



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107727554 A

(43)申请公布日 2018.02.23

(21)申请号 201711054256.0

(22)申请日 2017.10.31

(71)申请人 中国石油大学(北京)

地址 102200 北京市昌平区府学路18号

(72)发明人 于海洋 刘俊辉 程时清 芦鑫

(74)专利代理机构 北京驰纳智财知识产权代理

事务所(普通合伙) 11367

代理人 孙海波

(51)Int.Cl.

G01N 15/08(2006.01)

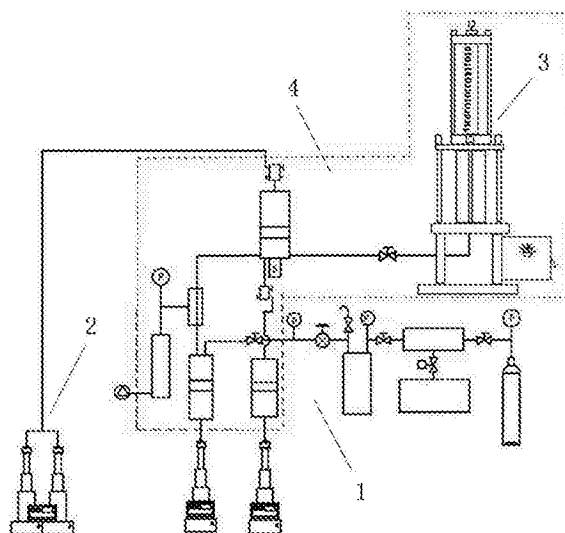
权利要求书1页 说明书9页 附图5页

## (54)发明名称

高温高压条件下强化碳化水的渗吸系统

## (57)摘要

本发明涉及一种高温高压条件下强化碳化水的渗吸系统,包括碳化水的制备系统、碳化水的注入系统和岩心的渗吸系统,所述碳化水的制备系统与所述岩心的渗吸系统通过管线连接,所述碳化水的注入系统将碳化水注入到所述岩心的渗吸系统中;所述岩心的渗吸系统中的碳化水可旋转流动,所述碳化水为溶有CO<sub>2</sub>的水溶液。本发明的渗吸系统中安装电动机,可带动金属容器内的转动盘和转动杆旋转,进而驱动流体旋转,一方面不会遮挡岩心下部的端面,另一方面加快了岩心的渗吸过程,极大的缩短了岩心渗吸的周期,提高了渗吸的效率,并且流体的旋转以及转速的设置可以针对不同类型的岩心和不同性质的原油,有效消除了油滴吸附在岩心表面的现象。



1. 一种高温高压条件下强化碳化水的渗吸系统,包括碳化水的制备系统、碳化水的注入系统和岩心的渗吸系统,所述碳化水的制备系统与所述岩心的渗吸系统通过管线连接,所述碳化水的注入系统将碳化水注入到所述岩心的渗吸系统中,其特征在于:所述岩心的渗吸系统中的碳化水可旋转流动,所述碳化水为溶有CO<sub>2</sub>的水溶液。

2. 如权利要求1所述的高温高压条件下强化碳化水的渗吸系统,其特征在于:所述碳化水的制备系统包括三个活塞容器,分别为CO<sub>2</sub>注入容器、水容器和搅拌容器,三个容器内均设置可上下运动的活塞。

3. 如权利要求2所述的高温高压条件下强化碳化水的渗吸系统,其特征在于:所述CO<sub>2</sub>注入容器的上端有两个管口,其中一个管口通过管线依次与调压阀、高压储罐、气体增压泵和CO<sub>2</sub>气源连接,另一个管口通过管线依次与回压阀和所述搅拌容器的下端连接;所述气体增压泵还连接空气压缩机;所述回压阀还通过管线依次连接回压容器和回压泵。

4. 如权利要求3所述的高温高压条件下强化碳化水的渗吸系统,其特征在于:所述CO<sub>2</sub>气源与所述气体增压泵之间安装开关阀门I;所述气体增压泵与所述高压储罐之间安装开关阀门II;所述调压阀与所述CO<sub>2</sub>注入容器之间安装开关阀门III;所述气体增压泵与所述空气压缩机之间安装电磁阀;所述高压储罐上安装安全阀。

5. 如权利要求4所述的高温高压条件下强化碳化水的渗吸系统,其特征在于:所述CO<sub>2</sub>气源、高压储罐、调压阀和回压阀的管线上均安装压力表。

6. 如权利要求5所述的高温高压条件下强化碳化水的渗吸系统,其特征在于:所述CO<sub>2</sub>注入容器的下端通过管线与恒速恒压泵I连接。

7. 如权利要求2所述的高温高压条件下强化碳化水的渗吸系统,其特征在于:所述水容器的上端通过管线与所述搅拌容器的下端连接,所述水容器的下端通过管线与恒速恒压泵II连接。

8. 如权利要求7所述的高温高压条件下强化碳化水的渗吸系统,其特征在于:所述水容器内盛装地层水或活化水。

9. 如权利要求2所述的高温高压条件下强化碳化水的渗吸系统,其特征在于:所述搅拌容器的下端通过管线与所述岩心的渗吸系统的底部连接,该管线上安装开关阀门IV。

10. 如权利要求9所述的高温高压条件下强化碳化水的渗吸系统,其特征在于:所述搅拌容器的上端通过管线与恒速恒压泵III连接,该管线上安装四通阀。

## 高温高压条件下强化碳化水的渗吸系统

### 技术领域

[0001] 本发明属于石油钻探工程技术领域,具体涉及一种高温高压条件下强化碳化水的渗吸系统。

### 背景技术

[0002] 在低渗透、特低渗、致密油藏以及碳酸盐岩油藏中均有不同程度的裂缝发育,该油藏中的渗流系统包括裂缝系统和基质系统。这些油藏的生产机理为:当注入水进入地层后,首先驱替出的是裂缝中的油,使裂缝的含水饱和度上升,这样就在裂缝和基岩之间产生了由于饱和度差异引起的压力梯度,此时依靠毛细管力的作用,注入水进入基岩而油则从基岩中排到裂缝中,因此毛细管力是自然渗吸过程中排驱原油的主要动力,是亲水油藏开采中非常重要的一种机理。

[0003] 对于低渗透、特低渗、致密油藏以及碳酸盐岩油藏,室内普遍采用岩心作为研究对象,对其进行渗吸实验,应用的仪器主要是渗吸仪。经过大量的调研,目前室内渗吸实验的主要测试方法为:称重法、体积法和CT扫描法。由于低渗透、特低渗、致密油藏的储层物性差,孔渗较低,含油饱和度低,渗吸过程的采收率低,最终导致渗吸出的油量很少,并且渗吸过程的周期长,随着时间的推移,渗吸出的油量更少,这时这一部分油会吸附在岩石的表面,并不会上浮到计量段,最后计量的误差非常大。因此,急需开发一种高温高压条件下强化碳化水的渗吸系统,以解决现有技术存在的问题。

[0004] 申请公布号为CN106769752A的发明专利公开了一种可旋转的渗吸实验装置,包括玻璃容器、安装座、电动机、转动盘和岩样夹持器;玻璃容器密封安装在安装座的上端,玻璃容器内盛装液体和待测岩样;玻璃容器的上部具有透明的测量管;电动机安装在安装座上,并通过旋转轴与转动盘连接,转动盘上连接岩样夹持器,电动机驱动岩样夹持器在液体内旋转。该装置通过电动机带动岩样夹持器旋转,在离心力的作用下使粘附在岩心表面的油珠脱离岩心表面,并漂浮至测量管中,虽然渗吸率有所提高,但是采用纯水或地层水作为流体,原油的粘度仍然较高;该装置中的岩心是旋转的,而实际地层中岩心是固定的,所以该装置的设计不符合实际地层情况;此外,该装置是在常温常压下进行实验的,不能模拟实际地层的高温高压情况。

### 发明内容

[0005] 为解决现有技术中存在的问题,本发明提供一种高温高压条件下强化碳化水的渗吸系统,包括碳化水的制备系统、碳化水的注入系统和岩心的渗吸系统,所述碳化水的制备系统与所述岩心的渗吸系统通过管线连接,所述碳化水的注入系统将碳化水注入到所述岩心的渗吸系统中;所述岩心的渗吸系统中的碳化水可旋转流动,所述碳化水为溶有CO<sub>2</sub>的水溶液。

[0006] 在渗吸实验过程中,岩心在毛管力的作用下发生渗吸作用,岩心中的原油会从岩心内部排出,部分油滴会吸附在岩心表面,并且岩心下部渗吸出的原油由于岩心的遮挡而

无法进入渗吸装置,会造成很大的计量误差。自然渗吸过程往往周期很长,效率较低,耗时太长。常规渗吸仪只能在一般条件下使用,无法满足模拟真实条件的实验。而本发明中,渗吸系统中的流体可以通过控制电动机的转速对金属容器中的流体进行旋转,一方面使得吸附在岩心表面及由于下部岩心遮挡而无法进入计量装置的原油在重力分异的作用下进入计量装置,克服实验的计量误差,另一方面旋转的流体会加快岩心的渗吸,极大的缩短了渗吸过程,减少了渗吸的周期。

[0007] 碳化水是在高压下将一定量的CO<sub>2</sub>溶解在具有一定矿化度的地层水中形成的一种流体。由于碳化水中的CO<sub>2</sub>在水中处于完全溶解的状态,碳化水在与原油接触的情况下,其溶解的CO<sub>2</sub>由于扩散传质的作用进入原油,溶有CO<sub>2</sub>的原油会导致原油的粘度下降,体积膨胀,加速原油从岩心中排出来。

[0008] 优选的是,所述碳化水的制备系统包括三个活塞容器,分别为CO<sub>2</sub>注入容器、水容器和搅拌容器,三个容器内均设置可上下运动的活塞。

[0009] 在上述任一方案中优选的是,所述CO<sub>2</sub>注入容器的上端有两个管口,其中一个管口通过管线依次与调压阀、高压储罐、气体增压泵和CO<sub>2</sub>气源连接,另一个管口通过管线依次与回压阀和所述搅拌容器的下端连接;所述气体增压泵还连接空气压缩机;所述回压阀还通过管线依次连接回压容器和回压泵。

[0010] 在上述任一方案中优选的是,所述CO<sub>2</sub>气源与所述气体增压泵之间安装开关阀门 I;所述气体增压泵与所述高压储罐之间安装开关阀门 II;所述调压阀与所述CO<sub>2</sub>注入容器之间安装开关阀门 III;所述气体增压泵与所述空气压缩机之间安装电磁阀;所述高压储罐上安装安全阀。

[0011] 在上述任一方案中优选的是,所述CO<sub>2</sub>气源、高压储罐、调压阀和回压阀的管线上均安装压力表。

[0012] 在上述任一方案中优选的是,所述CO<sub>2</sub>注入容器的下端通过管线与恒速恒压泵 I 连接。

[0013] 在上述任一方案中优选的是,所述水容器的上端通过管线与所述搅拌容器的下端连接,所述水容器的下端通过管线与恒速恒压泵 II 连接。

[0014] 在上述任一方案中优选的是,所述水容器内盛装地层水或活化水。

[0015] 在上述任一方案中优选的是,所述搅拌容器的下端通过管线与所述岩心的渗吸系统的底部连接,该管线上安装开关阀门 IV。

[0016] 在上述任一方案中优选的是,所述搅拌容器的上端通过管线与恒速恒压泵 III 连接,该管线上安装四通阀。

[0017] 空气压缩机主要是对空气进行压缩,增压的空气一方面用于开启恒速恒压泵的气动阀,另一方面用于气体增压泵的动力。气体增压泵用于气体增压,采用普通压缩空气驱动,驱动压力为0.4-0.6MPa,工作时无电火花。选用SITEC气动增压泵,型号为GBD100,增压比为100:1,最大出口压力为600Bar,最大流量为40L/min。高压气体储罐的容积为2L,最大工作压力为60MPa,材质为316L。低压气体储罐为CO<sub>2</sub>气源,为高纯的CO<sub>2</sub>气体。连接在高压储罐的安全阀可作为安全控制系统,当储罐压力高于55MPa时,安全阀自动打开对储罐进行泄压。恒速恒压泵的型号为HAS-200HSB,流程范围为0.01-60ml/min,流量精度为0.01ml,单缸容积为200ml,工作压力为60MPa,主要用于为实验提供动力源,可连续无脉冲循环,并且能

够恒速、恒压的工作。该恒速恒压泵计量准确、精度高,具有压力保护及位置上下限保护,泵头材料采用316L,具有抽吸、排液、预增压的功能,换向阀采用电磁阀控制气动阀。该泵自带RS485通讯,可由计算机直接控制,也可在操作屏幕上控制,主要用于碳化水中水和CO<sub>2</sub>的比例注入以及对碳化水体系进行施压,并将碳化水注入岩心渗吸系统中。碳化水高压CO<sub>2</sub>注入容器的容积为1L,最大工作压力为50MPa,材质为316L;高温高压水容器的容积为1L,最大工作压力为50MPa,材质为316L;高温高压碳化水搅拌容器的容积为2L,最大工作压力为50MPa,采用磁力搅拌机构,主要用于带动内部搅拌机构旋转搅拌,搅拌速度可调,搅拌速度范围为0-1000r/min,无极可调。

[0018] 在上述任一方案中优选的是,所述岩心的渗吸系统包括支撑装置和渗吸装置,所述渗吸装置放置在所述支撑装置上。

[0019] 在上述任一方案中优选的是,所述支撑装置包括下底座、上底座和金属盘,所述下底座与所述上底座之间等距离设置四个支架,所述上底座与所述金属盘之间等距离设置四个金属杆。

[0020] 在上述任一方案中优选的是,所述下底座上放置电动机及调速装置;所述上底座、金属盘和四个金属杆形成的空间放置所述渗吸装置的下半部分。

[0021] 在上述任一方案中优选的是,所述渗吸装置包括金属容器和玻璃微管,所述金属容器与所述玻璃微管连接。

[0022] 在上述任一方案中优选的是,所述金属容器的下端设置封头和压帽,所述封头与所述金属容器之间设置密封圈I。

[0023] 在上述任一方案中优选的是,所述金属容器内部的上端设置一圈固定卡锁,所述固定卡锁用于固定岩心夹持器,所述岩心夹持器内放置天然岩心。

[0024] 在上述任一方案中优选的是,所述金属容器内部的下端设置转动盘,所述转动盘上沿着周向等距离设置至少四个转动杆,所述转动杆位于所述岩心夹持器与所述金属容器形成的空腔内。

[0025] 在上述任一方案中优选的是,所述封头的下端设置液体进出口,所述液体进出口通过管线与所述碳化水的制备系统连接。

[0026] 在上述任一方案中优选的是,所述玻璃微管的外侧设置视窗,所述玻璃微管与所述视窗之间设置密封圈II。

[0027] 在上述任一方案中优选的是,所述视窗的外侧设置视窗压盖,所述视窗和视窗压盖的下端与所述金属容器之间设置下封盖,所述视窗和视窗压盖的上端设置上封盖,所述上封盖的中心部位设置开关阀门V。

[0028] 金属容器耐高温高压,最高耐压为30MPa,最高耐温150℃,用于储存渗吸流体及放置岩心;电动机及调速装置用于驱动金属容器内的转动盘转动,转动盘带动转动杆绕着岩心旋转,在转动盘转动的同时,转动杆也能够绕其轴线自转,进而对金属容器内的流体(碳化水或活化水)进行搅动,即强化碳化水的流动,进而加快岩心的渗吸过程,搅动速度可调,范围为0-1000r/min,无极可调。转动盘位于金属容器内部的下端,电动机通过旋转轴与转动盘连接,驱动转动盘带动转动杆给流体旋转的动力。玻璃微管采用高温高压微管,位于金属容器的上方,内径为8mm,最大工作压力为30MPa,用于计量渗吸出的油量;视窗耐高温高压,包围在玻璃微管的外部,内径为16mm,用于观察内部浸泡后的分层情况,同时保护玻璃

微管和实验操作人员。

[0029] 在实验过程中,渗吸装置是竖直放置的,金属容器密封安装在上底座上,该金属容器由耐CO<sub>2</sub>的哈氏合金制成。金属容器内装有流体和待测的天然岩心,这里的流体采用碳化水或活化水(向碳化水中添加表面活性剂),待测的天然岩心内含有油。天然岩心浸入流体并通过岩心夹持器夹持。金属容器上部连接着透明的玻璃微管,玻璃微管上设有刻度。金属容器为圆柱形,外径为70mm,内径为49mm,长度为300mm,玻璃微管的内径为8mm,长度为260mm,量程为12ml。玻璃微管的上部设有开关阀门,开关阀门采用金属阀门,当金属阀门关闭时,则玻璃微管上部密封,当金属阀门打开时,玻璃微管上部与大气连通。金属容器下端的封头设有液体进出口,该液体进出口与管线连接,用于向金属容器内注入流体或排出金属容器内的流体。

[0030] 在实验过程中,液体进出口通过管线连接搅拌容器,管线上设有开关阀门IV,通过恒速恒压泵III将流体注入到金属容器中,通过管线上的开关阀门IV控制管线的通断。实验结束后,将金属容器内的流体排空。在实验过程中,金属容器内的进液和排液由管线连接外部压力装置(恒速恒压泵III),通过管线上设置的开关阀门IV来调节。恒速恒压泵III的开关可以对金属容器内的流体进行注入和排放。金属容器内设有岩心夹持器,岩心夹持器用来夹持待测的天然岩心,岩心夹持器悬吊在金属容器中,通过金属容器内部上端的固定卡锁使岩心夹持器非常稳固,不会随着流体的旋转而转动,而是固定不动的,岩心夹持器可以根据岩心的尺寸进行轴向及垂向调节,最大可加持 $\phi 39\text{mm} \times 150\text{mm}$ 的圆柱体。岩心夹持器完全浸没在流体中,由于渗吸过程中电动机驱动转动盘带动金属容器内的流体发生旋转,因此可以解决由于岩心的遮挡导致下端渗吸出的原油无法进入计量微管的问题。

[0031] 电动机的输出轴连接旋转轴的下部,旋转轴的上部与位于金属容器内的转动盘相连,电动机的输出轴与旋转轴及转动盘均密封连接,确保金属容器内的流体不会通过驱动系统漏出。旋转轴的上下段均与滚动轴承相连,主要用于将电动机输出轴的动力传递给转动盘。转动盘则由电动机的动力驱动金属容器内的流体进行旋转。本装置中的电动机为无极可调,转速范围为0-1000r/min,电动机的转速可以根据实验所采用的待测岩心不同及油的粘度进行调节,驱动金属容器内部的流体旋转。

[0032] 在上述任一方案中优选的是,所述碳化水的注入系统包括恒速恒压泵III,所述恒速恒压泵III通过管线与所述碳化水的制备系统中的搅拌容器连接。

[0033] 在上述任一方案中优选的是,所述岩心的渗吸系统和所述碳化水的制备系统中的三个活塞容器均放置在同一个恒温系统中。

[0034] 本发明中,碳化水的制备和注入过程如下:岩心渗吸过程中的碳化水通过碳化水的制备系统制备,然后通过碳化水的注入系统注入到岩心的渗吸系统中。CO<sub>2</sub>气源与气体增压泵相连,气体增压泵由与之相连的空气压缩机提供动力,打开开关阀门I,气瓶中的CO<sub>2</sub>进入气体增压泵,通过空气压缩机对进入气体增压泵的CO<sub>2</sub>气体进行增压,增压后的CO<sub>2</sub>气体由开关阀门II控制,并进入高压储罐;高压储罐的上部设有安全阀,当高压储罐内的气体压力高于55MPa时,安全阀将开启,降低高压储罐内的压力,从而保证实验操作人员及设备的安全;关闭开关阀门I、电磁阀和开关阀门II;调节调压阀,根据实验要求调节所需压力,打开开关阀门III,高压储罐中的CO<sub>2</sub>气体进入CO<sub>2</sub>注入容器中;关闭调压阀和开关阀门III;CO<sub>2</sub>由CO<sub>2</sub>注入容器进入搅拌容器的压力由回压阀控制,根据实验所需压力,利用回压泵对回压容

器进行施压,并通过回压阀设定压力; $\text{CO}_2$ 由 $\text{CO}_2$ 注入容器进入搅拌容器的量由恒速恒压泵I控制,恒速恒压泵I与 $\text{CO}_2$ 注入容器连接,通过设定一定的速度进行恒速驱替,即可将 $\text{CO}_2$ 由 $\text{CO}_2$ 注入容器注入到搅拌容器中;进入搅拌容器的地层水或活化水(添加表面活性剂)通过恒速恒压泵II控制,恒速恒压泵II与水容器连接,通过设定一定的速度进行恒速驱替,即可将地层水或活化水由水容器注入到搅拌容器中;通过恒速恒压泵I和恒速恒压泵II分别控制 $\text{CO}_2$ 和地层水或活化水进入搅拌容器的比例,可得到所需浓度的碳化水溶液或碳化水与表面活性剂的混合溶液;打开四通阀,利用恒速恒压泵III对搅拌容器内的流体进行加压,将体系加压至实验所需的压力,并打开搅拌容器的搅拌开关,以1000r/min的速度搅拌3h,保证 $\text{CO}_2$ 完全溶解;搅拌结束后,关闭搅拌容器的搅拌开关;将抽真空系统接至开关阀门IV,对渗吸装置抽真空,抽真空结束后关闭开关阀门IV并移走抽真空系统;将搅拌容器连接至开关阀门IV,利用恒速恒压泵III将搅拌容器内的流体注入到渗吸装置中。

[0035] 抽真空系统由真空泵、真空表、真空缓冲容器、开关阀门和管线组成。真空泵的型号为2XZ-2,真空度为-0.1MPa;真空缓冲容器的型号为ZR-5,容积为600ml,透明可视。真空系统为外部连接装置,主要用于在碳化水注入到渗吸装置前,对渗吸装置抽真空。

[0036] 本发明的高温高压条件下强化碳化水的渗吸系统将碳化水的制备、碳化水的注入系统与岩心的渗吸系统相结合,将形成的碳化水由恒速恒压泵注入到岩心渗吸系统中。岩心渗吸系统中安装电动机,可带动金属容器内的转动盘和转动杆旋转,进而驱动流体旋转,一方面不会遮挡岩心下部的端面,另一方面加快了岩心的渗吸过程,极大的缩短了岩心渗吸的周期,提高了渗吸的效率,并且流体的旋转以及转速的设置可以针对不同类型的岩心和不同性质的原油,有效消除了油滴吸附在岩心表面的现象。外加的抽真空系统首先将岩心渗吸系统抽真空,消除了渗吸实验过程中的气体对渗吸过程的影响。而且实验过程始终保持在高温高压条件下,尽可能的模拟地层的渗吸过程,更加符合实际地层渗吸情况。本发明的系统操作简单,测试精度高,测试成本低,能够大幅度缩短实验周期。

[0037] 本发明的渗吸系统操作简单,具有可重复性和批量实验,对于快速获取实验结果,提高效率有很好的作用。本发明采用金属容器进行渗吸实验,并且计量装置采用耐高温高压的玻璃微管,最高耐压30MPa,最高耐温150℃,可以模拟真实条件下的渗吸过程,实验结果更可靠。

## 附图说明

[0038] 图1为按照本发明的高温高压条件下强化碳化水的渗吸系统的一优选实施例示意图;

图2为按照本发明的高温高压条件下强化碳化水的渗吸系统的图1所示实施例的碳化水的制备系统的示意图;

图3为按照本发明的高温高压条件下强化碳化水的渗吸系统的图1所示实施例的碳化水的注入系统的示意图;

图4为按照本发明的高温高压条件下强化碳化水的渗吸系统的图1所示实施例的岩心的渗吸系统的示意图;

图5为按照本发明的高温高压条件下强化碳化水的渗吸系统的图1所示实施例的岩心的渗吸系统中渗吸装置的结构示意图;

图6为按照本发明的 $\text{CO}_2$ 强化条件下强化 $\text{CO}_2$ 水渗吸系统的图1所示实施例的对比实验结果曲线。

[0039] 图中标注说明:

1- $\text{CO}_2$ 水的制备系统,101- $\text{CO}_2$ 注入容器,102-水容器,103-搅拌容器,104-调压阀,105-高压储罐,106-气体增压泵,107- $\text{CO}_2$ 气源,108-回压阀,109-回压容器,110-回压泵,111-空气压缩机,112-开关阀门I,113-开关阀门II,114-开关阀门III,115-电磁阀,116-安全阀,117-恒速恒压泵I,118-恒速恒压泵II,119-开关阀门IV,120-四通阀;

2- $\text{CO}_2$ 水的注入系统,201-恒速恒压泵III;

3-岩心的渗吸系统,301-下底座,302-上底座,303-金属盘,304-支架,305-金属杆,306-电动机及调速装置,307-金属容器,308-玻璃微管,309-封头,310-压帽,311-密封圈I,312-固定卡锁,313-岩心夹持器,314-天然岩心,315-转动盘,316-转动杆,317-液体进出口,318-视窗,319-密封圈II,320-视窗压盖,321-开关阀门V,322-下封盖,323-上封盖;

4-恒温系统。

### 具体实施方式

[0040] 为了更进一步了解本发明的发明内容,下面将结合具体实施例详细阐述本发明。

[0041] 如图1-5所示,按照本发明的高温高压条件下强化 $\text{CO}_2$ 水渗吸系统的一实施例,包括 $\text{CO}_2$ 水的制备系统1、 $\text{CO}_2$ 水的注入系统2和岩心的渗吸系统3,所述 $\text{CO}_2$ 水的制备系统1与所述岩心的渗吸系统3通过管线连接,所述 $\text{CO}_2$ 水的注入系统2将 $\text{CO}_2$ 水注入到所述岩心的渗吸系统3中;所述岩心的渗吸系统3中的 $\text{CO}_2$ 水可旋转流动,所述 $\text{CO}_2$ 水为溶有 $\text{CO}_2$ 的水溶液。

[0042] 本实施例中, $\text{CO}_2$ 水是在高压下将一定量的 $\text{CO}_2$ 溶解在具有一定矿化度的地层水中形成的一种流体。由于 $\text{CO}_2$ 水中的 $\text{CO}_2$ 在水中处于完全溶解的状态, $\text{CO}_2$ 水在与原油接触的情况下,其溶解的 $\text{CO}_2$ 由于扩散传质的作用进入原油,溶有 $\text{CO}_2$ 的原油会导致原油的粘度下降,体积膨胀,加速原油从岩心中排出来。

[0043] 所述 $\text{CO}_2$ 水的制备系统1包括三个活塞容器,分别为 $\text{CO}_2$ 注入容器101、水容器102和搅拌容器103,三个容器内均设置可上下运动的活塞。

[0044] 所述 $\text{CO}_2$ 注入容器101的上端有两个管口,其中一个管口通过管线依次与调压阀104、高压储罐105、气体增压泵106和 $\text{CO}_2$ 气源107连接,另一个管口通过管线依次与回压阀108和所述搅拌容器103的下端连接;所述气体增压泵106还连接空气压缩机111;所述回压阀108还通过管线依次连接回压容器109和回压泵110。所述 $\text{CO}_2$ 气源107与所述气体增压泵106之间安装开关阀门I112;所述气体增压泵106与所述高压储罐105之间安装开关阀门II113;所述调压阀104与所述 $\text{CO}_2$ 注入容器101之间安装开关阀门III114;所述气体增压泵106与所述空气压缩机111之间安装电磁阀115;所述高压储罐105上安装安全阀116。所述 $\text{CO}_2$ 气源107、高压储罐105、调压阀104和回压阀108的管线上均安装压力表。所述 $\text{CO}_2$ 注入容器101的下端通过管线与恒速恒压泵I117连接。

[0045] 所述水容器102的上端通过管线与所述搅拌容器103的下端连接,所述水容器102的下端通过管线与恒速恒压泵II118连接。所述水容器102内盛装地层水。所述搅拌容器103的下端通过管线与所述岩心的渗吸系统3的底部连接,该管线上安装开关阀门IV119。



[0046] 所述搅拌容器103的上端通过管线与恒速恒压泵Ⅲ201连接,该管线上安装四通阀120。

[0047] 空气压缩机主要是对空气进行压缩,增压的空气一方面用于开启恒速恒压泵的气动阀,另一方面用于气体增压泵的动力。气体增压泵用于气体增压,采用普通压缩空气驱动,驱动压力为0.4-0.6MPa,工作时无电火花。选用SITEC气动增压泵,型号为GBD100,增压比为100:1,最大出口压力为600Bar,最大流量为40L/min。高压气体储罐的容积为2L,最大工作压力为60MPa,材质为316L。低压气体储罐为CO<sub>2</sub>气源,为高纯的CO<sub>2</sub>气体。连接在高压储罐的安全阀可作为安全控制系统,当储罐压力高于55MPa时,安全阀自动打开对储罐进行泄压。恒速恒压泵的型号为HAS-200HSB,流量范围为0.01-60ml/min,流量精度为0.01ml,单缸容积为200ml,工作压力为60MPa,主要用于为实验提供动力源,可连续无脉冲循环,并且能够恒速、恒压的工作。该恒速恒压泵计量准确、精度高,具有压力保护及位置上下限保护,泵头材料采用316L,具有抽吸、排液、预增压的功能,换向阀采用电磁阀控制气动阀。该泵自带RS485通讯,可由计算机直接控制,也可在操作屏幕上控制,主要用于碳化水中水和CO<sub>2</sub>的比例注入以及对碳化水体系进行施压,并将碳化水注入岩心渗吸系统中。碳化水高压CO<sub>2</sub>注入容器的容积为1L,最大工作压力为50MPa,材质为316L;高温高压水容器的容积为1L,最大工作压力为50MPa,材质为316L;高温高压碳化水搅拌容器的容积为2L,最大工作压力为50MPa,采用磁力搅拌机构,主要用于带动内部搅拌机构旋转搅拌,搅拌速度可调,搅拌速度范围为0-1000r/min,无极可调。

[0048] 所述岩心的渗吸系统3包括支撑装置和渗吸装置,所述渗吸装置放置在所述支撑装置上。所述支撑装置包括下底座301、上底座302和金属盘303,所述下底座301与所述上底座302之间等距离设置四个支架304,所述上底座302与所述金属盘303之间等距离设置四个金属杆305。所述下底座301上放置电动机及调速装置306;所述上底座302、金属盘303和四个金属杆305形成的空间放置所述渗吸装置的下半部分。

[0049] 所述渗吸装置包括金属容器307和玻璃微管308,所述金属容器307与所述玻璃微管308连接。所述金属容器307的下端设置封头309和压帽310,所述封头309与所述金属容器307之间设置密封圈I311。所述金属容器307内部的上端设置一圈固定卡锁312,所述固定卡锁312用于固定岩心夹持器313,所述岩心夹持器313内放置天然岩心314。所述金属容器307内部的下端设置转动盘315,所述转动盘315上沿着周向等距离设置至少四个转动杆316,所述转动杆316位于所述岩心夹持器313与所述金属容器307形成的空腔内。所述封头309的下端设置液体进出口317,所述液体进出口317通过管线与所述碳化水的制备系统1连接。

[0050] 所述玻璃微管308的外侧设置视窗318,所述玻璃微管308与所述视窗318之间设置密封圈Ⅱ319。所述视窗318的外侧设置视窗压盖320,所述视窗318和视窗压盖320的下端与所述金属容器307之间设置下封盖322,所述视窗318和视窗压盖320的上端设置上封盖323,所述上封盖323的中心部位设置开关阀门V321。

[0051] 金属容器耐高温高压,最高耐压为30MPa,最高耐温150℃,用于储存渗吸流体及放置岩心;电动机及调速装置用于驱动金属容器内的转动盘转动,转动盘带动转动杆绕着岩心旋转,在转动盘转动的同时,转动杆也能够绕其轴线自转,进而对金属容器内的碳化水进行搅动,即强化碳化水的流动,进而加快岩心的渗吸过程,搅动速度可调,范围为0-1000r/min,无极可调。转动盘位于金属容器内部的下端,电动机通过旋转轴与转动盘连接,驱动转

动盘带动转动杆给流体旋转的动力。玻璃微管采用高温高压微管,位于金属容器的上方,内径为8mm,最大工作压力为30MPa,用于计量渗吸出的油量;视窗耐高温高压,包围在玻璃微管的外部,内径为16mm,用于观察内部浸泡后的分层情况,同时保护玻璃微管和实验操作人员。

[0052] 在实验过程中,渗吸装置是竖直放置的,金属容器密封安装在上底座上,该金属容器由耐CO<sub>2</sub>的哈氏合金制成。金属容器内装有碳化水和待测的天然岩心,待测的天然岩心内含有油。天然岩心浸入碳化水并通过岩心夹持器夹持。金属容器上部连接着透明的玻璃微管,玻璃微管上设有刻度。金属容器为圆柱形,外径为70mm,内径为49mm,长度为300mm,玻璃微管的内径为8mm,长度为260mm,量程为12ml。玻璃微管的上部设有开关阀门V,开关阀门V采用金属阀门,当金属阀门关闭时,则玻璃微管上部密封,当金属阀门打开时,玻璃微管上部与大气连通。金属容器下端的封头设有液体进出口,该液体进出口与管线连接,用于向金属容器内注入流体或排出金属容器内的流体。

[0053] 在实验过程中,液体进出口通过管线连接搅拌容器,管线上设有开关阀门IV,通过恒速恒压泵III将流体注入到金属容器中,通过管线上的开关阀门IV控制管线的通断。实验结束后,将金属容器内的流体排空。在实验过程中,金属容器内的进液和排液由管线连接外部压力装置(恒速恒压泵III),通过管线上设置的开关阀门IV来调节。恒速恒压泵III的开关可以对金属容器内的流体进行注入和排放。金属容器内设有岩心夹持器,岩心夹持器用来夹持待测的天然岩心,岩心夹持器悬吊在金属容器中,通过金属容器内部上端的固定卡锁使岩心夹持器非常稳固,不会随着流体的旋转而转动,而是固定不动的,岩心夹持器可以根据岩心的尺寸进行轴向及垂向调节,最大可加持 $\phi 39\text{mm} \times 150\text{mm}$ 的圆柱体。岩心夹持器完全浸没在流体中,由于渗吸过程中电动机驱动转动盘带动金属容器内的流体发生旋转,因此可以解决由于岩心的遮挡导致下端渗吸出的原油无法进入计量微管的问题。

[0054] 电动机的输出轴连接旋转轴的下部,旋转轴的上部与位于金属容器内的转动盘相连,电动机的输出轴与旋转轴及转动盘均密封连接,确保金属容器内的流体不会通过驱动系统漏出。旋转轴的上下段均与滚动轴承相连,主要用于将电动机输出轴的动力传递给转动盘。转动盘则由电动机的动力驱动金属容器内的流体进行旋转。

[0055] 所述碳化水的注入系统2包括恒速恒压泵III 201,所述恒速恒压泵III 301通过管线与所述碳化水的制备系统1中的搅拌容器103连接。所述岩心的渗吸系统3和所述碳化水的制备系统1中的三个活塞容器均放置在同一个恒温系统4中。

[0056] 本实施例中,碳化水的制备和注入过程如下:岩心渗吸过程中的碳化水通过碳化水的制备系统制备,然后通过碳化水的注入系统注入到岩心的渗吸系统中。CO<sub>2</sub>气源与气体增压泵相连,气体增压泵由与之相连的空气压缩机提供动力,打开开关阀门I,气瓶中的CO<sub>2</sub>进入气体增压泵,通过空气压缩机对进入气体增压泵的CO<sub>2</sub>气体进行增压,增压后的CO<sub>2</sub>气体由开关阀门II控制,并进入高压储罐;高压储罐的上部设有安全阀,当高压储罐内的气体压力高于55MPa时,安全阀将开启,降低高压储罐内的压力,从而保证实验操作人员及设备的安全;关闭开关阀门I、电磁阀和开关阀门II;调节调压阀,根据实验要求调节所需压力,打开开关阀门III,高压储罐中的CO<sub>2</sub>气体进入CO<sub>2</sub>注入容器中;关闭调压阀和开关阀门III;CO<sub>2</sub>由CO<sub>2</sub>注入容器进入搅拌容器的压力由回压阀控制,根据实验所需压力,利用回压泵对回压容器进行施压,并通过回压阀设定压力;CO<sub>2</sub>由CO<sub>2</sub>注入容器进入搅拌容器的量由恒速恒压泵I

控制,恒速恒压泵I与CO<sub>2</sub>注入容器连接,通过设定一定的速度进行恒速驱替,即可将CO<sub>2</sub>由CO<sub>2</sub>注入容器注入到搅拌容器中;进入搅拌容器的地层水通过恒速恒压泵II控制,恒速恒压泵II与水容器连接,通过设定一定的速度进行恒速驱替,即可将地层水由水容器注入到搅拌容器中;通过恒速恒压泵I和恒速恒压泵II分别控制CO<sub>2</sub>和地层水进入搅拌容器的比例,可得到所需浓度的碳化水溶液;打开四通阀,利用恒速恒压泵III对搅拌容器内的流体进行加压,将体系加压至实验所需的压力,并打开搅拌容器的搅拌开关,以1000r/min的速度搅拌3h,保证CO<sub>2</sub>完全溶解;搅拌结束后,关闭搅拌容器的搅拌开关;将抽真空系统接至开关阀门IV,对渗吸装置抽真空,抽真空结束后关闭开关阀门IV并移走抽真空系统;将搅拌容器连接至开关阀门IV,利用恒速恒压泵III将搅拌容器内的流体注入到渗吸装置中。

[0057] 抽真空系统由真空泵、真空表、真空缓冲容器、开关阀门和管线组成。真空泵的型号为2XZ-2,真空度为-0.1MPa;真空缓冲容器的型号为ZR-5,容积为600ml,透明可视。

[0058] 本实施例的高温高压条件下强化碳化水的渗吸系统将碳化水的制备、碳化水的注入系统与岩心的渗吸系统相结合,将形成的碳化水由恒速恒压泵注入到岩心渗吸系统中。岩心渗吸系统中安装电动机,可带动金属容器内的转动盘和转动杆旋转,进而驱动流体旋转,一方面不会遮挡岩心下部的端面,另一方面加快了岩心的渗吸过程,极大的缩短了岩心渗吸的周期,提高了渗吸的效率,并且流体的旋转以及转速的设置可以针对不同类型的岩心和不同性质的原油,有效消除了油滴吸附在岩心表面的现象。外加的抽真空系统首先将岩心渗吸系统抽真空,消除了渗吸实验过程中的气体对渗吸过程的影响。而且实验过程始终保持在高温高压条件下,尽可能的模拟地层的渗吸过程,更加符合实际地层渗吸情况。本发明的系统操作简单,测试精度高,测试成本低,能够大幅度缩短实验周期。

[0059] 为了进一步说明本实施例的渗吸系统的效果,发明人将自然渗吸、现有技术、本实施例的强化渗吸做对比实验,三种渗吸过程采用的待测岩心在同一块岩石上钻取,物理性质非常接近,待测岩心的尺寸相同。自然渗吸采用地层水作为流体,待测岩心不旋转,流体也不旋转;现有技术采用地层水作为流体,待测岩心旋转,岩心旋转时会带动流体旋转,但是没有设置专门使流体旋转的装置或部件;本实施例的强化渗吸采用碳化水作为流体,待测岩心不旋转,设置了专门使流体旋转的部件。对比实验结果如图6所示。从图6的对比曲线可以明显看出,自然渗吸时间为6300min左右,现有技术的渗吸时间为3900min左右,本实施例的强化渗吸时间为1900min左右,可见本实施例的强化渗吸周期大幅度缩短。

[0060] 本领域技术人员不难理解,本发明的高温高压条件下强化碳化水的渗吸系统包括上述本发明说明书的发明内容和具体实施方式部分以及附图所示出的各部分的任意组合,限于篇幅并为使说明书简明而没有将这些组合构成的各方案一一描述。凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。



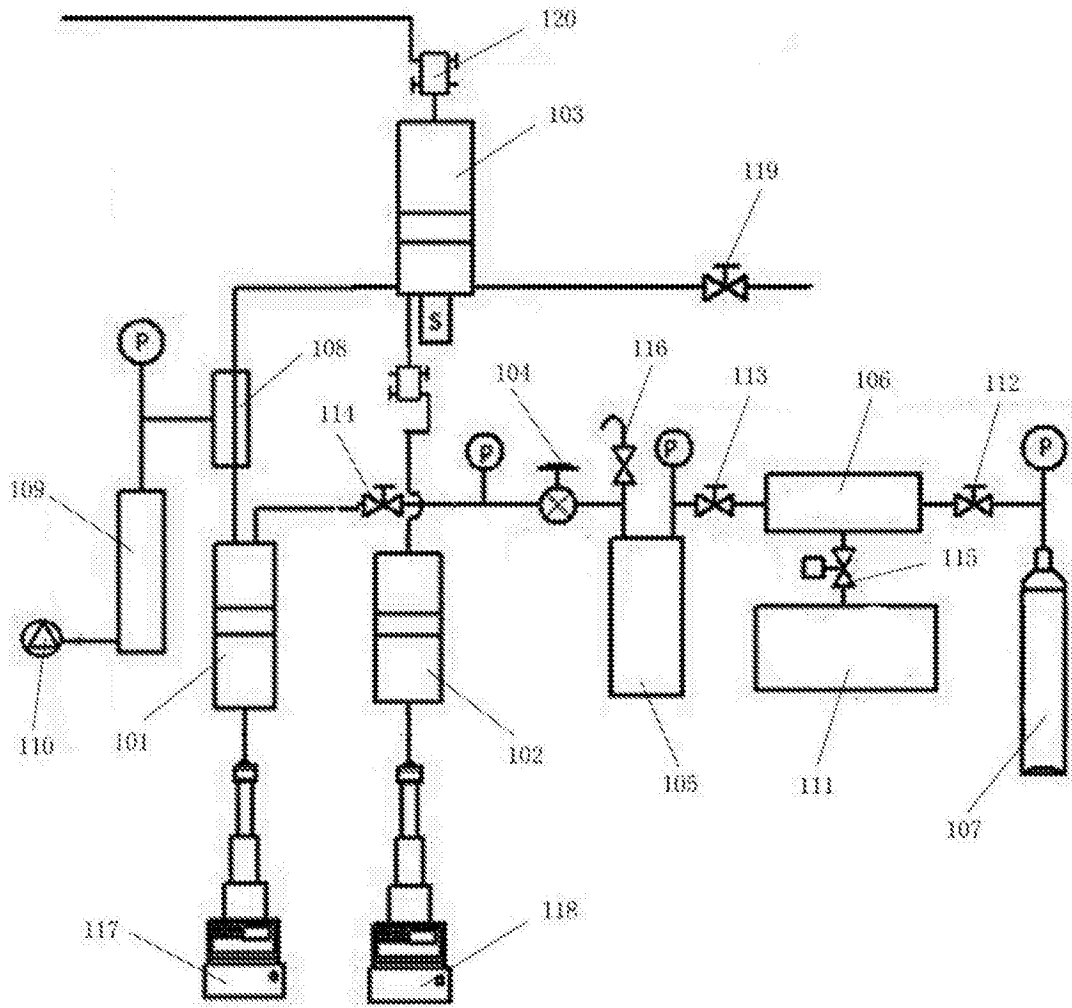


图2

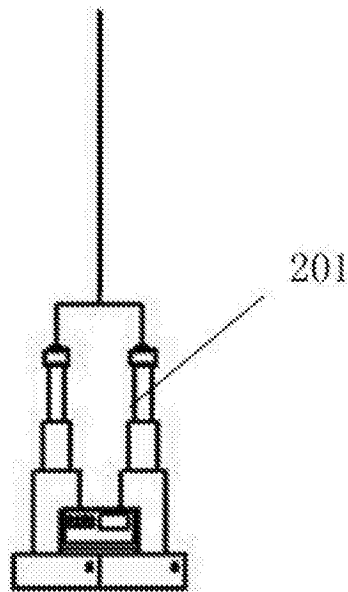


图3

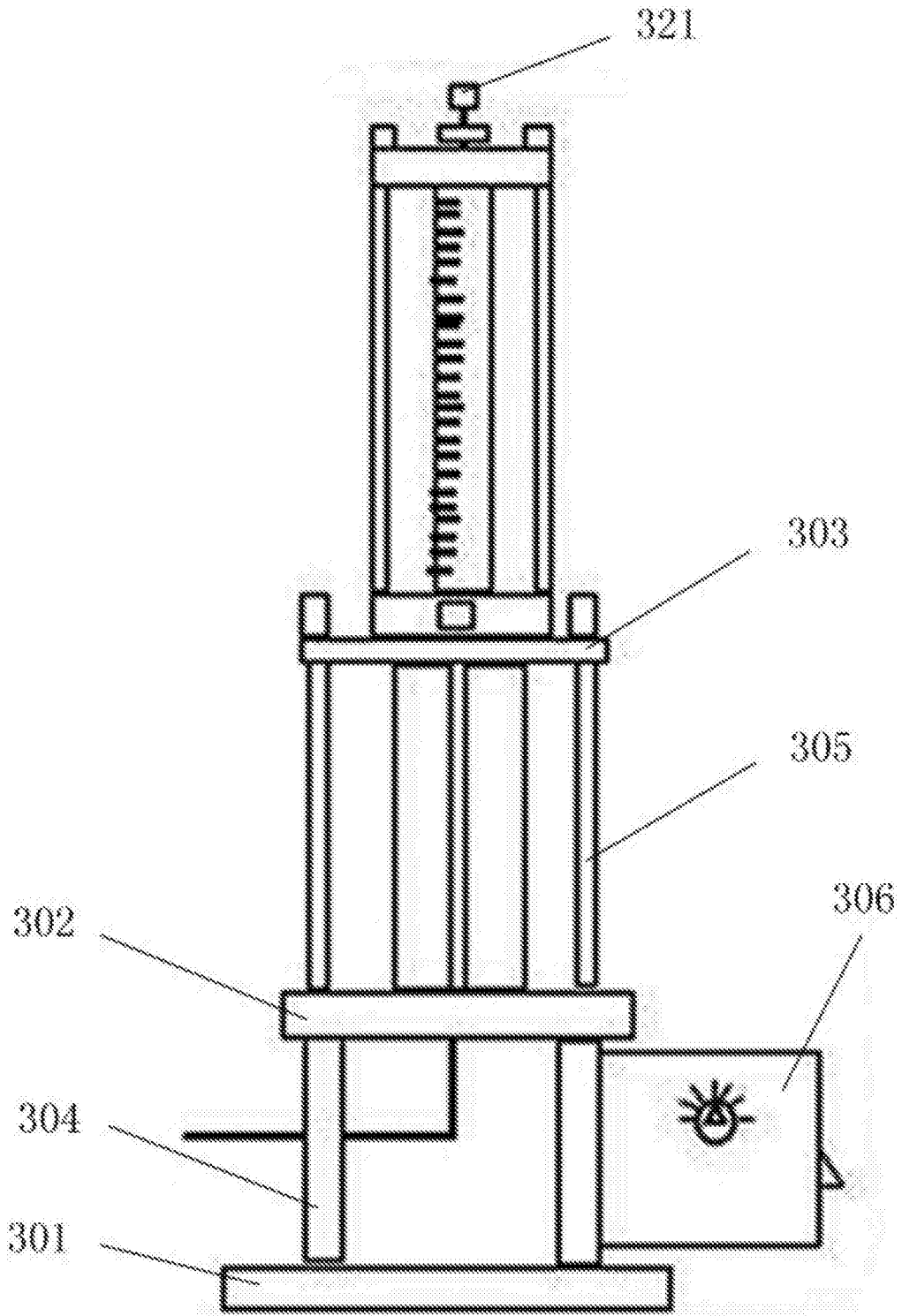


图4

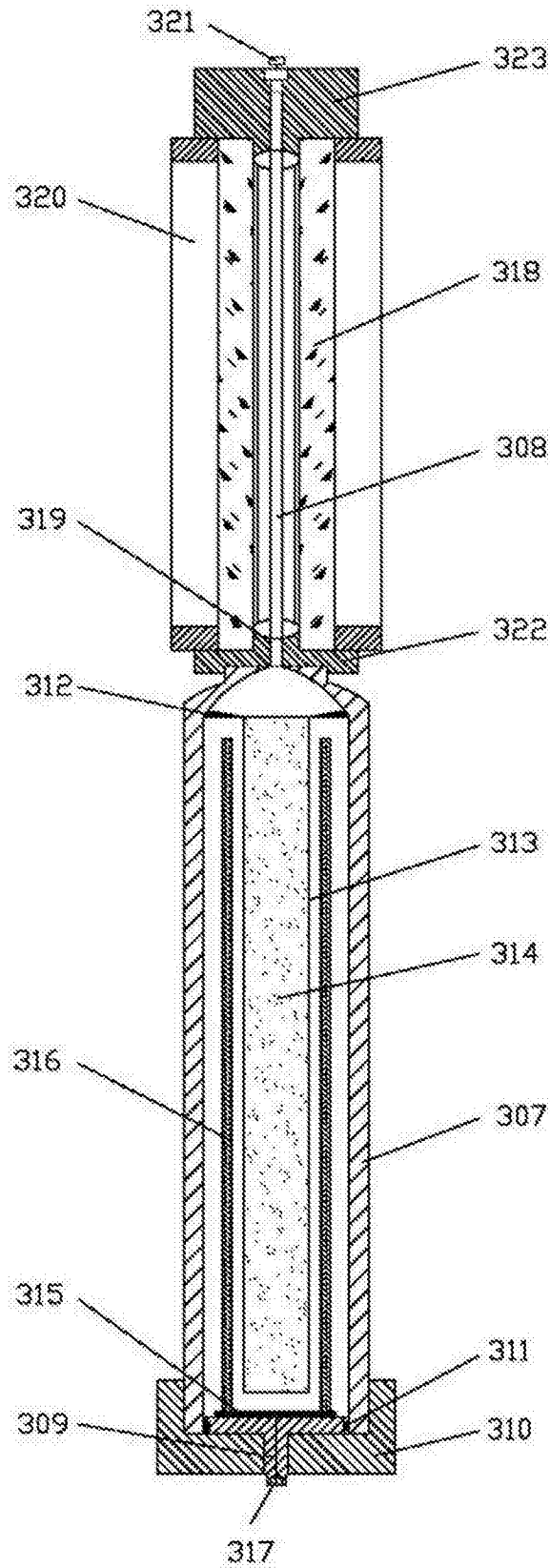


图5

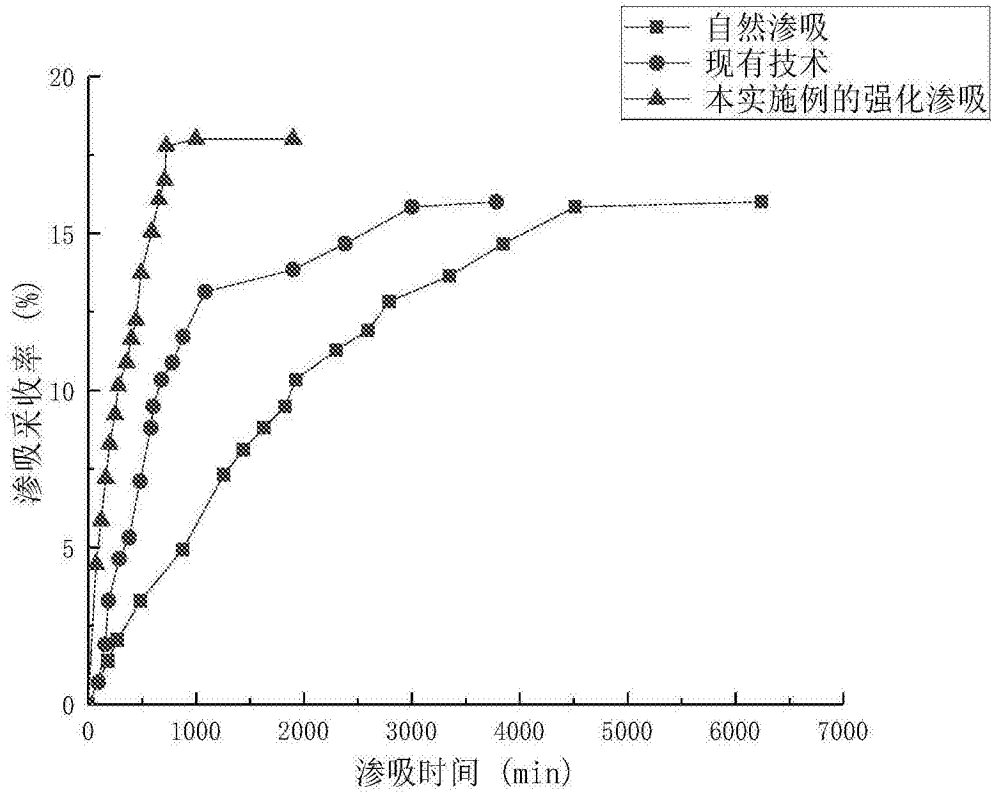


图6