



引文格式: 陈长伟, 汤戈, 周博宇, 等. 西非 Termit 盆地石油地质特征及成藏主控因素[J]. 西北地质, 2024, 57(3): 223-236. DOI: 10.12401/j.nwg.2023154

Citation: CHEN Changwei, TANG Ge, ZHOU Boyu, et al. Petroleum Geological Characteristics and Main Control Factors of Hydrocarbon Accumulation in Termit Basin, West Africa[J]. Northwestern Geology, 2024, 57(3): 223-236. DOI: 10.12401/j.nwg.2023154

## 西非 Termit 盆地石油地质特征及成藏主控因素

陈长伟<sup>1</sup>, 汤戈<sup>1,\*</sup>, 周博宇<sup>2</sup>, 苏俊青<sup>1</sup>, 郭怡辉<sup>3</sup>, 滑双君<sup>1</sup>, 葛维<sup>1</sup>

(1. 中国石油大港油田公司勘探开发研究院, 天津 300280; 2. 中国石油工程技术研究有限公司, 天津 300450;  
3. 天津中油渤星工程科技有限公司, 天津 300450)

**摘要:** 西非 Termit 盆地是中国石油在非洲极为重要的勘探开发区块。在充分利用钻井、分析化验和地震资料基础上, 开展了 Termit 盆地石油地质特征和成藏主控因素研究, 研究表明: ① Termit 盆地历经前裂谷期、同裂谷期、后裂谷期三大构造演化阶段, 同裂谷期发育早晚两期裂谷作用形成中生代—新生代叠置裂谷盆地, 宏观具有“东西分带、南北分块”的构造结构特征, 控制圈闭的形成与分布。② 发育上白垩统 Yogou 组分布广 (18 000 km<sup>2</sup>)、厚度大 (600~1 400 m)、成熟度适中 ( $R_o$  值为 0.7%~1.3%) 的海相烃源岩, 配置上白垩统 Yogou 组顶部发育的海相三角洲、古近系 Sokor 1 组辫状河三角洲砂体, 及古近系 Sokor 2 组区域性分布的泥岩盖层, 形成了上、下两套成藏组合; ③ 明确古近系、白垩系成藏主控因素, 古近系为“下生上储”的次生油气藏, 油气平面和垂向分布受生烃灶、区域盖层、油源断层和优势沉积相控制, 白垩系为“自生自储”原生气藏, 油气富集受区域构造活动强度和白垩系内幕构造控制。④ 构建了基于海相广覆式烃源岩的跨世代油气成藏模式, 明确 Dinga 断阶带、Fana 凸起和 Araga 地堑是古近系油气勘探的有利区带, 造活动相对较弱的 Moul 凹陷及 Dinga 断阶带南部是白垩系油气勘探的有利区带。地质认识指导勘探部署, 在尼日尔 Termit 盆地获得了重大勘探突破, 累计探明石油地质储量超 7 亿 t, 为中国石油海外油气增储上产奠定了坚实的基础。

**关键词:** 石油地质; Termit 盆地; 地质特征; 主控因素; 油气富集

中图分类号: P618.13; TE122.14 文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2024)03-0223-14

### Petroleum Geological Characteristics and Main Control Factors of Hydrocarbon Accumulation in Termit Basin, West Africa

CHEN Changwei<sup>1</sup>, TANG Ge<sup>1,\*</sup>, ZHOU Boyu<sup>2</sup>, SU Junqing<sup>1</sup>, GUO Yihui<sup>3</sup>, HUA Shuangjun<sup>1</sup>, GE Wei<sup>1</sup>

(1. Exploration & Development Research Institute of Dagang Oilfield, Petrochina, Tianjing 300280, China; 2. Research Institute of Engineering Technology, Tianjin 300450, China; 3. CNPC Tianjin Bo-xing Engineering Science & Technology Co., Ltd, Tianjin 300450, China)

**Abstract:** The Termit basin is a very important exploration and development block of CNPC in Africa. The

收稿日期: 2023-06-25; 修回日期: 2023-07-31; 责任编辑: 吕鹏瑞

基金项目: 中国石油海外科技专项 (CNPCNP/01/2015-0790、CNPCNP/01/2016-0920) 联合资助。

作者简介: 陈长伟 (1983-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事油气勘探开发管理工作。E-mail: chenchwei@petrochina.com.cn。

\* 通讯作者: 汤戈 (1985-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事油气勘探研究工作。E-mail: tangge@petrochina.com.cn。

petroleum geological characteristics and main controlling factors of hydrocarbon accumulation have been studied base on the drilling, analysis and seismic data, in the Termit basin. The research shows that: ① The Termit basin has undergone three tectonic evolution stages: pre-rift period, synrift period and post-rift period, and the meso-Cenozoic superimposed rift basin was formed by two stages of early and late rifting during synrift period. The macrostructure features of "east-west zoning and north-south segmentation" control the formation and distribution of traps. ② The Upper Cretaceous Yogou Formation is widely distributed ( $18\ 000\ \text{km}^2$ ), with a large thickness (600~1 400 m) and moderate maturity ( $R_o$ : 0.7%~1.3%) Marine source rocks, with Marine delta developed at the top of Upper Cretaceous Yogou Formation, braid river delta sand body of Paleogene Sokor1 member, and mudstone cover of Paleogene overlying Sokor2 formation regionally distributed, formed a good reservoir-cap association. ③ The main controlling factors of hydrocarbon accumulation in Paleogene and Cretaceous are identified. Paleogene is a secondary hydrocarbon reservoir with "lower generation and upper reservoir", the plane and vertical distribution of oil and gas is controlled by hydrocarbon generation focus, regional cap layer, oil source fault and dominant sedimentary facies, while Cretaceous is a "self-generated and self-storage" primary reservoir, and oil and gas enrichment is controlled by regional tectonic activity intensity and Cretaceous insider structure. ④ A cross-generation hydrocarbon accumulation model based on widely covered Marine source rocks is constructed, and the Dinga fault-step belt, Fana uplift and Araga Graben are identified as favorable zones for hydrocarbon exploration in Paleogene, while the Moul sag and the southern part of Dinga fault-step belt are favorable zones for hydrocarbon exploration in Cretaceous. Geological knowledge guided exploration and deployment, achieved a major exploration breakthrough in the Termit Basin in Niger, and accumulated proved oil geological reserves exceeded 700 million tons, laying a solid foundation for CNPC to increase overseas oil and gas reserves and production.

**Keywords:** petroleum geology; Termit basin; geological characteristics; main control factors; hydrocarbon accumulation

非洲是中国重要的海外油气合作区以及原油进口区,是仅次于中东的第二大原油进口来源区,中国原油进口总量的 18% 来源于非洲(于瑞等, 2022)。目前,中国三大石油公司在非洲运行着多个石油项目,已建成年产 1.1 亿 t 原油生产能力(窦立荣等, 2022),非洲石油勘探开发对中国的重要性日益显现。

尼日尔 Termit 盆地是中国石油天然气集团公司在海外的三大风险勘探区块之一(张庆莲等, 2013),位于西非内陆国家尼日尔东部,面积为  $2.7 \times 10^4\ \text{km}^2$ 。盆地油气勘探始于 20 世纪 70 年代,历经多家知名国际石油公司勘查,始终未获规模发现(聂朝民等, 2013; 吕明胜, 2015)。自 2008 年中国石油(缩写“CNPC”)取得探矿权后,通过不断的探索创新,发挥整体研究、整体认识技术优势,逐步厘清了盆地的石油地质条件和富集规律,指导了勘探方向由下向上、由西向东的几次重大转移,获得了重大勘探突破,累计探明石油地质储量超 7 亿 t,为中国石油海外油气增储上产奠

定了坚实的基础。笔者基于 Termit 盆地勘探实践,系统阐述了盆地烃源岩、储层、盖层及油气输导体系的基本特征,总结油气富集的主控因素,构建了叠合裂谷盆地油气成藏模式,对西非地区油气勘探具有重要的指导意义,同时也为类似地质条件下的油气勘探工作提供了指导和借鉴。

## 1 区域地质特征

Termit 盆地位于尼日尔东南部,构造上隶属于为西非裂谷子系统,是在前寒武系基底之上发育的中生代—新生代叠合裂谷盆地(Genik et al., 1992, 1993; Guiraud et al., 2005)。盆地整体呈 NW-SE 向长条形展布,南北长约为 300 km,东西最窄处约为 60 km,最宽处约为 110 km,南邻 Lake Chad 盆地,北接 Tenere 盆地,东西紧邻 Agadem、Zinder 隆起,面积约为  $30\ 000\ \text{km}^2$ 。依据构造样式差异, Termit 盆地可划分为 Termit 西台

地、Termit 东台地、Dinga 断阶、Dinga 凹陷、Araga 地堑、Fana 低凸起、Yogou 斜坡、Moul 凹陷、Trakes 斜坡及 Soudana 凸起等 10 个构造单元(图 1)。

钻井、古生物及地震资料揭示, Termit 盆地在前寒武系变质岩基底之上, 自下而上沉积了白垩系、古近系、新近系及第四系, 主要为海相和陆相沉积的砂泥岩与泥页岩地层, 最大沉积厚度超过 12 000 m。下白垩统主要为陆湖相碎屑岩沉积, 岩性组合具“粗-细-粗”变化特征, 地层推测厚度为 800~2 000 m, 与上白垩统呈角度不整合接触。上白垩统沉积期 Termit 盆地遭受大规模海侵, 以海相碎屑岩沉积为主, 自下而上沉积了 Donga 组、Yogou 组及 Madama 组(图 2)。Donga 组底部岩性以砂泥岩互层为主, 向上渐变为海相泥页岩, 呈正旋回特征, 地层厚度为 800~1 600 m。Yogou 组下部发育厚层泥页岩, 向上渐变为

砂泥互层, 顶部为厚层砂夹薄泥岩组合, 呈反旋回特征, 厚度为 600~2 000 m, 是盆地主要的烃源岩层系。Madama 组是一套全区稳定广泛的厚层砂岩地层, 顶底面为不整合面, 厚约为 300~800 m, 孔隙度为 20%~25%, 渗透率平均为 200 mD, 由于该套地层全区连续稳定分布, 为油气横向运移提供了稳定输导体系。古近系主要为陆湖相沉积地层, 按岩性组合可以分为 Sokor 1 和 Sokor 2 两个层组。Sokor 1 组以湖泊-三角洲沉积为主, 发育一套灰色砂泥岩互层地层, 厚约为 100~1 200 m。Sokor 2 组是一套以湖相沉积为主的泥岩夹薄层砂岩组合, 是盆地的主要区域盖层, 厚约为 300~800 m。新近系以拗陷作用为主, 主要为细-粗粒砂岩, 成分以石英和长石为主, 偶见杂色黏土, 为河流相沉积, 厚度为 10~1 000 m。第四系主要为黏土、粉砂岩、细砂岩及砾石层, 表层被约 10 m 厚沙漠所覆盖。

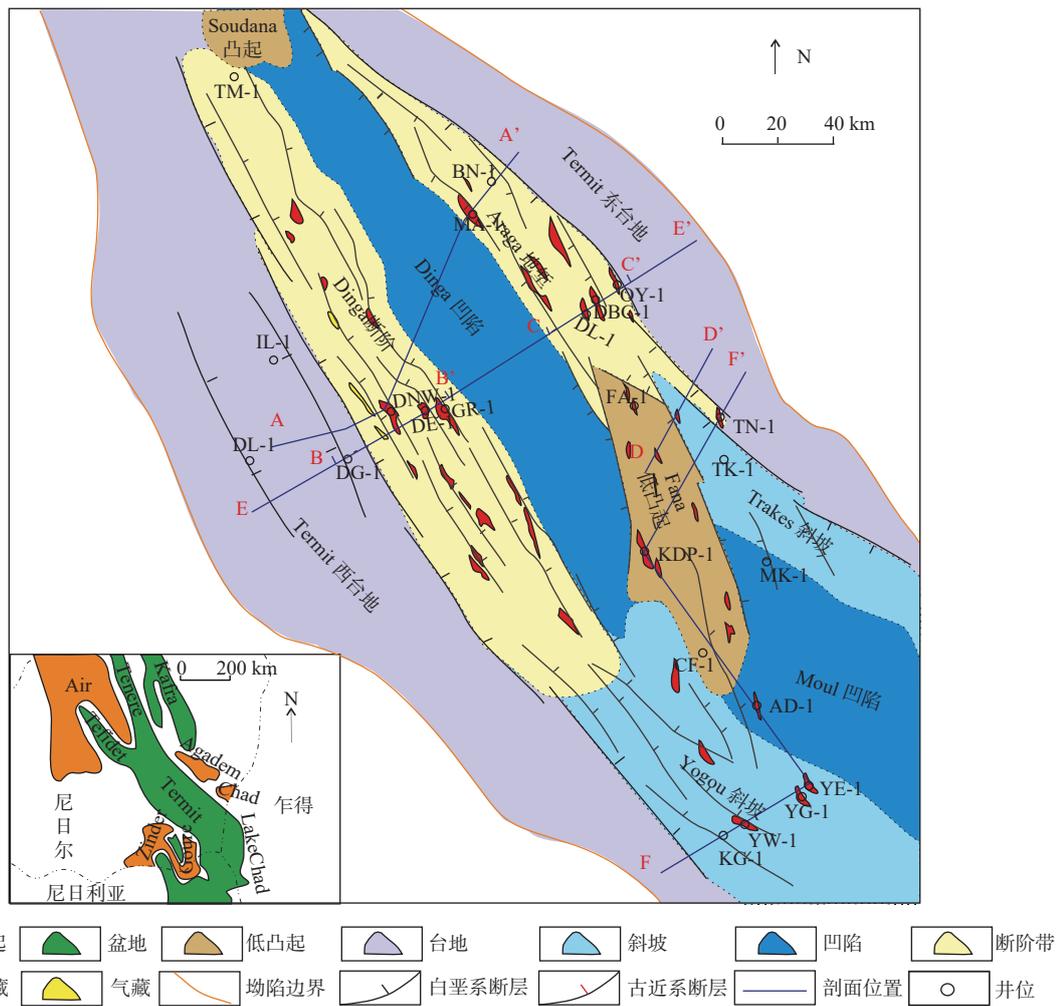


图 1 Termit 盆地区域位置与构造单元划分图

Fig. 1 Location and structural units of Termit basin



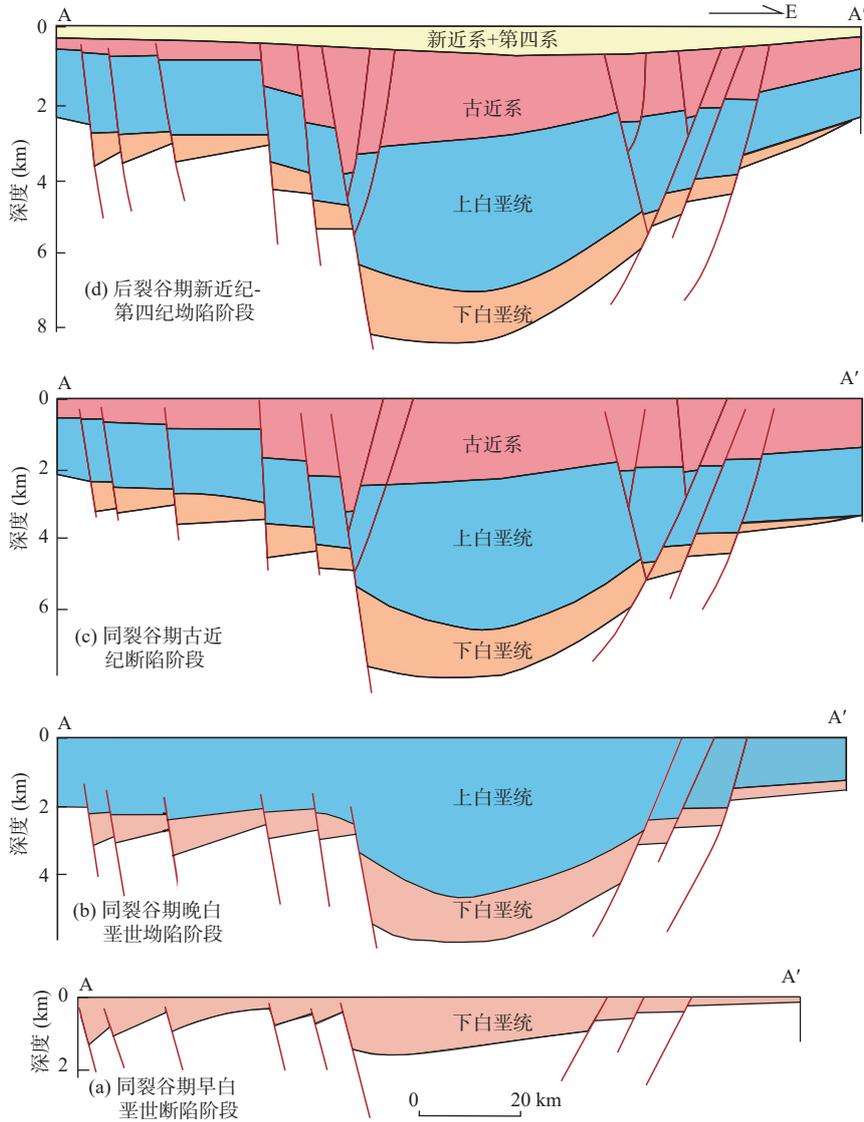


图3 Termit 盆地北部东西向构造演化剖面

Fig. 3 Polyphase rift evolution of Termit basin in E-W direction

亚板块碰撞及板块内部伸展断陷的构造背景, 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性活动, 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。在古近纪裂谷阶段, 沉积了裂谷初始期地层 (Sokor 1)、裂谷深陷期地层 (LV Shale 及 Sokor 2 下部) 及裂谷萎缩期地层 (Sokor 2 上部)。

总体来看, Termit 盆地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, 因而两期裂谷的叠置作用主要体现在继承和改造两个方面。

继承作用主要为在早白垩世断裂基础上, 古近纪断裂持续发育形成了盆地双断结构特征, 两期裂谷叠加效应强。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。盆地构造运动体制的转换决定了盆地的油气聚集与分布特征。伸展期盆地地层分布稳定, 横向变化小, 沉积范围大; 聚敛期盆地构造活动强, 地层横向变化大, 沉积范围小, 是盆地构造圈闭的形成期。

### 3 石油地质特征

Termit 盆地构造演化的多旋回性造成盆地沉积环

境历经了早白垩世湖相、晚白垩世海相、新生代湖相三大演化阶段,并由此控制了盆地的生储盖组合分布,形成了独特的石油地质特征。

### 3.1 烃源岩

Termit盆地发育K1组、Donga组、Yogou组及Sokor 1组等4套烃源岩层。K1组烃源岩主要为湖相泥岩,厚约为100~200 m;有机碳含量(以下简称“TOC”)为0.46%~1.54%,平均为0.9%,有机质类型为Ⅲ型,是差-中等烃源岩。Donga组烃源岩则以海相泥页岩为主,厚度约为200~500 m,TOC值一般为0.6%~2.5%,生烃潜量(以下简称“ $S_1+S_2$ 值”)平均为1.5 mg/g,有机质类型为Ⅱ<sub>2</sub>-Ⅲ型,属中等烃源岩,镜质体反射率( $R_o$ )大部分地区在1.5%以上,已进入成熟生气阶段,仅Trakes高斜坡区以生油为主。Yogou组烃源岩主要为海相泥页岩,厚度约为400~1 400 m,TOC含量为0.5%~16%,69%以上TOC值大于1%, $S_1+S_2$ 值平均达5.1 mg/g,有机质类型为Ⅱ<sub>1</sub>-Ⅱ<sub>2</sub>型,是中等-好烃源岩; $R_o$ 值一般为0.5%~

1.6%,处于大量生油阶段(图4)。Sokor 1组烃源岩主要为湖相泥岩,厚度约为200~300 m,TOC值一般大于2%,最大可以达到25%,有机质类型为Ⅰ-Ⅱ<sub>1</sub>型; $S_1+S_2$ 值大于6 mg/g,最大达15.48%,属于好-优质烃源岩;大部分地区 $R_o$ 值一般小于0.5%,仅Dinga断阶带局部达到生烃门限。

不同类型不同层系烃源岩纵向上叠置,累计厚度为1 000~2 500 m;平面错叠连片发育,分布范围极广,有效烃源岩叠合面积约 $1.8 \times 10^4$  km<sup>2</sup>。钻探证实,盆地已发现原油主要来自Yogou组海相烃源岩,Donga组与Sokor1组烃源岩仅提供部分供给。

### 3.2 储集层

受多期伸展-聚敛构造演化与海(湖)进-海(湖)退旋回控制, Termit盆地发育K1组、Donga组、Yogou组、Madama组、Sokor 1组及Sokor 2组等多套碎屑岩储集层,纵向多层系叠合发育,平面储层连片分布。其中,古近系Sokor1组、上白垩统Yogou组是盆地主要的油气储层。

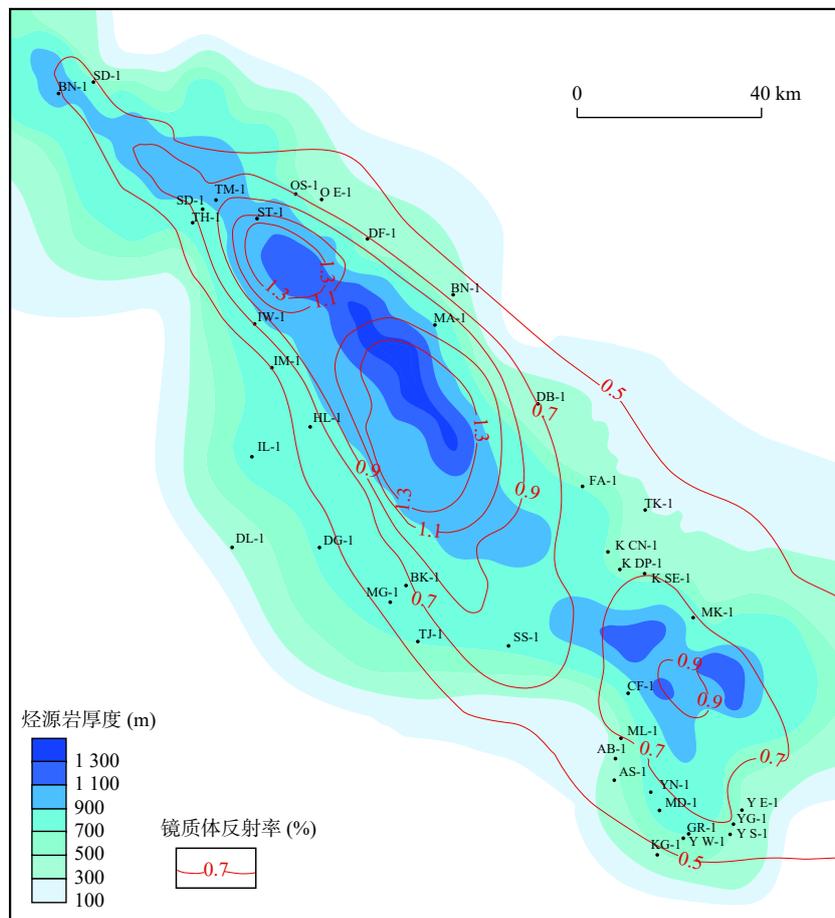


图4 Termit盆地Yogou组烃源岩厚度与镜质体反射率叠合图  
Fig. 4 Source rock thickness and vitrinite reflectance of Yogou, Termit basin

古近系 Sokor 1 组发育短轴辫状河三角洲沉积砂岩, 是盆地主力油气储层(刘计国等, 2022)。该组砂岩石英含量约占 75%~80%, 根据内部沉积旋回又可划分为 E1、E2、E3、E4、E5 等 5 个砂层组。储层岩石类型主要为石英砂岩, 石英碎屑平均体积分数在 92% 以上, 长石平均体积分数约为 3%, 岩屑平均体积分数约为 5%, 主要成分为硅质岩、脉石英等较稳定岩屑, 结构成熟度中等。储集空间为粒间孔及粒内溶蚀孔, 孔隙度为 8.1%~38.1%, 平均为 21.9%, 渗透率一般为 100~400 mD, 属于中-高孔渗

储层, 具有较好的储集能力(王大鹏等, 2023)。上白垩统 Yogou 组中、上段发育海陆过渡相三角洲沉积砂岩, 是 Termit 盆地次要油气储层。主要岩石类型为细粒石英砂岩, 其次为粉砂岩和粉砂质细砂岩, 其中石英砂岩中石英的最高含量达 99%, 最低为 66%, 平均为 95.8%; 长石含量最高为 4%, 平均不到 1%; 岩屑含量最高为 32%, 最低为 1%, 储层孔隙类型主要有原生孔和粒间溶孔, 孔隙度一般为 14%~31%, 平均为 18.9%, 渗透率一般为 10~1 000 mD, 为中孔-中渗储层(表 1)。

表 1 Termit 盆地生储盖层综合评价表

Tab. 1 Comprehensive evaluation table of source-reservoir-cap in Termit basin

层位	烃源岩					储集层				盖层
	TOC (%)		$R_o$ (%)	厚度 (m)	分布面积 (km <sup>2</sup> )	孔隙度 (%)		渗透率 (mD)		厚度 (m)
	范围	平均				范围	平均	范围	平均	
Sokor2组						10.2~32.6	22.6	1~1 040	201.8	300~900
Sokor1组	0.4~25	2.6	<0.5	200~300	2 700	8.1~38.1	21.9	0.5~8 770	1 061	5~30
Yogou组	0.5~16	2.3	0.5~1.6	400~1 400	7 200	6.7~31.4	18.9	0.1~3 038	52.7	5~40
Donga组	0.6~2.5	1.2	>1.5	200~500	18 000	1.1~28	6.1	0.1~343	24.7	200~500
K1组	0.46~1.5	0.9	>2.0	100~200	/	0.5~5	1.3	0.1~124	18.6	4~20

### 3.3 盖层特征

Termit 盆地发育两套区域盖层, 分别是古近系 Sokor 2 组和上白垩统 Yogou 组下段。古近系 Sokor2 组为大套褐色泥岩夹薄层粉砂岩, 厚度为 200~700 m, 除在北部的 Soudana 凸起及西部的 Termit 西台地遭受局部剥蚀外, 是一套在全区分布极为稳定的区域盖层, 与下部的 Sokor 1 组形成良好的储盖组合。上白垩统 Yogou 组下段是二级层序最大海泛期沉积物, 沉积了大套灰色泥岩地层夹薄层页岩, 厚度为 180~1 000 m, 广泛且极稳定地分布于全盆地, 与其下伏的 Donga 组中部砂层构成良好储盖组合, 在邻区乍得湖盆地的已证实为含油层系。

Yogou 组中、上段为海陆过渡相沉积, 存在间歇性的海侵, 在盆地部分地区发育较好的局部盖层, 并对下组合油气保存具有重要意义。

### 3.4 输导体系

Termit 盆地不同构造带有效烃源岩分布、断裂组合样式及 Madama 厚砂岩的耦合配置关系决定了油气输导方式。目前, 盆地主要发现断层垂向输导型、砂体-断层垂向输导型、砂体-断层斜向输导型等 3 种输导体系。

#### 3.4.1 断层垂向输导型

该类输导体系主要分布在 Dinga 凹陷西侧的 Dinga 断阶, 油气运聚受断层控制作用明显。Dinga 断阶断裂活动强, 断层以高角度正断层为主, 形成错落有致的断阶结构。边界断层以东, 断层可深入沟通有效烃源岩, 油气主要沿断层垂向输导, 沿 Madama 厚砂岩的侧向输导作用较弱, 油气成藏呈现“构造控油、高点富集”特点。边界断层以西, Yogou 组烃源岩成熟度低, Madam 厚砂岩被边界断层断开, 油气难以向西部运移输导, 油气成藏条件苛刻, 西侧零星发育小型油藏(图 5a)。

#### 3.4.2 砂体-断层垂向输导型

该类输导系统主要分布在 Dinga 凹陷东侧的 Araga 地堑, 油气运聚受砂体与断层耦合控制。Araga 地堑带属于斜坡过渡带, 由低部位斜坡区与高部位的断裂带组成。斜坡区地层发育相对较缓, 生烃主凹生成的油气顺沿 Madama 组砂岩输导层横向运移至高部位的构造带之中。因 Araga 地堑带断裂活动强, 发育高角度断层, 油气在横向运移后沿油源断层垂向运移至浅层 Sokor 组富集成藏, 邻近油源的构造优先捕获油气, 油气成藏呈现“逐排充注、近源富集”的特点

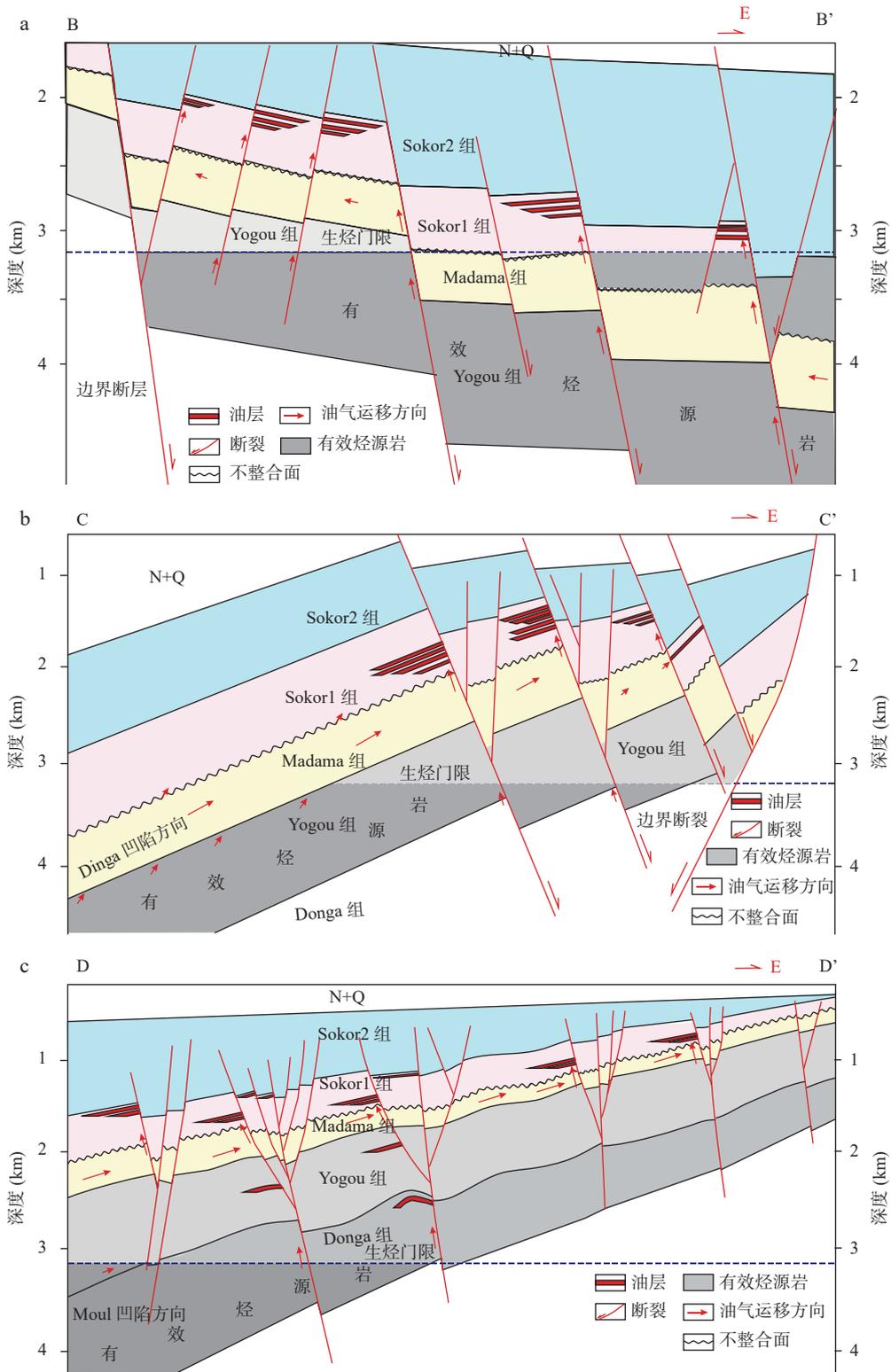


图5 Termit盆地主要输导体系类型

Fig. 5 Hydrocarbon carrier system types and accumulation models in Termit Basin

(图5b)。

3.4.3 砂体-断层斜向输导型

该类输导系统主要发育在盆地北部的Fana低凸起东北部,总体运移模式与Araga地堑相似,区别在于

该地区断裂活动更弱,油气主要沿砂体进行横向运移,至断裂带后,除了部分油气沿着断层垂向运移至浅层圈闭保存外,油气还受到区域构造背景与流体势影响,沿着油源断裂面斜向运移,在同一条油源断层控制的

多个圈闭中,往往构造位置高的圈闭中富集油气,而低部位构造油气富集程度较差(图 5c)。

## 4 成藏主控因素与成藏模式

Termit 盆地是西非裂谷系持沉降型裂谷盆地,与历经构造反转抬升的乍得 Bongor 盆地相比,生排烃及油气运聚条件相对优越,但由于后期区域应力场发生变化,导致两期裂谷斜向叠加使得盆地构造变得更加破碎,油气富集规律具有一定的复杂性(童晓光等, 2004; 刘邦等, 2012a, 2012b; 付吉林等, 2012; 王振升等, 2016a, 2016b; 周立宏等, 2018)。

从油气分布规律上看, Termit 盆地发育上白垩统、古近系两套成藏组合,其中上白垩统成藏组合(下组合)为“自生自储”型原生油藏,原油密度一般小于  $0.85 \text{ g/cm}^3$ ,粘度小于 5 cp,为轻质低粘原油(魏建设等, 2023),已发现储量规模相对较小,占总储量的 13%,油藏主要分布在 Moul 凹陷周边。古近系成藏组合(上组合)为“下生上储”型次生油气藏,受油气运移距离影响,原油密度和粘度随着生烃凹陷距离增加逐渐变大,紧邻生烃凹陷的 Dinga 断阶,原油密度一般为  $0.85 \sim 0.9 \text{ g/cm}^3$ ,粘度一般为 15~50 cp,为中质、中-高粘度原油,而距生烃中心较远的 Araga 地堑和 Fana 低凸起多为中-重质稠油,原油密度为  $0.9 \sim 0.93 \text{ g/cm}^3$ ,粘度一般大于 50 cp,表现出原油长距离运移特征。上组合已发现储量规模大,占总储量的 83%,油藏主要分布在 Termit 盆地北部的 Dinga 凹陷东西两侧和南部 Moul 凹陷西侧的 Yogou 斜坡。

### 4.1 上组合成藏主控因素与成藏模式

上组合古近系裂谷盆地叠置于晚白垩世海相烃源岩之上,油气富集主要受烃源岩灶、区域盖层、油源断层和优势沉积相控制,断裂及有利储盖组合控制,呈现“构造控藏、高点富集”特征。

#### 4.1.1 生烃灶范围控制了油气平面分布

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,随后沉积了大面积分布的 Madama 组厚层河流相砂岩,为大面积供油和长距离横向运移奠定地质基础,而后期古近系叠置裂谷的沉积范围小,大部分覆盖在生烃灶之上,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,后沉积了 Madama 组厚层河流相渗透性砂岩,为油气长距离横

向运移提供了地质条件。晚期古近系 Sokor1 组叠置裂谷的沉积范围小,大部分覆盖在晚白垩系生烃灶之上,使得晚期裂谷盆地全部位于有效烃源岩内,形成“断拗叠置、下大上小”的盆地结构特征,古近系储层可以大面积捕获油气,油气分布围绕生烃中心呈环状分布,具有典型的“源控”特征,目前已发现的油田均分布在生烃凹陷两侧的斜坡或断阶区。

#### 4.1.2 区域性盖层控制油气垂向富集程度

Termit 盆地古近系 Sokor 2 组形成于新生界二级层序的最大湖泛面附近,沉积了大面积分布的连续泥岩段,厚度约为 400 m,是良好的区域性盖层。钻井揭示,该连续泥岩段的泥地比约为 90%,全盆地稳定分布,该套盖层对整个 Termit 盆地纵向上油气富集程度具有决定性意义,是油气上组合集中富集的主要原因。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 组输导层垂向和侧向运移至古近系 Sokor 组 1 段砂体中,由于其上部的 Sokor 组 2 段具有良好的盖层特性,限制了油气继续向浅层运移或散逸,在 Sokor 组 1 段有利圈闭中聚集成藏,目前 Termit 盆地 70% 的石油地质储量分布在 Sokor 组 1 段中、上部砂体中,而在 Sokor 组 2 段区域盖层之上的地层和输导层 Madama 组砂砾岩地层之下的 Yogou 组仅有少量油气发现,证实了该套区域盖层对油气垂向富集程度的控制(汤戈等, 2015; 王振升等, 2016a, 2016b)。

#### 4.1.3 断裂系统控制油气输导与运聚成藏

Termit 盆地早白垩世受 NE-SW 向伸展作用,形成 NW-SE 向的早期断裂,古近系盆地处于近 EW 向伸展环境,在盆地不同部位发育了不同走向的晚期断裂。在区域主应力方向和基底构造的双重控制下,盆地不同构造单元的构造活动强度并不相同,两期裂谷形成的断裂系统控制盆地油气的空间分布。

两期裂谷叠置的改造作用体现在区域应力场发生变化,在古近系裂谷产生大量倾向或走向不同于早白垩世的断裂,形成新的构造体系,同时沉积中心向西迁移。古近系裂谷除了边界断裂继承性发育之外,同时也产生大量新生断裂,这些断裂与 Madama 厚砂岩共同控制了油气运移,断裂系统控制着盆地的油气运移方式。盆地北部 Dinga 凹陷是两期裂谷运动的最大张应力方向,张应变最大,断裂活动强烈,断距一般大于 300 m,能深入沟通 Yogou 组烃源岩,油气以垂向输导为主,横向运移弱,上组合油气富集程度高,在 Dinga 凹陷两侧已发现 64 个上组合油气藏(图 6)。盆

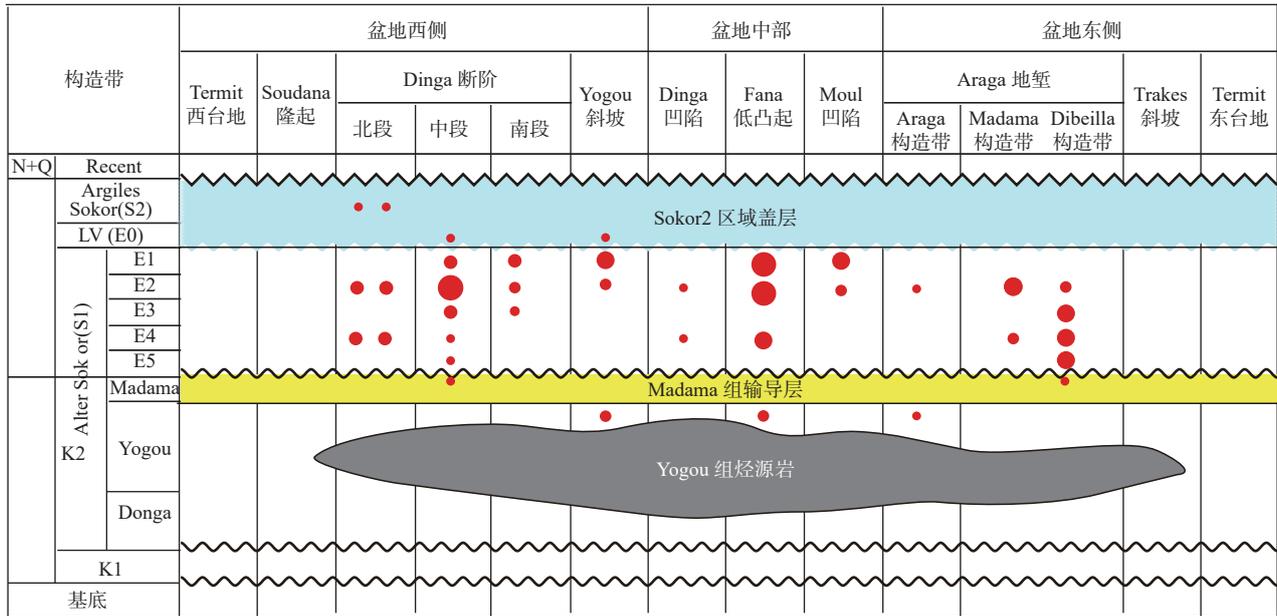


图6 Termit盆地上组合、下组合油气发现及储量分布图

Fig. 6 Exploration discovery and reservoir distribution of structural units in Termit basin

地南部的 Moul 凹陷两期裂谷运动相对不强烈，断裂活动较弱，断距一般为 60~150 m，限制了油气向上组合运移和散逸能力，上组合油气富集程度较低。介于两者之间的 Fana 低凸起，两期裂谷运动强度中等，断层断距为 150~300 m，油气运移兼具斜向、垂向两类输导方式，具有复合成藏特点，上下组合均发育油藏，油气富集程度高。

#### 4.1.4 沉积相带影响着油气富集位置

沉积相带控制砂体展布，不同沉积微相有不同储层物性影响油气富集位置(赵贤正等, 2017)。Termit 盆地自晚白垩世至古近系，尽管发生了海相-陆相的沉积旋回，但总体上以辫状河三角洲沉积为主，油气主要富集于储层物性相对较好的水下分支河道砂体中，具有典型的优势相富集的特点。例如，Dibeilla 油田 ESQ3 油组沉积微相自西向东为席状砂-河口坝-水下分支河道。钻井取芯数据显示水下分支河道孔隙度为 20%~25%，渗透率为 50~370 mD，储层物性较好；而席状砂沉积砂体薄、粒度细、储层物性差。优势沉积相与储集相控制油气的富集位置，在辫状河三角洲前缘砂体的 DNE-DC 井区含油层段多，单层厚度大，油气富集程度高，而位于前三角洲沉积相带的 ADN-1 井砂体变少，无油气发现(图 7)。

#### 4.1.5 油气成藏模式

受两期裂谷活动差异控制，Termit 盆地北部 Dinga 凹陷两期裂谷活动强，Dinga 凹陷东西两侧是上组

合油气的主要富集区带，盆地北部 Dinga 凹陷周边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，晚期断裂活动强烈，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，生成的气沿油源断层或 Madama 输导层垂向或横向运移至盆地两侧的优势运移区，在区域性盖层之下的古近系 Sokor 1 组储层中聚集成藏，Dinga 凹陷两侧构造斜坡区是上组合油气主要富集区，围绕生烃凹陷呈环带分布(图 8)(周立宏等, 2017; 贾茹等, 2017; 邓运华等, 2017)。

### 4.2 下组合成藏主控因素与成藏模式

Termit 盆地白垩系烃源岩发育，以“自生自储”原生油藏为主，油气富集受区域构造活动强度和白垩系内幕构造控制，油气富集具有“继承性构造控保、内幕构造控富”的特征。

#### 4.2.1 构造活动性控制下组合油气富集区

Termit 盆地的历经两期裂谷活动，下组合油气主要富集在晚期裂谷运动相对弱的地区。盆地北部的 Dinga 坳陷是两期伸展运动的最大张应力方向，构造运动强烈，下组合则罕有油气发现。盆地南部的 Moul 坳陷构造运动相对不强烈，张应变较小，白垩系早期断裂主要发育在 Yogou 斜坡和 Fana 凸起区，主要断裂产生于古近系的伸展运动，并且断层活动性较弱，断距一般为 60~150 m，限制了油气向上组合运移

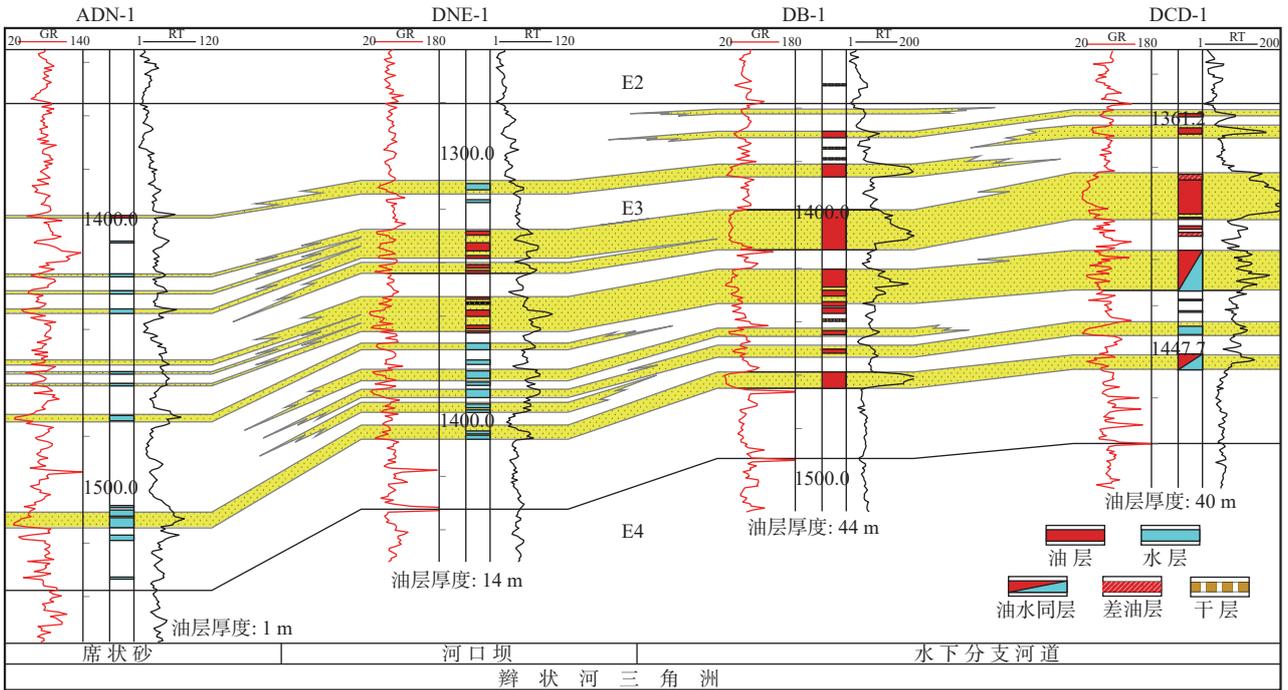


图7 Dibeilla 井区 Sokor1 组沉积相带与油层厚度图

Fig. 7 The sedimentary facies belt and reservoir thickness diagram of Sokor1 Formation, Well Block Dibeilla

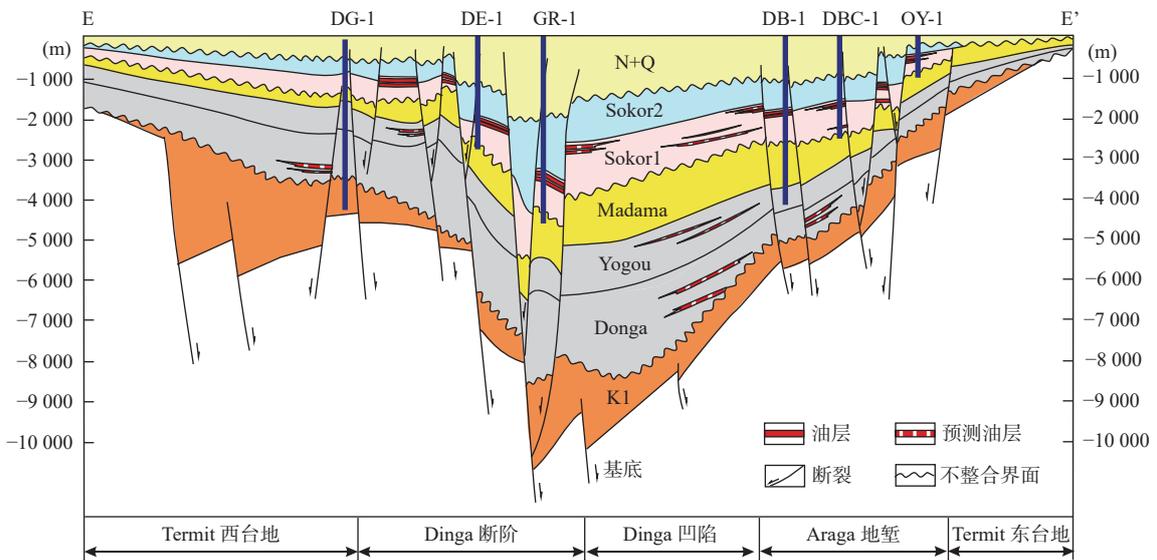


图8 Termit 盆地北部 Dinga 凹陷上组合油藏模式图

Fig. 8 Hydrocarbon accumulation mode of upper assemblage Dinga depression in the northern Termit basin

和散逸能力, 下组合富集程度高, 发现了 Termit 盆地已下组合油藏的 65%, 是下组合勘探的最有利地区。

4.2.2 白垩系内幕构造控制油气成藏

两期裂谷作用控制盆地沉积环境, 形成了不同的岩性组合特征, 控制了油气的垂向富集程度。下组合 Yogou 组呈下细上粗反旋回特征, 中、上段储集砂体连片分布, 但区域性盖层不发育, 上覆 Madama 组厚砂层是良好的输导层, 圈闭保存条件是下组合油气成藏

的关键因素, 油气富集与白垩系内幕断背斜、小断距断鼻及顺向断块圈闭关系密切。内幕断背斜是对下组合油气富集的最有利的圈闭类型。背斜圈闭受断裂活动影响较小, 不存在侧向封堵风险, 并且在烃源岩内发育的背斜圈闭往往是油气优先富集保存构造, 已发现的 YW 油藏是典型的背斜型油藏, 含油层系多, 产量高。小断距断鼻及顺向断块圈闭也是下组合油气富集有利圈闭, 小断距 (<100 m) 控制下的反向

断鼻\顺向块圈闭,可以避免 Yogou 组储层与 Madama 地层侧向接触,圈闭保存条件有利,生烃灶内的油气近源充注形成自生自储油藏,油气富集程度相对较高,如 KDP-1 油藏即为小断距反向断鼻油藏、YG1 油藏即为顺向断块油藏。

总体来说,下组合油气成藏条件苛刻,圈闭保存条件要求高,已发现储量仅占总储量的 13%,下步仍需深化攻关研究。

#### 4.2.3 油气成藏模式

盆地南部 Moule 凹陷晚期断裂活动相对较弱,是

白垩系油藏主要发育区, Yogou 组、Donga 组烃源岩生成的油气资源通过砂岩储集层侧向或者垂向短距离运移至保存条件较好的背斜和内幕断层控制的反向断块圈闭中富集成藏,下组合原油油品大多较好,多为轻质,中低粘度原油,如 YW-1 油藏原油密度为  $0.825 \text{ g/cm}^3$ ,粘度为 7.2 cp。Moul 凹陷是下组合勘探重点区带,该区断裂活动较弱,限制了油气垂向运移。同时,圈闭的断距一般较小( $<100 \text{ m}$ ),也避免了与 Madama 厚层砂岩的侧向对接,圈闭保存条件较好,对油气富集有利(图 9)(何羽等, 2020; 高岗等, 2021)。

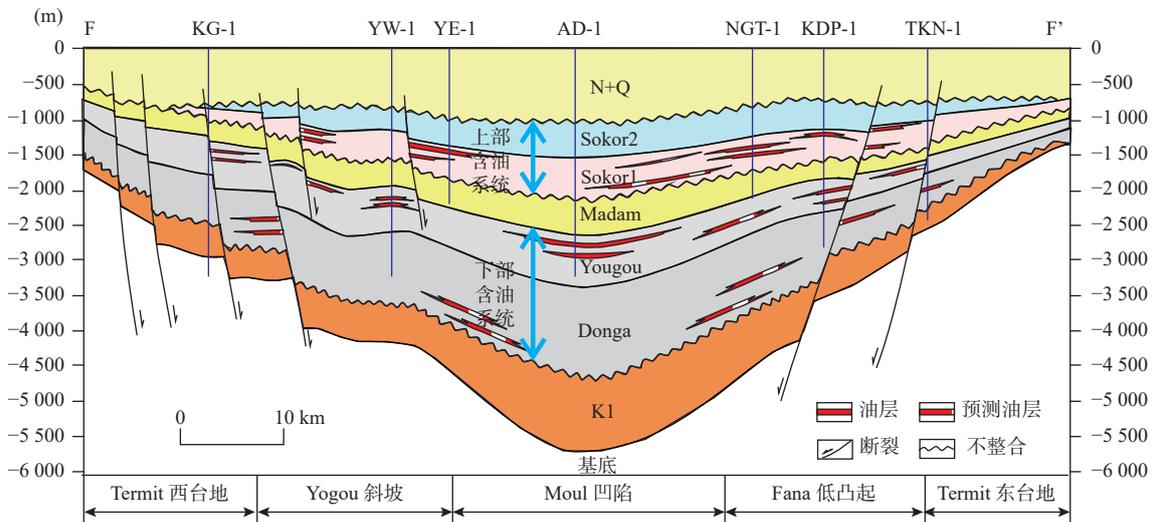


图9 Termit 盆地南部 Moul 凹陷下组合油藏模式图

Fig. 9 Hydrocarbon accumulation mode of lower assemblage Moul depression in south Termit basin

## 5 结论

(1) Termit 盆地历经早白垩世和古近纪两期强烈伸展断陷活动,形成“中间大、上下小”的纺锤形结构,中构造层发育海侵期沉积的巨厚海相烃源岩,配置上白垩统 Yogou 组发育的海相三角洲、古近系 Sokor 1 组辫状河三角洲砂体,及古近系上覆 Sokor 2 组区域性分布的泥岩盖层,形成了上下两套成藏组合,油气资源潜力巨大。

(2) Termit 盆地上、下组合油气富集主控因素差别较大,是造成油藏与储量分布不均的主要原因。上组合主要为“下生上储”的次生油气藏,油气平面和垂向分布受生烃灶、区域盖层、油源断层和优势沉积相控制;下组合为“自生自储”原生油藏,油气富集受区域构造活动强度和白垩系内幕构造控制。

(3) Termit 盆地具有海相广覆式烃源岩大面积生烃、跨世代油气成藏的特点,通过构建上、下组合油气成藏模式,明确 Dinga 断阶带、Fana 低凸起和 Araga 地堑是古近系油气勘探的有利区带,造活动相对较弱的 Moul 凹陷及 Dinga 断阶带南部是白垩系油气勘探的有利区带。

## 参考文献(References):

- 邓运华, 薛永安, 于水, 等. 浅层油气运聚理论与渤海大油田群的发现[J]. 石油学报, 2017, 38(1): 1-8.
- DENG Yunhua, XUE Yong'an, YU Shui, et al. Shallow hydrocarbon migration and accumulation theory and discovery of giant oil-field group in Bohai Sea[J]. Acta Petrolei Sinica, 2017, 38(1): 1-8.
- 窦立荣, 袁圣强, 刘小兵. 中国油公司海外油气勘探进展和发展对策[J]. 中国石油勘探, 2022, 27(2): 1-10.

- DOU Lirong, YUAN Shengqiang, LIU Xiaobing. Progress and development countermeasures of overseas oil and gas exploration of Chinese oil corporations[J]. *China Petroleum Exploration*, 2022, 27(2): 1–10.
- 付吉林, 孙志华, 刘康宁. 尼日尔 Agadem 区块古近系层序地层及沉积体系研究[J]. *地学前缘*, 2012, 19(1): 58–67.
- FU Jilin, SUN Zhihua, LIU Kangning. The study on sequence stratigraphy and sedimentary systems of Paleogene in Agadem Block, Niger[J]. *Earth Science Frontiers*, 2012, 19(1): 58–67.
- 高岗, 梁晓伟, 朱康乐, 等. 鄂尔多斯盆地长7段源储组合特征与油气成藏模式[J]. *西北地质*, 2021, 54(3): 199–205.
- GAO Gang, LIANG Xiaowei, ZHU Kangle, et al. Characteristics of Source-reservoir Assemblage and Hydrocarbon Accumulation Model of Chang 7 Member in Ordos Basin[J]. *Northwestern Geology*, 2021, 54(3): 199–205.
- 何羽, 任丽, 邓楠. 鄂尔多斯盆地南部 ywb 地区中生界小断层特征及其油气勘探意义[J]. *西北地质*, 2020, 53(1): 189–194.
- HE Yu, REN Li, DENG Nan. Characteristics of the Small Faults in Mesozoic Strata of ywb Area In the South of Ordoa Basin and Its Significance for Oil and Gas Exploration[J]. *Northwestern Geology*, 2020, 53(1): 189–194.
- 贾茹, 付晓飞, 孟令东, 等. 断裂及其伴生微构造对不同类型储层的改造机理[J]. *石油学报*, 2017, 38(3): 286–296.
- JIA Ru, FU Xiaofei, MENG Lingdong, et al. Transformation mechanism of fault and its associated microstructures for different kinds of reservoirs[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2017, 38(3): 286–296.
- 刘邦, 潘校华, 万仑昆, 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): 996–1005.
- LIU Bang, PAN Xiaohua, WAN Lunkun, et al. Marine Transgression of the Eastern Niger Basin in the late Cretaceous: Paleotological and Geochemical Evidence[J]. *Geoscience*, 2011, 25(5): 996–1005.
- 刘邦, 潘校华, 万仑坤, 等. 东尼日尔 Termit 盆地叠置裂谷的演化: 来自构造和沉积充填的制约[J]. *现代地质*, 2012a, 36(2): 318–325.
- LIU Bang, PAN Xiaohua, WAN Lunkun, et al. Polyphase Rift Evolution of the Termit Basin, Eastern Niger: Constraints from Structural and Sedimentary Records[J]. *Geoscience*, 2012a, 36(2): 318–325.
- 刘邦, 潘校华, 万仑坤, 等. 东尼日尔 Termit 盆地构造演化及古近系油气成藏主控因素[J]. *石油学报*, 2012b, 33(3): 394–403.
- LIU Bang, PAN Xiaohua, WAN Lunkun, et al. Strucural evolution and main controlling factors of the paleogene hydracarbon accumulation in Termit Basin, eastern Niger[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2012b, 33(3): 394–403.
- 刘计国, 郑风云, 毛凤军, 等. 尼日尔 Termit 盆地古近系 Sokor1 组储层特征及其主控因素[J]. *岩石学报*, 2022, 38(9): 2581–2594.
- LIU Jiguo, ZHENG Fengyun, MAO Fengjun, et al. Reservoir characteristics and its controlling factors of the Paleogene Sokor1 Formation in Termit Basin, Niger[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2022, 38(9): 2581–2594.
- 吕明胜, 薛良清, 万仑坤, 等. 西非裂谷系 Termit 盆地古近系油气成藏主控因素分析[J]. *地学前缘*, 2015, 22(6): 207–216.
- LV Mingsheng, XUE Liangqing, WAN Lunkun, et al. Main controlling factors of Paleogene hydrocarbon accumulation of Termit Basin, West African rift system[J]. *Earth Science Frontiers*, 2015, 22(6): 207–216.
- 毛凤军, 刘邦, 刘计国, 等. 中西非裂谷 Termit 盆地原油甾类生物标志物组成及原油族群[J]. *西安石油大学学报(自然科学版)*, 2016, 31(3): 8–16.
- MAO Fengjun, LIU Bang, LIU Jiguo, et al. Composition of Steroid Biomarkers in Oils from Termit Basin, Western and Central Africa Rift Systems[J]. *Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition)*, 2016, 31(3): 8–16.
- 聂朝民, 熊正祥, 李玉英, 等. 尼日尔 Agadem 区块油气成藏模式的认识[J]. *录井工程*, 2013, 24(3): 81–87.
- NIE Chaomin, XIONG Zhengxiang, LI Yuying, et al. Approach to Hydrocarbon Accumulation models in Block Agadem, Niger[J]. *Mud Logging Engineering*, 2013, 24(3): 81–87.
- 汤戈, 孙志华, 苏俊青, 等. 西非 Termit 盆地白垩系层序地层与沉积体系研究[J]. *中国石油勘探*, 2015, 20(4): 81–88.
- TANG Ge, SUN Zhihua, SU Junqing, et al. Study of cretaceous sequential stratigraphy and sedimentary system in Termit Basin of West Africa[J]. *China Petroleum Exploration*, 2015, 20(4): 81–88.
- 童晓光, 窦立荣, 田作基, 等. 苏丹穆格莱特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.
- 王大鹏, 殷进垠, 田纳新, 等. 西非北部塞内加尔盆地油气富集规律与勘探方向[J]. *西北地质*, 2023, 56(5): 61–71.
- WANG Dapeng, YIN Jinyin, TIAN Naxin, et al. Hydrocarbon Accumulation Characteristics and Future Exploration Direction in Senegal Basin, Northwest Africa[J]. *Northwestern Geology*, 2023, 56(5): 61–71.
- 王振升, 汤戈, 苏俊青, 等. 尼日尔 Moul 凹陷白垩系 Yogou 组海陆过渡相沉积与成藏条件[J]. *天然气地球科学*, 2016a, 27(7): 1153–1163.
- WANG Zhensheng, TANG Ge, SU Junqing, et al. Marine-continental transitional sedimentation and hydrocarbon accumulation condition of Cretaceous Yogou Formation in Moul Sag, Niger[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2016a, 27(7): 1153–1163.

- 王振升, 汤戈, 苏俊青, 等. 西非 Termit 盆地白垩纪层序充填样式的时空演化规律研究[J]. *地层学杂志*, 2016b, 40(1): 100–106.
- WANG Zhensheng, TANG Ge, SU Junqing, et al. Spatial-temporal evolution of the cretaceous sedimentary sequences and basin filling patterns in the Termit basin of West Africa[J]. *Journal of Stratigraphy*, 2016b, 40(1): 100–106.
- 魏建设, 赵琳雁, 周俊林, 等. 银额盆地吉格达凹陷原油地球化学特征及其意义[J]. *西北地质*, 2023, 56(5): 332–342.
- WEI Jianshe, ZHAO Linyan, ZHOU Junlin, et al. Geochemical Characteristics of Crude Oil in Jigeda Sag of Yingen–Ejin Basin and Its Significances[J]. *Northwestern Geology*, 2023, 56(5): 332–342.
- 于瑞, 王靓靓, 陈喜峰. 非洲油气工业发展现状与中-非合作前景分析[J]. *自然资源情报*, 2022, 9: 7–14.
- YU Rui, WANG Liangliang, CHEN Xifeng. Analysis on the development status of African oil and gas industry and the prospect of China-Africa[J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, 9: 7–14.
- 张庆莲, 侯贵廷, 潘校华, 等. Termit 盆地构造变形的力学机制[J]. *大地构造与成矿学*, 2013, 37(3): 377–383.
- ZHANG Qinglian, HOU Guiting, PAN Xiaohua, et al. Mechanics of Termit basin in central Africa rift systems[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2013, 37(3): 377–383.
- 赵贤正, 蒲秀刚, 王家豪, 等. 断陷盆地缓坡区控砂控藏机制与勘探发现——以歧口凹陷歧北缓坡带为例[J]. *石油学报*, 2017, 38(7): 729–739.
- ZHAO Xianzheng, PU Xiugang, WANG Jiahao, et al. Sand and reservoir controlling mechanism and exploration discovery in the gentle slope of fault basin: a case study of Qibei slope in Qikou sag[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2017, 38(7): 729–739.
- 周立宏, 苏俊青, 董晓伟, 等. 尼日尔 Termit 裂谷型叠合盆地油气成藏特征与主控因素[J]. *石油勘探与开发*, 2017, 44(3): 330–339.
- ZHOU Lihong, SU Junqing, DONG Xiaowei, et al. Controlling factors of hydrocarbon accumulation in Termit rift superimposed basin, Niger[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2017, 44(3): 330–339.
- 周立宏, 汤戈, 苏俊青, 等. 西非 Termit 叠合裂谷盆地构造沉积演化及控藏机理[J]. *石油学报*, 2018, 39(2): 129–140.
- ZHOU Lihong, TANG Ge, SU Junqing, et al. Tectonic-sedimentary evolution and reservoir controlling mechanism of Termit superimposed rift basin in West Africa[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2018, 39(2): 129–140.
- Genik G J. Petroleum Geology of Cretaceous-Tertiary rift basins in Niger, Chad, and Central African Republic[J]. *AAPG Bulletin*, 1993, 77: 1405–1434.
- Genik G J. Regional framework, structural and petroleum aspects of rift basins in Niger, Chad and the Central African Republic[J]. *Tectonophysics*, 1992, 213: 169–185.
- 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(1–3): 83–143.
- Klemme H D. Petroleum basins classifications and characteristics[J]. *Journal of Petroleum Geology*, 1980, 3(2): 187–207.