



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106351621 A

(43)申请公布日 2017. 01. 25

(21)申请号 201610810406.5

(22)申请日 2016.09.08

(71)申请人 中国石油大学(华东)

地址 266580 山东省青岛市经济技术黄岛  
区长江西路66号

申请人 中海油田服务股份有限公司

(72)发明人 孙宝江 郭艳利 李昊 宋林松

(74)专利代理机构 北京润平知识产权代理有限  
公司 11283

代理人 金旭鹏 肖冰滨

(51)Int. Cl.

E21B 43/16(2006.01)

E21B 47/10(2012.01)

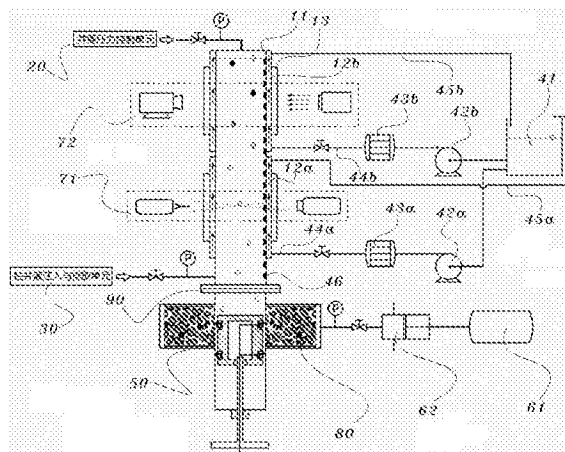
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

## (54)发明名称

用于研究油气井筒气体侵入与运移机理的  
实验设备

## (57)摘要

本发明实施例提供一种用于研究油气井筒  
气体侵入与运移机理的实验设备,该实验设备包  
含:井筒;井筒压力控制单元,用于控制井筒内  
的压力;钻井液注入与排放单元,用于控制井筒  
内的钻井液的量;温度控制单元,用于控制井筒  
内的温度;岩芯夹持器,用于夹持一岩芯,该岩  
芯一侧裸露在所述井筒内的钻井液中;气体侵  
入单元,用于向岩芯内注入气体;以及测量装  
置,用于测量井筒内有关以下一者或多者的信  
息:气泡运移速度、扩散浓度及粒径分布、气  
泡融合过程、水合物相变过程、以及相变后  
的水合物的运移速度、扩散浓度与粒径分布。  
该设备可研究地层气体侵入井筒机理及气泡  
在井筒内运移、融合和/或相变机理,为建立  
深水油气井筒气侵理论模型提供实验依据。



1. 一种用于研究油气井筒气体侵入与运移机理的实验设备,该实验设备包含:  
井筒;  
井筒压力控制单元,用于控制所述井筒内的压力;  
钻井液注入与排放单元,用于控制所述井筒内的钻井液量;  
温度控制单元,用于控制所述井筒内的温度;  
岩芯夹持器,用于夹持一岩芯,该岩芯一侧裸露在所述井筒内的钻井液中;  
气体侵入单元,用于向所述岩芯内注入气体;以及  
测量装置,用于测量所述井筒内有关以下一者或多者的信息:气泡运移速度、扩散浓度及粒径分布、气泡融合过程、水合物相变过程、以及相变后的水合物的运移速度、扩散浓度与粒径分布。
2. 根据权利要求1所述的实验设备,其特征在于,所述岩芯夹持器包含:  
顶盖;  
底座,该底座用于容纳所述岩芯,且其下端连通有一活塞腔;以及  
活塞,可于所述活塞腔内运动,控制所述岩芯在所述井筒内钻井液中的裸露面积。
3. 根据权利要求2所述的实验设备,其特征在于,所述活塞侧壁上设置有膨胀型密封圈,该膨胀型密封圈在所述活塞于所述活塞腔内上下移动时处于收缩状态,并在所述活塞移动到位之后处于膨胀状态,以密封未裸露在钻井液中的岩芯部分。
4. 根据权利要求3所述的实验设备,其特征在于,所述活塞侧壁上设置有两个所述膨胀型密封圈,该两个膨胀型密封圈之间的距离等于所述岩芯的厚度。
5. 根据权利要求2所述的实验设备,其特征在于,所述岩芯夹持器还包含密封垫片,用于将所述底座内所容纳的岩芯上下两端密封。
6. 根据权利要求1-5中任一项权利要求所述的实验设备,其特征在于,所述温度控制单元包含上井筒温度控制单元及下井筒温度控制单元,分别用于对所述井筒上半段及下半段内的温度进行控制,使得所述井筒下半段的温度高于所述井筒上半段的温度,水合物相变过程仅发生在所述井筒上半段。
7. 根据权利要求6所述的实验设备,其特征在于,所述井筒包含:内筒、位于所述内筒上部侧壁的上外筒、以及位于所述内筒下部侧壁的下外筒。
8. 根据权利要求7所述的实验设备,其特征在于,所述上井筒温度控制单元及下井筒温度控制单元分别包含:  
储液罐;  
注入泵,用于使得所述储液罐内所储存的液体经过所述上外筒或下外筒;以及  
温度调节器,用于调节经过所述上外筒或下外筒的液体的温度。
9. 根据权利要求1-5中任一项权利要求所述的实验设备,其特征在于,  
所述井筒的上半部分及下半部分分别设置有观察窗,所述有关气泡运移速度、扩散浓度、粒径分布以及气泡融合过程的信息经由设置于所述井筒下半部分的观察窗测量得出,所述水合物相变过程以及相变后的水合物的运移速度、扩散浓度与粒径分布经由设置于所述井筒上半部分的观察窗测量得出。
10. 根据权利要求1-5中任一项权利要求所述的实验设备,其特征在于,所述气体侵入单元包含:

气储罐;以及  
恒压恒速微流量泵,用于将所述气储罐内的气体注入所述岩芯。

## 用于研究油气井筒气体侵入与运移机理的实验设备

### 技术领域

[0001] 本发明涉及海洋钻井技术领域,具体地,涉及一种用于研究油气井筒气体侵入及运移机理的实验设备,尤其是研究深水油气井筒关井时气体侵入及运移机理的实验设备。

### 背景技术

[0002] 随着陆地油气资源的日渐枯竭,海洋油气资源的开采越来越受到重视,尤其是深水油气资源由于储量大,将是勘探与开发的重点。深水钻井与浅水钻井及陆地钻井不同,低温高压的深水环境、水合物的生成及浅层气的存在,使得深水钻井气侵和井喷风险急剧增加,严重影响钻井作业的安全和时效;深水海域具有高渗透性的储层,更容易发生气侵,若气侵发展成井喷,则会导致更加严重的事故。过去人们关注较多的是钻井过程中的气侵机理和井喷控制方法研究,事实上,在停钻、固井候凝及避台风关井期间等过程,井筒气侵同样存在危险,例如,2010年墨西哥湾“深水地平线”井喷溢油事故等。由此可见,不同深水钻井过程的气侵预防和控制已成为深水油气资源开采亟待解决的重大难题,必须从气侵的特征出发,探究气体侵入井筒机理及气泡在井筒内运移机理,进而得到井涌控制理论。

[0003] 深水油气井筒关井时气体侵入与运移机理,现有的理论难以准确描述;传统的侵入与运移机理实验多是在常温常压下进行的,不能真实模拟深水环境与储层条件。因此,有必要结合深水油气井筒温度压力特征及储存特征,设计一种模拟深水油气井筒关井时气体侵入与运移过程的实验设备,用于研究地层气体侵入井筒机理及气泡在井筒内运移、融合和/或相变机理,为建立深水油气井筒气侵理论模型提供实验依据,进而为海洋深水钻井的安全高效实施提供理论支持。

### 发明内容

[0004] 本发明实施例的目的是提供一种用于研究油气井筒气体侵入与运移机理的实验设备,该设备可研究地层气体侵入井筒机理及气泡在井筒内运移、融合和/或相变机理,为建立深水油气井筒气侵理论模型提供实验依据,进而为海洋深水钻井的安全高效实施提供理论支持。

[0005] 为了实现上述目的,本发明实施例提供一种用于研究油气井筒气体侵入与运移机理的实验设备,该实验设备包含:井筒;井筒压力控制单元,用于控制所述井筒内的压力;钻井液注入与排放单元,用于控制所述井筒内的钻井液的量;温度控制单元,用于控制所述井筒内的温度;岩芯夹持器,用于夹持一岩芯,该岩芯一侧裸露在所述井筒内的钻井液中;气体侵入单元,用于向所述岩芯内注入气体;以及测量装置,用于测量所述井筒内有关以下一者或多者的信息:气泡运移速度、扩散浓度及粒径分布、气泡融合过程、水合物相变过程、以及相变后的水合物的运移速度、扩散浓度与粒径分布。

[0006] 可选的,所述岩芯夹持器包含:顶盖;底座,该底座用于容纳所述岩芯,且其下端连通有一活塞腔;以及活塞,可于所述活塞腔内运动,控制所述岩芯在所述井筒内钻井液中的裸露面积。

[0007] 可选的,所述活塞侧壁上设置有膨胀型密封圈,该膨胀型密封圈在所述活塞于所述活塞腔内上下移动时处于收缩状态,并在所述活塞移动到位之后处于膨胀状态,以密封未裸露在钻井液中的岩芯部分。

[0008] 可选的,所述活塞侧壁上设置有两个所述膨胀型密封圈,该两个膨胀型密封圈之间的距离等于所述岩芯的厚度。

[0009] 可选的,所述岩芯夹持器还包含密封垫片,用于将所述底座内所容纳的岩芯上下两端密封。

[0010] 可选的,所述温度控制单元包含上井筒温度控制单元及下井筒温度控制单元,分别用于对所述井筒上半段及下半段内的温度进行控制,使得所述井筒下半段的温度高于所述井筒上半段的温度,水合物相变过程仅发生在所述井筒上半段。

[0011] 可选的,所述井筒包含:内筒、位于所述内筒上部侧壁的上外筒、以及位于所述内筒下部侧壁的下外筒。

[0012] 可选的,所述上井筒温度控制单元及下井筒温度控制单元分别包含:储液罐;注入泵,用于使得所述储液罐内所储存的液体经过所述上外筒或下外筒;以及温度调节器,用于调节经过所述上外筒或下外筒的液体的温度。

[0013] 可选的,所述井筒的上半部分及下半部分分别设置有观察窗,所述有关气泡运移速度、扩散浓度、粒径分布以及气泡融合过程的信息经由设置于所述井筒下半部分的观察窗测量得出,所述水合物相变过程以及相变后的水合物的运移速度、扩散浓度与粒径分布经由设置于所述井筒上半部分的观察窗测量得出。

[0014] 可选的,所述气体侵入单元包含:气储罐;以及恒压恒速微流量泵,用于将所述气储罐内的气体注入所述岩芯。

[0015] 通过上述技术方案,可模拟深水条件下的井筒温度压力环境和储层条件,可实现深水钻井气体侵入井筒机理及气泡在井筒内运移、融合、相变机理的实验研究,揭示气体扩散、置换、运移、融合与相变规律,为建立考虑地层与井筒耦合的深水油气井筒气侵理论模型提供实验依据。

[0016] 本发明实施例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

[0017] 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:

[0018] 图1为根据本发明一实施方式的用于研究油气井筒气体侵入及运移机理的实验设备的示意图;

[0019] 图2为岩芯夹持器的结构示意图;

[0020] 图3为岩芯夹持器内的膨胀式密封圈处于收缩状态下的示意图;以及

[0021] 图4为岩芯夹持器内的膨胀式密封圈处于膨胀状态下的示意图。

[0022] 附图标记说明

[0023] 11 内筒 12a 下外筒

[0024] 12b 上外筒 13 观察窗

[0025]	20	井筒压力控制单元	30	钻井液注入与排放单元
[0026]	41	储液罐	42a	下注入泵
[0027]	42b	上注入泵	43a	下温度调节器
[0028]	43b	上温度调节器	44a	下注入管线
[0029]	44b	上注入管线	45a	下排出管线
[0030]	45b	上排出管线	46	温度传感器
[0031]	50	岩芯夹持器	51	顶盖
[0032]	52	底座	53	活塞腔
[0033]	54	活塞	55	活塞杆
[0034]	56a、56b	膨胀式密封圈	57	螺纹孔座
[0035]	58a、58b	密封垫片	59	轴承
[0036]	61	气储罐	62	恒压恒速微流量泵
[0037]	71	粒子动态分析仪	72	高速摄像系统
[0038]	80	岩芯	90	液压管线

### 具体实施方式

[0039] 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。

[0040] 图1为根据本发明一实施方式的用于研究油气井筒气体侵入及运移机理的实验设备的示意图。如图1所示,本发明一实施方式提供的用于研究油气井筒气体侵入及运移机理的实验设备包括:井筒;井筒压力控制单元20,用于控制所述井筒内的压力;钻井液注入与排放单元30,用于控制所述井筒内的钻井液的量;温度控制单元,用于控制所述井筒内的温度;岩芯夹持器50,用于夹持一岩芯80,该岩芯80一侧裸露在所述井筒内的钻井液中;气体侵入单元,用于向所述岩芯80内注入气体;以及测量装置,用于测量所述井筒内有关以下一者或多者的信息:气泡运移速度、扩散浓度及粒径分布、以及水合物相变过程。通过该实验设备,可模拟深水条件下的井筒温度压力环境和储层条件,可实现深水钻井气体侵入井筒机理及气泡在井筒内运移、融合、相变机理的实验研究,揭示气体扩散、置换、运移、融合与相变规律,为建立考虑地层与井筒耦合的深水油气井筒气侵理论模型提供实验依据。

[0041] 所述井筒压力控制单元20可位于井筒顶部,通过向所述井筒内注入氮气,从而实现井筒压力控制。当然,本发明并不限于此,其他控制井筒压力的方式亦可适用于此,例如可通过钻井液注入与排放单元来调节向所述井筒内注入钻井液的量,进而实现井筒压力控制。

[0042] 所述温度控制单元可包含上井筒温度控制单元及下井筒温度控制单元,分别用于对所述井筒上半段及下半段内的温度进行控制,使得所述井筒下半段的温度高于所述井筒上半段的温度,水合物相变过程仅发生在所述井筒上半段。可针对所述井筒下半段,采用粒子动态分析仪71(例如,透过设置于井筒下半部分的观察窗)采集气泡运移的速度、扩散浓度与粒径分布数据,还可针对所述井筒下半段采用高速摄像系统72(例如,透过设置于井筒下半部分的观察窗)采集气泡融合过程。针对所述井筒上半段,可采用高速摄像系统72(例如,透过设置于井筒上半部分的观察窗13)采集有关水合物相变过程的信息,还可针对所述

井筒上半段采用粒子动态分析仪71(例如,透过设置于井筒上半部分的观察窗13)采集相变后的水合物的运移速度、扩散浓度与粒径分布。该温度控制单元可采用各种可实现井筒上半段及下半段温度控制的设备,图1所示实施例示出了该温度控制单元的一具体实施方式。

[0043] 在图1所示实施例中,所述井筒包含:内筒11、位于所述内筒11上部侧壁的上外筒12b、以及位于所述内筒11下部侧壁的下外筒12a。所述温度控制单元包含的上井筒温度控制单元及下井筒温度控制单元可分别通过所述上外筒12b及下外筒12a而实现对所述井筒上半段及下半段的温度控制。上井筒温度控制单元及下井筒温度控制单元包含相同或相类似的组件,故于此仅对下井筒温度控制单元的结构进行说明,上外筒温度控制单元的结构可参阅附图1。

[0044] 所述下井筒温度控制单元包括:储液罐41;注入泵42a,用于使得所述储液罐41内所储存的液体经过所述下外筒12a;以及下温度调节器43a,用于调节经过所述下外筒12a的液体的温度。经温度调节的液体经由下注入管线44a通过所述下外筒12a,对所述井筒下半段进行热传导,之后通过下排出管线45a排回到储液罐41。藉此,可实现所述井筒下半段内的温度控制。图1还示出了均匀布置于井筒内壁的温度传感器46,以便于对井筒各段的温度进行监视,从而由所述温度控制单元根据监视结果对井筒各段的温度进行调整。

[0045] 所述岩芯夹持器50用于夹持岩芯,可设置于井筒底部,并通过法兰与井筒相连通,进而使得其所夹持的岩芯一侧裸露在所述井筒内的钻井液中。图2示出了该岩芯夹持器的具体结构。如图2所述,所述岩芯夹持器包含:顶盖51;底座52,该底座用于容纳所述岩芯,且其下端连通有一活塞腔53;以及活塞54,可于所述活塞腔53内运动,控制所述岩芯在所述井筒内钻井液中的裸露面积,以模拟储层的不同厚度。所述活塞54可通过机械驱动连接在该活塞54上的活塞杆55而被驱动(例如,如图2所示,可通过螺纹孔座57与轴承59的配合旋转活塞杆55,从而移动活塞54),亦可直接被液压驱动。

[0046] 优选地,所述活塞54侧壁上设置有膨胀型密封圈56a、56b,该膨胀型密封圈56a、56b在所述活塞54于所述活塞腔53内上下移动时处于收缩状态(如图3所示,该膨胀型密封圈56a、56b并未与岩芯侧壁接触或并未紧密接触),并在所述活塞54移动到位之后处于膨胀状态(如图4所示,该膨胀型密封圈56a、56b与岩芯侧壁紧密接触),以密封未裸露在钻井液中的岩芯部分。藉此,一方面可保证活塞54可于活塞腔53内顺利移动,另一方面可保证活塞54对岩芯的密封度。图2中示出了两个膨胀型密封圈56a、56b,该两个膨胀型密封圈56a、56b之间的距离等于所述岩芯的厚度。

[0047] 对于所述膨胀型密封圈56a、56b而言,可通过液压管线90向膨胀型密封圈56a、56b内注入液压油实现该膨胀型密封圈56a、56b的膨胀,通过液压管线90从膨胀型密封圈56a、56b卸去液压油而实现该膨胀型密封圈56a、56b的收缩。

[0048] 优选地,所述岩芯夹持器还包含密封垫片58a、58b,用于将所述底座52内所容纳的岩芯上下两端密封,从而可保证岩芯的气密性,避免气体侵入单元充入该岩芯的气体溢出。

[0049] 所述气体侵入单元包含:气储罐61,用于储存气体,该气体用于模拟储层内的可能存在的气体,例如甲烷等烷烃气体;以及恒压恒速微流量泵62,用于将所述气储罐61内的气体注入所述岩芯,以保持所述岩芯内的储气浓度,真实模拟储层。

[0050] 当然,图1中还示出了一些阀门及压力计,例如在恒压恒速微流量泵62与所述岩芯之间设置有压力计及阀门,在钻井液注入与排放单元30与井筒之间设置有阀门及压力计,

在井筒压力控制单元20与井筒之前设置有阀门及压力计,这些阀门及压力计的功能是显而易见的,于此不再赘述。

[0051] 在进行深水油气井筒关井时气体侵入与运移机理实验时,首先,按照岩芯夹持器尺寸加工不同渗透率的多孔介质模拟真实岩芯,将岩芯放入岩芯夹持器,将岩芯夹持器与井筒连接,并调节活塞至设定位置;通过钻井液注入与排放单元向实验井筒注入配制好的钻井液;通过井筒压力控制单元设定井筒压力;通过上、下井筒温度控制单元分别调节井筒上部与下部温度范围至各自的设定值;通过气体侵入单元向岩芯夹持器内恒压恒速注入气体,计量该气体的侵入量;在下观察窗主要是气泡上升的过程,可以用粒子动态分析仪测量侵入气体的气泡速度、扩散浓度与粒径分布,也可以用高速摄像机采集气泡融合过程;而在上观察窗主要是水合物相变及上升过程,可以用高速摄像机采集天然气水合物相变过程,也可通过粒子动态分析仪测量相变后的水合物运移速度、扩散浓度与粒径分布。

[0052] 通过本发明,可真实模拟储层条件与深水条件下的井筒温度压力环境,可实现深水钻井不同储层打开厚度、不同储层压力、不同气体侵入量等条件下的地层气体扩散、置换侵入井筒的实验研究;实时测量气泡在井筒内上升速度、扩散浓度与粒径分布,可实现气泡的融合机制与天然气水合物相变机理的实验研究。本发明提供的用于研究气体侵入及运移机理的实验设备结构简单、易于实现、参数测量方法科学,具有较高的可行性与测量精度。

[0053] 以上结合附图详细描述了本发明例的可选实施方式,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。

[0054] 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。

[0055] 本领域技术人员可以理解实现上述实施例方法中的全部或部分步骤是可以通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一个(可以是单片机,芯片等)或处理器(processor)执行本申请各个实施例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。

[0056] 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。



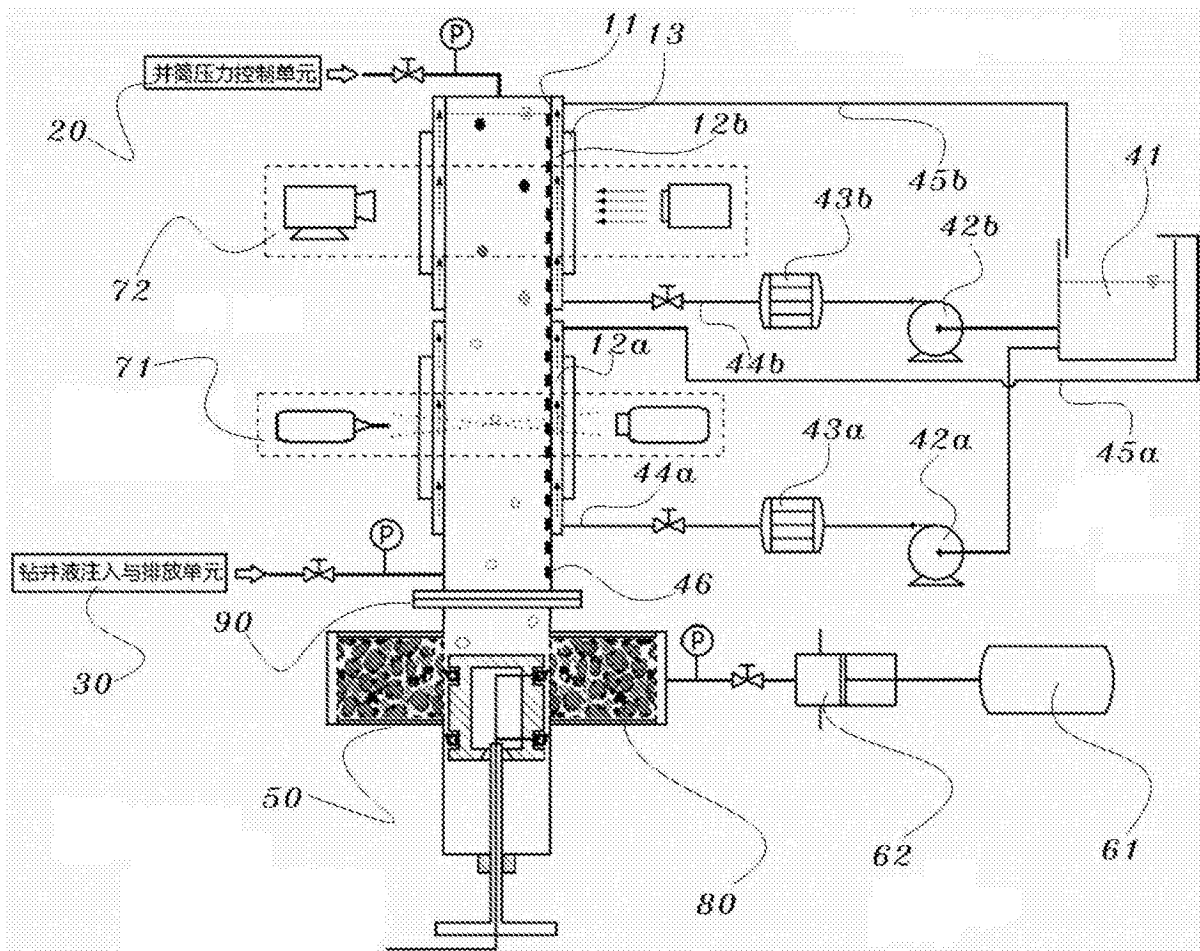


图1

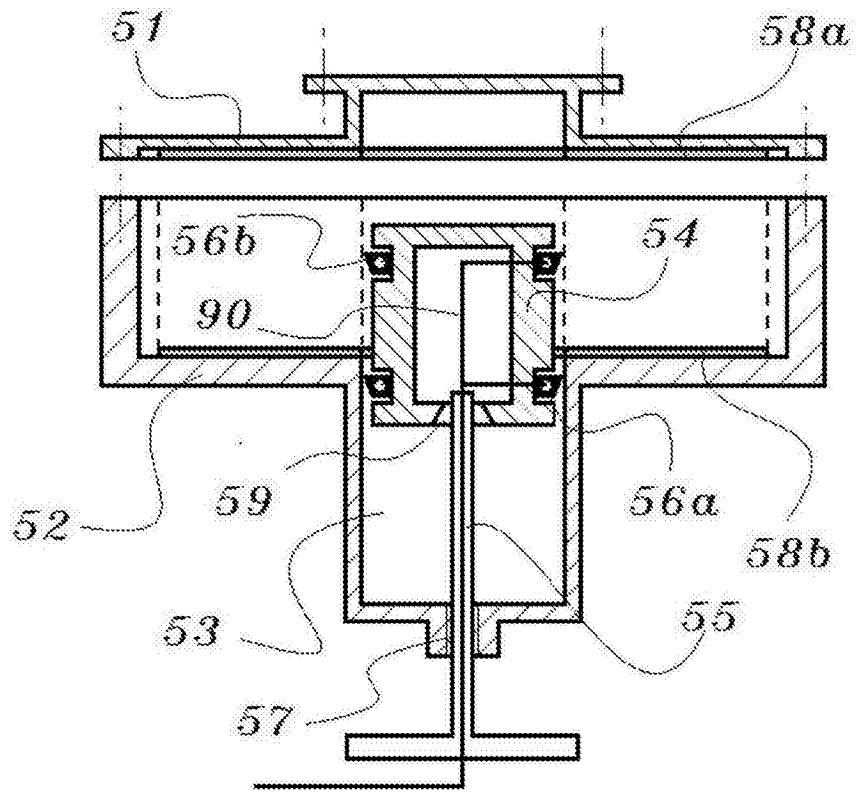


图2

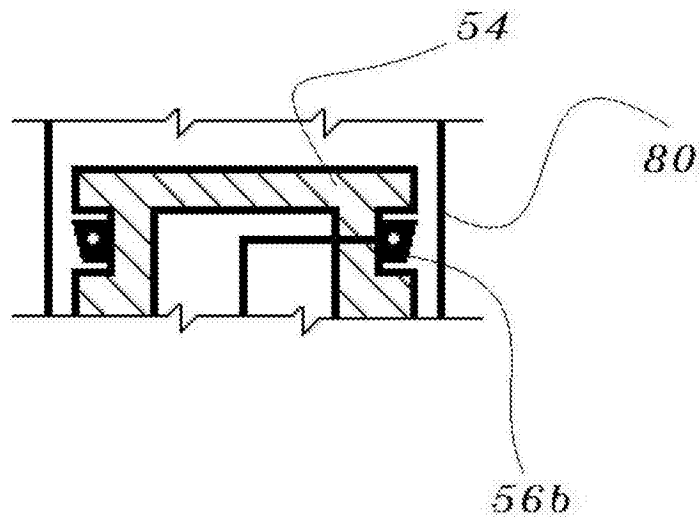


图3

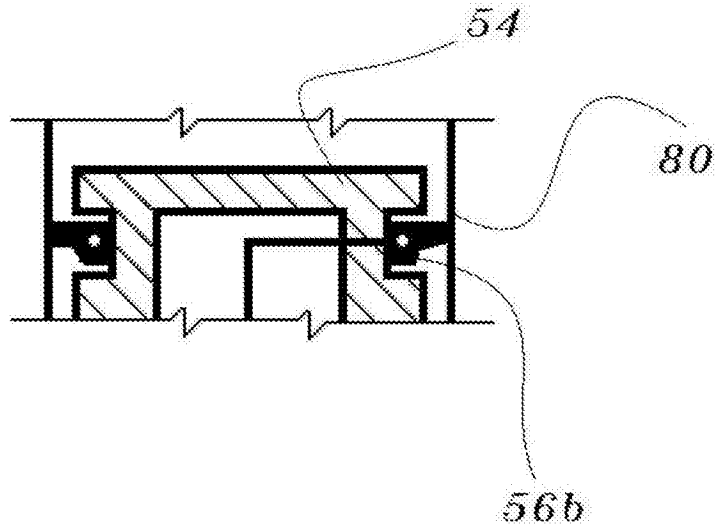


图4