

沥青质含量在车排子地区油气成藏研究中的应用

张学军^{1,2}, 徐兴友², 邢丽雯³, 韩冬梅²

(1.中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2.中国石化胜利油田分公司地质科学研究所, 山东 东营 257015; 3.中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249)

摘要:通过对车排子地区原油的族组成分析,发现该区不仅未降解的轻质油中不含沥青质,在部分稠油中也不含沥青质,这与稠油中常见的沥青质含量较高的特征明显不同。根据沥青质含量不同将车排子地区原油及油砂分为4类:第1类为不含沥青质的轻质油,是晚期高成熟油气;第2类为不含沥青质的稠油,为轻质油溶洗稠油形成;第3类为富含沥青质的稠油,为早期原生稠油油藏被轻质油溶洗残余;第4类为沥青质含量中等的稠油,为轻质油充注后稠油稀化运移溶解运移形成。造成油气沥青质含量差异较大的主要原因是该区不同充注期次油气性质差异较大,早期成藏正常成熟原油因埋藏浅降解后形成富含非烃和沥青质的稠油,后期充注的轻质油对沥青质的溶解能力弱,充注过程中不能溶解和运移沥青质。这种轻质油对早期稠油组分的选择性溶解是造成目前车排子地区原油性质巨大差异的内在因素。车排子地区不同沥青质含量原油的分布结果表明,该区轻质油在四棵树凹陷深部位的断层处发生纵向穿层运移,分别进入了含早期稠油和不含稠油的运移通道,经过含稠油运移通道的轻质油对早期稠油中不同组分选择性地进行了溶解运移,从而造成目前车排子地区油气性质差异大,且原油纵向上呈现上稀下稠的特殊现象。

关键词: 沥青质含量 族组成 轻质油 成藏规律 车排子地区

中图分类号: TE112.31

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2013)04-0025-05

沥青质是原油的重要组成成分,因其含量、沉积或溶解特征严重影响重质油的开发而倍受研究者重视,但因其含量受多种因素影响而很少用于油气成藏研究。沥青质被认为是不溶于低级正构烷烃(戊烷—辛烷)而溶于苯的一类溶解度类物质^[1-2],这种定义目前已得到普遍的认同。沥青质的沉淀受原油的组成、温度和压力、石油所处的状态、孔隙特征等多种因素影响^[3-6],对其在不同溶剂中的溶解能力也进行过详细研究^[7-9]。一般地,含氧及某些情形下含其他杂原子(N或S)的非环状化合物是沥青质不良溶剂,而含氮杂环(吡啶、喹啉)和含氧杂环(四氢呋喃)是溶解沥青质的良好溶剂。沥青质的这些沉淀和溶解特性决定了其在不同类型原油中含量的差异性。当含油气区经历多期油气充注时,特别是不同期次充注油气性质差异较大时,可造成运移、成藏过程中沥青质的沉淀或溶解,使不同成藏特征的原油中沥青质含量出现较大差异。因此,通过分析原油沥青质在油藏中的变化规律,可以剖析油藏形成规律,指导油气勘探。

车排子地区存在多期不同性质油气充注^[10-12],并且不同期次充注原油地球化学组成特征差异较大^[13-15],在原油充注过程中造成沥青质的沉积、溶解、运移、再沉积等一系列变化,这种变化必然引起原油中沥青质含量的变化。笔者在分析车排子地区原油族组成特征的基础上,利用沥青质含量的变化对该区油气成藏规律进行了探讨。

1 原油族组成特征

原油的族组成特征包含了其来源、成熟度、运移和成藏特征等多方面信息,采用行业标准^[16]对车排子地区不同层系和类型的原油及油砂抽提物族组成进行了系统分析。从分析结果(表1)可以看出,车排子地区不同类型原油的族组成特征差异较大,一般轻质油(稀油)中饱和烃含量高,非烃含量较低,不含沥青质组分;稠油中饱和烃含量较低,非烃含量较高,沥青质含量差异较大。

通过对其中部分样品的全烃组成特征分析,发

收稿日期:2013-05-14。

作者简介:张学军,男,高级工程师,从事有机岩石学与有机地球化学分析研究。联系电话:(0546)8716482,E-mail:kerogen322@163.com。

基金项目:国家科技重大专项“渤海湾盆地精细勘探关键技术”(2011ZX05006-001)。

表1 车排子地区部分原油及油砂抽提物族组成分析结果

井号	井段/m	层位	样品性质	烷烃含量,%	芳烃含量,%	非烃含量,%	沥青质含量,%	原油性质
排1	708.9	K _{1h}	油砂	48.43	17.49	16.14	3.14	稠油
排1	766.51	J	油砂	44.69	17.71	19.62	3.27	稠油
排1	941.8	C	灰黑色砂岩	25.44	22.81	34.21	16.67	稠油
排103	470.9	K	油迹粉砂岩	43.04	17.15	26.86	3.24	稠油
排103	502.47	K ₁	油砂	47.26	18.85	18.38	0	稠油
排18	943.8	N _{1s}	原油	35.48	20.97	20.56	2.02	稠油
排2	1 013.4	N _{1s}	原油	61.43	13.33	5.24	0	稀油
排203	982.6	N _{1s}	原油	51.19	16.37	16.37	0	稀油
排204	896	K ₁	油砂	33.51	23.40	25.27	3.99	稠油
排204	1 023	J	油砂	42.70	19.10	24.72	0	稠油
排206	987.1	N _{1s}	原油	43.82	10.26	3.26	0	稀油
排21	913.7	N _{1s}	油浸细砂岩	25.62	9.57	24.07	0	稀油
排22	757.8	N _{1s}	原油	35.24	35.87	17.14	0	稀油
排27	1 535.7	K	油斑细砾岩	43.71	31.13	23.58	0	稠油
排2-86	1 391.5	N _{1s}	原油	65.24	18.29	10.37	0	稀油
排6	429.7	K ₁	原油	38.92	19.60	15.34	0	稠油
排60	579.2	K	油浸粉砂岩	48.26	16.86	16.86	3.78	稠油
排60	608	J	油迹角砾岩	51.18	17.06	16.76	2.65	稠油
排60	697.3	C	含油玄武岩	39.87	11.30	20.27	8.64	稠油
排601	490.2	K	油浸粗砂岩	28.80	18.04	15.82	5.06	稠油
排602	525.74	K ₁	油砂	45.40	18.10	16.56	0	稠油
排602	583.65	J	油砂	41.94	21.11	18.18	0	稠油
排604	627.3	N _{1s}	油砂	43.52	14.29	20.93	5.98	稠油
排606	963	K	油砂	43.93	16.72	19.34	4.92	稠油
排607	274.8	N _{1s}	油迹粗砂岩	48.94	16.31	15.11	3.32	稠油
排607	343.7	K	油斑细砂岩	18.15	12.00	15.08	18.77	稠油
排608	286.1	J	油迹角砾岩	25.80	15.61	17.20	14.01	稠油
排609	313	K	油砂	32.54	15.79	24.40	9.57	稠油
排61	735.85	J	含砾砂岩	43.49	13.38	19.70	4.09	稠油
排610	408.1	N _{1s}	油砂	36.51	13.49	18.65	7.54	稠油
排611	487.5	N _{1s}	油浸细砂岩	47.94	19.12	18.24	0	稠油
排612	302	N _{1s}	油浸细砂岩	46.93	16.56	21.78	0	稠油
排612	318	K	油砂	45.87	12.84	20.80	4.89	稠油
排7	1 129	K _{1g}	原油	45.09	16.88	16.03	0.85	稠油
排8	1 177.2	N _{1s}	原油	67.56	11.36	2.89	0	稀油

现存在二次充注现象的稠油或油砂中不含沥青质或含量极低,而无二次充注现象的稠油或油砂中沥青质含量较高(图1)。沥青质因受生物降解和水洗等作用的影响较小^[17-19],一般稠油中的沥青质含量较高,但在车排子地区稠油中出现了部分沥青质含量为零或极低的样品,如排6、排602、排612和排7井等,这些稠油不含沥青质的特性显示了其成因与在油藏中常规稠化形成的稠油不同。分析认为这类稠油的成因和后期油气性质与排2井区相近的轻质油充注密不可分。

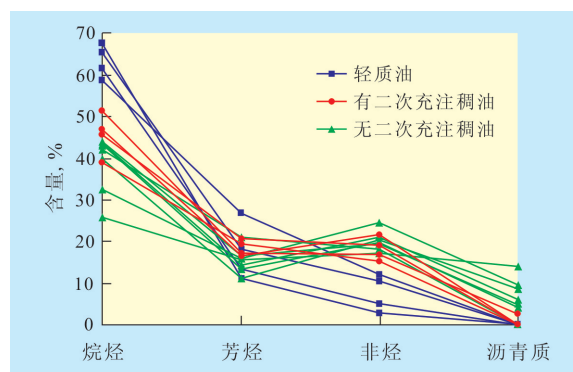


图1 车排子地区不同类型原油族组成特征对比

排2井区轻质油的全烃色谱分析证实,原油的组成成分以中低分子烃类为主(图2),正构烷烃明显呈前峰型分布,主峰碳在 C_{10} 左右, C_{25} 以后的正构烷烃含量极低,考虑到取样及分析过程中轻烃的挥发,轻质组分含量可能更高。这种以中低分子烷烃

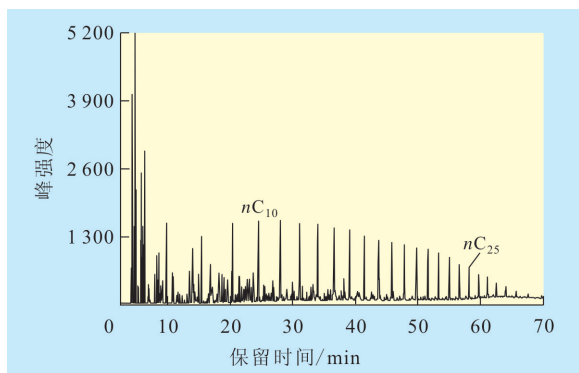


图2 车排子地区排2-30井原油全烃色谱

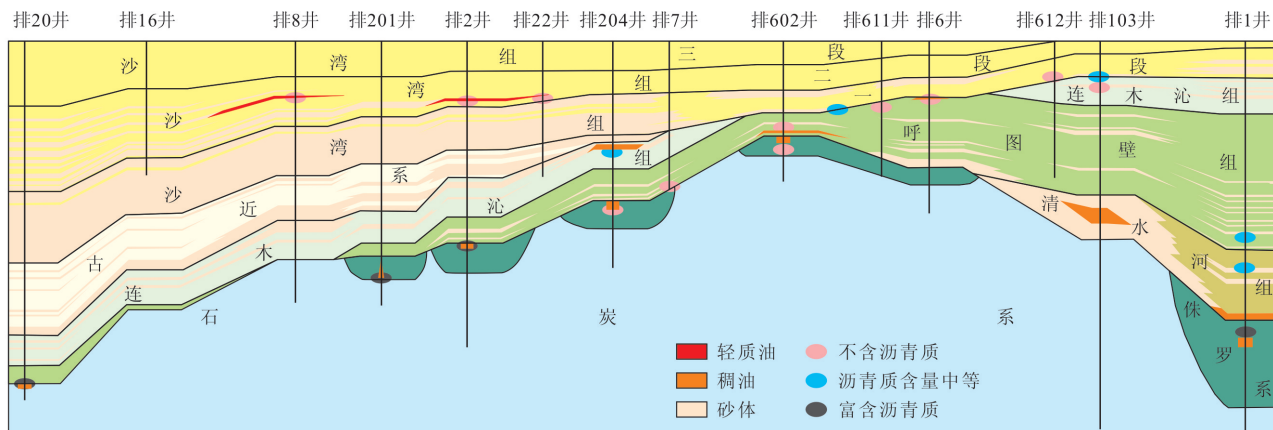


图3 车排子地区不同沥青质含量原油分布剖面

2.1 不含沥青质的轻质油

车排子地区不含沥青质的轻质油主要分布于南部排2井区沙湾组。根据目前对各类烃源岩生烃特征的认识,虽然因母质来源差异在成熟阶段可能会形成不含沥青质的原油,但这类烃源岩一般生排烃量不大,不可能远距离运移至车排子地区成藏,完全不含沥青质的轻质油最大可能是原油成熟度高引起的,有关该区原油金刚烷成熟度研究也证实了这一点^[20]。因此车排子地区轻质油是后期高成熟油气经深部通道运移至沙湾组成藏的。同时在车排子南部沙湾组中未发现早期稠油或低成熟—成熟阶段油藏,根据该区的地层沉积及成藏组合特征^[21-23],早期低成熟—成熟阶段原油的成藏期应在古近纪以前,而后期高成熟轻质油成藏期至少在新近纪以后。2期油气成藏时间间隔长、油气性质差异大。结合四棵树凹陷烃源岩成熟度分析和生烃能力分析^[24],能够生成不含沥青质高成熟油气且运移至车排子地区成藏的烃源岩层必然是生烃能力

为主的原油中不含沥青质,说明本身已不具备溶解和携带沥青质的能力。当这种轻质油后期充注于早期稠油油藏时,只能将其中能溶解的成分带走并运移至新储层成藏。这种后期充注对族组成的选择性运移会造成不同成藏类型原油中沥青质含量的巨大差异。

2 不同沥青质含量原油分布及成因

将车排子地区原油及油砂按沥青质含量分为4类:①不含沥青质的轻质油;②不含沥青质的稠油;③富含沥青质的稠油(沥青质含量大于10%);④沥青质含量中等的稠油(沥青质含量为0.1%~10%)。从各类原油在油藏中的分布(图3)可以看出,其分布是有规律可循的。

强、生烃量巨大的高过成熟烃源岩,在准噶尔盆地只有二叠系烃源岩具有这个特征,因此车排子地区轻质油来源于二叠系烃源岩的可能性较大。

2.2 不含沥青质的稠油

不含沥青质的稠油主要分布在白垩系不整合面附近或其上倾方向的浅部储层中,从其族组成和层系分布特征推测,这些稠油的成藏可能与不整合面附近早期稠油油藏被后期轻质油充注调整有关。不整合面附近早期稠油油藏因保存条件较差,在轻质油充注前严重稠化,轻质油充注时不能溶解和携带其中高分子的沥青质组分,但非烃(胶质)和其他杂原子组分却因相对分子质量大大低于沥青质而可以被轻质油溶解并携带运移,这些组分被携带至新的成藏位置后,受保存条件的限制,其中低分子烃类会散失,使新形成的油藏显示不含沥青质稠油的特征。

2.3 富含沥青质的稠油

富含沥青质的稠油主要分布在石炭系、侏罗系

储层中,在白垩系储层中也有少量分布。分析这些层系中稠油沥青质含量高的原因是:其中的油气早期成藏并在储层中稠化,且后期轻质油充注将部分可溶成分运移至其他储层,残留稠油的沥青质含量高。排2、排20和排201井区底部稠油是这类油气的代表,在现有技术条件下不具开采价值。

2.4 沥青质含量中等的稠油

沥青质含量中等的稠油主要分布于沙湾组底部及白垩系储层中,其来源也应与后期轻质油充注有关。早期稠油有一部分在白垩系成藏,但因白垩系地层砂泥比低,保存条件相对较好,稠油稠化程度不高,在轻质油充注后稠油会稀化并发生二次运移,这样部分沥青质也随之运移,形成了沥青质含量各不相同的次生油藏。

3 油气成藏规律

车排子地区虽然原油性质差异很大,但根据油气族组成特征分析,成藏时期基本上可分为2期。早期形成的油藏为富含沥青质的稠油,均分布于白垩系及以下地层中,古近系以上地层未见分布,因此成藏时间应在白垩纪或更早;晚期成藏的主要是稀油和沥青质含量较低的稠油油藏,以新近系储层为主,成藏时间应为新近纪至第四纪的山前凹陷强烈发育期。

准噶尔盆地不同演化阶段的原型盆地控制了烃源岩的演化与油气系统的分布^[25],也决定着车排子地区的油气成藏规律。昌吉凹陷二叠系烃源岩虽然在侏罗纪就进入了生烃阶段^[26],但烃源岩进入主排烃期后因凹陷地层相对平缓,且凹陷内部无大规模断裂活动,二叠系优质烃源岩形成的油气不可能短时间运移至凹陷上部或边缘成藏,而是大量聚集于三叠系、侏罗系储层中。当凹陷地层断续沉降,在白垩纪地层沉积成岩后才大规模运移至车排子地区成藏,这期油气成藏后遭受降解形成了车排子地区白垩系及其下部地层的稠油油藏。

稳定的构造环境和良好的保存条件使大部分二叠系油气在储层中随地层继续埋藏成熟,这部分油气与二叠系烃源岩高过成熟阶段产生的轻质油气,在新近纪—第四纪山前凹陷带发生强烈沉降后,才发生大规模南北向二次运移。油气的二次成熟使其成分和化学性质发生较大变化,造成了目前不同期次原油性质的巨大差异。

车排子地区不同性质的油气来源方向基本明

确^[10-15],即稠油来源于红车断层下降盘方向,轻质油来源于四棵树凹陷方向。根据原油中沥青质含量的剖面分布分析,轻质油从四棵树凹陷方向向北运移成藏的路径并非只有1条。结合沉积及构造等综合研究认为,后期轻质油是在西湖背斜北翼断至深部位的断层处发生向上穿层运移的。向上运移过程中分为3个不同的横向运移路径(图4):第1条路径为白垩系底不整合面,为一条优势运移通道。通道中早期稠油丰富,但稠化严重,不能被后期轻质油溶解运移,因此该通道运移方向原油以不含沥青质稠油为主。第2条路径为新近系沙湾组底部砂砾岩,具有较好的轻质油输导能力。通道中无早期稠油充注,因而只发现不含沥青质的轻质油。第3条路径为白垩系砂岩,这一输导层本身砂岩含量较低,且有早期稠油充注,早期原油稠化较轻,轻质油可溶解运移其中的部分沥青质,所以经该通道运移成藏的原油以含沥青质为主。这3条通道因早期稠油油藏分布差异,导致了轻质油充注后调整形成沥青质含量不同的油藏。

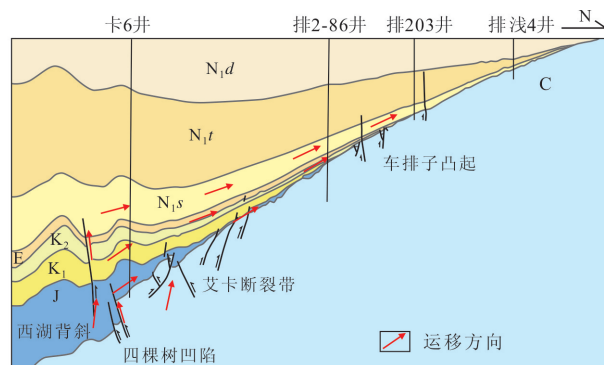


图4 车排子地区轻质油运移成藏模式

4 结束语

原油中沥青质含量可作为确定其来源和成藏研究的重要指标。稠油成藏后,正常储层温压条件下一般不再具有可运移性,只有在后期充注稀油的情况下才可发生二次调整。二次充注油气性质及早期原油的稠化程度不同,二次充注对沥青质溶解运移能力也不同,造成了调整后原油中沥青质含量的差异。

车排子地区稠油成藏期次至少有2期,第1期为目前富含沥青质的稠油成藏,油气成藏后经强烈降解稠化,主要分布于白垩系以下地层;第2期为不含或沥青质含量较低的稠油和轻质油成藏,是后期充注高成熟轻质油溶解和运移早期稠油可溶成分

成藏。第2期稠油的成藏时间与轻质油相同。

车排子地区轻质油在四棵树凹陷较深断层处发生纵向穿层运移,在斜坡部位以顺层运移为主;在纵向运移过程中轻质油分别进入了上、中、下3个不同输导通道,经过含稠油运移通道的轻质油对早期稠油中不同组分选择性地进行了溶解运移,从而造成目前车排子地区油气性质差异大,且原油纵向上呈现上稀下稠的特殊现象。

参考文献:

- [1] Speight J G. The chemistry and technology of petroleum [M]. 2nd ed. New York: Marcel Dekker, 1991.
- [2] Speight J G. Latest thoughts on the molecular nature of petroleum asphaltenes [J]. American Chemical Society. Division of Petroleum Chemistry, 1989, 34(2): 321-328.
- [3] 秦匡宗, 郭绍辉. 石油沥青质 [J]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 97-113.
- [4] 廖泽文, 耿安松. 油藏开发中沥青质的研究进展 [J]. 科学通报, 1999, 44(19): 2 018-2 023.
- [5] 蒲万芬. 油田开发过程中的沥青质沉积 [J]. 西南石油学院学报, 1999, 21(4): 38-41.
- [6] 王业飞, 王所良, 徐怀民, 等. 沥青质与石英表面相互作用及润湿性改变机理 [J]. 油气地质与采收率, 2011, 18(4): 72-74, 81.
- [7] Mitchell D L, Speight J G. The solubility of asphaltenes in hydrocarbon solvents [J]. Fuel, 1973, 52(4): 149-152.
- [8] Riggs D M. Carbon fiber from solvent extracted pitch [J]. American Chemical Society. Division of Petroleum Chemistry, 1984, 29(2): 480-494.
- [9] Lian H, Lin J R, Yen T F. Peptization studies of asphaltene and solubility parameter spectra [J]. Fuel, 1994, 73(3): 423-428.
- [10] 杨勇, 陈世悦, 王桂萍. 准噶尔盆地车排子地区古近系沉积相研究 [J]. 油气地质与采收率, 2011, 18(3): 5-9.
- [11] 宋传春, 贺伦俊, 马立群, 等. 准噶尔盆地车排子凸起成藏特征 [J]. 新疆石油地质, 2007, 28(2): 136-138.
- [12] 胡宗全. 准噶尔盆地西北缘车排子地区油气成藏模式 [J]. 断块油气田, 2004, 11(1): 12-15.
- [13] 刘洪军, 张枝焕, 秦黎明, 等. 准噶尔盆地车排子凸起带轻质油成藏机制 [J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2011, 35(4): 34-40.
- [14] 张枝焕, 李伟, 孟闲龙, 等. 准噶尔盆地车排子隆起西南部原油地球化学特征及油源分析 [J]. 现代地质, 2007, 21(1): 133-140.
- [15] 王军, 张金伟, 董臣强. 准噶尔盆地排2井区岩性油藏的地震正演模拟 [J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(4): 43-44, 48.
- [16] 郑伦举, 王汇彤, 孟建华, 等. SY/T 5119—2008 岩石中可溶有机物及原油族组分柱层析分析方法 [S]. 北京: 石油工业出版社, 2008.
- [17] 孙业恒. 沥青质伤害油藏数值模拟研究 [J]. 油气地质与采收率, 2011, 18(2): 65-68.
- [18] Rubinstein I, Strausz O P, Spyckerelle C, et al. The origin of the oil sand bitumens of Alberta: a chemical study and a microbiological simulation study [J]. Geochemica et Cosmochemica Acta, 1977, 41(9): 1 341-1 353.
- [19] Rubinstein I, Spyckerelle C, Strausz O P. Pyrolysis of asphaltene: a source of geochemical information [J]. Geochimica et Cosmochemica Acta, 1979, 43(1): 1-6.
- [20] 张学军, 徐兴友, 彭平安. 车排子凸起轻质油成熟度分析与烃源岩层再认识 [J]. 地球化学, 2013, 42(2): 180-187.
- [21] 李涛, 隋风贵, 张奎华. 准噶尔盆地南缘油气成藏组合特征及分布规律 [J]. 油气地质与采收率, 2006, 13(1): 55-58.
- [22] 向奎, 赵永福, 王建芳. 利用多种手段进行地层综合划分与对比——以准噶尔盆地春风油田主力稠油层位归属为例 [J]. 油气地质与采收率, 2011, 18(5): 1-5.
- [23] 杨勇, 陈世悦, 王桂萍, 等. 准噶尔盆地南缘雀儿沟剖面白垩系地层特征及沉积环境 [J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(3): 34-37.
- [24] 张枝焕, 向奎, 秦黎明. 准噶尔盆地四棵树凹陷烃源岩地球化学特征及其对车排子凸起油气聚集的贡献 [J]. 中国地质, 2012, 39(2): 326-336.
- [25] 陈业全, 王伟锋. 准噶尔盆地构造演化与油气成藏特征 [J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2004, 28(3): 4-8.
- [26] 宋岩, 王喜双, 房德权. 准噶尔盆地含油气系统的形成与演化 [J]. 石油学报, 2000, 21(4): 20-25.

编辑 经雅丽

欢迎订阅《油气地质与采收率》