



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109612896 B

(45) 授权公告日 2021.08.24

(21) 申请号 201811115051.3

(22) 申请日 2018.09.25

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 109612896 A

(43) 申请公布日 2019.04.12

(73) 专利权人 西安石油大学  
地址 710065 陕西省西安市电子二路东段  
18号

(72) 发明人 赵金省 黄兴 王琛 张益

(74) 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任  
公司 61200

代理人 徐文权

(51) Int. Cl.

G01N 15/08 (2006.01)

G01N 24/08 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 103939065 A, 2014.07.23

CN 106872507 A, 2017.06.20

CN 107894386 A, 2018.04.10

CN 106988711 A, 2017.07.28

CN 106290714 A, 2017.01.04

CN 206161491 U, 2017.05.10

周尚文等. 基于核磁共振技术的储层含油饱和度参数综合测试方法. 《科学技术与工程》. 2014, 第14卷(第21期),

审查员 李乐

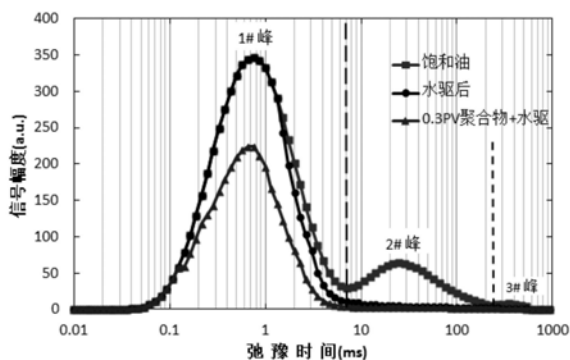
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

## (54) 发明名称

含裂缝的真实砂岩岩心物理模拟及驱油效果评价方法

## (57) 摘要

本发明公开了含裂缝的真实砂岩岩心物理模拟及驱油效果评价方法, 首先选取含裂缝的真实砂岩岩心、配制含 $Mn^{2+}$ 的工作液; 岩心抽真空饱和工作液, 对岩心离心建立束缚水饱和度; 岩心抽真空加压饱和和实验用油, 计算原始含油饱和度; 岩心样品测试核磁共振 $T_2$ 谱, 得到原始含油分布; 向岩心样品中注入含 $Mn^{2+}$ 的水, 进行水驱油, 直到出口100%含水; 岩心样品测试核磁共振 $T_2$ 谱, 得到水驱后的剩余油分布; 向岩心样品中注入调剖剂, 并进行后续水驱, 直到出口100%含水; 岩心样品测试核磁共振 $T_2$ 谱, 得到调驱后的剩余油分布; 根据各阶段的 $T_2$ 谱, 定量分析水驱后和调驱后的驱油效果, 包括每个驱油阶段裂缝和基质孔隙内的驱油效率。本发明能够定量、准确评价含裂缝砂岩岩心的驱油效果。



1. 含裂缝的真实砂岩岩心物理模拟及驱油效果评价方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一:选取含裂缝的真实砂岩岩心,洗油烘干;另外根据油田采出水的矿化度配制含 $Mn^{2+}$ 的模拟地层水,根据油田地层条件下的原油粘度配制模拟用油,其中,含 $Mn^{2+}$ 的模拟地层水的 $Mn^{2+}$ 浓度为5000mg/L-8000mg/L;

步骤二:对岩心样品抽真空并饱和含 $Mn^{2+}$ 的模拟地层水,并进行离心处理,脱除可动水,建立束缚水饱和度;

步骤三:将步骤二得到的岩心样品称重,然后置于抽真空加压饱和装置中,饱和模拟用油,并对饱和油后的岩心称重,计算原始含油饱和度;

步骤四:将步骤三得到的岩心样品测试核磁共振 $T_2$ 谱,得到原始含油分布;

步骤五:将步骤四得到的岩心样品连接驱替流程,设置实验温度和压力,向岩心样品中注入含 $Mn^{2+}$ 的模拟地层水,进行水驱油,直到出口100%含水;

步骤六:将步骤五得到的岩心样品测试核磁共振 $T_2$ 谱,得到水驱后的剩余油分布;

步骤七:将步骤六得到的岩心样品连接驱替流程,设置实验温度和压力,向岩心样品中注入调剖剂段塞,并进行后续水驱,直到出口100%含水;

步骤八:将步骤七得到的岩心样品测试核磁共振 $T_2$ 谱,得到调驱后的剩余油分布;

步骤九:将步骤四、步骤六、步骤八测得的 $T_2$ 谱绘制在一张图上,分析水驱后和调驱后的驱油效果;

水驱后和调驱后的驱油效果包括每个驱油阶段裂缝和孔隙内的驱油效率以及每种调剖剂段塞对裂缝和大孔隙的封堵效果;

其中驱油效率采用下式计算:

$$R = \frac{S_0 - S}{S_0}$$

式中:R为驱油效率,%;S为某一驱替阶段下的核磁共振 $T_2$ 谱与X轴所包围的面积; $S_0$ 为岩心饱和油时核磁共振 $T_2$ 谱与X轴所包围的面积。

2. 根据权利要求1所述的含裂缝的真实砂岩岩心物理模拟及驱油效果评价方法,其特征在于,步骤一中真实砂岩岩心的直径为2.5cm、长度为4.0cm。

3. 根据权利要求1所述的含裂缝的真实砂岩岩心物理模拟及驱油效果评价方法,其特征在于,步骤二中离心速度为9000r/min,离心时间为2小时。

4. 根据权利要求1所述的含裂缝的真实砂岩岩心物理模拟及驱油效果评价方法,其特征在于,步骤三中抽真空加压饱和所施加的压力为30MPa。

5. 根据权利要求1所述的含裂缝的真实砂岩岩心物理模拟及驱油效果评价方法,其特征在于,步骤五和步骤七中注入速度均为0.2mL/min。

6. 根据权利要求1所述的含裂缝的真实砂岩岩心物理模拟及驱油效果评价方法,其特征在于,步骤五和步骤七中实验温度均设置为50℃,压力均设置为5MPa。

7. 根据权利要求1所述的含裂缝的真实砂岩岩心物理模拟及驱油效果评价方法,其特征在于,步骤七中调剖剂段塞的大小为0.3PV。

## 含裂缝的真实砂岩岩心物理模拟及驱油效果评价方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于油气田开发实验技术领域,具体涉及一种含裂缝的真实砂岩岩心物理模拟及驱油效果评价方法。

### 背景技术

[0002] 低渗透砂岩油藏具有巨大的资源潜力和相对较大的开发难度,近期当年探明的石油地质储量中大部分也为低渗透油田储量,而低渗透砂岩油藏又多发育有裂缝,裂缝的存在容易引起注入水窜流、油井过早水淹、无水采油期短等问题。针对此,室内针对低渗透裂缝性砂岩油藏进行了大量的物理模拟实验,但大多是采用填砂管或者人工胶结的岩心模型,无法代表实际的裂缝性油藏的储层特征。另外,含裂缝的物理模型饱和油的时候,采用常规的先饱和水再油驱水饱和油的方法,将很难在裂缝性岩心中建立起准确的原始含油饱和度,从而使得随后的裂缝性岩心的驱油效果评价造成偏差。因此,建立一种含裂缝的真实岩心物理模拟及驱油效果评价方法,可以更好的指导低渗透裂缝性油藏的高效开发。现有研究中,CN106290714A公布了一种裂缝性储层物理模拟方法,该方法的裂缝是对岩心施加剪切力形成的人工裂缝,且物理模型饱和油的方法是常规的饱和油方法。CN103485769A公布了一种模拟裂缝性油藏的填砂管组合装置,CN206346732U公布了一种新型模拟裂缝性油藏的填砂管组合装置,CN204182386U公布了一种用于模拟裂缝性油藏的填砂管实验装置。童凯军等人于2015年在《石油勘探与开发》第42卷第4期《变质岩裂缝性油藏水驱油特征三维物理模拟》一文中以渤海湾盆地JZ251S油藏为原型,根据相似理论设计了满足几何相似、运动相似、动力相似和双重介质特征参数相似的大尺度物理模型并开展了水平井立体开发水驱油实验,研究了双重介质油藏水驱油机理。王晓燕等人于2017年在《油田化学》第34卷第2期《低渗透裂缝性油藏调剖物理模型研制及实验评价》一文中设计了一种裂缝宽度可调、基质和裂缝流量可分别计量的低渗透裂缝性油藏调剖物理模型。利用该模型开展了弱凝胶、预交联凝胶颗粒以及预交联凝胶颗粒-弱凝胶复合调剖体系对裂缝封堵能力评价实验以及复合调剖体系提高低渗透裂缝性岩心采收率驱油实验。李爱芬等人于2011年在《油气地质与采收率》第18卷第5期《裂缝性油藏低渗透岩心自发渗吸实验研究》一文中,采用胜利油区纯梁采油厂天然低渗透岩心,通过在地层水和表面活性剂溶液中的自发渗吸实验,研究了润湿性、温度、粘度、界面张力等因素对渗吸的影响规律。王萍等人于2017年在《承德石油高等专科学校学报》第19卷第1期《裂缝性致密油藏CO<sub>2</sub>定容混相驱实验研究及应用》一文中,建立了裂缝、基质双重介质条件下CO<sub>2</sub>定容混相驱评价模型,并开展红河油田CO<sub>2</sub>定容混相驱室内实验研究,分析了CO<sub>2</sub>定容混相驱驱替压力传递规律和驱油效果。上述方法或技术中的物理模型多是人工胶结的岩心模型,其中《裂缝性油藏低渗透岩心自发渗吸实验研究》用到的是天然岩心,但文中未明确该岩心是否有裂缝,且采用的饱和油的方法也是常规的饱和油方法。因此,上述的方法或技术均未涉及含裂缝的真实岩心物理模拟及驱油效果评价方法。

## 发明内容

[0003] 本发明的目的在于提供一种含裂缝的真实砂岩岩心物理模拟及驱油效果评价方法,以克服现有技术存在的缺陷,本发明能够针对含有裂缝的真实岩心进行有效的饱和油,并对驱油效果进行定量的评价。

[0004] 为达到上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0005] 含裂缝的真实砂岩岩心物理模拟及驱油效果评价方法,包括以下步骤:

[0006] 步骤一:选取含裂缝的真实砂岩岩心,洗油烘干;另外根据油田采出水的矿化度配制含 $Mn^{2+}$ 的模拟地层水,根据油田地层条件下的原油粘度配制模拟用油;

[0007] 步骤二:对岩心样品抽真空并饱和含 $Mn^{2+}$ 的模拟地层水,并进行离心处理,脱除可动水,建立束缚水饱和度;

[0008] 步骤三:将步骤二得到的岩心样品称重,然后置于抽真空加压饱和装置中,饱和模拟用油,并对饱和油后的岩心称重,计算原始含油饱和度;

[0009] 步骤四:将步骤三得到的岩心样品测试核磁共振 $T_2$ 谱,得到原始含油分布;

[0010] 步骤五:将步骤四得到的岩心样品连接驱替流程,设置实验温度和压力,向岩心样品中注入含 $Mn^{2+}$ 的模拟地层水,进行水驱油,直到出口100%含水;

[0011] 步骤六:将步骤五得到的岩心样品测试核磁共振 $T_2$ 谱,得到水驱后的剩余油分布;

[0012] 步骤七:将步骤六得到的岩心样品连接驱替流程,设置实验温度和压力,向岩心样品中注入调剖剂段塞,并进行后续水驱,直到出口100%含水;

[0013] 步骤八:将步骤七得到的岩心样品测试核磁共振 $T_2$ 谱,得到调驱后的剩余油分布;

[0014] 步骤九:将步骤四、步骤六、步骤八测得的 $T_2$ 谱绘制在一张图上,分析水驱后和调驱后的驱油效果。

[0015] 进一步地,步骤一中真实砂岩岩心的直径为2.5cm、长度为4.0cm。

[0016] 进一步地,步骤一中含 $Mn^{2+}$ 的模拟地层水的 $Mn^{2+}$ 浓度为5000mg/L-8000mg/L。

[0017] 进一步地,步骤二中离心速度为9000r/min,离心时间为2小时。

[0018] 进一步地,步骤三中抽真空加压饱和所施加的压力为30MPa。

[0019] 进一步地,步骤五和步骤七中注入速度均为0.2mL/min。

[0020] 进一步地,步骤五和步骤七中实验温度均设置为50℃,压力均设置为5MPa。

[0021] 进一步地,步骤七中调剖剂段塞的大小为0.3PV。

[0022] 进一步地,步骤九中水驱后和调驱后的驱油效果包括每个驱油阶段裂缝和孔隙内的驱油效率以及每种调剖剂段塞对裂缝的封堵效果;

[0023] 其中驱油效率采用下式计算:

$$[0024] \quad R = \frac{S_0 - S}{S_0}$$

[0025] 式中:R为驱油效率,%;S为某一驱替阶段下的核磁共振 $T_2$ 谱与X轴所包围的面积; $S_0$ 为岩心饱和油时核磁共振 $T_2$ 谱与X轴所包围的面积。

[0026] 与现有技术相比,本发明具有以下有益的技术效果:

[0027] (1) 本发明针对真实的含裂缝砂岩岩心的物理模拟及驱油效果评价方法,相比于常用的带人造裂缝的填砂管和胶结岩心,实验结果更加真实可靠。

[0028] (2) 该方法针对岩心中的裂缝和基质渗透率差异过大的问题,提出了一种含裂缝

岩心的饱和油方法,即在常规的抽真空饱和水的基础上,通过对岩心高速离心建立束缚水,再进行抽真空加压饱和油。相比于常规的油驱水的饱和油方法,该方法建立的原始含油饱和度更加接近实际。

[0029] (3)对于真实岩心来说,由于岩心孔隙体积较小,采用常规的岩心出口计量出油量的方法将会造成一定的误差,从而影响到驱油效果评价,另外,常规的驱油效果评价方法也无法对基质孔隙和裂缝中的原油动用情况进行定量评价。本方法采用核磁共振实验方法,通过对比各驱油阶段的核磁共振 $T_2$ 谱,可以定量的评价基质孔隙和裂缝中的原油动用情况,分析各种调剖或驱油剂的调驱效果。

### 附图说明

[0030] 图1为实施例一的岩心水驱和调驱之后的核磁共振 $T_2$ 谱图;

[0031] 图2为实施例二的岩心水驱和调驱之后的核磁共振 $T_2$ 谱图。

### 具体实施方式

[0032] 下面结合具体实施例做进一步说明:

[0033] 实施例一

[0034] 含裂缝的真实砂岩岩心物理模拟及驱油效果评价方法,包括以下步骤:

[0035] 步骤一:选取直径为2.5cm、长度为4.0cm的含裂缝的真实砂岩岩心,洗油烘干;另外根据油田采出水的矿化度配制 $Mn^{2+}$ 浓度为5000mg/L-8000mg/L的含 $Mn^{2+}$ 的模拟地层水,根据油田地层条件下的原油粘度2.0mPa.s配制模拟用油;

[0036] 步骤二:对岩心样品抽真空并饱和含 $Mn^{2+}$ 的模拟地层水,并在9000r/min的离心速度下进行离心处理,离心时间为2小时,脱除可动水,建立束缚水饱和度;

[0037] 步骤三:将步骤二得到的岩心样品称重,然后置于抽真空加压饱和装置中,饱和模拟用油,抽真空加压饱和所施加的压力为30MPa,并对饱和油后的岩心称重,计算原始含油饱和度为65%;

[0038] 步骤四:将步骤三得到的岩心样品测试核磁共振 $T_2$ 谱,得到原始含油分布;

[0039] 步骤五:将步骤四得到的岩心样品置于岩心夹持器中,连接驱替流程,设置实验温度50℃和回压5MPa,以0.2mL/min的注入速度向岩心样品中注入含 $Mn^{2+}$ 的模拟地层水,进行水驱油,直到出口100%含水;

[0040] 步骤六:将步骤五得到的岩心样品测试核磁共振 $T_2$ 谱,得到水驱后的剩余油分布;

[0041] 步骤七:将步骤六得到的岩心样品置于岩心夹持器中,连接驱替流程,设置实验温度50℃和回压5MPa,以0.2mL/min的注入速度向岩心样品中注入0.3PV的聚合物溶液段塞,聚合物溶液粘度为35mPa.s,并进行后续水驱,直到出口100%含水;

[0042] 步骤八:将步骤七得到的岩心样品测试核磁共振 $T_2$ 谱,得到调驱后的剩余油分布;

[0043] 步骤九:将步骤四、步骤六、步骤八测得的 $T_2$ 谱绘制在一张图上,见图1。分析水驱后和调驱后的驱油效果,包括每个驱油阶段裂缝和孔隙内的驱油效率,见表1,以及每种调剖段塞对裂缝的封堵效果。

[0044] 表1各驱油阶段的 $T_2$ 谱峰面积及驱油效率

阶段	峰面积			驱油效率 (%)		
	1#峰	2#峰	3#峰	小孔隙	裂缝和大孔隙	总
[0045] 饱和油	5922.167	945.418	38.28	\	\	\
水驱	5553.306	111.165	9.904	6.23	87.69	17.83
聚合物驱+水驱	3406.956	58.794	6.437	42.47	93.37	49.72

[0046] 由图1可以看出,该含裂缝岩心的 $T_2$ 谱包含三个峰,1#峰代表岩心内的小孔隙,2#和3#峰代表岩心内的裂缝和大孔隙。通过图1中各阶段的峰面积的变化可以计算出驱油效率,计算结果见表1。由图1可以看出,水驱阶段2#和3#峰下降幅度较大,而1#峰下降幅度较小。可见,水驱阶段采出的油大部分是裂缝和大孔隙中的油,驱油效率达到了87.69%,而小孔隙内的驱油效率仅为6.23%,总驱油效率为17.83%。随着向岩心中注入0.3PV的聚合物溶液,由于聚合物溶液在裂缝和大孔隙内形成有效的封堵,后续水驱可以大量的进入小孔隙内,从而采出小孔隙内的油。聚合物+水驱的调驱阶段小孔隙内的驱油效率由水驱阶段的6.23%增加到了42.47%,总驱油效率由水驱阶段的17.83%,增加到了49.72%。

[0047] 实施例二

[0048] 含裂缝的真实砂岩岩心物理模拟及驱油效果评价方法,包括以下步骤:

[0049] 步骤一:选取直径为2.5cm、长度为4.0cm的含裂缝的真实砂岩岩心,洗油烘干;另外根据油田采出水的矿化度配制 $Mn^{2+}$ 浓度为5000mg/L-8000mg/L的含 $Mn^{2+}$ 的模拟地层水,根据油田地层条件下的原油粘度1.8mPa.s配制模拟用油;

[0050] 步骤二:对岩心样品抽真空并饱和含 $Mn^{2+}$ 的模拟地层水,并在9000r/min的离心速度下进行离心处理,离心时间为2小时,脱除可动水,建立束缚水饱和度;

[0051] 步骤三:将步骤二得到的岩心样品称重,然后置于抽真空加压饱和装置中,饱和实验用油,抽真空加压饱和所施加的压力为30MPa,并对饱和油后的岩心称重,计算原始含油饱和度为68%;

[0052] 步骤四:将步骤三得到的岩心样品测试核磁共振 $T_2$ 谱,得到原始含油分布;

[0053] 步骤五:将步骤四得到的岩心样品置于岩心夹持器中,连接驱替流程,设置实验温度50℃和回压5MPa,以0.2mL/min的注入速度向岩心样品中注入含 $Mn^{2+}$ 的模拟地层水,进行水驱油,直到出口100%含水;

[0054] 步骤六:将步骤五得到的岩心样品测试核磁共振 $T_2$ 谱,得到水驱后的剩余油分布;

[0055] 步骤七:将步骤六得到的岩心样品置于岩心夹持器中,连接驱替流程,设置实验温度50℃和回压5MPa,以0.2mL/min的注入速度向岩心样品中注入0.3PV的含凝胶颗粒的聚合物溶液段塞,聚合物溶液粘度为15mPa.s,凝胶颗粒的浓度为25%,并进行后续水驱,直到出口100%含水;

[0056] 步骤八:将步骤七得到的岩心样品测试核磁共振 $T_2$ 谱,得到调驱后的剩余油分布;

[0057] 步骤九:将步骤四、步骤六、步骤八测得的 $T_2$ 谱绘制在一张图上,见图2。分析水驱后和调驱后的驱油效果,包括每个驱油阶段裂缝和孔隙内的驱油效率,见表2,以及每种调剖段塞对裂缝的封堵效果。

[0058] 表2各驱油阶段的 $T_2$ 谱峰面积及驱油效率

阶段	峰面积			驱油效率 (%)		
	1#峰	2#峰	3#峰	小孔隙	裂缝和大孔隙	总
[0059] 饱和油	5102.848	801.676	42.286	\	\	\
水驱	4613.688	136.325	7.743	9.59	82.93	19.99
凝胶颗粒+水驱	2395.674	74.979	4.258	53.05	90.61	58.38

[0060] 由图2可以看出,该含裂缝岩心的 $T_2$ 谱包含三个峰,1#峰代表岩心内的基质,2#和3#峰分别代表岩心内的大孔隙和裂缝。通过图1中各阶段的峰面积的变化可以计算出驱油效率,计算结果见表1。由图1可以看出,水驱阶段2#和3#峰下降幅度较大,而1#峰下降幅度较小。可见,水驱阶段采出的油大部分是裂缝和大孔隙中的油,驱油效率达到了82.93%,而小孔隙内的驱油效率仅为9.59%,总驱油效率为19.99%。随着向岩心中注入0.3PV的含凝胶颗粒的聚合物溶液,由于凝胶颗粒在裂缝内形成有效的封堵,后续水驱可以大量的进入小孔隙内,从而采出小孔隙内的油。凝胶颗粒+水驱的调驱阶段小孔隙内的驱油效率由水驱阶段的9.59%增加到了53.05%,总驱油效率由水驱阶段的19.99%,增加到了58.38%。

[0061] 以上两个实例是对本发明所作的进一步说明,但本发明的具体实施不局限于此。对于含裂缝的砂岩岩心来说,本发明提供了一种物理模拟和驱油效果评价的方法,无论采用何种驱替手段,比如水驱后泡沫驱,或者水驱后微球颗粒调驱等,都可以采用本发明所介绍的方法,也都应视为属于本发明所提交的权利要求书中所确定的专利保护范围。

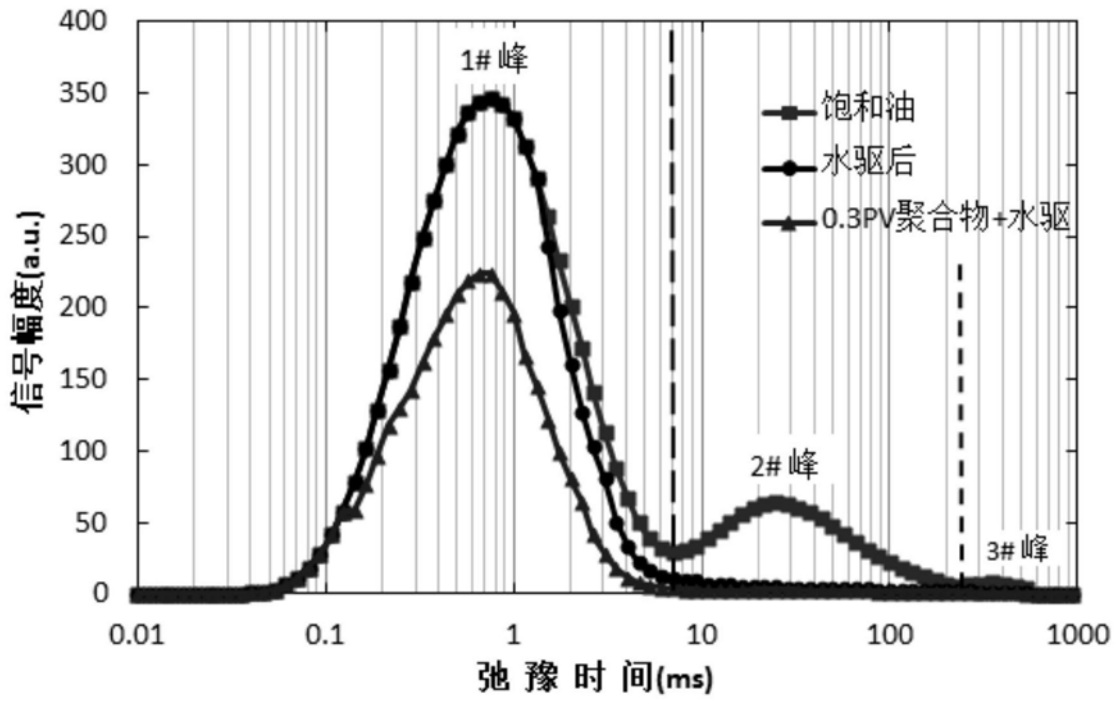


图1

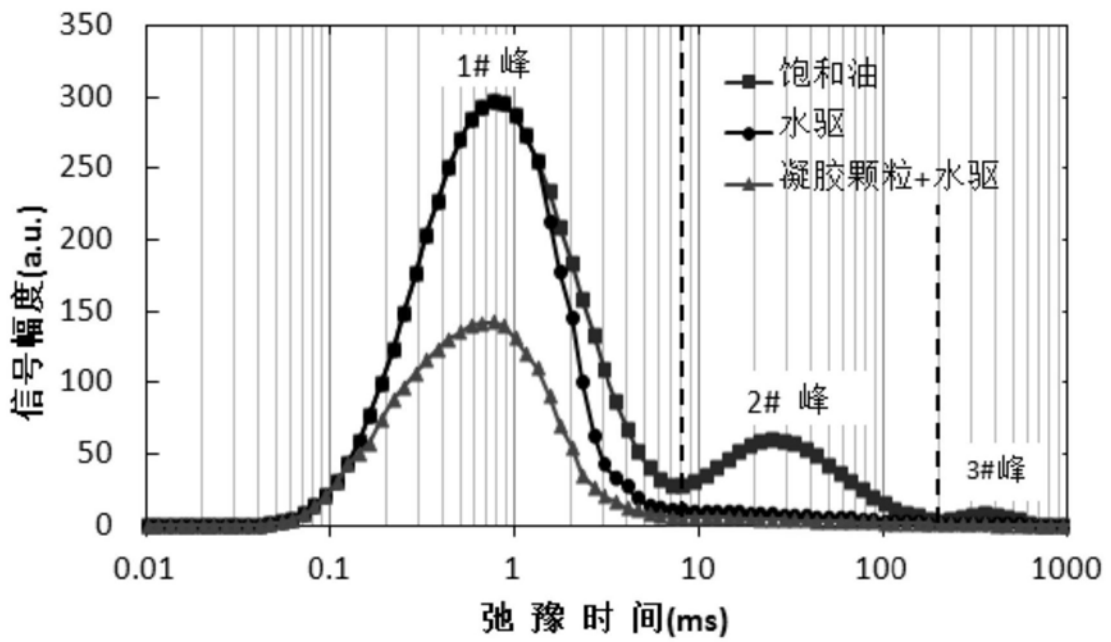


图2