模型中细节水平改变。这样的描述也包括事例，其中一个或更多维度的细节水平从前面定义的模型改变，且在剩余维度的细节水平不从前面定义的模型改变。因此用户或自动化的过程可在少于所有维度的维度改变细节，从而看出是否这样的变化会建立新中间模型，该新中间模型可相对前面定义的模型充分校准或连接到前面定义的模型。

[0088] 在另一方面，称为动态建模的技术可用于构建模型分级。在动态建模中，自动化的过程集合不仅建立并运行详细的验证情形，而且构建整个分级并校准高速模型。首先，所有收入数据被量化和编码，并确定建模范围。使用所需的精度和评估的成本，自动化过程建立

并运行大量高保真情形。一旦高保真情形开始完成，校准尺度和启发用于构建适当更粗糙的模型/情形。如这里公开的那样，动态建模技术可嵌入计算机代码。

[0089] 图6示出用于执行公开方面的计算环境的系统100。计算环境100包括形式为计算系统110的计算设备，其可以是UNIX基的工作站或可从Intel、IBM、AMD、Motorola、Cyrix及其他公司商业购得的系统。计算系统110的组件可包括但不限于处理单元114、系统存储器116、和系统总线146，其可耦合不同系统组件，包括系统存储器到处理单元 114。系统总线146可以是包括使用各种总线架构的任何的存储器总线或存储器控制器、外围总线和本地总线的若干类型系统结构的任何一种。

[0090] 计算系统110通常包括各种计算机可读介质。计算机可读介质可以是可由计算系统110存取，并包括易失性和非易失性介质以及可移除和不可移除介质的任何可用介质。例如并且没有限制，计算机可读介质可包含计算机存储介质和通信介质。计算机存储介质包括以任何方法或方法学实施的易失性和非易失性、可移除和不可移除介质，以便存储信息例如计算机可读指令、数据结构、程序代码或其它数据。

[0091] 计算机存储器包括但不限于RAM、ROM、EEPROM、闪存存储器或其它存储器技术，CD-ROM、数字通用光盘(DVD)或其它光盘存储，盒式磁带、磁带、磁盘存储或其它磁存储器件，或可用来存储期望信息并可由计算系统110存取的任何其它介质。

[0092] 系统存储器116包括易失性和/或非易失性存储器形式的计算机存储介质，例如只读存储器(ROM)120和随机存取存储器(RAM)122。含有基本例行程序的基本输入/输出系统124(BIOS)通常存储在ROM120中，该基本例行程序帮助例如在启动期间在计算机系统110内的元件之间传递信息。RAM 122通常含有由处理单元114立即可存取和/或当前操作的数据和/或程序模块。例如并且没有限制，图6说明操作系统126、应用程序128、其它程序模块130和程序数据132。

[0093] 计算系统110也可包括其它可移除/不可移除、易失性/非易失性计算机存储介质。仅作为例子，图6说明从不可移除、非易失性磁介质读取或写入该磁介质的硬盘驱动器134，从可移除、非易失性磁盘138读取或写入磁盘138的磁盘驱动器136，以及从可移除、非易失性光盘142例如CD-ROM或其它光介质读取或写入光盘142的光盘驱动器140。可用于示范操作环境的其它可移除/不可移除、易失性/非易失性计算机存储介质包括但不限于盒式磁带、闪存卡、数字通用光盘、数字视频带、固态RAM、固态ROM等。硬盘驱动器134通常通过不可移除存储器接口例如接口144连接到系统总线146，并且磁盘驱动器136和光盘驱动器140通常由可移除存储器接口例如接口148连接到系统总线146。

[0094] 上面讨论并在图6中说明的驱动器及其关联计算机存储介质为计算系统110提供计算机可读指令、数据结构、程序模块和其它数据的存储。在图6中，例如，硬盘驱动器134说明为存储操作系统178、应用程序180、其它程序模块182和程序数据184。这些组件可以与操作系统126、应用程序130、其它程序模块130和程序数据132相同或不同。操作系统178、应用程序180、其它程序模块182和程序数据184被给予不同数字，从而示出它们至少是不同副本。

[0095] 用户可通过输入设备例如输入板或手写板150、麦克风152、键盘154，以及通常称为鼠标、轨迹球或触摸板的指点设备156输入命令或信息进入计算系统110。这些和其它输入设备常常可通过耦合到系统总线118的用户输入接口158连接到处理单元114，但可由其

它接口和总线结构，例如并口、游戏端口或通用串行总线(USB)连接。

[0096] 监视器160或其它类型的显示器件也可经接口，例如视频接口162连接到系统总线118。监视器160可与触摸屏面板等集成。监视器和/或触摸屏面板可物理耦合到其中并入计算系统110的外壳，例如在平板型个人计算机中。另外，计算机例如计算系统110也可包括其它外围输出设备，例如可通过输出外围接口168等连接的扬声器164和打印机166。

[0097] 计算系统110可在使用逻辑连接来连接一个或更多远程计算机，例如远程计算系统170的联网环境中操作。远程计算系统170可以是个人计算机、服务器、路由器、网络PC、同级设备或其它公用网络节点，并通常包括在上面关于计算系统110描述的元件的许多或全部，尽管仅在图6中说明存储器存储器件172。在图6中示出的逻辑连接包括通过网络接口186连接的局域网(LAN)174和经调制解调器188连接的广域网(WAN)176，但也可包括其它网络。这样的联网环境在办公室、企业广域计算机网络、内部网或互联网中普遍。

[0098] 例如，计算机系统110可包含数据从其转移的源机器，并且远程计算系统170可包含目的地机器。然而注意源和目的地机器不需要由网络或任何其它装置连接，但代替地，数据可经能够由源平台写入并由目的地平台或多个平台读取的任何机器可读介质转移。

[0099] 中央处理器操作系统或多个系统可驻存在中心位置或分布式位置（即镜像或独立的）。软件程序或模块指示操作系统执行任务，例如但不限于成促进客户端请求、系统维护、安全性、数据存储、数据备份、数据加工、文档/报告生成和算法。提供的功能性可在硬件中直接实施，在由处理器执行的软件模块中实施或在该两者任何结合中实施。

[0100] 进一步地，软件操作可由一个或更多服务器或客户端的系统经硬件、软件模块或该两者的任何结合部分或完全执行。软件模块(程序或可执行程序)可驻存在RAM存储器、闪存存储器、ROM存储器、EPROM存储器、EEPROM存储器、寄存器、硬盘、可移除盘、CD-ROM、DVD、光盘或本领域中已知的存储介质的任何其它形式。例如，存储介质可耦合到处理器，以使处理器可从存储介质读取信息或写入信息到存储介质。在替换中，存储介质可集成到处理器。处理器和存储介质也可位于专用集成电路(ASIC)。总线可以是按照本领域中众所周知的各种协议操作的光学或常规总线。可使用的一个系统是用Linux64位或32位Red Hat Linux WS3操作系统和NVIDIA QUADRO图形卡配置的Linux工作站。然而，系统可在广泛的硬件上操作。

[0101] 图7A和7B示出可与计算系统例如计算系统110一起使用的机器可读代码200的表示的方框图。在方框202，提供代码，以便识别表示与碳氢化合物管理系统相关的已知参数和不确定性的建模维度。在方框204，提供代码，以便通过为每个建模维度评估细节的地面实况水平生成地面实况模型。在方框206，提供代码，以便通过为每个建模维度评估充分精细水平的细节生成充分精细的模型。在方框208，提供代码，以便评估表达充分精细模型中模型实例结果的参数空间。在方框210，提供代码，以便允许地面实况模型实例从而生成地面实况模型结果，其中地面实况模型实例被选择从而表示参数空间的所需区域。在方框212，提供代码，以便通过识别通常在细节的地面实况水平和细节的充分精细水平之间的每个建模维度的细节的第一中间水平而生成第一中间模型。在方框214，提供代码，以便运行第一中间模型实例，从而生成第一中间模型的结果，选择第一中间模型实例表示参数空间的所需区域。在方框216，提供代码，以便通过比较第一中间模型的结果和地面实况模型的结果，确定是否第一中间模型相对地面实况模型充分校准。在方框218，提供代码，以便当第

一中间模型没有相对地面实况模 型充分校准时，通过识别在每个建模维度的细节的地面实况水平和每个建模维度的细节的第一中间水平之间的第二中间水平细节，而生成第二中间模型，并运行第二中间模型实例从而生成第二中间模型的结果，然后通过比较第二中间模型的结果和地面实况模型的结果，确定是否第二中间模型相对低下真值模型充分校准。在方框220，提供代码，以便当第一和第二中间模型之一相对地面实况模型充分校准时，连接第一和第二中间模型之一到充分精细模型。也可提供实现或执行所公开方面和方法的其他特征的代码。额外代码表示在图7A中，如方框222所示，并可根据计算机代码编程技术设置在代码200内任何位置。

[0102] 在此公开的方面可用来执行碳氢化合物管理活动，例如储层评估、开发计划、和储层管理。在这些和其他应用中，模型分级可用于在提出的行动和控制集合下，预测系统(储层和所建模的系统的任何其他部件)特性。作为非限制性例子，碳氢化合物储层和设施仿真器建模碳氢化合物储层和地面设施中气体和/或其他液体的运动。通过执行数值建模，用户可通过储层和设施获得对流体的储层结构流动的理解。可获得商业储层和/或设施建模软件，或可通过本领域从业者用计算机编程语言，从草稿(scratch)开发仿真器。无论如何，所公开的方面可用于为仿真器提供高速和/或高保真模型实例。

[0103] 虽然这里的讨论主要聚焦在使用来自用于要求快速模型评估应用中较高速度水平细节的模型实例，但可以使用来自高保真水平细节(如细节的地面实况水平)的模型实例，其中不确定性/决策/建模空间中所选区域中模型实例是详细描述特性的样本预测所必须或要求的。而且，所公开的方面可用于建模系统特性，如碳氢化合物储层，而无需优化工具。高速模型可用于跨不确定性空间快速筛选潜在油田开发或储层管理策略。即使没有不确定性，公开的方面可用于变化的流动条件的参数空间，从而确定特性对可能应用的控制的灵敏性。

[0104] 下面是可从公开的方法和技术获益的非限制性碳氢化合物管理场景。

[0105] 1.Brownfield评估：庞大但几乎耗尽的储层待售。收集并可使用三十年的数据。传统方法用于缩窄未开采石油和改善的开采方法的可能性。可建立模型分级从而评估剩余不确定性并确定在可能的开采工艺 下开采不同量石油的几率。基于开采成本和预期的石油销售价格，可做出关于是否采购该储层的合理决策。

[0106] 2.开发计划，大近海油田：为了确定要制造并用于开发大近海油气田的最佳设施集合，确定油气田不同特性的概率分布，以及成本、价格和其他经济因素的不确定性。开发模型分级从而表示系统及其不确定性。这与优化器集成，如这里讨论的那样，从而确定具有最佳预期值的开发计划。(例如)在优化器中使用随机编程可识别具有最佳净现值的计划。可替换地，鲁棒性优化可用于发现具有最低不利风险的开发计划。

[0107] 3.储层管理：相对新的油气田已经产量几年时间，但开发井还正在钻探中。产量比原始预期的显著高。需要将原始钻探计划与其他三个策略比较。使用产量数据和已知的地理地质知识，开发模型分级，且比较四个策略(原始和三个新提出的)。为四个策略开发石油开采和净现值的概率分布。基于石油的预期值，选择具有最高预期净现值的策略。

[0108] 在另一个方面，公开的方法和技术可用于从地下区域提取碳氢化合物，这由图8中标识号332指示。从地下储层332提取碳氢化合物的方法340在图9中示出。在方框342，从地下区域的地质模型接收输入，这里地质模型已经用这里公开的方法和方面改善。在方框

344，预测地下区域中碳氢化合物的存在和/或位置。在方框346，执行碳氢化合物的提取从而从地下区域除去碳氢化合物，其可通过用石油钻探设备336钻井334实现(图8)。其他碳氢化合物提取活动可根据已知的原理执行。

[0109] 这里公开的方面在许多方面与前面已知的系统建模的方法和方式不同。为了引用几个非限制性例子，公开的方面允许系统处理整个开发计划/储层管理问题，并解决所有决策、物理学、和不确定性的要求。而且，不确定性和模型细节是同时解决的。其他方式建立各“参数空间点”从而表示决策/运算空间和不确定性空间中区域，如在Schulze-Riegert等人引用的自上而下储层建模(Top Down Reservoir Modeling)，但不考虑模型。

[0110] 其他已知的方式开发响应表面表示系统特性(如，Scheidt等人， 2004)，但有简单化的函数，其不能捕获实际系统的复杂性。根据物理条件，这些简化有效地成为任意系统约束：其没有被明确认可。其对解的影响是未知的。相比，公开的方法和技术建立适当复杂的响应系统并考虑所有相关外加约束。而且，公开的方法和技术开发复杂尺度跨所有细节水平校准模型。已知的方法已经开发了简单尺度，但这些全局多尺度方法不能组织特性间关系，但简单合成系统中例外。

[0111] 公开的实施例和方法可易受各种修改和可替换形式，并且仅作为例子示出。公开的实施例和方法不意图局限于在此公开的特定实施例，而是包括所有在权利要求的精神和保护范围内的替换、修改、和等价物。

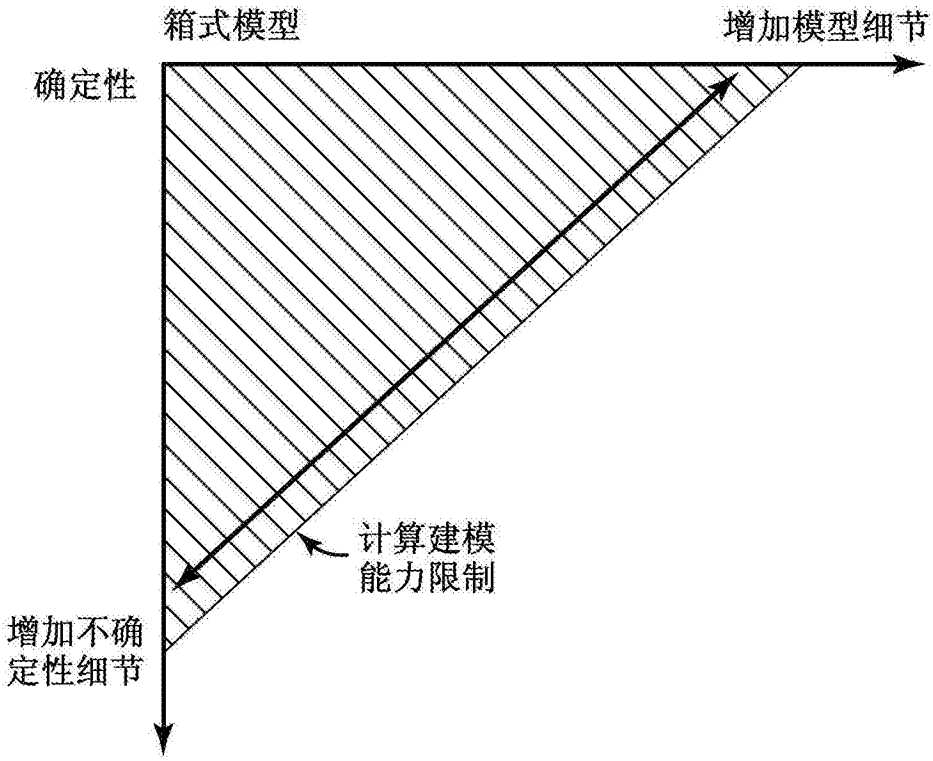


图1

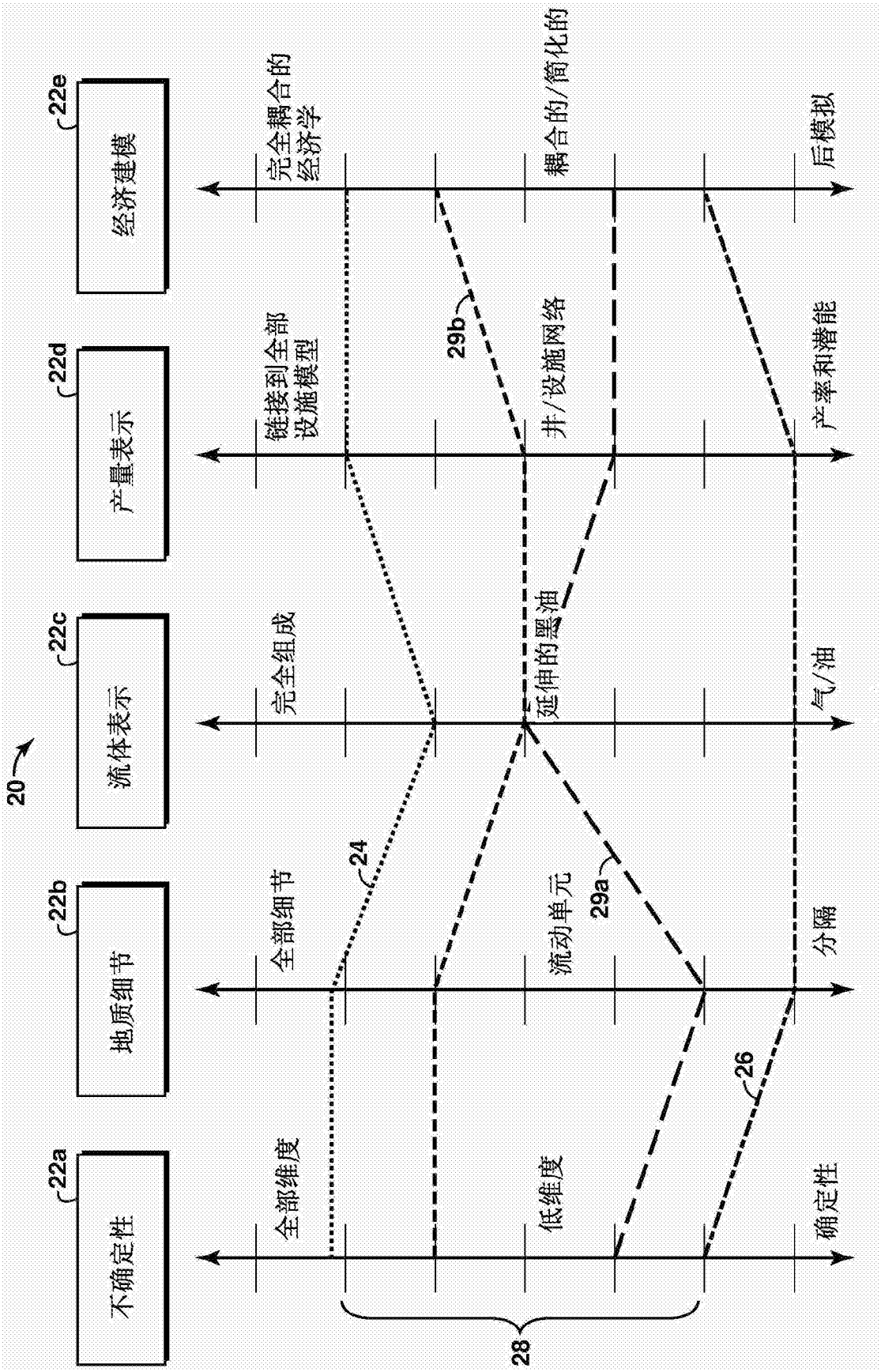

20
22a
不确定性
22b
地质细节
22c
流体表示
22d
产量表示
22e
经济建模
全部维度
全部细节
完全组成
链接到全部设施模型
完全耦合的经济学
低维度
流动单元
延伸的墨油
井/设施网络
耦合的/简化的
确定性
分隔
气/油
产率和潜能
后模拟
24
29a
29b
26
28

图2

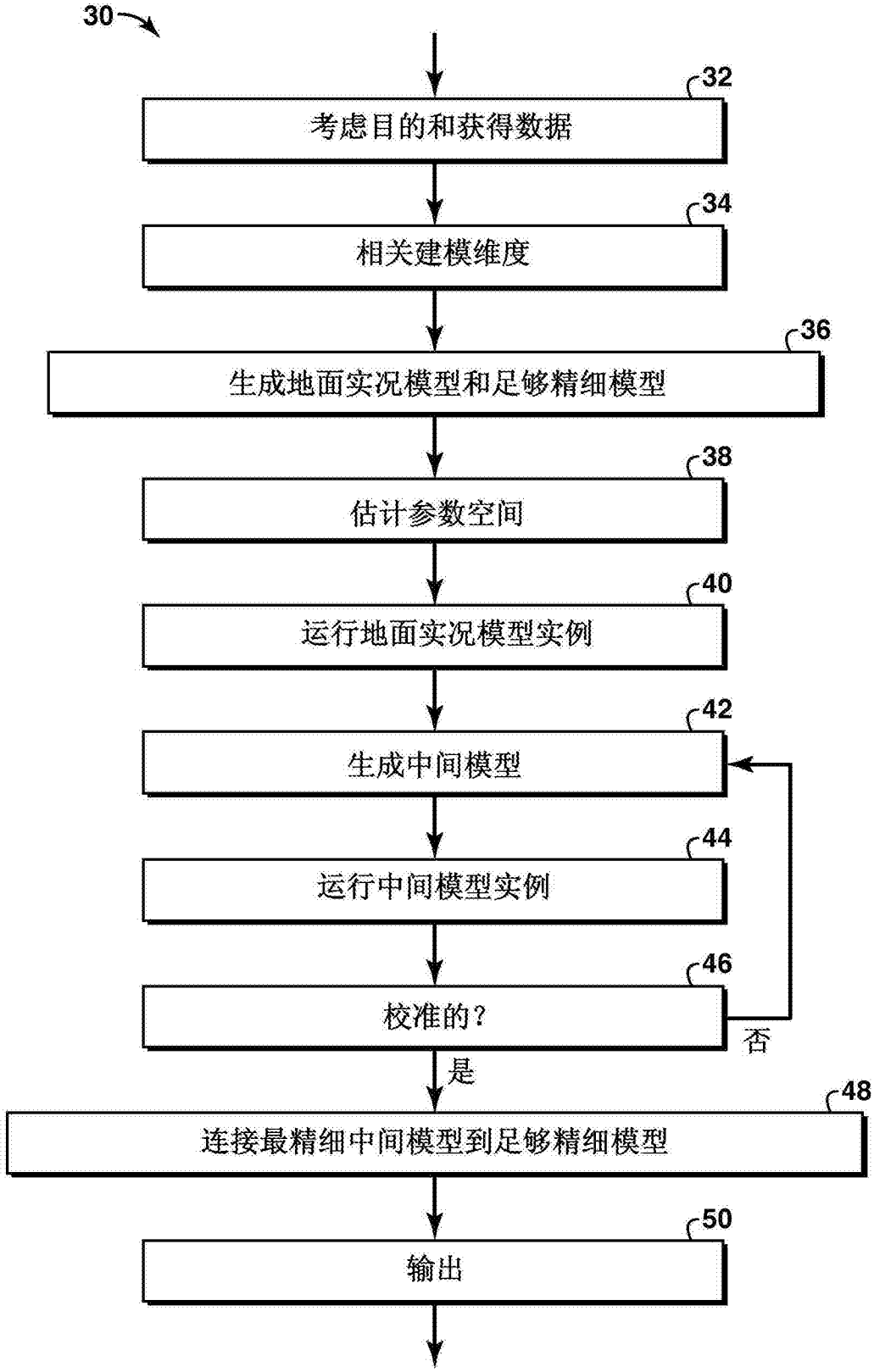

30
32
考虑目的和获得数据
34
相关建模维度
36
生成地面实况模型和足够精细模型
38
估计参数空间
40
运行地面实况模型实例
42
生成中间模型
44
运行中间模型实例
46
校准的？
否
是
48
连接最精细中间模型到足够精细模型
50
输出

图3

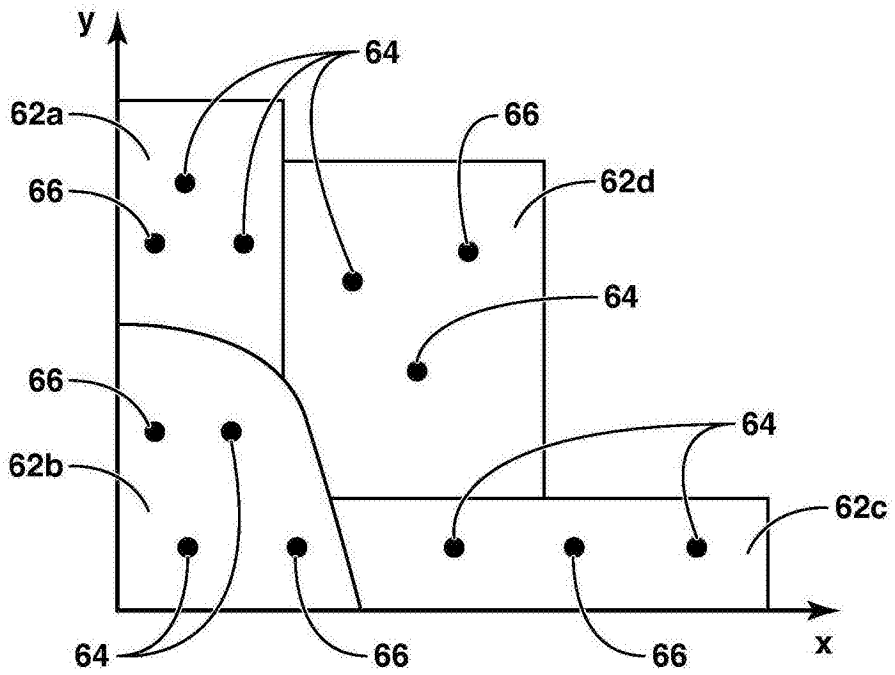

y
64
62a
66
66
62d
64
66
64
62b
62c
64
66
66
x

图4

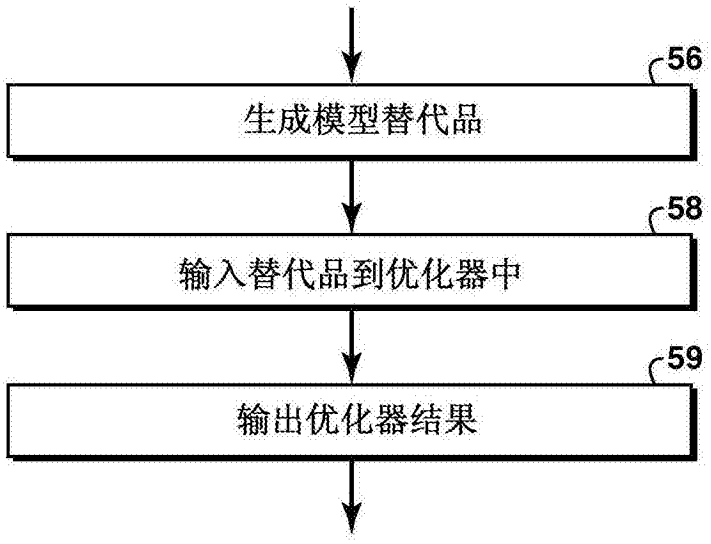

56
生成模型替代品
58
输入替代品到优化器中
59
输出优化器结果

图5

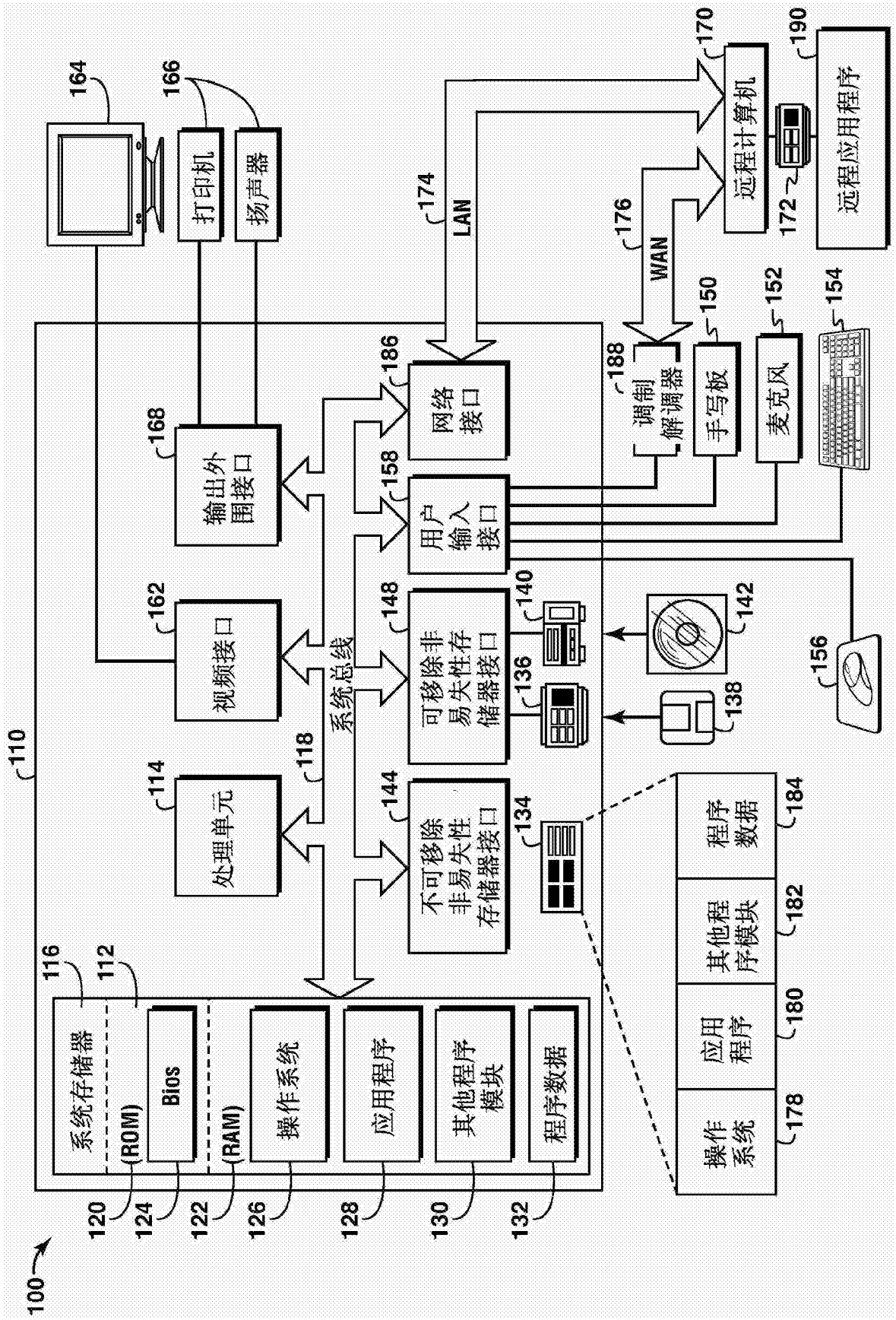

100
110
系统存储器
(ROM)
Bios
(RAM)
操作系统
应用程序
其他程序模块
程序数据
120
124
122
126
128
130
132
112
116
处理单元
114
118
系统总线
视频接口
162
输出外围接口
168
网络接口
186
用户输入接口
158
可移除非易失性存储器接口
148
不可移除非易失性存储器接口
144
140
136
134
142
138
156
154
152
150
188
调制解调器
手写板
麦克风
LAN
174
WAN
176
远程计算机
170
172
远程应用程序
190
操作系统
178
应用程序
180
其他程序模块
182
程序数据
184
164
打印机
166
扬声器

图6

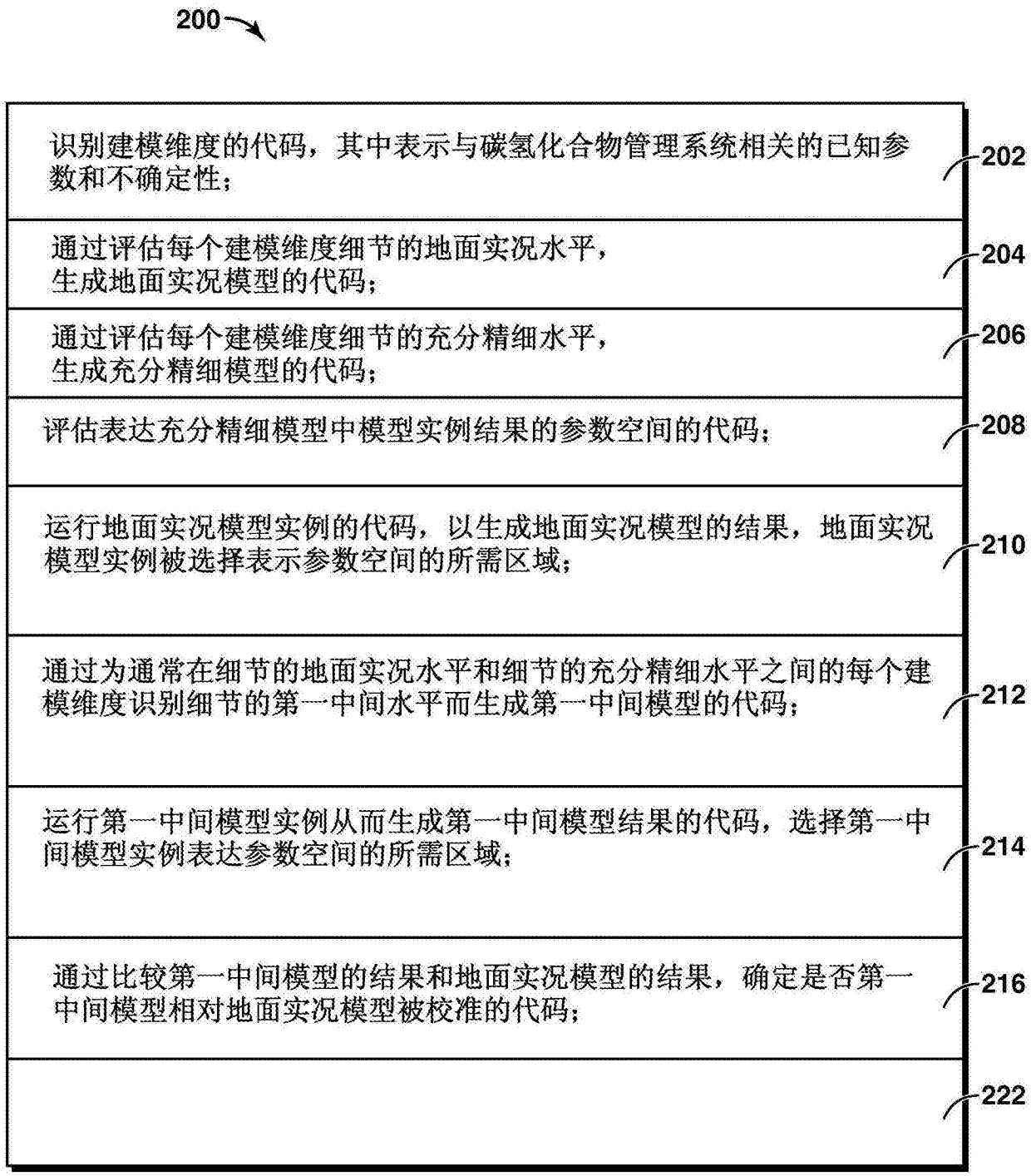

200
识别建模维度的代码，其中表示与碳氢化合物管理系统相关的已知参数和不确定性；
202
通过评估每个建模维度细节的地面实况水平，生成地面实况模型的代码；
204
通过评估每个建模维度细节的充分精细水平，生成充分精细模型的代码；
206
评估表达充分精细模型中模型实例结果的参数空间的代码；
208
运行地面实况模型实例的代码，以生成地面实况模型的结果，地面实况模型实例被选择表示参数空间的所需区域；
210
通过为通常在细节的地面实况水平和细节的充分精细水平之间的每个建模维度识别细节的第一中间水平而生成第一中间模型的代码；
212
运行第一中间模型实例从而生成第一中间模型结果的代码，选择第一中间模型实例表达参数空间的所需区域；
214
通过比较第一中间模型的结果和地面实况模型的结果，确定是否第一中间模型相对地面实况模型被校准的代码；
216
222

图7A

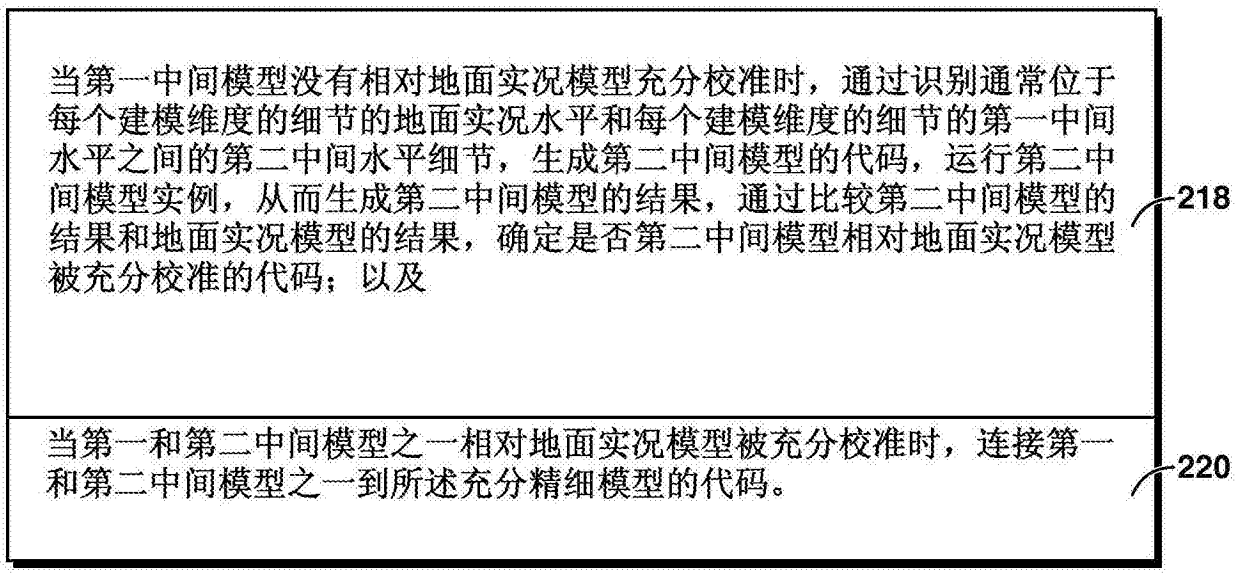

当第一中间模型没有相对地面实况模型充分校准时，通过识别通常位于每个建模维度的细节的地面实况水平和每个建模维度的细节的第一中间水平之间的第二中间水平细节，生成第二中间模型的代码，运行第二中间模型实例，从而生成第二中间模型的结果，通过比较第二中间模型的结果和地面实况模型的结果，确定是否第二中间模型相对地面实况模型被充分校准的代码；以及
218
当第一和第二中间模型之一相对地面实况模型被充分校准时，连接第一和第二中间模型之一到所述充分精细模型的代码。
220

图7B

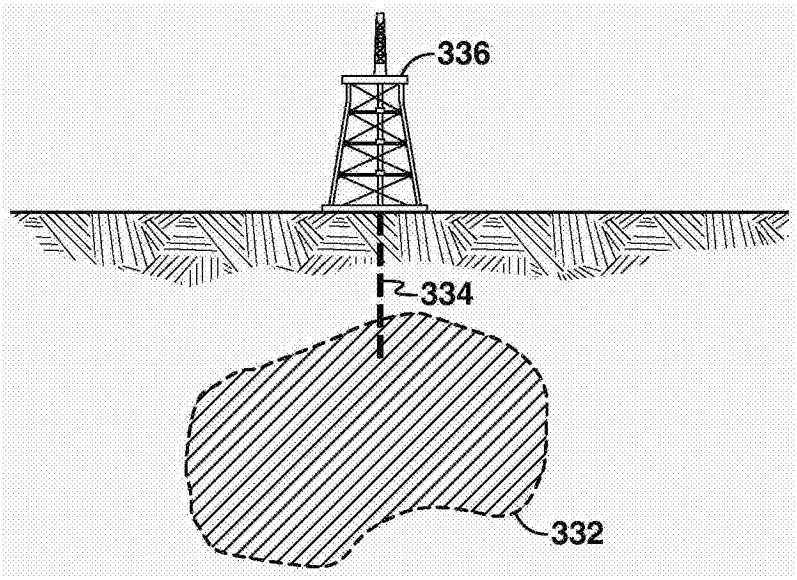

336
334
332

图8

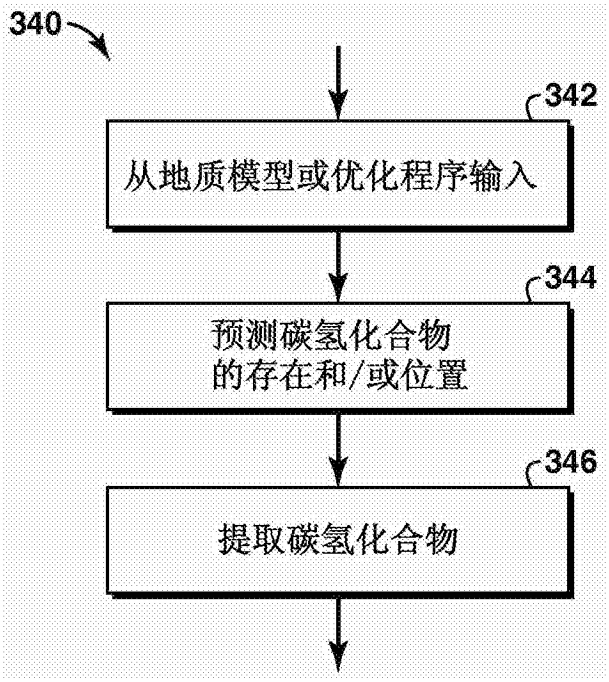


图9