



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 112557199 A

(43)申请公布日 2021.03.26

(21)申请号 201910909010.X

(22)申请日 2019.09.25

(71)申请人 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 国建英 谢增业 张璐 李剑
付立新 杨威 魏国齐 王东良
董才源 江海洋 杨春龙

(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 朱坤鹏 赵燕力

(51)Int.Cl.
G01N 3/12(2006.01)
G01N 3/06(2006.01)

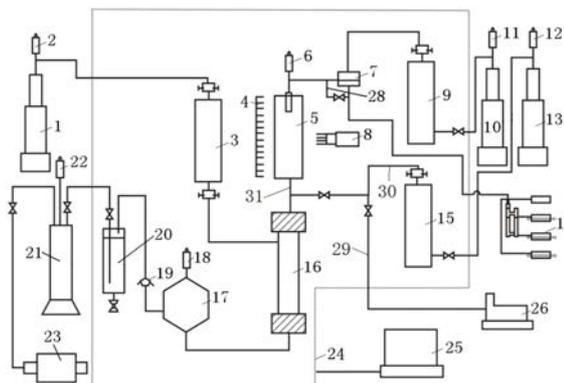
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

(54)发明名称

适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置

(57)摘要

本发明提供了一种适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置,主要在岩心夹持器后端加装了由蓝宝石视窗构成的可耐高温高压的气泡监测器,解决了红外气泡检测器不耐温耐压的问题。在气泡检测器后加装了回压系统,可提高气泡检测装置中液体的沸点,防止了液体沸腾蒸发。岩心后管线连接有真空泵,用于去除岩心夹持器出口端的管线中因样品拆装过程造成的残余气泡。岩心夹持器出口端连接有补压系统,保证岩心后端管线压力与回压阀压力一致。同时,还能够全方位控制实验各个环节,实时跟踪,自动识别,提高了实验效率。高温高压模拟实验可以仿真地质条件,所测定的数据对地质条件下的盖层评价具有重要的意义。



1. 一种适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置,其特征在于,该适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置包括:

模拟单元,含有岩心夹持器(16);

注入单元,与岩心夹持器(16)的入口端连接,能够向岩心夹持器(16)内注入气体;

检测单元,含有气泡监测仪(5),该气泡监测仪(5)的入口端能够与岩心夹持器(16)的出口端连通;

回压单元,能够增大该气泡监测仪(5)内的压力;

气泡监测仪(5)的入口端与岩心夹持器(16)的出口端之间连接有抽真空支线(29)和补压支线(30),抽真空支线(29)和补压支线(30)并联。

2. 根据权利要求1所述的适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置,其特征在于,该回压单元含有与气泡监测仪(5)的出口端依次连接的第一中间容器(9)和回压恒压泵(10)。

3. 根据权利要求2所述的适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置,其特征在于,气泡监测仪(5)的出口端与第一中间容器(9)之间还设有回压阀(7),第一中间容器(9)的出口端与回压阀(7)的第一入口端连接,回压阀(7)的第二入口端与气泡监测仪(5)的出口端连接,回压阀(7)的出口端连接有油气水分离和计量装置(14)。

4. 根据权利要求1所述的适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置,其特征在于,气泡监测仪(5)的入口端与岩心夹持器(16)的出口端之间通过连接管(31)连通,抽真空支线(29)和补压支线(30)均与连接管(31)连接。

5. 根据权利要求4所述的适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置,其特征在于,该抽真空支线(29)含有真空泵(26),该补压支线(30)含有依次连接的第二中间容器(15)和补压泵(13)。

6. 根据权利要求1所述的适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置,其特征在于,气泡监测仪(5)含有能够透光的蓝宝石玻璃管或蓝宝石玻璃视窗,气泡监测仪(5)能够承受的额定压强为70MPa,气泡监测仪(5)能够承受的额定温度为180℃。

7. 根据权利要求1所述的适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置,其特征在于,该检测单元还含有气泡检测器光源(4)以及用于监测和记录气泡的摄像机(8),气泡检测器光源(4)和摄像机(8)分别位于气泡监测仪(5)的两侧,气泡检测器光源(4)和摄像机(8)能够承受的额度温度均为180℃。

8. 根据权利要求1所述的适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置,其特征在于,该模拟单元还含有与岩心夹持器(16)的侧壁依次连接的围压容器(3)和围压泵(1),该注入单元含有与岩心夹持器(16)的入口端依次连接的压力调节阀(17)、第三中间容器(20)、注入泵(21)和气体增压泵(23)。

9. 根据权利要求1所述的适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置,其特征在于,该适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置还包括恒温箱(24),岩心夹持器(16)和该检测单元均设置于恒温箱(24)内。

10. 根据权利要求1所述的适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置,其特征在于,该适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置还包括控制单元(25),该控制单元(25)能够采集实验数据并控制该适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置

的运行。

适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置

技术领域

[0001] 本发明涉及天然气地质实验领域,具体的是一种适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置。

背景技术

[0002] 突破压力是非润湿相流体在多孔介质中润湿相流体毛细管力形成连续流动相所需的最小压力,突破压力可以计算盖层所能封闭天然气的气柱高度,研究油气的存储条件,是评价盖层最直接、最重要的技术参数之一。

[0003] 对于某一块岩石来说,其突破压力并非是一个定值,而是随外界的物理条件(主要是温度、压力条件)改变而不断变化。实验室里提供的实验数据往往是在常温常压条件下测定的,这与地质条件有很大的差别,地质条件下,一般为高温高压条件。因此,采用常温常压条件测定的突破压力很难直接对地层条件的盖层开展评价,所以,高温高压条件下测定突破压力的实验设备越来越受到关注。

[0004] 突破压力的测定目前主要有压汞法测定和驱替法测定两种方法。其中,压汞法可以根据记录不同压力点的进汞量,得到一条汞饱和度与压力的毛细管力曲线,并计算出孔隙半径及突破压力。但该方法存在明显的不足,汞加温后会形成蒸汽,对环境造成污染,对人造成伤害,所以无法模拟地层温度条件下的岩石突破压力测定。

[0005] 驱替法是目前测定岩石突破压力的主要方法,其实验过程是先将岩心饱和润湿性流体(一般为地层水或煤油),在岩心通入非润湿性流体(一般为氮气或空气),按照预定的时间间隔,逐渐增加气体压力,当岩心尾端出现气泡,表明气体已在孔隙中形成连续流动,对应进、出口端的压力差即为突破压力。中国专利CN102053038A,公开日期2011年5月11日,公开了《一种用于岩石样品模拟地层条件进行突破压力的测定装置》,该测定装置实现了高温实验条件,其方法是通过在岩心夹持器出口端增加压力,使岩心后的液体不会因温度升高而沸腾蒸发,光纤气泡检测仪实时检测通过岩心的气泡,进而确定岩石的突破压力。该发明专利虽然解决了实验温度的问题,但也存在一定的不足:由于光纤气泡检测仪不耐温(实验温度 $<60^{\circ}\text{C}$),所以需要进行降温处理,即在岩心出口端和光纤气泡检测仪之间一段金属管及散热片;由于散热片与红外气泡检测仪的石英管之间的连接采用挤压式密封,并用耐高温环氧树脂固定,这一连接方式致使其仅能承受10MPa,同时,每次实验前的安装过程较为繁琐;另外,该发明没有考虑岩心后端在安装过程中可能残留的气泡对实验结果造成的影响。

发明内容

[0006] 为了解决现有装置不能测量高温高压条件下岩石气体突破压力的问题,本发明提供了一种适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置,该适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置在岩心夹持器的出口端加装了增压装置增加出口压力,提高了流体的沸点,保证流体不蒸发产生气泡,从而能够准确可靠的测量高温高压条件下岩石气体

突破压力。

[0007] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是：一种适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置，包括：

[0008] 模拟单元，含有岩心夹持器；

[0009] 注入单元，与岩心夹持器的入口端连接，能够向岩心夹持器内注入气体；

[0010] 检测单元，含有气泡监测仪，该气泡监测仪的入口端能够与岩心夹持器的出口端连通；

[0011] 回压单元，能够增大该气泡监测仪内的压力；

[0012] 气泡监测仪的入口端与岩心夹持器的出口端之间连接有抽真空支线和补压支线，抽真空支线和补压支线并联。

[0013] 该回压单元含有与气泡监测仪的出口端依次连接的第一中间容器和回压恒压泵。

[0014] 气泡监测仪的出口端与第一中间容器之间还设有回压阀，第一中间容器的出口端与回压阀的第一入口端连接，回压阀的第二入口端与气泡监测仪的出口端连接，回压阀的出口端连接有油气水分离和计量装置。

[0015] 气泡监测仪的入口端与岩心夹持器的出口端之间通过连接管连通，抽真空支线和补压支线均与连接管连接。

[0016] 该抽真空支线含有真空泵，该补压支线含有依次连接的第二中间容器和补压泵。

[0017] 气泡监测仪含有能够透光的蓝宝石玻璃管或蓝宝石玻璃视窗，气泡监测仪能够承受的额定压强为70MPa，气泡监测仪能够承受的额定温度为180℃。

[0018] 该检测单元还含有气泡检测器光源以及用于监测和记录气泡的摄像机，气泡检测器光源和摄像机分别位于气泡监测仪的两侧，气泡检测器光源和摄像机能够承受的额定温度均为180℃。

[0019] 该模拟单元还含有与岩心夹持器的侧壁依次连接的围压容器和围压泵，该注入单元含有与岩心夹持器的入口端依次连接的压力调节阀、第三中间容器、注入泵和气体增压泵。

[0020] 该适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置还包括恒温箱，岩心夹持器和该检测单元均设置于恒温箱内。

[0021] 该适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置还包括控制单元，该控制单元能够采集实验数据并控制该适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置的运行。

[0022] 本发明的有益效果是：采用由蓝宝石玻璃制造的气泡监测仪可以承受高温高压，避免了红外气泡检测仪不能承受高温需要增加降温装置带来的繁琐操作，以及因石英管和金属管件之间的挤压式密封方式带来只能承受10MPa的工作压力局限。岩心夹持器后端用恒压泵设定压力值，确保了气泡监测器中流体（人工配制地层水或煤油）不会因高温发生蒸发，避免了因蒸发产生气泡带来干扰。在岩心夹持器与气泡监测仪之间安装真空泵，可确保去除岩心夹持器出口端管线中因样品拆装过程造成的残余气泡，避免了残余气泡给出的岩心已经被气体突破的假象。在岩心夹持器与气泡监测仪之间安装了补压用恒压泵，在夹持器出口端的管线抽真空后，马上对其进行补液，使管线中的压力达到回压泵设定阈值，确保岩心中饱和流体一旦因驱替流出岩心，就可以启动回压阀发生流动，而不是因回压阀值大于气泡监测器中流体压力，由岩心流出的流体不能发生移动。气体驱替岩心中饱和液体的

过程中,由岩心出口端首先流出的是液体,因此在回压阀出口端安装了油气水分离和计量装置可以计量这部分液体,液体的计量一定程度上可以辅助确定气体突破压力。

附图说明

[0023] 构成本申请的一部分的说明书附图用来提供对本发明的进一步理解,本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明,并不构成对本发明的不当限定。

[0024] 图1是本发明所述适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置的总体结构示意图。

[0025] 图2是围压控制系统的结构示意图。

[0026] 图3是注入系统的结构示意图。

[0027] 图4是检测单元的结构示意图。

[0028] 图5是回压单元的结构示意图。

[0029] 图6是辅助系统的结构示意图。

[0030] 1、围压泵;2、传感器或仪表;3、围压容器;4、气泡检测器光源;5、气泡监测仪;6、传感器或仪表;7、回压阀;8、摄像机;9、第一中间容器;10、回压恒压泵;11、传感器或仪表;12、传感器或仪表;13、补压泵;14、油气水分离和计量装置;15、第二中间容器;16、岩心夹持器;17、压力调节阀;18、传感器或仪表;19、单向阀;20、第三中间容器;21、注入泵;22、传感器或仪表;23、气体增压泵;24、恒温箱;25、控制单元;26、真空泵;27、岩心;28、跨越支线;29、抽真空支线;30、补压支线;31、连接管。

具体实施方式

[0031] 需要说明的是,在不冲突的情况下,本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。下面将参考附图并结合实施例来详细说明本发明。

[0032] 一种适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置,包括:

[0033] 模拟单元,含有岩心夹持器16;

[0034] 注入单元,与岩心夹持器16的入口端连接,能够向岩心夹持器16内注入气体;

[0035] 检测单元,含有气泡监测仪5,该气泡监测仪5的入口端能够与岩心夹持器16的出口端连通;

[0036] 回压单元,能够增大该气泡监测仪5内的压力;

[0037] 气泡监测仪5的入口端与岩心夹持器16的出口端之间连接有抽真空支线29和补压支线30,抽真空支线29和补压支线30并联,如图1所示。

[0038] 气泡监测仪5含有管状主体,该管状主体的内腔中含有液体,气泡监测仪5的工作原理是,岩心尾端出现气泡后进入气泡监测仪5的内腔,可以观察到气泡在该液体中上升。回压单元增大该气泡监测仪5内腔中的压力后能够提高内腔中液体的沸点,确保了气泡监测器5中液体(人工配制的地层水或煤油)不会因模拟高温环境而发生蒸发,从而避免了现有技术中因气泡监测仪5中液体蒸发产生气泡带来的干扰。

[0039] 在本实施例中,该回压单元含有与气泡监测仪5的出口端依次连接的第一中间容器9和回压恒压泵10。第一中间容器9和回压恒压泵10用于向气泡监测仪5的内腔中提供压力,提高该内腔中液体的沸点。气泡监测仪5的出口端与第一中间容器9之间还设有回压阀

7,回压阀7含有两个入口和一个出口,第一中间容器9的出口端与回压阀7的第一入口端连接,提供回压源,回压阀7的第二入口端与气泡监测仪5的出口端连接,回压阀7的出口端连接有油气水分离和计量装置14。回压阀7还并联有跨越支线28,跨越支线28的一端与回压阀7的第二入口端连通,跨越支线28的另一端与回压阀7的出口端连通,跨越支线28上还设有阀门,如图1至图6所示。

[0040] 在气体驱替岩心内饱和液体的过程中,由岩心的出口端首先流出的是液体,因此在回压阀7的出口端安装了油气水分离和计量装置14可以计量这部分液体,实现油气水的自动分离和记量,该部分液体的计量也可以一定程度上辅助确定岩心的气体突破压力。

[0041] 在本实施例中,气泡监测仪5的管状主体呈直立状态,气泡监测仪5的入口端与岩心夹持器16的出口端之间连接有抽真空支线29,该抽真空支线29含有真空泵26,真空泵26用于去除岩心夹持器出口端的管线中因样品拆装过程造成的残余气泡。气泡监测仪5的入口端与岩心夹持器16的出口端之间还连接有补压支线30,该补压支线30含有与岩心夹持器16的出口端依次连接的第三中间容器15和补压泵13,补压泵13用于保证岩心后端管线压力与回压阀压力一致。具体的,如图1和图6所示,气泡监测仪5的入口端与岩心夹持器16的出口端之间通过连接管31连通,该连接管31通过连接支管与该抽真空支线29和补压支线30连接,该抽真空支线29和补压支线30连接之间为并联关系。

[0042] 在岩心夹持器16与气泡监测仪5之间安装真空泵26的作用是可确保去除岩心夹持器16出口端的管线中因样品拆装过程造成的残余气泡,避免了残余气泡给出的岩心已经被气体突破的假象。补压泵13为恒压泵,补压泵13的作用是在岩心夹持器16的出口端的管线抽真空后,马上对其进行补液,使岩心夹持器16与气泡监测仪5之间管线中的压力达到回压恒压泵10设定的阈值(压力值),确保岩心中饱和流体一旦因驱替流出岩心,就可以启动回压阀7发生流动,而不会因回压阀7的阈值大于气泡监测器5中流体压力,而使要流出岩心的流体不能发生移动。

[0043] 在本实施例中,气泡监测仪5含有能够透光的蓝宝石玻璃管或蓝宝石玻璃视窗,即气泡监测仪5的所述管状主体为能够透光的蓝宝石玻璃管制成,或所述管状主体含有蓝宝石玻璃视窗,气泡监测仪5能够承受的额度压强为70MPa,气泡监测仪5能够承受的额度温度为180℃,可以理解为该适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置的适合模拟的高温高压环境分别为180℃、70MPa。由于采用由蓝宝石玻璃制造的气泡监测仪可以承受高温高压,避免了红外气泡检测仪不能承受高温需要增加降温装置带来的繁琐操作,以及因石英管和金属管件之间的挤压式密封方式带来只能承受10MPa的工作压力局限。

[0044] 在本实施例中,该检测单元还含有气泡检测器光源4以及用于监测和记录气泡的摄像机8,气泡检测器光源4和摄像机8分别位于气泡监测仪5的左右两侧,气泡检测器光源4和摄像机8也应该能够承受的额度温度为180℃。气泡检测器光源4为LED灯组,气泡检测器光源4为另一侧的摄像机8提供光源;摄像机8能够跟踪气泡监测仪5的管状主体(玻璃管)中的流体动态,拍照或录像,并由计算机软件识别和记录管状主体中气泡的数量和流量。

[0045] 在本实施例中,该模拟单元还含有与岩心夹持器16的侧壁依次连接的围压容器3和围压泵1,该注入单元含有与岩心夹持器16的入口端依次连接的压力调节阀17、第三中间容器20、注入泵21和气体增压泵23。围压容器3和围压泵1用于向岩心夹持器16内的岩心提供三轴向压力加载,岩心在岩心夹持器16中可快速安装和拆装。岩心夹持器16可以为现有

装置,所述岩心夹持器16安装在一个架子上,可以自由旋转,可水平放置、可垂直放置,以满足不同的测试项目,图1中仅表示出了垂直放置时的情况。第三中间容器20、注入泵21和气体增压泵23可以实现向岩心夹持器16中的岩心内注入气体。

[0046] 在本实施例中,该适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置还包括恒温箱24,岩心夹持器16和该检测单元均设置于恒温箱24内。具体的,如图1所示,围压容器3、气泡检测器光源4、气泡监测仪5、回压阀7、摄像机8、第一中间容器9、第二中间容器15、岩心夹持器16、压力调节阀17、传感器或仪表18、单向阀19、第三中间容器20均设置于恒温箱24内。围压容器3、第一中间容器9、第二中间容器15和第三中间容器20均为含有封闭内空腔的容器,围压容器3、第一中间容器9、第二中间容器15和第三中间容器20均设有一个出口和一个入口,设置围压容器3、第一中间容器9、第二中间容器15和第三中间容器20可以使压力稳定。围压容器3中承装有液体,第一中间容器9中承装有液体或气体,第二中间容器15中承装有液体,第三中间容器20中承装有气体。

[0047] 在本实施例中,该适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置还包括控制单元25,该控制单元25能够采集实验数据并控制该适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置的运行。该控制单元25为工控机,传感器或仪表2、传感器或仪表6、传感器或仪表11、传感器或仪表12、传感器或仪表18、传感器或仪表22均与该控制单元25连接,上述传感器或仪表可以用于测量温度或压力等参数,围压泵1、回压恒压泵10、补压泵13、油气水分离和计量装置14、气体增压泵23、真空泵26以及电动阀等均与该控制单元25连接,该控制单元25含有电子电路、控制软件等。气泡检测器光源4和摄像机8与该控制单元25连接,摄像机8与计算机软件25联合作用,实时跟踪识别并记录气泡的数量和流量,并根据气泡出现的连续性情况,判断是否终止实验结束,实验数据自动保存。

[0048] 该适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置的工作过程如下:

[0049] 首先,根据中华人民共和国石油天然气行业标准(SY/T5748-2013)的流程,设计岩心前段控制流程。

[0050] 接着完成如下工作:

[0051] 1、根据实验温度,设定回压泵10的加压值和回压阀7的阀值,以提高润湿相液体的沸点,保证岩心后端的润湿相液体不蒸发(气化);

[0052] 2、开启真空泵26,将岩心后管线(即气泡监测仪5的入口端与岩心夹持器16的出口端之间的连接管)中的气泡抽出;

[0053] 3、关闭真空泵26及连接真空泵26的管线上的阀门,打开连接补压泵13的管线阀门,开启补压泵13,将岩心后管线内补为常压,然后关闭管线阀门;

[0054] 4、对恒温箱24进行加热,达到设计温度;

[0055] 5、恒温箱24内温度恒定后,观测岩心27后的压力,如果没有达到回压阀7的预设压力,继续打开补压泵13使岩心后压力达到回压阀值,这样做的原因有两个:一是,如果仅设置回压阀值不补压,实际上岩心后的压力仍为常压,无法实现提高润湿相流体沸点的目的;二是,气体驱替岩心时,首先被驱替流出岩心的是饱和液体,如果岩心后管线中的压力低于回压阀时,被驱替出的液体并不能马上流出回压阀,只有当被驱替出的流体足够多,岩心后流体经过增压压力达到回压阀值,才能排出回压阀,此时,油气水分离和计量装置14开始工作,记录排出回压阀的流体体积;

[0056] 6、接通气源至岩样进口端,设置起始压力,注入泵21和气体增压泵23工作向岩心夹持器16中的岩心内注入高压气体;实验压力间隔和恒压时间根据中华人民共和国石油天然气行业标准(SY/T5748-2013)的要求由程序自动控制;

[0057] 实验中,一旦发现岩心后有气泡出现,气泡检测器会根据气泡出现的连续性判断实验是否可以结束,若实验中气泡均匀、连续溢出,表明该压力下气体已经通过岩石,实验可以结束。

[0058] 将同一样品进行加回压在岩心后补压和不补压的实验,测得的数据如表1,从表1可知,岩心后管线中不补压突破压力会有很大的增加,说明增加回压后如果不补压对突破压力的测定会有很大的影响,岩心后补压装置设计是该发明不可或缺的部分。

[0059] 将同一样品进行不同温度下的实验,测得的数据如表2,从表2可知,如果采用常温条件,岩石样品的突破压力变大,而模拟地层温度条件下的突破压力要小得多,这对盖层评价具有重要的意义。

[0060] 表1

样品	加回压补压突破压力/MPa	加回压不补压突破压力/MPa
S-3	6.0	10.07
LX-11	8.0	17.27

[0062] 表2

样品号	样品类型	环压 MPa	突破压力/MPa				
			20℃	60℃	90℃	120℃	150℃
SHI-3	砂岩	24.5	10.07	9.06	8.65	6.68	4.61
LX-11	砂岩	24.5	17.27	14.95	11.59	7.68	/

[0064] 该适用于高温高压条件的岩石气体突破压力测定装置在岩心夹持器后端加装了由蓝宝石视窗构成的可耐高温高压的气泡监测器,解决了红外气泡检测器不耐温耐压的问题。在气泡检测器后加装了回压系统,可提高气泡检测装置中液体的沸点,防止了液体沸腾蒸发。岩心后管线连接有真空泵,用于去除岩心夹持器出口端的管线中因样品拆装过程造成的残余气泡。岩心夹持器出口端连接有补压系统,保证岩心后端管线压力与回压阀压力一致。同时,在回压阀后加装了油气水分离和计量系统,做为判别岩石样品是否突破的辅助手段。计算机全方位控制实验各个环节,实时跟踪,自动识别,提高了实验效率。高温高压模拟实验可以仿真地质条件,所测定的数据对地质条件下的盖层评价具有重要的意义。

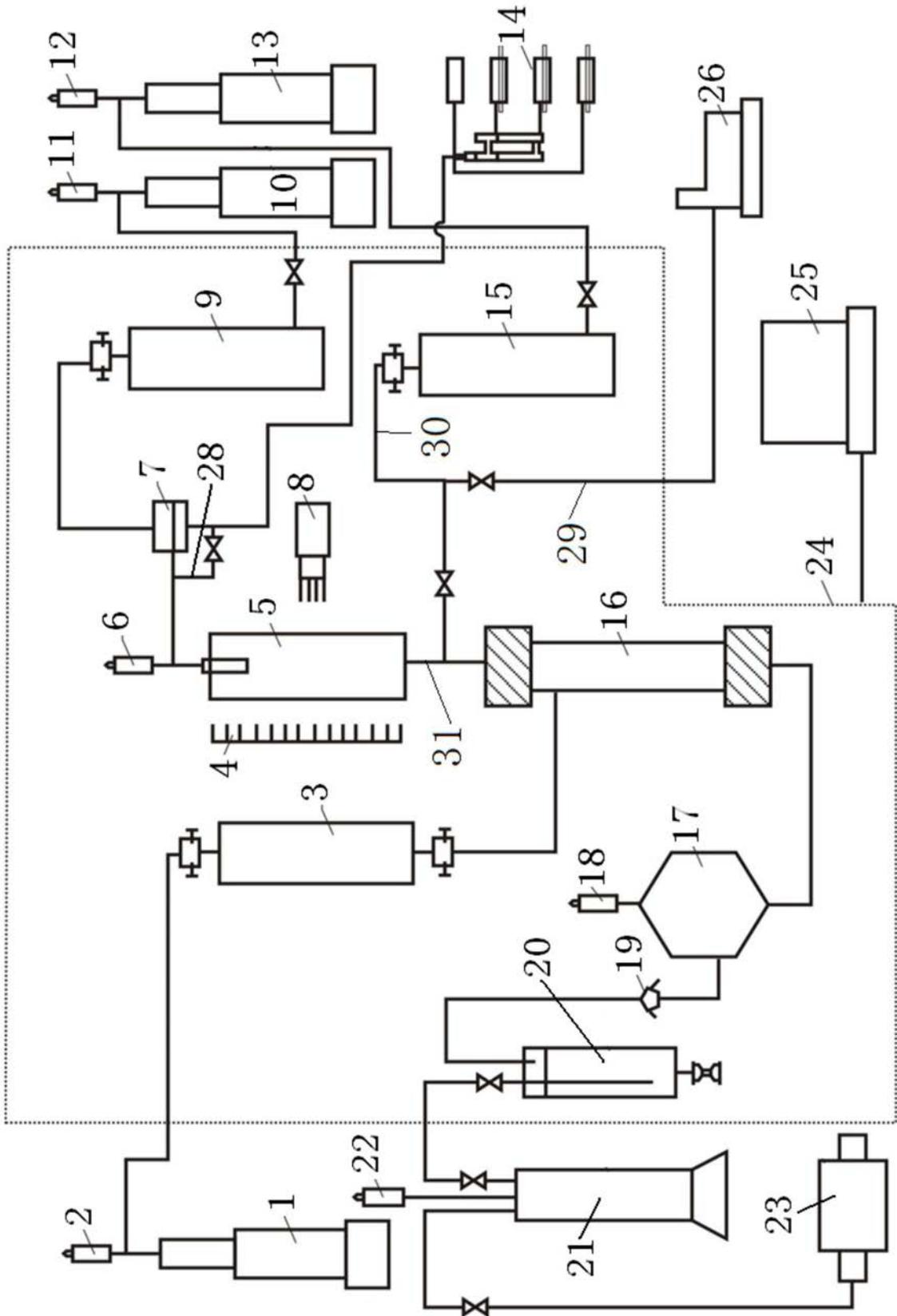


图1

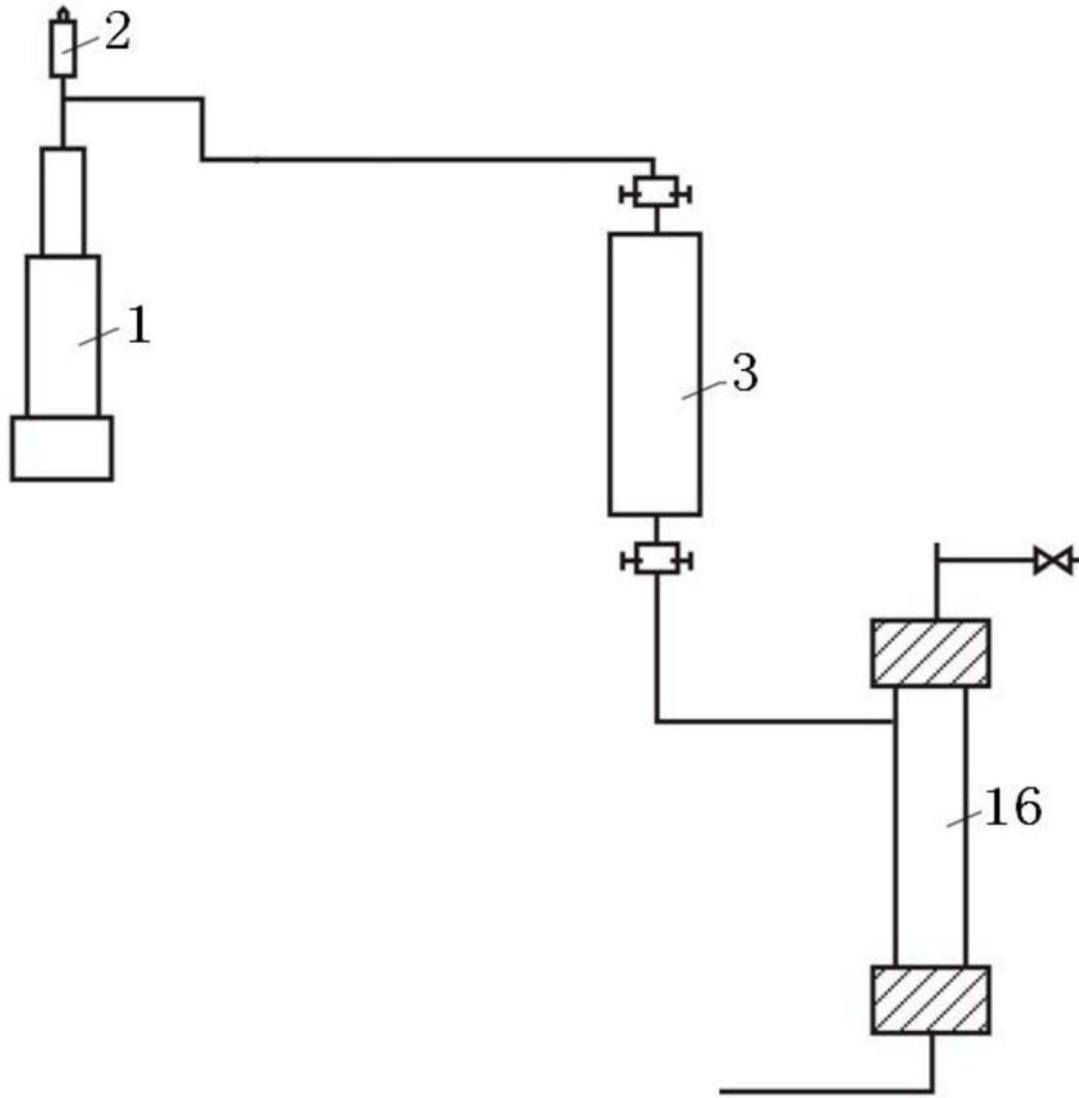


图2

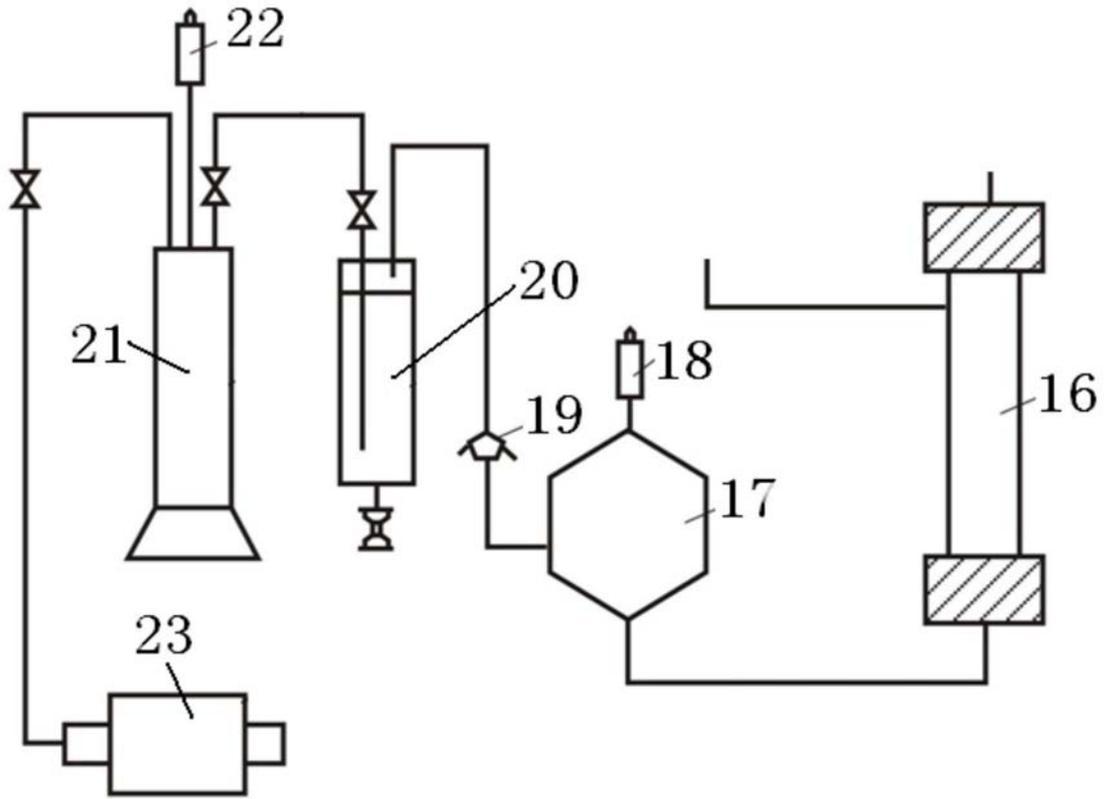


图3

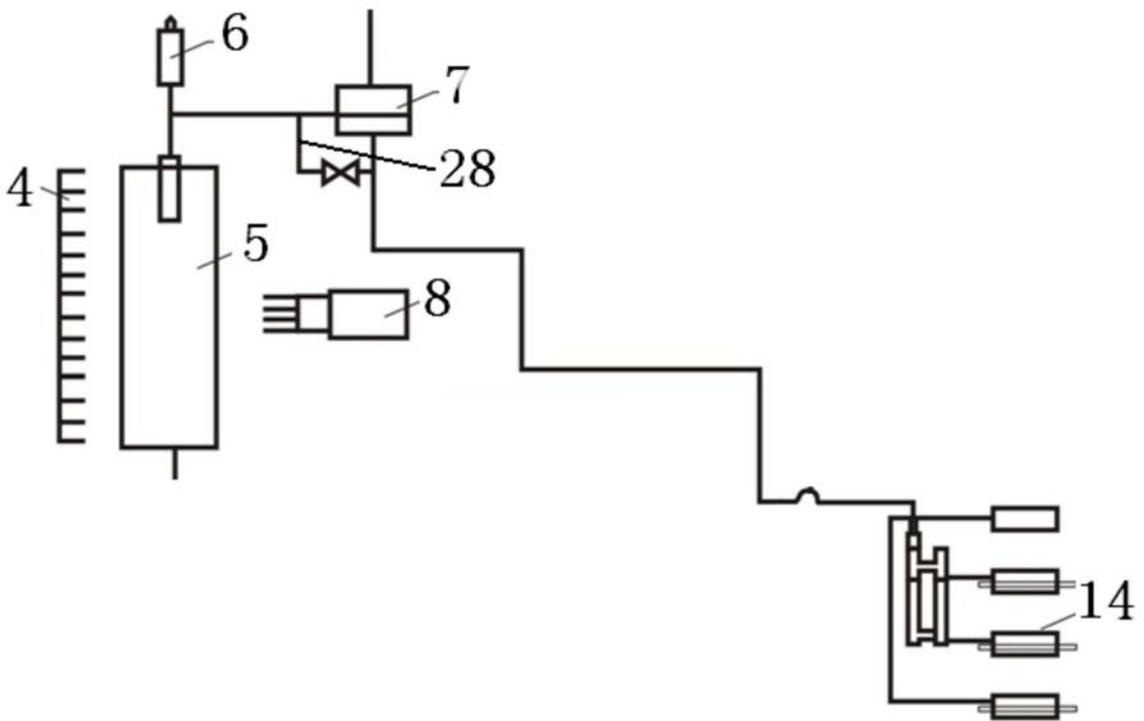


图4

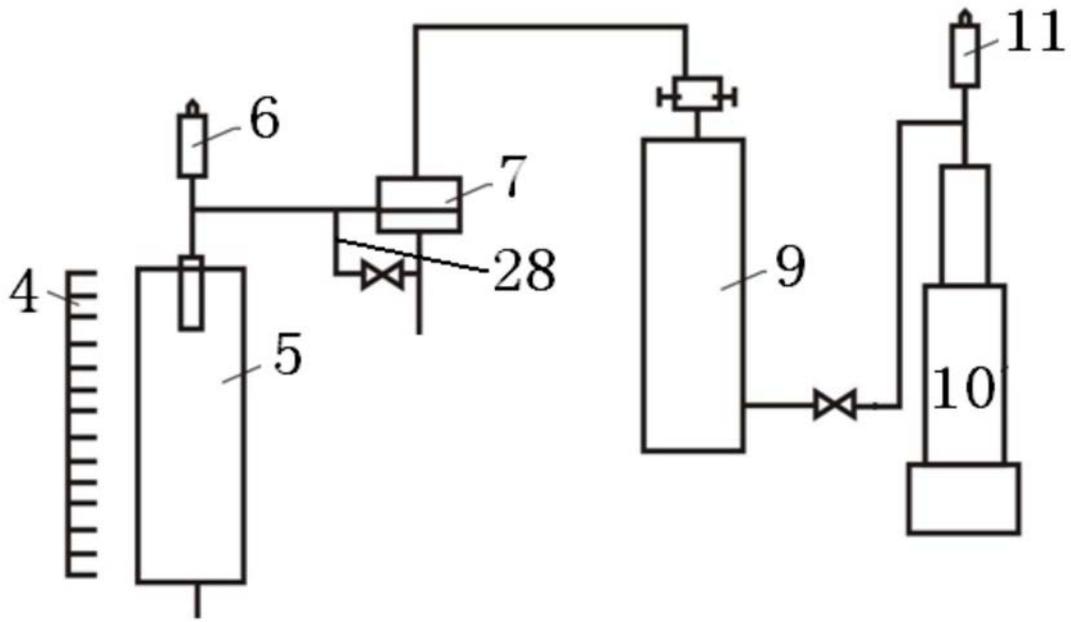


图5

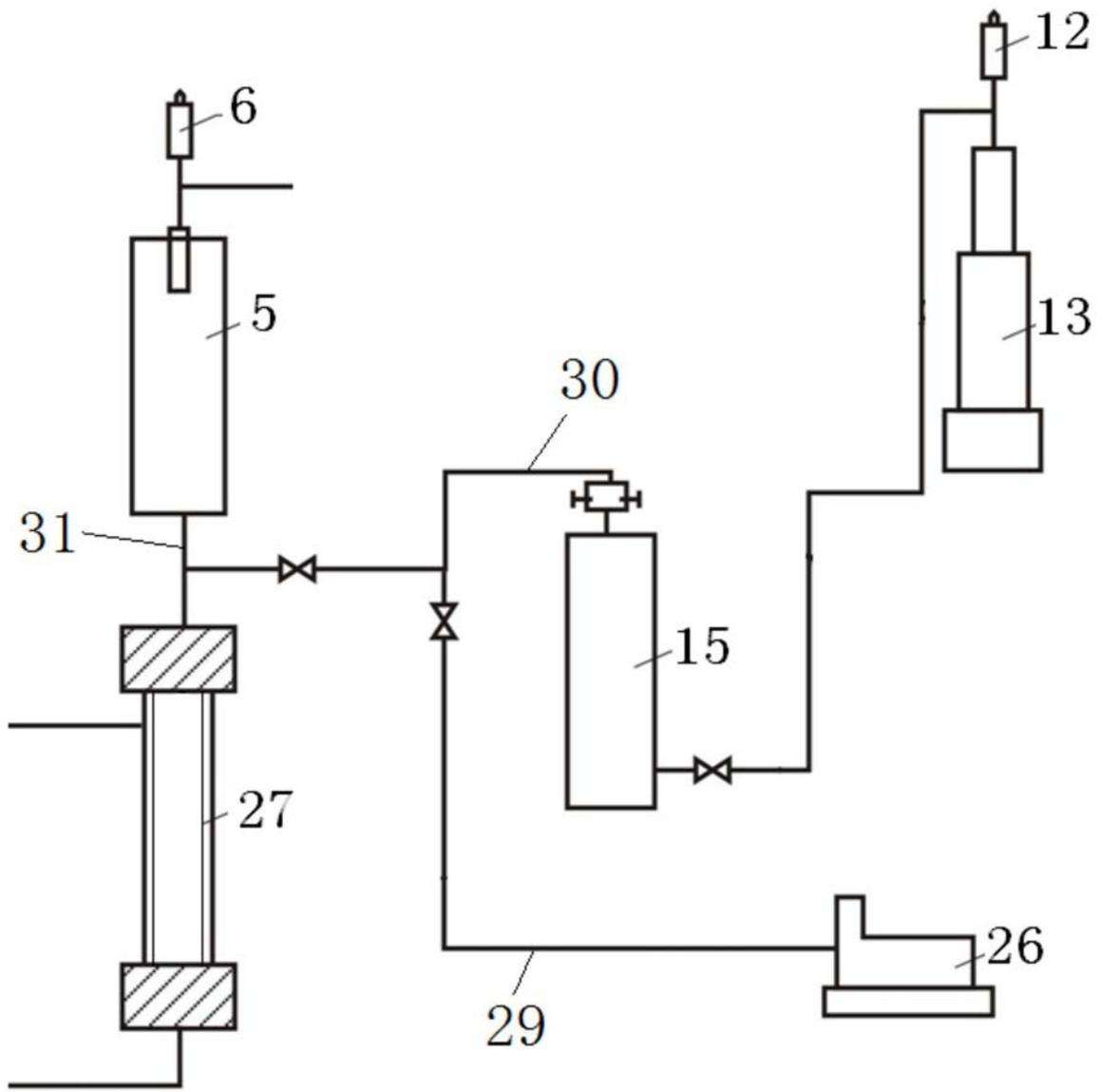


图6