

柴达木盆地苏探1井 原油生物标志化合物特征和成藏分析

孙敏卓¹, 张 鹏², 周 莉², 刘海珍², 李国艳², 陈建州³, 谭和勇⁴, 房 媛¹, 王国仓¹

(1. 甘肃省油气资源研究重点实验室/中国科学院油气资源研究重点实验室, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国石油青海油田勘探开发研究院, 甘肃 敦煌 736202;

3. 青海省第四地质矿产勘查院, 青海 西宁 810029; 4. 河南省地质调查院, 河南 郑州 450001)

摘要:通过对苏探1井(2 536.5~2 697.0m)储层流体包裹体分析,结合该段原油的生物标志化合物特征,对其油藏的形成进行了研究。结果表明:苏探1井(2 536.5~2 697.0m)原油的演化程度较高;其母质类型主要为陆源高等植物,其中在埋藏深度为2 620.67m、3 640.57m和2 697m的原油中有过母质来源为水生生物原油充注;形成于淡到微咸水的弱氧化到偏氧化环境。苏探1井(2 536.5~2 697.0m)储层至少发生过3期不同成熟度的原油充注,以及一期天然气充注;该段储层为2期成藏,第一期成藏时间为142Ma左右,第二期成藏时间为107Ma左右,为早白垩世晚期燕山运动的构造回返期。

关键词:柴达木盆地;苏探1井;生物标志化合物;包裹体

中图分类号:TE122.1⁺13

文献标志码:A

文章编号:1672-1926(2015)05-0922-08

引用格式:Sun Minzhuo, Zhang Peng, Zhou Li, *et al.* Biomarker characteristics and oil accumulation period of well Sutan 1 in the Tarim Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(5): 922-929.

[孙敏卓, 张鹏, 周莉, 等. 柴达木盆地苏探1井原油生物标志化合物特征和成藏分析[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(5): 922-929.]

0 引言

苏干湖凹陷地理位置位于青海省西北部,介于北纬38°30′~39°38′、东经93°30′~95°20′之间,北面为阿尔金山与党河南山南麓的结合部,南临大、小赛什腾山,东南部直抵土尔根达坂山北麓,西南临宗务隆山,凹陷面积约为7 000km²。区域构造单元上处于柴达木盆地北缘(以下简称“柴北缘”)隆起带北部,在南祁连加里东褶皱带西端,东南部为海西褶皱带,西南部为柴北缘加里东褶皱带,西北部为阿尔金断裂,凹陷中有2块中生界地层分布(图1)。该凹陷地层发育较为齐全,钻井揭示侏罗系、古近系及第四系均有发育。地层自下而上为大煤沟组、洪水沟组、路乐河组、下干柴组、中新统上干柴组、上新统下

油砂山组和更新统七个泉组。以往研究表明,该区存在的中生界烃源岩具有一定生烃能力,钻井见油气显示,但是多次试油效果均不理想。因此,本文以苏探1井原油(2 536.5~2 697.0m)为研究对象,从苏探1井原油有机地球化学和成藏学2个方面进行分析,探讨其生物标志化合物特征和成藏特征,为该地区油气藏的勘探提供一定的理论依据。

1 样品与实验

在柴达木盆地苏干湖凹陷苏探1井,深度为2 536.5~2 697.0m区间采集9块储层砂岩。

样品测试工作由中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究中心地球化学测试部完成。

包裹体荧光特征观察是用Nikon 80i三通道高

收稿日期:2014-02-13;修回日期:2014-12-03.

基金项目:国家科技重大专项(编号:2011ZX05005-001);国家重点基础研究发展计划(编号:2012CB214801);国家自然科学基金(编号:41272207);中国科学院先导专项(编号:XDA05130402);甘肃省重点实验室专项(编号:1309RTSA041)联合资助。

作者简介:孙敏卓(1979-),女,陕西岐山人,助理研究员,博士,主要从事实验地球化学和油气地球化学研究。E-mail:sunmz04@sina.com.

通讯作者:王国仓(1978-),男,甘肃秦安人,助理研究员,博士,主要从事油气储层地质研究。E-mail:408535603@qq.com.

级荧光显微镜在紫外光激发下进行。流体包裹体显微测温采用英国 Linkam 公司的 THMS G600 型冷/热台在 100 倍长焦物镜下进行。分析方法和依据为中华人民共和国核行业标准《矿物流体包裹体温度的测定》(EJ/T1105-1999)。

储层砂岩粉碎,经氯仿 72h 索氏抽提后,将抽提物(氯仿沥青“A”)进行柱层析组分离实验,并将分离后的饱和烃馏分进行 GC/MS 分析。GC/

MS 分析检测采用 6890N-GC/5973N-MSD 气相色谱/质谱联用仪,色谱/质谱分析条件为:载气 99.999 9% 的氦气,流速为 1.1 mL/min;进样口温度为 280℃,进样量为 1.0 μ L;色谱柱为美国 J & W HP-5 弹性石英毛细柱(30m \times 0.25mm \times 0.25 μ m);升温程序为初温 80℃,以升温速度 4℃/min 升至 290℃,保持 30min;电子轰击(EI)离子源,电子能量 70eV,传输线温度 280℃,离子源温度 230℃。

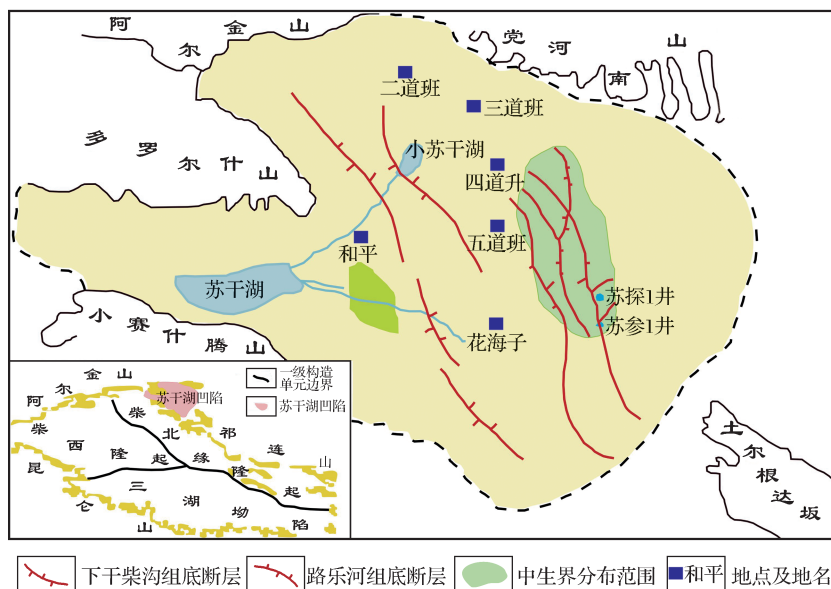


图 1 苏干湖凹陷位置

Fig. 1 The location map of the Sugan Lake Depression

2 原油地球化学特征

石油地质中原油的生物标志化合物分析和有机岩石学的观测是相辅相成的,为了进一步综合分析原油的生物标志化合物特征和储层中石油包裹体的关系,对柴达木盆地北缘苏探 1 井不同深度(2 536.5~2 697.0m)的 9 块储层砂岩进行了可溶有机质的族组成及生物标志化合物的分析。

2.1 原油的母源来源

原油中的生物标志化合物特征指示着原油的母质类型。苏探 1 井原油中正构烷烃保存较好,碳数分布为 nC_{12} — nC_{37} ,其中埋藏深度在 2 620.67m、3 640.57m 和 2 697m 的正构烷烃峰型为双驼峰,主峰碳均为 nC_{15} 和 nC_{25} ,反映其母质来源为混源,既有水生生物的贡献,又有陆源物质的输入,而其余深度的正构烷烃峰型为单驼峰,主峰碳为 nC_{23} 或 nC_{25} ,显示其母质来源以陆源物质为主^[1-2]。由此说明,苏探 1 井埋藏深度在 2 620.67m、3 640.57m 和 2 697m 的原

油可能存在母质来源为水生生物的原油的充注。原油中的 Pr/nC_{17} 值和 Ph/nC_{18} 值,常常用来研究原油的母质来源、成熟度和成烃环境^[3]。所研究的原油的 Pr/nC_{17} 值和 Ph/nC_{18} 值分布在一个较窄的范围内,反映它们来自陆相Ⅲ型,其中埋藏深度在 2 620.67m、3 640.57m 和 2 697m 的原油为Ⅲ₁型,其余原油来源于Ⅲ₂型^[4](图 2)。

原油中的规则甾烷的分布特征可以揭示原油的母源特征(图 3,表 1)。苏探 1 井原油规则甾烷 C_{27} 、 C_{28} 和 C_{29} 的相对丰度分别为 28.05%~36.21%、21.85%~28.86% 和 36.21%~48.78%(表 1)。图 3 为这些原油规则甾烷 C_{27} 、 C_{28} 和 C_{29} 的三角图。从图 3 中可以看出,原油埋藏深度在 2 620.67m、3 640.57m 和 2 697m 的母质类型为混源,既有水生生物的贡献,又有陆生生物的输入,且水生生物的输入要大于陆源生物,其余埋藏深度的原油的母质类型以陆源生物为主^[5-6]。

原油中三环萜烷和四环萜烷相对丰度的高低与

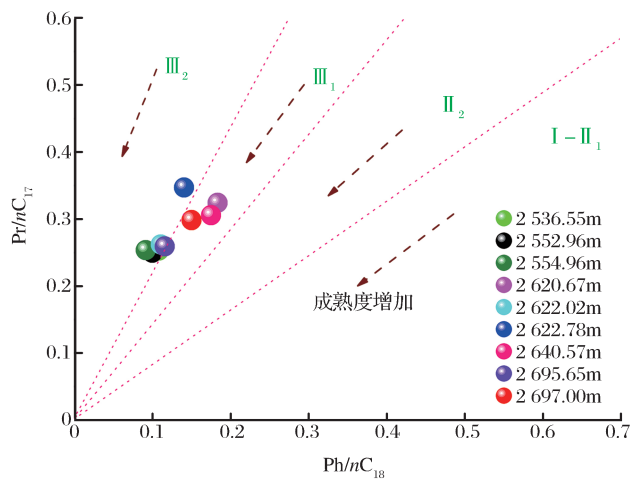


图 2 苏探 1 井原油 $\text{Pr}/n\text{C}_{17}$ 和 $\text{Ph}/n\text{C}_{18}$ 相关图

Fig. 2 The correlogram of $\text{Pr}/n\text{C}_{17}$ and $\text{Ph}/n\text{C}_{18}$ with crude oil in well Sutan 1

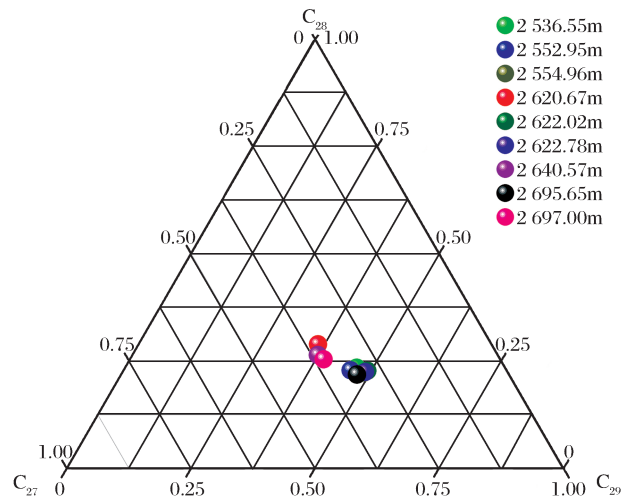


图 3 原油中不同碳数规则甾烷三角图

Fig. 3 The triangular diagram of different regular sterane with crude oil

表 1 苏探 1 井原油中生物标志化合物的相关数据

Table 1 Related data of the biomarkers with crude oil in well Sutan 1

分析项目	埋藏深度/m								
	2 536.55	2 552.95	2 554.96	2 620.67	2 622.02	2 622.78	2 640.57	2 695.65	2 697.00
$\text{Pr}/n\text{C}_{17}$	0.25	0.25	0.25	0.32	0.26	0.35	0.31	0.26	0.30
$\text{Ph}/n\text{C}_{18}$	0.11	0.10	0.09	0.18	0.11	0.14	0.17	0.12	0.15
Pr/Ph	2.26	2.36	2.31	2.77	2.09	2.10	2.56	1.91	2.43
OEP_1	1.059	1.056	1.050	1.031	1.007	0.993	1.043	1.028	0.975
OEP_2	1.076	1.042	1.101	1.129	1.160	1.058	1.059	1.053	1.173
CPI	1.148	1.122	1.158	1.193	1.237	1.164	1.185	1.136	1.192
三环萜烷/五环萜烷	0.189	0.200	0.201	0.425	0.191	0.179	0.233	0.122	0.222
Ts/Tm	4.389	5.412	4.876	2.322	2.082	2.972	1.390	1.631	1.749
藿烷 $\text{C}_{27} + \text{C}_{29} / \text{C}_{31} +$	1.243	1.290	1.309	1.190	0.917	1.067	0.922	0.731	0.987
藿烷 $\text{C}_{31} \alpha\beta\text{-}22\text{S} / 22(\text{S} + \text{R})$	0.602	0.597	0.570	0.586	0.597	0.596	0.594	0.570	0.581
伽玛蜡烷/藿烷 $\text{C}_{30} \alpha\beta$	0.260	0.269	0.258	0.177	0.222	0.247	0.171	0.180	0.199
三环萜烷 $\text{C}_{25} / \text{C}_{26}$	0.390	0.378	0.476	0.473	0.400	0.324	0.507	0.424	0.427
三环萜烷 $\text{C}_{25} /$ 四环萜烷 C_{24}	0.317	0.252	0.283	0.655	0.393	0.263	0.629	0.378	0.413
甾烷 $\text{C}_{29} \text{-}\alpha\alpha\text{-}20\text{S} / (\text{S} + \text{R})$	0.588	0.620	0.603	0.473	0.524	0.588	0.481	0.538	0.543
甾烷 $\text{C}_{29} \beta\beta / (\beta\beta + \alpha\alpha)$	0.555	0.554	0.544	0.497	0.531	0.543	0.506	0.548	0.512
C_{27}	33.84	34.36	33.93	29.93	34.05	33.69	29.21	35.59	37.54
规则甾烷相对含量/% C_{28}	23.44	22.87	24.29	28.86	22.71	22.40	26.37	21.85	21.39
C_{29}	42.72	42.77	41.78	41.21	43.24	43.91	44.42	42.56	41.07

注： $\text{OEP}_1 = (\text{C}_{13} + 6 \times \text{C}_{15} + \text{C}_{17}) / (4 \times \text{C}_{14} + 4 \times \text{C}_{16})$ ； $\text{OEP}_2 = (\text{C}_{23} + 6 \times \text{C}_{25} + \text{C}_{27}) / (4 \times \text{C}_{24} + 4 \times \text{C}_{26})$ ； $\text{CPI} = [(\text{C}_{25} + \text{C}_{27} + \text{C}_{29} + \text{C}_{31} + \text{C}_{33}) / (\text{C}_{26} + \text{C}_{28} + \text{C}_{30} + \text{C}_{32} + \text{C}_{34}) + (\text{C}_{25} + \text{C}_{27} + \text{C}_{29} + \text{C}_{31} + \text{C}_{33}) / (\text{C}_{24} + \text{C}_{26} + \text{C}_{28} + \text{C}_{30} + \text{C}_{32})] / 2$

其母质类型有一定的联系^[7]。前人研究表明,三环萜烷 $\text{C}_{25} / \text{C}_{26}$ 值和三环萜烷 $\text{C}_{25} /$ 四环萜烷 C_{24} 值大于 1,显示为海相原油;比值小于 1,显示为陆相原油^[8]。苏探 1 井的原油的三环萜烷 $\text{C}_{25} / \text{C}_{26}$ 值和三环萜烷 $\text{C}_{25} /$ 四环萜烷 C_{24} 值分别为 0.324~0.507和 0.252~0.655,而且埋藏深度在 2 620.67m、3 640.57m 和 2 697m 的该值均大于其余埋藏深度的原油

(表 1),反映了苏探井原油成油母质具有更多的陆源有机质,而埋藏深度在 2 620.67m、3 640.57m 和 2 697m 的成油母质中陆源有机质的贡献要小于其余埋藏深度的原油。

2.2 原油的成烃环境

通常用 Pr/Ph 值来指示原油和烃源岩的成烃古环境,氧化环境表现为 Pr 优势;还原环境则表现

为 Ph 优势。并且一般认为 $Pr/Ph > 0.8$ 时,成烃古环境为强还原环境, $Pr/Ph > 3.0$ 时为氧化环境下陆源有机质输入。苏探 1 井原油中 Pr/Ph 值分布在 1.91~2.77 之间,呈现非常明显的植烷优势,反映其形成于弱氧化到偏氧化环境^[9-12]。

萘烷系列化合物中, Σ 三环/ Σ 五环萘烷值是表征盐度的参数。一般认为,比值小于 0.3,为淡水沉积环境;介于 0.3~0.5 之间,为半咸水沉积环境;大于 0.5,为高盐环境^[13]。苏探 1 井原油中该值均分布在 0.122~0.425 之间,说明其成烃环境为淡水的沉积环境。伽马蜡烷也是指示沉积环境盐度的指标,是由适宜在咸水环境中繁衍的原生动物四膜虫醇演化而来,高丰度的伽马蜡烷经常与盐湖或者含盐度较高的环境有关^[10,14]。苏探 1 井原油中伽马蜡烷/藿烷 $C_{30}\alpha\beta$ 值为 0.171~0.269,表征了其成烃环境为淡水到微咸水环境。

2.3 原油的演化程度

前人研究表明,许多生物标志化合物参数均可用来判识原油和烃源岩的演化程度。正构烷烃中 CPI 指数和 OEP 指数能够较好地反映有机质的成熟度。在低演化阶段,有机质的正构烷烃 CPI 和 OEP 具有明显的奇偶优势;在高演化阶段,CPI 值和 OEP 值接近 1,不具有奇偶优势,通常当 CPI 值和 OEP 值在 0.8~1.2 之间时,被认为奇偶优势消失^[15-16]。所研究的原油的 CPI 值为 1.122~1.193, $OEP_1(nC_{13}-nC_{17})$ 值和 $OEP_2(nC_{23}-nC_{27})$ 值分别

为 0.975~1.059 和 1.042~1.173,无奇偶优势,呈成熟有机质特征。

甾烷系列中甾烷 $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)$ 指标和 $C_{29}\alpha\beta\beta/(\alpha\beta\beta+\alpha\alpha\alpha)$ 指标可以用来确定原油和烃源岩的成熟度。一般认为,甾烷 $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)$ 和 $C_{29}\alpha\beta\beta/(\alpha\beta\beta+\alpha\alpha\alpha)$ 参数的平衡值为 0.52~0.55 和 0.7 左右^[17-18]。未成熟阶段 $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S/(20S+20R)$ 和 $C_{29}\alpha\beta\beta/(\alpha\beta\beta+\alpha\alpha\alpha)$ 参数小于 0.25;低熟阶段时该值分布在 0.25~0.4 之间,大于 0.4 为成熟阶段^[19]。研究原油中这 2 个参数分布在 0.473~0.620 和 0.497~0.555 之间,表明苏探 1 井原油属于成熟原油。萘烷系列中 Ts/Tm 和藿烷 $C_{31}22S/(22S+22R)$ 均能很好地表征原油和烃源岩的演化程度^[20-21]。藿烷 $C_{31}22S/(22S+22R)$ 值分布在 0.570~0.602 之间,均达到了该参数的平衡值,说明苏探 1 井原油的演化程度高。藿烷中 Ts/Tm 值均大于 1,也反映了其原油为成熟原油。

3 储层油气的成藏

3.1 储层油气的成藏期次分析

油气藏的成藏期次和成藏时间是油气勘探地质评价的一个关键问题。苏探 1 井各岩性段样品可见成岩矿物石英次生加大、胶结方解石和各种自生矿物。储集层中主要有 2 类油气包裹体:一类是赋存在石英内愈合裂纹和穿石英颗粒裂纹中的大量烃类包裹体(图 4)。呈线带状分布,具有不规则形状,在 1~

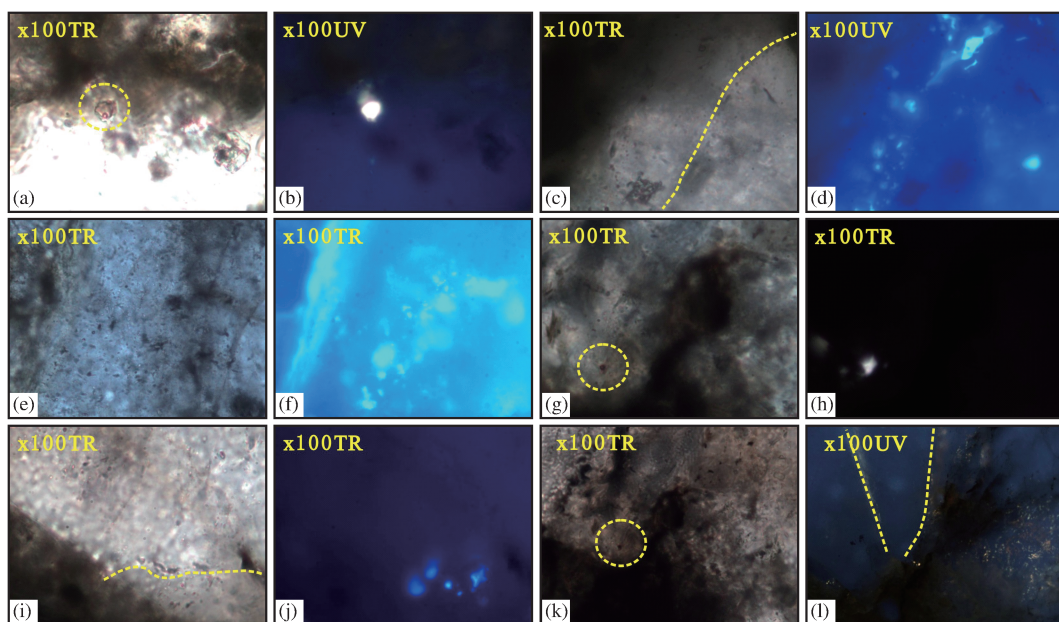


图 4 苏探 1 井储层烃类包裹体荧光特征

Fig. 4 The fluorohram of reservoir hydrocarbon with well Sutan 1

40 μm 之间,一般小于15 μm 。荧光颜色以蓝色—蓝白色、蓝绿色和黄绿色为主,表明该段储层中至少发生过3期原油充注^[22]。另一类为不发荧光的纯气相包裹体,赋存于储层砂岩穿石英颗粒裂纹和粒间胶结物(图5),说明该段储层有过1期天然气充注。

在有机包裹体荧光颜色识别的基础上,进行了荧光光谱分析,涉及的主要参数为有机包裹体荧光光谱的主峰波长(λ_{max})和红绿熵值($Q_{650/550}$)。对苏探1井

有机包裹体荧光光谱参数进行了分析,黄绿色荧光有机包裹体 λ_{max} 值为533~566nm, $Q_{650/550}$ 值为0.53~0.70,蓝绿色荧光有机包裹体 λ_{max} 值为473~482nm, $Q_{650/550}$ 值为0.31~0.49,蓝色—蓝白色荧光有机包裹体 λ_{max} 值为450~460nm, $Q_{650/550}$ 值为0.09~0.41。将荧光光谱主峰波长与红绿熵值进行了对比,不同荧光颜色有机包裹体分区明显(图6),反映了苏探1井储层3期成熟度不同的原油充注^[23-26]。

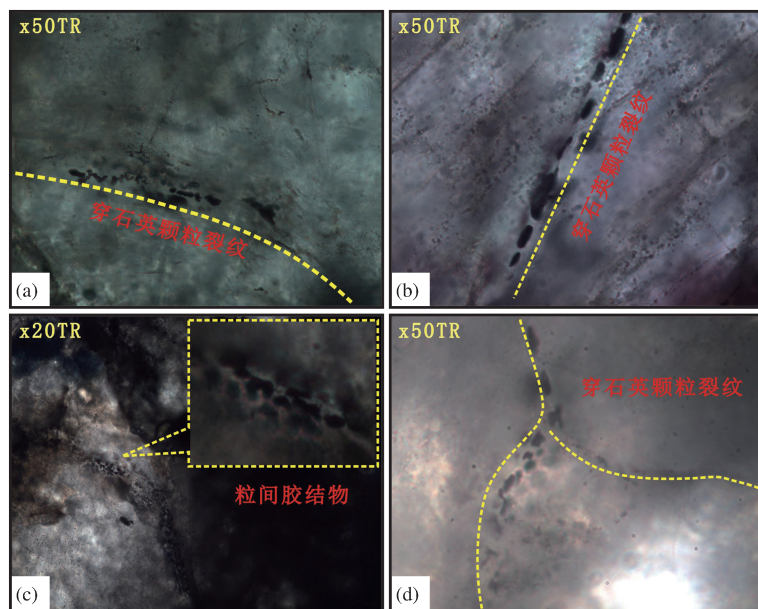


图5 苏探1井储层气相包裹体荧光特征

Fig. 5 The fluorohram of reservoir gas-phase with well Sutan 1

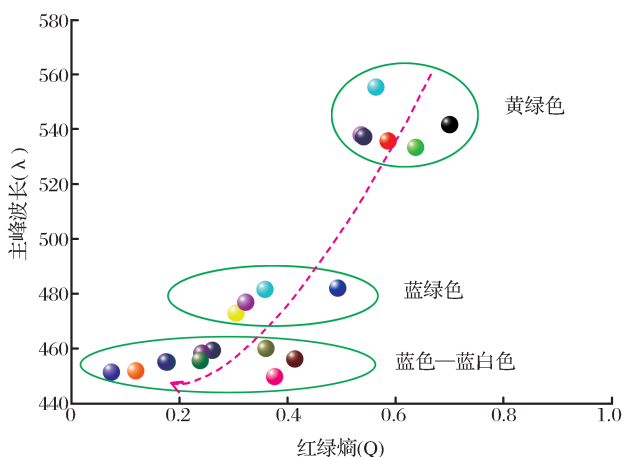


图6 荧光光谱参数主峰波长与红绿熵值的相关关系

Fig. 6 The correlatogram with wavelength of main peak and spectroscopy entropy

实验测得苏探1井(2 536.5~2 697.0m)储层样品中均一温度分布如表2所示。可以看出,苏探1井(2 536.5~2 697.0m)储层共检测出4幕盐水

充注、3幕含烃盐水充注和4幕油气充注。其中4幕油气充注中第一幕均一温度范围为62.5~71.7℃,第二幕均一温度范围为80.5~85.2℃,第三幕均一温度范围为95.3~103.7℃,第四幕均一温度范围为120.0~121.6℃。

3.2 储层油气的成藏时间分析

苏探1井流体包裹体岩石样品采自2 536.5~2 697.0m深度区间,属于中侏罗统(J_2)。其盐水包裹体性状以不规则为主,呈线到带状分布,大小不一,最大的为9 μm ×5 μm ,最小的仅为1 μm ×1 μm 。包裹体均一温度分布区间为63.8~92.5℃,主峰值为66~71℃和73~79℃。结合苏探1井储集层的埋藏史和热演化史图(图7)可以看出,第一期成藏时间为142Ma左右,第二期成藏时间为107Ma左右,为早白垩世晚期燕山运动的构造回返期^[27-28]。

4 结论

从储层烃类包裹体荧光照片和荧光光谱,以及

表 2 苏探 1 井储层包裹体均一温度分布

Table 2 Table of the homogenization temperature of reservoir inclusions in well Sutan 1

深度 /m	盐水包裹体均一温度/℃				含烃盐水包裹体均一温度/℃			油气包裹体均一温度/℃			
	Th1	Th2	Th3	Th4	Th1	Th2	Th3	Th1	Th2	Th3	Th4
2 536.55		107.5	128.3	148.6			135.6	62.5		103.7	
2 552.95	84.1	110.0	124.7	152.8				71.1		95.3	120
2 554.96	74.7	105.5		139.2		107.0		63.3	80.5		
2 620.67		109.3	126.2	148.4							
2 622.02		93.2	127.4	142.7							
2 622.78		96.6	120.9	142.0			143.8				
2 640.57	84.8		133.4					69.2			
2 695.65	85.5	103.9	129.7	145.8							
2 697.00	72.7	105.4	130.6				139.8	67.3	85.2		121.6

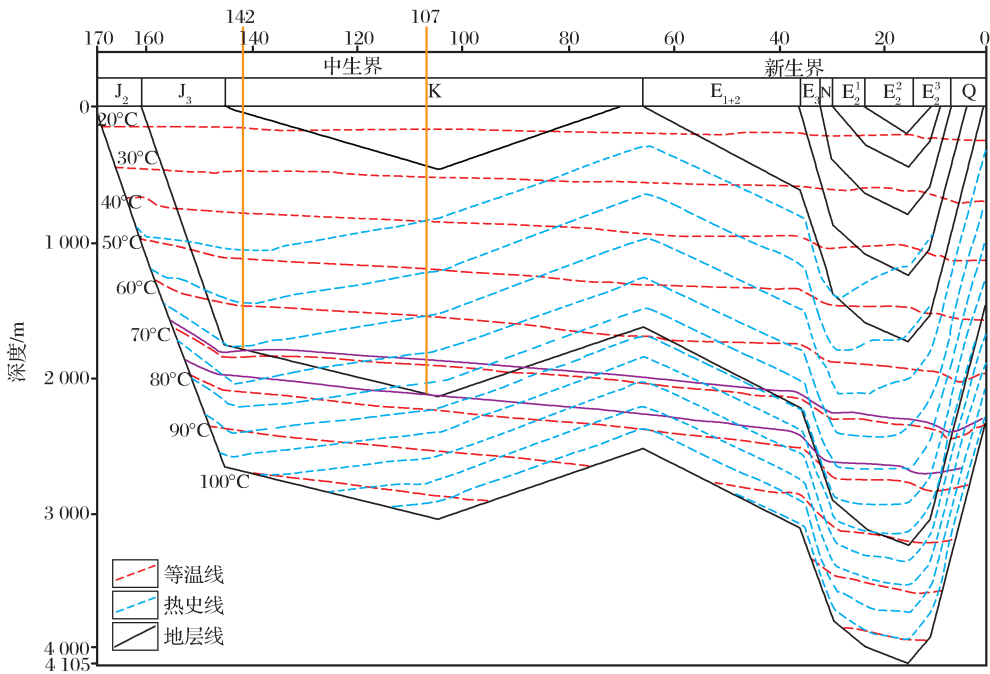


图 7 苏探 1 井储集层的埋藏史和热演化史

Fig. 7 The buried and thermal evolution history of reservoir in well Sutan 1

红绿熵值和包裹体均一温度来分析,苏探 1 井埋藏深度从 2 536.5~2 697.0m 的储层中至少发生过 3 期不同成熟度的原油充注,以及 1 期天然气充注。

从成藏时间来看,苏探 1 井该段储层的第一期成藏时间为 142Ma 左右,第二期成藏时间为 107Ma 左右,为早白垩世晚期燕山运动的构造回返期。

从原油的生物标志化合物特征来看,苏探 1 井原油(2 536.5~2 697.0m)为成熟原油,其母质来源主要为陆源高等植物,其中在埋藏深度为 2 620.67m、3 640.57m 和 2 697m 的原油中存在母质来源为水生生物的 3 次原油充注,与有机质包裹体研究相对应。所研究原油的成烃古环境为弱氧化

到偏氧化、淡水到微咸水环境。

参考文献(References):

[1] Gao Fuhong, Gao Hongmei, Fan Fu. The organic geochemical characteristics of source rock in volcanic rocks during Yiliegede Formation of Early Cretaceous in Mohe Basin[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2010, 40 (1): 9-14. [高福红, 高红梅, 樊馥. 漠河盆地早白垩世依列克得组火山岩系烃源岩有机地球化学特征[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2010, 40(1): 9-14.]

[2] Wang Zuodong, Tao Mingxin, Meng Qianxiang, et al. Research progress of source rocks and formation of low evolution oil and gas in Turpan-Hami Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(6): 754-760. [王作栋, 陶明信, 孟仟祥, 等. 吐哈盆地

- 烃源岩研究进展与低演化油气的形成. 天然气地球科学, 2008, 19(6): 754-760.]
- [3] Yi Duan. Geochemical characteristics of crude oil in fluvial deposits from Maling Oilfield of Ordos Basin, China[J]. Organic Geochemistry, 2012, 52: 35-43.
- [4] Duan Yi, Wu Baoxiang, Zhang Hui, *et al.* Geochemistry and genesis of crude oils of the Xifeng Oilfield in the Ordos Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(2): 301-310. [段毅, 吴保祥, 张辉, 等. 鄂尔多斯盆地西峰油田原油地球化学特征及其成因[J]. 地质学报, 2006, 80(2): 301-310.]
- [5] Xu Li, Duan Yi, Xing Lantian, *et al.* Geochemical characteristics of crude oil from Linzhen area in the Ordos Basin, China [J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(2): 406-413. [徐丽, 段毅, 邢蓝田, 等. 鄂尔多斯盆地林镇地区原油地球化学特征[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(2): 406-413.]
- [6] Bao Jianping, Liu Yurui, Zhu Cuishan, *et al.* The geochemical properties of natural gas and crude oil from Xuwen X1 well, Maicheng Sag, Beibuwan Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(3): 300-304. [包建平, 刘玉瑞, 朱翠山, 等. 北部湾盆地迈陈凹陷徐闻 X1 井油气地球化学特征[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(3): 300-304.]
- [7] Tian Jinqiang, Zou Huayao, Zhou Xinhui, *et al.* Biomarker characteristics of source rocks and oil-source correlation in Li-aodong Bay [J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2011, 35(4): 53-58. [田金强, 邹华耀, 周心怀, 等. 辽东湾地区烃源岩生物标志物特征与油源对比[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2011, 35(4): 53-58.]
- [8] Shen Zhongmin, Yin Dabin, Liu Sibing, *et al.* Biomarker characteristics of gas source rocks from Baoshan Basin, Yunnan, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2011, 38(1): 1-6. [沈忠民, 印大彬, 刘四兵, 等. 云南保山盆地生物气源岩生物标志化合物特征[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2011, 38(1): 1-6.]
- [9] Xiao Fei, Bao Jianping, Zhu Cuishan, *et al.* Comparison of the geochemical characteristics of crude oils from typical oilfields in western Qaidam Basin [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2012, 34(4): 43-52. [肖飞, 包建平, 朱翠山, 等. 柴达木盆地西部典型油田原油地球化学特征对比[J]. 地球科学与环境学报, 2012, 34(4): 43-52.]
- [10] Li Jianming, Shi Lingling, Wang Hua, *et al.* Study on geochemical characteristics of crude oil from Qigequan Oilfields in Southwestern Qaidam Basin [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011, 33(1): 17-20, 52. [李建明, 史玲玲, 王华, 等. 柴西南七个泉油田原油地球化学特征研究[J]. 石油天然气学报, 2011, 33(1): 17-20, 52.]
- [11] Lou Guoquan, Bao Jianping, Zhu Cuishan. Geochemical characteristics of light hydrocarbons in crude oils from No. 1 area of central Junggar Basins [J]. Natural Gas Geoscience, 2012, 23(3): 550-555. [娄国泉, 包建平, 朱翠山. 准噶尔盆地中部 1 区块原油轻烃地球化学特征[J]. 天然气地球科学, 2012, 23(3): 550-555.]
- [12] Duan Chuanli, Chen Jianfa. Geochemical characteristics of biodegraded crude oil and their significances [J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18(2): 278-283. [段传丽, 陈践发. 生物降解原油的地球化学特征及其意义[J]. 天然气地球科学, 2007, 18(2): 278-283.]
- [13] Shi Yang, Bao Jianping, Zhu Cuishan, *et al.* Comparative study on geochemistry between crude oils from Qigequan and Xianshuiquan Oilfields in western Qaidam Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(1): 132-138. [施洋, 包建平, 朱翠山, 等. 柴达木盆地西部七个泉与咸水泉油田原油地球化学特征对比研究[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(1): 132-138.]
- [14] Venkat esan M I. Tetrahymanol: Its widespread occurrence and geochemical significance [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1989, 53: 3095-3101.
- [15] Bray E E, Evans E D. Distribution of n-paraffins as a clue to recognition of source beds [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1961, 22(1): 2-15.
- [16] Scalan E S, Smith J E. An improved measure of the odd-even predominance in the normal alkanes of sediment extracts and petroleum original research article [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1970, 34(5): 611-620.
- [17] Chen Shijia, Wang Yandong, Huang Qingde, *et al.* "Inversion" of the maturation index of C₂₉ steranes and its geological implications [J]. Natural Gas Geoscience, 1997, 8(1): 28-30. [陈世家, 王延栋, 黄清德, 等. C₂₉ 甾烷成熟度指标“倒转”及其地质意义[J]. 天然气地球科学, 1997, 8(1): 28-30.]
- [18] Seifert W K, Moldowan J M. Paleoreconstruction by biological markers [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1981, 45(6): 783-794.
- [19] Huang Difan, Li Jinchao. The maturation series of tertiary crude oil from Qaidam Basin and its significance in forecasting petroleum resources [J]. Acta petrolei sinica, 1989, 10(3): 1-11. [黄第藩, 李晋超. 柴达木盆地第三系原油的熟化序列及其在石油资源预测中的重要意义[J]. 石油学报, 1989, 10(3): 1-11.]
- [20] Zhang Xiaoli, Duan Yi, He Jinxian, *et al.* Geochemical characteristics of crude oil in Lower part of Yanchang Formation and correlation of oil source in Huaqing area of Ordos Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2011, 22(5): 866-873. [张晓丽, 段毅, 何金先, 等. 鄂尔多斯盆地华庆地区延长组下油层组原油地球化学特征及油源对比[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(5): 866-873.]
- [21] Gong Shuhua, Zhou Shixin, Li Jing, *et al.* Comparisons of geochemical characteristics of Carboniferous and Permian main source rocks in Junggar Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(5): 1005-1015. [巩书华, 周世新, 李靖, 等. 准噶尔盆地石炭系与二叠系主力烃源岩地球化学特征对比研究[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(5): 1005-1015.]
- [22] Gao Yuqiao, Ou Guangxi, Tan Shouqiang, *et al.* Research in the change times and stages of oil and gas reservoir in lower Es1 of Baishuitou structure at west slope in Qikou Depression [J]. Acta Petrologica Sinica, 2003, 19(2): 359-345. [高玉巧, 欧光习, 谭守强, 等. 歧口凹陷西坡白水头构造沙一段下部油气成藏期次研究[J]. 岩石学报, 2003, 19(2): 359-345.]

- [23] Li Zhaoji, 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. [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.]
- [24] Dumke I, Teschner M. Application of fluorescence spectroscopy to geochemical correlation problems[J]. Organic Geochemical, 1988, 13(4-6): 1067-1072.
- [25] Kihle J. Adaptation of fluorescence excitation-emission microspectroscopy for characterization of single hydrocarbon fluid inclusions[J]. Organic Geochemistry, 1995, 23(11/12): 1029-1042.
- [25] Liu Zhenghua, Chen Honghan. Hydrocarbon charging orders and times in the eastern area of Qiongdongnan Basin[J]. Geoscience, 2011, 25(2): 279-288. [刘正华, 陈红汉. 琼东南盆地东部地区油气形成期次和时期[J]. 现代地质, 2011, 25(2): 279-288.]
- [27] Ma Maoyan, Yao Duoxi. Application of fluid inclusion to determination of times and stages of hydrocarbon accumulation history: A case study of Yingnan-2 Oilfield in the Tarim Basin [J]. Journal of Anhui University of Science and Technology: Edition of Natural Science, 2004, 24(4): 1-5. [马茂艳, 姚多喜. 利用流体包裹体研究油气成藏期次——以塔里木盆地英南2井为例[J]. 安徽理工大学学报: 自然科学版, 2004, 24(4): 1-5.]
- [28] Cui Junping, Zhong Gaorun, Ren Zhanli. Formation stages of oil-gas reservoirs in Hailaer Basin, Inner Mongolia[J]. Geoscience, 2012, 26(4): 801-807. [崔军平, 钟高润, 任战利. 内蒙古海拉尔盆地油气成藏期次分析[J]. 现代地质, 2012, 26(4): 801-807.]

Biomarker Characteristics and Oil Accumulation Period of Well Sutan 1 in the Tarim Basin

SUN Min-zhuo¹, ZHANG Peng², ZHOU Li², LIU Hai-zhen², LI Guo-yan², CHEN Jian-zhou³,
TAN He-yong⁴, FANG Xuan¹, WANG Guo-cang¹

(1. Key Laboratory of Petroleum Resources, Gansu Province/Key Laboratory of Petroleum Resources Research, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

2. PetroChina Qinhai Oilfield Research Institute of Exploration & Development, Dunhuang 736202, China;

3. The Fourth Institute Geological and Mineral Survey of Qinghai, Xining 810029, China;

4. Henan Institute of Geological Survey, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: According to some geological and geochemical data of well Sutan 1 of depth from 2 536.5m to 2 697.0m, including the homogenization temperature of fluid inclusion and the geochemical characteristics of crude oil, the hydrocarbon accumulation history of the studied region was analyzed. The result shows that the crude oil has the properties of high evolution degree with well Sutan 1. The precursor type is mainly high terrestrial plants. Among them three crude oils from depth of 2 620.67m, 3 640.57m and 2 697m have been charged with crude oil with aquatic organism. And the crude oil has deposited in weak oxidizing to oxidizing environment with fresh to slight saline water, which is better for preservation and transformation of organics. The characteristics of fluid inclusion with well Sutan 1 show that there are at least three times of filling of oil and one time of filling of gas. And two periods of petroleum accumulation existed in the crude oil of well Sutan 1. The reservoir forming time of the first charge with oil is about 142Ma. The reservoir forming time of the second charge with oil is about 107Ma, which is tectonic inversion of the Yanshanian orogenic movement in Late-Early Cretaceous.

Key words: Tarim Basin; Well Sutan 1; Biomarkers; Inclusion