

(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 10 月 10 日 (10.10.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/207828 A1

(51) 国际专利分类号:
G06F 30/20 (2020.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2023/142093

(22) 国际申请日: 2023 年 12 月 26 日 (26.12.2023)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

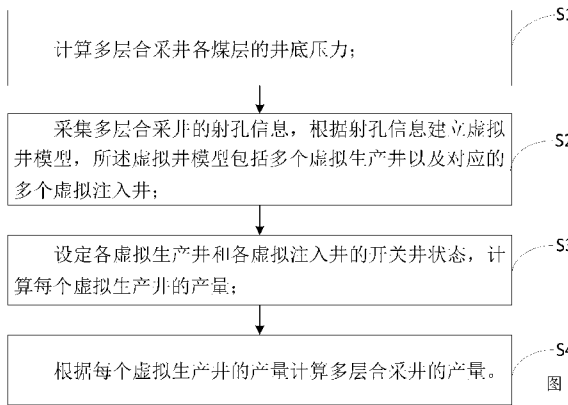
(30) 优先权:
202310357976.3 2023年4月4日 (04.04.2023) CN

(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: 刘玲莉 (LIU, Lingli); 中国北京市海淀区学院路 20 号亚太研究所, Beijing 100083 (CN)。黄文松 (HUANG, Wensong); 中国北京市海淀区学院路 20 号亚太研究所, Beijing 100083 (CN)。卫晓怡 (WEI, Xiaoyi); 中国北京市海淀区学院路 20 号亚太研究所, Beijing 100083 (CN)。苏朋辉 (SU, Penghui); 中国北京市海淀区学院路 20 号亚太研究所, Beijing 100083 (CN)。王建俊 (WANG, Jianjun); 中国北京市海淀区学院路 20 号亚太研究所, Beijing 100083 (CN)。崔泽宏 (CUI, Zehong); 中国北京市海淀区学院路 20 号亚太研究所, Beijing 100083 (CN)。段利江 (DUAN, Lijiang); 中国北京市海淀区学院路 20 号亚太研究所, Beijing 100083 (CN)。李铭 (LI, Ming); 中国北京市海淀区学院路 20 号亚太研究所, Beijing 100083 (CN)。杨勇 (YANG, Yong); 中国北京市海淀区学院路 20 号亚太研究所, Beijing 100083 (CN)。

(54) Title: METHOD AND SYSTEM FOR SIMULATING AND CALCULATING YIELD OF MULTILAYER COMMINGLED PRODUCTION COALBED METHANE WELL

(54) 发明名称: 模拟计算多层合采煤层气井产量的方法与系统



- S1 Calculate the bottom pressure of each coalbed of a multilayer commingled production well
- S2 Collect perforation information of the multilayer commingled production well, and establish a virtual well model according to the perforation information, wherein the virtual well model comprises a plurality of virtual production wells and a plurality of corresponding virtual injection wells
- S3 Set a startup/shut-in state of each virtual production well and each virtual injection well, and calculate the yield of each virtual production well
- S4 Calculate the yield of the multilayer commingled production well according to the yield of each virtual production well

(57) Abstract: The present invention relates to the technical field of coalbed methane wells, and provides a method and system for simulating and calculating the yield of a multilayer commingled production coalbed methane well. The method comprises the following steps: calculating the bottom pressure of each coalbed of a multilayer commingled production well; collecting perforation information of the multilayer commingled production well, and establishing a virtual well model according to the perforation information, wherein

100083 (CN)。曲良超(QU, Liangchao); 中国北京市海淀区学院路20号亚太研究所, Beijing 100083 (CN)。孔祥文(KONG, Xiangwen); 中国北京市海淀区学院路20号亚太研究所, Beijing 100083 (CN)。

(74) 代理人: 北京润平知识产权代理有限公司(RUNPING & PARTNERS); 中国北京市海淀区北四环西路9号银谷大厦515室, Beijing 100190 (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))。

the virtual well model comprises a plurality of virtual production wells and a plurality of corresponding virtual injection wells; setting a startup/shut-in state of each virtual well, and calculating the yield of each virtual production well; and calculating the yield of the multilayer commingled production well according to the yield of each virtual production well. According to the method, a corresponding virtual injection well or virtual production well is started or shut in according to the bottom pressure, so that the actual yield of a multilayer commingled production well is calculated, and the calculation error of the yield of the commingled production well is reduced.

(57) 摘要: 本发明提供一种模拟计算多层合采煤层气井产量的方法与系统, 属于煤层气井技术领域。所述方法包括如下步骤: 计算多层合采井各煤层的井底压力; 采集多层合采井的射孔信息, 根据所述射孔信息建立虚拟井模型, 所述虚拟井模型包括多个虚拟生产井以及对应的多个虚拟注入井; 设定各虚拟井的开关井状态, 计算每个虚拟生产井的产量; 根据每个虚拟生产井的产量计算多层合采井的产量; 该方法根据井底压力打开或关闭对应的虚拟注入井或虚拟生产井, 从而计算实际多层合采井的产量, 减少合采井产量计算误差。

模拟计算多层合采煤层气井产量的方法与系统

技术领域

本发明涉及煤层气井技术领域，具体地涉及一种模拟计算多层合采煤层气井产量的方法以及一种模拟计算多层合采煤层气井产量的系统。

背景技术

在多层合采煤层气井排采过程中，由于各煤层埋深不同和动液面高度的实时变化，导致各层的井底流压存在差异。传统的数值模拟方法通常采用净水压力梯度来考虑各层间的井底压力，即假设各煤层的井底压力差为煤层高程差对应的净水柱压力。当井筒动液面处于两煤层中间位置处时，该假设并不成立，通常会导致计算的合采井产量计算存在较大误差。此外，当煤层压力低于该层井底压力时，极易导致井筒流体倒灌进入地层，但现有的数值模拟方法无法考虑该种情况。

发明内容

本发明实施方式的目的是提供一种模拟计算多层合采煤层气井产量的方法以及一种模拟计算多层合采煤层气井产量的系统，解决减少合采井产量计算误差的问题。

为了实现上述目的，本发明第一方面提供一种模拟计算多层合采煤层气井产量的方法，所述方法包括如下步骤：

计算多层合采井各煤层的井底压力；

采集多层合采井的射孔信息，根据所述射孔信息建立虚拟井模型，所述虚拟井模型包括多个虚拟生产井以及对应的多个虚拟注入井；

根据各煤层的井底压力设定各虚拟生产井以及虚拟注入井的开关井状态，计算每个虚拟生产井的产量；

根据每个虚拟生产井的产量计算多层合采井的产量。

优选的，计算多层合采井各煤层的井底压力，所述方法还包括：

采集多层合采井的动态数据，根据所述动态数据计算各煤层的井底压力；其中，所述动态数据包括多层合采井的油套环空中的动液面高度、各煤层的煤层中部深度以及套压。

优选的，若煤层中部深度大于油套环空中的动液面高度，井底压力的计算公式为： $BHP_i = P + \rho_w \cdot g \cdot (H_i - h)$ ；

若煤层中部深度不大于油套环空中的动液面高度，井底压力的计算公式为：

$$BHP_i = P + \rho_g \cdot g \cdot h;$$

其中， BHP_i 为井底压力； P 为套压； ρ_w 为水相密度； g 为重力加速度； ρ_g 为在套压 P 、温度 T_i 条件下的煤层气密度； H_i 为煤层中部深度； h 为油套环空中的动液面高度。

优选的，所述射孔信息为多层合采井的射孔层数以及各煤层所在的射孔层位；

所述根据射孔信息建立虚拟井模型，包括：

根据多层合采井的射孔层数设定与射孔层数相同数量的虚拟生产井以及虚拟注入井；

根据各煤层的射孔层位设定各虚拟生产井的射孔层位，每一煤层对应每一虚拟生产井；

根据每一虚拟生产井的射孔层位设定对应的虚拟注入井的射孔层位；

将每一虚拟生产井以及虚拟注入井的井筒直径设定为与所述多层合采井的井筒直径相同。

优选的，所述方法还包括：建立多煤层合采地质模型，在所述多煤层合采地质模型的基础上建立所述虚拟井模型。

优选的，所述根据各煤层的井底压力设定各虚拟生产井和各虚拟注入井的开关井状态，计算各虚拟生产井的产量，包括：设定模拟时间节点；

模拟计算各虚拟生产井和各虚拟注入井在每一模拟时间节点的开发生态，并读取开发生态中每一虚拟生产井在模拟时间节点的产量。

优选的，所述根据各煤层的井底压力设定各虚拟生产井和各虚拟注入井的开关井状态，包括：

在当前煤层的井底压力小于当前煤层压力的情况下，打开与该煤层的射孔层位相同的虚拟生产井，关闭与该煤层的射孔层位相同的虚拟注入井；

在当前煤层的井底压力不小于当前煤层压力的情况下，打开与该煤层的射孔层位相同的虚拟注入井，关闭与该煤层的射孔层位相同的虚拟生产井。

优选的，所述虚拟注入井的注入流体设定方式为：

当煤层中部深度大于油套环空中的动液面高度时，注入流体设定为水；

当煤层中部深度小于或等于油套环空中的动液面高度时，注入流体设定为煤层产出气。

优选的，所述多层合采井在任意时间节点的产量的计算公式为：

$$Q(tj) = \sum_{i=1}^n q(i, tj);$$

其中, Q 为第 t_j 个模拟时间节点的多层合采井的产量, $q(i, t_j)$ 为第 i 个虚拟生产井在第 t_j 个模拟时间节点的产量。对虚拟生产井, q 取正值; 对虚拟注入井, q 取负值。

第二方面, 本发明实施例提供一种模拟计算多层合采煤层气井产量的系统, 包括:

井底压力计算单元, 用于计算各煤层的井底压力;

虚拟井设置单元, 用于根据射孔信息建立虚拟井模型;

虚拟生产井产量计算单元, 用于根据各煤层的井底压力设定虚拟生产井以及虚拟注入井的开关井状态以及计算各虚拟生产井的产量;

多层合采井产量计算单元, 用于根据各虚拟生产井的产量计算多层合采井的产量。

优选的, 所述系统还包括数据采集单元, 所述数据采集单元用于采集多层合采井的动态数据以及射孔信息;

所述井底压力计算单元具体用于根据所采集的多层合采井的动态数据计算多层合采井各煤层的井底压力。

第三方面, 本发明实施例提供一种电子设备, 包括存储器、处理器以及存储在所述存储器中并可在所述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如上所述的模拟计算多层合采煤层气井产量的方法。

第四方面, 本发明实施例提供一种计算机可读储存介质, 存储有计算机指令, 当所述计算机指令在计算机上运行时, 使得计算机执行如上所述的模拟计算多层合采煤层气井产量的方法。

该模拟计算多层合采煤层气井产量的方法, 能够适应各煤层埋深不同和动液面的实时变化, 适应各层的井底流压存在差异, 并根据各煤层的井底压力, 建立虚拟井模型, 模拟计算虚拟井产量。根据井底压力, 打开或关闭对应的虚拟注入井或虚拟生产井, 从而计算实际合采井产量, 减少合采井产量计算误差。

且本发明考虑了现井筒中煤层位置处压力大于地层压力的情况, 解决了井筒流体倒灌进入地层的现象。

本发明实施方式的其它特征和优点将在随后的具体实施方式部分予以详细说明。

附图说明

附图是用来提供对本发明实施例的进一步理解，并且构成说明书的一部分，与下面的具体实施方式一起用于解释本发明实施例，但并不构成对本发明实施例的限制。在附图中：

图 1 是本发明一种实施方式提供的一种模拟计算多层合采煤层气井产量的方法的流程图。

具体实施方式

以下结合附图对本发明实施例的具体实施方式进行详细说明。应当理解的是，此处所描述的具体实施方式仅用于说明和解释本发明实施例，并不用于限制本发明实施例。

在本发明实施例中，在未作相反说明的情况下，使用的方位词如“上、下、左、右”通常是指基于附图所示的方位或位置关系，或者是该发明产品使用时惯常摆放的方位或位置关系。

术语“第一”、“第二”、“第三”等仅用于区分描述，而不能理解为指示或暗示相对重要性。

术语“平行”、“垂直”等并不表示要求部件绝对平行或垂直，而是可以稍微倾斜。如“平行”仅仅是指其方向相对“垂直”而言更加平行，并不是表示该结构一定要完全平行，而是可以稍微倾斜。

术语“水平”、“竖直”、“悬垂”等术语并不表示要求部件绝对水平、竖直或悬垂，而是可以稍微倾斜。如“水平”仅仅是指其方向相对“竖直”而言更加水平，并不是表示该结构一定要完全水平，而是可以稍微倾斜。

此外，“大致”、“基本”等用语旨在说明相关内容并不是要求绝对的精确，而是可以有一定的偏差。例如：“大致相等”并不仅仅表示绝对的相等，由于实际生产、操作过程中，难以做到绝对的“相等”，一般都存在一定的偏差。因此，除了绝对相等之外，“大致等于”还包括上述的存在一定偏差的情况。以此为例，其他情况下，除非有特别说明，“大致”、“基本”等用语均为与上述类似的含义。

在本发明的描述中，还需要说明的是，除非另有明确的规定和限定，术语“设置”、“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或一体地连接；可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连，可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言，可以具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

本文所述的“连接”用于表述两个部件之间的电功率连接或信号连接；“连接”可以是两个元件的直接连接，也可以是通过中间媒介（例如导线）相连，还可以是通过第三个元件实现的间接连接。

本文所述的“信号连接”用于表述两个部件之间的信号连接，例如控制信号和反馈信号；所述的“电连接”用于表述两个部件之间的电功率连接；“连接”可以是两个零件之间的直接连接，也可以是通过第三个零件实现的间接连接。

实施例 1

图 1 是本发明一种实施方式提供的一种模拟计算多层合采煤层气井产量的方法流程图。如图 1 所示，本发明实施方式第一方面提供一种模拟计算多层合采煤层气井产量的方法，所述方法包括如下步骤：

S1. 计算多层合采井各煤层的井底压力；

在本实施例中，所述方法还包括：

采集多层合采井的动态数据，根据所述动态数据计算各煤层的井底压力；其中，所述动态数据包括多层合采井的油套环空中的动液面高度、各煤层的煤层中部深度以及套压。

进一步的，本实施例采用回声法获取多层合采井的动态数据。

在本实施例中， H_i 为煤层中部深度， h 为油套环空中的动液面高度。在本实施例中，若煤层中部深度大于油套环空中的动液面高度（ $H_i > h$ ），即第 i 层煤层位于动液面以下，井底压力的计算公式为：

$$BHP_i = P + \rho_w \cdot g \cdot (H_i - h);$$

若煤层中部深度不大于油套环空中的动液面高度（ $H_i \leq h$ ），即第 i 层煤层位于动液面以上或与动液面持平，井底压力的计算公式为：

$$BHP_i = P + \rho_g \cdot g \cdot h;$$

其中， BHP_i 为井底压力； P 为套压； ρ_w 为水相密度，在本实施例中设定为 1000 kg/m^3 ； g 为重力加速度，在本实施例中设定为 9.8 m/s^2 ； ρ_g 为在套压 P 、温度 T_i 条件下的煤层气密度，在本实施例中， T_i 取作地面温度与第 i 层煤层温度的平均值； H_i 为煤层中部深度； h 为油套环空中的动液面高度。

S2. 采集多层合采井的射孔信息，根据所述射孔信息建立虚拟井模型，所述虚拟井模型包括多个虚拟生产井以及对应的多个虚拟注入井；

在本实施例中，所述射孔信息为多层合采井的射孔层数以及各煤层所在的射孔层位；

所述根据射孔信息建立虚拟井模型，包括：

根据多层合采井的射孔层数设定与射孔层数相同数量的虚拟生产井以及虚拟注入井；

根据各煤层的射孔层位设定各虚拟生产井的射孔层位，每一煤层对应每一虚拟生产井；

根据每一虚拟生产井的射孔层位设定对应的虚拟注入井的射孔层位；

将每一虚拟生产井以及虚拟注入井的井筒直径设定为与所述多层合采井的井筒直径相同。

在本实施例中，所述方法还包括：建立多煤层合采地质模型，在所述多煤层合采地质模型的基础上建立所述虚拟井模型。

具体的，若实际的多层合采井的射孔层数为 n ，则设定虚拟生产井的总数量为 n ，虚拟注入井的总数量也为 n ；设置第 i 口虚拟生产井的射孔层位：即第 i 口虚拟生产井的射孔位置=实际井自井口起至井底的第 i 段射孔煤层。

S3.根据各煤层的井底压力设定各虚拟井的开关井状态，计算每个虚拟生产井的产量；

在本实施例中，所述计算每个虚拟生产井的产量具体为：

根据所述井底压力设定虚拟生产井以及虚拟注入井的开关井状态；

设定模拟时间步长以及模拟时间节点；

进一步的，根据实际动液面监测数据的采集时间间隔设定模拟时间步长，根据实际采集时间节点数设定模拟时间节点数。若监测数据的采集时间为 tm ，则模拟计算的时间节点设置为 tm ，其中 m 为采集的监测数据数量。

模拟计算所有虚拟井在任一模拟时间节点的开发生态，并读取每一虚拟生产井在该节点的生产产量。

在本实施例中，对于任意模拟时间节点，采用数值模拟软件模拟计算虚拟生产井以及虚拟注入井的开发生态，并读取每一虚拟生产井在该模拟时间节点的产量。

在本实施例中，所述根据所述井底压力设定虚拟生产井以及虚拟注入井的开关井状态具体包括：

在当前煤层的井底压力小于当前煤层压力的情况下，打开具有与该煤层的射孔层位相同的射孔层位的虚拟生产井，关闭具有与该煤层的射孔层位相同的射孔层位的虚拟注入井；

在当前煤层的井底压力不小于当前煤层压力的情况下，打开具有与该煤层的射孔层位相同的射孔层位的虚拟注入井，关闭具有与该煤层的射孔层位相同的射孔层位的虚拟生产井。

在本实施例中，所述虚拟注入井的注入流体设定方式为：

当煤层中部深度大于油套环空中的动液面高度时，注入流体设定为水；

当煤层中部深度小于或等于油套环空中的动液面高度时，注入流体设定为煤层产出气。

S4.根据每个虚拟生产井的产量计算多层合采井的产量。

在本实施例中，所述多层合采井在任意时间节点的产量的计算公式为：

$$Q(tj) = \sum_{i=1}^n q(i, tj);$$

其中，Q为第tj个模拟时间节点的多层合采井的产量， $q(i, tj)$ 为第i个虚拟生产井在第tj个模拟时间节点的产量。

该模拟计算多层合采煤层气井产量的方法，能够适应各煤层埋深不同和动液面的实时变化，适应各层的井底流压存在差异，并根据各煤层的井底压力，建立虚拟井模型，模拟计算虚拟井产量。根据井底压力，打开或关闭对应的虚拟注入井或虚拟生产井，从而计算实际合采井产量，减少合采井产量计算误差。

且本发明考虑了现井筒中煤层位置处压力大于地层压力的情况，解决了井筒流体倒灌进入地层的现象。

第二方面，本实施例提供一种模拟计算多层合采煤层气井产量的系统，包括：

井底压力计算单元，用于计算各煤层的井底压力；

虚拟井设置单元，用于根据射孔信息建立虚拟井模型；

虚拟生产井产量计算单元，用于设定虚拟生产井以及虚拟注入井的开关井状态以及计算各虚拟生产井的产量；

多层合采井产量计算单元，用于根据各虚拟生产井的产量计算多层合采井的产量。

在本实施例中，所述系统还包括数据采集单元，所述数据采集单元用于采集多层合采井的动态数据以及射孔信息。

第三方面，本实施例提供一种电子设备，包括存储器、处理器以及存储在所述存储器中并可在所述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如上所述的模拟计算多层合采煤层气井产量的方法。

第四方面，本实施例提供一种计算机可读储存介质，存储有计算机指令，当所述计算机指令在计算机上运行时，使得计算机执行如上所述的模拟计算多层合采煤层气井产量的方法。

本领域技术人员可以理解实现上述实施方式的方法中的全部或部分步骤可以通过程序来指令相关的硬件来完成，该程序存储在一个存储介质中，包括若干指令用以使得单片机、芯片或处理器（processor）执行本发明各个实施方式所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括：U 盘、移动硬盘、只读存储器（ROM, Read-Only Memory）、随机存取存储器（RAM, Random Access Memory）、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

以上结合附图详细描述了本发明实施例的可选实施方式，但是，本发明实施例并不限于上述实施方式中的具体细节，在本发明实施例的技术构思范围内，可以对本发明实施例的技术方案进行多种简单变型，这些简单变型均属于本发明实施例的保护范围。

另外需要说明的是，在上述具体实施方式中所描述的各个具体技术特征，在不矛盾的情况下，可以通过任何合适的方式进行组合。为了避免不必要的重复，本发明实施例对各种可能的组合方式不再另行说明。

此外，本发明实施例的各种不同的实施方式之间也可以进行任意组合，只要其不违背本发明实施例的思想，其同样应当视为本发明实施例所公开的内容。

权利要求书

1、一种模拟计算多层合采煤层气井产量的方法，其特征在于，所述方法包括如下步骤：

计算多层合采井各煤层的井底压力；

采集多层合采井的射孔信息，根据射孔信息建立虚拟井模型，所述虚拟井模型包括多个虚拟生产井以及对应的多个虚拟注入井；

根据各煤层的井底压力设定各虚拟生产井和各虚拟注入井的开关井状态，计算每个虚拟生产井的产量；

根据各虚拟生产井的产量计算多层合采井的产量。

2、根据权利要求1所述的模拟计算多层合采煤层气井产量的方法，其特征在于，计算多层合采井各煤层的井底压力，包括：

采集多层合采井的动态数据；

根据所述动态数据计算多层合采井各煤层的井底压力；其中，所述动态数据包括多层合采井的油套环空中的动液面高度、各煤层的煤层中部深度以及套压。

3、根据权利要求2所述的模拟计算多层合采煤层气井产量的方法，其特征在于，

若煤层中部深度大于油套环空中的动液面高度，井底压力的计算公式为：

$$BHP_i = P + \rho_w \bullet g \bullet (H_i - h);$$

若煤层中部深度不大于油套环空中的动液面高度，井底压力的计算公式为：

$$BHP_i = P + \rho_g \bullet g \bullet h;$$

其中， BHP_i 为井底压力； P 为套压； ρ_w 为水相密度； g 为重力加速度； ρ_g 为在套压 P 、温度 T_i 条件下的煤层气密度； H_i 为煤层中部深度； h 为油套环空中的动液面高度。

4、根据权利要求1所述的模拟计算多层合采煤层气井产量的方法，其特征在于，所述射孔信息为多层合采井的射孔层数以及各煤层所在的射孔层位；

所述根据射孔信息建立虚拟井模型，包括：

根据多层合采井的射孔层数设定与射孔层数相同数量的虚拟生产井以及虚拟注入井；

根据各煤层的射孔层位设定各虚拟生产井的射孔层位，每一煤层对应每一虚拟生产井；

根据每一虚拟生产井的射孔层位设定对应的虚拟注入井的射孔层位；

将每一虚拟生产井以及虚拟注入井的井筒直径设定为与所述多层合采井的井筒直径相同。

5、根据权利要求4所述的模拟计算多层合采煤层气井产量的方法，其特征在于，所述根据各煤层的井底压力设定各虚拟生产井和各虚拟注入井的开关井状态，计算各虚拟生产井的产量，包括：

设定模拟时间节点；

模拟计算各虚拟生产井和各虚拟注入井在每一模拟时间节点的开发生态，并读取开发生态中每一虚拟生产井在模拟时间节点的产量。

6、根据权利要求5所述的模拟计算多层合采煤层气井产量的方法，其特征在于，所述根据各煤层的井底压力设定各虚拟生产井和各虚拟注入井的开关井状态，包括：

在当前煤层的井底压力小于当前煤层压力的情况下，打开与该煤层的射孔层位相同的虚拟生产井，关闭与该煤层的射孔层位相同的虚拟注入井；

在当前煤层的井底压力不小于当前煤层压力的情况下，打开与该煤层的射孔层位相同的虚拟注入井，关闭与该煤层的射孔层位相同的虚拟生产井。

7、根据权利要求1所述的模拟计算多层合采煤层气井产量的方法，其特征在于，所述虚拟注入井的注入流体设定方式为：

若煤层中部深度大于油套环空中的动液面，注入流体设定为水；

若煤层中部深度不大于油套环空中的动液面，注入流体设定为煤层产出气。

8、根据权利要求5所述的模拟计算多层合采煤层气井产量的方法，其特征在于，所述多层合采井在任一模拟时间节点的产量的计算公式为：

$$Q(t_j) = \sum_{i=1}^n q(i, t_j);$$

其中，Q为第t_j个模拟时间节点的多层合采井的产量，q(i, t_j)为第i个虚拟生产井在第t_j个模拟时间节点的产量。

9、一种模拟计算多层合采煤层气井产量的系统，其特征在于，包括：

井底压力计算单元，用于计算各煤层的井底压力；

虚拟井设置单元，用于根据射孔信息建立虚拟井模型；

虚拟生产井产量计算单元，用于根据各煤层的井底压力设定虚拟生产井以及虚拟注入井的开关井状态以及计算各虚拟生产井的产量；

多层合采井产量计算单元，用于根据各虚拟生产井的产量计算多层合采井的产量。

10、根据权利要求 9 所述的模拟计算多层合采煤层气井产量的系统，其特征在于，所述系统还包括数据采集单元，所述数据采集单元用于采集多层合采井的动态数据以及射孔信息；

所述井底压力计算单元具体用于根据所采集的多层合采井的动态数据计算多层合采井各煤层的井底压力。

11、一种电子设备，包括存储器、处理器以及存储在所述存储器中并可在所述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 1-8 中任一项所述的模拟计算多层合采煤层气井产量的方法。

12、一种计算机可读储存介质，存储有计算机指令，其特征在于，当所述计算机指令在计算机上运行时，使得计算机执行权利要求 1-8 中任一项所述的模拟计算多层合采煤层气井产量的方法。

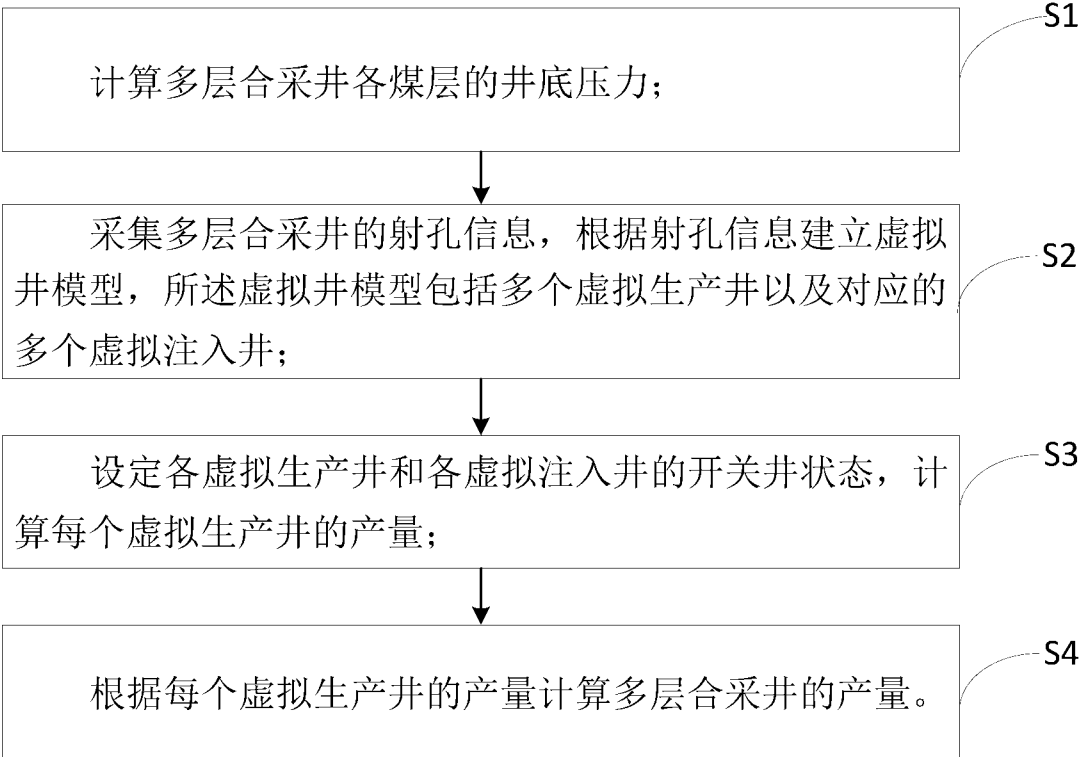


图 1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/142093

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G06F30/20(2020.01)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) G06F 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) CNABS, CNTXT, WPABS, ENTXT, VEN, CNKI, IEEE: 多层, 合采, 混采, 混合开采, 井底压力, 井底流压, 虚拟井, 生产井, 注水井, 注入井, 射孔, 打开, 关闭, 开关, 开度, 调整, 控制, 产量, 产能, 动液面, 套压, multilayer, mixed w mining, BHP, virtual w well, producing w well, injection w well, perforation, open, close, adjust, control, production, capacity, dynamic w liquid w level, casing w pressure														
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category*</th> <th>Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th>Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>全兆瑞 (TONG, Zhaorui). "气井多层合采数值模拟及合理性分析 (Non-official translation: Gas Well Multilayer Commingled Production Numerical Simulation and Rational Analysis)" 中国优秀硕士学位论文全文数据库 (China Master's Theses Full-text Database), 15 March 2019 (2019-03-15), pages 27-28, section 3.2.2</td> <td>1-2, 9-12</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>戴涛, 岳光来, 杨耀忠, 周维四 (DAL, Tao; YUE, Guanglai; YANG, Yaozhong; ZHOU, Weisi). "多层拟三维油藏数值模拟研究 (Study on Pseudo-3D Numerical Simulation of Multilayer Oil Reservoir)" 油气地质与采收率 (Petroleum Geology and Recovery Efficiency), Vol. 8, No. 03, 25 June 2001 (2001-06-25), ISSN: 1009-9603, page 37, part 1 to page 39, part 4</td> <td>1-2, 9-12</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 110397425 A (CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM, BEIJING) 01 November 2019 (2019-11-01) description, paragraphs 0030-0085</td> <td>1-2, 9-12</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	Y	全兆瑞 (TONG, Zhaorui). "气井多层合采数值模拟及合理性分析 (Non-official translation: Gas Well Multilayer Commingled Production Numerical Simulation and Rational Analysis)" 中国优秀硕士学位论文全文数据库 (China Master's Theses Full-text Database), 15 March 2019 (2019-03-15), pages 27-28, section 3.2.2	1-2, 9-12	Y	戴涛, 岳光来, 杨耀忠, 周维四 (DAL, Tao; YUE, Guanglai; YANG, Yaozhong; ZHOU, Weisi). "多层拟三维油藏数值模拟研究 (Study on Pseudo-3D Numerical Simulation of Multilayer Oil Reservoir)" 油气地质与采收率 (Petroleum Geology and Recovery Efficiency), Vol. 8, No. 03, 25 June 2001 (2001-06-25), ISSN: 1009-9603, page 37, part 1 to page 39, part 4	1-2, 9-12	Y	CN 110397425 A (CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM, BEIJING) 01 November 2019 (2019-11-01) description, paragraphs 0030-0085	1-2, 9-12
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.												
Y	全兆瑞 (TONG, Zhaorui). "气井多层合采数值模拟及合理性分析 (Non-official translation: Gas Well Multilayer Commingled Production Numerical Simulation and Rational Analysis)" 中国优秀硕士学位论文全文数据库 (China Master's Theses Full-text Database), 15 March 2019 (2019-03-15), pages 27-28, section 3.2.2	1-2, 9-12												
Y	戴涛, 岳光来, 杨耀忠, 周维四 (DAL, Tao; YUE, Guanglai; YANG, Yaozhong; ZHOU, Weisi). "多层拟三维油藏数值模拟研究 (Study on Pseudo-3D Numerical Simulation of Multilayer Oil Reservoir)" 油气地质与采收率 (Petroleum Geology and Recovery Efficiency), Vol. 8, No. 03, 25 June 2001 (2001-06-25), ISSN: 1009-9603, page 37, part 1 to page 39, part 4	1-2, 9-12												
Y	CN 110397425 A (CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM, BEIJING) 01 November 2019 (2019-11-01) description, paragraphs 0030-0085	1-2, 9-12												
☒ 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 19 March 2024		Date of mailing of the international search report 25 March 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/CN2023/142093

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 101799466 A (CHINA COAL RESEARCH INSTITUTE XI'AN RESEARCH INSTITUTE) 11 August 2010 (2010-08-11) entire document	1-12
A	CN 106777574 A (SINOPEC PETROLEUM ENGINEERING TECHNOLOGY SERVICE CO., LTD. et al.) 31 May 2017 (2017-05-31) entire document	1-12
A	CN 107145696 A (CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM, BEIJING et al.) 08 September 2017 (2017-09-08) entire document	1-12
A	CN 108229713 A (CHINA PETROLEUM & CHEMICAL CORPORATION et al.) 29 June 2018 (2018-06-29) entire document	1-12
A	CN 111236908 A (SOUTHWEST PETROLEUM UNIVERSITY) 05 June 2020 (2020-06-05) entire document	1-12
A	CN 111472722 A (PETROCHINA COMPANY LIMITED) 31 July 2020 (2020-07-31) entire document	1-12
A	CN 111691869 A (CHINA PETROLEUM & CHEMICAL CORPORATION et al.) 22 September 2020 (2020-09-22) entire document	1-12
A	CN 114169158 A (CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM, BEIJING) 11 March 2022 (2022-03-11) entire document	1-12
A	US 2016186535 A1 (SAUDI ARABIAN OIL COMPANY) 30 June 2016 (2016-06-30) entire document	1-12
A	US 2023017069 A1 (SOUTHWEST PETROLEUM UNIVERSITY) 19 January 2023 (2023-01-19) entire document	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/142093

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	110397425	A	01 November 2019	None			
CN	101799466	A	11 August 2010	None			
CN	106777574	A	31 May 2017	None			
CN	107145696	A	08 September 2017	None			
CN	108229713	A	29 June 2018	None			
CN	111236908	A	05 June 2020	None			
CN	111472722	A	31 July 2020	None			
CN	111691869	A	22 September 2020	None			
CN	114169158	A	11 March 2022	None			
US	2016186535	A1	30 June 2016	US	2018340399	A1	29 November 2018
				CA	3013807	A1	08 September 2017
				WO	2017151838	A1	08 September 2017
				CN	109072688	A	21 December 2018
				EP	3423672	A1	09 January 2019
US	2023017069	A1	19 January 2023	CN	113236207	A	10 August 2021

A. 主题的分类

G06F30/20(2020.01)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)

G06F

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))

CNABS, CNTXT, WPABS, ENTXT, VEN, CNKI, IEEE: 多层, 合采, 混采, 混合开采, 井底压力, 井底流压, 虚拟井, 生产井, 注水井, 注入井, 射孔, 打开, 关闭, 开关, 开度, 调整, 控制, 产量, 产能, 动液面, 套压, multilayer, mixed w mining, BHP, virtual w well, producing w well, injection w well, perforation, open, close, adjust, control, production, capacity, dynamic w liquid w level, casing w pressure

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
Y	全兆瑞. "气井多层合采数值模拟及合理性分析" 《中国优秀硕士学位论文全文数据库》, 2019年3月15日 (2019 - 03 - 15), 第27-28页第3.2.2部分	1-2,9-12
Y	戴涛,岳光来,杨耀忠,周维四. "多层拟三维油藏数值模拟研究" 油气地质与采收率, 第8卷, 第03期, 2001年6月25日 (2001 - 06 - 25), ISSN: 1009-9603, 第37页第1部分-第39页第4部分	1-2,9-12
Y	CN 110397425 A (中国石油大学(北京)) 2019年11月1日 (2019 - 11 - 01) 说明书第0030-0085段	1-2,9-12
A	CN 101799466 A (煤炭科学研究总院西安研究院) 2010年8月11日 (2010 - 08 - 11) 全文	1-12
A	CN 106777574 A (中石化石油工程技术服务股份有限公司 等) 2017年5月31日 (2017 - 05 - 31) 全文	1-12

☒ 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3月19日

国际检索报告邮寄日期

2024年3月25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

凌燕翔

电话号码 (+86) 010-53961323

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	CN 107145696 A (中国石油大学(北京) 等) 2017年9月8日 (2017 - 09 - 08) 全文	1-12
A	CN 108229713 A (中国石油化工股份有限公司 等) 2018年6月29日 (2018 - 06 - 29) 全文	1-12
A	CN 111236908 A (西南石油大学) 2020年6月5日 (2020 - 06 - 05) 全文	1-12
A	CN 111472722 A (中国石油天然气股份有限公司) 2020年7月31日 (2020 - 07 - 31) 全文	1-12
A	CN 111691869 A (中国石油化工股份有限公司 等) 2020年9月22日 (2020 - 09 - 22) 全文	1-12
A	CN 114169158 A (中国石油大学(北京)) 2022年3月11日 (2022 - 03 - 11) 全文	1-12
A	US 2016186535 A1 (SAUDI ARABIAN OIL COMPANY) 2016年6月30日 (2016 - 06 - 30) 全文	1-12
A	US 2023017069 A1 (SOUTHWEST PETROLEUM UNIVERSITY) 2023年1月19日 (2023 - 01 - 19) 全文	1-12

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2023/142093

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	110397425	A	2019年11月1日	无	
CN	101799466	A	2010年8月11日	无	
CN	106777574	A	2017年5月31日	无	
CN	107145696	A	2017年9月8日	无	
CN	108229713	A	2018年6月29日	无	
CN	111236908	A	2020年6月5日	无	
CN	111472722	A	2020年7月31日	无	
CN	111691869	A	2020年9月22日	无	
CN	114169158	A	2022年3月11日	无	
US	2016186535	A1	2016年6月30日	US 2018340399 A1	2018年11月29日
				CA 3013807 A1	2017年9月8日
				WO 2017151838 A1	2017年9月8日
				CN 109072688 A	2018年12月21日
				EP 3423672 A1	2019年1月9日
US	2023017069	A1	2023年1月19日	CN 113236207 A	2021年8月10日