

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2018080103

# 东非海岸构造演化及其对南、北主要富油气盆地控藏作用对比

崔哥<sup>1</sup>, 金爱民<sup>1</sup>, 鄢长武<sup>2</sup>, 熊利平<sup>2</sup>, 丁锋<sup>2</sup>, 樊梦玫<sup>1</sup>, 史丹妮<sup>2</sup>

1. 浙江大学海洋学院, 舟山 316021

2. 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院, 北京 100083

**摘要:** 东非海岸主要含油气盆地属典型大陆裂谷层序和被动陆缘层序叠合的断拗型盆地, 是在冈瓦纳大陆裂解及印度洋扩张的区域构造演化背景下形成的, 均经历了卡鲁裂谷期、马达加斯加漂移期和被动大陆边缘三期构造演化。但是, 南、北盆地在构造及沉积演化特征及石油地质条件、油气分布上存在较大差异, 北部盆地早期受特提斯洋海侵影响, 沉积发育了侏罗系潟湖相盐岩、浅海相泥页岩, 而南部盆地处于强烈火山作用区, 二者油气富集规律存在差异, 烃源岩、储盖组合由北向南年代逐渐变新, 目前北部油气发现明显更为丰富。初步分析认为, 构造环境不同使得烃源岩发育北富南贫, 断裂及塑性岩体作用形成的通源断层和有利圈闭存在差异, 导致了东非大陆边缘南、北部盆地油气成藏上的不同。

**关键词:** 东非海岸; 构造演化; 成藏规律; 被动大陆边缘盆地

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

## Tectonic evolution of East Africa coast and comparison of hydrocarbon accumulation conditions in the north and south petroliferous basins

CUI Ge<sup>1</sup>, JIN Aimin<sup>1</sup>, WU Changwu<sup>2</sup>, XIONG Liping<sup>2</sup>, DING Feng<sup>2</sup>, FAN Mengmei<sup>1</sup>, SHI Danni<sup>2</sup>

1. Ocean College, Zhejiang University, Zhoushan 316021, China

2. SINOPEC Petroleum Exploration and Production Research Institute, Beijing 100083, China

**Abstract:** The major petroliferous basins along East African coast are the “rift depression type” basins filled by the superimposed rift depression sequence and passive continental margin sequence, with the breakup of the Gondwana and the opening up of the Neotethys. The tectonic evolution of these basins can be subdivided into three distinct pulses: Karoo intercontinental rifting, Madagascar drifting and the evolution of a passive continental margin. However, the basins in the south part differ significantly from that in the north in tectonic and sedimentary characteristics, petroleum geological conditions and hydrocarbon distribution patterns. During the transgression of the Tethys Ocean in Early Jurassic, the northern basins were prevailed by lagoonal salt rock and shallow marine shale, while the southern basins was suffered from intense volcanic eruption. The hydrocarbon accumulation is also very different in the two basins. For examples, the source-reservoir-cap assemblages become younger from north to south and the northern basins are much richer in oil and gas resources. The preliminary analysis suggests that the difference in tectonic environments control the development of source rocks, and the traps formed by fractures and plastic rocks.

**Key words:** East African coast; tectonic evolution; hydrocarbon accumulation; passive continental margin basin

被动大陆边缘是在泛大陆裂解、新洋扩张过程中形成的, 其独特的构造演化历程形成了盆地“下断上拗”双层系结构。分布在大西洋两侧墨西哥湾、巴西近海、西非近海和亚太地区的被动大陆边缘盆地群, 已成为全球大型油气田发现的重要领域。

东非海岸盆地是近十年海上油气发现的热点地区之一, 也是勘探程度、认识程度相对较低、潜力较大的地区。该区北邻亚丁湾, 涉及索马里、埃塞俄比亚、肯尼亚、坦桑尼亚、莫桑比克以及马达加斯加等多个国家。陆上6个主要富油气盆地以

资助项目: 中国石油化工集团公司科技开发部项目“东非重点盆地油气资源潜力与选区评价”(P14037)

作者简介: 崔哥(1993—), 女, 硕士研究生, 主要从事海洋地质及油气勘探研究, E-mail: 21534052@zju.edu.cn

通讯作者: 金爱民(1973—), 男, 博士, 副教授, 主要从事石油天然气地质和环境科学研究, E-mail: aiminjin@163.com

收稿日期: 2018-08-01; 改回日期: 2018-12-26. 周立君编辑

莫桑比克褶皱带为界分为南、北两部分(图 1),北部包括索马里盆地、拉穆盆地、坦桑尼亚盆地和鲁伍马盆地,马达加斯加孤岛与其构造属性一致,形成共轭型大陆边缘;南部包括莫桑比克盆地和赞比西三角洲盆地。南、北盆地均是在冈瓦纳大陆裂解及印度洋扩张的区域构造演化背景下形成,但二者油气资源的分布明显存在较大差异。南部莫桑比克盆地在 20 世纪初期就已开展地质调查和勘探开发工作,是该区最早进行勘探活动的地区,但目前仅在陆上沿岸地区发现 Pande、Buzi 等小规模气田;而北部盆地则于陆上发现 Calub 气田、Hilala 气田,以及马达加斯加孤岛 Tsimiroro 稠油田和 Bemolanga 沥青矿、油砂等,尤其是进入 21 世纪,随着海上勘

探技术进步和地质认识的深入,该区实现重大油气突破,2012 年以来鲁伍马盆地和坦桑尼亚盆地深海发现了一系列大气田,累计可采储量分别达  $4.4 \times 10^{12}$ 、 $8.3 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ,东非地区旋即成为全球勘探热点。

南北区段油气发现的巨大差异可能一方面与不同构造环境下生储盖条件的发育程度有关,另一方面油气运聚受构造活动影响较大。本文以东非海岸地区构造演化过程为切入点,剖析典型油气藏,将南北区段主要富油气盆地的构造及沉积特征、烃源岩发育、储盖组合和圈闭特征等进行对比,结合国内外现阶段研究成果,对二者的油气成藏差异进行系统性的对比研究,为进一步的勘探研究和有利区遴选提供参考。

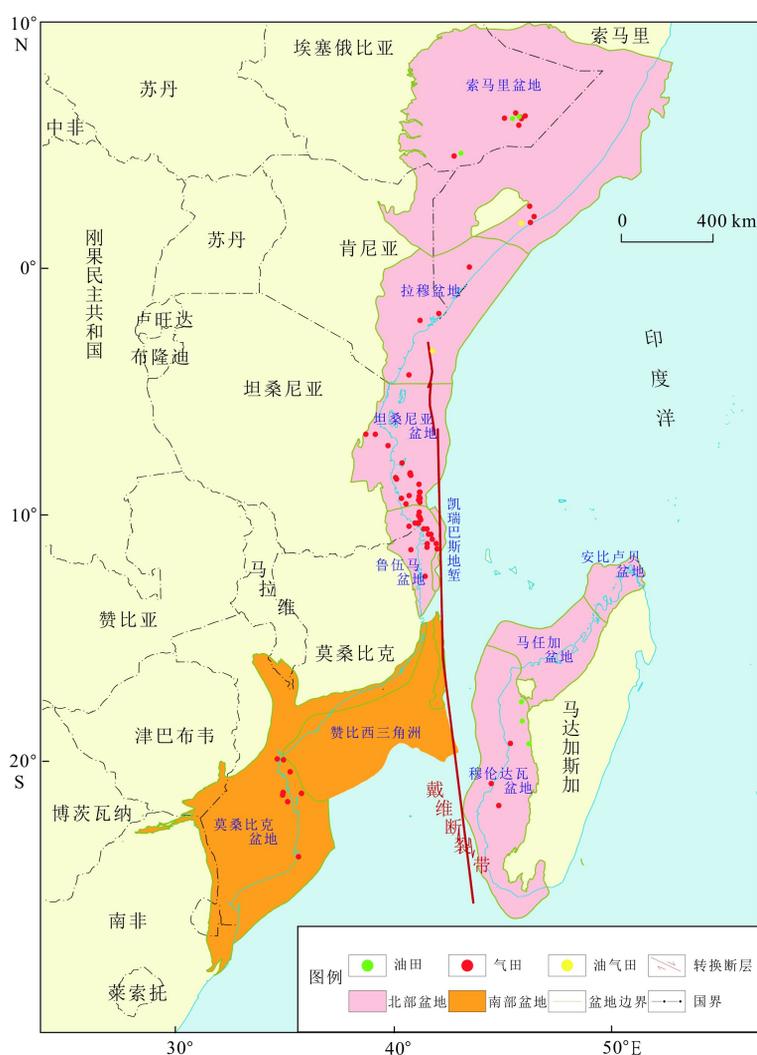


图 1 东非海岸主要含油气盆地分布示意图

Fig.1 Distribution of major petroliferous basins in East Africa coast

## 1 区域构造演化

在前寒武纪晚期的泛非构造作用下,卡拉哈里

克拉通、刚果克拉通、撒哈拉克拉通和西非克拉通碰撞、汇聚,沿古缝合带拼合,形成古老而稳定的非洲大陆,处于冈瓦纳联合古陆的核心。晚古生代,

冈瓦纳大陆开始逐步裂解,东、西冈瓦纳分离形成东非大陆边缘,其演化主要经历3个阶段:晚古生代—早中生代卡鲁裂谷阶段、中—晚中生代马达加斯加漂移阶段和中生代末至今的被动大陆边缘阶段。

### 1.1 卡鲁裂谷阶段 (C<sub>2</sub>-J<sub>1</sub>)

晚石炭世—三叠纪期间(300~200 Ma),冈瓦纳大陆受南部古太平洋俯冲碰撞和北部新特提斯洋扩张作用产生的远场应力影响,产生板内变形,发育了广泛分布的大陆裂谷系<sup>[1]</sup>,遍及非洲东部与南部、马达加斯加、印度和南极等地区,延伸至冈瓦

纳大陆北部陆缘(图2a)。因在南非卡鲁盆地保存最为完整,故以“卡鲁群”(Karoo Group)沉积代表这一期构造事件<sup>[4-5]</sup>。卡鲁裂谷在现今东非海岸一带表现为走向近NE-SW的张性裂谷群,陆上从莫桑比克盆地断续延伸至索马里欧加登次盆,马达加斯加岛西部则与Selous盆地、安扎裂谷(后期均发展为夭折支)分别形成两个三叉裂谷的雏形,对后期大陆的裂解具有重要的控制作用。三叠纪晚期北部盆地发生抬升剥蚀、沉积间断,与上覆地层呈角度不整合。

至早侏罗世,卡鲁地幔柱开始活动,处于冈瓦

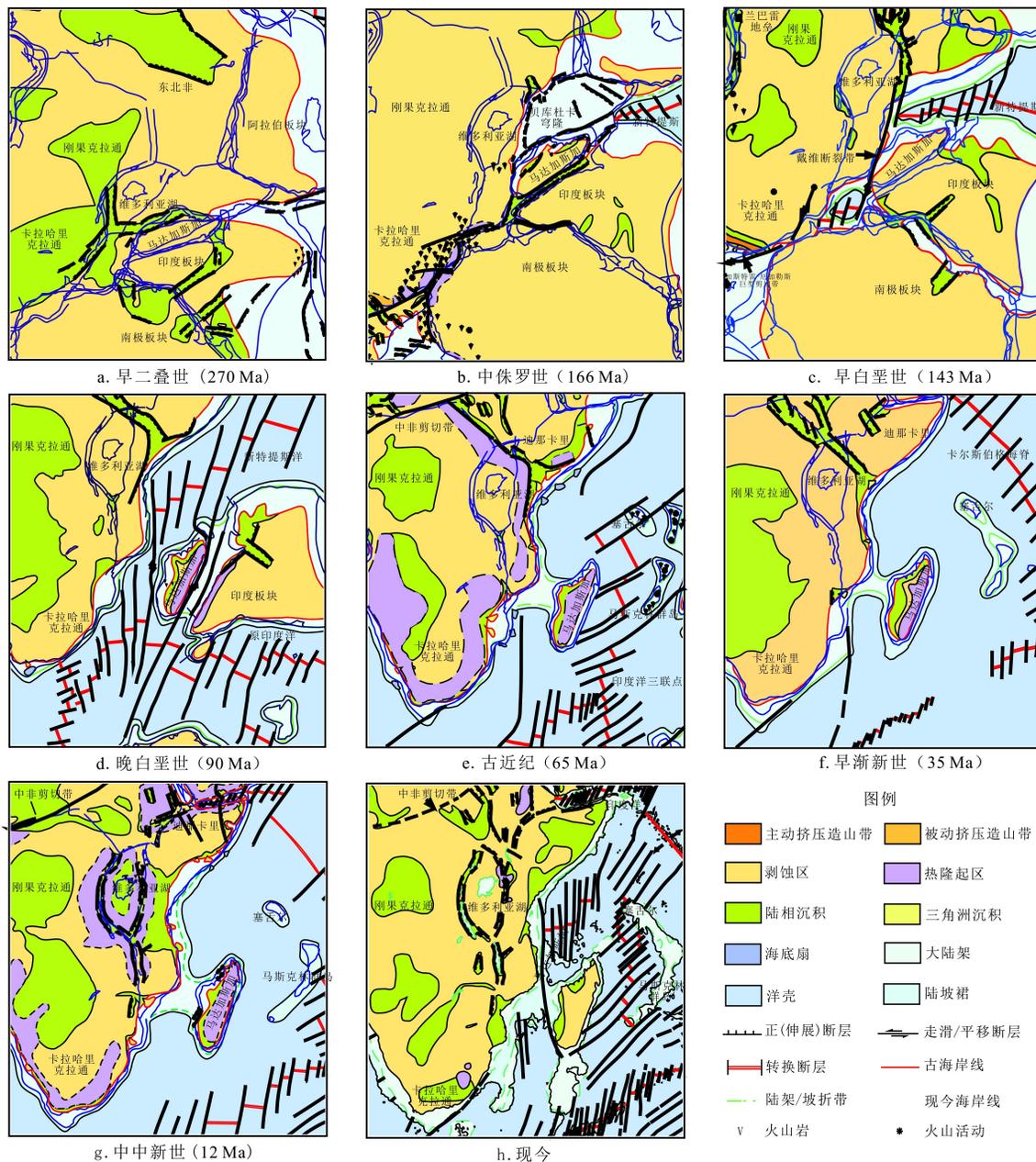


图2 东非海岸区域构造演化示意图(据文献[2-3]修改)  
Fig.2 Tectonic history of East Africa coast (after references[2-3])

纳大陆内部的东南非地区隆起, 火山作用强烈 (183~174 Ma), 形成大规模火山岩。在前期裂陷基础上冈瓦纳大陆进一步拉张, 东非与马达加斯加之间呈现中间沉降、两侧抬升的格局, 大陆裂谷和外海连通起来, 海水向南侵入至现今鲁伍马盆地南部, 形成半封闭沉积环境。

## 1.2 马达加斯加漂移阶段 ( $J_{2+3}$ - $K_1$ )

中侏罗世, 东西冈瓦纳开始分离并发生相对运动。随着 Limpopo 三叉谷处隆起作用加剧 (约 166 Ma), 莫桑比克盆地西侧的 Limpopo 单斜一带发生陆壳断裂<sup>[6]</sup>, 与南极大陆发生分离 (图 2b); 马达加斯加开始沿古 Davie 断裂带相对东非作 NW-SE 向右旋走滑运动; 印度—塞舌尔表现为与东非陆缘的斜向拉张。晚侏罗世—早白垩世漂移期间 (约 143 Ma), 马达加斯加以莫桑比克海岸为中心发生小角度顺时针旋转, 调整为相对西冈瓦纳的 N-S 向相对运动, 同时张开一数百千米宽的海湾 (古莫桑比克水道), 海水由北向南灌入 (图 2c)<sup>[7-9]</sup>, 南部盆地开始接受沉积, 由陆相过渡为浅海相。随着东冈瓦纳大陆整体南向漂移和海底扩张持续作用, 北印度洋与南美洲和南非地区裂解形成的南印度洋贯通, 马达加斯加于早白垩世漂移至现今位置, 形成东非海岸雏形。

## 1.3 被动大陆边缘阶段 ( $K_2$ 至今)

早白垩世晚期, 东非大陆与马达加斯加之间的海底扩张基本停止, 进入被动大陆边缘阶段。晚白垩世晚期 (约 88 Ma), 马达加斯加与印度-塞舌尔在 Marion 地幔柱作用下分离, 孤岛区发生西倾 (图 2d); 古新世早期 (65 Ma), 印度与塞舌尔受 Deccan 地幔柱影响分离, 印度板块快速向 NE 方向运动, 相对索马里海岸一带作左旋走滑运动, Chain Ridge-Owen 左行脊状转换断层形成 (图 2e)。渐新世, Afar 地幔柱 (约 35 Ma) 开始发育, 形成红海-亚丁湾-东非裂谷系三叉谷, 裂谷海域分支的活动延续至 Davie 断裂带 (图 2f), 如凯瑞巴斯地堑等早期断裂受到进一步伸展构造变形; 东非海岸地区整体抬升剥蚀, 大量碎屑物为鲁伍马、赞比西等新生代三角洲发育提供了充足物源 (图 2g)<sup>[7, 10-11]</sup>。

## 2 盆地构造及沉积特征对比

前寒武纪以及早古生代非洲东部处于暴露环境受到剥蚀, 直至晚古生代才开始接受沉积。东非海岸盆地具有明显的“下断上拗”特征, 普遍发育下

伏裂谷层序及上覆拗陷层序。但受地幔柱发育、板块分离方式、转换断层等控制, 南、北盆地构造及沉积特征的差异明显。

### 2.1 盆地构造特征对比

#### 2.1.1 横向构造特征对比

东非大陆与周缘各板块不断分离, 沿陆缘方向体现出明显构造分段性: 南部受南极洲板块分离和南向漂移作用影响, 形成右行拉张陆缘, 莫桑比克盆地及后期发育的赞比西三角洲构造方向以近南北向为主, 地壳受拉张作用明显, 形成莫桑比克减薄带 (MTZ)<sup>[12]</sup>; 北部南段与马达加斯加岛分离, 属典型的右行走滑边缘, 早白垩世的小角度旋转使得鲁伍马-坦桑尼亚盆地一带受到不同程度 E-W 向拉张, 莫桑比克褶皱带与 Davie 断裂体系共同构成该段盆地北宽南窄的构造格局; 北段早期受马达加斯加-塞舌尔右旋拉张作用, 后期随着印度板块分离, 快速向北漂移, 形成左行拉张陆缘<sup>[11-13]</sup>。

#### 2.1.2 纵向构造特征对比

北部盆地受裂谷、海底扩张作用影响, 陆上发育一系列 NNW-SSE、NE-SW 向断裂, 海上沉积物负荷差异压实形成的逆冲推覆构造体十分发育, 在鲁伍马三角洲、拉穆湾均有分布, 沿深海方向可划分为不同的重力驱动构造变形带——陆架沉积伸展构造区、陆坡下沉积挤压构造区等 (图 3)。以鲁伍马盆地为例, 深水区发育 Palma、Mocimboa 两个大型逆冲推覆体, 新生代厚层沉积物受重力均衡作用和盐底辟构造影响, 沿泥岩层滑脱, 在陆架近岸一带伸展, 发育一系列生长正断层, 大量砂体发生滑动-滑塌, 沿陆坡向深海方向搬运, 随着动能降低和 Davie 断裂体系的限制形成重力滑脱逆冲断层带<sup>[16-17]</sup>。密集的断裂形成良好的油气运移通道, 发育铲式断层、滚动背斜、滑塌岩体等有利于油气藏聚集。

南部盆地多发育堑垒构造, 莫桑比克盆地近 N-S 向大型断裂带多被 NW-SE 向调节断层切割, 多组不同走向的地堑由陆向海延伸, 形成一系列的掀斜断块和隆起构造, 塌陷内生长断层较为发育。南部新生代以来构造环境较为稳定, 深大断裂不如北部发育。

### 2.2 盆地沉积充填特征对比

#### 2.2.1 卡鲁层序

可进一步分为前卡鲁和后卡鲁两套裂谷层序。前卡鲁裂谷层序不整合覆于前寒武纪基底之上, 北

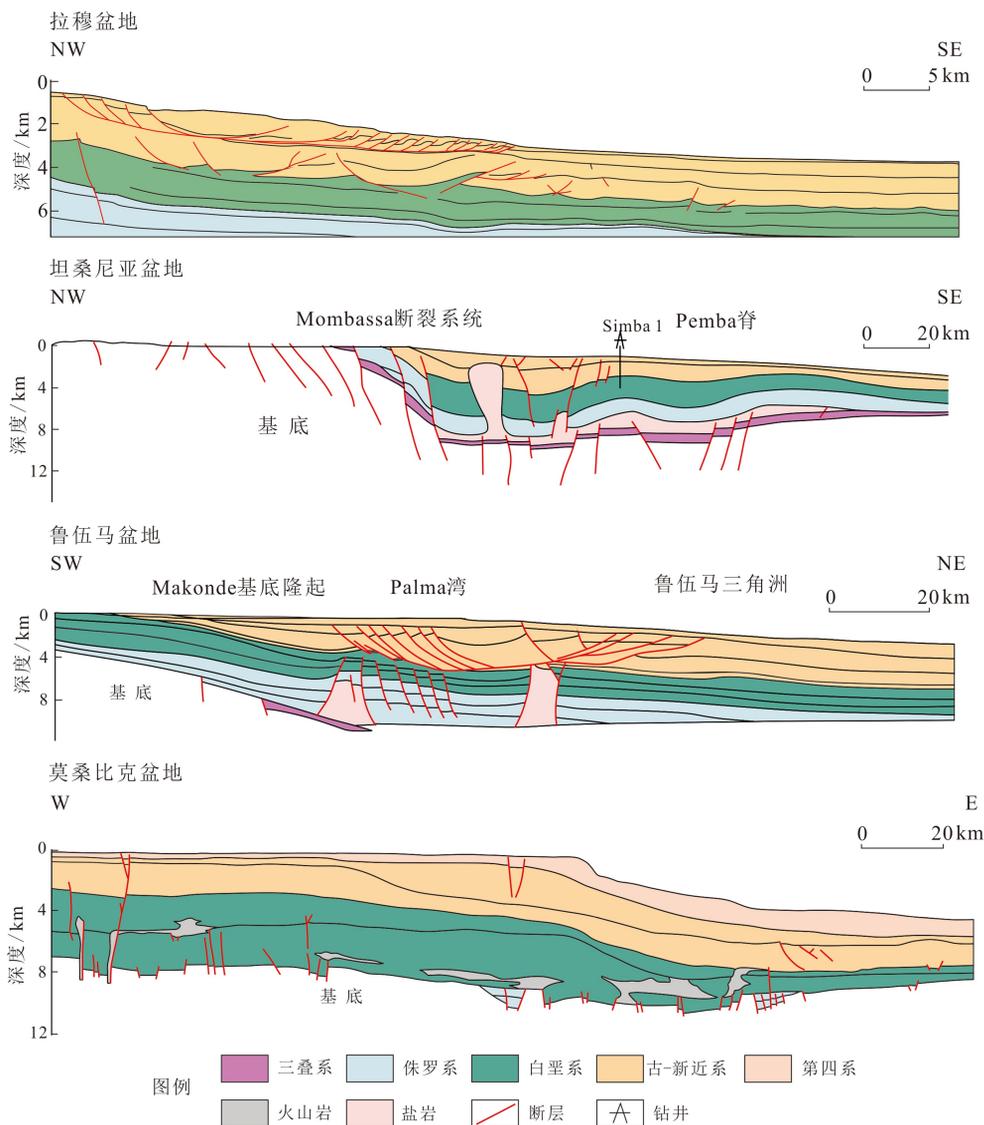


图3 东非海岸典型盆地地质剖面图(据文献 [14-15] 修改)

Fig.3 Geological sections of the typical basins in East Africa coast (after references[14-15])

部以河流-三角洲-湖相地层为主,岩性主要为砂砾岩、页岩,充填于阶梯状正断层、地堑和半地堑中,呈条带状分布于海岸两侧;南部则分布较少,仅莫桑比克盆地南部有少量沉积,以冰碛岩、煤系泥页岩夹砂岩层为主。后卡鲁裂谷层序发育于晚三叠世—早侏罗世,伸展作用较强烈,在前期裂谷周缘发育了新生深长断裂,北部受特提斯洋侵入影响,以海陆过渡相沉积为主轻微不整合于下覆沉积层或基底之上,裂隙两侧半封闭环境下的拉穆盆地、坦桑尼亚盆地、鲁伍马盆地和马任加盆地发育点状、长条状分布的潟湖相盐岩;南部处于古陆内部,后卡鲁裂谷层序以陆相砂岩沉积为主,夹有火山岩,厚度较大。

2.2.2 马达加斯加漂移层序

特提斯洋进一步向南海侵,北部盆地沉积了浅

海相泥页岩、宽广的碳酸盐岩台地,超覆于下伏裂谷沉积层序之上,这套富有机质海相泥页岩形成了其最主要的一套烃源岩。南部莫桑比克盆地位于卡鲁地幔柱周缘,火山活动强烈,主要为流纹岩、凝灰岩等火山岩沉积;晚侏罗世古莫桑比克水道打开,赞比西三角洲拗陷中心沉积了较厚的页岩,莫桑比克盆地局部开始发育海陆过渡相砂砾岩。

2.2.3 被动大陆边缘层序

随着稳定的被动大陆边缘形成,东非各盆地普遍发育拗陷沉积,于陆架—陆坡上形成浅海陆棚相碳酸盐岩台地、三角洲、近海浊流及海底扇等沉积体系。受水系分布、地形高差等影响,各盆地拗陷期沉积层厚度分布不均,由北向南逐渐增大,南部赞比西三角洲拗陷层厚度大于4 000 m,整体厚度最深超过12 000 m,是东非最大的新生代三角洲体系。

### 3 石油地质特征对比

受控于构造演化、沉积充填过程, 南、北盆地在烃源岩、储盖组合的发育及分布上存在较大差异, 总体呈现出由北向南年代变新的分布格局(图 4)。

#### 3.1 烃源岩特征对比

北部: 主要发育上石炭统—三叠系、侏罗系—下白垩统及上白垩统—古、新近系 3 套烃源岩。

##### (1) 二叠系—三叠系烃源岩

以 II/III 型干酪根为主的河流湖泊相泥页岩, 在东非海岸两侧分布, 是北段索马里盆地、孤岛区穆伦达瓦盆地油气藏的主要烃源岩。该套烃源岩品质较好, TOC 最高可达 17.4%, 成熟度高, 具有“倾气性”<sup>[18]</sup>。索马里盆地二叠系—上三叠统湖相 Bokh 页岩是 Calub 气田的主要烃源岩, 以 II 型干酪根为主, 存在少量 III 型, TOC 值为 0.5%~1.6%, Ro 为 1.0%~1.3%, 达成熟—过成熟阶段。根据在穆伦达瓦盆地 Bemolanga-Tsimiroro 地区收集到的 20 个原油样品测试分析(图 5), 该区稠油田和沥青矿烃源均来自下三叠统 Sakamena 组页岩<sup>[19]</sup>, 且主要为 II/III 型干酪根, TOC 为 1.0%~6.0%, 与之共轭的坦桑尼亚—鲁伍马盆地一带也显示出较好的潜力, 鲁伍马盆地陆上 Lukuledi-1 井钻遇裂谷期湖相泥岩, TOC 含量高达 7.5%<sup>[20]</sup>。

##### (2) 侏罗系—下白垩统烃源岩

早侏罗世—漂移期持续海侵在中、北段盆地沉积了下侏罗统潟湖相蒸发岩、局限海相页岩, 及中侏罗统—下白垩统海相页岩、灰岩, 形成该段最重要的一套烃源岩。索马里盆地发育 Transition 组、Hamanlei 组和 Uarandab 组等多套侏罗系有利泥页岩, Uarandab 组潟湖相页岩为 Ogaden 次盆最具潜力生油源岩, 主要为 II 型干酪根, TOC 约 0.3%~7.1%, 局部地区已进入成熟生油阶段<sup>[21]</sup>。坦桑尼亚盆地深水区近年来陆续有大气田发现, 地球化学分析表明该区天然气乙烷碳同位素组成变化大(为-30.8‰~-21.0‰), 甲烷氢同位素组成重(大于-120‰)<sup>[22]</sup>, 且热演化程度高, 为原油裂解气, 天然气主要来自中—下侏罗统局限海相烃源岩, 推测油气勘探潜力巨大。在 Mbuo1 井显示 TOC 值最高为 8.7%, 生烃潜力(S2) 达 88 mg HC/g, HI 值 272~1 000 mg HC/g, 为 I 型、II 型及 III 型干酪根混合。

##### (3) 上白垩统—古、新近系海相烃源岩

被动大陆边缘期烃源岩分布广泛, 多沉积于浅海相环境, 索马里盆地古新统 Sagalch 组烃源岩 TOC 值为 0.8%~1.4%, 处于生油窗, 是 Mogadishu 次盆天然气与凝析油的主要源岩。其他盆地则因有机质热演化程度偏低(多为未熟—低熟), 无法提供有效烃源。

南部以白垩系—古新统烃源岩为主, 推测卡鲁群煤层气烃源岩具有一定潜力, 侏罗统烃源岩不发育。

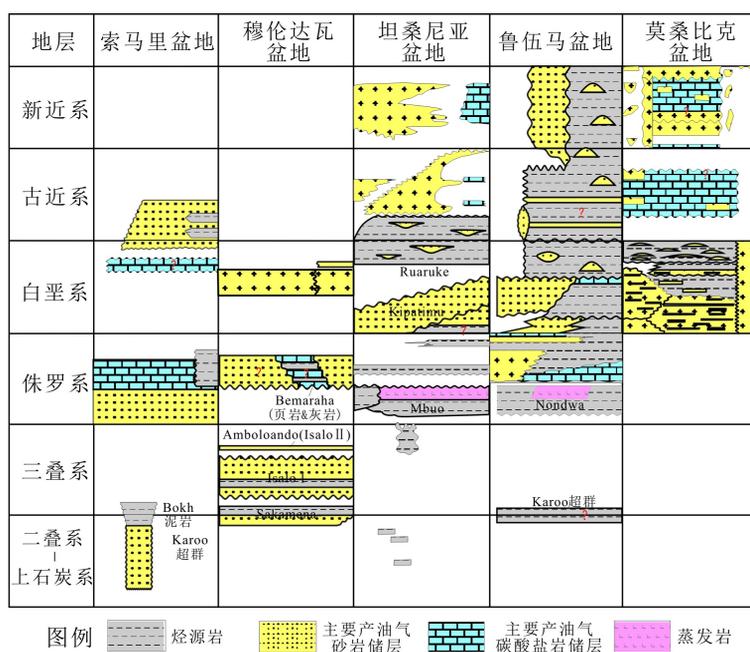


图 4 东非海岸盆地生储组合

Fig.4 The source-reservoir assemblages of typical basins in East Africa coast



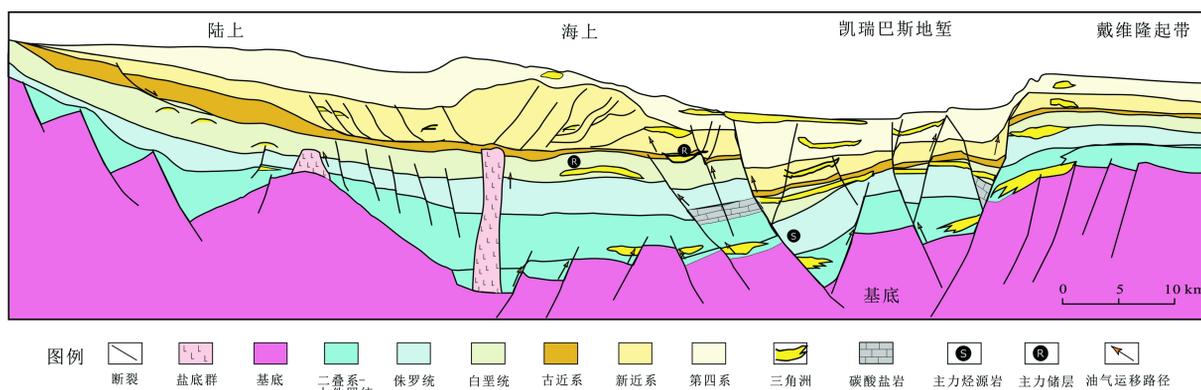


图 6 鲁伍马盆地成藏模式图(据文献[10, 15]修改)

Fig.6 Hydrocarbon accumulation model in the Rovuma basin (after references[10, 15])

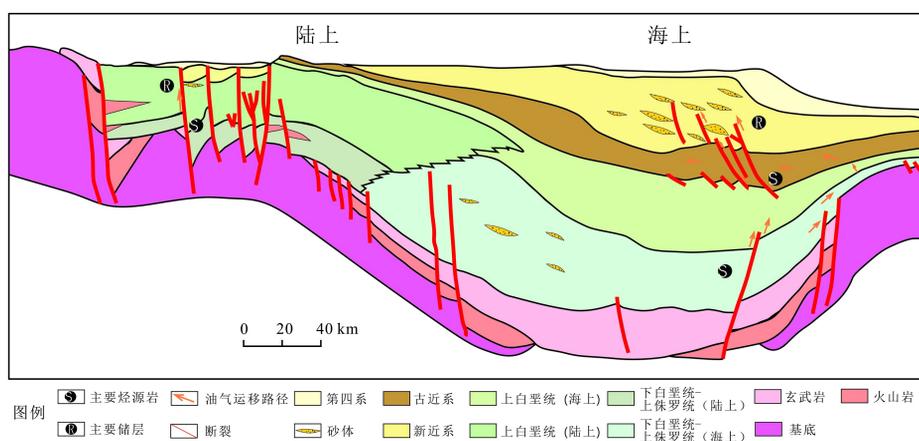


图 7 赞比西三角洲成藏模式图(据文献[23]修改)

Fig.7 Hydrocarbon accumulation model in the Zambezi delta (after reference[23])

的侏罗系—上白垩统浅海相泥页岩有机质丰度高, 分布较广, 多已成熟生烃, 是最主要的一套区域烃源岩, 在坦桑尼亚盆地、鲁伍马盆地深海大气田为 主力烃源。卡鲁裂谷期湖相烃源岩潜力大, 在早期形成的拗陷深部已达成熟—过成熟生气阶段, 多在盆地凹中隆等有利区聚集, 形成了索马里盆地 Calub 气田和穆伦达瓦盆地的 Tsimiroro 重油藏、Bemoolanga 沥青砂矿等。

与北部盆地构造环境的差异——强烈的区域抬升隆起和火山作用(图 2b), 限制海水进一步侵入, 造成南部盆地漂移期有利烃源岩的缺失。现今该区油气发现主要来源于白垩系—古、新近系烃源岩, 在陆上地堑深部达到成熟, 但分布局限, 潜力不大; 推测赞比西三角洲拗陷埋深厚度大, 烃源岩可能达到成熟, 具有一定潜力。

#### 4.2 断裂控制大气田分布, 南部通源断层不明确

断裂控制盆地隆拗构造格局的形成, 对油气输导、源储沟通具有重要作用, 在断裂作用过程中易

于牵引背斜等有利构造的发育, 地层间错断也利于油气的侧向封堵<sup>[25]</sup>。东非海岸油气藏的形成与分布受断裂控制作用明显, 陆上以盆地凹中隆最为有利, 基底或沉积地层断裂作用形成的古隆起阻止了油气沿盆地周缘渗漏、散逸, 同时隆起区易于发育密集的断裂, 为拗陷深部生成的油气提供重要的垂向运移通道, 于有利圈闭中汇聚成藏, 索马里盆地 Calub 隆起、穆伦达瓦盆地 Tsimiroro 地垒等均是主要产油气区; 深海区大气田呈现出沿 Davie 转换带及邻近 N-S 向断裂分布特征<sup>[26]</sup>, 控拗断裂及逆冲推覆褶皱带形成了一系列重要的通源断层, 鲁伍马盆地 Mamba 气田位于东部逆冲推覆体前缘, 深水重力流砂体分布广泛, 连通性较好, 沿上倾方向歼灭, 是一套高渗-超高渗优质储层, 由同期发育的层间泥岩封盖, 中下侏罗统海相泥页岩生成的油气(以气为主)沿东侧凯瑞巴斯地堑控拗断层运移, 充注于古近系砂体, 形成岩性-构造圈闭(图 6)。

南部盆地受莫桑比克褶皱带应力转换的影响, 构造相对稳定, 有利于油气保存, 通源断层的发育

是海上深部拗陷有效运移的关键,南部盆地应以断裂发育区为主要的勘探方向。

### 4.3 塑性岩体丰富构造样式,形成有利圈闭

泥、膏、盐岩等塑性岩体的发育和分布对油气的运聚成藏和保存具有重要作用,岩体变形产生底辟、冲断带等构造样式丰富了有利圈闭类型。东非北部盆地塑性岩体较为发育,漂移期局限环境下在海岸两侧盆地沉积了石膏、盐岩,被动大陆边缘期稳定环境下形成了分布广泛的泥页岩。中—下侏罗统 Hamanlei 组硬石膏在索马里盆地普遍发育,封盖能力强,形成良好的局部盖层<sup>[21,27]</sup>;鲁伍马盆地盐岩呈 N—S 向长条带状分布(图 8),随着埋藏加深,在负载作用下发生流动变形,形成的盐底辟上隆,触发了新生代沉积物在差异压实双重作用下沿泥页岩塑性软弱层滑脱,形成盐相关构造和滚动背斜等良好的油气藏运移通道和圈闭。

相比而言,南部盆地缺乏膏盐岩的发育,相关构造样式和圈闭类型均不如北部盆地丰富。赞比西三角洲深海区新生代火山活动频发,尤其是 Davie 断裂带南段,可能触发局部地区沿泥页岩层

运动,发育拆离断层,应着重关注。

## 5 结论

(1)东非海岸历经卡鲁裂谷发育、东西冈瓦纳分离、印度洋扩张等多期构造作用,形成被动大陆边缘盆地群。东非属“剪切-斜向剪切”型陆缘,地壳厚度横向变化于北部体现出更为明显的剪切特征,南部表现为较强烈的拉张作用;向海方向北部可划分为陆架沉积伸展构造区、陆坡下沉积挤压构造区等不同重力驱动构造变形带,南部相关断裂活动不如中北段发育。

(2)受板块分离方式、构造环境等控制,中、北段盆地和南段盆地在沉积特征上具有较大差异。中生代由北向南的海侵作用,使得北部盆地形成浅海相泥页岩、宽广的碳酸盐岩台地沉积,而南部盆地以火山岩沉积为主。

(3)构造及沉积特征上的差异造成南、北盆地烃源岩、储盖组合等石油地质条件明显不同,呈现出由北向南年代逐渐变新的规律。北部盆地烃源更丰富,而南部盆地受区域隆起和火山作用的影响,中生代优质烃源岩不发育。东非大气田的分布受断裂控制作用明显,多集中在 Davie 断裂带以西的深海区,北部陆上凹中隆也有分布,而南部通源断层的分布情况不明确,对大型断裂的发育与分布应进行重点勘探。泥、膏、盐岩等塑性岩体在北部盆地较为发育,引发地层变形、岩体滑动-滑塌,丰富了构造样式,形成有利圈闭。

(4)东非海岸整体勘探程度较低,建议北部盆地以古隆起与斜坡带形成的断块、披覆背斜、断背斜等构造圈闭、断裂发育的浊积砂体形成的岩性-构造圈闭为主;南段以海上拗陷周缘有通源断层发育的相关有利区为主要目标。

## 参考文献 (References)

- [1] Bumby A J, Guiraud R. The geodynamic setting of the Phanerozoic basins of Africa [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2005, 43 (1-3): 1-12.
- [2] Scotese C R. Jurassic and cretaceous plate tectonic reconstructions [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1991, 87 (1-4): 493-501.
- [3] Scotese C R, Gahagan L M, Larson R L. Plate tectonic reconstructions of the Cretaceous and Cenozoic ocean basins [J]. *Tectonophysics*, 1988, 155 (1-4): 27-48.
- [4] Catuneanu O, Wopfner H, Eriksson P G, et al. The Karoo basins of south-central Africa [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2005, 43 (1-3): 211-253.

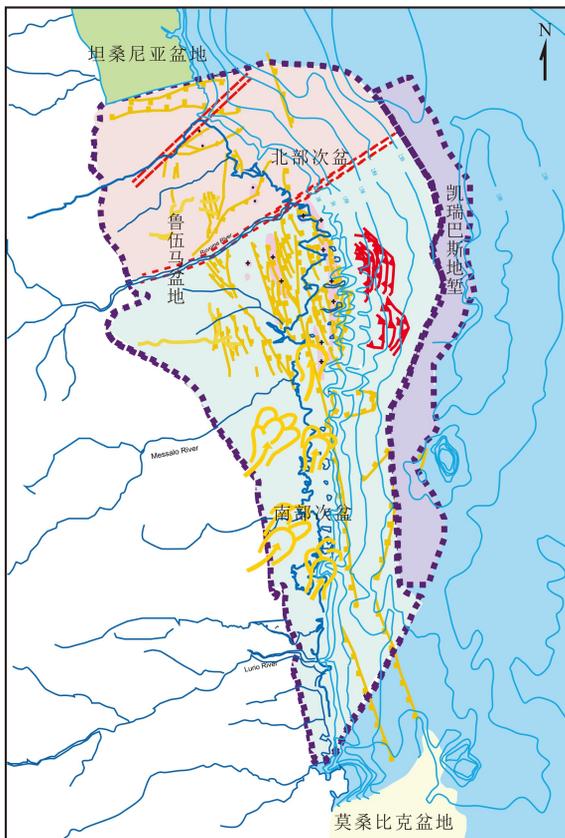


图 8 鲁伍马盆地构造纲要图

Fig.8 The tectonic outline map of the Rovuma basin

- [5] 陈宇航,姚根顺,吕福亮,等.东非鲁伍马盆地深水区构造-沉积演化过程及油气地质特征[J].*海相油气地质*,2016,21(2):39-46. [CHEN Yuhang, YAO Genshun, LV Fuliang, et al. Tectonic-Sedimentary evolution and petroleum geology characteristics in deepwater area in Rovuma Basin, East Africa [J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2016, 21(2): 39-46.]
- [6] Burke K, Dewey J F. Plume-generated triple junctions: Key indicators in applying plate tectonics to old rocks [J]. *The Journal of Geology*, 1973, 81(4): 406-433.
- [7] Reeves C. The position of Madagascar within Gondwana and its movements during Gondwana dispersal [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2014, 94: 45-57.
- [8] Mahanjane E S. The Davie Fracture Zone and adjacent basins in the offshore Mozambique Margin - A new insights for the hydrocarbon potential [J]. *Marine & Petroleum Geology*, 2014, 57: 561-571.
- [9] Mahanjane E S, Franke D, Lutz R, et al. Maturity and petroleum systems modelling in the offshore Zambezi delta depression and Angoche basin, northern Mozambique [J]. *Journal of Petroleum Geology*, 2014, 37(4): 329-348.
- [10] 陈宇航,姚根顺,唐鹏程,等.东非凯瑞巴斯盆地多期构造变形及对油气聚集的控制作用[J].*大地构造与成矿学*,2016,40(3):491-502. [CHEN Yuhang, YAO Genshun, TANG Pengcheng, et al. Multi-stage tectonic deformation and its control on hydrocarbon accumulation in the Kerimbas basin, East Africa [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2016, 40(3): 491-502.]
- [11] 于璇,侯贵廷,代双河,等.东非大陆边缘构造演化与油气成藏模式探析[J].*地质科技情报*,2015,34(6):147-154. [YU Xuan, HOU Guiting, DAI Shuanghe, et al. Tectonic evolution and hydrocarbon pooling patterns analysis in East Africa continental margin [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2015, 34(6): 147-154.]
- [12] Watts A B. Gravity anomalies, flexure and crustal structure at the Mozambique rifted margin [J]. *Marine & Petroleum Geology*, 2001, 18(4): 445-455.
- [13] Bosellini A. East Africa continental margins [J]. *Geology*, 1986, 14(1): 76-78.
- [14] Cruciani F, Barchi M R. The Lamu Basin deepwater fold-and-thrust belt: an example of a margin-scale, gravity-driven thrust belt along the continental passive margin of East Africa [J]. *Tectonics*, 2016, 35(3): 491-510.
- [15] Kejo Kajato H. Ruvuma basin-Mozambique and Tanzania-Proposed regional seismic survey and stratigraphic well[R]//Bandlien E H. Petroleum Exploration in Southern Africa, Proceedings SADC Energy Sector Petroleum Conference. Windhoek, 1993: 259-297.
- [16] Mahanjane E S, Franke D. The Rovuma Delta deep-water fold-and-thrust belt, offshore Mozambique [J]. *Tectonophysics*, 2014, 614: 91-99.
- [17] 温志新,王兆明,宋成鹏,等.东非被动大陆边缘盆地结构构造差异与油气勘探[J].*石油勘探与开发*,2015,42(5):671-680. [WEN Zhixin, WANG Zhaoming, SONG Chengpeng, et al. Structural architecture difference and petroleum exploration of passive continental margin basins in East Africa [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2015, 42(5): 671-680.]
- [18] 张可宝,史卜庆,徐志强,等.东非地区沉积盆地油气潜力浅析[J].*天然气地球科学*,2007,18(6):869-874. [ZHANG Kebao, SHI Buqing, XU Zhiqiang, et al. A study on petroleum geology and hydrocarbon potential in eastern Africa [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2007, 18(6): 869-874.]
- [19] 王维斌. 马达加斯加Morondava盆地烃源岩特征与成藏主控因素研究[D]. 中国石油大学硕士学位论文,2010. [WANG Weibin. Study on characteristics of source rocks and the main controlling factors for hydrocarbon accumulation in Morondava Basin [D]. Master Dissertation of China University of Petroleum.]
- [20] 许志刚,韩文明,孙玉梅.东非共轭型大陆边缘油气成藏差异性分析[J].*天然气地球科学*,2014,25(5):732-738. [XU Zhigang, HAN Wenming, SUN Yumei. Differences in petroleum geological conditions of conjugate continental margin in East Africa [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2014, 25(5): 732-738.]
- [21] 王建君,李浩武,王青,等.埃塞俄比亚Ogaden盆地侏罗系成藏组合地质特征与勘探潜力[J].*天然气地球科学*,2015,26(1):90-101. [WANG Jianjun, LI Haowu, WANG Qing, et al. Petroleum geological characteristics and exploration potential of Jurassic play, Ogaden basin, Ethiopia [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2015, 26(1): 90-101.]
- [22] 孙玉梅,孙涛,许志刚.东非海岸坦桑尼亚盆地烃源岩特征与油气来源[J].*中国海上油气*,2016,28(1):13-19. [SUN Yumei, SUN Tao, XU Zhigang. Source rock characteristics and oil-gas origins in Tanzania basin, East Africa coast [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2016, 28(1): 13-19.]
- [23] Solomon S, Bureau-Cauchois G, Ahmed N, et al. CO2 storage capacity assessment of deep saline aquifers in the Mozambique Basin [J]. *Energy Procedia*, 2014, 63: 5266-5283.
- [24] 崔志骅,楼章华,朱振宏,等.莫桑比克盆地油气地质特征与勘探前景[J].*海洋地质前沿*,2016,32(6):1-8. [CUI Zhihua, LOU Zhanghua, ZHU Zhenhong, et al. Petroleum geological characteristics and exploration prospect of Mozambique Basin [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2016, 32(6): 1-8.]
- [25] 康玉柱. 全球主要盆地油气分布规律[J]. *中国工程科学*, 2014, 16(8): 14-25. [KANG Yuzhu. The distribution of oil and gas in the global main basins [J]. *Engineering Sciences*, 2014, 16(8): 14-25.]
- [26] 张光亚,刘小兵,温志新,等.东非被动大陆边缘盆地构造-沉积特征及其对大气田富集的控制作用[J].*中国石油勘探*,2015,20(4):71-80. [ZHANG Guangya, LIU Xiaobing, WEN Zhixin, et al. Structural and sedimentary characteristics of passive continental margin basins in East Africa and their effect on the formation of giant gas fields [J]. *China Petroleum Exploration*, 2015, 20(4): 71-80.]
- [27] 熊利平,刘延莉,霍红.西非海岸南、北两段主要含油气盆地油气成藏特征对比[J].*石油与天然气地质*,2010,31(4):410-419. [XIONG Liping, LIU Yanli, HUO Hong. Comparison of the hydrocarbon accumulation patterns of petroliferous basins between the north and south parts of the West African coast [J]. *Oil & Gas Geology*, 2010, 31(4): 410-419.]