文章编号:1000-4092(2021)04-721-06

双偏振光极化干涉技术在化学剂洗油能力评价中的应用*

张朝良[1],吕建荣[1],张德富[1],冷润熙[1],李珂怡[2],段 明[2],唐洪明[3]

(1. 中国石油新疆油田分公司勘探开发研究院,新疆 克拉玛依 834000;2. 西南石油大学化学化工学院,四川 成都 610500;3. 西南石油大学地球科学与技术学院,四川 成都 610500)

摘要:为了准确评价化学驱过程中化学剂的洗油能力和表面活性剂、聚合物、碱剂及三元复合体系驱油过程中的吸附损失,利用双偏振光极化干涉(简称DPI)技术,对克拉玛依油田七东$_1$区化学驱用化学剂的洗油能力和吸附特征进行了评价。结果表明,以体积比为1∶1的甲苯和正庚烷混合溶液作为溶剂,在原油质量浓度为2000 mg/L、匀胶时间60 s,匀胶转速1000 r/min的条件下,可以在氧化硅芯片表面获得均匀性较好的原油膜。化学剂注入芯片时间为400 s时,单一碱剂和单一聚合物溶液均能使芯片上油膜的质量和厚度明显减小,对原油具有较强的洗脱能力;使用单一表面活性剂驱替后,芯片单位面积物质的质量增加11.7%,厚度增加25%,表面活性剂与原油的吸附作用较强;在表面活性剂的吸附作用与聚合物、碱对油膜的洗脱作用双重作用下,三元复合体系对油膜的洗脱效果较差,驱替后芯片单位面积物质的质量增加0.2%,厚度增加4.43%。4种化学剂的油膜洗脱能力从大到小依次为:碱剂>聚合物>三元复合体系>表面活性剂。岩心驱油实验结果表明,各化学剂的驱油效率与其原油洗脱能力对应性较好。图7表3参17

关键词:化学驱;双偏振光极化干涉;三元复合体系;洗油效率;吸附特征

中图分类号:TE357.46 **文献标识码:**A **DOI:**10.19346/j.cnki.1000-4092.2021.04.025

克拉玛依油田七区、八区等砾岩油藏已逐步实施和推广二元复合驱,原油增产效果显著[1-3]。但是,对于砾岩油藏,由于其储层非均质性严重、孔隙结构复杂等特点[4],化学剂在驱油过程中在岩石表面发生严重的吸附滞留,导致化学剂利用率低,洗油效果差[5-6]。基于室内岩心实验对化学剂驱油效率已进行了很多研究[7-10],主要通过岩心驱替前后化学剂含量以及原油采收率的变化得到化学剂吸附损失量和驱油能力。这些方法虽然能判断化学剂驱油效果,但化学剂在界面的吸附特征和原油洗脱机理并不明确,且评价精确度较低(毫克级别)。双偏振光极化干涉(Dual Polarization Interferometry,简称DPI)主要应用于生命科学领域的药物与蛋白质相互作用机理研究,是一种基于表面与界面的原位纳米测量技术[11]。DPI可以得到相界面上0.01 s响应时间内的原位质量、厚度、密度、折光指数等信息,具有高灵敏性、非破坏性、实时原位等优点。其中,质量精度达到10^{-13} g/mm^2,厚度精度达到0.01 nm。该技术得到的分子厚度、质量和密度值仅为分子本身产生的物理参数,对化学物质在界面吸附、脱附过程的热力学、动力学研究具有非常大的优势[12-13],是研究油田化学中药剂在油水界面作用机理的理想方法。但目前该技术用于油水界面作用的研究较少。本文利用DPI技术,以克拉玛依油田七东$_1$区原油作为研究对象,对七东$_1$区化学驱用聚合物、表面活性剂、碱剂和三元复合体系的洗油能

* **收稿日期:**2020-09-17;**修回日期:**2020-12-14。

基金项目:新疆维吾尔自治区天山青年计划"砾岩油藏二元驱分级动用实验评价及理论研究"(项目编号2020Q103),中国石油天然气股份有限公司重大科技专项"新疆油田和吐哈油田勘探开发关键技术研究与应用"(项目编号2017E-04-06)。

作者简介:张朝良(1990—),男,工程师,东北石油大学油气田开发工程专业硕士(2017),研究方向为油藏工程,通讯地址:834000 新疆克拉玛依市准噶尔路29号勘探开发研究院开发研究所,E-mail:958004918@qq.com。

力和吸附特征进行了评价。通过油膜厚度和质量的变化精确描述化学剂体系的洗油能力，准确刻画表面活性剂、聚合物、碱及三元复合体系的洗油过程及洗油机理。

1 实验部分

1.1 材料与仪器

克拉玛依油田七东$_1$区脱水原油、天然岩心；纯净水；聚合物干粉（阴离子型聚丙烯酰胺），相对分子质量2000万，北京恒聚化工集团有限责任公司；碳酸钠，乌鲁木齐广瑞源商贸有限公司；石油磺酸盐，克拉玛依金塔公司；甲苯、四氢呋喃、正庚烷，分析纯，成都科龙化学试剂厂；氧化硅芯片和疏水性芯片（长链碳氢化合物修饰的氧化硅芯片），英国Farfield公司；克拉玛依油田七东$_1$区地层水，碳酸氢钠型，矿化度8346.5 mg/L，离子组成（mg/L）：Ca^{2+} 110.00、Mg^{2+} 26.30、K^++Na^+ 3221.30、HCO_3^- 3537.70、Cl^- 3071.00、SO_4^{2-} 149.00；重水，分析纯，西亚化学科技（山东）有限公司；模拟注入水，根据地层水离子组成，用重水配制。

DPI主机，英国Farfield公司；连续微量注射泵，美国Harvard Apparatus公司；KW-4A型台式匀胶机，上海捷辰仪器有限公司；C2 plus激光共聚焦显微镜，日本尼康映像仪器销售（中国）有限公司。

1.2 实验步骤

（1）芯片表面涂覆原油条件优化

将原油溶于甲苯或四氢呋喃中，超声30 min使原油充分溶解，通过匀胶机将原油溶液涂覆在芯片表面，利用激光共聚焦显微镜观察涂覆在芯片表面原油的均匀度，以此对芯片、有机溶剂、原油加量和悬浮条件进行优选。

（2）化学剂洗油效率的测定

将0.05 g原油溶于甲苯和正庚烷的混合溶液，超声30 min，使原油充分溶解；将DPI感应芯片置于台式匀胶机的片托上，在优选的匀胶时间和匀胶转速下，采用动态滴液法（在匀胶机运转时滴加液滴）将原油溶液悬滴3～5滴在芯片上，使原油涂覆在芯片表面形成均匀致密的膜；用四氢呋喃将芯片两端擦拭干净，紧贴入口将芯片放入DPI仪器，以去离子水作为流动相流经涂覆有原油的芯片，待得到稳定的基线后，将200 mg/L聚合物溶液（质量浓度过高时DPI自带注射泵工作困难）以25 μL/min的速度注入芯片，注射时间约400 s；再用纯水以25 μL/min的速度连续注入，注射时间为100～200 s；最后注射四氢呋喃溶液将感应芯片表面的原油洗净，选用去离子水和80%乙醇对仪器和感应芯片进行校正；通过实验得到最初信号值（TM、TE值），用解析软件分析得到在原油上的样品溶液吸附层的单位质量、厚度的实时变化数据。计算原油在DPI芯片单位面积上的质量减少量以反映不同化学驱的洗油效率，减少量越大则洗油效率越高。实验装置示意图如图1所示。

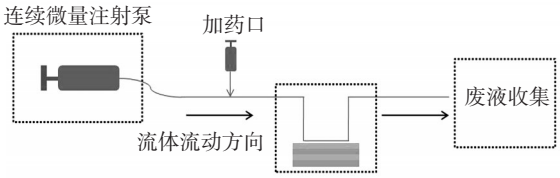


图1 化学剂洗油效率测定实验装置示意图

（3）岩心驱油效率的测定

实验岩心以中砂岩、中细砂岩、小砾岩为主，平均孔隙度为19.80%，平均气测渗透率为266.84×10^{-3} μm^2。共完成4组8块岩心驱替实验。实验过程如下：对岩心进行洗油、洗盐处理，烘干岩心，测试岩心直径、长度、干重以及气测渗透率等基本参数（见表1）；抽空饱和地层水，再称湿重，计算岩心孔隙度；用原油以0.02 mL/min的速率驱替岩心孔隙中的地层水，直到不再出水为止，记录岩心出水量；在储层温度（35 ℃）下，用重水配制的模拟注入水以恒速（0.1 mL/min）驱油，直到驱出液体含水率达到98%以上；转注化学剂（0.8 PV段塞），注入速度为0.1 mL/min；再转注重水，直至含水率达到98%以

表1 岩心基本参数

编号	井号	岩性	直径/mm	长度/mm	渗透率/（10^{-3} μm^2）	孔隙度/%
1-1	JES7204	中砂岩	38.23	70.13	445.35	20.79
1-2	JES7201	中砂岩	37.88	68.97	210.02	18.39
2-1	JES7201	含泥砾中砂岩	38.06	81.45	268.63	21.83
2-2	JES7201	中砂岩	37.88	80.88	149.85	20.85
3-1	JES7201	小砾岩	37.76	91.04	514.67	19.56
3-2	JES7206	细砂岩	38.14	65.49	161.16	20.70
4-1	JES7204	中细砂岩	37.95	67.78	120.02	17.02
4-2	JES7201	中砂岩	37.00	69.30	264.98	19.28

上；记录流量（原油和产出水）和驱替压力，计算驱油效率。

2　结果与讨论

2.1　芯片表面涂覆原油条件优化

2.1.1　DPI芯片的选择

DPI感应芯片有5种类型，分别为氧化硅芯片、疏水性芯片、胺基化芯片、巯基化芯片、纤维化芯片[14]。其中，可以用于原油体系的芯片有氧化硅芯片和疏水性芯片两类。将3000 mg/L的原油四氢呋喃溶液分别涂覆在氧化硅芯片和疏水性芯片表面，用激光共聚焦显微镜观察到原油在疏水性芯片表面存在较多直径约为20 μm的大颗粒荧光斑点（荧光斑点为较厚的原油），说明原油的均匀程度较差。原油在氧化硅芯片上分布的相对均匀，但仍然存在少量荧光斑点。为了得到更加均匀的原油膜，需要将氧化硅芯片作为实验芯片，对所用的原油溶剂和原油溶液浓度作进一步优化。

2.1.2　溶剂的优选

所用溶剂一方面需要具有较好的溶解原油的能力，另一方面要求溶剂具有较强挥发性。常用的石油溶剂有甲苯、四氢呋喃、石油醚和三氯甲烷。综合考虑溶解性和挥发性两个因素，初步选择甲苯和四氢呋喃两种溶剂进行优选。分别用甲苯和四氢呋喃作为溶剂配制4种不同的原油溶液：1000、2000 mg/L原油四氢呋喃溶液，1000、2000 mg/L原油甲苯溶液。用四氢呋喃作为原油溶剂，两种浓度下形成的原油膜存在明显的颗粒状斑点，原油分布均匀性差。与四氢呋喃相比，用甲苯作为原油溶剂在相同浓度下形成的原油膜均匀程度高，说明甲苯对原油的溶解性优于四氢呋喃。但芯片表面的原油膜依然略微不均匀，这是由于甲苯在匀胶机的最长时间量程（60 s）内无法完全挥发造成的。因此，需要向甲苯溶液中加入一定量的正庚烷，以提高溶液的挥发性。

将甲苯、正庚烷按照体积比1∶1和2∶3混合，然后分别用这两种混合溶液作为溶剂配制2000 mg/L的原油溶液，用激光共聚焦显微镜观察两种溶液形成的原油膜。甲苯、正庚烷按体积比1∶1混合时形成的原油膜油斑不明显，油膜均匀；而按体积比2∶3混合形成的原油膜存在较多粒状油斑，说明油膜均匀性差。因此选择体积比为1∶1的甲苯、正庚烷混合液作为溶解原油的溶剂。

2.1.3　原油溶液浓度优化

以体积比为1∶1的甲苯和正庚烷作为溶剂配制2000、2500 mg/L的原油溶液。当原油溶液的质量浓度为2000 mg/L时，涂覆在芯片表面的原油膜呈现均匀分布；当原油溶液的质量浓度为2500 mg/L时，芯片表面的原油膜大部分均匀分布，但依然有少量点状荧光颗粒存在。由此可见，以体积比为1∶1的甲苯和正庚烷混合溶液作为溶剂，在原油质量浓度为2000 mg/L的条件下可以得到均匀性较好的原油膜。

2.1.4　悬涂条件

（1）匀胶时间

实验采用台式匀胶机对芯片进行悬涂，匀胶机的最大时间量程为60 s，悬涂方法采取动态滴液法。一般来说，匀胶时间越短，得到的膜厚度越厚，膜的均匀性越差；匀胶时间越长，得到的膜厚度越薄，膜的均匀性越好。为了得到更加均匀的油膜，匀胶时间定为匀胶机的最大时间量程60 s。

（2）匀胶转速

匀胶转速影响原油膜厚度，进而影响DPI信号响应。分别在800、1000、1200 r/min转速下将质量浓度为2000 mg/L的原油溶液涂覆在DPI芯片上。然后将芯片放入DPI仪器中，用300 mg/L的聚合物溶液驱替油膜，检测得到的原油膜信号响应曲线如图2所示。TM代表横向磁极化信号。当聚合物流经在800 r/min转速下得到的原油膜时，信号响应曲线几乎没有变化。这是由于DPI技术是利用渐逝场的变化得到光线在界面折射时相位角的变化。渐逝波是沿着与界面垂直的方向进行传播的行波，其能量随着垂直于感应芯片的方向按指数形式衰减。当芯片表面涂覆的原油膜的厚度较大时，原油膜表面所处位置的渐逝场的能量较低，难以灵敏的得到光线在界面折射时相位角的变化。当聚合物流经在1200 r/min转速下得到的原油膜时，虽然有良好的信号响应，但在停止注射聚合物溶液前（约300 s时），曲线便开始不稳定，有明显的波动。这是由于在1200 r/min的转速下得到的原油膜较薄，在实验过程中容易受到外界因素的干扰而造成原油膜厚度的不稳定。当聚合物流经在1000 r/min转速

下得到的原油膜时，不仅能得到良好的信号响应，而且曲线平滑，说明原油膜厚度比较稳定。因此，确定匀胶的转速为1000 r/min。

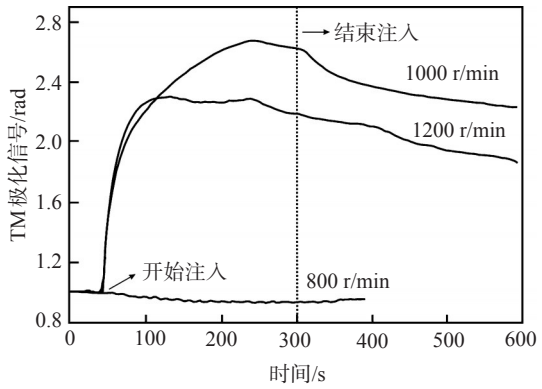


图2 匀胶转速对原油膜信号响应曲线的影响

2.2 不同化学剂洗油能力分析

2.2.1 单一聚合物

将单一聚合物配制成0.15%的溶液后，再稀释10倍进行洗油能力的测定，结果如图3所示。经过单一聚合物驱替后，芯片上油膜厚度与单位面积油膜的质量均减小。曲线形态先缓慢降低，而后降低速度变快，说明在驱替开始时，聚合物在芯片表面有一定的吸附性。随着聚合物分子在芯片表面吸附达到平衡，在聚合物分子间相互作用下，吸附的部分聚合物分子发生了脱附。

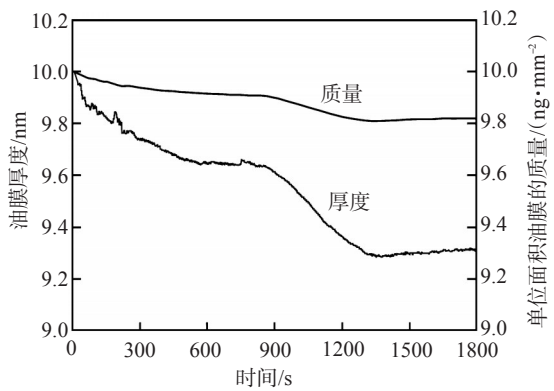


图3 单一聚合物溶液的洗油能力

2.2.2 单一表面活性剂

将单一表面活性剂石油磺酸盐配制成0.3%的溶液后，再稀释10倍进行洗油能力的测定，结果如图4所示。单一表面活性剂经过油膜表面时，芯片上油膜厚度和单位面积油膜的质量均增加，表明表面活性剂更容易吸附在油膜的表面，对油膜的洗脱能力较差。表面活性剂在界面上的吸附是表面活性剂分子同物质表面上或临近表面的化学剂间相互作用的结果。吸附的程度即决定于固体表面的性质，也决定于溶剂分子和表面活性剂分子之间的相互作用。由图4可见，薄膜厚度和质量增大后趋于平稳。由于表面活性剂的双亲结构单元与物质表面有较强的作用力，并且表面活性剂分子量小，会出现物理滞留；同时，表面活性剂的—SO_3^-基、烃基以及离子间的色散力、诱导力和氢键均会与物质表面发生较强的作用，使表面活性剂吸附性能稳定，在液体剪切作用下表面活性剂分子不容易脱附。

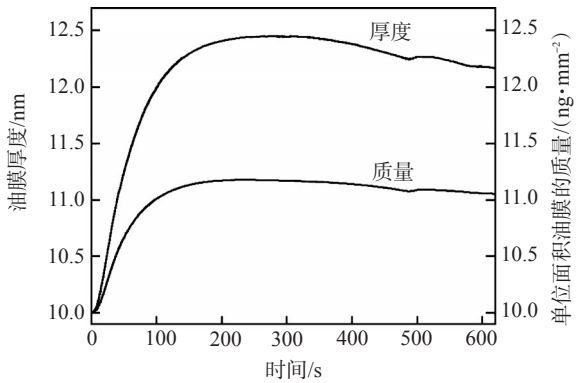


图4 单一表面活性剂的洗油能力

2.2.3 单一碱剂

将单一碱剂碳酸钠配制成1.2%的溶液后，再稀释10倍进行洗油能力的测定，结果如图5所示。单一碱液经过油膜表面时，芯片上油膜的厚度和单位面积油膜的质量均减小，表明碱液具有一定的洗油能力。从曲线特征来看，曲线先快速降低而后趋于平稳，表明碱剂在芯片上的吸附量较少。

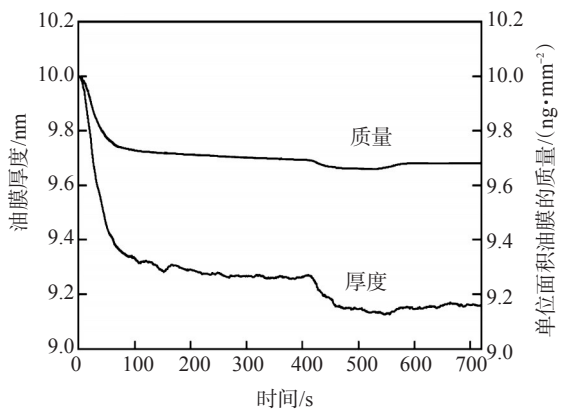


图5 单一碱液的洗油能力

2.2.4　三元复合体系

在0.15%的聚合物溶液中加入0.3%的表面活性剂和1.2%的碱配制成三元体系溶液，再稀释60倍进行洗油能力的测定，结果如图6所示。芯片上油膜厚度的变化波动较为明显，这是由体系中表面活性剂较强的吸附作用与碱、聚合物的脱附作用双重作用的结果。驱替后期，由于体系中聚合物以及碱剂的影响，表面活性剂的吸附作用变弱，聚合物和碱剂将油膜和表面活性剂一起洗脱，导致芯片表面单位面积的质量先增大后又有所降低。

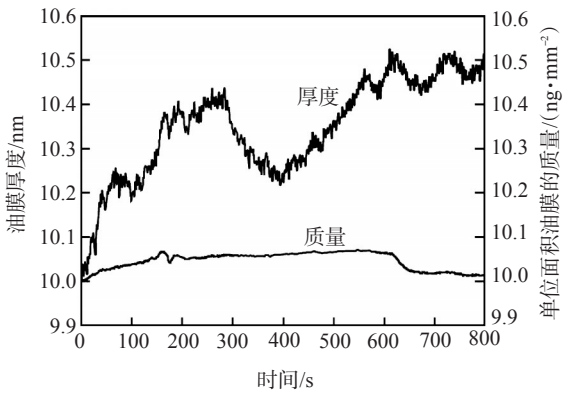


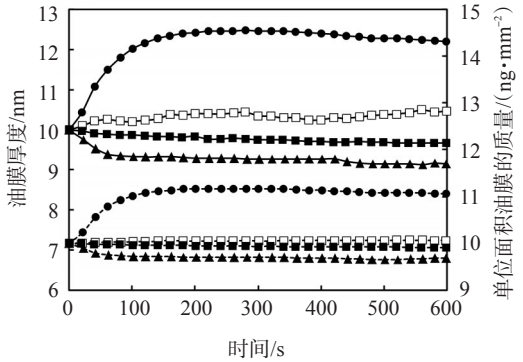
图6　三元复配体系的洗油能力

2.2.5　对比分析

注入相同时间(400 s)时，聚合物、表面活性剂、碱剂和三元复合体系对原油的洗脱能力对比结果如表2所示。表面活性剂与七东$_1$区原油的吸附作用较强。单一表面活性剂驱替时，芯片单位面积上的物质质量及厚度均大幅增加。使用单一表面活性剂驱替原油的洗脱效果较差，并且会造成吸附损失。三元复合驱替后，芯片单位面积上的物质质量增加0.20%、厚度增加4.43%。在表面活性剂的吸附与碱、聚合物的洗脱双重作用下，三元复合体系的洗油效果并不理想。单一碱剂和单一聚合物驱替时能有效降低油膜质量和厚度，对原油具有较好的洗脱能力。由综合对比曲线(见图7)可以得到4者的洗脱能力从大到小依次为：碱剂>聚合物>三元复合体系>表面活性剂。

表2　不同化学剂洗脱油膜能力对比

化学剂	芯片表面的变化量/%	
	单位面积质量	厚度
聚合物	−1.89	−7.12
表面活性剂	11.70	25.00
碱剂	−3.00	−7.40
三元复合体系	0.20	4.43



实线—油膜厚度；虚线—单位面积油膜的质量；化学剂：1，●，表面活性剂；2，□，三元复合体系；3，■，聚合物；4，▲，碱剂。

图7　不同化学剂对原油油膜厚度和质量的影响

2.3　岩心驱油效率对比

利用DPI技术测量得到了不同化学剂在氧化硅芯片上的吸附特征和洗油能力，其结果代表了化学剂在理想条件下对原油的洗脱能力，而各化学剂在岩心中的驱油效果需要通过岩心驱油实验得到。聚合物驱、表面活性剂驱、碱驱、三元复合驱岩心驱油实验结果如表3所示。聚合物驱、表面活性剂驱、碱驱、三元复合驱在化学驱阶段分别提高采收率9.49百分点、4.12百分点、12.41百分点、5.64百分点。化学驱阶段提高采收率幅度从大到小依次为：碱驱>聚合物驱>三元复合驱>表面活性剂驱。单一碱剂在岩心驱替中表现出较强的驱油能力，而表面活性剂驱在化学驱阶段提高采收率幅度最小。在化学驱阶段，各化学剂驱油效率与利用DPI技术测得的驱油能力对应性较好。后续水驱阶段，不同化学剂驱替实验提高采收率幅度从大到小依次为：聚合物驱>三元复合驱>表面活性剂驱>碱驱，与洗油能力的对应性略有偏差。这是由于驱油效果不仅受化学剂自身洗油能力的控制，还受化学剂在岩心中造成的波及体积变化、界面张力变化等因素影响[15-17]。因此利用DPI技术可以得到化学剂对原油洗脱能力的强弱，为化学驱驱油效果提供参考，但对于如何提高原油最终采收率需要综合考虑化学剂性质及其对岩石流体带来的变化。

表3 不同化学剂驱替实验提高采收率幅度

化学驱	井号	采收率/%			
		水驱	化学驱增加	后续水驱增加	最终
聚合物驱	JES7204	40.00	11.76	2.35	54.11
	JES7201	32.49	7.22	3.00	42.71
	平均值	36.24	9.49	2.67	48.41
表面活性剂驱	JES7201	40.04	3.21	1.77	45.02
	JES7201	35.98	5.03	1.52	42.53
	平均值	38.01	4.12	1.64	43.77
碱驱	JES7201	39.47	11.26	1.32	51.99
	JES7206	31.67	13.55	0.70	45.92
	平均值	35.57	12.41	1.01	48.96
三元复合驱	JES7204	37.50	4.61	3.33	45.44
	JES7201	33.83	6.67	0.84	41.34
	平均值	35.67	5.64	2.09	43.39

3 结论

应用DPI技术评价化学剂洗油能力可得到化学剂驱替过程中油膜厚度和质量的实时动态变化，直观分析化学剂吸附和脱附过程，对化学剂洗脱原油能力进行定量表征。对DPI芯片、溶剂、匀胶时间和转速进行优化，得到均匀性较好的原油膜。

单一聚合物和单一碱剂均对克拉玛依油田七东1区原油具有良好的洗脱能力。聚合物由于吸附滞留作用，洗脱原油的效果比碱剂差。表面活性剂由于分子量和自身结构导致具有较强的吸附作用，单独使用表面活性剂的洗油效果差，并且会产生吸附损失。三元复合体系中含有聚合物、表面活性剂、碱3种组分，在竞争吸附的作用下，三元复合体系的吸附作用较单一表面活性剂驱时弱。由于聚合物、碱的脱附和表面活性剂的吸附，导致三元复合体系对原油的洗脱能力变弱。

DPI技术可以测量得到化学剂对原油的洗脱能力，对化学驱驱油效果具有理论指导意义。但由于化学剂在岩石流体中的乳化性、黏弹性、稳定性以及造成的波及体积变化、界面张力变化等因素，不同化学剂的最终驱油效率与自身洗油能力的对应性会受到一定的影响。

参考文献：

[1] 谭锋奇，许长福，王晓光，等. 砾岩油藏水驱与聚合物驱微观渗流机理差异[J]. 石油学报，2016，37(11)：1414-1427.

[2] 唐洪明，张亚琦，王俊杰，等. 克拉玛依油田七东1区砂砾岩油藏聚合物驱实验评价[J]. 新疆石油地质，2016，37(5)：549-555.

[3] 吕建荣，陈丽华，霍进，等. 砾岩油藏二元复合驱油体系各组分吸附规律[J]. 油田化学，2018，35(3)：492-498.

[4] 吕建荣，谭锋奇，许长福，等. 克拉玛依砾岩油藏储层分类特征及水驱油规律[J]. 东北石油大学学报，2015，39(4)：21-30.

[5] 刘红现，许长福，覃建华，等. 砾岩油藏孔隙结构与驱油效率[J]. 石油天然气学报，2010，32(4)：189-191.

[6] 唐洪明，文鑫，张旭阳，等. 层间非均质砾岩油藏水驱油模拟实验[J]. 西南石油大学学报(自然科学版)，2014，36(5)：129-135.

[7] 梁斌. 基于岩心的化学驱油效率研究[J]. 石油化工应用，2019，38(7)：34-38.

[8] 程杰成，夏惠芬，马文国，等. 三元体系的界面特性对驱油效率的影响机制[J]. 中国石油大学学报(自然科学版)，2014，38(4)：162-168.

[9] 牛丽伟，姜贵璞，卢祥国，等. 三元复合体系性能及其对驱油效率影响研究[J]. 油田化学，2014，31(2)：290-294.

[10] 金发扬，王洪波，张旭. 不同洗油体系及界面张力对油砂洗油效率的影响[J]. 精细石油化工，2013，30(4)：6-9.

[11] 梁莹，段明，王虎，等. 双偏振干涉测量研究聚合物界面行为的应用进展[J]. 化工进展，2013，32(11)：2549-2554.

[12] 王娟，杨秀荣. 双偏振干涉测量技术在生物分析方面研究应用进展[J]. 分析化学，2008，36(9)：1293-1299.

[13] 王双，黄建设，杨秀荣. 双偏振干涉技术(DPI)：生物分子相互作用研究的新工具[J]. 中国科学：化学，2018，48(8)：852-865.

[14] 李珂怡. 双偏振干涉技术研究嵌段聚醚在胶质、沥青质表面的吸附行为[D]. 成都：西南石油大学，2016：16-19.

[15] 宁健，魏兵，高炎，等. 低成本O/W型乳液与岩心孔吼配伍性及其驱油效率[J]. 油田化学，2018，35(2)：328-332.

[16] 张晓彤，郭春萍，袁圆，等. 三元复合体系动态界面张力对驱油效率的影响[J]. 科学技术与工程，2014，14(36)：180-182.

[17] 姚同玉，李继山，周广厚. 影响驱油剂洗油效率的参数分析[J]. 中国石油大学学报(自然科学版)，2008，32(3)：99-102.

(下转第753页。to be continued on p.753)

Research Progress of Imbibition Oil Production in Low-permeability Reservoirs

LIU Kai[1,2], GAO Zhendong[3], WANG Chengjun[1,2], GAO Yiwen[1,2], MENG Xuangang[3]

(*1. Research Institute of Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Company, Ltd, Xi'an, Shaanxi, 710065, P R of China; 2. Shaanxi Province Key Laboratory of CO_2 Sequestration and Enhanced Oil Recovery, Xi'an, Shaanxi, 710065, P R of China; 3. Shaanxi Yanchang Petroleum Company, Ltd, Yan'an, Shaanxi 716000, P R of China*)

Abstract: Through literature research, the relative concept of imbibition oil production was introduced, research results and the newest research progress of imbibition oil production method in low-permeability reservoirs were reviewed, and the development prospect of imbibition oil production in low-permeability reservoirs in lab experiments and field application was put forward.

Keywords: *low-permeability reservoirs; imbibition oil production; enhanced oil recovery; research progress; review*

(上接第726页。continued from p.726)

Application of Dual Polarization Interferometry to Evaluate the Oil Elution Capacity of Chemical Agent

ZHANG Chaoliang[1], LYU Jianrong[1], ZHANG Defu[1], LENG Runxi[1], LI Keyi[2], DUAN Ming[2], TANG Hongming[3]

(*1. Research Institute of Exploration and Development, Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Karamay, Xinjiang 834000, P R of China; 2. College of Chemistry and Chemical Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, P R of China; 3. School of Geoscience and Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, P R of China*)

Abstract: In order to accurately evaluate the oil elution ability of chemical agent and the adsorption loss of surfactant, polymer, alkali and alkali/surfactant/polymer system (ASP) in chemical flooding process, the dual polarization interferometry technology (DPI) was utilized to evaluate the oil elution ability and the adsorption characteristic of chemical agent system used in district Qidong1 of Karamay oilfield. The results showed that using the mixed solution of toluene and *n*-heptane with volume ratio of 1∶1 as the solvent, a crude oil film with good uniformity was obtained on the surface of silicon oxide chip under the conditions of 2000 mg/L crude oil mass concentration, 60 s homogenization time and 1000 r/min homogenization speed. When the injection time of chemical agent into the chip was 400 s, single aqueous alkali or single polymer solution could significantly reduce the mass and thickness of oil film on the chip. They had strong elution ability for crude oil. The material mass per unit area on the chip increased by 11.7% and the thickness increased by 25% after single surfactant flooding, indicating strong adsorption between surfactant and crude oil. Under the dual influence of surfactant's adsorption and alkali and polymer's desorption, ASP had inferior displacement efficiency. After ASP flooding, the material mass per unit area on the chip increased by 0.2% and the thickness increased by 4.43%. The four chemical agents were arranged according to the oil elution ability in following order: aqueous alkali > polymer solution > ASP > surfactant. The experiment result of core flooding with four chemical agents showed that the oil displacement efficiency of each chemical agent had good correspondence with its crude oil elution ability.

Keywords: *chemical flooding; dual polarization interferometry; alkali/surfactant/polymer system (ASP); oil elution efficiency; adsorption characteristic*