第 33 卷 第 3 期
2012 年 5 月

石 油 学 报
ACTA PETROLEI SINICA

Vol. 33 No. 3
May 2012

文章编号：0253-2697(2012)03-394-10

东尼日尔 Termit 盆地构造演化及古近系油气成藏主控因素

刘 邦 潘校华 万仑坤 苏永地 毛凤军 刘计国 吕明胜 王玉华

（中国石油勘探开发研究院 北京 100083）

摘要：东尼日尔 Termit 盆地是中西非裂谷系中典型的中—新生代裂谷盆地。盆地主要有早白垩世和古近纪两期断层：前者分布于盆地边界，走向 NW—SE；后者在盆地边界和内部均有分布，在边界走向主要与早白垩世断层一致，在内部大多走向 NNW—SSE。基于区域构造背景、沉积充填特征及盆地构造特征与前人砂箱模拟实验结果的对比研究认为，盆地经历了早白垩世正向引张作用和古近纪斜向引张作用，且正向—斜向引张作用对盆地构造特征和演化有重要控制作用。早期正向引张作用形成与基底前泛非期变质带近平行的早期断层，晚期斜向引张作用使后期断层特征主要受先存构造和伸展方向的控制，表现为：在盆地边界，后期断层受早白垩世断层影响较大，走向与先存构造近平行；在盆地内部和早期断层不发育的构造区域，后期断层主要受伸展方向控制，走向与其近垂直。通过对古近系油气分布特征和断层活动性研究，分析了该区油气成藏主控因素：Sokor2 组区域性盖层控制油气垂向分布，断块圈闭的岩性侧向封堵条件控制圈闭有效性，古近纪裂陷期的断裂活动控制油气平面和含油气层系分布。在明确成藏主控因素基础上，建立了古近系油气跨世代聚集模式。

关键词：东尼日尔；Termit 盆地；正向引张作用；斜向引张作用；构造演化；断层活动速率；成藏主控因素

中图分类号：TE111.2 **文献标识码**：A

Structural evolution and main controlling factors of the Paleogene hydrocarbon accumulation in Termit Basin, eastern Niger

LIU Bang PAN Xiaohua WAN Lunkun
SU Yongdi MAO Fengjun LIU Jiguo LÜ Mingsheng WANG Yuhua

(*PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing* 100083, *China*)

Abstract: The Termit Basin is a typical Mesozoic-Cenozoic continental rift basin in the central and western African rift system. The basin is characterized by two distinct systems of normal faults in terms of activity timing, and these systems were formed in Early Cretaceous and Paleogene, respectively. The former is mainly composed of rift-border faults trending NW-SE; whereas the latter develops both in the basin margin and the interior, striking parallel to the Early Cretaceous faults on the basin margin and NNW-SSE within the interior of the basin. An integrated study on regional structural backgrounds, depositional filling and a comparison between fault architectures of the basin and analogue models of laboratory experiments reveals that the basin experienced an orthogonal extension in Early Cretaceous and an oblique extension in Paleogene, which significantly affects the structural features and evolution of the basin. During the first extension period, NW-SE trending faults sub-parallel to the pre-Pan-African metamorphic belts were formed due to the orthogonal extension. In the second extension period, late faults were mainly controlled by the pre-existing structure and extension direction. On both margins of the basin, strikes of the late faults greatly influenced by Early Cretaceous faults are sub-parallel to the pre-existing faults. However, within the basin and in the domains where Early Cretaceous faults are not well developed, the extension direction used to play a major role in the development of late faults, with their strikes sub-perpendicular to the extension direction. Based on the knowledge of hydrocarbon distribution characteristics and fault activities, we illustrated main controlling factors for the Paleogene hydrocarbon accumulation, which include: the vertical distribution of oil and gas is controlled by regional cap rocks of the Sokor 2 Formation; the efficiency of faulted blocks is determined by lateral lithologic sealing of traps; the spatial distribution of hydrocarbons and oil-bearing strata is determined by fault activities of the Paleogene extension. The Paleogene hydrocarbon accumulation model was then proposed on the basis of having understood these main controlling factors.

Key words: eastern Niger; Termit Basin; orthogonal extension; oblique extension; structural evolution; fault activity rate; main controlling factor of hydrocarbon accumulation

---

基金项目：国家重大科技专项(2008ZX05029-001)资助。

第一作者及通讯作者：刘 邦，男，1983 年 11 月生，2009 年获中山大学硕士学位，现为中国石油勘探开发研究院在读博士研究生，主要从事含油气盆地石油地质和油气分布规律研究。E-mail：liubang2004@foxmail.com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

尼日尔 Termit 盆地是中国石油天然气集团公司在海外的 3 大风险勘探区块之一,位于尼日尔东部,面积为 2.7×10⁴km²,是中西非裂谷系中典型的中—新生代裂谷盆地。该盆地自白垩纪以来经历了早白垩世和古近纪两期裂陷作用,且晚白垩世发生大规模海侵,在热沉降背景下沉积了大范围的海相地层。该盆地是国外石油公司经过近 40 年勘探放弃的区块,勘探程度低(井密度为 0.07 口/100 km²),发现的油气藏储量规模较小,且集中于同一构造带,区域甩开一直未获得突破。此外,对于该盆地的构造演化和油气成藏规律方面还未见系统研究。笔者利用 Termit 盆地的大量地震解释资料,对盆地断裂特征进行详细研究,基于区域构造背景和盆地构造特征与前人砂箱模拟实验结果的对比研究,探讨盆地构造演化过程,并提出其构造时空演化模式。在明确 Termit 盆地构造演化基础上,通过对古近系油气分布特征和断层活动性研究,探讨油气成藏主控因素和成藏模式。

1　区域地质背景

Termit 盆地位于尼日尔东部,向南延伸至乍得,向北与 Tefidet、Tenere、Grein、Kafra 盆地相接,向南与 Bornu 盆地相邻(图 1)。盆地发育于前泛非期变质带基底之上,呈 NW—SE 向延伸,南北长约 300 km,东西宽在北端最窄处约 60 km,在南端最宽处约 110 km。

盆地沉积厚度超过 12 000 m。地震、钻井、测井和古生物等资料揭示沉积地层有:下白垩统、上白垩统、古近系、新近系与第四系。下白垩统以陆相沉积为主;上白垩统自下而上可划分为 Donga 组、Yogou 组、Madama 组,其中,Donga 和 Yogou 组为海相碎屑岩沉积,Madama 组为厚层河流相砂砾岩沉积。古近系主要为河流—三角洲相沉积,根据岩性组合特征,可划分为 Sokor1 组和 Sokor2 组,Sokor1 组岩性上表现为砂泥岩互层;Sokor2 组下部以泥岩为主,上部为砂泥岩互层。新近系和第四系为河流相沉积(图 2)。

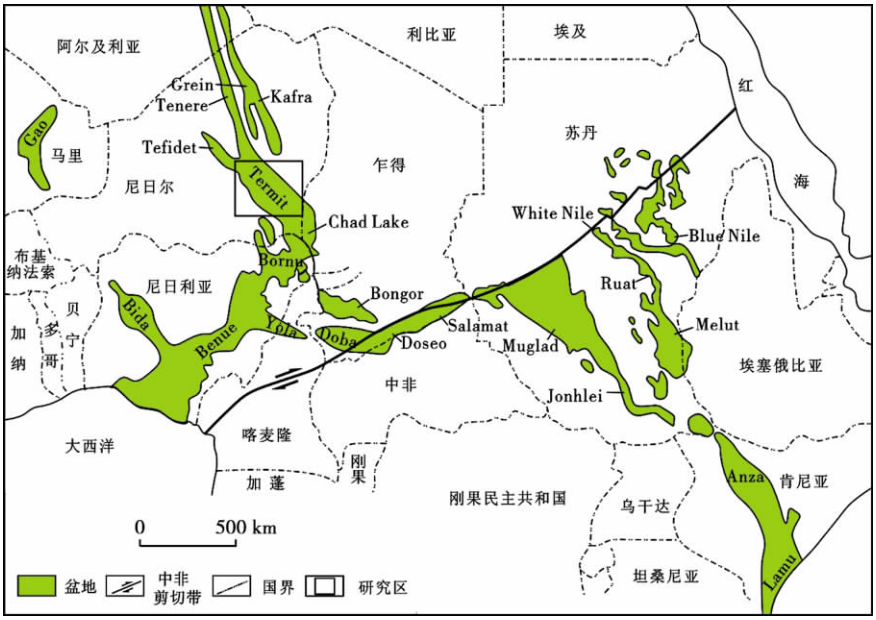


图 1　中西非裂谷系及 Termit 盆地构造位置(据文献[1]修改)

Fig. 1　Location of the west and central African rift system and Termit Basin

Termit 盆地形成于早白垩世南大西洋张裂的构造背景。在早阿普特期—晚阿尔布期,非洲—阿拉伯板块内部伸展方向为 NE—SW[2],NW—SE 前泛非期变质带和泛非期褶皱带再活动,东尼日尔、乍得、苏丹等地区陆内裂谷盆地发生初始裂陷,沿 NW—SE 边界断层快速沉降,沉积了数千米厚的陆相砂泥岩[3-5]。在晚白垩世,东尼日尔盆地群(Termit、Tenere、Tefidet、Grein、Kafra 盆地)以坳陷热沉降为主,并发生大规模海侵,沉积了巨厚的海相碎屑岩[6]。在白垩纪末期,海平面下降,中西非各盆地以河流相沉积为主。在古新世和中始新世,东尼日尔、苏丹、肯尼亚等地区的裂谷盆地再次发生伸展裂陷活动。在晚始新世(距今 37 Ma),非洲—阿拉伯板块与欧亚板块发生碰撞,板内构造挤压方向为 NNW—SSE[7]。在该构造事件发生后,非洲—阿拉伯板块处于大规模的伸展和岩浆活动活跃时期,主伸展方向为 NEE—SWW 或近 E—W 向[8],中西非 NW—SE 向裂谷盆地进入裂陷强烈期。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

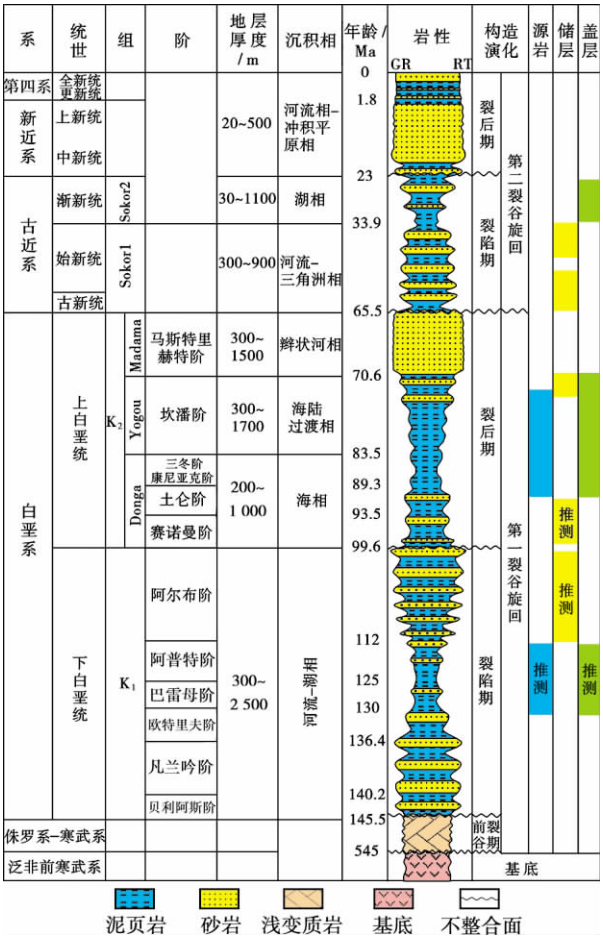


图 2 Termit 盆地综合地层柱状图(据文献[1]修改)

Fig. 2 Generalized stratigraphical column of Termit Basin

2 断层发育特征

Termit 盆地发育于由前泛非期变质带组成的基底之上,这些变质带使基底沿 NW—SE 向出现不连续性,从而控制了东尼日尔早白垩世裂谷盆地的形成和演化[9]。盆地基底断层呈 NW—SE 向,与前泛非期变质带走向一致。Termit 盆地总体呈 NW—SE 向延伸,主要有走向 NW—SE 和 NNW—SSE 向两组断裂系。根据断层的期次和级次,可将该盆地断层分为早白垩世形成、晚期继承性活动的早期断层和古近纪形成的后期断层,前者主要分布于盆地边界,走向 NW—SE;后者在盆地边界和内部均有发育,走向 NW—SE 和 NNW—SSE。以古近系 Sokor1 组顶面构造解释为基础,根据构造特征的差异,可将 Termit 盆地划分为 Dinga 断阶带、Dinga 凹陷、Araga 地堑、Fana 低凸起、Yogou 西斜坡和 Moul 凹陷等 6 个构造单元(图 3)。

盆地北部结构为双断地堑[图 4(a)],南部为西断东超的半地堑[图 4(b)]。Dinga 断阶带:由一系列 NW—SE 向断层组成,包括早白垩世形成、古近纪继承性活动的早期断层和古近纪形成的后期断层,前者

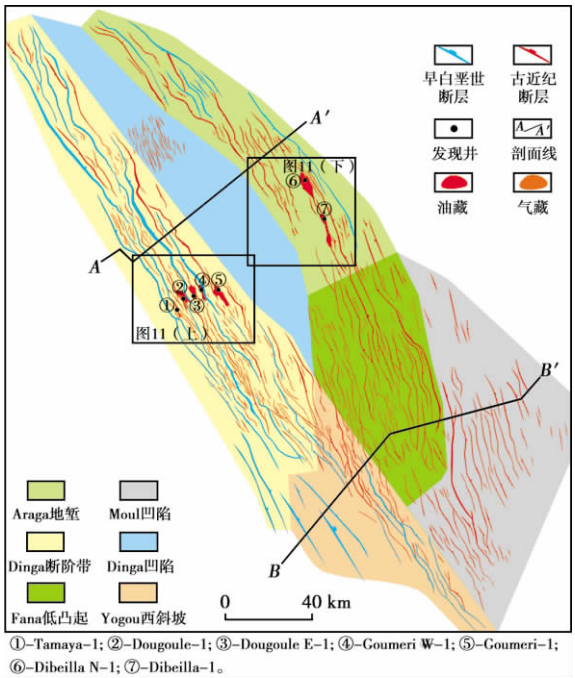


图 3 Temit 盆地构造单元及古近系 Sokor1 组顶面构造

Fig. 3 Structural units and fault distribution on top of the Paleogene Sokor1 Formation in Termit Basin

为一系列平直展布的边界断层,倾向 NE,断面较陡,垂向上断距大,平面上规模和延伸距离大(大多长 30~90 km),大部分断穿盆地新近系和第四系之下的沉积地层,为基底卷入断层;后者大多数倾向 SW,相间分布于早期边界断层之间,在地震剖面上与其形成“Y”字形构造样式,走向 NW—SE,与早期断层近平行,断面较陡,垂向上断距小,平面上规模和延伸距离小(大多长 10~35 km),大部分断至上白垩统 Yogou 组,断穿上白垩统 Madama 组、古近系 Sokor1 组和 Sokor2 组。早白垩世早期断层和古近纪后期断层走向一致、倾向相反,且在剖面上表现为“Y”字形构造样式,表明在 Dinga 断阶带后期断层大多数为早期边界断层在古近纪发生继承性活动所形成的派生断层。古近纪地层的沉积中心紧邻主控边界断层,反映该时期盆地的强烈断裂活动主要集中于该构造带邻近凹陷的第一排断裂带[图 4(a)]。

Dinga 凹陷:该区域断层主要分布于凹陷北部地区,走向 NNW—SSE,为古近纪形成的后期断层,大多数倾向 NEE,垂向上断距小,平面上规模小,呈斜列分布。

Araga 地堑:与 Dinga 断阶带相比,早白垩世边界断层在数量和规模上均较小,断层走向 NW—SE,倾向 SW,垂向上断距相对较小,大部分断穿盆地新近系和第四系之下的沉积地层,为基底卷入断层[图 4(a)]。古近纪形成的后期断层呈左阶雁行排列,在南部走向 NNW—SSE,往北逐渐向 NW—SE 向收敛,在北部地区与早白垩世断层走向近平行(图 3)。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

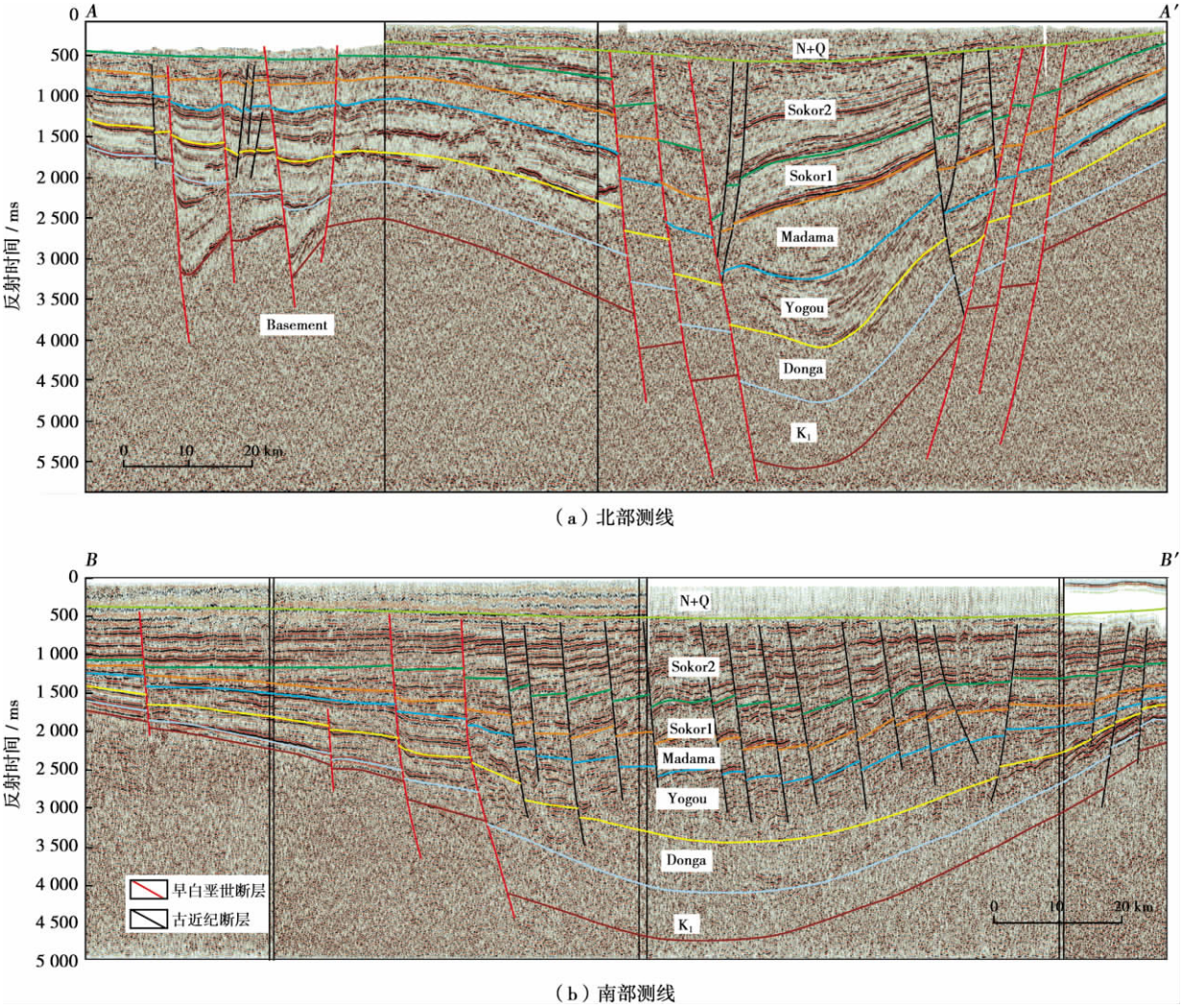


图 4　Termit 盆地北部和南部测线地震解释剖面(剖面位置见图 3)

Fig. 4　Regional seismic section across the northern and southern part of Termit Basin

Yogou 西斜坡:与 Dinga 断阶带相似,由一系列 NW—SE 向断层组成,包括早白垩世形成、古近纪继承性活动的早期断层和古近纪形成的后期断层,前者为一系列平直展布的边界基底卷入断层,倾向 NE,垂向上断距大,平面上规模和延伸距离大;后者走向与早期断层近平行,垂向上断距小,平面上规模和延伸距离较小。

Fana 低凸起和 Moul 凹陷:主要发育古近纪后期断层,走向 NNW—SSE,倾向 NEE。从 Fana 低凸起往北至 Araga 地堑、往南至 Yogou 西斜坡,古近纪后期断层走向逐渐向早期边界断层收敛。垂向上断距小,平面上规模和延伸距离小,呈雁列分布。这些断层大多数断至上白垩统 Yogou 组,断穿上白垩统 Madama 组、古近系 Sokor1 组和 Sokor2 组。

综上所述,古近纪后期断层构造特征主要表现为:在靠近早白垩世边界断层的 Dinga 断阶带和 Araga 地堑北部,断层走向 NW—SE,与早白垩世先存构造近平行,倾向相反,为早期断层古近纪再活动形成的派生断层,且在 Araga 地堑,呈明显的左阶雁列排列;在 Araga 地堑南部,古近纪后期断层走向逐渐趋于 NNW—SSE,大多数与早白垩世边界断层倾向相反;在 Dinga 凹陷、Fana 低凸起和 Moul 凹陷,古近纪后期断层走向 NNW—SSE,大部分倾向 NEE。根据断层活动的期次和级次,可将 Termit 盆地的断层分为两类。第一类在早白垩世和古近纪为同沉积边界断层,形成于早白垩世,在古近纪发生继承性活动;第二类断层形成于古近纪,在盆地边界形成的是由早白垩世先存断裂控制的断层,即早期断裂再活动形成的派生断层,在盆地其他区域,形成与伸展方向近垂直的新生断层。

3　构造演化模式

Termit 盆地自白垩纪以来经历了早白垩世和古近纪两期裂陷作用,下白垩统和古近系沉积主要受断裂活动控制,表现为:地层呈楔状,在靠近边界断层一侧厚度最大,向半地堑缓坡带逐渐减薄,且在边界断层

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

上盘的厚度明显大于下盘。在晚白垩世和新近纪构造活动较弱，以拗陷作用为主，地层呈碟状，下凸上平，沉降和沉积中心位于远离边界断层的盆地中部（图 5）。早白垩世和古近纪的区域伸展方向不同：早期为 NE—SW 向，该方向伸展使 NW—SE 向前泛非期变质带再活动，形成与其走向一致的盆地基底边界断层；晚期为 NEE—SWW 或近 E—W 向[8]。在早白垩世，Termit 盆地的伸展方向与基底先存断层走向近垂直，盆地经历正向引张作用；在古近纪，伸展方向与基底边界断层走向斜交，盆地发生斜向引张作用。

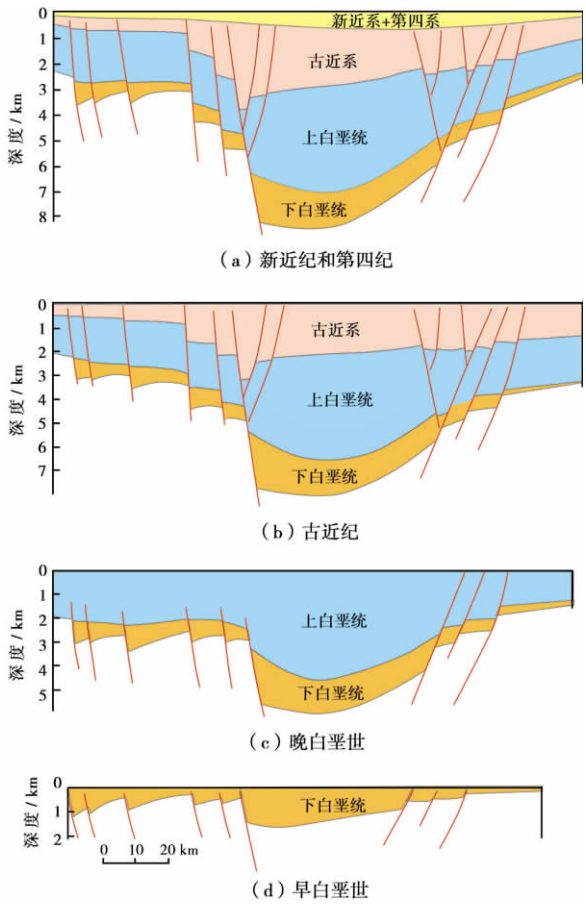


图 5 Termit 盆地构造地层演化

Fig. 5 Profile illustrating the structural and stratigraphic evolution of Termit Basin

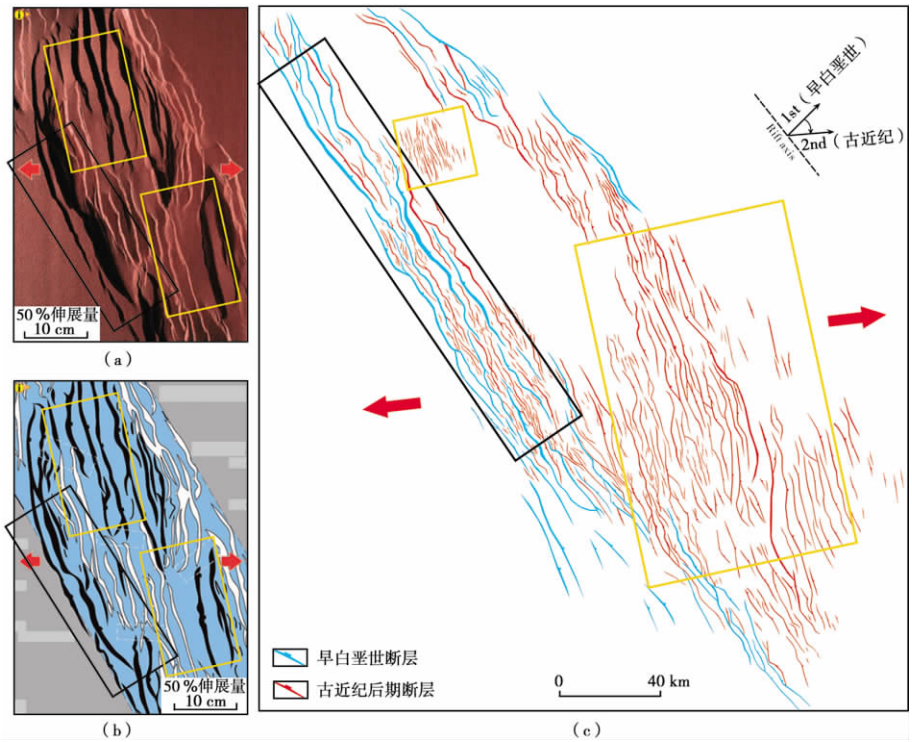
国内外学者通过砂箱模拟实验对斜向伸展型裂谷盆地的构造时空演化进行了深入研究，如 McClay 等开展了相对于盆地轴向呈 60°斜向伸展的砂箱模拟实验[10]。研究表明，先存构造和后期伸展方向对后期构造特征和演化具有控制作用，表现为在靠近盆地边界，后期断层走向与盆地轴向近一致，倾向相反［图 6(a)中黑色矩形所限区域］；而在远离边界的盆地内部，后期断层走向与伸展方向近垂直［图 6(a)中黄色矩形所限区域］，往盆地边界方向，走向与其趋于一致。此外，在靠近两侧边界断层发育两个构造沉降中心。

在 Termit 盆地，古近纪后期断层构造特征受早白垩世先存构造和后期伸展方向的控制，表现为：在 Dinga 断阶带，早白垩世边界断层较发育，古近纪后期断层受先存构造影响较大，走向呈 NW—SE 向，与早期断层近平行［图 6(c)黑色矩形所限区域］；在 Dinga 凹陷，以古近纪后期断层为主，因远离早白垩世先存 NW—SE 向边界断层，受其影响较小，该时期伸展方向起主要控制作用，后期断层走向与其近垂直，呈 NNW—SSE 向［图 6(c)黄色矩形所限区域］；在 Araga 地堑，早白垩世边界断层走向 NW—SE，相对于 Dinga 断阶带，早期断层规模小，数量少，且主要发育于该构造带北部，南部受早白垩世先存构造影响较小，后期断层走向 NNW—SSE，往北逐渐向 NW—SE 向收敛；在 Yogou 西斜坡，古近纪后期断层走向 NW—SE，与早白垩世边界断层近平行；在 Fana 低凸起和 Moul 凹陷，以古近纪后期断层为主，因远离先存 NW—SE 向早白垩世边界断层，受其影响较小，走向与后期伸展方向近垂直，呈 NNW—SSE 向［图 6(c)黄色矩形所限区域］。古近纪后期断层在平面上呈斜列分布，如在 Araga 地堑呈明显的左阶雁行排列，指示基底先存断层在该时期的斜向引张作用下有一定的右行走滑变形。

Termit 盆地 Sokor1 组顶面构造特征与 McClay 等[10]所开展的砂箱在模拟实验条件下构造发育特征有较好的一致性（图 6），主要表现为：①断层平面展布特征相似。在盆地边界和内部，发育两组不同走向的断层。②盆地剖面构造样式相似。盆地两侧边界断层与其派生断层在剖面上呈“Y”字形构造样式，走向近平行，且发育相应的构造沉降中心。③先存构造和后期伸展方向控制盆地断层展布特征。在盆地边界，先存构造影响较大，派生断层与边界断层走向一致；而在盆地内部，伸展方向起主要控制作用，后期断层走向与其近垂直。

Termit 盆地构造演化模式可概括为（图 7）：在早白垩世，非洲—阿拉伯板块内部 NE—SW 向伸展作用使东尼日尔地区发生初始裂陷，形成一系列 NW—SE 向断裂控制的地堑和半地堑，盆地经历正向引张作用。在晚白垩世，构造活动较弱，以热沉降为主，该时期全球海平面上升，发生大规模海侵，盆地沉积了巨厚的海相地层，沉降和沉积中心位于盆地中部。在古近纪，Termit 盆地再次发生强烈裂陷。该时期区域伸展方向为 NEE—SWW 或近 E—W 向，盆地发生斜向引张作用，早白垩世边界断层发生继承性活动，派生出倾向相反、走向近平行的后期断层，沉降和沉积中心向西迁移至 Dinga 断阶带靠近凹陷一侧，而在盆地内部和早期断层不发育的构造区域，以发育 NNW—SSE 向后期断层为主，与该时期伸展方向近垂直。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



(a) 前人砂箱模拟实验实物;(b) 图 a 顶面断层示意,其中黑线表示断层右倾,白线表示断层左倾(据文献[10]修改);(c) Termit 盆地古近系 Sokor1 组顶面构造。

图 6　Termit 盆地古近系 Sokor1 组顶面构造与砂箱模拟实验对比

Fig. 6　Comparison of fault distribution on top of the Paleogene Sokor1 Formation in Termit Basin and an analog sandbox experiment

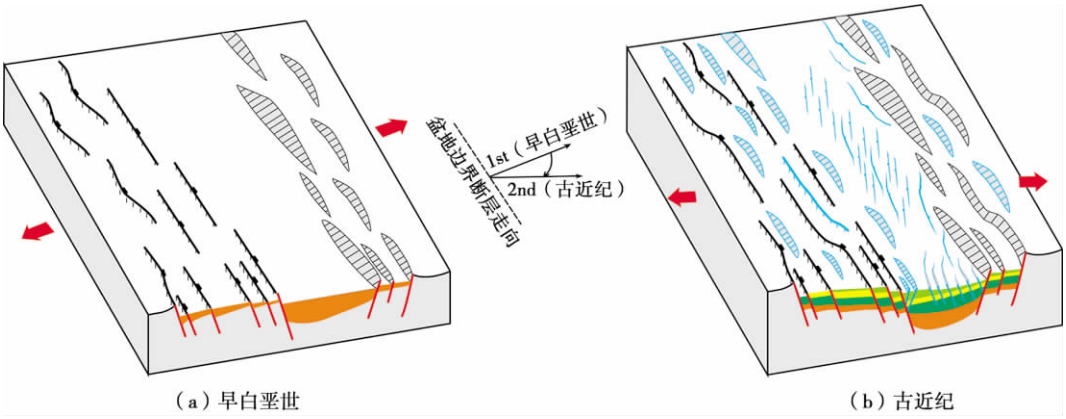


图 7　Termit 盆地构造演化模式

Fig. 7　The models of structural evolution of Termit Basin

4　成藏主控因素及模式

4.1　成藏主控因素

古近系 Sokor2 组区域性盖层控制油气垂向分布。Termit 盆地的主力储层为古近系 Sokor1 组湖泊三角洲相砂岩,主要为细粒—中粒石英砂岩,储层空间为粒间孔和粒内溶蚀孔,具有较好的物性。Sokor1 组按岩性组合特征自上而下可划分为 E1—E5 段。其中 E5 段对应三级层序低位体系域,砂岩较发育,随着三级基准面上升,向上至 E4 和 E3 段,逐渐以泥岩为主,E2 和 E1 段地层沉积于三级基准面下降期,砂岩含量逐渐增加(图 8)。

盆地内大部分古近系原油具有相似的地球化学特征,表现为:Pr/Ph 值介于 0.65～1.57;伽马蜡烷含量相对较高(伽马蜡烷/C_{30} 藿烷值为 0.24～0.49);C_{29} 甾烷优势明显,甾烷 $C_{29}>C_{28}>C_{27}$,呈反“L”型;三环萜烷含量高,表明其母源沉积于咸水—半咸水、还原—弱还原环境。与上白垩统 Yogou 组地化特征反映的沉

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

积环境一致，而与古近系 Sokor1 组淡水、偏氧化湖泊环境相差较大，油源对比表明古近系原油主要源自上白垩统 Yogou 组海相泥页岩。该套烃源岩厚度达 300～1 000 m，TOC 平均为 1.95%，有机质主要为 II_2—III 型。镜质体反射率、岩石热解峰温及热变质指数研究显示该盆地烃源岩成熟门限深度为 2 500～2 800 m。上白垩统 Yogou 组海相泥页岩在盆地大部分区域的埋深大于该生烃门限深度，表明其已大面积成熟。对

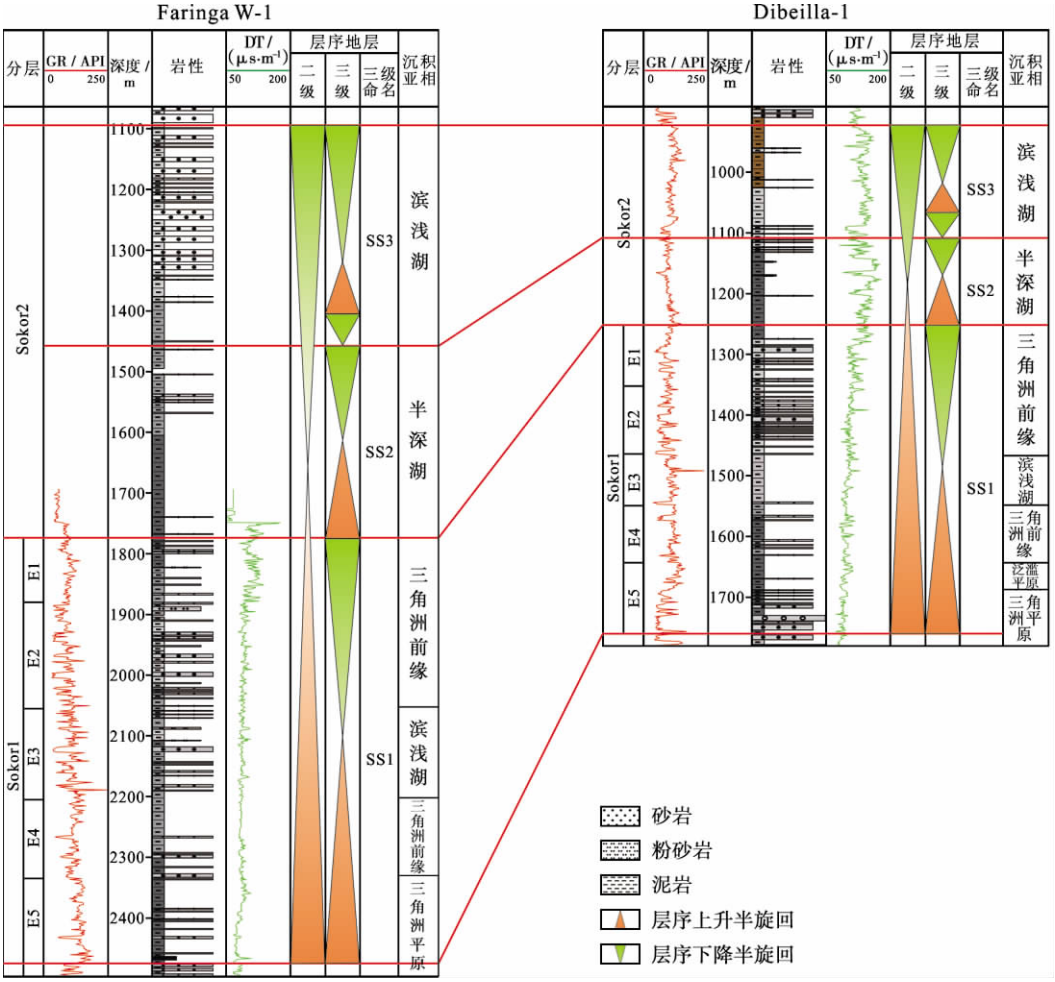


图 8 Faringa W-1—Dibeilla-1 连井古近系层序地层对比

Fig. 8 Sequence stratigraphic correlation of the Paleogene strata between Well Faringa W-1 and Dibeilla-1 in Termit Basin

位于 Dinga 断阶带的 Goumeri-1 井进行单井生烃史模拟，研究认为，Yogou 组泥页岩在该构造带于早始新世—早渐新世开始成熟生烃，在晚始新世—早中新世进入生烃高峰（图 9）。综合研究认为，上白垩统 Yogou 组海相烃源岩的大面积生烃为古近系油气成藏提供了良好的前提条件。

区域性盖层对含油气盆地的油气垂向分布具有重要的控制作用[11-13]。Termit 盆地古近系 Sokor2 组中下部形成于二级层序的最大湖泛面附近，沉积了大面积分布的厚层连续泥岩段，是该盆地良好的区域性盖层。钻井揭示，该连续泥岩段厚度为 130～600 m，泥地比为 90%左右，全盆地稳定分布。测井资料分析显示，Sokor2 组泥岩盖层物性封闭能力强，且普遍存在欠压实现象。

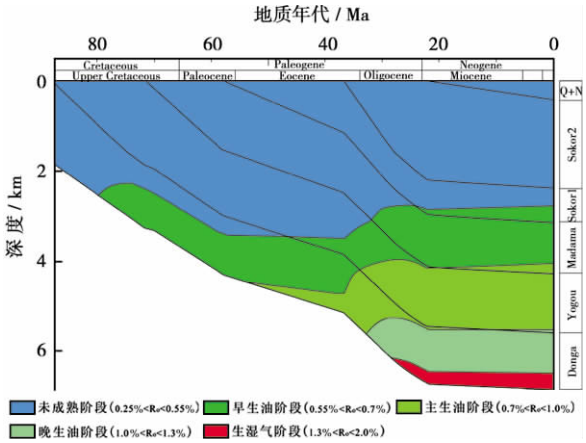


图 9 Termit 盆地 Goumeri-1 井成熟史演化模拟

Fig. 9 Maturity evolution modeling of Well Goumeri-1 in Termit Basin

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

在断裂活动期,上白垩统 Yogou 组海相烃源岩生成的油气能够通过油源断层和 Madama 组疏导层垂向和侧向运移至古近系Sokor2组区域性盖层之下的 Sokor1 组砂体中,在有利圈闭中聚集成藏。目前 98% 的石油地质储量分布在 Sokor1 组砂体中,而在盖层之上的地层和烃源岩层之上的河流相 Madama 组砂砾岩地层中无油气发现,证实了该套区域性盖层对油气垂向分布的控制作用。

断块圈闭的岩性侧向封堵条件控制圈闭有效性。断块圈闭的主要勘探风险为断层侧向封堵条件,断距大小(Δh)和相邻一侧地层的岩性决定了圈闭的有效性和含油高度。当断距 Δh 小于泥岩厚度时,砂岩与泥岩对接,有利于成藏[14]。Termit 盆地经历了多期裂陷作用,断块圈闭发育。目前在该盆地的油气发现主要位于 Dinga 断阶带和 Araga 地堑,其中 Dinga 断阶带的圈闭类型主要为断垒(如 Goumeir-1 油气藏)和反向断鼻,Araga 地堑主要为反向断鼻(如 Dibeilla-1 和 Dibeilla N-1 油藏)(图 10)。古近系 Sokor2 组下部厚层泥岩段为 Sokor1 组储层提供了良好的盖层和侧向封堵条件。在断垒和反向断鼻圈闭中,Sokor1 组砂体通过断层与 Sokor2 组厚层连续泥岩段侧向对接,易形成良好的封堵条件(图 10)。而在顺向断块圈闭,Sokor1 组砂体易与自身砂岩或 Madama 组厚层连续砂砾岩侧向对接,封堵性较差。

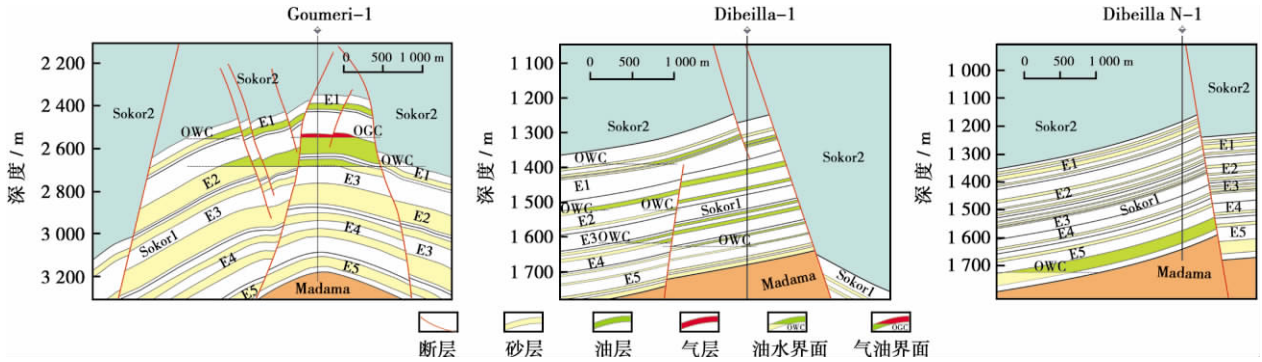


图 10　Termit 盆地各油气田油藏剖面

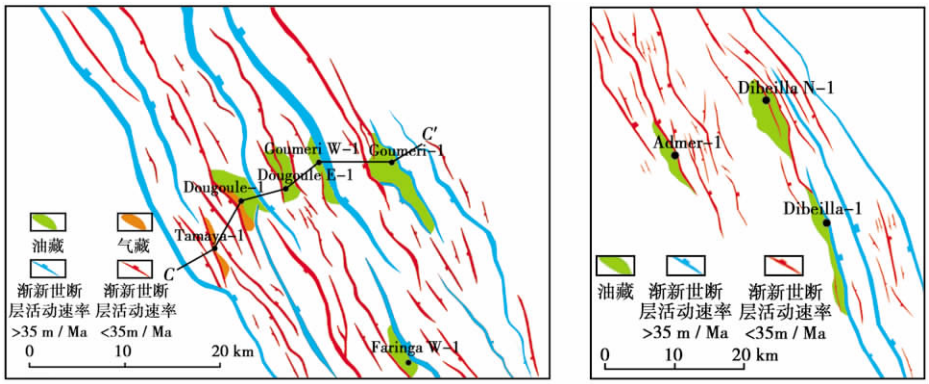
Fig. 10　Oil and gas reservoir sections of Goumeri-1, Dibeilla-1, Dibeilla N-1 in Termit Basin

古近纪裂陷期的断裂活动控制油气平面和含油气层系分布。裂谷盆地在裂陷期的活跃断裂活动有利于油气的大规模运移[15]。Termit 盆地的古近纪强烈断裂活动主要发生于渐新世—早中新世,在该时期早白垩世边界断层发生继承性活动,在盆地边界派生一系列次生断层,在盆地内部则形成一系列断至烃源岩层的雁列新生断层(图 3);同时上白垩统海相烃源岩已大范围成熟,该期断裂活动对古近系油气富集起决定性作用。古近系油气藏为下生上储型,下部上白垩统 Yogou 组海相烃源岩生成的油气在断裂活动期通过油源断层的沟通发生垂向运移,在古近系 Sokor1 组储层中聚集成藏。因此,各构造带边界断层的发育程度及其和后期断层的活动强度就决定了古近系油气的平面分布和富集程度。笔者利用断层活动速率定量表征成藏期时断层活动速率,计算方法为:在垂直于断裂走向的地震解释剖面上,用断裂上盘(Sokor2 组)减去下盘除以活动时间(10.9 Ma)。在同一条断裂沿走向计算若干个等间距点的活动率,然后取平均值,即为该断裂在成藏期的活动速率[15-16]。

在 Dinga 断阶带,大型继承性活动边界断层发育,且在古近纪裂陷期断裂活动性大(断层活动速率为 37～197 m/Ma),与派生断层相间分布。目前的油气主要位于 Dinga 断阶带,占已发现石油地质储量的 70%,大多分布在大型边界断层附近,其中构造调节带是油气优势聚集场所[图 11(a)]。相比于 Dinga 断阶带,Araga 地堑的大型继承性活动边界断层较少(主要位于该构造带东部),且在古近纪断裂活动性相对较小(断层活动速率为 25～43 m/Ma),后期断层仅在 Dibeilla 构造附近活动性较大(断层活动速率为 26～48 m/Ma)[图 11(b)]。2010 年在紧靠边界断层和活动性较大的后期断层的 Dibeilla 构造上优选部署 2 口区域甩开探井 Dibeilla-1 和 Dibeilla N-1,在 Araga 地堑的古近系 Sokor1 组中获得重大突破,发现了一个亿吨级的含油气区带。该富油气区带的发现证实了断层活动性对油气平面分布具有重要的控制作用。在 Fana 低凸起和 Moul 凹陷,早期边界断层不发育,且后期断层活动性相对较弱,不利于油气在古近系中大规模成藏。

断层活动性除影响油气的平面分布外,其对含油气层系的分布也具有控制作用。物理模拟实验研究表明,在断裂带开启但顶部存在封闭的条件下,当断裂带的渗透率明显大于其两侧砂层渗透率时,油倾向于在与断层相连的紧邻上部盖层的砂层中运移和聚集成藏;当断裂带与其两侧砂层的渗透率差别不大时,油则

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



(a) Dinga 断阶带 (b) Araga 地堑

图 11 Dinga 断阶带和 Araga 地堑断层发育与油气藏分布(区域位置见图 3)

Fig. 11 Fault and oilfield distribution in Dinga fault step and Araga graben in Termit Basin

倾向于在与断层相连的下部砂层中运移和聚集成藏[17-19]。在 Termit 盆地,Dinga 断阶带和 Araga 地堑的古近系含油气层系具有明显的差异,表现为:在 Dinga 断阶带,油气主要富集于紧靠 Sokor2 组区域性盖层之下的 Sokor1 组 E1、E2 段砂体中,如 Goumeri-1 油气藏,而在 Araga 地堑,油气则主要位于 E5 段砂体中,如 Dibeilla N-1 油藏(图 10)。Dinga 断阶带和 Araga 地堑含油气层系的差异受断层活动性控制明显,表现为:Dinga 断阶带的油源断层在成藏期时活动性较强,使源自下部上白垩统烃源岩的油气直接垂向疏导至紧邻区域性盖层之下的 E1、E2 段砂体中充注成藏;而在 Araga 地堑,断层活动性相对较弱,疏导油气的能力相对较小,沿油源断层垂向运移的油气则主要充注于 Sokor1 组下部的 E5 段砂体中。

4.2 成藏模式

在明确 Termit 盆地构造演化和油气成藏主控因素的基础上,建立了古近系油气跨世代聚集模式(图 12)。在渐新世,盆地发生强烈裂陷活动,沉积的 Sokor2 组厚层连续湖相泥岩为良好的区域性盖层。同时早期边界断层发生继承性活动,形成大量断垒、反向断鼻等圈闭。大范围分布的上白垩统海相烃源岩在该裂陷期已进入大规模生烃期,生成的油气沿油源断层垂向运移至区域性盖层之下的古近系 Sokor1 组储层中,在靠近油源断层的圈闭中聚集成藏。综上所述,晚白垩世海侵控制了大规模海相烃源岩的发育,后期裂陷活动控制了区域盖层、圈闭的形成及油气的大规模运聚。油源断层的沟通使上白垩统烃源岩生成的油气跨世代运聚至古近系砂体中成藏。

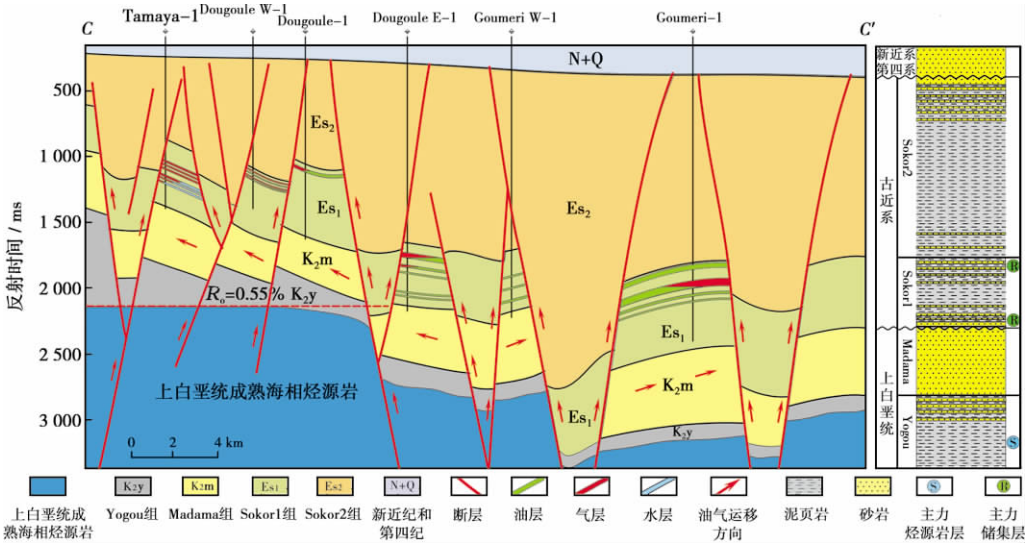


图 12 Termit 盆地古近系油气跨世代运聚模式[连井剖面位置见图 11(a)]

Fig. 12 Paleogene hydrocarbon accumulation model of Termit Basin

5 结 论

(1) Termit 盆地经历了早白垩世和古近纪两期裂陷作用。早期 NE—SW 向区域伸展作用使前泛非期变质带再活动,发育一系列 NW—SE 向断裂,盆地经历正向引张作用;晚期区域伸展应力为 NEE—SWW 或

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

近 E—W 向,NW—SE 向盆地发生斜向引张作用。

(2) 正向至斜向引张作用对 Termit 盆地构造特征和演化有重要控制作用。在早白垩世,正向引张作用在盆地边界形成一系列 NW—SE 向早期断裂。在古近纪,斜向引张作用使后期断层构造特征受先存构造和伸展方向的控制,表现为:在盆地边界附近,后期断层受早白垩世断层影响较大,走向与先存构造近平行,呈 NW—SE 向;而在盆地内部和早期断层不发育的构造区域,伸展方向起主要控制作用,后期断层走向与其近垂直,呈 NNW—SSE 向。

(3) Termit 盆地的主力储层为古近系 Sokor1 组,其油气主要源自上白垩统海相 Yogou 组泥页岩。古近系 Sokor2 组区域性盖层控制油气垂向分布。断块圈闭的岩性侧向封堵条件控制圈闭有效性。在断垒和反向断鼻圈闭中,Sokor1 组砂体通过断层与 Sokor2 组厚层连续泥岩段侧向对接,易形成良好的封堵条件。在古近纪裂陷期的断裂活动控制油气平面和含油气层系分布,表现为各构造带边界断层的发育程度及其和后期断层的活动强度决定古近系油气平面分布、富集程度和含油气层系分布。

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: 153-168.

[3] 窦立荣,肖坤叶,胡勇,等. 乍得 Bongor 盆地石油地质特征及成藏模式[J]. 石油学报, 2011, 32(3): 379-386.
Dou Lirong, Xiao Kunye, Hu Yong, et al. Petroleum geology and a model of hydrocarbon accumulations in the Bongor Basin, the Republic of Chad[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(3): 379-386.

[4] Schull T J. Rift basins of interior Sudan, petroleum exploration and discovery[J]. AAPG Bulletin, 1988, 72(10): 1128-1142.

[5] Bosworth W. Mesozoic and early Tertiary rift tectonics in East Africa[J]. Tectonophysics, 1992, 209: 115-137.

[6] 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.
Liu Bang, Pan Xiaohua, Wan Lunkun, et al. Marine transgression of the eastern Niger Basin in the Late Cretaceous: paleontological and geochemical evidences[J]. Geoscience, 2011, 25(5): 995-1006.

[7] 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: 83-143.

[8] Janssen M E, Stephenson R A, Cloetingh S. Temporal and spatial correlations between changes in plate motions and the evolution of rifted basins in Afirca[J]. GSA Bulletin, 1995, 107(11): 1317-1332.

[9] Maurin J C, Guiraud R. Basement control in the development of the early cretaceous West and Central African rift system[J]. Tectonophysics, 1993, 228: 81-95.

[10] McClay K R, Dooley T, Whitehouse P, et al. 4-D evolution of rift systems: Insights from scaled physical models[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(6): 935-959.

[11] Magoon L B, Dow W G. The petroleum system[G]//Magoon L B, Dow W G. The petroleum system: from source to trap. AAPG Memoir 60, 1994: 1-40.

[12] 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——兼与中国裂谷盆地对比分析[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(3): 255-261.
Dou Lirong, Pan Xiaohua, Tian Zuoji, et al. Hydrocarbon formation and distribution of rift basins in Sudan: A comparative analysis of them with rift basins in East China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(3): 255-261.

[13] 童晓光,徐志强,史卜庆,等. 苏丹迈卢特盆地石油地质特征及成藏模式[J]. 石油学报, 2006, 27(2): 1-10.
Tong Xiaoguang, Xu Zhiqiang, Shi Buqing, et al. Petroleum geologic property and reservoir-forming pattern of Melut Basin in Sudan[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(2): 1-10.

[14] 童晓光,窦立荣,田作基,等. 苏丹穆格莱德盆地的地质模式和成藏模式[J]. 石油学报, 2004, 25(1): 19-24.
Tong Xiaoguang, Dou Lirong, Tian Zuoji, et al. Geological mode and hydrocarbon accumulation mode in Muglad passive rift basin of Sudan[J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(1): 19-24.

[15] 邹华耀,周心怀,鲍晓欢,等. 渤海海域古近系、新近系原油富集/贫化控制因素与成藏模式[J]. 石油学报, 2010, 31(6): 885-893.
Zou Huayao, Zhou Xinhuai, Bao Xiaohuan, et al. Controlling factors and models for hydrocarbon enrichment/depletion in Paleogene and Neogene, Bohai sea[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(6): 885-893.

[16] 周心怀,牛成民,滕长宇. 环渤中地区新构造运动期断裂活动与油气成藏关系[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 469-475.
Zhou Xinhuai, Niu Chengmin, Teng Changyu. Relationship between faulting and hydrocarbon pooling during the Neotectonic movement around the central of Bohai Bay[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 469-475.

[17] 尚尔杰,金之钧,丁文龙,等. 断裂控油的物理模拟实验研究——以准噶尔盆地西北缘红车断裂带为例[J]. 石油实验地质, 2005, 27(4): 414-418.
Shang Erjie, Jin Zhijun, Ding Wenlong, et al. Study on physical simulation experiment for the controlling of faults to oil: Taking the Hongche Faults in the northwest of Junggar basin as an example[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27(4): 414-418.

[18] 丁文龙,金之钧,张义杰,等. 准噶尔盆地腹部断裂控油的物理模拟实验及其成藏意义[J]. 地质科学——中国地质大学学报, 2011, 36(1): 73-82.
Ding Wenlong, Jin Zhijun, Zhang Yijie, et al. Experimental simulation of faults controlling oil migration and accumulation in the central part of Junggar basin and its significance for petroleum geology[J]. Earth Science: Journal of China University of Geosciences, 2011, 36(1): 73-82.

[19] 曾溅辉,金之钧. 油气二次运移和聚集物理模拟[M]. 北京:石油工业出版社, 2000: 127-134.
Zeng Jianhui, Jin Zhijun. Physical migration and secondary oil migration and accumulation[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000: 127-134.

(收稿日期 2012-01-30　改回日期 2012-03-10　责任编辑　熊　英)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net