

西非塞拉利昂—利比里亚盆地 深水岩性油气藏成藏特征

孔令武,赵红岩,赵佳奇,陈 亮,喻英梅,李任远

(中海油研究总院,北京 100028)

摘 要:立足于大西洋的构造演化,划分了盆地构造演化阶段,明确了不同演化阶段的构造、沉积特征,分析了漂移期岩性油气藏的成藏特征,建立油气成藏模式,指出了油气勘探的方向。研究表明,塞拉利昂—利比里亚盆地经历了裂陷期和漂移期两个演化阶段,早白垩世裂陷期,构造活动强烈,以陆相沉积为主;晚白垩世至今的漂移期构造活动弱,以海相沉积为主。赛诺曼—土伦阶海相烃源岩是漂移期岩性油气藏的主要油气来源,是油气成藏的基础;盆地漂移期广泛发育大型深水沉积体,深水沉积体是漂移期储层和岩性圈闭形成的关键;油气运移控制了岩性油气藏的成藏模式,漂移期构造活动弱,缺少油源断裂,赛诺曼—土伦阶成熟烃源岩生成的油气就近运移至烃源岩层内的岩性圈闭中聚集成藏,形成自生自储的油气成藏模式;寻找赛诺曼—土伦阶烃源岩灶内大型沉积体是盆地未来深水油气勘探的重要方向。

关键词:构造演化;烃源岩;深水沉积体;成藏模式;岩性油气藏;勘探方向

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2018.11004

沿西非海岸分布一系列被动大陆边缘盆地,这些盆地的深水区均已获得大量油气发现,含油气系统得到证实,是世界油气勘探和储量增长的重点区之一。据 USGS(2013),塞拉利昂—利比里亚盆地深水区待发现资源量十分可观,其中油为 3 200 MMbbl,气为 4 492 Bcf^[1],该盆地油气成藏条件好,勘探程度低,是未来西非油气储量的重要增长点。截止目前,前人对该盆地的构造演化、沉积充填等研究相对零散,不够深入,尤其是缺少对已发现岩性油气藏成藏特征的系统研究^[2-4],这严重制约了盆地深水区的油气勘探。

本次研究基于所掌握的地震、地质、钻井等资

料,立足于大西洋的构造演化,划分了盆地构造演化阶段,明确了不同演化阶段的构造、沉积特征,分析了漂移期岩性油气藏的成藏特征,建立油气成藏模式,指出了盆地深水区油气勘探的方向,以期对盆地油气勘探提供一定技术支持。

1 盆地概况

塞拉利昂—利比里亚盆地位于非洲西北部的塞拉利昂和利比里亚海域,盆地呈 NW—SE 走向,南北长约 1 200 km,东西长约 150~200 km,盆地总面积 166 453 km²,盆地最大水深可达 4 500 m。塞拉利昂—利比里亚盆地北接毛塞几比盆地,东南邻科特迪瓦盆地,以大型转换断裂为界,可划分为 3 个次盆地,由北到南依次为塞拉利昂次盆、利比里亚次盆和哈珀次盆(图 1)。塞拉利昂—利比里亚盆地勘探程度很低,盆地勘探始

收稿日期:2018-05-06

基金项目:国家科技重大专项“非洲重点区油气勘探潜力综合评价(2017ZX05032-002)

作者简介:孔令武(1986—)男,硕士,工程师,主要从事海外石油勘探研究。E-mail:416160680@qq.com

于20世纪60年代,目前盆地钻探25口井,其中浅水陆架区(水深<500 m)钻探10口井,深水区(水深 $\geq$ 500 m)钻探15口井。2009年以后,盆地共发现Venus、Jupiter、Mercury等5个典型的岩

性油气藏(图1),油气藏的水深均 $>1\,000$ m,油气储量为20~96 MMboe,总储量为304 MMboe,储层为上白垩统土伦阶积水道砂岩,该盆地获得勘探突破的新兴盆地。

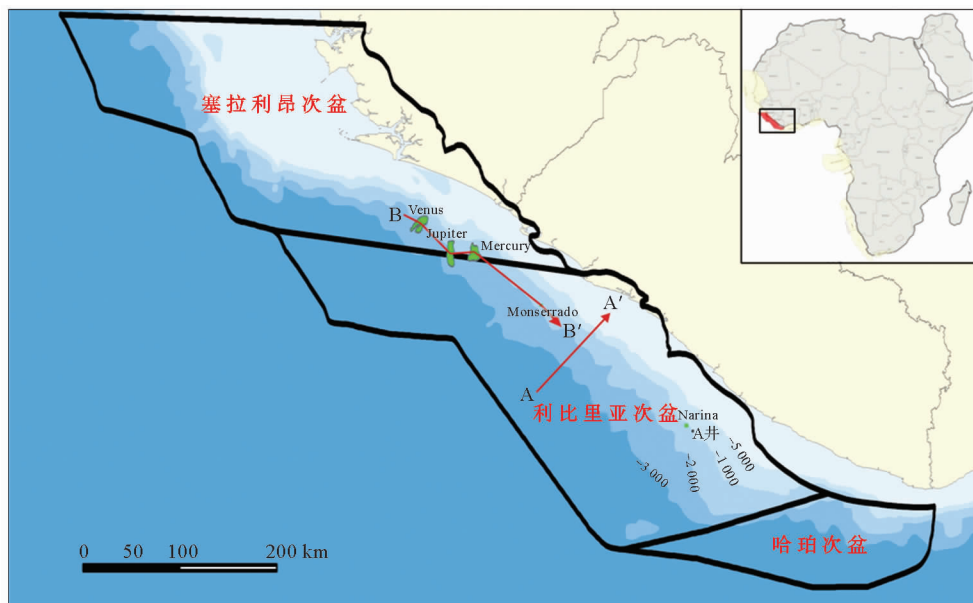


图1 塞拉利昂—利比里亚盆地位置

Fig. 1 Location map of Sierra Leone-Liberia Basin

2 构造演化及沉积充填

塞拉利昂—利比里亚盆地形成于早白垩世,伴随着大西洋的裂开而形成。盆地构造演化主要经历了2个阶段:裂陷阶段(早白垩世纽考姆期—阿尔比期)和漂移阶段(晚白垩世赛诺曼期—现今),盆地具有典型的双层结构特征(图2、3)。

(1)裂陷阶段 侏罗纪末期,冈瓦纳大陆开始裂解,非洲板块和南美洲板块分离,受东西向拉张作用控制,两个板块之间形成了一系列的裂谷盆地群^[5,6]。塞拉利昂—利比里亚盆地隶属于该裂谷盆地群,盆地在早白垩世纽考姆期—阿尔比期发生强烈裂陷作用,构造活动强烈,由于断裂作用造成盆地差异沉降,形成了“坳隆相间”的构造格局,这一时期盆地主要以湖泊相、河流相沉积充填为主,岩性主要为砂泥岩组合,相比南部刚果等盆地,塞拉利昂—利比里亚盆地裂陷末期不发育盐岩。裂陷期沉积地层厚度为1 000~4 200 m,浅水陆架区钻井揭示裂陷期下白垩统地层厚

度达2 500 m。

(2)漂移阶段 早白垩世阿尔比末期,非洲板块和南美洲彻底分离,洋壳产生,南北大西洋贯通,海水进入盆地,塞拉利昂—利比里亚盆地等西非海岸盆地进入热沉降阶段,该时期构造活动变弱,断裂不发育,广泛发育海相沉积,主要以陆架边缘三角洲沉积、深水重力流沉积、深海相泥页岩沉积为主,由于缺乏盐岩和大套泥岩等塑性地层,漂移期地层构造不发育,整体上呈向海倾斜的单斜,漂移期地层横向分布稳定,厚度为3 200~4 300 m。

3 漂移期岩性油气藏成藏特征

3.1 赛诺曼—土伦阶海相烃源岩是漂移期岩性油气藏的成藏基础

通过对已发现的5个岩性油气藏的油气来源分析,上白垩统赛诺曼—土伦阶海相烃源岩是塞拉利昂—利比里亚盆地漂移期岩性油气藏的主力

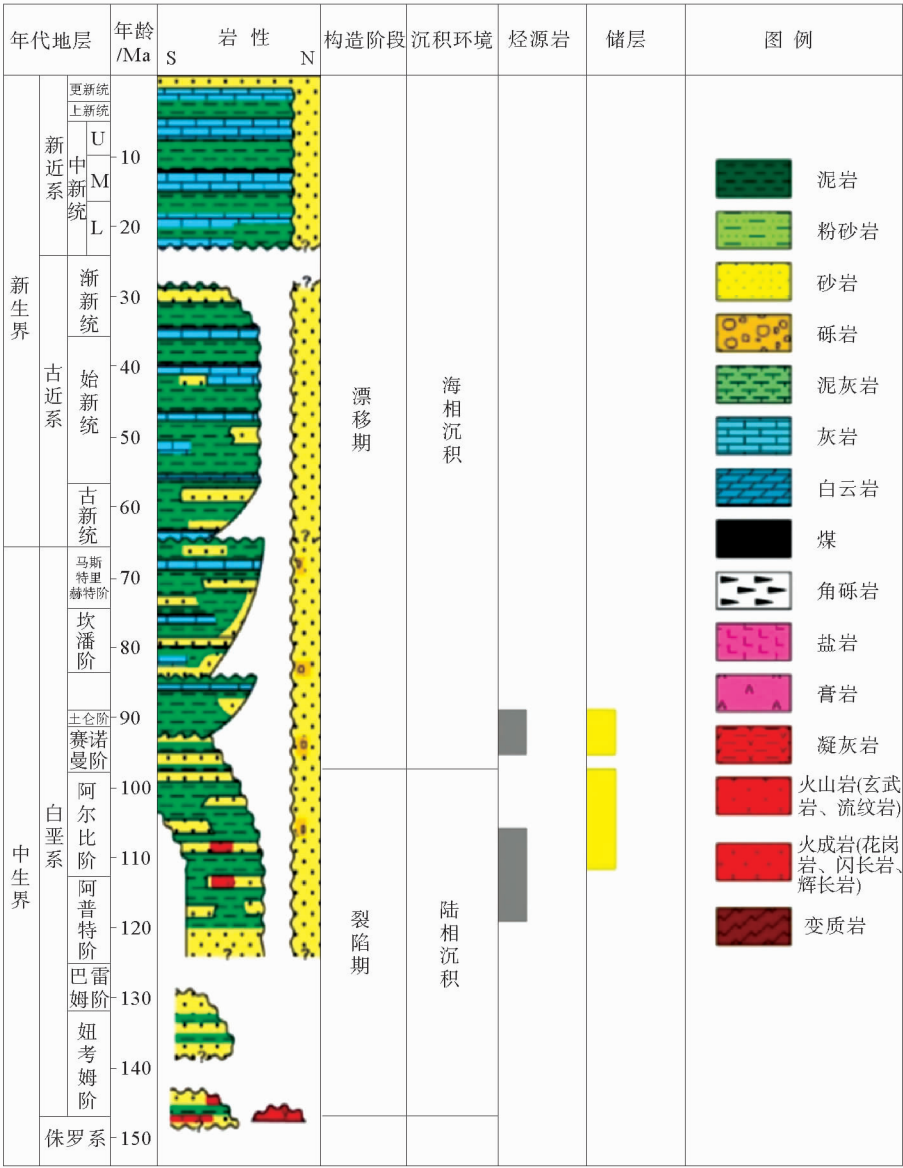


图 2 塞拉利昂—利比里亚盆地构造演化阶段图

Fig. 2 The tectonic evolution of Sierra Leone-Liberia Basin

烃源岩。赛诺曼—土伦阶海相烃源岩沿大西洋两岸盆地广泛分布^[7,8],晚白垩世赛诺曼—土伦期,受大西洋南部威尔维斯脊的遮挡,大西洋形成局限的海湾环境,且该时期大西洋发生缺氧事件,这为赛诺曼—土伦阶优质海相烃源岩的形成提供了良好的古地理环境。

烃源岩是油气生成的物质基础,其质量和发育规模决定了一个盆地的勘探潜力。塞拉利昂—利比里亚盆地内深水区长口钻井揭示赛诺曼—土

伦阶发育优质的海相烃源岩,岩性为海相泥页岩,烃源岩地化指标优越,TOC 为 2.19%~3.83%,平均为 3.0%,HI 为 336~424 mg TOC/g Rock,平均为 389.3 mg TOC/g Rock,干酪根类型以 II₁ 为主,主要以生油为主(图 4)。从深水区长 Monserrado-1 井揭示烃源岩 Ro 来看,烃源岩 Ro 与埋藏深度具有较好的对数关系,烃源岩的门限深度约为 2 800 m(Ro 为 0.7%),这与西非沿岸其他盆地的烃源岩门限深度类似(图 5)。

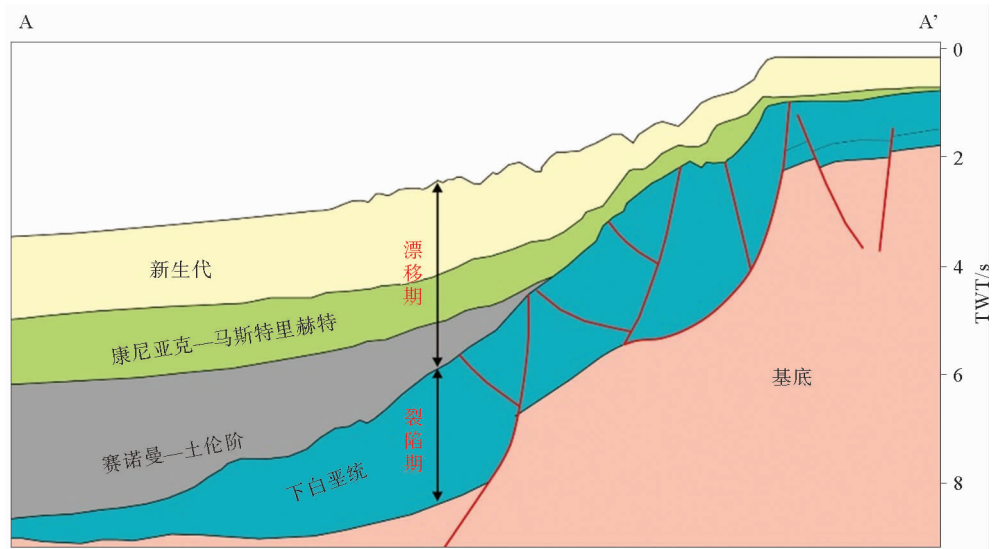


图 3 塞拉利昂—利比里亚盆地典型地质剖面

Fig. 3 Typical geological profile in Sierra Leone-Liberia Basin

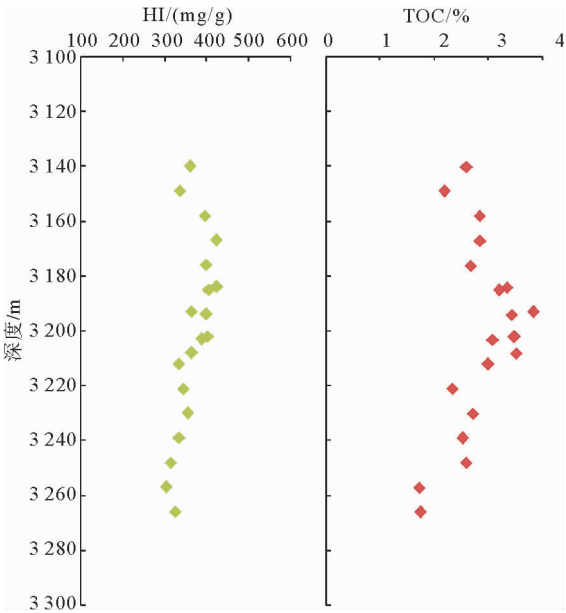


图 4 塞拉利昂—利比里亚盆地 A 井
赛诺曼—土伦阶烃源岩特征

Fig. 4 Characteristics of Cenomanian-Turonian source
rock of well A in Sierra Leone-Liberia Basin

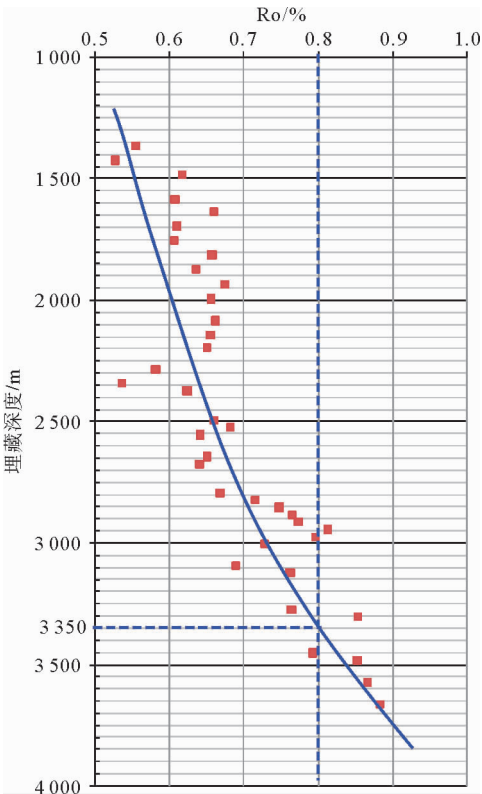


图 5 Monserrado-1 井 Ro 与埋藏随深度的关系

Fig. 5 Variation of the source rock Ro of well
Monserrado-1 with depth

3.2 深水沉积体是岩性油气藏成藏的关键

深水沉积体是塞拉利昂—利比里亚盆地岩性油气藏的储层和圈闭形成必要条件,是油气成藏的关键。

晚白垩世以后,盆地进入了漂移期,该时期以

海相沉积为主,盆地深水区的上白垩统广泛发育深水沉积体,为典型的重力流沉积,其沉积类型可进一步细分为深水水道、深水扇等,该种沉积体可

形成良好的砂岩沉积储层。勘探证实,盆地内钻井揭示陆坡位置的深水区上白垩统地广泛发育大型深水水道沉积体,地震相表现为典型的丘状特征,具有明显的振幅异常,内部具有杂乱构型特

征,砂体横向上分布有限(图 6)。截至到目前,仅在赛诺曼—土伦阶浊积水道砂岩中获得油气发现,且测井解释赛诺曼—土伦阶浊积水道砂岩为典型的高孔高渗优质储层。

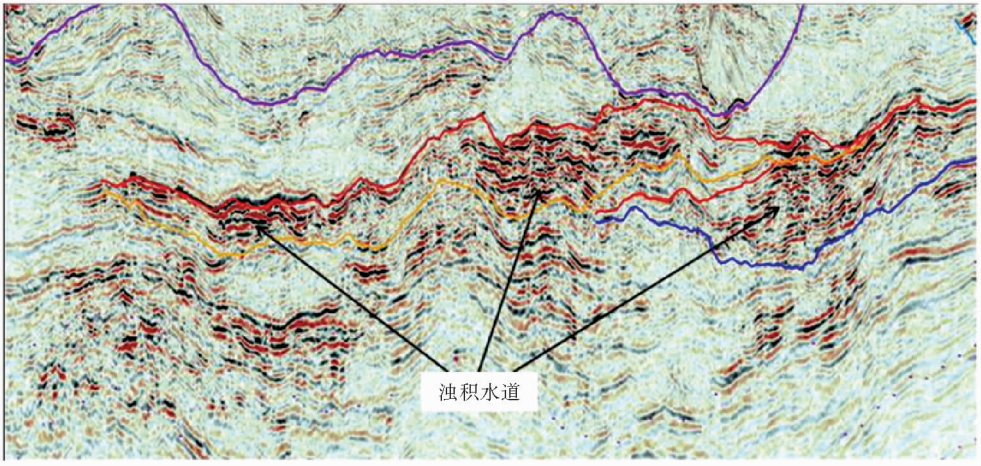


图 6 塞拉利昂—利比里亚盆地深水水道沉积体地震相特征
Fig. 6 Seismic facies of deep-water channel in Sierra Leone-Liberia Basin

与构造圈闭形成机制不同,塞拉利昂—利比里亚盆地岩性圈闭的形成主要依靠岩性或物性的变化。塞拉利昂—利比里亚盆地的深水沉积体形成于单斜构造背景,为海相泥岩沉积环境下形成

的大型岩性体,具有典型的“泥包砂”岩性组合特征,深水岩性圈闭的两侧依靠岩性变化形成泥岩遮挡,上倾方向主要依靠岩性尖灭形成遮挡(图 6、7)。

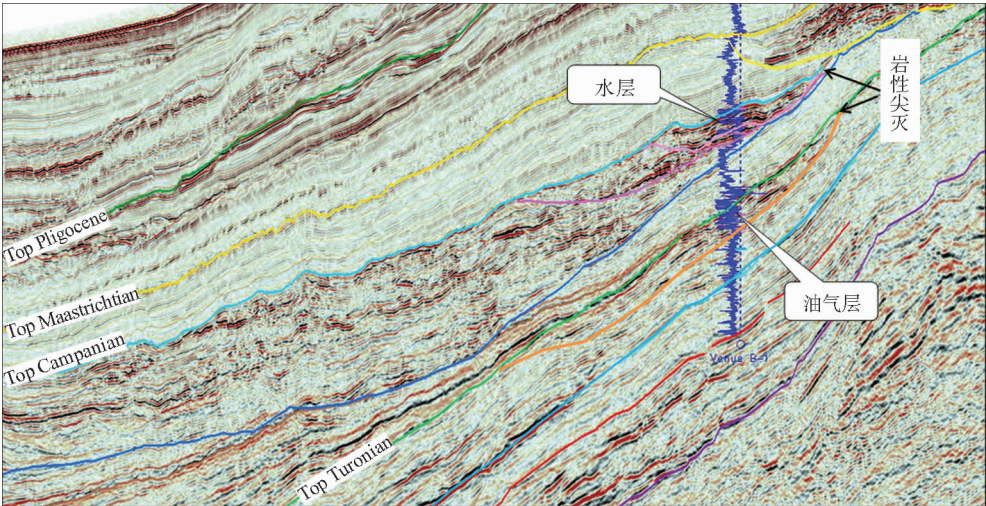


图 7 过 Venus-1 井典型地震剖面
Fig. 7 Typical seismic profile across Well Venus-1

3.3 油气运移控制了岩性油气藏的成藏模式

成熟烃源岩生成的油气只有运移到圈闭中才能聚集成藏,油气运移控制了盆地漂移期岩性油

气藏的成藏模式。通过对盆地内 Venus、Jupiter 等 5 个油气田的解剖,深水区漂移期岩性油气藏的成藏模式为典型的自生自储型,储层为赛诺曼阶—土伦阶深水浊积砂岩,油气来源于赛诺曼

阶—土伦阶海相烃源岩(图 8),由于盆地漂移期构造活动弱,断裂不发育,缺少油源断裂,限制了油气垂向运移,故赛诺曼—土伦阶成熟烃源岩生成的油气只能运移到烃源岩层内的岩性圈闭中聚集成藏,难以向上运移到上部坎潘阶岩性圈闭,多

口钻井揭示上部坎潘阶虽然发育大型的沉积体,但均为水层,无任何油气发现(图 7)。

因此,对于该盆地深水岩性油气藏来说,寻找赛诺曼—土伦阶烃源岩灶内大型沉积体是未来油气勘探的重要方向。

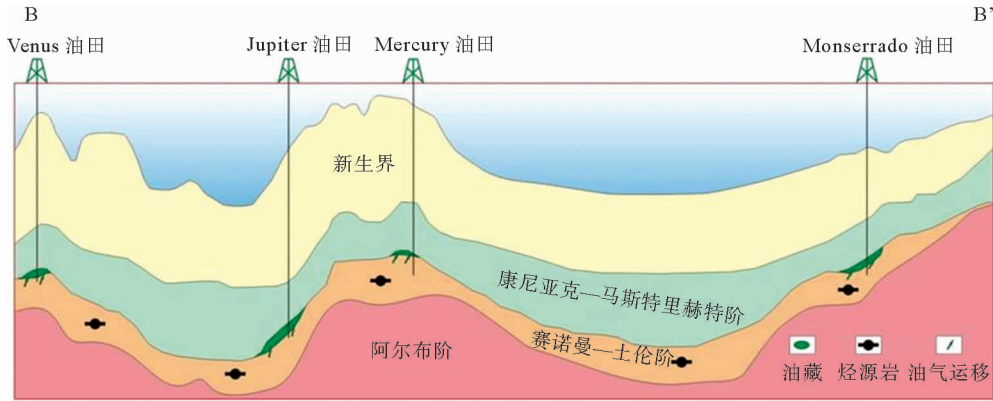


图 8 塞拉利昂—利比里亚盆地漂移期岩性油气藏成藏模式

Fig. 8 The accumulation model of lithologic reservoir in Sierra Leone-Liberia Basin

4 结论

(1)塞拉利昂—利比里亚盆地经历了裂陷期、漂移期 2 个演化阶段,早白垩世裂陷期构造活动强烈,以陆相沉积为主;晚白垩世—至今的漂移期构造活动弱,以海相沉积为主。

(2)赛诺曼—土伦阶海相烃源岩是漂移期岩性油气藏的主力烃源岩,是油气成藏基础,该套烃源岩地化指标优越,烃源岩的生烃门限约为 2 800 m。

(3)漂移期广泛发育大型深水沉积体,深水沉积体是漂移期储层和岩性圈闭形成的关键。

(4)油气运移控制了岩性油气藏的成藏模式。由于漂移期地层缺少油源断裂,成熟烃源岩生成的油气只能运移至烃源岩层内的岩性圈闭中聚集成藏,形成自生自储的油气成藏模式,因此,寻找赛诺曼—土伦阶烃源岩灶内大型沉积体是盆地未来深水岩性油气勘探的重要方向。

参考文献:

[1] U. S. Department of the Interior, U. S. Geological Survey.

Geology and Total Petroleum Systems of the Gulf of Guinea Province of West Africa Geology. U. S. [C] // Geological Survey Bulletin, 2207-C:1-30.

[2] 刘祚冬,李江海. 西非被动大陆边缘含油气盐盆地构造背景及油气地质特征分析[J]. 海相油气地质,2009,14(3):46-52.

[3] 张光亚,温志新,梁英波,等. 全球被动陆缘盆地构造沉积与油气成藏:以南大西洋周缘盆地为例[J]. 地学前缘,2014,21(3):18-25.

[4] 熊利平,王 骏,殷进垠. 西非构造演化及其对油气成藏的控制作用[J]. 石油与天然气地质,2005,26(5):641-646.

[5] Gasperini L, Bernoulli D, Bonatti E, et al. Lower Cretaceous to Eocene sedimentary transverse ridge at the Romanche Fracture Zone and the opening of the equatorial Atlantic[J]. Marine Geology, 2001, 176: 101-119.

[6] Moulin M, Aslanian D, Unternehr P. A new starting point for the South and Equatorial Atlantic Ocean[J]. Earth Science Reviews,2010,98:1-37.

[7] 秦雁群,张光亚,巴 丹,等. 转换型被动陆缘盆地地质特征与深水油气聚集规律:以赤道大西洋西非边缘盆地群为例[J]. 地学前缘,2016,23(1):229-239.

[8] Kakil C, d'Almeida G A F, Yalol N, et al. Geology and petroleum systems of the offshore Benin Basin (Benin)[J]. Oil & Gas Science and Technology,2012,38:1-12.

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF OIL AND GAS ACCUMULATIONS IN THE SIERRA SIERRA LEONE-LIBERIA BASIN, WEST AFRICA

KONG Lingwu, ZHAO Hongyan, ZHAO Jiaqi, CHEN Liang, YU Yingmei, LI Renyuan
(CNOOC Research Institute, Beijing 100028, China)

Abstract: With reference to the tectonic evolution of the Atlantic, we studied the oil and gas geological characteristics of the Sierra Leone-Liberia Basin. Results show that the Sierra Leone-Liberia Basin has experienced two stages of tectonic evolution, i. e. the rifting stage and drifting stage. Hydrocarbon is mainly accumulated in the lithologic reservoirs formed during the drifting stage. A hydrocarbon accumulation model is then established for clarification of exploration directions based upon the above observation. During the Early Cretaceous of the rifting stage, tectonic activity was strong in the basin and thus the basin was dominated by continental deposits, while during the Late Cretaceous to present of the drifting stage, tectonic activity was weak and marine sediments dominated. The Cenomanian-Turonian marine source rock is the major source of the lithologically trapped oil and gas resources. Large-scale deep-water sediment bodies, which are critical important to the formation of oil and gas reservoirs and lithologic traps, are widely formed during the drifting stage. The hydrocarbon generated in the matured Cenomanian-Turonian source rock has no way but migrating into the lithologic trap within the source rock sequence itself to form a kind of self-generated and self-accumulated oil and gas reservoirs since tectonic movement was weak and there was lacking of fractures. To look for large-scale deep-water sediment bodies in the source kitchen is one of the important exploration directions in the future in deepwater areas.

Key words: tectonic evolution; source rock; deep-water sediment bodies; accumulation model; lithologic reservoirs; exploration direction