

斯尚华,喻意,王小龙,等. 松辽盆地三肇凹陷扶余油层致密油气充注期次及其成藏贡献. 吉林大学学报(地球科学版), 2024, 54(5): 1457–1467. doi:10.13278/j.cnki.jjuese.20230346.

Si Shanghua, Yu Yi, Wang Xiaolong, et al. Tight Oil and Gas Charging Period and Its Accumulation Contribution of Fuyu Oil Layer in Sanzhao Sag, Songliao Basin. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2024, 54(5): 1457–1467. doi: 10.13278/j.cnki.jjuese.20230346.

松辽盆地三肇凹陷扶余油层致密油气充注期次及其成藏贡献

斯尚华^{1,2}, 喻意³, 王小龙³, 王新星⁴, 赵玉涛⁵, 吴伟涛^{1,2}

- 西安石油大学地球科学与工程学院, 西安 710065
- 陕西省油气成藏地质学重点实验室, 西安 710065
- 中国石油长庆油田公司第四采油厂, 陕西 靖边 718500
- 中国石油长庆油田公司第五采油厂, 陕西 定边 718600
- 中国石油吉林油田公司勘探开发研究院, 吉林 松原 138000

摘要: 为了明确松辽盆地三肇凹陷泉头组扶余油层致密油气充注期次及其成藏贡献, 综合利用薄片鉴定、包裹体测温、荧光光谱等方法, 对扶余油层微观油包裹体及其伴生盐水包裹体进行了研究, 并结合储层埋藏史对该地区油气充注期次及其成藏贡献进行了探讨。研究结果表明: 三肇凹陷扶余油层油气具有多期充注成藏特征, 总体上表现为两期原油充注成藏, 第 1 期发生在嫩江组末期 77~74 Ma 期间, 对应于第 1 幕充注; 第 2 期发生在明水组末期 67~65 Ma 期间, 对应第 2 幕、第 3 幕和第 4 幕充注。三肇凹陷扶余油层第 2 期(明水组末期)致密油充注对现今油藏贡献率为 83%, 第 1 期(嫩江组末期)致密油充注贡献率为 17%; 可见明水组末期充注的原油对现今油藏的贡献更大。

关键词: 流体包裹体; 致密油气; 充注期次; 成藏贡献; 扶余油层; 三肇凹陷

doi:10.13278/j.cnki.jjuese.20230346

中图分类号: P618.13; TE112.1

文献标志码: A

Tight Oil and Gas Charging Period and Its Accumulation Contribution of Fuyu Oil Layer in Sanzhao Sag, Songliao Basin

Si Shanghua^{1,2}, Yu Yi³, Wang Xiaolong³, Wang Xinxing⁴, Zhao Yutao⁵, Wu Weitao^{1,2}

- School of Earth Sciences and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China
- Shaanxi Key Laboratory of Petroleum Accumulation Geology, Xi'an 710065, China
- No. 4 Oil Production Plant of Changqing Oilfield Company, PetroChina, Jingbian 718500, Shaanxi, China
- No. 5 Oil Production Plant of Changqing Oilfield Company, PetroChina, Dingbian 718600, Shaanxi, China
- Exploration and Development Research Institute of Jilin Oilfield Co., Ltd., Songyuan 138000, Jilin, China

Abstract: In order to clarify the tight oil and gas charging periods and their contribution to the

收稿日期: 2023-12-22

作者简介: 斯尚华(1981—), 男, 副教授, 博士, 主要从事油气成藏地质方面的研究, E-mail: sishanghua0724@qq.com

基金项目: 陕西省科技厅重点研发计划项目(2023-YBGY-077)

Supported by the Key R&D Program Project of Shaanxi Provincial Department of Science and Technology (2023-YBGY-077)

formation of the Cretaceous Fuyu oil layer in the Sanzhao sag of the Songliao basin, a comprehensive study was conducted on the micro-oil inclusions and their associated aqueous inclusions in the Fuyu oil layer using methods such as thin section identification, inclusion temperature measurement, and fluorescence spectroscopy. The charging periods and accumulation contribution of oil and gas in this area were discussed in combination with reservoir burial history. The results show that the oil and gas in Fuyu oil layer of Sanzhao sag have the characteristics of multi-stage charging and accumulation, which is generally characterized by two stages of crude oil charging and accumulation. The first stage occurred in the period of 77–74 Ma at the end of Nenjiang Formation, corresponding to the first stage of charging. The second episode occurred during 67–65 Ma at the end of the Mingshui Formation, corresponding to the second, third and fourth episodes. The tight oil filling in the second stage (the end of Mingshui Formation) of Fuyu oil layer in Sanzhao sag contributes to the current reservoir, with a contribution rate of 83%, and the contribution rate of the first stage (the end of Nenjiang Formation) of tight oil filling is 17%. After comparing the contribution of oil filling in the two periods, it is considered that the crude oil filled in the late Mingshui period contributes greatly to the present reservoir.

Key words: fluid inclusions; tight oil and gas; charging periods; accumulation contribution; Fuyu oil layer; Sanzhao sag

0 引言

松辽盆地经历过多期构造运动,形成了现今多旋回的盆地。三肇凹陷位于松辽盆地北部,面积达 6 500 km²,呈现“两隆三凹”的构造特征,分别为模范屯鼻状构造、升平鼻状构造、徐家围子向斜、升西向斜和永乐向斜^[1]。以徐家围子向斜为中心,在近 NNW、NW 向断裂带的切割下,形成一系列复杂的斜坡、地垒、地堑、鼻状构造相间的构造格局,在古基岩突起之上形成的同沉积披覆构造,如宋芳屯、尚家鼻状构造等。三肇凹陷发育中、新生代沉积盖层,自下而上依次为中侏罗统白城组,上侏罗统火石岭组,下白垩统沙河子组、营城组、登娄库组和泉头组,上白垩统青山口组、姚家组、嫩江组、四方台组和明水组,古近系的依安组,新近系大安组和泰康组及第四系。其中泉头组扶余油层为大型河流-三角洲沉积环境形成,扶余油层上覆青山口组一段(青一段)为暗色泥岩、油页岩,发育较好的烃源岩,扶余油层具有烃源岩条件好、储集体类型多样、单一砂体规模小、连续性差、物性差、孔喉结构复杂、源储匹配关系好等特点。前人^[2-5]研究表明,三肇凹陷青一段发育良好的烃源岩,使得成熟油短距离运移到下伏泉头组扶余储层,在扶余油层聚集成藏;三肇凹陷青一段烃源岩发生多次排烃,造成了一期多幕或多期多幕油气向下倒灌进入扶余致密储层。为了确定三肇凹陷扶余油层油气充注特征及其成藏贡献,本次研究利用 60 块流体包

裹体样品分析,获得大量微观油气充注成藏信息,进而开展油气成藏期次及其成藏贡献分析。

1 实验样品及方法

本次研究样品取自三肇凹陷泉头组扶余油层,选取研究区 19 口井的 60 个岩心样品进行实验(图 1),取样深度为 1 722.00~2 012.58 m,样品岩石类型均为粉砂岩及细砂岩。本次样品选自含油砂岩或物性较好砂岩,对油气成藏研究具有代表性。

样品测试工作在西安石油大学地质测试分析中心完成,测试仪器为 Nikon E400 双通道荧光显微镜,配备 Lucia 微束($\geq 2 \mu\text{m}$)荧光光谱分析仪,包裹体显微测温仪器为英国产 Linkam THMS 600G 冷热台,测定误差为 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。冷热台测温初始升温速率为 $5^\circ\text{C}/\text{min}$,当包裹体两相临近均一相时升温速率降为 $2^\circ\text{C}/\text{min}$ 。

测试内容及方法: 1)在荧光/透射光显微镜下开展成岩矿物和裂纹序次判断以及捕获烃类包裹体及其同期盐水包裹体宿主矿物序次等关系研究; 2)在荧光显微镜下观察各个期次烃类包裹体(包括沥青)荧光颜色,初步判别油气充注期次; 3)在荧光显微镜下进行单个烃类包裹体荧光光谱测试,进而获得各个期次油包裹体成熟度信息,用于充注期次和成藏贡献定量分析; 4)在 Linkam/HMS 600G 冷热台下测定气液两相烃类包裹体和盐水包裹体均一温度,并进行油气充注幕次划分; 5)单井精细埋藏史恢复

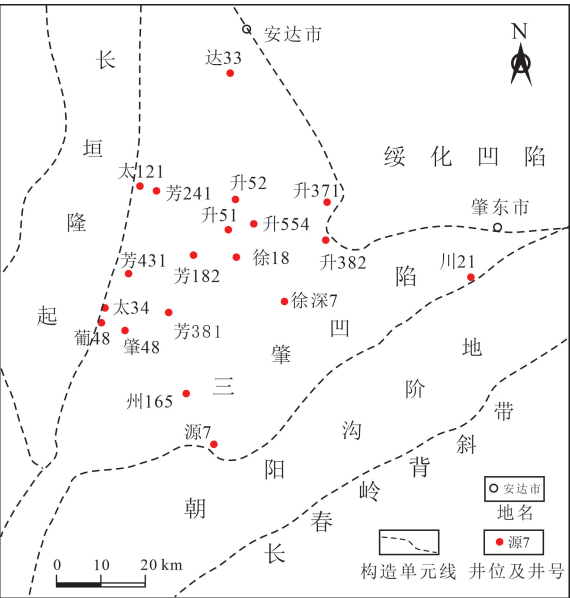


图1 三肇凹陷构造位置及流体包裹体采样井分布

Fig.1 Structural location and sampling well distribution of fluid inclusion in Sanzhao sag

与烃类包裹体同幕次盐水均一温度投影,获得各个充注幕次的充注年龄;6)将各个充注年龄统一投影到同一时间轴上,以消除样品深度差异的影响,进行油气成藏时期确定;7)综合考虑荧光分析、显微测温 and 凹陷构造演化特征,划分油气成藏期次,确定主成藏期;8)在获得各个期次烃类包裹体组分、密度等参数前提下,开展各个期次油气成藏贡献计算。

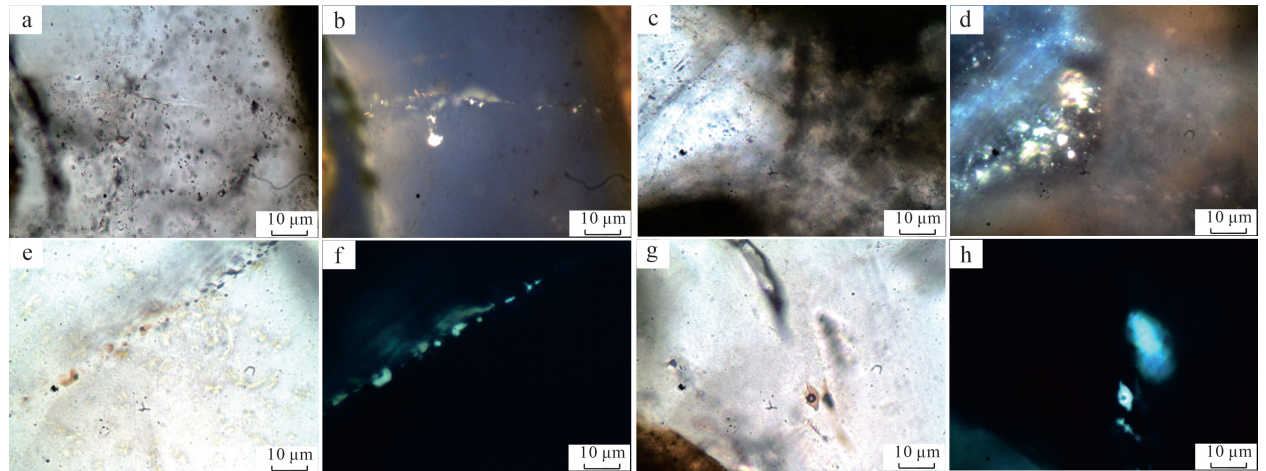
2 致密油气充注期次及其成藏贡献

2.1 流体包裹体类型及均一温度

烃类包裹体被广泛用于研究油气成藏特征,根据油包裹体伴生的盐水包裹体均一温度,结合埋藏史,确定油气成藏时间^[6-11];根据油包裹体荧光参数,确定油气充注方向等^[11-13]。这些方法是目前应用比较多的研究油气形成过程的方法。

本文对三肇凹陷60块扶余油层流体包裹体样品进行了分析,结果表明扶余油层样品中油包裹体非常发育,未见天然气包裹体,可能预示扶余油层未经历天然气充注。油包裹体产状主要有两种类型,第一类型发育在石英颗粒裂纹中,第二类型发育在方解石胶结物中。油包裹体形状多数呈椭圆形、长条形、不规则形等,大小主要在3~15 μm 范围之间,在荧光照射下呈黄色、黄绿色、蓝绿色、蓝白色4种荧光颜色(图2)。油包裹体呈现出不同荧光颜色,反映出扶余油层原油成分及热演化程度差别大,可能存在多期不同成熟度原油充注历史。

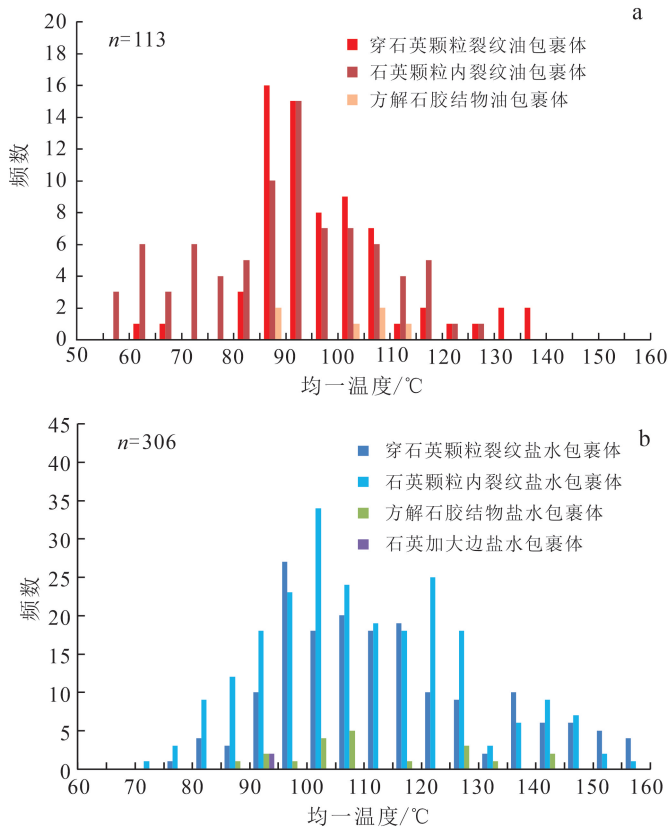
流体包裹体样品均一温度数据为:早期油包裹体均一温度为51.2~71.8℃,中期油包裹体均一温度为73.1~99.6℃,中晚期油包裹体均一温度为100.1~110.8℃,晚期油包裹体均一温度为112.3~135.4℃,其伴生的盐水包裹体均一温度分别为73.8~99.8℃、100.1~119.7℃、120.1~130.8℃、131.3~158.9℃(图3)。通过包裹体均一温度数据



a、b. 石英内裂纹中检测到少量发黄荧光油包裹体,芳182井,层位 K_1q^4 ,1 952.68 m,油迹砂岩;c、d. 石英内裂纹中检测到大量发黄绿色荧光油包裹体,升554井,层位 K_1q^4 ,2 012.58 m,粉砂岩;e、f. 穿石英颗粒裂纹中见少量发蓝绿色荧光油包裹体,州165井, K_1q^4 ,1 839.69 m,粉砂岩;g、h. 石英内裂纹中检测到少量发蓝白色荧光油包裹体,肇48井,层位 K_1q^4 ,1 941.46 m,粉砂岩。 K_1q^4 . 泉头组四段。

图2 三肇凹陷扶余油层4种荧光颜色油包裹体特征

Fig.2 Characteristics of four kinds of fluorescent color oil inclusions in Fuyu oil layer of Sanzhao sag



a. 不同产状油包裹体均一温度直方图;b. 不同产状盐水包裹体均一温度直方图。

图 3 三肇凹陷扶余油层流体包裹体均一温度直方图

Fig.3 Histogram of homogenization temperature of fluid inclusions in Fuyu oil layer of Sanzhao sag

认为三肇凹陷扶余油层主要存在 4 幕油气充注及其伴生的 4 幕盐水充注。

2.2 油包裹体荧光参数及油气充注期次

油包裹体荧光光谱参数是评价油包裹体成熟度和油气充注期次的有效方法之一,其光谱参数主峰波长(λ_{max})、红绿熵(Q)和 Q_{F535} ($Q_{F535} = S_A/S_B$, 其中 S_A 为波长 720 nm 和 535 nm 所围限的面积, S_B 为波长 535 nm 和 420 nm 所围限的面积)越大,说明包裹体中原油的成熟度越低;反之则包裹体中的原油成熟度越高^[14-16]。为了确定扶余油层油气充注幕次和油气成熟度,本文对扶余油层中单个油包裹体进行了荧光光谱分析,认为扶余油层至少存在 4 幕油气充注,这 4 幕油气主峰波长分别为 441~457、491~516、522~549、575~585 nm(图 4),并总结了三肇凹陷扶余油层油包裹体荧光光谱参数特征,见表 1。

扶余油层油包裹体荧光光谱的 λ_{max} 与 Q_{F535} 相关关系表现出 4 种类型,分别为:发黄绿色荧光油包裹

体, Q_{F535} 值介于 1.95~2.88 之间, λ_{max} 介于 573.7~

599.3 nm 之间;发黄绿色荧光油包裹体, Q_{F535} 值介

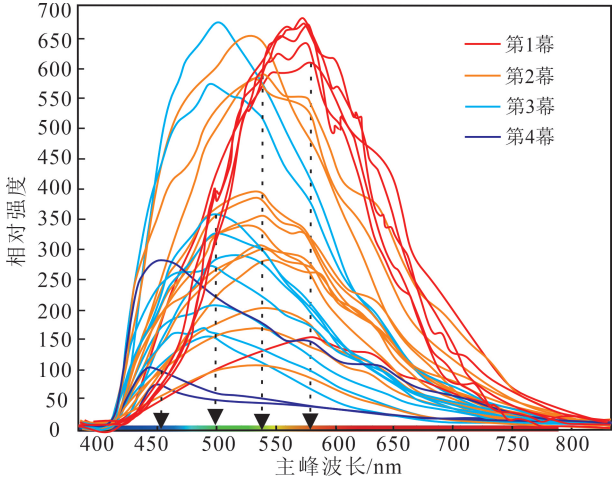


图 4 三肇凹陷扶余油层单个油包裹体典型光谱图

Fig.4 Typical spectra of single oil inclusion in Fuyu oil layer of Sanzhao sag

表 1 三肇凹陷扶余油层单个油包裹体显微荧光光谱参数

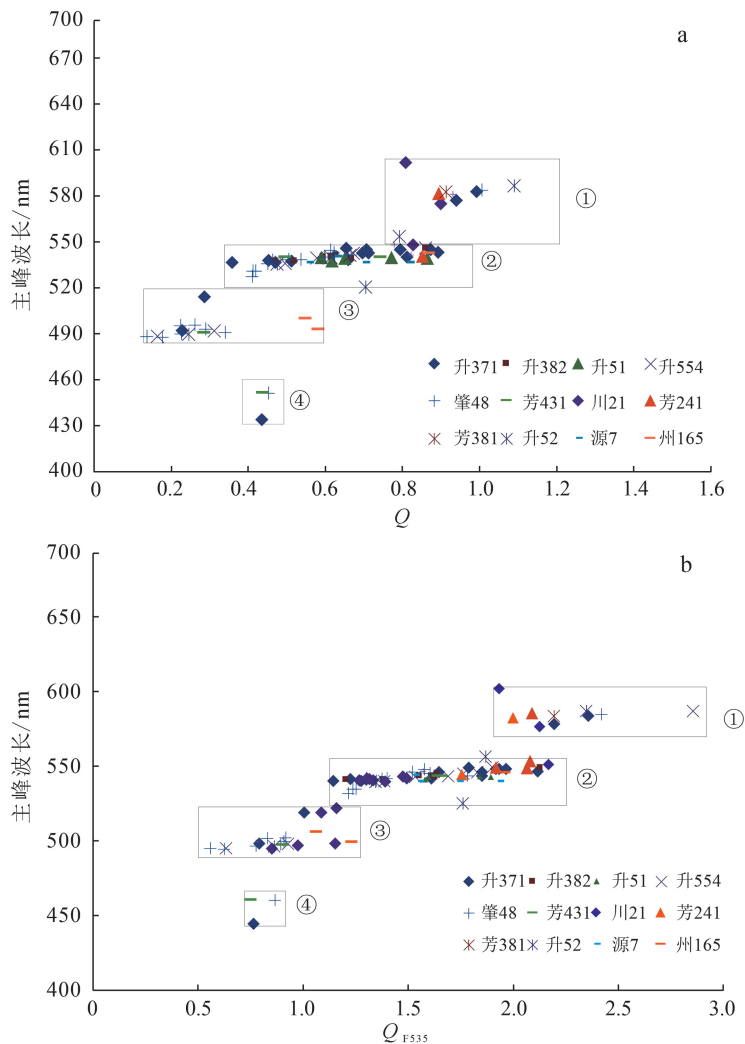
Table 1 Microscopic fluorescence spectral parameters of single oil inclusion in Fuyu oil layer of Sanzhao sag

井名	深度/m	Q_{F535}	Q	$\lambda_{\max}/\text{nm}$
升 371	1 754.50	0.77~2.38	0.23~0.96	440.56~581.36
升 382	1 705.08	1.21~2.15	0.46~0.83	538.19~546.30
升 51	1 935.22	1.50~1.91	0.57~0.83	538.19~540.44
升 554	2 012.58	0.64~2.88	0.17~1.24	491.58~584.50
太 121	1 695.52	1.58~2.58	0.59~1.14	540.89~584.05
太 34	1 903.20	0.89~2.30	0.29~0.96	493.39~581.36
肇 48	1 935.07	0.56~2.44	0.15~0.97	456.54~582.26
芳 182	1 952.68	1.84~2.39	0.69~1.02	542.25~583.60
芳 431	1 763.06	0.75~1.67	0.29~0.72	457.00~540.89

于 1.15~2.22 之间, $\lambda_{\max}$ 介于 521.9~553.5 nm 之间;发蓝绿色荧光油包裹体, Q_{F535} 值介于 0.56~1.24 之间, $\lambda_{\max}$ 介于 491.1~516.1 nm 之间;发蓝白色荧光油包裹体, Q_{F535} 值介于 0.75~0.87 之间, $\lambda_{\max}$ 介于 440.6~457.0 nm 之间(图 5)。

图 5b 中,从区域①→区域②→区域③→区域④,油包裹体 Q_{F535} 值逐渐降低,反映了油包裹体所捕获油的成熟度逐渐变高。区域①和区域②低成熟度油其成分信息的参数 Q_{F535} 值分布范围广,反映出低成熟油里大小分子成分混杂,而演化到较高成熟度③区域和④区域后,其成分趋于均匀化的小分子。

综合不同荧光色油包裹体的微束荧光光谱参数 $\lambda_{\max}$ 、 Q_{F535} 特征,表明芳182井扶余油层至少存在2



a. $\lambda_{\max}$ - Q 关系图; b. $\lambda_{\max}$ - Q_{F535} 关系图。

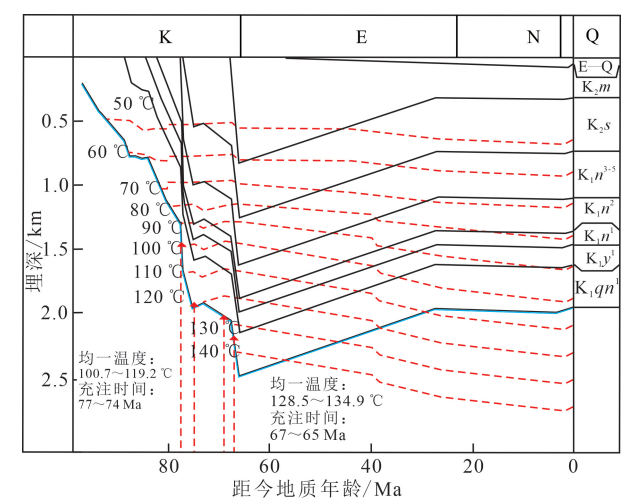
图 5 三肇凹陷扶余油层油包裹体荧光光谱参数相关关系图

Fig.5 Relationship diagram of fluorescence spectral parameters of oil inclusions in Fuyu oil layer of Sanzhao sag

幕油充注;升 554 井扶余油层至少存在 3 幕油气充注;肇 48 井、升 371 井在扶余油层至少存在 4 幕油充注。所以,该凹陷扶余油层至少存在 4 幕不同成熟度油气充注。

2.3 油气成藏时期及充注特征

根据同时期与油包裹体伴生的盐水包裹体均一温度,结合埋藏史投影方法,可以确定各幕次油气充注年龄^[17-25]。为此,本文运用该方法对三肇凹陷扶余油层与各期次油包裹体同期的盐水均一温度在芳 241 井埋藏史图上^[26-27]投影(图 6),获得了扶余油层油气充注年龄。



E—Q. 古近系、新近系、第四系;K₂m. 明水组;K₂s. 四方台组;K₁n³⁻⁵. 嫩江组三、四、五段;K₁n². 嫩江组二段;K₁n¹. 嫩江组一段;K₁y¹. 姚家组一段;K₁qn¹. 青山组一段。

图 6 三肇凹陷芳 241 井扶余油层油气充注年龄确定
Fig.6 Determination of oil and gas charging age in Fuyu oil layer of Well Fang 241 in Sanzhao sag

根据油包裹体荧光颜色、光谱参数、均一温度,结合储层埋藏史图投影结果,认为三肇凹陷扶余油层存在两期油气成藏,第 1 期发生在嫩江组末期 77~74 Ma,对应于第 1 幕充注;第 2 期发生在明水组末期 67~65 Ma,对应第 2 幕、第 3 幕和第 4 幕充注(表 2)。

油气包裹体信息表明,三肇凹陷扶余油层油气平面充注差异性十分显著,充注强度具有东西部弱中部强的特征(图 7)。油气充注范围从凹陷南部至朝阳沟阶地,西至长垣隆起。但是,长垣隆起杏 71 等钻井样品中检测到 1 期油气充注,与凹陷中心相比,不仅检测概率低得多,期次也少得多;与现今长

垣隆起已发现油气藏相比,也是如此^[2]。这说明芳 431 等邻近长垣隆起钻井并不具备多期次充注且成藏的条件,而三肇凹陷大量油气充注成藏的地方为凹陷中心到斜坡区(升 52、升 371 井和肇 48 井区)。

2.4 各充注幕次成藏贡献初步评价

根据前文对三肇凹陷油包裹体显微荧光光谱系统检测,获得油包裹体成熟度参数 Q_{F535} 的统计频率分布特征(图 8),可分为 4 幕。其中:第 1 幕油发黄色荧光,Q_{F535} 为 2.4~4.0;第 2 幕油发黄绿色荧光,Q_{F535} 为 1.6~2.4;第 3 幕油发蓝绿色荧光,Q_{F535} 为 1.0~1.6;第 4 幕油发蓝白色荧光,Q_{F535} 为 0~1.0。从检测概率上来看,第 2 幕油、第 3 幕油和第 4 幕油充注为 3 个主要的油气充注幕次,即对应于明水组末期的油气充注幕次。

另外,可以通过建立原油密度(ρ)与其 Q_{F535} 的函数关系(ρ=0.7748e^{0.0936(Q_{F535})}),来确定油包裹体密度(图 9),密度分布结果见表 3。

油气成藏的过程具有幕式性,相应的每一幕油包裹体密度频率分布应该遵从“原油从早期充注强度小、密度大→充注高峰时充注强度最大、密度减小→充注晚期充注强度再次减小、密度减小”的一个正态分布规律(图 10a)。理论上,成藏史中有多少幕原油充注,对应原油密度分布就该存在几个正态分布。图 10b 为理想的 2 幕原油充注的油包裹体密度频率直方图,由图 10b 还可见不同成熟度原油的成藏贡献度及成藏后的次生改造作用。如果油藏流体密度位于区域Ⅱ内,表明现今油藏为 2 幕原油充注共同贡献的结果。如果油藏流体密度较靠近第 1 幕原油峰值密度,表明第 1 幕原油对现今油藏贡献度较大;反之则表明第 2 幕原油对现今油藏贡献度较大。图 10b 中Ⅱ区域的百分比数值即表示对应油藏原油密度时第 1、2 幕油充注对现今油藏的贡献度大小。对于 2 幕油充注,任意一幕油充注的成藏贡献度数值可以通过以下公式计算:

$$C(M)=\frac{\rho^R-\rho^M}{\rho^N-\rho^M}\times 100\%。(1)$$

式中: C(M) 为 M 幕油充注的成藏贡献度; ρ^R 为油藏油密度; ρ^M 为 M 幕油充注的峰值范围内平均密度; ρ^N 为 N 幕油充注的峰值范围内平均密度,g/cm³。

对于 3 幕或更多幕次的油充注,可以通过密度

表 2 三肇凹陷扶余油层油包裹体特征及成藏时期

Table 2 Oil inclusion characteristics and accumulation period of Fuyu oil layer in Sanzhao sag

形成时期	充注幕次	光谱参数	荧光颜色	包裹体宿主矿物	包裹体均一温度/℃	成藏阶段
晚期	第 4 幕	Q_{F535} 值 0.75~0.87, λ_{max} 值 440.6~457.0 nm	蓝白	石英颗粒 裂纹	131.3~158.9(同期盐水) 112.3~135.4(油)	
	第 3 幕	Q_{F535} 值 0.56~1.24, λ_{max} 值 491.1~516.1 nm	蓝绿	方解石胶 结物、石英 颗粒裂纹	120.1~130.8(同期盐水) 100.1~110.8(油)	明水组末期 (67~65 Ma)
	第 2 幕	Q_{F535} 值 1.15~2.22, λ_{max} 值 521.9~553.5 nm	黄绿	方解石胶 结物、石英 颗粒裂纹	100.1~119.7(同期盐水) 73.1~99.6(油)	
早期	第 1 幕	Q_{F535} 值 1.95~2.88, λ_{max} 值 573.7~599.3 nm	黄	石英颗粒 裂纹	73.8~99.8(同期盐水) 51.2~71.8(油)	嫩江组末期 (77~74 Ma)

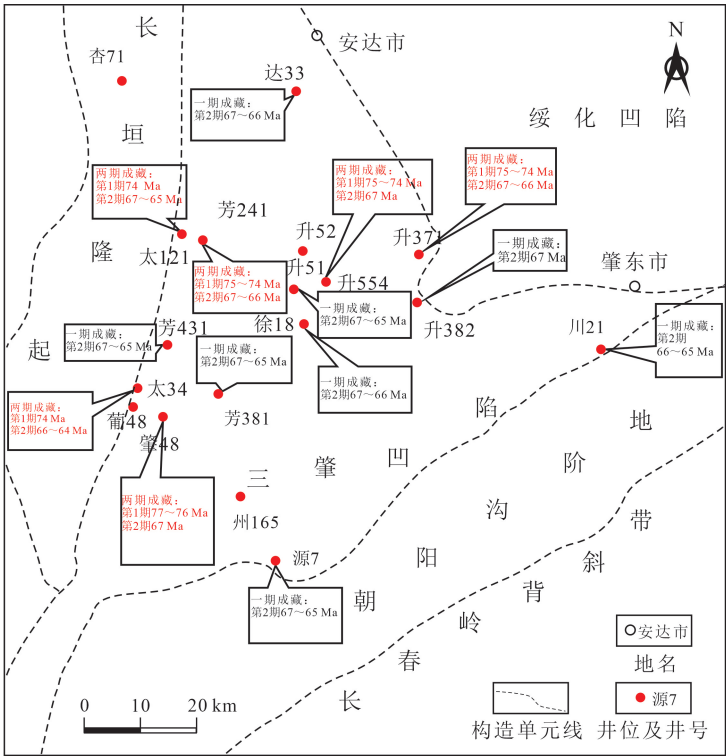


图 7 三肇凹陷扶余油层油气成藏期平面分布

Fig.7 Plane distribution of oil and gas accumulation period in Fuyu oil layer of Sanzhao sag

频率分布图确定其中最主要的 2 幕油充注(假设其他的幕次对成藏没有贡献),进而根据公式(1)可进行计算各幕次的成藏贡献度。

利用油包裹体密度频率分布直方图可以指示原油成藏后可能发生的次生改造过程。例如,当油藏流体密度大于第 1 幕充注原油峰值密度,即位于图 10b 中区域Ⅲ,表明原油成藏后很可能经历了生物降解或者水洗作用;同样当油藏流体密度小于第 2

幕充注原油峰值密度,即位于图 10b 中区域 I,这表明原油可能经历了天然气入侵,或者储层中的原油可能在形成后再次裂解。因此,油包裹体的密度频

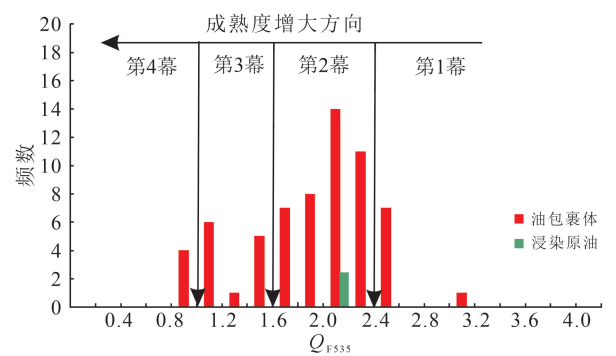


图 8 三肇凹陷油包裹体和浸染原油成熟度 (Q_{F535}) 频率分布直方图

Fig.8 Frequency distribution histogram of oil inclusions and disseminated crude oil maturity (Q_{F535}) in Sanzhao sag

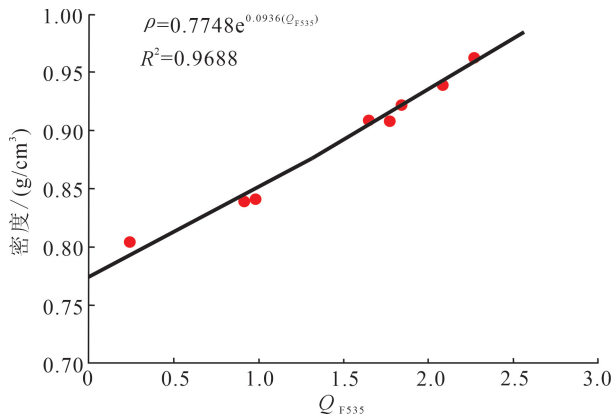


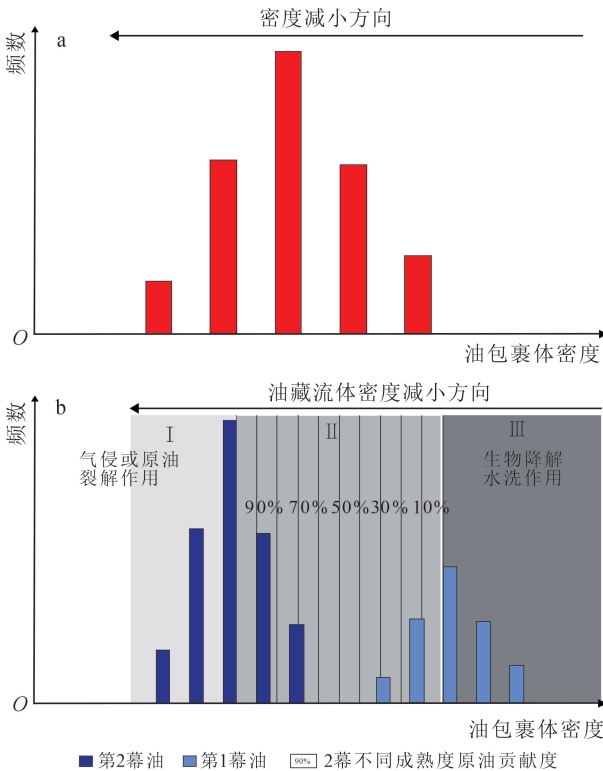
图 9 三肇凹陷原油密度与 Q_{F535} 关系图

Fig.9 Relationship between crude oil density and Q_{F535} in Sanzhao sag

表 3 不同幕次包裹体油成熟度 (Q_{F535}) 和密度分布表

Table 3 Oil maturity (Q_{F535}) and density distribution of inclusions in different episodes

幕次	Q_{F535}		密度/(g/cm^3)	
	最小值	最大值	最小值	最大值
第 1 幕	2.4	4.0	0.968	1.127
第 2 幕	1.6	2.4	0.873	0.968
第 3 幕	1.0	1.6	0.804	0.873
第 4 幕	0.0	1.0	0.774	0.804



a. 单幕原油充注密度频率直方图; b. 2 幕原油充注密度频率直方图。I、II、III 3 个不同区域代表成藏后油藏流体的密度可能范围。

图 10 原油充注成藏贡献度理想模式

Fig.10 Ideal model of contribution degree of crude oil charging accumulation

率分布不仅可以指示油气随时间的推移是连续充注还是间歇性充注,而且可以根据油藏当前的流体密度来识别在当前油气聚集区中哪一时期的油充注起了主要作用。此外,它还可能表明油气在成藏后的次生变化。图 11 为三肇凹陷扶余油层油藏原油密度和不同幕次包裹体原油密度对比图。从图 11 可以看出,三肇凹陷扶余油层油藏原油密度小于第 1 幕充注的包裹体油密度,基本与第 2 幕充注的包裹体油密度相近;表明这些井油藏油可能是第 2 幕充注的原油贡献成藏的,第 1、3、4 幕充注原油贡献可能不及第 2 幕。

从原油充注时成熟度和包裹体油密度两方面来看,第 2 期(第 2、3、4 幕)原油充注,即明水组末期原油充注对现今油藏贡献率为 83%,而第 1 期(第 1 幕)原油充注,即嫩江组末期充注原油对现今油藏的贡献率为 17%;可知明水组末期充注的原油对现今油藏的贡献更大。

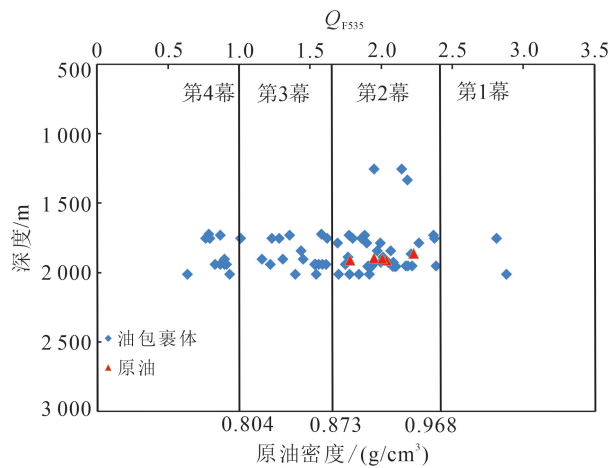


图 11 三肇凹陷扶余油层各幕次油包裹体密度和成熟度分布

Fig.11 Distribution of oil inclusion density and maturity in each episode of Fuyu oil layer in Sanzhao sag

3 结论

1)根据油包裹体荧光颜色分析,认为三肇凹陷扶余油层存在 4 种类型的油包裹体,分别为黄色荧光、黄绿色荧光、蓝绿色荧光、蓝白色荧光油包裹体,为不同成熟度原油充注形成。

2)油气充注历史的流体包裹体系统分析表明,三肇凹陷扶余油层具有多期充注成藏特征,总体上表现为两期原油充注成藏,第 1 期发生在嫩江组末期 77~74 Ma 期间,对应于第 1 幕充注;第 2 期发生在明水组末期 67~65 Ma 期间,对应第 2 幕、第 3 幕和第 4 幕充注。

3)从原油充注时成熟度和包裹体油密度来看,三肇凹陷扶余油层第 2 期(明水组末期)原油充注对现今油藏贡献率为 83%,第 1 期(嫩江组末期)原油充注贡献率为 17%;可知明水组末期充注的原油对现今油藏的贡献更大。

参考文献(References):

[1] 蒙启安,白雪峰,梁江平,等.松辽盆地北部扶余油层致密油特征及勘探对策[J].大庆石油地质与开发,2014,33(5):23-29.

Meng Qi'an, Bai Xuefeng, Liang Jiangping, et al. Fuyu Tight Oil Characteristics and Exploration Countermeasures in North Songliao Basin [J]. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing,2014,33(5):23-29.

[2] 王雅春,王胜男.源岩、超压和断裂空间匹配对三肇凹陷扶余油层油成藏的控制作用[J].吉林大学学报(地球科学版),2009,39(4):656-661.

Wang Yachun, Wang Shengnan. Controlling of the Match of Source Rock, Overpressure and Fault on Oil Accumulation of Fu-Yang Oil Layer in Sanzhao Sag [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition),2009,39(4):656-661.

[3] 王婷婷,孙振轩,戴金龙,等.松辽盆地中央坳陷区储层岩性智能识别方法[J].吉林大学学报(地球科学版),2023,53(5):1611-1622.

Wang Tingting, Sun Zhenxuan, Dai Jinlong, et al. Intelligent Identification Method of Reservoir Lithology in Central Sag of Songliao Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition),2023,53(5):1611-1622.

[4] 孙月成,周锡明,刘洋,等.松辽盆地深部上古生界物性特征与典型区勘探实践[J].吉林大学学报(地球科学版),2022,52(6):1747-1761.

Sun Yuecheng, Zhou Ximing, Liu Yang, et al. Petrophysical Characteristics and Exploration Practice on the Deep Strata of Upper Paleozoic in Songliao Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition),2022,52(6):1747-1761.

[5] 白斌,戴朝成,侯秀林,等.松辽盆地白垩系青山口组页岩层系非均质地质特征与页岩油甜点评价[J].石油与天然气地质,2023,44(4):846-856.

Bai Bin, Dai Chaocheng, Hou Xiulin, et al. Geological Heterogeneity of Shale Sequence and Evaluation of Shale Oil Sweet Spots in the Qingshankou Formation, Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology,2023,44(4):846-856.

[6] 王鸿军,张海宁.古龙南凹陷葡萄花油层储集空间及主控因素[J].西南石油大学学报(自然科学版),2017,39(5):10-18.

Wang Hongjun, Zhang Haining. Storage Volume and Control Factors of the Putaohua Reservoir in the South Gulong Sag [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition),2017,39(5):10-18.

[7] 付广,王有功.三肇凹陷青山口组源岩生成排出的油气向下“倒灌”运移层位及其研究意义[J].沉积学报,2008,26(2):355-360.

Fu Guang, Wang Yougong. Migration Horizons Downward of Oil from K₁qn Source Rock of F, Y Oil Layer in Sanzhao Depression and Its Significance[J]. Acta Sedimentologica Sinica,2008,26(2):355-360.

- [8] 斯尚华,赵靖舟,蒙启安,等.三肇凹陷扶余油层方解石胶结物特征及其对储层致密化的影响[J].油气地质与采收率,2018,25(2):58-63.
Si Shanghua, Zhao Jingzhou, Meng Qi'an, et al. Formation Characteristics of Calcite Cement and Its Influence on Reservoir Densification in Sanzhao Sag Fuyu Reservoir[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2018, 25(2): 58-63.
- [9] 张革,杨庆杰,戴国威,等.大庆长垣扶余油层成藏特征及勘探潜力[J].大庆石油地质与开发,2014,33(5):44-49.
Zhang Ge, Yang Qingjie, Dai Guowei, et al. Accumulation Characteristics and Exploration Potential for Fuyu Oil Layers in Daqing Placanticline [J]. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, 2014, 33(5): 44-49.
- [10] 梁江平,李晶,赵波,等.扶余油层油气输导体系对油气分布的控制作用[J].大庆石油地质与开发,2014,33(5):50-55.
Liang Jiangping, Li Jing, Zhao Bo, et al. Oil and Gas Transportation System and Their Control Actions on the Petroleum Distribution of Fuyu Oil Layers[J]. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, 2014, 33(5): 50-55.
- [11] 白云凤,冯志强,程日辉,等.大庆长垣扶余油层沉积层序构成及填充响应[J].吉林大学学报(地球科学版),2012,42(2):312-319.
Bai Yunfeng, Feng Zhiqiang, Cheng Rihui, et al. Depositional Sequence and Filling Response of Fuyu Oil Layer in Daqing Placanticline[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2012, 42(2): 312-319.
- [12] 王成,宋桂霞,刘振文.松辽盆地北部自生矿物包裹体研究及应用[J].大庆石油地质与开发,1994,13(4):19-22.
Wang Cheng, Song Guixia, Liu Zhenwen. Enclosure of Authigenic Mineral from Northern Part of Songliao Basin and Its Application[J]. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, 1994, 13(4): 19-22.
- [13] 宋土顺,马锋,刘立,等.大庆长垣扶余油层砂岩中方解石胶结物的碳、氧同位素特征及其成因[J].石油与天然气地质,2015,36(2):174-181.
Song Tushun, Ma Feng, Liu Li, et al. Features and Genesis of Carbon-Oxygen Isotopes in Calcite Cement from Sandstone in Oil-Bearing Fuyu Layer of Daqing Placanticline[J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(2): 174-181.
- [14] 林红梅,程付启,王永诗,等.渤海湾盆地渤南洼陷沙四段油气多期充注的流体包裹体证据[J].石油与天然气地质,2017,38(4):209-217.
Lin Hongmei, Cheng Fuqi, Wang Yongshi, et al. Fluid Inclusion Evidence for Multi-Period Oil Charge in Shahejie Member 4, Bonan Subsag, Bohai Bay Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2017, 38(4): 209-217.
- [15] 席斌斌,腾格尔,俞凌杰,等.川东南页岩气储层脉体中包裹体古压力特征及其地质意义[J].石油实验地质,2016,38(4):474-479.
Xi Binbin, Teng Ge'er, Yu Lingjie, et al. Trapping Pressure of Fluid Inclusions and Its Significance in Shale Gas Reservoirs, Southeastern Sichuan Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(4): 474-479.
- [16] 张学军.致密储层油包裹体荧光光谱分析方法及其应用[J].大庆石油地质与开发,2016,35(3):49-53.
Zhang Xuejun. Fluorescence Spectra Analyzing Method and Its Application in the Oil Inclusions of the Tight Reservoirs[J]. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing, 2016, 35(3): 49-53.
- [17] 陈建平,查明,周瑶琪.有机包裹体在油气运移研究中的应用综述[J].地质科技情报,2000,19(1):61-64.
Chen Jianping, Zha Ming, Zhou Yaoqi. Application of Organic Inclusion in Oil-Gas Migration[J]. Geological Science and Technology Information, 2000, 19(1): 61-64.
- [18] 郑有业,李晓菊,马丽娟,等.有机包裹体在生油盆地研究中的应用[J].地学前缘,1998,5(1/2):325-330.
Zheng Youye, Li Xiaojue, Ma Lijuan, et al. Application Status of Organic Inclusion in the Research on Oil Generating Basin Earth[J]. Science Frontiers, 1998, 5(1/2): 325-330.
- [19] Hagemann H W, Hollerbach A. The Fluorescence Behavior of Crude Oils with Respect to Their Thermal Maturation and Degradation [J]. Organic Geochemistry, 1986, 10: 473-480.
- [20] Goldstein R H, Regnolds T J. Systematics of Fluid Inclusions in Diagenetic Mineral [J]. Society for Sedimentary Geology Short Course, 1994, 310: 69-85.
- [21] 刘润川,任战利,马侃,等.鄂尔多斯盆地南部延长组油气成藏期次研究[J].现代地质,2019,33(6):1263-1274.
Liu Runchuan, Ren Zhanli, Ma Kan, et al. Classification of Hydrocarbon Accumulation Phases of Yanchang Formation in Southern Ordos Basin[J].

Geoscience, 2019, 33(6): 1263 - 1274.

[22] 孙守亮, 陈树旺, 李永飞, 等. 辽西金羊盆地羊 D1 井油气充注成藏特征: 来自流体包裹体显微荧光光谱的证据[J]. 地球化学, 2020, 49(1): 84 - 94.

Sun Shouliang, Chen Shuwang, Li Yongfei, et al. Hydrocarbon Charging Characteristics of YD1 Well in Jinyang Basin, Western Liaoning Province: Evidences from Microscopic Fluorescence Spectroscopy Study in Fluid Inclusions[J]. Geochimica, 2020, 49(1): 84 - 94.

[23] 蒋有录, 刘学嘉, 赵贤正, 等. 根据储层沥青和流体包裹体综合判识油气成藏期: 以黄骅坳陷北大港古生界潜山为例[J]. 地球科学, 2020, 45(3): 980 - 988.

Jiang Youlu, Liu Xuejia, Zhao Xianzheng, et al. Comprehensive Identification of Oil and Gas Accumulation Period by Fluid Inclusion Technique and Reservoir Bitumen Characteristics: A Case Study of the Paleozoic Buried Hill in Beidagang, Huanghua Sag[J]. Earth Science, 2020, 45(3): 980 - 988.

[24] 田孝茹, 张元元, 卓勤功, 等. 准噶尔盆地玛湖凹陷下二叠统风城组致密油充注特征: 碱性矿物中的流体包裹体证据[J]. 石油学报, 2019, 40(6): 646 - 659.

Tian Xiaoru, Zhang Yuanyuan, Zhou Qingong, et al. Tight Oil Charging Characteristics of the Lower Permian Fengcheng Formation in Mahu Sag, Junggar Basin: Evidence from Fluid Inclusions in Alkaline Minerals[J]. Acta Petrologica Sinica, 2019, 40(6): 646 - 659.

[25] 方向, 郝翠果, 刘俊田, 等. 新疆三塘湖盆地芦草沟组混积岩型致密油形成条件与富集因素[J]. 地质通报, 2023, 42(2/3): 397 - 410.

Fang Xiang, Hao Cuiguo, Liu Juntian, et al. Geological Conditions and Enrichment Factors of the Lucaogou Formation Diamicritic Tight Oil in Santanghu Basin, Xinjiang[J]. Geological Bulletin of China, 2023, 42(2/3): 397 - 410.

[26] 韩其言. 大庆三肇凹陷扶余油层致密油储层成岩-成藏耦合关系研究[D]. 西安: 西安石油大学, 2017.

Han Qiyang. Reservoir Diagenetic-Oil Accumulation Coupling Relationship Research of Fuyu in Sanzhao Sag Songliao Basin [D]. Xi'an: Xi'an Shiyou University, 2017.

[27] 汪岩, 钱程, 钟辉, 等. 松辽盆地西缘构造带构造格架、演化及油气资源潜力[J]. 地质通报, 2024, 43(7): 1073 - 1089.

Wang Yan, Qian Chen, Zhong Hui, et al. Tectonic Framework, Evolution and Potential Petroleum Resources of the Structural Belt in the Western Margin of Songliao Basin[J]. Geological Bulletin of China, 2024, 43(7): 1073 - 1089.