(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 111441765 B
(45)授权公告日 2023.12.26

(21)申请号 201910040139.1

(22)申请日 2019.01.16

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111441765 A

(43)申请公布日 2020.07.24

(73)专利权人 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 李海波 杨正明 郭和坤 卢海兵 孙玉平 周尚文 胥洪成 张合文

(74)专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127
专利代理师 姚亮 任默闻

(51)Int.Cl.
E21B 49/00(2006.01)
E21B 43/22(2006.01)
E21B 25/00(2006.01)
B04B 5/00(2006.01)

(56)对比文件
CN 209908494 U,2020.01.07
CN 101967970 A,2011.02.09
CN 102243196 A,2011.11.16
CN 102434152 A,2012.05.02
CN 102615000 A,2012.08.01
CN 103760082 A,2014.04.30
CN 105401937 A,2016.03.16
CN 105464654 A,2016.04.06
CN 105466830 A,2016.04.06
CN 107941838 A,2018.04.20
CN 108896598 A,2018.11.27
CN 201535162 U,2010.07.28
EP 2341372 A1,2011.07.06
US 2017248506 A1,2017.08.31
US 2019137648 A1,2019.05.09
US 5314017 A,1994.05.24
US 5328440 A,1994.07.12
US 6185985 B1,2001.02.13
狄勤丰;张景楠;叶峰;王文昌;陈会娟;华帅.驱替过程中重力舌进特征的核磁共振可视化实验.石油学报.2017,(第10期),全文. (续)

审查员 尹浚羽

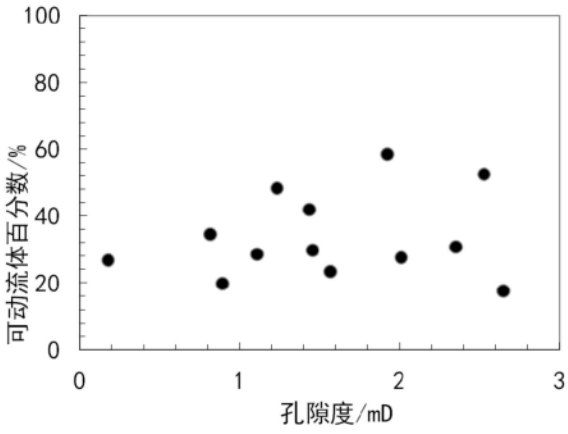
权利要求书3页 说明书9页 附图5页

(54)发明名称

一种含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法及装置

(57)摘要

本发明提供一种含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法及装置。该方法包括以下步骤:1)对裂缝发育岩心气测孔隙度、渗透率;2)岩心饱和油后测T_2谱;3)饱和油岩心处空气中,用离心机进行离心力依次增大的气驱油高速离心,岩心在各离心力下均离心至无油产出,每次离心后测试岩心T_2谱;4)用T_2谱算出不同喉道区间控制的气驱可动流体百分数及总气驱可动流体百分数,用以表征空气重力驱潜力,完成含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价。该方法首次实现实验室内利用裂缝发育岩心进行含裂缝致密油藏空气重力驱潜力的评价,以高速离心气驱模拟空气重力驱,为强非均质性致密油藏特别是裂缝发育致密油藏空气重力驱开发提供依据。



CN 111441765 B

[转续页]

[接上页]

(56)对比文件

李凤霞.重力泄油室内实验及油藏模拟.特种油气藏.2004,(第05期),全文.

李海波.鄂尔多斯盆地陕北地区三叠系长7致密油赋存空间.石 油 勘 探 与 开 发.2015,第42卷(第3期),第396-400页.

1.一种含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:

1)对裂缝发育岩心气测孔隙度、气测渗透率;

2)将岩心饱和油后进行核磁共振测试,得到岩心饱和油状态下的T_2谱;

3)饱和油状态下的岩心放入离心机中,使岩心处于空气环境下,然后进行气驱油高速离心,离心力由小到大依次增加,岩心在每个离心力条件下都离心至没有油产出,然后在下一个更大的离心力下继续离心,直到在最大的离心力下离心至没有油产出,完成整个高速离心气驱实验,每次离心后对岩心进行核磁共振测试,得到岩心T_2谱;

4)利用测得的岩心T_2谱计算出每个离心力分别控制的气驱可动油百分数以及总气驱可动油百分数,每个离心力分别对应一个喉道半径,从而得到不同喉道区间控制的气驱可动流体百分数并计算总气驱可动流体百分数,用总气驱可动流体的百分数以及不同喉道区间控制的气驱可动流体百分数表征空气重力驱潜力,从而完成含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价。

2.根据权利要求1所述的含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法,其特征在于,在步骤1)中裂缝发育岩心先进行标号、洗油、烘干处理后再进行气测孔隙度、气测渗透率。

3.根据权利要求1所述的含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法,其特征在于,在步骤2)中分别称取岩心饱和油前后的重量,并计算油测孔隙度,通过油测孔隙度与步骤1)的气测孔隙度对比判断岩心饱和油是否充分:

油测孔隙度与气测孔隙度误差=(油测孔隙度-气测孔隙度)/气测孔隙度×100%;

当油测孔隙度与气测孔隙度误差界于正负第一基准误差之间时,表明岩心饱和油充分,继续后续步骤;

当油测孔隙度与气测孔隙度的误差小于负的第一基准误差时,重新进行步骤2);

当油测孔隙度与气测孔隙度的误差大于第一基准误差时,重新进行步骤1)。

4.根据权利要求3所述的含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法,其特征在于,第一基准误差为3%-5%。

5.根据权利要求1、3、4中任一项所述的含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法,其特征在于,所述饱和油为饱和煤油。

6.根据权利要求1所述的含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法,其特征在于,步骤3)所述离心力根据需要评价的喉道半径确定,根据毛管压力计算公式Pc=σ/r,Pc为毛管压力此处为离心力,r是喉道半径,σ是常数,计算得到离心力的大小从而确定离心力的值。

7.根据权利要求6所述的含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法,其特征在于,步骤3)所述离心力分别根据喉道半径1微米、0.5微米、0.1微米、0.05微米、0.02微米确定。

8.根据权利要求3或4所述的含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法,其特征在于,步骤3)所述离心力分别根据喉道半径1微米、0.5微米、0.1微米、0.05微米、0.02微米确定,对应离心力依次为0.055MPa、0.10MPa、0.54MPa、1.05MPa和2.60MPa,其中,毛管压力计算公式Pc=σ/r,$\sigma=2\times\sigma_{煤油-气}\times\cos\theta$,$\sigma_{煤油-气}$为煤油-气表面张力,θ为煤油-气润湿角;$\sigma_{煤油-气}$的值25.98mN/m,θ的值为0°,σ的值为51.96mN/m。

9.根据权利要求1所述的含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法,其特征在于,

在步骤4)中分别测量离心前以及每次离心后岩心重量,利用测得的岩心的重量计算各离心力下的驱出油量以及总驱出油量,从而计算各离心力下驱出油量百分数以及总驱出油量百分数即每个离心力下分别控制的气驱可动油百分数以及总气驱可动油百分数,将计算得到的每个离心力下分别控制的气驱可动油百分数以及总气驱可动油百分数与步骤4)中利用测得的岩心T_2谱计算出的每个离心力分别控制的气驱可动油百分数以及总气驱可动油百分数进行对比:

其中,误差=|利用测得的岩心的重量计算得到的气驱可动油百分数-利用测得的岩心T_2谱计算出的气驱可动油百分数|/利用测得的岩心T_2谱计算出的气驱可动油百分数×100%;当误差小于等于第二基准误差时,表明实验结果可信,完成评价;

当误差大于第二基准误差时,则重新进行步骤1)。

10.根据权利要求9所述的含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法,其特征在于,第二基准误差为3%-5%。

11.根据权利要求1所述的含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法,其特征在于,在步骤4)中总气驱可动流体的百分数以及不同喉道区间控制的气驱可动流体百分数表征空气重力驱潜力具体为:总气驱可动流体的百分数用来表征空气重力驱潜力的大小,不同喉道区间控制的气驱可动流体百分数用来表征空气重力驱开发难易程度。

12.根据权利要求11所述的含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法,其特征在于,

总气驱可动流体的百分数大于等于65%,对应含裂缝致密油藏空气重力驱潜力大;

总气驱可动流体的百分数小于65%大于等于50%,对应含裂缝致密油藏空气重力驱潜力较大;

总气驱可动流体的百分数小于50%大于等于35%,对应含裂缝致密油藏空气重力驱潜力中等;

总气驱可动流体的百分数小于35%大于等于20%,对应含裂缝致密油藏空气重力驱潜力较小;

总气驱可动流体的百分数可动流体百分数小于20%,对应含裂缝致密油藏空气重力驱潜力小;

微米以上喉道区间控制控制的气驱可动流体百分数小于5%,对应含裂缝致密油藏储层空气重力驱开发难;

微米以上喉道区间控制控制的气驱可动流体百分数小于20%大于等于5%,对应含裂缝致密油藏储层空气重力驱开发难度中等;

微米以上喉道区间控制控制的气驱可动流体百分数大于等于20%,对应含裂缝致密油藏储层空气重力驱开发易。

13.根据权利要求11所述的含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法,其特征在于,所述离心机包含离心杯,该离心杯包含:

杯体,该杯体设有容置腔室,该杯体的开口端设有内螺纹;

盖子,该盖子设有与杯体内螺纹相配合的外螺纹;

所述盖子通过所述外螺纹与所述内螺纹的配合,能够固定放入离心杯中的岩心。

14.根据权利要求13所述的含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法,其特征在

于,所述盖子上设有注液孔。

15.根据权利要求13所述的含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法,其特征在于,所述容置腔室内设有滤网,滤网将容置腔室分为顶部的岩样室和底部的溶剂室。

16.根据权利要求13所述的含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法,其特征在于,所述离心杯包含岩心包裹套,该岩心包裹套包含:

包裹套主体、粘扣带、紧固件;

粘扣带位于包裹套主体一端;

紧固件为使被包裹套主体包裹的岩心和包裹套主体更紧密的固定的紧固部件。

17.根据权利要求16所述的含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法,其特征在于,紧固件为橡皮筋。

18.根据权利要求16所述的含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法,其特征在于,包裹套主体材料为布。

19.权利要求1-18中任一项所述的含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法在裂缝发育致密油藏空气重力驱开发中的应用。

一种含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法及装置

技术领域

[0001] 本发明属于油藏开发技术领域，特别涉及一种含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法及装置。

背景技术

[0002] 致密油藏分布广，它的有效开发对中国石油的战略作用越来越突出。致密油藏储层孔隙结构复杂，物性差、原油赋存孔隙小、流体渗流阻力大，有效驱替系统难以建立。空气重力驱可能成为一项重要的提高致密油采收率的技术手段，目前针对低渗油藏空气重力驱的工艺研究及驱油理论有一定研究。空气重力驱利用油气密度差所形成的重力分异作用，较均匀地向构造下部移动，注入气能进入到更小级别孔喉，降低水驱后细小孔喉中的残余油饱和度；注入气溶于原油后，降低界面张力和黏度，减小流动阻力，改善流动条件；补充地层能量，避免了常规注气方式中气体黏性指进和重力超覆作用造成的过早气窜，有效地提高注入气波及体积和驱油效率。部分致密油藏发育裂缝，渗透率分布范围跨度大，储层非均质性很强，空气重力驱潜力研究对评价储层开发潜力具有重要的现实意义，未见到实验室内利用裂缝发育岩心进行储层空气重力驱潜力评价的研究。

[0003] 现有对含裂缝油藏进行驱替潜力评价的研究，主要采用常规水驱油或气驱油的方法，常规驱替时，气或水容易从裂缝中窜过去，发生“气体指进现象”，基质内的油动用少或没驱动。对裂缝致密油藏以常规驱替方式进行的潜力评价实验无法准确评价油藏的空气重力驱开发潜力。

发明内容

[0004] 针对现有技术的不足，本发明的目的在于提供一种含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法，为强非均质性致密油藏特别是裂缝发育致密油藏空气重力驱开发提供依据。

[0005] 为达到上述目的，本发明提供了一种含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法，其中，该方法包括以下步骤：

[0006] 1)对裂缝发育岩心气测孔隙度、气测渗透率；

[0007] 2)将岩心饱和油后进行核磁共振测试，得到岩心饱和油状态下的T_2谱；

[0008] 3)饱和油状态下的岩心放入离心机中，使岩心处于空气环境下，然后进行气驱油离心实验，离心力由小到大依次增加，岩心在每个离心力条件下都离心至没有油产出，然后在下一个更大的离心力下继续离心，直到在最大的离心力下离心至没有油产出，完成整个气驱油离心实验，每次离心后对岩心进行核磁共振测试，得到岩心T_2谱；

[0009] 4)利用测得的岩心T_2谱计算出每个离心力分别控制的气驱可动油百分数以及总气驱可动油百分数，每个离心力分别对应一个喉道半径，从而可知不同喉道区间控制的气驱可动流体百分数并计算总气驱可动流体百分数，用总气驱可动流体的百分数以及不同喉道区间控制的气驱可动流体百分数表征空气重力驱潜力，从而完成含裂缝致密油藏空气重

力驱潜力评价。

[0010] 在上述实验方法中，裂缝发育岩心在气测孔隙度、气测渗透率前优先进行标号、洗油、烘干处理。

[0011] 在上述实验方法中，岩心饱和油优选饱和煤油。

[0012] 在上述实验方法中，优选地，分别称取岩心饱和油前后的重量，并计算油测孔隙度，若岩心饱和油为煤油则所得油测孔隙度为煤油测孔隙度，通过油测孔隙度与步骤1)气测孔隙度对比判断岩心饱和油是否充分：

[0013] 油测孔隙度与气测孔隙度误差＝(油测孔隙度-气测孔隙度)/气测孔隙度×100％；

[0014] 当油测孔隙度与气测孔隙度误差界于正负第一基准误差之间时，表明岩心饱和油充分，继续后续步骤；

[0015] 当油测孔隙度与气测孔隙度的误差小于负的第一基准误差时，重新进行步骤2)；

[0016] 当油测孔隙度与气测孔隙度的误差大于第一基准误差时，重新进行步骤1)；

[0017] 进一步优选地，第一基准误差为3％-5％。

[0018] 在上述实验方法中，可以选用抽真空加压饱和油的方式实现岩心饱和油。

[0019] 在上述实验方法中，离心力优先根据需要评价的喉道半径确定，根据毛管压力计算公式Pc＝σ/r，Pc为毛管压力此处为离心力，r是喉道半径，σ是常数，计算得到离心力的大小从而确定离心力的值。在致密油藏中，需要评价的喉道可以以半径1微米、0.5微米、0.1微米、0.05微米、0.02微米为分界点，从而计算这些分界点喉道半径对应的离心力确定出实验方法所用离心力的值。

[0020] 在上述实验方法中，若岩心饱和油为煤油，离心力以喉道半径1微米、0.5微米、0.1微米、0.05微米、0.02微米对应计算所得，最终确定出的离心力较佳为0.055MPa、0.10MPa、0.54MPa、1.05MPa和2.60MPa；其中毛管压力计算公式Pc＝σ/r，$\sigma=2\times\sigma_{煤油-气}\times\cos\theta$，$\sigma_{煤油-气}$为煤油-气表面张力，θ为煤油-气润湿角；$\sigma_{煤油-气}$的值25.98mN/m，θ的值为0°，σ的值为51.96mN/m。

[0021] 在上述实验方法中，优选地，在步骤4)中分别称量离心前以及每次离心后岩心的重量，利用测得的岩心的重量计算各离心力下的驱出油量以及总驱出油量，从而计算各离心力下驱出油量百分数以及总驱出油量百分数即每个离心力下分别控制的气驱可动油百分数以及总气驱可动油百分数，将计算得到的每个离心力下分别控制的气驱可动油百分数以及总气驱可动油百分数与步骤4)中利用测得的岩心T_2谱计算出的每个离心力分别控制的气驱可动油百分数以及总气驱可动油百分数进行对比：

[0022] 当误差小于等于第二基准误差时，表明实验结果可信，完成评价；

[0023] 当误差大于第二基准误差时，则重新进行步骤1)；

[0024] 其中，误差＝|利用测得的岩心的重量计算得到的气驱可动油百分数-利用测得的岩心T_2谱计算出的气驱可动油百分数|利用测得的岩心T_2谱计算出的气驱可动油百分数100％；

[0025] 进一步优选地，第二基准误差为3％-5％。

[0026] 在上述实验方法中，总气驱可动流体的百分数以及不同喉道区间控制的气驱可动流体百分数表征空气重力驱潜力较佳为：总气驱可动流体的百分数用来表征空气重力驱潜

力的大小，不同喉道区间控制的气驱可动流体百分数用来表征空气重力驱开发难易程度；

[0027] 优选地，总气驱可动流体的百分数大于等于65％，对应含裂缝致密油藏空气重力驱潜力大；

[0028] 总气驱可动流体的百分数小于65％大于等于50％，对应含裂缝致密油藏空气重力驱潜力较大；

[0029] 总气驱可动流体的百分数小于50％大于等于35％，对应含裂缝致密油藏空气重力驱潜力中等；

[0030] 总气驱可动流体的百分数小于35％大于等于20％，对应含裂缝致密油藏空气重力驱潜力较小；

[0031] 总气驱可动流体的百分数可动流体百分数小于20％，对应含裂缝致密油藏空气重力驱潜力小；

[0032] 微米以上喉道区间控制的气驱可动流体百分数小于5％，对应含裂缝致密油藏储层空气重力驱开发难；

[0033] 微米以上喉道区间控制的气驱可动流体百分数小于20％大于等于5％，对应含裂缝致密油藏储层空气重力驱开发难度中等；

[0034] 微米以上喉道区间控制的气驱可动流体百分数大于等于20％，对应含裂缝致密油藏储层空气重力驱开发易。

[0035] 在上述实验方法中，因微米以上喉道较大，对油藏的动用潜力控制作用更强，更能体现含裂缝致密油藏储层空气重力驱开发的难易程度即更能体现空气重力驱潜力实现的可能性，因此通常用微米以上吼道区间控制的气驱可动流体百分数来表征所述空气重力驱潜力。

[0036] 含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法在裂缝发育致密油藏空气重力驱开发中的应用。

[0037] 本发明还提供一种离心杯，该离心杯包含：

[0038] 杯体，该杯体设有容置腔室，该杯体的开口端设有内螺纹；

[0039] 盖子，该盖子设有与杯体内螺纹相配合的外螺纹；

[0040] 所述盖子通过所述外螺纹与所述内螺纹的配合，能够固定放入离心杯中的岩心。

[0041] 杯体内螺纹的长度可以根据盖子需要沿容置腔室内壁顶底方向移动的距离进行设定，盖子需要沿容置腔室内壁顶底方向移动的距离由可能放入离心杯中进行固定的岩心的规格确定。

[0042] 在上述离心杯中，优选地，所述盖子上设有注液孔。

[0043] 在上述离心杯中，优选地，所述容置腔室内设有滤网，滤网将容置腔室分为顶部的岩样室和底部的溶剂室，当用该离心杯进行离心时，岩心置于所述岩样室内。

[0044] 所述离心杯增加了螺纹的设计，可使盖子沿容置腔室顶底方向移动，从而可使离心杯内的岩心上下表面紧贴过盖子与容置腔室底部(当有过滤网时，紧贴盖子与过滤网)，岩心更加稳固，不易破裂，更有助于高速离心气驱油实验的顺利实施。

[0045] 该离心杯可用于放置岩心，进行上述含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法中的高速离心气驱油实验。用该离心杯进行上述含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法中的高速离心气驱油实验时，较佳为将岩心进行包裹后放入离心杯。

[0046] 本发明还提供了一种岩心包裹套，该岩心包裹套包含：

[0047] 包裹套主体、粘扣带、紧固件；

[0048] 粘扣带位于包裹套主体一端；用于将岩心包好后将包裹套主体固定；

[0049] 紧固件为使被包裹套主体包裹的岩心和包裹套主体更紧密的固定的紧固部件。

[0050] 在上述岩心包裹套中，优选地，紧固件为橡皮筋；用于将被包裹套主体包裹的岩心和包裹套主体更紧密的固定，使得离心过程中包裹套不会被甩开。

[0051] 在上述岩心包裹套中，包裹套主体材料可选用布也可选用其他较薄的具备一定强度的材料；优选地，包裹套主体材料为布。

[0052] 该岩心包裹套的作用是将岩心进行包裹，离心时岩心不会裂开，即使裂开，也会因为有岩心包裹套，不会完全破碎，且岩心包裹套拆卸简单。解决了目前包裹岩心所用的热缩套诸如：使用时需加热，每次离心后需破坏热缩套才能将岩心取出，不方便、耗时长等缺点，更有助于高速离心气驱油实验的顺利实施。该岩心包裹套可用于将岩心进行包裹，用岩心包裹套包裹后的岩心放入上述离心杯可进行上述含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法中的高速离心气驱油实验。

[0053] 上述含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法中的高速离心气驱油实验可用一种包含上述离心杯的离心机进行。

[0054] 上述含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法可用如下所述的含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验装置进行，该含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验装置包含核磁共振仪、含上述离心杯的离心机、上述岩心包裹套以及裂缝发育岩心。

[0055] 所述含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验装置可用以实现上述含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法。具体的：将裂缝发育岩心放入岩心包裹套中进行包裹，然后将用岩心包裹套包裹好的裂缝发育岩心，放入上述离心杯中，通过调整离心杯盖子的位置固定岩心，将装有裂缝发育岩心的离心杯装配到离心机上，完成含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法中的高速离心气驱油实验，并用所述核磁共振仪完成含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法中的T_2谱测试。

[0056] 本发明提供的技术方案从含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验方法考虑，对其进行研究，首次实现实验室内利用裂缝发育岩心进行含裂缝致密油藏空气重力驱潜力的评价，首次系统地阐述了利用高速离心气驱模拟空气重力驱结合核磁共振实验评价含裂缝致密油藏空气重力驱的潜力，为非均质性致密油藏特别是含裂缝致密油藏注气重力驱开发提供依据。本发明与现有技术相比具有以下有益效果：

[0057] (1)本发明对裂缝发育储层以高速离心气驱实验模拟空气重力驱更能实现岩心的“均匀驱替”，避免了现有技术用常规气驱实验模拟空气重力驱所出现的严重的“气体指进现象”导致评价结果无法较好的反应空气重力驱启动储层可动油的真实潜力的现象。

[0058] (2)本发明利用不同离心力离心，可精细评价不同尺寸喉道控制的可动用的油量，从而对油藏的开发潜力进行更精确的评价。

[0059] (3)本发明以核磁共振T_2谱确定气驱可动油百分数结合油量计量进行确认，使得结果准确性更有保障。

附图说明

[0060] 图1A为实施例3中3号岩心常规气驱核磁共振T_2谱图。

[0061] 图1B为实施例3中3号岩心高速离心气驱核磁共振T_2谱图。

[0062] 图2为实施例3中3号岩心不同气驱压力(离心力)下常规气驱和高速离心气驱驱出油百分数(即总可动油百分数)对比图。

[0063] 图3为实施例4目标储层不同喉道区间可动流体对比。

[0064] 图4为实施例4可动流体百分数与渗透率对比。

[0065] 图5为实施例4可动流体百分数与孔隙度对比。

[0066] 图6为实施例1提供的离心杯的剖面图。

[0067] 图7为实施例2提供的岩心包裹套包裹岩心的剖面图。

[0068] 图8为实施例2提供的岩心包裹套的结构图。

具体实施方式

[0069] 为了对本发明的技术特征、目的和有益效果有更加清楚的理解,现对本发明的技术方案进行以下详细说明,但不能理解为对本发明的可实施范围的限定。

[0070] 实施例1

[0071] 本实施例提供了一离心杯。

[0072] 该离心杯如图6所示,该离心杯包括:

[0073] 一个杯体1,杯体1设有一个容置腔室,杯体1开口端设有内螺纹,该内螺纹为螺纹槽5,该容置腔室设有过滤网3,该容置腔室由过滤网3分隔成两个腔室分别为顶部岩样室4和底部溶剂室2;

[0074] 一个盖子7,盖子上设有与杯体内螺纹相配合的外螺纹,所述盖子7上设有注液孔6;

[0075] 所述盖子7能够沿所述容置腔室顶底方向移动;上下移动盖子7,使离心杯内的岩心上下表面紧贴过滤网3和盖子7,固定岩心。

[0076] 实施例2

[0077] 本实施例提供了一岩心包裹套。

[0078] 该岩心包裹套如图8所示,该岩心包裹套包含:包裹套主体10、粘扣带11、橡皮筋12。

[0079] 该岩心包裹套使用时,利用粘扣带11调整包裹套主体10与岩心的贴合程度,如图7所示,使岩心8紧紧贴合岩心包裹套9,并用橡皮筋12进行固定,保证离心过程中包裹套不会被甩开。

[0080] 实施例3

[0081] 本实施例提供以高速离心气驱为核心的含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价的实验方法与以普通气驱为核心的含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价的实验方法的对比。

[0082] 该实施例再进行以高速离心气驱为核心的含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价的实验方法时所用的含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价实验装置如下所示,该装置包含Reccore-04型岩心核磁共振分析仪、包含实施例1所述离心杯的离心机、实施例2所述岩心包裹套和裂缝发育岩心。

[0083] 具体步骤如下所示：

[0084] ①将3块裂缝发育的致密岩心标号为1号、2号、3号，洗油，烘干。

[0085] ②气测孔隙度、气测渗透率。

[0086] ③抽真空并加压饱和煤油，称量岩心饱和煤油前后的重量，利用岩心饱和煤油前后的重量计算孔隙度(煤油测孔隙度)，并通过油测孔隙度与气测孔隙度对比确保岩心饱和煤油充分，具体如下：

[0087] 油测孔隙度与气测孔隙度误差＝(油测孔隙度-气测孔隙度)/气测孔隙度×100％；

[0088] 当油测孔隙度与气测孔隙度误差界于正负第一基准误差之间时，表明岩心饱和油充分，继续后续步骤；

[0089] 当油测孔隙度与气测孔隙度的误差小于负的第一基准误差时，重新进行步骤③；

[0090] 当油测孔隙度与气测孔隙度的误差大于第一基准误差时，重新进行步骤①；

[0091] 第一基准误差为3％。④饱和煤油状态下的岩心利用核磁共振仪进行核磁共振T_2谱测量(核磁共振仪为Reccore-04型岩心核磁共振分析仪)。

[0092] ⑤开展气驱压力由小到大依次增大的的常规气驱油实验，气驱压力依次设定为0.055MPa、0.10MPa、0.54MPa、1.05MPa和2.60MPa，中所述气驱为空气驱，岩心在每个压力下驱至没有油产出然后在下一个更大的压力下继续气驱，直到在最大压力下驱至没有油产出完成整个常规气驱油实验，每个压力下气驱后称岩心重量并进行核磁共振T_2谱测量。

[0093] ⑥针对上述岩心，重复步骤③、④。

[0094] ⑦开展离心力由小到大依次增大的的高速离心气驱实验，离心力依次设定为0.055MPa、0.10MPa、0.54MPa、1.05MPa和2.60MPa的，其中所述气驱为空气驱，岩心在每个离心力条件下离心至没有油产出然后在下一个更大的离心力下继续离心，直到在最大的离心力下离心至没有油产出完成整个高速离心气驱实验，每次离心后称岩心重量并进行核磁共振T_2谱测量。

[0095] ⑧分别利用称得的岩心重量以及测得的核磁共振T_2谱计算不同压力(离心力)下的驱出油量百分数以及总驱出油量百分数。将用两种方式计算得到的驱出油量百分数进行对比：

[0096] 当误差小于等于第二基准误差时，表明实验结果可信，完成评价；

[0097] 当误差大于第二基准误差时，则重新进行步骤1)；

[0098] 其中，误差＝|利用称得的岩心重量计算得到的气驱可动油百分数-利用T_2谱计算得到的气驱可动油百分数|/利用T_2谱计算得到的气驱可动油百分数100％；

[0099] 第二基准误差为3％。表1为3块岩心不同驱替压力下常规气驱和不同离心力下高速离心气驱实验结果对比表(驱出油百分数由核磁共振T_2谱计算)。由表1数据可知：0.055MPa驱替后，3块岩心常规气驱和高速离心驱替出油的平均值分别为13.90％和18.54％；逐步增加驱替压力至0.10MPa、0.54MPa、1.05MPa和2.60MPa，常规气驱油驱出油量分别增加1.08％、2.89％、2.33％、2.29％，增加幅度非常小，而高速离心驱出油量分别增加3.25％、4.84％、3.28％、4.66％，部分驱替压力下，驱出油量增加幅度非常明显。产生差异的原因，主要由于裂缝的影响，常规气驱实验中“气体指进现象严重”，增加驱替压力后驱油效率提高不大；高速离心气驱能一定程度上实现岩心的“均匀驱替”，克服气窜的影响，实现

了裂缝发育岩心基质的均匀驱替，其实验结果更能反映空气重力驱岩心整体的动用潜力。

[0100] 以3号岩心为例进行分析，图1A为3号岩心常规气驱核磁共振T_2谱图。图1B为3号岩心高速离心气驱核磁共振T_2谱图。图2为3号岩心不同驱替压力下常规气驱和不同离心力下的高速离心气驱驱出油百分数比较。结合图1A、图1B、图2和表1看出，3号岩心0.055MPa驱替后，常规气驱和高速离心都驱替出较多的油，分别为24.61％和32.29％，表明由于岩心含大量微裂缝，很低的驱替压力下，就能驱替出较大喉道或微裂缝内的油，高速离心比常规气驱驱替的油更多；逐步增加驱替压力至0.10MPa、0.54MPa、1.05MPa和2.60MPa，常规气驱油驱出油量分别增加1.70％、4.32％、3.84％、2.56％，增加幅度非常小，而高速离心驱出油量分别增加1.99％、10.15％、1.60％、6.46％，部分驱替压力下，驱出油量增加幅度非常明显。产生如此大的差异，主要由于裂缝的影响，常规气驱实验中“气体指进现象严重”，增加驱替压力后驱油效率提高不大；高速离心气驱能一定程度上实现岩心的“均匀驱替”，克服气窜的影响，实现了裂缝发育岩心基质的均匀驱替，其实验结果更能反映空气重力驱岩心整体的动用潜力。

[0101] 表1

[0102]

岩心标号	驱替方式	长度(cm)	直径(cm)	气测渗透率(mD)	煤油测孔隙度（%）	不同压力(MPa)下驱出油百分数(%)					总驱出油百分数(%)
						0.056 MPa	0.1 MPa	0.54 MPa	1.05 MPa	2.6 MPa	
1	常规气驱	3.389	2.531	0.610	0.82	10.95	1.01	2.90	0.67	2.11	17.65
	高速离心					14.74	4.67	0.42	3.74	3.29	26.86
2	常规气驱	3.580	2.532	0.235	0.692	6.16	0.54	1.46	2.49	2.20	12.85
	高速离心					8.59	3.11	3.95	4.50	4.23	24.38
3	常规气驱	3.508	2.521	109.94	1.65	24.61	1.70	4.32	3.84	2.56	37.03
	高速离心					32.29	1.99	10.15	1.60	6.46	52.47

[0103] 实施例4

[0104] 本实施例提供对华北油田裂缝发育致密油的1个区块进行含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价的实验方法。

[0105] 本实施例所用含裂缝致密油藏空气重力驱潜力评价的实验装置包括如下所示，该装置包含Reccore-04型岩心核磁共振分析仪、包含实施例1所述离心杯的离心机、实施例2所述岩心包裹套和裂缝发育岩心，其中裂缝发育岩心为能反应待评价区块储层特征的13块裂缝发育的致密岩心。

[0106] 具体步骤如下所示：

[0107] ①将所述13块裂缝发育的致密岩心标号依次为1号、2号、3号…一直到13号，洗油，烘干。

[0108] ②气测孔隙度、气测渗透率。

[0109] ③抽真空并加压饱和煤油，称量岩心饱和煤油前后的重量，利用饱和煤油前后重差计算孔隙度(煤油测孔隙度)，并通过油测孔隙度与气测孔隙度对比确保岩心饱和煤油充

分，具体如下：

[0110] 油测孔隙度与气测孔隙度误差＝(油测孔隙度-气测孔隙度)/气测孔隙度×100％；

[0111] 当油测孔隙度与气测孔隙度误差界于正负第一基准误差之间时，表明岩心饱和油充分，继续后续步骤；

[0112] 当油测孔隙度与气测孔隙度的误差小于负的第一基准误差时，重新进行步骤③；

[0113] 当油测孔隙度与气测孔隙度的误差大于第一基准误差时，重新进行步骤①；

[0114] 第一基准误差为3％。

[0115] ④饱和煤油状态下岩心用核磁共振仪进行核磁共振T_2谱测量(T_2谱检测利用Reccore-04型岩心核磁共振分析仪进行)。

[0116] ⑤开展离心力由小到大依次增大的的高速离心气驱实验，离心力依次设定为0.055MPa、0.10MPa、0.54MPa、1.05MPa和2.60MPa的，其中所述气驱为空气驱，岩心在每个离心力条件下离心至没有油产出然后在下一个更大的离心力下继续离心，直到在最大的离心力下离心至没有油产出完成整个高速离心气驱实验，每次离心后称岩心重量并进行核磁共振T_2谱测量。

[0117] ⑥分别利用称得的岩心重量以及测得的核磁共振T_2谱计算不同离心力下的驱出油量百分数以及总驱出油量百分数即每个离心力分别控制的气驱可动油百分数以及总气驱可动油百分数，将用两种方式计算得到的气驱可动油百分数以及总气驱可动油百分数进行对比：，以确保最终实验结果可信，具体如下：

[0118] 当误差小于等于第二基准误差时，表明实验结果可信，完成评价；

[0119] 当误差大于第二基准误差时，则重新进行步骤1)；

[0120] 其中，误差＝|利用称得的岩心重量计算得到的气驱可动油百分数-利用测得的岩心T_2谱计算得到的气驱可动油百分数|/利用测得的岩心T_2谱计算得到的气驱可动油百分数100％；

[0121] 第二基准误差为3％。⑦每个离心力分别对应一个喉道半径，从而可知不同喉道区间控制的气驱可动流体百分数并计算总气驱可动流体百分数；根据总气驱可动流体的百分数以及不同喉道区间控制的气驱可动流体百分数判断空气重力驱潜力。

[0122] 步骤⑦计算所得13块岩心不同喉道区间控制的气驱可动流体百分数以及总气驱可动流体百分数的结果如表2所示(可动流体百分数由核磁共振T_2谱计算)，从表2可看出，目标储层可动流体分布较宽，13块岩心可动流体总量界于17.64％-58.54％，平均33.84％，微米喉道控制可动流体14.42％，从图3可看出，控制可动流体的喉道呈现“两头”高，“中间”低的特点，即可动流体一部分由大于0.5微米的喉道控制，另一部分由小于0.1微米的小喉道控制。

[0123] 表2

[0124]

序号	气测孔隙度(%)	气测渗透率(mD)	不同喉道半径(μm)区间控制的可动流体百分数(%)					
			大于 1.0	0.5-1.0	0.10-0.5	0.05-0.10	0.02-0.05	总和
1	0.176	0.610	14.74	4.67	0.42	3.74	3.29	26.86
2	0.82	0.461	15.04	4.55	6.34	3.61	5.08	34.61
3	1.46	0.061	11.59	5.95	0.12	3.60	8.43	29.70
4	1.23	0.668	33.06	0.13	2.89	2.67	9.65	48.40
5	2.53	109.94	32.29	1.99	10.15	1.60	6.46	52.47
6	2.01	2.45	11.22	0.80	1.52	5.55	8.38	27.47
7	1.44	0.110	24.36	3.48	7.05	0.05	6.92	41.85
8	1.92	0.31	14.82	28.60	10.07	2.52	2.53	58.54
9	1.57	0.01	6.26	0.16	8.01	3.89	5.11	23.44
10	0.89	0.01	1.28	0.36	9.23	1.62	7.20	19.68
11	1.11	0.00	1.20	10.51	5.61	3.21	8.00	28.53
12	2.65	0.00	5.89	0.19	5.99	0.95	4.63	17.64

[0125]

13	2.36	20.29	15.69	2.52	6.51	1.34	4.67	30.74

[0126] 表3

[0127]

渗透率(mD)	大于1.0	0.5-1.0	0.10-0.5	0.05-0.10	0.02-0.05	总
小于 0.1	5.24	3.43	5.79	2.65	6.68	23.80
大于 0.1	20.15	5.84	5.62	2.63	5.87	40.12

[0128] 图4、图5分别给出可动流体与渗透率、孔隙度对比，从图4、图5中可看出，总可动流体与渗透率、孔隙度相关性差，表明储层非均质性较强；结合表3(表3为13块岩心以渗透率0.1mD进行划分统计不同喉道半径区间控制的可动流体百分数以及总可动流体百分数的平均值)可知裂缝、微裂缝(微米缝)的发育控制储层物性及空气重力驱流体动用能力的好差。所述华北油田裂缝发育致密油1个区空气重力驱潜力评价结果具体为：

[0129] 渗透率大于0.1mD的岩心对应的储层总可动流体约40.12%，微米喉道控制可动流体约20%；对应储层总可动流体占比高，空气重力驱潜力大小为中等，微米喉道控制可动流体占比高即对应储层大吼道控制可动流体占比高开发难度小，总之对应储层空气重力驱开发潜力较好。

[0130] 渗透率小于0.1mD的岩心对应的储层总可动流体约24%，微米喉道控制可动流体约5%；对应储层总可动流体占比小即空气重力驱潜力大小为较小，微米喉道控制可动流体占比小即对应储层大吼道控制可动流体占比小开发难度较大，总之对应储层开发潜力较差。

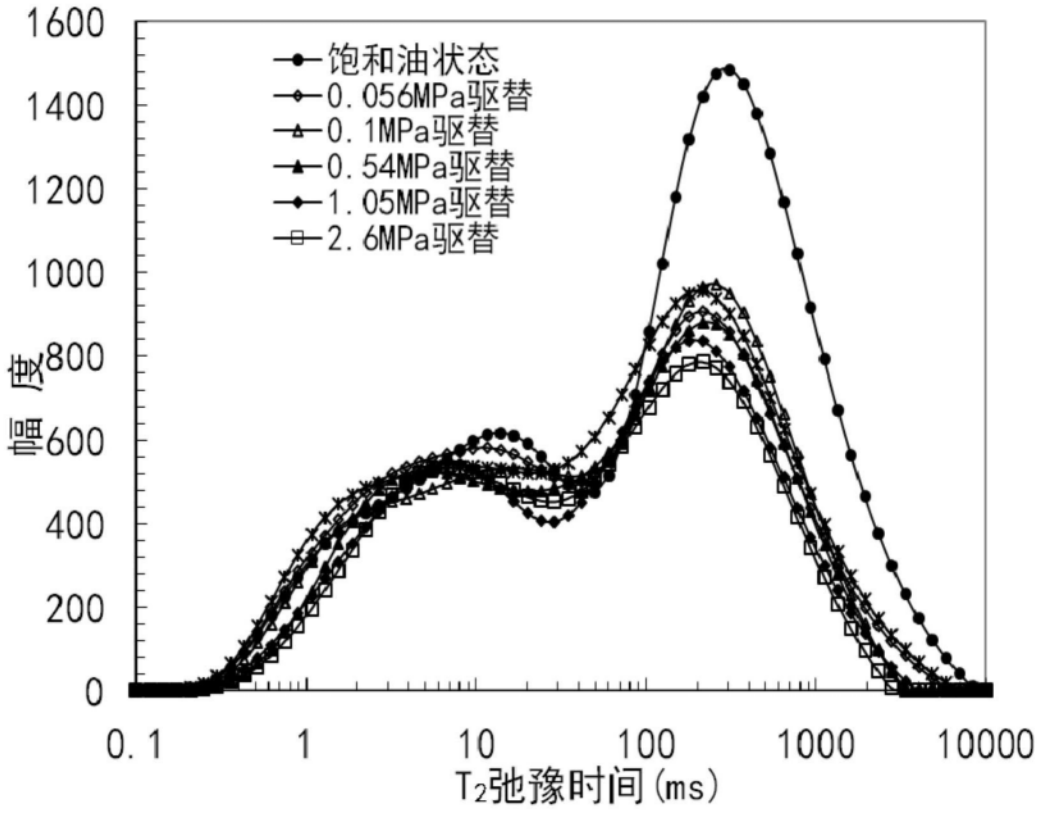

饱和油状态
0.056MPa驱替
0.1MPa驱替
0.54MPa驱替
1.05MPa驱替
2.6MPa驱替
幅度
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0.1
1
10
100
1000
10000
T2弛豫时间(ms)

图1A

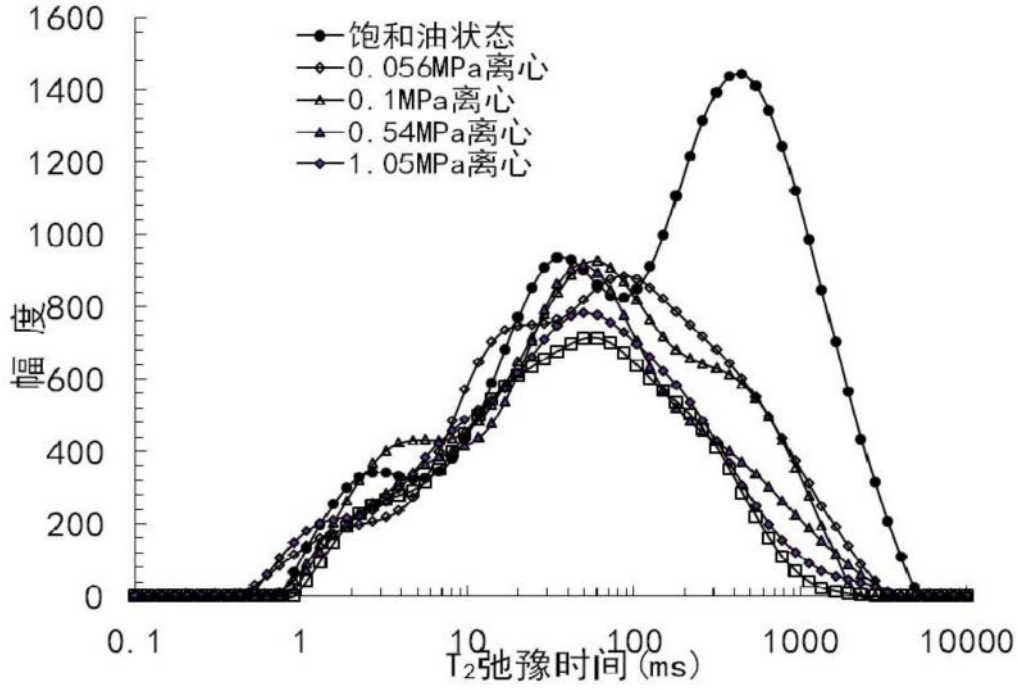

饱和油状态
0.056MPa离心
0.1MPa离心
0.54MPa离心
1.05MPa离心
幅度
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
0.1
1
10
100
1000
10000
T2弛豫时间(ms)

图1B

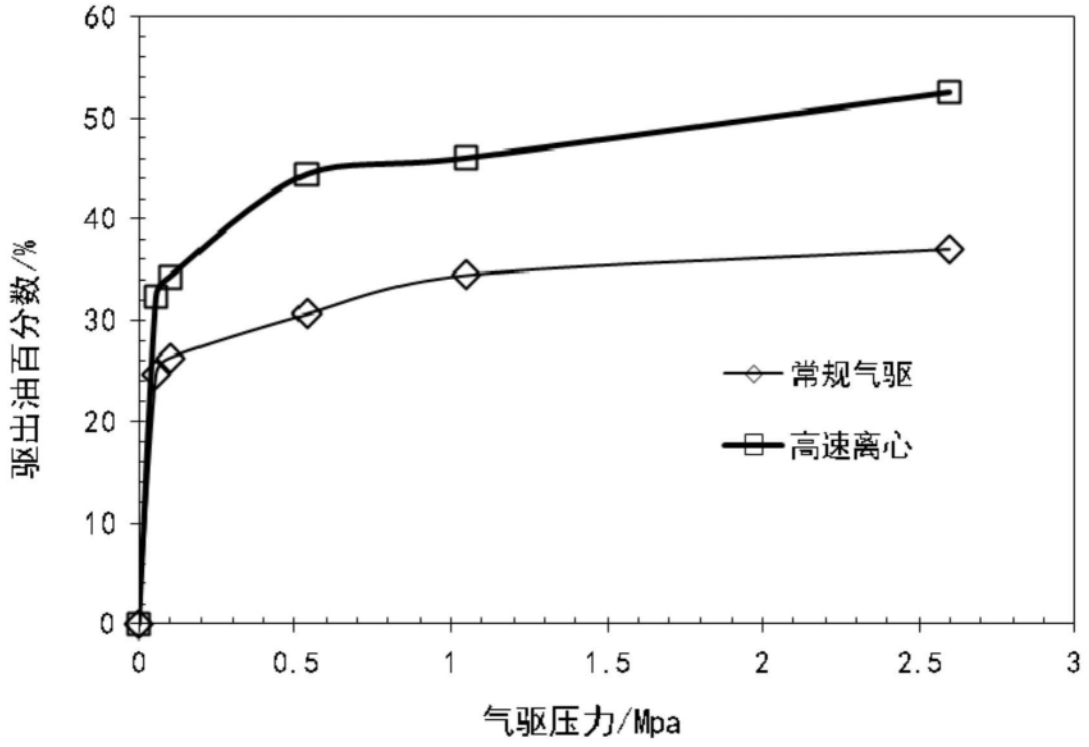

60
50
40
30
20
10
0
驱出油百分数/%
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
气驱压力/Mpa
常规气驱
高速离心

图2

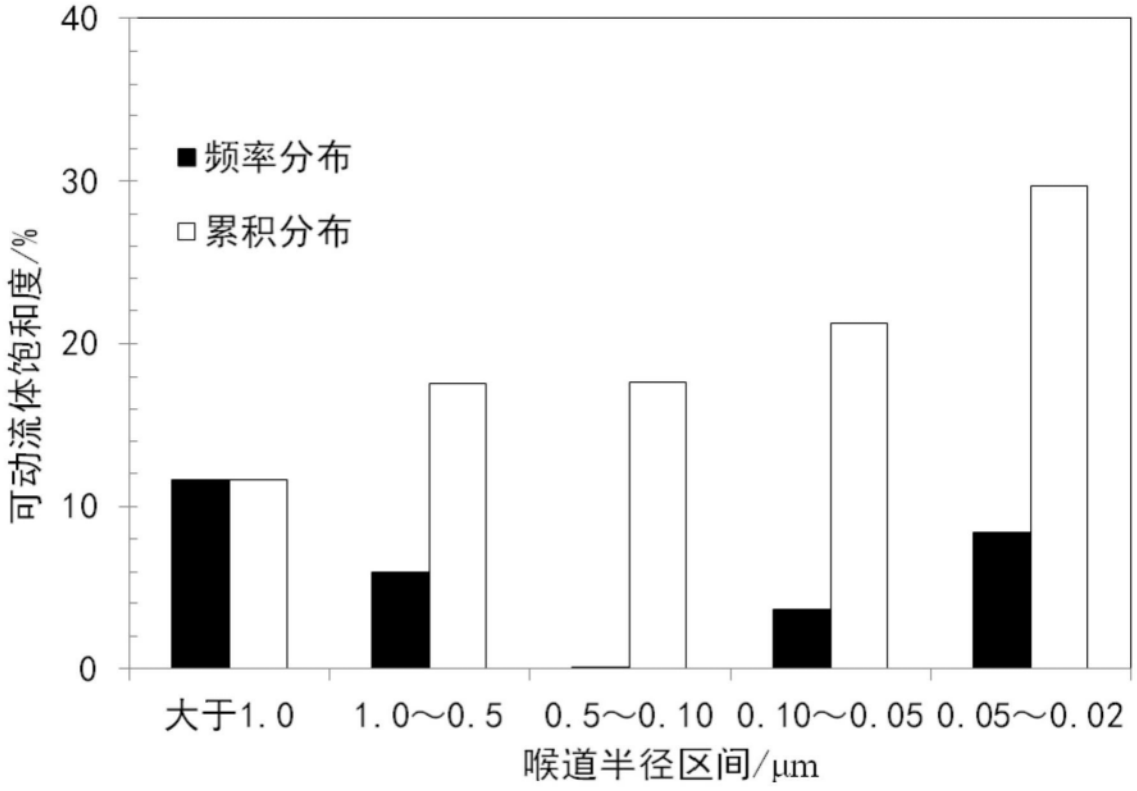

40
30
20
10
0
可动流体饱和度/%
频率分布
累积分布
大于1.0
1.0～0.5
0.5～0.10
0.10～0.05
0.05～0.02
喉道半径区间/μm

图3

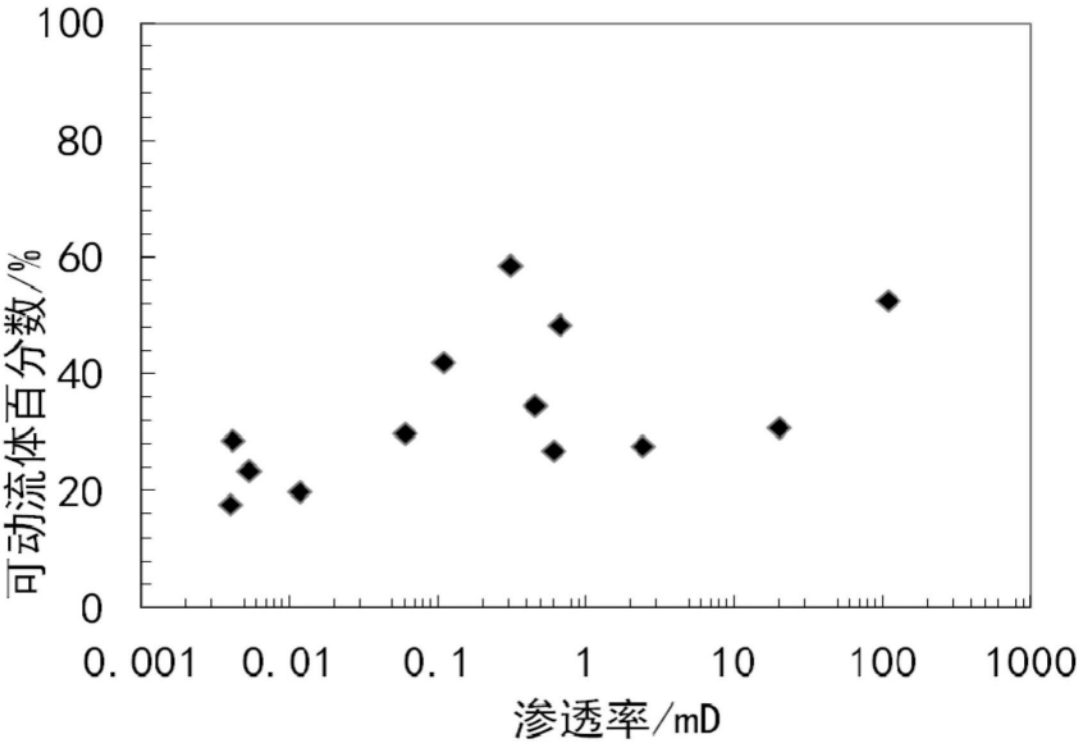

100
80
60
40
20
0
可动流体百分数/%
0.001
0.01
0.1
1
10
100
1000
渗透率/mD

图4

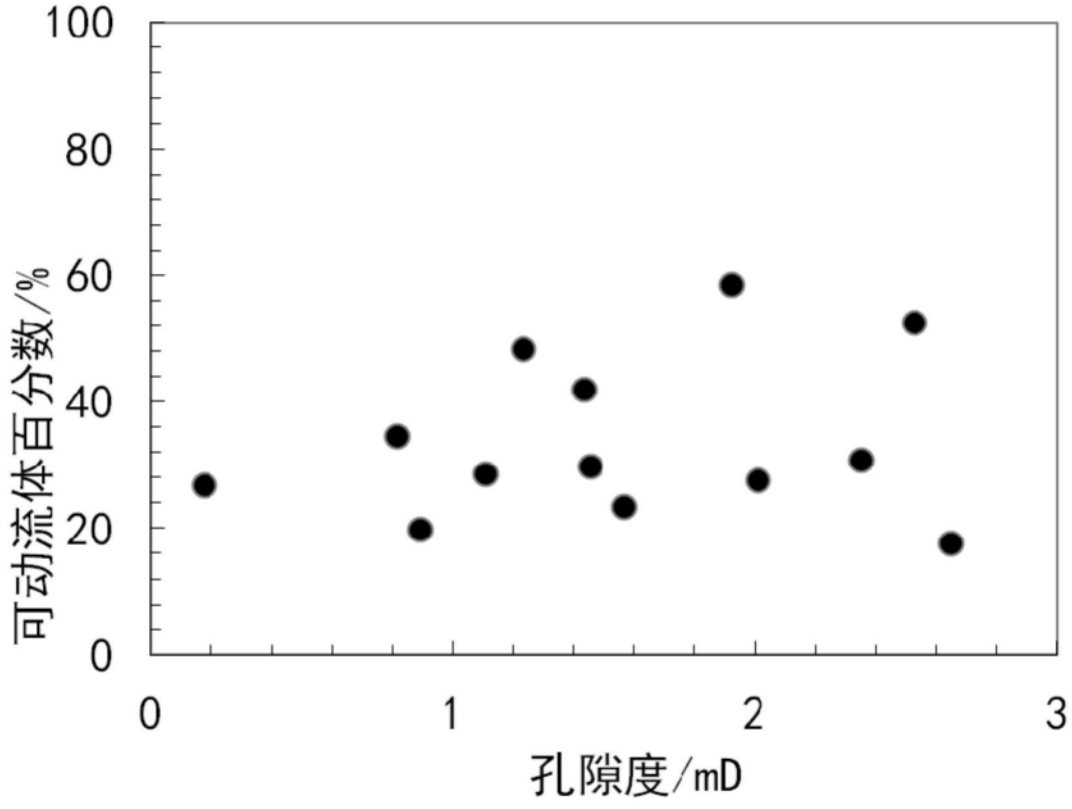

100
80
60
40
20
0
可动流体百分数/%
0
1
2
3
孔隙度/mD

图5

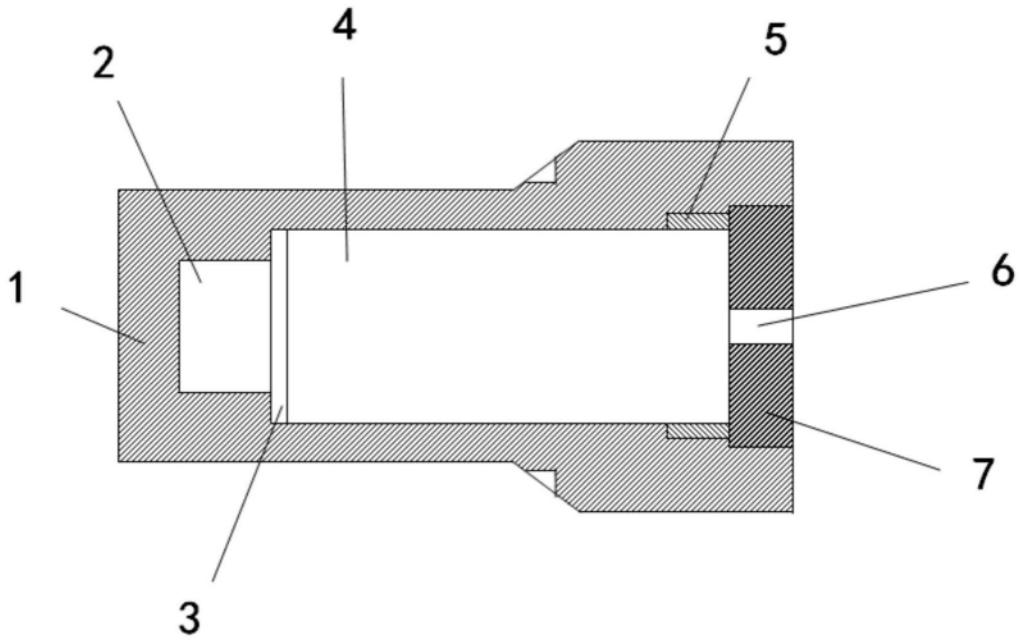


图6

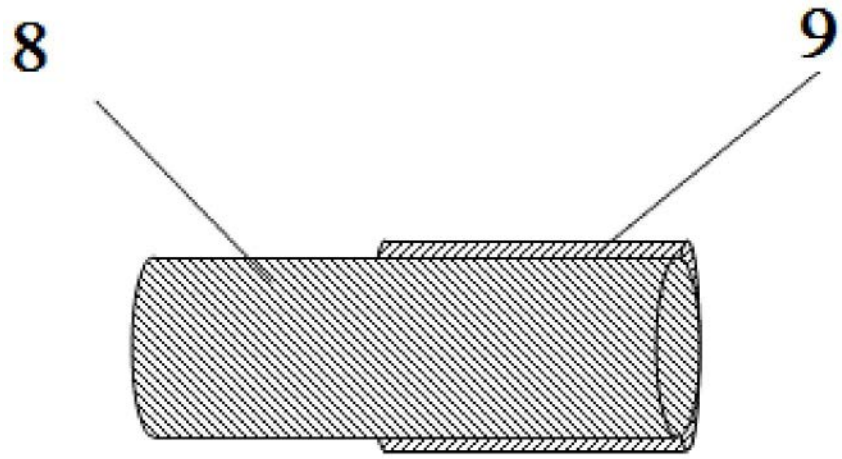


图7

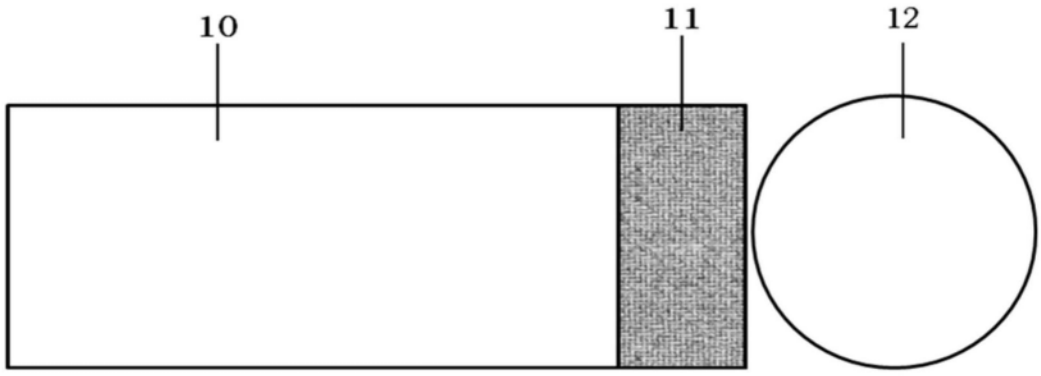


图8