



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104675395 A

(43) 申请公布日 2015.06.03

(21) 申请号 201510077077.3

(22) 申请日 2015.02.12

(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 卢运虎 陈勉 董京楠 金衍

刘铭 侯冰 杜晓雨

(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 郭平平

(51) Int. Cl.

E21B 49/00(2006.01)

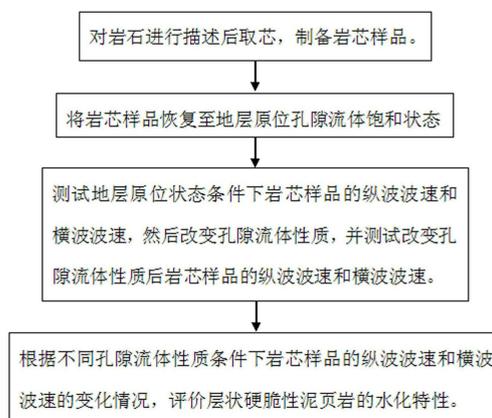
权利要求书2页 说明书7页 附图2页

(54) 发明名称

一种层状硬脆性泥页岩水化特性的评价方法

(57) 摘要

本发明公开了一种层状硬脆性泥页岩水化特性的评价方法,其按照先后顺序包括以下步骤:对岩石进行描述后取芯,制备岩芯样品;将岩芯样品恢复至地层原位孔隙流体饱和状态;测试地层原位状态条件下岩芯样品的纵波波速和横波波速,然后改变孔隙流体性质,并测试改变孔隙流体性质后岩芯样品的纵波波速和横波波速;根据不同孔隙流体性质条件下岩芯样品的纵波波速和横波波速的变化情况,评价层状硬脆性泥页岩的水化特性。本发明的评价方法简单易懂、操作便捷,能够定量评价岩石的水化特性,为钻遇层状硬脆性泥页岩时的井壁稳定控制提供科学依据,进而更好的防止井壁失稳,阻止井下复杂情况的发生。



1. 一种层状硬脆性泥页岩水化特性的评价方法,其按照先后顺序包括以下步骤:  
步骤一:对岩石进行描述后取芯,制备岩芯样品;  
步骤二:将岩芯样品恢复至地层原位孔隙流体饱和状态;  
步骤三:测试地层原位状态条件下岩芯样品的纵波波速和横波波速,然后改变孔隙流体性质,并测试改变孔隙流体性质后岩芯样品的纵波波速和横波波速;  
步骤四:根据不同孔隙流体性质条件下岩芯样品的纵波波速和横波波速的变化情况,评价层状硬脆性泥页岩的水化特性。
2. 如权利要求 1 所述的层状硬脆性泥页岩水化特性的评价方法,其特征在于:所述步骤一中,岩石存在节理和层理。
3. 如权利要求 1 所述的层状硬脆性泥页岩水化特性的评价方法,其特征在于:所述步骤一中,岩芯样品的形状为圆柱形,其长度为直径的 2-3 倍。
4. 如权利要求 3 所述的层状硬脆性泥页岩水化特性的评价方法,其特征在于:所述岩芯样品的直径至少为岩石中最大颗粒直径的 20 倍。
5. 如权利要求 3 所述的层状硬脆性泥页岩水化特性的评价方法,其特征在于:在岩芯样品的底部、中部、上部分别测量两条相互垂直的直径,将测量结果取平均值,即为岩芯样品的最终直径。
6. 如权利要求 1 所述的层状硬脆性泥页岩水化特性的评价方法,其特征在于:所述步骤二中,将岩芯样品恢复至地层原位孔隙流体饱和状态的方法为,配制与地层原位状态孔隙流体具有相同性质的盐溶液,将岩芯样品抽真空后浸泡于已配制好的盐溶液中,对盐溶液施加一定饱和压力以饱和岩芯样品。
7. 如权利要求 6 所述的层状硬脆性泥页岩水化特性的评价方法,其特征在于:所述盐溶液为氯化钾、氯化钠、氯化钙、硝酸钾中的任一种。
8. 如权利要求 6 所述的层状硬脆性泥页岩水化特性的评价方法,其特征在于:对盐溶液施加的饱和压力不大于地层原位状态地应力。
9. 如权利要求 1 所述的层状硬脆性泥页岩水化特性的评价方法,其特征在于:所述步骤三中,利用层状硬脆性泥页岩水化特性的评价装置测试岩芯样品的纵波波速和横波波速。
10. 如权利要求 9 所述的层状硬脆性泥页岩水化特性的评价方法,其特征在于:利用层状硬脆性泥页岩水化特性的评价装置测试岩芯样品的纵波波速和横波波速,按照先后顺序包括以下步骤:  
步骤一:将恢复至地层原位孔隙流体饱和状态的岩芯样品放置于上压头与下压头之间;  
步骤二:通过围压增压器向围压筒内注入围压油,施加的围压与地层原位状态地应力相同;  
步骤三:将岩芯样品和围压油升温至地层原位状态温度;  
步骤四:将轴向加载装置向下压,压到与上压头预接触的状态;  
步骤五:开启声波测试系统,测试地层原位状态条件下岩芯样品的纵波波速和横波波速;  
步骤六:通过孔压化学流体驱替系统将不同性质的孔隙流体注入岩芯样品中,并驱替

之前注入的地层原位状态孔隙流体,施加的孔隙压力与地层原位状态孔隙压力相同;

步骤七:开启声波测试系统,测试改变孔隙流体性质后岩芯样品的纵波波速和横波波速;

步骤八:更换岩芯样品,重复步骤一至步骤七,至少重复进行两次试验。

## 一种层状硬脆性泥页岩水化特性的评价方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于油气钻探工程技术领域,涉及泥页岩水化特性的评价方法,尤其涉及一种层状硬脆性泥页岩水化特性的评价方法。

### 背景技术

[0002] 近年来,钻井过程中钻遇层状硬脆性泥页岩时遇到的井壁稳定问题一直是困扰油气钻探工程的一大难题。层状硬脆性泥页岩的层理发育异常、膨胀性粘土含量较高,容易导致钻井过程中出现严重的井壁失稳现象,例如井筒缩径、井壁垮塌、钻井液漏失和储层损害等问题。因此,对层状硬脆性泥页岩水化特性进行评价具有重要的经济意义和社会意义。

[0003] 目前,对膨胀性岩石膨胀特性的评价方法通常是采用膨胀仪进行测试的方法,即用粉碎机将岩芯破碎成粉末,再用一定目数的筛网进行过滤,将小于一定粒径的岩粉用岩芯压实器压制成人造岩芯,然后将人造岩芯放入膨胀仪中进行测试。由于岩芯被粉碎,破坏了原始岩芯中存在的微裂缝,因此这种方法忽略了原始岩石中微裂缝遇水膨胀的情况,无法真实还原岩石的膨胀状态。尤其是海相沉积页岩中存在笔石的微裂缝,其裂缝宽度极小,肉眼难以观测,但是这些微裂缝却存在着严重遇水膨胀的情况。另外,在评价层状硬脆性泥页岩水化特性的过程中,目前还没有合理的评价装置,从而导致评价结果不准确,误差较大,而且成本较高。因此,急需开发一种层状硬脆性泥页岩水化特性的评价方法和评价装置,以定量评价岩石的水化特性,同时也能够真实有效的反映岩石的水化特性,更好的防止井壁失稳,阻止井下复杂情况的发生。

### 发明内容

[0004] 为解决现有技术中存在的问题,本发明提供一种层状硬脆性泥页岩水化特性的评价方法,其按照先后顺序包括以下步骤:

[0005] 步骤一:对岩石进行描述后取芯,制备岩芯样品;

[0006] 步骤二:将岩芯样品恢复至地层原位孔隙流体饱和状态;

[0007] 步骤三:测试地层原位状态条件下岩芯样品的纵波波速和横波波速,然后改变孔隙流体性质,并测试改变孔隙流体性质后岩芯样品的纵波波速和横波波速;

[0008] 步骤四:根据不同孔隙流体性质条件下岩芯样品的纵波波速和横波波速的变化情况,评价层状硬脆性泥页岩的水化特性。

[0009] 优选的是,所述步骤一中,岩石存在节理和层理。

[0010] 对岩石节理和层理的描述,在取芯工作开始前进行,即针对原始较大尺寸的岩石进行描述,以便更好的观测岩石节理和层理的存在形式。局部节理组数可根据下述情况进行描述:大量随机出现的节理、一组节理、一组节理+随机节理、两组节理、两组节理+随机节理、三组节理、三组节理+随机节理、四组甚至更多节理组、如同土壤一般的破碎岩石。局部层理组数可根据上述情况进行描述。个别主要的节理或者层理,需要专门记录和描述。根据井下岩石的实地情况,记录每组节理或者层理的倾向和倾角。

[0011] 在上述任一方案中优选的是,所述步骤一中,岩芯样品的形状为圆柱形,其长度为直径的 2-3 倍。

[0012] 在上述任一方案中优选的是,所述岩芯样品的直径至少为岩石中最大颗粒直径的 20 倍。

[0013] 圆柱形岩芯样品的最优选直径为 25mm。岩芯样品的上、下端面应保持平整,平整度(波浪面的波峰与波谷之间的垂直距离)不大于 0.01mm;岩芯样品纵轴偏移轴向中心不超过 0.001rad,或者偏移量在 0.05/500mm 以内;岩芯样品的侧面应保持光滑笔直,直线度(圆柱形的最大直径与最小直径之间的差值)不大于 0.3mm。

[0014] 在上述任一方案中优选的是,在岩芯样品的底部、中部、上部分别测量两条相互垂直的直径,将测量结果取平均值,即为岩芯样品的最终直径。所述两条相互垂直的直径,其二者的测量值相差不应超过 0.1mm。至少制备三块岩芯样品,进行三次评价试验,以确保测试结果和评价结果的准确性。

[0015] 在上述任一方案中优选的是,所述步骤二中,将岩芯样品恢复至地层原位孔隙流体饱和状态的方法为,配制与地层原位状态孔隙流体具有相同性质的盐溶液,将岩芯样品抽真空后浸泡于已配制好的盐溶液中,对盐溶液施加一定饱和压力以饱和岩芯样品。在评价水化特性前,需要将岩芯样品用与地层原位状态流体具有相同活度的盐溶液饱和,以恢复到地层原位孔隙流体状态,使测试结果能够反映出地层的真实状态。

[0016] 在上述任一方案中优选的是,所述盐溶液为氯化钾、氯化钠、氯化钙、硝酸钾中的任一种。

[0017] 在上述任一方案中优选的是,对盐溶液施加的饱和压力不大于地层原位状态地应力。

[0018] 在上述任一方案中优选的是,对盐溶液施加的饱和压力为地层原位状态地应力的 0.5 倍。

[0019] 在上述任一方案中优选的是,所述岩芯样品抽真空的时间为 6 小时。

[0020] 在上述任一方案中优选的是,所述岩芯样品饱和的时间为 24 小时。

[0021] 在上述任一方案中优选的是,所述步骤三中,地层原位状态条件包括地层原位状态温度、地层原位状态围压、地层原位状态孔隙压力、地层原位状态孔隙流体性质。

[0022] 在上述任一方案中优选的是,所述孔隙流体性质为孔隙流体活度。

[0023] 在上述任一方案中优选的是,所述步骤三中,利用层状硬脆性泥页岩水化特性的评价装置测试岩芯样品的纵波波速和横波波速。

[0024] 在上述任一方案中优选的是,所述层状硬脆性泥页岩水化特性的评价装置包括高温高压三轴伺服压机系统、孔压化学流体驱替系统和声波测试系统。

[0025] 高温高压三轴伺服压机系统主要用于夹持岩芯样品,并对其施加围压和温度,使岩芯样品恢复到地层原位状态;声波测试系统集成于高温高压三轴伺服压机系统的上压头和下压头上,用于测量纵波和横波在岩芯样品不同状态下的传播速度;孔压化学流体驱替系统能够从孔压化学流体驱替净化装置的一端将化学流体注入岩芯样品中,并将岩芯样品饱和后与其另一端连通,使化学流体在一定孔隙压力下在岩芯样品中以一定流量循环。层状硬脆性泥页岩水化特性的评价装置综合了上述三个系统的特点和优势,能够将岩芯样品恢复到地层原位状态(高温高压的三轴应力状态),并通过测量此时由化学流体注入饱和

的岩芯样品的声波时速特性来评价岩石的水化特性,为设计层状硬脆性泥页岩水化特性的评价方法提供了装置基础。

[0026] 在上述任一方案中优选的是,所述高温高压三轴伺服压机系统与孔压化学流体驱替系统和声波测试系统相连。

[0027] 在上述任一方案中优选的是,所述高温高压三轴伺服压机系统包括轴向加载装置、加载框架、三轴压力室、上压头、下压头、围压增压器和围压筒。

[0028] 在上述任一方案中优选的是,所述加载框架的底部设置底座,所述围压筒置于所述底座的上方,所述围压筒的下端设置密封底座,所述下压头置于所述密封底座的上方,所述上压头置于所述轴向加载装置的下方。密封底座对围压筒起到密封的作用。

[0029] 在上述任一方案中优选的是,所述轴向加载装置的下端置于所述三轴压力室内。

[0030] 在上述任一方案中优选的是,所述围压增压器通过围压油管线与所述围压筒相连。

[0031] 在上述任一方案中优选的是,将岩芯样品置于上压头与下压头之间。

[0032] 在上述任一方案中优选的是,所述孔压化学流体驱替系统包括孔压化学流体驱替净化装置、孔隙流体管线 I 和孔隙流体管线 II。

[0033] 在上述任一方案中优选的是,所述孔隙流体管线 I 的一端与岩芯样品的上端相连,另一端与所述孔压化学流体驱替净化装置的一端相连。

[0034] 在上述任一方案中优选的是,所述孔隙流体管线 II 的一端与岩芯样品的下端相连,另一端与所述孔压化学流体驱替净化装置的另一端相连。

[0035] 在上述任一方案中优选的是,所述声波测试系统包括声波探头 I 和声波探头 II。

[0036] 在上述任一方案中优选的是,所述声波探头 I 与上压头相连,所述声波探头 II 与下压头相连。声波探头 I 和声波探头 II 与上压头和下压头可通过焊接的方式相连。

[0037] 在上述任一方案中优选的是,利用层状硬脆性泥页岩水化特性的评价装置测试岩芯样品的纵波波速和横波波速,按照先后顺序包括以下步骤:

[0038] (1) 将恢复至地层原位孔隙流体饱和状态的岩芯样品放置于上压头与下压头之间。可按照常用的操作规程放置岩芯样品。

[0039] (2) 通过围压增压器向围压筒内注入围压油,施加的围压与地层原位状态地应力相同。围压油可选用硅油。

[0040] (3) 将岩芯样品和围压油升温至地层原位状态温度。

[0041] (4) 将轴向加载装置向下压,压到与上压头预接触的状态。这里的预接触的状态可解释为,轴向加载装置对上压头所施加的轴压不大于岩石单轴抗拉强度的 1/10。更为优选的轴压为 1.0-3.0MPa。

[0042] (5) 开启声波测试系统,测试地层原位状态条件下岩芯样品的纵波波速  $V_{p0}$  和横波波速  $V_{s0}$ 。

[0043] (6) 通过孔压化学流体驱替系统将不同性质的孔隙流体注入岩芯样品中,并驱替之前注入的地层原位状态孔隙流体,施加的孔隙压力与地层原位状态孔隙压力相同。孔隙流体完全注入岩芯样品的标准为,伺服控制时,保持孔隙压力不变的情况下,孔压活塞的位移不随时间改变而变化。

[0044] (7) 开启声波测试系统,测试改变孔隙流体性质后岩芯样品的纵波波速  $V_{p1}$  和横波

波速  $V_{S1}$ 。

[0045] (8) 更换岩芯样品,重复步骤(1)至步骤(7),至少重复进行两次试验。对相同位置的岩芯样品在每种孔隙流体饱和的水化试验进行三次,以确保试验的可重复性和准确性。

[0046] 在上述任一方案中优选的是,所述不同性质的孔隙流体为氯化钾、氯化钠、氯化钙、硝酸钾中的任一种。

[0047] 在上述任一方案中优选的是,所述步骤四中,将测试结果取平均值,并计算衰减百分比,通过衰减百分比评价层状硬脆性泥页岩的水化特性。

[0048] 本发明的层状硬脆性泥页岩水化特性的评价方法,基于声波测试系统评价经过不同孔隙流体浸透的层状硬脆性泥页岩在地层原位状态的水化程度。该评价方法简单易懂、操作便捷、测试结果准确、重复性高,能够定量评价岩石的水化特性,为钻遇层状硬脆性泥页岩时的井壁稳定控制提供科学依据,进而更好的防止井壁失稳,阻止井下复杂情况的发生。

[0049] 用于该评价方法的层状硬脆性泥页岩水化特性的评价装置,能够施加三轴压力,即轴压、围压和孔隙压力,可施加的最大围压为 120MPa,可施加的最大孔隙压力为 120MPa,能够升高温度达到 160℃,以确保能够将层状硬脆性泥页岩恢复至地层原位状态。该评价装置能够测试在不同的温度、围压、孔隙压力和孔隙流体饱和状态下岩芯的声波时速,并结合试验所记录的声波时速在不同孔隙流体饱和状态下的变化情况,对层状硬脆性泥页岩的水化特性进行评价。

## 附图说明

[0050] 图 1 为按照本发明层状硬脆性泥页岩水化特性的评价方法的一优选实施例流程图;

[0051] 图 2 为按照本发明层状硬脆性泥页岩水化特性的评价方法的图 1 所示实施例的不同孔隙流体性质下岩芯样品的纵波波速对比图;

[0052] 图 3 为按照本发明层状硬脆性泥页岩水化特性的评价方法的图 1 所示实施例的不同孔隙流体性质下岩芯样品的横波波速对比图;

[0053] 图 4 为按照本发明层状硬脆性泥页岩水化特性的评价方法的图 1 所示实施例的层状硬脆性泥页岩水化特性的评价装置结构图。

[0054] 图中标注说明:1-底座,2-密封底座,3-轴向加载装置,4-加载框架,5-三轴压力室,6-上压头,7-下压头,8-围压增压器,9-围压筒,10-围压油管线,11-岩心样品,12-孔压化学流体驱替净化装置,13-孔隙流体管线 I,14-孔隙流体管线 II,15-声波探头 I,16-声波探头 II。

## 具体实施方式

[0055] 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。

[0056] 实施例一:

[0057] 如图 1 所示,一种层状硬脆性泥页岩水化特性的评价方法,其按照先后顺序包括以下步骤:

[0058] 步骤一:对岩石进行描述后取芯,制备岩芯样品;

[0059] 步骤二:将岩芯样品恢复至地层原位孔隙流体饱和状态;

[0060] 步骤三:测试地层原位状态条件下岩芯样品的纵波波速和横波波速,然后改变孔隙流体性质,并测试改变孔隙流体性质后岩芯样品的纵波波速和横波波速;

[0061] 步骤四:根据不同孔隙流体性质条件下岩芯样品的纵波波速和横波波速的变化情况,评价层状硬脆性泥页岩的水化特性。

[0062] 步骤一中,岩石存在一组节理,节理面与水平面的倾角为 $0^{\circ}$ 。使用标准取芯机钻取岩芯样品,岩芯样品的两端需打磨处理。取芯方向垂直于节理方向。本实施例中,钻取三块岩芯样品。岩芯样品的形状为圆柱形,长度为直径的2倍。打磨处理后,直径为25mm,长度为50mm。岩芯样品的直径为岩石中最大颗粒直径的20倍。在每块岩芯样品的底部、中部、上部分别测量两条相互垂直的直径,将测量结果取平均值,即为岩芯样品的最终直径。

[0063] 步骤二中,将岩芯样品恢复至地层原位孔隙流体饱和状态的方法为,配制与地层原位状态孔隙流体具有相同性质的氯化钾溶液,将岩芯样品抽真空后浸泡于已配制好的氯化钾溶液中,对氯化钾溶液施加一定饱和压力以饱和岩芯样品。对氯化钾溶液施加的饱和压力为地层原位状态地应力的0.5倍。岩芯样品抽真空的时间为6小时。岩芯样品饱和的时间为24小时。

[0064] 步骤三中,地层原位状态条件包括地层原位状态温度、地层原位状态围压、地层原位状态孔隙压力、地层原位状态孔隙流体性质。孔隙流体性质为孔隙流体活度。利用层状硬脆性泥页岩水化特性的评价装置测试岩芯样品的纵波波速和横波波速,按照先后顺序包括以下步骤:

[0065] (1) 将恢复至地层原位孔隙流体饱和状态的岩芯样品放置于上压头与下压头之间。按照常用的操作规程放置岩芯样品。

[0066] (2) 通过围压增压器向围压筒内注入围压油,施加的围压与地层原位状态地应力相同。本实施例中,所用围压油选用硅油,施加围压至25MPa。

[0067] (3) 将岩芯样品和围压油升温至地层原位状态温度。本实施例中,温度升高至 $50^{\circ}\text{C}$ 。

[0068] (4) 将轴向加载装置向下压,压到与上压头预接触的状态。本实施例中,轴向加载装置对上压头所施加的轴压为1.0MPa。

[0069] (5) 开启声波测试系统,测试地层原位状态条件下岩芯样品的纵波波速 $V_{p0}$ 和横波波速 $V_{s0}$ 。

[0070] (6) 通过孔压化学流体驱替系统将质量分数为1%的氯化钙溶液注入岩芯样品中,并驱替之前注入的氯化钾溶液,施加的孔隙压力与地层原位状态孔隙压力相同,为5.0MPa。孔隙流体完全注入岩芯样品的标准为,伺服控制时,保持孔隙压力不变的情况下,孔压活塞的位移不随时间改变而变化。

[0071] (7) 开启声波测试系统,测试改变孔隙流体性质后岩芯样品的纵波波速 $V_{p1}$ 和横波波速 $V_{s1}$ 。

[0072] (8) 更换岩芯样品,重复步骤(1)至步骤(7),进行重复性试验。本实施例中,重复进行两次试验。

[0073] 步骤四中,将测试结果取平均值,并计算衰减百分比,通过衰减百分比评价层状硬脆性泥页岩的水化特性。本实施例中,测试结果如表1.1所示,不同孔隙流体性质下岩芯样

品的纵波波速对比和横波波速对比分别如图 2 和图 3 所示。

[0074] 表 1.1 不同孔隙流体性质下岩芯样品的纵横波波速和衰减百分比

[0075]

纵横波类型	孔隙流体饱和方式	岩芯样品的波速 (m/s)			平均波速 (m/s)	衰减百分比 (%)
		3#岩芯	2#岩芯	1#岩芯		
纵波 $V_P$	氯化钾饱和	4810.5	4873.0	4847.6	4843.7	3.35
	氯化钙饱和	4621.9	4700.6	4721.3	4681.3	
横波 $V_S$	氯化钾饱和	2933.4	2904.1	2899.3	2912.3	4.05
	氯化钙饱和	2760.1	2801.6	2822.1	2794.4	

[0076] 如图 4 所示,本实施例中层状硬脆性泥页岩水化特性的评价装置包括高温高压三轴伺服压机系统、孔压化学流体驱替系统和声波测试系统。所述高温高压三轴伺服压机系统与孔压化学流体驱替系统和声波测试系统相连。

[0077] 所述高温高压三轴伺服压机系统包括轴向加载装置 3、加载框架 4、三轴压力室 5、上压头 6、下压头 7、围压增压器 8 和围压筒 9。所述加载框架 4 的底部设置底座 1,所述围压筒 9 置于底座 1 的上方,围压筒 9 的下端设置密封底座 2,所述下压头 7 置于密封底座 2 的上方,所述上压头 6 置于轴向加载装置 3 的下方。所述轴向加载装置 3 的下端置于三轴压力室 5 内。所述围压增压器 8 通过围压油管线 10 与围压筒 9 相连。将岩芯样品 11 置于上压头 6 与下压头 7 之间。

[0078] 所述孔压化学流体驱替系统包括孔压化学流体驱替净化装置 12、孔隙流体管线 I13 和孔隙流体管线 II14。所述孔隙流体管线 I13 的一端与岩芯样品 11 的上端相连,另一端与孔压化学流体驱替净化装置 12 的一端相连。所述孔隙流体管线 II14 的一端与岩芯样品 11 的下端相连,另一端与孔压化学流体驱替净化装置 12 的另一端相连。

[0079] 所述声波测试系统包括声波探头 I15 和声波探头 II16。所述声波探头 I15 与上压头 6 相连,所述声波探头 II16 与下压头 7 相连。

[0080] 实施例二：

[0081] 一种层状硬脆性泥页岩水化特性的评价方法,其步骤、原理、采用的评价装置和有益效果等与实施例一相同,不同的是：

[0082] 步骤一中,钻取三块岩芯样品。岩芯样品的形状为圆柱形,长度为直径的 3 倍。打磨处理后,直径为 25mm,长度为 75mm。岩芯样品的直径为岩石中最大颗粒直径的 20 倍。在每块岩芯样品的底部、中部、上部分别测量两条相互垂直的直径,将测量结果取平均值,即为岩芯样品的最终直径。

[0083] 步骤二中,将岩芯样品恢复至地层原位孔隙流体饱和状态的方法为,配制与地层原位状态孔隙流体具有相同性质的氯化钾溶液,将岩芯样品抽真空后浸泡于已配制好的氯化钾溶液中,对氯化钾溶液施加一定饱和压力以饱和岩芯样品。对氯化钾溶液施加的饱和压力为地层原位状态地应力的 0.5 倍。岩芯样品抽真空的时间为 6 小时。岩芯样品饱和的时间为 24 小时。

[0084] 步骤三中,地层原位状态条件包括地层原位状态温度、地层原位状态围压、地层原位状态孔隙压力、地层原位状态孔隙流体性质。孔隙流体性质为孔隙流体活度。利用层状硬脆性泥页岩水化特性的评价装置测试岩芯样品的纵波波速和横波波速,按照先后顺序包

括以下步骤：

[0085] (1) 将恢复至地层原位孔隙流体饱和状态的岩芯样品放置于上压头与下压头之间。按照常用的操作规程放置岩芯样品。

[0086] (2) 通过围压增压器向围压筒内注入围压油，施加的围压与地层原位状态地应力相同。本实施例中，所用围压油选用硅油，施加围压至 30MPa。

[0087] (3) 将岩芯样品和围压油升温至地层原位状态温度。本实施例中，温度升高至 55℃。

[0088] (4) 将轴向加载装置向下压，压到与上压头预接触的状态。本实施例中，轴向加载装置对上压头所施加的轴压为 3.0MPa。

[0089] (5) 开启声波测试系统，测试地层原位状态条件下岩芯样品的纵波波速  $V_{p0}$  和横波波速  $V_{s0}$ 。

[0090] (6) 通过孔压化学流体驱替系统将质量分数为 1% 的氯化钠溶液注入岩芯样品中，并驱替之前注入的氯化钾溶液，施加的孔隙压力与地层原位状态孔隙压力相同，为 10MPa。

[0091] (7) 开启声波测试系统，测试改变孔隙流体性质后岩芯样品的纵波波速  $V_{p1}$  和横波波速  $V_{s1}$ 。

[0092] (8) 更换岩芯样品，重复步骤 (1) 至步骤 (7)，进行重复性试验。本实施例中，重复进行两次试验。

[0093] 步骤四中，将测试结果取平均值，并计算衰减百分比，通过衰减百分比评价层状硬脆性泥页岩的水化特性。本实施例的测试结果如表 2.1 所示。

[0094] 表 2.1 不同孔隙流体性质下岩芯样品的纵横波波速和衰减百分比

[0095]

纵横波类型	孔隙流体饱和方式	岩芯样品的波速 (m/s)			平均波速 (m/s)	衰减百分比 (%)
		3#岩芯	2#岩芯	1#岩芯		
纵波 $V_P$	氯化钾饱和	4810.5	4873.0	4847.6	4843.7	5.27
	氯化钠饱和	4533.1	4610.4	4621.8	4588.4	
横波 $V_S$	氯化钾饱和	2933.4	2904.1	2899.3	2912.3	7.31
	氯化钠饱和	2665.9	2710.4	2722.1	2699.5	

[0096] 本领域技术人员不难理解，本发明的层状硬脆性泥页岩水化特性的评价方法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。

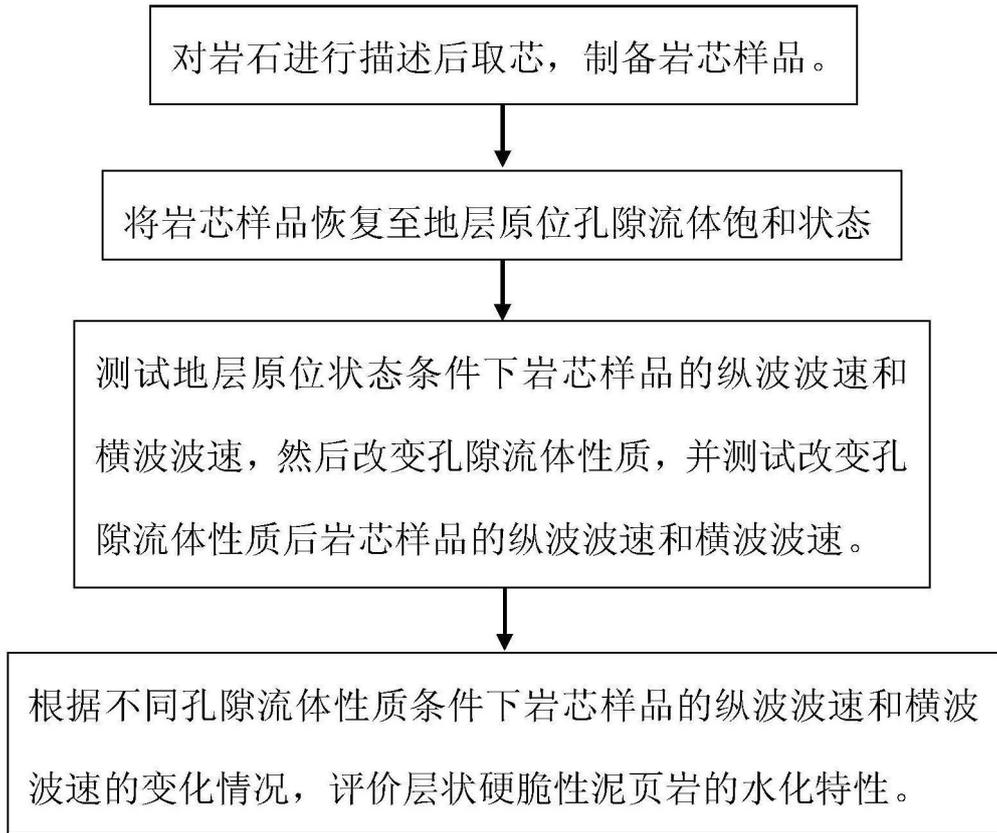


图 1

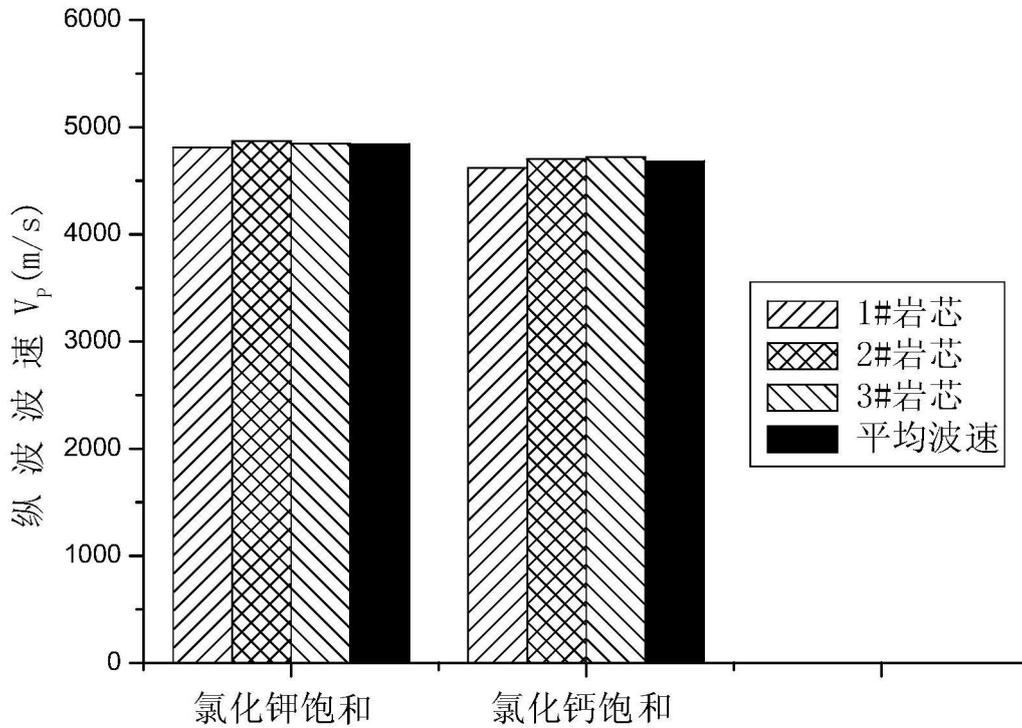


图 2

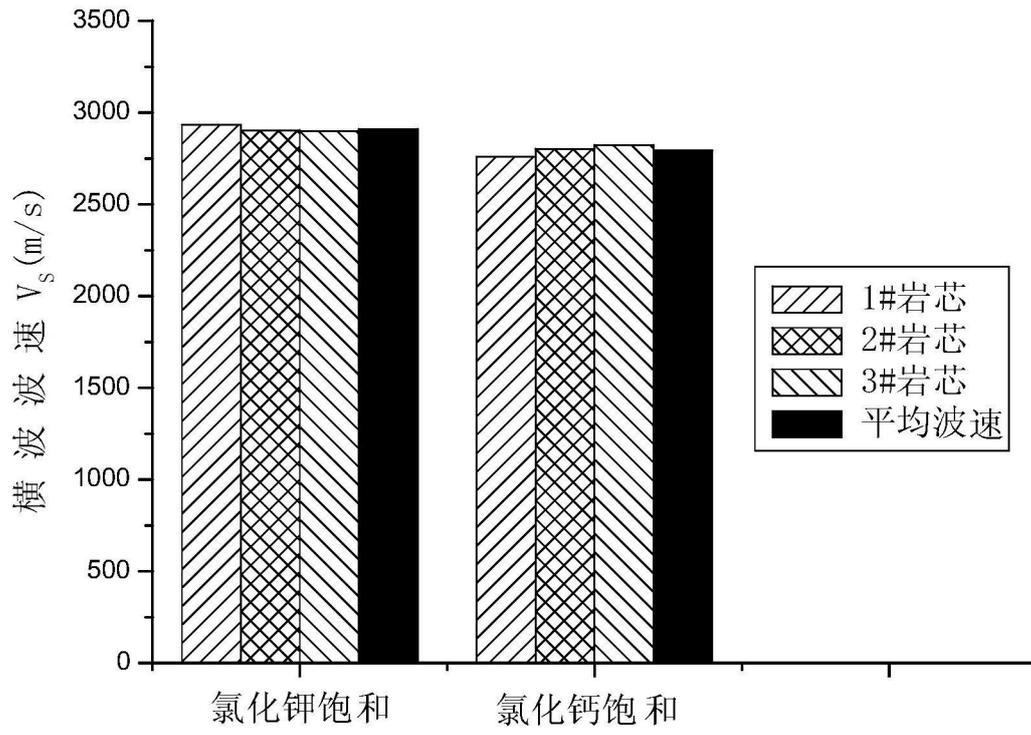


图 3

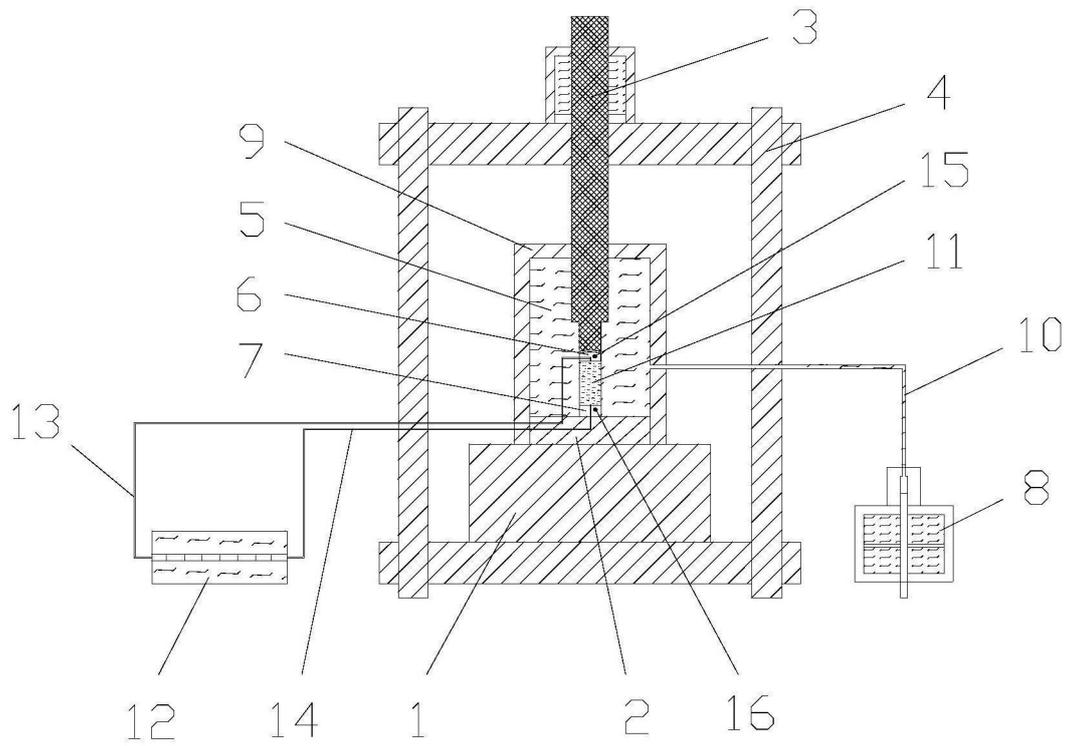


图 4