

Petroleum Geological Conditions and Favorable Exploration Zones in the Kerio Basin, Eastern Branch of the East African Rift System

Shen Jia

CNOOC Research Institute, Beijing
Email: 371278843@qq.com

Received: Sep. 23rd, 2018; accepted: Oct. 11th, 2018; published: Oct. 18th, 2018

Abstract

A large number of discoveries have been made in the South Lokichar basin in the eastern branch of the East African Rift System. The Kerio basin is adjacent to the South Lokichar basin, but has been nothing to discover until now. It is considered that Kerio basin has good petroleum geological conditions through comprehensive analysis of drilling, seismic and laboratory data. There are two main source rocks developed in the Kerio basin with good hydrocarbon generation potential. The reservoirs are mainly fluvial facies, delta facies and fan delta facies sandstones with high reservoir thickness and good physical properties. The lithological association is sand shale interbedding, and mudstone interlayer can be used as an effective cover. There are three trap zones in the basin, and the trap styles are mainly fault trap and anticline trap. Taking source rock as the key element and combining with other petroleum geological conditions, two favorable exploration zones, the gentle slope zone in the northern sag and convex zone in the eastern sag, are selected.

Keywords

Kerio Basin, Hydrocarbon Geological Conditions, Source Rock, Favorable Exploration Zones

东非裂谷东支Kerio盆地石油地质条件及有利勘探区带

贾岫

中海油研究总院, 北京
Email: 371278843@qq.com

收稿日期：2018年9月23日；录用日期：2018年10月11日；发布日期：2018年10月18日

摘要

东非裂谷东支South Lokichar盆地已有大量发现，Kerio盆地紧邻South Lokichar盆地，目前尚未突破。通过对钻井、地震及分析化验资料的综合分析，认为Kerio盆地具有较好的石油地质条件。该盆地发育两套主力烃源岩，生烃潜力较大。储层主要为河流相、三角洲相及扇三角洲相砂岩，储层厚度大，物性较好。岩性组合为砂泥岩互层，泥岩隔层可作为有效盖层。盆地主要发育三个圈闭带，圈闭类型为断层圈闭和背斜圈闭。以烃源岩评价为核心，结合其它石油地质条件，优选出北凹缓坡带和东凹凸起带两个有利勘探区带。

关键词

Kerio盆地，石油地质条件，烃源岩，有利勘探区带

Copyright © 2018 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

东非裂谷系是世界上最大的新生代裂谷群，也是全球陆上时代最新的裂谷盆地[1]。东非裂谷系分为东、西两支，东非裂谷东支有多个盆地，Kerio盆地是其中之一(图1)。该盆地的油气勘探始于上世纪80年代，1992年钻探第一口井，不具有商业性，从此勘探陷入停滞；2007年，随着东非裂谷西支乌干达Albert湖盆油气勘探的成功，多家石油公司逐渐重视对东非裂谷东支的勘探。Kerio盆地临近South Lokichar盆地，South Lokichar盆地2012年取得突破，目前已有8个油田发现，可采储量约6亿桶。Kerio盆地面积与South Lokichar盆地相似，构造特征也相似。前人研究认为Kerio盆地石油地质条件同South Lokichar盆地相似，具有较大的勘探潜力[2][3][4]，但是盆地内已钻两口探井，均未取得发现。由于勘探程度较低，其勘探潜力如何尚不清晰。因此，有必要针对该盆地的勘探潜力进行详细分析。本文通过地震、钻井以及分析化验资料的综合分析，对Kerio盆地石油地质条件进行详细分析，并进一步优选有利勘探区带。

2. 区域地质概况

东非裂谷东支从北自南经过埃塞俄比亚、肯尼亚、坦桑尼亚等国家，总面积约110,000 km²。东非裂谷东支由多个盆地组成，各盆地相对孤立，盆地间被凸起相隔。东非裂谷东支演化极其复杂，由多期裂谷叠置，包括二叠-三叠纪裂谷、白垩纪裂谷及新生代裂谷[5][6]，此次主要探讨新生代裂谷。渐新世(约31 Ma) Afar地幔柱隆起导致东非三叉裂谷形成[7][8][9]。该区域火山活动频繁，期次多，地表多被火山岩覆盖，北部老，南部新，埃塞俄比亚境内大面积覆盖始新世-渐新世火山岩，肯尼亚、坦桑尼亚境内大面积分布中新世以来的火山岩，强烈的火山活动为东非裂谷东支的形成提供源动力[10][11][12][13]。

Kerio盆地位于东非裂谷东支中部，South Lokichar盆地东侧，呈南北走向，面积约2600 km²。Kerio凹陷目前已有两口钻井：K-1井(2014年钻探)及Epir-1井(2015年钻探)，均为干井。Kerio盆地形成演化

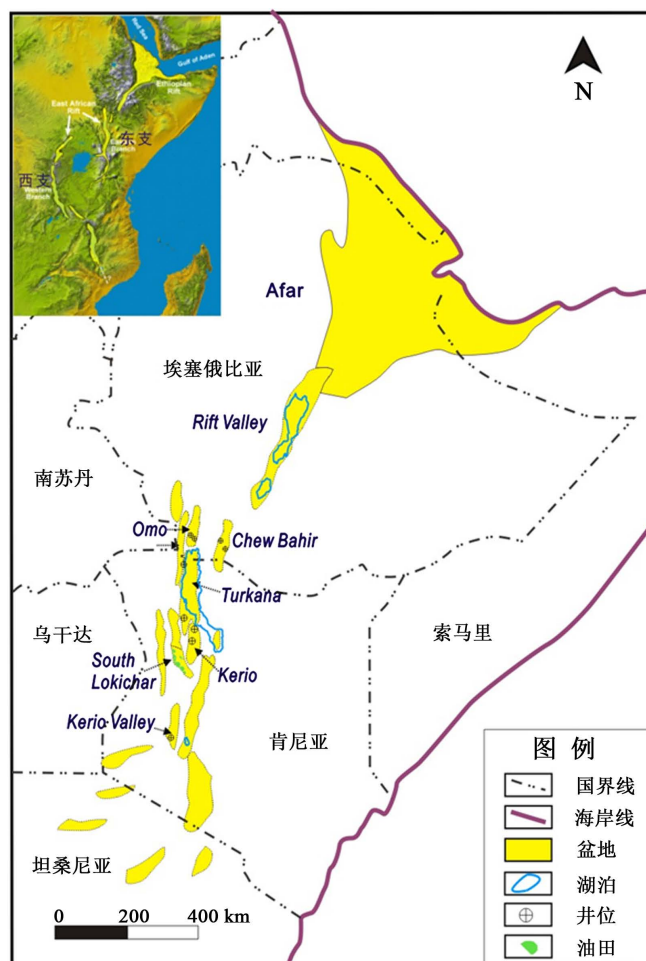


Figure 1. Distribution of basins in the eastern branch of East African rift system
图 1. 东非裂谷东支盆地分布图

主要是受火山事件的控制，呈幕式拉张，此地区主要发生两期火山事件：渐新世及中晚中新世[14] [15]。渐新世 31 Ma, Afar 地幔柱隆升，此时 Kerio 盆地开始拉张。中晚中新世 15~10 Ma, 肯尼亚北部发生剧烈的火山活动，在 E-1 井揭示中上中新统发育约 300 m 厚度的火山岩，北部 Turkana, Chew Bahir 等盆地中上中新统也发育巨厚的火山岩，厚度可达 1000 m。在火山活动的作用下，盆地继续拉张，断裂发育。除此之外，一些小的火山事件也可促进盆地的拉张。

3. 盆地结构和地层发育

该盆地断裂体系复杂，总体呈西陡东缓的半地堑结构，发育 3 条一级断裂，均为东倾。其中 F1 断层为控盆断层，长度约 100 km，平面上呈“S”形；F2 断层位于盆地东部，延伸长度约 63 km，走向同 F1 断层相似，断层断距可达 1000 m 以上；F3 断层延伸长度约 18 km，北部与 F1 断层相交，呈 NW-SE 走向，断距约 600 m。除此之外，盆地还发育多条次级断层。

在 3 条一级断裂控制下，形成了三个主要的凹陷：北凹、南凹和东凹。北凹受控于 F1 及 F2 断层，最大沉积厚度约 6000 m，发育渐新世以来的地层。南凹受控于 F1 及 F3 断层，地层厚度约 4800 m，以渐新世至中新世地层为主，上新世以来的地层薄。东凹受控于 F2 断层，小型断裂很发育，这些断裂多形成于上新世，地层厚度约 6700 m，上新统以来的地层沉积厚度大(图 2)。

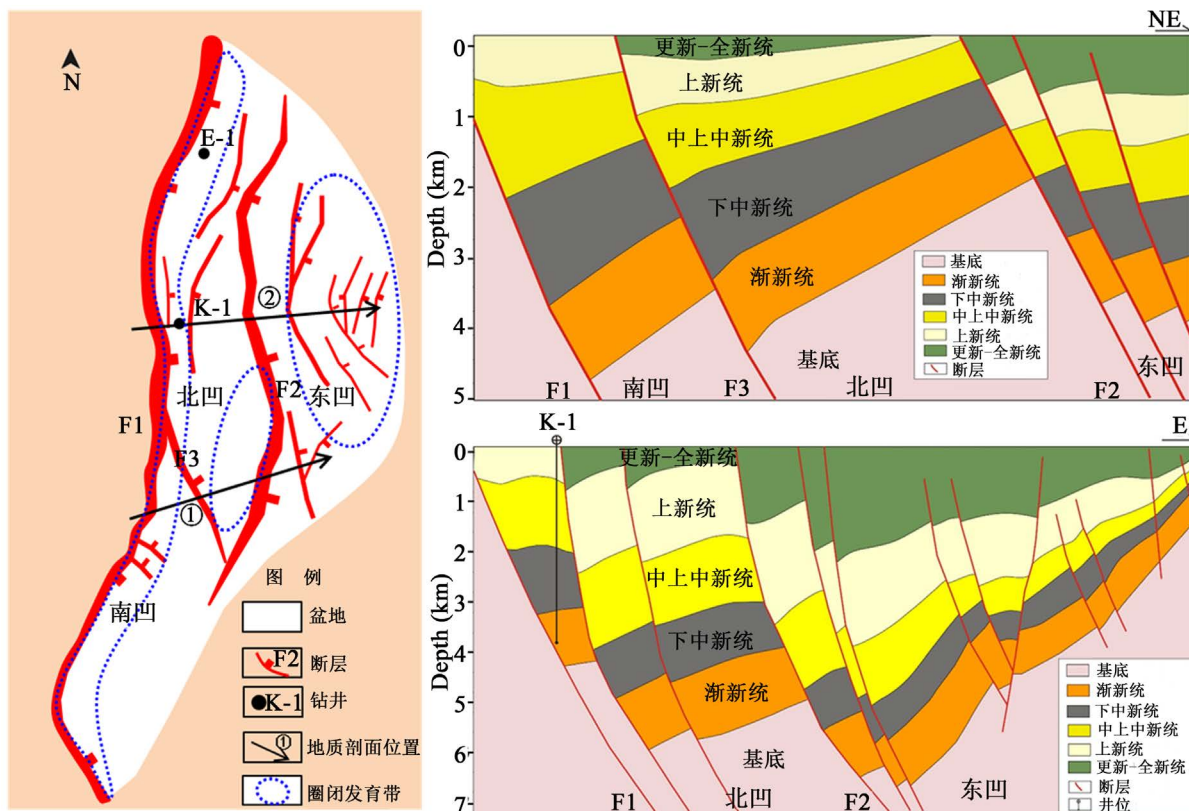


Figure 2. Kerio basin structural map
图 2. Kerio 盆地结构图

4. 基本石油地质条件

4.1. 烃源条件

Kerio 盆地推测发育 3 套湖相烃源岩, 包括上新统底部、中上中新统及下中新统烃源岩。上新统底部烃源岩主要分布在盆地中北部, E-1 井钻遇该套烃源岩, 其岩性为凝灰岩与灰黑色泥岩互层, 厚度约 90 m, 其中灰黑色泥岩为优质烃源岩, 厚度约 20 m。该套烃源岩与火山岩伴生, 指示了其形成与火山事件有关。火山活动促进盆地拉张, 形成半深湖-深湖相沉积环境, 沉积灰黑色泥岩, 但中新世早期火山活动较弱, 盆地拉张持续时间较短, 导致该套烃源岩厚度较薄。该套烃源岩生烃指标好, TOC: 0.83%~3.84%, 平均 2.83%, HI: 403~687 mg/g, Tmax: 445°C~449°C, 为 I 型干酪根(图 3)。平面上该套湖相泥岩主要分布在盆地中北部(图 4)。该套烃源岩埋深约 1500m, 盆地地温梯度约为 4.7°C/100 m, 盆地模拟该套烃源岩处于低成熟阶段, 有效烃源灶面积约 142 km², 由于成熟度较低且厚度较薄, 该套烃源岩生烃量小。

第二套烃源岩为中上中新统烃源岩, 钻井未揭示, 主要根据地震相特征推测。在地震剖面上该套烃源岩表现为低频连续强反射特征, 与 South Lokichar 盆地主力烃源岩地震反射特征类似。厚度约 400 m。平面上该套烃源岩主要分布在盆地中南部(图 5)。盆地模拟该套烃源岩处于低熟-成熟阶段, 有效生烃灶面积约 330 km², 生烃量约 52 亿桶油, 排烃量约 12.4 亿桶油, 生烃潜力较大。

第三套烃源岩为下中新统烃源岩, 埋深较大, 钻井未钻遇, 但盆地西侧存在该套烃源岩露头, 该露头位于 South Lokichar 盆地和 Kerio 盆地之间, 生烃指标好, TOC 平均为 3.59%, HI 平均为 580 mg/g, I/II 干酪根为主, Ro > 0.5%。在地震剖面上该套烃源岩同样表现为低频连续强反射特征, 厚度约 400 m。

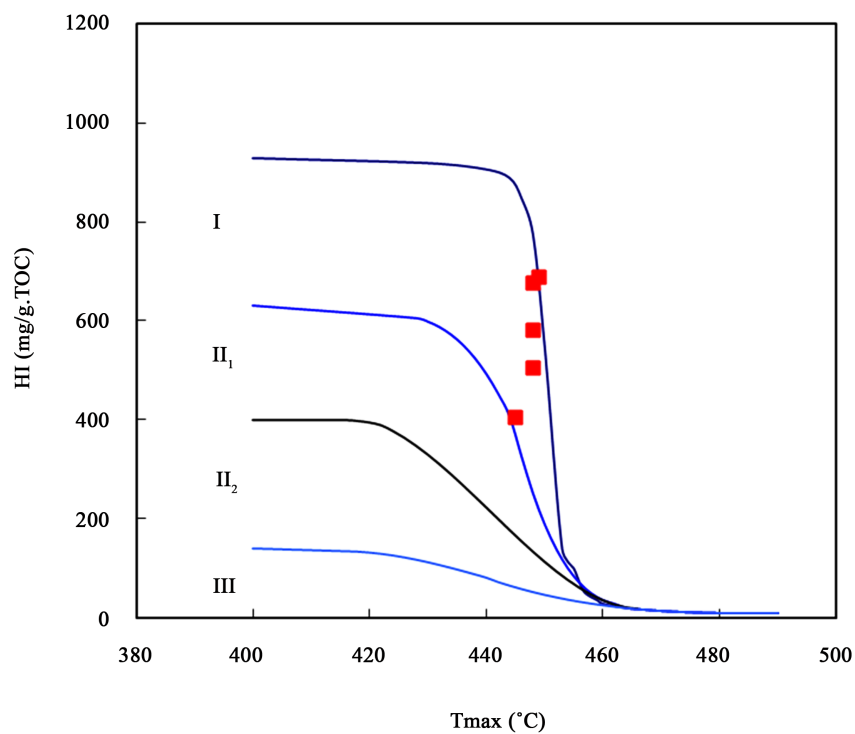


Figure 3. Source rock type analysis map of shale samples from drillings in Kerio Basin
图 3. Kerio 盆地钻井泥岩样品烃源岩类型分析图

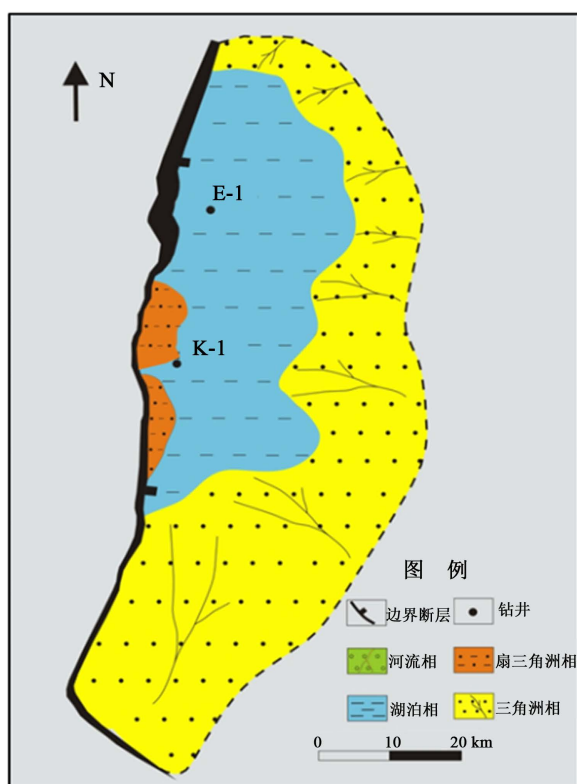


Figure 4. Sedimentary facies map of early Pliocene, Kerio basin
图 4. Kerio 盆地早上新世沉积相图

根据地震相特征推测该套烃源岩主要分布在凹陷南部(图6)。盆地模拟该套烃源岩处于成熟-高成熟阶段,有效生烃灶面积约 370 km²,生烃量约 42 亿桶油,拍烃量约 8.6 亿桶油,生烃潜力较大。

中上中新统烃源岩以及下中新统烃源岩厚度较大,成熟度较高,生烃潜力大,为盆地内主力烃源岩。上新统底部烃源岩厚度薄,成熟度低,供烃能力较小。

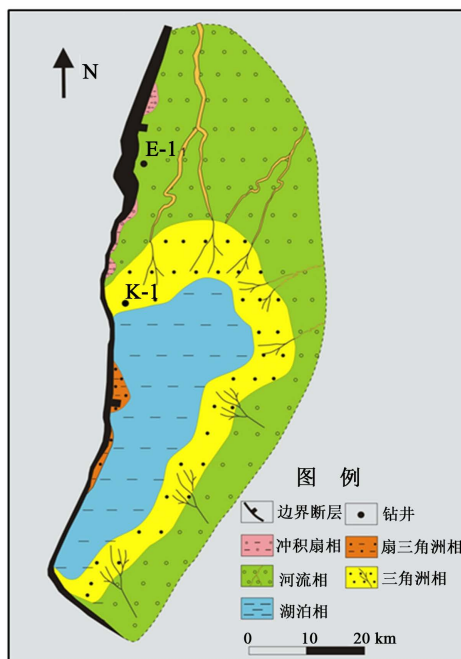


Figure 5. Sedimentary facies map of early and middle Miocene, Kerio basin
图 5. Kerio 盆地中上中新世沉积相图

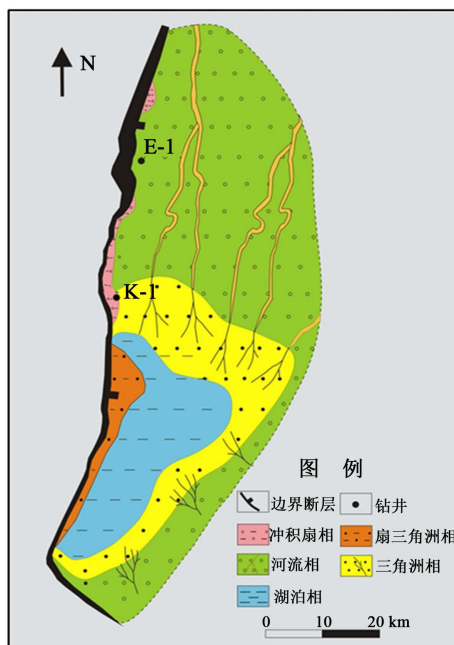


Figure 6. Sedimentary facies map of early Miocene, Kerio basin
图 6. Kerio 盆地早中新世沉积相图

4.2. 储盖条件

Kerio 盆地中新统-上新统为主要目的层,砂体以河流相、三角洲相、扇三角洲相以及冲积扇相为主。

中新统靠近西部边界断层处发育扇三角洲相及冲积扇相,缓坡带发育河流相及三角洲相,沉积中心位于盆地中南部。上新统西部边界断层处发育扇三角洲相,缓坡带发育三角洲相,沉积中心位于盆地中北部(图 4-6)。

冲积扇为山区的水流携带碎屑物质流出山口时,地形坡度急剧变缓,流速骤减,碎屑物质大量堆积,形成的扇状堆积体。扇三角洲相是由冲积扇提供物源,主要发育于水下的扇状沉积体。冲积扇进入稳定水体后形成扇三角洲,因此其发育在一定程度上受到水流和波浪的改造作用[16]。地质作用的不同造成二者砂体的特征有较大差异。在 Kerio 盆地,冲积扇紧邻物源区,坡度大,靠近边界断层处形成厚层的砂砾岩堆积,分选磨圆差,泥质含量高,平均可达 30%以上,杂基支撑,储集物性差,为非有效储层。扇三角洲相离物源区稍远,并且经过湖水反复淘洗和改造,泥质含量大为降低,钻井揭示泥质含量 4%~117%,平均约 9%,从而储层得到明显改善,形成了一定规模的有效储层。该套砂体分选中等,呈次棱角-次圆状,含砂率约 35%,储集物性较好,孔隙度 15%~27%,平均 22.8%;渗透率 50~208 mD,平均 120 mD。河流相含砂率约 40%,孔隙度 22%~29%,平均 27.2%;渗透率 180~580 mD,平均 450 mD。

在盆地缓坡带发育大规模三角洲相沉积,其含砂率约 40%,孔隙度 21%~28%,平均 25.2%;渗透率 180~460 mD,平均 350 mD。

中新统-上新统岩性组合为砂泥岩互层,内部泥岩隔层可作为盖层。单层泥岩厚度为 10~40 m,平均 23 m,可起到有效的封盖作用。

4.3. 圈闭条件

通过地震剖面和平面断层分布图可以看出盆地断层很发育,形成多级掀斜断块。根据圈闭发育情况,盆地主要发育三个圈闭带:西部陡坡带、北凹缓坡带及东凹凸起带。由于资料所限,未对圈闭进行详细识别。

西部陡坡带在靠近边界断层处形成一系列的滚动背斜,圈闭为断层复杂化的背斜圈闭,三面下倾,西侧靠断层遮挡,圈闭类型较好。其北部(F3 断层以北)断层发育,圈闭较发育,K-1 井及 E-1 位于构造高点;其南部(F3 断层以南),构造较稳定,断层发育少,圈闭发育欠缺规模较小。

北凹缓坡带位于北凹东南部,为西向东逐渐抬升的斜坡背景。圈闭靠 F2 断层遮挡形成断层圈闭。

东凹凸起带位于东凹中部,为后期反转的低凸起构造,断层发育,圈闭为断层复杂化的背斜圈闭(图 2)。

5. 有利勘探区带优选

盆地物源供给充足,储层发育。有利勘探区带的优选以烃源岩评价为核心,将烃源灶范围与圈闭带相叠合,可见北凹缓坡带、东凹凸起带、西部陡坡带南部

紧邻生烃灶。西部陡坡带北部距离生烃灶较远,K-1 井及 E-1 为干井,也反映出该区带生烃潜力差(图 7 和图 8)。西部陡坡带南部圈闭不发育,勘探潜力小。

北凹缓坡带主要靠下中新统烃源岩供烃,下中新统为主要目的层,储层为三角洲砂体,圈闭为反向断层遮挡的断层圈闭。北凹缓坡带为自生自储,旁生侧储式成藏,储集层与有效烃源岩直接接触,油气沿砂体向构造高部位侧向运移,F2 断层断距很大,砂泥对接以及泥岩涂抹可以形成良好的侧向封堵(图 9)。

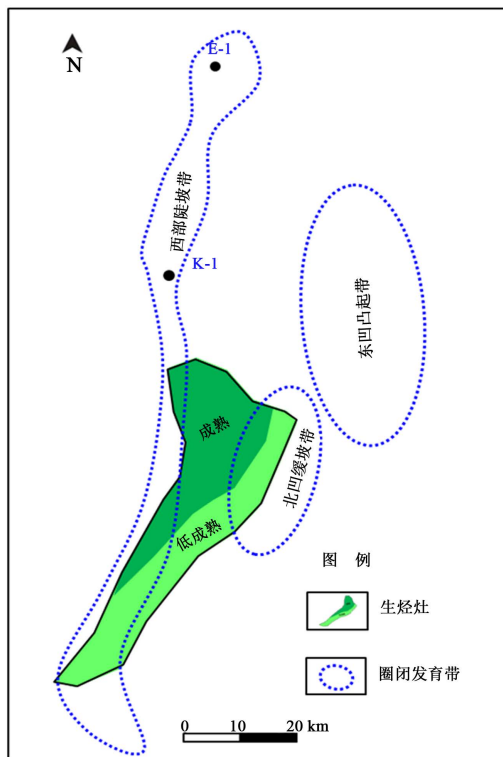


Figure 7. Superposition diagram of lower Miocene source rock and trap zones
图 7. 下中新统烃源岩与圈闭带叠合图

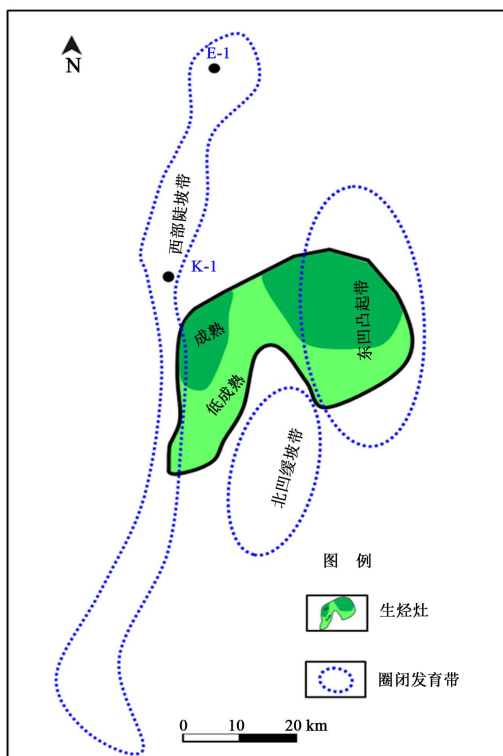


Figure 8. Superposition diagram of upper and middle Miocene source rock and trap zones
图 8. 中上中新统烃源岩与圈闭带叠合图

东凹凸起带主要靠中上中新统烃源岩供烃，此外在凹陷中心也可能发育较厚的上新统烃源岩，由于更新统-全新统沉积地层厚度大，中上中新统-上新统烃源岩均已成熟。东凹凸起带主要目的层为中上中新统-上新统，储层为河流-三角洲相砂体，圈闭为断层复杂化的背斜圈闭。在东凹，中上中新统-上新统烃源岩与储集体直接接触，油气沿储集体运移至构造高部位成藏。对于浅层地层，虽然烃源岩未成熟，但油气可沿着断层向浅层运移成藏。东凹凸起带可在垂向上多层系成藏(图 10)。

综上所述，北凹缓坡带和东凹凸起带为有利勘探区带。

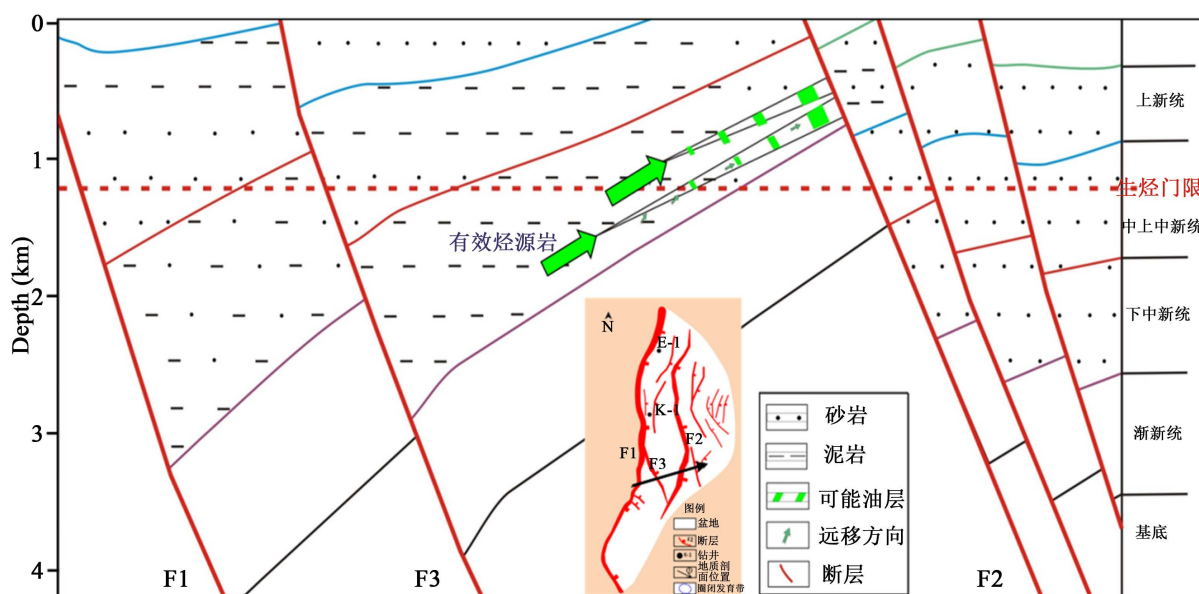


Figure 9. Hydrocarbon accumulation pattern of the gentle slope zone in the northern sag

图 9. 北凹缓坡带成藏模式图

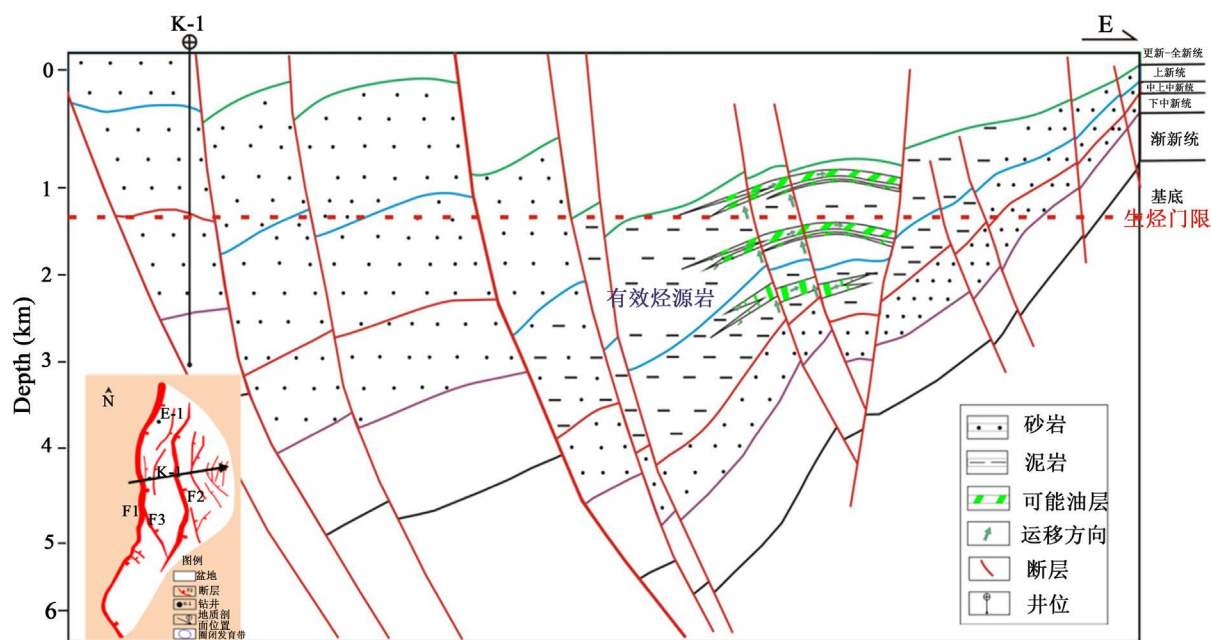


Figure 10. Hydrocarbon accumulation pattern of the convex zone in the eastern sag

图 10. 东凹凸起带成藏模式图

6. 结论

1) Kerio 盆地总体呈西陡东缓的半地堑结构, 断裂体系复杂, 被 3 条一级断裂分割为三个凹陷。

2) Kerio 盆地基本石油地质条件较好。根据地震相类比分析, 认为盆地发育下中新统及中上中新统两套主力烃源岩, 烃源岩厚度较大, 成熟度较高, 生烃潜力大, 为盆地内主力烃源岩。中新统-上新统为主要目的层, 储层以河流相、三角洲相、扇三角洲相砂体为主, 储集物性好, 含砂率高, 砂体中间的泥岩隔层可作为有效盖层。盆地主要发育三个圈闭带, 西部陡坡带以边界断层遮挡的滚动背斜圈闭为主; 北凹缓坡带为反向断层遮挡的断层圈闭; 东凹凸起带为断层复杂化的背斜圈闭。

3) 根据石油地质条件的叠合分析, 认为北凹缓坡带和东凹凸起带为有利勘探区带。北凹缓坡带为自生自储, 旁生侧储式成藏。东凹凸起带断层较发育, 断层可作为运移通道, 在垂向上多层系成藏。

参考文献

- [1] 温志新, 童晓光, 张光亚, 等. 东非裂谷系盆地群石油地质特征及勘探潜力[J]. 中国石油勘探, 2012, 17(4): 60-65.
- [2] 张燕, 田作基, 温志新, 等. 东非裂谷系东支油气成藏主控因素及勘探潜力[J]. 石油实验地质, 2017, 39(1): 80-85.
- [3] 贾岫, 邱春光, 胡滨, 等. 东非裂谷东支 South Lokichar 盆地油气成藏规律[J]. 海洋地质前沿, 2018, 34(4): 34-39.
- [4] 韩文明, 赵伟. 试论火山活动对东非裂谷系油气成藏的作用[J]. 中国海上油气, 2018, 30(4): 21-26.
- [5] Kreuser, T. (1995) Rift to Drift Evolution in Permian-Jurassic Basins of East Africa. *Geological Society London Special Publications*, **80**, 297-315. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1995.080.01.14>
- [6] Morley, C.K., Day, R.A., Lauck, R., et al. (1999) Geology and Geophysics of the Anza Graben. *AAPG*, **44**, 67-90.
- [7] Chorowicz, J. (2005) The East African Rift System. *Journal of African Earth Sciences*, **43**, 379-410. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2005.07.019>
- [8] 徐宁, 张杰, 史卜庆, 等. 红海盆地石油地质特征及其油气勘探潜力[J]. 地学前缘, 2014, 21(3): 155-165.
- [9] 金宠, 陈安清, 楼章华, 等. 东非构造演化与油气成藏规律初探[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(2): 121-130.
- [10] Tatsumi, Y. and Kimura, N. (1991) Secular Variation of Basalt Chemistry in the Kenya Rift: Evidence for the Pulsing of Asthenospheric Upwelling. *Earth & Planetary Science Letters*, **104**, 99-113. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(91\)90241-9](https://doi.org/10.1016/0012-821X(91)90241-9)
- [11] Mechle, J., Keller, G.R., Prodehl, C., et al. (1997) A Model for the Structure, Composition and Evolution of the Kenya Rift. *Tectonophysics*, **278**, 95-119. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(97\)00097-8](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(97)00097-8)
- [12] Morley, C.K., Wescott, W.A., Stone, D.M., et al. (1992) Tectonic Evolution of the Northern Kenya Rift. *Journal of the Geological Society*, **149**, 333-348. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.149.3.0333>
- [13] Smith, M. (1994) Stratigraphic and Structural Constraints on Mechanisms of Active Rifting in the Gregory Rift, Kenya. *Tectonophysics*, **236**, 3-22. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)90166-X](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)90166-X)
- [14] Macgregor, D. (2015) History of the Development of the East African Rift System: A Series of Interpreted Maps through Time. *Journal of African Earth Sciences*, **101**, 232-252. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2014.09.016>
- [15] 贾岫. 肯尼亚北部裂谷盆地类型和演化及其对烃源岩的控制作用[J]. 海洋地质前沿, 2017, 33(2): 19-25.
- [16] 姜在兴. 沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 270-398.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2163-3967，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ag@hanspub.org