

尼罗河三角洲盆地油气地质特征及勘探潜力

杜美迎^{1,2}, 屈红军^{1,2}, 张功成³

(1 大陆动力学国家重点实验室, 西安 710069; 2 西北大学地质学系, 西安 710069; 3 中海油研究总院, 北京 100027)

摘要:尼罗河三角洲盆地经历了古特提斯汇聚到新特提斯裂开的被动陆缘、挤压应力为主的前陆盆地及以断裂活化作用为主的走滑盆地 3 个构造演化阶段。盆地发育北三角洲和南三角洲 2 个次盆单元, 总体上贫油富气, 且大多气藏位于深水区。研究区发育两套有利烃源岩: 渐新统和中新统海相页岩和泥灰岩以及上白垩统黑色页岩, 有机质碳含量丰富, 主要以 III 型干酪根为主, 主力储集层为中新统三角洲砂岩及上新统深水斜坡水道砂岩, 圈闭以构造圈闭为主, 油气主要沿着断层和不整合面向上部储层运移。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。

关键词:尼罗河三角洲盆地; 构造演化; 海相; 油气地质

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2017.11005

尼罗河三角洲盆地是地中海唯一一个储量大于 100 亿桶的盆地^[1]。其油气勘探始于 20 世纪 50 年代中期, 1967 年发现了埃及的第 1 个气田— Abu Madi 气田。至 80 年代中期, 陆上做地震 2.5 万 km², 海上 2.7 万 km², 目前已进行了全面的地震勘探, 发现了一系列油气田^[2,3]。

尼罗河三角洲盆地总体富气贫油, 油气资源主要集中在新生代。2015 年发现的 Zohr 气田有可能是全世界规模最大的天然气田之一, 气田面积约 100 km², 潜在天然气蕴藏量为 8 500 亿 m³。这一历史性的发现将改变埃及的能源格局, 也使该地区勘探开发进入新阶段。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油气地质特征和勘探潜力进行分析, 以期对未来盆地油气勘探有所启示。

1 区域概况

尼罗河发源于非洲北东部的布隆迪高原, 全长 6 000 多千米, 尼罗河三角洲盆地陆上和海上的面积各 3 万 km², 是世界上最大的三角洲盆地之一(图 1)。研究区属于典型的地中海气候, 以

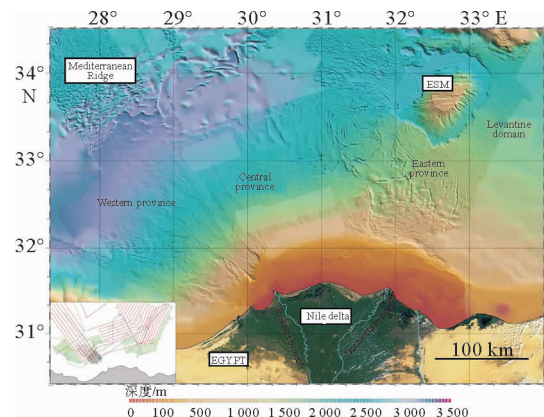


图 1 尼罗河三角洲盆地位置及水深

Fig. 1 Location and bathymetry of the Nile delta Basin

收稿日期: 2017-03-27

基金项目: 国家科技重大专项(2016ZX05026007-007)

作者简介: 杜美迎(1992—), 女, 在读硕士, 主要从事沉积学及盆地分析研究工作。E-mail: m15029281989@163.com

干旱气候特征为主,年降雨量只有 100~200 mm,且降雨主要集中在冬季。三角洲在埃及北部向地中海方向呈扇形倾斜展开,两条主要河流罗塞塔河和达米亚德河以开罗为顶点向北岔开汇入地中海,在河口地区形成类似朵状的三角洲沉积^[4]。在河口两侧发育了大量该三角洲典型的地貌,即沙坝—泻湖体系^[5]。

尼罗河三角洲盆地位于非洲板块东北部的被动大陆边缘,盆地开始形成于晚渐新世—早中新世,进积开始于晚上新世,在更新世发育成形,主要物源来自于埃及东部^[6]。

2 盆地发育特征

2.1 构造单元划分

根据现今盆地的分布规律,可将尼罗河三角洲盆地划分为北三角洲、南三角洲 2 个次盆单元。南三角洲以 E—W 向向北倾斜的正断层和挠曲带与北三角洲分开;北三角洲主要位于海域大陆架,陆上区块面积较小,且目前没有发现有开采价值的油气藏;大陆坡位于大陆架以北,海水深度 > 200 m。北三角洲及大陆坡部分有东西 2 个深海扇,东部深海扇沉积厚度薄,断层和刺穿构造较多,而西部深海扇厚度较大,断层很少,并且无刺穿构造^[7,8]。

2.2 沉积充填序列

尼罗河三角洲盆地沉积充填序列包括被动陆缘期沉积充填序列、前陆盆地期沉积充填序列及走滑盆地期沉积充填序列。

(1) 被动陆缘期沉积充填序列

尼罗河三角洲盆地被动陆缘沉积充填序列包括三叠系、侏罗系、下白垩统及上白垩统底部。

自三叠纪开始,联合古陆逐渐解体,伴随着全球泛大陆的解体,非洲北部边缘在这一时期从古特提斯的汇聚边缘转化为新特提斯裂开的被动大陆边缘,三叠纪时期,尼罗河三角洲盆地主要为灰岩沉积,局部地区发育砂岩和泥岩沉积地层^[9]。

三叠纪晚期至侏罗纪发生了早基梅里构造运动,这使侏罗系与三叠系地层呈不整合接触。整个侏罗纪尼罗河三角洲盆地沉积充填了在侏罗系碳酸盐岩台地环境下沉积的地层,包括下侏罗统

Natrun 组灰岩沉积、中侏罗统 Khatatba 组灰岩夹薄层砂岩沉积及泥岩沉积及上侏罗统 Massajid 组灰岩沉积,下侏罗统与中侏罗统地层局部地区为不整合接触。

侏罗纪末期至白垩纪早期发生了晚基梅里构造运动,该运动导致了白垩系与侏罗系之间地层的缺失。早白垩世纽康姆期到巴瑞姆亚期,非洲板块与阿拉伯板块之间的断裂活动十分活跃^[10]。埃及北部及利比亚发育东西向的断裂^[11],这些断裂中填充了厚层的河流—湖泊相沉积,并且浅海环境依然盛行。早白垩世时期,尼罗河三角洲盆地沉积充填了 Alamein 组白云质灰岩、Kharita 组灰岩夹泥岩及砂岩;晚白垩世早期沉积了 Abu Roash 组灰岩地层。

研究区北三角洲盆地主要发育碳酸盐岩地层,中生界属于海相沉积环境。三叠纪时期,岩浆活动基本沿着新特提斯的边缘,海侵运动平缓。早白垩世时期,非洲板块与阿拉伯板块之间发生碰撞导致埃及北部发育东西向的断裂,使得尼罗河三角洲盆地地层处于伸展的构造环境下,海侵作用变强,早期的裂谷作用产生深大断裂,裂谷内主要以机械沉降方式为主,填充了陆源碎屑沉积,晚期主要以热沉降为主,形成更大区域的碳酸盐台地沉积,主要以海相碳酸盐岩沉积为主,向南发育碳酸盐台地和硅质碎屑混合台地相。伸展构造环境下形成的海相碳酸盐岩有利于优质烃源岩、有效储集层、良好盖层的形成及生储盖的有效配置,更容易形成大型油气田。

(2) 前陆盆地期沉积充填序列

尼罗河三角洲盆地前陆盆地期充填序列包括上白垩统上部、古新统、始新统、渐新统及中新统地层。

晚白垩世三冬期,非洲北部边缘经历了挤压构造运动,尼罗河三角洲盆地发育 NE—SW 向的 Qattara—Eratosthenes(Rosetta) 断裂体系,该时期的构造运动导致了上白垩统地层与下伏地层不整合接触。晚白垩世盆地中充填了 Khoman 组泥页岩沉积。

古新世时期,尼罗河三角洲盆地地区发生强烈的海侵,在非洲东北部地区广泛发育浅海台地沉积。该时期盆地中沉积充填了 Esna 组海相泥页岩和灰岩沉积,与下伏白垩统地层为假整合接

触。始新世时期,尼罗河三角洲盆地沉积充填了厚层的灰岩地层及晚始新世沉积的砂岩地层。始新统地层与下伏古新统地层不整合接触,上始新统与中始新统之间也有明显的地层缺失。

晚渐新世时期,尼罗河三角洲盆地开始形成。渐新世至中新世共有2个海进海退旋回,第1个旋回由渐新世页岩和早中新世粗砂岩和砾岩组成,第2个旋回为中中新世深海相页岩和晚中新世砂砾岩互层,上部为三角洲砂岩,晚中新世梅辛阶,尼罗河三角洲盆地沉积了Rosetta组盐岩层。渐新统Qhazalat组和Abu zeabal组海相泥页岩及中新统Qantara组页岩、Sidi Salem组泥页岩是尼罗河三角洲盆地中主要的烃源岩,中新统Abu Madi组三角洲砂岩沉积是尼罗河三角洲盆地主要的储集层^[12,13]。

(3) 走滑盆地期沉积充填序列

走滑盆地期沉积充填序列包括上新统及更新统地层,在尼罗河三角洲盆地的大陆坡位置,上新统和更新统充填厚度可以达到2500 m。

早上新世时期地中海发生海侵,沉积了上新统海进泥岩、粉砂岩和砂岩。海侵在中上新世时期达到顶峰,晚上新世时期海退,尼罗河三角洲盆地开始向北进积。尼罗河三角洲盆地进积主要发生在更新世时期,沉积充填的更新统地层与下伏上新统地层不整合接触,岩性主要是浅海粗砂岩和砂质泥岩,最上部为海退型中—粗粒席状砂岩。

3 油气地质特征

3.1 烃源岩

(1) 主要烃源岩

尼罗河三角洲盆地主要的烃源岩为中新统沉积,其次为上新统富有机质沉积,但是上新统沉积在整个三角洲盆地中还未达到成熟,中新统及其底部的烃源岩已成熟,热成因的油气充注很可能是发生在中新世梅辛期以前^[14],是经过上覆上新统及更新统地层的快速沉积而形成,并且这种沉积现在仍然在进行。

北三角洲盆地主要烃源岩为渐新世和中新世沉积的海相页岩和泥灰岩,平均有机碳含量为0.7%~2%,干酪根以Ⅲ型为主,Ⅱ型为辅,该套

烃源岩有机质丰富,且分布广泛。

北三角洲盆地Kafr EI Sheikh组地层厚度达1800 m,埋深在1300~3090 m之间。干酪根以Ⅲ型为主,有机质丰度TOC含量为0.37%~1.47%,烃源岩热解烃潜量S₂为0.4~3.54 mg/g,氢指数HI为51~116 mg/g,氢指数OI为55~222 mg/g,烃源岩热解最高峰温度 T_{max} 为368~434 °C,TAL为2,依据peters的分类标准^[15],有机质的 T_{max} <435 °C视为非成熟有机质, T_{max} >470 °C视为生气阶段,Kafr EI Sheikh组烃源岩烃源岩还未达到成熟阶段,生气能力差;Sidi Salem地层厚度为450 m左右,埋深在3340~3940 m之间,TOC含量为0.41%~1.56%,烃源岩热解烃潜量S₂为0.64~5.3 mg/g,HI为119~466 mg/g,OI为49~183 mg/g,烃源岩热解最高峰温度 T_{max} 为421~443 °C,TAL为2,干酪根类型主要为Ⅱ型。总的来说,Sidi Salem组烃源岩向北成熟度越高,生油气能力增强,有利于形成大型油气藏。中新统底部的Qantara组地层厚度大概在300 m左右,主要为海相页岩和砂岩沉积,干酪根类型主要为Ⅲ型,TOC含量为0.9%~2.05%,烃源岩热解最高峰温度 T_{max} 为440~448 °C,有机质已达到成熟阶段,且以生气为主^[16]。

南三角洲盆地主要的烃源岩为上白垩统和渐新统海相页岩和泥灰岩。上白垩统黑色页岩为品质较好的烃源岩,有机碳含量很高^[17,18]。

(2) 次要烃源岩

临近尼罗河三角洲盆地的西沙漠地区,中侏罗统含煤的Khatatba组可能是西沙漠地区的烃源岩,上白垩统Abu Roash组和Khomman组灰岩及页岩也可能是西沙漠地区的潜力烃源岩。中侏罗统Khatatba组为含煤的炭质页岩,上白垩统为Abu Roash组和Khomman组黏土质灰岩及页岩。干酪根以Ⅲ型为主,Ⅱ型为辅。烃源岩热解烃潜量S₂在0.5~8 mg/g之间,烃源岩热解氢指数 I_H 为100~300 mg/g,镜质体反射率为 R_0 0.8%~1.4%,这表明此处烃源岩处于热催化生油气和热裂解生凝析气阶段^[16]。

3.2 储集层

尼罗河三角洲盆地储集层主要为中新统三角

洲砂岩及上新统深水斜坡水道砂岩(图 2)^[19]。深水地区上中新统三角洲砂岩及上新统深海浊积砂岩为主要储层。

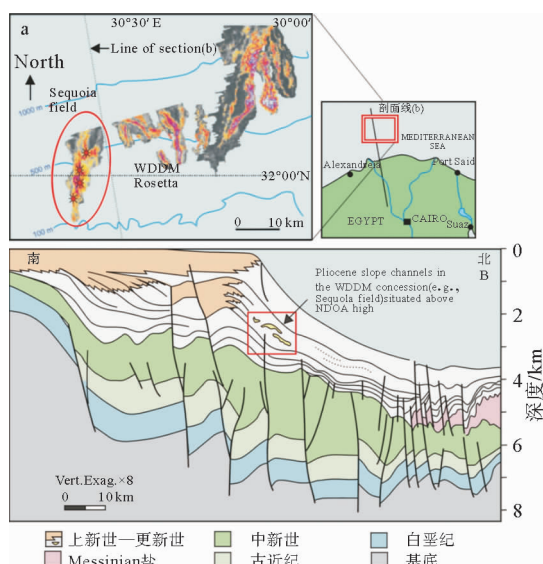


图 2 尼罗河三角洲盆地西深海扇水道沉积体系位置及剖面

Fig. 2 The position and profile of west deep-sea fan channel sediments in the Nile delta Basin

上新统及中新统是尼罗河三角洲盆地最主要的目的储层,上新世时期,尼罗河三角洲为深海环境,存在斜坡与盆地的过渡,显示了三角洲的进积作用。上新统地层可以分为 6 个主要沉积旋回,共同组成尼罗河三角洲体系。这些旋回包含了陆架到斜坡的进积体系和盆底沉积,主要是薄层的砂岩沉积。

整个上新世,南部为南北向的线性浊积水道沉积,水道沉积从地震相及压实特征上显示其总的储层厚度超过 100 m,向两侧减小至 30~40 m。上新统砂岩为松散的沉积,储层性质极好,孔隙度为 24%~36%,净砂层孔隙度可以达到 30%~90%^[20]。

在东部深水地区,前期断层的活化及盐的底辟运动限制了水道的沉积,因此东部地区斜坡水道砂岩并不发育。相反,在西部斜坡水道沉积并没有受到限制,砂岩得以大量发育。

上中新统储层主要是梅辛阶地层,这一套地层沉积环境比较复杂,是在主要的河成峡谷前部的三角洲及浅海相沉积。

上梅辛阶地层上覆于硬石膏层,其间为不整合

接触。上 Qawasim 组是由海平面变化后引起的快速下切作用形成的,侧部的峡谷外部地区,上 Qawasim 组变为平行的薄层砂岩,是 Abu Qir 油田的储层。Rosetta 硬石膏层在尼罗河三角洲盆地中广泛分布,但是,在河流到浅海相的上梅辛阶地层—Abu Madi 沉积体系中缺失。在这一沉积体系中,峡谷淤积混杂,以砂岩为主,厚度超过 300 m。

台地边界断层标志着峡谷沉积和深海相沉积的转换,在东地中海地区,中新统地层为迅速超覆在发育的盐脊之上的薄层浊积砂岩。储层质量根据沉积相的变化而变化,峡谷充填物储层品质较差,孔隙度为 20%~28%,而席状砂储层品质较好,孔隙度可以达到 32%。

3.3 盖层

尼罗河三角洲盆地区域性盖层为上新统 Kafr El Sheikh 组海相泥页岩,该套地层在尼罗河三角洲盆地中分布广泛,厚度较厚,形成封闭环境,阻止了油气逸散。

晚中新世沉积的盐岩层可以作为局部地区的盖层,但是盐构造使岩层变薄,因此,在尼罗河三角洲的大部分地区,该套盐岩不能成为很好的盖层,这也使盐下烃源岩所产生的油气可以向上运移,在盐上中新统及上新统储层中富集成藏。

盐下盖层主要是中新统海相泥页岩,该套盖层封盖其自身及其下部储层,使油气富集成藏。

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。

尼罗河三角洲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。除此之外,尼罗河三角洲盆地东部深海扇在晚中新世沉积厚层的盐岩,后期盐岩的变形产生了大量的盐背斜构造及断裂构造,在这些背斜及断层的基础上形成盐背斜圈闭及断层圈闭。

尼罗河三角盆地中新世及上新世发育水道沉积,此类浊积砂岩往往超覆于下伏地层之上形成地层圈闭。

3.5 生储盖成藏组合

尼罗河三角洲盆地深海扇地区成藏组合主要分为 2 套生储盖组合。

第 1 套组合烃源岩为中新统海相页岩及泥灰岩;储层为上中新统 Abu Madi 组三角洲砂岩和上新统深水斜坡水道砂岩;盖层为上新统 Kafr El Sheikh 组页岩沉积(图 3)。该套成藏组合为正常式成藏组合。上新统包括了斜坡—盆地平原的流

沉积体系,具体包括水道、水道形成的天然堤及席状砂。构造主要是台地上的微构造、大规模的断块、盐引起的背斜构造及底辟构造。圈闭类型主要为构造圈闭。底辟构造的盐盆远景区包括了全部的东部深水区,这一地区以走滑断裂带为特征。该地区同样在盐构造引起的小型盆地中沉积了厚层的上新统地层。油气的充注沿着走滑断裂带通过盐窗向上部储层中运移,储层包括席状砂和水道形成的天然堤。

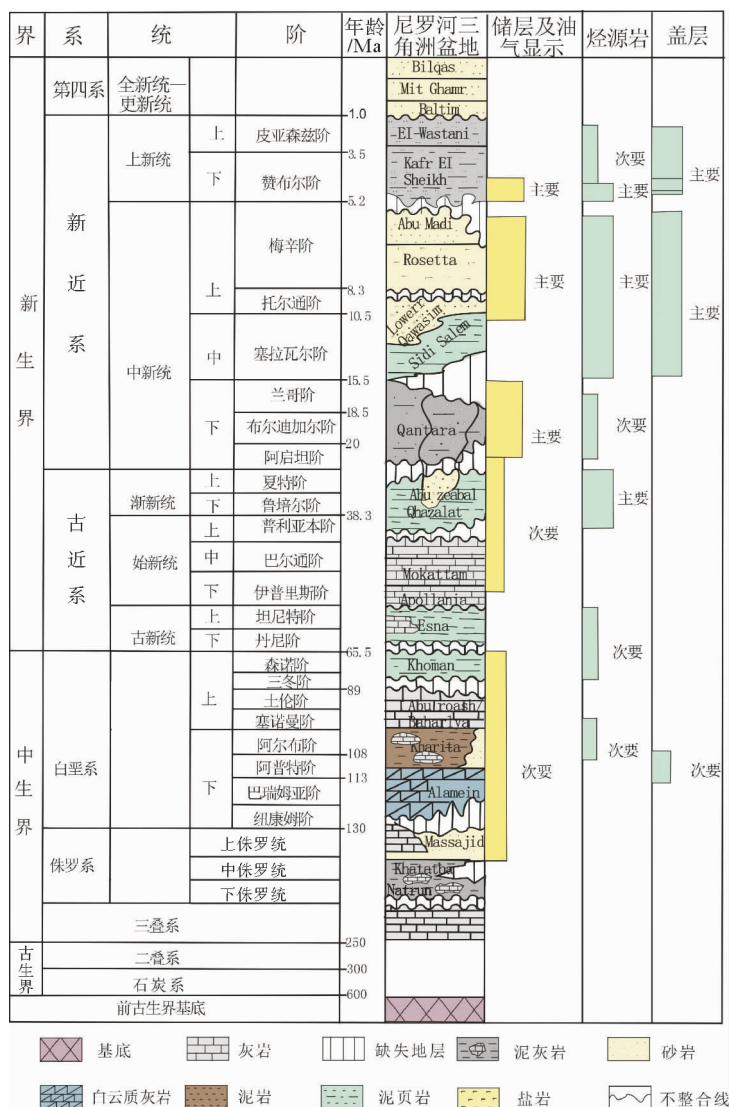


图 3 尼罗河三角洲盆地生储盖组合

Fig. 3 Source rock-reservoir-seal assemblage in the Nile delta Basin

通过地震数据显示^[21],第 2 套组合有超过 10 km 的盐下地层,烃源岩为白垩系深部有机质丰

富的海相页岩和泥灰岩,中中新统砂岩及渐新统地层为主要的储层,盖层主要为中中新统页岩沉

积地层。在三角洲的东部包括 Temsah、Abu Zakhn、Wakar、Kersh、Port Fouad Marine 及 Tineh 油气田。

这 2 套组合均为古生新储型成藏组合。烃源岩生成的油气沿广泛发育的断层和不整合面疏导体系向上部储层运移。尤其是深大断裂可作为油气向浅部地层运移的重要通道。发育好的页岩地层可有效地封盖烃类进一步向上运移和从圈闭中渗出。晚白垩世至中新世前陆盆地阶段及渐新世走滑盆地阶段形成的断裂系统是也油气运移的良好通道。

4 资源潜力

自 2009 年以来,在尼罗河三角洲盆地陆续发现多个大油气田(表 1),尼罗河三角洲及其隶属的地中海地区成为了近几年新兴的世界油气勘探热点地区之一。在亚历山大以北的深水区发现了探明储量 570 亿 m^3 的气田,在三角洲西部水深 530~1 300 m 区域也发现了气田,探明储量超过 1 100 亿 m^3 ,三角洲东北部尚未有重大发现。尼罗河三角洲地区已有钻井数 270 多个,现已发现的油气藏大多位于深水区,且气藏占多数。

表 1 2010—2016 年尼罗河三角洲盆地发现的主要气田

Table 1 The main gas fields found from 2010 to 2016 in the Nile delta Basin

国家	气田名称	发现时间	预测储量/Tcf
埃及	kafr AJ Shaikh	2010	2
埃及	West Sama-1	2012	$(4\sim6)\times 10^{-3}$
埃及	Salamat	2013	1.2
埃及	Atoll-1	2015	5
埃及	Zohr	2015	30
埃及	Baltim SouthWest	2016	2.5~2.8

尼罗河三角洲盆地是埃及的一个重要的含油气盆地,据 USGS 数据显示,尼罗河三角洲盆地赋存 18 亿桶未被发现、技术上可采的石油储量,223 万亿立方英尺(Tcf)天然气储量及 60 亿桶液化天然气^[22]。

尼罗河三角洲盆地在深水区远岸地带勘探程度较低,地震已经发现许多构造,可能存在包括滚动背斜和底辟构造(主要在东深海扇)等多种成藏组

合,勘探潜力较大。此外,虽然尼罗河三角洲盆地白垩系烃源岩发育良好,深大断裂可作为深部白垩系烃源岩生成油气向浅部地层运移的通道,目前仍未有大规模的油气发现。因此,白垩系的深大断裂附近的有效储集砂体也是今后勘探的有利目标。

5 认识

(1)尼罗河三角洲是典型的朵状三角洲,属于被动大陆边缘盆地,盆地东高西低,南高北低,经历了被动陆缘、前陆盆地及走滑盆地 3 个构造演化阶段。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和中新统海相页岩和泥灰岩以及上白垩统黑色页岩,主力储集层为中新统三角洲砂岩及上新统深水斜坡水道砂岩,区域性盖层为上新统卡夫尔西肯组海相泥页岩,海相储盖组合是尼罗河三角洲盆地的重要组合类型。

(2)尼罗河三角洲盆地“富气贫油”,大体上呈“东油西气”分布。气田主要位于远岸带深水区,油田位于近岸带浅水区。盆地在断块附近形成的大型构造圈闭以及构造—地层复合圈闭具有良好的储集油气潜力,因此勘探开发前景广阔。

参考文献:

- [1] Dolson J C, Boucher P J, Dodd T, et al. Petroleum potential of an emerging giant gas province, Nile delta and Mediterranean Sea off Egypt[J]. Oil and Gas Journal, 2002, 32-37.
- [2] Burton-Ferguson R, Aksu A E, Calon T J, et al. Seismic stratigraphy and structural evolution of the Adana Basin, eastern Mediterranean[J]. Marine Geology, 2005(221): 189-222.
- [3] Bayoumi A I, Lotfy H I, Modes of structural evolution of Abu Gharadig Basin, Western Desert of Egypt, as deduced from seismic data[J]. J. Afr. Earth Sci, 1989(9): 273-287.
- [4] 于兴河,李胜利,李顺利. 三角洲沉积的结构:成因分类与编图方法[J]. 沉积学报,2013,31(5):782-797.
- [5] 谢启红,邵先杰,乔雨朋,等. 尼罗河现代三角洲沉积特征解剖[J]重庆科技学院学报,2016,18(2):31-34.
- [6] 陈中原,王张华. 长江与尼罗河三角洲晚第四纪沉积对比研究[J]. 沉积学报,2003,21(1):61-74.
- [7] Abdel aal A, El Barkooky A, Gerrits M, et al. Tectonic evolution of the Eastern Mediterranean Basin and its significance for hydrocarbon prospectivity in the ultra-deepwater

- of the Nile Delta[J]. *The Leading Edge*, 2000;1086-1102.
- [8] Lies Loncke, Virginie Gaullier, Jean Mascle, et al. The Nile deep-sea fan: An example of interacting sedimentation, salt tectonics, and inherited subsalt paleotopographic features[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2006(23): 297-315.
- [9] Claudius Vandre, Bernhard Cramer, Peter Gerling, et al. Natural gas formation in the western Nile delta (Eastern Mediterranean): Thermogenic versus microbial[J]. *Organic Geochemistry*, 2007(38): 523-539.
- [10] Guiraud R, Maurin J C. Early Cretaceous rifts of Western and Central Africa: an overview[J]. *Tectonophysics*, 1992(213): 153-168.
- [11] Bayoumi A I, Lotfy H I, Modes of structural evolution of Abu Gharadig Basin, Western Desert of Egypt, as deduced from seismic data[J]. *J. Afr. Earth Sci*, 1989(9): 273-287.
- [12] Elsayed A. Fergany. Microtremor Measurements in the Nile Delta Basin, Egypt: Response of the Topmost Sedimentary Layer[J]. *Seismological Research Letters*, 2009, 80(4): 591-598.
- [13] 童晓光, 关增森. 世界石油勘探开发图册(非洲地区分册)[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.
- [14] Sharaf L M. Source rock evaluation and geochemistry of condensates and natural gases, offshore Nile delta, Egypt[J]. *Journal of Petroleum Geology*, 2003,26: 189-209.
- [15] Peters K E. Guidelines for evaluating petroleum source rocks using programmed pyrolysis[J]. *AAPG Bull*, 1986, 70: 318-209.
- [16] Shaaban F, Lutz R, Littke R, et al. Source rock evaluation and basin modelling in the NE Egypt (NE Nile Delta and Northern Sinba) [J] *Journal of Petroleum Geology*, 2006,29: 103-124.
- [17] Bagge M A, Keeley M L. The oil-potential of Mid-Jurassic coals in northern Egypt[C]// Scott A C, Fleet A J. *Coal and Coal-Bearing Strata as Oil-Prone Source Rocks*. Geological Society Special Publication, 1994, (77): 183-200.
- [18] Younes M A. Alamein Basin hydrocarbon potential of the Jurassic-Cretaceous source rocks, north Western Desert, Egypt[J]. *OIL GAS European Magazine*, 2002(3): 22-28.
- [19] Samuel A, Kneller B, Raslan, Sharp A. Prolithic deep-marine slope channels of the Nile Delta[J]. *Egypt: AAPG Bulletin*, 2003,87: 541-560.
- [20] Andy Samuel, Ben Kneller, Samir Raslan, et al. Prolific deep-marine slope channels of the Nile Delta, Egypt[J]. *AAPG Bulletin*, 2009, 87(4): 541-560.
- [21] Nigel E Cross, Alan Cunningham, Robert J Cook, et al. Three-dimensional seismic geomorphology of a deep-water slope-channel system: The Sequoia field, offshore west Nile Delta, Egypt[J]. *AAPG Bulletin*, 2009, 93(8): 1063-1086.
- [22] USGS. Assessment of Undiscovered Oil and Gas Resources of the Nile Delta Basin Province, Eastern Mediterranean[R]. 2010.

PETROLEUM GEOLOGY AND EXPLORATION POTENTIAL OF THE NILE DELTA BASIN

DU Meiyang^{1,2}, QU Hongjun^{1,2}, ZHANG Gongcheng³

(1 State Key Laboratory of Continental Dynamics, Xian 710069, China; 2 Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China; 3 Research Center of CNOOC, Beijing 100027, China)

Abstract: The Nile river delta basin has experienced three stages of tectonic evolution, i. e. the stage of a Paleo-Thetys passive margin from convergence to rupture, the stage of a compressive foreland basin and the stage of an activated strike-slip basin. It may be divided to the north sub-basin and the south sub-basin. In general, most of the reservoirs are rich in gas and poor in oil, and located in deep water. There are two sets of favorable source rocks, the Oligocene to Miocene Marine shale and marl, and the Upper Cretaceous black shale. Both of the source rocks are rich in organic carbon and type III of kerogen. Reservoirs are mainly consisting of Miocene deltaic sandstone and Pliocene deep sea slope channel sandstone. Structural trap dominates the basin. Petroleum migrates mainly upwards along faults and unconformities. The delta basin has well matched source-reservoir-cap assemblages and great potential for oil and gas exploration.

Key words: the Nile delta basin; tectonic evolution; marine facies; petroleum geology