

许志刚, 韩文明, 孙玉梅. 东非大陆边缘构造演化过程与油气勘探潜力[J]. 中国地质, 2014, 41(3): 961-969.

Xu Zhigang, Han Wenming, Sun Yumei. Tectonic evolution and petroleum exploration prospect of East Africa[J]. Geology in China, 2014, 41(3): 961-969(in Chinese with English abstract).

东非大陆边缘构造演化过程与油气勘探潜力

许志刚 韩文明 孙玉梅

(中海油研究总院, 北京 100027)

摘要:近年来,东非大陆边缘油气接连获得大突破,已成为世界油气勘探的热点。与西非和北非相比,东非油气勘探和研究程度均很低,尤其经历错综复杂的构造演化过程后,盆地构造、沉积与油气系统及其三者之间的相互作用关系十分复杂,不利于对东非油气勘探前景的分析和判断。本文通过对东非大陆边缘形成与演化过程的探讨,并结合现今盆地结构和油气发现状况,研究认为,东非大陆边缘先后经历了Karoo陆内裂谷、侏罗—白垩纪裂谷两期裂谷和一期被动陆缘作用阶段。两期裂谷发育多套烃源层系,并与被动陆缘阶段的三角洲—深水浊积扇储层时空上构成较好的油储关系,两者均受控于东非复杂构造演化作用,构造对油藏系统的改造或破坏作用影响了东非油气富集规模和类型。

关键词:东非大陆边缘;构造演化;烃源岩;勘探潜力

中图分类号:P618.130.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2014)03-0961-09

东非大陆边缘一般指从亚丁湾以南的索马里起沿东非海岸向南到莫桑比克,主要包括索马里盆地、拉姆盆地(Lamu Basin)、坦桑尼亚盆地、鲁玛盆地(Ruvuma Basin)、莫桑比克盆地和赞比西三角洲等6个盆地,以鲁玛盆地为界,分为北段和南段。另外,马达加斯加(3个盆地)和塞舌尔盆地早期属于东非板块的一部分,也属于东非大陆边缘盆地(图1)^[1-4]。

在20世纪80—90年代,东非勘探程度很低,相比西非和北非一直被认为是整个非洲油气发现的低洼区,勘探步伐始终停滞不前。而从2010年以来,在东非海岸北段的鲁玛、坦桑尼亚和拉姆盆地的深水接连获得中—大型天然气发现,累计地质储量接近50000亿m³,一举将东非油气勘探推向一个新的高潮。而南段莫桑比克盆地—赞比西三角洲相对沉寂,只发现了几个气田,规模均较小。与东非海岸隔海相望的马达加斯加岛穆伦达瓦盆地

(Morondava Basin),而早在20世纪50年代便发现了Tsimiroro稠油田和Bemolanga沥青和油砂,地质储量就达到了39亿桶。

对比现今东非海岸的油气发现,从北到南,主要以天然气为主,集中在北段,而从构造属性上与北段一脉相承的马达加斯加岛则主要以稠油和油砂为主。研究发现,现今这种油气类型与分布格局,其实受到东非海岸复杂的构造演化对各盆地烃源系统和油气成藏的深刻影响所致,或适度改造、或相对稳定、或抬升破坏等。本文将查明这种复杂的构造演化过程为切入点,按构造对油气系统的作用分区分带来阐述东非大陆边缘潜力区主要控制因素,并对其油气勘探前景作初步分析。

1 东非大陆边缘构造演化过程

现今的东非大陆边缘构造格局和盆地分布是

收稿日期:2013-06-27;改回日期:2013-11-14

基金项目:十二五国家科技重大专项(2011ZX05030-003)资助。

作者简介:许志刚,男,1977年生,博士,工程师,从事海外油气勘探综合地质研究;E-mail:x_zhigang@126.com。

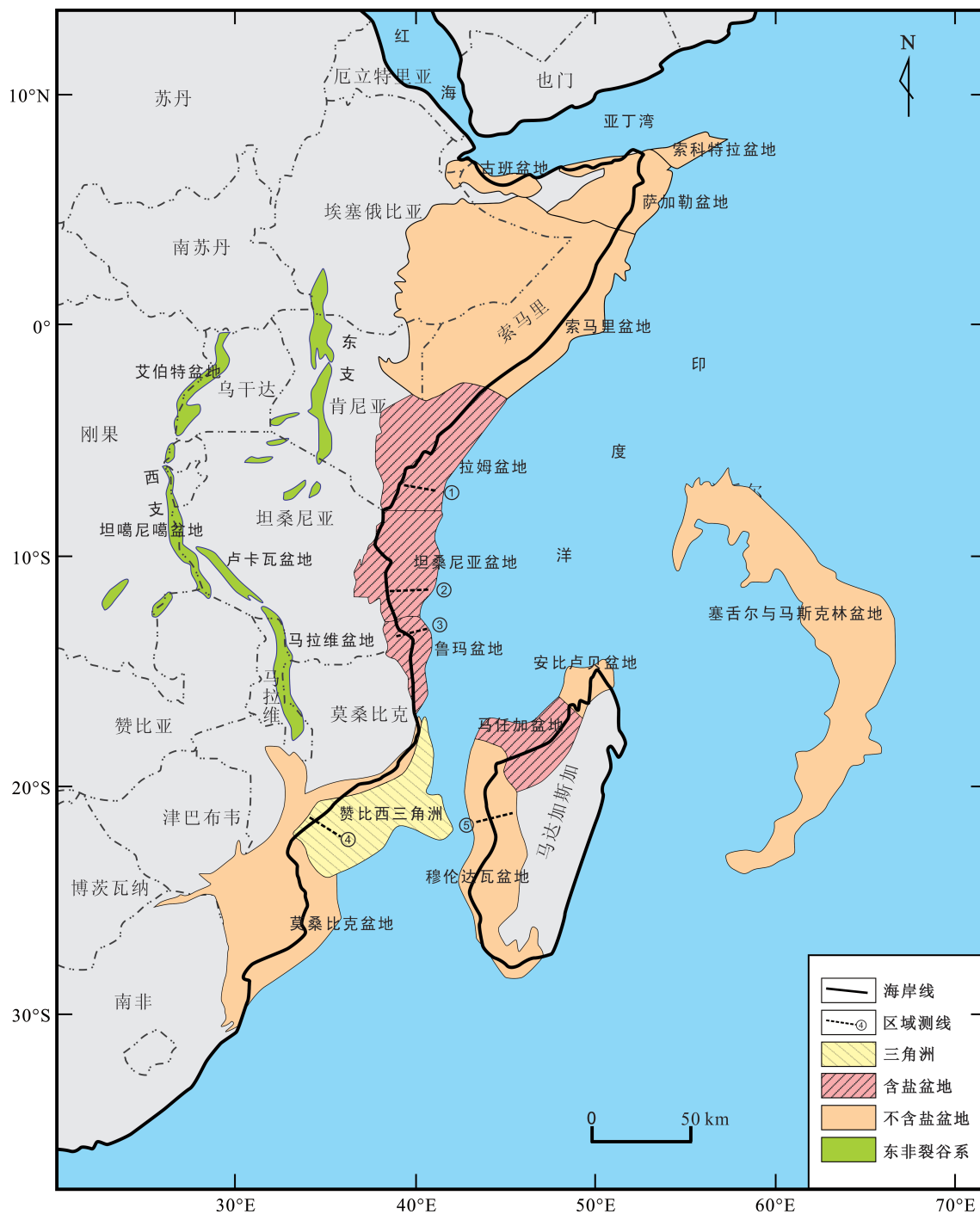


图1 东非大陆边缘盆地分布图

Fig.1 Distribution of passive continental margin basin of East Africa

在整个非洲板块与周边板块不断分离这一大的构造背景下逐步演化而成的。东西冈瓦纳联合古陆的裂解提供大的演化趋势,地幔柱则提供局部动力背景,并以此为研究线索,可将东非大陆边缘构造演化划分为3个最主要的时期。

1.1 Karoo陆内裂谷阶段(晚石炭世—早侏罗世)

研究东非整体和海岸局部构造演化,尤其其中一古生代构造形成历史离不开对Karoo的认识。特别是作为烃源和主要的勘探层系被证实后,Karoo陆内裂谷长期以来备受关注。由于其形成的时间

跨度长(横跨石炭—二叠—三叠纪和侏罗纪,约120 Ma),地层厚(南非Karoo盆地,最深约12000 m),经历多期构造事件和应力作用的影响(先拉张后挤压再拉张)^[5-6],所以Karoo陆内裂谷阶段只能粗略概括东西冈瓦纳大陆解体之前东非构造演化的历史。

Karoo裂谷的形成最早始于晚石炭世,早侏罗世Karoo地幔柱的活动,东西冈瓦纳大陆开始解体的同时也代表这期构造演化的结束。在平面上,Karoo裂谷横穿整个东非大陆,基本平行于现今的东非海岸,呈NE-SW走向(图2-a)^[7]。向北可延伸至亚丁湾海域,向西可拓展至刚果(金),向东则伸展到现今印度大陆的东海岸,涉及的国家、区域和盆地均十分广泛。Karoo裂谷主要沿着早期古构造带的边缘或东西冈瓦纳之间的古缝合线,在东西冈瓦纳大陆解体这种大的构造背景下逐步演化而来。由于演化时期较长,并遭受后期构造和应力作用的持续改造,Karoo裂谷往往成为现今各盆地的先存裂谷,或控制或影响后期新生盆地的形成与演化,成为东非最古老的裂谷。现今东非海岸北段是早期Karoo裂谷的主要分布区,在拉姆、坦桑尼亚、鲁玛盆地以及马达加斯加的穆伦达瓦盆地,地震剖面均揭示Karoo裂谷早期断陷构造格局(图3),并成为Karoo湖相烃源岩形成的有利地带,同时也是东非海岸非常重要的一个勘探领域。

1.2 侏罗—白垩纪裂谷阶段(中侏罗世—早白垩世)

由于早侏罗世Karoo地幔柱的活动,东西冈瓦纳也以此为节点陆续开始瓦解,东非海岸侏罗—白垩系裂谷阶段也以此为开端。183 Ma的Karoo地幔柱活动,使非洲南部、南极洲、南美洲之间的结合处首先开始裂开,南印度洋(古统称特提斯洋,下同)被打开,从南往北并逐步海侵至现今的莫桑比克—赞比西三角洲地区;大约经过20 Ma,即中侏罗世(161 Ma)之后,马达加斯加、印度、南极洲和澳大利亚组成的东冈瓦纳板块才开始在现今北段的拉姆和索马里盆地位置,沿Davie脊向东南或近南方向漂移,北部印度洋也相继打开,并逐渐从北往南海侵,并于晚侏罗世(150 Ma),南北印度洋开始贯通,马达加斯加岛也于130 Ma时漂移至现今位置而停止,整个裂谷演化阶段也结束(图2-d)^[8-17]。

由于Karoo地幔柱活动与马达加斯加漂移不管是时间还是位置都不一致,同时也受其他各板块陆

续分离的影响,导致这期裂谷的演化并不像传统意义上的裂谷演化,只局限在一个盆地或一个带,而它基本涵盖了整个东非板块分离最活跃的时期,时间跨度也较长(近50 Ma)。这也造就了这期裂谷的平面构造格局并不是很明朗,尤其在现今资料和研究比较有限的情况下。

随着南北印度洋的贯通,晚侏罗世—白垩纪海平面持续上升,现今东非大部分盆地被淹没在海面之下,海岸线的后移使早白垩世后期的地层广泛处于海相沉积环境,局部物源充足地区,形成了许多小型三角洲—深水浊积扇体系。

在这个阶段,由于演化的复杂性,造成盆地格局南北差异、南北印度洋打开的先后差异、以及随后印度板块的NE-SW方向的漂移,对后续盆地的构造格局和沉积体系以及整个东非含油气系统的影响意义深远。

1.3 被动大陆边缘阶段(早白垩世—现在)

随着马达加斯加岛漂移至现今的位置以及南北印度洋的贯通,东非大陆边缘开始了持续时间较长的被动大陆边缘阶段。虽然构造活动整体趋于稳定,但周边构造活动并未平息,在此期间经历了几次大的板块分离事件,对东非海岸产生了一些间接和直接的影响。

直接的影响是晚白垩世晚期(Marion地幔柱,约82 Ma)与早古新世(Deccan地幔柱,64 Ma),印度板块分别于马达加斯加岛和塞舌尔相继分离,形成NE-SW方向的剪切作用,与早期马达加斯加岛向SE方向漂移形成明显的应力转换(图2-e-f)^[16-18],对东非海岸,尤其北段各盆地后期和早期的构造与沉积充填造成直接的影响。

间接的影响是渐新世(Afar地幔柱,约31 Ma),阿拉伯板块从非洲板块分离,红海、亚丁湾与东非裂谷系形成了三叉裂谷,其中一支发育成现今的东非裂谷(图2-g)。在西支中南段卢卡瓦和马拉维地堑中,可清晰识别出新生代裂谷与早期中—古生代裂谷垂向上相互交叉,分割了盆地构造单元的同时,也改变周边水系的走向,间接影响到渐新世后期东非海岸如赞比西和鲁玛三角洲的物源供给及盆地内局部构造格局展布^[19]。而这些三角洲及其深水浊积扇复合体系正是东非海岸近几年持续获得大发现的主要勘探层系。

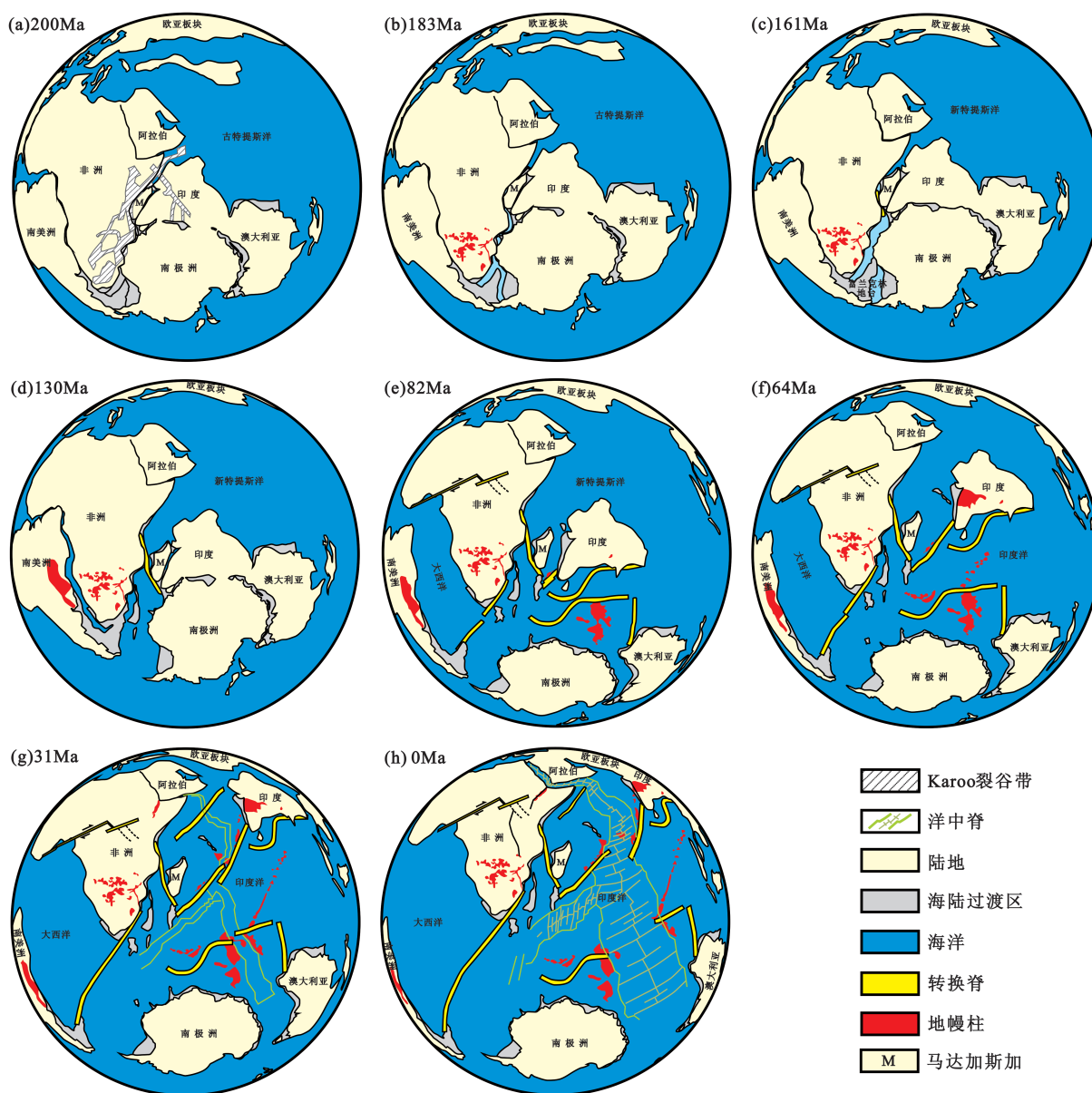


图2 东非构造演化过程示意图
Fig.2 Tectonic evolution process of East Africa

2 东非大陆边缘基本石油地质条件

2.1 烃源岩

目前关于东非大陆边缘各盆地烃源岩的层位及地球化学特征尚无统一的认识。通过构造演化阶段分析,纵向上自二叠系至今,东非海岸发育多套有利于烃源岩形成的环境,横向上则涵盖多个盆地,涉及区域极广,而不同盆地或凹陷主力烃源

层系变化较大。总体而言,东非海岸盆地发育2套主力烃源岩:(1)Karoo陆内裂谷期湖相页岩、湖沼相煤系烃源岩和裂谷晚期遭受海侵环境的潟湖相烃源岩;(2)过渡期-漂移期中一晚侏罗世海相烃源岩。其次为白垩纪和古近纪海相、海陆过渡相烃源岩。

2.1.1 Karoo 陆内裂谷时期烃源系统

现今东非海岸北段、马达加斯加西侧和塞舌尔

是Karoo裂谷的主要分布区,裂谷内发育多套烃源岩,并在多个盆地中发现了油气资源和钻井显示。虽然烃源品质较好,以I~II型干酪根为主,成熟度普遍较高。但由于排烃早,后期构造活动频繁,保存较差,多数油藏遭受后期生物降解和水洗作用,残留成为稠油、沥青和油砂,局部见少量轻质油显示。

在马达加斯加穆伦达瓦盆地中北部,Tsimirolo稠油田和Bemolanga沥青和油砂,其烃源岩证实来自早三叠世Sakamena湖相泥页岩,以I型干酪根为主,地质储量达到39亿桶,从此数据窥见Karoo裂谷时期的烃源岩排烃量巨大。而塞舌尔盆地内钻井岩屑和沥青球样品也揭示中晚三叠世湖相烃源岩,但由于热演化程度较高,有机质类型既有III型,也有II型和I型^[20-21]。

在东非海岸,索马里盆地二叠纪—早三叠世BOKH层是已经被证实的湖相烃源岩,以II型干酪根为主,少量III型,热演化程度高, R_o 介于1.0%~1.3%,为Calub气田的气源岩^[15,21]。鲁玛盆地陆上的Lukuledi地堑内的湖相页岩有机碳可达7.5%,氢指数为386 mg/g,属于II型有机质,生油为主,生烃潜力高,属于优质烃源岩^[7,21]。

通过以上分析表明,Karoo陆内裂谷时期的烃源岩主要集中在三叠纪—早侏罗世,区域上主要集中在北段和孤岛区。回顾东非构造演化历史,三叠纪—早侏罗世正是马达加斯加岛从非洲大陆分离的前期,而漂移的起点位于现今的肯尼亚和索马里附近。随着北部印度洋的逐渐打开,在北段、马达加斯加西部和塞舌尔形成了许多共轭的盆地,成为盆地的早期雏形。也正是在这个缓慢裂解过程中,形成了许多封闭的中深湖和相对封闭的泻湖,这无疑为后期烃源岩的形成奠定了基础。

2.1.2 侏罗—白垩系烃源系统

侏罗—白垩系裂谷时期正是马达加斯加大规模漂移的时期,随着北印度洋逐渐打开并随后与南印度洋贯通,东非海岸大部分地区淹没在海平面以下,尤其在白垩纪时期,海平面持续上升,持续海侵。因此,烃源层系主要以海相泥页岩或灰岩,III型倾气型干酪根为主,烃源指标较低,成熟度不高或未成熟。

中—晚侏罗世,局部地区由于各盆地裂开时间早晚的差异,发育一些海陆过渡型的烃源岩,以II~

III型干酪根为主,成为该时期比较好的烃源岩。如在埃塞俄比亚东部Uarandab地区出露70 m厚中—晚侏罗世暗色页岩,下部含石膏,上部夹泥灰岩,表现了泻湖相的沉积特征;索马里盆地中侏罗世普林斯巴—卡洛夫阶页岩具有相对较高的生烃潜力,但厚度一般小于3 m,II型干酪根;坦桑尼亚及鲁玛盆地钻井揭示的中上侏罗统有机质丰度一般较低,有机质类型以III型为主,推测向深海方向有机质丰度可能增加^[22]。

白垩纪以后地层总体上有机质丰度偏低,少数样品较好。坦桑尼亚海岸盆地白垩系至始新统样品泥岩有机碳为0.5%~11.7%,始新统含煤,但所有样品氢指数低,最大值小于200 mg/g,演化程度低, R_o 小于0.9%,处于未成熟—成熟阶段^[22]。莫桑比克海岸盆地早白垩世Maputo组含煤,部分样品有机质丰度可达中等—好,有机质类型以II~III型为主,热演化程度处于成熟早期。晚白垩世的样品有机质丰度低,烃源岩品质较差。

2.2 储集层

Karoo陆内裂谷时期河流—三角洲储层比较发育,分布也十分广泛,但由于遭受后期多期构造活动的改造,在东非大部分地区残缺不全。在塞舌尔盆地有钻井揭示二叠纪—早侏罗世Karoo地层厚度达到1800 m,呈砂泥岩互层,物性普遍较差。其中,还夹有少许煤、火成岩和碳酸盐岩,受后期沉积改造作用明显^[20]。

晚侏罗世之后,尤其从渐新世开始,海平面持续下降,稳定的构造环境和充足的物源供给为古近—新近纪地层沉积创造了构造环境和物质基础。在这个时期的主要储层以三角洲—深水浊积扇为典型代表,如东非最大、非洲第四大三角洲——赞比西三角洲和东非油气最富集的鲁玛三角洲(图3)。而在白垩纪时期,海平面持续上升,在东非沿岸沉积了大套碳酸盐岩,局部物源充足地区形成了一系列三角洲—深水浊积扇,但规模普遍较小,比如坦桑尼亚Songo Songo气田和莫桑比克Pande气田的主力储层可能都来自于这些储层。

2.3 圈闭与运移

晚白垩世赛诺曼阶时期,由于印度与塞舌尔沿NE—SW方向相继于马达加斯加岛分离,这与早期马达加斯加岛向SE方向漂移形成交叉,构造应力方

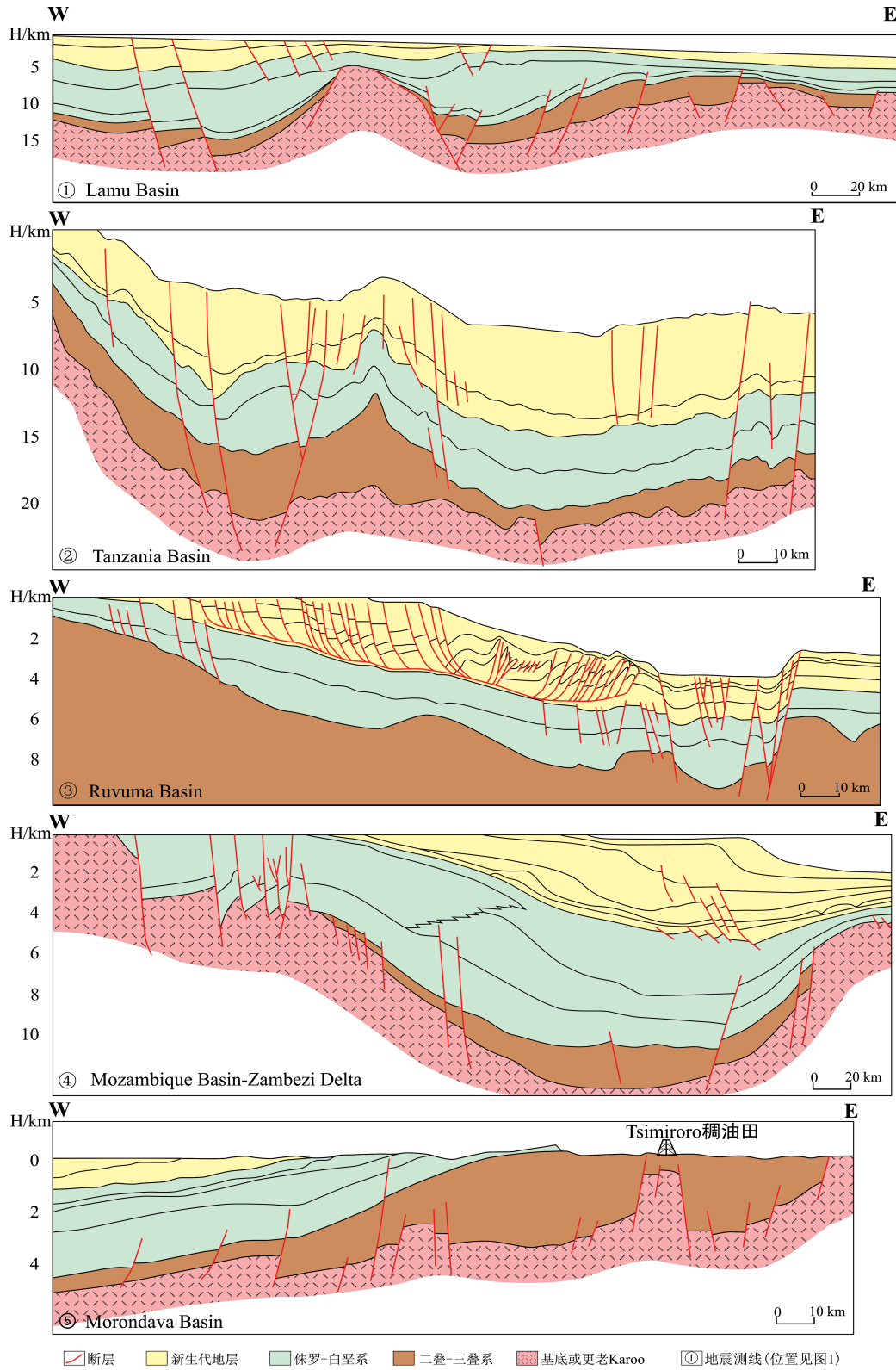


图3 东非大陆边缘主要盆地地质剖面

Fig.3 Geological section of the main basin on the passive continental margin of East Africa

向的转变^[16-18],造就了东非海岸北段各盆地丰富多样的构造格局与断裂样式,从现有地震剖面识别出了逆冲推覆、挤压反转以及与盐相关的盐底辟和盐刺穿等多种构造样式(图3剖面①②③)。与此同时,由于受马达加斯加岛的阻挡,这种作用力的转换并没有波及东非海岸南段各盆地,使南段以稳定陆缘构造格局为主。

南北构造条件的差异,使北段圈闭类型更多,条件更优越。同时,这种构造应力的转变也促使深层油气的运移、输导和浅层成藏。而南段,主要以低幅岩性圈闭为主,断裂不发育。莫桑比克盆地的Pande和Temane气田天然气来源推测为生物气^[19],也可能与这种稳定的构造环境相关。

3 东非大陆边缘构造对油气系统的影响及勘探前景

通过构造演化对油气系统影响的分析,结合现今盆地结构和油气类型,可将东非大陆边缘划分为3大构造区:(1)构造适度改造区,以东非海岸北段索马里—拉姆—坦桑尼亚—鲁玛盆地为主;(2)构造相对稳定区,以东非海岸南段莫桑比克—赞比西三角洲为主;(3)构造抬升破坏区,以马达加斯加和塞舌尔这些孤岛为主。总体而言,从油气成藏条件,北段比南段优越;天然气成因和类型,北段主要以热(或裂解)成因天然气为主,南段根据现有资料推测生物成因气可能性较大,孤岛区则以稠油沥青为主。对于不同的构造区和油气类型,东非大陆边缘油气勘探前景也有所不同。

3.1 构造适度改造区

东非海岸北段各盆地经历了后期构造作用的适度改造,极大的丰富了圈闭类型之外,还对早期油气起到了良好的输导和沟通的作用(图3剖面①②③)。而北段复杂的构造演化,造就了丰富多样的沉积环境,使东非海岸北段具备多套烃源岩发育的环境。尤其在白垩纪晚期,随着海平面持续下降,在陆缘和深水广泛分布了多个中—大型三角洲—深水浊积扇复合沉积体系,垂向上与二叠—侏罗纪裂谷时期形成的多套优质烃源岩构成了良好的成藏组合关系,因而成为现今东非海岸油气最富集的层段。现今的油气勘探成效也体现了这一点,东非海岸90%以上的油气都集中白垩纪—渐新世以来的

三角洲—深水浊积扇复合体系中。

对于这个领域,最棘手的问题,由于东非海岸经历了复杂的构造演化,相带转换十分频繁,烃源岩层系虽然较多,但每套烃源岩平面分布范围也很难落实,这对盆地内有利区带或区块的勘探潜力的评价和聚焦是不利的。

3.2 构造相对稳定区

东非海岸南段自从早侏罗世Karoo地幔柱导致东西冈瓦纳解体之后,随着南印度洋由南往北海侵,南段大部分地区淹没在海平面之下,构造活动趋于稳定(图3剖面④)。受马达加斯加东南漂移的影响,形成了一系列窄而浅、平行岸线分布的白垩系地堑,其上被后期更加稳定的陆缘沉积物所覆盖。现今莫桑比克盆地内的一些气田,如Pande和Temane等便分布在这些窄而浅的地堑中,埋深不到1500 m,地层平缓,以低幅岩性构造为主,烃源指标较差,地温梯度(1.9~2.17) °C/100 m,属于低温冷盆,而天然气中甲烷含量最高可到97%,并伴随了部分凝析油,从现有资料推测气田的油气可能为白垩纪自生自储形成的生物热催化过渡带气与煤成油气混合。

由于生物气在成藏条件方面要求较高,而现有资料表明盆地内烃源条件较差,缺乏优质烃源岩。构造的稳定性一方面虽然有利于油气的保存,但另一方面不利于深层油气的输导和成藏。因此,从源控论的角度,在该地区未来可能还是以寻找中—小型气田为主。

3.3 构造抬升破坏区

相对于非洲大陆,马达加斯加和塞舌尔等孤岛区经历了多次板块分离的构造作用,现今陆上大部分地区主要以二叠—侏罗纪地层为主,白垩纪和新生代地层大部分被剥蚀,局部呈薄皮覆盖(图3剖面⑤)。

强烈的抬升破坏作用致使孤岛区内盆地结构也比较单一,多呈现单斜构造。1936年在穆伦达瓦盆地中北部发现的Tsimiroro稠油田储层为三叠纪砂岩,埋深只有300 m(图3剖面⑤);与之相邻的Bemolanga油田是世界上最大的焦油沥青油田之一,埋深不到30 m。由于埋深较浅,生物降解和水洗作用十分强烈。在塞舌尔群岛的海滩上,发现了大量来自晚三叠世沥青球,经过地化分析它们均经历了不同程度的生物降解和水洗作用^[20]。

显然,对于该区域寻找轻质油藏所面临的风险较大。虽然在稠油田周边,也发现了一些天然气和轻质油,但规模都非常小。反映出该地区在烃源证实的条件下,保存条件和源岩排烃与圈闭之间匹配关系等因素成为了成藏成功与否的关键因素。围绕这两点,要寻找轻质油或气,还是要立足于寻找早期 Karoo 残洼或海上剥蚀程度较低的地区。

4 结 论

通过上述论述,东非大陆边缘先后经历了多期板块裂解的构造作用,从大的构造演化阶段可划分为中生代和古生代两期裂谷以及白垩纪以来的被动陆缘阶段。这两期裂谷被新生代为主的被动陆缘沉积物所覆盖,或遭受后期构造作用或改造或剥蚀,成为东非大陆边缘最重要的两期隐形盆地。在多期复杂构造作用下,不仅控制了东非大陆边缘各盆地的构造和沉积格局、烃源岩的形成与分布,同时也控制了油气富集类型。针对这种复杂的构造作用,需要采取不同的评价策略展望东非油气勘探前景。

参考文献(References):

- [1] Winn R J. Stratigraphy and rifting history of the Mesozoic Cenozoic Anza Rift, Kenya[J]. AAPG, 1993, 77 (11): 1989–2005.
- [2] 童晓光, 关增森. 世界石油勘探开发图集(非洲地质分册)[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 1–437.
- Tong Xiaoguang, Guan Zengmiao. World Atlas of Petroleum Exploration and Development[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002: 1–437(in Chinese).
- [3] 关增森, 李剑. 非洲油气资源与勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005: 7–64.
- Guan Zengmiao, Li Jian. Oil and Gas Resources and Exploration in Africa[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2005: 7–64(in Chinese).
- [4] 孙海涛, 钟大康, 张思梦. 非洲东西部被动大陆边缘盆地油气分布差异[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(5): 561–567.
- Sun Haitao, Zhong Dakang, Zhang Simeng. Difference in hydrocarbon distribution in passive margin basins of east and west Africa[J]. Petroleum Exploration and Development, 2010, 37(5): 561–567(in Chinese with English abstract).
- [5] Thomas Schluter. Geology of East Africa[M]. 1997, ISBN 3–443–11027–4.
- [6] Cole D L, Wipplinger P E. Sedimentology and Molybdenum Potential of the Beaufort Group in the Main Karoo Basin, South Africa[M]. 2001, ISBN 1–875061–47–9.
- [7] World Petroleum Resources Project. Assesment of undiscovered oil and gas resources of four East Africa geologic Provinces[R]. April 2012.
- [8] 马君, 刘剑平, 潘校华, 等. 东非大陆边缘地质特征及油气勘探前景[J]. 世界地质, 2008, 27(4): 400–406.
- Ma Jun, Liu Jianping, Pan Xiaohua, et al. Geological characteristics and prospect on hydrocarbon exploration in East Africa Continental Margin[J]. Global Geology, 2008, 27(4): 400–406(in Chinese with English abstract).
- [9] 胡培远, 李才, 苏犁, 等. 青藏高原羌塘中部蜈蚣山花岗岩片麻岩锆石 U–Pb 定年——泛非与印支事件的年代学记录[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 1050–1061.
- Hu Peiyuan, Li Cai, Su Li, et al. Zircon U–Pb dating of granitic gneiss in Wugong Mountain area, central Qiangtang, Qinghai–Tibet Plateau: Age records of Pan–African movement and Indo–China movement[J]. Geology in China, 2010, 37(4): 1050–1061(in Chinese with English abstract).
- [10] 葛肖虹, 马文璞, 刘俊来, 等. 中国区域大地构造学的研究展望[J]. 中国地质, 2013, 40(1): 61–73.
- Ge Xiaohong, Ma Wenpu, Liu Junlai, et al. Prospect of researches on regional tectonics of China[J]. Geology in China, 2013, 40(1): 61–73(in Chinese with English abstract).
- [11] 肖庆辉, 刘勇, 冯艳芳, 等. 中国东部中生代岩石圈演化与太平洋板块俯冲消减关系的讨论[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 1092–1101.
- Xiao Qinghui, Liu Yong, Feng Yanfang, et al. A preliminary study of the relationship between Mesozoic lithosphere evolution in eastern China and the subduction of the Pacific plate[J]. Geology in China, 2010, 37(4): 1092–1101(in Chinese with English abstract).
- [12] Veevers J J, Powell C M, Johnson B D. Seafloor constructions on the reconstruction of Gondwanaland[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1980, 51: 435–444.
- [13] Marks K M, Tikku A A. Cretaceous reconstructions of East Antarctica, Africa and Madagascar[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2001, 186: 479–495.
- [14] Alan S, Collins. Madagascar and the amalgamation of Central Gondwana[J]. Gondwana Research, 2006, 9: 3–6.
- [15] Alfonso Bosellini. East Africa continental margins[J]. Geology, 1986, 14: 76–78.
- [16] Scrutton R A. Davie fracture zone and the movement of Madagascar[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1978, 39: 84–88.

- [17] Markus G, David N C, Wolfgang M. Reappraisal of the timing of the breakup of Gondwana based on sedimentological and seismic evidence from the Morondava basin, Madagascar[J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2004, 38: 363–381.
- [18] Dale B. Shear margins: Continent–ocean transform and fracture zone boundaries[J]. *The Leading Edge*, 2001: 150–159.
- [19] Chorowicz J. The East African rift system[J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2005, 43: 379–410.
- [20] Plummer Phillip S. Geochemical analyses may indicate oil kitchen near Seychelles bank[J]. *Oil & Gas Journal*, 1992, 5: 52–55.
- [21] Robertson Research International Limited. Circum India Ocean Frontier Source Rocks Study[R]. 2000.
- [22] Alan E M, Nairn, Iam L, et al. Geology, basin analysis, and hydrocarbon potential of Mozambique and the Mozambique channel[J]. *Earth Science Reviews*, 1991, 30: 81–124.

Tectonic evolution and petroleum exploration prospect of East Africa

XU Zhi-gang, HAN Wen-ming, SUN Yu-mei

(CNOOC Research Institute, Beijing 100027, China)

Abstract: At present, East Africa continental margin which has won a big breakthrough in oil and gas exploration has become the hot spot of the world petroleum exploration. Compared with West and North Africa, East Africa is at the very low oil and gas exploration and research level. After complicated tectonic evolution, the basin structure, deposition and petroleum system as well as their interaction have become very complex, which is not favorable for the analysis and judgment of the petroleum exploration prospect of East Africa. Studies of the evolution process of the East Africa continental margin in combination with the current basin structure and oil and gas discovery indicate that the continental margin of East Africa has successively experienced Karoo intracontinental rifting, Jurassic and cretaceous rifting and a passive epicontinental action. Two rifts provided good sedimentary environments such as lacustrine facies and lagoon facies, which formed multiple hydrocarbon source formations. In space and time, they constituted a good hydrocarbon–reservoir system with delta and deep–water turbidite fans in the passive continental margin stage. In addition, they were both controlled by complex tectonic evolution which decided the size of reservoirs and the style of hydrocarbons.

Key words: passive continental margin of East Africa; tectonic evolution; hydrocarbon source rock; exploration prospect

About the first author: XU Zhi-gang, male, born in 1977, doctor, engineer, mainly engages in the study of overseas oil and gas exploration, regional geology and sedimentation; E-mail: x_zhigang@126.com.