



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108119132 B

(45) 授权公告日 2021.08.03

(21) 申请号 201711171264.3

E21B 49/02 (2006.01)

(22) 申请日 2017.11.22

G06Q 50/02 (2012.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

审查员 尹浚羽

申请公布号 CN 108119132 A

(43) 申请公布日 2018.06.05

(73) 专利权人 中国石油天然气股份有限公司  
地址 100007 北京市东城区东直门北大街9号

(72) 发明人 叶礼友 高树生 刘华勋 安为国  
朱文卿 薛蕙 马宏煜

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

代理人 张德斌 姚亮

(51) Int. Cl.

E21B 49/00 (2006.01)

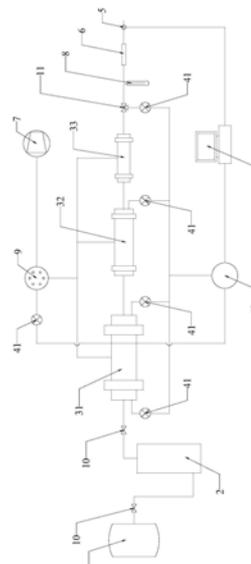
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

致密砂岩气藏近井带径向渗流含水饱和度模拟装置及方法

(57) 摘要

本发明提供了一种致密砂岩气藏近井带径向渗流含水饱和度模拟装置及方法。所述装置包括：驱替泵(1)、中间容器(2)、至少三个通过管路串联连接的直径不同的岩心夹持器(3)、测压装置(4)、流量计(5)、流量控制器(6)、围压泵(7)、气水分离器(8)和控制系统(9)。该套装置大幅提高了含水气藏开发实验研究水平,填补相关领域研究空白。



1. 一种致密砂岩气藏近井带径向渗流含水饱和度模拟装置,其特征在于,所述装置包括:驱替泵(1)、中间容器(2)、至少三个通过管路串联连接的直径不同的岩心夹持器(3)、测压装置(4)、流量计(5)、流量控制器(6)、围压泵(7)、气水分离器(8)和控制系统(9);所述岩心夹持器(3)为三个直径由大到小的岩心夹持器串联组成:第一岩心夹持器(31)、第二岩心夹持器(32)和第三岩心夹持器(33),三个岩心夹持器直径由大到小分别为5-15cm、3-5cm、以及1-3cm,且相邻两个岩心夹持器的直径差值为1-10cm;所述测压装置(4)包括压力传感器(41)和压力巡检器(42),其中所述驱替泵(1)、中间容器(2)、第一岩心夹持器(31)、第二岩心夹持器(32)、第三岩心夹持器(33)、除水装置(8)以及流量控制器(6)通过管路顺序连接,三个岩心夹持器分别通过管路与围压泵连接,所述流量计和控制系统电连接,在围压泵和岩心夹持器之间的管路上、第一岩心夹持器的两端、第二岩心夹持器出口端、第三岩心夹持器与除水装置之间的管路上分别设置压力传感器,并将每个压力传感器与压力巡检器电连接,压力巡检器再与控制系统(9)电连接。

2. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,所述围压泵(7)是通过多通道阀(9)分别与三个岩心夹持器连接,并在多通道阀的一个通路上设置压力传感器。

3. 根据权利要求2所述的装置,其特征在于,所述多通道阀(9)为六通道阀。

4. 根据权利要求2所述的装置,其特征在于,围压泵(7)通过管路与多通道阀(9)连接,多通道阀再通过管路分别与三个岩心夹持器连接。

5. 根据权利要求4所述的装置,其特征在于,第三岩心夹持器(33)和除水装置(8)之间的管路上设置三通阀(11),并将第三岩心夹持器(33)和除水装置(8)之间的的压力传感器设置在三通阀的一个通路上。

6. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,所述驱替泵(1)为ISCO驱替泵。

7. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,所述中间容器(2)为钛合金中间容器;岩心夹持器(3)为钛合金岩心夹持器。

8. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,三个岩心夹持器直径由大到小分别为为10.5cm、3.8cm、以及2.5cm。

9. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,所述控制器为耐压微管,所述控制系统为计算机。

10. 根据权利要求1~9任意一项所述的装置,其特征在于,在驱替泵(1)连接中间容器(2)的管路上、以及中间容器(2)连接岩心夹持器(3)的管路上分别设置二通阀(10)。

11. 一种致密砂岩气藏近井带径向渗流含水饱和度模拟方法,其特征在于,所述方法包括:取三个直径不同的岩心,并按照直径由大到小分别置于串联设置的岩心夹持器中,对岩心施加围压,然后向岩心夹持器中通入氮气至岩心夹持器中的气压为20-50MPa,待压力稳定后,打开岩心夹持器出口开关,使岩心夹持器中的岩心两端压力自然泄压,记录过程中三个夹持器两端的压力变化,以及岩心的产水量,以计算岩心在含水饱和度下的产气量,当岩心夹持器中的气压达到废弃压力后,取出岩心,称重并计算含水饱和度变化;所述方法是利用权利要求1~10任意一项所述的装置进行含水饱和度的模拟。

12. 根据权利要求11所述的方法,其特征在于,对岩心施加的围压为:根据岩心提取的深度来确定岩心所在地层的上覆压力,所述上覆压力即为围压。

13. 根据权利要求12所述的方法,其特征在于,所述围压为20-50MPa。

14. 根据权利要求11所述的方法,其特征在于,所述方法包括将所述岩心置于岩心夹持器之前先建立所需含水饱和度。

15. 根据权利要求14所述的方法,其特征在于,所述建立所需含水饱和度包括将岩心抽真空并加压饱和,记录过程的压力变化和模拟过程中排出的气体流量变化,并建立所需含水饱和度。

16. 根据权利要求15所述的方法,其特征在于,所述加压饱和为使用地层水进行加压饱和。

17. 根据权利要求15所述的方法,其特征在于,建立所需含水饱和度包括采用驱替法建立含水饱和度。

18. 根据权利要求11所述的方法,其特征在于,所述方法包括:取三个直径不同的岩心,并按照直径由大到小分别置于串联设置的岩心夹持器(3)中,使用围压泵(7)将岩心夹持器加压至所需围压,稳定后利用中间容器(2)向岩心夹持器中通入氮气,并利用驱替泵(1)向岩心夹持器中继续通入氮气以使得岩心夹持器内的压力达到20MPa,待压力稳定后,通过流量控制器(6)来控制气体流量,打开流量控制器的开关,记录每个测压装置的压力变化数据、以及岩心的产水量,从而计算在含水饱和度下的产气量,当达到废弃压力后,取出岩心,称重并计算含水饱和度变化。

19. 根据权利要求18所述的方法,其特征在于,所述方法包括:待压力稳定后,打开三通阀(11),然后通过流量控制器(6)来控制气体流量。

## 致密砂岩气藏近井带径向渗流含水饱和度模拟装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及油气开采领域,具体的说,本发明涉及一种致密砂岩气藏近井带径向渗流含水饱和度模拟装置及方法。

### 背景技术

[0002] 近些年,致密砂岩气以其巨大的资源潜力而越来越受到人们的关注。在生产开发过程中,近井地带压降漏斗大,近井储层含水饱和度变化明显,气井大量产水,对气藏开发影响较大。经文献调研发现,近井地带气水流动属径向渗流,且无法用圆盘状岩心及设备来展示径向渗流。目前在实验室中,也无相关设备模拟近井地带径向流动,无法系统地研究近井地带含水饱和度变化规律,在气井近井地带径向渗流产水规律方面上还处于空白阶段,故在该研究领域内急需进行科研攻关。为深入认识致密砂岩气藏近井地带含水饱和度变化规律,需要一种特殊的实验方法和实验设备来完成。

[0003] 目前致密砂岩气藏近井地带含水饱和度实验方法有圆形填砂模型实验(致密砂岩平板物理模型)、长岩心模拟实验。对于致密砂岩平板物理模型来说,该模型可以准确监测个点的压力,但其实验体积较大,含水饱和度建立、测量困难,且实验精准度很小。对于长岩心模拟实验,该模型不能精准的对致密砂岩的平面径向渗流进行模拟,不能体现出致密砂岩气藏实际生产过程中的储层流体的流动状态。

### 发明内容

[0004] 本发明的一个目的在于提供一种致密砂岩气藏近井带径向渗流含水饱和度模拟装置;

[0005] 本发明的另一目的在于提供一种致密砂岩气藏近井带径向渗流含水饱和度模拟方法。

[0006] 为达上述目的,一方面,本发明提供了一种致密砂岩气藏近井带径向渗流含水饱和度模拟装置,其中,所述装置包括:驱替泵1、中间容器2、至少三个通过管路串联连接的直径不同的岩心夹持器3、测压装置4、流量计5、流量控制器6、围压泵7、气水分离器8和控制系统9。

[0007] 根据本发明一些具体实施方案,其中,所述驱替泵为ISCO驱替泵。

[0008] 根据本发明一些具体实施方案,其中,所述中间容器为钛合金中间容器。

[0009] 本发明的中间容器不仅为饱和气体的高压氮气容器,而且是模拟致密砂岩气藏远端地层能量供给源。

[0010] 所述中间容器采用两级密封面的密封垫片。

[0011] 根据本发明一些具体实施方案,其中,所述岩心夹持器为钛合金岩心夹持器。

[0012] 根据本发明一些具体实施方案,其中,相邻两个岩心夹持器的直径差值为1-10cm。

[0013] 根据本发明一些具体实施方案,其中,三个岩心夹持器直径由大到小分别为5-15cm、3-5cm、以及1-3cm,且相邻两个岩心夹持器直径不相同。

[0014] 根据本发明一些具体实施方案,其中,三个岩心夹持器直径由大到小分别为10.5cm、3.8cm、以及2.5cm。

[0015] 根据本发明一些具体实施方案,其中,三个岩心夹持器的长度分别为各自直径的1.5-2倍。

[0016] 根据本发明一些具体实施方案,其中,所述流量控制器为耐压达30MPa的耐高压微管。

[0017] 本发明通过采用不同型号耐高压微管可以模拟井筒控制流量,并且耐高压微管可以大幅提高实验研究能力,深入认识单相流体与气、液两相在微管中的流动规律,明确流体边界层厚度的影响因素和变化规律,揭示低渗致密油、气藏的微观渗流机理。

[0018] 根据本发明一些具体实施方案,其中,所述控制系统为计算机。

[0019] 根据本发明一些具体实施方案,其中,所述驱替泵(1)、中间容器(2)、按照直径由大到小排列的三个岩心夹持器(3)、除水装置(8)以及流量控制器(6)通过管路顺序连接,三个岩心夹持器分别通过管路与围压泵连接,并在围压泵和岩心夹持器之间的管路上、以及每个岩心夹持器的两端设置测压装置,所述流量计和控制系统电连接。

[0020] 根据本发明一些具体实施方案,其中,所述测压装置(4)包括压力传感器(41)和压力巡检器(42),在围压泵和岩心夹持器之间的管路上、以及每个岩心夹持器的两端设置压力传感器,并将每个压力传感器与压力巡检器电连接,压力巡检器再与控制系统(9)电连接。

[0021] 根据本发明一些具体实施方案,其中,所述岩心夹持器(3)为三个直径由大到小的岩心夹持器串联组成:第一岩心夹持器(31)、第二岩心夹持器(32)和第三岩心夹持器(33),其中所述驱替泵(1)、中间容器(2)、第一岩心夹持器(31)、第二岩心夹持器(32)、第三岩心夹持器(33)、除水装置(8)以及流量控制器(6)通过管路顺序连接,在第一岩心夹持器的两端、第二岩心夹持器出口端、第三岩心夹持器与除水装置之间的管路上分别设置压力传感器。

[0022] 这里仅仅提供了一种具体的压力传感器的设置方式,所述的压力传感器还可以其他方式设置,只要能够确保能够测量围压压力变化、以及每个岩心夹持器的压力变化即可;譬如还可直接将压力传感器设置在中间容器连接岩心夹持器的管路上,以及每个岩心夹持器之间连接的管路上。

[0023] 根据本发明一些具体实施方案,其中,所述围压泵(7)是通过多通道阀(9)分别与三个岩心夹持器连接,并在多通道阀的一个通路上设置压力传感器。

[0024] 根据本发明一些具体实施方案,其中,所述多通道阀为六通道阀。

[0025] 根据本发明一些具体实施方案,其中,围压泵(7)通过管路与多通道阀(9)连接,多通道阀再通过管路分别与三个岩心夹持器连接。

[0026] 根据本发明一些具体实施方案,其中,第三岩心夹持器(33)和除水装置(8)之间的管路上设置三通阀(11),并将第三岩心夹持器(33)和除水装置(8)之间的的压力传感器设置在三通阀的一个通路上。

[0027] 根据本发明一些具体实施方案,其中,在驱替泵(1)连接中间容器(2)的管路上、以及中间容器(2)连接岩心夹持器(3)的管路上分别设置二通阀(10)。

[0028] 另一方面,本发明还提供了一种致密砂岩气藏近井带径向渗流含水饱和度模拟方

法,其中,所述方法包括:取三个直径不同的岩心,并按照直径由大到小分别置于串联设置的岩心夹持器中,对岩心施加围压,然后向岩心夹持器中通入氮气至岩心夹持器中的气压为20-50MPa,待压力稳定后,打开岩心夹持器出口开关,使岩心夹持器中的岩心两端压力自然泄压,记录过程中三个夹持器两端的压力变化,以及岩心的产水量,以计算岩心在含水饱和度和下的产气量,当岩心夹持器中的气压达到废弃压力后,取出岩心,称重并计算含水饱和度变化。

[0029] 根据本发明一些具体实施方案,其中,本发明是根据岩心提取的深度来确定岩心所在地层的上覆压力,所述上覆压力即为围压。

[0030] 根据本发明一些具体实施方案,其中,所述围压为20-50MPa。

[0031] 根据本发明一些具体实施方案,其中,所述岩心在置于岩心夹持器之前先建立所需含水饱和度。

[0032] 根据本发明一些具体实施方案,其中,建立所需含水饱和度的步骤包括将岩心抽真空并加压饱和,记录过程的压力变化和模拟过程中排出的气体流量变化,并建立所需含水饱和度。

[0033] 根据本发明一些具体实施方案,其中,本发明通过使用地层水进行加压饱和,并记录过程的压力和流量变化,并建立所需含水饱和度。

[0034] 含水饱和度的建立方法的具体过程为本领域所熟知,譬如有风干(烘干)法、离心法、驱替法、和毛细管自吸法;而根据本发明一些具体实施方案,其中,本发明采用驱替法建立含水饱和度。

[0035] 岩心尺寸选取主要根据岩心夹持器确定,而岩心夹持器所匹配的岩心直径尺寸一般为10.5cm、3.8cm、2.5cm;岩心直径范围一般为2.5cm-10.5cm。

[0036] 本发明所述的废气压力是本领域惯用术语,是指气井维持生产的最小井底压力;范围一般是出口压力降到初始流压10-20%。

[0037] 根据本发明一些具体实施方案,其中,所述方法是利用本发明任意一项所述的装置进行含水饱和度的模拟。

[0038] 根据本发明一些具体实施方案,其中,所述方法包括:取三个直径不同的岩心,并按照直径由大到小分别置于串联设置的岩心夹持器(3)中,使用围压泵(7)将岩心夹持器加压至所需围压,稳定后利用中间容器(2)向岩心夹持器中通入氮气,并利用驱替泵(1)向岩心夹持器中继续通入氮气以使得岩心夹持器内的压力达到20MPa,待压力稳定后,通过流量控制器(6)来控制气体流量,打开流量控制器的开关,记录每个测压装置的压力变化数据、以及岩心的产水量,从而计算在含水饱和度下的产气量,当达到废弃压力后,取出岩心,称重并计算含水饱和度变化。

[0039] 根据本发明一些具体实施方案,其中,待压力稳定后,打开三通阀(11),然后通过流量控制器(6)来控制气体流量。

[0040] 本发明在实验前将大、中、小三个不同直径岩心在岩心轴线水平面串联,三个不同直径岩心串联就巧妙地模拟了近井地带一小扇形径向渗流。使用围压泵对岩心夹持器中的岩心加围压,ISCO驱替泵和中间容器对岩心进行饱和压力,直至压力平衡后,关闭ISCO驱替泵,打开出口微管开关,进行气藏开发模拟实验。在岩心夹持器的每个端口都有高精度压力传感器,并与压力巡检仪相连,压力巡检仪将压力信号传入至电脑上,同时在出口处有流量

计记录出口流量。电脑上显示记录压力和流量时实变化情况,直至衰竭实验结束后,称重计算含水饱和度变化,通过各个岩心含水饱和度变化得到近井地带径向渗流含水饱和度变化规律。该试验方法及设备为首次提出,为实验室进行含水饱和度变化规律提供新的实验方法和研究。

[0041] 综上所述,本发明提供了一种致密砂岩气藏近井带径向渗流含水饱和度模拟装置及方法。本发明的方案具有如下优点:

[0042] 本实验装置利用现有实验夹持器等装置,采用专用压力传感器、耐压中间容器以及微管设备,其中压力传感器为0-40MPa,精度0.1%,进行近井地带径向渗流含水饱和度变化规律测试。实验将大、中、小不同直径岩心在岩心轴线水平面串联饱和压力衰竭实验,不同直径岩心串联巧妙地模拟了近井地带一小扇形径向渗流(图2),从而研究径向渗流含水饱和度变化规律。且在该套串联夹持器出口安装微管,通过微管巧妙地模拟了井筒,使用不同直径微管来模拟井筒直径的大小,以此来研究井筒流量对径向渗流含水饱和度变化规律的影响。该套装置大幅提高了含水气藏开发实验研究水平,填补相关领域研究空白。

### 附图说明

[0043] 图1为本发明实施例的设备图。

[0044] 图2为近井地带小扇形径向渗流示意图。

[0045] 图3为各测压点压力随时间变化曲线图;

[0046] 图3中各测压点压力都随时间增大呈凹形曲线缓慢下降,其中出口端压力下降最快,其次为3.8岩心出口、10.5岩心出口、入口压力,且在中后期各岩心两端的压降明显,能够反映出平面径向渗流的压力降落漏斗。

[0047] 图4为出口气体流量随时间变化曲线图;

[0048] 图4中出口气体流量随时间增大而逐渐减小,符合生产现场中致密砂岩气藏放压生产模式。

[0049] 图5为实验后岩心含水饱和度变化曲线(出口微管为40微米)。

[0050] 图5可以明显看出在出口微管40微米微管控制下,岩心10.5cm、3.8cm、2.5cm分别在不同含水饱和度下饱和衰竭实验后含水饱和度变化情况。通过各实验能够很好的反映出致密砂岩气藏近井地带含水饱和度变化规律,对致密砂岩气藏含水饱和度变化研究具有很好的帮助。

[0051] 图6为实验后岩心含水饱和度变化曲线。图6直观的反映了实验前含水饱和度与实验后的含水饱和度。

### 具体实施方式

[0052] 以下通过具体实施例详细说明本发明的实施过程和产生的有益效果,旨在帮助读者更好地理解本发明的实质和特点,不作为对本案可实施范围的限定。

[0053] 实施例1

[0054] 1、根据实验要求,选取三种直径不同岩心分别放入三个夹持器中(直径分别为10.5cm、3.8cm、2.5cm;长度分别为各自直径的1.5倍),将岩心抽真空加压饱和,分别建立实验所需含水饱和度(如图5所示,分别为60%、55%、50%、45%、和40%);

[0055] 2、根据图1连接设备,打开电脑压力记录实验系统、流量记录系统,调试压力记录系统,确定记录软件、流量记录软件等工作正常;

[0056] 3、首先将实验所需砂岩岩心放入夹持器,固定好,连接好实验流程,缓慢加至实验所需围压,稳定一段时间后,准备下一步实验;

[0057] 4、将装有高压氮气的中间容器连接到10.5cm岩心夹持器入口,将三个夹持器饱和和高压氮气,充入氮气,然后通过ISCO驱替泵给中间容器加压从而给三个夹持器饱和和高压氮气至20MPa,待进出口两端压力一致后,稳定一段时间,关闭ISCO驱替泵;

[0058] 5、打开微管端开关,打开压力记录系统,流量记录系统,开始实验;

[0059] 6、记录三个夹持器两端压力变化情况(如图3所示),记录出口端气体流量变化情况(如图4所示)和累计产气量,所述累计产气量可以通过电脑记录流量软件上计量得到;

[0060] 7、实验达到废弃压力后,结束实验,将岩心取出,称量,通过实验前建立的所需含水饱和度以及实验后称重得到的岩心含水饱和度来计算含水饱和度变化(如图5、图6及表1所示)。

[0061] 表1

		10.5 岩心: 莫 123-10			
出口微管 40		初始设计含水饱和度	初始实测含水饱和度	试验后含水饱和度	含水饱和度变化
		40%	40.66%	40.29%	-0.37%
		45%	43.75%	42.94%	-0.81%
		50%	49.19%	47.77%	-1.42%
		55%	55.32%	52.84%	-2.48%
		60%	60.32%	54.47%	-5.84%
		3.8 岩心: 2-1			
出口微管 40		初始设计含水饱和度	初始实测含水饱和度	试验后含水饱和度	含水饱和度变化
		40%	40.18%	39.84%	-0.34%
		45%	45.75%	48.90%	3.15%
		50%	50.16%	53.68%	3.51%
		55%	54.47%	56.19%	1.72%
		60%	60.18%	59.80%	-0.39%
		2.5 岩心: SQ-1			
出口微管 40		初始设计含水饱和度	初始实测含水饱和度	试验后含水饱和度	含水饱和度变化
		40%	40.36%	39.66%	-0.70%
		45%	45.37%	49.60%	4.23%
		50%	49.98%	57.22%	7.24%
		55%	54.80%	60.22%	5.41%
		60%	60.93%	61.85%	0.91%

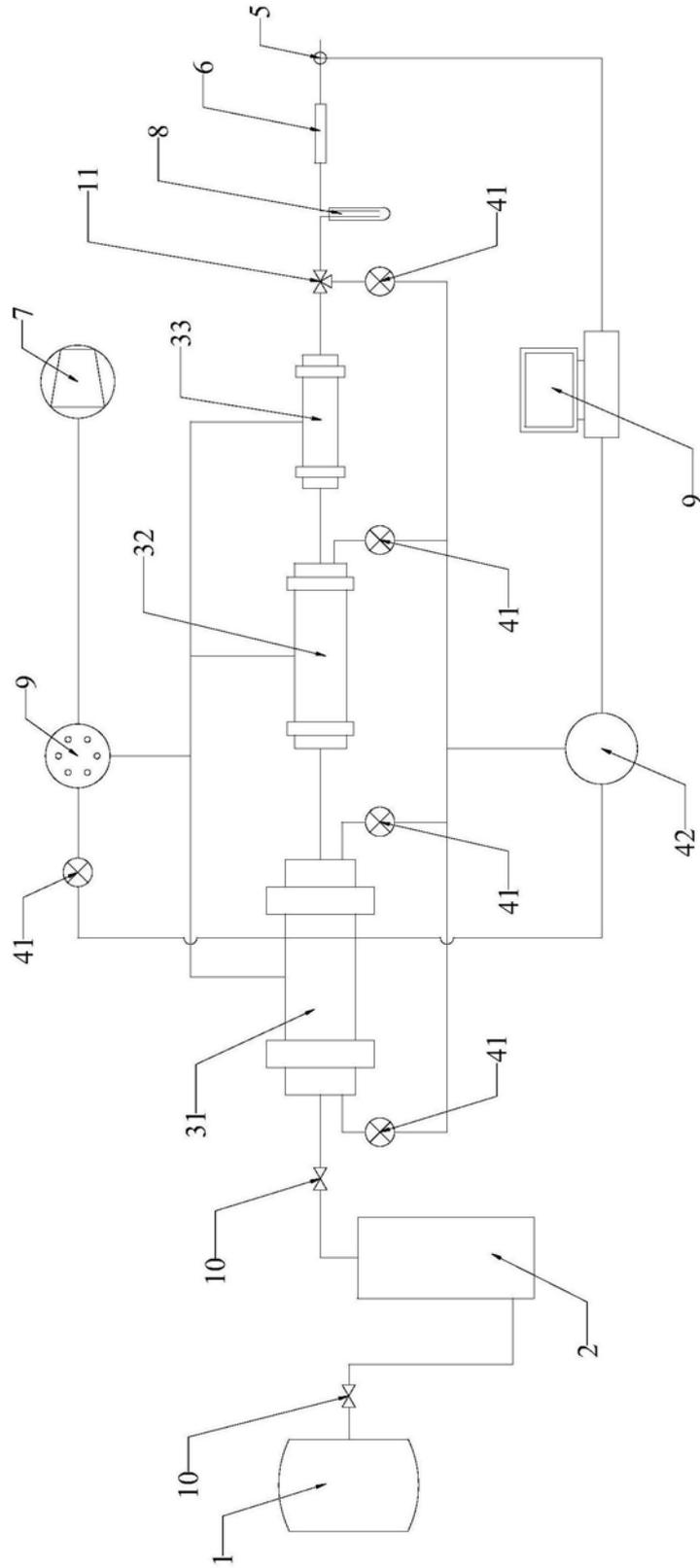


图1

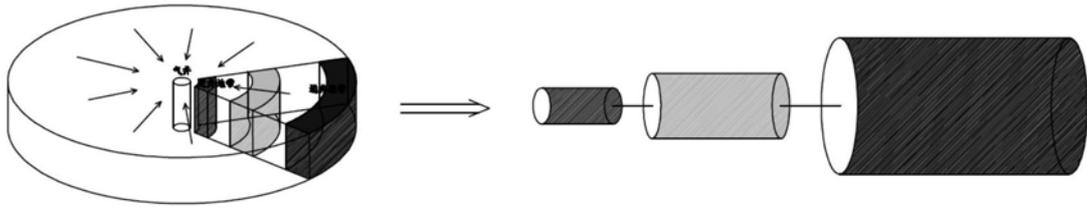


图2

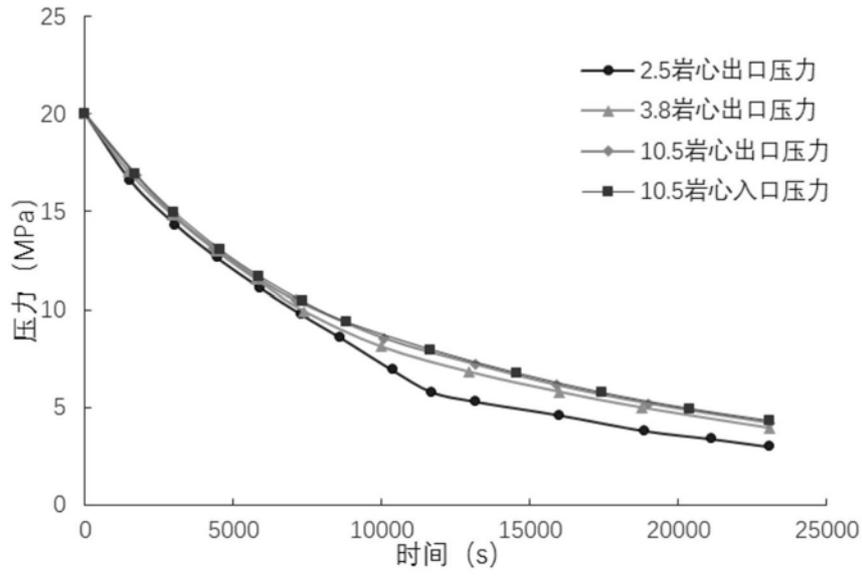


图3

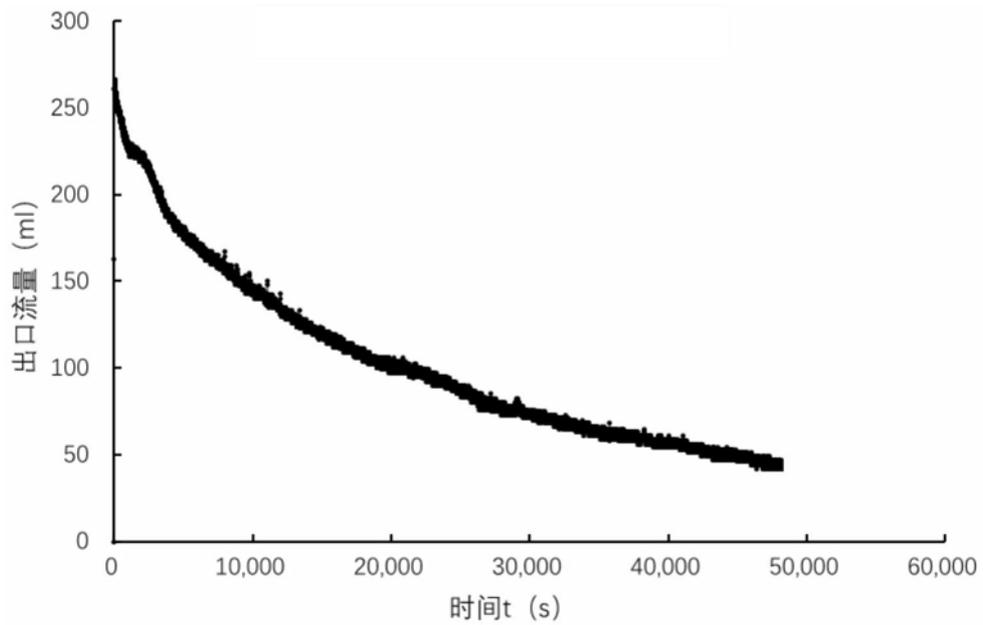


图4

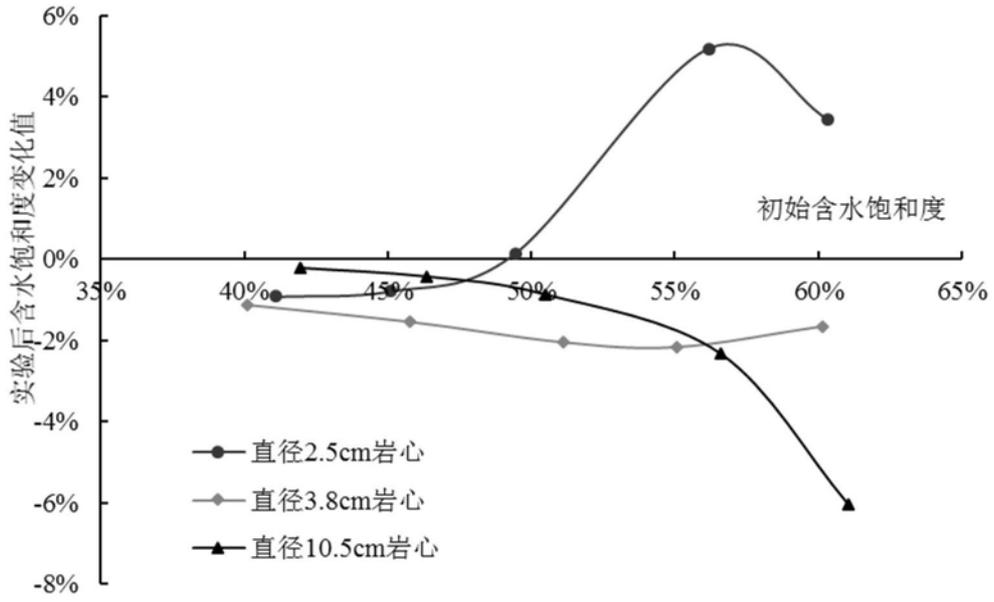


图5

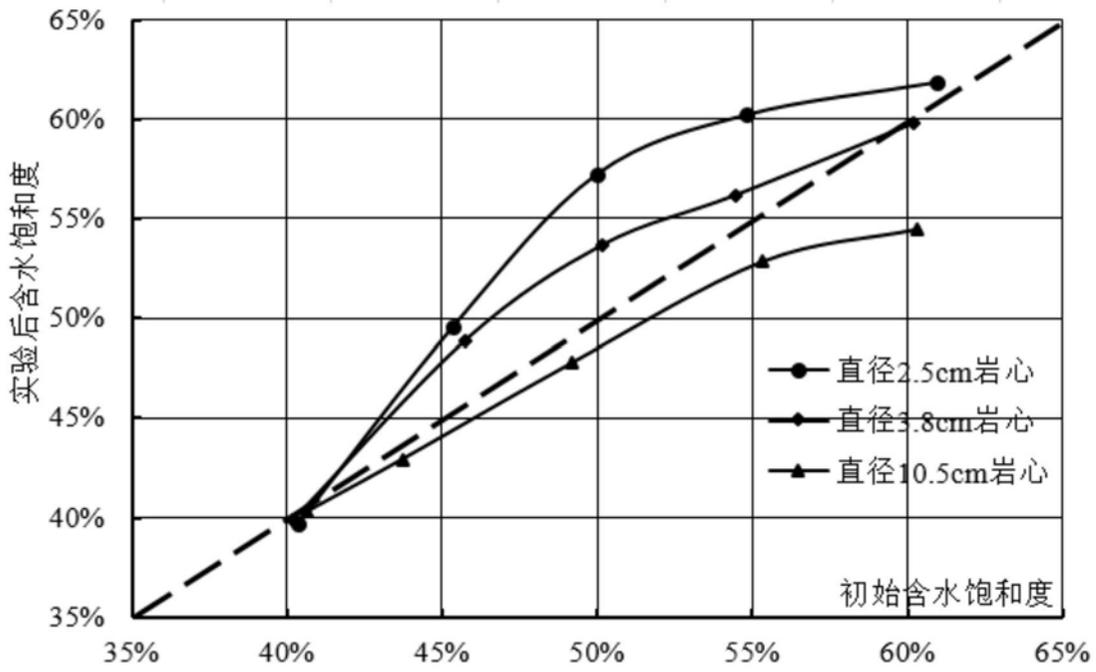


图6