



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110837116 B

(45) 授权公告日 2021.06.01

(21) 申请号 201810928198.8

CN 106437662 A, 2017.02.22

(22) 申请日 2018.08.15

CN 102893183 A, 2013.01.23

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 105761158 A, 2016.07.13

申请公布号 CN 110837116 A

CN 107725108 A, 2018.02.23

(43) 申请公布日 2020.02.25

WO 2016134210 A1, 2016.08.25

US 2017159611 A1, 2017.06.08

(73) 专利权人 中国石油天然气股份有限公司

US 6442489 B1, 2002.08.27

地址 100007 北京市东城区东直门北大街9号中国石油大厦

郑得文等. 气藏型储气库建库评价关键技术.《石油勘探与开发》.2017, 第44卷(第5期),

井岗等. 盐穴储气库稳定性的实时微地震监测.《油气储运》.2018, 第37卷(第7期),

Faruk Civan. Modeling Gas Flow through Hydraulically-Fractured Shale-gas Reservoirs Involving Molecular-to-Inertial Transport Regimes and Threshold-Pressure Gradient.《SPE International》.2013,

(72) 发明人 李建君 井岗 巴金红 陈加松

王立东 周冬林 齐得山 王晓刚 何俊

审查员 陈文爽

(74) 专利代理机构 北京三高永信知识产权代理有限公司 11138

代理人 朱雅男

(51) Int. Cl.

G01V 1/30 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 102748075 A, 2012.10.24

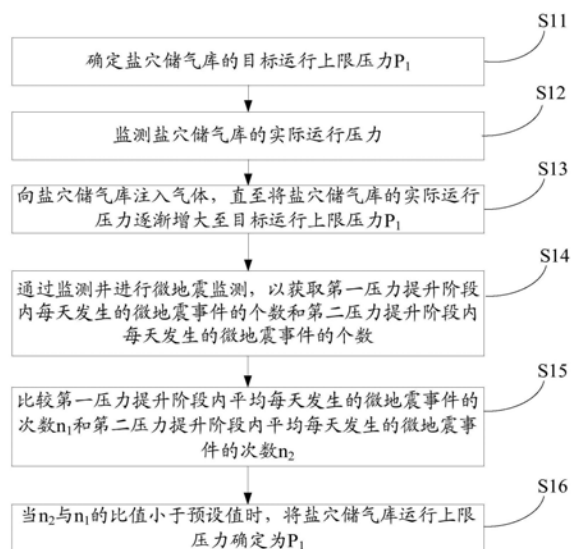
权利要求书2页 说明书9页 附图5页

(54) 发明名称

盐穴储气库运行上限压力的确定方法

(57) 摘要

本发明公开了一种盐穴储气库运行上限压力的确定方法,属于石油天然气技术领域。该方法包括:确定目标运行上限压力;监测盐穴储气库的实际运行压力;向盐穴储气库注入气体,将盐穴储气库的实际运行压力逐渐增大至目标运行上限压力;通过监测井进行微地震监测,以获取第一压力提升阶段内每天发生的微地震事件的个数和第二压力提升阶段内每天发生的微地震事件的个数;比较第一压力提升阶段内平均每天发生的微地震事件的个数 n_1 和第二压力提升阶段内平均每天发生的微地震事件的个数 n_2 ;当 n_2 与 n_1 的比值小于预设值时,将盐穴储气库运行上限压力确定为 P_1 ,从而提高了盐穴储气库的可存储量。



1. 一种盐穴储气库运行上限压力的确定方法,其特征在于,所述方法包括:

确定盐穴储气库的目标运行上限压力 P_1 , $P_2 \leq P_1 \leq P_0$, P_0 为所述盐穴储气库的理论运行上限压力, P_2 为所述盐穴储气库的当前运行上限压力;

监测所述盐穴储气库的实际运行压力;

向所述盐穴储气库注入气体,直至将所述盐穴储气库的实际运行压力逐渐增大至目标运行上限压力 P_1 ;

通过监测井进行微地震监测,以获取第一压力提升阶段内每天发生的微地震事件的个数和第二压力提升阶段内每天发生的微地震事件的个数,所述第一压力提升阶段为所述盐穴储气库的实际运行压力到 P_2 的阶段,所述第二压力提升阶段为所述盐穴储气库的实际运行压力从 P_2 增大到 P_1 的阶段,所述监测井的深度达到所述盐穴储气库所在盐层;

比较所述第一压力提升阶段内平均每天发生的微地震事件的个数 n_1 和所述第二压力提升阶段内平均每天发生的微地震事件的个数 n_2 ;

当 n_2 与 n_1 的比值小于预设值时,将所述盐穴储气库运行上限压力确定为 P_1 。

2. 根据权利要求1所述的确定方法,其特征在于,所述通过监测井进行微地震监测,包括:

在所述监测井中布置多级三分量检波器,所述多级三分量检波器从所述监测井的底部开始向上等间距分布;

通过所述多级三分量检波器监测微地震事件。

3. 根据权利要求1所述的确定方法,其特征在于,所述向所述盐穴储气库注入气体,直至将所述盐穴储气库的运行压力逐渐增大至目标运行上限压力 P_1 ,包括:

在所述第一压力提升阶段,以第一速度提升所述盐穴储气库的实际运行压力至 P_2 ;

在所述第二压力提升阶段,以第二速度提升将所述盐穴储气库的实际运行压力从 P_2 提升至 P_1 ,所述第一速度大于所述第二速度。

4. 根据权利要求3所述的确定方法,其特征在于,所述第一速度与所述第二速度的比值为2~3。

5. 根据权利要求1所述的确定方法,其特征在于,所述监测所述盐穴储气库的实际运行压力,包括:

监测所述盐穴储气库的井口注气压力;

获取所述盐穴储气库的气柱压力,以所述井口注气压力和所述气柱压力之和作为所述盐穴储气库的运行压力。

6. 根据权利要求1所述的确定方法,其特征在于,所述预设值大于100%小于110%。

7. 根据权利要求1~6任一项所述的确定方法,其特征在于,所述理论运行上限压力采用以下方式确定:

在所述盐穴储气库的注采井中进行地应力测试;

根据所述地应力测试得到的数据确定最小主应力与地层深度的关系;

根据所述最小主应力与地层深度的关系确定盐穴储气库的理论运行上限压力。

8. 根据权利要求7所述的确定方法,其特征在于,所述在所述盐穴储气库的注采井中进行地应力测试,包括:

采用水力压裂法获取多个深度位置的最小主应力。

9. 根据权利要求8所述的确定方法,其特征在于,所述根据所述地应力测试得到的数据确定最小主应力与地层深度的关系,包括:

根据所述多个深度位置的深度值和所述多个深度位置的最小主应力拟合最小主应力与深度的关系曲线。

10. 根据权利要求1~6任一项所述的确定方法,其特征在于,在通过监测井进行微地震监测,以获取第一压力提升阶段内每天发生的微地震事件的个数和第二压力提升阶段内每天发生的微地震事件的个数之前,还包括:

以平面坐标的形式记录下每次所述微地震事件发生的位置,判断所述微地震事件是否由盐穴储气库内的压力增大所致,当所述微地震事件不是由盐穴储气库内的压力增大所致时,去除所述微地震事件。

盐穴储气库运行上限压力的确定方法

技术领域

[0001] 本发明涉及石油天然气技术领域,特别涉及一种盐穴储气库运行上限压力的确定方法。

背景技术

[0002] 盐穴储气库是在地下的盐层中形成的洞穴,可以用来存储天然气。

[0003] 在建造盐穴储气库时,通常是先钻设深度到达盐层的注采井,然后通过水溶造腔,在盐层中形成的洞穴。每个盐穴储气库都设置有运行上限压力,在盐穴储气库的生产过程中,盐穴储气库运行压力不能超过运行上限压力,以确保盐穴储气库的生产安全。

[0004] 对于同一个盐穴储气库,运行上限压力越大,则所能存储的天然气的量也越大。根据现有的标准,盐穴储气库运行上限压力不超过最小主应力的80%,而出于安全考虑,在实际设置中,盐穴储气库运行上限压力会比最小主应力的80%低很多,导致盐穴储气库的可存储量较小。

发明内容

[0005] 本发明实施例提供了一种盐穴储气库运行上限压力的确定方法,以提高盐穴储气库的可存储量。所述技术方案如下:

[0006] 本发明实施例提供了一种盐穴储气库运行上限压力的确定方法,所述方法包括:

[0007] 确定盐穴储气库的目标运行上限压力 P_1 , $P_2 \leq P_1 \leq P_0$, P_0 为所述盐穴储气库的理论运行上限压力, P_2 为所述盐穴储气库的当前运行上限压力;

[0008] 监测所述盐穴储气库的实际运行压力;

[0009] 向所述盐穴储气库注入气体,直至将所述盐穴储气库的实际运行压力逐渐增大至目标运行上限压力 P_1 ;

[0010] 通过监测井进行微地震监测,以获取第一压力提升阶段内每天发生的微地震事件的个数和第二压力提升阶段内每天发生的微地震事件的个数,所述第一压力提升阶段为所述盐穴储气库的实际运行压力到 P_2 的阶段,所述第二压力提升阶段为所述盐穴储气库的实际运行压力从 P_2 增大到 P_1 的阶段,所述监测井的深度达到所述盐穴储气库所在盐层;

[0011] 比较所述第一压力提升阶段内平均每天发生的微地震事件的个数 n_1 和所述第二压力提升阶段内平均每天发生的微地震事件的个数 n_2 ;

[0012] 当 n_2 与 n_1 的比值小于预设值时,将所述盐穴储气库运行上限压力确定为 P_1 。

[0013] 可选地,所述通过监测井进行微地震监测,包括:

[0014] 在所述监测井中布置多级三分量检波器,所述多级三分量检波器从所述监测井的底部开始向上等间距分布;

[0015] 通过所述多级三分量检波器监测微地震事件。

[0016] 可选地,所述向所述盐穴储气库注入气体,直至将所述盐穴储气库的运行压力逐渐增大至目标运行上限压力 P_1 ,包括:

- [0017] 在所述第一压力提升阶段,以第一速度提升所述盐穴储气库的实际运行压力至 P_2 ;
- [0018] 在所述第二压力提升阶段,以第二速度提升将所述盐穴储气库的实际运行压力从 P_2 提升至 P_1 ,所述第一速度大于所述第二速度。
- [0019] 可选地,所述第一速度与所述第二速度的比值为2~3。
- [0020] 可选地,所述监测所述盐穴储气库的实际运行压力,包括:
- [0021] 监测所述盐穴储气库的井口注气压力;
- [0022] 获取所述盐穴储气库的气柱压力,以所述井口注气压力和所述气柱压力之和作为所述盐穴储气库的运行压力。
- [0023] 可选地,所述预设值大于100%小于110%。
- [0024] 可选地,所述理论运行上限压力采用以下方式确定:
- [0025] 在所述盐穴储气库的注采井中进行地应力测试;
- [0026] 根据所述地应力测试得到的数据确定最小主应力与地层深度的关系;
- [0027] 根据所述最小主应力与地层深度的关系确定盐穴储气库的理论运行上限压力。
- [0028] 可选地,所述在所述盐穴储气库的注采井中进行地应力测试,包括:
- [0029] 采用水力压裂法获取多个深度位置的最小主应力。
- [0030] 可选地,所述根据所述地应力测试得到的数据确定最小主应力与地层深度的关系,包括:
- [0031] 根据所述多个深度位置的深度值和所述多个深度位置的最小主应力拟合最小主应力与深度的关系曲线。
- [0032] 可选地,在通过监测井进行微地震监测,以获取第一压力提升阶段内每天发生的微地震事件的个数和第二压力提升阶段内每天发生的微地震事件的个数之前,还包括:
- [0033] 以平面坐标的形式记录下每次所述微地震事件发生的位置,判断所述微地震事件是否由盐穴储气库内的压力增大所致,当所述微地震事件不是由盐穴储气库内的压力增大所致时,去除所述微地震事件。
- [0034] 本发明实施例提供的技术方案带来的有益效果至少包括:通过监测井进行微地震监测,向盐穴储气库注入气体,将盐穴储气库的实际运行压力逐渐增大至目标运行上限压力 P_1 ;微地震监测可以获取到在向盐穴储气库注入气体的过程中发生的微地震事件的个数。通过比较第一压力提升阶段内平均每天发生的微地震事件的个数 n_1 和第二压力提升阶段内平均每天发生的微地震事件的个数 n_2 ,第一压力提升阶段为盐穴储气库的实际运行压力增大到 P_2 的阶段,第二压力提升阶段为盐穴储气库的实际运行压力从 P_2 增大到 P_1 的阶段,当 n_2 与 n_1 的比值小于预设值时,说明微地震事件的个数并没有随着运行压力从 P_2 增大到 P_1 而集中出现,证明盐穴储气库的腔顶和围岩的力学性质稳定,没有出现破裂或者腔壁掉块现象,可以以大于当前运行上限压力的目标运行上限压力作为盐穴储气库运行上限压力,从而提高了盐穴储气库的可存储量。

附图说明

- [0035] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于

本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0036] 图1是本发明实施例提供的一种盐穴储气库运行上限压力的确定方法的流程图;

[0037] 图2是本发明实施例提供的一种盐穴储气库的结构示意图;

[0038] 图3是本发明实施例提供的一种微地震事件的个数记录图表;

[0039] 图4是本发明实施例提供的一种微地震事件的分布图;

[0040] 图5是本发明实施例提供的一种盐穴储气库的理论运行上限压力的确定方法的流程图;

[0041] 图6是本发明实施例提供的一种盐穴储气库的建立方法流程图。

具体实施方式

[0042] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图对本发明实施方式作进一步地详细描述。

[0043] 图1是本发明实施例提供的一种盐穴储气库运行上限压力的确定方法的流程图。如图1所示,该方法包括:

[0044] S11:确定盐穴储气库的目标运行上限压力 P_1 。

[0045] 具体地, $P_2 \leq P_1 \leq P_0$, P_0 为盐穴储气库的理论运行上限压力, P_2 为盐穴储气库的当前运行上限压力。

[0046] 根据现有的标准(加拿大国家盐穴储气库标准Z341Series-14),盐穴储气库运行上限压力不超过最小主应力的80%。图2是本发明实施例提供的一种盐穴储气库的结构示意图。如图2所示,该最小主应力为盐穴储气库的注采井中的技术套管11的管鞋11a处所在地层的最小主应力。最小主应力可以在钻设注采井时通过地应力测试获取。

[0047] 当前运行上限压力 P_2 是盐穴储气库目前已经设定的运行上限压力,通常根据经验设置,通常可以设置为理论运行上限压力的80%~95%。例如在理论运行上限压力为18.22Mpa时可以将当前运行上限压力设置为17Mpa。为了保证盐穴储气库的安全,当前运行上限压力的设置会留有较大的余量。由于根据经验设置的当前运行上限压力 P_2 比理论运行上限压力小很多,这会降低盐穴储气库的可存储量。本实施例的目的就在于确保盐穴储气库安全的情况下,提高盐穴储气库的运行上限压力,以提高盐穴储气库的可存储量。

[0048] 可以在当前运行上限压力 P_2 的基础上增加0.1~0.8MPa得到目标运行上限压力 P_1 。具体可以根据注采站的压缩机性能进行设置,过大的目标运行上限压力 P_1 压缩机性能无法满足,同时也要从安全生产的角度考虑,优选可以在当前运行上限压力 P_2 的基础上增加0.1MPa~0.5MPa。

[0049] S12:监测盐穴储气库的实际运行压力。

[0050] 该步骤S12可以包括:

[0051] 第一步、监测盐穴储气库的井口注气压力。其中,井口注气压力可以通过井口的井口注气压力表获取。

[0052] 第二步、获取盐穴储气库的气柱压力,以井口注气压力和气柱压力之和作为盐穴储气库的实际运行压力。

[0053] 由于盐穴储气库的注采井中的技术套管11中也有天然气,而技术套管11的长度通

常都有几百米,因此该部分天然气柱会产生较大的压力,例如在996.18m的技术套管11中,由天然气柱产生的气柱压力有1.2MPa。实际运行压力为盐穴储气库的注采井中的技术套管的管鞋处的气体压力,该处气体压力不便于直接测量,而井口注气压力和气柱压力之和与实际运行压力相等,因此通过井口注气压力和气柱压力计算出实际运行压力,获取方法简单。

[0054] S13:向盐穴储气库注入气体,直至将盐穴储气库的实际运行压力逐渐增大至目标运行上限压力 P_1 。

[0055] 在增大压力时,可以分为第一压力提升阶段和第二压力提升阶段两个压力提升阶段进行增压,第一压力提升阶段为盐穴储气库的实际运行压力增大到 P_2 的阶段,第二压力提升阶段为盐穴储气库的实际运行压力从 P_2 增大到 P_1 的阶段。

[0056] 可选地,该步骤S13可以包括:

[0057] 在第一压力提升阶段,以第一速度提升盐穴储气库的实际运行压力至 P_2 。

[0058] 在第二压力提升阶段,以第二速度提升将盐穴储气库的实际运行压力从 P_2 提升至 P_1 ,第一速度大于第二速度。

[0059] 可选地,第一速度与第二速度的比值可以为2~3。例如第一速度可以为0.2~0.3MPa/天,则第二速度可以设置为0.1MPa/天,在第二压力提升阶段,盐穴储气库的实际运行压力大于目标运行上限压力,将第二速度设置的较慢可以确保安全生产,避免压力提升速度过大引发事故。

[0060] 再次参见图2,盐穴储气库的井筒中插设有技术套管11、外层套管12和内层套管13。这里技术套管11套设在外层套管12外,使技术套管11和外层套管12之间形成一环状空间。外层套管12套设在内层套管13外,使外层套管12和内层套管13之间形成一环状空间。在井口处,设置有可以开关内层套管13的阀33,可以开关内层套管13和外层套管12之间的环状空间的阀32,以及可以开关技术套管11和外层套管12之间的环状空间的阀31。在注入天然气时,可以关闭井口处的技术套管11的阀31和外层套管12的阀32,开启内层套管13的阀33,从内层套管13注入。

[0061] 由于实际运行压力与井口注气压力的差值是固定的,始终为由天然气柱产生的气柱压力,因此在第一压力提升阶段和第二压力提升阶段可以监测井口注气压力,以确保实际运行压力提升到 P_2 和 P_1 。

[0062] 示例性地,某一盐穴储气库的当前运行上限压力 P_2 为17MPa,目标运行上限压力 P_1 为17.5MPa。该盐穴储气库当前的井口注气压力为13.98MPa,气柱压力为1.2MPa。在第一压力提升阶段,将井口注气压力提升至15.8MPa,则在第一压力提升阶段结束时,盐穴储气库的实际运行压力达到17MPa,在第二压力提升阶段,将井口注气压力提升至16.3MPa,则在第二压力提升阶段结束时,盐穴储气库的实际运行压力达到17.5MPa。

[0063] S14:通过监测井进行微地震监测,以获取第一压力提升阶段内每天发生的微地震事件的个数和第二压力提升阶段内每天发生的微地震事件的个数。

[0064] 示例性地,可以钻设一口深度达到盐穴储气库所在盐层的监测井,通过监测井进行微地震监测。

[0065] 监测井与注采井的距离可以在800m内,监测井距离注采井过远会导致微地震事件监测的准确性降低。由于盐穴储气库通常都是集中设置的,因此监测井可以是盐穴储气库

周围正在建造的另一个盐穴储气库的注采井。

[0066] 在本实施例中,在监测井中布置多级三分量检波器,多级三分量检波器从监测井的底部开始向上等间距分布。通过监测井进行微地震监测可以包括通过多级三分量检波器监测微地震事件。

[0067] 如图2所示,在盐穴储气库的附近钻设有监测井40。示例性地,监测井40的技术套管(未示出)下深(即下入深度,指技术套管下入到地层中的深度)998.4m,在深度870m~980m的范围内设置三分量检波器41。注采井中的技术套管下深为996.18m,这样设置三分量检波器41既足够接近盐穴储气库所在盐层21,同时又可以避免三分量检波器41进入裸眼段,受到井壁掉落的石块的影响。

[0068] 可选地,可以以10m的级距设置12级三分量检波器,图2中仅示例性的示出了3级三分量检波器。

[0069] 采用三分量检波器监测微地震事件时,采样间隔可以为0.5ms,记录长度可以为10s,增益可以为40dB。

[0070] 盐穴储气库的实际运行压力的增大可能会引起腔顶或围岩的破裂、腔壁掉块等现象,从而影响盐穴储气库的稳定性和密封性。同时地层中也存在正常的岩石破裂等现象,通过微地震监测可以记录这些现象所引发的微地震,从而获知地层中出现的腔顶或围岩的破裂、腔壁掉块、岩石破裂等现象的次数。

[0071] 具体可以以图表的形式记录下整个微地震监测过程中每天的微地震事件的个数。图3是本发明实施例提供的一种微地震事件的个数记录图表,该图表中的柱形图记录了从10月8日到11月1日每一天发生的微地震事件的个数,其中10月27日、10月28日、10月30日、11月1日这四天没有微地震事件发生。曲线记录了每一天检测到的井口压力。10月12号为第一压力提升阶段的开始时刻,这一天发生的微地震事件个数为38次,井口压力为14MPa,10月20号为第一压力提升阶段的结束时刻,这一天发生的微地震事件个数为4次,井口压力为15.8MPa,10月25号为第二压力提升阶段的结束时刻,这一天发生的微地震事件个数为8次,井口压力为16.3MPa。

[0072] S15:比较第一压力提升阶段内平均每天发生的微地震事件的个数 n_1 和第二压力提升阶段内平均每天发生的微地震事件的个数 n_2 。

[0073] 通过比较第一压力提升阶段和第二压力提升阶段内,平均每天发生的微地震事件的个数,可以获知第二压力提升阶段是否导致了微地震事件的集中出现,从而确定是否可以将当前运行上限压力从 P_2 提升到目标运行上限压力 P_1 。

[0074] S16:当 n_2 与 n_1 的比值小于预设值时,将盐穴储气库运行上限压力确定为 P_1 。

[0075] 可选地,预设值可以大于100%小于110%。由于第二压力提升阶段内压力较高,在增压过程中通常会引起较少的微地震事件,只要 n_2 与 n_1 的比值在预设值范围内,可以认为盐穴储气库能够正常生产。预设值优选为105%,以进一步确保盐穴储气库的可靠性和安全。

[0076] 若 n_2 与 n_1 的比值超过了预设值,则表示目标运行上限压力 P_1 过高,可以略微降低目标运行上限压力 P_1 。

[0077] 通过监测井进行微地震监测,向盐穴储气库注入气体,将盐穴储气库的实际运行压力逐渐增大至目标运行上限压力 P_1 ;通过微地震监测可以获取到在向盐穴储气库注入气体的过程中发生的微地震事件的个数。通过比较第一压力提升阶段内平均每天发生的微地

震事件的个数 n_1 和第二压力提升阶段内平均每天发生的微地震事件的个数 n_2 ,第一压力提升阶段为盐穴储气库的实际运行压力增大到 P_2 的阶段,第二压力提升阶段为盐穴储气库的实际运行压力从 P_2 增大到 P_1 的阶段,当 n_2 与 n_1 的比值小于预设值时,说明微地震事件的个数并没有随着运行压力从 P_2 增大到 P_1 而集中出现,证明盐穴储气库的腔顶和围岩的力学性质稳定,没有出现破裂或者腔壁掉块现象,可以以大于当前运行上限压力的目标运行上限压力作为盐穴储气库运行上限压力,从而提高了盐穴储气库的可存储量。

[0078] 可选地,在步骤S14之后,还可以以平面坐标的形式记录下每次微地震事件发生的位置,判断微地震事件是否由盐穴储气库内的压力增大所致,当微地震事件不是由盐穴储气库内的压力增大所致时,去除该微地震事件。图4是本发明实施例提供的一种微地震事件的分布图,图中B井为注采井,A井为监测井,C1井和C2井是注采井周围的另外两口井。通过分布图可以发现,微地震事件50主要发生在C1井和C2井之间。根据微地震事件发生的位置可以推测微地震事件是否是天然断层位置处地应力调整引起。例如根据地质勘探资料发现在C1井和C2井之间存在天然断层,可以推测微地震事件中有较多都是由于天然断层位置处地应力调整导致的岩石破裂所致。如果微地震事件主要是围绕B井发生的,则表明微地震事件很可能是由于盐穴储气库内的压力增大所致,需要降低盐穴储气库内的压力。通过记录每次微地震事件发生的位置,判断微地震事件是否由盐穴储气库内的压力增大所致,可以去除掉所有微地震事件中与盐穴储气库无关的微地震事件,使 n_1 和 n_2 所表示的是与盐穴储气库有关的微地震事件,这样可以提高确定方法的可靠性,确保盐穴储气库的安全。

[0079] 图1所示的盐穴储气库运行上限压力的确定方法可以适用于已经投产的盐穴储气库,以提高盐穴储气库的运行上限压力。在建立盐穴储气库时,都会通过地质勘探获取盐穴储气库的理论运行上限压力,因此可以从已有的地质勘探资料中获取到盐穴储气库的理论运行上限压力。

[0080] 图1所示的盐穴储气库运行上限压力的确定方法同样也适用于新建成的盐穴储气库。在建成盐穴储气库的过程中,需要通过地质勘探获取盐穴储气库的理论运行上限压力,图5是本发明实施例提供的一种盐穴储气库的理论运行上限压力的确定方法的流程图。如图5所示,该方法包括:

[0081] S21:在注采井中进行地应力测试。

[0082] 注采井可以根据造腔盐层段的深度钻设。

[0083] 在建造盐穴储气库时,通常需要先确定造腔盐层段的深度,以确定需要钻设的注采井中所设置的技术套管的长度。例如需要在深度为1011.4m~1132m的盐层段造腔,则可以在注采井中设置996.18m的技术套管。

[0084] 可选地,可以采用水力压裂法获取多个深度位置的最小主应力。水力压裂测试在测试层位产生一张性破裂并将破裂扩展到远离井筒影响范围之外的原始地层中,在停止流体注入后,破裂将随着压力下降而闭合。通过地质力学与瞬态渗流的理论方法分析压降曲线,获取裂缝闭合压力。裂缝闭合压力即等效于地层的最小主应力。通过水力压裂法可以准确得到不同深度位置的最小主应力。

[0085] 在注采井钻设好之后,可以选取多个深度位置进行水力压裂,例如需要在深度为1011.4m~1132m的盐层段造腔,则可以在深度为1127.0m~1128.4m、1110.0m~1111.4m、1091.5m~1092.9m、1080.5m~1082.9m、1048.0m~1049.4m的5个位置分别进行水力压裂,

以得到对应位置的最小主应力。

[0086] S22:根据地应力测试得到的数据确定最小主应力与地层深度的关系。

[0087] 具体可以根据多个深度位置的深度值和多个深度位置的最小主应力拟合最小主应力与深度的关系曲线。通过拟合出的关系曲线可以预测出不同深度位置的最小主应力。

[0088] 以前述的5个位置进行水力压裂得到的最小主应力为例,在S21中获取到的5个位置的最小主应力分别为25.59MPa、24.97MPa、24.78MPa、24.53MPa、23.77MPa,可以得到拟合出的关系曲线的公式如下:

[0089] $y=0.02183x+1.03424$ (1)

[0090] 其中,y为最小主应力,x为深度。

[0091] S23:根据最小主应力与地层深度的关系确定盐穴储气库的理论运行上限压力。

[0092] 步骤S23具体可以包括:

[0093] 根据最小主应力与地层深度的关系确定技术套管的管鞋所在地层的最小主应力。

[0094] 根据公式(1)可以得到,在技术套管的管鞋处(深度为996.18m),最小主应力为22.78MPa。

[0095] 以技术套管的管鞋所在地层的最小主应力的70%~80%作为理论运行上限压力。

[0096] 根据现有的标准,盐穴储气库运行上限压力不超过最小主应力的80%,通常从安全角度考虑,会将理论运行上限压力设置为最小主应力的70%~80%。示例性地,以理论运行上限压力为最小主应力的80%为例,理论运行上限压力为18.22Mpa。

[0097] 图6是本发明实施例提供的一种盐穴储气库的建立方法流程图。在确定出盐穴储气库的理论运行上限压力之后,可以采用以下方法建成盐穴储气库。如图6所示,该方法包括:

[0098] S31:通过注采井进行水溶造腔,以形成盐穴。

[0099] 水溶造腔通常有正循环造腔和反循环造腔两种方式,正循环造腔是指淡水从内层套管注入,卤水从内层套管与外层套管间的环形空间返回地面;反循环造腔是指淡水从内层套管与外层套管间的环形空间入,卤水从内层套管返回地面,两种方式均可以用于形成盐穴。

[0100] S32:对盐穴储气库进行机械完整性测试。

[0101] 在结束水溶造腔后,都需要进行机械完整性测试,以检测盐穴储气库的密封性。该机械完整性测试可以采用常规的机械完整性测试方法。

[0102] 在进行机械完整性测试时,关闭内层套管13,向技术套管11和外层套管12的环状空间中注入氮气,或者也可以从内层套管13和外层套管12之间的环状空间中注入氮气,把气水界面压到技术套管的管鞋以下5~10m的位置,同时使技术套管的管鞋处的气体压力保持为设定压力。这里设定压力为理论运行上限压力。在测试过程中,技术套管的管鞋处的气体压力可能会出现下降,可以通过向井中注入卤水提高压力,使技术套管的管鞋处的气体压力保持在设定压力。通过界面测井仪持续地记录气水界面的深度,通过地面检测仪表持续的记录井口压力,流体流量和温度等参数。根据气水界面深度变化值对腔体密封性作出评价。机械完整性测试的时间通常持续24小时,盐穴储气库在测试时间内气水界面深度变化小于1m,则机械完整性测试合格。如果测试不合格则需要降低所设置的理论运行上限压力。

[0103] 表1机械完整性测试检测数据表

时间		环状空间压力 (Mpa)	内层套管内压力 (Mpa)	气水界面深度 (m)
2月16日	18:00	16.905	6.904	1004.989
	19:00	16.91	6.91	1005.021
	20:00	16.90	6.91	1005.120
	21:00	16.90	6.90	1005.068
	22:00	16.90	6.90	1005.099
	23:00	16.90	6.90	1005.037
2月17日	00:00	16.89	6.90	1005.088
	1:00	16.89	6.89	1005.125
	2:00	16.89	6.89	1005.106
	3:00	16.89	6.89	1005.030
	4:00	16.89	6.89	1005.046
	5:00	16.89	6.89	1005.110
	6:00	16.89	6.89	1005.108
	7:00	16.90	6.89	1005.049
	8:00	16.90	6.89	1005.089
	9:00	16.90	6.89	1005.082
	10:00	16.90	6.90	1005.078
	11:00	16.90	6.90	1005.064
	12:00	16.901	6.90	1005.013
	13:00	16.90	6.90	1005.024
	14:00	16.89	6.89	1005.049
	15:00	16.89	6.89	1005.057
	16:00	16.907	6.889	1005.038
	17:00	16.90	6.889	1005.034
	18:00	16.905	6.904	1004.989

[0105] 如表1所示,本次机械完整性测试从2月16日18时开始,至2月17日18时结束,共历时24小时。

[0106] 由于技术套管的管鞋处的气体压力难以测到,井口处的压力较容易测到,而在井口处测量的环状空间压力与技术套管中的气柱的压力之和即为技术套管的管鞋处的气体压力。因此在进行机械完整性测试时可以测量环状空间压力,由此得到技术套管的管鞋处的气体压力。技术套管中的气柱的压力可以根据技术套管的管鞋所在深度计算得到。

[0107] 由于在机械完整性测试过程中,气柱的压力基本上是不变的,因此可以通过将井

口处测量的环状空间压力保持在固定压力值上,使得技术套管的管鞋处的气体压力保持为设定压力,例如本实施例中将环状空间压力保持在16.9MPa,使得技术套管的管鞋处的气体压力保持为18.22MPa。

[0108] 根据表中的数据可以看出,该盐穴储气库在24小时的测试时间内气水界面深度变化小于1m,因此机械完整性测试合格。

[0109] 由于在形成盐穴时,盐穴内技术套管的管鞋处的压力相比于设定压力要小很多,因此在进行机械完整性测试之前,可以先关闭内层套管13,向盐穴中注入氮气,将井口处的环状空间压力提升至16.9MPa左右。

[0110] S33:对盐穴储气库进行溶腔形态变化数值模拟,以检测盐穴储气库的稳定性。

[0111] 具体可以利用地质力学、岩石流变学理论及有限元理论进行数值模拟,以检测盐穴储气库的稳定性。对盐穴储气库的形变量、体积收缩率、剪胀安全系数在盐穴储气库以理论运行上限压力运行30年的过程中的变化。

[0112] 剪胀安全系数可以根据公式:

$$[0113] \quad SF_{vs} = \frac{0.27I_1}{\sqrt{J_2}} \quad (2)$$

[0114] 计算,其中 SF_{vs} 为剪胀安全系数, I_1 为第一主应力不变量, $I_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$, J_2 为第二主应力不变量偏量, $J_2 = 1/6[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]$, σ_1 、 σ_2 、 σ_3 分别为技术套管的管鞋所在地层的最大主应力、最小主应力和垂直主应力。

[0115] 变形量不超过行业标准的安全临界值,体积收缩率不超过10%,剪胀安全系数在2~3即可表明稳定性合格。

[0116] 如果盐穴储气库的稳定性不合格则需要降低理论运行上限压力。在测盐穴储气库的稳定性合格之后,在盐穴储气库投产前会以一个比理论运行上限压力小的数值作为当前运行上限压力,目前在正式生产中,盐穴储气库的运行压力会控制在不超过当前运行上限压力的范围内。当前运行上限压力通常根据经验设置,通常可以设置为理论运行上限压力的80%~95%。例如在理论运行上限压力为18.22Mpa时可以将当前运行上限压力设置为17Mpa。

[0117] 在建成盐穴储气库之后,就可以采用图1所示的盐穴储气库运行上限压力的确定方法确定盐穴储气库运行上限压力。由于目前根据经验设置的当前运行上限压力比理论运行上限压力小很多,会导致盐穴储气库的可存储量较小。采用图1所示的方法确定出的盐穴储气库运行上限压力比根据经验设置的当前运行上限压力更大,可以增加盐穴储气库的可存储量。

[0118] 以上所述仅为本发明的较佳实施例,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

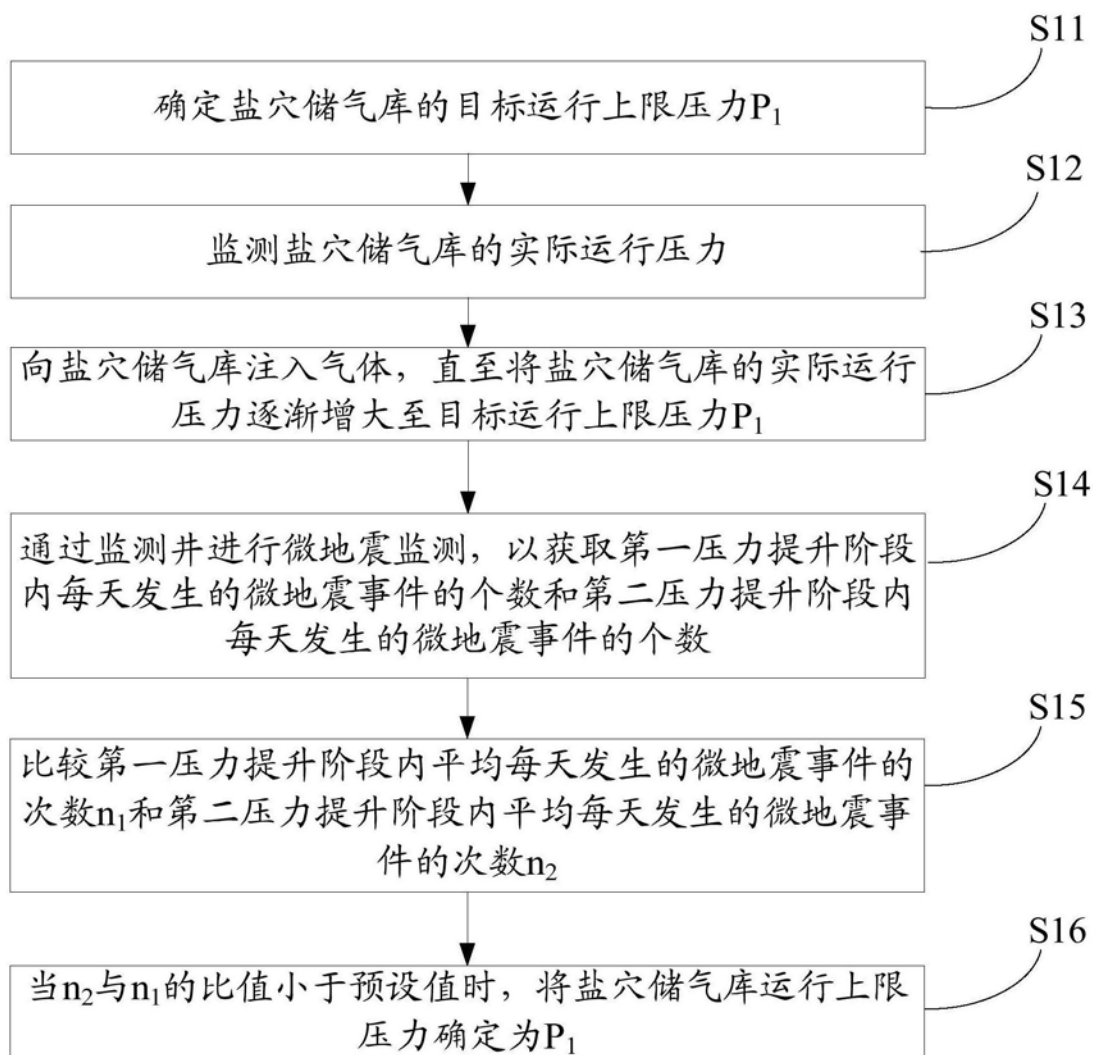


图1

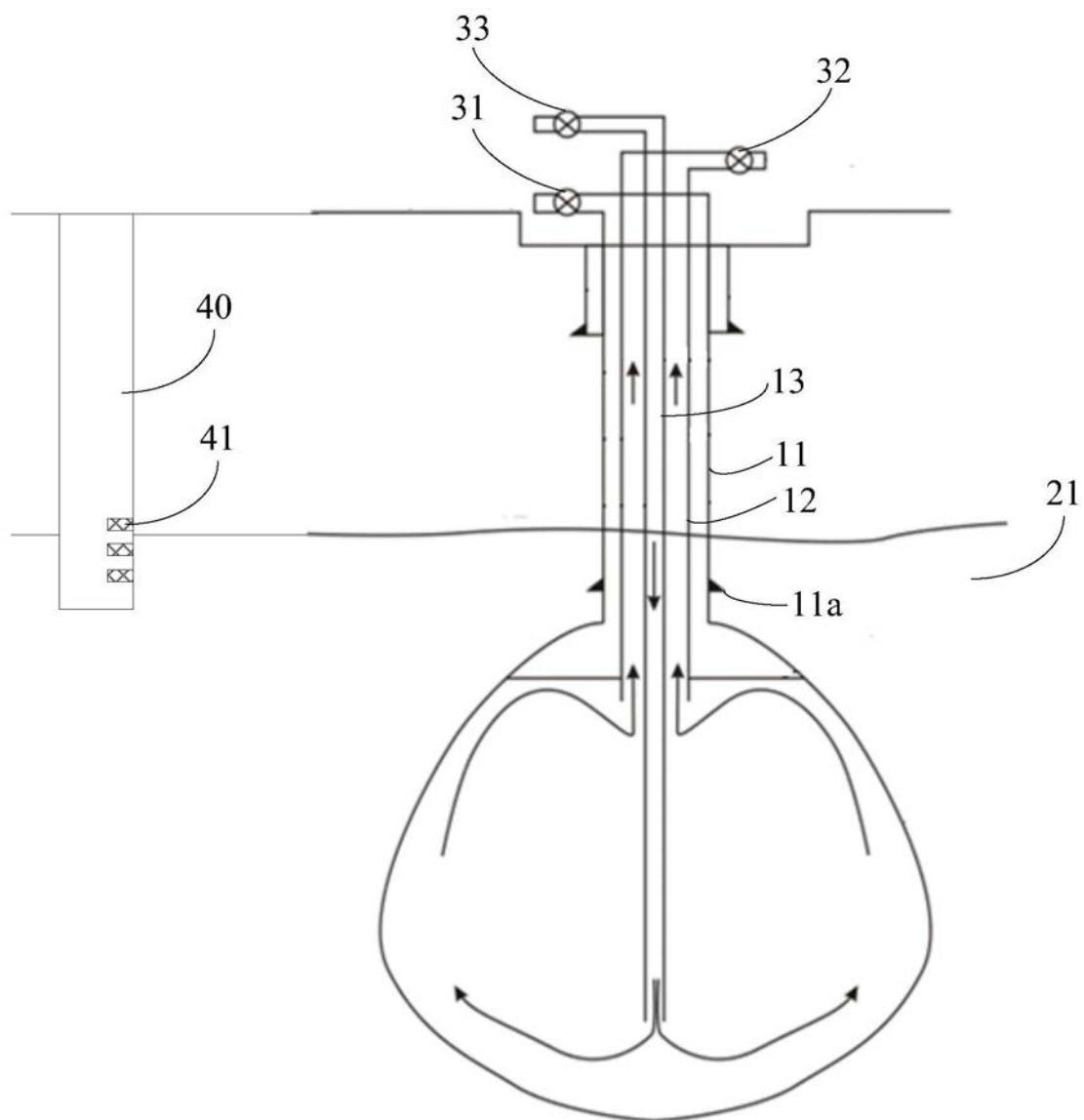


图2

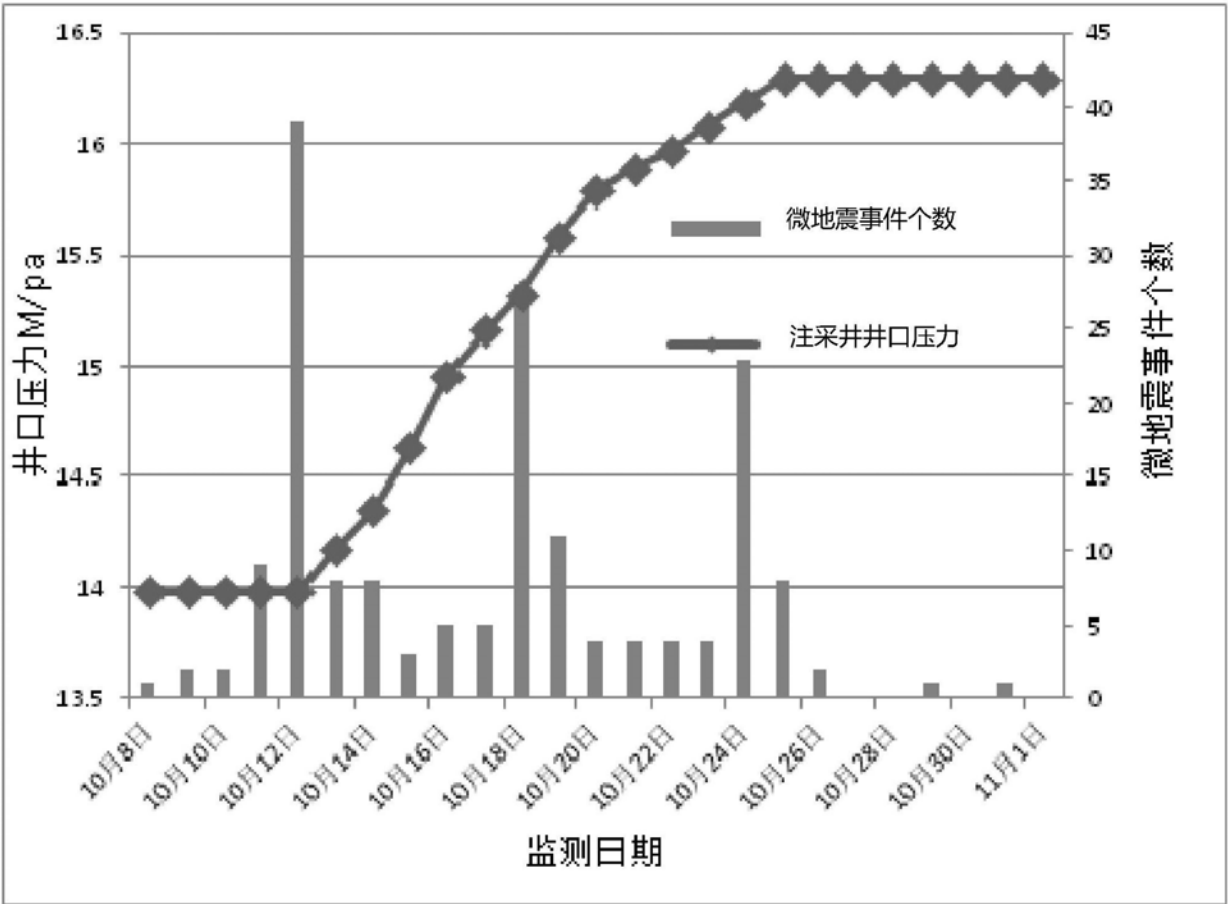


图3

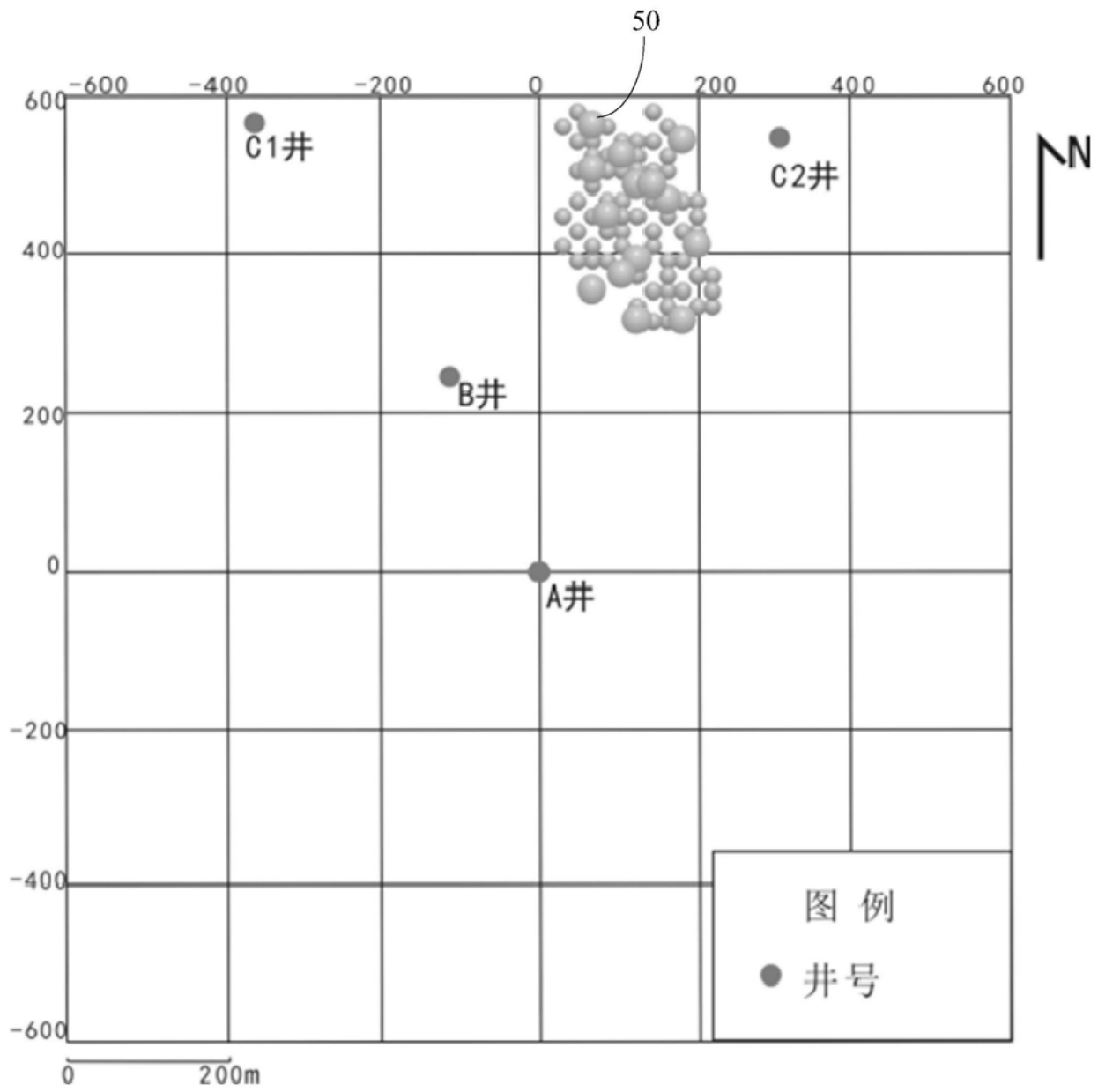


图4

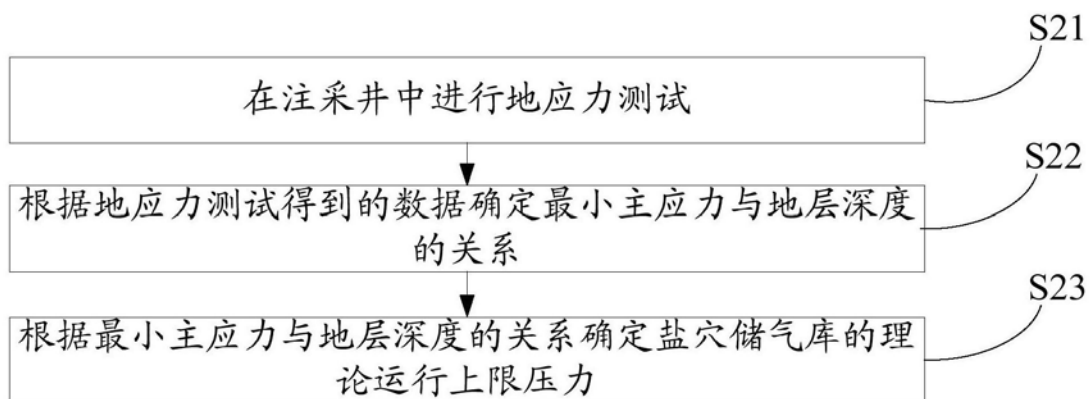


图5

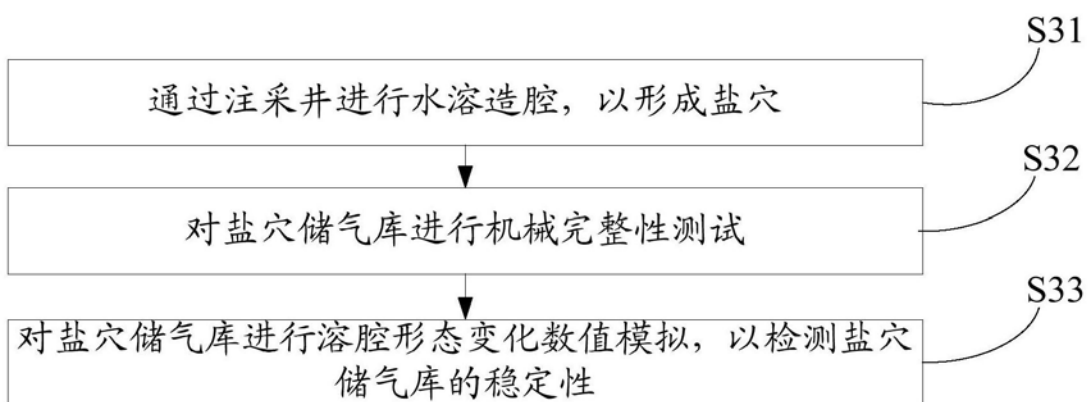


图6