

doi: 10.13745/j.esf.2015.06.016

# 西非裂谷系 Termit 盆地古近系油气成藏主控因素分析

吕明胜<sup>1,2</sup>, 薛良清<sup>1</sup>, 万仑坤<sup>2</sup>, 毛凤军<sup>2</sup>, 刘计国<sup>2</sup>, 刘 邦<sup>2</sup>, 王玉华<sup>2</sup>

1. 中国石油天然气勘探开发公司, 北京 100034

2. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

LÜ Mingsheng<sup>1,2</sup>, XUE Liangqing<sup>1</sup>, WAN Lunkun<sup>2</sup>, MAO Fengjun<sup>2</sup>, LIU Jiguo<sup>2</sup>, LIU Bang<sup>2</sup>,  
WANG Yuhua<sup>2</sup>

1. China National Oil and Gas Exploration and Development Corporation, Beijing 100034, China

2. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing 100083, China

LÜ Mingsheng, XUE Liangqing, WAN Lunkun, et al. Main controlling factors of Paleogene hydrocarbon accumulation of Termit Basin, West African rift system. *Earth Science Frontiers*, 2015, 22(6): 207-216

**Abstract:** The Termit Basin, which is located in the southeastern Niger and tectonically belongs to the northern part of West African Rift System (WARS), is a Mesozoic-Cenozoic rift basin developed on the Precambrian-Jurassic basement. Since 1974, many foreign oil companies have made exploration in Termit Basin and found seven reservoirs in Dinga Faulted Terrace. CNPC began exploration in the basin in 2008. It is a very difficult issue that how to evaluate the potential and find abundant petroleum. Based on the tectonic evolution of the Late Cretaceous great transgression and two rifts superimposition, this study mainly focuses on analyzing the main controlling factors of Paleogene hydrocarbon accumulation. The petroleum accumulation model of the Paleogene shows the following six characteristics: (1) hydrocarbon generation is controlled by the large area of marine source rocks; (2) sandstone distribution is influenced by superimposition of two phases rifting; (3) secondary migration of oil and gas is controlled by faults and thick carrier beds; (4) fluid potential is decided by structural relief; (5) petroleum accumulation is determined by the relationship between faults and sandstone; (6) preservation of oil and gas is defined by cap rocks and lateral blockages. The analysis of main controlling factors reveals the petroleum accumulation principles of the Paleogene, and facilitates the exploration of the Termit Basin.

**Key words:** West African Rift System; Termit Basin; great transgression; superimposition of two phases rifting; tectonic evolution; main controlling factors of hydrocarbon accumulation

**摘 要:** Termit 盆地隶属于西非裂谷系,是发育于前寒武系—侏罗系基底之上的中、新生代裂谷盆地。国外石油公司自 1974 年开始对该盆地进行勘探,截止 2008 年在中国石油获得勘探许可前,仅在西部 Dinga 断阶带发现 7 个油气藏,区域甩开勘探没有获得商业发现。针对这一国外石油公司勘探近 40 年后放弃的区块,面临着如何寻找潜力区带、发现规模油气的巨大挑战。本文基于 Termit 盆地晚白垩世大规模海侵、早白垩世和古近纪两期裂谷叠置的构造演化特点,分析了古近系油气成藏的主控因素。这种后期叠置裂谷(古近纪)的成藏模式有别于其他纯陆相单一旋回的裂谷盆地,烃源岩为上白垩统海相泥页岩,储层为古近系陆相砂岩,盖层为古近系湖相泥岩,表现为跨世代(跨二级层序)油气聚集特征。其油气成藏具有 6 个主控因素,即大范围海相烃源岩“控源”、叠置裂谷“控砂”、断裂与砂岩输导层“控运”、构造地貌“控势”、断层与砂体配置“控藏”、盖层与侧向封挡“控保”。成藏主控因素分析揭示了 Termit 盆地古近系的油气富集规律,有效指导了该盆地潜力

收稿日期:2014-05-05;修回日期:2014-12-30

基金项目:国家重大油气专项(2011ZX05029-001)

作者简介:吕明胜(1982—),男,博士,主要从事层序与沉积、油气成藏研究。E-mail:lvmingsheng@cnpcint.com

区带评价与规模油气发现。

关键词:西非裂谷系;Termit 盆地;大规模海侵;裂谷叠置;构造演化;成藏主控因素

中图分类号:P618.13 文献标志码:A 文章编号:1005-2321(2015)06-0207-10

国外石油公司自 1974 年开始在 Termit 盆地进行油气勘探。近 40 年间,完成了大量航磁和二维地震勘探,发现了 7 个小规模油气藏。这些油气藏主要集中在盆地西部的 Dinga 断阶带,其余区带甩开勘探未获商业发现。国外石油公司退地后,2008 年 6 月中国石油天然气股份有限公司获得 Termit 盆地的勘探许可,面临着如何在较短勘探期内快速优选潜力区带、发现规模油气的一系列挑战和困难。首先, Termit 盆地是国外石油公司经过近 40 年勘探而最终放弃的地区,且属于典型的低勘探程度盆地,认识程度低,尚未进行系统的油气成藏规律研究。中国石油天然气股份有限公司接手该盆地勘探前,探井密度仅为 0.058 口/100 km<sup>2</sup>,勘探潜力与方向不明确。其次,所发现的 7 个含油气构造分布局限,区域甩开勘探难度大。笔者基于地震及钻井资料,分析 Termit 盆地早白垩世—古近纪经历“裂谷—拗陷—裂谷”及“陆相—海相—陆相”的构造沉积演化过程,明确生储盖的空间展布特征。在此基础上,分析了两期裂

谷叠置对油气聚集的影响,进而分析油气成藏的主控因素,阐明 Termit 盆地古近系油气富集规律。

1 构造与沉积演化

1.1 构造演化与沉积充填

Termit 盆地位于尼日尔东南部,向南延伸至乍得西北部(乍得境内称乍得湖盆地),属于西非裂谷系的北延部分,是发育于前寒武系—侏罗系基底之上的中、新生代裂谷盆地。该盆地呈 NW-SE 向长条形展布,最北端与 Tefidet、Tenere、Grein、Kafra 盆地相接,向南与 Benue 海槽北端的 Bornu 盆地相邻<sup>[1]</sup>。南北长约 300 km,面积约 30 000 km<sup>2</sup>(图 1)。

Termit 盆地形成于早白垩世南大西洋张裂的构造背景。早白垩世非洲—阿拉伯板块内部伸展应力方向为 NE-SW 向<sup>[2]</sup>,东尼日尔、乍得、苏丹、肯尼亚等地区陆内裂谷盆地初始断陷沿着 NW-SE 向的前泛非期变质带和泛非期褶皱带再活动,沉积了数

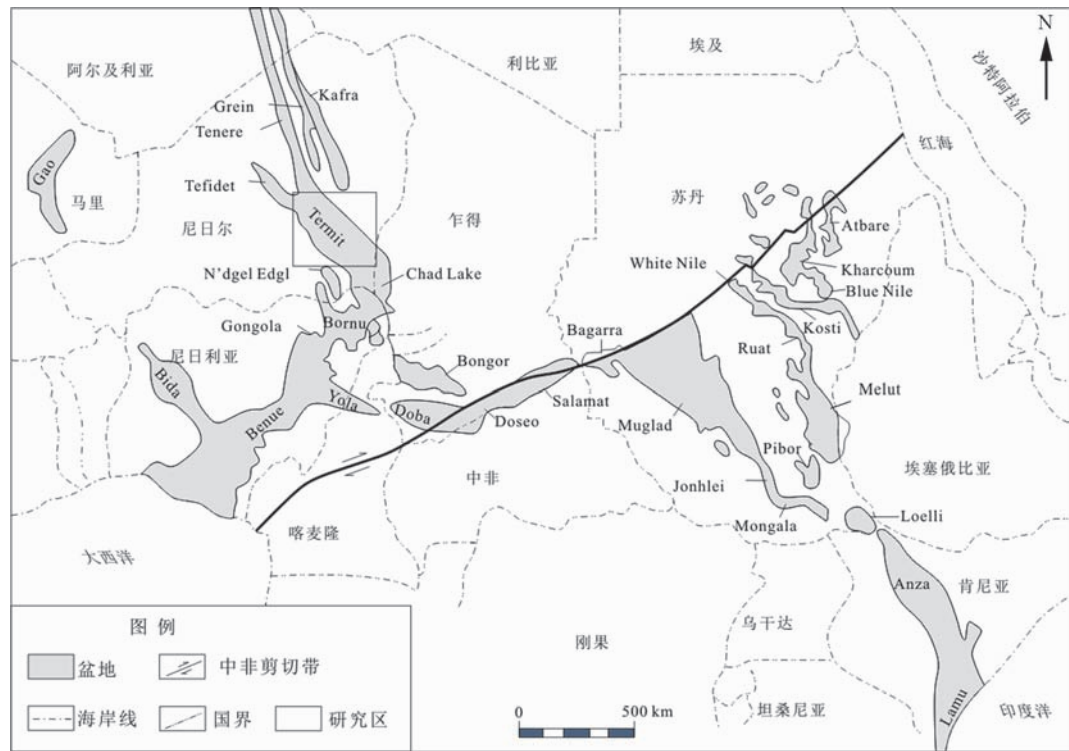


图 1 Termit 盆地构造位置  
(据文献[1]修改)  
Fig. 1 Tectonic location of Termit Basin

千米厚的陆相地层<sup>[3-4]</sup>。晚白垩世为显生宙全球海平面最高时期<sup>[5-6]</sup>,发生大规模海侵,整个东尼日尔盆地群(Termit 盆地、Tenere 盆地、Tefidet 盆地、Kafra 盆地、Bilma 盆地)沉积了 900~3 000 m 厚的海相地层<sup>[7-8]</sup>。晚三叠期非洲-阿拉伯板块与欧亚板块初始碰撞,板内产生近 NNW-SSE 向挤压应力。不同轴向的盆地对该构造事件具有不同的响应特征,表现为 W-E 或 NEE-SWW 向盆地发生反转或褶皱作用(如乍得 Bongor 盆地、Salamat 盆地和 Doseo 盆地等),而 NW-SE 向盆地则继续沉降,未发生明显的构造反转(如尼日尔 Termit 盆地、苏丹 Muglad、Melut 盆地等)<sup>[9-10]</sup>。晚白垩世末期海平面下降,至马斯特里赫特阶,中西非盆地以陆相沉积为主。古近纪时期,非洲-阿拉伯板块处于大规模伸展阶段,主伸展应力方向为 NEE-SWW 或近 WE 向<sup>[11]</sup>,中西非盆地再次发生裂谷作用,同时在泛非期褶皱带等构造薄弱处发生大规模岩浆活动。中新世至今,中非剪切带活动停止,中西非裂谷系主要以热沉降作用为主。

受区域构造背景的影响, Termit 盆地构造演化可划分为 3 期 6 个阶段。前裂谷期经历了泛非地壳拼合阶段及寒武纪—侏罗纪稳定克拉通阶段,同裂谷期经历了早白垩世裂谷阶段、晚白垩世拗陷阶段及古近纪裂谷阶段,后裂谷期为新近纪—第四纪拗陷阶段<sup>[1,6,12-16]</sup>(图 2)。

(1)前裂谷期(770~130 Ma)。Termit 盆地构造演化始于前寒武纪泛非地壳拼合运动(约 770~550 Ma),形成泛非古陆(冈瓦纳大陆的一部分)。此时期的拼合作用同时也形成一些特定方向的脆弱带,成为后期早白垩世—古近纪裂谷的先存断裂带。寒武纪—侏罗纪时期(约 550~130 Ma),中西非地区为自北向南超覆的陆相沉积,形成楔形的稳定克拉通台地,局部地区在海西运动时期沿泛非古陆脆弱带发生热变质作用<sup>[1]</sup>。

(2)同裂谷期(130~25.2 Ma)。随着冈瓦纳大陆解体及大西洋和印度洋的开启(约 130 Ma), Termit 盆地早白垩世至古近纪为断裂活动、构造沉降和沉积作用的主要阶段。根据裂谷作用的演化,可将同裂谷期划分为 3 个阶段:①早白垩世裂谷阶段(130~96 Ma),受非洲-阿拉伯板块内部 NE-SW 向伸展应力环境影响, Termit 盆地形成与基底构造薄弱带(前泛非期变质带)走向一致的 NW-SE 向断层<sup>[17]</sup>,沿这些断层发生强烈伸展断陷,形成一系列

地堑和半地堑。此时期主要为湖相沉积环境。②晚白垩世拗陷阶段(96~66.5 Ma),早期经历短暂的裂谷作用,其后经历长时间的热沉降,断裂活动较弱,总体上以拗陷作用为主。与中非裂谷盆地不同,晚白垩世区域沉降导致大规模海侵。Termit 盆地在热沉降和大规模海侵的背景下,沉积了巨厚层的海相砂岩与泥页岩,以 Donga 组和 Yogou 组为代表。三叠阶晚期挤压构造运动使盆地整体抬升,相对海平面逐渐下降,至马斯特里赫特阶过渡为陆相环境,沉积 Madama 组厚层辫状河砂岩。③古近纪裂谷阶段(66.5~25.2 Ma),形成于非洲-阿拉伯板块内大规模伸展活动的构造背景。在古新世—始新世中期,断陷活动较弱,为初始裂陷期。始新世末—渐新世中期,盆地经历强烈伸展断陷活动,区域伸展应力方向为 NEE-SWW 向,盆地走向为 NW-SE 向,表现为斜向伸展作用,边界断裂在早白垩世断裂基础上继承发育,同时也发育大量次生断裂。断裂活动对沉积作用的控制明显,沉积了 Sokor1 组、Lv Shale 组及 Sokor2 组湖相地层。

(3)后裂谷期(25.2~0 Ma)。后裂谷期沉积地层主要为新近系和第四系,与下伏同裂谷期沉积地层以角度不整合接触。此时期构造活动弱,以热沉降为主,主要为河流及冲积平原沉积,岩性以砂岩为主。

## 1.2 两期裂谷的叠置作用

Termit 盆地经历了两期裂谷作用,但两期裂谷伸展应力方向不同,经历了由正向伸展至斜向伸展的转变。第一期裂谷作用发生于早白垩世,非洲-阿拉伯板块内部 SW-NE 向伸展应力使 Termit 盆地发生强烈裂陷,形成由一系列 NW-SE 向雁列式断层控制的地堑和半地堑。第二期裂谷作用发生于古近纪,伸展应力方向为 NEE-SWW 向。在盆地边界附近,形成于早白垩世的断层继承活动,并派生出与其走向近平行、倾向相反的断层,形成“Y”形构造样式。在盆地内部早白垩世断裂不发育的区域,形成了一系列走向与伸展应力方向近垂直的新生断层,呈 NNW-SSE 向,其走向与早白垩世的断裂存在一定夹角(图 3)。

两期裂谷的叠置作用主要体现在继承和改造两个方面。继承作用主要为两期裂谷的断裂继承发育。早白垩世裂谷作用强,盆地沉积范围较大,古近纪裂谷相对较弱,盆地沉积范围较小。盆地西侧早白垩世发育一系列东倾断裂,古近纪断裂在此东倾断裂的基础上持续发育,叠加效应强。盆地东北部

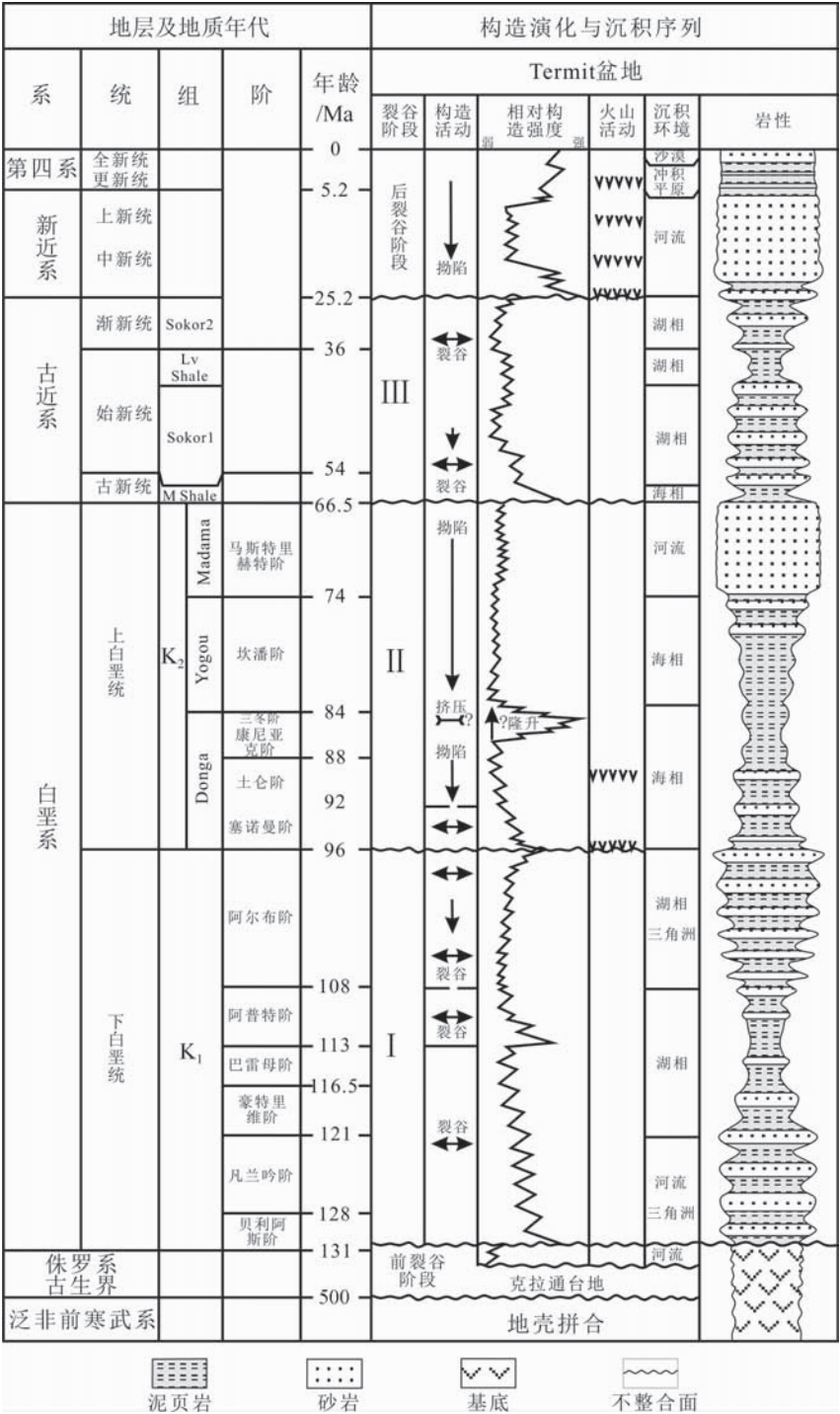


图2 Termit盆地构造与沉积演化

Fig.2 Tectonic and depositional evolution of Termit Basin

早白垩世发育西倾边界断裂,古近纪东北部边界断裂继承发育,总体上形成盆地北部的双断结构,东南部古近纪继承早白垩世构造格局,断裂活动弱,总体上形成西断东超的结构。改造作用体现在古近纪裂谷产生大量倾向或走向不同于早白垩世的断裂,形成新的构造单元,同时沉积中心向西迁移。盆地西

侧在继承东倾断裂的基础上,发育少量西倾断裂,形成小型地堑,但展布范围较为局限。东北部在继承西倾断裂的基础上,产生大量东倾断裂,形成狭长分布的地堑。盆地内部早白垩世裂谷阶段断裂活动较弱,断裂发育较少,古近纪裂谷阶段则产生一些新断裂,走向近NNE向,总体断距较小。



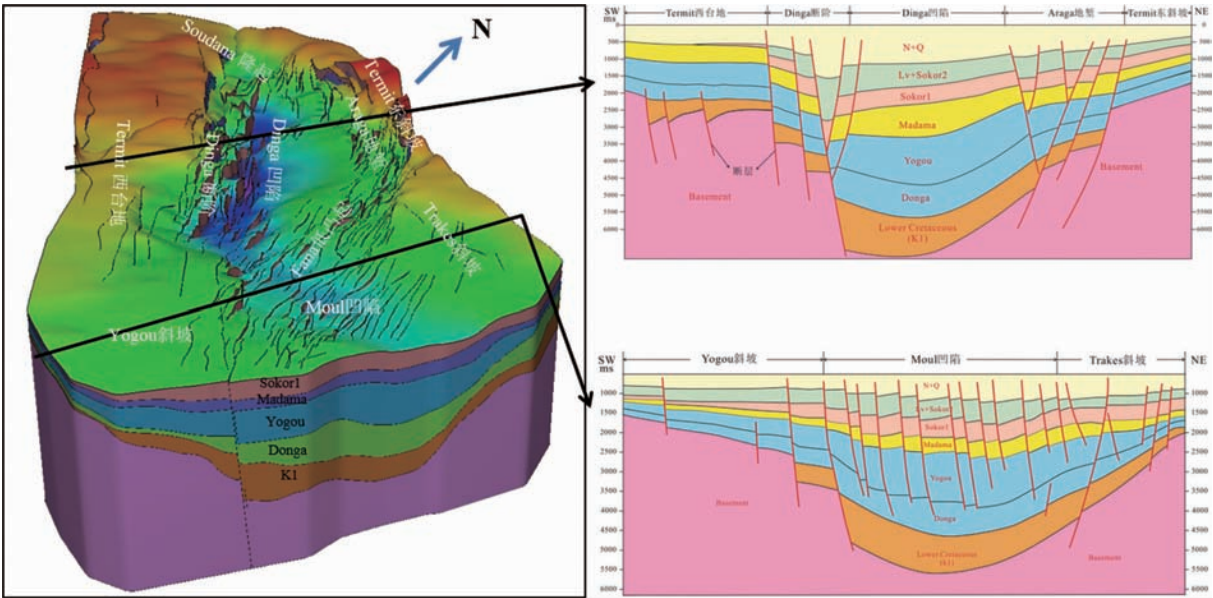


图 3 Termit 盆地构造单元及构造样式  
Fig.3 Structural types and units of Termit Basin

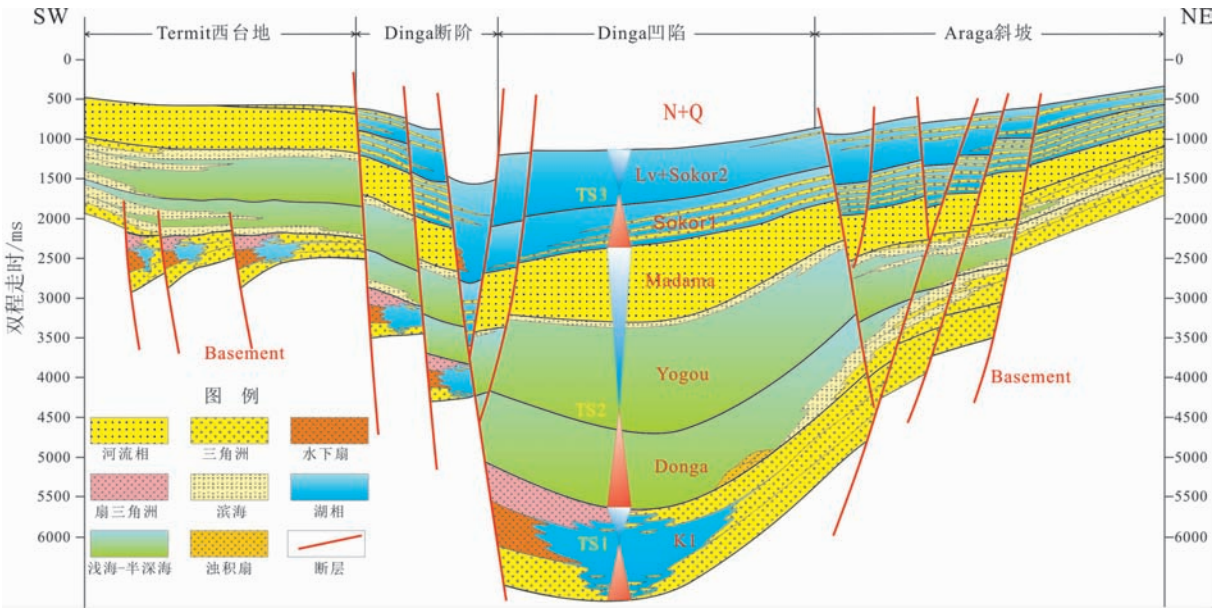


图 4 Termit 盆地沉积充填  
Fig.4 Sedimentary filling of Termit Basin

根据两期裂谷叠置对盆地结构的影响,基于三维构造模型及构造样式差异,可将 Termit 盆地划分为 10 个构造单元,分别是 Termit 西台地、Dinga 断阶、Dinga 凹陷、Araga 地堑、Termit 东斜坡、Fana 低凸起、Yogou 斜坡、Moul 凹陷、Trakes 斜坡及 Soudana 隆起。

2 成藏组合特征

2.1 生储盖发育特征

(1) 烃源岩。Termit 盆地主要发育 3 套烃源

岩,分别为下白垩统湖相泥页岩、上白垩统海相泥页岩及古近系湖相泥岩(图 4)。  
下白垩统湖相烃源岩主要为裂谷深陷期沉积的泥页岩。该套烃源岩埋藏较深,仅在 Termit 西台地有少量井钻遇。地化测试分析可知,有机质丰度 0.46%~1.54%,干酪根类型为Ⅲ型,总体为非-差烃源岩,生烃潜力有限。上白垩统 Yogou 组烃源岩主要为黑色、灰色泥页岩,厚度为 300~1 000 m,有机质丰度平均为 1.95%,干酪根类型为Ⅱ<sub>2</sub>-Ⅲ型,大多数为中等-好烃源岩。成熟度分析表明其正处

于生油高峰末期,为 Termit 盆地的主力烃源岩,生烃潜力较大的烃源岩主要集中在 Yogou 组上部。Donga 组烃源岩为黑色、灰色泥页岩,厚度为 150~500 m,有机质丰度平均为 1%,干酪根类型为 III-Ⅱ<sub>2</sub> 型,大多为差-中等烃源岩,大部分地区过成熟,以生气为主,具备中等生烃潜力。古近系 Sokor1、Lv Shale 及 Sokor2 组湖相泥岩总体为好-优质烃源岩,有机质以 II<sub>1</sub>-I 型为主,但由于大多数未进入生烃门限,仅在 Dinga 断阶带局部成熟,分布较为局限,生烃贡献较小。

通过古近系原油样品色谱、色谱-质谱、碳同位素等测试分析,原油地球化学特征可分为 I 类和 II 类。I 类原油 Pr/Ph 介于 0.65~1.57,伽马蜡烷含量相对较高(0.22~0.49),C<sub>29</sub> 甾烷优势明显,C<sub>29</sub>>C<sub>28</sub>>C<sub>27</sub>,呈反“L”型,饱和烃和芳烃碳同位素偏轻,三环萜烷含量高,基本无 4-甲基甾烷,推断源岩为还原-偏还原、咸水-半咸水环境。II 类原油 Pr/Ph 大于 2,伽马蜡烷含量低,甾烷 C<sub>29</sub>>C<sub>27</sub>>C<sub>28</sub>,呈“V”型,饱和烃和芳烃碳同位素偏重,三环萜烷和 4-甲基甾烷丰富,推断源岩为偏氧化、淡水环境。其中 II 类原油极少,仅分布在 Dinga 断阶带的两个油气藏中,主要以 I 类原油为主。油源对比分析认为 Termit 盆地古近系大部分原油(I 类)来源于 Yogou 组中上部烃源岩,少量原油(II 类)来源于古近系湖相烃源岩。Yogou 组烃源岩在盆地大部分区域达到生烃门限,已大面积成熟,形成 Termit 盆地的主力烃源岩。该套海相烃源岩广泛分布,大面积生烃,为古近系油气成藏提供了良好的前提条件。

(2)储层。Termit 盆地在下白垩统裂谷期、上白垩统拗陷期及古近系裂谷期均发育储层。下白垩统储层主要位于裂谷初始期及裂谷萎缩期,为湖相三角洲、扇三角洲及水下扇砂岩。上白垩统储层主要位于 Donga 组下部、Yogou 组上部及 Madama 组,其中 Donga 组及 Yogou 组储层为三角洲及滨海相砂岩, Madama 组为辫状河砂岩。古近系储层发育在 Sokor1 组、Sokor2 组上部,为河流-三角洲沉积砂岩。目前主力勘探层系为古近系 Sokor1 组,岩心化验分析揭示 Sokor1 组砂岩石英含量约占 75%~80%,次为岩屑及长石,约为 10%~14%,长石颗粒多溶蚀及高岭石化,岩屑成分以片麻岩等变质岩为主,结构成熟度中等。岩石薄片分析表明储集空间为粒间孔和粒内溶蚀孔。测井解释孔隙度为 25%~30%,

渗透率可达 10 D,具有较好的储集能力。

(3)盖层。Termit 盆地主要发育 3 套盖层,分别是下白垩统裂谷深陷期湖相泥页岩、上白垩统 Donga 组、Yogou 组海相泥页岩、古近系 Lv Shale 及 Sokor2 组下部湖相泥岩。下白垩统裂谷深陷期湖相泥岩形成局部盖层,上白垩统海相泥页岩形成区域盖层,古近系裂谷深陷期湖相泥岩分布广泛,形成区域盖层。古近系盖层厚度介于 300~1 130 m,平均厚度在 500 m 左右,是一套优质的区域性盖层。

## 2.2 成藏组合划分

根据生储盖展布特征, Termit 盆地垂向上可划分为 3 套成藏组合,分别是下白垩统成藏组合、上白垩统成藏组合及古近系成藏组合<sup>[18]</sup>。

下白垩统成藏组合为自生自储组合,但埋藏较深,油气勘探难度大,目前未作为主要勘探对象;上白垩统成藏组合储层为 Donga 组下部及 Yogou 组上部三角洲及滨海相砂岩,油气主要为 Yogou 组海相烃源岩。Madama 组砂岩缺乏盖层,不能有效聚集油气;古近系成藏组合的油气主要来自于上白垩统海相烃源岩,局部来自于古近系湖相烃源岩,储层主要为 Sokor1 组三角洲前缘砂体,区域盖层为 Lv Shale 及 Sokor2 组泥岩。古近系成藏组合为一套下生上储组合,是目前 Termit 盆地的主力成藏组合,圈闭类型主要为反向断块和断垒,所发现的油气储量占 98%。

## 3 两期裂谷叠置对主力成藏组合的影响

Termit 盆地两期裂谷及叠置效应,加之存在厚层 Madama 组砂岩输导层,为油气在垂向上的贯通并在古近系聚集创造了有利条件。两期裂谷作用形成的继承性断裂断距大,切割地层深,贯穿上白垩统一古近系的烃源岩和储层,同时 Madama 组砂岩渗流能力强,油气可以进行长距离的垂向和横向运移。

(1)后期叠置裂谷具备“满凹含油”的条件。早期晚白垩世拗陷期海相烃源岩广泛分布,后期古近纪叠置裂谷沉积范围小,坐落在有利的烃源岩分布范围内,形成“断拗倒置、下大上小”的盆地结构特征,盆地两侧边缘也是有利的油源供给区,使得后期叠置裂谷具备“满凹含油”的条件。

(2)两期裂谷叠置形成的断裂系统影响油气运

移聚集。断裂可以沟通深层油源,并作为油气运移的重要通道。两期裂谷叠置形成的断裂系统直接影响着古近系油气聚集。勘探表明,古近系油气主要分布在早白垩世以来的继承性断层和后期沟通油源大断层相对集中的地方。在油源条件一定的情况下,断层发育不仅控制油气能否运移至古近系成藏,同时还控制油藏规模的大小。控制圈闭的主断层断距越大,则越容易切入上白垩统沟通油源,同时也能使 Sokor1 组储层侧向与 Lv Shale 和 Sokor2 组泥岩对接形成良好的侧向封堵条件。反之,若控制圈闭的主断层断距越小,则越不易沟通油源,不利于油气在古近系成藏。

4 古近系油气成藏主控因素

Termit 盆地为晚白垩世大规模海侵、早白垩世和古近纪两期裂谷叠置型盆地。后期叠置裂谷的成藏模式有别于其他纯陆相单一旋回的裂谷盆地<sup>[19-20]</sup>。其烃源岩为上白垩统海相泥页岩,储层为后期古近

系陆相砂岩,表现为跨世代(跨二级层序)油气聚集特征。其油气成藏具有 6 个主控因素,即大范围海相烃源岩“控源”、叠置裂谷“控砂”、断裂与砂岩输导层“控运”、构造地貌“控势”、断层与砂体配置“控藏”、盖层与侧向封挡“控保”(图 5)。

4.1 大范围海相烃源岩“控源”

晚白垩世大规模海侵使 Termit 盆地沉积广泛分布的海相烃源岩,形成面积较大的生烃灶,可大面积供油。而后期叠置裂谷的沉积范围小,其储层可以大面积捕获油气,形成“满凹含油”的态势。这种早期大范围海侵控源,后期叠置裂谷“满凹含油”的格局,使得油气勘探可以跳出“定凹选带”的思路,在全盆地范围内均具有油气勘探潜力(图 6)。

4.2 叠置裂谷“控砂”

古近纪叠置裂谷的继承和改造作用控制沉积体系分布,影响油气聚集。断裂发育控制盆地沉积充填,在陡坡带一侧多发育水下扇或扇三角洲体系,在缓坡带一侧多发育三角洲砂体,盆地中心以泥岩充填为主。

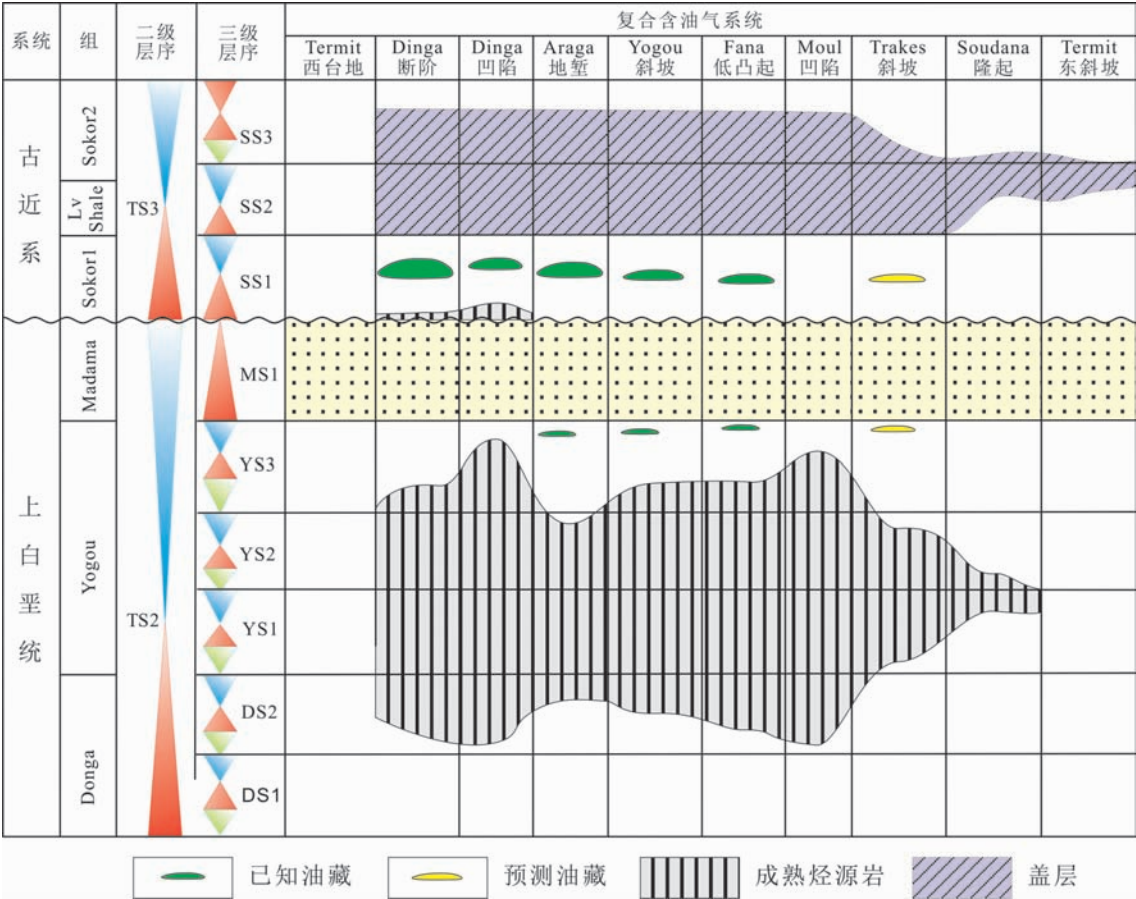


图 5 Termit 盆地古近系油气成藏模式  
Fig. 5 Hydrocarbon accumulation model of Paleogene play of Termit Basin



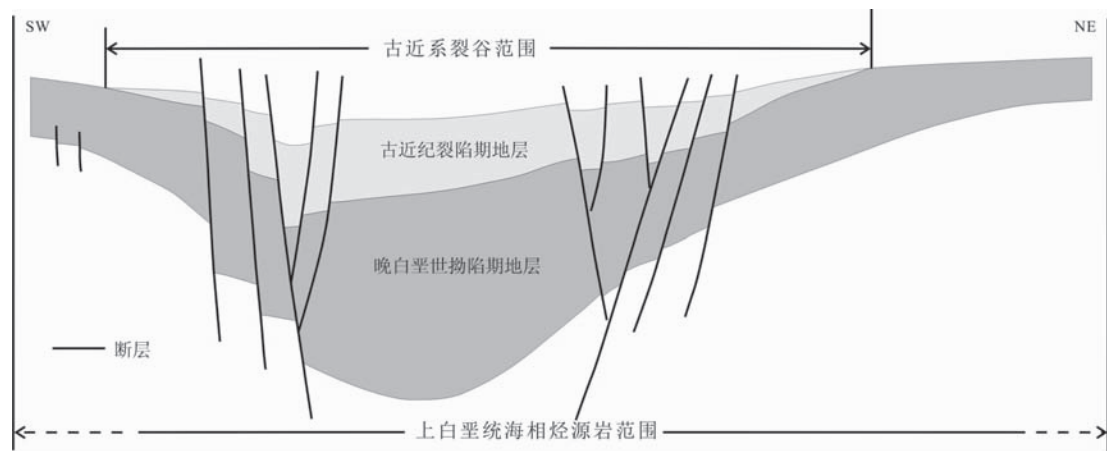


图 6 大范围海相烃源岩控源模式  
Fig. 6 Large area of marine source rock controls on hydrocarbon generation

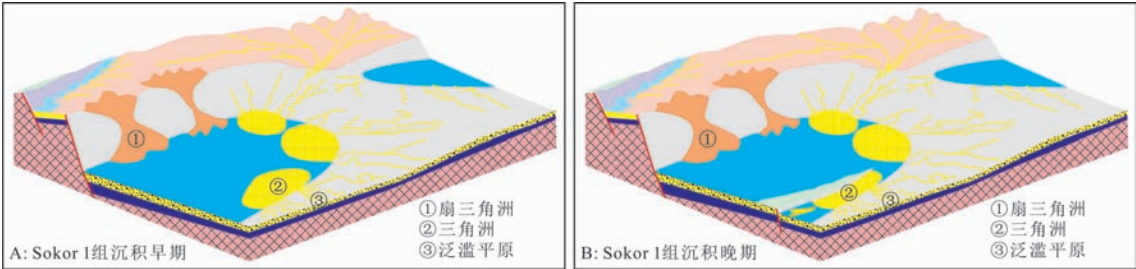


图 7 叠置裂谷控砂模式  
Fig. 7 Superimposed rift controls on sandstone distribution

后期叠置裂谷形成的构造单元控制沉积场分布。古近系 Sokor1 组沉积早期,继承晚白垩世拗陷阶段的构造格局,断裂活动较弱,叠置裂谷开始发育但断距较小,东侧物源三角洲体系的展布受断裂控制较弱。至 Sokor1 组沉积晚期,裂谷作用增强,Araga 地堑形成,来自东侧物源的沉积体系无法越过地堑进入 Dinga 凹陷内,而是在地堑内部进行分配。因此在叠置裂谷地堑的两侧,砂体发育程度存在明显差异(图 7)。

4.3 断裂与砂岩输导层“控运”

断裂和 Madama 组厚层砂岩是油气运移的主要输导体系。其中,断层断距大小对于油气横向运移或垂向运移方式具有明显的控制作用。断层断距小,油气沿着 Madama 组砂岩以横向运移为主,垂向运移为辅;断层断距大,油气沿着断层以垂向运移为主,横向运移为辅。两种不同的运移方式影响着不同构造带上的油气富集程度(图 8)。

Dinga 断阶带断层活动强,油气以垂向运移为主,横向运移为辅。在临近生烃中心的第一排和第二排断阶上,Sokor1 组圈闭最易捕获油气,向西侧

油气富集程度逐渐变差。Araga 地堑断距相对较小,断层活动性稍差,油气以横向运移为主,垂向运移为辅,可在远离生烃中心的构造带上聚集成藏。横向上临近 Dinga 凹陷的第一排构造带油气成藏相对不利,而远离 Dinga 凹陷的第二排、第三排和第四排构造带上成藏较为有利。

Yogou 斜坡发育一组继承性的同生断裂,断层断距较大,油气易于垂向运移,因此对于油气在 Sokor1 组中成藏比较有利。Trakes 斜坡位于油气运移的优势方向,但断层相对不发育,油气需经过较长距离的横向运移才能在 Sokor1 组中成藏。

Dinga 凹陷位于生烃中心之上,油源条件较好,但需要发育深大断裂沟通油源,才能使油气运移至 Sokor1 组中成藏。Fana 低凸起处于 Dinga 凹陷和 Moul 凹陷两个生烃中心之间,具有良好的油源条件,且储层较发育。若沟通油源的断层发育,则油气可以垂向运移至 Sokor1 组中成藏。

4.4 构造地貌“控势”

油气聚集是一个三维动态过程,构造形态控制着空间流体势,油气总是不断由构造低点向构造高



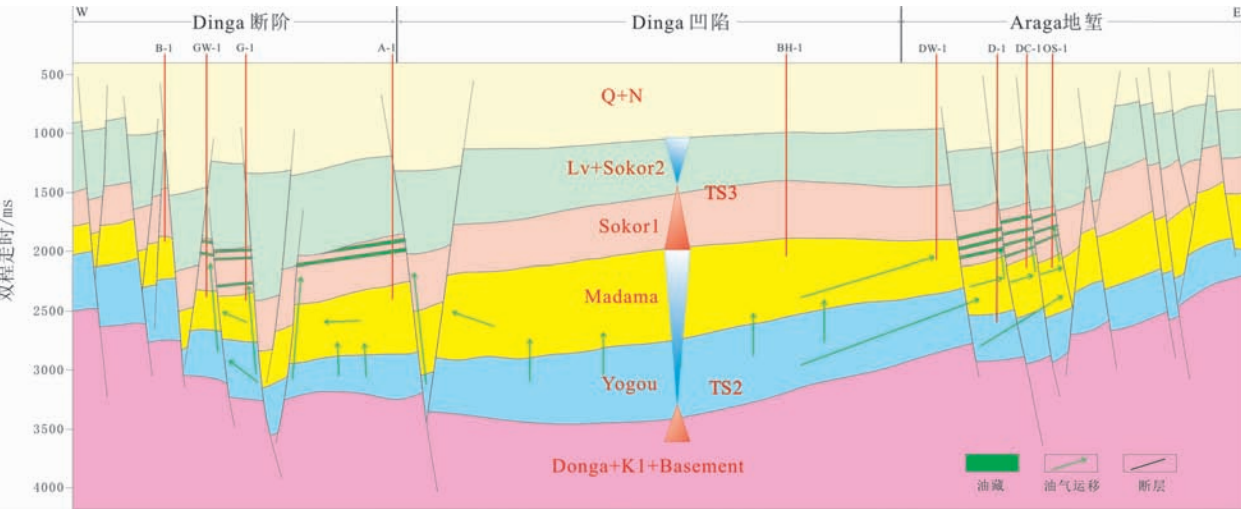


图 8 Termit 盆地油气运移方式  
Fig. 8 Hydrocarbon migration of Termit Basin

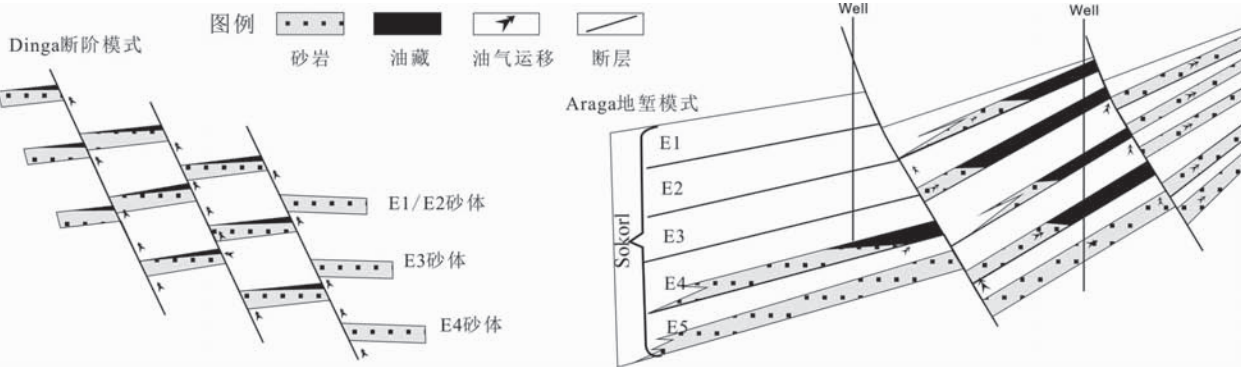


图 9 断层与砂体配置控藏模式  
Fig. 9 Allocation of fault and sandstone controls on hydrocarbon accumulation

点汇聚成藏。Termit 盆地 Sokor1 组构造形态呈现凸凹相间的构造格局,油气经断裂及 Madama 组砂岩输导层运移至 Sokor1 组后,再向高部位聚集成藏。因此,Sokor1 组油气往往聚集在具有断层发育的高构造部位。

4.5 断层与砂体配置“控藏”

断层和砂体是油气运移和聚集的两个重要因素,两者的良好配置才能形成油气的有效聚集。Araga 地堑断层断距小,油气以横向运移为主,同时由于叠置裂谷形成的地堑控制沉积场的分布。地堑西侧 E1、E2、E3 砂组砂体不发育,油气主要在 E4 及 E5 砂组中成藏,地堑内 E1—E5 砂组砂体发育,均可聚集油气。Dinga 断阶发育继承性大断层,沟通上白垩统油源,同时 Sokor1 组砂体发育,油气通过砂体和断层形成的输导体系进行阶梯状运移和聚集(图 9)。

4.6 盖层与侧向封挡“控保”

广泛分布的 Lv Shale 组及 Sokor2 组泥岩为古

近系组合的区域性盖层,具有良好的封盖条件,加之正断层造成 Sokor1 组地层侧向与 Lv Shale 及 Sokor2 组泥岩对接,具备良好的侧向封挡条件。

上覆盖层和侧向封挡是古近系油气保存的重要因素。因而在盖层较薄的情况下,不利于油气保存。Soudana 隆起由于后期构造挤压抬升,局部盖层遭受剥蚀,加之盖层砂岩含量较大,未能有效封挡油气。在隆起带两侧,盖层较厚,对于油气保存较为有利。关于侧向封挡,值得注意的是,若 Sokor1 组地层断层断距过大,大于 Lv Shale 和 Sokor2 组的总厚度,从而使 Sokor1 组与新近系砂岩对接,将会不利于油气聚集。

5 结论

Termit 盆地早白垩世—古近纪经历了“裂谷—拗陷—裂谷”的构造演化及“陆相—海相—陆相”的沉

积演化,为晚白垩世大规模海侵、早白垩世和古近纪两期裂谷叠置型盆地。两期裂谷叠置的继承和改造作用致使 Termit 盆地呈现出 10 个断裂组合样式各异的构造区带。

早期晚白垩世海相烃源岩分布广泛,后期古近纪叠置裂谷沉积范围小,形成“断拗倒置、下大上小”的盆地结构特征,使得后期叠置裂谷可以大面积捕获油气,具备“满凹含油”的条件。

古近系成藏组合为下生上储组合,烃源岩为上白垩统海相泥页岩,储层为古近系陆相砂岩,表现为跨世代(跨二级层序)油气聚集特征。其油气成藏具有 6 个主控因素,即大范围海相烃源岩“控源”、叠置裂谷“控砂”、断裂与砂岩输导层“控运”、构造地貌“控势”、断层与砂体配置“控藏”、盖层与侧向封挡“控保”。

成藏主控因素分析揭示了 Termit 盆地古近系油气聚集特征,明确了古近系油气富集规律,突破了国外石油公司对该盆地的认识,为潜力区带优选及勘探目标评价奠定了坚实基础。2009 年以来,实施 Dinga 断阶带滚动勘探,先后落实了 5 个千万吨级油气藏。同时,区域甩开勘探获得巨大成功,发现了 Araga 地堑 Dibeilla 亿吨级区带、Fana 低凸起亿吨级区带及 Yogou 斜坡-Moul 凹陷亿吨级区带。

感谢中国石油勘探开发研究院非洲研究所李早红、陈忠民、郑凤云、姜虹等专家提供了论文研究所需的部分资料 and 基础图件,感谢苏永地教授在构造分析及目标优选等方面给予的指导和帮助。

## 参考文献

- [1] Genik G J. Petroleum geology of Cretaceous-Tertiary rift basins in Niger, Chad, and Central African Republic[J]. AAPG Bulletin, 1993, 77(8): 1405-1434.
- [2] Guiraud R, Maurin J C. Early Cretaceous rifts of Western and Central Africa: An overview[J]. Tectonophysics, 1992, 213(1/2): 153-168.
- [3] Schull T J. Rift basins of interior Sudan, petroleum exploration and discovery[J]. AAPG Bulletin, 1988, 72(10): 1128-1142.
- [4] Bosworth W. Mesozoic and Early Tertiary rift tectonics in East Africa[J]. Tectonophysics, 1992, 209: 115-137.
- [5] Philip J. Peri-Tethyan neritic carbonate areas: Distribution through time and driving factors [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2003, 196(1/2): 19-37.
- [6] Guiraud R, Bosworth W, Thierry J, et al. Phanerozoic geological evolution of Northern and Central Africa: An overview[J]. Journal of African Earth Sciences, 2005, 43(1/2/3): 83-143.
- [7] 刘邦,潘校华,万仑坤,等. 东尼日尔盆地海侵的微体古生物和地球化学证据[J]. 现代地质, 2011, 25(5): 995-1006.
- [8] Kogbe C A. The Trans-Saharan Seaway during the Cretaceous [M]//Salem M J, Busrewil, M T. The Geology of Libya. Lagos: Academic Press, 1980: 91-95.
- [9] Guiraud R, Bosworth W. Senonian basin inversion and rejuvenation of rifting in Africa and Arabia: Synthesis and implication to plate-scale tectonics [J]. Tectonophysics, 1997, 282: 39-82.
- [10] 肖坤叶,赵健,余朝华,等. 中非裂谷系 Bongor 盆地强反转裂谷构造特征及其对油气成藏的影响[J]. 地学前缘, 2014, 21(3): 172-180.
- [11] Janssen M E, Stephenson R A, Cloetingh S. Temporal and spatial correlations between changes in plate motions and the evolution of rifted basins in Africa[J]. Geological Society of America Bulletin, 1995, 107(11): 1317-1332.
- [12] McHargue T R, Heidrick T L, Livingston J E. Tectono-stratigraphic development of the interior Sudan rifts, Central Africa[J]. Tectonophysics, 1992, 213: 187-202.
- [13] Genik G J. Regional framework, structural and petroleum aspects of rifts in Niger, Chad and the Central Africa Republic [J]. Tectonophysics, 1992, 213: 169-252.
- [14] 徐志诚,吕福亮,范国章,等. 西非中南段盐盆成藏组合及油气勘探方向[J]. 地学前缘, 2014, 21(3): 72-81.
- [15] 吕明胜,薛良清,苏永地,等. 裂谷作用对层序地层充填样式的控制: 以西非裂谷系 Termit 盆地下白垩统为例[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2012, 42(3): 647-656.
- [16] 窦立荣,潘校华,田作基,等. 苏丹裂谷盆地油气藏的形成与分布: 兼与中国东部裂谷盆地对比分析[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(3): 255-261.
- [17] Maurin J C, Guiraud R. Basement control in the development of the early Cretaceous West and Central African rift system [J]. Tectonophysics, 1993, 228(1/2): 81-95.
- [18] 薛良清,万仑坤,毛凤军,等. 东尼日尔盆地 Termit 拗陷油气富集规律及 Dibeilla-1 井发现的意义[J]. 中国石油勘探, 2012, 4: 53-59.
- [19] 温志新,童晓光,张光亚,等. 全球沉积盆地动态分类方法: 从原型盆地及其叠加发展过程讨论[J]. 地学前缘, 2012, 19(1): 239-252.
- [20] 张光亚,赵文智,邹才能,等. 中国陆上叠合盆地中下组合油气成藏条件及勘探潜力[J]. 地学前缘, 2008, 15(2): 120-126.