

# 松辽盆地齐家地区高台子致密油层包裹体 古流体压力特征及其地质意义

斯尚华<sup>1</sup>, 赵靖舟<sup>1</sup>, 蒙启安<sup>2</sup>, 曹青<sup>1</sup>, 吴伟涛<sup>1</sup>, 张宇航<sup>1</sup>

(1. 西安石油大学地球科学与工程学院, 陕西 西安 710065;

2. 大庆油田勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712)

**摘要:** 流体包裹体热动力学 (PVTx) 模拟应用包裹体组分、均一温度和气液比, 结合模拟软件可以恢复包裹体被捕获时的古流体压力, 以松辽盆地齐家地区高台子致密油层为例, 应用激光共聚焦扫描显微镜、显微荧光和显微测温等分析, 划分了油气充注幕次并恢复了各幕次流体古压力, 该应用有效区分了不同幕次流体古压力特征。研究结果表明: 齐家地区高台子油层存在两期油气充注, 第1期发生在晚白垩世嫩江晚期 (79~75 Ma), 主要充注发黄色荧光的原油, 古流体压力为 16.13~16.97 MPa; 第2期发生在晚白垩世明水期 (69~65 Ma), 主要充注发黄绿色、蓝绿色荧光颜色的原油, 古流体压力为 22.14~26.13 MPa。研究结果有助于深化勘探区油气成藏规律的认识。

**关键词:** 流体包裹体; PVTx 模拟; 古压力; 齐家地区; 高台子油层

中图分类号: TE122

文献标识码: A

## THE FLUID INCLUSION PALEO PRESSURE CHARACTERISTICS AND GEOLOGICAL IMPLICATIONS OF GAOTAIZI TIGHT RESERVOIR IN QIJIA AREA OF SONGLIAO BASIN

SI Shanghua<sup>1</sup>, ZHAO Jingzhou<sup>1</sup>, MENG Qi'an<sup>2</sup>, CAO Qing<sup>1</sup>, WU Weitao<sup>1</sup>, ZHANG Yuhang<sup>1</sup>

(1. School of Earth Sciences and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, Shannxi, China;

2. Exploration and Development Research Institute of Daqing Oilfield Company Ltd., Daqing 163712, Heilongjiang, China)

**Abstract:** PVTx thermal dynamics simulation of reservoir fluid inclusions has been applied to restore trapping pressures by inclusion component, homogenization temperature and gas liquid ratio combined with simulation software. In Gaotaizi tight reservoir in Qijia area of Songliao Basin, the hydrocarbon charging events and the paleo fluid pressure are divided by CLSM, fluorescence microscopy and microthermometry, through which characteristics of different events of paleo fluid pressure are distinguished. The results indicate two stages of hydrocarbon charging in Qijia Area. The first charging occurred in upper Cretaceous Nenjiang late stage (79~75 Ma), with yellow fluorescence color. The second charging occurred in upper Cretaceous Mingshui stage (69~65 Ma), with yellow-green and blue-green fluorescence color. The paleo fluid pressures of two stages respectively are 16.13~16.97 MPa and 22.14~26.13 MPa. All the research findings are of great help to deepen the understanding of

hydrocarbon accumulation patterns of the exploration area.

**Key words:** fluid inclusion; PVTx simulation; paleo pressure; Qijia area; Gaotaizi reservoir

松辽盆地北部勘探对象由常规油气藏逐步转向非常规油气, 近期在松辽盆地齐家地区上白垩统青山口组高台子油层组中发现了资源潜力巨大的致密油, 取得了勘探新局面<sup>[1]</sup>。松辽盆地北部地区岩心资料全面, 为深入开展高台子油层储层古流体压力研究创造了良好的条件<sup>[2]</sup>。国内外关于利用流体包裹体 PVTx 获得油气储层古压力的方法主要经历了两个阶段: 第一阶段是由 Roedder 提出的通过压碎流体包裹体直接测定包裹体内气相压力<sup>[3]</sup>, 但这种方法应用范围有限, 同时会极大的低估不饱和含气包裹体在捕获条件下的压力, Coveney 改进了压碎技术, 利用盖—吕萨克定律 ( $P_1/P_2 = T_1/T_2$ ) 直接获得包裹体在均一温度条件下的捕获压力<sup>[4]</sup>; 第二阶段是根据等容线交点法求取古压力, 如温度—盐度法、NaCl-H<sub>2</sub>O 溶液包裹体的密度式和等容式法、CO<sub>2</sub> 容度法、不混溶流体包裹体法、流体包裹体热力学模拟法等, 这些方法虽然有所差异, 但其基本原理是一样的, 即都是根据两种同时捕获的流体在 P-T 相图上的等容线必然相交于捕获点。近些年来, 随着烃类流体包裹体研究的不断发展, 利用烃类流体包裹体与盐水包裹体不混溶捕获而发展起来的烃类流体的 PVTx 热力学模拟方法已经成为重构含油气盆地古流体演化的重要方法<sup>[5]</sup>。相应的模拟软件也得到普遍应用, 如 CALSEP 公司开发的软件 VTfinc 软件、法国国家研究中心 (CNRS) 开发的 PIT 热力学模拟软件。结合地质构造资料, 将流体包裹体热力学与构造演化相结合, 揭示齐家地区高台子油层成藏期次以及各期次古流体压力; 在古压力研究基础上, 进一步分析高台子油层的成藏特征, 对于加快勘探步伐具有现实而重要的意义。

## 1 地质概况与样品采集

研究区位于松辽盆地北部中央坳陷区, 横跨齐家—古龙凹陷、龙虎泡—大安阶地和大庆长垣 3 个二级构造单元 (见图 1), 面积约 3500 km<sup>2</sup>。中央坳陷区现今构造形态为略有起伏的大型复向斜, 在漫长地质历史中长期为盆地的沉降、沉积中心。

齐家地区地层发育齐全, 中生界自下而上沉积了白垩系、古近系、新近系和第四系, 在勘探中已发现包括萨尔图、葡萄花、高台子、扶余和杨大城子 5 个含油层位。上白垩统青山口组和嫩江组两个大规模水进沉积时期, 沉积了巨厚泥岩, 这些泥岩构成了本区主要盖层和烃源岩, 也控制了上白垩统青山口组高台子油层致密油的生、储、盖成藏组合和油气分布<sup>[6-12]</sup>。

岩石样品采集于松辽盆地齐家地区 7 口井 (金 34 井、金 28 井、金 191 井、古 94 井、齐平 1 井、龙 201 井、英 X58 井), 共 40 块 (见图 1)。样品岩性主要为粉砂岩和细砂岩, 全部来自白垩系青山口组高台子油层, 采样原则是选取具有良好油气显示的储集层段。

## 2 流体包裹体分析结果

### 2.1 流体包裹体岩相学特征

将选中的岩样制成包裹体薄片, 要求薄片双面抛光, 厚度 0.05 ~ 0.3 mm 之间, 采用 Nikon 双通道荧光显微镜进行包裹体荧光观察, 配备 Linkam THMS600 冷热台进行包裹体测温, 利用美国 Ocean Optics 公司 SD2000 型光谱仪进行包裹体荧光光谱定量分析, 实验在陕西省油气成藏地质学重点实验室中完成。其中冷热台测温精度为  $\pm 0.1$  °C, 紫外光激发波长介于 330 ~ 380 nm。

首先在显微镜下对样品中包裹体进行综合观察和鉴定。其中油包裹体各井均有发育, 发育程度较为丰富, 未见天然气包裹体。原油包裹体大小分布在 3 ~ 15  $\mu\text{m}$  之间, 其形状主要为球状、椭圆状、三角状、方形及不规则状。检测到的油包裹体类型主要有以下 3 种: 单一纯液相态油包裹体、气—液两相态油包裹体和水—气—油三相态油包裹体, 其中前两种占油包裹体总数的大多数。在荧光显微镜下观察发现, 油包裹体主要有黄色、黄绿色、蓝绿色 3 种荧光颜色 (见图 2)。检测到与 3 种荧光颜色同期的盐水包裹体较多, 主要赋存于石英颗粒愈合裂纹、裂缝充填方解石和方解石胶结物中, 齐家地区金 34、齐平 1、龙 201 井高台子油层的样品中盐水包裹体较其它井发育好。

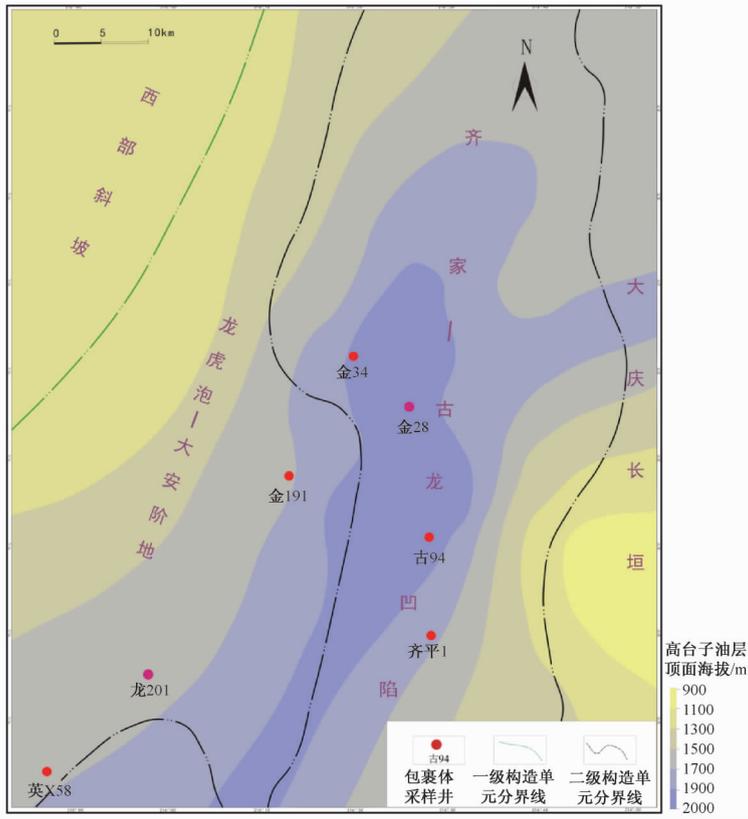


图 1 研究区构造位置及采样井分布

Fig. 1 Structure location and sampling well distribution in the study area

烃类包裹体的荧光光谱参数中最大主峰波长  $\lambda_{max}$ 、波长 650 nm 与 500 nm 相对应的荧光强度比值 ( $Q$ )、光谱面积比值 ( $QF_{535}$ ) 可以反映烃类包裹体中烃类的成熟度<sup>[13]</sup>, 这 3 个参数越大反映原油成熟度越低<sup>[14-15]</sup>, 因此基于该区烃类包裹体的 3 项荧光光谱参数结合荧光颜色认为研究区存在 3 幕油充注 (见表 1)。

表 1 齐家地区高台子油层油包裹体荧光参数

Table 1 The fluorescence parameters of oil inclusions in Gaotaizi reservoir in Qijia Area

烃类包裹体	荧光颜色	$\lambda_{max}/nm$	$Q$	$QF_{535}$
油包裹体	黄色	580.9 ~ 585.4	1.17 ~ 1.40	2.45 ~ 2.92
油包裹体	黄绿	520.6 ~ 545.4	0.37 ~ 0.77	1.25 ~ 1.77
油包裹体	蓝绿	489.3 ~ 519.7	0.12 ~ 0.50	0.50 ~ 1.24

### 2.2 流体包裹体显微测温

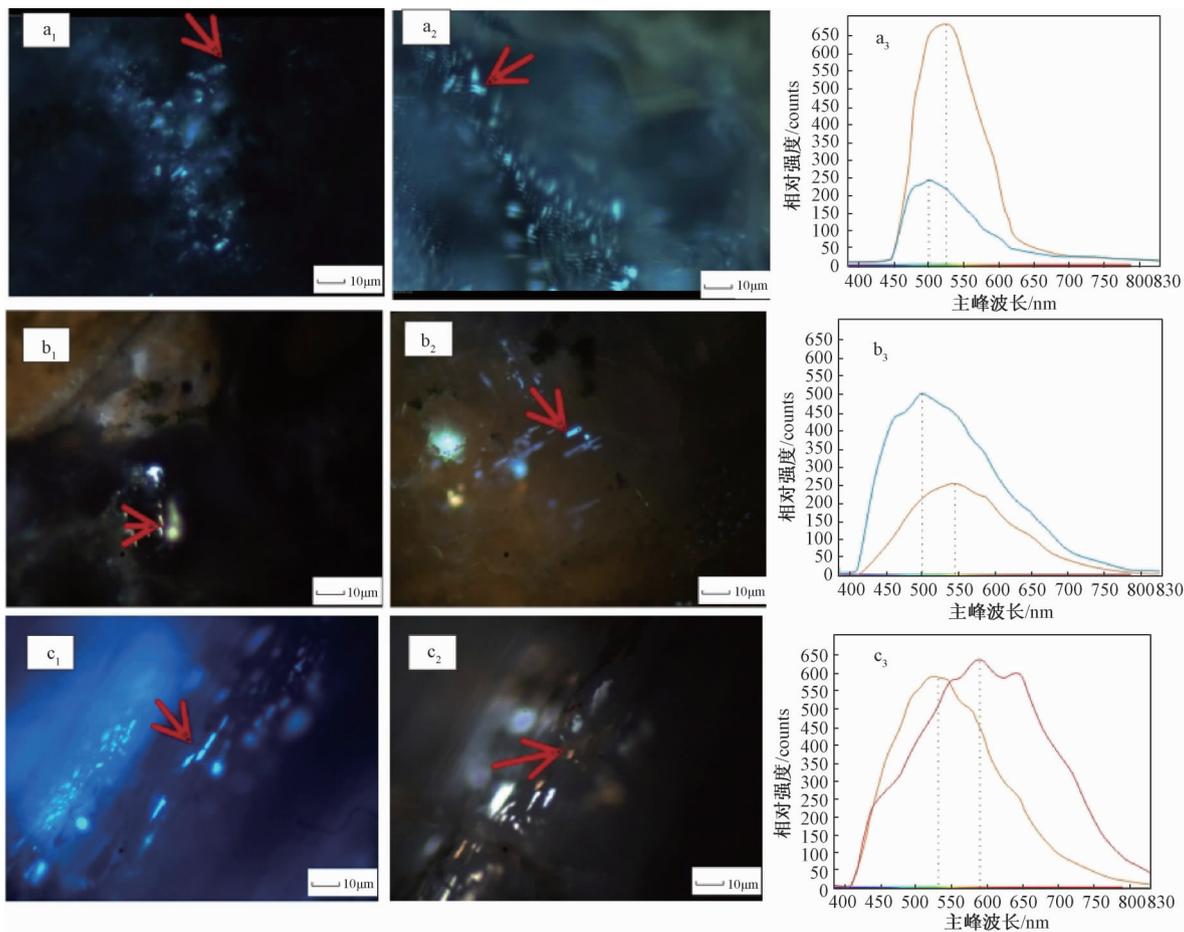
利用 Linkam 公司全自动冷热台对样品中油包裹体及其伴生盐水包裹体进行均一法测定。根据均一温度的测定结果, 结合储层中油包裹体分布特征, 认为齐家地区高台子油层存在 3 幕油充注及其伴生的 3 幕同期盐水充注: 第 1 幕发黄色荧光油包裹体均一温度范围 60 ~ 70 °C, 伴生的同期盐水

包裹体均一温度范围 80 ~ 90 °C; 第 2 幕发黄绿色荧光油包裹体均一温度范围 80 ~ 90 °C, 伴生的同期盐水包裹体均一温度范围 100 ~ 110 °C; 第 3 幕发蓝绿色荧光油包裹体均一温度范围 100 ~ 110 °C, 伴生的同期盐水包裹体均一温度范围 120 ~ 140 °C (见图 3)。

## 3 PVTx 模拟在齐家地区高台子致密油层的应用

### 3.1 流体包裹体 PVTx 模拟原理及步骤

文中采用 CALSEP 公司的 VTfline 软件恢复齐家地区高台子致密油层古流体压力。古压力模拟步骤为: (1) 运用共聚焦激光扫描显微镜精确地测定单个油包裹体的气液比; (2) 采用 VTfline 软件流体包裹体组分模块作为油包裹体成分的近似代表, 来构建油包裹体 P-T 相图及等容线; (3) 先均一法获得油包裹体均一温度及其共生盐水包裹体均一温度, 与气液比作为参数, 一同输入到模拟软件里, 与油包裹体的成分体系在 P-T 空间投影的等容线的交点, 来确定该包裹体捕获时的最



a—英 X58 井, 2078.0 m,  $K_1qn^{2+3}$ , 粉砂岩, 石英颗粒内裂纹中检测到大量发黄绿色 ( $a_1$ ) 和蓝绿色 ( $a_2$ ) 荧光油包裹体;  
 b—金 28 井, 2223.3 m,  $K_1qn^{2+3}$ , 粉砂岩, 石英颗粒内裂纹中检测到大量发黄绿色 ( $b_1$ ) 和蓝绿色 ( $b_2$ ) 荧光油包裹体;  
 c—齐平 1 井, 2071.0 m,  $K_1qn^{2+3}$ , 粉砂岩, 方解石胶结物中检测到大量发蓝绿色 ( $c_1$ ) 和黄色荧光 ( $c_2$ ) 的油包裹体  
 (黄色、黄绿色、蓝绿色分别指示第 1、第 2、第 3 幕次油充注)

图 2 齐家地区高台子油层代表性油包裹体荧光颜色及其对应荧光光谱

Fig. 2 The fluorescent color and corresponding fluorescence spectra of representative oil inclusions in Gaotaizi reservoir in Qijia Area

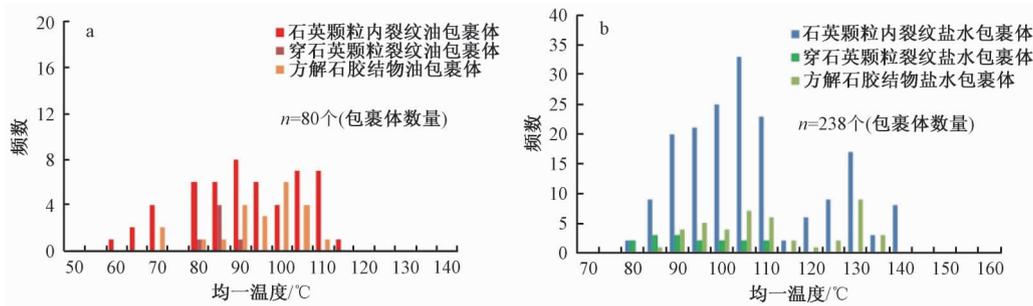


图 3 齐家地区高台子油层油包裹体 (a) 和共生盐水包裹体 (b) 均一温度

Fig. 3 The homogenization temperatures of oil inclusions (a) and its coeval aqueous inclusions (b) in Gaotaizi reservoir in Qijia Area

小压力 (见图 4)。图 4 中,  $T_{hb}$  为油包裹体均一温度,  $T_{hc}$  为同期盐水包裹体均一温度; ABC 线: 油

包裹体等容线; 虚线段: 共生盐水包裹体等容线; AB 段: 气液两相共存的阶段, 加热随温度增加到

B 点时气液两相均一为液相。通过 C 点近似代表该期流体包裹体捕获点, 与油包裹体等容线对应的压力, 即为最小捕获压力。

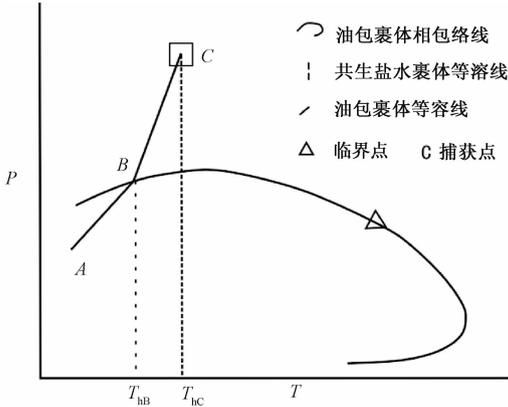


图 4 PVTx 热动力学模拟原理图  
(据参考文献 [16] 修改)

Fig. 4 The Schematic diagram of PVTx thermal dynamics simulation

### 3.2 烃包裹体气液比测定

先将选定的原油包裹体利用莱卡激光共聚焦显微镜进行逐层扫描, 将全部二维图片叠加成三维立体图像后计算气液比。文中挑出了部分油包裹体进行了激光共聚焦二维扫描 (见图 5)。实验测试仪器型号为 LEICA-DM5500, 工作电压: 900 V, 激发波长: 405  $\mu\text{m}$ , 利用 Lasaf 软件进行包裹体二维图像采集, 垂向采样间隔为 1  $\mu\text{m}$ ; 使用 Feica mm AF 软件进行三维模型重构, 部分测试结果如表 2。

表 2 共聚焦扫描显微镜精确测定的部分油包裹体气液比  
Table 2 The gas-liquid ratios of part of the fluid inclusions by CLSM

井号	深度/ m	层位	岩性	总体积/ $\mu\text{m}^3$	气泡体/ $\mu\text{m}^3$	气液比/ %
齐平 1	1952.69	高台子	粉砂岩	552.71	19.72	3.7
齐平 1	1952.69	高台子	粉砂岩	651.25	47.12	7.8
齐平 1	2071	高台子	粉砂岩	698.14	41.38	6.3
齐平 1	2071	高台子	粉砂岩	889.56	40.74	4.8
金 23	2205.3	高台子	细砂岩	519.56	27.55	5.6
金 23	2205.3	高台子	细砂岩	700.74	39.67	6
英 X53	2078	高台子	粉砂岩	1058.44	61.79	6.2
英 X53	2078	高台子	粉砂岩	587.39	35.85	6.5
古 94	2193.6	高台子	粉砂岩	696.48	40.04	6.1
古 94	2193.6	高台子	粉砂岩	540.15	37.22	7.4
古 94	2198.5	高台子	粉砂岩	575.14	39.13	7.4
金 191	1839.7	高台子	细砂岩	758.13	40.20	5.6
金 191	1854.5	高台子	粉砂岩	368.86	18.90	5.4
金 34	2125	高台子	粉砂岩	324.02	22.61	7.5
金 34	2135	高台子	粉砂岩	532.01	37.12	7.5
龙 201	1935.07	高台子	粉砂岩	404.88	21.83	5.7
金 28	2217.4	高台子	粉砂岩	528.13	28.48	5.7

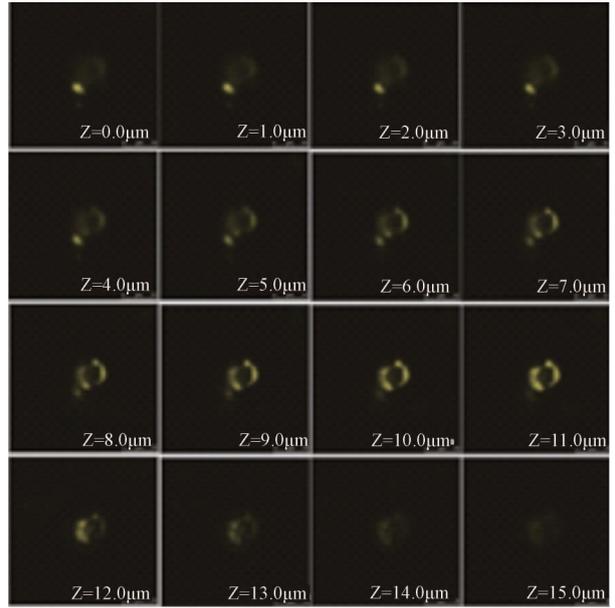


图 5 油包裹体激光共聚焦显微镜连续扫描的二维切片

Fig. 5 The two-dimensional slices of continuous scanning of oil inclusions by CLSM

### 3.3 包裹体 PVTx 模拟恢复高台子致密油层古流体压力

利用 VTfline 软件模拟计算油包裹体的最小捕获压力。因为实验室室温下油包裹体是由液体和气体两种相态组成, 真正包裹体捕获时是均一相态, 因此室温下饱和压力要比包裹体真正的内部压力高, 那么软件得到室温下包裹体内部压力就要通过反复迭代调节压力值来计算包裹体内全部物质的摩尔体积, 直到与饱和温度、压力下物质的摩尔体积相一致。实际软件模拟过程是在程序中输入摩尔百分含量、均一温度, 计算出油包裹体均一温度下的饱和压力。油包裹体在加热过程中, 将沿着相图上压力-温度等容线变化, 至相关成分的相态点上, 其交点即为相应的均一相。软件流体包裹体组分模块初始成分采用的是中质原油样品成分分析结果 (见表 3), 代表青山口组高台子油层原油的组成。

选取各期油包裹体及其伴生盐水包裹体均一温度“成对数据”、油包裹体的气液比和油包裹体的成分等参数输入 VTfline 软件, 即可得到各期油包裹体的最小捕获压力以和热动力学 P-T 相图。如齐家地区齐平 1 井 ( $K_1qn^{2+3}$ , 1952.69 m, 粉砂岩); 第一幕盐水包裹体均一温度 86.3  $^{\circ}\text{C}$ , 同幕油包裹体均一温度 68.2  $^{\circ}\text{C}$ , 最小捕获压力 16.97 MPa;

表3 模拟过程中原油样品成分组成表

Table 3 The Composition of crude oil sample in simulation

组分	摩尔组成百分比/%	组分	摩尔组成百分比/%
CO <sub>2</sub>	0.84	n-C <sub>5</sub>	3.920
N <sub>2</sub>	0	C <sub>6</sub>	1.760
C <sub>1</sub>	26.570	C <sub>7</sub>	4.257
C <sub>2</sub>	10.740	C <sub>8</sub>	3.790
C <sub>3</sub>	9.270	C <sub>9</sub>	3.375
i-C <sub>4</sub>	0.520	C <sub>10</sub>	5.680
n-C <sub>4</sub>	6.300	C <sub>11+</sub>	21.718
i-C <sub>5</sub>	1.260	—	—

第二幕盐水包裹体均一温度 101.0 °C，同幕油包裹体均一温度 89.5 °C，最小捕获压力 23.86 MPa（见图 6）。

实验共获得了 7 口井高台子油层的盐水包裹体与同期油包裹体的 18 个“数据对”的最小捕获压力，最终的热动力学压力模拟结果见表 4。

### 3.4 古流体压力特征及地质意义

研究区高台子储集层发育较丰富的烃类包裹体是齐家地区经历了大规模油气运聚最直接的证

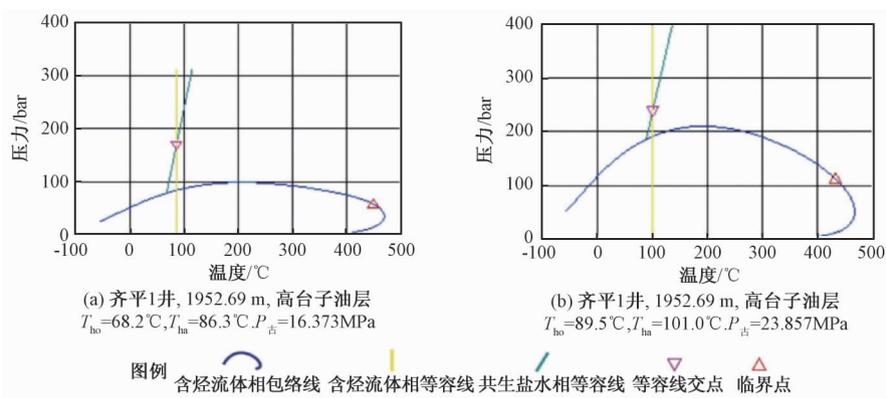


图 6 齐家地区齐平 1 井高台子油层流体包裹体古压力模拟结果及 P-T 相图

Fig. 6 The PVTx simulation results and P-T diagram of Qiping-1 fluid inclusion assemblages in Gaotaizi reservoir in Qijia Area

表 4 齐家地区高台子油层部分流体包裹体组合 PVTx 模拟参数和结果

Table 4 The PVTx simulation parameters and results of part fluid inclusion assemblages in Gaotaizi reservoir in Qijia Area

井号	层位	深度/ m	第 1 幕				第 2 幕				第 3 幕			
			G/L/%	T <sub>ho</sub> /T <sub>ha</sub>	P/MPa	P <sub>c</sub>	G/L/%	T <sub>ho</sub> /T <sub>ha</sub>	P/MPa	P <sub>c</sub>	G/L/%	T <sub>ho</sub> /T <sub>ha</sub>	P/MPa	P <sub>c</sub>
齐平 1	高台子	1952.69	3.7	68.2/86.3	16.97	1.29	7.8	89.5/101.0	23.86	1.28				
齐平 1	高台子	2071					6.3	85.9/107.1	24.75	1.37	4.8	95.7/133.4	24.02	1.33
金 28	高台子	2205.3					5.6	80.6/106.2	25.54	1.34	6	105.3/137.3	24.93	1.35
英 x58	高台子	2078					6.2	86.2/107.4	24.38	1.28	6.5	104.3/131.4	24.89	1.31
古 94	高台子	2193.6					6.1	84.5/107.8	25.35	1.27	7.4	107.8/129.2	24.91	1.03
金 191	高台子	1839.7					5.6	85.8/107.5	22.59	1.28				
金 34	高台子	2125					7.5	88.1/102.4	24.59	1.37				
龙 201	高台子	1935.07	3.2	62.7/81.5	16.13	1.21								
金 191	高台子	1854.5					5.2	82.1/106.1	22.94	1.31				
古 94	高台子	2198.50									7.4	104.0/127.9	25.98	1.26
金 34	高台子	2135.0					7.5	79.3/107.0	24.96	1.30				
金 28	高台子	2217.40									5.7	102.0/137.9	26.13	1.25

注：G/L—气液比；T<sub>ho</sub>/T<sub>ha</sub>—油包裹体/同期盐水包裹体均一温度；P<sub>c</sub>—古压力系数计算值；P—热动力学模拟获得的古压力

据，那么这些大量油气充注运移时被包裹捕获的压力如何，在地质上又该如何解释古压力特征？根据流体古压力热动力学模拟技术，已获得齐家地区高台子油层古压力及压力系数（见表 4）。同时，将齐家地区高台子油层各油气充注幕次同期盐水包裹体均一温度投影到埋藏—热史图（见图 7），便可获得油气形成期次及时期。再结合上文均一法测温、荧光定量分析和 PVTx 模拟，综合认

为齐家地区高台子油层发生了两期成藏。

第 1 期发生在白垩纪嫩江晚期 79 ~ 75 Ma 期间，对应于第 1 幕充注，油气被捕获时压力 16.13 ~ 16.97 MPa，压力系数在 1.21 ~ 1.29 之间，古流体压力特征主要为超压系统；在目前所钻的几口井中，高台子油层均检测到该期油包裹体，根据构造演化和地层倾向（见图 8），结合油包裹体显微荧光光谱，认为第 1 期油源可能来自于白垩系青山

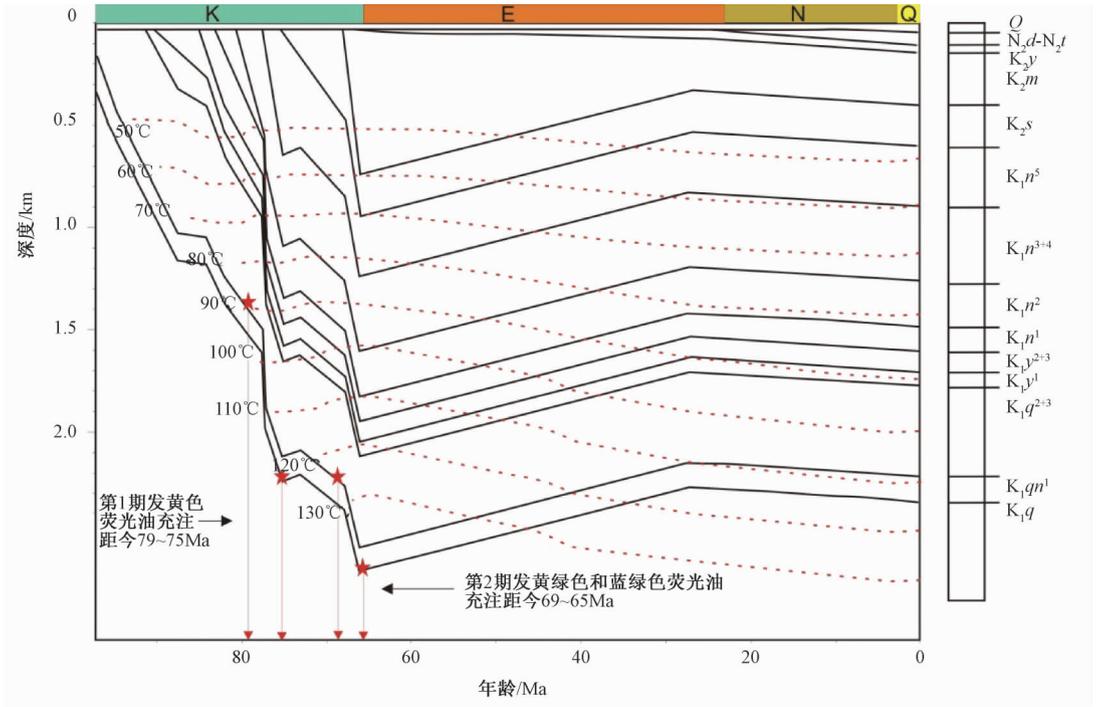


图 7 齐家地区高台子油层油气充注时期

Fig. 7 The charging stages of hydrocarbon in Gaotaizi reservoir in Qijia Area

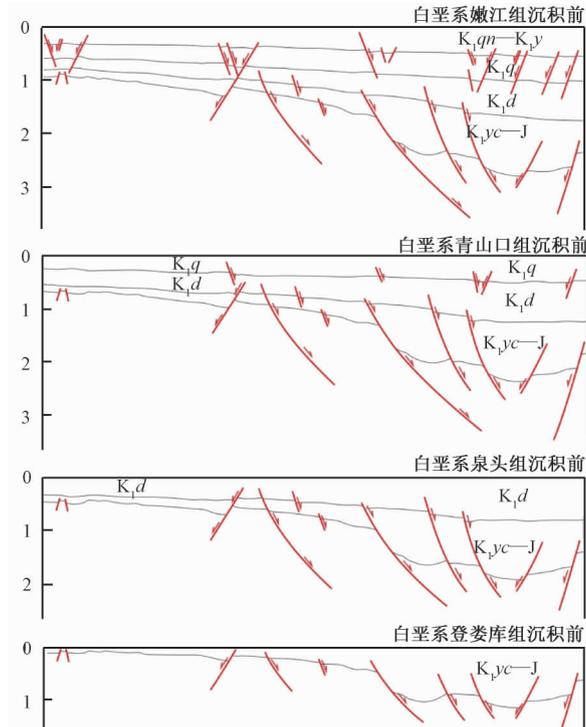


图 8 齐家地区过金 34—萨 952 井测线构造演化剖面

Fig. 8 Tectonic evolution section of Jin34 ~ Sa952 well line in Qijia area

口组一段的烃源岩；该时期是青一段生成的油气大规模充注期，也是构造带内主要岩性—构造圈闭的形成期，上覆多套储盖组合已经形成，因而

有利于油气的保存，储层主要为致密型储层，该期油气沿早期断裂或岩性地层可以运移进入致密储层之中。由于齐家地区在青山口组时期处于构

造较高部位,对于其他地区储集层而言相对较易捕获油气。

第2期发生晚白垩世明水期69~65 Ma期间,对应于第2和第3幕充注,油气被捕获时压力为22.14~26.13 MPa,压力系数在1.25~1.37之间,古流体压力特征主要为超压系统。该时期构造带内的断裂活动相对较弱,且受储层非均质性的控制,早期形成的储盖组合未遭受破坏。总体上齐家地区高台子油层具有多期成藏的特点,保存条件好,可以形成岩性油气聚集带。

## 4 结论

(1) 流体包裹体荧光观察表明齐家地区高台子储层中检测到有发黄、黄绿、蓝绿色3种荧光颜色的油包裹体,从黄色到蓝绿色,代表油包裹体中原油成熟度变高。

(2) 高台子油层存在3幕油充注及其伴生的3幕同期盐水充注,其油包裹体均一温度峰值分别为60~70℃、80~90℃、100~110℃;伴生的盐水包裹体均一温度分别为80~90℃、100~110℃、120~140℃。

(2) 显微测温结合地层埋藏史及流体包裹体PVTx模拟,认为齐家地区高台子油层存在两期油气充注:第1期发生在嫩江晚期79~75 Ma期间,对应于第1幕原油充注,油气被捕获时压力为16.13~16.97 MPa,压力系数在1.21~1.29之间;第2期发生在明水期69~65 Ma期间,对应于第2幕、第3幕原油充注,油气被捕获时压力22.14~26.13 MPa,压力系数在1.25~1.37之间。从古压力系数特征来看,该构造带两期原油被包裹体捕获时均以超压特征为主。

### 参考文献/References

- [1] 高瑞祺,蔡希源. 松辽盆地油气田形成条件与分布规律 [M]. 北京:石油工业出版社,1997.  
GAO Ruiqi, CAI Xiyuan. The reservoir distribution rules and formation condition of Songliao Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997. (in Chinese)
- [2] 杨万里,高瑞祺,郭庆福,等. 松辽盆地陆相油气生成、运移和聚集 [M]. 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,1985.  
YANG Wanli, GAO Ruiqi, GUO Qingfu, et al. The continental oil generation, migration and accumulation in Songliao Basin [M]. Harbin: Heilongjiang Science and Technology Press, 1985. (in Chinese)
- [3] Roedder E. Application of an improved crushing microscope stage to studies of gases in fluid inclusion [J]. SchweizerMineralog Petrog Mitt, 1970, 50: 41~58.
- [4] Coveney R M, Goebel E D, Ragan V M. Pressures and temperatures from aqueous fluid inclusions in sphalerite from Midcontinent country rocks [J]. Economic Geology, 1987, 82 (3): 740~751.
- [5] Aplin A C, Macleod G, Larter S R, et al. Combined use of Confocal Laser Scanning Microscopy and PVT simulation for estimating the composition and physical properties of petroleum in fluid inclusions [J]. Marine and Petroleum Geology, 1999, 16 (2): 97~110.
- [6] 施立志,王卓卓,张革,等. 松辽盆地齐家地区致密油形成条件与分布规律 [J]. 石油勘探与开发, 2015, 42 (1): 44~50.  
SHI Lizhi, WANG Zhuozhuo, ZHANG Ge, et al. Distribution and formation of tight oil in Qijia area, Songliao Basin, NE China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2015, 42 (1): 44~50. (in Chinese with English abstract)
- [7] 陈方文,卢双舫,黄振凯,等. 松辽盆地古龙凹陷青一段沉积特征及有利勘探区 [J]. 中南大学学报(自然科学版), 2013, 44 (5): 1955~1963.  
CHEN Fangwen, LU Shuangfang, HUANG Zhenkai, et al. Sedimentary characteristics and favorable exploration zone of K<sub>1</sub>qn<sup>1</sup> in Gulong Depression of Songliao Basin [J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2013, 44 (5): 1955~1963. (in Chinese with English abstract)
- [8] 袁青,罗群,李楠,等. 齐南地区高台子油层致密油成藏模式 [J]. 特种油气藏, 2016, 23 (1): 54~57.  
YUAN Qing, LUO Qun, LI Nan, et al. Gaotaizi tight oil accumulation modes in southern Qijia [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2016, 23 (1): 54~57. (in Chinese with English abstract)
- [9] 付秀丽. 松辽盆地北部齐家地区高台子油层沉积体系展布及其成藏分析 [J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2014, 41 (4): 422~427.  
FU Xiuli. Distribution of Gaotaizi oil layers and accumulation analysis in qijia area of northern Songliao basin, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2014, 41 (4): 422~427. (in Chinese with English abstract)
- [10] 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. (in Chinese with English abstract)
- [11] 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. (in Chinese with English abstract)
- [12] 王雅春, 王胜男. 源岩、超压和断裂空间匹配对三肇凹陷扶杨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 sanzhaio depression [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2009, 39 (4): 656 ~ 661. (in Chinese with English abstract)
- [13] Pironon J, Canals M, Dubessy J, et al. Volumetric reconstruction of individual oil inclusions by confocal scanning laser microscopy [J]. *European Journal of Mineralogy*, 1998, 10 (6): 1143 ~ 1150.
- [14] 李荣西, 金奎励, 廖永胜. 有机包裹体显微傅里叶红外光谱和荧光光谱测定及其意义 [J]. *地球化学*, 1998, 27 (3): 244 ~ 250.
- LI Rongxi, JIN Kuili, LIAO Yongsheng. Analysis of organic inclusions using micro-FT. IR and fluorescence microscopy and its significance [J]. *Geochemica*, 1998, 27 (3): 244 ~ 250. (in Chinese with English abstract)
- [15] 李兆奇, 陈红汉, 刘惠民, 等. 流体包裹体多参数综合划分东营凹陷沙三段油气充注期次及充注时期确定 [J]. *地质科技情报*, 2008, 27 (4): 69 ~ 74.
- LI Zhaoqi, CHEN Honghan, LIU Huimin, et al. Division of hydrocarbon charges and charging date determination of Sha 3 member, Dongying depression by various aspects of fluid inclusions [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2008, 27 (4): 69 ~ 74. (in Chinese with English abstract)
- [16] Munz I A. Petroleum inclusions in sedimentary basins: systematics, analytical methods and applications [J]. *Lithos*, 2001, 55 (1/4): 195 ~ 212.