

文章编号:0253-9985(2005)03-0374-05

尼日尔三角洲盆地油气分布特征及控制因素

侯高文¹,刘和甫¹,左胜杰²

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 中国石化国际石油勘探开发公司, 北京 100083)

摘要:尼日尔三角洲的形成可分为早、晚两个阶段,早期的白垩纪初期,尼日尔三角洲雏形初具,伴生的火山活动形成的热隆起为第三系有机质转化提供了热源;晚期的古新世—始新世,尼日尔三角洲基本定型,生长断层大量发育,并伴生大量的滚动背斜。滚动背斜基本分为4种:1)简单滚动背斜;2)由两条或多条生长断层与主控断层共同作用下形成的滚动背斜构造;3)由一条或多条反向(北倾)断层与主控断层形成的滚动背斜构造;4)由于页岩向上隆起、造成滚动背斜顶部崩塌而形成的构造。以构造为主的油气藏多与生长断层形成的滚动背斜有关,且发育有非构造圈闭油气藏。继承性发育的巨厚三角洲沉积、良好的生烃条件、稳定发育的储层和盖层及作为主要运移通道的断层等是尼日尔三角洲油气富集的主要控制因素。

关键词:油气分布;控制因素;构造油藏;尼日尔三角洲

中图分类号:TE112.11

文献标识码:A

A study of distribution characteristics of petroleum in Niger delta basin and their controlling factors

Hou Gaowen¹, Liu Hefu¹, Zuo Shengjie²

(1. China University of Geosciences, Beijing; 2. International Petroleum Exploration and Production Corporation, SINOPEC, Beijing)

Abstract: Evolution of Niger delta basin can be divided into two stages. During the early stage, i. e. early Cretaceous, embryonic Niger delta has been formed, and the thermal uplifting associated with volcanic activities has provided heat sources for maturation of Tertiary organic matters. During the late stage, i. e., Paleocene to Eocene, the framework of Niger delta has been basically finalized, with many growth faults and associated rollover anticlines being developed. The rollover anticlines basically can be divided into 4 types: 1) simple rollover anticline; 2) rollover anticlines that have been formed by the joint action of two or more growth faults and the master fault; 3) rollover anticlines that have been formed by the joint action of one or more antithetic (north-dipping) faults and the master fault; 4) cave-in structures on top of rollover anticlines, due to the uplifting of shale. Most of the reservoirs, mainly of structural type, are related to the rollover anticlines associated with growth faults, and reservoirs of non-structural trap type have also been developed. The major controlling factors of hydrocarbon accumulation in Niger delta include the very thick inherited delta deposits, good hydrocarbon generating conditions, stable and well-developed reservoirs and seals, as well as! faults acting as the major migration pathways.

Key words: oil and gas distribution; controlling factor; structural reservoir; Niger delta

尼日利亚是非洲最大的石油生产国,2002年平均日产原油 $23\,013.513 \times 10^8$ L。截止到2003年1月,剩余石油和天然气储量分别为 $28\,617.6 \times 10^8$ L 和 $35\,112.89 \times 10^8$ m³^[1]。石油储量绝大部分

蕴藏于沿海的尼日尔三角洲盆地内^[2]。尼日尔三角洲是世界上少有的在1千万年中形成的单沉积体系和石油系统^[3],拥有独立的新生代含油气系统,其特点是分布范围广,基本地质要素时空配置

基金项目:中国石油天然气集团公司“九五”重点科技攻关项目(970211)

第一作者简介:侯高文,男,51岁,高级工程师(博士生),矿场勘探与普查

收稿日期:2005-05-30

好,关键时刻持续时间长,是世界上典型的优质含油气系统之一。研究其油气分布特征和控制因素对于我国石油企业开拓非洲油气勘探开发领域、进行区块优选具有重要意义。

1 地质特征

尼日利亚在区域上受北东-南西向和北西-南东向两组构造线的控制。区域西北部的上几内亚隆起和东南部刚果克拉通西北的喀麦隆隆起均为晚前寒武系的变质岩系。中间从乍得盆地南端经贝努埃槽地至尼日利亚海岸盆地,在早白垩世末至始新世为特提斯海和大西洋的通道,受东北向构造线的控制。同时因北西构造线的影响,出现一些分支海湾,如贝努埃上游伸入喀麦隆的阿达马瓦海湾,尼日尔河中游的尼日尔海湾等。

尼日尔三角洲盆地是尼日利亚6个沉积盆地中最大的含油气盆地,面积为 $30 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。盆地东端延伸入喀麦隆,包括杜阿拉盆地,以火山带为界;西边以奥基蒂普帕隆起与贝宁翼部分开;北端横切遇几个较老的白垩纪构造单元——阿纳姆博拉盆地、阿贝开立基隆起、阿菲克波向斜和卡拉巴翼部;南部伸入到大陆架海域。

2 地质条件

尼日利亚的油气资源主要富集在尼日利亚海岸盆地,包括尼日尔河三角洲及近海水域,它是非洲海岸区油气资源最丰富的盆地,也是尼日利亚目前最主要的油气勘探开发区。尼日利亚已发现的近300个油气田基本都位于尼日尔三角洲内^[4]。

2.1 演化史

尼日尔三角洲的形成过程可分为早白垩世和晚白垩世至新生代两个构造演化阶段^[5]。

早期阶段:白垩纪初期,大陆地壳分离,随后扩张转换形成断裂,最后进一步演化为两种类型的盆地。一种是盆地边界线与几内亚湾早期扩张方向接近垂直的裂谷盆地;另一种是盆地边界线与几内亚湾早期扩张方向近于平行的转换盆地。这一时期,尼日尔三角洲初具雏型。在当时还伴生有火山活动,所形成的热隆起为第三系有机质转化成油提供了热源^[6]。

晚期阶段:古新世—始新世时期,尼日尔三角洲基本定型。在渐新世—中新世初期,由于沉积物源的充分供应,其沉降速度加快,堆积了一套巨

厚的沉积物,使三角洲得以广泛发育。中新世是尼日尔三角洲发育过程中一个非常重要的时期,同时也是大量同生构造、泥底辟的形成阶段。由于东、西部合并,成为一个统一的、具有宽阔前缘的三角洲环境。加之推进速度缓慢,供给物异常多,在重力作用下,同生断层特别发育,于下降盘相应伴生了大量的滚动背斜。在中新世晚期—上新世时期,三角洲复合体继续向前推进,在东部海上形成了一个大型的沉积中心。上新世—更新世时期,三角洲复合体的生长速度开始减慢,向海推进的三角洲前缘之间的底辟作用出现了短暂的平衡。更新世晚期,由于冰期之后冰川融化,导致了海侵,从而淹没了上新世—更新世时的三角洲平原。全新世时期,出现了一套新的海退超覆沉积物,底辟作用广泛在陆隆、大陆斜坡和大陆架进行,产生了大规模的底辟构造^[7]。

2.2 生储盖组合

尼日尔三角洲盆地由白垩系和第三系组成。白垩系为海侵和海退交替沉积的页岩、灰岩和砂岩组成,顶部是非海相砂岩和煤层。第三系为向海发展的三角洲相沉积,上部为陆相砂岩、砾岩组成的贝宁组;中部为过渡性海陆交替相的阿格巴达组,由砂岩和页岩组成,是主要储油层系;下部为阿卡特组纯海相页岩,是主要的生油层系。

尼日尔三角洲中上始新世至现今为一套海退式前积型建设性三角洲沉积,总厚度约 $12\,000 \text{ m}$ ^[8]。由贝宁组、阿格巴达组、阿卡特组构成自生自储式生储盖组合(图1)。

1)贝宁组:主要是砂层,中、下部夹较多的灰色页岩,为三角洲平原相,厚达 $2\,100 \text{ m}$ 。中下部页岩夹层横向稳定,可作为区域盖层。局部地区在砂层中见有少量油气藏。

2)阿格巴达组:由海陆交互相的砂岩与黑灰色、绿灰色页岩组成互层,中、上部砂岩发育,下部暗色页岩增多,厚为 $300 \sim 4\,500 \text{ m}$ 。该组是尼日尔三角洲海岸盆地勘探的主要目的层。砂岩为细至粗粒,成层性差,质疏松,无胶结物或少量钙质及泥质胶结。细砂分选好,物性好,孔隙度大于20%,最高达35%,渗透率一般为 $500 \times 10^{-3} \sim 1\,000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。单层厚度多在 10 m 以上,横向发育稳定。下部的暗色页岩富含有机质,有机碳含量可高达3.05%,氯仿“A”在0.312%左右,为较好的生油层^[9]。

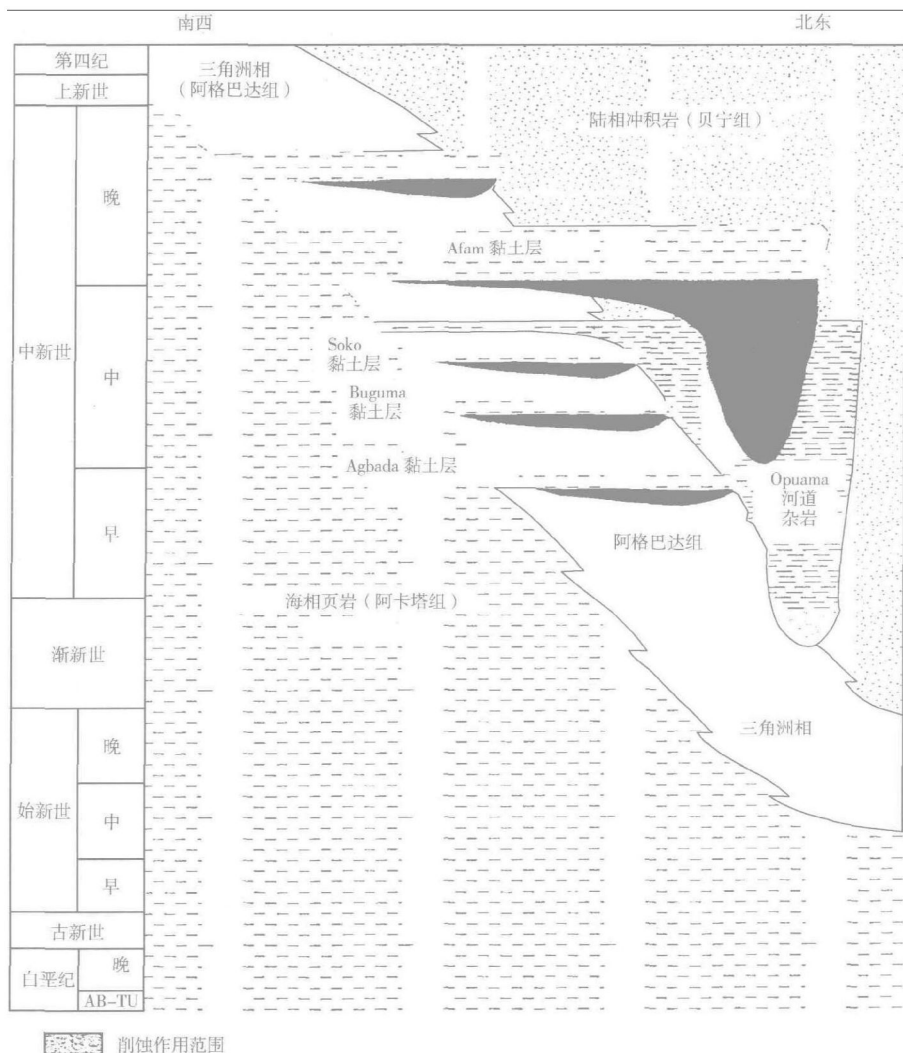


图1 尼日尔三角洲地层剖面示意图

Fig.1 Diagrammatic stratigraphic profile of Niger delta

3)阿卡特组:前三角洲相的大套页岩夹透镜状砂岩,厚度为 610 ~ 6 100 m。页岩色暗,富含有机质,是很好的的生油层系。其中所夹的透镜状砂岩由于封闭性好,常含高压油气水。

3 类型及分布

3.1 构造圈闭油气藏

从白垩纪开始,在三角洲以北发育了一套海相碎屑岩沉积。东侧贝努埃-阿巴卡利一带形成了复背斜;西侧白垩系直接超覆在变质岩之上,分布有一条长 80 km 的含油气带。新生代时,尼日尔河及贝努埃河沿着比达盆地和贝努埃地槽向南汇合流入大西洋,所携带的大量碎屑物质和有机质形成了一个巨大的海退型前积三角洲。

在三角洲发育过程中,受基底断裂活动的影响,沉积速度加快。在重力作用下,形成了众多的走向大致平行海岸线的生长断层。这些生长断层一般呈弧形,凹面朝向海洋,断面上陡下缓,断距上大下小,并向深部趋于消失,在生长断层的下降盘普遍发育滚动背斜。目前,尼日利亚所发现的油气田绝大部分与生长断层伴生的滚动背斜有关。

在沿岸区的阿格巴达组和阿卡特组之间的接触带,由于压实作用的不同,从而产生了一系列的反向区域断层。在深水区页岩比较发育并伴有盐岩沉积,在差异压实作用下形成了页岩脊和盐底辟。随着埋深加大,上覆地层的逐渐增厚,在盆地基底斜坡上,由于重力作用产生自然下滑。在下滑过程中岩层被拉伸而产生断裂,使上、下盘发生分

离,形成生长断层。下盘岩层在分离间隙内逐渐坍塌弯曲形成滚动背斜或逆牵引构造。这类构造一般比较平缓,面积小,大多在 10 km^2 以内,常是成群成带分布。每一条大的生长断层都控制着一个滚动背斜带。靠近主断层的滚动背斜一般较大,富集油气,而邻近分支断层的背斜小,主要产气^[10]。

在尼日尔三角洲的油田中,绝大多数与生长断层及其伴生的滚动背斜有关,非背斜油气藏很少,一些断层常常大于 1500 m 。随着断层的生长,沉积作用也在增强,引起了一种旋转运动,使地层向着断层弯曲下降,形成所谓的滚动背斜。尼日尔三角洲油田中的滚动背斜基本分为4种(图2):1)简单滚动背斜,其特点是仅有一个主控断层,高点随深度的变化而向前移动;2)由两条或多条生长断层与主控断层共同作用形成的滚动背斜构造,这类构造在三角洲分布较为普遍,大约有70多个油田是属于这种构造,如波牟油田(Bomu Field)和奥坎油田(Okan Field)等;3)由一条或多条反向(北倾)断层与主控断层形成的滚动背斜构造,如梅伦油田(Meren Field);4)由于页岩向上隆起、造成滚动背斜顶部崩塌而形成的构造。

3.2 非构造圈闭油气藏

在尼日尔三角洲不断向海推进的过程中,除广泛发育与生长断层伴生的滚动背斜外,在阿格

巴达组海陆交互相沉积物中还发育有点砂坝、沿岸砂坝、河口砂坝、天然堤等各种砂体。当这类砂坝与阿格巴达组下部海相页岩或阿卡特组前三角洲相页岩接触或通过断层运移时,可形成各种类型的非构造圈闭油气藏。目前在该区已发现3种非构造圈闭油气藏:1)不整合油气藏,由侵蚀面遮挡形成,如埃南油田(Enang Field),主要分布在三角洲东南部的海上;2)河道砂油藏,如奥普阿马河道沉积区域内的油田(Opuama Field),主要分布在三角洲南部海上和靠近贝宁陆上三角洲西翼;3)岩性油气藏,如奥比亚夫-奥比里科姆油田(Obiafu-Obridom Field),主要分布在三角洲中部。

4 控制因素

4.1 巨厚三角洲沉积

原始的尼日尔三角洲开始形成于晚白垩世,一直延续到第三纪的古新世。由于海侵结束了上白垩系的三角洲沉积。至始新世早期,开始了尼日尔河第三系三角洲的沉积,并逐步向大西洋的几内亚湾方向推进,直至现今仍在继续发展,沉积速率高达 500 m/Ma 。根据磁力资料解释,三角洲沉积的最大厚度估计在 12000 m 以上。由于三角洲继承性的发展,生、储、盖组合配套完好,同生断层伴生的滚动背斜发育。此外三角洲中各种

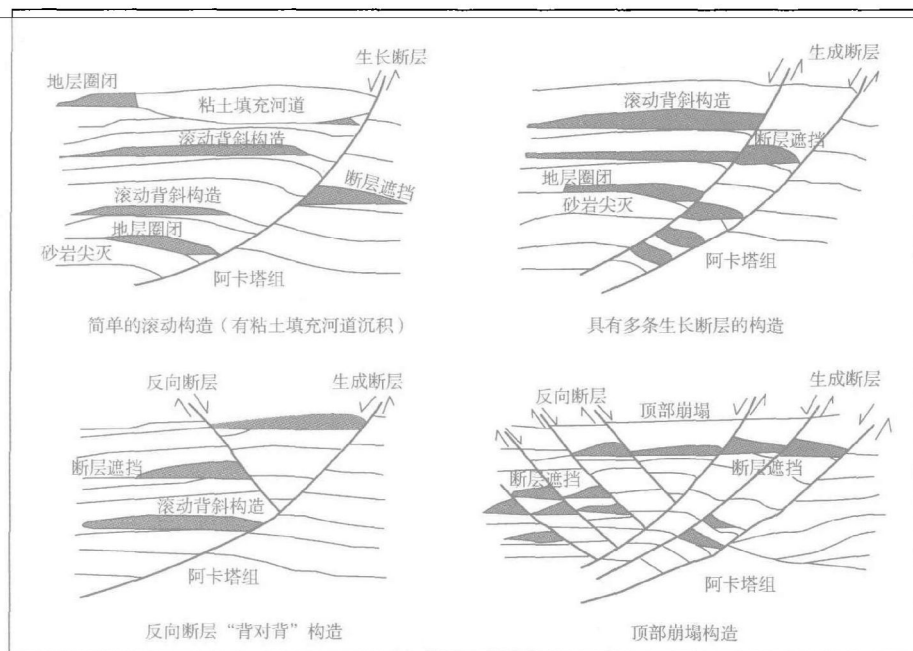


图2 尼日尔三角洲中主要油田的构造类型

Fig.2 Structural types of major oilfields in Niger delta

砂体重叠交织,地层圈闭广泛分布,给该区的油气富集提供了良好的条件。

4.2 生烃条件

阿卡塔组和阿格巴达组下部的页岩,有机质丰富,厚度大,分布广。主要生油区位于陆壳与洋壳过渡区内的一条快速沉降构造中,生油岩体积大,地热梯度高,有利于有机质转化,生油性能良好。

4.3 储层和盖层

阿格巴达组中的砂层为石英细粉砂,分选好、质疏松、物性好、横向分布稳定、常沿生长断层发育。砂体的平面分布形态与现代海岸线的形态相似。贝宁组下部夹带的页岩横向分布稳定,断层一般也未断穿,可作为区域盖层。

4.4 运移通道

尼日尔三角洲被主断层分隔成许多沉积带,与生长断层伴生的滚动背斜与沉积物同时形成,再加上邻近发育的大量断层作为运移通道,非常有利于油气的运移和聚集。油气主要聚集于断层限定的各种构造中,如同生断层上盘各种形态的背斜构造或下盘的断层倾斜圈闭构造。由于断层的持续活动,促使油气向浅部发生再运移^[11]。基于差异聚集原理(图3),三角洲前缘较低的南部地

区以产天然气为主,北部较高地区以产油为主。在一些大的构造下倾部位,产气的可能性较大。

参 考 文 献

- 童晓光, 窦立荣, 田作基, 等. 21 世纪初中国跨国油气勘探开发战略研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003. 259 ~ 265
Tong Xiaoguang, Dou Lirong, Tian Zuoji, et al. Strategic study on Chinese petroleum E & P overseas[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1998. 143 ~ 145
- Wescott W A. Deltaic provinces: a major focus of worldwide exploration efforts[J]. Oil & Gas Journal, 1992, 90(24): 52 ~ 55
- Perridon A. Overview of African petroleum systems[J]. Oil & Gas Journal, 1993, 91(28): 115 ~ 119
- Thomas D. Exploration gaps exist in Nigeria's prolific delta[J]. Oil & Gas Journal, 1995, 93(44): 66 ~ 71
- 国外含油气盆地勘探开发丛书编委会. 非洲苏尔特盆地和尼日尔三角洲盆地[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998. 143 ~ 145
Editorial Board of Oil and Gas Bearing Basin Overseas. Sirte Basin and Niger delta in Africa[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1998. 143 ~ 145
- Bustin R M. Sedimentology and characteristics of dispersed organic matter in Tertiary Niger delta: origin of source rocks in a deltaic environment[J]. AAPG Bull, 1988, 72(3): 277 ~ 298
- Obaje N G, Wehner H, Scheeder G. Hydrocarbon prospectivity of Nigeria's inland basins: from the viewpoint of organic geochemistry and organic petrology[J]. AAPG Bull, 2004, 88(3): 325 ~ 353
- Matava T, Rooney M A, Chung H M, et al. Migration effects on the composition of hydrocarbon accumulations in the OML 67 ~ 70 areas of the Niger delta[J]. AAPG Bull, 2003, 87(7): 1 193 ~ 1 206
- Nwachukwu J I. Organic matter of formation in Niger delta of Nigeria[J]. AAPG Bull, 1986, 70(1): 48 ~ 55
- 王生朗, 任来义, 王洪斌, 等. 桥口构造沙三段气藏特征及其控制因素[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(2): 186 ~ 187
Wang Shenglang, Ren Laiyi, Wang Hongbin, et al. Characteristics of gas reservoir and its controlling factors in Es³ of Qiaokou structure[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(2): 186 ~ 187
- Unomah G I. Why gas is trapped stratigraphically shallower than oil in Niger delta[J]. Oil & Gas Journal, 1993, 91(24): 53 ~ 55

(编辑: 高岩)

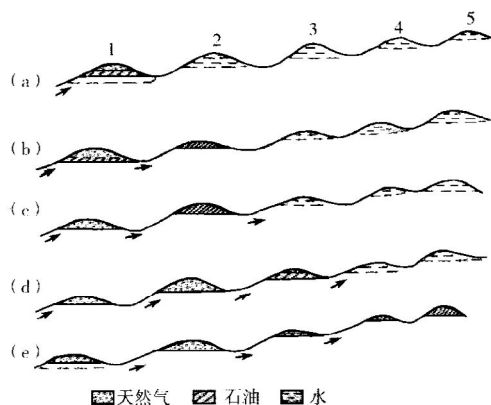


图3 相连通圈闭中油气差异聚集示意图