

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2024 年 12 月 26 日 (26.12.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/259944 A1

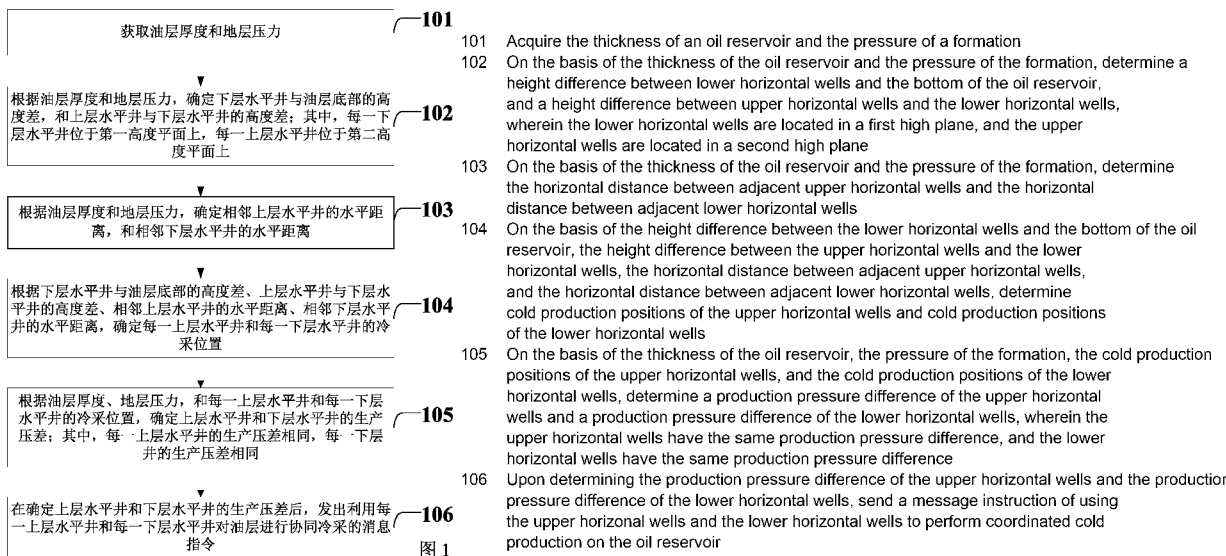
- (51) 国际专利分类号:
E21B 43/30 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2023/142871
- (22) 国际申请日: 2023 年 12 月 28 日 (28.12.2023)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202310744695.3 2023年6月21日 (21.06.2023) CN
- (71) 申请人: 中国石油天然气股份有限公司 (PETROCHINA COMPANY LIMITED) [CN/CN];
中国北京市东城区东直门北大街 9 号, Beijing 100007 (CN)。
- (72) 发明人: 杨朝蓬 (YANG, Zhaopeng); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。

余洋 (YU, Yang); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。夏朝辉 (XIA, Zhaohui); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。李星民 (LI, Xingmin); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。包宇 (BAO, Yu); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。史晓星 (SHI, Xiaoxing); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。沈杨 (SHEN, Yang); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。陈长春 (CHEN, Changchun); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。韩彬 (HAN, Bin); 中国北京市西城区六铺炕街六号 316 室, Beijing 100724 (CN)。

(74) 代理人: 北京三友知识产权代理有限公司 (BEIJING SANYOU INTELLECTUAL PROPERTY AGENCY LTD.); 中国北京市西城

(54) Title: HORIZONTAL WELL-BASED COORDINATED COLD PRODUCTION METHOD AND APPARATUS

(54) 发明名称: 水平井协同冷采方法及装置



(57) Abstract: The present application relates to the technical field of oil production, and provides a horizontal well-based coordinated cold production method and apparatus. The method comprises: acquiring the thickness of an oil reservoir and the pressure of a formation; on the basis of the thickness of the oil reservoir and the pressure of the formation, determining a height difference between lower horizontal wells and the bottom of the oil reservoir, and a height difference between upper horizontal wells and the lower horizontal wells; on the basis of the thickness of the oil reservoir and the pressure of the formation, determining the horizontal distance between adjacent upper horizontal wells and the horizontal distance between adjacent lower horizontal wells; on the basis of the height difference between the lower horizontal wells and the bottom of the oil reservoir, the height difference between the upper horizontal wells and the lower horizontal wells, the horizontal distance between adjacent upper horizontal wells, and the horizontal distance between adjacent lower horizontal wells, determining cold production positions of the upper horizontal wells and cold production positions of the lower horizontal wells; on the basis of the thickness of the oil reservoir, the pressure of the formation, the cold production positions of the upper horizontal wells, and the cold production positions of the lower horizontal wells, determining a production pressure difference of the upper horizontal wells and a production pressure difference of the lower horizontal wells, wherein the upper horizontal wells have the same production pressure difference, and the lower horizontal wells have the same production pressure difference; upon determining the production pressure difference of the upper horizontal wells and the production pressure difference of the lower horizontal wells, sending a message instruction of using the upper horizontal wells and the lower horizontal wells to perform coordinated cold production on the oil reservoir.

区金融街35号国际企业大厦A座16层, Beijing 100033 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

horizontal wells; on the basis of the thickness of the oil reservoir, the pressure of the formation, the cold production positions of the upper horizontal wells, and the cold production positions of the lower horizontal wells, determining a production pressure difference of the upper horizontal wells and a production pressure difference of the lower horizontal wells; and sending a message instruction of using the upper horizontal wells and the lower horizontal wells to perform coordinated cold production on the oil reservoir.

(57) 摘要: 本申请提供了水平井协同冷采方法及装置, 涉及石油开采技术领域, 该方法包括: 获取油层厚度和地层压力; 根据油层厚度和地层压力, 确定下层水平井与油层底部的高度差, 和上层水平井与下层水平井的高度差; 根据油层厚度和地层压力, 确定相邻上层水平井、相邻下层水平井的水平距离; 根据下层水平井与油层底部的高度差、上层水平井与下层水平井的高度差、相邻上层水平井和相邻下层水平井的水平距离, 确定每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置; 根据油层厚度、地层压力, 和每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置, 确定上层水平井和下层水平井的生产压差; 发出利用每一上层水平井和每一下层水平井对油层进行协同冷采的消息指令。

水平井协同冷采方法及装置

相关申请

5 本申请要求于 2023 年 6 月 21 日递交的申请号为 202310744695.3 的中国专利申请的优先权，并引用上述专利申请公开的内容作为本申请的一部分。

技术领域

本申请涉及石油开采技术领域，尤指一种水平井协同冷采方法及装置。

10 背景技术

本部分旨在为权利要求书中陈述的本申请实施例提供背景或上下文。此处的描述不因为包括在本部分中就承认是现有技术。

15 目前重油带已投产油田普遍采用水平井冷采方式开发，水平井井网为单层井网，即在靠近油层底部位置部署单层水平井井网，由于重油带油层厚度普遍较大，采用单层水平井井网开发，会出现层内储量动用不均的情况。因此，需要在在油层中部署上下两层水平井，对油层进行协同冷采。在现有技术中，对每一水平井采用相同的生产压差，但由于地层压力空间分布不均，对于上下两层水平井使用相同的生产压差，会造成上层水平井快速脱气，导致无法继续采油；此外上下两层水平井协同冷采由于上下层水平井垂向井距较小，两水平井泄油区域有一定重合，从而会产生一定的干扰，影响采油效率。

20

发明内容

在本申请实施例提出了一种水平井协同冷采方法，用以对油层进行充分开采，提高了采油效率，避免水平井发生脱气，包括：

获取油层厚度和地层压力；

25 根据油层厚度和地层压力，确定下层水平井与油层底部的高度差，和上层水平井与下层水平井的高度差；其中，每一下层水平井位于第一水平面上，每一上层水平井位于第二水平面上；

根据油层厚度和地层压力，确定相邻上层水平井的水平距离，和相邻下层水平井的水平距离；

30 根据下层水平井与油层底部的高度差、上层水平井与下层水平井的高度差、相邻上层水

平井的水平距离、相邻下层水平井的水平距离，确定每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置；

根据油层厚度、地层压力，和每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置，确定上层水平井和下层水平井的生产压差；其中，每一上层水平井的生产压差相同，每一下层井的生产压差相同；

在确定上层水平井和下层水平井的生产压差后，发出利用每一上层水平井和每一下层水平井对油层进行协同冷采的消息指令。

在本申请实施例提出了一种水平井协同冷采装置，用以对油层进行充分开采，提高了采油效率，避免水平井发生脱气，包括：

第一参数获取模块，用于获取油层厚度和地层压力；

高度差确定模块，用于根据油层厚度和地层压力，确定下层水平井与油层底部的高度差，和上层水平井与下层水平井的高度差；其中，每一下层水平井位于第一水平面上，每一上层水平井位于第二水平面上；

水平距离确定模块，用于根据油层厚度和地层压力，确定相邻上层水平井的水平距离，和相邻下层水平井的水平距离；

冷采位置确定模块，用于根据下层水平井与油层底部的高度差、上层水平井与下层水平井的高度差、相邻上层水平井的水平距离、相邻下层水平井的水平距离，确定每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置；

生产压差确定模块，用于根据油层厚度、地层压力，和每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置，确定上层水平井和下层水平井的生产压差；其中，每一上层水平井的生产压差相同，每一下层井的生产压差相同；

协同冷采控制模块，用于在确定上层水平井和下层水平井的生产压差后，发出利用每一上层水平井和每一下层水平井对油层进行协同冷采的消息指令。

在本申请实施例提出了一种计算机设备，包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，所述处理器执行所述计算机程序时实现水平井协同冷采方法。

在本申请实施例提出了一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现水平井协同冷采方法。

在本申请实施例提出了一种计算机程序产品，所述计算机程序产品包括计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现水平井协同冷采方法。

本申请实施例提出的水平井协同冷采方法及装置可以解决现有技术中层内储量动用不均的情况，和水平井易发生脱气，采油效率低的问题；本申请实施例通过获取油层厚度和地层

压力；根据油层厚度和地层压力，确定下层水平井与油层底部的高度差，和上层水平井与下层水平井的高度差；其中，每一下层水平井位于第一水平面上，每一上层水平井位于第二水平面上；根据油层厚度和地层压力，确定相邻上层水平井的水平距离，和相邻下层水平井的水平距离；根据下层水平井与油层底部的高度差、上层水平井与下层水平井的高度差、相邻上层水平井的水平距离、相邻下层水平井的水平距离，确定每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置；根据油层厚度、地层压力，和每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置，确定上层水平井和下层水平井的生产压差；其中，每一上层水平井的生产压差相同，每一下层井的生产压差相同；在确定上层水平井和下层水平井的生产压差后，发出利用每一上层水平井和每一下层水平井对油层进行协同冷采的消息指令。本申请实施例可以确定每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置，实现了对油层进行充分开采，提高了采油效率，对上层水平井和下层水平井分别设定生产压差，避免水平井发生脱气。

附图说明

为了更清楚地说明本申请实施例技术方案，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，下面描述中的附图是本申请的一些实施例，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它的附图。

图 1 是本申请实施例中水平井协同冷采方法的流程示意图；
图 2 是本申请实施例中水平井协同冷采方法的具体实例图；
图 3 是本申请实施例中水平井协同冷采方法的具体实例图；
图 4 是本申请实施例中水平井协同冷采方法的具体实例图；
图 5 是本申请实施例中水平井协同冷采方法的具体实例图；
图 6 是本申请实施例中水平井协同冷采方法的具体实例图；
图 7 是本申请实施例中水平井协同冷采方法的具体实例图；
图 8 是本申请实施例中水平井协同冷采方法的具体实例图；
图 9 是本申请实施例中水平井协同冷采方法的具体实例图；
图 10 是本申请实施例中水平井协同冷采方法的具体实例图；
图 11 是本申请实施例中水平井协同冷采装置的示意图；
图 12 是本申请实施例中水平井协同冷采装置的具体实例图；
图 13 是本申请实施例中计算机设备的示意图。

附图标记：

1-外壳、2-入口、3-第一导流腔、4-第一导流孔、5-第二导流腔、6-第二导流孔、7-第一底

座、8-第二底座、9-挡板、10-第一连杆、11-第一转动轴、12-第二连杆、13-固定轴、14-第二转动轴、15-第三连杆、16-传导板、17-随动浮子、18-铁片、19-传导腔、20-密度浮动腔、21-浮子、22-磁铁、23-第三导流孔、24-弱弹簧、25-出口导流腔、26-出口、27-入流控制器、28-流动通道、29-防砂筛管。

5

具体实施方式

为使本申请实施例的目的、技术方案和优点更加清楚明白，下面结合附图对本申请实施例做进一步详细说明。在此，本申请的示意性实施例及其说明用于解释本申请，但并不作为对本申请的限定。

10 本文中术语“和/或”，仅仅是描述一种关联关系，表示可以存在三种关系，例如，A 和/或 B，可以表示：单独存在 A，同时存在 A 和 B，单独存在 B 这三种情况。另外，本文中术语“至少一种”表示多种中的任意一种或多种中的至少两种的任意组合，例如，包括 A、B、C 中的至少一种，可以表示包括从 A、B 和 C 构成的集合中选择的任意一个或多个元素。

15 在本说明书的描述中，所使用的“包含”、“包括”、“具有”、“含有”等，均为开放性的用语，即意指包含但不限于。参考术语“一个实施例”、“一个具体实施例”、“一些实施例”、“例如”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构或者特点包含于本申请的至少一个实施例或示例中。在本说明书中，对上述术语的示意性表述不一定指的是相同的实施例或示例。而且，描述的具体特征、结构或者特点可以在任何的一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。各实施例中涉及的步骤顺序用于示意性说明本申请的实施，其中的步骤顺序不作限定，可根据需要作适当调整。

20 下面参考本申请的若干代表性实施方式，详细阐释本申请的原理和精神。

图 1 是本申请实施例的水平井协同冷采方法的流程示意图。如图 1 所示，该方法包括：

步骤 101，获取油层厚度和地层压力；

25 步骤 102，根据油层厚度和地层压力，确定下层水平井与油层底部的高度差，和上层水平井与下层水平井的高度差；其中，每一下层水平井位于第一水平面上，每一上层水平井位于第二水平面上；

步骤 103，根据油层厚度和地层压力，确定相邻上层水平井的水平距离，和相邻下层水平井的水平距离；

30 步骤 104，根据下层水平井与油层底部的高度差、上层水平井与下层水平井的高度差、相邻上层水平井的水平距离、相邻下层水平井的水平距离，确定每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置；

步骤 105, 根据油层厚度、地层压力, 和每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置, 确定上层水平井和下层水平井的生产压差; 其中, 每一上层水平井的生产压差相同, 每一下层井的生产压差相同;

5 步骤 106, 在确定上层水平井和下层水平井的生产压差后, 发出利用每一上层水平井和每一下层水平井对油层进行协同冷采的消息指令。

由图 1 所示流程可以得知, 本申请实施例获取油层厚度和地层压力; 根据油层厚度和地层压力, 确定下层水平井与油层底部的高度差, 和上层水平井与下层水平井的高度差; 其中, 每一下层水平井位于第一水平面上, 每一上层水平井位于第二水平面上; 根据油层厚度和地层压力, 确定相邻上层水平井的水平距离, 和相邻下层水平井的水平距离; 根据下层水平井与油层底部的高度差、上层水平井与下层水平井的高度差、相邻上层水平井的水平距离、相邻下层水平井的水平距离, 确定每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置; 根据油层厚度、地层压力, 和每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置, 确定上层水平井和下层水平井的生产压差; 其中, 每一上层水平井的生产压差相同, 每一下层井的生产压差相同; 在确定上层水平井和下层水平井的生产压差后, 发出利用每一上层水平井和每一下层水平井对油层进行协同冷采的消息指令。本申请实施例可以确定每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置, 实现了对油层进行充分开采, 提高了采油效率, 对上层水平井和下层水平井分别设定生产压差, 避免水平井发生脱气。

为了对上述水平井协同冷采方法进行更为清楚的解释, 下面结合每一步骤来进行详细说明。

20 本申请一实施例中, 根据油层厚度和地层压力, 确定下层水平井与油层底部的高度差, 和上层水平井与下层水平井的高度差, 包括: 根据油层厚度和地层压力, 利用数值模拟的方法, 调节下层水平井与油层底部的高度差, 和上层水平井与下层水平井的高度差, 确定产油量最大值; 根据产油量最大值, 确定下层水平井与油层底部的高度差, 和上层水平井与下层水平井的高度差。

25 图 2 是本申请实施例中水平井协同冷采方法的具体实例图。

具体实施时, 参考图 2, 将油层厚度、地层压力, 下层水平井与油层底部的高度差、上层水平井与下层水平井的高度差输入油藏数值模拟器, 调节下层水平井与油层底部的高度差, 和上层水平井与下层水平井的高度差, 确定产油量最大值, 在油藏数值模拟器得到的产油量最大时, 确定下层水平井与油层底部的高度差为 h_1 , 和上层水平井与下层水平井的高度差 h_2 ; 其中, H 表示油层厚度; 此外, 为确保油藏数值模拟器得到的产油量结果准确, 还可输入原油的黏度、密度参数。

具体实施时，按如下公式确定下层水平井与油层底部的高度差，和上层水平井与下层水平井的高度差：

$$h_1 = \begin{cases} \frac{H}{10}, & H \leq 10 \\ \frac{H}{12}, & 10 < H < 20; \\ \frac{H}{15}, & H \geq 20 \end{cases}$$

$$h_2 = \begin{cases} \frac{6H}{10}, & H \leq 10 \\ \frac{8H}{12}, & 10 < H < 20; \\ \frac{11H}{15}, & H \geq 20 \end{cases}$$

5 其中， h_1 为下层水平井与油层底部的高度差，单位为 m； h_2 为上层水平井与下层水平井的高度差，单位为 m；H 为油层厚度，单位为 m。

本申请一实施例中，根据油层厚度和地层压力，确定相邻上层水平井的水平距离，和相邻下层水平井的水平距离，包括：根据油层厚度和地层压力，利用数值模拟的方法，调节相邻上层水平井的水平距离，和相邻下层水平井的水平距离，确定产油量最大值；根据产油量
10 最大值，确定相邻上层水平井的水平距离，和相邻下层水平井的水平距离；其中，相邻上层水平井的水平距离与相邻下层水平井的水平距离相同。

具体实施时，将油层厚度、地层压力、相邻上层水平井的水平距离，和相邻下层水平井的水平距离输入油藏数值模拟器，在油藏数值模拟器中调节相邻上层水平井的水平距离，和相邻下层水平井的水平距离，确定产油量最大值；在产油量最大时，确定相邻上层水平井的
15 水平距离，和相邻下层水平井的水平距离；参考图 2，相邻上层水平井的水平距离，和相邻下层水平井的水平距离相同，均为 WS。

图 3 是本申请实施例中水平井协同冷采方法的具体实例图。

本申请一实施例中，参考图 3，将一油层的油层厚度 H、地层压力 P、相邻水平井的水平距离 WS 输入油藏数值模拟器，可得到在地层压力 $P=9\text{Mpa}$ 时，相邻水平井的水平距离 WS
20 与油层厚度 H 的关系为 $WS = 4353.59 H^{(0.79)}$ ；在地层压力 $P=8\text{Mpa}$ 时，相邻水平井的水平距离 WS 与油层厚度 H 的关系为 $WS = 4179.4H^{-0.79}$ ；在地层压力 $P=7\text{Mpa}$ 时，相邻水平井的水平距离 WS 与油层厚度 H 的关系为 $WS = 4005.3H^{-0.79}$ ；在地层压力 $P=6\text{Mpa}$ 时，相邻水平井的水平距离 WS 与油层厚度 H 的关系为 $WS = 3831.2H^{-0.79}$ ；在地层压力 $P=5\text{Mpa}$ 时，相邻水平井的水平距离 WS 与油层厚度 H 的关系为 $WS = 3657.02 H^{(0.79)}$ 。

25 具体实施时，按如下公式确定相邻上层水平井的水平距离，和相邻下层水平井的水平距离：

$$WS = 5422.9e^{-0.044P}H^{0.79};$$

其中，WS 表示相邻上层水平井的水平距离，和相邻下层水平井的水平距离； P 表示地层压力； H 表示油层厚度。

本申请一实施例中，根据下层水平井与油层底部的高度差 h_1 、上层水平井与下层水平井的高度差 h_2 、相邻上层水平井的水平距离 WS、相邻下层水平井的水平距离 WS，确定每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置，每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置参考图 2，其中，每一上层水平井的水平位置位于两个下层水平井位置的中间，即一个上层水平井与两个下层水平井构成等腰三角形。

目前重油带已投产油田普遍采用泡沫油水平井冷采方式开发，水平井井网为单层水平井，即同一开发层系在靠近油层底部位置部署单层水平井井网。由于重油带油层厚度普遍较大，采用单层水平井井网开发，会出现层内储量动用不均的情况。本申请实施例提出的双水平井立体井网，即同一开发层系在油层底部和中上部位置分别部署上下双层水平井，可以有效增加储量动用程度，通过调整上层水平井和下层水平井的冷采位置，使得冷采开发效果得到有效改善。

本申请一实施例中，根据油层厚度、地层压力，和每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置，确定上层水平井和下层水平井的生产压差，包括：根据油层厚度、地层压力，和每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置，利用数值模拟的方法，调节上层水平井和下层水平井的生产压差，确定产油量最大值；根据产油量最大值，确定上层水平井和下层水平井的生产压差。

具体实施时，将油层厚度、地层压力、每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置、上层水平井和下层水平井的生产压差输入油藏数值模拟器，调节上层水平井和下层水平井的生产压差，确定产油量最大值，在产油量最大时，确定上层水平井和下层水平井的生产压差。

图 4-图 7 是本申请实施例中水平井协同冷采方法的具体实例图。

本申请一实施例中，利用油藏数值模拟器，得到不同油层厚度的条件下，水平井生产压差和地层压力的关系曲线；当油层厚度为 10m 时，上层水平井随地层压力的变化曲线、下层水平井随地层压力的变化曲线参考图 4；当油层厚度为 15m 时，上层水平井随地层压力的变化曲线、下层水平井随地层压力的变化曲线参考图 5；当油层厚度为 20m 时，上层水平井随地层压力的变化曲线、下层水平井随地层压力的变化曲线参考图 6；当油层厚度为 25m 时，上层水平井随地层压力的变化曲线、下层水平井随地层压力的变化曲线参考图 7。由此可见，对上层水平井的生产压差低于下层井的生产压差，且生产压差根据采油过程中地层压力的变化进行调节，可防止上层水平井快速脱气，造成上层水平井无法继续采油，导致产油量降低。

本申请一实施例中，按如下公式确定上层水平井的生产压差：

$$\Delta P_1 = (0.0948 \ln H + 0.4788) e^{0.158P};$$

按如下公式确定下层水平井的生产压差：

$$\Delta P_2 = (0.0824 \ln H + 0.4165) e^{0.1577P};$$

- 5 其中， ΔP_1 表示上层水平井的生产压差，单位为 MPa； ΔP_2 表示下层水平井的生产压差，单位为 MPa； P 表示地层压力，单位为 MPa； H 表示油层厚度，单位为 m。

具体实施时，按如下公式确定上层水平井和下层水平井的生产压差：

$$\Delta P_i = (a_i \ln H + b_i) e^{c_i P}$$

- 10 其中， ΔP_i 表示第 i 层水平井的生产压差，单位为 MPa； a_i 表示第 i 层水平井的生产压差的第一相关系数； b_i 表示第 i 层水平井的生产压差的第二相关系数； c_i 表示第 i 层水平井的生产压差的第三相关系数； i 取 1 时表示计算上层水平井的生产压差， i 取 2 时表示计算下层水平井的生产压差； P 表示地层压力，单位为 MPa； H 表示油层厚度，单位为 m。

- 15 为了解决水平井段压力分布不均的问题，避免水平井段在采油过程中气体进入水平井段，导致水平井发生脱气的问题，在本申请一实施例中，获取地层相关参数；其中，地层相关参数包括：渗透率、孔隙度、含油饱和度、夹层个数、夹层在地层中的纵向位置、夹层在地层中的横向位置其中之一或任意组合；根据地层相关参数、地层压力、水平井长度、水平井与油层底部的高度差，确定在水平井内设置第一入流控制器的位置、入流控制器的个数、相邻入流控制器的距离；其中，水平井包括上层水平井和下层水平井。

- 20 本申请一实施例中，根据地层相关参数、地层压力、水平井长度、水平井与油层底部的高度差，确定在水平井内设置第一入流控制器的位置、入流控制器的个数、相邻入流控制器的距离，包括：接收预设的多组第一入流控制器的位置、入流控制器的个数、相邻入流控制器的距离参数；根据地层相关参数、地层压力、水平井长度、水平井与油层底部的高度差，利用数值模拟的方法，依次读取每一组第一入流控制器的位置、入流控制器的个数、相邻入流控制器的距离，确定产油量最大值；根据产油量最大值，确定在水平井内设置第一入流控制器的位置、入流控制器的个数、相邻入流控制器的距离。
- 25

- 具体实施时，预设多组第一入流控制器的位置、入流控制器的个数、相邻入流控制器的距离参数；将渗透率、孔隙度、含油饱和度、夹层个数、夹层在地层中的纵向位置、夹层在地层中的横向位置、地层压力、水平井长度、水平井与油层底部的高度差输入油藏数值模拟器，再依次向油藏数值模拟器输入每一组第一入流控制器的位置、入流控制器的个数、相邻入流控制器的距离，确定油藏数值模拟器输出最大产油量的一组第一入流控制器的位置、入流控制器的个数、相邻入流控制器的距离；其中，第一入流控制器的位置是根据第一入流控
- 30

制器与水平井脚跟的距离确定的。

本申请另一实施例中，将地层相关参数、地层压力、水平井长度、水平井与油层底部的高度差输入位置参数确定模型，输出水平井内第一入流控制器的位置、入流控制器的个数、相邻入流控制器的距离；其中，位置参数确定模型是根据历史地层相关参数、历史地层压力、历史水平井长度、历史水平井与油层底部的高度差，和对应的水平井内历史第一入流控制器的位置、历史入流控制器的个数、历史相邻入流控制器的距离，对机器学习模型进行训练得到的。

具体实施时，将渗透率、孔隙度、含油饱和度、夹层个数、夹层在地层中的纵向位置、夹层在地层中的横向位置、地层压力、水平井长度、水平井与油层底部的高度差输入位置参数确定模型，输出水平井内第一入流控制器的位置、入流控制器的个数、相邻入流控制器的距离；其中，位置参数确定模型是根据历史渗透率、历史孔隙度、历史含油饱和度、历史夹层个数、历史夹层在地层中的纵向位置、历史夹层在地层中的横向位置、历史地层压力、历史水平井长度、历史水平井与油层底部的高度差输入位置参数确定模型、历史地层压力、历史水平井长度、历史水平井与油层底部的高度差，和对应的水平井内历史第一入流控制器的位置、历史入流控制器的个数、历史相邻入流控制器的距离，对机器学习模型进行训练得到的，机器学习模型可选用全连接深度神经网络模型，全连接深度神经网络模型的输入层包含9个神经元，输出层为3个神经元；神经网络模型运算的基本原理是通过正向传播传递信号，反向传播传递误差，依据训练数据逐步建立起每个神经元的权重与偏差，得到最终的深度神经网络模型。

图8是本申请实施例中水平井协同冷采方法的具体实例图。

本申请一实施例中，参考图8，入流控制器（ICD）包括：

外壳1、入口2、第一导流腔3、第一导流孔4、第二导流腔5、第二导流孔6、第一底座7、第二底座8、挡板9、第一连杆10、第一转动轴11、第二连杆12、固定轴13、第二转动轴14、第三连杆15、传导板16、随动浮子17、铁片18、传导腔19、密度浮动腔20、浮子21、磁铁22、第三导流孔23、弱弹簧24、出口导流腔25、出口26；

其中，入口2和出口26分别设置于外壳1两侧，入口2与第一导流腔3相通，第一导流腔3通过第一导流孔4与第二导流腔5相通，第一导流腔3通过第三导流孔23与密度浮动腔20相通，磁铁22嵌于浮子21内，浮子21置于密度浮动腔20内浮动，传导腔19为密封腔体，传导腔19与密度浮动腔20相邻，铁片18嵌于随动浮子17内，随动浮子17随着浮子21在传导腔19内移动，传导板16设置于随动浮子17下方，传导板16与第三连杆15的第一端连接，第三连杆15的第二端与第二连杆12的第一端通过第二转动轴14连接，固定轴13设

置于传导腔 19 与第二导流腔 5 分隔的内部壳体上，第二连杆 12 通过固定轴 13 穿过传导腔 19 与第二导流腔 5 分隔的内部壳体，用于改变传动方向，第二连杆 12 的第二端通过第一转动轴 11 与第一连杆 10 的第一端连接，第一连杆 10 的第二端与挡板 9 连接，弱弹簧 24 的第一端固定在第二导流腔 5 的内部壳体上，弱弹簧 24 的第二端与挡板 9 连接，第一底座 7 与第二底座 8 设置于第二导流腔 5 和出口导流腔 25 之间，第二导流孔 6 设置于第一底座 7 与第二底座 8 之间，第二导流腔 5 通过第二导流孔 6 与出口导流腔 25 相通，出口导流腔 25 与出口 26 相通。

图 9 是本申请实施例中水平井协同冷采方法的具体实例图。

本申请一实施例中，参考图 9，原油从入口 2 流入，通过第一导流腔 3、第一导流孔 4、第二导流腔 5、第二导流孔 6、出口导流腔 25、出口 26 向外流出；当原油内含有气体时，气体会通过第三导流孔 23 进入密度浮动腔 20，原油密度降低，浮子 21 向下运动，由于浮子 21 内嵌有磁铁 22、随动浮子 17 内嵌有铁片 18，带动随动浮子 17 向下运动，随动浮子向下压传导板 16，通过第三连杆 15、第二转动轴 14、固定轴 13、第二连杆 12、第一转动轴 11、第一连杆 10 的传导作用，挡板 9 向上运动，堵住第一底座 7 与第二底座 8 之间的第二导流孔，实现入流控制器自动关闭，防止气体进入水平井内，造成水平井段脱气，无法继续采油。

图 10 是本申请实施例中水平井协同冷采方法的具体实例图。

本申请一实施例中，入流控制器 27 与防砂筛管 29 的安装参考图 10，原油从油层通过防砂筛管 29 进入水平井的流动通道 28，再通过入流控制器 27 进入水平井内，进行采油输送；其中，防砂筛管 29 用于防止原油中的砂进入水平井，入流控制器 27 用于防止气体进入水平井。

需要说明的是，尽管在上述实施例及附图中以特定顺序描述了本申请方法的操作，但是，这并非要求或者暗示必须按照该特定顺序来执行这些操作，或是必须执行全部所示的操作才能实现期望的结果。附加地或备选地，可以省略某些步骤，将多个步骤合并为一个步骤执行，和/或将一个步骤分解为多个步骤执行。

水平井协同冷采装置的实施可以参见上述方法的实施，重复之处不再赘述。以下所使用的术语“模块”或者“单元”，可以是实现预定功能的软件和/或硬件的组合。尽管以下实施例所描述的装置较佳地以软件来实现，但是硬件，或者软件和硬件的组合的实现也是可能并被构想的。

基于同一发明构思，本申请还提出了一种水平井协同冷采装置，如图 11 所示，该装置包括：

第一参数获取模块 1101，用于获取油层厚度和地层压力；

高度差确定模块 1102，用于根据油层厚度和地层压力，确定下层水平井与油层底部的高度差，和上层水平井与下层水平井的高度差；其中，每一下层水平井位于第一水平面上，每一上层水平井位于第二水平面上；

5 水平距离确定模块 1103，用于根据油层厚度和地层压力，确定相邻上层水平井的水平距离，和相邻下层水平井的水平距离；

冷采位置确定模块 1104，用于根据下层水平井与油层底部的高度差、上层水平井与下层水平井的高度差、相邻上层水平井的水平距离、相邻下层水平井的水平距离，确定每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置；

10 生产压差确定模块 1105，用于根据油层厚度、地层压力，和每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置，确定上层水平井和下层水平井的生产压差；其中，每一上层水平井的生产压差相同，每一下层井的生产压差相同；

协同冷采控制模块 1106，用于在确定上层水平井和下层水平井的生产压差后，发出利用每一上层水平井和每一下层水平井对油层进行协同冷采的消息指令。

本申请一实施例中，高度差确定模块 1102 具体用于：

15 根据油层厚度和地层压力，利用数值模拟的方法，调节下层水平井与油层底部的高度差，和上层水平井与下层水平井的高度差，确定产油量最大值；根据产油量最大值，确定下层水平井与油层底部的高度差，和上层水平井与下层水平井的高度差。

本申请一实施例中，高度差确定模块 1102 具体用于：

按如下公式确定下层水平井与油层底部的高度差，和上层水平井与下层水平井的高度差：

$$20 \quad h_1 = \begin{cases} \frac{H}{10}, & H \leq 10 \\ \frac{H}{12}, & 10 < H < 20; \\ \frac{H}{15}, & H \geq 20 \end{cases}$$

$$h_2 = \begin{cases} \frac{6H}{10}, & H \leq 10 \\ \frac{8H}{12}, & 10 < H < 20; \\ \frac{11H}{15}, & H \geq 20 \end{cases}$$

其中， h_1 为下层水平井与油层底部的高度差，单位为 m； h_2 为上层水平井与下层水平井的高度差，单位为 m；H 为油层厚度，单位为 m。

本申请一实施例中，水平距离确定模块 1103 具体用于：

25 根据油层厚度和地层压力，利用数值模拟的方法，调节相邻上层水平井的水平距离，和相邻下层水平井的水平距离，确定产油量最大值；根据产油量最大值，确定相邻上层水平井

的水平距离，和相邻下层水平井的水平距离；其中，相邻上层水平井的水平距离与相邻下层水平井的水平距离相同。

本申请一实施例中，水平距离确定模块 1103 具体用于：

按如下公式确定相邻上层水平井的水平距离，和相邻下层水平井的水平距离：

$$WS = 5422.9e^{-0.044P}H^{0.79};$$

其中，WS 表示相邻上层水平井的水平距离，和相邻下层水平井的水平距离；P 表示地层压力；H 表示油层厚度。

本申请一实施例中，生产压差确定模块 1105 具体用于：

根据油层厚度、地层压力，和每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置，利用数值模拟的方法，调节上层水平井和下层水平井的生产压差，确定产油量最大值；根据产油量最大值，确定上层水平井和下层水平井的生产压差。

本申请一实施例中，生产压差确定模块 1105 具体用于：

按如下公式确定上层水平井和下层水平井的生产压差：

$$\Delta P_i = (a_i \ln H + b_i)e^{c_i P}$$

其中， ΔP_i 表示第 i 层水平井的生产压差； a_i 表示第 i 层水平井的生产压差的第一相关系数； b_i 表示第 i 层水平井的生产压差的第二相关系数； c_i 表示第 i 层水平井的生产压差的第三相关系数； i 取 1 时表示计算上层水平井的生产压差， i 取 2 时表示计算下层水平井的生产压差；P 表示地层压力；H 表示油层厚度。

图 12 是本申请实施例中水平井协同冷采装置的具体实例图。如图 12 所示，本申请一实施例中，图 11 所示水平井协同冷采装置还包括：

第二参数获取模块 1201，用于获取地层相关参数；其中，地层相关参数包括：渗透率、孔隙度、含油饱和度、夹层个数、夹层在地层中的纵向位置、夹层在地层中的横向位置其中之一或任意组合；

位置参数确定模块 1202，用于根据地层相关参数、地层压力、水平井长度、水平井与油层底部的高度差，确定在水平井内设置第一入流控制器的位置、入流控制器的个数、相邻入流控制器的距离；其中，水平井包括上层水平井和下层水平井。

本申请一实施例中，入流控制器包括：

外壳 1、入口 2、第一导流腔 3、第一导流孔 4、第二导流腔 5、第二导流孔 6、第一底座 7、第二底座 8、挡板 9、第一连杆 10、第一转动轴 11、第二连杆 12、固定轴 13、第二转动轴 14、第三连杆 15、传导板 16、随动浮子 17、铁片 18、传导腔 19、密度浮动腔 20、浮子 21、磁铁 22、第三导流孔 23、弱弹簧 24、出口导流腔 25、出口 26；

其中，入口 2 和出口 26 分别设置于外壳 1 两侧，入口 2 与第一导流腔 3 相通，第一导流腔 3 通过第一导流孔 4 与第二导流腔 5 相通，第一导流腔 3 通过第三导流孔 23 与密度浮动腔 20 相通，磁铁 22 嵌于浮子 21 内，浮子 21 置于密度浮动腔 20 内浮动，传导腔 19 为密封腔体，传导腔 19 与密度浮动腔 20 相邻，铁片 18 嵌于随动浮子 17 内，随动浮子 17 随着浮子 21 在传导腔 19 内移动，传导板 16 设置于随动浮子 17 下方，传导板 16 与第三连杆 15 的第一端连接，第三连杆 15 的第二端与第二连杆 12 的第一端通过第二转动轴 14 连接，固定轴 13 设置于传导腔 19 与第二导流腔 5 分隔的内部壳体上，第二连杆 12 通过固定轴 13 穿过传导腔 19 与第二导流腔 5 分隔的内部壳体，用于改变传动方向，第二连杆 12 的第二端通过第一转动轴 11 与第一连杆 10 的第一端连接，第一连杆 10 的第二端与挡板 9 连接，弱弹簧 24 的第一端固定在第二导流腔 5 的内部壳体上，弱弹簧 24 的第二端与挡板 9 连接，第一底座 7 与第二底座 8 设置于第二导流腔 5 和出口导流腔 25 之间，第二导流孔 6 设置于第一底座 7 与第二底座 8 之间，第二导流腔 5 通过第二导流孔 6 与出口导流腔 25 相通，出口导流腔 25 与出口 26 相通。

本申请一实施例中，位置参数确定模块 1201 具体用于：

接收预设的多组第一入流控制器的位置、入流控制器的个数、相邻入流控制器的距离参数；根据地层相关参数、地层压力、水平井长度、水平井与油层底部的高度差，利用数值模拟的方法，依次读取每一组第一入流控制器的位置、入流控制器的个数、相邻入流控制器的距离，确定产油量最大值；根据产油量最大值，确定在水平井内设置第一入流控制器的位置、入流控制器的个数、相邻入流控制器的距离。

本申请一实施例中，位置参数确定模块 1202 具体用于：

将地层相关参数、地层压力、水平井长度、水平井与油层底部的高度差输入位置参数确定模型，输出水平井内第一入流控制器的位置、入流控制器的个数、相邻入流控制器的距离；其中，位置参数确定模型是根据历史地层相关参数、历史地层压力、历史水平井长度、历史水平井与油层底部的高度差，和对应的水平井内历史第一入流控制器的位置、历史入流控制器的个数、历史相邻入流控制器的距离，对机器学习模型进行训练得到的。

应当注意，尽管在上文详细描述中提及了水平井协同冷采装置的若干模块，但是这种划分仅仅是示例性的并非强制性的。实际上，根据本申请的实施方式，上文描述的两个或更多模块的特征和功能可以在一个模块中具体化。反之，上文描述的一个模块的特征和功能可以进一步划分为由多个模块来具体化。

基于前述发明构思，如图 13 所示，本申请还提出了一种计算机设备 1300，包括存储器 1301、处理器 1302 及存储在存储器 1301 上并可在处理器 1302 上运行的计算机程序 1303，

所述处理器 1302 执行所述计算机程序 1303 时实现前述水平井协同冷采方法。

基于前述发明构思，本申请提出了一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现前述水平井协同冷采方法。

基于前述发明构思，本申请提出了一种计算机程序产品，所述计算机程序产品包括计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现水平井协同冷采方法。

本申请实施例提出的水平井协同冷采方法及装置可以解决现有技术中层内储量动用不均的情况，和水平井易发生脱气，采油效率低的问题；本申请实施例通过获取油层厚度和地层压力；根据油层厚度和地层压力，确定下层水平井与油层底部的高度差，和上层水平井与下层水平井的高度差；其中，每一下层水平井位于第一水平面上，每一上层水平井位于第二水平面上；根据油层厚度和地层压力，确定相邻上层水平井的水平距离，和相邻下层水平井的水平距离；根据下层水平井与油层底部的高度差、上层水平井与下层水平井的高度差、相邻上层水平井的水平距离、相邻下层水平井的水平距离，确定每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置；根据油层厚度、地层压力，和每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置，确定上层水平井和下层水平井的生产压差；其中，每一上层水平井的生产压差相同，每一下层井的生产压差相同；在确定上层水平井和下层水平井的生产压差后，发出利用每一上层水平井和每一下层水平井对油层进行协同冷采的消息指令。本申请实施例可以确定每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置，实现了对油层进行充分开采，提高了采油效率，对上层水平井和下层水平井分别设定生产压差，避免水平井发生脱气。

本领域内的技术人员应明白，本申请的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此，本申请可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且，本申请可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质（包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等）上实施的计算机程序产品的形式。

本申请是参照根据本申请实施例的方法、设备（系统）、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框、以及流程图和/或方框图中的流程和/或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器，使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中，使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制

造品，该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

5 这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上，使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理，从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

10 以上所述的具体实施例，对本申请的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明，所应理解的是，以上所述仅为本申请的具体实施例而已，并不用于限定本申请的保护范围，凡在本申请的精神和原则之内，所做的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本申请的保护范围之内。

权利要求书

1. 一种水平井协同冷采方法，其特征在于，包括：

获取油层厚度和地层压力；

5 根据油层厚度和地层压力，确定下层水平井与油层底部的高度差，和上层水平井与下层水平井的高度差；其中，每一下层水平井位于第一水平面上，每一上层水平井位于第二水平面上；

根据油层厚度和地层压力，确定相邻上层水平井的水平距离，和相邻下层水平井的水平距离；

10 根据下层水平井与油层底部的高度差、上层水平井与下层水平井的高度差、相邻上层水平井的水平距离、相邻下层水平井的水平距离，确定每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置；

根据油层厚度、地层压力，和每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置，确定上层水平井和下层水平井的生产压差；其中，每一上层水平井的生产压差相同，每一下层井的生产压差相同；

15 在确定上层水平井和下层水平井的生产压差后，发出利用每一上层水平井和每一下层水平井对油层进行协同冷采的消息指令。

2. 根据权利要求1所述的方法，其特征在于，根据油层厚度和地层压力，确定下层水平井与油层底部的高度差，和上层水平井与下层水平井的高度差，包括：

20 根据油层厚度和地层压力，利用数值模拟的方法，调节下层水平井与油层底部的高度差，和上层水平井与下层水平井的高度差，确定产油量最大值；

根据产油量最大值，确定下层水平井与油层底部的高度差，和上层水平井与下层水平井的高度差。

3. 根据权利要求2所述的方法，其特征在于，按如下公式确定下层水平井与油层底部的高度差，和上层水平井与下层水平井的高度差：

$$25 \quad h_1 = \begin{cases} \frac{H}{10}, & H \leq 10 \\ \frac{H}{12}, & 10 < H < 20; \\ \frac{H}{15}, & H \geq 20 \end{cases}$$

$$h_2 = \begin{cases} \frac{6H}{10}, & H \leq 10 \\ \frac{8H}{12}, & 10 < H < 20; \\ \frac{11H}{15}, & H \geq 20 \end{cases}$$

其中, h_1 为下层水平井与油层底部的高度差, 单位为 m; h_2 为上层水平井与下层水平井的高度差, 单位为 m; H 为油层厚度, 单位为 m。

4. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 根据油层厚度和地层压力, 确定相邻上层水平井的水平距离, 和相邻下层水平井的水平距离, 包括:

5 根据油层厚度和地层压力, 利用数值模拟的方法, 调节相邻上层水平井的水平距离, 和相邻下层水平井的水平距离, 确定产油量最大值;

根据产油量最大值, 确定相邻上层水平井的水平距离, 和相邻下层水平井的水平距离; 其中, 相邻上层水平井的水平距离与相邻下层水平井的水平距离相同。

5. 根据权利要求 4 所述的方法, 其特征在于, 按如下公式确定相邻上层水平井的水平距离, 和相邻下层水平井的水平距离:

$$WS = 5422.9e^{-0.044P}H^{0.79};$$

其中, WS 表示相邻上层水平井的水平距离, 和相邻下层水平井的水平距离; P 表示地层压力; H 表示油层厚度。

6. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 根据油层厚度、地层压力, 和每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置, 确定上层水平井和下层水平井的生产压差, 包括:

根据油层厚度、地层压力, 和每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置, 利用数值模拟的方法, 调节上层水平井和下层水平井的生产压差, 确定产油量最大值;

根据产油量最大值, 确定上层水平井和下层水平井的生产压差。

7. 根据权利要求 6 所述的方法, 其特征在于, 按如下公式确定上层水平井和下层水平井的生产压差:

$$\Delta P_i = (a_i \ln H + b_i)e^{c_i P}$$

其中, ΔP_i 表示第 i 层水平井的生产压差; a_i 表示第 i 层水平井的生产压差的第一相关系数; b_i 表示第 i 层水平井的生产压差的第二相关系数; c_i 表示第 i 层水平井的生产压差的第三相关系数; i 取 1 时表示计算上层水平井的生产压差, i 取 2 时表示计算下层水平井的生产压差; P 表示地层压力; H 表示油层厚度。

8. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 还包括:

获取地层相关参数; 其中, 地层相关参数包括: 渗透率、孔隙度、含油饱和度、夹层个数、夹层在地层中的纵向位置、夹层在地层中的横向位置其中之一或任意组合;

根据地层相关参数、地层压力、水平井长度、水平井与油层底部的高度差, 确定在水平井内设置第一入流控制器的位置、入流控制器的个数、相邻入流控制器的距离; 其中, 水平井包括上层水平井和下层水平井。

9. 根据权利要求 8 所述的方法，其特征在于，所述入流控制器包括：

外壳（1）、入口（2）、第一导流腔（3）、第一导流孔（4）、第二导流腔（5）、第二导流孔（6）、第一底座（7）、第二底座（8）、挡板（9）、第一连杆（10）、第一转动轴（11）、第二连杆（12）、固定轴（13）、第二转动轴（14）、第三连杆（15）、传导板（16）、随动浮子（17）、铁片（18）、传导腔（19）、密度浮动腔（20）、浮子（21）、磁铁（22）、第三导流孔（23）、弱弹簧（24）、出口导流腔（25）、出口（26）；

其中，入口（2）和出口（26）分别设置于外壳（1）两侧，入口（2）与第一导流腔（3）相通，第一导流腔（3）通过第一导流孔（4）与第二导流腔（5）相通，第一导流腔（3）通过第三导流孔（23）与密度浮动腔（20）相通，磁铁（22）嵌于浮子（21）内，浮子（21）置于密度浮动腔（20）内浮动，传导腔（19）为密封腔体，传导腔（19）与密度浮动腔（20）相邻，铁片（18）嵌于随动浮子（17）内，随动浮子（17）随着浮子（21）在传导腔（19）内移动，传导板（16）设置于随动浮子（17）下方，传导板（16）与第三连杆（15）的第一端连接，第三连杆（15）的第二端与第二连杆（12）的第一端通过第二转动轴（14）连接，固定轴（13）设置于传导腔（19）与第二导流腔（5）分隔的内部壳体上，第二连杆（12）通过固定轴（13）穿过传导腔（19）与第二导流腔（5）分隔的内部壳体，用于改变传动方向，第二连杆（12）的第二端通过第一转动轴（11）与第一连杆（10）的第一端连接，第一连杆（10）的第二端与挡板（9）连接，弱弹簧（24）的第一端固定在第二导流腔（5）的内部壳体上，弱弹簧（24）的第二端与挡板（9）连接，第一底座（7）与第二底座（8）设置于第二导流腔（5）和出口导流腔（25）之间，第二导流孔（6）设置于第一底座（7）与第二底座（8）之间，第二导流腔（5）通过第二导流孔（6）与出口导流腔（25）相通，出口导流腔（25）与出口（26）相通。

10. 根据权利要求 8 所述的方法，其特征在于，根据地层相关参数、地层压力、水平井长度、水平井与油层底部的高度差，确定在水平井内设置第一入流控制器的位置、入流控制器的个数、相邻入流控制器的距离，包括：

接收预设的多组第一入流控制器的位置、入流控制器的个数、相邻入流控制器的距离参数；

根据地层相关参数、地层压力、水平井长度、水平井与油层底部的高度差，利用数值模拟的方法，依次读取每一组第一入流控制器的位置、入流控制器的个数、相邻入流控制器的距离，确定产油量最大值；

根据产油量最大值，确定在水平井内设置第一入流控制器的位置、入流控制器的个数、相邻入流控制器的距离。

11. 根据权利要求 8 所述的方法, 其特征在于, 根据地层相关参数、地层压力、水平井长度、水平井与油层底部的高度差, 确定在水平井内设置第一入流控制器的位置、入流控制器的个数、相邻入流控制器的距离, 包括:

将地层相关参数、地层压力、水平井长度、水平井与油层底部的高度差输入位置参数确定模型, 输出水平井内第一入流控制器的位置、入流控制器的个数、相邻入流控制器的距离; 其中, 位置参数确定模型是根据历史地层相关参数、历史地层压力、历史水平井长度、历史水平井与油层底部的高度差, 和对应的水平井内历史第一入流控制器的位置、历史入流控制器的个数、历史相邻入流控制器的距离, 对机器学习模型进行训练得到的。

12. 一种水平井协同冷采装置, 其特征在于, 包括:

第一参数获取模块, 用于获取油层厚度和地层压力;

高度差确定模块, 用于根据油层厚度和地层压力, 确定下层水平井与油层底部的高度差, 和上层水平井与下层水平井的高度差; 其中, 每一下层水平井位于第一水平面上, 每一上层水平井位于第二水平面上;

水平距离确定模块, 用于根据油层厚度和地层压力, 确定相邻上层水平井的水平距离, 和相邻下层水平井的水平距离;

冷采位置确定模块, 用于根据下层水平井与油层底部的高度差、上层水平井与下层水平井的高度差、相邻上层水平井的水平距离、相邻下层水平井的水平距离, 确定每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置;

生产压差确定模块, 用于根据油层厚度、地层压力, 和每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置, 确定上层水平井和下层水平井的生产压差; 其中, 每一上层水平井的生产压差相同, 每一下层井的生产压差相同;

协同冷采控制模块, 用于在确定上层水平井和下层水平井的生产压差后, 发出利用每一上层水平井和每一下层水平井对油层进行协同冷采的消息指令。

13. 根据权利要求 12 所述的装置, 其特征在于, 高度差确定模块具体用于:

根据油层厚度和地层压力, 利用数值模拟的方法, 调节下层水平井与油层底部的高度差, 和上层水平井与下层水平井的高度差, 确定产油量最大值;

根据产油量最大值, 确定下层水平井与油层底部的高度差, 和上层水平井与下层水平井的高度差。

14. 根据权利要求 13 所述的装置, 其特征在于, 高度差确定模块具体用于:

按如下公式确定下层水平井与油层底部的高度差, 和上层水平井与下层水平井的高度差:

$$h_1 = \begin{cases} \frac{H}{10}, H \leq 10 \\ \frac{H}{12}, 10 < H < 20; \\ \frac{H}{15}, H \geq 20 \end{cases}$$

$$h_2 = \begin{cases} \frac{6H}{10}, H \leq 10 \\ \frac{8H}{12}, 10 < H < 20; \\ \frac{11H}{15}, H \geq 20 \end{cases}$$

其中, h_1 为下层水平井与油层底部的高度差, 单位为 m; h_2 为上层水平井与下层水平井的高度差, 单位为 m; H 为油层厚度, 单位为 m。

5 15. 根据权利要求 12 所述的装置, 其特征在于, 水平距离确定模块具体用于:

根据油层厚度和地层压力, 利用数值模拟的方法, 调节相邻上层水平井的水平距离, 和相邻下层水平井的水平距离, 确定产油量最大值;

根据产油量最大值, 确定相邻上层水平井的水平距离, 和相邻下层水平井的水平距离; 其中, 相邻上层水平井的水平距离与相邻下层水平井的水平距离相同。

10 16. 根据权利要求 15 所述的装置, 其特征在于, 水平距离确定模块具体用于:

按如下公式确定相邻上层水平井的水平距离, 和相邻下层水平井的水平距离:

$$WS = 5422.9e^{-0.044P}H^{0.79};$$

其中, WS 表示相邻上层水平井的水平距离, 和相邻下层水平井的水平距离; P 表示地层压力; H 表示油层厚度。

15 17. 根据权利要求 12 所述的装置, 其特征在于, 生产压差确定模块具体用于:

根据油层厚度、地层压力, 和每一上层水平井和每一下层水平井的冷采位置, 利用数值模拟的方法, 调节上层水平井和下层水平井的生产压差, 确定产油量最大值;

根据产油量最大值, 确定上层水平井和下层水平井的生产压差。

18. 根据权利要求 17 所述的装置, 其特征在于, 生产压差确定模块具体用于:

20 按如下公式确定上层水平井和下层水平井的生产压差:

$$\Delta P_i = (a_i \ln H + b_i)e^{c_i P}$$

其中, ΔP_i 表示第 i 层水平井的生产压差; a_i 表示第 i 层水平井的生产压差的第一相关系数; b_i 表示第 i 层水平井的生产压差的第二相关系数; c_i 表示第 i 层水平井的生产压差的第三相关系数; i 取 1 时表示计算上层水平井的生产压差, i 取 2 时表示计算下层水平井的生产压差; P 表示地层压力; H 表示油层厚度。

25

19. 根据权利要求 12 所述的装置, 其特征在于, 还包括:

第二参数获取模块，用于获取地层相关参数；其中，地层相关参数包括：渗透率、孔隙度、含油饱和度、夹层个数、夹层在地层中的纵向位置、夹层在地层中的横向位置其中之一或任意组合；

位置参数确定模块，用于根据地层相关参数、地层压力、水平井长度、水平井与油层底部的高度差，确定在水平井内设置第一入流控制器的位置、入流控制器的个数、相邻入流控制器的距离；其中，水平井包括上层水平井和下层水平井。

20. 根据权利要求 19 所述的装置，其特征在于，所述入流控制器包括：

外壳（1）、入口（2）、第一导流腔（3）、第一导流孔（4）、第二导流腔（5）、第二导流孔（6）、第一底座（7）、第二底座（8）、挡板（9）、第一连杆（10）、第一转动轴（11）、第二连杆（12）、固定轴（13）、第二转动轴（14）、第三连杆（15）、传导板（16）、随动浮子（17）、铁片（18）、传导腔（19）、密度浮动腔（20）、浮子（21）、磁铁（22）、第三导流孔（23）、弱弹簧（24）、出口导流腔（25）、出口（26）；

其中，入口（2）和出口（26）分别设置于外壳（1）两侧，入口（2）与第一导流腔（3）相通，第一导流腔（3）通过第一导流孔（4）与第二导流腔（5）相通，第一导流腔（3）通过第三导流孔（23）与密度浮动腔（20）相通，磁铁（22）嵌于浮子（21）内，浮子（21）置于密度浮动腔（20）内浮动，传导腔（19）为密封腔体，传导腔（19）与密度浮动腔（20）相邻，铁片（18）嵌于随动浮子（17）内，随动浮子（17）随着浮子（21）在传导腔（19）内移动，传导板（16）设置于随动浮子（17）下方，传导板（16）与第三连杆（15）的第一端连接，第三连杆（15）的第二端与第二连杆（12）的第一端通过第二转动轴（14）连接，固定轴（13）设置于传导腔（19）与第二导流腔（5）分隔的内部壳体上，第二连杆（12）通过固定轴（13）穿过传导腔（19）与第二导流腔（5）分隔的内部壳体，用于改变传动方向，第二连杆（12）的第二端通过第一转动轴（11）与第一连杆（10）的第一端连接，第一连杆（10）的第二端与挡板（9）连接，弱弹簧（24）的第一端固定在第二导流腔（5）的内部壳体上，弱弹簧（24）的第二端与挡板（9）连接，第一底座（7）与第二底座（8）设置于第二导流腔（5）和出口导流腔（25）之间，第二导流孔（6）设置于第一底座（7）与第二底座（8）之间，第二导流腔（5）通过第二导流孔（6）与出口导流腔（25）相通，出口导流腔（25）与出口（26）相通。

21. 根据权利要求 19 所述的装置，其特征在于，位置参数确定模块具体用于：

接收预设的多组第一入流控制器的位置、入流控制器的个数、相邻入流控制器的距离参数；

根据地层相关参数、地层压力、水平井长度、水平井与油层底部的高度差，利用数值模

拟的方法，依次读取每一组第一入流控制器的位置、入流控制器的个数、相邻入流控制器的距离，确定产油量最大值；

根据产油量最大值，确定在水平井内设置第一入流控制器的位置、入流控制器的个数、相邻入流控制器的距离。

5 22. 根据权利要求 19 所述的装置，其特征在于，位置参数确定模块具体用于：

将地层相关参数、地层压力、水平井长度、水平井与油层底部的高度差输入位置参数确定模型，输出水平井内第一入流控制器的位置、入流控制器的个数、相邻入流控制器的距离；其中，位置参数确定模型是根据历史地层相关参数、历史地层压力、历史水平井长度、历史水平井与油层底部的高度差，和对应的水平井内历史第一入流控制器的位置、历史入流控制器的个数、历史相邻入流控制器的距离，对机器学习模型进行训练得到的。

10

23. 一种计算机设备，包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，其特征在于，所述处理器执行所述计算机程序时实现权利要求 1 至 11 任一所述方法。

24. 一种计算机可读存储介质，其特征在于，所述计算机可读存储介质存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现权利要求 1 至 11 任一所述方法。

15

25. 一种计算机程序产品，其特征在于，所述计算机程序产品包括计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现权利要求 1 至 11 任一所述方法。

1 / 9

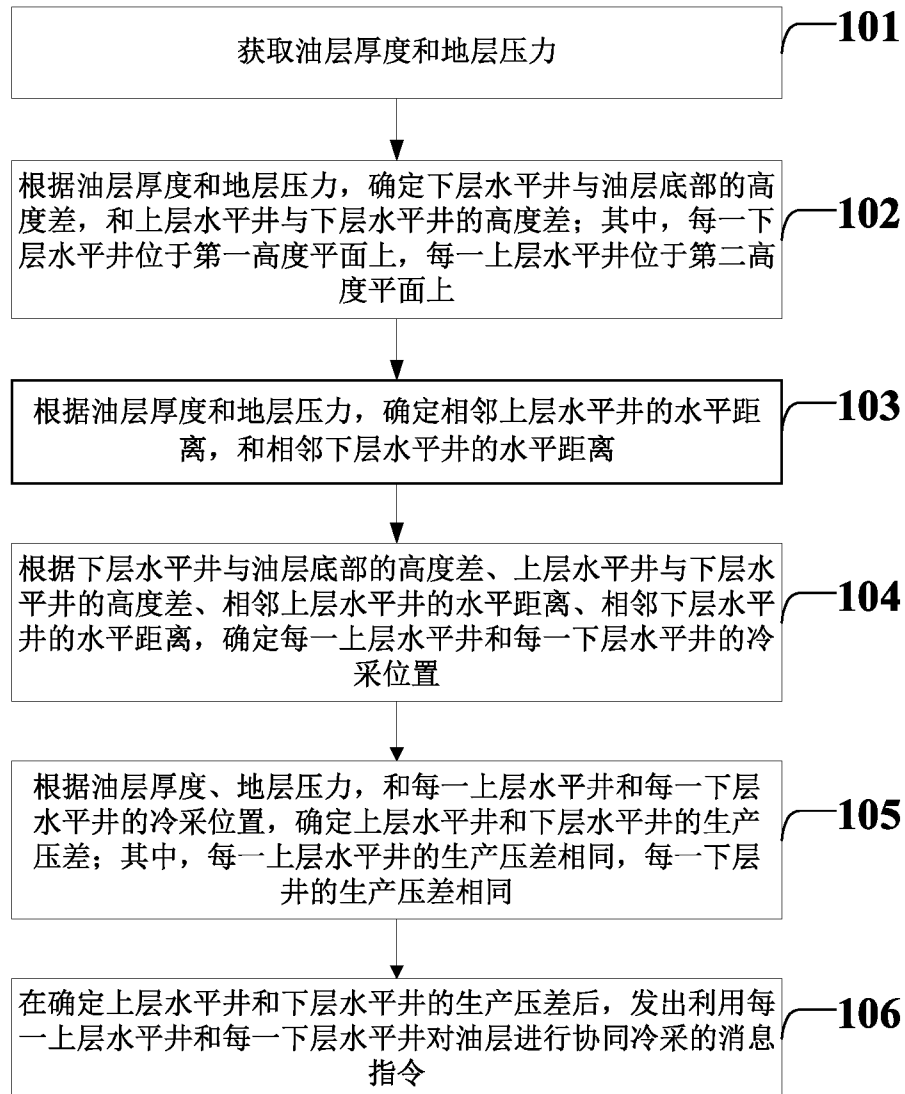


图 1

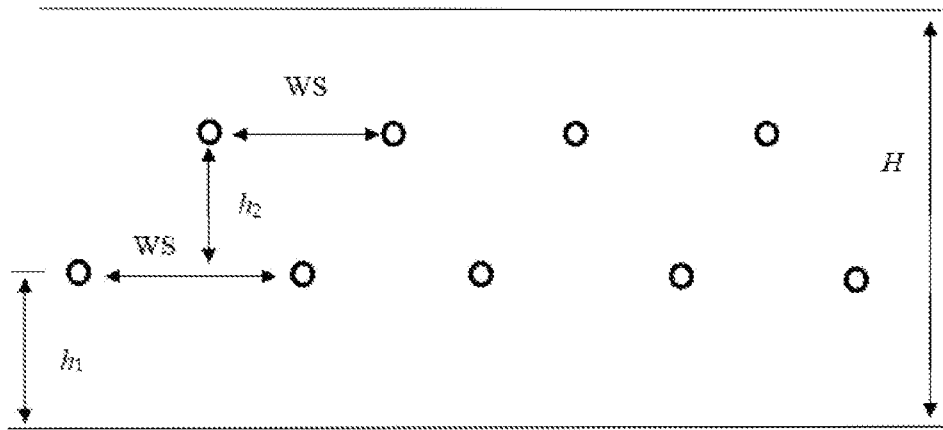


图 2

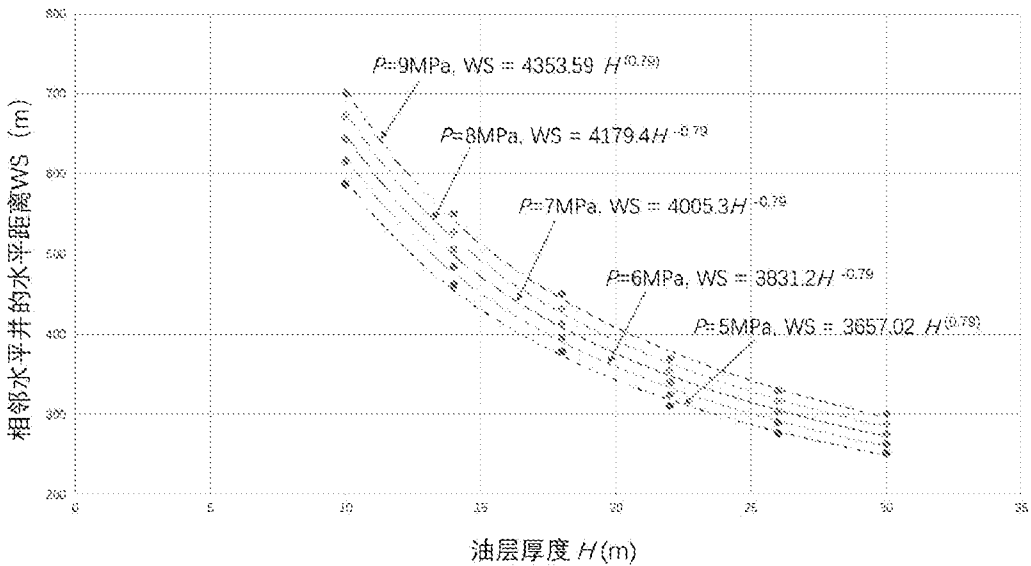


图 3

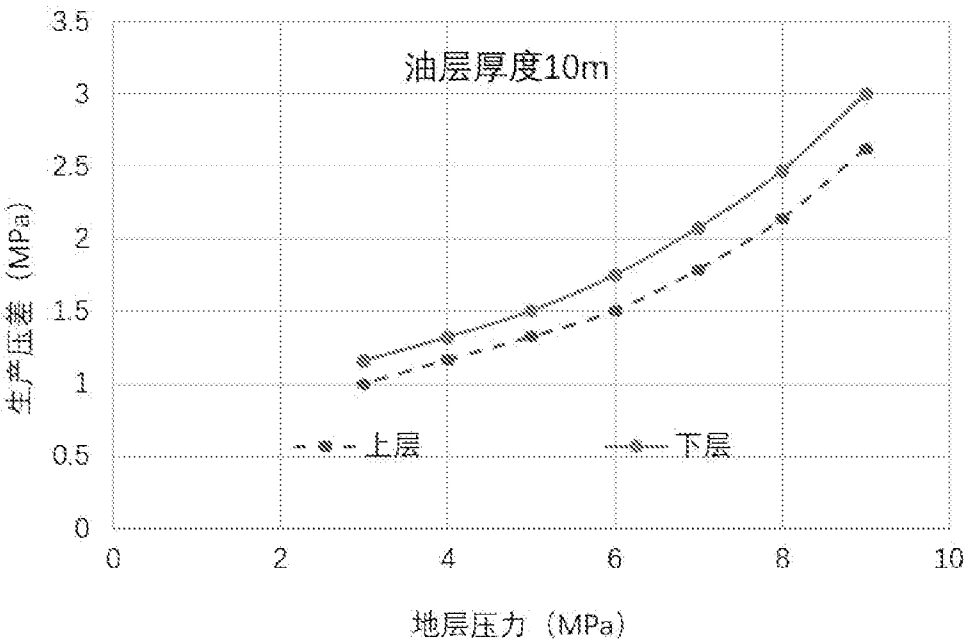


图 4

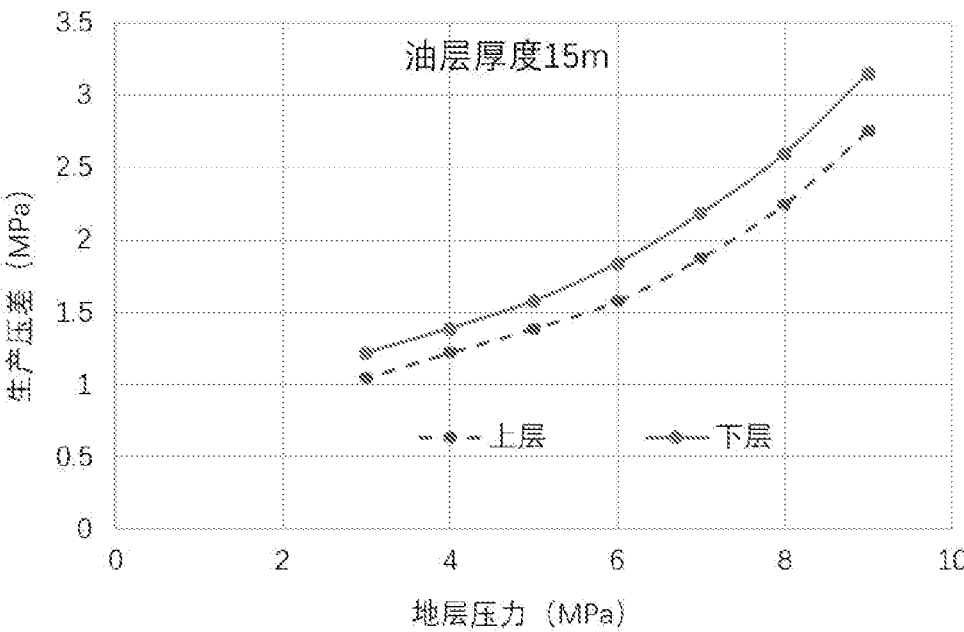


图 5

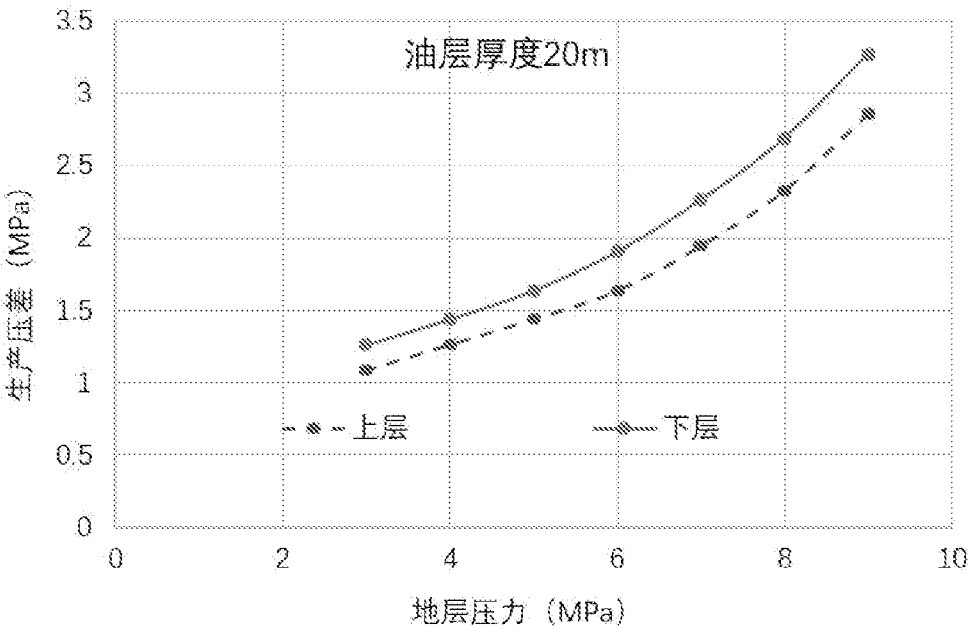


图 6

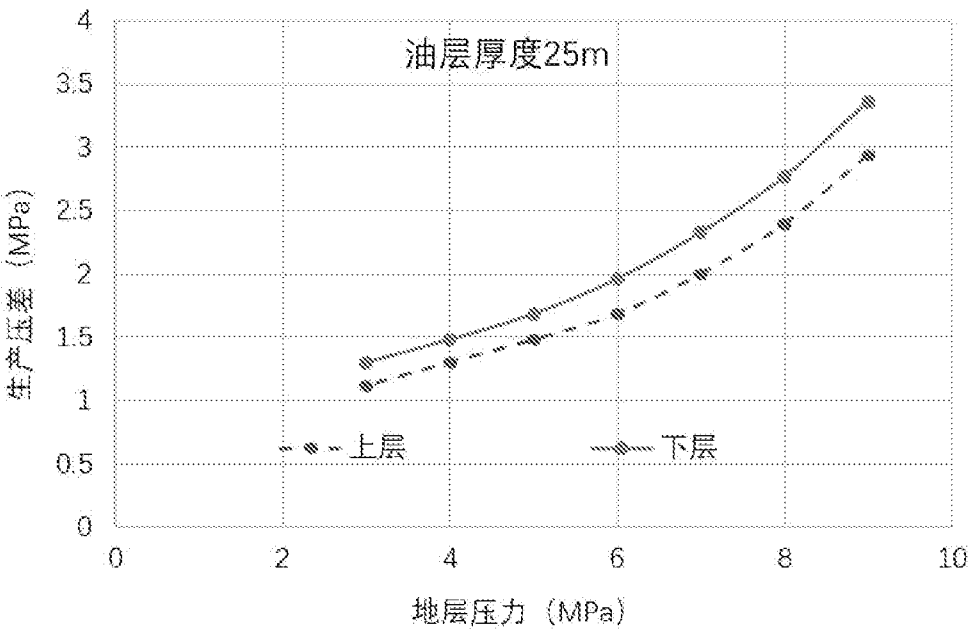


图 7

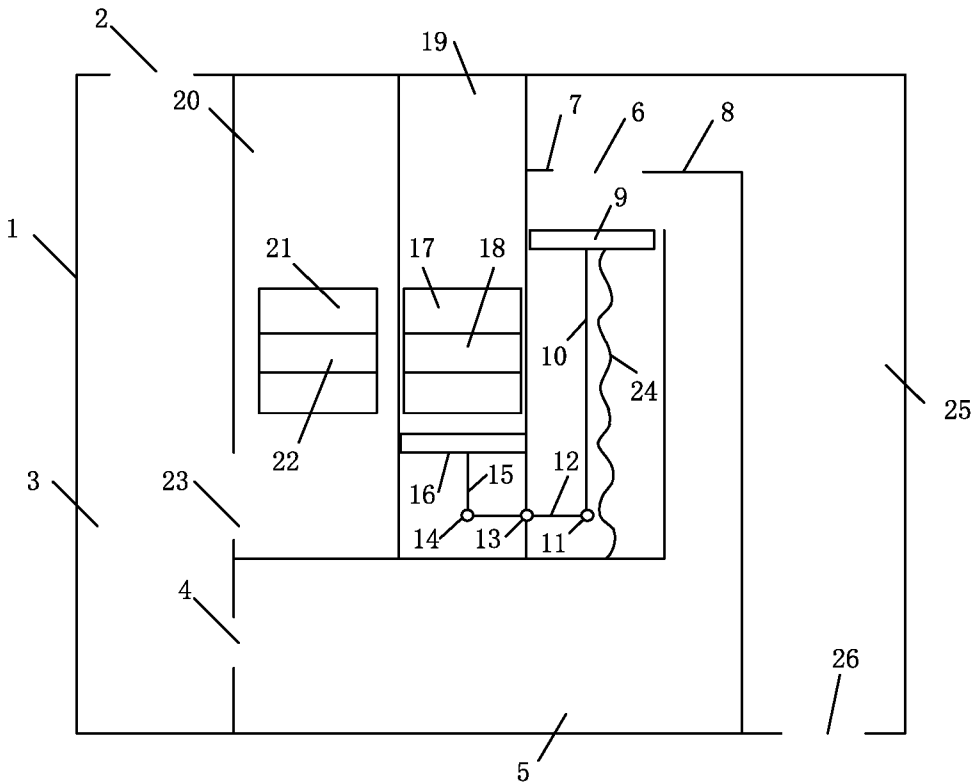


图 8

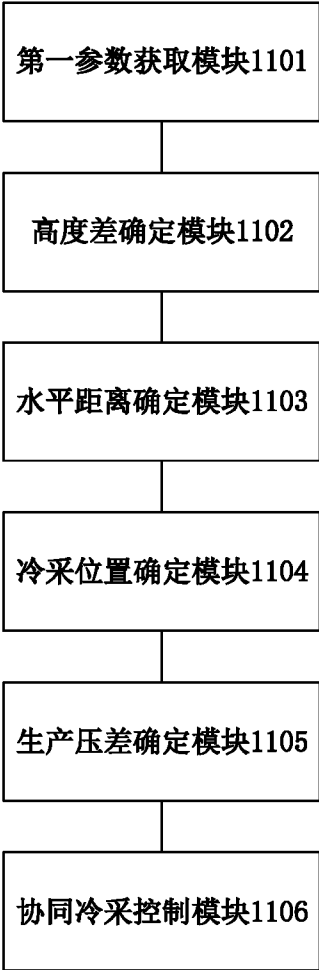


图 11

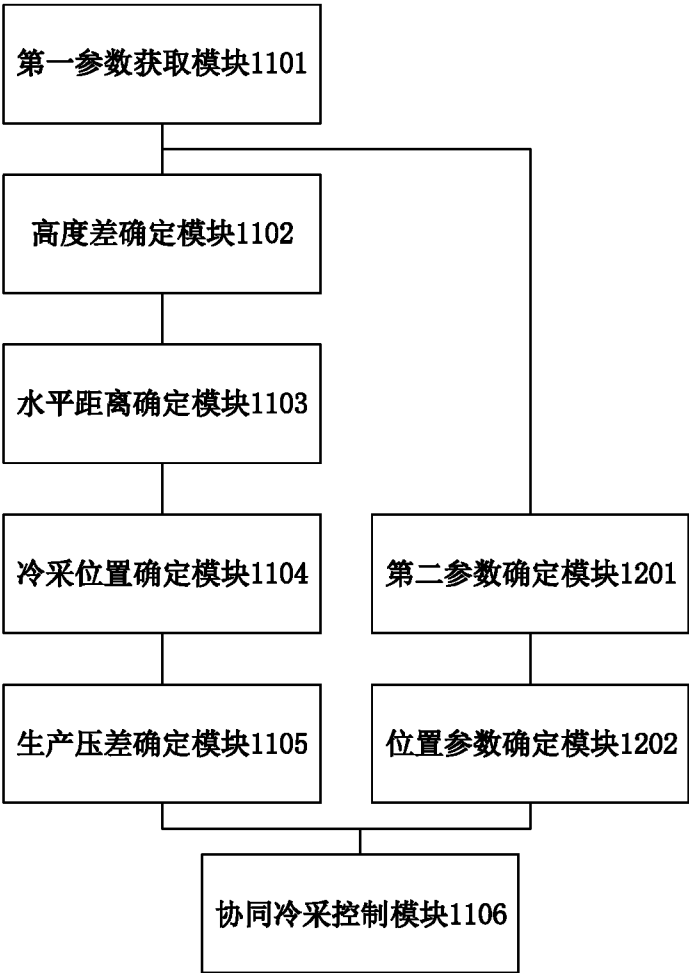


图 12

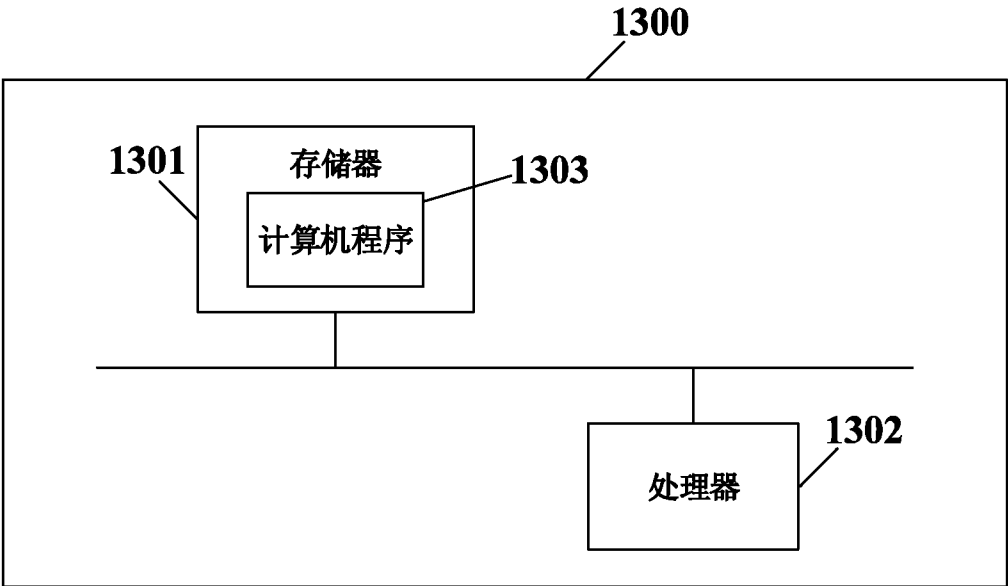


图 13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/142871

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

E21B 43/30(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: E21B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNTXT, ENTXTC, VEN, CNKI: 稠油, 冷采, 水平井, heavy, oil, cold, recover+, product+, horizontal, well

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 107701158 A (PETROCHINA CO., LTD.) 16 February 2018 (2018-02-16) description, paragraphs 40-67, and figures 1-4	1-25
A	CN 107916916 A (PETROCHINA CO., LTD.) 17 April 2018 (2018-04-17) entire document	1-25
A	CN 201763309 U (XU PING) 16 March 2011 (2011-03-16) entire document	1-25
A	CN 206458449 U (PETROCHINA CO., LTD.) 01 September 2017 (2017-09-01) entire document	1-25
A	RU 2153575 C1 (N T KOMPANIJA ROSSIJSKI MEZH; UCHNO TEKHN KOMPLEKS NEFTEOTDA) 27 July 2000 (2000-07-27) entire document	1-25
A	US 2012227965 A1 (FANG WINDSONG; WHEELER THOMAS J; CONOCOPHILLIPS COMPANY) 13 September 2012 (2012-09-13) entire document	1-25



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“D” document cited by the applicant in the international application

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

08 April 2024

Date of mailing of the international search report

22 April 2024

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,
Beijing 100088

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/142871

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	周明 等 (ZHOU, Ming et al.). "稠油油藏水平井冷采试井数学模型研究 (Study on Mathematical Models of Horizontal Well in Heavyoil Reservoir Cold Production)" <i>石油化工应用 (Petrochemical Industry Application)</i> , Vol. 37, No. 10, 25 October 2018 (2018-10-25), pages 74-77	1-25

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/142871

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	107701158	A	16 February 2018	None			
CN	107916916	A	17 April 2018	None			
CN	201763309	U	16 March 2011	None			
CN	206458449	U	01 September 2017	None			
RU	2153575	C1	27 July 2000	None			
US	2012227965	A1	13 September 2012	CA	2819707	A1	13 September 2012
				CA	2819707	C	12 November 2013
				US	8528639	B2	10 September 2013
				WO	2012121711	A1	13 September 2012

A. 主题的分类

E21B 43/30(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC: E21B

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用))

CNTEXT, ENTXTC, VEN, CNKI: 稠油, 冷采, 水平井, heavy, oil, cold, recover+, product+, horizontal, well

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 107701158 A (中国石油天然气股份有限公司) 2018年2月16日 (2018 - 02 - 16) 说明书第40-67段、附图1-4	1-25
A	CN 107916916 A (中国石油天然气股份有限公司) 2018年4月17日 (2018 - 04 - 17) 全文	1-25
A	CN 201763309 U (徐萍) 2011年3月16日 (2011 - 03 - 16) 全文	1-25
A	CN 206458449 U (中国石油天然气股份有限公司) 2017年9月1日 (2017 - 09 - 01) 全文	1-25
A	RU 2153575 C1 (N T KOMPANIJA ROSSIJSKIJ MEZHOU;UCHNO TEKHN KOMPLEKS NEFTEOTDA;) 2000年7月27日 (2000 - 07 - 27) 全文	1-25
A	US 2012227965 A1 (FANG WINDSONG;WHEELER THOMAS J;CONOCOPHILLIPS CO;) 2012年9月13日 (2012 - 09 - 13) 全文	1-25

☒ 其余文件在C栏的续页中列出。

☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“D” 申请人在国际申请中引证的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“p” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2024年4月8日

国际检索报告邮寄日期

2024年4月22日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

授权官员

焦红芳

电话号码 (+86) 010-62085408

PCT/ISA/210 表(第2页) (2022年7月)

C. 相关文件		
类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	周明 等. "稠油油藏水平井冷采试井数学模型研究" 石油化工应用, 第37卷, 第10期, 2018年10月25日 (2018 - 10 - 25), 第74-77页	1-25

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2023/142871

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	107701158	A	2018年2月16日	无			
CN	107916916	A	2018年4月17日	无			
CN	201763309	U	2011年3月16日	无			
CN	206458449	U	2017年9月1日	无			
RU	2153575	C1	2000年7月27日	无			
US	2012227965	A1	2012年9月13日	CA	2819707	A1	2012年9月13日
				CA	2819707	C	2013年11月12日
				US	8528639	B2	2013年9月10日
				WO	2012121711	A1	2012年9月13日