



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 112523746 A

(43)申请公布日 2021.03.19

(21)申请号 201910876135.7

(22)申请日 2019.09.17

(71)申请人 中国石油化工股份有限公司

地址 100728 北京市朝阳区朝阳门北大街
22号

申请人 中国石油化工股份有限公司石油工
程技术研究院

(72)发明人 陶谦 陆沛青 高元 刘仍光

杨广国 桑来玉 李小江 杜晓雨

(74)专利代理机构 北京聿华联合知识产权代理
有限公司 11611

代理人 金伟英 刘华联

(51)Int.Cl.

E21B 47/005(2012.01)

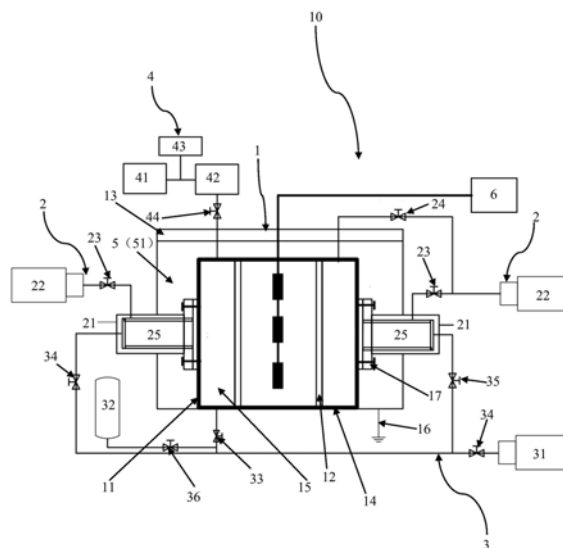
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种用于模拟真实地层界面条件的水泥环密封测试装置

(57)摘要

本发明提供一种用于模拟真实地层界面条件的水泥环密封测试装置,包括模拟井筒系统、地层岩心模拟系统、地层流体注入系统、窜流检测系统、加热及温度控制系统和声波测井分析系统。其中,地层岩心模拟系统、地层流体注入系统、窜流检测系统、加热及温度控制系统和声波测井分析系统分别与模拟井筒系统连接。本发明提供的用于模拟真实地层界面条件的水泥环密封测试装置,能够模拟真实岩层、地层流体渗流等实验条件,可研究高温、高压、动态地层水、高压气层、真实岩心界面等条件下的界面演化规律,从而进一步揭示复杂条件下水泥环长效密封机理,为相关固井工艺优化提供指导与参考。



1. 一种用于模拟真实地层界面条件的水泥环密封测试装置,其特征在于,包括模拟井筒系统、地层岩心模拟系统、地层流体注入系统、窜流检测系统、加热及温度控制系统和声波测井分析系统;其中,

所述地层岩心模拟系统、所述地层流体注入系统、所述窜流检测系统、所述加热及温度控制系统和所述声波测井分析系统分别与所述模拟井筒系统连接。

2. 根据权利要求1所述的用于模拟真实地层界面条件的水泥环密封测试装置,其特征在于,所述模拟井筒系统包括外层套管、内层套管、上堵头和下底座;其中,

所述内层套管布置在所述外层套管内;

所述上堵头布置在所述外层套管和所述内层套管的顶部;

所述下底座布置在所述外层套管和所述内层套管的底部。

3. 根据权利要求1或2所述的用于模拟真实地层界面条件的水泥环密封测试装置,其特征在于,所述地层岩心模拟系统包括岩心夹持器和围压加压泵;其中,

所述岩心夹持器沿圆周方向均匀布置在所述模拟井筒系统上,所述围压加压泵分别与所述岩心夹持器底部及所述模拟井筒系统顶部连接。

4. 根据权利要求3所述的用于模拟真实地层界面条件的水泥环密封测试装置,其特征在于,所述岩心夹持器的内壁上设有抗高温胶桶。

5. 根据权利要求1至4中任一项所述的用于模拟真实地层界面条件的水泥环密封测试装置,其特征在于,所述地层流体注入系统包括地层流体注入泵和高压氮气瓶;所述地层流体注入泵分别与所述模拟井筒系统底部和所述地层岩心模拟系统底部连接,所述高压氮气瓶与所述模拟井筒系统底部连接。

6. 根据权利要求1至5中任一项所述的用于模拟真实地层界面条件的水泥环密封测试装置,其特征在于,所述窜流检测系统包括电子天平和气体流量计。

7. 根据权利要求6所述的用于模拟真实地层界面条件的水泥环密封测试装置,其特征在于,所述窜流检测系统包括气液分离器和干燥器,所述气液分离器与所述模拟井筒系统连接,所述干燥器分别与所述气液分离器和所述气体流量计连接。

8. 根据权利要求1至7中任一项所述的用于模拟真实地层界面条件的水泥环密封测试装置,其特征在于,所述加热及温度控制系统包括硅橡胶加热保温套、温度控制仪和温度测量探头。

9. 根据权利要求8所述的用于模拟真实地层界面条件的水泥环密封测试装置,其特征在于,所述温度控制仪采用具有PID调节功能的人工智能显示控制仪。

10. 根据权利要求1至9中任一项所述的用于模拟真实地层界面条件的水泥环密封测试装置,其特征在于,所述声波测井分析系统包括单级声波发生器、声波仪主机和检波器。

一种用于模拟真实地层界面条件的水泥环密封测试装置

技术领域

[0001] 本发明属于石油勘探技术领域,具体涉及一种用于模拟真实地层界面条件的水泥环密封测试装置。

背景技术

[0002] 在石油工业中,固井作业的主要目的是在套管与裸眼岩层之间的环空形成一个完整的水泥环密封系统,从而封隔井眼内的油、气、水层,达到支撑套管、保持井眼稳定的目标。因此,固井水泥环密封能力对油气井建井寿命具有至关重要的影响。随着我国在油气勘探开发领域的不断深入,高温高压超深井、复杂结构井、非常规井、储气库井等类型不断增多,固井面临的井下地质及工况条件日益复杂,高压水层、气层窜流现象时有发生,对水泥环长效密封能力形成了巨大的挑战,需要进一步攻关提高复杂条件下的水泥环密封完整性技术。

[0003] 针对套管-水泥石-岩层密封系统,由于油井水泥石本体具有高强度、低渗透的特点,不易形成层间窜流,因此,水泥环密封能力主要取决于界面密封能力。受限于井场试验测试条件,研发可模拟真实地层界面条件的水泥环密封测试实验装置,对于提高水泥环长效密封能力技术研究具有重要意义。

[0004] 目前,水泥环完整性室内实验装置已可基本实现等同于真实的地层温度、压力下进行完整性测试,可以模拟套管-水泥石界面的裂隙演化及水泥石失效过程。但是,针对水泥石-岩层界面,由于外层缸筒的存在,目前的装置尚未能充分模拟真实岩层、地层流体渗流等实验条件。

发明内容

[0005] 本发明要解决的技术问题是克服现有技术的不足,提供一种能够模拟真实岩层、地层流体渗流等实验条件的水泥环密封测试装置。

[0006] 为了解决上述技术问题,本发明提出的技术方案为:

[0007] 一种用于模拟真实地层界面条件的水泥环密封测试装置,包括模拟井筒系统、地层岩心模拟系统、地层流体注入系统、窜流检测系统、加热及温度控制系统和声波测井分析系统。其中,地层岩心模拟系统、地层流体注入系统、窜流检测系统、加热及温度控制系统和声波测井分析系统分别与模拟井筒系统连接。

[0008] 根据本发明的用于模拟真实地层界面条件的水泥环密封测试装置,通过模拟井筒可以模拟密闭环形空间,提供高温高压养护环境;通过地层岩心模拟系统,能够放置砂岩、泥岩、页岩、盐膏岩、碳酸盐岩、花岗岩等岩芯,用以近似模拟真实岩层;通过地层流体注入系统,用以模拟水泥石-岩心界面的动态地层水、气养护环境;通过窜流检测系统,用以模拟地层高温环境;通过声波测井分析系统,用以模拟现场声波测定水泥环胶结质量技术。因此,本发明涉及的用于模拟真实地层界面条件的水泥环密封测试装置,可研究高温、高压、动态地层水、高压气层、真实岩心界面等条件下的界面演化规律,从而进一步揭示复杂条件

下水泥环长效密封机理,为相关固井工艺优化提供指导与参考。

[0009] 对于上述技术方案,还可进行如下所述的进一步的改进。

[0010] 根据本发明的用于模拟真实地层界面条件的水泥环密封测试装置,在一个优选的实施方式中,模拟井筒系统包括外层套管、内层套管、上堵头和下底座。其中,内层套管布置在外层套管内。上堵头布置在外层套管和内层套管的顶部。下底座布置在外层套管和内层套管的底部。

[0011] 内外层钢制套管、底座与上堵头共同构成了密闭的环形空间,用以灌注水泥。这种结构形式的模拟井筒系统,结构简单,便于制造,能够很好地实现密闭环形空间。内层套管用于模拟固井用套管,可直接取材于钻井井场套管,从而确保实验的真实性。外层套管主要用以支撑地层岩心模拟系统。上堵头可与窜流检测系统及地层流体注入系统相连。下底座可与地层流体注入系统相连。

[0012] 具体的,在一个优选的实施方式中,下底座与地层流体注入泵相连,并且下底座设有地线。

[0013] 由于实验过程中会有水滴飞溅、溢出到测试装置上,因此在下底座上设置地线,能够防止测试装置漏电。实际操作中,可以在下底座上连接一根铁丝或电线与地面连接。

[0014] 具体地,在一个优选的实施方式中,地层岩心模拟系统包括岩心夹持器和围压加压泵。其中,岩心夹持器沿圆周方向均匀布置在模拟井筒系统上,围压加压泵分别与岩心夹持器底部及模拟井筒系统顶部连接。

[0015] 围压加压泵分别与岩心夹持器底部及模拟井筒上堵头相连,通过阀门进行转换。当围压加压泵与岩心夹持器相连,可通过向岩心夹持器增压以压紧岩心,防止流体通过岩心-夹持器壁面窜流。当围压加压泵与模拟井筒系统的上堵头相连时,可以实现水泥浆加压养护。通过拆卸岩心夹持器,可以刮取水泥环-岩心界面产物,进行矿物含量(XRD)、化学成分(XRF)、粒度及比表面积分析等。

[0016] 进一步地,在一个优选的实施方式中,岩心夹持器的内壁上设有抗高温胶桶。

[0017] 通过设置抗高温胶桶,能够确保岩心夹持器满足高温高压的实验条件,并且便于围压加压泵对布置在岩心夹持器内的岩心施加压力。

[0018] 具体地,在一个优选的实施方式中,地层流体注入系统包括地层流体注入泵和高压氮气瓶。地层流体注入泵分别与模拟井筒系统底部和所述地层岩心模拟系统底部连接。高压氮气瓶通过分压阀与模拟井筒系统底部连接。

[0019] 地层流体注入系统用以模拟岩层高压水层、气层。地层流体注入泵分别与模拟井筒中水泥环底部及岩芯夹持器底部相连,通过阀门进行转换。当与水泥环底部相连时,可以实现水泥环高压水层窜流检测;当与岩芯夹持器底部相连时,可以实现水泥石-岩心界面的动态地层水养护。高压氮气瓶通过分压阀与水泥环底部相连时,可以实现水泥环高压气层窜流检测,需要进行气层窜流实验时,打开氮气瓶开关,通过分压阀调整到需要的压力即可。

[0020] 具体地,在一个优选的实施方式中,窜流检测系统包括高精度电子天平和微量气体流量计。

[0021] 高精度电子天平用于计量水泥岩心渗流时出口的流量。微量气体流量计主要用于微量气体计量。

[0022] 进一步地,在一个优选的实施方式中,窜流检测系统包括气液分离器和干燥器。气液分离器与模拟井筒系统连接,干燥器分别与气液分离器和气体流量计连接。

[0023] 由于模拟井筒系统中的水泥环发生早期环空气窜时,水泥未完全水化,气体中会夹杂大量水分,影响对于真实气体流量的测量,因此,需要在气体流量计之前,加装气液分离器和干燥器。具体地,湿气体先经过气液分离器,随后干燥气体通过气体流量计,分离出的液体通过干燥器干燥。

[0024] 具体地,在一个优选的实施方式中,加热及温度控制系统包括硅橡胶加热保温套、温度控制仪和温度测量探头。

[0025] 这种结构形式的加热及温控系统,结构简单,便于实现整个实验过程中的环境温度控制从而确保实验的精准。

[0026] 进一步地,在一个优选的实施方式中,温度控制仪采用具有PID调节功能的人工智能显示控制仪。

[0027] 这种结构形式的温度控制仪可任意设定所需的控制温度,带PID调节,可有效的控制热惯性。

[0028] 具体地,在一个优选的实施方式中,声波测井分析系统包括单级声波发生器、声波仪主机和检波器。

[0029] 上述结构的声波测井分析系统可通过电动伺服装置实现声波发生器沿模拟井筒系统中内套管的内壁360°旋转,主要用以模拟现场声波测定水泥环胶结质量技术。通过分析套管波、地层波以及环形空间密度分布,综合判断套管-水泥环与水泥环-岩层界面的胶结状况。

[0030] 相比现有技术,本发明的优点在于:能够模拟真实岩层、地层流体渗流等实验条件,可研究高温、高压、动态地层水、高压气层、真实岩心界面等条件下的界面演化规律,从而进一步揭示复杂条件下水泥环长效密封机理,为相关固井工艺优化提供指导与参考。

附图说明

[0031] 在下文中将基于实施例并参考附图来对本发明进行更详细的描述。其中:

[0032] 图1示意性显示了本发明实施例的密封测试装置的整体整体框架结构;

[0033] 图2示意性显示了本发明实施例的岩心夹持器的分布状态。

[0034] 在附图中,相同的部件使用相同的附图标记。附图并未按照实际的比例绘制。

具体实施方式

[0035] 下面将结合附图和具体实施例对本发明作进一步详细说明,但并不因此而限制本发明的保护范围。

[0036] 图1示意性显示了本发明实施例的密封测试装置10的整体框架结构。图2示意性显示了本发明实施例的岩心夹持器21的分布状态。

[0037] 如图1所示,本发明实施例的用于模拟真实地层界面条件的水泥环密封测试装置10,包括模拟井筒系统1、地层岩心模拟系统2、地层流体注入系统3、窜流检测系统4、加热及温度控制系统5和声波测井分析系统6。其中,地层岩心模拟系统2、地层流体注入系统3、窜流检测系统4、加热及温度控制系统5和声波测井分析系统6分别与模拟井筒系统1连接。根

据本发明实施例的用于模拟真实地层界面条件的水泥环密封测试装置,通过模拟井筒可以模拟密闭环形空间,提供高温高压养护环境;通过地层岩心模拟系统,能够放置砂岩、泥岩、页岩、盐膏岩、碳酸盐岩、花岗岩等岩芯,用以近似模拟真实岩层;通过地层流体注入系统,用以模拟水泥石-岩心界面的动态地层水、气养护环境;通过窜流检测系统,用以模拟地层高温环境;通过声波测井分析系统,用以模拟现场声波测定水泥环胶结质量技术。

[0038] 因此,根据本发明实施例的用于模拟真实地层界面条件的水泥环密封测试装置,可研究高温、高压、动态地层水、高压气层、真实岩心界面等条件下的界面演化规律,从而进一步揭示复杂条件下水泥环长效密封机理,为相关固井工艺优化提供指导与参考。

[0039] 如图1所示,具体地,在本实施例中,模拟井筒系统1包括外层套管11、内层套管12、上堵头13和下底座14。其中,内层套管12布置在外层套管11内。上堵头13布置在外层套管11和内层套管12的顶部。下底座14布置在外层套管11和内层套管12的底部。内外层钢制套管、底座与上堵头共同构成了密闭的环形空间,用以灌注水泥形成水泥环15。这种结构形式的模拟井筒系统,结构简单,便于制造,能够很好地实现密闭环形空间。内层钢制套管12用于模拟固井用套管,可直接取材于钻井井场套管,从而确保实验的真实性。外层钢制套管11主要用以支撑地层岩心模拟系统。上堵头13可与窜流检测系统4及围压加压泵22相连。下底座14可与地层流体注入泵31相连,并且下底座14底部设有地线16。由于实验过程中会有水滴飞溅、溢出到测试装置上,因此在下底座上设置地线,能够防止测试装置漏电。实际操作中,可以在下底座上连接一根铁丝或电线与地面连接。

[0040] 优选地,在本实施例中,内层套管12高度100mm。内层套管12外径与壁厚均采用API标准,可选外径为177.8mm、168.3mm、139.7mm、127mm,对应壁厚为5.21-16.13mm。外层套管11高度100mm,可选内径为222.2mm、215.9mm、165.1mm、155.5mm,对应壁厚为50-80mm,沿外层钢制套管11周向加工有4组法兰17,呈90°分布,法兰17内径25.5mm。

[0041] 如图1和图2所示,具体地,在本实施例中,地层岩心模拟系统2包括岩心夹持器21和围压加压泵22。其中,岩心夹持器21沿圆周方向均匀布置在模拟井筒系统1上,围压加压泵22分别与岩心夹持器21底部及模拟井筒系统1顶部的上堵头13连接,分别通过围压控制阀23和环空加压控制阀24进行转换。当围压加压泵与岩心夹持器相连,可通过向岩心夹持器增压以压紧岩心,防止流体通过岩心-夹持器壁面窜流。当围压加压泵与模拟井筒系统的上堵头相连时,可以实现水泥浆加压养护。通过拆卸岩心夹持器,可以刮取水泥环-岩心界面产物,进行矿物含量(XRD)、化学成分(XRF)、粒度及比表面积分析。进一步地,在本实施例中,岩心夹持器21的内壁上设有抗高温胶桶。通过设置抗高温胶桶,能够确保岩心夹持器满足高温高压的实验条件,并且便于围压加压泵对布置在岩心夹持器内的岩心施加压力。

[0042] 具体地,如图1所示,在本实施例中,地层流体注入系统3包括地层流体注入泵31和高压氮气瓶32。地层流体注入泵31分别与模拟井筒系统1底部和地层岩心模拟系统2底部连接。地层流体注入系统3用以模拟岩层高压水层、气层。优选地,在本实施例中,地层流体注入泵31分别与模拟井筒系统1中水泥环15底部及岩芯夹持器21底部相连,分别通过水泥环进气口控制阀33和流体出口控制阀34、岩心进流体控制阀35进行转换。当与水泥环15底部相连时,可以实现水泥环高压水层窜流检测;当与岩芯夹持器21底部相连时,可以实现水泥石-岩心界面的动态地层水养护。高压氮气瓶32通过分压阀36与水泥环15底部相连时,可以实现水泥环高压气层窜流检测,需要进行气层窜流实验时,打开氮气瓶开关,通过分压阀36

调整到需要的压力即可。地层流体注入泵压力范围0-100MPa,高压氮气瓶压力范围0-20MPa。

[0043] 具体地,在本实施例中,窜流检测系统4包括高精度电子天平和微量气体流量计41。高精度电子天平用于计量水泥岩心渗流时出口的流量,优选采用赛多利斯高精度电子天平,量程420g。微量气体流量计主要用于微量气体计量,量程0-100mL/min。进一步地,在一个优选的实施方式中,窜流检测系统4包括气液分离器42和干燥器43。气液分离器42通过气体窜流控制阀44与模拟井筒系统1中的水泥环15连接,干燥器43分别与气液分离器42和气体流量计41连接。由于模拟井筒系统中的水泥环发生早期环空气窜时,水泥未完全水化,气体中会夹杂大量水分,影响对于真实气体流量的测量,因此,需要在气体流量计之前,加装气液分离器和干燥器。具体地,湿气体先经过气液分离器,随后干燥气体通过气体流量计,分离出的液体通过干燥器干燥。

[0044] 如图1所示,具体地,在本实施例中,加热及温度控制系统5包括硅橡胶加热保温套51、温度控制仪和温度测量探头。优选地,控温范围为0-150℃,温度测量探头采用热电偶。这种结构形式的加热及温控系统,结构简单,便于实现整个实验过程中的环境温度控制从而确保实验的精准。进一步地,在一个优选的实施方式中,温度控制仪采用具有PID调节功能的人工智能显示控制仪,显示精度0.1℃。这种结构形式的温度控制仪可任意设定所需的控制温度,带PID调节,可有效的控制热惯性。

[0045] 具体地,在本实施例中,声波测井分析系统6包括单级声波发生器、声波仪主机和检波器。这种结构的声波测井分析系统发生电压优选为500-1000V,可通过电动伺服装置实现声波发生器沿模拟井筒系统中内套管的内壁360°旋转,主要用以模拟现场声波测定水泥环胶结质量技术。通过分析套管波、地层波以及环形空间密度分布,综合判断套管-水泥环与水泥环-岩层界面的胶结状况。

[0046] 如图1和图2所示,本发明实施例涉及的用于模拟真实地层界面条件的水泥环密封测试装置10的实验过程如下:

[0047] 一、确定工况及地层参数,以塔里木盆地一口典型开发评价井为例:该井中完井深7360m,井眼215.9mm,井底电测静止温度136℃,采用外径 Φ 139.7mm、壁厚7.72mm的尾管固井方式封固5287-7330m;中完层位属奥陶系中统恰尔巴克组,以灰岩为主,富含方解石,主要成分为碳酸盐岩;水泥浆上部钻井液密度1.45g/cm³,钻井液底部液柱压力75MPa;水层位于6000m,压力系数1.35,对应水层压力80MPa。固井采用弹韧性水泥浆体系,密度1.88。

[0048] 二、根据实际的工况及地层参数,模拟6000m层位的水泥环密封状态,确定实验参数:水泥环养护温度136℃,环空养护压力88MPa,即水泥浆上部钻井液压力+6000m处水泥浆压力,岩芯夹持器21压力与环空养护压力相同;模拟井筒系统中内层套管12截取实际施工套管外径 Φ 139.7mm、壁厚7.72mm;外层套管11选取内径为215.9mm,对应壁厚为60mm;通过对奥陶系中统恰尔巴克组现场取芯,将其加工为内径25.5mm、长度80mm的碳酸盐岩芯;实验模拟水层压力设定为80MPa;水泥浆采用与现场施工相同的弹韧性体系。

[0049] 三、确定实验参数后,具体实验流程如下:

[0050] 步骤1、如图1所示,依次组装下底座14、内层套管12、外层套管11、岩芯夹持器21、围压加压泵22、地层流体注入泵31,形成模拟实际地层条件的环形空间;

[0051] 步骤2、将加工好的碳酸盐岩芯25放入岩芯夹持器21中,以90°分布于模拟井筒系

统1四周,用以近似模拟地层6000m处的岩层;

[0052] 步骤3、向内层套管12与外层套管11之间的环形空间灌入弹韧性水泥浆体系,盖紧上堵头13,用硅橡胶加热保温套51包裹模拟井筒系统1,设定养护温度136℃;打开围压控制阀23和环空加压控制阀24,打开围压加压泵22,设定泵压88MPa,用以模拟实际地层条件的水泥浆高温高压养护环境;

[0053] 步骤4、保持围压控制阀23畅通,打开流体出口控制阀34和岩心进流体控制阀35,设定地层流体注入泵31压力为80MPa,模拟实际地层6000m处的动态水压环境;

[0054] 步骤5、水泥浆养护48h后,关闭围压加压泵22以及地层流体注入泵31,关闭围压控制阀23、液体出口控制阀34、岩心进流体控制阀35、环空加压控制阀24,打开窜流检测系统4与水泥环15之间的气体窜流控制阀44和高压氮气瓶32与水泥环15之间的分压阀36和水泥环进气口控制阀33,开启窜流检测系统4,检测水泥环15的水窜情况和气窜情况。具体地,打开高压氮气瓶32,调整分压阀36,使高压氮气瓶32供气压力稳定在5MPa,依次打开分压阀36和水泥环进气口控制阀33,通气1小时。如果气窜,气体流量计41会有流量显示,则证明水泥环15密封失效;如果未气窜,证明水泥环15可以保持密封。无论是否失效,都进行下步分析,与宏观密封效果进行对比、分析。

[0055] 步骤6、拆卸上堵头13,保持内层套管12畅通,下入声波测井分析系统6,通过声幅测井,检测套管-水泥石-岩层界面的胶结情况;

[0056] 步骤7、拆卸岩芯夹持器21,刮取界面产物,开展矿物含量(XRD)、化学成分(XRF)、粒度及比表面积分析。

[0057] 步骤8、改变水泥浆养护时间,如72h、144h、360h等,重复操作步骤1-7,即可得到套管-水泥环-岩层界面胶结演化数据,为后续界面胶结演化规律奠定实验基础。

[0058] 根据上述实施例,可见,本发明涉及的用于模拟真实地层界面条件的水泥环密封测试装置,能够模拟真实岩层、地层流体渗流等实验条件,可研究高温、高压、动态地层水、高压气层、真实岩心界面等条件下的界面演化规律,从而进一步揭示复杂条件下水泥环长效密封机理,为相关固井工艺优化提供指导与参考。

[0059] 虽然已经参考优选实施例对本发明进行了描述,但在不脱离本发明的范围的情况下,可以对其进行各种改进并且可以用等效物替换其中的部件。尤其是,只要不存在结构冲突,各个实施例中所提到的各项技术特征均可以任意方式组合起来。本发明并不局限于文中公开的特定实施例,而是包括落入权利要求的范围内的所有技术方案。

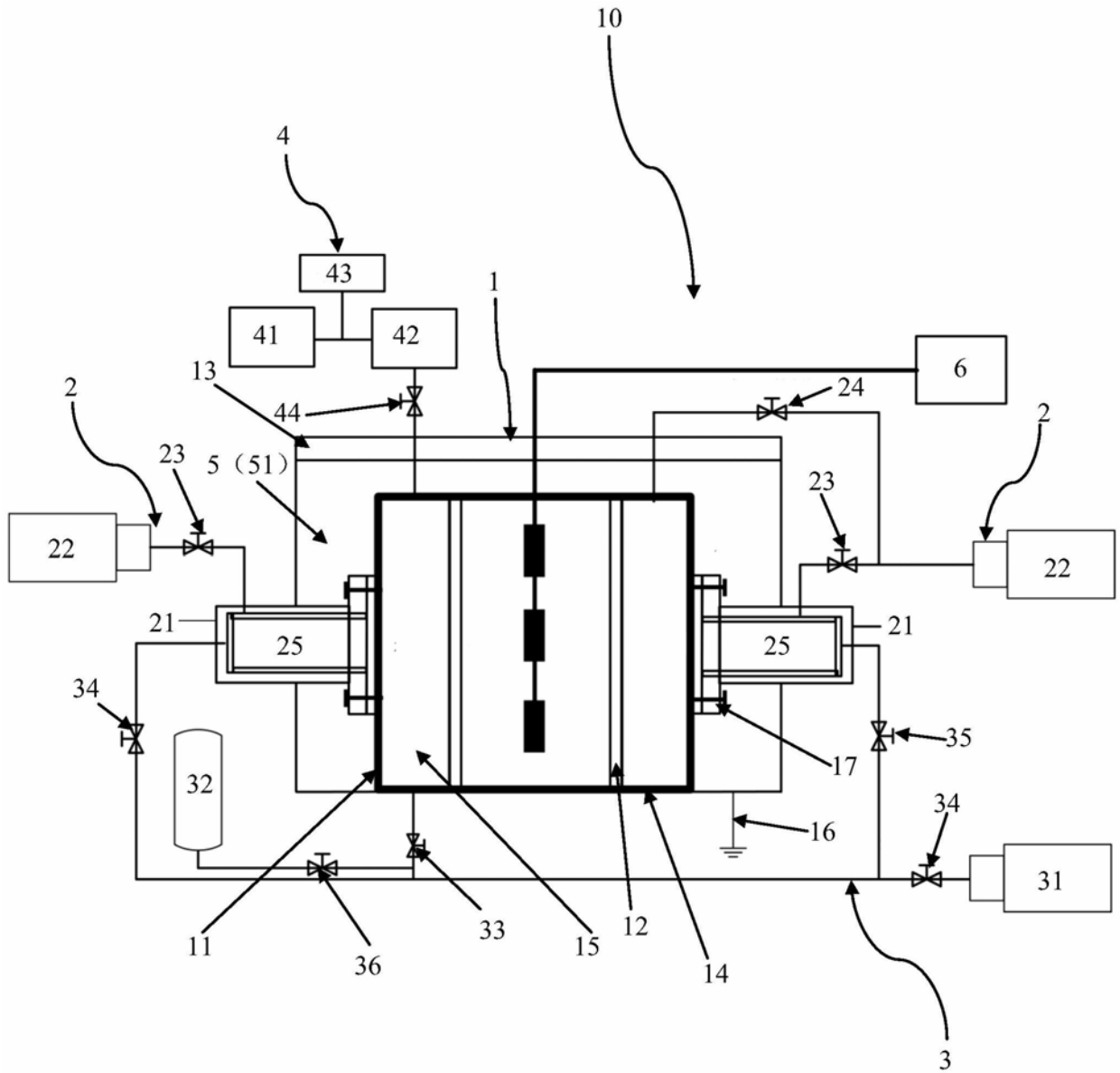


图1

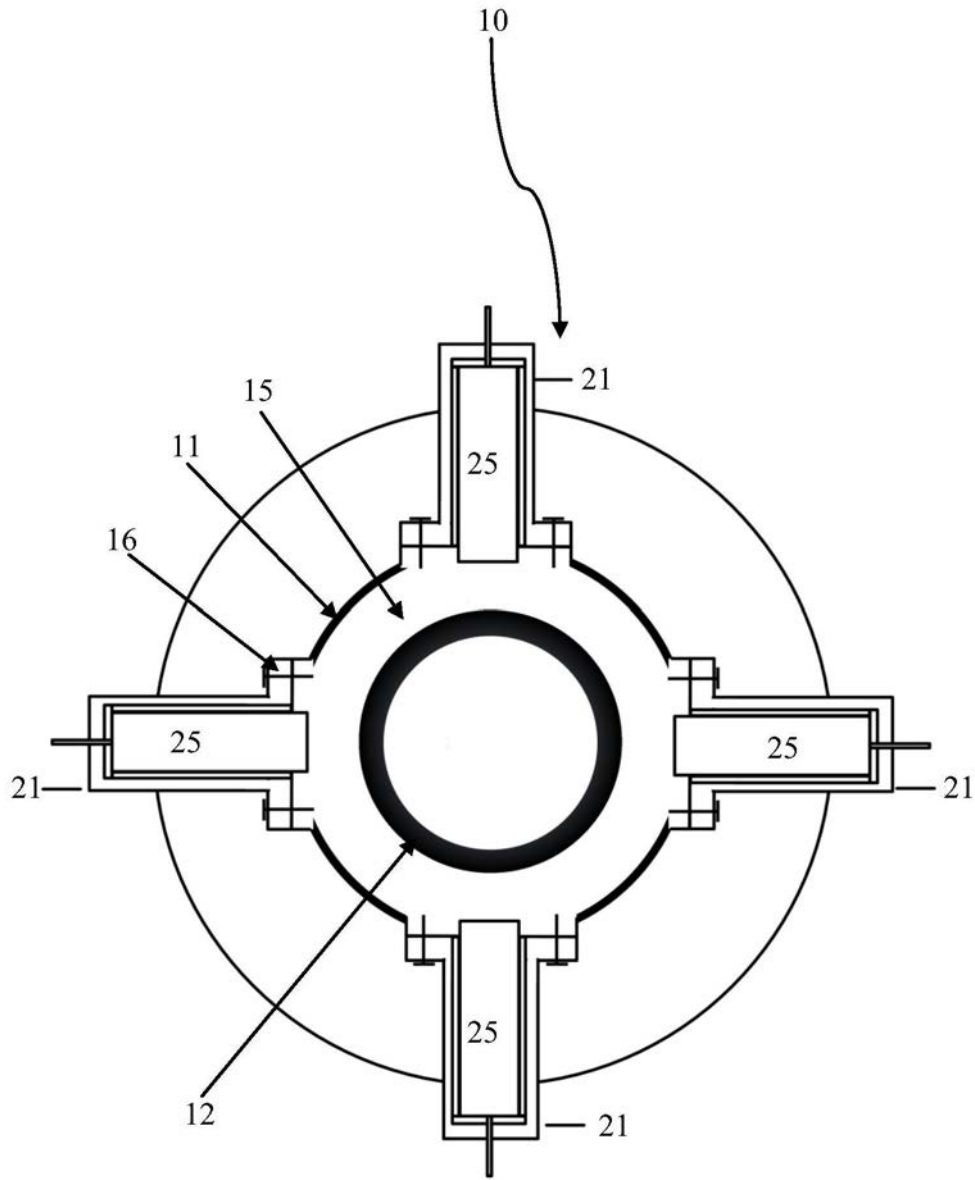


图2