

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2024 年 5 月 2 日 (02.05.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/088443 A1

- (51) 国际专利分类号:
G01N 21/64 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2023/140741
- (22) 国际申请日: 2023 年 12 月 21 日 (21.12.2023)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202211330065.3 2022年10月27日 (27.10.2022) CN
- (71) 申请人: 中国石油天然气股份有限公司 (**PETROCHINA COMPANY LIMITED**) [CN/CN];
中国北京市东城区东直门北大街 9 号, Beijing 100007 (CN)。
- (72) 发明人: 彭宝亮 (**PENG, Baoliang**); 中国北京市海淀区学院路 20 号, Beijing 100083 (CN)。 刘卫东

(**LIU, Weidong**); 中国北京市海淀区学院路 20 号, Beijing 100083 (CN)。 侯庆锋 (**HOU, Qingfeng**); 中国北京市海淀区学院路 20 号, Beijing 100083 (CN)。 仪晓玲 (**YI, Xiaoling**); 中国北京市海淀区学院路 20 号, Beijing 100083 (CN)。

(74) 代理人: 北京润平知识产权代理有限公司 (**RUNPING & PARTNERS**); 中国北京市海淀区北四环西路 9 号银谷大厦 515 室, Beijing 100190 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA,

(54) **Title:** IN-SITU EMULSIFICATION PROCESS DESCRIPTION AND CHARACTERIZATION APPARATUS, METHOD AND SYSTEM

(54) 发明名称: 原位乳化过程描述与表征装置、方法及系统

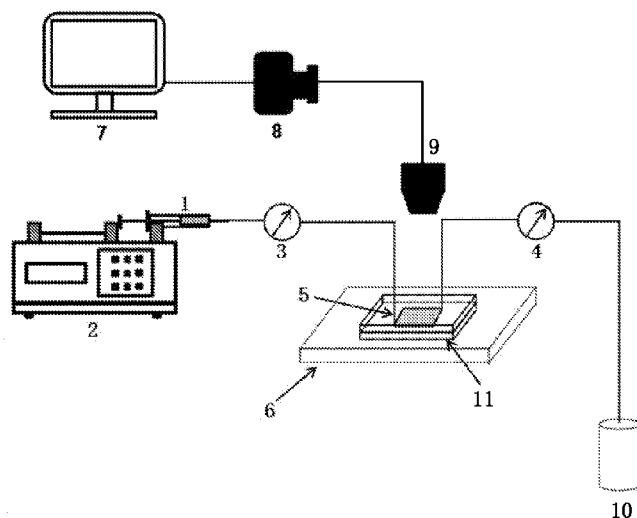


图 1

(57) **Abstract:** An in-situ emulsification process description and characterization apparatus, method and system, which belong to the fields of oilfield chemistry and colloidal interfaces. The apparatus comprises: an injection apparatus; a micro-fluidic chip (5), which has an injection port and an outflow port, wherein a visible micro-channel structure is formed between the injection port and the outflow port, and the micro-channel structure matches a channel structure of a slabbed core; an effluent collector (10), which is in communication with the outflow port; a thermostatic heater (6), which is arranged at the bottom of the micro-fluidic chip (5); a fluorescence microscope (9), which is arranged above the micro-fluidic chip (5); an emulsification identification unit, which is in communication with the fluorescence microscope (9); an emulsification analysis unit (7), which is in communication with the emulsification identification unit (8); a first pressure sensor (3), which is arranged on a sample feeding pipe; and a second pressure sensor (4), which is arranged on a

PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:
— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。
— 在修改权利要求的期限届满之前进行, 在收到该修改后将重新公布(细则48.2(h))。
— 包括关于请求恢复一项或多项优先权要求的信息(细则26之二.3和48.2(b)(vii))。

sample discharging pipe. By means of the apparatus, visualization research can be performed on an in-situ emulsification process, the influence of each process variable on in-situ emulsification can be explored, and quantitative analysis can be performed on effluent, thereby facilitating an increase in the recovery ratio.

(57) 摘要: 一种原位乳化过程描述与表征装置、方法及系统, 属于油田化学及胶体界面领域, 装置包括: 注入装置; 微流控芯片 (5), 具有注入口和流出口, 注入口与流出口之间形成有可视的微通道结构, 微通道结构与岩心切片的通道结构匹配; 流出液收集器 (10), 与流出口连通; 恒温加热器 (6), 设置在微流控芯片 (5) 的底部; 荧光显微镜 (9), 设置在微流控芯片 (5) 上方; 乳化识别单元 (8), 与荧光显微镜 (9) 连通; 乳化分析单元 (7), 与乳化识别单元 (8) 连通; 第一压力传感器 (3), 设置在进样管路上; 第二压力传感器 (4), 设置在出样管路上。通过这一装置, 能够对原位乳化过程进行可视化研究, 探究各过程变量对原位乳化的影响, 对流出液进行量化, 有助于提高采收率。

原位乳化过程描述与表征装置、方法及系统

技术领域

本发明涉及油田化学及胶体界面技术领域，具体地，涉及一种原位乳化过程描述与表征装置、一种原位乳化过程描述与表征方法及一种原位乳化过程描述与表征系统。

背景技术

在油气开采领域，通过形成中相微乳液，将油/水界面张力（IFT）降低到超低水平（ $<10^{-2} \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$ ）被普遍认为是表面活性剂提高采收率的主要机理。这一过程通常需要较高的表活剂浓度且需助剂的参与。然而，国内部分油田的现场应用表明，在使用低浓度表活剂，且未达到超低 IFT 时仍能实现大幅度提高采收率，例如，新疆油田使用了含表活剂环烷基芳基磺酸盐（NAS）的 SP 复合驱，现场阶段采收率达到了 16%，数值模拟预测其最终采收率将达到 20%，然而这一体系与原油间的界面张力远未达到超低水平，其中蕴含的潜在机理有待揭示。

近年来，原位乳化被认为是一种提高采收率的可能机理。理论上，当聚-表二元驱与原油在泵送压力下同时流动时，必然会形成乳液，原油也必然会与乳液一起被驱至地面。由于其较高的黏度，产生的乳液有助于封堵高渗通道，迫使后续的驱替液向低渗区域流动，以波及其中的残余油。然而，由于多孔介质几何结构的复杂性和乳液体系的复杂性，使得乳液形成和流动的物理过程十分复杂，乳液是如何在地下多孔介质中形成的，原位乳化对提高采收率的影响有多大，聚合物对原位乳化有何影响，目前尚无定论，主要原因是无法对多孔介质中的渗流过程进行实时监测。因此，可视化地研究流体在多孔介质中流动的基本机理，对于理解原位乳液的演化及揭示其对提高采收率的贡献具有重要意义。

发明内容

针对现有技术中表面活性剂驱油过程中的原位乳化作用难以描述和表征的技术问题，本发明提供了一种原位乳化过程描述与表征装置、一种原位乳化过程描述与表征方法及一种原位乳化过程描述与表征系统，采用原位乳化过程描述与

表征装置能够对原位乳化过程进行可视化研究，探究各过程变量对原位乳化的影响，并通过对流出液的分析进一步量化其对提高采收率的贡献。

为实现上述目的，本发明第一方面提供一种原位乳化过程描述与表征装置，包括：注入装置，用于注入油相或水相；微流控芯片，所述微流控芯片具有注入口和流出口，所述微流控芯片的注入口与所述注入装置连通，所述注入口与所述流出口之间形成有可视微通道结构，所述微通道结构与岩心切片的通道结构匹配，水相通过所述注入口注入所述微通道结构，并对预先注入所述微通道结构的油相进行乳化，乳化后所形成的乳液或被水相驱替出的油相通过所述流出口流出；流出液收集器，与所述微流控芯片的流出口连通，用于收集乳化后所形成的乳液或被水相驱替出的油相；恒温加热器，设置在所述微流控芯片的底部，用于对所述微流控芯片进行恒温加热；荧光显微镜，设置在所述微流控芯片上方，用于观测微通道结构内水相对油相的乳化过程，其中，油相和水相分别采用不同的荧光剂预先进行荧光标记；乳化识别单元，与所述荧光显微镜连通，用于采集所述微通道结构内水相对油相乳化的图像信息；乳化分析单元，与所述乳化识别单元连通，用于基于所述图像信息确定水相对油相的乳化效果；第一压力传感器，设置在所述注入装置与所述微流控芯片注入口之间的进样管路上，用于检测所述进样管路的注入压力；第二压力传感器，设置在所述注入装置与所述微流控芯片流出口之间的出样管路上，用于检测所述出样管路的流出压力。

进一步地，所述注入装置包括：注射器和微量进样泵，所述注射器设置在所述微量进样泵与所述第一压力传感器之间，所述微量进样泵用于调节水相或油相的注入量和注入速度，并通过所述注射器向所述进样管路泵入水相或油相。

进一步地，所述注射器为气密注射器。

进一步地，所述装置还包括：测温探头，所述测温探头设置于所述微流控芯片表面，用于检测所述微流控芯片的温度。

进一步地，所述流出液收集器为核磁管。

进一步地，核磁管外壁上设置有用以标识标准容量的刻度线。

本发明第二方面提供一种原位乳化过程描述与表征方法，所述方法应用于上文所述的原位乳化过程描述与表征装置，所述方法包括：分别采用不同的荧光剂对水相和油相进行荧光标记；向微流控芯片的微通道结构注满油相；向所述微流

控芯片的微通道结构注入水相，利用水相对微通道结构的油相进行乳化；采集微通道结构水相对油相乳化的图像信息；基于所述图像信息确定水相对油相的乳化效果。

进一步地，所述基于所述图像信息确定水相对油相的乳化效果，包括：基于所述图像信息确定乳化后所形成的乳液的尺寸和尺寸分布；乳化后所形成的乳液的尺寸越小，乳化效果越好；乳化后所形成的乳液的尺寸分布越均匀，乳化效果越好。

进一步地，所述方法还包括：确定乳化后所形成的乳液的体积与被水相驱替出的油相的体积；乳化后所形成的乳液的体积与被水相驱替出的油相的体积之和越大，乳化效果越好。

本发明第三方面提供一种原位乳化过程描述与表征系统，包括上文所述的原位乳化过程描述与表征装置。

通过本发明提供的技术方案，本发明至少具有如下技术效果：

本发明的原位乳化过程描述与表征装置包括注入装置、微流控芯片、流出液收集器、恒温加热器、荧光显微镜、乳化识别单元、乳化分析单元和两个压力传感器。注入装置用于注入油相或水相，微流控芯片具有注入口和流出口，微流控芯片的注入口与注入装置连通，注入口与流出口之间形成有可视的微通道结构，微通道结构与岩心切片的通道结构匹配，水相通过注入口注入微通道结构，并对预先注入微通道结构的油相进行乳化，乳化后所形成的乳液或被水相驱替出的油相通过流出口流出至流出液收集器，恒温加热器设置在微流控芯片的底部，用于对微流控芯片进行恒温加热。油相和水相分别采用不同的荧光剂预先进行荧光标记，能够通过设置在微流控芯片上方的荧光显微镜，观测微通道结构内水相对油相的乳化过程。乳化识别单元与荧光显微镜连通，采集微通道结构内水相对油相乳化的图像信息传输给乳化分析单元，乳化分析单元基于图像信息确定水相对油相的乳化效果。在注入装置与微流控芯片注入口之间的进样管路，以及注入装置与微流控芯片流出口之间的出样管路上分别设置第一压力传感器和第二压力传感器，用于检测管路的压力。通过本发明提供的原位乳化过程描述与表征装置、方法及系统，能够利用微流控芯片模拟地下多孔介质，对原位乳化过程进行可视化研究，探究各过程变量对原位乳化的影响，而且能够对流出液进行进一步分析，

对流出液进行量化，有助于提高采收率。

本发明的其它特征和优点将在随后的具体实施方式部分予以详细说明。

附图说明

附图是用来提供对本发明实施例的进一步理解，并且构成说明书的一部分，与下面的具体实施方式一起用于解释本发明实施例，但并不构成对本发明实施例的限制。在附图中：

图 1 为本发明实施例提供的原位乳化过程描述与表征装置的示意图；

图 2 为本发明实施例提供的原位乳化过程描述与表征装置中微流控芯片的内部结构示意图；

图 3 为本发明实施例提供的原位乳化过程描述与表征方法的流程图；

图 4 为本发明的一种实施方式的乳化过程示意图；

图 5 为本发明的一种实施方式的乳化后的乳液示意图；

图 6 为本发明的一种实施方式的乳化后的乳液的尺寸分布图；

图 7 为本发明的另一实施方式的乳化过程示意图；

图 8 为本发明的另一实施方式的乳化后的乳液示意图；

图 9 为本发明的另一实施方式的乳化后的乳液的尺寸分布图。

附图标记说明

1-注射器；2-微量进样泵；3-第一压力传感器；4-第二压力传感器；5-微流控芯片；6-恒温加热器；7-乳化分析单元；8-乳化识别单元；9-荧光显微镜；10-流出液收集器；11-耐压夹具。

具体实施方式

以下结合附图对本发明实施例的具体实施方式进行详细说明。应当理解的是，此处所描述的具体实施方式仅用于说明和解释本发明实施例，并不用于限制本发明实施例。

需要说明的是，在不冲突的情况下，本发明中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。

在本发明中，在未作相反说明的情况下，使用的方位词如“上、下、顶、底”通常是针对附图所示的方向而言的或者是针对竖直、垂直或重力方向上而言的各

部件相互位置关系描述用词。

下面将参考附图并结合实施例来详细说明本发明。

请参考图 1，本发明实施例提供一种原位乳化过程描述与表征装置，该装置包括：注入装置，用于注入油相或水相；微流控芯片 5，所述微流控芯片 5 具有注入口和流出口，所述微流控芯片 5 的注入口与所述注入装置连通，所述注入口与所述流出口之间形成有可视的微通道结构，所述微通道结构与岩心切片的通道结构匹配，水相通过所述注入口注入所述微通道结构，并对预先注入所述微通道结构的油相进行乳化，乳化后所形成的乳液或被水相驱替出的油相通过所述流出口流出；流出液收集器 10，与所述微流控芯片 5 的流出口连通，用于收集乳化后所形成的乳液或被水相驱替出的油相；恒温加热器 6，设置在所述微流控芯片 5 的底部，用于对所述微流控芯片 5 进行恒温加热；荧光显微镜 9，设置在所述微流控芯片 5 上方，用于观测微通道结构内水相对油相的乳化过程，其中，油相和水相分别采用不同的荧光剂预先进行荧光标记；乳化识别单元 8，与所述荧光显微镜 9 连通，用于采集所述微通道结构内水相对油相乳化的图像信息；乳化分析单元 7，与所述乳化识别单元 8 连通，用于基于所述图像信息确定水相对油相的乳化效果；第一压力传感器 3，设置在所述注入装置与所述微流控芯片 5 注入口之间的进样管路上，用于检测所述进样管路的注入压力；第二压力传感器 4，设置在所述注入装置与所述微流控芯片 5 流出口之间的出样管路上，用于检测所述出样管路的流出压力。

具体地，本发明实施方式中，原位乳化过程描述与表征装置包括注入装置、微流控芯片 5、流出液收集器 10、荧光显微镜 9、乳化识别单元 8、和乳化分析单元 7。注入装置、微流控芯片 5 和流出液收集器 10 依次连通，恒温加热器 6 设置在微流控芯片 5 底部，用于对微流控芯片 5 进行恒温加热。请参考图 2，微流控芯片 5 具有注入口和流出口，微流控芯片 5 的注入口与注入装置连通，流出口与流出液收集器 10 连通。注入口与流出口之间形成有可视的微通道结构，微通道结构与岩心切片的通道结构匹配，可通过真实的岩心切片扫描获得，水相通过注入口注入微通道结构，并对预先注入微通道结构的油相进行乳化，乳化后所形成的乳液或被水相驱替出的油相通过流出口流出，收集在流出液收集器 10 内。在一种可能的实施方式中，微流控芯片 5 由玻璃制成，通过制版、涂附、光学成

像、化学刻蚀、烧结、润湿等步骤在玻璃基板上形成微通道结构，微流控芯片 5 对角线两端分别钻出两个孔作为注入口和流出口。微通道结构的平均深度为 100 μm ，横截面面积为 4.2 mm^2 ，通过图像分析测得孔隙度约为 44.3%，通过注水法测得渗透率约为 8.8Darcy。

荧光显微镜 9 设置在微流控芯片 5 上方，在荧光激发条件下能够区分油/水两相，观测微通道结构内水相对油相的乳化过程。乳化识别单元 8 与荧光显微镜 9 连通，能够采集微通道结构内水相对油相乳化的图像信息，并将图像信息发送给乳化分析单元 7，乳化分析单元 7 基于图像信息确定水相对油相的乳化效果。在注入装置与所述微流控芯片 5 注入口之间的进样管路上设置有第一压力传感器 3，能够检测进样管路的注入压力。在注入装置与微流控芯片 5 流出口之间的出样管路上设置有第二压力传感器 4，能够检测出样管路的流出压力。第一压力传感器 3 和第二压力传感器 4 的检测限为 800 kPa。在一种可能的实施方式中，荧光显微镜 9 通过支架与载物台连接，微流控芯片 5 和恒温加热器 6 放置于载物台上，荧光显微镜 9 设置于微通道结构上方。荧光显微镜 9 包含蓝场、绿场和红场三种激发模式。乳化识别单元 8 采用高速摄像机，高速摄像机在全画幅宽度模式下的最大拍摄速率为 2000 帧/秒。

根据本发明提供的原位乳化过程描述与表征装置，能够利用微流控芯片模拟地下多孔介质，对原位乳化过程进行可视化研究，探究各过程变量对原位乳化的影响，而且能够对流出液进行进一步分析，对流出液进行量化，有助于提高采收率。

进一步地，所述注入装置包括：注射器 1 和微量进样泵 2，所述注射器 1 设置在所述微量进样泵 2 与所述第一压力传感器 3 之间，所述微量进样泵 2 用于调节水相或油相的注入量和注入速度，并通过所述注射器 1 向所述进样管路泵入水相或油相。

具体地，本发明实施方式中，注入装置包括注射器 1 和微量进样泵 2，注射器 1 设置在微量进样泵 2 与第一压力传感器 3 之间，微量进样泵 2 能够调节水相或油相的注入量和注入速度，并通过注射器 1 向进样管路泵入水相或油相。在一种可能的实施方式中，注射器 1 为气密型注射器。

进一步地，所述装置还包括：测温探头，所述测温探头设置于所述微流控芯

片 5 表面，用于检测所述微流控芯片 5 的温度。

具体地，本发明实施方式中，在微流控芯片 5 表面设置有测温探头，测温探头能够实时检测微流控芯片 5 的温度，保证恒温加热器 6 将微流控芯片 5 控制在合适的温度范围内（比如 60℃ 附近）。

进一步地，所述流出液收集器 10 为核磁管。

进一步地，核磁管外壁上设置有用用于标识标准容量的刻度线。

具体地，本发明实施方式中，流出液收集器 10 为核磁管，在核磁管外壁上设置有用用于标识标准容量的刻度线，工作人员能够根据刻度线直观得到乳化后所形成的乳液的体积与被水相驱替出的油相的体积，方便对乳化效果进行表征。

进一步地，所述装置还包括：耐压夹具 11，所述耐压夹具 11 为具有方形通孔的片状结构，所述耐压夹具 11 的方形通孔暴露出微流控芯片 5 的可视的微通道结构、注入口和流出口，压覆在微流控芯片 5 的四边，并与恒温加热器 6 固定。

具体地，本发明实施方式中，在微流控芯片 5 上设置有耐压夹具 11，耐压夹具 11 中间具有方形通孔，耐压夹具 11 压覆在微流控芯片 5 的四边，并与恒温加热器 6 固定，耐压夹具 11 的方形通孔暴露出微流控芯片 5 的可视的微通道结构、注入口和流出口。耐压夹具 11 能够防止微流控芯片 5 在观测过程中移位，保证装置的稳定性。微流控芯片 5 加装耐压夹具 11 后可承受最大 3 MPa 的注入压力。

请参考图 3，本发明第二方面提供一种原位乳化过程描述与表征方法，所述方法应用于上文所述的原位乳化过程描述与表征装置，所述方法包括以下步骤：S101：分别采用不同的荧光剂对水相和油相进行荧光标记；S102：向微流控芯片的微通道结构注满油相；S103：向所述微流控芯片的微通道结构注入水相，利用水相对微通道结构的油相进行乳化；S104：采集微通道结构水相对油相乳化的图像信息；S105：基于所述图像信息确定水相对油相的乳化效果。

具体地，本发明实施方式中，首先采用不同的荧光剂对水相和油相进行荧光标记，分别注入微量进样泵 2，先通过微量进样泵 2 向微流控芯片 5 内注满油相，使得微流控芯片 5 的微通道结构填充满油相，然后通过微量进样泵 2 向微流控芯片 5 的微通道结构内注满由表面活性剂制成的水相，对预先注入微通道结构的油相进行乳化，工作人员能够通过荧光显微镜 9 和乳化识别单元 8 获取微通道结构

内水相对油相乳化过程的图像信息, 乳化分析单元 7 基于图像信息确定水相对油相的乳化效果。乳化后所形成的乳液或被水相驱替出的油相通过流出口流出, 收集至流出液收集器 10 中, 工作人员能够根据流出液收集器 10 内的乳化后所形成的乳液的体积与被水相驱替出的油相的体积确定水相对油相的乳化效果。在乳化过程中能够通过第一压力传感器 3 和第二压力传感器 4 监测进样管路的注入压力和出样管路的流出压力, 同时还可以通过注入压力和流出压力反映出乳化过程中的压力变化, 体现水相是否对油相起作用。

根据本发明提供的原位乳化过程描述与表征装置, 能够利用微流控芯片模拟地下多孔介质, 对原位乳化过程进行可视化研究, 探究各过程变量对原位乳化的影响, 而且能够对流出液进行进一步分析, 对流出液进行量化, 有助于提高采收率。

进一步地, 所述基于所述图像信息确定水相对油相的乳化效果, 包括: 基于所述图像信息确定乳化后所形成的乳液的尺寸和尺寸分布; 乳化后所形成的乳液的尺寸越小, 乳化效果越好; 乳化后所形成的乳液的尺寸分布越均匀, 乳化效果越好。

具体地, 本发明实施方式中, 能够根据乳化后形成的乳液的尺寸和尺寸分布确定出乳化效果, 乳化后所形成的乳液的尺寸越小, 乳化效果越好, 乳化后所形成的乳液的尺寸分布越均匀, 乳化效果越好。

进一步地, 所述方法还包括: 确定乳化后所形成的乳液的体积与被水相驱替出的油相的体积; 乳化后所形成的乳液的体积与被水相驱替出的油相的体积之和越大, 乳化效果越好。

具体地, 本发明实施方式中, 还可以根据乳化后所形成的乳液的体积与被水相驱替出的油相的体积确定乳化效果。乳化后所形成的乳液的体积与被水相驱替出的油相的体积之和越大, 乳化效果越好。乳液体积越大, 则乳化效果越好, 油相体积越大, 则驱油效果越好。

实施例一

采用化学刻蚀法制备了具有无规微通道结构的微流控芯片 5。图 2 为芯片孔隙结构平面示意图。制备步骤包括制版、涂附、光学成像、化学刻蚀、烧结、润湿。微通道结构被刻蚀在 $64\text{mm} \times 64\text{mm}$ 的玻璃基板上, 微通道结构的尺寸为

42mm × 42mm，在模型对角线两端分别钻出两个孔作为注入口和流出口。微通道结构的平均深度为 100 μm，横截面面积为 4.2 mm²，通过图像分析测得孔隙度约为 44.3%，通过注水法测得渗透率约为 8.8Darcy。

管道连接好后，微流控芯片 5 被水平固定在 40℃ 的恒温加热器上，在高注入速率下（100 μl·min⁻¹）向微流控芯片 5 内泵入白油以确保通道内被油饱和。油饱和过程结束后，以一定速率向通道内注入质量分数为 1.6%的十二烷基苯磺酸钠水溶液进行乳化，并记录实时压力，同时监测温度和注入流量，以确保不同实验组的一致性。乳化过程采用 2.5 ml 的气密注射器进行，注入速率为 10 μl·min⁻¹。

为区分油水两相，采用 1×10⁻⁴ mol·L⁻¹ 的荧光素标记水相，并用 3×10⁻⁵ mol·L⁻¹ 尼罗红标记油相。利用荧光显微镜对乳化过程进行成像，使用波长范围为 420~485nm 的激发滤光片和波长为 515 nm 的发射滤光片捕捉荧光图像。

利用高速摄像机记录乳液的产生过程。图 4 显示了在微流控芯片中以 1.6% 的十二烷基苯磺酸钠水溶液为注入流体的乳化过程。虚线框内为乳化发生的确切位置，插图展示了乳化随时间的演化。从图中可以发现，当残余油到达孔喉处时（以此为起始时刻），由于驱替压力小于毛细阻力，残余油前缘在 50–170ms 内逐渐被挤压，最终在 200 ms 时被“咬断”（Snapping action），但仍有大量尾缘残余油滞留在喉道，从 240 ms 捕获的图像中可以看出，分离后的残余油迅速变成球形，形成孔喉尺度的乳液滴并向下游运移。

请参考图 5，乳化 1 小时后，对微流控芯片 5 中的乳化情况进行采集，并利用 Digimizer 软件统计乳液尺寸，请参考表 1，所得数据作尺寸分布图见图 6，在本实施例中乳液平均尺寸为 117 μl，标准偏差为 40 μl。驱替过程中收集流出液，测量各相体积，在本实施例中，共收集油相 296 μl，水包油乳液 63 μl。

表 1

尺寸	数量	中间值	标准偏差	最小值	最大值
长度	104	116.9577μl	40.4950μl	42.820μl	253.254μl

实施例二

本实施所用微流控芯片与实施例一中芯片保持一致。管道连接好后，微流控芯片 5 被水平固定在 40°C 热台上，在高注入速率下 ($100 \mu\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$) 向微流控芯片 5 内泵入白油以确保通道内被油饱和。油饱和过程结束后，以一定速率向通道内注入质量分数为 0.2% 的十二烷基苯磺酸钠水溶液进行乳化，并记录实时压力，同时监测温度和注入流量，以确保不同实验组的一致性。乳化过程采用 2.5 ml 的气密注射器进行，注入速率为 $10 \mu\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

为区分油水两相，采用 $1\times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的荧光素标记水相，并用 $3\times 10^{-5} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 尼罗红标记油相。利用荧光显微镜对驱替过程进行成像，使用波长范围为 420~485 nm 的激发滤光片和波长为 515 nm 的发射滤光片捕捉荧光图像。

利用高速摄像机记录乳液的产生过程。图 7 显示了在微流控芯片中以 0.2 % 的十二烷基苯磺酸钠水溶液为注入流体的乳化过程。对于本实施例，由于界面张力较高 ($2.3 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$)，导致毛细阻力较高，油块很难通过狭窄孔喉而被乳化成小水滴（如图 7 中白色箭头所指），但是可以在更大的孔喉处通过从而被分割成大尺寸液滴。如图 7 中虚线框和插图所示，当残余油到达大尺寸孔喉时 (0 ms)，油块前沿在 40 ~ 110 ms 内被逐渐挤压变形，并最终在 140 ms 时被分割，分离后的油在界面张力作用下变为球形，形成与孔喉尺寸相匹配的乳液滴。

请参考图 8，驱替 1 小时后，对芯片中的乳化情况进行拍照，并利用 Digimizer 软件统计液滴尺寸，所得数据作尺寸分布图如图 9 所示，在本实施例中乳液平均尺寸为 146 μm ，标准偏差为 72 μm 。驱替过程中收集流出液，测量各相体积，在本实施例中，共收集油相 294 μl ，水包油乳液 50 μl 。

本发明第三方面提供一种原位乳化过程描述与表征系统，包括上文所述的原位乳化过程描述与表征装置。

以上结合附图详细描述了本发明的优选实施方式，但是，本发明并不限于上述实施方式中的具体细节，在本发明的技术构思范围内，可以对本发明的技术方案进行多种简单变型，这些简单变型均属于本发明的保护范围。

另外需要说明的是，在上述具体实施方式中所描述的各个具体技术特征，在不矛盾的情况下，可以通过任何合适的方式进行组合，为了避免不必要的重复，本发明对各种可能的组合方式不再另行说明。

此外，本发明的各种不同的实施方式之间也可以进行任意组合，只要其不违背本发明的思想，其同样应当视为本发明所公开的内容。

权利要求书

1. 一种原位乳化过程描述与表征装置，其特征在于，所述装置包括：

注入装置，用于注入油相或水相；

微流控芯片（5），所述微流控芯片（5）具有注入口和流出口，所述微流控芯片（5）的注入口与所述注入装置连通，所述注入口与所述流出口之间形成有可视的微通道结构，所述微通道结构与岩心切片的通道结构匹配，水相通过所述注入口注入所述微通道结构，并对预先注入所述微通道结构的油相进行乳化，乳化后所形成的乳液或被水相驱替出的油相通过所述流出口流出；

流出液收集器（10），与所述微流控芯片（5）的流出口连通，用于收集乳化后所形成的乳液或被水相驱替出的油相；

恒温加热器（6），设置在所述微流控芯片（5）的底部，用于对所述微流控芯片（5）进行恒温加热；

荧光显微镜（9），设置在所述微流控芯片（5）上方，用于观测微通道结构内水相对油相的乳化过程，其中，油相和水相分别采用不同的荧光剂预先进行荧光标记；

乳化识别单元（8），与所述荧光显微镜（9）连通，用于采集所述微通道结构内水相对油相乳化的图像信息；

乳化分析单元（7），与所述乳化识别单元（8）连通，用于基于所述图像信息确定水相对油相的乳化效果；

第一压力传感器（3），设置在所述注入装置与所述微流控芯片（5）注入口之间的进样管路上，用于检测所述进样管路的注入压力；

第二压力传感器（4），设置在所述注入装置与所述微流控芯片（5）流出口之间的出样管路上，用于检测所述出样管路的流出压力。

2. 根据权利要求1所述的原位乳化过程描述与表征装置，其特征在于，所述注入装置包括：

注射器（1）和微量进样泵（2），所述注射器（1）设置在所述微量进样泵（2）与所述第一压力传感器（3）之间，所述微量进样泵（2）用于调节水相或油相的注入量和注入速度，并通过所述注射器（1）向所述进样管路泵入水相或

油相。

3. 根据权利要求 2 所述的原位乳化过程描述与表征装置，其特征在于，所述注射器（1）为气密注射器。

4. 根据权利要求 1 所述的原位乳化过程描述与表征装置，其特征在于，所述装置还包括：

测温探头，所述测温探头设置于所述微流控芯片（5）表面，用于检测所述微流控芯片（5）的温度。

5. 根据权利要求 1 所述的原位乳化过程描述与表征装置，其特征在于，所述流出液收集器（10）为核磁管。

6. 根据权利要求 5 所述的原位乳化过程描述与表征装置，其特征在于，核磁管外壁上设置有用标识标准容量的刻度线。

7. 一种原位乳化过程描述与表征方法，其特征在于，所述方法应用于权利要求 1-6 中任一项所述的原位乳化过程描述与表征装置，所述方法包括：

分别采用不同的荧光剂对水相和油相进行荧光标记；

向微流控芯片的微通道结构注满油相；

向所述微流控芯片的微通道结构注入水相，利用水相对微通道结构的油相进行乳化；

采集微通道结构水相对油相乳化的图像信息；

基于所述图像信息确定水相对油相的乳化效果。

8. 根据权利要求 7 所述的原位乳化过程描述与表征方法，其特征在于，所述基于所述图像信息确定水相对油相的乳化效果，包括：

基于所述图像信息确定乳化后所形成的乳液的尺寸和尺寸分布；

乳化后所形成的乳液的尺寸越小，乳化效果越好；

乳化后所形成的乳液的尺寸分布越均匀，乳化效果越好。

9. 根据权利要求 7 所述的原位乳化过程描述与表征方法，其特征在于，所述方法还包括：

确定乳化后所形成的乳液的体积与被水相驱替出的油相的体积；

乳化后所形成的乳液的体积与被水相驱替出的油相的体积之和越大，乳化效果越好。

10. 一种原位乳化过程描述与表征系统，其特征在于，包括权利要求 1-6 中任一项所述的原位乳化过程描述与表征装置。

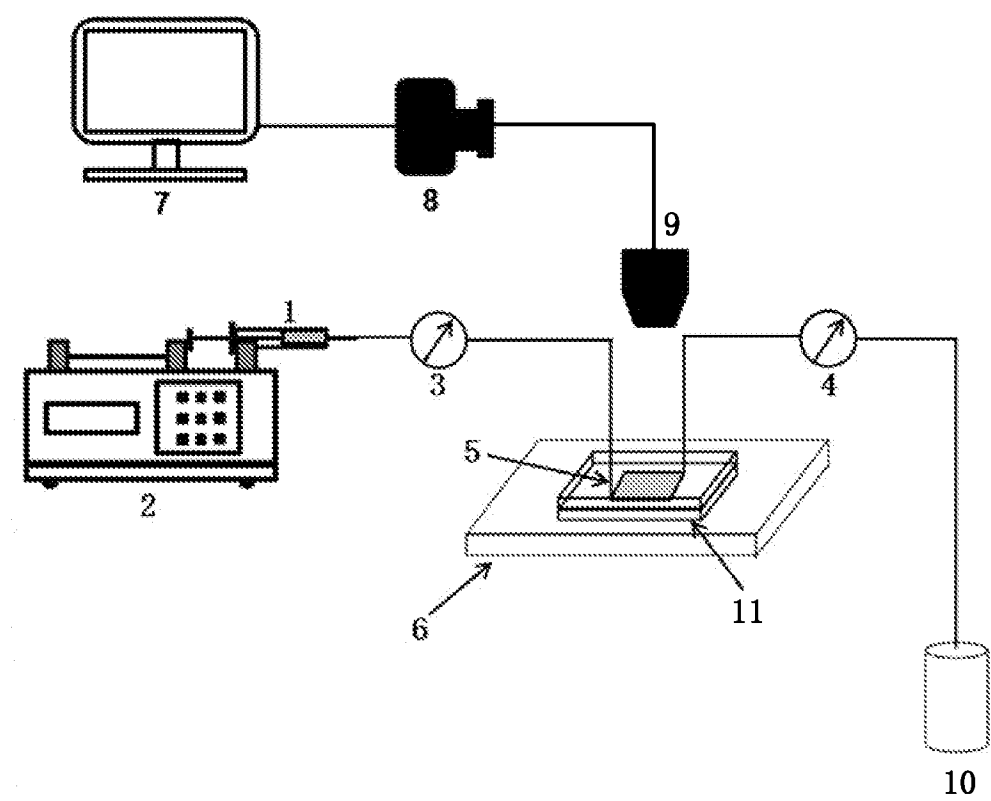


图 1

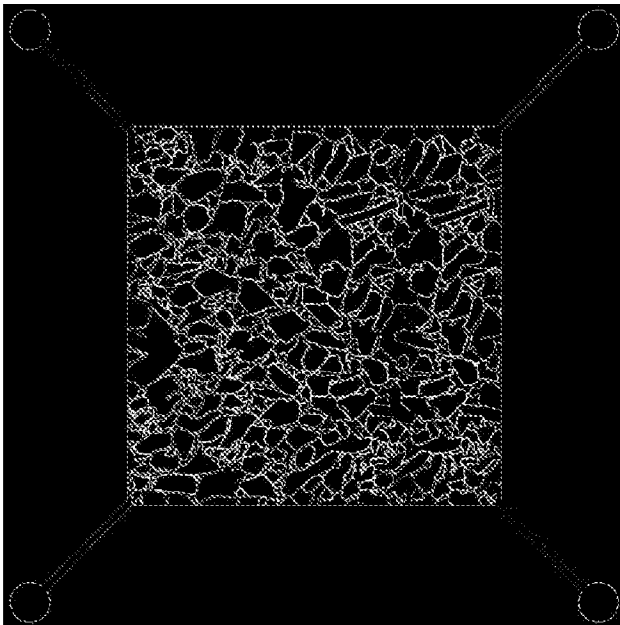


图 2

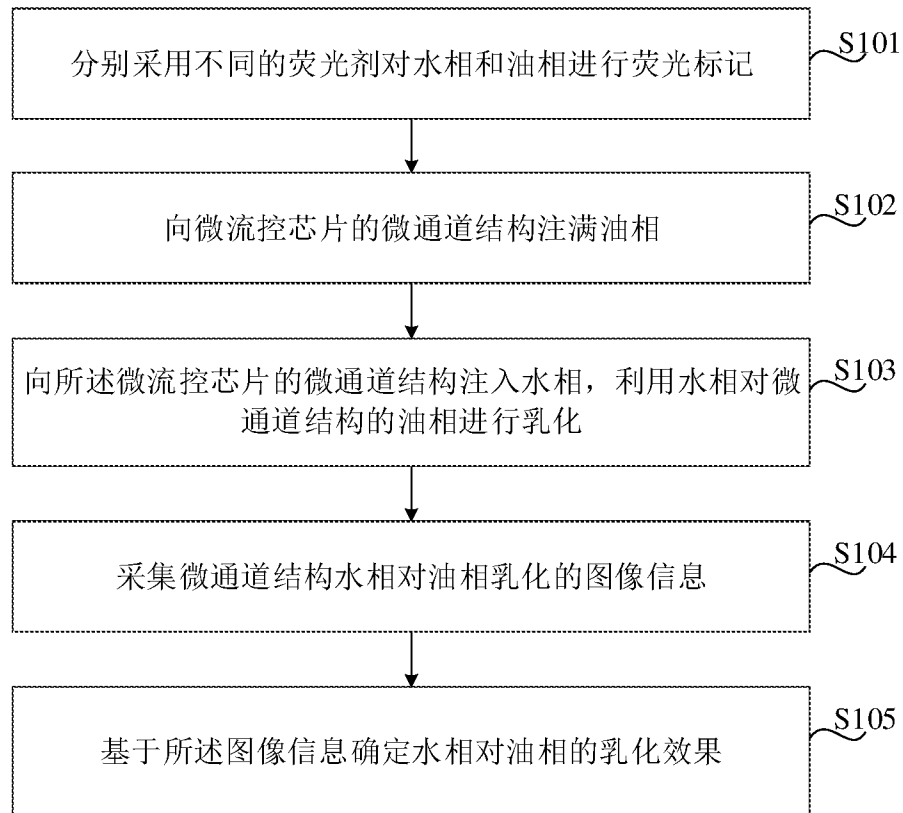


图 3

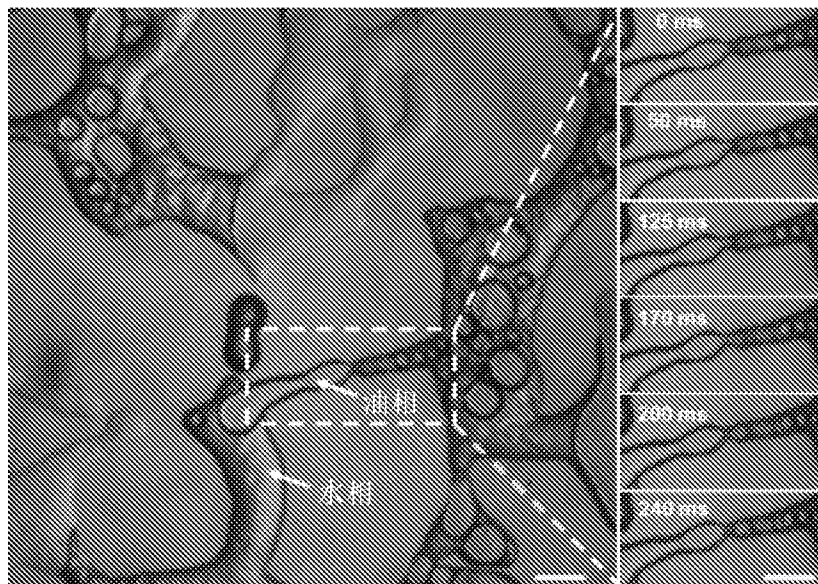


图 4

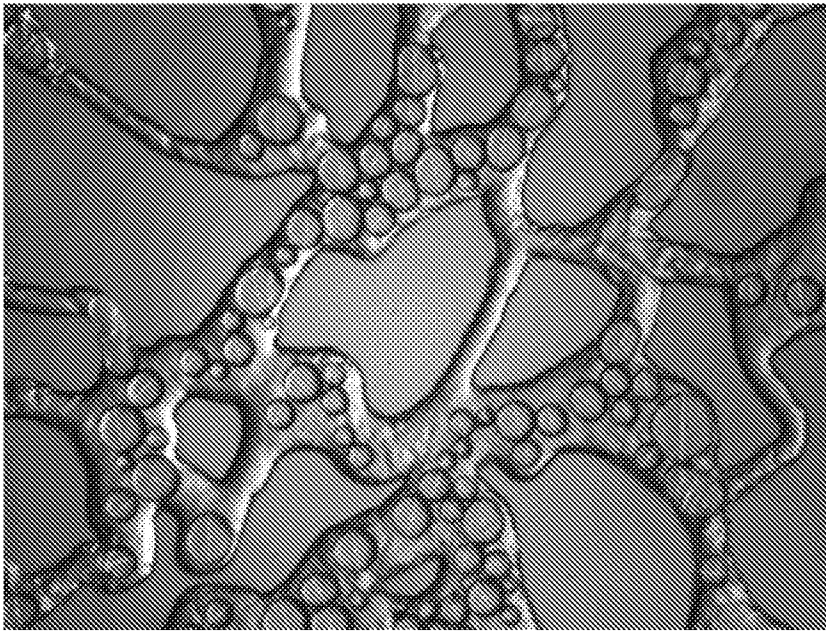


图 5

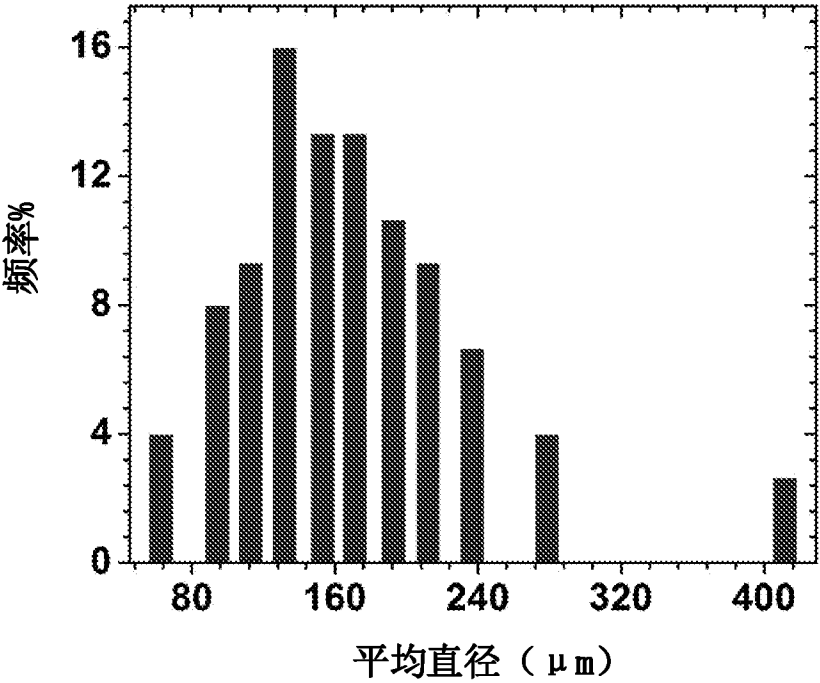


图 6

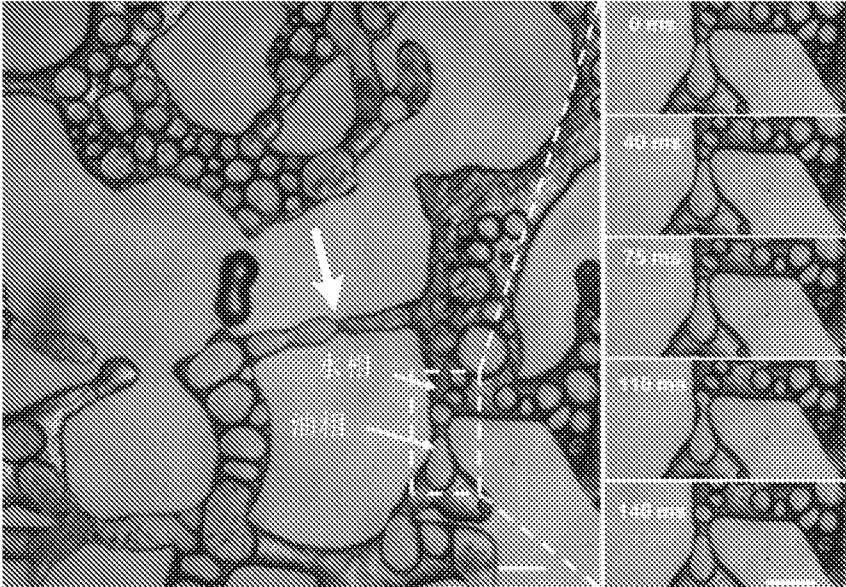


图 7

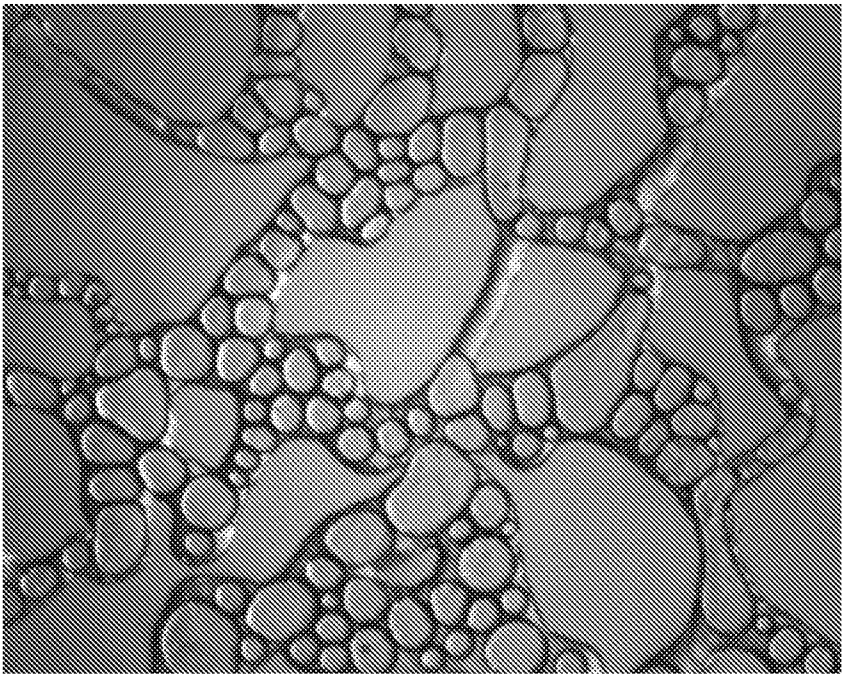


图 8

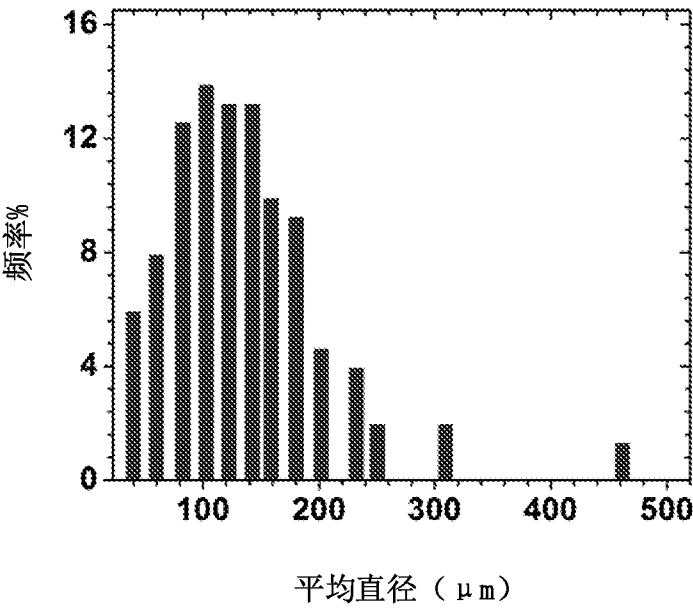


图 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/140741

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N21/64(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: G01N21/-

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNTXT, CNKI, ENTXTC, VEN: 乳化, 油相, 水相, 荧光, 微流控, 显微镜, 图像, 照相, 拍摄, emulsific+, oil, phase, aqueous, fluor+, microfluid+, microscopy, imag+, photography

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 110044774 A (CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM, BEIJING) 23 July 2019 (2019-07-23) description, paragraphs [0092]-[0127], and figures 1-17	1-6, 10
Y	CN 110044774 A (CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM, BEIJING) 23 July 2019 (2019-07-23) description, paragraphs [0092]-[0127], and figures 1-17	7-9
Y	CN 114352244 A (CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM, BEIJING) 15 April 2022 (2022-04-15) description, paragraphs [0105]-[0117]	7-9
A	CN 113522378 A (QINGDAO INSTITUTE OF BIOENERGY AND BIOPROCESS TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 22 October 2021 (2021-10-22) entire document	1-10
A	CN 109234363 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 18 January 2019 (2019-01-18) entire document	1-10

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“D” document cited by the applicant in the international application

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 February 2024

Date of mailing of the international search report

20 March 2024

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,
Beijing 100088

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/140741**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2011129941 A1 (KUMACHEVA, E. et al.) 02 June 2011 (2011-06-02) entire document	1-10
A	US 2020256801 A1 (SHEMYAKIN-OVCHINNIKOV INSTITUTE OF BIOORGANIC CHEMISTRY OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES) 13 August 2020 (2020-08-13) entire document	1-10
A	WO 2021208978 A1 (HIGHFLY THERAPEUTICS (HK) LIMITED) 21 October 2021 (2021-10-21) entire document	1-10
A	WO 2022083117 A1 (UNIV. DALIAN TECH.) 28 April 2022 (2022-04-28) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/140741

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	110044774	A	23 July 2019	None			
CN	114352244	A	15 April 2022	None			
CN	113522378	A	22 October 2021	None			
CN	109234363	A	18 January 2019	WO	2020078466	A1	23 April 2020
				US	2023100349	A1	30 March 2023
US	2011129941	A1	02 June 2011	EP	1742979	A1	17 January 2007
				WO	2005103106	A1	03 November 2005
				US	8696952	B2	15 April 2014
				JP	2007533798	A	22 November 2007
				CA	2563836	A1	03 November 2005
				CA	2563836	C	14 June 2011
US	2020256801	A1	13 August 2020	RU	2656216	C1	01 June 2018
				US	11604145	B2	14 March 2023
				US	2023324306	A1	12 October 2023
				WO	2018174748	A1	27 September 2018
WO	2021208978	A1	21 October 2021	EP	3896432	A1	20 October 2021
				EP	4136432	A1	22 February 2023
				TW	202146891	A	16 December 2021
				US	2023143114	A1	11 May 2023
WO	2022083117	A1	28 April 2022	US	2023405591	A1	21 December 2023

A. 主题的分类

G01N21/64(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC: G01N21/-

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNTEXT,CNKI,ENTXTC,VEN:乳化, 油相, 水相, 荧光, 微流控, 显微镜, 图像, 照相, 拍摄, emulsific+, oil,phase, aqueous, fluor+, microfluid+, microscopy,imag+, photography

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
X	CN 110044774 A (中国石油大学(北京)) 2019年7月23日 (2019 - 07 - 23) 说明书第[0092]-[0127]段、附图1-17	1-6,10
Y	CN 110044774 A (中国石油大学(北京)) 2019年7月23日 (2019 - 07 - 23) 说明书第[0092]-[0127]段、附图1-17	7-9
Y	CN 114352244 A (中国石油大学(北京)) 2022年4月15日 (2022 - 04 - 15) 说明书第[0105]-[0117]段	7-9
A	CN 113522378 A (中国科学院青岛生物能源与过程研究所) 2021年10月22日 (2021 - 10 - 22) 全文	1-10
A	CN 109234363 A (华中科技大学) 2019年1月18日 (2019 - 01 - 18) 全文	1-10
A	US 2011129941 A1 (KUMACHEVA, Eugenia 等) 2011年6月2日 (2011 - 06 - 02) 全文	1-10

☒ 其余文件在C栏的续页中列出。

☒ 见同族专利附件。

★ 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“D” 申请人在国际申请中引证的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“p” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2024年2月27日

国际检索报告邮寄日期

2024年3月20日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

授权官员

范伟

电话号码 (+86) 010-53962582

PCT/ISA/210 表(第2页) (2022年7月)

C. 相关文件		
类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	US 2020256801 A1 (SHEMYAKIN-OVCHINNIKOV INSTITUTE OF BIOORGANIC CHEMISTRY OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES) 2020年8月13日 (2020 - 08 - 13) 全文	1-10
A	WO 2021208978 A1 (HIGHFLY THERAPEUTICS(HK) LIMITED) 2021年10月21日 (2021 - 10 - 21) 全文	1-10
A	WO 2022083117 A1 (UNIV. DALIAN TECH.) 2022年4月28日 (2022 - 04 - 28) 全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2023/140741

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	110044774	A	2019年7月23日	无			
CN	114352244	A	2022年4月15日	无			
CN	113522378	A	2021年10月22日	无			
CN	109234363	A	2019年1月18日	WO	2020078466	A1	2020年4月23日
				US	2023100349	A1	2023年3月30日
US	2011129941	A1	2011年6月2日	EP	1742979	A1	2007年1月17日
				WO	2005103106	A1	2005年11月3日
				US	8696952	B2	2014年4月15日
				JP	2007533798	A	2007年11月22日
				CA	2563836	A1	2005年11月3日
				CA	2563836	C	2011年6月14日
US	2020256801	A1	2020年8月13日	RU	2656216	C1	2018年6月1日
				US	11604145	B2	2023年3月14日
				US	2023324306	A1	2023年10月12日
				WO	2018174748	A1	2018年9月27日
WO	2021208978	A1	2021年10月21日	EP	3896432	A1	2021年10月20日
				EP	4136432	A1	2023年2月22日
				TW	202146891	A	2021年12月16日
				US	2023143114	A1	2023年5月11日
WO	2022083117	A1	2022年4月28日	US	2023405591	A1	2023年12月21日