第 37 卷 第 1 期
2022 年 3 月:051 - 057

地 质 找 矿 论 丛
Contributions to Geology and Mineral Resources Research

Vol. 37 No. 1
Mar. 2022:051 - 057

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2022.01.008

应用定量颗粒荧光技术研究低渗致密油藏成藏特征
——以鄂尔多斯盆地西缘长 8 段为例

梁正中[1],许红涛[2]
(1.榆林学院化学与化工学院,陕西 榆林 719000;
2.西安石油大学石油工程学院,西安 710065)

摘要: 鄂尔多斯盆地西缘地区经历了较为复杂的构造演化,油气成藏特征与盆地内部相比存在较大差异。利用流体包裹体观察、统计和定量颗粒荧光技术(QGF 和 QGF-E)开展了西缘南段长 8 油藏详细分析。结果表明:油气包裹体荧光显示本地原油成熟度不高,包裹体丰度 GOI 及定量荧光数值均不大,研究区整体含油显示级别和含油饱和度均低于湖盆内部,其原因在于西缘生烃成藏条件不利;测试样品 QGF Index 值和 QGF-E 强度值两者变化趋势不一致,说明早期油气存在一定充注规模,后期油藏可能发生构造调整或者破坏造成了烃类逸散,使得西缘断裂发育区油水分布进一步复杂化。加强与盆内长 8 段成熟油区相关对比,可为拓宽类似该区西缘油藏勘探领域提供重要指导。

关键词: 流体包裹体;定量颗粒荧光;油藏特征;延长组;鄂尔多斯盆地

中图分类号: P618.13;TE122.2 **文献标识码:** A

0 引言

基于低渗透致密油藏潜在的巨大资源量,国内外均将其作为石油地质领域研究的重点。许多学者从油气藏形成的宏观控制因素和基本成藏条件等方面,研究构造演化、沉积储层、源储配置及动力来源等对致密油气藏形成的控制作用,探讨了不同盆地致密油的成藏特征与成藏机理[1-3]。我国致密油资源丰富,分布范围广阔,其中以鄂尔多斯盆地上三叠统延长组的致密油最为典型[4-7]。鄂尔多斯盆地目前开发的致密油资源主体位于盆地中部环县—庆阳范围内,纵向上位于延长组中下部。而盆地西缘地区断裂发育,经历了较为复杂的构造演化,烃源岩品质、砂层含油性、油藏分布和成藏特征与盆地内部主体相比存在较大差异。有关西缘长 8 段油藏的研究十分薄弱,成藏条件相对复杂,形成控制因素尚不清楚。

针对利用包裹体研究油气的运移和成藏作用,澳大利亚 CSIRO 石油资源部流体历史分析技术中心建立了古油柱探测技术,其中有表征油气包裹体颗粒丰度的含油气包裹体丰度指数 GOI 和颗粒荧光定量 QGF 等参数。定量颗粒荧光技术(quantitative grain fluorescence (QGF)和 QGF on extract (QGF-E)通过检测储层岩石颗粒(QGF)及其二氯甲烷抽提物(QGF-E)的荧光响应,可有效识别颗粒含油气丰度与性质。目前,有关检测分析技术在储层含油气性、古油层识别进而解释复杂的油气充注过程等方面取得了大量成果[8-10]。因此,本次基于

收稿日期: 2021-06-30; **责任编辑:** 王传泰

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号:42062011)、陕西省科学技术厅攻关研究计划(编号:2020SF-369)和榆林市科技局项目(编号:2019-84-2)联合资助。

作者简介: 梁正中(1978—),男,博士后,副教授,现主要从事油气勘探综合地质研究。通信地址:榆林学院化学与化工学院。邮政编码:719000;E-mail:lzzdatong@sina.com

流体包裹体分析、含油包裹体丰度统计和定量颗粒荧光技术(QGF 和 QGF-E),以鄂尔多斯盆地西缘长 8 段为研究对象,针对充注控制因素关键问题开展相应研究,分析对比盆内外成藏差异性,为该区油藏勘探提供参考。

1 区域石油地质概况

鄂尔多斯盆地是中国陆地上重要的含油气沉积盆地,位于陕、甘、宁、蒙和晋 5 省交界部位。根据盆地现今构造特征,一般将其划分为 6 个一级构造单元,分别为伊盟隆起、伊陕斜坡、渭北隆起、晋西挠褶带、天环坳陷和西缘冲断带。现今沉积环境稳定,沉积厚度较大,为油气的富集提供了良好的生成和储集空间。三叠系延长组为其主要含油层位。前人根据沉积旋回特征,将延长组自上而下划分为长 1—长 10 共 10 个油层组。由长 10 至长 1,湖盆经历了一个形成、扩张、发展至消亡的沉积演化过程。长 7 油层组时期湖盆分布范围最广,水深达到最大,盆地处在全盛时期,广泛发育浅湖—半深湖相厚层暗色富有机质泥岩、油页岩,其沉积厚度大、有机质丰度高、类型较好,是盆地中生界最主要的烃源岩[5]。同时,湖盆内河流三角洲和湖泊沉积体系广泛分布,紧邻的长 6 和长 8 油层组低孔低渗—特低渗致密储层是主要储集层,这些有利的生储组合为形成盆内大型油藏奠定了良好的物质基础。

目前油田主力勘探开发区主要位于鄂尔多斯盆地陕北斜坡的西南部,在构造区划上横跨天环凹陷与陕北斜坡,构造简单,地层平缓,缺乏背斜、断层等构造圈闭。本次研究的 PY 地区位于鄂尔多斯盆地西南部天环南段地区,横跨西缘逆冲带和天环向斜两个构造单元。受印支运动等的影响,西缘逆冲带断层发育,PY 研究区西部受断层影响尤其显著;研究区东部位于天环坳陷中南段,天环坳陷构造比较稳定、断层并不十分发育(图 1)。在延长组长 3、长 8 等油层组近年来发现大量油气,显示西缘 PY 地区具有良好的勘探前景。前人对鄂尔多斯盆地研究成果表明,中生界长 7 烃源岩的生烃高峰期主要在早白垩世[11-12]。早白垩世末期,鄂尔多斯盆地整体进入抬升剥蚀改造时期。研究区地处盆地西缘,在排烃高峰期及以后构造活动较为强烈,由上初步可知相比盆内主体

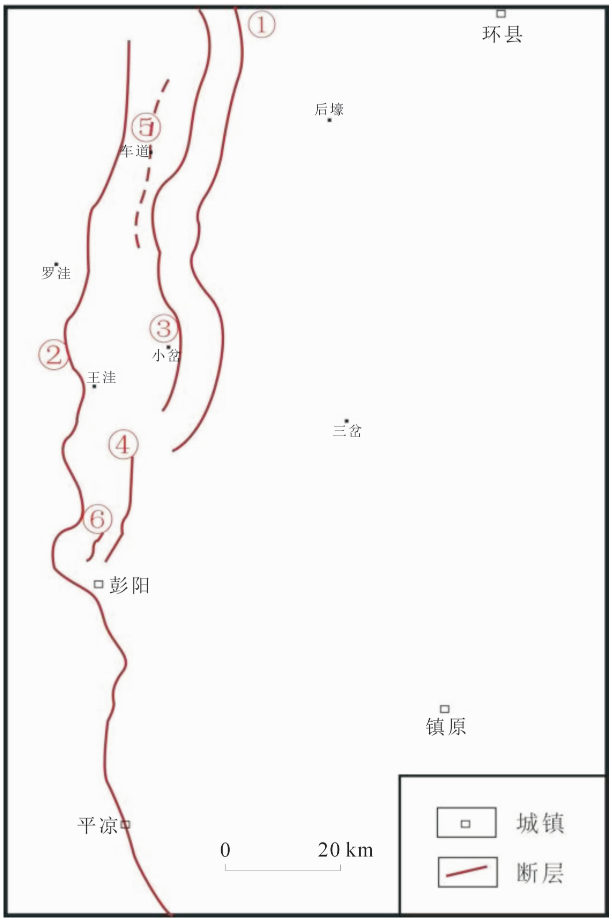

图 1　西缘逆冲断带断裂分布和地理位置

Fig. 1　Map showing reverse thrust fault distribution in the West margin of Ordos basin and the geographic position

部位构造必然会对成藏具有一定的影响和作用。钻井地质资料同样证实,本区中生界油气藏分布受构造控制比较明显,但对两者之间动态变化关系讨论很少。

2 样品采集与实验分析技术

本次研究样品来自 PY 油田近 10 口井长 8 段砂岩储层,其中包裹体丰度统计、QGF 和 QGF-E 分析主要选取典型探井 22 块岩心样品。流体包裹体观测所用仪器显微镜为日本产 Olympus,另配 100 倍 8 mm 长焦工作镜头;显微测温、测盐使用的仪器为英国 Linkam THMS600G 型冷热台,分析精度为 ±0.1 ℃。

油气从烃源岩中排出后,在运移充注、聚集成藏过程中,与其同时或近于同时形成的自生矿物

中可能捕获流体包裹体。通过对这些流体包裹体的均一温度、盐度、气液比及成分等进行分析,可大致推断其形成时的热力学条件和所捕获烃类的地球化学特征。油气包裹体丰度是指在显微镜下统计油层砂岩包裹体薄片中含有油气包裹体的砂岩碎屑颗粒数占所有统计颗粒数的百分比,为油气包裹体定量统计分析的一种方法。研究表明,油气包裹体丰度在不同储层的油层和水层中存在数量级的差别,据 Eadington 等对多个油气田储层油气包裹体丰度(GOI)统计研究发现,一般油层 GOI 值大于 5%,而运移通道 GOI 值为 1%～5%,水层 GOI 值则小于 1%。油气包裹体丰度指数(GOI)可用来判断古油层、油水界面,推测油水界面变化,从侧面表征石油在成藏期充注的程度。利用定量颗粒荧光技术对区内单井的分析,通常主要采用 QGF-Index 和 QGF-E 强度 2 个参数。古油层/油层的 QGF-Index 值(颗粒荧光指数)通常大于 4,QGF 光谱在 375～475 nm 出现峰值;古水层/水层的 QGF-Index 值通常小于 4,QGF 光谱比较平缓;从古油层/油层过渡到古水层/水层后,QGF-Index 值会突然下降。QGF-E 值同样伴随有对应变化[13]。

本次实验分析主要是采用由 CSIRO 石油资源部提供的 QGF 和 QGF-E 分析专利技术。颗粒荧光定量分析(QGF, Quantitative Grain Fluorescence):将岩样经过轻微研磨,原始样品为岩芯时要经过适当破碎,岩样含泥量高时可经过适当水洗。根据岩样的粒径分布筛选具有代表性粒径的颗粒作为分析样品。依次用二氯甲烷、双氧水及盐酸对样品进行处理,烘干。最终使岩样呈颗粒状态(通过镜检确定),其主要含有石英和长石。在 Varian 荧光分光光度计中测定岩样的荧光强度。颗粒萃取物荧光定量分析(QGF-E, Quantitative Grain Fluorescence On Extract):将上一步得到的岩样用一定体积的二氯甲烷(DCM)抽提,测定抽提液的荧光强度。其中,荧光分析波长 300～600 nm,QGF Index 颗粒荧光指数为 375～475 nm 荧光强度的平均值与 300 nm 附近荧光强度的比值,QGF Ratio 颗粒荧光比值为 375～475 nm 荧光强度的平均值与 350 nm 附近的荧光强度的比值,QGF-E Intensity 颗粒萃取液荧光强度为颗粒萃取液的最大荧光强度(Extract Max)与用于萃取的颗粒的质量的比值,再乘以系数 1.2。

3　结果与讨论

3.1　流体包裹体薄片观察和 GOI 统计

砂岩储层中流体包裹体保留了许多重要信息,如温度、压力、流体成分、古环境特征等,油气包裹体分析是研究油气充注成藏的一种有效手段[9-10],油包裹体的荧光颜色可作为不同成熟度油气的直接显示。

本次研究镜下观察,样品中分布有油气包裹体、盐水包裹体、少量气烃包裹体,部分油气包裹体发生后期演化为沥青质包裹体。气烃包裹体弱黄色荧光或无荧光,透光下灰黑色。沥青质包裹体弱黄色荧光分布不均,透射光下浅黄或灰黑色(图 2)。油气包裹体零星或群体分布在石英颗粒内裂隙中,次生加大边中包裹体极少。荧光主要为黄\黄绿\褐黄色,未见蓝色、蓝白色,表明研究区原油成熟度可能不高。

岩芯观察显示油迹、油斑普遍,油浸少见。研究区整体含油显示级别和充注饱满程度均低于湖盆内部。与邻区相比,长 8 含油饱和度普遍偏低。分析化验统计数据也显示本区含油气包裹体丰度和颗粒荧光强度均不大,如木 90 井 GOI 值普遍小于 5%(表 1),表明其在地质历史时期的古含油饱和度也不高。

3.2　颗粒荧光定量测试结果

在对长 8 砂岩样品进行处理分析后,与未接受过油气充注的储层相比,古油层一般具有强 QGF 荧光响应,油层会检测到较强 QGF-E 荧光响应,而水层通常只具有弱的荧光响应。本次开展了对鄂尔多斯盆地西缘地区 3 口典型井砂岩样品开展了颗粒荧光定量测试和对比分析。

位于中北部的木 90 井:颗粒荧光分析相关测试值变化规律较为一致(图 3)。砂岩中石油充注强度自上而下呈逐渐降低趋势;显示油藏聚集环境稳定,构造破坏影响较小。

西南部孟 20 井:测量数据较少,但可发现 QGF Index 值和 QGF-E 强度值两者变化不一致;表明后期油藏可能发生下述调整或者破坏。

与孟 20 井相邻的演 180 井:荧光定量分析参数两者关系不匹配,下部样品具有较高 QGF Index 和 GOI 值,而对应较低的 QGF-E 荧光响应(图 4),表明早期油气充注规模较大,之后可能由于构造破坏发生烃类逸散。目前附近的下部水层/含油水层曾经也是油层,相当于古油层。

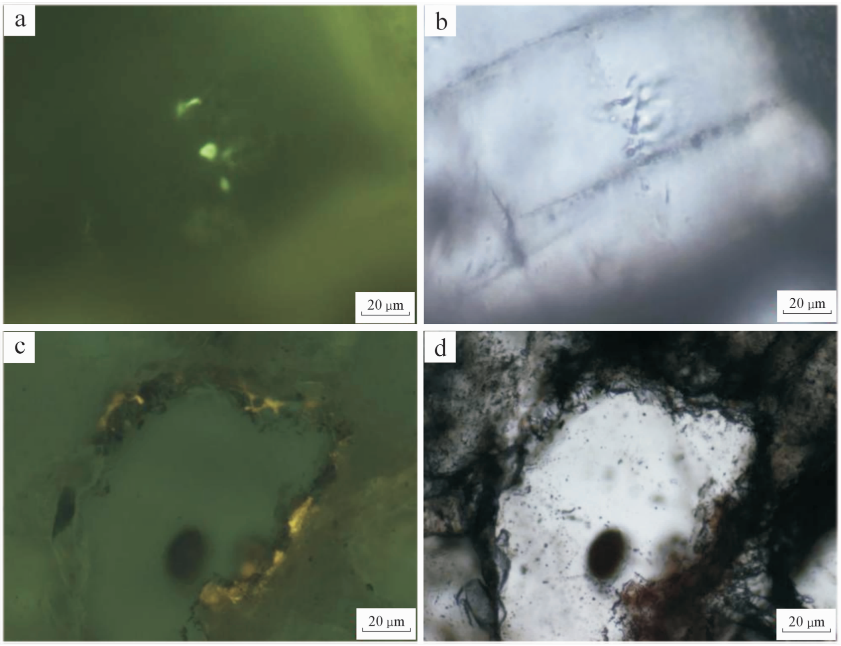

图 2 鄂尔多斯盆地长 8 油层组流体包裹体显微照片

Fig. 2 Microscopic photo of fluid inclusions from reservoirs in Member Chang 8

a. 虎 11 井 2815.13 m，荧光，油气包裹体；b. 与图 2a 为同一视域，透射光；
c. 木 165 井 2607 m，荧光，油气包裹体；d. 与图 2c 为同一视域，透射光

表 1 包裹体 GOI 及定量荧光分析

Table 1 G01 of inclusion and quantitative fluorescence analysis

井名	井深/m	层位	发光颜色	GOI/%	QGF Index
木 90	2564.15	长 8	黄色	2.44	4.8
木 90	2571.35	长 8	黄色	1.17	4.5
木 90	2574	长 8	黄色	2.57	5.2
木 90	2576.2	长 8	黄色	0.29	4.1
木 90	2579	长 8	黄色	0.15	4.5

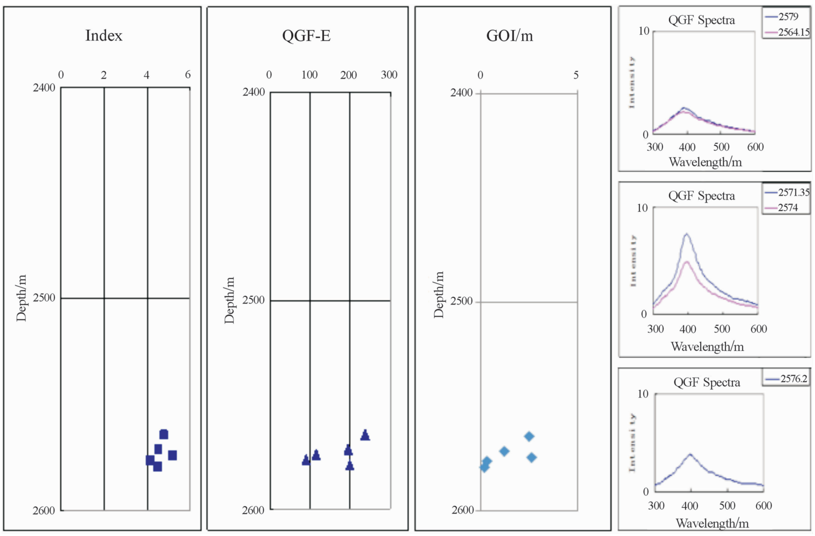

图 3 木 90 井颗粒荧光分析参数

Fig. 3 QGF index and QGF-E intensity depth profile for well Mu 90

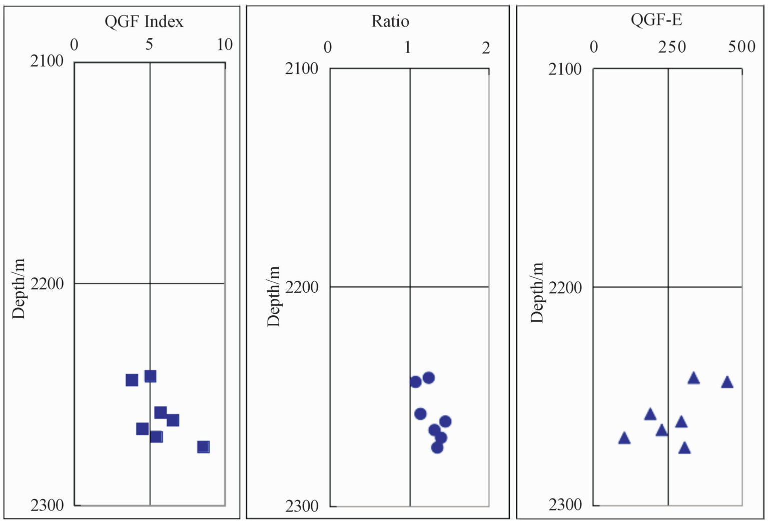

图 4　演 180 井颗粒荧光分析参数

Fig. 4　QGF index and QGF-E intensity depth profile for well Y180

3.3　现今流体特征分析

在上述样品实验基础上,通过收集油田相关流体测试数据,分析发现该区地层水等特征表现出与盆内主体部位的显著差别。中北部地区矿化度较高,封闭条件较好;西南部孟 16 井区总矿化度仅为 6.7 g/L,邻近孟 19 井油质较重(图 5)。这反映西南缘断层附近原油黏度和密度高于研究区周边区域,地层水矿化度低值区与重质油分布区较为吻合。同时,对样品中流体包裹体的均一温度、盐度等进行统计对比,可见西缘逆冲断褶带油气包裹体均一温度与盐度没有相关性,表明本区流体包裹体原始封闭体系受到过影响或者破坏,其间有其它外来流体的交换。

3.4　分析讨论

(1)生烃成藏条件

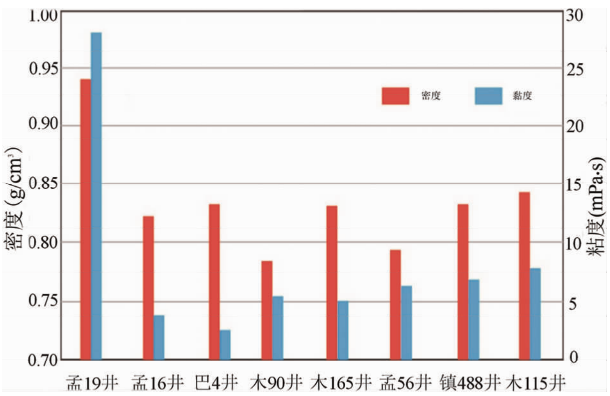

图 5　西缘地区典型探井流体性质

Fig. 5　Fluid characteristics of typical wells in the West margin

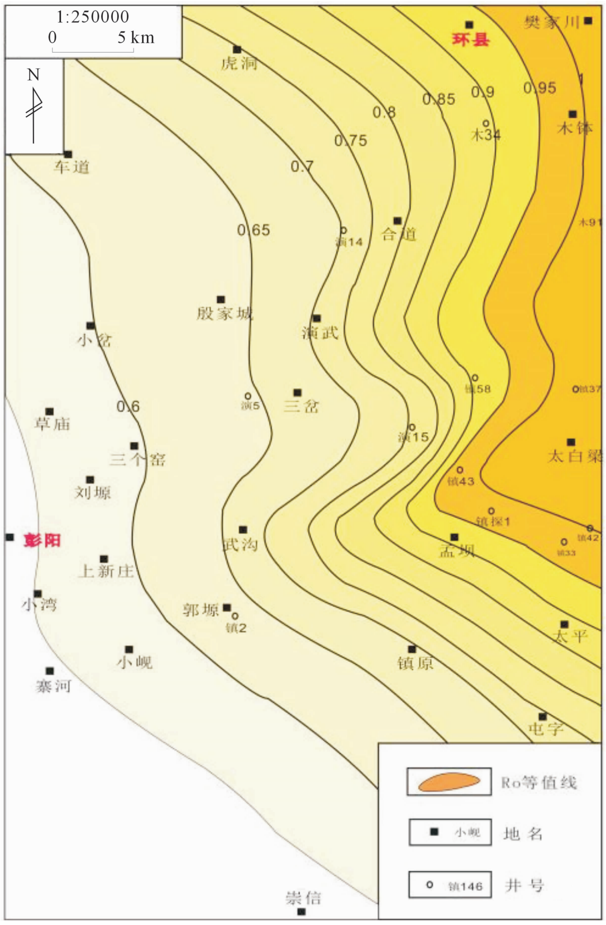

图 6　长 7 湖相泥页岩层成熟度分布图

Fig. 6　Maturity of lacudtrine shale in Member Chang 7

在鄂尔多斯盆地近源成藏的背景下,有效烃源岩的大面积分布是低渗致密油藏形成的关键。湖盆鼎盛期广覆式烃源岩分布是大规模致密油形成的基

础。致密油与烃源岩互层共生或紧邻烃源岩发育的特征说明,烃源岩对致密油的重要性较常规油藏更为突出。综合邻区的油源分析结果认为,鄂尔多斯盆地延长组长 7、长 9 优质烃源岩均可能成为盆地长 8 油藏的有效烃源岩[4]。但长 9 烃源岩分布范围有限,所以就本地区而言,长 7 发育的一套低熟泥页岩是主要的供烃源岩,即长 8 原油来自长 7 段烃源岩,油气以晚期成藏为主。前人结合储层、输导等成藏条件分析认为,长 8 段低渗致密储层的油气充注过程可划分为过充注、正常充注、欠充注模式等三类[14]。本次油气包裹体实验分析得出西缘地区原油成熟度和古含油饱和度均较低,应属于欠充注模式,根本原因在于远离盆地内部生烃中心。无论从烃源岩厚度、有机质丰度、有机质类型和热演化程度来看(图 6),西缘地区油源相较盆内主力区块油田均明显要差,由此整体成藏条件相对不利。

(2)构造变动与油藏调整

鄂尔多斯盆地西缘逆冲断裂带从晚三叠世末雏形出现,历经晚侏罗世西缘逆冲推覆构造和晚白垩世西缘断陷盆地逆冲推覆构造演化,在新生代经过喜山构造运动发生褶皱和冲断作用而改造定型。由于构造位置的特殊性及演化的差异性,前已述及造成西缘生烃成藏条件和过程与盆内油田多有不同。虽然后期构造转变一般伴随着早期形成油气藏的调整甚至破坏,自三叠纪以来存在的 4 次构造抬升对盆内主体如陇东地区油气藏的形成与保存影响甚微[15-18]。但有证据表明,西缘逆冲断褶带早期聚集油气层在晚期地质构造运动期间发生过明显的开启,使早期油气藏发生破坏,甚至有观点认为鄂尔多斯盆地油气成藏作用主要受控于喜山构造运动。本次主要从包裹体流体记录、颗粒荧光定量分析并结合现今流体特征来分析缘区内油藏破坏改造情况。研究区探井样品 QGF Index 和 GOI 值均较高,对应 QGF-E 值较低,显示含油气包裹体较多,说明曾有一定规模的充注,而储层现今残留的油气少。这种油水界面的变化就体现了构造调整的作用。在晚侏罗-早白垩世燕山运动持续作用及晚期喜山运动影响下,西缘地区强烈抬升,区内断层极可能具备开启地质条件。特别是喜山期构造运动对西缘逆冲断带油藏调整影响较大,造成早期聚集油藏的轻烃组分通过断层散失至邻近较高部位圈闭形成气藏,剩余组分重新聚集成低饱和度重质油藏[13,19]。目前长 8 下部的水层曾经也是油层即相当于古油层,而现在的油层相当于残余油藏,表现为油气充注程度向下降低,同时流体性质差异较大。

4 结语

(1)鄂尔多斯盆地西缘地区与盆地内部相比断裂发育、构造作用强,流体性质与油气充注规模、成藏特征存在较大差异。

(2)油气包裹体观察、包裹体 GOI 及定量荧光分析结果说明该地原油成熟度不高,研究区整体含油显示级别和含油饱和度均低于湖盆内部,其根本原因在于远离盆地生烃中心,西缘生烃成藏条件不利。

(3)区内测试样品 QGF Index 值和 QGF-E 强度值两者变化不一致,表明早期油气存在一定充注规模,后期油藏可能发生构造调整或者破坏造成了烃类泄漏,降低了区域含油性,使得西缘断裂发育区油水分布进一步复杂化。

参考文献:

[1] 朱如凯,邹才能,吴松涛,等. 中国陆相致密油形成机理与富集规律[J]. 石油与天然气地质,2019,40(6):1168-1183.

[2] 王香增,任来义,贺永红. 鄂尔多斯盆地致密油的定义[J]. 油气地质与采收率,2016,23(1):1-7.

[3] 闫林,冉启全,高阳,等. 陆相致密油藏差异化含油特征与控制因素[J]. 西南石油大学学报:自然科学版,2017,39(6):45-54.

[4] 赵彦德,罗安湘,孙柏年,等. 鄂尔多斯盆地西南缘三叠系烃源岩评价及油源对比[J]. 兰州大学学报:自然科学版,2012,48(3):1-6.

[5] 宋兴沛,刘洛夫,徐正建,等. 鄂尔多斯盆地中西部长 7 段烃源岩及致密油潜力评价[J]. 新疆石油地质,2017,38(5):553-558.

[6] 白青林,杨少春,马芸,等. 鄂尔多斯盆地西南缘长 8 段油源多元精细对比[J].断块油气田,2018,25(6):689-694.

[7] 贾承造,邹才能,李建忠,等. 中国致密油评价标准、主要类型、基本特征及资源前景[J].石油学报,2012,33(3):343-350.

[8] 王飞宇,师玉雷,曾花森,等. 利用油包裹体丰度识别古油藏和限定成藏方式[J]. 矿物岩石地球化学通报,2006,25(1):12-18.

[9] 陈冬霞,庞雄奇,张俊,等. 应用定量颗粒荧光技术研究岩性油气藏的隐蔽输导通道[J]. 地质学报,2007,81(2):251-254.

[10] 李卓,姜振学,李峰. 应用定量颗粒荧光技术恢复塔中地区石炭系油气充注历史[J]. 石油学报,2013,34(3):427-434.

[11] 任战利,张盛,高胜利,等. 鄂尔多斯盆地热演化程度异常分布区及形成时期探讨[J]. 地质学报,2006,80(5):674-684.

[12] 李相博,刘化清,陈启林,等. 鄂尔多斯盆地天环坳陷迁移演化与坳陷西翼油气成藏[J]. 地质科学,2010,45(2):490-

499.

[13] 赵彦德,齐亚林,罗安湘,等. 应用流体包裹体和自生伊利石测年重构鄂尔多斯盆地侏罗系油藏烃类充注史[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2016,46(6):1637-1648.

[14] 肖承钰,尹伟,张颖,等. 鄂尔多斯镇泾地区延长组成藏体系与油气富集模式[J].石油实验地质,2015,37(3): 347-353.

[15] 李士祥,邓秀芹,庞锦莲,等. 鄂尔多斯盆地中生界油气成藏与构造运动的关系[J]. 沉积学报,2010,28(4):798-807.

[16] 邓秀芹,罗安祥,张忠义,等. 秦岭造山带与鄂尔多斯盆地印支期构造事件年代学对比[J]. 沉积学报,2013,31(6):939-953.

[17] 任战利,李文厚,梁宇,等. 鄂尔多斯盆地东南部延长组致密油成藏条件及主控因素[J]. 石油与天然气地质,2014,35(2):190-198.

[18] 姚泾利,段毅,徐丽,等. 鄂尔多斯盆地陇东地区中生界古地层压力演化与油气运聚[J].天然气地球科学,2014,25(5):649-656.

[19] 李明诚. 石油与天然气运移[M]. 北京:石油工业出版社,2013.

Application of quantitative grain fluorescence techniques to investigation of hydrocarbon accumulation features in low-permeabilit and tight reservoirs:a case of Member Chang 8 of Yanchang formation at West margin of Ordos basin in the Northwest China

LIANG Zhengzhong[1], **XU Hongtao**[2]

(1. *College of Chemistry Engineering*, *Yulin University*, *Yulin* 71900, *Shaanxi*, *China*;

2. *School of Petroleum Engineering*, *Xi'an Shiyou University*, *Xi'an* 710065, *China*)

Abstract: The West margin of Ordos basin is exposed to relative complicate tectonic evolution. Features of oil-gas reservoir here are quite different from those of the inner basin. Grains containing oil-gas fluid inclusions are carefully observed and QGF and QGF-E techniques are applied to detail analysis of reservoirs in Member Chang 8. The result shows that oil-gas maturity in the member is poor and GOI and value of QGE are relatively low that suggest more poor oil-gas-bearing feature of reservoir in the member than that of inner basin due to unfavorable hydrocarbon generation and accumulation condition of the West margin. Index value and QGF-E intensity value of QGE-testing samples Chang 8 in different tendency that is indication of oil charging in certain scale in the early stage. In the late stage tectonic activity may adjust the oil-gas migration or lead to the Oil-gas escape and dispersion and complicate distribution of oil-gas and water in areas with faults developed at the West margin. Correlation of data of reservoirs in the West margin with those in the inner basin should be strengthened to provide certain practical guidance for reducing risk and cost of oil-gas exploration in similar areas at the West margin.

Key Words: Oil inclusion; quantitative grain fluorescence; reservoir formation feature; Yanchang formation; Ordos basin