



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106525889 B

(45)授权公告日 2019.02.22

(21)申请号 201610972239.4

审查员 沈晓霞

(22)申请日 2016.11.03

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106525889 A

(43)申请公布日 2017.03.22

(73)专利权人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72)发明人 杨柳 张旭辉 赵京 鲁晓兵

刘海娇 刘庆杰 张祖波 贾宁洪

(74)专利代理机构 北京和信华成知识产权代理

事务所(普通合伙) 11390

代理人 胡剑辉

(51)Int.Cl.

G01N 24/08(2006.01)

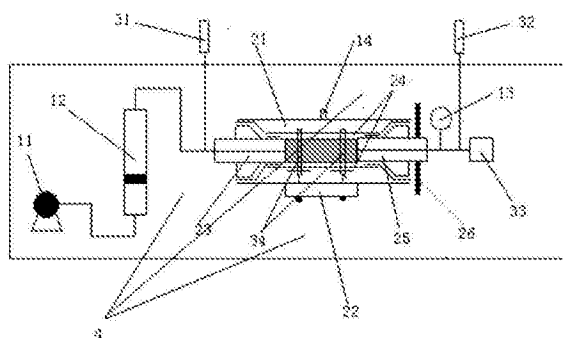
权利要求书3页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种模拟致密油衰竭式开采过程中孔径变化的实验装置及方法

(57)摘要

本发明公开了一种模拟致密油衰竭式开采过程中岩心孔径变化状态的装置及方法,它包括:岩心压力加载单元(1)、岩心夹持器(2)、岩心数据采集单元(3)、核磁共振仪(4)。本发明通过将致密油岩心置于原始三轴应力条件下,基于核磁共振仪和径向位移传感器联合评价改变有效应力引起的孔径变化,实现了基于联合径向位移测试和核磁共振测试的结果分析的孔径变化测量,具有测量准确性高、代表性强、可操作性强、适合推广应用等特点,对提高致密油衰竭式开采水平和出油率具有重要的现实意义。



1. 一种模拟致密油衰竭式开采过程中岩心孔径变化状态的装置,其特征在于,它包括:岩心压力加载单元(1)、岩心夹持器(2)、岩心数据采集单元(3)、核磁共振仪(4);

所述岩心压力加载单元(1)用于模拟致密油衰竭式开采过程中岩心承受的压力,包括:ISCO泵(11)、左侧工作液活塞容器(12)、右侧回压阀(13)、围压阀(14);所述岩心夹持器(2)用于夹紧固定岩心,包括:岩心夹持器壳体(21)、岩心夹持器密封盖(22)、岩心夹持器左旋紧堵头(23)、岩心夹持器橡胶管(24)、岩心夹持器右旋紧堵头(25)、手动旋转加压手柄(26);

所述ISCO泵(11)用于以40MPa以下压力推动所述左侧工作液活塞容器(12)中的活塞;所述左侧工作液活塞容器(12)用于泵注中性煤油以通过岩心夹持器左旋紧堵头(23)内管向岩心施加40MPa以下的驱替压力;所述右侧回压阀(13)用于通过岩心夹持器右旋紧堵头(25)内管向岩心施加30MPa以下的轴向压力;所述围压阀(14)用于向岩心夹持器壳体(21)内施加50MPa以下的压力,在所述岩心夹持器橡胶管(24)周围形成50MPa以下的压力,使所述岩心夹持器橡胶管(24)能够以50MPa以下的压力夹紧岩心,阻止中性煤油沿着岩心与岩心夹持器橡胶管(24)的间隙流动;

所述岩心数据采集单元(3)包括:泵注压力传感器(31)、回压压力传感器(32)、流量监测器(33)、径向位移传感器(34);所述泵注压力传感器(31)用于测量显示所述左侧工作液活塞容器(12)加载在岩心上的压力;所述回压压力传感器(32)用于测量显示所述右侧回压阀(13)加载在岩心上的压力;所述流量监测器(33)用于接收和测量从岩心流出的液体流量;

所述岩心夹持器壳体(21)内部为空腔结构,所述岩心夹持器橡胶管(24)位于空腔内部,当通过所述围压阀(14)向所述岩心夹持器壳体(21)内部泵入水以加载压力时,所述岩心夹持器壳体(21)与所述岩心夹持器橡胶管(24)受压后,形成密闭状态;所述岩心夹持器密封盖(22)用于封闭所述岩心夹持器壳体(21)内部空腔,同时便于在空腔内部安装或拆除所述径向位移传感器(34);所述岩心夹持器左旋紧堵头(23)用于封闭在所述岩心夹持器橡胶管(24)内的岩心,所述岩心夹持器左旋紧堵头(23)内管向岩心传递所述左侧工作液活塞容器(12)加载的煤油压力;所述岩心夹持器橡胶管(24)用于内置岩心,当所述岩心夹持器橡胶管(24)受到通过所述围压阀(14)加载的压力后,夹紧岩心;所述岩心夹持器右旋紧堵头(25)用于封闭在所述岩心夹持器橡胶管(24)内的岩心,所述岩心夹持器右旋紧堵头(25)内管向岩心传导所述右侧回压阀(13)加载的压力;所述手动旋转加压手柄(26)固接在所述岩心夹持器右旋紧堵头(25)上,旋转所述手动旋转加压手柄(26)可带动所述岩心夹持器右旋紧堵头(25)轴向移动,向岩心加载压力或降低岩心压力;

所述核磁共振仪(4)用于为所述岩心夹持器(2)提供核磁磁场,并测量岩心实验过程中T2谱的变化。

2. 一种致密油衰竭式开采过程中岩心孔径变化状态测量方法,它使用权利要求1所述的一种模拟致密油衰竭式开采过程中岩心孔径变化状态的装置,其特征在于:包括下列步骤:

A. 确定储层岩心孔隙流体压力、上覆岩层应力和水平地应力;

设:地层水密度为 ρ_w 、储层深度为 h 、重力加速度为 g 、地层密度为 ρ_s 、构造应力为 σ_s 、岩石泊松比为 ν ;

则:

孔隙流体压力 P_p 为:

$$P_p = \rho_w g h$$

上覆岩层压力 σ_v 为:

$$\sigma_v = \int_0^h \rho_s(h) g h d h$$

水平地应力 σ_h 为:

$$\sigma_h = \nu \sigma_v + \sigma_s$$

B. 测定橡皮管径向变形:

将2.5cm实心圆柱形钢制假岩心放入夹持器橡皮管内,将橡胶管围压加载至 $\sigma_v - P_p$,手动旋转手动旋转加压手柄,将轴向应力增至 $\sigma_h - P_p$,设定5个有效应力点,按照相同的大小,同步降低围压和轴压,测定橡皮管的径向变形量;

C. 恢复圆柱形岩心原始应力和孔隙压力:

设:圆柱形岩心半径为 R 、长度为 L 、孔隙度为 ϕ 、渗透率为 k 、表面弛豫率为 ρ ;

将致密油岩心抽真空饱和中性煤油,并将岩心放入夹持器橡皮管内,以逐步增压的方式调节驱动压力和回压,将岩心孔隙压力增加至储层原始孔隙流体压力,围压增至上覆岩层应力,轴压增至水平地应力;

D. 模拟致密油储层衰竭开采过程:

选择某一流速,进行中性煤油驱替,按照步骤A设定的5个有效应力点,依次减小出口回压,模拟衰竭开采过程中储层孔隙压力降低引起的储层应力敏感损害,记录渗透率、径向位移 ΔR 和核磁共振 T_2 谱变化;

E. 根据岩心径向位移 ΔR ,得到圆柱形岩心孔径变化 Δr ,即毛细管的径向位移;

设:圆柱形岩心内部毛管数为 n ,样品径向位移为 ΔR ,

则:圆柱形岩心径向尺寸减少 Δr ,引起的圆柱形岩心尺寸变化为:

$$[\pi R^2 - \pi (R - \Delta r)^2] \cdot L = \pi (2R \Delta R - \Delta R^2) L$$

毛细管孔径减小 Δr 引起的变化为:

$$\pi n (2r \Delta r - \Delta r^2) L$$

毛细管孔径的减小量为:

$$\Delta r = \frac{R \Delta R}{nr} = \frac{\pi R \Delta R \sqrt{8k\phi}}{\phi^2}$$

F. 根据岩心核磁共振 T_2 谱变化,得到圆柱形岩心孔径的变化 Δr ;

设:圆柱形岩心某一孔径处的核磁共振 T_2 谱谱面积变化 ΔA_r 、含水体积换算系数为 α ;

则:核磁共振 T_2 谱的谱面积 T_2 可以换算成圆柱形岩心孔径半径 r 为:

$$r = 2T_2\rho$$

上式可以看出:核磁共振 T_2 谱的谱面积则与含水量成正比;

则:圆柱形岩心某一孔径内部含水量变化 ΔV_r :

$$\Delta V_r = \alpha \Delta A_r$$

圆柱形岩心孔径减小量 Δr 为:

$$\Delta r = r - \sqrt{\frac{\Delta V_r}{\pi L}}$$

G: 对比步骤E和步骤F中的孔径变化 Δr , 得到分析致密油衰竭式开采过程中孔径变化的状态。

一种模拟致密油衰竭式开采过程中孔径变化的实验装置及方法

技术领域

[0001] 本发明属于石油开发技术领域,特别涉及一种模拟致密油衰竭式开采过程中孔径变化的实验装置及方法。

背景技术

[0002] 致密油是我国重要的油气资源,在致密油开采过程中,随着储层内部流体的产出,孔隙压力降低,导致岩石的有效应力增加,引起孔隙结构和孔隙体积的变化,出现孔隙体积的缩小、裂隙闭合等现象,这种变化直接降低了致密油在储层中的渗流,致使致密油井投入开采后,产量迅速递减,一年后产量可递减至大约2/3。分析应力引起的岩石孔径变化的传统方法是依据SY/T 5358-2010行业标准开展应力敏感实验。实验中保持孔隙压力不变,改变围压来模拟有效应力对渗透率的影响,进而间接分析岩石骨架颗粒的变形情况。但是,由于致密油储层发育微纳米孔隙,富含粘土,衰竭式开采引起的应力变化主要反映在孔径的收缩和粘土矿物的压实上。同时,常规室内测试前,也没有将岩石恢复到储层原始应力和孔隙流体压力条件下,且无法考虑地应力差对孔径变化的影响,因此测试结果的准确性、代表性还不够强。可见,依靠改变围压、测试渗透率变化的分析方法,已经不能模拟致密油衰竭式开采的物理过程。

发明内容

[0003] 本发明的目的是:提供一种模拟致密油衰竭式开采过程中孔径变化的实验装置及方法,实现基于联合径向位移测试和核磁共振测试的结果分析的孔径变化测量,进一步提高致密油衰竭式开采水平和出油率。

[0004] 本发明的技术方案是:一种模拟致密油衰竭式开采过程中岩心孔径变化状态的装置,它包括:岩心压力加载单元(1)、岩心夹持器(2)、岩心数据采集单元(3)、核磁共振仪(4);

[0005] 所述岩心压力加载单元(1)用于模拟致密油衰竭式开采过程中岩心承载的压力,包括:ISCO泵(11)、左侧工作液活塞容器(12)、右侧回压阀(13)、围压阀(14);所述ISCO泵(11)用于以40MPa以下压力推动所述左侧工作液活塞容器(12)中的活塞;所述左侧工作液活塞容器(12)用于泵注中性煤油以通过岩心夹持器左旋紧堵头(23)内管向岩心施加40MPa以下的驱替压力;所述右侧回压阀(13)用于通过岩心夹持器右旋紧堵头(25)内管向岩心施加30MPa以下的轴向压力;所述围压阀(14)用于向岩心夹持器壳体(21)内施加50MPa以下的压力,在所述岩心夹持器橡胶管(24)周围形成50MPa以下的压力,使所述岩心夹持器橡胶管(24)能够以50MPa以下的压力夹紧岩心,阻止中性煤油沿着岩心与岩心夹持器橡胶管(24)的间隙流动;

[0006] 所述岩心夹持器(2)用于夹紧固定岩心,包括:岩心夹持器壳体(21)、岩心夹持器密封盖(22)、岩心夹持器左旋紧堵头(23)、岩心夹持器橡胶管(24)、岩心夹持器右旋紧堵头

(25)、手动旋转加压手柄(26);所述岩心夹持器壳体(21)内部为空腔结构,所述岩心夹持器橡胶管(24)位于空腔内部,当通过所述围压阀(14)向所述岩心夹持器壳体(21)内部泵入水以加载压力时,所述岩心夹持器壳体(21)与所述岩心夹持器橡胶管(24)受压后,形成密闭状态;所述岩心夹持器密封盖(22)用于封闭所述岩心夹持器壳体(21)内部空腔,同时便于在空腔内部安装或拆除所述径向位移传感器(34);所述岩心夹持器左旋紧堵头(23)用于封闭在所述岩心夹持器橡胶管(24)内的岩心,所述岩心夹持器左旋紧堵头(23)内管向岩心传递所述左侧工作液活塞容器(12)加载的煤油压力;所述岩心夹持器橡胶管(24)用于内置岩心,当所述岩心夹持器橡胶管(24)受到通过所述围压阀(14)加载的压力后,夹紧岩心;所述岩心夹持器右旋紧堵头(25)用于封闭在所述岩心夹持器橡胶管(24)内的岩心,所述岩心夹持器右旋紧堵头(25)内管向岩心传导所述右侧回压阀(13)加载的压力;所述手动旋转加压手柄(26)固接在所述岩心夹持器右旋紧堵头(25)上,旋转所述手动旋转加压手柄(26)可带动所述岩心夹持器右旋紧堵头(25)轴向移动,向岩心加载压力或降低岩心压力;

[0007] 所述数据采集单元(3)包括:泵注压力传感器(31)、回压压力传感器(32)、流量监测器(33)、径向位移传感器(34);所述泵注压力传感器(31)用于测量显示所述左侧工作液活塞容器(12)加载在岩心上的压力;所述回压压力传感器(32)用于测量显示所述右侧回压阀(13)加载在岩心上的压力;所述流量监测器(33)用于接收和测量从岩心流出的液体流量;

[0008] 所述核磁共振仪(4)用于为所述岩心夹持器(2)提供核磁磁场,并测量岩心实验过程中T2谱的变化。

[0009] 一种致密油衰竭式开采过程中岩心孔径变化状态测量方法,它使用上述一种模拟致密油衰竭式开采过程中岩心孔径变化状态的装置,它包括下列步骤:

[0010] A. 确定储层岩心孔隙流体压力、上覆岩层应力和水平地应力;

[0011] 设:地层水密度为 ρ_w 、储层深度为 h 、重力加速度为 g 、地层密度为 ρ_s 、构造应力为 σ_s 、岩石泊松比为 ν ;

[0012] 则:

[0013] 孔隙流体压力 P_p 为:

[0014] $P_p = \rho_w g h$

[0015] 上覆岩层压力 σ_v 为:

[0016]
$$\sigma_v = \int_0^h \rho_s(h) g h dh$$

[0017] 水平地应力 σ_h 为:

[0018] $\sigma_h = \nu \sigma_v + \sigma_s$

[0019] B. 测定橡皮管径向变形;

[0020] 将2.5cm实心圆柱形钢制假岩心放入夹持器橡皮管内,将橡胶管围压加载至 $\sigma_v - P_p$,手动旋转手动旋转加压手柄,将轴向应力增至 $\sigma_h - P_p$,设定5个有效应力点,按照相同的大小,同步降低围压和轴压,测定橡皮管的径向变形量;

[0021] C. 恢复圆柱形岩心原始应力和孔隙压力;

[0022] 设:圆柱形岩心半径为 R 、长度为 L 、孔隙度为 ϕ 、渗透率为 k 、表面弛豫率为 ρ ;

[0023] 将致密油岩心抽真空饱和中性煤油,并将岩心放入夹持器橡皮管内,以逐步增压

的方式调节驱动压力和回压,将岩心孔隙压力增加至储层原始孔隙流体压力,围压增至上覆岩层应力,轴压增至水平地应力;

[0024] D. 模拟致密油储层衰竭开采过程;

[0025] 选择某一流速,进行中性煤油驱替,按照步骤A设定的5个有效应力点,依次减小出口回压,模拟衰竭开采过程中储层孔隙压力降低引起的储层应力敏感损害,记录渗透率、径向位移 ΔR 和核磁共振T2谱变化;

[0026] E. 根据岩心径向位移 ΔR ,得到圆柱形岩心孔径变化 Δr ,即毛细管的径向位移;

[0027] 设:圆柱形岩心内部毛管数为n,样品径向位移为 ΔR ,

[0028] 则:圆柱形岩心径向尺寸减少 Δr ,引起的圆柱形岩心尺寸变化为:

[0029] $[\pi R^2 - \pi (R - \Delta r)^2] \cdot L = \pi (2R \Delta r - \Delta r^2) L$

[0030] 毛细管孔径减小 Δr 引起的变化为:

[0031] $\pi n (2r \Delta r - \Delta r^2) L$

[0032] 毛细管孔径的减小量为:

[0033]
$$\Delta r = \frac{R \Delta R}{n r} = \frac{\pi R \Delta R \sqrt{8k \phi}}{\phi^2}$$

[0034] F: 根据岩心核磁共振T2谱变化,得到圆柱形岩心孔径的变化 Δr ;

[0035] 设:圆柱形岩心某一孔径处的核磁共振T2谱谱面积变化 ΔA_r 、含水体积换算系数为 α ;

[0036] 则:核磁共振T2谱可以换算成圆柱形岩心孔径半径 r 为:

[0037] $r = 2T_2 \rho$

[0038] 上式可以看出:核磁共振T2谱的谱面积则与含水量成正比;

[0039] 则:圆柱形岩心某一孔径内部含水量变化 ΔV_r :

[0040] $\Delta V_r = \alpha \Delta A_r$

[0041] 圆柱形岩心孔径减小量 Δr 为:

[0042]
$$\Delta r = r \sqrt{\frac{\Delta V_r}{\pi L}}$$

[0043] G: 对比步骤E和步骤F中的孔径变化 Δr ,得到分析致密油衰竭式开采过程中孔径变化的状态。

[0044] 本发明通过将致密油岩心置于原始三轴应力条件下,基于核磁共振仪和径向位移传感器联合评价改变有效应力引起的孔径变化,实现了基于联合径向位移测试和核磁共振测试的结果分析的孔径变化测量,具有测量准确性高、代表性强、可操作性强、适合推广应用等特点,对提高致密油衰竭式开采水平和出油率具有重要的现实意义。

附图说明

[0045] 图1为本发明装置示意图;

[0046] 图2为本发明方法流程图。

具体实施方式

[0047] 实施例1:参见图1,一种模拟致密油衰竭式开采过程中岩心孔径变化状态的装置,它包括:岩心压力加载单元(1)、岩心夹持器(2)、岩心数据采集单元(3)、核磁共振仪(4);

[0048] 所述岩心压力加载单元(1)用于模拟致密油衰竭式开采过程中岩心承载的压力,包括:ISCO泵(11)、左侧工作液活塞容器(12)、右侧回压阀(13)、围压阀(14);所述ISCO泵(11)用于以40MPa以下压力推动所述左侧工作液活塞容器(12)中的活塞;所述左侧工作液活塞容器(12)用于泵注中性煤油以通过岩心夹持器左旋紧堵头(23)内管向岩心施加40MPa以下的驱替压力;所述右侧回压阀(13)用于通过岩心夹持器右旋紧堵头(25)内管向岩心施加30MPa以下的轴向压力;所述围压阀(14)用于向岩心夹持器壳体(21)内施加50MPa以下的压力,在所述岩心夹持器橡胶管(24)周围形成50MPa以下的压力,使所述岩心夹持器橡胶管(24)能够以50MPa以下的压力夹紧岩心,阻止中性煤油沿着岩心与岩心夹持器橡胶管(24)的间隙流动;

[0049] 所述岩心夹持器(2)用于夹紧固定岩心,包括:岩心夹持器壳体(21)、岩心夹持器密封盖(22)、岩心夹持器左旋紧堵头(23)、岩心夹持器橡胶管(24)、岩心夹持器右旋紧堵头(25)、手动旋转加压手柄(26);所述岩心夹持器壳体(21)内部为空腔结构,所述岩心夹持器橡胶管(24)位于空腔内部,当通过所述围压阀(14)向所述岩心夹持器壳体(21)内部泵入水以加载压力时,所述岩心夹持器壳体(21)与所述岩心夹持器橡胶管(24)受压后,形成密闭状态;所述岩心夹持器密封盖(22)用于封闭所述岩心夹持器壳体(21)内部空腔,同时便于在空腔内部安装或拆除所述径向位移传感器(34);所述岩心夹持器左旋紧堵头(23)用于封闭在所述岩心夹持器橡胶管(24)内的岩心,所述岩心夹持器左旋紧堵头(23)内管向岩心传递所述左侧工作液活塞容器(12)加载的煤油压力;所述岩心夹持器橡胶管(24)用于内置岩心,当所述岩心夹持器橡胶管(24)受到通过所述围压阀(14)加载的压力后,夹紧岩心;所述岩心夹持器右旋紧堵头(25)用于封闭在所述岩心夹持器橡胶管(24)内的岩心,所述岩心夹持器右旋紧堵头(25)内管向岩心传导所述右侧回压阀(13)加载的压力;所述手动旋转加压手柄(26)固接在所述岩心夹持器右旋紧堵头(25)上,旋转所述手动旋转加压手柄(26)可带动所述岩心夹持器右旋紧堵头(25)轴向移动,向岩心加载压力或降低岩心压力;

[0050] 所述数据采集单元(3)包括:泵注压力传感器(31)、回压压力传感器(32)、流量监测器(33)、径向位移传感器(34);所述泵注压力传感器(31)用于测量显示所述左侧工作液活塞容器(12)加载在岩心上的压力;所述回压压力传感器(32)用于测量显示所述右侧回压阀(13)加载在岩心上的压力;所述流量监测器(33)用于接收和测量从岩心流出的液体流量;

[0051] 所述核磁共振仪(4)用于为所述岩心夹持器(2)提供核磁磁场,并测量岩心实验过程中T2谱的变化。

[0052] 实施例2:参见图2,一种致密油衰竭式开采过程中岩心孔径变化状态测量方法,它使用上述一种模拟致密油衰竭式开采过程中岩心孔径变化状态的装置,它包括下列步骤:

[0053] A. 确定储层岩心孔隙流体压力、上覆岩层应力和水平地应力;

[0054] 设:地层水密度为 ρ_w 、储层深度为 h 、重力加速度为 g 、地层密度为 ρ_s 、构造应力为 σ_s 、岩石泊松比为 ν ;

[0055] 则:

[0056] 孔隙流体压力 P_p 为:

$$[0057] \quad P_p = \rho_w g h$$

[0058] 上覆岩层压力 σ_v 为:

$$[0059] \quad \sigma_v = \int_0^h \rho_s(h) g h \, dh$$

[0060] 水平地应力 σ_h 为:

$$[0061] \quad \sigma_h = \nu \sigma_v + \sigma_s$$

[0062] B. 测定橡皮管径向变形;

[0063] 将2.5cm实心圆柱形钢制假岩心放入夹持器橡皮管内,将橡胶管围压加载至 $\sigma_v - P_p$,手动旋转手动旋转加压手柄,将轴向应力增至 $\sigma_h - P_p$,设定5个有效应力点,按照相同的大小,同步降低围压和轴压,测定橡皮管的径向变形量;

[0064] C. 恢复圆柱形岩心原始应力和孔隙压力;

[0065] 设:圆柱形岩心半径为 R 、长度为 L 、孔隙度为 ϕ 、渗透率为 k 、表面弛豫率为 ρ ;

[0066] 将致密油岩心抽真空饱和中性煤油,并将岩心放入夹持器橡皮管内,以逐步增压的方式调节驱动压力和回压,将岩心孔隙压力增加至储层原始孔隙流体压力,围压增至上覆岩层应力,轴压增至水平地应力;

[0067] D. 模拟致密油储层衰竭开采过程;

[0068] 选择某一流速,进行中性煤油驱替,按照步骤A设定的5个有效应力点,依次减小出口回压,模拟衰竭开采过程中储层孔隙压力降低引起的储层应力敏感损害,记录渗透率、径向位移 ΔR 和核磁共振T2谱变化;

[0069] E. 根据岩心径向位移 ΔR ,得到圆柱形岩心孔径变化 Δr ,即毛细管的径向位移;

[0070] 设:圆柱形岩心内部毛管数为 n ,样品径向位移为 ΔR ,

[0071] 则:圆柱形岩心径向尺寸减少 Δr ,引起的圆柱形岩心尺寸变化为:

$$[0072] \quad [\pi R^2 - \pi (R - \Delta r)^2] \cdot L = \pi (2R \Delta R - \Delta R^2) L$$

[0073] 毛细管孔径减小 Δr 引起的变化为:

$$[0074] \quad \pi n (2r \Delta r - \Delta r^2) L$$

[0075] 毛细管孔径的减小量为:

$$[0076] \quad \Delta r = \frac{R \Delta R}{nr} = \frac{\pi R \Delta R \sqrt{8k\phi}}{\phi^2}$$

[0077] F. 根据岩心核磁共振T2谱变化,得到圆柱形岩心孔径的变化 Δr ;

[0078] 设:圆柱形岩心某一孔径处的核磁共振T2谱谱面积变化 ΔA_r 、含水体积换算系数为 α ;

[0079] 则:核磁共振T2谱可以换算成圆柱形岩心孔径半径 r 为:

$$[0080] \quad r = 2T_2\rho$$

[0081] 上式可以看出:核磁共振T2谱的谱面积则与含水量成正比;

[0082] 则:圆柱形岩心某一孔径内部含水量变化 ΔV_r :

$$[0083] \quad \Delta V_r = \alpha \Delta A_r$$

[0084] 圆柱形岩心孔径减小量 Δr 为:

[0085]
$$\Delta r = r \sqrt{\frac{\Delta V_r}{\pi L}}$$

[0086] G: 对比步骤E和步骤F中的孔径变化 Δr , 得到分析致密油衰竭式开采过程中孔径变化的状态。

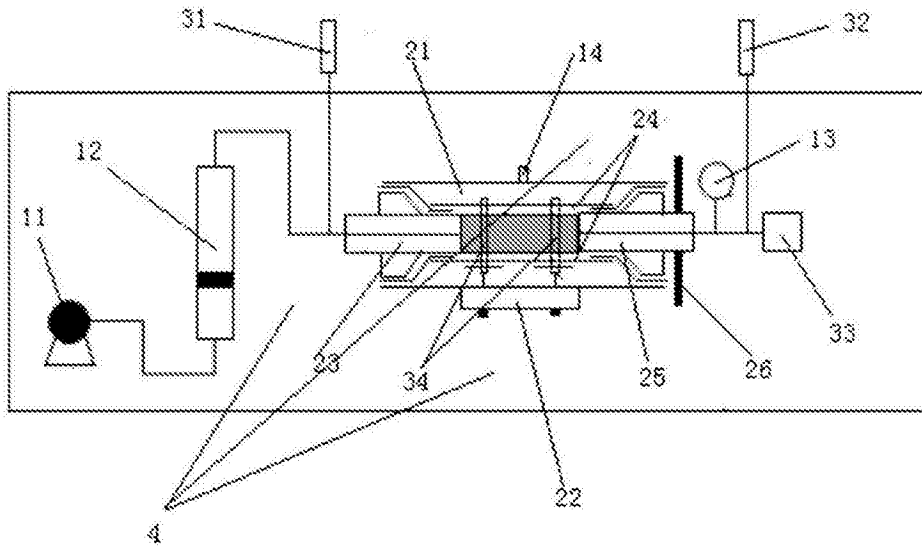


图1

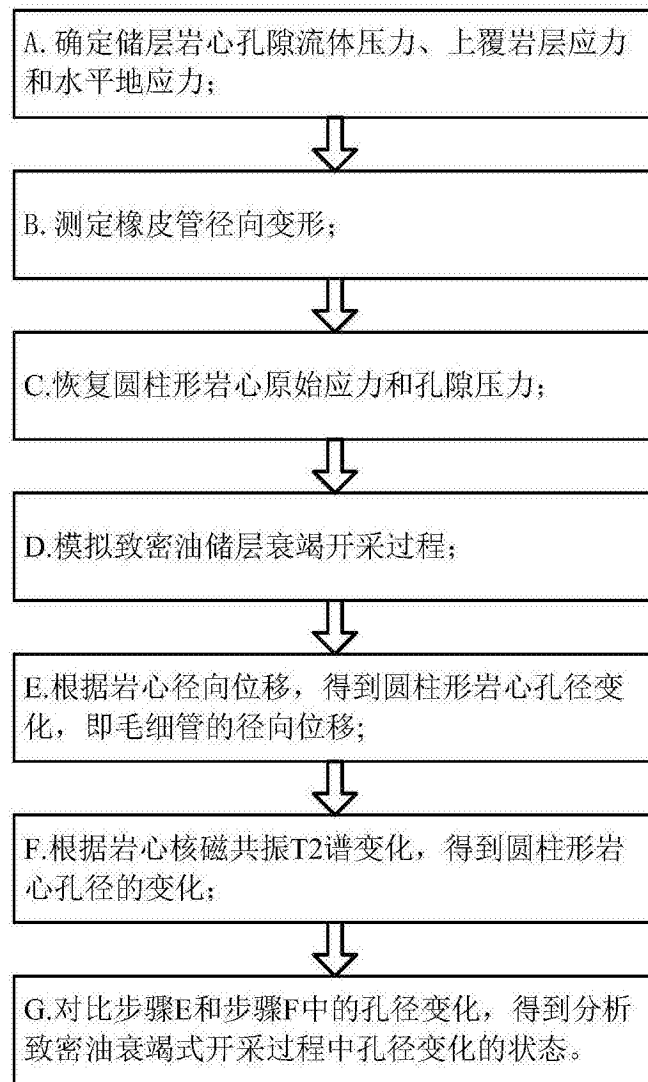


图2