



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112664176 B

(45) 授权公告日 2022.12.09

(21) 申请号 202011588108.9

CN 106640007 A, 2017.05.10

(22) 申请日 2020.12.28

CN 205117321 U, 2016.03.30

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 105952424 A, 2016.09.21

申请公布号 CN 112664176 A

CN 106640008 A, 2017.05.10

US 2014182843 A1, 2014.07.03

(43) 申请公布日 2021.04.16

CN 106437639 A, 2017.02.22

(73) 专利权人 西安交通大学

张兴鲁等. 稠油油藏多元热流体开采机理及适应性研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库工程科技I辑》.2019, (第7期), 第1-96页.

地址 710049 陕西省西安市咸宁西路28号

(72) 发明人 郭烈锦 陈磊 黄祖杰 赵秋阳

陶磊等. 超稠油油藏三元复合吞吐技术研究.《中国优秀博士学位论文全文数据库工程科技I辑》.2010, (第2期), 第1-165页.

王晔春 苗岩 谢天 董宇

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任

公司 61200

专利代理师 王艾华

Zhao, Qiuyang et al.. Experimental Investigation on Enhanced Oil Recovery of Extra Heavy Oil by Supercritical Water Flooding.《ENERGY & FUELS》.2018, 第32卷 (第2期), 第1685-1692页.

(51) Int. Cl.

E21B 47/00 (2012.01)

E21B 43/16 (2006.01)

E21B 43/12 (2006.01)

赵秋阳等. 超临界水驱超稠油提高采收率热物理特性研究.《工程热物理学报》.2020, 第41卷 (第3期), 第635-642页.

(56) 对比文件

CN 202202850 U, 2012.04.25

CN 205840857 U, 2016.12.28

审查员 钟睿鸿

权利要求书2页 说明书7页 附图1页

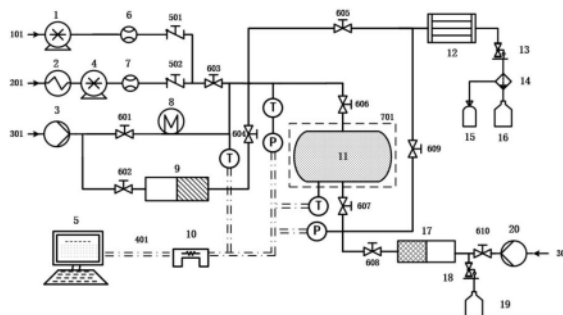
(54) 发明名称

一种超临界多元热流体吞吐采油试验模拟装置及方法

究吞吐采油的产油规律,是室内解决油藏吞吐开发机理、优化油藏吞吐开发方案的重要也是有力的研究装置和方法。

(57) 摘要

本发明公开了一种超临界多元热流体吞吐采油试验模拟装置及方法,采用高压氮气增压计量装置、二氧化碳增压计量装置、超临界水发生装置、原油注入装置、模拟岩心装置、回压控制装置和旁路装置形成超临界多元热流体吞吐采油试结构,利用高压氮气增压计量模块、二氧化碳增压计量模块、超临界水发生模块增压加热形成超临界多元热流体,形成的超临界多元热流体在模拟岩心装置内模拟形成真实采油状况,通过模拟岩心装置外侧的温控器精确控温的,解决吞吐过程中因承压容器吸热和环境散热引起的模拟岩心温度降低问题;本发明结构简单,有利于研



1. 一种超临界多元热流体吞吐采油试验模拟装置,其特征在于,包括高压氮气增压计量装置、二氧化碳增压计量装置、超临界水发生装置、原油注入装置、模拟岩心装置(11)、回压控制装置和旁路装置,模拟岩心装置(11)的外侧设有温控器(701);高压氮气增压计量装置包括氮气增压泵(1)和氮气质量流量计(6),氮气增压泵(1)的入口端通过氮气连接管(101)连接于氮气源,出口端连接于氮气质量流量计(6)的入口端,氮气质量流量计(6)的出口端连接于第一单向阀(501);二氧化碳增压计量装置包括二氧化碳增压泵(2)、二氧化碳恒温水浴装置(4)和二氧化碳质量流量计(7),二氧化碳增压泵(2)的入口端通过二氧化碳气管(201)连接于二氧化碳气源,二氧化碳增压泵(2)的出口端连接于二氧化碳恒温水浴装置(4)的入口端,二氧化碳恒温水浴装置(4)的出口端连接于二氧化碳质量流量计(7)的入口端,二氧化碳质量流量计(7)的出口端连接于第二单向阀(502);超临界水发生装置包括高压计量泵(3)和超临界水发生器(8),高压计量泵(3)的入口端连接于去离子水或地层水源,高压计量泵(3)的出口端连接于超临界水发生器(8)的入口端,超临界水发生器(8)的出口端连接于模拟岩心装置(11)的入口端;高压氮气增压计量装置的出口端、二氧化碳增压计量装置出口端、超临界水发生装置出口端和原油注入装置的出口端均连接于模拟岩心装置(11)的入口端,高压氮气增压计量装置的出口端、二氧化碳增压计量装置出口端、超临界水发生装置出口端和原油注入装置的出口端均设有控制阀;高压氮气增压计量装置生成高压氮气、二氧化碳增压计量装置生成高温高压二氧化碳、超临界水发生装置生成超临界水后在系统管路中混合形成超临界多元热流体;系统管路包括高压氮气增压计量装置的出口端、二氧化碳增压计量装置出口端、超临界水发生装置出口端和原油注入装置的出口端连接的管路;原油注入装置采用原油中间容器(9),回压控制装置的入口端和连接于模拟岩心装置(11)的出口端,旁路装置包括热量交换器(12)、第一回压控制器(13)和气液分离器(14),热量交换器(12)的进口端与原油中间容器(9)的原油侧连接,热量交换器(12)的进口端同时与模拟岩心装置(11)的出口端连接。

2. 根据权利要求1所述的一种超临界多元热流体吞吐采油试验模拟装置,其特征在于,原油中间容器(9)的注水侧与高压计量泵(3)的出口端连接,原油中间容器(9)的原油侧与模拟岩心装置(11)的入口端连接。

3. 根据权利要求2所述的一种超临界多元热流体吞吐采油试验模拟装置,其特征在于,高压计量泵(3)与超临界水发生器(8)之间设有第一截止阀(601),高压计量泵(3)与原油中间容器(9)之间设有第二截止阀(602)。

4. 根据权利要求1所述的一种超临界多元热流体吞吐采油试验模拟装置,其特征在于,回压控制装置包括回压控制中间容器(17)、第二回压控制器(18)、第二液体收集器(19)和高压恒流泵(20),回压控制中间容器(17)的原油侧连接于模拟岩心装置(11)的出口端,回压控制中间容器(17)的注入侧连接于第二回压控制器(18)一端和高压恒流泵(20)的出口端,第二回压控制器(18)的另一端连接于第二液体收集器(19)入口端;高压恒流泵(20)的入口端通过水源水管(301)连接于去离子水或地层水源;高压恒流泵(20)与回压控制中间容器(17)之间设有第一截止阀(601),回压控制中间容器(17)与模拟岩心装置(11)之间串联有第七截止阀(607)和第八截止阀(608)。

5. 根据权利要求1所述的一种超临界多元热流体吞吐采油试验模拟装置,其特征在于,模拟岩心装置(11)采用二维管式吞吐模型,二维管式吞吐模型的内径与深度比大于1。

6. 根据权利要求4所述的一种超临界多元热流体吞吐采油试验模拟装置,其特征在于,还包括数据监测采集系统(10)和控制系统(5);超临界水发生器(8)的出口端设置有温度传感器,模拟岩心装置(11)的进口端和出口端均设置有温度传感器和压力传感器,温控器(701)内设有温度传感器,所有的压力传感器和温度传感器均连接于数据监测采集系统(10),数据监测采集系统(10)连接于控制系统(5),所有截止阀和单向阀均连接于控制系统(5)。

7. 一种基于权利要求6所述模拟装置的超临界多元热流体吞吐采油试验模拟方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1)、对模拟岩心装置进行抽真空,通过高压计量泵将去离子水或地层水注入模拟岩心装置进而形成饱和水状态;通过温控器控制模拟岩心装置壁温形成恒温壁面至设定温度;

步骤2)、高压氮气增压计量装置生成高压氮气、二氧化碳增压计量装置生成高温高压二氧化碳、超临界水发生装置生成超临界水后在系统管路中混合形成超临界多元热流体;

步骤3)、将超临界多元热流体注入模拟岩心装置中,直至模拟岩心装置内的热流体注入量达到设定需求后,调节温控器使模拟岩心装置中形成绝热边界条件,然后对模拟岩心装置进行焖井作业;

步骤4)、焖井作业结束后进行吞吐产油,通过旁路装置获取气体产物和液体产物,同时通过回压控制装置调节系统压力和产液量,通过数据监测采集系统各阶段数据,完成超临界多元热流体吞吐采油试验。

## 一种超临界多元热流体吞吐采油试验模拟装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于能源与环境领域,特别涉及一种超临界多元热流体吞吐采油试验模拟装置及方法。

### 背景技术

[0002] 稠油,作为最主要的非常规石油,其储量是常规石油的2倍,但年产量仅为常规石油的1/7,因此,稠油高效开发利用具有意义重大。然而已有的热采技术,包括蒸汽吞吐或蒸汽驱、SAGD、多元热流体吞吐等,由于注入压力低,主要适用于油层埋藏深度小于1600m的浅、中层稠油油藏。对于深层稠油,由于其地层压力高、原油粘度大,限于常规的热采技术的局限性,大量的深层稠油资源仍无法动用。超临界多元热流体:是指在油藏条件下可用于进行原油吞吐或蒸汽驱替且认为加热的温度、压力超过水临界温度的介质,包括水及被加热的氮气、二氧化碳等非凝析气体。超临界多元热流体注入压力超过22.1MPa,能够保证热流体注入到地下,然而目前针对稠油的超临界多元热流体吞吐开发方式还处于试验初始阶段,开采机理需进一步分析。

[0003] 现阶段已开展的针对稠油吞吐热采的室内模拟试验方法主要有一维吞吐试验和三维比例模拟试验两种方法,存在以下优缺点:

[0004] 1、一维模型试验方法,多采用细管式模型,虽然系统简单,操作方便,但无法实现吞吐过程中对不同参数及方法有效性验证和基本原理揭示,且实验流程近似驱替过程,与油田实际不符;

[0005] 2、三维比例模拟试验方法,采用三维比例模型,能较好模拟油田实际,然而由于模型庞大,模拟岩心结构及参数复杂,试验成功率低,同时稠油开采机理复杂,研究过程中控制变量困难,难以实现基本机理的揭示;

[0006] 3、现有的模拟研究中注入热流体的参数水平低,远未达到超临界水参数条件,设备也不具备相应的耐受极限,无法用于超临界水驱油的研究中。

### 发明内容

[0007] 本发明的目的在于提供一种超临界多元热流体吞吐采油试验模拟装置及方法,以克服现有技术的不足。

[0008] 为达到上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0009] 一种超临界多元热流体吞吐采油试验模拟装置,包括高压氮气增压计量装置、二氧化碳增压计量装置、超临界水发生装置、原油注入装置、模拟岩心装置、回压控制装置和旁路装置,

[0010] 模拟岩心装置的外侧设有温控器;高压氮气增压计量装置的出口端、二氧化碳增压计量装置出口端、超临界水发生装置出口端和原油注入装置的出口端均连接于模拟岩心装置的入口端,高压氮气增压计量装置的出口端、二氧化碳增压计量装置出口端、超临界水发生装置出口端和原油注入装置的出口端均设有控制阀;回压控制装置的入口端和连接于

模拟岩心装置的出口端,旁路装置的入口端分别通过阀门连接于模拟岩心装置的入口端和出口端。

[0011] 进一步的,高压氮气增压计量装置包括氮气增压泵和氮气质量流量计,氮气增压泵的入口端通过氮气连接管连接于氮气源,出口端连接于氮气质量流量计的入口端,氮气质量流量计的出口端连接于第一单向阀。

[0012] 进一步的,二氧化碳增压计量装置包括二氧化碳增压泵、二氧化碳恒温水浴装置和二氧化碳质量流量计,二氧化碳增压泵的入口端通过二氧化碳气管连接于二氧化碳气源,二氧化碳增压泵的出口端连接于二氧化碳恒温水浴装置的入口端,二氧化碳恒温水浴装置的出口端连接于二氧化碳质量流量计的入口端,二氧化碳质量流量计的出口端连接于第二单向阀。

[0013] 进一步的,超临界水发生装置包括高压计量泵和超临界水发生器,高压计量泵的入口端连接于去离子水或地层水源,高压计量泵的出口端连接于超临界水发生器的入口端,超临界水发生器的出口端连接于模拟岩心装置的入口端。

[0014] 进一步的,原油注入装置采用原油中间容器,原油中间容器的注水侧与高压计量泵的出口端连接,原油中间容器的原油侧与模拟岩心装置的入口端连接。

[0015] 进一步的,高压计量泵与超临界水发生器之间设有第一截止阀,高压计量泵与原油中间容器之间设有第二截止阀。

[0016] 进一步的,回压控制装置包括回压控制中间容器、第二回压控制器、第二液体收集器和高压恒流泵,回压控制中间容器的原油侧连接于模拟岩心装置的出口端,回压控制中间容器的注入侧连接于第二回压控制器一端和高压恒流泵的出口端,第二回压控制器的另一端连接于第二液体收集器入口端;高压恒流泵的入口端通过水源水管连接于去离子水或地层水源;高压恒流泵与回压控制中间容器之间设有第一截止阀。回压控制中间容器与模拟岩心装置之间串联有第七截止阀和第八截止阀。

[0017] 进一步的,模拟岩心装置采用二维管式吞吐模型,二维管式吞吐模型的内径与深度比大于1。

[0018] 进一步的,还包括数据监测采集系统和控制系统,旁路装置包括热量交换器、第一回压控制器和气液分离器,热量交换器的进口端与原油中间容器的原油侧连接,热量交换器的进口端同时与模拟岩心装置的出口端连接;超临界水发生器的出口端设置有温度传感器,模拟岩心装置的进口端和出口端均设置有温度传感器和压力传感器,温控器内设有温度传感器,所有的压力传感器和温度传感器均连接于数据监测采集系统,数据监测采集系统连接于控制系统,所有截止阀和单向阀均连接于控制系统。

[0019] 一种超临界多元热流体吞吐采油试验模拟方法,包括以下步骤:

[0020] 步骤1)、对模拟岩心装置进行抽真空,通过高压计量泵将去离子水或地层水注入模拟岩心装置进而形成饱和水状态;通过温控器控制模拟岩心装置壁温形成恒温壁面至设定温度;

[0021] 步骤2)、通过高压氮气增压计量装置、二氧化碳增压计量装置、超临界水发生装置分别生成高压氮气、高温高压二氧化碳和超临界水后,在系统管路中混合后,形成超临界多元热流体;

[0022] 步骤3)、将超临界多元热流体注入模拟岩心装置中,直至模拟岩心装置内的热流

体注入量达到设定需求后,调节温控器使模拟岩心装置中形成绝热边界条件,然后对模拟岩心装置进行焖井作业;

[0023] 步骤4)、焖井作业结束后进行吞吐产油,通过旁路装置获取气体产物和液体产物,同时通过回压控制装置调节系统压力和产液量,通过数据监测采集系统各阶段数据,完成超临界多元热流体吞吐采油试验。

[0024] 与现有技术相比,本发明具有以下有益的技术效果:

[0025] 本发明一种超临界多元热流体吞吐采油试验模拟装置,采用高压氮气增压计量装置、二氧化碳增压计量装置、超临界水发生装置、原油注入装置、模拟岩心装置、回压控制装置和旁路装置形成能够实现超临界多元热流体吞吐采油试验模结构,利用高压氮气增压计量模块、二氧化碳增压计量模块、超临界水发生模块增压加热形成超临界多元热流体,形成的超临界多元热流体在模拟岩心装置内模拟形成真实采油状况,通过模拟岩心装置外侧的温控器精确控温的,解决吞吐过程中因承压容器吸热和环境散热引起的模拟岩心温度降低问题;本发明结构简单,有利于研究吞吐采油的产油规律,是室内解决油藏吞吐开发机理、优化油藏吞吐开发方案的重要也是有力的研究装置和方法。

[0026] 进一步的,通过设置高精度高压计量泵和第一回压控制器,能够实现系统稳定精确增压;通过数据监测采集系统和控制系统,能够对模拟岩心装置分段加热。

[0027] 进一步的,高压氮气增压计量装置包括氮气增压泵和氮气质量流量计,氮气增压泵的入口端通过氮气连接管连接于氮气源,出口端连接于氮气质量流量计的入口端,氮气质量流量计的出口端连接有第一单向阀,结构简单,采用第一单向阀,防止加载过程中倒流。

[0028] 进一步的,高压计量泵连接原油中间容器和超临界水发生器分别形成超临界水发生装置和原油注入装置,结构简单,能够提供混合超临界多元热流体。

[0029] 本发明一种超临界多元热流体吞吐采油试验模拟方法,通过对模拟岩心装置进行抽真空,通过高压计量泵将去离子水或地层水注入模拟岩心装置进而形成饱和水状态;通过温控器控制模拟岩心装置壁温形成恒温壁面至设定温度;利用高压氮气增压计量装置、二氧化碳增压计量装置、超临界水发生装置分别生成高压氮气、高温高压二氧化碳和超临界水后,在系统管路中混合后,形成超临界多元热流体;能够有效解决吞吐过程中因承压容器吸热和环境散热引起的模拟岩心温度降低问题。通过回压控制系统,稳定试验过程中系统压力,调节吞吐过程中热流体的注入量和产液量,模拟地层弹性能量,可用于研究超临界多元热流体吞吐过程中的温度场变化规律和产油规律。

## 附图说明

[0030] 图1为本发明实施例中装置具体结构示意图。

[0031] 其中,1、氮气增压泵;2、二氧化碳增压泵;3、高压计量泵;4、二氧化碳恒温水浴装置;5、控制系统;6、氮气质量流量计;7、二氧化碳质量流量计;8、超临界水发生器;9、原油中间容器;10、数据监测采集系统;11、模拟岩心装置;12、热量交换器;13、第一回压控制器;14、气液分离器;15、气体收集器;16、第一液体收集器;17、回压控制中间容器;18、第二回压控制器;19、第二液体收集器;20、高压恒流泵;101、氮气连接管;201、二氧化碳气管;301、水源水管;401、数据管道;501、第一单向阀;502、第二单向阀;601、第一截止阀;602、第二截止

阀;603、第三截止阀;604、第四截止阀;605、第五截止阀;606、第六截止阀;607、第七截止阀;608、第八截止阀;609、第九截止阀;610、第十截止阀;701、温控器。

### 具体实施方式

[0032] 下面结合附图对本发明做进一步详细描述:

[0033] 如图1所示,一种超临界多元热流体吞吐采油试验模拟装置,包括高压氮气增压计量装置、二氧化碳增压计量装置、超临界水发生装置、原油注入装置、模拟岩心装置11、回压控制装置和旁路装置,

[0034] 模拟岩心装置11的外侧设有温控器701,通过温控器701调节模拟岩心装置11的壁面温度;高压氮气增压计量装置的出口端、二氧化碳增压计量装置出口端、超临界水发生装置出口端和原油注入装置的出口端均连接于模拟岩心装置11的入口端,高压氮气增压计量装置的出口端、二氧化碳增压计量装置出口端、超临界水发生装置出口端和原油注入装置的出口端均设有控制阀;回压控制装置的入口端和连接于模拟岩心装置11的出口端。

[0035] 模拟岩心装置11采用二维管式吞吐模型,二维管式吞吐模型的内径与深度比大于1。模拟岩心装置11包括相互嵌套的内管和外管,内管的内部填充石英砂、地层岩心或人造地层岩心。温控器701采用多段式加热保温装置,多段式加热保温装置内的多层保温片沿模拟岩心装置11深度方向设置,模拟岩心装置11上下端面分别设有一个加热控温装置,多段式加热保温装置和加热控温装置独立控温,加热功率可调。

[0036] 高压氮气增压计量装置包括氮气增压泵1和氮气质量流量计6,氮气增压泵1的入口端通过氮气连接管101连接于氮气源,出口端连接于氮气质量流量计6的入口端,氮气质量流量计6的出口端连接于第一单向阀501。

[0037] 二氧化碳增压计量装置包括二氧化碳增压泵2、二氧化碳恒温水浴装置4和二氧化碳质量流量计7,二氧化碳增压泵2的入口端通过二氧化碳气管201连接于二氧化碳气源,二氧化碳增压泵2的出口端连接于二氧化碳恒温水浴装置4的入口端,二氧化碳恒温水浴装置4的出口端连接于二氧化碳质量流量计7的入口端,二氧化碳质量流量计7的出口端连接于第二单向阀502。

[0038] 超临界水发生装置包括高压计量泵3和超临界水发生器8,高压计量泵3的入口端连接于去离子水或地层水源,高压计量泵3的出口端连接于超临界水发生器8的入口端,超临界水发生器8的出口端连接于模拟岩心装置11的入口端;原油注入装置采用原油中间容器9,原油中间容器9的注水侧与高压计量泵3的出口端连接,原油中间容器9的原油侧与模拟岩心装置11的入口端连接。如图1所示,高压计量泵3与超临界水发生器8之间设有第一截止阀601,高压计量泵3与原油中间容器9之间设有第二截止阀602。

[0039] 回压控制装置包括回压控制中间容器17、第二回压控制器18、第二液体收集器19和高压恒流泵20,回压控制中间容器17的原油侧连接于模拟岩心装置11的出口端,回压控制中间容器17的注入侧连接于第二回压控制器18一端和高压恒流泵20的出口端,第二回压控制器18的另一端连接于第二液体收集器19入口端;高压恒流泵20的入口端通过水源水管301连接于去离子水\地层水源;高压恒流泵20与回压控制中间容器17之间设有第一截止阀601。回压控制中间容器17与模拟岩心装置11之间串联有第七截止阀607和第八截止阀608。在热流体注入阶段和吞吐产油阶段通过多个截止阀门的组合切换,配合第二回压控制器

18、第二液体收集器19和高压恒流泵20的精确控压计量,模拟吞吐过程中吞吐产油的地层弹性能量变化情况。原油中间容器9和回压控制中间容器17上均设有加热保温装置,原油中间容器9加热控温范围为室温到100℃,回压控制中间容器17加热控温范围为室温到300℃。

[0040] 旁路装置包括热量交换器12、第一回压控制器13和气液分离器14,热量交换器12的进口端与原油中间容器9的原油侧连接,热量交换器12的进口端同时与模拟岩心装置11的出口端连接;如图1所示,原油中间容器9的原油侧出口设有第四截止阀604,模拟岩心装置11的入口端设有第六截止阀606,第一单向阀501的出口端和第二单向阀502的出口端同时连接有第三截止阀603,热量交换器12的进口端设有第五截止阀605,第三截止阀603与第四截止阀604、第五截止阀605和第六截止阀606连通。

[0041] 还包括数据监测采集系统10和控制系统5,超临界水发生器8的出口端设置有温度传感器,模拟岩心装置11的进口端和出口端均设置有温度传感器和压力传感器,温控器701内设有温度传感器,所有的压力传感器和温度传感器均连接于数据监测采集系统10,数据监测采集系统10连接于控制系统5,所有截止阀和单向阀均连接于控制系统5。

[0042] 如图1所示,氮气增压泵1的入口端与通入氮气源的氮气连接管101相连,氮气增压泵1的出口与氮气质量流量计6入口相连,氮气质量流量计6用于计量增压后的高压氮气的质量流量,其出口连接第一单向阀501,第一单向阀501最大承压40MPa,防止试验过程中发生超临界水和高压二氧化碳的倒流情况发生;二氧化碳增压泵2的入口端与通入二氧化碳的二氧化碳气管201相连,出口端与二氧化碳恒温水浴装置4入口端相连,二氧化碳恒温水浴装置4加热增压后的二氧化碳,水浴温度超过50℃,保证二氧化碳在注入过程中相态稳定,二氧化碳恒温水浴装置4出口端连接二氧化碳质量流量计7的入口端,用于计量增压后的二氧化碳的质量流量,二氧化碳质量流量计7的出口端连接第二单向阀502,第二单向阀502最大承压40MPa,防止试验过程中发生超临界水和高压氮气的倒流情况发生;高压计量泵3的入口端通过水源水管301连接于去离子水或地层水源,高压计量泵3的出口端同时与第一截止阀601和第二截止阀602相连,第一截止阀601出口连接超临界水发生器8,第二截止阀602出口连接原油中间容器9的一侧,通过切换第一截止阀601和第二截止阀602,实现饱和水过程、超临界水发生和饱和油过程的切换,超临界水发生器8的出口设置温度传感器,用于测量产生的超临界水温度;分别经过氮气质量流量计6、二氧化碳质量流量计7、超临界水发生器8和原油中间容器9的高压氮气、高温高压二氧化碳和超临界水在第三截止阀603和第四截止阀604出口汇合,在管路中充分混合后生成超临界多元热流体,注入到模拟岩心装置11。超临界多元热流体流经的管路布置温度传感器和压力传感器,用于检测注入热流体温度是否达到试验需求。在模拟岩心装置11入口端布置第六截止阀606,出口处设置第七截止阀607;第七截止阀607出口同时连接旁路装置和回压控制装置;旁路装置连至热量交换器12,其中热量交换器12包括恒温水源、循环泵和套管式换热器,将试验准备阶段和试验过程中产生的流体升温或降低到合适的温度,既能保证原油的流动性,也能防止热流体温度过高影响热量交换器12出口段第一回压控制器13的性能和寿命,第一回压控制器13出口段连接气液分离器14,用于分离液体产物和气体产物,便于收集、计量和分析;旁路装置设置第九截止阀609,用于开启和关闭旁路;回压控制装置包括回压控制中间容器17、第二回压控制阀18和高压恒流泵20,回压控制装置前端设置第八截止阀608,第八截止阀608用于开启和关闭回压控制装置;第二回压控制阀18出口布置第二液体收集器19,用于计量



系统压力控制过程中回压管路里流出的液体;通过高压恒流泵20在控制过程中注入去离子水稳定系统压力并模拟地层弹性能量。

[0043] 氮气增压泵1出口、二氧化碳恒温水浴装置4出口、超临界水发生器8出口等处需要布置温度、压力和流量等各类信号传感器,各类信号数据通过数据通道401,经数据监测采集系统10和控制系统5实时监控和存储;数据监测采集系统10和控制系统5配合,具有安全报警功能,当系统中任意信号传感器的测量值超过预设值立即发出警报。

[0044] 模拟岩心装置11的内部填充石英砂、地层岩心或人造地层岩心,模拟岩心装置11设计最高压力40MPa、最高温度600℃,模拟岩心装置11采用二维管式吞吐模型,模型内径与深度比大于1,多段式加热保温装置,加热保温装置于模型侧面沿模拟岩心装置11深度方向布置多层保温片,模拟岩心装置11上下端面布置加热控温装置,所有加热装置独立控温,加热功率可调,内置多层温度传感器,用于获取吞吐过程中岩心温度场的变化规律。

[0045] 模拟岩心装置11的试验产物包括原油、水、氮气、二氧化碳等在内的多相混合物,后接热量交换器12,可以将试验准备阶段和试验过程中产生的流体升温或降低到合适的温度,既能保证原油的流动性,也能防止热流体温度过高损害后接设备,影响试验精度。

[0046] 本发明方法的具体步骤包括:

[0047] 一、前处理。根据试验需求筛选一种或几种合适粒径的石英砂,按照所需比例混合并预处理后备用,预处理包括酸洗、其离子水洗、烘干、再次筛选。将处理好的原油加入原油中间活塞容器2中的油测;

[0048] 二、试验准备。将处理后的石英砂填充至模拟岩心装置11中,压实密封;

[0049] 三、构建模拟岩心装置。先对模拟岩心装置11抽真空,然后将模拟岩心装置11连至系统,切换各个截止阀,通过高压计量泵3将去离子水或地层水注入模拟岩心装置11进行饱和和水过程;通过温控器701精确控制模拟岩心装置11壁温,形成恒温壁面,加热岩心至设计温度;进一步的,通过高压计量泵3压原油中间容器9将原油注入到模拟岩心装置11中,进行饱和油过程,直至第一液体收集器16长时间不再收集到水截止。

[0050] 四、生成超临界多元热流体。通过高压氮气增压计量装置、二氧化碳增压计量装置、超临界水发生装置分别生成高压氮气、高温高压二氧化碳和超临界水后,在系统管路中混合后,形成超临界多元热流体。

[0051] 五、注入阶段。关闭第二截止阀602、第四截止阀604、第六截止阀606、第九截止阀609,开启第六截止阀606、第七截止阀607、第八截止阀608、第十截止阀610,随后调节模拟岩心装置11上端加热装置的功率,提高模拟岩心装置11上端入口管线温度,注入超临界多元热流体,开始吞吐采油的注入阶段。同时根据数据在线监测与采集系统10采集到承压容器温度和近岩心温度,分段调节模拟岩心装置11侧面和下端的加热温度,避免注入热量的散失,切换模拟岩心装置11下端和回压控制中间容器阀门,启用回压控制装置,稳定系统压力,直至热流体注入量达到试验需求后关闭模拟岩心装置11入口阀门。

[0052] 六、焖井阶段。关闭所有截止阀,关闭注入系统,分段调节温控器701加热功率,根据岩心温度控制壁面温度,形成绝热边界条件,开始焖井,按试验需求焖井一定时间。

[0053] 七、产油阶段。开启模拟岩心装置11进出口第六截止阀606、第七截止阀607,开启第五截止阀605,将模拟岩心装置11连接至热量交换器12和第一回压控制器13,开始吞吐过程的产油阶段,通过气液分离器14,得到气体产物和液体产物。同时根据数据在线监测与采

集系统10采集的各类数据和注入阶段获得的第二液体收集器19测量所获得的数据,调节高压恒流泵20和第二回压控制器18,稳定系统压力和产液量,模拟地层弹性能量。

[0054] 八、根据试验需求重复步骤四至步骤七,直至试验结束。

[0055] 本发明能提供恒定流量下的超临界多元热流体,研制了模拟岩心装置并对温度控制装置进行了改进,分段加热,精确控温的目的,解决吞吐过程中因承压容器吸热和环境散热引起的模拟岩心温度降低问题。通过回压控制装置,稳定试验过程中系统压力,调节吞吐过程中热流体的注入量和产液量,模拟地层弹性能量,可用于研究超临界多元热流体吞吐过程中的温度场变化规律和产油规律。本发明涉及的超临界多元热流体吞吐产油模拟方法通过改变操作流程,也可用于超临界水吞吐或蒸汽驱替、超临界多元热流体驱替。

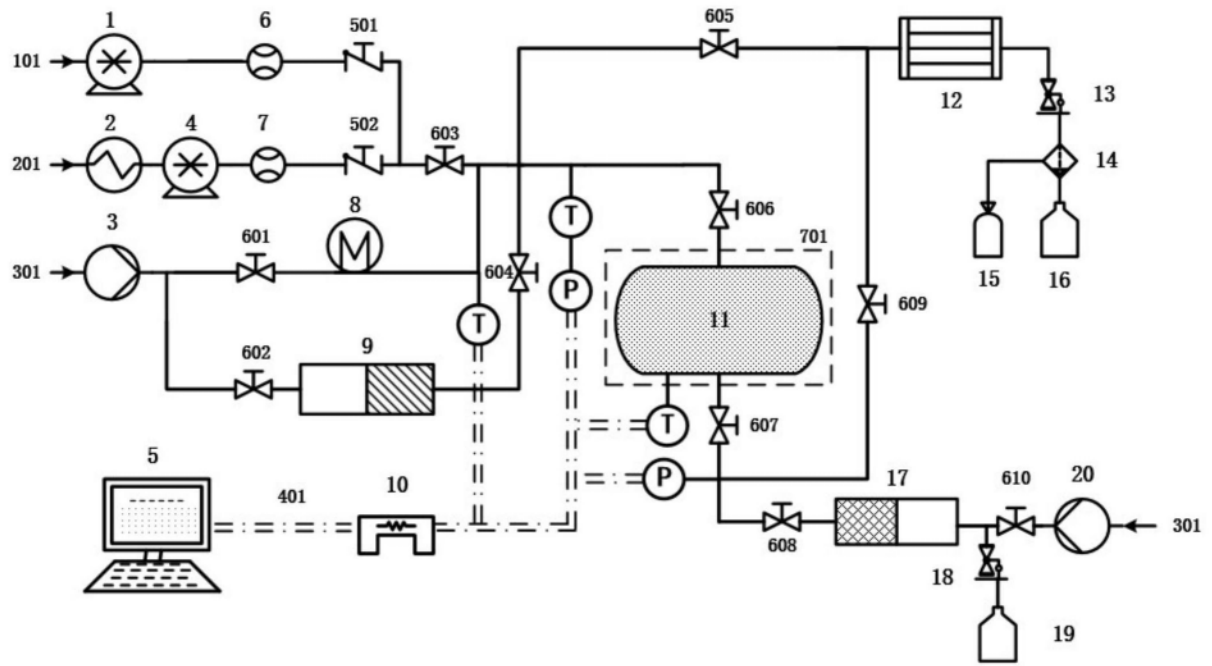


图1