

塔里木盆地三道桥地区油气成藏特征

韩强,李宗杰,杨子川,闫亮,石媛媛,苏娟

(中国石化西北油田分公司勘探开发研究院,新疆乌鲁木齐830011)

摘要:为明确塔里木盆地沙雅隆起北部雅克拉断凸西段三道桥地区的油气成藏特征,综合前人研究成果,对研究区新获油气井的原油物性、甾萜烷生物标志化合物等原油地球化学及流体包裹体特征进行对比分析。结果表明,三道桥地区为南、北2个油气生烃灶的有利运移指向区,其海、陆相原油的主成藏期均为喜马拉雅期。海、陆相油气在平面上的分布差异受控于研究区前中生界的地质结构,以前中生界断凸屋脊核部为界;断凸脊部以南桥古1井和桥古102井的原油具有相对低蜡、高硫特征,色谱—质谱分析结果表明,其 C_{19} — C_{21} 三环萜烷丰度相对较高,以 C_{23} 三环萜烷为主峰,富含硫芴,形成于还原环境,为海相原油特征;断凸脊部及其以北的桥古3井和沙53井原油则相反,表现为陆相原油特征。

关键词:油气成藏 原油地球化学特征 流体包裹体 三道桥地区 雅克拉断凸 塔里木盆地

中图分类号:TE111.2

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2015)06-0014-07

Characteristics of hydrocarbon accumulation in the Sandaoqiao area of Tarim Basin

Han Qiang, Li Zongjie, Yang Zichuan, Yan Liang, Shi Yuanyuan, Su Juan

(Research Institute of Exploration and Development of Northwest Branch, SINOPEC, Urumq, Xinjiang, 830011, China)

Abstract: In order to ascertain the hydrocarbon accumulation characteristics in the Sandaoqiao area of the western Yakela faulted uplift in northern Tarim Basin, based on previous achievement, the oil geochemistry features such as physical property of crude oil, steranes and terpanes biomarkers and the fluid inclusions obtained from new wells drilled in the study area have been comparatively analyzed. The results show that there are respectively continental and marine hydrocarbon sources in this area where hydrocarbons are likely to migrate into. And the main periods when the continental and the marine hydrocarbon were generated are both in Himalaya period in this area. The different distributions of these oil and gas are controlled by the pre-Mesozoic geological structure. The boundary of the continental and marine oil is in the convex ridge of the Pre-Mesozoic anticline. The physical properties and geochemical characteristics of crude oil from Well Qiaogu1 and Qiaogu102 in the south convex-ridge are relatively low wax and high sulfur. GC-MS analysis results suggest that the C_{19} - C_{21} tricyclic terpane is relatively high with C_{23} as the main peak of tricyclic terpane and the oil is also rich in sulphur fluorine. These physical properties and geochemical characteristics of crude oil from Well Qiaogu1 and Qiaogu102 show that it came from the marine hydrocarbon source of the southern carbonate. On the contrary, the physical and geochemical features of the crude oil obtained from Well Qiaogu3 and Well Sha53 drilled at the north of the area are different which indicate continental sourced crude oil.

Key words: hydrocarbon accumulation; crude oil geochemical feature; fluid inclusion; Sandaoqiao area; Yakela faulted uplift; Tarim Basin

三道桥地区位于新疆塔里木盆地沙雅隆起北部雅克拉断凸西段。其北邻库车坳陷,南为哈拉哈

收稿日期:2015-09-10。

作者简介:韩强(1980—),男,陕西蓝田人,高级工程师,硕士,从事石油地质研究。联系电话:18999831369, E-mail:hanqiang105289562@qq.com。

基金项目:国家科技重大专项“塔里木海相碳酸盐岩优质储层地球物理预测技术及应用”(2011ZX05005-002-001),中国石化先导项目“天山南地区圈闭目标落实与关键技术研究”(2010KTXD03)。

塘凹陷,周围已发现雅克拉、牙哈及英买等油气田(藏)。前人研究表明,三道桥地区东南部的雅克拉气田、东河塘油田表现为海相油气特征,东北部的牙哈气田、西南部的英买油气田以及研究区沙53井的原油均表现为陆相油气特征^[1-2]。三道桥地区是南部海相、北部陆相油气运移的有利指向区,自2010年加快油气勘探进展,已有桥古1、桥古102和桥古3等井钻获工业油气流。为进一步明确三道桥地区的油气成因,确定海、陆相油藏的分布规律,选取研究区新钻探井的原油样品,进行原油地球化学及流体包裹体等特征研究,以期对研究区的油气勘探开发决策提供依据。

1 地质概况

雅克拉断凸为南、北受大断裂夹持的继承性断块凸起,北部边界大致为三道桥断裂,东南部边界为轮台断裂。历经多期构造运动的叠加改造,其古生界已被大幅剥蚀;缺失中上奥陶统一二叠系,三叠系—侏罗系分布于雅克拉断凸西南部及轮台断裂以南的局部地区,大部分地区的白垩系直接覆盖于下奥陶统一前震旦系之上,至古近纪转变为北侧库车坳陷的南斜坡^[3-5]。

三维地震资料解释结果显示,三道桥地区前中生界潜山的现今构造面貌为呈北东向展布的古生界残余古隆起,其构造高部位缺失碳酸盐岩地层,出露前震旦系基岩。三道桥断裂以北的沙84井区发育震旦系—寒武系,东南部桥古1井南断裂以南发育震旦系—石炭系。从北至南依次发育三道桥、齐满、托乎拉3条北东向断裂,与断裂相伴生的断背斜为研究区的主要勘探对象(图1)。目前研究区已

发现的潜山油气藏依据岩性可分为2类,一类是前震旦系浅变质花岗岩裂缝油气藏,如桥古3井和沙53井钻遇的油气藏,其产量较低、稳产难度较大;另一类为前震旦青白口系浅变质碳酸盐岩油气藏,如桥古1井、桥古101井和桥古102井钻遇的油气藏,是研究区增储上产的主要目标。此外,在潜山之上发育中—新生界披覆低幅度构造油气藏,如桥古102井白垩系巴西盖组砂岩油气藏。研究区以凝析油气为主,桥古1井的原始气油比为 $2\ 663\ \text{m}^3/\text{m}^3$ 。

2 油气成藏特征

2.1 原油地球化学特征

2.1.1 原油物性

三道桥地区桥古1井、桥古102井和桥古3井均为轻质原油,其地面原油密度为 $0.80\sim 0.83\ \text{g}/\text{cm}^3$,具有低凝固点($-24\sim -16\ ^\circ\text{C}$)、低粘度($2.21\sim 11.4\ \text{mPa}\cdot\text{s}$)的特点。相比之下,南部桥古1和桥古102井的原油蜡含量较低($3.09\%\sim 6.86\%$),硫含量较高($0.18\%\sim 0.26\%$);北部桥古3井的蜡含量较高(27.49%),硫含量低(0.05%),原油物性存在差异。

2.1.2 链烷烃组成

三道桥地区桥古1井和桥古102井的原油饱和烃的碳数为 $n\text{C}_7\text{—}n\text{C}_{38}$,主峰碳为 $n\text{C}_{10}\text{—}n\text{C}_{13}$,原油奇偶优势 OEP 指数接近于1,原油奇偶优势不明显;其原油的油质较轻, $n\text{C}_{21}/n\text{C}_{22}$ 值为 $4.39\sim 4.85$,与雅克拉气田(雅开11井、雅开12井和雅开13井)的原油相比,以低碳数正构烷烃占优势。桥古3井原油烷烃的碳数为 $n\text{C}_{11}\text{—}n\text{C}_{39}$,主峰碳以 $n\text{C}_{15}$ 为主,原油奇偶优势 OEP 指数接近于1,原油奇偶优势不明显, $n\text{C}_{21}/n\text{C}_{22}$ 值为1.52(表1)。

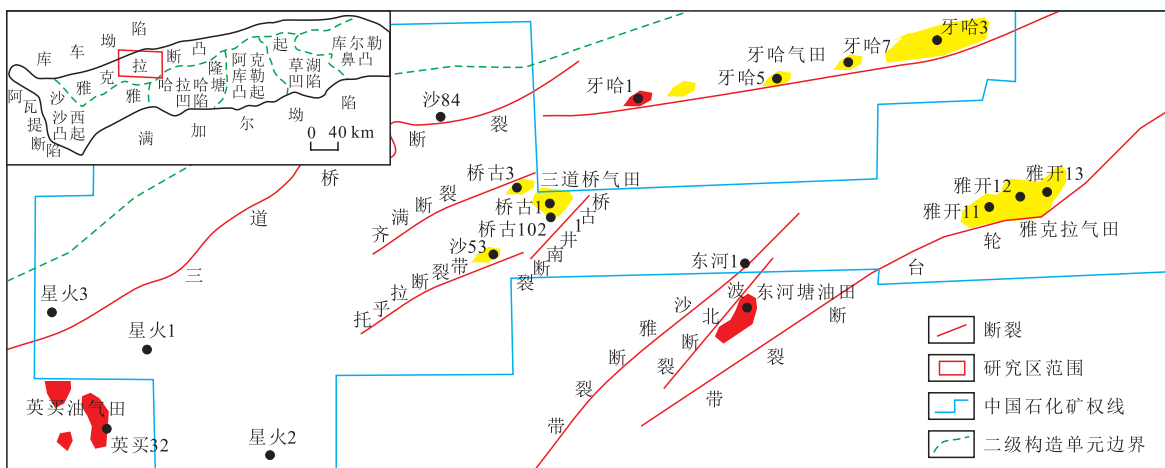


图1 三道桥地区构造位置及油气藏分布

Fig.1 Location of the Sandaoqiao structure and hydrocarbon reservoirs distribution

表1 三道桥地区及邻区原油正构烷烃和类异戊二烯参数统计
Table 1 Molecular parameters of *n*-alkanes and isoprenoids in the Sandaoqiao area and its adjacent areas of northwestern Tarim Basin

油气田	井号	层位	埋深/m	碳数	主峰碳	OEP	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈	Pr/Ph	nC ₂₁ /nC ₂₂
三道桥 油田	桥古1	前震旦	5 730 ~ 5 800	nC ₇ —nC ₃₈	C ₁₀	1.027	0.213	0.258	0.961	4.39
		青白口系								
	桥古102	白垩系 巴西盖组	5 546 ~ 5 550	nC ₉ —nC ₃₆	C ₁₃	1.021	0.286	0.194	1.643	4.85
雅克拉 气田	桥古3	前震旦系	5 897 ~ 5 925	nC ₁₁ —nC ₃₉	C ₁₅	1.021	0.155	0.077	2.059	1.52
	沙53	前震旦系	5 679 ~ 5 710				0.34	0.2	1.89	
	雅开11	震旦系奇格 布拉克组	5 415 ~ 5 431	nC ₁₃ —nC ₃₆	C ₁₇	1.023	0.334	0.446	0.874	2.417
	雅开12	奥陶系	5 361 ~ 5 376	nC ₁₃ —nC ₃₅	C ₁₆	1.01	0.331	0.428	0.91	2.757
	雅开13	上寒武统 丘里塔格群	5 406 ~ 5 417	nC ₁₃ —nC ₃₅	C ₁₅	1.104	0.329	0.419	1.036	4.74
英买 油气田	英买32	下寒武统	5 407 ~ 5 412	nC ₁₃ —nC ₃₆	C ₁₇	1.013	0.162	0.093	1.844	1.922
	英买35	志留系	5 632 ~ 5 638	nC ₁₃ —nC ₃₇	C ₁₇	1.012	0.191	0.109	1.893	1.584

原油中 Pr/Ph, Pr/nC₁₇ 和 Ph/nC₁₈ 与其母质类型、形成环境和成熟度相关^[6]。研究区桥古1井和桥古102井的原油具有明显的高 Pr/nC₁₇ 值、高 Ph/nC₁₈ 值和低 Pr/Ph 值特征,与雅克拉气田的雅开11、雅开12和雅开13井的原油比值接近,表明其生烃母质形成于海相还原环境,母质类型为腐泥型^[7]。而桥古3井的原油则表现为低 Pr/nC₁₇ 值、低 Ph/nC₁₈ 值以及相对较高 Pr/Ph 值的姥鲛烷优势特征,与英买32井和英买35井的原油生烃母质来源相似,表明其形成于陆相弱氧化环境,母质类型为腐植型^[8](表1)。

2.1.3 甾萜烷组成

三环萜烷的分布特征已成为塔里木盆地原油对比的重要指标之一^[9]。研究区桥古1井和桥古102井原油的 C₁₉—C₂₁ 三环萜烷丰度相对较高,以 C₂₃ 为主峰, C₂₁ 三环萜烷/C₂₃ 三环萜烷比值分别为 0.73

和 0.79,与雅克拉气田海相原油相似。桥古3井三环萜烷以 C₂₁ 为主峰, C₂₁ 三环萜烷/C₂₃ 三环萜烷比值为 1.06(图2),表现为陆相原油特征。C₂₄ 四环萜烷主要由藿烷或藿烷前驱物中的五员环 E 环受热作用或生物降解作用断裂所形成,一般在陆相原油中的丰度相对较高^[10],桥古3井原油的 C₂₄ 四环萜烷/(C₂₄ 四环萜烷+C₂₆ 三环萜烷)值为 0.61,与英买油气田英买32和英买35等井的陆相原油相近,均大于 0.5,而桥古1井和桥古102井原油的 C₂₄ 四环萜烷/(C₂₄ 四环萜烷+C₂₆ 三环萜烷)值分别为 0.27 和 0.35,均小于 0.5,与雅克拉气田海相原油的比值接近。

一般认为规则甾烷来源于浮游生物,原油中 C₂₇, C₂₈ 和 C₂₉ 规则甾烷的相对含量反映原油的生烃母质类型;陆源高等植物有机质具有较高的 C₂₉ 规则甾烷,而低等水生生物有机质 C₂₇ 规则甾烷的含量较

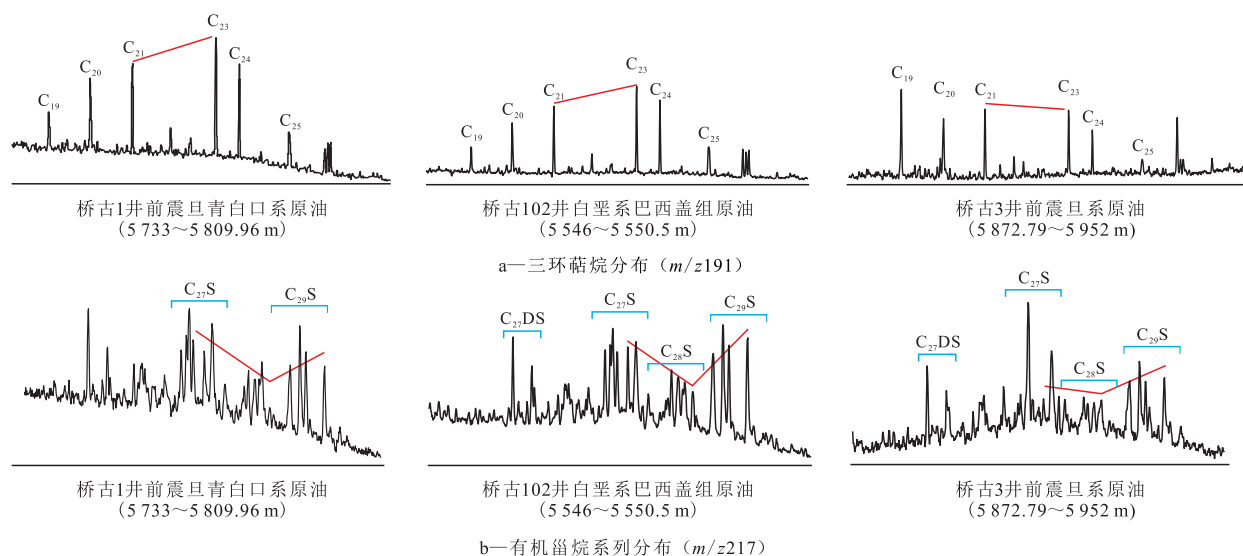


图2 三道桥地区凝析气田原油质量色谱

Fig.2 Mass chromatography of crude oil in the Sandaoqiao condensate gas reservoir

高^[11-12]。桥古1、桥古102和桥古3井原油中的C₂₇—C₂₉规则甾烷系列的丰度均呈“V”字型分布,其中桥古1井和桥古102井原油的C₂₇规则甾烷相对含量高于C₂₈规则甾烷相对含量,而C₂₈规则甾烷相对含量远低于C₂₉规则甾烷相对含量,C₂₈规则甾烷的相对含量分别为6.02%和15.46%;而桥古3井原油的C₂₇规则甾烷相对含量高于C₂₈规则甾烷相对含量,C₂₈规则甾烷相对含量低于C₂₉规则甾烷相对含量,C₂₈规则甾烷的相对含量为7.19%(图2)。

2.1.4 三芴系列组成

三芴系列化合物(芴、氧芴和硫芴)通常用来反映原油生烃母质的原始沉积环境,在陆相弱氧化和弱还原环境中氧芴的含量较高,在正常还原环境中芴系列较为丰富,在海相强还原环境中则以硫芴占优势^[13]。桥古1井和桥古102井原油与雅克拉气田相似,富含硫芴系列,其相对含量为60%~82%,约为英买33井和大涝坝气田等原油硫芴含量的4倍,表现为还原—强还原沉积环境特征。桥古3井氧芴含量为22%,与英买33井和大涝坝气田(沙45井)的原油相当,反映其生烃母质沉积环境为弱氧化—弱还原条件。

2.2 流体包裹体特征

流体包裹体可以记录烃类流体的活动历史,反映油气来源、成份及含油气饱和度等,已被广泛应

用于油气成藏规律研究^[14-15]。对三道桥地区桥古1井前震旦青白口系碳酸盐岩取样品4个、白垩系巴西盖组砂岩储层取样品2个进行流体包裹体特征分析。

2.2.1 流体包裹体显微特征

在研究区桥古1井的碳酸盐岩和碎屑岩储层中见到大量油包裹体和盐水流体包裹体。荧光显微镜下显示,流体包裹体中石油(液烃)的颜色呈淡黄色(图3a,图3b),反映其有机质成熟度较高。在碳酸盐岩储层中,宿主矿物主要为沿裂缝充填的石英、白云石及结晶白云岩,包裹体形态主要为椭圆形、方形、条形和不规则状,以椭圆形和条形为主;其包裹体一般较小,直径为3~7 μm(图3c,图3d)。白垩系碎屑岩储层中的流体包裹体多赋存于石英颗粒的裂纹(内裂纹和穿石英颗粒裂纹)中,直径为2~4 μm(图3e,图3f)。研究区碳酸盐岩及碎屑岩中烃类的颜色、类型和成份差异不明显,说明为同源充注,而大小和形态的差异则与储集空间有关。

2.2.2 流体包裹体均一温度特征

选取与桥古1井有机包裹体同期的盐水包裹体进行均一温度测定,结果显示桥古1井前中生界碳酸盐岩从102~166.5℃均有烃类活动,说明其油气成藏为均一连续过程;且均一温度的分布表现出明

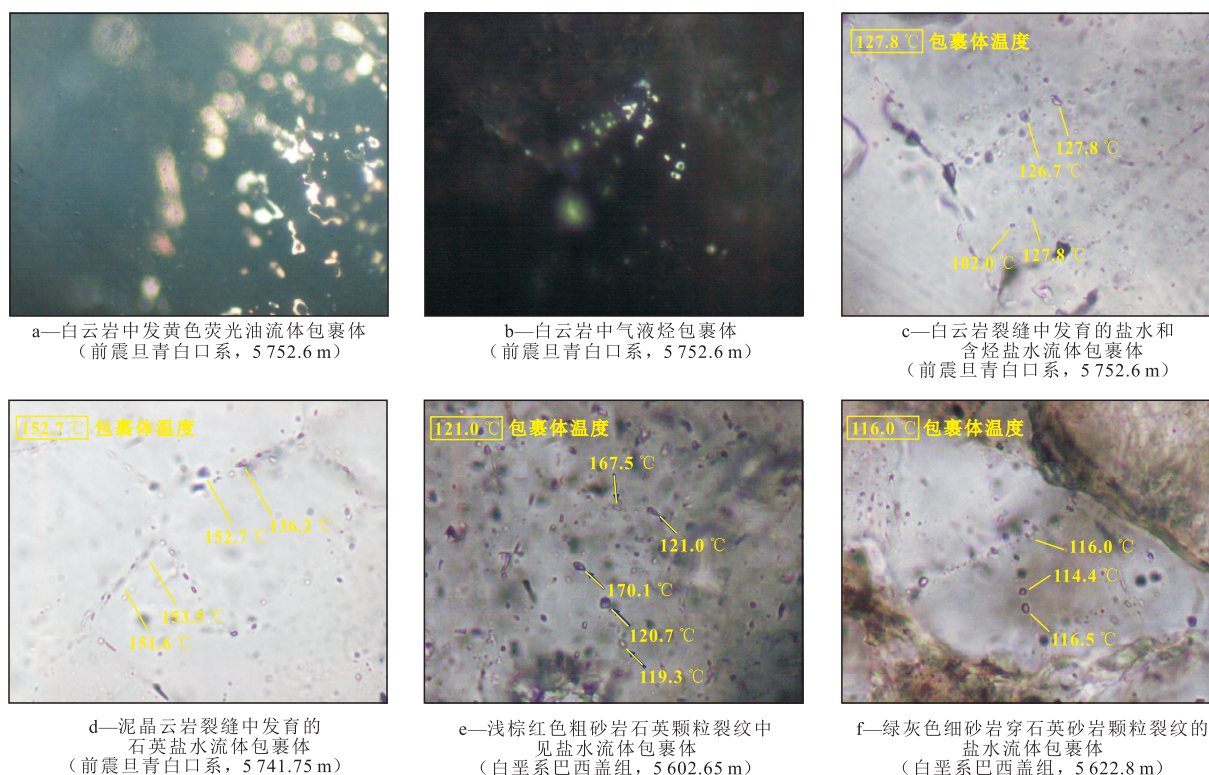


图3 三道桥地区桥古1井流体包裹体显微特征

Fig.3 Micrographs of fluid inclusions of Well Qiaogu1 in Sandaoqiao area of northwestern Tarim Basin

显的三峰分布特征,第1峰值为115~125℃,第2峰值为130~140℃,第3峰值为150~155℃,而其白垩系砂岩仅存在115~125℃这1个温度峰值。虽然桥古1井与沙53井、英买油气田及大涝坝气田等的油气来源不同,但其油气均一温度峰值是可对比的,且均一温度峰值基本一致^[16]。

2.3 油气成藏期次划分

将与油气包裹体同期的盐水流体包裹体的均一温度作为捕获时的最小古温度,综合恢复单井埋藏史和热演化史,将均一温度在埋藏史(热)图上投影来确定油气成藏期次^[16]。

三道桥地区桥古1井区潜山的岩性特征、锆石U-Pb定年结果大致相当于库鲁克塔格地区的青白口系帕尔岗塔格群,是沙雅隆起北部古老的基底之一。在加里东早期,研究区曾发生构造沉降,从加里东中期形成锥形至白垩纪舒善河组沉积之前均处于长期隆起状态。海西期之前,三道桥地区以南

的海相烃源岩已达到成熟期^[17],研究区是主要的有利油气运移指向区;虽然油气运移至此,但由于缺乏盖层而直接暴露地表,导致该期油气藏遭受破坏;因此研究区钻井及邻区的沙84、沙11、沙13和星火1等井前中生界碳酸盐岩中普遍见沥青和采出重质原油,但均未获得工业油气流^[18]。燕山晚期—喜马拉雅期,研究区中—新生界迅速沉降并接受巨厚沉积,为潜山提供了盖层,并形成多套碎屑岩储盖组合;南部拗陷区的寒武系—奥陶系海相烃源岩进入距今最近一次的高熟油气排烃高峰,库车凹陷三叠系—侏罗系陆相烃源岩也进入高成熟期^[19],因此三道桥地区为南、北2个含油气系统的有利油气运移指向区(图4)。

综合地层埋藏演化史认为,研究区油气主成藏期为喜马拉雅中—晚期。桥古1井与烃类伴生的含烃盐水包裹体均一温度为102~166.5℃,根据峰温可将喜马拉雅期细分为3个幕次。其中,第I幕的

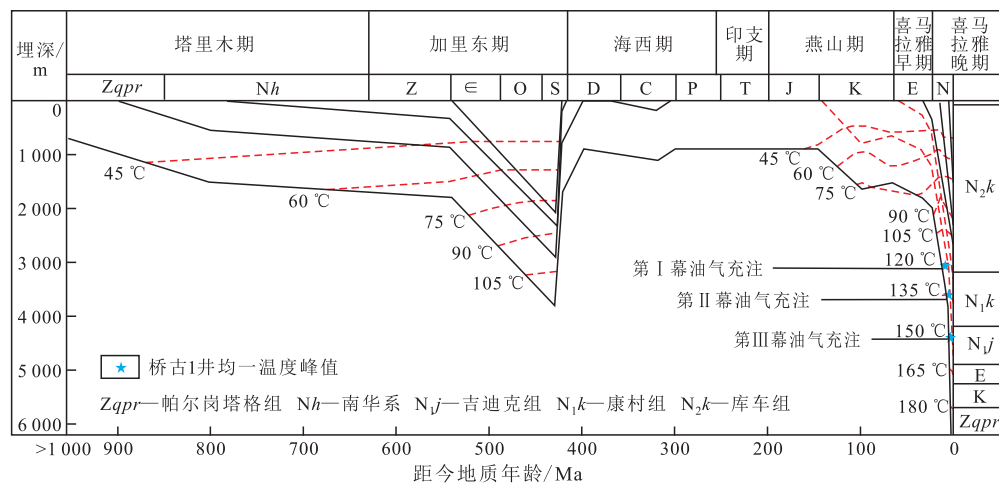


图4 三道桥地区桥古1井埋藏史特征及均一温度投影

Fig.4 Projection map of burial history and homogenization temperature of Well Qiaogu 1 in Sandaoqiao area

流体包裹体均一温度主要为115~125℃,油气注入时间为吉迪克组沉积晚期—康村组沉积中期(距今19~13 Ma);第II幕的流体包裹体均一温度主要为130~140℃,油气注入时间为康村组沉积末期—库车组沉积早期(距今12~6.5 Ma);第III幕的流体包裹体均一温度主要为150~155℃,油气注入时间为库车组沉积晚期—第四纪西域组沉积时期(距今4~1 Ma)。

3 油气成藏模式

三道桥地区已发现气藏的成藏期较晚,为喜马拉雅期,因此现今地质结构可近似代表其成藏期的地质格局。从研究区东南部的东河1井区至桥古1

井区,震旦系—石炭系被剥蚀殆尽,三叠系—侏罗系超覆尖灭,形成研究区最重要的不整合面,即前中生界侵蚀面;其油气藏的分布与前中生界侵蚀面的分布密切相关,侵蚀面上、下的油气显示活跃,为南、北2个烃源灶油气运移的主要通道,且侵蚀面上部覆盖的白垩系舒善河组泥岩为油气保存提供了良好的盖层条件。研究区凝析气藏的海、陆成因分布差异受控于前中生界地质结构,以前中生界断凸屋脊核部为界,大致在桥古3井附近,以北包括脊部的桥古3井和沙53井均为陆相油气系统,以南的桥古1井区为海相油气系统(图5)。中—新生界油气成藏受控于张性正断层,例如桥古102井巴西盖组油气与潜山油气的地化指标一致,即是由于正断层起到了沟通气源的作用。

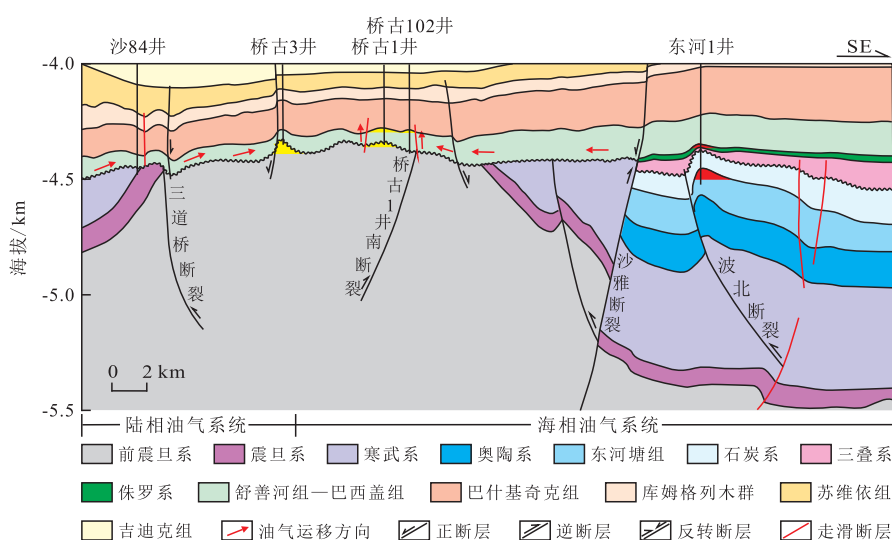


图5 雅克拉断凸西段油气成藏模式

Fig.5 Hydrocarbon accumulation mode in west of the Yakela faulted uplift area

4 结论

三道桥地区桥古1、桥古102和桥古3井的原油物性、甾萜烷生物标志化合物等地化特征均存在明显差异。桥古1和桥古102井的原油具有相对低蜡、高硫的特征, Pr/Ph 值相对较低, C_{19} — C_{21} 三环萜烷丰度相对较高, 以 C_{23} 为主峰, 富含硫芴, Pr/ nC_{17} 和 Ph/ nC_{18} 相关图反映其形成于还原环境, 为海相原油特征。桥古3井的原油则相反, 呈现陆相原油特征。研究区海、陆相油气的分布差异受控于前中生界地质结构, 以前中生界断凸屋脊核部为界, 以南为海相系统, 断凸脊部及其以北为陆相系统。流体包裹体分析结果表明, 桥古1井区与沙53井等陆相原油的油气成藏期一致, 主成藏期均为喜马拉雅期, 可分为3个幕次。研究区潜山的储层发育条件控制潜山油藏的油气富集程度, 中—新生界碎屑岩油气藏的分布则与张性断裂有关, 张性正断层的发育具有沟通气源的作用。

致谢: 在课题研究和论文撰写过程中, 中国石化无锡地质研究所贾存善、路清华等给予了指导和帮助, 特此感谢!

参考文献:

[1] 梁狄刚, 顾乔元, 皮学军. 塔里木盆地塔北隆起凝析气藏的分布规律[J]. 天然气工业, 1998, 18(3): 5-9.
Liang Digang, Gu Qiaoyuan, Pi Xuejun. Distribution law of the condensate gas reservoirs in Tabei uplift [J]. Natural Gas Industry, 1998, 18(3): 5-9.

[2] 李素梅, 庞雄奇, 杨海军, 等. 塔里木盆地英买力地区原油地球化学特征与族群划分[J]. 现代地质, 2010, 24(4): 643-653.
Li Sumei, Pang Xiongqi, Yang Haijun, et al. Geochemical characteristics and families of the crude oils in the Yingmaili oilfield, Tarim basin [J]. Geoscience, 2010, 24(4): 643-653.

[3] 李丕龙, 冯建辉, 樊太亮, 等. 塔里木盆地构造沉积与成藏[M]. 北京: 地质出版社, 2010: 159-163.
Li Pilong, Feng Jianhui, Fan Tailiang, et al. Structural-depositional feature and oil-gas reservoir formation of Tarim Basin [J]. Beijing: Geologic Press, 2010: 159-163.

[4] 黄玉平, 姜正龙, 李景瑞, 等. 塔里木盆地新构造运动时期构造应力方向[J]. 油气地质与采收率, 2013, 20(3): 5-9, 17.
Huang Yuping, Jiang Zhenglong, Li Jingrui, et al. Analysis of tectonic stress direction of Tarim basin during neotectonic period [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(3): 5-9, 17.

[5] 金燕林, 秦飞, 姚田万. 塔里木盆地雅克拉断凸下侏罗统沉积特征[J]. 油气地质与采收率, 2013, 20(3): 37-40, 45.
Jin Yanlin, Qin Fei, Yao Tianwan. Analysis on sedimentary characteristics of lower Jurassic in Yakela fault arch, Shaya uplift of Tarim basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(3): 37-40, 45.

[6] 高波, 刘文汇, 张殿伟, 等. 雅克拉凝析气田油气地球化学特征[J]. 海相油气地质, 2008, 13(3): 49-54.
Gao Bo, Liu Wenhui, Zhang Dianwei, et al. Geochemical characteristics of hydrocarbon in Yakela gas condensate field basin [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2008, 13(3): 49-54.

[7] 刘星旺, 张保涛, 祁才吉, 等. 塔里木盆地哈拉哈塘地区油气藏特征及主控因素——以哈11井区为例[J]. 油气地质与采收率, 2014, 21(3): 24-27.
Liu Xingwang, Zhang Baotao, Qi Caiji, et al. Analysis on reservoir characteristics and main controlling factors in Halahatang area, Tarim Basin; a case study of Ha11 well block [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(3): 24-27.

[8] 顾忆, 邵志兵, 陈强路, 等. 塔河油田油气运移与聚集规律[J].

- 石油实验地质, 2007, 29(3): 224-230.
- Gu Yi, Shao Zhibing, Chen Qianglu, et al. Oil migration and accumulation pattern in the Tahe oilfield [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2007, 29(3): 224-230.
- [9] 段毅, 于文修, 郑朝阳, 等. 塔里木盆地塔河原油与源岩对比研究 [J]. *沉积学报*, 2009, 27(1): 164-171.
- Duan Yi, Yu Wenxiu, Zheng Zhaoyang, et al. Study of oil-source correlation for Tahe oilfield of Tarim basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(1): 164-171.
- [10] 任英姿. 车排子凸起新近系沙湾组原油轻烃地球化学特征及油源分析 [J]. *油气地质与采收率*, 2014, 21(3): 10-14.
- Ren Yingzi. Geochemical characteristic of light hydrocarbon in crude oil, Shawan formation of Chepaizi uplift [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2014, 21(3): 10-14.
- [11] 张海玥, 侯读杰. 油气成藏理论的研究进展及思考 [J]. *特种油气藏*, 2014, 21(2): 1-7.
- Zhang Haiyue, Hou Dujie. The progress and consideration in hydrocarbon accumulation theory [J]. *Special Oil & Gas Reservoir*, 2014, 21(2): 1-7.
- [12] 孟凡巍, 周传明, 燕夔, 等. 通过 C_{27}/C_{29} 甾烷和有机碳同位素来判断早古生代和前寒武纪的烃源岩的生物来源 [J]. *微体古生物学报*, 2006, 23(1): 51-56.
- Meng Fanwei, Zhou Chuanming, Yan Kui, et al. Biological origin of early Palaeozoic and Precambrian hydrocarbon source rocks based on C_{27}/C_{29} sterane ratio and organic carbon isotope [J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 2006, 23(1): 51-56.
- [13] 边立曾, 张水昌, 梁狄刚, 等. 塔里木盆地晚奥陶世海藻果实状化石及塔中油田生物母质特征 [J]. *微体古生物学报*, 2003, 20(1): 89-96.
- Bian Lizeng, Zhang Shuichang, Liang Digang, et al. Fruit-like fossils of ancient seaweeds from late Ordovician, central area of the Tarim Basin and the characters of bioprecursors of Tazhong oil and gas field [J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 2003, 20(1): 89-96.
- [14] 张海玥, 侯读杰. 油气成藏理论的研究进展及思考 [J]. *特种油气藏*, 2014, 21(2): 1-7.
- Zhang Haiyue, Hou Dujie. The progress and consideration in hydrocarbon accumulation theory [J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2014, 21(2): 1-7.
- [15] 饶丹, 秦建中, 许锦, 等. 塔河油田奥陶系油藏成藏期次研究 [J]. *石油实验地质*, 2014, 36(1): 83-88.
- Rao Dan, Qin Jianzhong, Xu Jin, et al. Accumulation periods of Ordovician reservoirs in Tahe Oil Field [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2014, 36(1): 83-88.
- [16] 王月蕾, 陈红汉, 张希明, 等. 塔里木盆地雅克拉断凸白垩系—古近系油气成藏过程 [J]. *天然气工业*, 2011, 31(5): 1-6.
- Wang Yuelei, Chen Honghan, Zhang Ximing, et al. Process of hydrocarbon pooling in the Cretaceous and Paleogene of Yakela faulted uplift, Tarim basin [J]. *Natural Gas Industry*, 2011, 31(5): 1-6.
- [17] 云露, 蒋华山. 塔河油田成藏条件与富集规律 [J]. *石油与天然气地质*, 2007, 28(6): 768-775.
- Yun Lu, Jiang Huashan. Hydrocarbon accumulation conditions and enrichment rules in Tahe oilfield [J]. *Oil & Gas Geology*, 2007, 28(6): 768-775.
- [18] 汤良杰, 金之均. 塔里木盆地北部隆起牙哈断裂带负反转过程与油气聚集 [J]. *沉积学报*, 2000, 18(2): 302-309.
- Tang Liangjie, Jin Zhijun. Negative inversion process and hydrocarbon accumulation of Yaha fault belt in northern uplift, Tarim basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(2): 302-309.
- [19] 冯松宝, 徐文明, 顿亚鹏. 库车坳陷克拉苏构造带超高压大气田储层流体包裹体特征及成藏信息 [J]. *石油实验地质*, 2014, 36(2): 211-217.
- Feng Songbao, Xu Wenming, Dun Yapeng. Fluid inclusion characteristics of reservoirs in Kelasu tectonic zone of Kuqa Depression and its accumulation information [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2014, 36(2): 211-217.

编辑 邹淑滢