

(19) 中华人民共和国国家知识产权局



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103392054 A

(43) 申请公布日 2013.11.13

(21) 申请号 201180068397.2

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2011.02.23

E21B 43/26 (2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

2013. 08. 23

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2011/025800 2011.02.23

(87) PCT申请的公布数据

WO2012/115630 EN 2012 08 30

(71) 申请人 兰德马克绘图国际公司

地址 美国得克萨斯州

(72) 发明人 马歇尔·A·斯特罗贝尔

古斯塔沃·卡瓦雅尔

迈克尔·斯戴妮

(74)专利代理机构 隆天国际知识产权代理有限公司

公司 72003

代理人 全鹏

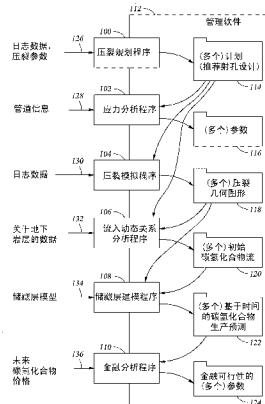
权利要求书3页 说明书12页 附图6页

(54) 发明名称

## 确定可行的水力压裂方案的方法和系统

### (57) 摘要

确定可行的水力压裂方案。至少一些示例性实施例包括：执行压裂规划程序，并基于压裂规划程序确定计划的集合，每一个计划均包括压裂液的体积、支撑剂的量以及压裂液的流量；将所述计划的集合中每一个计划提供至应力分析程序，执行所述应力分析程序，并基于所述应力分析程序确定指示的集合，每一个指示分别指示各计划是否超过了管柱的工程限制；以及将所述计划中的至少一些计划提供至压裂模拟程序，执行所述压裂模拟程序，并基于所述压裂模拟程序确定压裂几何形状的集合，每一个压裂几何形状分别对应于各计划。



1. 一种方法,包括:

确定针对地下岩层的可行水力压裂方案的集合,所述确定通过如下步骤进行:

提供关于水力压裂的日志数据和参数,所述提供是提供至压裂规划程序;

将所述日志数据提供给压裂模拟程序;

将关于管柱的信息提供给应力分析程序;

由用户启动管理软件,所述管理软件执行所述压裂规划程序、压裂模拟程序以及应力分析程序,并且所述管理软件从多个水力压裂方案中确定水力压裂方案,并且所述管理软件形成可用的可行水力压裂方案的集合。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,在每一个提供步骤中提供还包括由所述用户进行提供。

3. 根据权利要求1所述的方法,还包括:

将关于所述地下岩层的数据提供给流入动态关系(IPR)分析程序;并且

其中所述管理软件执行所述IPR分析程序,并且所述管理软件产生预期的初始碳氢化合物生产流的集合,每一个预期的初始碳氢化合物生产流分别对应于所述可行水力压裂方案的集合中的各水力压裂方案。

4. 根据权利要求3所述的方法,其中,提供关于所述地下岩层的数据还包括由所述用户进行提供。

5. 根据权利要求3所述的方法,还包括:

将关于所述地下岩层的数据提供给储藏层建模程序;

其中,所述管理软件执行所述储藏层建模程序,并且所述管理软件产生随时间变化的预期碳氢化合物生产流的集合,每一个随时间变化的预期碳氢化合物生产流分别对应于所述预期的初始碳氢化合物的集合中的各初始碳氢化合物流。

6. 根据权利要求5所述的方法,其中,提供关于所述地下岩层的数据还包括由所述用户进行提供。

7. 根据权利要求5所述的方法,还包括:

将关于每单位的预期未来价格的数据提供给金融分析程序;

其中,所述管理软件执行所述金融分析程序,并且所述管理软件产生金融可行性指示的集合,每一个金融可行性指示分别对应于所述随时间变化的预期碳氢化合物生产流的集合中的各预期碳氢化合物生产流。

8. 根据权利要求7所述的方法,其中,在所述金融可行性指示的集合中每一个金融可行性指示是从由净现值、投资回报组成的组中选出的至少一个。

9. 根据权利要求7所述的方法,其中,提供关于预期的未来价格的数据还包括由所述用户进行提供。

10. 一种计算机系统,包括:

处理器;以及

存储器,耦接至所述处理器;

其中,所述存储器存储有程序,当被所述处理器执行时,所述程序使得所述处理器:

执行压裂规划程序,并基于所述压裂规划程序确定计划的集合,每一个计划均包括压裂液的体积、支撑剂的量以及压裂液的流量;

将所述计划的集合中每一个计划提供至管柱应力分析程序,执行所述应力分析程序,并基于所述应力分析程序确定指示的集合,每一个指示分别指示各计划是否超过了所述管柱的工程限制;以及

将所述计划中的至少一些计划提供至压裂模拟程序,执行所述压裂模拟程序,并确定压裂几何形状的集合,每一个压裂几何形状分别对应于各计划。

11. 根据权利要求 10 所述的计算机系统,其中,当所述处理器将所述计划中的至少一些计划提供至所述压裂模拟程序时,所述程序还使得所述处理器提供具有如下各指示的计划:使用该计划的参数执行压裂将不会使所述工程限制被超过的指示。

12. 根据权利要求 10 所述的计算机系统,其中,所述程序还使得所述处理器:

将来自压裂几何形状的集合中的至少一些压裂几何形状提供至流入动态关系(IPR)分析程序:

执行所述 IPR 分析程序;以及

基于所述 IPR 分析程序确定初始碳氢化合物物流的集合,所述初始碳氢化合物物流的集合中每一个初始碳氢化合物物流分别对应于各压裂几何形状。

13. 根据权利要求 12 所述的计算机系统,其中,所述程序还使得所述处理器:

将所述初始碳氢化合物物流的集合中至少一些初始碳氢化合物物流提供至储藏层建模程序;

执行所述储藏层建模程序;以及

基于所述储藏层建模程序确定基于时间的预期碳氢化合物物流的集合,所述基于时间的预期碳氢化合物物流的集合中的每一个基于时间的预期碳氢化合物物流分别对应于所述初始碳氢化合物物流的集合中的各初始碳氢化合物物流。

14. 根据权利要求 13 所述的计算机系统,其中,所述程序还使得所述处理器:

将所述基于时间的预期碳氢化合物物流的集合中至少一些基于时间的预期碳氢化合物物流提供至金融分析程序;

执行所述金融分析程序;以及

基于所述金融分析程序确定金融可行性指示的集合,所述金融可行性指示的集合中每一个金融可行性指示分别对应于所述基于时间的预期碳氢化合物物流的集合中的各基于时间的预期碳氢化合物物流。

15. 根据权利要求 14 所述的计算机系统,其中,当所述处理器产生所述金融可行性指示的集合时,所述程序还使得所述处理器产生从由净现值和投资回报组成的组中选出的至少一个。

16. 一种非瞬态计算机可读介质,存储有程序,当被处理器执行时,所述程序使得所述处理器:

执行压裂规划程序,并基于所述压裂规划程序确定计划的集合,每一个计划均包括压裂液的体积、支撑剂的量以及压裂液的流量;

将所述计划的集合中每一个计划提供至应力分析程序,执行所述应力分析程序,并基于所述应力分析程序确定指示的集合,每一个指示分别指示各计划是否超过了管柱的工程限制;以及

将所述计划中的至少一些计划提供至压裂模拟程序,执行所述压裂模拟程序,并基于

所述压裂模拟程序确定压裂几何形状的集合,每一个压裂几何形状分别对应于各计划。

17. 根据权利要求 16 所述的非瞬态计算机可读介质,其中,当所述处理器提供至少一些计划时,所述程序还使得所述处理器提供具有如下各指示的计划:工程限制不会被超过的指示。

18. 根据权利要求 16 所述的非瞬态计算机可读介质,其中,所述程序还使得所述处理器:

将来自压裂几何形状的集合中的至少一些压裂几何形状提供至流入动态关系分析程序;

执行 IPR 分析程序;以及

基于所述 IPR 分析程序确定初始碳氢化合物的集合,所述初始碳氢化合物的集合中每一个初始碳氢化合物分别对应于各压裂几何形状。

19. 根据权利要求 18 所述的非瞬态计算机可读介质,其中,所述程序还使得所述处理器:

将所述初始碳氢化合物的集合中至少一些初始碳氢化合物提供至储藏层建模程序;

执行所述储藏层建模程序;以及

基于所述储藏层建模程序确定基于时间的预期碳氢化合物的集合,所述基于时间的预期碳氢化合物的集合中的每一个基于时间的预期碳氢化合物分别对应于所述初始碳氢化合物的集合中的各初始碳氢化合物。

20. 根据权利要求 19 所述的非瞬态计算机可读介质,其中,所述程序还使得所述处理器:

将所述基于时间的预期碳氢化合物的集合中至少一些基于时间的预期碳氢化合物提供至金融分析程序;

执行所述金融分析程序;以及

基于所述金融分析程序确定金融可行性指示的集合,所述金融可行性指示的集合中每一个金融可行性指示分别对应于所述基于时间的预期碳氢化合物的集合中的各基于时间的预期碳氢化合物。

21. 根据权利要求 20 所述的非瞬态计算机可读介质,其中,当所述处理器产生所述金融可行性指示的集合时,所述程序还使得所述处理器产生从由净现值和投资回报组成的组中选出的至少一个。

## 确定可行的水力压裂方案的方法和系统

- [0001] 相关申请的交叉引用
- [0002] 无

### 背景技术

[0003] 由地下储藏层产出碳氢化合物是一种高度复杂的操作,涉及从使用地震数据的初始探索到关于如何在生产之前的某个时间在钻孔周围执行岩层的水力压裂的决策。本说明书关注后者——关于岩层压裂的决策(有时称作单数形式的“完井(completion)”或复数形式的“完井(completions)”)。

[0004] 负责做出关于完井的决策的工程师有许多软件工具可以使用。然而,这些软件工具各自为营,每一个软件工具均执行将被执行的整个一系列步骤中的特定任务,但是与整个工作流中之前和/或之后使用的软件工具没有沟通或者沟通得不好。为此,选择钻井完井的任务对于工程师而言是非常耗时的任务。实际上,一些专家估计,工程师有大约70%的时间是花在软件工具之间的数据流协调(即,通过不同的软件工具收集、格式化并转换数据以供使用)上。

[0005] 因而,任何进步,只要能缩短工程师用来进行关于完井的选择所需的时间量、能通过将单独的软件工具关联而为工程师提供并不直观的信息、或者能为工程师提供更多数组(broader array)的完井以便从中进行选择,都将提供市场上的竞争优势。

### 附图说明

- [0006] 对于示例实施例的详细描述现在将参照附图,其中:
- [0007] 图1以图示的方式示出根据至少一些实施例的用来进行决策的示例性程序集合;
- [0008] 图2示出了数据绘图以示意至少一些实施例;
- [0009] 图3以方框图的形式示出了至少一些实施例的操作;
- [0010] 图4示出了根据至少一些实施例的方法;
- [0011] 图5示出了根据至少一些实施例的方法;以及
- [0012] 图6示出了根据至少一些实施例的计算机系统。

### 具体实施方式

- [0013] 注释和命名
- [0014] 贯穿以下描述和权利要求使用某些术语来指代特定的系统组件。如本领域技术人员将理解到的,不同的群体可以通过不同的名称来指代组件或动作。本文不是旨在对名称不同但是功能相同的组件或动作之间进行区分。
- [0015] 在如下的讨论中以及在权利要求中,术语“包含”和“包括”以开放形式使用,因而应当被理解为是指“包含但不限于……”。而且,术语“耦接”或“连接”意图指代直接或间接连接。因而,如果第一装置耦接至第二装置,则该连接可以通过直接连接或者通过经由其他装置和连接的间接连接。

[0016] 贯穿说明书和权利要求使用术语“程序”和“软件”。术语“程序”和“软件”中每一个均是指可执行计算机代码、可执行计算机代码集合、或者能够变成或用来创建可执行计算机代码的计算机代码。在该说明书中被称作“程序”的特定组件可以等同地被称作“软件”。类似地，在该说明书中被称作“软件”的特定组件可以等同地被称作“程序”。所采用的术语只是为了帮助读者区分不同的计算机代码（或者计算机代码集合）。

[0017] 详细描述

[0018] 以下的讨论是针对本发明的各个实施例。尽管这些实施例中的一个或多个实施例可能是优选的，然而所公开的实施例不应当被理解为或被用作限制包括权利要求的本公开内容的范围。此外，本领域技术人员将理解，以下的描述具有广泛的应用，并且任何实施例的讨论仅意味着是该实施例的示意，并不是旨在暗示包括权利要求的本公开内容的范围受限于该实施例。

[0019] 各实施例涉及软件工具，该软件工具辅助工程师做出关于将哪种完井应用到特定地下岩层或地下岩层的特定部分的决策。更特别地，各实施例涉及方法、系统和计算机可读介质，该方法、系统和计算机可读介质提高了针对特定地下岩层估计的完井方案的数量，并且可以辅助工程师选择最可行的完井方案，在一些情况下可以辅助工程师选择经济上可行的完井方案。

[0020] 图 1 以图示的方式示出根据至少一些实施例的来进行关于完井的决策的示例性程序集合。特别地，图 1 示出了压裂规划程序 100、应力分析程序 102、压裂模拟程序 104、流入动态关系分析程序 106、数值储藏层建模程序 108、金融分析程序 110 以及管理软件 112。将轮流讨论每一个程序。

[0021] 压裂规划程序 100 是一种应用，该应用将压裂设计原理应用到输入数据集合，从而为建议的压裂创建单个“计划 (schedule)”或计划 114 的集合。压裂规划程序 100 可以采用的输入数据例如是：井日志数据（例如，具有“.las”格式的井日志数据）、建议压裂的要素（例如，流体类型、支撑剂类型）、待被压裂的岩层的渗透率；和 / 或流体效率范围（即，用来创建压裂的流体的体积的指示）。每一个计划 114 均是压裂参数（例如，压裂液的体积、支撑剂的量、以及压裂液应用的流量）的建议集合。在一些情况下，基于单个输入数据集合来产生单个计划，在其他情况下，压裂规划程序 100 针对单个输入数据集合产生多个计划。所产生的计划 114 可以采用任意合适的形式，例如文本文件、使用超文本标记语言 (HTML) 创建的文件、或者以诸如可扩展标记语言 (XML) 之类的预定义架构编码的文件。

[0022] 在特定实施例中，压裂规划程序 100 是基于从德克萨斯州休斯敦的 Halliburton Energy Services（哈里伯顿能源服务）股份有限公司可以获得的在 FracPac-N<sup>SM</sup> 品牌服务中利用的软件。针对 FracPac-N<sup>SM</sup> 品牌服务而使用的软件代码具有基于输入数据中提供的选择流体效率创建多个计划 114 的能力。例如，用户可以提供高和低的效率范围作为一部分输入数据。针对 FracPac-N<sup>SM</sup> 品牌服务而使用的软件代码针对给定的流体体积和具有已知范围的支撑剂产生三个压裂处理结果或计划 114：低效率、支撑剂减少的设计（即，较小的压裂几何形状、布置的支撑剂减少）；低效率、支撑剂增加的设计（即，较小的压裂几何形状、布置的支撑剂增加）；以及高效率、支撑剂增加的设计（即，较大的压裂几何形状、布置的支撑剂增加）。在其他情况下，如果将高和低效率范围设置为相等，则产生三个相同的计划 114（从数据角度看这实际上是单个计划）。也可以等同地使用其他的压裂规划程序。

[0023] 根据至少一些实施例,压裂规划程序 100 还计算关于套管射孔 (perforation) 的数据 (例如,射孔长度、入孔直径)。关于射孔的计算是基于分析压降等式。使用日志参数和岩层流体特性,并且应用射孔表皮压降原理,使得能够计算射孔几何形状,该射孔几何形状能够被提供至流入动态关系分析程序 106。在其他实施例中,能够通过其他独立的设计优化程序来计算射孔几何形状。

[0024] 在示例性系统中的下一个程序是应力分析程序 102。应力分析程序 102 是一种用来基于压力、温度和流量来计算井下管材 (例如,工作柱管、生产管、钻孔套管) 中的应力的程序。更特别地,应力分析程序 102 可以采用关于这些管材的数据 (例如,管材的数量、组合长度以及壁厚度) 作为输入,通过这些管材将发生建议的压裂。应力分析程序 102 针对每一个建议压裂计划 114 产生关于建议压裂计划 114 的流体和 / 或压力 (与其他数据结合,比如预期的井下温度) 是否超过管柱的工程限制的指示 116。换句话说,应力分析程序预测管柱是否能够对于建议计划 114 处理压裂液的压力和 / 或流量而不会出灾难性的故障。结果就是,如果应力分析程序 102 对于特定计划 104 预测故障,则该计划并不是可行的水力压裂方案。在一些情况下,应力分析程序 102 采用单个计划 114(以及其他数据),并产生关于流体和 / 或压力是否超过工程限制的单个指示 116。在这种情况下,可以多次调用应力分析程序 102 来针对对应的计划 114 集合创建指示 116 的集合。在其他情况下,应力分析程序 102 可以在单次调用中接收多个计划 114,因而产生与计划 114 的集合中每一个计划相对应的指示 116 的集合。该指示或指示 116 的集合可以采用任意合适的形式,例如,文本文件、HTML 文件、或 XML 文件。在继续描述之前,应当注意,尽管示例性的图 1 讨论了以特定顺序调用程序,然而该顺序也可以等同地变化。例如,该应力分析程序可以在压裂模拟程序之后被实施。

[0025] 在特定实施例中,应力分析程序 102 是从德克萨斯州休斯敦的 Landmark Graphics Corporation (兰德马克图文公司) 可以获得的 WELLCAT™ 品牌程序。该 WELLCAT™ 品牌程序是用来针对钻孔创建和从钻孔产出碳氢化合物的各种阶段执行工程分析的一套程序。组件的一个示例是“PROD”设计模块。PROD 设计模块模拟完井、生产、模拟、测试和井维护操作期间的流体和热转移。该软件使得能够针对单个阶段和多个流程进行瞬态 (transient) 和稳态 (steady-state) 分析。WELLCAT™ 品牌程序内组件的另一个示例是已知为“TUBE”设计模块的用来针对管材执行应力分析的组件。该 TUBE 设计模块在有标准和自动负载情况下产生的复杂机械、流体压力和热负载条件下分析管道负载和运动、屈曲 (buckling) 行为以及设计完整性 (design integrity)。该 TUBE 设计模块提供与 PROD 设计模块相关联的分析。例如,WELLCAT™ 品牌程序的 TUBE 设计模块考虑预期的井下温度以及管材内的压力,并且能够预测故障,例如管道崩塌、屈曲、三维 (Von Mises (冯米塞斯)) 应力故障、轴向应力故障、以及屈服强度限制故障。也可以等同地使用其他应力分析程序。

[0026] 在该示例性系统的下一个程序是压裂模拟程序 104。该压裂模拟程序 104 可以采用的输入数据例如是 :待被压裂的岩层的岩石特性 (例如,杨氏模量、渗透率分布);在压裂将发生的区域中钻孔的长度和取向;和 / 或由压裂规划程序 100 产生的一个或多个计划 114。压裂模拟程序基于所提供的数据来模拟或估计被称作“压裂几何形状”的每一个建议压裂方案的物理范围和尺寸。也就是说,压裂模拟程序 104 可以估计在每一个计划 114 中所建议的条件下创建的压裂的长度、度和高度,并且产生用来指示能够被预测的三维压裂

几何形状的输出数据。在一些情况下,该压裂模拟程序 104 采用单个计划 114(以及其他数据),并产生压裂几何形状 116。在这种情况下,可以多次调用压裂分析程序 104 来针对对应的计划 114 的集合创建压裂几何形状 118 的集合。在其他情况下,压裂分析程序 104 可以在单次调用中接收多个计划 114,因而产生与计划 114 的集合中每一个计划相对应的压裂几何形状 118 的集合。该压裂几何形状或者压裂几何形状 118 的集合可以采用任意合适的形式,例如,栅格文本文件(例如电子制表)、TML 文件或 XML 文件。

[0027] 在特定实施例中,压裂模拟程序 104 是从俄克拉荷马州塔尔萨的 NSI 技术股份有限公司可以获得的 STIMPLAN™ 品牌程序。其他可以等同使用的压裂模拟程序 104 包括从德克萨斯州休斯敦的 Carbo Ceramics 可以获得的 FRACPRO PT™ 品牌程序以及从德克萨斯州休斯敦的 Barree&Associates 有限责任公司可以获得的 GOHFER™ 品牌程序。

[0028] 流入动态关系 (Inflow performance relationship, IPR) 分析程序 106 是一种通过考虑在从储藏层到表面设施的整个井眼 (wellbore) 系统中的压降来估计在表面条件下初始碳氢化合物流量的程序。该压降和流量可能受到诸如由管柱造成的对于流体的限制之类的因素的影响。该 IPR 分析程序创建了初始碳氢化合物物流值或初始碳氢化合物物流值 120 的集合。IPR 分析程序 106 可以采用的输入数据例如是:射孔几何形状;压裂几何形状;建议的套管射孔信息;管道尺寸;和 / 或管道长度。每一个碳氢化合物物流值 120 均是基于程序中垂直举升流动动态 (Vertical Lift Performance, VLP) 相互关系的地面上碳氢化合物物流(例如,油流、天然气流)的估计。在一些情况下,压裂模拟程序 104 采用单个压裂几何形状 118(以及其他数据),并且产生单个初始碳氢化合物物流 120。在这种情况下,可以多次调用 IPR 分析程序来针对对应的压裂几何形状 118 的集合创建初始碳氢化合物物流 118 的集合。在其他情况下,IPR 分析程序 106 可以在单次调用中接收多个压裂几何形状 118,因而产生与压裂几何形状 118 的集合中每一个压裂几何形状分别相对应的初始碳氢化合物物流值 120 的集合。该初始碳氢化合物物流值 120 的集合可以采用任意合适的形式,例如文本文件、HTML 文件或 XML 文件。在特定情况下,通过能够使得其他程序直接“到达”IPR 分析程序 106 并提取类似于 VLP 表格和生产操作点之类的期望数据的应用编程接口 (API),IPR 分析程序 106 可以使得能够更直接地访问初始碳氢化合物物流值 120 的集合。

[0029] 在特定实施例中,IPR 分析程序 106 是从英国苏格兰爱丁堡的 Petroleum Expert 有限责任公司能够获得的 Prosper™ 品牌软件。能够被等同地使用的其他流入动态关系分析程序包括:从德克萨斯州休斯敦的 P. E. Moseley & Associates 股份有限公司可以获得的井估计模型 (Well Evaluation Model, WEM) 软件;从德克萨斯州休斯敦的 Schlumberger 有限责任公司可以获得的 Pipesim™ 品牌软件;以及从英国苏格兰爱丁堡的 Weatherford International 有限责任公司可以获得的 Wellflo™ 品牌软件。

[0030] 数值储藏层建模程序 108 是如下的程序:其考虑初始碳氢化合物的多流流量建模或估计来自地下岩层的基于时间的碳氢化合物物流(即,建模或估计多个月份或多个年份的碳氢化合物物流),因而创建单个基于时间的碳氢化合物生产流或基于时间的碳氢化合物生产流 122 的集合。储藏层建模程序 108 可以采用的输入数据例如是:压裂几何形状;初始碳氢化合物物流;以及储藏层模型(例如,地理细胞储藏层、结构性地理框架、具有逐层岩层特性的井日志数据、和 / 或来自岩层中其他碳氢化合物生产钻孔的岩层数据)。在一些情况下,该储藏层模建模程序 108 采用单个压裂几何形状 118、相关的初始碳氢化合物物流 120 并

产生单个基于时间的碳氢化合物生产流 122。在这些情况下,可以多次调用储藏层建模程序 108 以针对对应的压裂几何形状 118 的多个集合和各初始碳氢化合物流量 120 来创建基于时间的碳氢化合物生产流 122 的集合。在其他情况下,储藏层建模程序 108 可以在单次调用中接收多个压裂几何形状 118 和各多个初始碳氢化合物流 120,因而产生与每一个压裂几何形状和初始碳氢化合物流对应的基于时间的碳氢化合物生产流 122 的集合。该基于时间的碳氢化合物生产流 122 的集合可以采用任意合适的形式,例如,文本文、HTML 文件或 XML 文件。

[0031] 在特定实施例中,储藏层建模程序 108 是 Halliburton Energy Services 使用的 QuickLook™ 品牌产品。也可以等同地使用其他储藏层模拟程序,例如,从兰德马克图文公司可以获得的 Nexus® 品牌软件,或者从 Schlumberger 有限责任公司可以获得的 ECLIPSE™ 品牌软件。

[0032] 金融分析程序 110 不仅仅考虑建议完井的成本(而且在一些情况下还有基于时间的考虑(即,金钱的时间价值),二者均属于用来执行建议完井的支出)来分析建议完井的金融可行性(financial viability),因而创建单个金融可行性指示或者金融可行性指示 124 的集合。该金融分析程序 110 可以采用的输入数据例如是:基于时间的碳氢化合物生产流 122;计划 114;每一个计划的每一个步骤所需时间的指示;每一个计划的每一个步骤的成本;围绕完井的操作的日常成本(例如,钻机成本、日常开支);和/或预测的随时间变化的碳氢化合物市场价值。在一些情况中,金融分析程序 110 分析单个建议完井(即,单个计划以及单个基于时间的碳氢化合物生产流),并产生单个金融可行性指示 124。在这种情况下,可以多次调用金融分析程序 110 来针对对应的计划 114 的集合和各基于时间的碳氢化合物生产流 122 创建金融可行性的指示 124 的集合。在其他情况下,金融分析程序 110 可以在单次调用中接收多个计划 114 和各多个基于时间的碳氢化合物生产流 122,因而产生与每一个完井相对应的金融可行性的指示 124 的集合。该金融可行性的指示 124 的集合可以采用任意合适的形式,例如栅格文本文件(例如,电子制表)、HTML 文件或 XML 文件。在特定实施例中,金融分析程序 110 可以是作为 Microsoft® Office® 系列程序的一部分的 Excel® 品牌软件,其可以从华盛顿霍德蒙德的微软公司获得。从兰德马克图文公司可以获得的 ARIES™ 品牌程序是金融分析程序的另一示例。也可以等同地使用其他金融分析程序。

[0033] 在相关技术中,负责选择待实施的特定完井的工程师分别地与以上讨论的示例性程序中的每一个交互以实现单个完井。然而,该交互尤其是程序之间的数据移动是耗时的任务。更特别地,每一个程序 100-110 可以不仅产生期望的信息,而且还可以产生过多的附加信息,这些过多的附加信息尽管从某种意义上说是有用的,然而并不是在工作流的下游程序必然要使用的。例如,IPR 分析程序 106 可能明显地产生比仅是地面处的初始碳氢化合物流更多的信息。IPR 分析程序可能产生附加数据,例如,在流系统的每一个点或结点处的压降以及关于在流系统每一个结点处的液体和夹带气体的相对浓度的指示,这只是列举了一些。尽管这些信息最终可能是有用的,然而对于确定或选择待实施的完井这一目的来说,并不必然需要这些信息,例如,金融分析程序 110 并不必然需要这些信息。因而,工程师先前从事的是针对工作流的下一个阶段提取和格式化信息的耗时任务。由于为了在分析步骤之间的移动而提取和格式化数据涉及到的工作,因而,实现相关技术的工程师可能只能估计少量的建议完井(例如,三个)。

[0034] 根据各种实施例,与调用每一个程序 100-110 以及在程序之间移动数据相关联的任务是通过管理软件 112 来处理的。在特定实施例中,工程师为程序 100-110 提供或产生可用的某些“静态”数据,之后管理软件 112 调用每一个程序,解析数据,将解析后的数据传递至下一个程序,并自动调用下一个程序。更特别地,该工程师可以向压裂规划程序 100 提供(如线 126 所示)日志数据(例如,“.las”格式的日志数据)以及关于水力压裂的参数(例如,流体类型、支撑剂)。工程师可以向应力分析程序 102 提供(如线 128 所示)关于管柱(通过该管柱将发生压裂)的信息。工程师可以向压裂模拟程序 104 提供(如线 130 所示)日志数据。工程师可以向 IPR 分析程序 106 提供(如线 132 所示)关于地下岩层的数据(例如,岩石类型、渗透率、碳氢化合物饱和度)。工程师可以向储藏层建模程序 108 提供(如线 134 所示)大规模的地理细胞储藏层模型,其中,储藏层建模程序 108 基于该模型来模拟经过储藏层的碳氢化合物运动。工程师可以向金融分析程序 110 提供(如线 136 所示)关于每一碳氢化合物单位的预期未来价格的数据(例如,每桶的价格、银行利率)。由工程师提供的各种“静态”数据仅是示例性的,也可以等同地提供其他的静态数据。例如,工程师可以提供的其他“静态”数据可以包括:岩层的渗透率;在岩层内渗透率各向异性的指示;待被压裂的岩层的孔隙率;岩层含水饱和度的指示;待被压裂的岩层的杨氏模量;岩层中水平应力的指示;底孔(bottom hole)压力;底孔温度;临界降深(draw down)(即,储藏层压力的极限减去由于流体造成的井眼/储藏层界面压降处的储藏层流动压力)、储藏层的排水面积;和/或压裂流体特性(例如,非牛顿流体特性)。

[0035] 一旦提供了静态数据,则工程师可以调用管理软件 112。该管理软件 112 配置为执行工作流以估计建议的完井,包括以期望的顺序调用各程序 100-110,解析每一个程序 100-110 提供的数据,并将解析后的数据传递至工作流中的下一个程序。仍然参照图 1,管理软件 112 可以调用压裂规划程序 100 来产生计划 114 的集合。在一些情况下,计划 114 是直接产生的,而在其他情况下,管理软件 112 配置为解析由压裂规划程序 100 产生的数据来提取数据从而产生计划 114。在压裂规划程序 100 产生单个计划或者产生数据(基于该数据能够提取单个计划 114)的情况下,管理软件 112 可以多次调用压裂规划程序 100 以产生计划 114 的集合。

[0036] 然后,管理软件 112 可以为应力分析程序 102 提供或形成可用的计划 114 的集合,然后自动调用应力分析程序 102 以产生指示或参数 116。在一些情况下,指示 114 是直接产生的,在另一些情况下,管理软件 112 配置为解析由应力分析程序 102 产生的数据来提取该数据从而产生指示 116。在应力分析程序 102 产生单个指示或者产生数据(基于该数据能够提取单个指示)的情况下,管理软件 112 可多次调用应力分析程序 102 以产生指示 114 的集合。

[0037] 然后,管理软件 112 可以为压裂模拟程序 104 提供或形成可用的参数 116 的集合,然后调用压裂模拟程序 104 以产生压裂几何形状 118。在特定实施例中,管理软件 112 可以从计划 114 的集合中剔除任意这样一些计划,这些计划的各个指示 116 指示该计划具有超过管柱(经由该管柱将发生建议压裂)的工程限制的体积、流量和/或压力。在一些情况下,由压裂模拟程序 104 直接产生压裂几何形状 118,在其他情况下,管理软件 112 配置为解析由压裂模拟程序 104 产生的数据来提取该数据从而产生压裂几何形状 118。在压裂模拟程序 104 产生单个压裂几何形状或者产生数据(基于该数据能够提取单个压裂几何形状)

的情况下,管理软件 112 可以多次调用压裂模拟程序 104 以产生压裂几何形状 118 的集合。

[0038] 然后,管理软件 112 可以为 IPR 分析程序 106 提供或形成可用的压裂几何形状 118 的集合,然后自动调用 IPR 分析程序 106 以产生初始碳氢化合物流 120。在一些情况下,初始碳氢化合物流 120 是由 IPR 分析程序 106 直接产生的,在其他情况下,管理软件 112 配置为解析由 IPR 分析程序 106 产生的数据来提取该数据从而产生初始碳氢化合物流 120。在 IPR 分析程序 106 产生单个初始碳氢化合物流或产生数据(基于该数据能够提取单个碳氢化合物流)的情况下,管理软件 112 可以多次调用 IPR 分析程序 106 来产生初始碳氢化合物流 120 的集合。

[0039] 然后,管理软件 112 可以为储藏层建模程序 108 提供或形成可用的初始碳氢化合物流 120 的集合以及压裂几何形状 118 的集合,然后调用储藏层建模程序 108 来产生基于时间的碳氢化合物生产预测 122。在一些情况下,基于时间的碳氢化合物生产预测 122 由储藏层建模程序 108 直接产生,在其他情况下,管理软件 112 配置为解析由储藏层建模程序 108 产生的数据来提取该数据从而产生基于时间的碳氢化合物生产流 122。在储藏层建模程序 108 产生单个基于时间的碳氢化合物生产流或者产生数据(基于该数据能够提取单个基于时间的碳氢化合物生产流)的情况下,管理软件 112 可以多次调用储藏层建模程序 108 来产生基于时间的碳氢化合物生产流 122 的集合。

[0040] 然后,管理软件 112 可以提供或形成可用的基于时间的碳氢化合物生产预测 122 的集合,然后调用金融分析程序 110 来产生金融可行性的指示或参数 124。在一些情况下,金融可行性的参数 124 由金融分析程序 110 直接产生,在其他情况下,管理软件 112 配置为解析由金融分析程序 110 产生的数据来提取该数据从而产生金融可行性的参数 124。在金融分析程序 110 产生单个金融可行性参数的情况下,该管理软件 112 可以多次调用金融分析程序 110 来产生金融可行性参数 124 的集合。

[0041] 在一些实施例中,然后,管理软件 112 可以向工程师提供金融可行性的参数 124,该工程师可以基于该金融可行性的参数 124 来选择完井。因为与使用管理软件 112 来协调各程序 100-110 之间的工作流相关联地节省了时间,因而,与工程师手动控制程序 100-110 之间的一些或全部工作流的情况相比,工程师能够估计明显更大数量的可能完井。例如,在与仅有三个建议完井能够被估计而没有管理软件 112 协助的相同时间段中,工程师可能能够估计三千(3000)或更多建议的完井。应当注意,“估计”不需要严格地开动(turn on)具有金融可行性指示的建议完井,建议超过管道的工程限制的压裂参数的计划(即,那些基于来自应力分析程序 102 的参数 116 被拒绝的计划)仍然被考虑加以估计。

[0042] 在一些实施例中,金融可行性的参数可以是净现值(net present value, NPV)或净现价(net present worth, NPW)的指示。净现值是基于各自均被调整为“现时值”(即,考虑了金钱的时间价值,但是也可以对于未来的日期计算“现时”值)的预期资本支出的时机和大小、以及收入的时机和大小而创建的数值。因而,对于净现值形式的金融可行性指示的集合而言,工程师可以选择净现值更有利的完井,或者选择其净现值在井的生命期中更早转为正的完井。在一些情况下,选择具有最大净现值或最早为正的净现值的建议完井,但是在其他情况下,也可以选择净现值不太有利的完井(例如,最高的净现值可能来自金融风险较大的完井,比如需要具有较高的预先支出的专有井下工具的大规模水力压裂处理)。

[0043] 图 2 示出了示意性图形,包括金融可行性的参数,还包括底层数据,基于该底层数

据可以计算金融可行性的参数。特别地,图 2 通过竖条的形式示出了针对钻井和来自假设钻孔的生产的现金流(针对左边的垂直轴绘制)。在该示例中,对于开始的六个月而言,现金流是负的,最大的支出是在第一个月的现金支出 200 和在第六个月 202 的现金支出 202。第一个月的现金支出 200 最有可能指示钻机和相关设备的配备成本,而在第六个月的现金支出 202 与完井成本相关联。一旦假设钻孔开始在第七个月产出碳氢化合物,则现金流变为正,从现金进入流 206 开始。之后,现金进入流(线 204)直接与累计的碳氢化合物产量成比例。图 2 还示出了一系列的净现值指示,由三角形指示每一个净现值,这些净现值与来自线 208 的净现值指示一起被考虑。每一个示意性的净现值指示代表那个时间段的净“现时”值。在仅有现金支出出现的时间段期间,净现值线的趋势向下(区段 210)。然而,在产出碳氢化合物之后的时间段期间,净现值线的趋势向上(区段 212)。在图 2 的示意性情况下,净现值在月份 27 变为正的,并且在之后的月份里渐进地达到它的最终值。

[0044] 因而,可以被估计的一个示例性金融可行性参数是净现值变为正的月份,其中第一个正的净现值越早的完井越理想。在其他情况下,可以被估计的金融可行性的指示是在估计的生命期中最高的净现值。因而,即使特定的完井可能导致第一个正的净现值出现的时间段更靠后,但完井的长期价值可能更高,因而可以被选择为实际被实施的完井。

[0045] 在其他实施例中,金融可行性的参数可以是投资回报(return on investment, ROI)或回报率(rate of return, ROR)的指示。投资回报是将收益或损失的金钱与投资的金钱量关联起来的数值。因而,对于投资回报形式的金融可行性参数的集合而言,工程师可以选择具有更有利的投资回报的完井。在一些情况下,选择具有最大投资回报的建议完井,而在其他情况下,可以基于其他的考虑(一些情况下是非金钱考虑)来选择具有较不利的净现值的完井。

[0046] 就此点讨论的各种实施例是基于执行开环意义上的工作流的管理软件 112。也就是说,该工作流开始并继续直到结束,结束时呈现结果。然而,在进一步的实施例中,管理软件 112 可以重复一些或全部工作流来估计目标功能。例如,在特定实施例中,管理软件 112 执行工作流多次直到金融可行性参数的集合达到预定标准。也就是说,管理软件自身可以估计金融可行性的参数 124 以及目标功能,而且如果该参数没有满足预定标准或者如果这些参数中足够多的参数没有满足预定标准,则管理软件 112 可以再次执行一些或全部的工作流。在一些情况下,管理软件 112 可以从压裂规划程序 100 开始再次执行工作流,但使用的是经过调节的参数集合(例如,不同的压裂液、不同的效率变量)。在其他实施例中,管理软件 112 可以在任意合适的点恢复工作流,例如,在应力分析程序 102 恢复工作流(例如,基于关于管柱的变化后的参数,经由该管柱将把压裂液泵入钻孔中)。在这种情况下,管理软件 112 可以有效地估计数千个可能的建议完井时产生最有利的单个完井的指示,或者产生一小组的建议完井。在特定实施例中,管理软件是从兰德马克图文公司可以获得的 AssetConnect™ 品牌软件。该 AssetConnect™ 品牌软件能够使用优化的程式(routine),例如,拉丁超立方采样、优化的拉丁超立方采样、正交阵列采样、和 / 或参数研究采样,以帮助生成和 / 或估计一个或多个目标功能,从而得到单个或一小组的建议完井。也可以等同地使用其他具有类似功能而且可以被配置以如本文讨论的那样运行的软件。

[0047] 图 1 示出的工作流是隐含地基于钻孔中的单个压裂区域,并且以图 1 的形式呈现以同时显示示例工作流、工程师与各程序的示例性交互、以及各程序 100-110 与管理软件

112 的交互。然而,示例性图 1 的呈现方式对于一些实施例中提供的功能性等级并不明确。在特定实施例中,由管理软件 112 精细组织的工作流不仅包括对于单个压裂区域进行估计,而且还包括估计相同钻孔中跨越多个压裂区域的完井类型。

[0048] 图 3 示出了框图来示意根据具有多个区域(在该示例中是三个区域)的实施例的由管理软件 112 精细组织的工作流。特别地,图 3 示出了井日志 300,该井日志示意能够被提供给压裂规划程序 100 的参数的集合。也可以提供其他参数。压裂规划程序 100 可以基于井日志和其他数据产生计划,并且如图所示,压裂规划程序 100 针对各区域产生计划 302、304 和 306。管理软件 112 基于计划 302、304 和 306 调用压裂模拟程序 104 来创建各压裂几何形状 308、310 和 312。尽管没有明确示出,然而在针对特定区域或多个区域的计划超过工程限制(即,应力分析程序 102 执行的测试)的情况下,这些计划可能不被传递至压裂模拟程序 104。

[0049] 然后,基于压裂几何形状 308、310 和 312,管理软件 112 调用 IPR 分析程序 106 来创建初始碳氢化合物流量 314,该碳氢化合物流量 314 在一些情况下包括油、水和气的流量。在图 3 的示例情况中,假设来自每一个压裂区域的初始碳氢化合物流量彼此影响(例如,具有较高生产压力的区域减少了来自具有较低压力的区域的流量),因而,创建考虑了全部三个示例性区域的单个初始碳氢化合物流量 314。管理软件 112 从此处调用储藏层模拟程序 108 来创建基于时间的碳氢化合物物流 316。此处,同样假设来自各压裂区域的碳氢化合物生产流彼此影响,因而创建考虑了全部三个示例性区域的单个基于时间的碳氢化合物预测 316。管理软件 112 从此处调用金融分析程序 110 来创建金融可行性的指示 318。

[0050] 图 3 示出的多个区域分析(通过线 320)示出了重复全部或一些分析。也就是说,对多个区域的分析可以采取数个迭代,其中在特定区域中的参数是变化的。也可以是,对于整个钻孔最经济的完井集合可以涉及到不同区域中的不同类型的压裂。例如,由于馈送单个生产管道的各区域压力的相互影响,因而最经济的完井集合可以涉及到对于具有更大储藏层高度的区域进行更激烈的压裂,并且通过管理软件 112 的方式执行分析可以展示这一事实。在相关技术中,工程师可能只是没时间执行跨越多个压裂区域的各种变换(permuations)来使得能够得到这种比较。

[0051] 如以上所讨论的,一些压裂规划程序 100 具有产生多个计划的能力。图 3 示出的实施例因而可以包括针对每一个压裂区域的多个(例如,三个)计划。例如,区域 1 计划(多个计划)302 可以包括三个计划,区域 2 计划(多个计划)304 可以包括三个计划,区域 3 计划(多个计划)306 可以包括三个计划(对于示例性的三个压裂区域而言具有九个计划)。每一个计划均产生压裂几何形状,因而压裂几何形状的各种变换均可以由管理软件 112 以单个“环”来估计,如果重复分析,则所考虑的变换的数量某种程度上以指数方式增大。这里,再次强调,与手动操作中可能的数量相比,在固定时间段内工程师可以估计的可能方案的数量是庞大的。结果是,最终被选择的完井可能是工程师尝试使用有限量的时间进行确定时没有考虑到的组合。

[0052] 存在交互以完成各实施例的数个程序和软件封装。在一些情况下,每一个程序和/或软件均在它自身的计算机系统上执行,例如,服务器计算机系统,其中交互是通过网络方式发生(例如,局域网(LAN)、广域网(WAN)、通过互联网)。因而,在各种任务被执行的计算机系统之间可能存在显著的物理距离。在其他情况下,两个或多个程序和/或软件封装

可以在相同的计算机系统上执行。进一步而言，程序和 / 或软件封装中的一些或全部可以在“云”计算环境中执行，该“云”计算环境可以是动态分担工作负载的远程服务器系统的群组。

[0053] 图 4 示出了根据至少一些实施例的方法。特别地，该方法开始（方框 400）并且继续至针对地下岩层确定可行水力压裂方案的集合（方框 402）。在一些情况下，该确定可以包括：提供日志数据和关于水力压裂的参数，并提供至压裂规划程序（方框 404）；将日志数据提供至压裂模拟程序（方框 406）；将关于管柱的信息提供至应力分析程序（方框 408）；以及由用户启动管理软件，该管理软件自动执行压裂规划程序、压裂模拟程序以及应力分析程序，并且该管理软件从多个水力压裂方案中确定水力压裂方案，并且该管理软件形成可用的可行水力压裂方案的集合（方框 410）。之后，该方法结束（方框 412）。

[0054] 图 5 示出了根据至少一些实施例的方法（可以以软件实施）。特别地，该方法开始（方框 500），包括：执行压裂规划程序，并且基于压裂规划程序自动确定计划的集合，每一个计划均包括压裂液的体积、支撑剂的量以及压裂液的流量（方框 502）；将计划集合中的每一个计划提供给管柱应力分析程序，执行应力分析程序，并且基于应力分析程序确定指示的集合，每一个指示用来指示各计划是否超过管柱的工程限制（方框 504）；以及将至少一些计划提供给压裂模拟程序，执行压裂模拟程序，并且确定压裂几何形状的集合，每一个压裂几何形状分别对应于各计划（方框 506）。之后，该方法也是自动结束（方框 508）。

[0055] 用户依赖于参数的数量而选择一些优化的算法。该压裂优化处理是通过数个迭代来建立的，而且同时选择特定的目标功能或多个目标功能，例如，最大化净现值同时最小化压裂成本。一系列的惩罚或纠正因素被添加以在优化处理中创建约束。当通过执行（honor）约束并最小化罚函数（penalties function）而最大化（最小化）目标功能时，该管理软件将自动停止。

[0056] 图 6 示出了根据至少一些实施例的计算机系统 600，各种实施例中的至少一些实施例可以在该计算机系统 600 上实施。也就是说，各种实施例中的一些或全部可以在如图 6 所示的计算机系统、如图 6 所示的多个计算机系统和 / 或一个或多个等同于图 6 的计算机系统（包括之后研发的计算机系统）上执行。

[0057] 特别地，计算机系统 600 包括经由集成主桥 614 耦接至主存储器阵列 612 以及各种其他外围计算机系统组件的主处理器 610。该主处理器 610 可以是单处理器核设备，或者可以是实现多处理器核的处理器。而且，计算机系统 600 可以实现多个主处理器 610。主处理器 610 通过主机总线（host bus）616 耦接至主桥 614，或者主桥 614 可以被集成到主处理器 610 中。因而，除了图 6 所示的组件之外，或者取代如 6 所示的组件，该计算机系统 600 可以实现其他的总线配置或总线桥。

[0058] 该主存储器 612 经由存储器总线 618 耦接至主桥 614。因而，该主桥 614 包括存储器控制单元，该存储器控制单元通过断言（assert）用于存储器访问的控制信号来控制至主存储器 612 的事务（transaction）。在其他实施例中，该主处理器 610 直接实现存储器控制单元，并且该主存储器 612 可以直接耦接至主处理器 610。该主存储器 612 用作主处理器 610 的工作存储器，并且包括里面有存储有程序、指令和数据的存储器设备或存储器设备阵列。该主存储器 612 可以包括任意合适类型的存储器，例如，动态随机存取存储器（DRAM）或者各种类型的 DRAM 设备中的任意一种，例如，同步 DRAM（SDRAM）（包括双倍数据率

(DDR) SDRAM、第二代双倍数据率 (DDR2) SDRAM、第三代双倍数据率 (DDR3) SDRAM、扩展数据输出 DRAM (EDODRAM)、或者 Rambus (总线式随机存储器) DRAM (RDRAM)。该主存储器 612 是存储有程序和指令的非瞬态计算机可读介质的示例，其他示例是磁盘驱动器和闪存设备。

[0059] 示意性计算机系统 600 还包括第二桥 628，该第二桥 628 将主扩展总线 626 桥接至各种辅助扩展总线（例如，低管脚数 (LPC) 总线 630 以及外围组件互连 (PCI) 总线 632）。桥接设备 628 也可以支持各种其他辅助扩展总线。根据一些实施例，该桥接设备 628 包括英特尔公司制造的输入 / 输出控制器集线器 (ICH)，因而该主扩展总线 626 包括 Hub-link 总线，该总线是英特尔公司的专有总线。然而，计算机系统 600 不限于任意芯片组制造商，因而来自其他制造商的桥接设备和扩展总线协议也可以被等同使用。

[0060] 固件集线器 (firmware hub) 636 通过 LPC 总线 630 的方式耦接至桥接设备 628。固件集线器 636 包括只读存储器 (ROM)，该 ROM 内含有可以被主处理器 610 执行的软件程序。该软件程序包括在 POST 期间以及紧接在上电自检 (POST) 之后执行的程序。

[0061] 计算机系统 600 还包括示意性耦接至 PCI 总线 632 的网络接口卡 (NIC) 638。该 NIC 638 执行将计算机系统 600 耦接至通信网络（例如因特网）的作用。

[0062] 仍然参照图 6，计算机系统 600 还可以包括通过 LPC 总线 630 的方式耦接至桥接设备 628 的超级输入 / 输出 (I/O) 控制器 640。超级 I/O 控制器 640 控制许多计算机系统功能，例如，与各种输入和输出设备（例如键盘 642、指点设备 644（例如鼠标）、游戏控制器 646、各种串行端口、软盘驱动器、和硬盘驱动器 (HD) 641）接口。该硬盘驱动器 641 是计算机可读介质的另一示例。在其他情况下，硬盘驱动器 641 可以耦接至单独的驱动控制器，该单独的驱动控制器耦接至更强大的扩展总线，例如 PCI 总线 632，尤其是在硬盘驱动器被实现为设备阵列（例如，独立（或廉价）磁盘冗余阵列 (RAID)）的情况下。在计算机系统 600 是服务器计算机系统的情况下，键盘 642、指点设备 644 和游戏控制器 646 可以被省略。

[0063] 该计算机系统 600 还包括图形处理单元 (GPU) 650，其通过总线 652（例如，PCI 高速 (PCI-E) 总线或先进图形处理 (AGP) 总线）的方式耦接至主桥 614。包括之后发展的总线系统的其他总线系统也可以被等同地使用。而且，该图形处理单元 650 可以可替代地耦接至主扩展总线 626，或者辅助扩展总线之一（例如，PCI 总线 632）。该图形处理单元 650 耦接至显示系统 654，显示系统 654 可以包括任意合适的电子显示设备或多个不同的显示设备，在该显示设备上可以显示任意图像或文本。该图形处理单元 650 包括板载处理器 656 以及板载存储器 658。因而，受到主处理器 610 的命令控制，该处理器 656 可以执行图形处理。而且，该存储器 658 可以非常可观地是在数百 G (gigabyte) 或更大的量级。因而，一旦收到主处理器 610 的命令，则图形处理单元 650 可以执行关于待被显示到显示系统上的大规模计算，并最终显示这种图形，而无需主处理器 610 的进一步输入或协助。在一些情况下，例如，计算机系统 600 被操作为服务器计算机系统，则图形处理单元 650 和显示系统 654 可以被省略。

[0064] 从本文提供的描述中，本领域技术人员能够容易地将根据所描述的内容创建的软件与具有适当的通用目的或特定目的的计算机硬件组合，从而创建根据各种实施例的计算机系统和 / 或计算机子组件，创建用来实现各种实施例的方法的计算机系统和 / 或计算机子组件，和 / 或创建用来存储软件程序以实现各种实施例的方法方案的非瞬态计算机可读存储介质（即，除了沿着导体或载波传播的信号之外）。

[0065] 以上讨论意欲示意本发明的原理和各种实施例。一旦以上公开内容被完全理解，则本领域技术人员将清楚多种变形和改型。例如，尽管在说明书中提到了许多商业上可以获得的程序，然而各种实施例并不是仅限于商业上可以获得的程序。许多公司具有执行特定的独立任务或多个任务的“内部 (in-house)”或专有程序，而且预期能够将这些专有程序并入到工作流中。以下权利要求旨在被理解为涵盖所有的这些变化和改型。

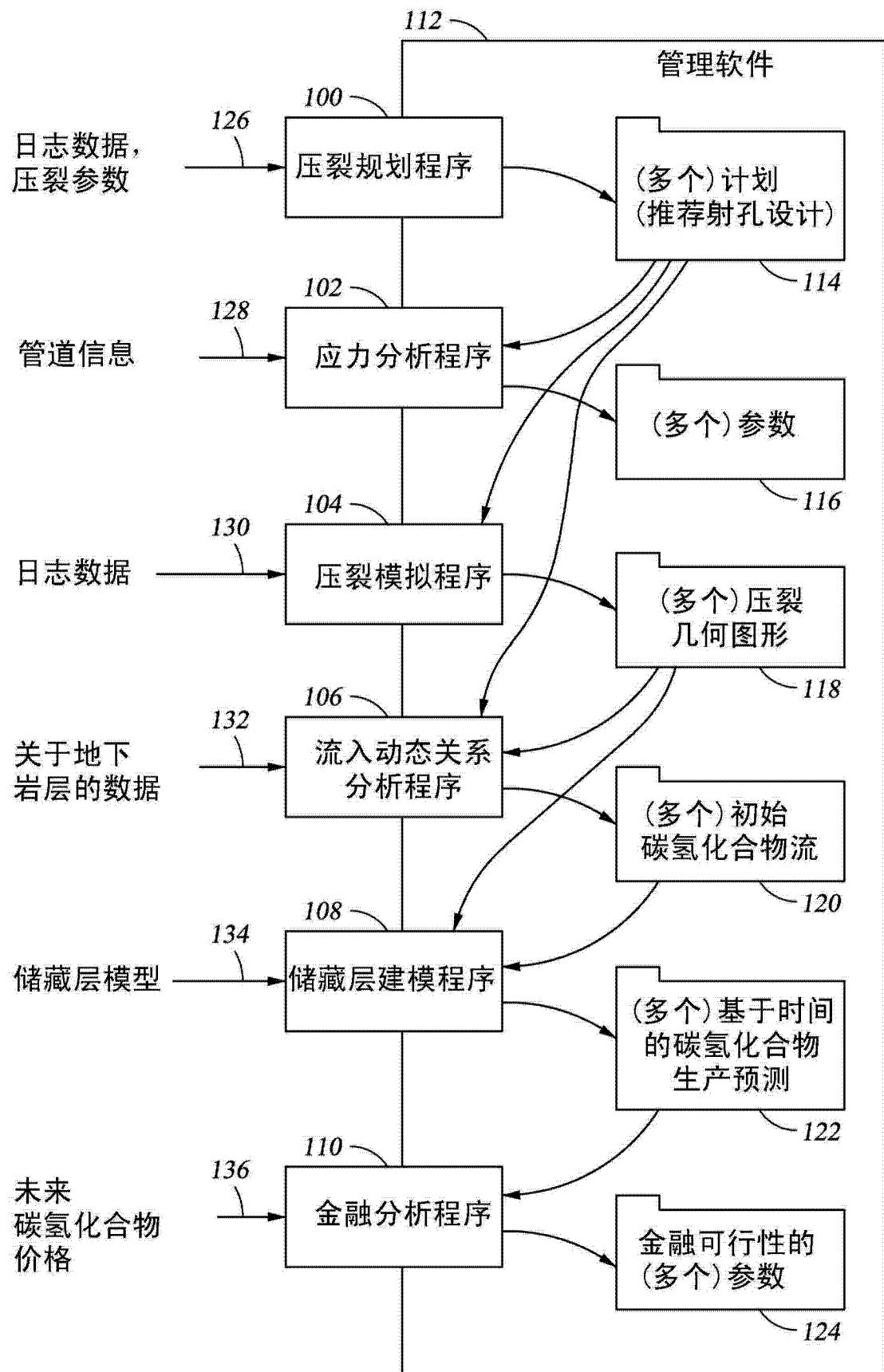


图 1

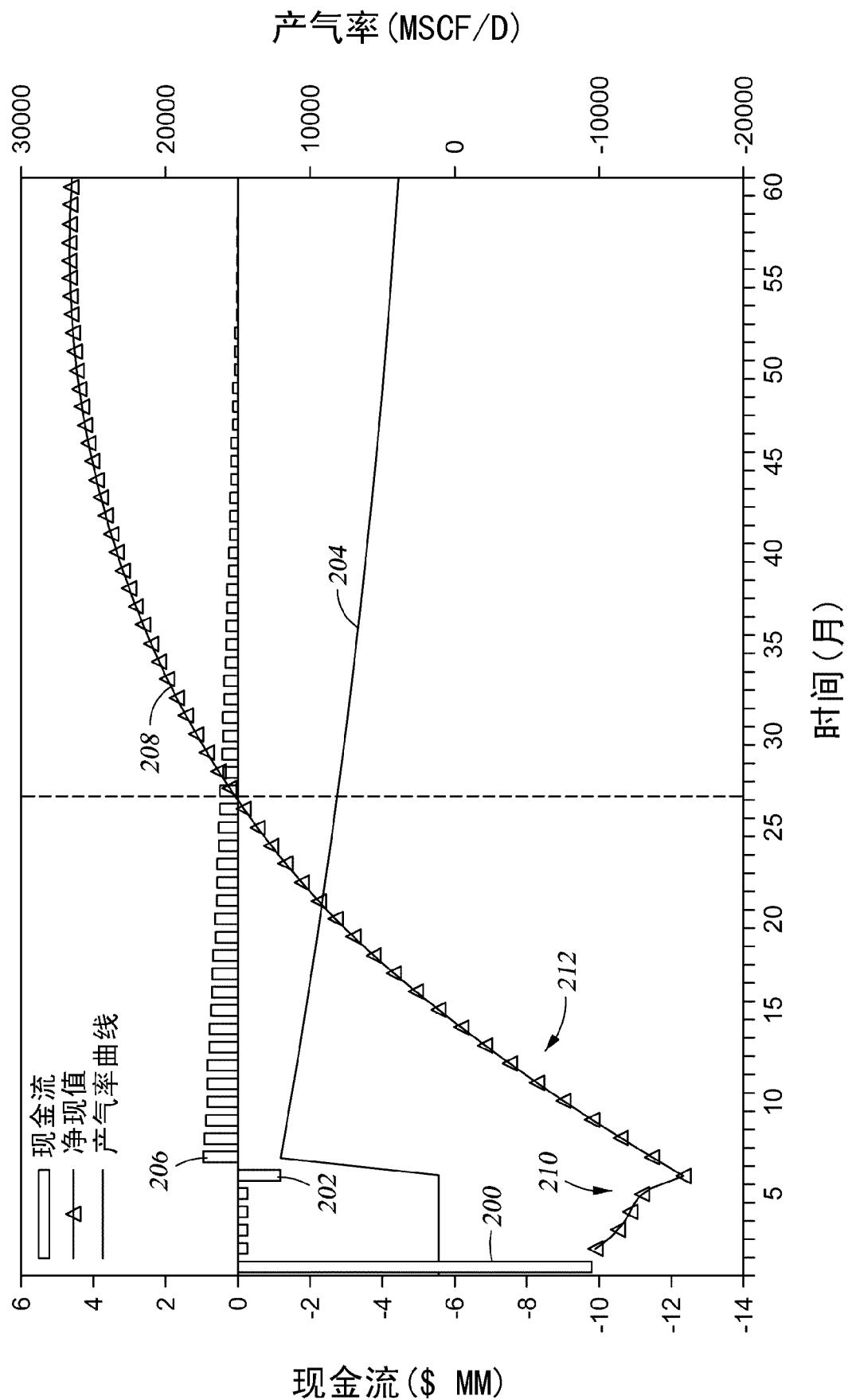


图 2

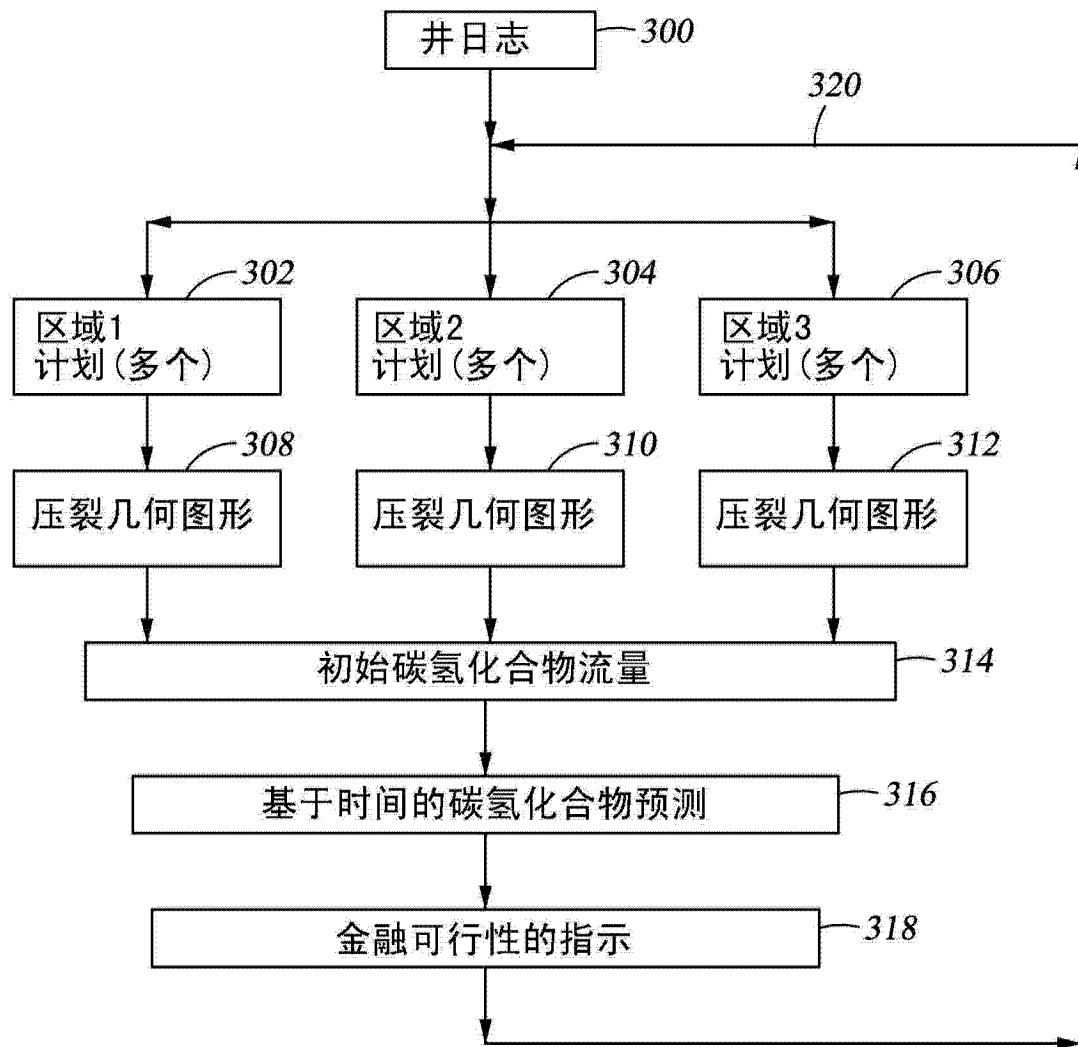


图 3

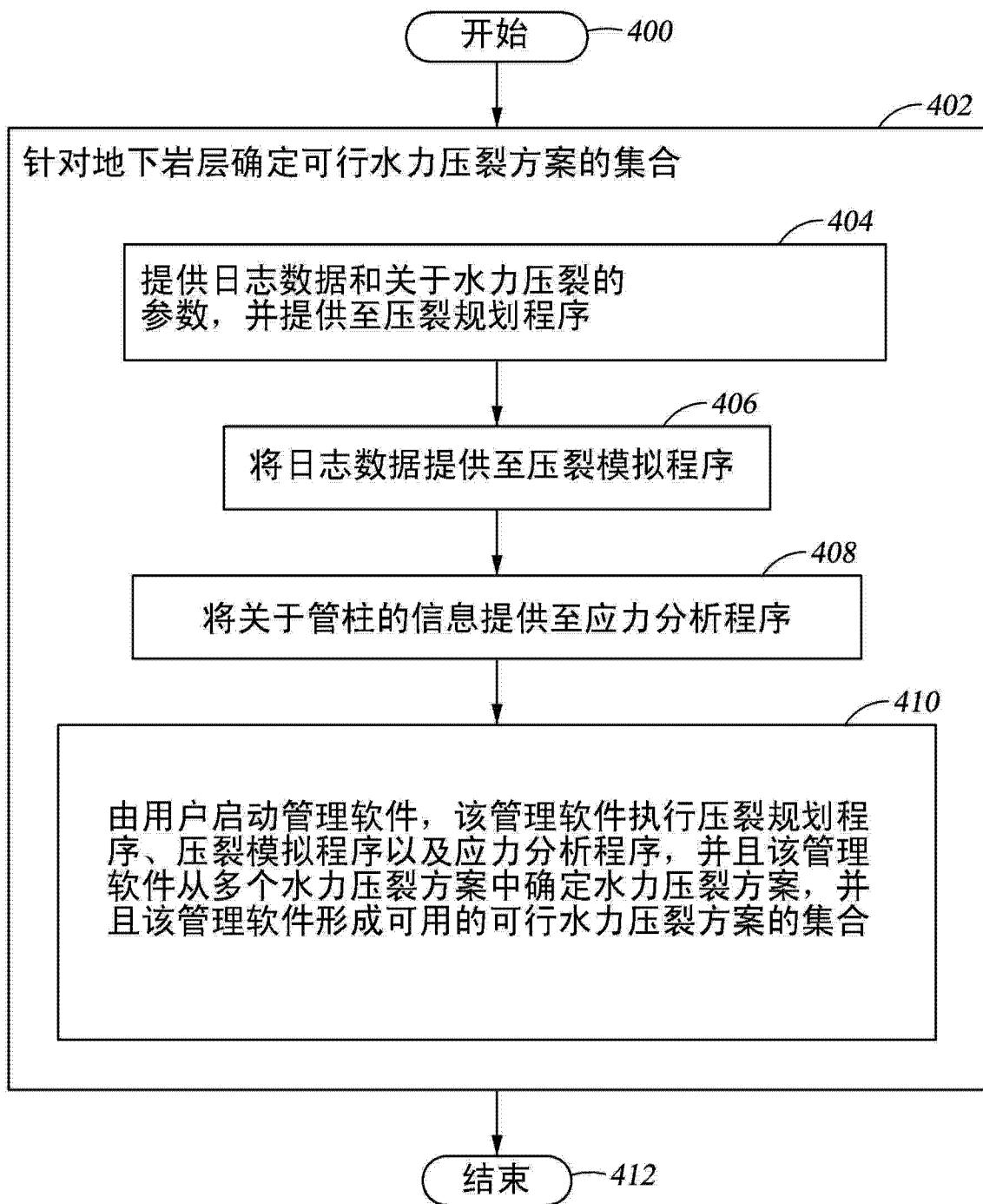


图 4

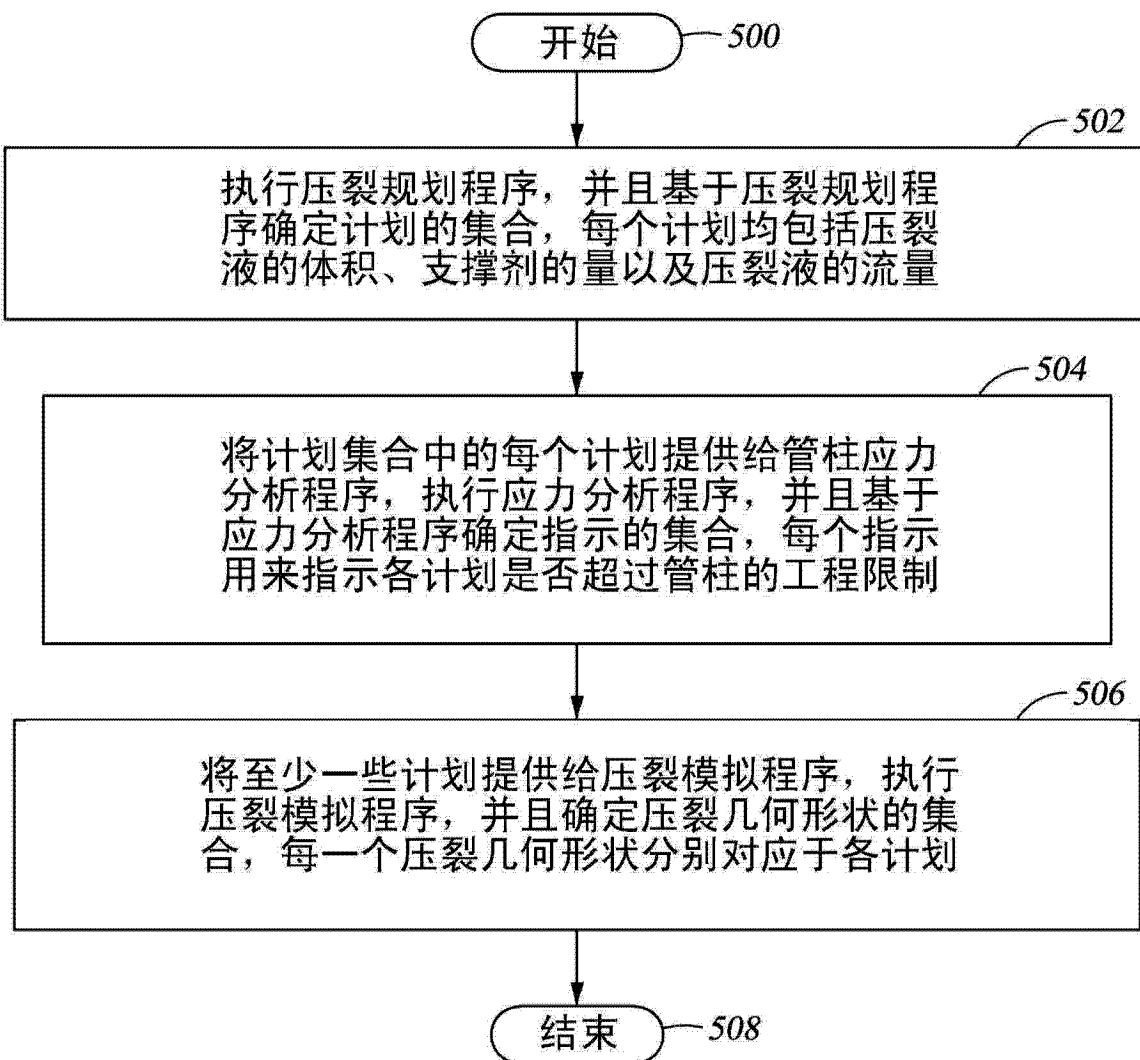


图 5

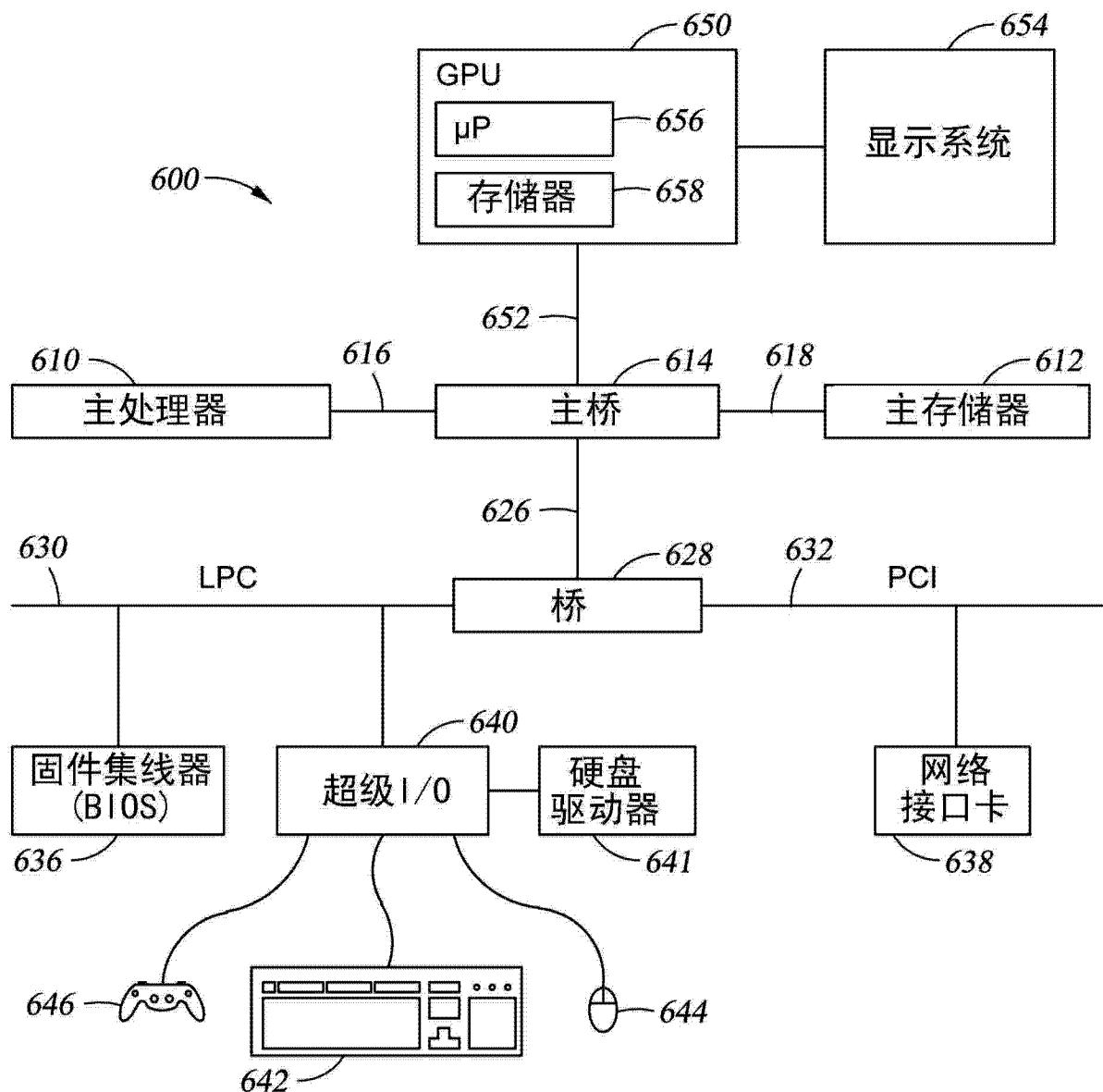


图 6