

尼罗河三角洲盆地石油地质条件分析

朱春霞^{1,2}, 张尚锋^{1,2*}, 王玉瑶¹, 刘浩童¹, 李飞龙¹

¹长江大学地球科学学院, 湖北 武汉

²长江大学油气资源与勘探技术教育部重点实验室, 湖北 荆州

Email: 2859585394@qq.com, *1291789217@qq.com

收稿日期: 2020年10月7日; 录用日期: 2020年10月20日; 发布日期: 2020年10月27日

摘要

尼罗河三角洲盆地形成主要与新特提斯洋的开裂和持续扩张作用密切相关, 经历了中生代裂谷与被动陆缘发育阶段、前陆盆地阶段和走滑盆地3个构造演化阶段。三角洲盆地可进一步划分为北三角洲次盆、南三角洲次盆和近海-深水次盆3个次盆单元, 总体上贫油富气, 且大多气藏位于深水区。通过对尼罗河三角洲盆地构造演化与沉积充填、烃源岩、储层等石油地质条件的研究, 分析了尼罗河三角洲盆地的含油气系统, 指出了尼罗河三角洲盆地未来主要勘探方向: 北部深水地区勘探程度低, 是大型天然气田发现的主要潜力区; 超深水区存在大型碳酸盐岩生物气藏的勘探潜力。

关键词

尼罗河三角洲盆地, 构造演化, 石油地质, 含油气系统

Analysis of Petroleum Geological Conditions in the Nile Delta Basin

Chunxia Zhu^{1,2}, Shangfeng Zhang^{1,2*}, Yuyao Wang¹, Haotong Liu¹, Feilong Li¹

¹School of Earth Sciences, Yangtze University, Wuhan Hubei

²Key Laboratory of Oil and Gas Resources and Exploration Technology of Ministry of Education, Changjiang University, Jingzhou Hubei

Email: 2859585394@qq.com, *1291789217@qq.com

Received: Oct. 7th, 2020; accepted: Oct. 20th, 2020; published: Oct. 27th, 2020

Abstract

The formation of the Nile Delta Basin is closely related to the cracking and continuous expansion

*通讯作者。

文章引用: 朱春霞, 张尚锋, 王玉瑶, 刘浩童, 李飞龙. 尼罗河三角洲盆地石油地质条件分析[J]. 地球科学前沿, 2020, 10(10): 950-958. DOI: 10.12677/ag.2020.1010094

of the New Tethys Ocean, and has undergone three tectonic evolution stages: rift and passive marginal development stage, foreland basin stage and strikeslip basin stage. The delta basin can be further divided into three sub-basins: the north delta sub-basin, the south delta sub-basin and the inshore-deep water sub-basin. Generally speaking, the reservoir is lean and rich in gas, and most of them are located in deep water. Through the geological condition of oil research of the Nile river delta basin tectonic evolution and sedimentary and hydrocarbon source rock, reservoir, etc., the paper analyzed the petroleum system of the Nile Delta Basin, and points out the future main exploration direction: the exploration degree of the Nile Delta Basin north deep-water area is low, is the main potential area for the discovery of large gas fields. The exploration potential of large carbonate biogas reservoir exists in ultra-deep water area.

Keywords

Nile Delta Basin, Tectonic Evolution, Petroleum Geology, Petroleum System

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

尼罗河三角洲盆地位于埃及北部,北邻地中海,是在欧亚、非洲板块交汇处发育起来的北非被动大陆边缘型盆地,其总面积约 $5.4 \times 10^4 \text{ km}^2$,分为陆地和海上两部分,海上面积约占整个盆地 70%。从渐新世开始,盆地就开始发育三角洲,其物性好的储层分布范围较广。盆地深层以及海上区域勘探研究程度较低,具有良好的勘探前景。

杜美迎、屈红军等(2017)认为尼罗河三角洲盆地生储盖匹配良好,是未来勘探开发的有利区块[1]。赵阳、胡孝林等(2018)指出了尼罗河三角洲盆地浅水区勘探程度较高,生产设施完善,经济门槛低,是实施滚动勘探的最佳区域;中深水-深水区渐新统是今后 10 年中-大型天然气田发现的主要潜力区;超深水区存在中新统和上新统大型生物气藏勘探潜力[2]。在相似的构造-沉积古地理如古特提斯洋南部边缘泛克拉通,以及相似的古气候,形成志留系早期烃源岩大体一致的陆棚相沉积相分布特点,造成优质烃源岩有机质类型、有机质丰度的相似性,构成世界级烃源岩。华南非常规页岩气勘探成果对尼罗河三角洲盆地具有借鉴意义[3]。但由于北非区域地质资料较为缺乏而且不系统,且鲜见相关文献发表,大大限制了对盆地构造及沉积充填演化的整体分析,进而限制了对此区域盆地的油气勘探研究;在对尼罗河三角洲盆地大量资料综合分析的基础上,本文着重对尼罗河三角洲盆地石油地质条件和勘探潜力进行分析,以期对未来盆地油气勘探有所启示。

2. 地质背景

2.1. 区域构造单元

尼罗河三角洲盆地南部与阿拉曼亚次盆、埃及北部次盆、卡塔尼亚-坎塔拉隆起和叙利亚弧次盆等构造单元过渡接触,受新特提斯洋的扩张作用影响,盆地总体东西宽,南北窄。三角洲盆地可进一步划分为北三角洲次盆、南三角洲次盆和近海-深水次盆 3 个次盆单元(图 1)。南、北三角洲次盆以一系列向北倾斜、东西走向的正断层组成的挠曲带分开。南三角洲次盆主要为尼罗河近海岸冲积平原及三角洲平原和部分前缘区域;北三角洲次盆主要包括尼罗河三角洲及广泛的陆架区域;近海-深水次盆主要为受

尼罗河三角洲所影响的陆坡及深水盆地区域。

平面上，北西-南东向特姆萨断裂体系、北东-南西向罗塞塔断裂体系和东-西向断裂挠曲带相互作用，使得盆地呈现出“南北分带、东西分块”的构造格局，沉积物由北向南减薄，呈楔状分布。三组断裂体系总体平行于地中海周边板块边界，深刻影响着该地区的沉积充填过程，盆地平面上由南向北海陆过渡-陆架-陆坡-深水分带性清楚，其中特姆萨和罗塞塔断裂在深水区块的南部相交，形成水下隆起。

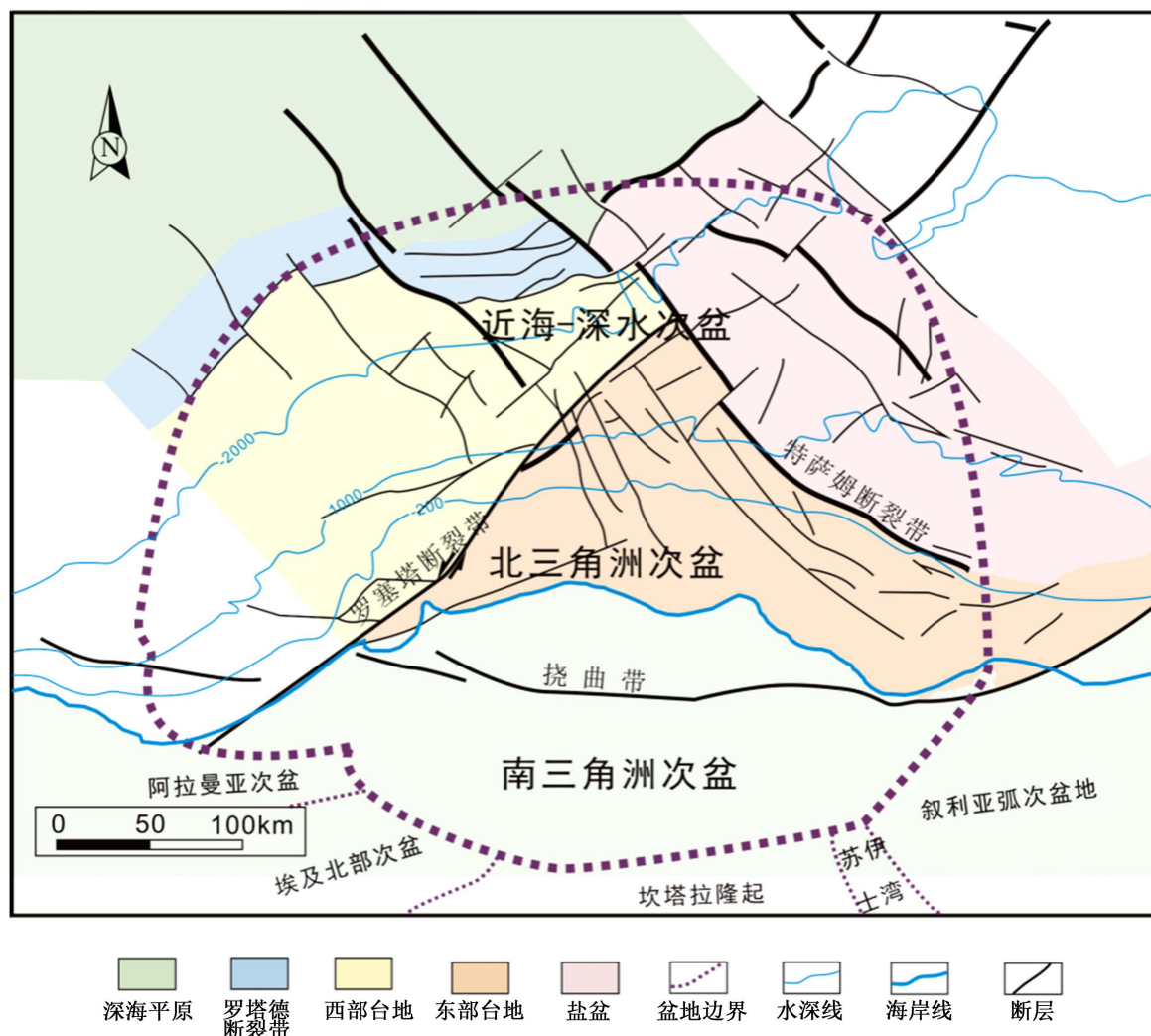


Figure 1. Plan of the Nile Delta Basin

图 1. 尼罗河三角洲盆地平面图

2.2. 区域构造演化

尼罗河三角洲盆地形成主要与新特提斯洋的开裂和持续扩张作用密切相关。盆地演化主要经历了中生代裂谷与被动陆缘发育阶段、由叙利亚弧形成右行挤压隆升导致的前陆盆地阶段及走滑盆地阶段(图 2)，具有结晶基底及古中生代柔性基底的双重基底特征[4]。

2.3. 沉积充填

从古生代至今，尼罗河三角洲盆地沉积充填受多期构造活动的影响。晚白垩世-始新世，发育一系

列雁列式的同沉积断层，盆地内发生明显的沉降。

尼罗河三角洲沉积主要开始于渐新世 - 中新世早期(图 3)。在晚渐新世 - 早中新世，坎塔拉组和赛迪萨雷姆组主要为冲积平原 - 浅海 - 陆坡等环境[5]。该时期砂岩含量相对较低，这些砂体的分布，主要受到局部因素的影响，例如海底沟道的分布、海洋洋流的变化、沿岸三角洲和滨岸砂迁移路径等。

晚中新世卡瓦赛姆组沉积时期发生海退事件，盆内三角洲沉积广泛分布，较前期三角洲的建造明显加快，沉积厚度可达 1000 米以上。受到海平面下降所影响，河道下切作用进一步加强，带来了大量的陆源碎屑物[6]。海平面的持续下降更使得地中海盆地水体循环开始受限。在卡瓦赛姆组沉积末期，整个三角洲转变成冲积平原，海岸线进一步向北迁移。受干旱气候的影响，地中海盆地水体减少，盐度高，罗塞塔组蒸发岩开始发育，形成广泛分布的盐岩沉积。

早上新世在海侵作用下，盆内沉积了一套泥页岩层系，但河流 - 三角洲沉积依旧发育，砂岩等粗碎屑岩层表现为向上变细的沉积特征，厚度一般为数十米，最终逐渐转变为泥页岩。由于河流的负载能力下降，陆源粗碎屑物供应量也相对减少，盆内多以滨岸带的砂岩沉积为主。晚上新世海平面下降，河流 - 三角洲沉积再一次覆盖了盆地大部分区域，并持续至更新世。

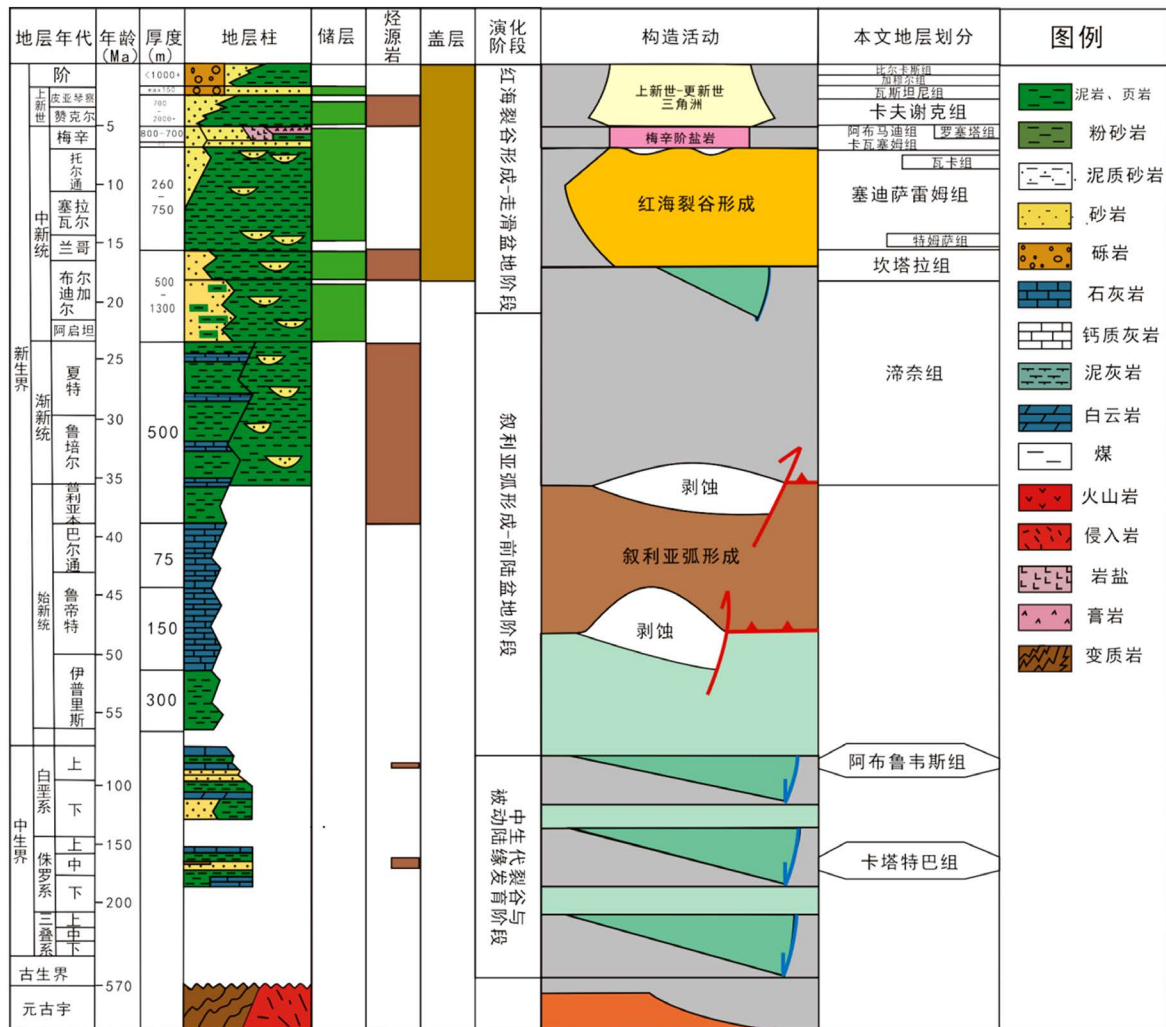


Figure 2. Tectonic evolution and formation filling in the Nile Delta Basin
图 2. 尼罗河三角洲盆地构造演化与地层充填

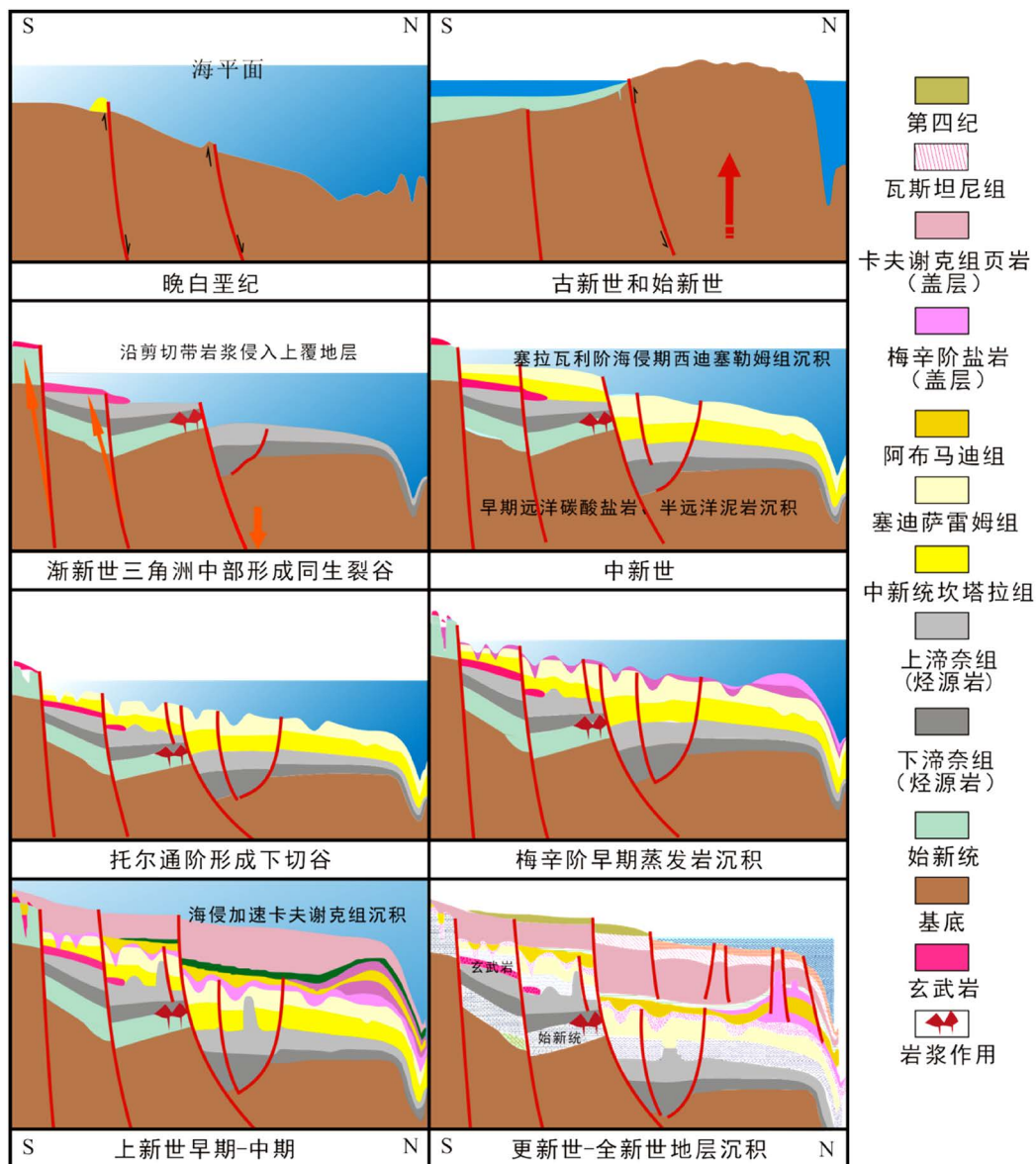


Figure 3. Deposition and filling process in the Nile Delta Basin during Eocene and Holocene
 图 3. 尼罗河三角洲盆地始新世 - 全新世沉积充填过程

3. 石油地质条件

3.1. 烃源岩

尼罗河三角洲盆地内主要烃源岩为渐新统滞奈组海相泥岩，其沉积物有机质最丰富，平面上分布于盆地北部的凹陷区，总体上处于成熟或过成熟阶段；此外，盆地还发育有上新统卡夫谢克组泥岩等 4 套次要烃源岩(图 2)。

1) 主要烃源岩

渐新统滞奈组海相泥岩 TOC 为 0.8%~2.2%，HI 为 100~300 mgHC/g，干酪根类型以 III 型为主，II 型为辅。该套烃源岩分布范围广且演化程度高，于中新世中期进入低成熟阶段，至中新世晚期世早期进入成熟阶段，至上新世进入高成熟阶段。

2) 次要烃源岩

尼罗河三角洲盆地次要烃源岩分别为侏罗系卡塔特巴组、白垩系阿布鲁韦斯组、下中新统坎塔拉组及上新统卡夫谢克组。

尼罗河三角洲盆地从晚白垩世 - 早中新世有机质丰度先增大后减小, 于渐新世达到最高, 高值点从盆地南部向盆地北部及东部偏移。盆地的地热梯度总体上呈现北低南高西低东高的规律, 受此影响, 加之烃源岩埋深差异, 从而造成盆地不同地区烃源岩有机质成熟度的差异。总体上盆地内晚白垩以来各时期 R_o 高值分布区域大致相同, 基本位于盆地北部, 呈环带状向四周递减。

3.2. 储层

目前已证实从渐新统到更新统发育多套储层, 其储层类型主要为碎屑岩和碳酸盐岩, 最主要的油气储层是上新统斜坡水道砂岩(表 1、图 2)。近几年来在深水区域发现以碳酸盐岩储集层, 现已探明的此类储层中有相当可观的储量。

Table 1. Reservoir characteristics of the Nile Delta Basin

表 1. 尼罗河三角洲盆地储层特征表

储层时代	层位	储层岩性	沉积相	孔隙度(%)	渗透率 ($\times 10^{-3} \mu\text{mD}$)	总储量 (MMboe)
中新世	坎塔拉组	砂岩	浅海斜坡水道	17~28	239~1678	399.93
	塞迪萨雷姆组	砂岩	浅海	8~34	0.5~700	950.19
	卡瓦塞姆组	砂岩	三角洲、浅海	12~23		182.42
	阿布马迪组	砂岩	河流、三角洲	2~30	40~6071	905.98
上新世	卡夫谢克组	浊积砂	深海斜坡、深海	20~37	10~3500	4709.41
	瓦斯坦尼组	砂岩	三角洲平原、三角洲前缘、浅海	3~40	1~7309	1891.25

中新统储层以陆源碎屑岩为主, 物源来自南部, 主要集中在坎塔拉组、塞迪萨雷姆组、卡瓦塞姆组、阿布马迪组, 沉积相为三角洲、斜坡水道、盆底扇等多种类型。

上新统储层总体上储集性能优越, 其代表为卡夫谢克组、瓦斯坦尼组三角洲 - 斜坡浊积水道储层。

3.3. 盖层

盆地内盖层主要集中在上新统、上中新统地层中。上新统主要以卡夫谢克组发育较广泛的海相页岩形成的层内封闭为主; 上中新统梅辛阶膏盐岩因被大型断裂刺穿而只在局部地区形成封闭性的盖层; 而蒸发岩之下的中新统泥页岩盖层受断层影响小, 断裂发育较少, 更有利于阻止油气的逸散。

3.4. 圈闭

尼罗河三角洲盆地发育构造圈闭、地层圈闭及构造 - 地层复合圈闭等多种圈闭类型, 其中以构造圈闭为主, 其次为地层圈闭(图 4)。

盆地从晚白垩世开始处于挤压背景, 在挤压构造应力作用下所产生的逆冲背斜可以形成很好的背斜圈闭, 在断层发育的地区, 断层对油气有效遮挡形成断层圈闭。在尼罗河三角洲盆地东部深海扇发育区域, 晚中新世沉积了厚层盐岩, 后期盐岩的变形产生了大量的盐背斜构造, 加之断裂构造的共同作用, 可进一步形成盐背斜圈闭及断层圈闭。此外, 尼罗河三角洲盆地中新世及上新世发育浊积水道沉积, 此类砂体可由于上超或下倾尖灭形成地层圈闭及岩性圈闭。

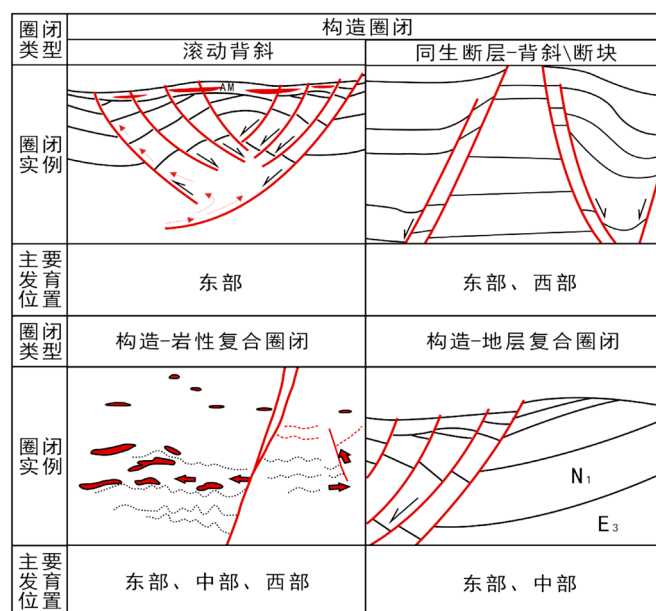


Figure 4. Trap type diagram

图 4. 圈闭类型图

4. 含油气系统特征

由于盆地沉积 - 构造单元的独特性, 盆地内烃源岩并不局限于构造单元控制, 其主要受控于古地理而广泛分布。但同一套烃源岩在不同区域的生烃潜力差别较大[7] [8] [9] [10] [11]。尼罗河三角洲盆地新生代烃源岩分布范围广, 烃源岩质量较高。东、西不同演化特点的断裂活动及差异沉降, 深刻影响着地层沉积厚度与埋深变化, 最终导致了新生代烃源岩热演化差异。尼罗河三角洲盆地主力烃源灶为渐新统, 其次为中新统, 均呈现单灶式特征[12]。以此为核心, 厘定出盆地 2 种含油气系统类型: 渐新世含油气系统和中新世 - 上新世含油气系统。

渐新世含油气系统烃源岩主要为渐新统滹奈组浅海泥页岩, 生烃时间为上新世 - 全新世(5.2 Ma~0 Ma), 油气充注时间为上新世 - 全新世(5.2 Ma~0 Ma), 圈闭类型主要为构造圈闭及地层 - 构造圈闭, 上新世油气发生运移。

含油气系统主要类型为 E3/N1 + N2 近源单灶复合输导含油气系统, 以北部深水次盆烃源岩为主力生烃灶, 经断裂面侧向运移至近岸及陆上储层(图 5)。该含油气系统主要分布于南、北三角洲次盆, 如特萨姆气田、阿布马迪气田。由于渐新世烃源岩埋藏较深, 处于高成熟阶段, 有机质多发生热降解、热裂解生成热成因气。该含油气系统可进一步划分为古台地-E3/N1 + N2 近源单灶复合输导含油气子系统和古水道-E3/N1 + N2 近源单灶复合输导含油气子系统[13] [14]。

中新世 - 上新世含油气系统烃源岩分别为中新统坎塔拉组、上新统卡夫谢克组海相页岩, 含油气系统主要类型为 N1/N1 近源单灶复合输导含油气系统, 其生烃灶分布范围较渐新统相对缩小, 主要分布于盆地西部近海 - 深水次盆[15] [16]。西部气田中新世烃源岩埋藏较浅, 处于热演化成熟阶段的早期, 有机质处于未成熟阶段, 可溶性有机质更有利于原生甲烷生物气的生成。

尼罗河三角洲北部地区, 其烃源岩以上渐新统滹奈组海相页岩为主, 烃源岩丰度好, 成熟度高。良好的断层疏导体系, 以及构造、岩性多种圈闭类型, 共同造就了良好的油气储藏条件, 目前北部深水地区勘探程度低, 是大型天然气田发现的主要潜力区。尼罗河三角洲北部深水碳酸盐 - 潜在生物礁区, 储层规模大, 开采难度较小, 预示着尼罗河三角洲超深水存在大型碳酸盐岩生物气藏的勘探潜力[17]。

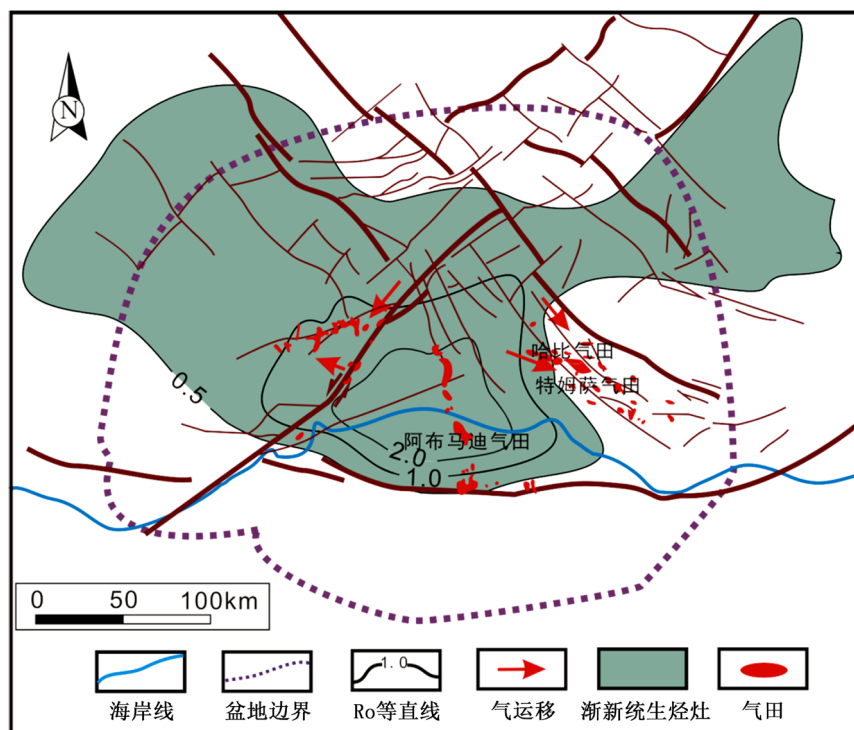


Figure 5. Schematic diagram of Oligocene hydrocarbon bearing system in the Nile Delta
图 5. 尼罗河三角洲渐新统含油气系统平面图

5. 结论

1) 尼罗河三角洲盆地总体东西宽，南北窄，三角洲盆地可进一步划分为北三角洲次盆、南三角洲次盆和近海-深水次盆 3 个次盆单元。盆地演化主要经历了中生代裂谷与被动陆缘发育阶段、前陆盆地阶段及走滑盆地 3 个构造演化阶段。从古生代至今，尼罗河三角洲盆地沉积充填受多期构造活动的影响。晚白垩世-始新世，发育一系列雁列式的同沉积断层，盆地内发生明显的沉降。

2) 尼罗河三角洲盆地石油地质条件优越，主要烃源岩为渐新统滂奈组海相泥岩，储层为中新世坎塔拉组、塞迪萨雷姆组浅海斜坡水道砂岩及上新统卡夫谢克组深水浊积砂岩；盖层为卡夫谢克组中部泥岩；圈闭类型包括坎塔拉地层-构造圈闭、塞迪萨雷姆地层-构造-不整合圈闭及卡夫谢克地层圈闭。

3) 尼罗河三角洲盆地新生代烃源岩分布范围广，烃源岩质量较高。渐新世烃源岩埋藏较深，处于高成熟阶段，有机质多发生热降解、热裂解生成热成因气。中新世-上新世含油气系统其生烃灶分布范围较渐新统相对缩小，主要分布于盆地西部近海-深水次盆。尼罗河三角洲北部地区和深水碳酸盐-潜在生物礁区是未来开发的潜力地区。

基金项目

国家“十三五”重大科技专项(2017ZX05032-002-002)；国家自然科学基金(41472098)。

参考文献

- [1] 杜美迎, 屈红军, 张功成. 尼罗河三角洲盆地油气地质特征及勘探潜力[J]. 海洋地质前沿, 2017, 33(11): 36-42.
- [2] 赵阳, 胡孝林, 刘琼, 吕彩丽. 尼罗河三角洲盆地油气地质特征与勘探方向[J]. 海洋地质前沿, 2018, 34(1): 28-34.
- [3] 王宝萍, 崔维兰, 张凤奇, 等. 鄂尔多斯盆地东南部富县-黄龙地区长 8 油层组勘探潜力分析[J]. 非常规油气,

- 2015(3): 27-33.
- [4] 万志峰, 夏斌, 蔡周荣, 刘维亮, 张毅. 西北非构造演化与油气成藏组合特征[J]. 大地构造与成矿学, 2009, 33(2): 224-229.
- [5] 江文荣, 李允, 蔡东升, Wang Bruce, 张旗. 非洲油气勘探区战略选择建议[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(3): 388-392.
- [6] 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.
- [7] 刘静江, 刘池洋, 王震亮. 从含油气系统到成藏油气系统——油气系统研究新动向[J]. 地质论评, 2008, 54(6): 731-736.
- [8] 贾小乐, 何登发, 童晓光, 等. 波斯湾盆地新生界油气成藏组合地质特征及成藏模式[J]. 新疆石油地质, 2014, 35(1): 118-123.
- [9] 宋成鹏, 童晓光, 张光亚, 温志新, 王兆明, 汪伟光. 北非含油气系统特征与勘探潜力[J]. 油气地质与采收率, 2013, 20(2): 5-10, 111.
- [10] 童晓光, 李浩武, 肖坤叶, 等. 成藏组合快速分析技术在海外低勘探程度盆地的应用[J]. 石油学报, 2009, 30(3): 317-323.
- [11] Deng, Y.H. (2012) River-Gulf System—The Major Location of Marine Source Rock Formation. *Petroleum Science*, **9**, 281-289. <https://doi.org/10.1007/s12182-012-0210-0>
- [12] 王青, 王建君, 汪平, 等. 海外油气勘探资产技术经济评价思路与方法[J]. 石油学报, 2012, 33(4): 640-646.
- [13] 黎斌林. 西北非重点沉积盆地石油地质特征及投资潜力分析[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学地球科学与资源学院, 2010.
- [14] 赵孟军, 宋岩, 潘文庆, 等. 沉积盆地油气成藏期研究及成藏过程综合分析方法[J]. 地球科学进展, 2004, 19(6): 939-946.
- [15] 张厚福. 油气系统的新定义及历史 - 成因分类方案[J]. 成都理工学院学报, 1999, 26(1): 14-16.
- [16] 蔡周荣, 黄先雄, 万志峰, 刘维亮, 郭峰. 非洲中部 Bongor 盆地与 Lake Chad 盆地烃源岩发育特征差异性探讨[J]. 油气地质与采收率, 2010, 17(1): 41-44, 113.
- [17] 任东超, 王晓飞, 刘冬冬, 等. 威远地区筇竹寺组选区评价标准及有利勘探区预测[J]. 非常规油气, 2017(5): 38-43.