

运用流体包裹体资料探讨鄂尔多斯盆地姬塬地区长9油藏史

时保宏¹,张艳^{2,3},张雷^{2,3},黄静^{2,3},唐朝^{2,3}

(1. 西安石油大学 地球科学与工程学院,陕西 西安 710065; 2. 中国石油 长庆油田分公司 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室,陕西 西安 710018; 3. 中国石油 长庆油田分公司 勘探开发研究院,陕西 西安 710018)

摘要:鄂尔多斯盆地姬塬地区三叠系延长组长9油层组是该区油藏发育的重点层位。在区域地质研究的基础上,通过流体包裹体偏光-荧光观察、均一温度测试、荧光光谱及红外光谱等分析方法,结合埋藏热演化史资料,确定了姬塬地区长9油藏的充注期次。分析表明,长9储层烃类包裹体物理相态主要为发绿色、黄绿色荧光的液态烃、含气烃的液态烃两类。与其共生的盐水包裹体均一温度分布连续,具有明显的单峰分布特征,对应温度为100~120℃,盐度分布也较集中,峰值区间NaCl浓度为3%~5%,表明发生过一期连续、流体性质和交换作用变化不大的烃类运移、充注过程。同样,石油包裹体荧光光谱及红外光谱特征及参数统计结果也佐证了姬塬地区长9储层经历了一期烃类充注,充注的有机质成熟度较高,烃类包裹体荧光光谱主峰波长、形态相似,波峰近似, $\lambda_{\max}$ 为495 nm,对应绿色、黄绿色荧光区。结合研究区埋藏史、地热史综合分析得出,姬塬地区长9原油充注过程发生距今120~130 Ma,即早白垩世中、晚期为主要的油气成藏期。

关键词:均一温度;红外光谱;荧光光谱;成藏期次;流体包裹体;姬塬地区;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Dating of hydrocarbon accumulation by fluid inclusion characteristics in the Chang9 of Yanchang Formation in Jiyuan area, the Ordos Basin

Shi Baohong¹, Zhang Yan^{2,3}, Zhang lei^{2,3}, Huang Jing^{2,3}, Tang Chao^{2,3}

(1. School of Earth Sciences and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi 710065, China; 2. National Engineering Laboratory for Exploration and Development of Low-Permeability Oil & Gas Fields, Changqing Oilfield Company, PetroChina, Xi'an, Shaanxi 710018, China; 3. Research Institute of Exploration and Development, Changqing Oilfield Company, PetroChina, Xi'an, Shaanxi 710018, China)

Abstract: Chang9 oil layer of the Triassic Yanchang Formation is a key horizon for reservoir development in Jiyuan area, Ordos Basin. The characteristics of fluid inclusions in Chang9 reservoir in Jiyuan area were analyzed systematically based on the measurements of Fourier transform infrared spectroscopy, fluorescence spectroscopy, and homogenization temperature to determine, in combination with the burial-thermal history, the phases and periods of hydrocarbon migration and accumulation. The results show that there are two types of hydrocarbon inclusions in the reservoir of Chang9, namely liquid hydrocarbon inclusions and gas liquid hydrocarbon inclusions with green or yellow-green fluorescence. The homogenization temperature of brine inclusions associated with the hydrocarbon inclusions has a continuous distribution with a 100~120℃ peak value. Salinity distribution is relatively concentrated with a peak value of 3~5 wt% NaCl. These characteristics indicate that there is one major phase of oil migration and accumulation in the study area. Consistently, fluorescence spectroscopy and Fourier transform infrared spectroscopy data demonstrate that the Chang9 reservoir has undergone one phase of hydrocarbon charging with high organic matter maturity, with yellow-green and green fluorescence, corresponding to the fluorescence spectrum of 495 nm. The analysis of burial and thermo-evolutionary history of Chang9 oil layer show that the hydrocarbon charging occurred mainly in mid-late stage of the Early Cretaceous.

Key words: homogenization temperature, FTIR, fluorescence spectrum, hydrocarbon accumulation timing, fluid inclusion, Jiyuan area, Ordos Basin

收稿日期:2014-01-15;修订日期:2014-10-20。

第一作者简介:时保宏(1970—),男,博士、副教授,油气成藏地质学及天然气地球化学。E-mail: bh.sh@163.com。

基金项目:陕西省自然科学基金项目(2012JM5010)。

姬塬地区为鄂尔多斯盆地石油资源丰富区域之一,三叠系延长组发育长4+5、长6、长8油层组等多个大型岩性油藏。近年来,随着复合成藏理论及致密油气研究的深入,姬塬地区延长组下组合长9油层组逐渐引起了石油地质工作者的重视,并对其沉积环境、储层特征及油水分布规律等进行了系统研究^[1-4],其中涉及长9成藏史的研究则较少。本文利用包裹体系统测试分析资料,对该区域长9油藏的充注史加以探讨。

1 区域地质概况及样品选取

姬塬地区位于鄂尔多斯盆地中西部,构造上属于伊陕斜坡与天环坳陷两个构造单元。区内延长组自下而上划分为长10—长1共10个油层组。长9沉积时期,研究区发育三角洲沉积,储集体主要为平原分流河道及前缘水下分流河道砂岩。砂岩具有粒度细、分选及磨圆差、非均质性较强^[5-6]等特征。勘探表明,研究区长9油藏主要分布在油层组上部,油藏规模较小,油水关系复杂,油层出水率较高^[7]。

针对研究区长9储层岩性细,不利于镜下包裹体观察分析的特点,特筛选粒度相对较粗的岩心送样磨制包裹体薄片。此次共选取15口钻井的岩心样品磨片进行包裹体测温、期次划分、荧光及红外光谱等测试分析。具体测试方法前人^[8-14]做了不少详细说明,此处不在赘述。

2 烃类包裹体特征

2.1 包裹体期次及特征

据偏光—荧光镜下观察结果分析,样品中烃类包裹体主要赋存在切及石英颗粒或切穿石英颗粒及加大边的微裂隙中。依据烃类包裹体所显示的相态特征、产状及显微偏光—荧光颜色等特征,研究区长9砂岩可识别出特征明显的一期烃类包裹体。

该期包裹体主要发育于成岩石英颗粒次生加大中晚期及成岩期后,沿切穿石英颗粒或石英加大边的微裂隙成线—带状分布,发育丰度极低—中等,包裹体个体大小一般为5~20 μm,形状规则,多为椭圆形、圆形(表1)。其物理相态以含气烃的液态烃和液态烃为主,透射光下液烃多呈深褐色(图1a—b)、淡黄色及黄色(图1c—e),气烃呈灰色(图1f),在蓝光激发下液态烃包裹体多显示黄绿色、绿色荧光(图1g—i)。

与烃类包裹体共生的盐水包裹体均一温度的稳定性较高。因此,一般选取与烃类包裹体共生的盐水包裹体进行均一温度测定。测试结果表明,姬塬地区长9储层中与烃类包裹体共生的盐水包裹体均一温度分布范围为80~120℃,分布连续,且只存在一个峰值区间,峰值为100~120℃(图2),反映研究区长9烃类的运移和充注是一个连续的过程,在这连续过程中存在一次大规模的流体活动^[15-16];包裹体盐度分布范围偏向低盐度,NaCl浓度峰值区间在3%~5%,分布较集中(图2),表明地层中的流体交换作用不普遍,流体性质差别不大,反映为一期充注。

2.2 包裹体盐水体系

处于不同盐水体系的包裹体,其流体组分不同。目前主要是通过采用冷冻法(与均一温度测量过程相反)获得始熔温度来确定包裹体中流体的盐水体系。始熔温度与盐水体系的低共结温度是一致的。对于某一盐水体系而言,低共结温度是该体系的特征值。如NaCl—H₂O体系的低共结温度是-20.8℃,KCl—H₂O体系是-10.6℃,H₂O+NaCl+MgCl₂体系低共结温度是-35℃,CaCl₂—NaCl—H₂O三元体系的低共结温度是-52℃。依据盐水体系的特征值对比分析包裹体的始熔温度,就能确定该包裹体中的盐水溶液属于哪一体系^[17-18]。长9包裹体始熔温度平均值为-45.5℃,主要分布于-40℃~-60℃,接近三元盐水体系(图3),表明研究区长9油藏处于封闭状态,油藏保存条件较好,与上述包裹体盐度分析结果相一致。

表1 姬塬地区长9储层烃类包裹体特征及类型划分

Table 1 Characteristics and classification of hydrocarbon inclusions in the Chang9 reservoir of Jiyuan area

井名	深度/m	赋存矿物产状	测温类型	含油包裹体丰度(GOI)	气液比/%	荧光颜色	均一温度/℃ (测点数)	盐度均值 (NaCl浓度)/%	期次
Y45	2 834.8	①	含烃盐水包裹体	~1%	≤5	黄绿色、绿色	93.9(11)	5.57	一期
H61	2 825.4	②		~2%	≤5	绿色、黄绿色	100.6(8)	3.60	
		①					88.6(8)	6.72	
Y148	2 570.8	③		~1%	≤5	绿色、黄绿色	110.8(29)	5.24	
		②					99.0(11)	3.22	
C77	2 457.7	①		~1%	≤5	绿色、黄绿色	94.5(10)	4.54	
		③					97.3(15)	5.00	

注:赋存矿物产状①代表切穿石英颗粒及其加大边的微裂隙;②代表石英颗粒加大边微裂隙;③代表切穿石英颗粒的微裂隙。

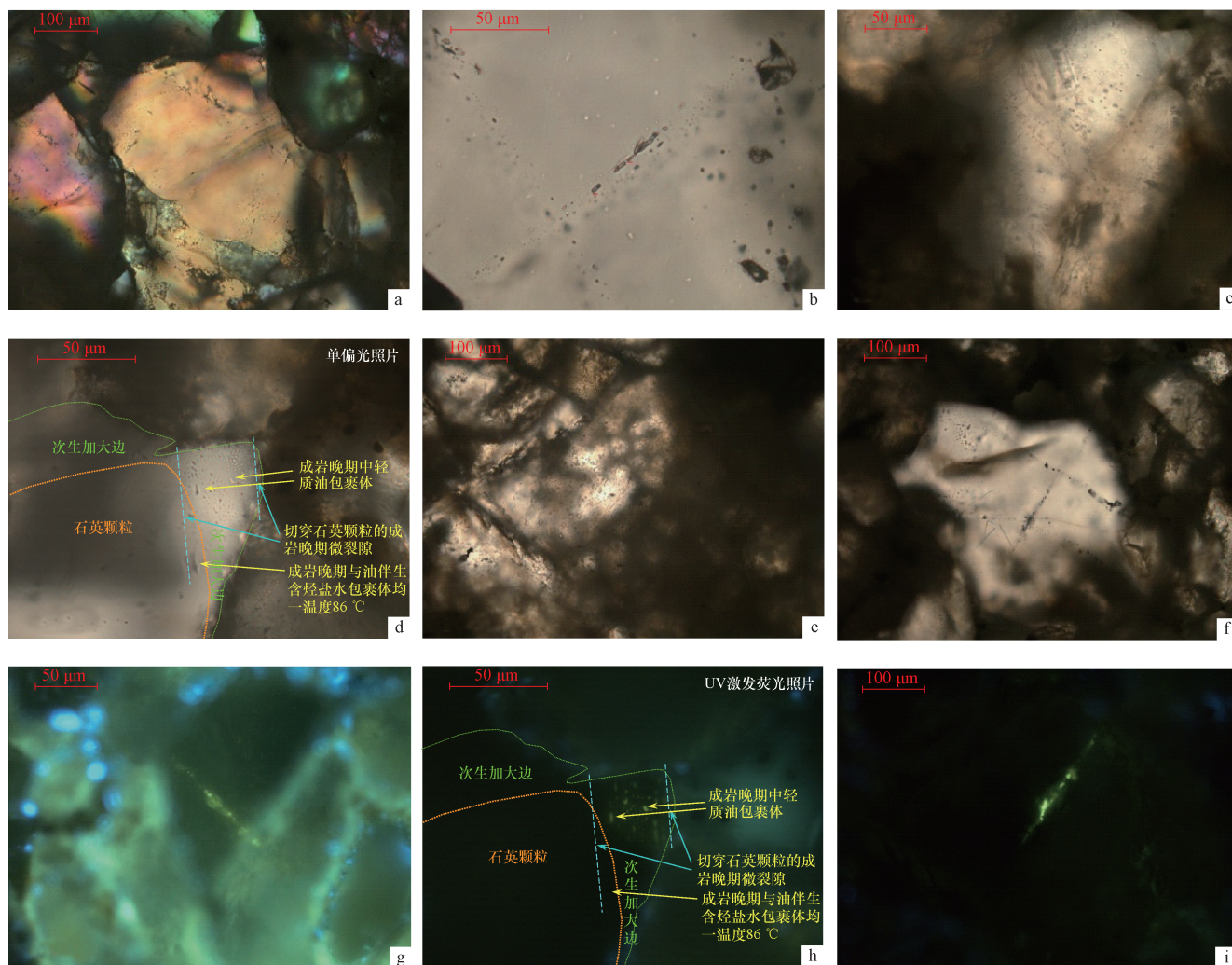


图1 姬塬地区长9典型烃类包裹体偏光-荧光照片

Fig. 1 Polarized light and fluorescent microscope of typical hydrocarbon inclusions of Chang9 reservoir in Jiyuan area

a. 沿切穿石英颗粒及其加大边微裂隙成群线状分布、呈透明无色或淡褐色的含烃盐水包裹体, C77井, 埋深2 457.65 m, 正交偏光照片; b. 沿切穿石英颗粒的微裂隙成带分布、呈淡褐色的含烃盐水包裹体, L99井, 埋深2 849 m, 单偏光; c. 细砂岩中沿切穿石英颗粒的次生微裂隙成线状分布、呈淡黄色-灰色, Y148井, 埋深2 557.7 m, 单偏光; d. 细砂岩中沿切穿石英颗粒的成岩期后次生微裂隙成带分布、呈淡黄色-灰色的液烃、油-气包裹体与呈透明无色的含烃盐水包裹体, C77井, 埋深2 457.65 m, 单偏光; e. 细砂岩中沿切穿石英颗粒的次生微裂隙成带分布的油-气包裹体, 呈淡黄色-灰色, C141井, 埋深2 471.5 m, 单偏光; f. 沿切穿石英颗粒的成岩期后次生微裂隙成带分布、呈深灰色的气烃包裹体, A102井, 埋深2 467.5 m, 单偏光; g. 液烃、油-气包裹体呈浅黄绿色荧光, UV 激发; h. 包裹体液烃显示绿色荧光, UV 激发; i. 油-气包裹体显示黄绿色荧光, UV 激发

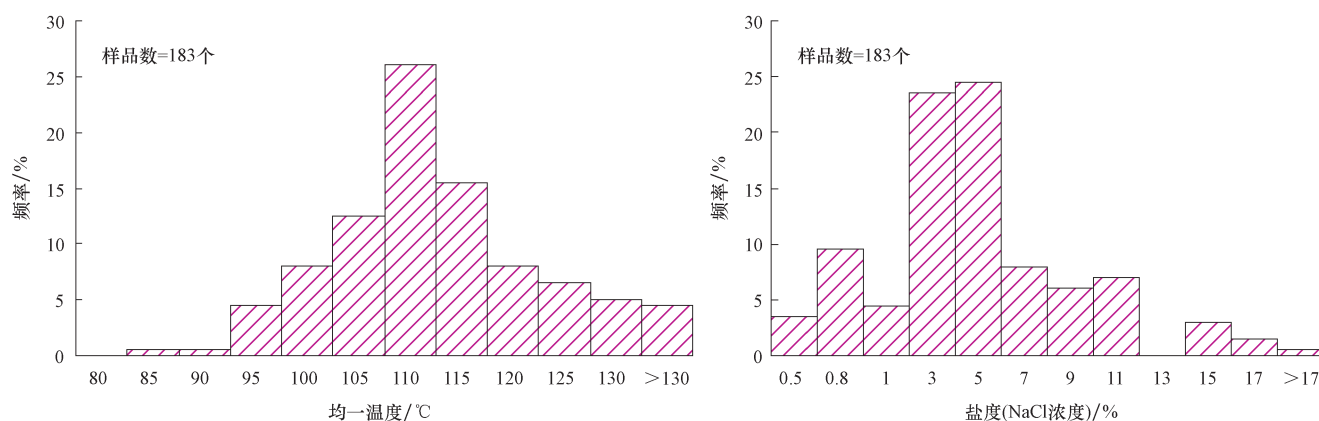


图2 姬塬地区长9储层烃类包裹体盐度 a) 与均一温度 b) 分布

Fig. 2 Salinity (a) and homogenization temperature (b) distribution in fluid inclusions from Chang9 reservoir of Jiyuan area

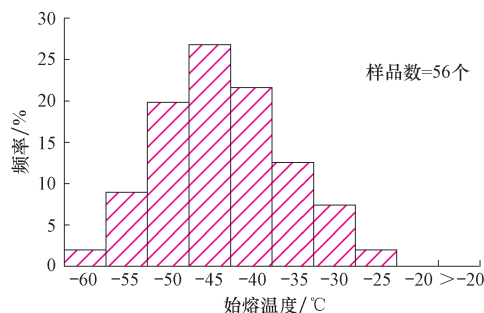


图3 姬塬地区长9储层烃类包裹体始熔温度分布

Fig. 3 Eutectic temperature distribution of fluid inclusions from Chang9 reservoir in Jiyuan area

3 包裹体荧光及红外光谱分析

3.1 包裹体荧光光谱分析

烃类包裹体荧光及光谱分析测试以荧光镜下所观察的包裹体的荧光颜色为依据,对荧光光谱特征及强度进行更为精确的测量。烃类包裹体的荧光颜色是不同成熟度油气的直接显示,表征了不同幕次的油气充注。根据包裹体成熟度的不同,荧光光谱存在“蓝移”或“红移”现象,随着烃类包裹体成熟度增加,光谱主峰值减少,荧光光谱表现为向蓝色荧光移动的现象;反之,随着光谱主峰值增加,成熟度减少,荧光光谱则表现为向红色荧光移动的现象^[10,19]。

上述包裹体特征论述中已对研究区长9包裹体产状、荧光颜色做了详细说明,在此基础上,利用荧光光谱分析仪,通过激发光对单个典型烃类包裹体进行光谱测定分析,从而获得荧光光谱图。研究区荧光光谱图结构及形态相似,主峰波长近似, $\lambda_{\max}$ 为495 nm,发黄绿色荧光(图4),判断研究区长9油层组主要发育一期烃类成熟度较高的烃类包裹体。

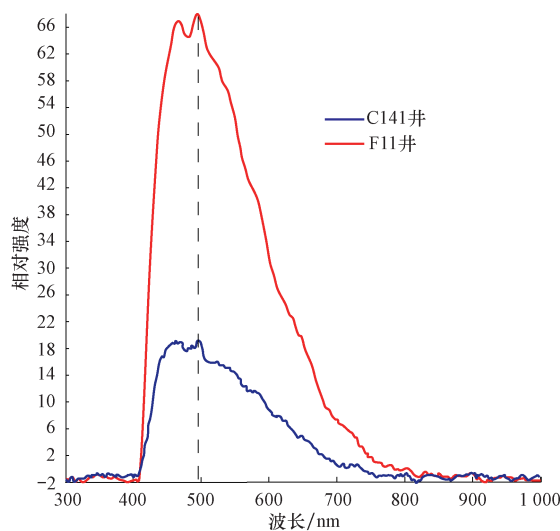


图4 姬塬地区长9储层典型石油包裹体荧光光谱

Fig. 4 Typical fluorescence spectrum of inclusions from Chang9 reservoir in Jiyuan area

3.2 包裹体显微红外光谱测定

显微红外光谱技术常用来对单个石油包裹体的有机成分进行测定。光谱吸收峰的强度表示化学结构的相对丰度,反映有机质的组成特征。研究中常用 $\Sigma\text{CH}_2/\Sigma\text{CH}_3$ (亚甲基峰面积与甲基面积比值)、 X_{inc} (包裹体有机质烷基碳原子数)和 X_{std} (标准有机质烷基碳原子数)这3个参数(参数计算方法见参考文献[10]和[17])来表征石油包裹体成熟度^[20-21]。其值越小,表明有机质的成熟度越高,反之,则亦然。

Y148、C141和C77井石油包裹体的红外参数中 $\Sigma\text{CH}_2/\Sigma\text{CH}_3$ 值在1.738~5.782, X_{inc} 介于10.418~55.356, X_{std} 值分布范围为6.806~21.785,与红外光谱图(图5)相结合可以看出,研究区有机质成分中甲基相对富集,长链烷烃含量相对较低,成熟度较高,与黄绿色包裹体荧光特征相佐证。

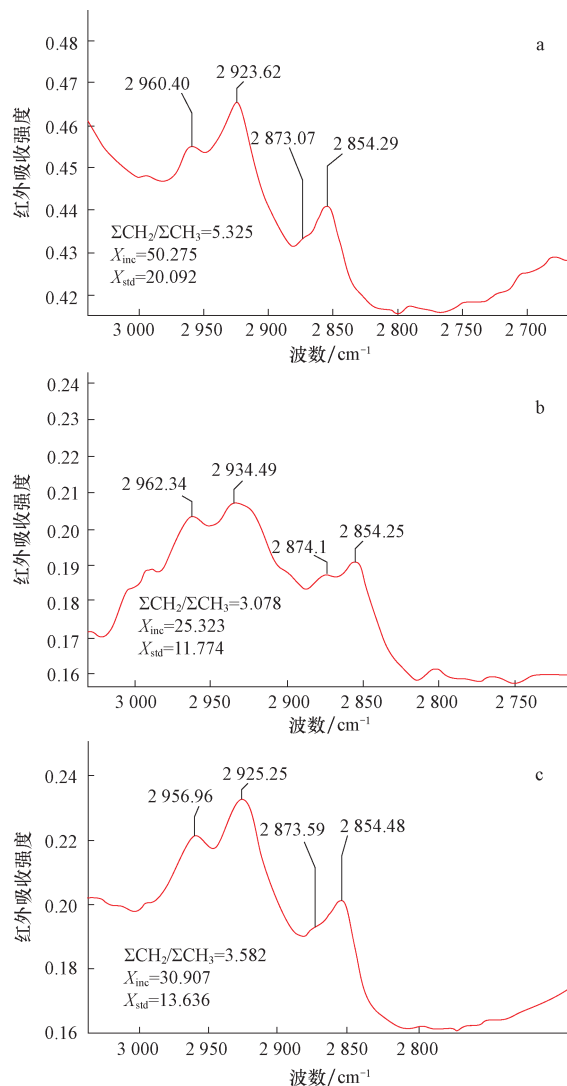


图5 姬塬地区长9储层典型石油包裹体显微-红外光谱

Fig. 5 Micro-FTIR of the hydrocarbon inclusions from Chang9 reservoir in Jiyuan area
a. C141井; b. Y148井; c. C77井

4 长9油藏充注期次

储层中与烃类共生的盐水包裹体均一温度代表油气运移充注时储层的古地温。采用将其投点到模拟恢复的储层热埋藏史图的方法来确定油藏成藏时间。此次利用PRA的BasinMod1D软件对研究区长9储层热埋藏史图进行了模拟恢复。模拟恢复所需的地层剥蚀量、古地温梯度、现今地表温度及各地层沉积及剥蚀厚度、发生的时间等数据引自参考文献[22~24]。研究区长9与烃类共生盐水包裹体均一温度峰值段100~120℃对应地质年代为120~130 Ma,说明石油充注时间为早白垩世中晚期,即长9油藏主成藏期为早白垩世中晚期(图6)。

5 结论

1) 鄂尔多斯盆地姬塬地区延长组长9储层烃类包裹体主要沿切穿石英颗粒或石英加大边的微裂隙成线-带状分布;物理相态主要为发绿色、黄绿色荧光的液态烃、含气烃的液态烃两类。烃类包裹体荧光光谱主峰波长、形态相似,波峰近似, $\lambda_{\max}$ 为495 nm,对应绿色、黄绿色荧光区。烃类包裹体红外光谱图反映包裹体中烃类有机质成分中甲基相对富集,长链烷烃含量相对较低,成熟度较高。与其共生的盐水包裹体均一温度分布连续,具有明显的单峰分布特征。

2) 姬塬地区长9储层充注了一期连续、流体性

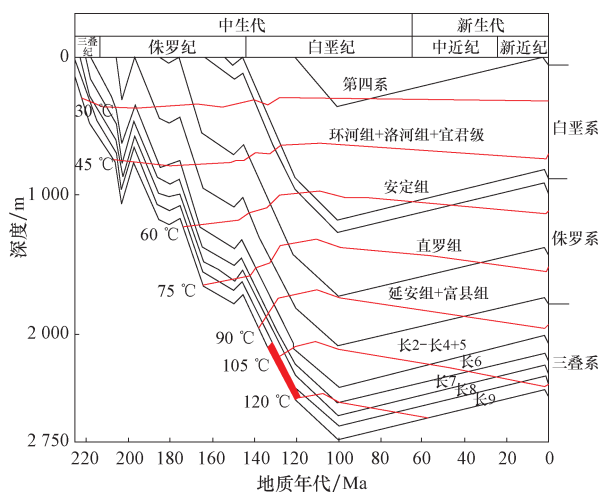


图6 姬塬地区埋藏-热演化史及油气充注期次

Fig. 6 Burial-thermal history and oil accumulation stages in Jiyuan area

质和交换作用变化不大的具有较高成熟度的烃类流体。结合研究区埋藏史、地热史综合分析得出,姬塬地区长9原油充注过程发生距今约120~

130 Ma,即早白垩世中晚期为研究区长9油藏主要形成时期。

参 考 文 献

- [1] 姚泾利,王克,宋江海,等.鄂尔多斯盆地姬塬地区延长组石油运聚规律研究[J].岩性油气藏,2007,19(3):32-37.
Yao Jingli, Wang Ke, Song Jianghai, et al. Petroleum migration and accumulation of Yanchang Formation in Jiyuan area, Ordos Basin [J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(3): 32-37.
- [2] 窦伟坦,蔺宏斌,慕敬魁,等.鄂尔多斯盆地姬塬地区长9油层组沉积特征与储集条件[J].西安石油大学学报(自然科学版),2011,26(2):20-25.
Dou Weitan, Lin Hongbin, Mu Jingkui, et al. Sedimentary characteristics and accumulation conditions of Chang-9 oil-bearing layers in Jiyuan area, Ordos Basin [J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2011, 26(2): 20-25.
- [3] 陈朝兵,朱玉双,谢辉,等.姬塬油田红井子地区延长组长9油层组石油富集规律[J].石油与天然气地质,2012,33(5):758-765.
Chen Zhaobing, Zhu Yushuang, Xie Hui, et al. Accumulation patterns of the Chang-9 oil reservoir in the Yanchang Formation of Hongjingzi area in Jiyuan oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(5): 758-765.
- [4] 代金友,李建霆,王宝刚,等.鄂尔多斯盆地里151油藏延8—延10油层组沉积特征及其与油气的关系[J].油气地质与采收率,2013,20(4):5-9.
Dai Jinyou, Li Jianting, Wang Baogang, et al. Sedimentary microfacies study for Yan8-Yan10 layers of Yan'an formation in Li151 oilfield, Ordos Basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(4): 5-9.
- [5] 时保宏,姚泾利,张艳,等.鄂尔多斯盆地延长组长9油层组成藏地质条件[J].石油与天然气地质,2013,34(3):294-300.
Shi Baohong, Yao Jingli, Zhang Yan, et al. Geologic conditions for hydrocarbon accumulation in Chang 9 oil reservoir of the Yanchang formation, Ordos basin [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(3): 294-300.
- [6] 刘昊伟,王键,刘群明,等.鄂尔多斯盆地姬塬地区上三叠统延长组长8油层组有利储集层分布及控制因素[J].古地理学报,2012,14(3):285-294.
Liu Haowei, Wang Jian, Liu Qunming, et al. Favorable reservoir distribution and its controlling factors of the Chang 8 interval of Upper Triassic Yanchang Formation in Jiyuan area, Ordos Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2012, 14(3): 285-294.
- [7] 杨亚娟,张雷,张艳,等.鄂尔多斯盆地姬塬地区长9油藏油水分布关系分析[J].地质找矿论丛,2013,28(2):263-267.
Yang Yajuan, Zhang Lei, Zhang Yan, et al. Law of oil and water distribution in Chang 9 oil reservoir of Jiyuan area, Ordos basin [J]. Contributions to Geology and Mineral resources research, 2013, 28(2): 263-267.
- [8] 陶士振. 原生矿物序次是确定包裹体期次的根本依据[J].石油勘探与开发,2006,33(2):154-160.
Tao Shizhen. Sequence of diagenetic authigenic mineral the basis of timing the inclusions formation in sedimentary rocks [J]. Petroleum

- Exploration and Development, 2006, 33(2): 154–160.
- [9] 李荣西, 席胜利, 邸领军. 用储层油气包裹体岩相学确定油气成藏期次—以鄂尔多斯盆地陇东油田为例[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(2): 194–199.
- Li Rongxi, Xi Shengli, Di Lingjun. Oil/gas reservoir in phases determined through petrographic analysis of hydrocarbon inclusions in reservoirs; taking Longdong oil field, Ordos basin, as an example[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(2): 194–199.
- [10] 邹育良, 俞莹, 李松花, 等. 利用显微红外光谱法研究油气成藏期次[J]. 大庆石油地质与开发, 2005, 24(3): 33–34.
- Zou Yuliang, Yu Xuan, Li Songhua, et al. Study on hydrocarbon reservoir formation period using microscope-infrared spectroscopy method[J]. Petroleum Geology and Oil Field Development In Daqing, 2005, 24(3): 33–34.
- [11] 肖晖, 赵靖舟, 杨海军, 等. 塔北英买力低凸起奥陶系油藏充注历史的流体包裹体证据[J]. 石油学报, 2012, 33(3): 372–377.
- Xiao Hui, Zhao Jingzhou, Yang Haijun, et al. Evidence of fluid inclusions for the hydrocarbon charging history of Ordovician reservoirs in Yingmaili low-uplift, northern Tarim basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(3): 372–377.
- [12] 曹青, 赵靖舟, 柳益群. 鄂尔多斯盆地蟠龙地区延长组长2? 长6段流体包裹体研究[J]. 石油实验地质, 2013, 35(4): 384–388.
- Cao Qing, Zhao Jingzhou, Liu Yiqun. Fluid inclusions of Chang2 and Chang6 sections in Yanchang Formation, Panlong area, Ordos Basin. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(4): 384–388.
- [13] 时保宏, 张艳, 张雷, 等. 鄂尔多斯盆地延长组长7致密储层流体包裹体特征与成藏期次[J]. 石油实验地质, 2012, 34(6): 599–603.
- Shi Baohong, Zhang Yan, Zhang Lei, et al. Hydrocarbon accumulation dating by fluid inclusion characteristics in Chang7 tight sandstone reservoirs of Yanchang Formation in Ordos Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(6): 599–603.
- [14] 兰朝利, 王建国, 周晓峰, 等. 鄂尔多斯盆地彭阳油田侏罗系延安组油藏成藏规律[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(5): 45–48.
- Lan Chaoli, Wang Jianguo, Zhou Xiaofeng, et al. Hydrocarbon accumulation rules of sandstone reservoirs of Jurassic Yan'an Formation, Penyang oilfield of Ordos basin, China[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(5): 45–48.
- [15] 柳少波, 顾家裕. 包裹体在石油地质研究中的应用与问题讨论[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(4): 326–331.
- Liu Shaobao, Gu Jiayu. Application of fluid inclusions to petroleum geological study and discussion[J]. Oil & Gas Geology, 1997, 18(4): 326–331.
- [16] 李明诚, 单秀琴, 马成华, 等. 油气成藏期探讨[J]. 新疆石油地质, 2005, 26(5): 587–591.
- Li Mingchen, Shan Xiuqin, Ma Chenghua, et al. An approach to hydrocarbon accumulation in period[J]. Xin Jiang Petroleum Geology, 2005, 26(5): 587–591.
- [17] 卢焕章. 液体包裹体的初熔温度及其地质意义[J]. 华东地质学院学报, 1984, (1): 61–65.
- Lu Huanzhang. Eutectic temperature of fluid inclusions and its geological significance[J]. Journal of East China Geological Institute, 1984, (1): 61–65.
- [18] 刘德汉. 包裹体研究盆地流体追踪的有力工具[J]. 地学前缘(中国地质大学, 北京), 1995, 2(3–4): 149–154.
- Liu Dehan. Fluid inclusion studies—an effective means for basin fluid investigation[J]. Earth Science Frontiers (China university of Geosciences, Beijing), 1995, 2(3–4): 149–154.
- [19] 方欣欣, 甘华军, 姜华, 等. 利用石油包裹体微束荧光光谱判别塔北碳酸盐岩油气藏油气充注期次[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2012, 37(3): 580–586.
- Fang Xinxin, Gan Huajun, Jiang Hua, et al. Analyzing hydrocarbon charging periods of carbonate reservoir in North Tarim by Micro fluorescence spectrum of petroleum inclusions[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2012, 37(3): 580–586.
- [20] 孙青, 翁诗甫, 张熙. 傅立叶变换红外光谱分析矿物有机包裹体的限制—基体吸收问题初探[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 1998, 23(3): 248–252.
- Sun Qing, Weng Shipu, Zhang Xun. FTIR microanalysis limits of hydrocarbon fluid inclusions; matrix minerals absorption[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 1998, 23(3): 248–252.
- [21] 刘德汉, 卢焕章, 肖贤明. 油气包裹体及其在石油勘探开发中的应用[M]. 广州: 广东科技出版社, 2007: 147–149.
- Liu Dehan, Lu Huanzhang, Xiao Xianming. Hydrocarbon inclusions and its application on the petroleum exploration and development[M]. Guangzhou: Gunagzhou Technology Press, 2007: 147–149.
- [22] 陈瑞银, 罗晓容, 赵文智, 等. 鄂尔多斯盆地中生代热异常及烃源岩热演化特征[J]. 石油勘探与开发, 2007, 34(6): 658–663.
- Chen Ruiyin, Luo Xiaorong, Zhao Wenzhi, et al. Thermal anomaly and thermal evolution of source rocks in Mesozoic, Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2007, 34(6): 658–663.
- [23] 任战利, 赵重远, 张军, 等. 鄂尔多斯盆地古地温研究[J]. 沉积学报, 1994, 12(1): 56–65.
- Ren Zhanli, Zhao Chongyuan, Zhang Jun, et al. Research on Paleotemperature in the Ordos basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1994, 12(1): 56–65.
- [24] 陈瑞银, 罗晓容, 陈占坤, 等. 鄂尔多斯盆地中生代地层剥蚀量估算及其地质意义[J]. 地质学报, 2006, 80(5): 685–693.
- Chen Ruiyin, Luo Xiaorong, Chen Zhangkun, et al. Estimation of denudation thickness of Mesozoic stata in the Ordos basin and its geological significance[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(5): 685–693.

(编辑 张亚雄)