

文章编号:1009-2722(2014)01-0041-07

赤道几内亚里奥穆尼盆地构造演化特征及油气勘探前景

傅志飞,姜雄鹰,肖莹,王光涛,李春雷,张伟

(中海油田服务股份有限公司物探事业部数据理解释中心,天津 300451)

摘要:应用盆地原形分析、区域地震资料解释和石油地质综合分析等方法,探讨了赤道几内亚里奥穆尼盆地构造演化和成藏条件。研究表明,该盆地构造演化经历了裂谷、过渡—漂移和裂后被动大陆边缘 3 个阶段,主要充填了中新世沉积地层,中生界白垩系主要发育 2 套烃源岩,为裂谷期的湖相泥页岩和过渡—早期漂移期的海相泥页岩,已发现的油气主要储集在上白垩统浊积砂体。盐构造和重力滑动构造是油气成藏的主控因素,在区域上,油气主要分布在盆地的中带,该带勘探程度低,成藏条件优越,是油气聚集的有利场所,尤其盐构造与重力滑动构造区具有较大油气勘探潜力。

关键词:构造演化;重力滑动;成藏组合;油气分布;勘探前景;里奥穆尼盆地

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

赤道几内亚里奥穆尼盆地位于西非赤道几内亚海域,是西非深水油气勘探的热点地区之一,盆地主体部分位于海上,呈 NNE 向展布,北与杜阿拉盆地相邻,南接加蓬海岸盆地,东到前寒武系基底,盆地总面积为 $2 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图 1)。里奥穆尼盆地是中生界大陆裂谷盆地与新生界被动大陆边缘盆地的叠合,与巴西 Campos 盆地在南大西洋两岸遥相呼应,2 个盆地在裂谷时期具有相似的构造和沉积演化背景。巴西东海岸的 Campos 盆地已发现 12 个大油气田,石油可采储量 161.6×10^8 桶,天然气可采储量 $80\,784 \times 10^8 \text{ ft}^3$,总计油当量 174.6×10^8 桶^[2],成为巴西近海发现油气最多的盆地。截至 2009 年底,里奥穆尼盆地共发现油气田 13 个,油气可采概算储量共约 6.73×10^8 桶油当量^[3],表明盆地具有较大的资源潜力,必将成为中国石油公司谋取海外油气探矿权的重

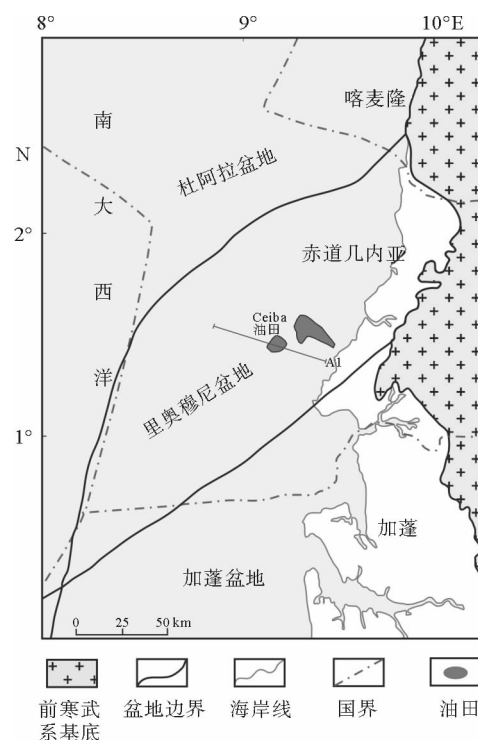


图 1 盆地构造位置(据文献[1]修改)

Fig. 1 Tectonic location (modified from reference [1])

收稿日期:2013-10-14

基金项目:国家科技重大专项(2008ZX05030)

作者简介:傅志飞(1968—),高级工程师,主要从事地震资料解释和地质综合研究工作。E-mail: fuzhf@cosl.com.cn

点地区。本文以公开发表的文献和咨询公司数据库资料为基础,通过深入开展地震资料综合解释和地质综合研究,应用盆地原形分析技术和石油地质综合研究方法,分析总结了该盆地的构造沉积演化特征、油气成藏主控因素和油气勘探有利区带,旨在为我国石油公司参与该盆地油气勘探提供有价值的参考。

1 盆地演化特征

1.1 区域地质背景

非洲西海岸大陆边缘自早寒武世冈瓦纳大陆形成后,总体上属于稳定的克拉通内部。在中生代白垩纪早期,南美与非洲板块结合部(冈瓦纳大陆西部)开始了裂谷演化阶段,形成了巴西东海岸和西非一系列含盐岩的被动大陆边缘沉积盆地的雏形。随着大陆裂谷的进一步演化,南美洲与非洲分开,在不断扩张过程中形成了南大西洋^[4-6]。在这种构造背景下,开始形成了非洲西部被动大

陆边缘盆地群,北部主要包括阿尤恩—塔尔法亚盆地和塞内加尔盆地;中部主要包括尼日尔三角洲盆地、加蓬盆地、下刚果盆地、里奥穆尼盆地和宽扎盆地;南部主要包括纳米比亚盆地和西南非海岸盆地,盆地间一般以构造隆起相互分隔。盆地群中部的盆地油气最为丰富,里奥穆尼盆地位于盆地群的中部。

1.2 盆地构造演化

南大西洋张开影响盆地的演化,在三叠纪时期,泛大陆陆内开始出现裂谷,晚侏罗世—早白垩世尼欧克姆期,裂谷作用导致南大西洋洋盆从南到北开始扩张,造成南美与非洲大陆逐渐分离,至阿普特期南大西洋洋壳增生结束,这标志着南美东岸以及非洲西岸被动陆缘的最终形成^[7]。

根据地震资料最新研究成果,结合盆地岩相古地理和地层沉积特征等分析认为,里奥穆尼盆地与 Campos 盆地演化特征相类似^[8],同样也经历了内克拉通裂谷、过渡型—早期漂移和海相被动大陆边缘3个演化阶段(图2、3),主要充填了

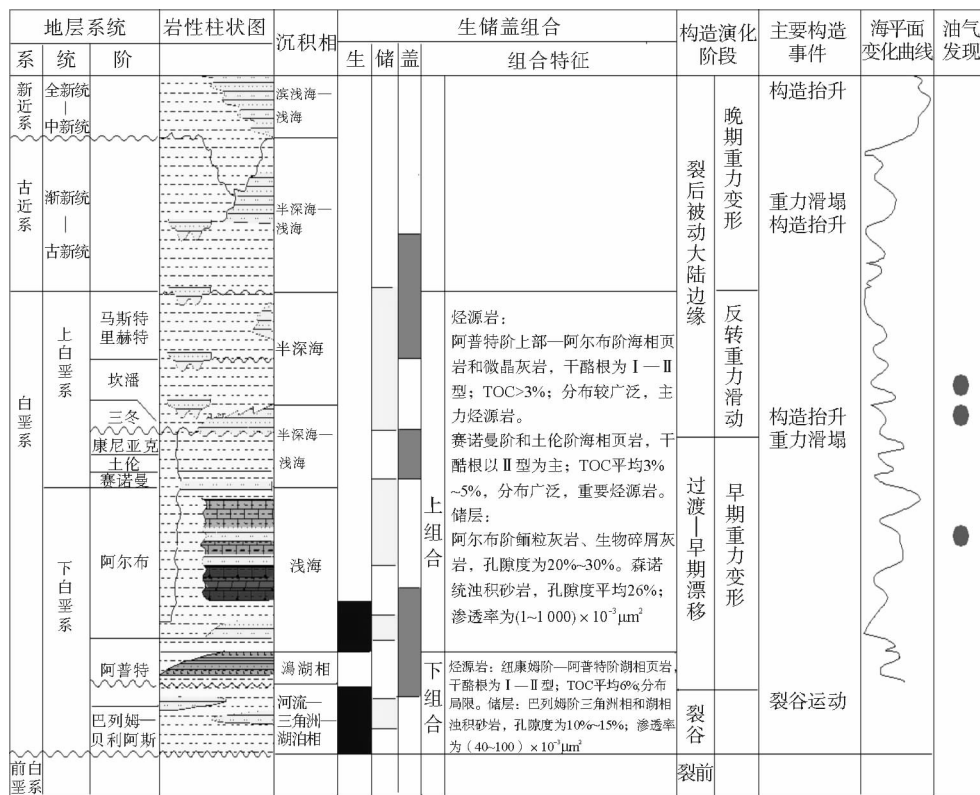


图 2 赤道几内亚里奥穆尼盆地综合柱状图

Fig. 2 An integrated histogram of the Rio Muni Basin, Equatorial Guinea

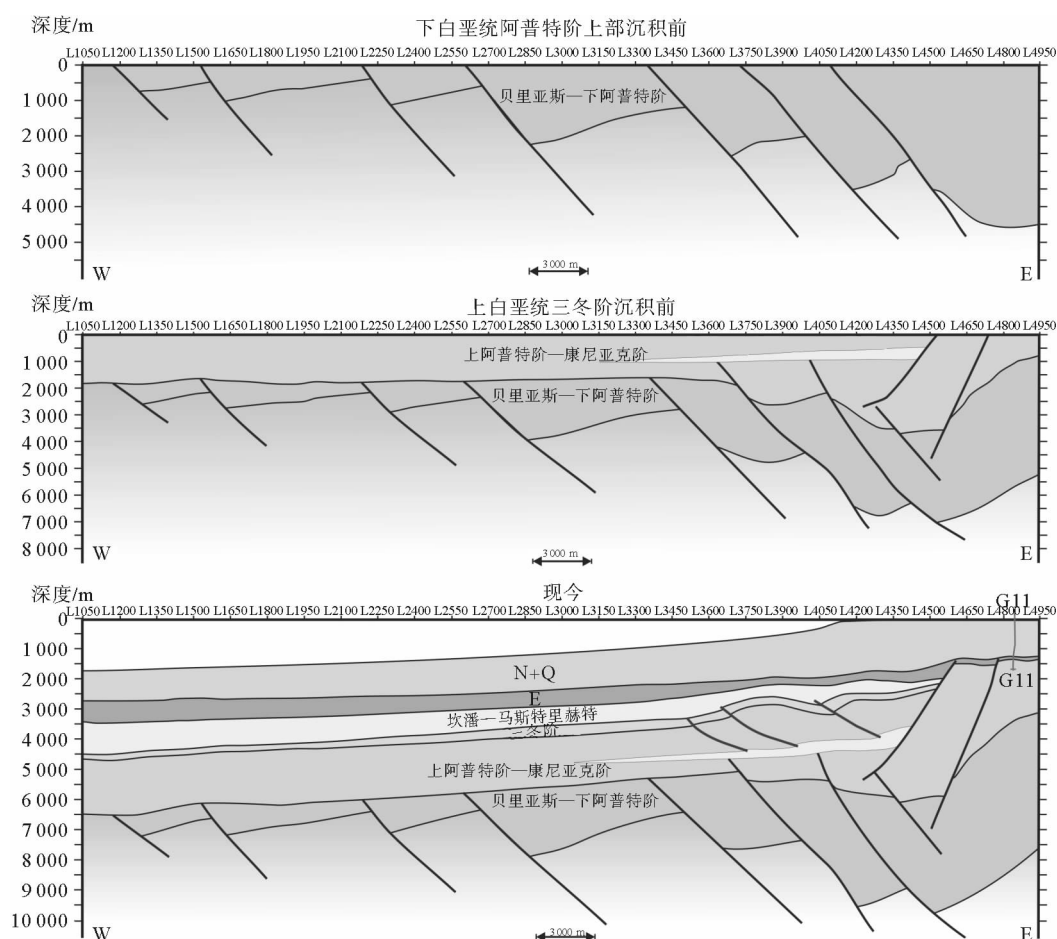


图3 A—A1构造发育剖面

Fig. 3 Tectonic evolutionary section A-A1

湖相及河流三角洲沉积层系、过渡相碳酸盐岩与蒸发岩沉积层系和海相碎屑岩沉积层系。

1.2.1 裂谷演化阶段(早白垩世贝里亚斯—阿普特早期)

早白垩时期拉张裂陷活动从南向北展开,形成NE—SW走向的陆内裂谷体系,构造运动主要以断陷为主,产生了一系列平行于现代海岸线的阶梯状大断层,这些向海倾斜的大断层控制了裂谷时期的沉积。总体上构造特征表现为主动热沉降,形成了多个地堑、半地堑结构的断陷湖盆,充填了典型的非海相沉积层序,主要以湖泊和河流三角洲沉积体系为主,沉降中心主要分布在盆地东部,最大沉积厚度可达4000 m。

1.2.2 过渡—早期漂移阶段(早白垩世阿普特中后期—晚白垩世康尼亚克期)

随着裂陷作用的逐步结束,印度洋海水开始

从南部进入,形成了过渡—早期漂移期与裂谷期之间的海侵型不整合。因受高地温梯度、封闭环境和赤道气候条件等影响,形成了一套分布广泛的阿普特阶蒸发岩,主要以盐岩为主。构造运动以坳陷为主,并伴随大规模的盐构造和重力滑动作用,盐构造与重力滑动构造主要发育在盆地中部,沉降中心主要在盆地的中北部,与裂谷时期沉降中心基本一致,但分布范围明显比裂谷时期大,过渡—早期漂移层序主要以潟湖—浅海—半深海相沉积为主,最大沉积厚度可达4500 m。

1.2.3 被动大陆边缘阶段(晚白垩世三冬期—现今)

晚白垩世三冬期,大陆已经完全分离,总体来说里奥穆尼盆地地势相对比较平坦,水体较浅,主要表现为短水流、近物源的沉积特征,单个沉积砂体规模较小,但砂体比较发育,部分地区泥包砂特

征明显,主要为滨浅海—浅海—半深海相沉积,存在多个沉降中心,主要位于盆地东部。到了坎潘期,盆地开始西倾,海水逐渐加深,主要为半深海沉积环境,浊积岩砂体相对比较发育,砂体规模比较大,到了马斯特里赫特后期,因构造抬升和重力滑动等影响,海水开始变浅。新生代古近纪前期主要为浅海—半深海沉积环境,地层沉积特征为西厚东薄,随着陆架的进一步抬升,掀斜运动持续进行,盆地不断向海迁移,重力滑动构造也逐步向海迁移。在渐新世末区域抬升的作用下,在盆地中东部形成了一系列小型铲式重力滑动伸展正断裂。中新世以后,盆地构造环境非常稳定,地层仍以单斜为主,没有发生明显的构造运动,一直延续到现在。

1.3 重力滑动构造

在成因机制上,由于重力不稳和密度不均,致使垂直运动破坏了平衡,产生了势能,水平运动创造了新的平衡,释放了势能,在重力势能降低的过程中产生的地质体变形构造,称为重力构造。当重力构造中滑动地质体在一定滑脱面上沿侧向滑动而形成的构造,则成为重力滑动构造。尽管重力滑动构造的类型很多,表现的构造特征也不完全相同,但作为一种构造类型,一般主要由下伏系统、滑动面、润滑层、滑动系统和外缘推挤带 5 个要素组成^[9](图 4)。重力滑动构造可以发生在各种构造环境中,只要存在位势差和重力不稳,就有重力滑动形成的先决条件,重力滑动构造可分为掀斜断块、褶皱逆冲、穹隆和块体隆升 4 种成因类型^[10]。

根据构造成因及结构特征可将西非被动大陆边缘重力滑动构造划分为重力滑动伸展构造、重

力滑动底辟构造和重力滑动逆冲构造。横向主要分为重力滑动伸展构造区、重力滑动底辟构造区和重力滑动逆冲构造区 3 个区带,纵向上分为 2 层,每层都有 1 个顶板,分别为裂谷期的非海相地层和重力滑动构造体系的海相地层,形成了现今“纵向分层段、横向分区带”的构造格局^[11]。里奥穆尼盆地重力滑动构造体系,主要由重力滑动伸展构造和重力滑动逆冲构造及零星发育的重力滑动底辟构造组成^[12],盆地在中生代发生 2 次重要的重力滑动作用,第 1 次重力滑动作用主要是由块体隆升运动而产生,第 2 次主要由褶皱逆冲产生,这 2 次重力滑动对盆地油气的聚集与成藏有非常重要的作用(图 5)。

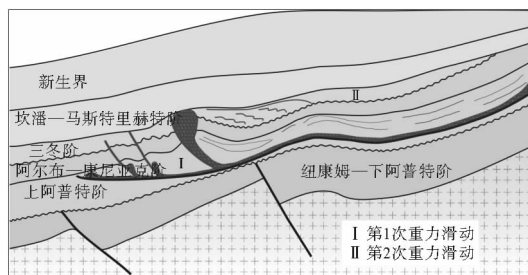


图 5 里奥穆尼盆地重力滑动模式

Fig. 5 A gravity sliding model of the Rio Muni Basin

1.3.1 早白垩世阿尔布期重力滑动

在阿尔布后期由于块体升降运动,导致重力不稳和密度不均,发生大规模的重力滑动运动,奠定里奥穆尼盆地东西分带的构造格局,盆地自东向西分为内带、中带和外带,其中中带主要为盐构造和重力滑动构造区,为盆地油气最活跃的地区。

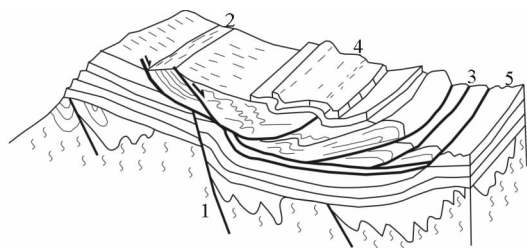
1.3.2 晚白垩世三冬—马斯特里赫特期重力滑动

进入三冬期后,由于盆地开始向西倾斜,发生二次重力滑动运动,主要发生在三冬期地层内部,同时形成逆冲构造和反转构造等重要的构造类型,这些构造区的沉积相带比较好,构造背景有利,为油气聚集提供了重要的场所。

2 油气地质条件

2.1 生储盖特征

盆地原型对油气藏形成有重要的控制作用,不同盆地原型形成了独特的构造沉积体系,也决



1 下伏系统; 2 润滑层; 3 滑动面; 4 滑动系统; 5 外缘推挤带

图 4 重力滑动构造要素(据文献[9])

Fig. 4 Structural elements of a gravity sliding structure (from reference [9])

定了其生储盖等含油气条件^[13]。因此,在确定里奥穆尼盆地成盆演化史及古沉积环境的基础上,紧密结合勘探开发研究的最新成果,进一步剖析里奥穆尼盆地不同沉积体系对油气藏形成的控制作用。

在西非中南部盆地群,盐下储层主要为碎屑岩,盐上储层为阿尔布阶碳酸盐岩和阿尔布阶—中新统碎屑岩,为湖相与河流三角洲砂岩。古近系—新近系浊积砂体主要发育于下刚果盆地深水区,近年来下刚果盆地主要的油气大发现便集中于渐新统一中新统浊积岩储层中,尼日尔三角洲储层主要为古近系—新近系砂岩,与互层的页岩形成良好的储盖组合。

里奥穆尼盆地主要发育2套烃源岩,第1套是裂谷期湖相泥页岩,TOC $\geq 5\%$,为I、II型干酪根,大部分烃源岩已经进入高成熟阶段,但分布局限;第2套是过渡—早期漂移期海相泥页岩,TOC $\geq 3\%$,为I、II型干酪根,烃源岩广泛分布,是盆地的主力烃源岩。研究表明,2套烃源岩的生烃中心均在盆地的中东部。

盆地主要储层为砂岩和碳酸盐岩,其中上白垩统三冬阶、坎潘阶和马斯特里赫特阶浊积岩是已发现油气的主要产层,下白垩统阿尔必阶碳酸盐岩及碎屑岩是潜在储层,而下白垩统巴列姆阶三角洲和湖相砂岩是有利储层。已有钻井资料分析表明:三冬阶砂岩比坎潘阶发育,主要特征为砂包泥,为浅海—半深海沉积环境,但单个砂体规模较小,横向连通性较差;而坎潘阶主要为泥包砂特征,为半深海沉积环境,单个砂体规模较大,横向连通性较好,总体上坎潘阶砂岩物性要好于三冬阶砂岩。

盆地主要发育2套区域性盖层,第1套为下白垩统阿普第阶盐岩、上阿普第阶和阿尔比阶的海相泥页岩,该套地层在全区内分布稳定,为裂谷期油气成藏最重要的区域性盖层;第2套为上白垩统马斯特里赫特阶和古近系底部的海相泥页岩,大部分钻井资料已经揭示该套盖层,地层厚度大,分布稳定,是全区重要的区域性盖层,在这套区域盖层之下,局部盖层才能在油气成藏中发挥重要作用,比如G13含油构造的主要盖层为坎潘泥岩(局部盖层)。

2.2 油气成藏组合

油气藏的形成与分布主要受油源、储层、区域盖层和有效圈闭4个要素控制,油源充足取决于优质的烃源岩,而烃源岩、区域储层和盖层受控于沉积相带和成岩作用,圈闭的形成主要取决于地层年代应力场和后期构造运动。一套具有共同成藏条件的层系即为成藏组合,是油气勘探商业评价的基本单元^[13]。南大西洋两岸被动大陆边缘盆地在南大西洋的张裂和持续的漂移作用下,具有相同的区域构造演化背景,两侧盆地在构造、沉积和含油气性方面大多经历了相似的演化史,但南大西洋裂开的不对称性和不平衡性,致使两侧盆地的发育及含油气性又存在一定的差异,总体上看大部分盆地均发育盐下和盐上含油气系统^[14]。

里奥穆尼盆地自下而上可分为3套成藏组合,第1套为裂谷期成藏组合,早白垩世贝里亚斯—阿普特早期是湖盆发育的鼎盛时期,形成多个沉积和沉降中心,主要充填河流、湖泊和三角洲沉积层系,发育较好的烃源岩、储层和盖层,形成有利成藏组合,是盆地主要成藏组合;第2套为过渡—早期漂移期成藏组合,早白垩世阿普特中后期—晚白垩世康尼亚克期,裂谷活动期基本结束,属于坳陷沉积期,盐构造与重力滑动构造比较活跃,为潟湖、浅海到半深海沉积,发育区内重要烃源岩,海相砂岩与碳酸盐岩可作为较好储层,形成重要成藏组合;第3套为漂移后期成藏组合,晚白垩世三冬期进入被动大陆边缘演化阶段,主要充填浅海—半深海沉积层系,浊积岩砂体比较发育,马斯特里赫特阶发育的海相泥岩为盆地的区域性盖层,二次滑动产生的断层为沟通下伏烃源岩提供有利通道,形成有利油气储盖组合,目前盆地发现的主要油气绝大多数属于该套成藏组合。

2.3 油气成藏主控因素

南大西洋两岸中部盆地裂谷发育良好,向南次之,而北部发育较差,盆地演化的这种差异性,决定南大西洋两侧或同一侧不同盆地油气分布特征及成藏主控因素存在差异性。里奥穆尼盆地主要发育多个生烃中心,对盆地油气分布具有明显的控制作用,发育盐构造和重力滑动构造形成多

种类型圈闭,其伴生的断层是沟通下部主力烃源岩与上部浊积岩储层的重要通道,因此,盐构造和重力滑动构造对油气藏的形成与分布具有直接的控制作用。

含盐盆地的石油地质特征有较大的相似性,裂谷阶段和过渡—早期漂移阶段普遍发育富有机质烃源岩,过渡阶段局限环境中形成大面积的阿普特晚期的蒸发盐层,对油气在垂向上分布有一定控制作用,有利于裂谷期油气成藏。发育的盐岩层为重力滑动构造提供良好润滑层和主要滑动面,在重力滑动过程中产生大量的生长断层,使大量油气向上运移并富集成藏。早期漂移阶段发育的海相页岩是盐上主要烃源岩,基底剥蚀的下白垩统非海相砂岩、过渡型席状砂岩和古近—新近纪深水浊积扇是优质储层,可形成有利圈闭,比如重力滑动作用形成构造圈闭、盐底辟和一些岩性圈闭等。这些有利成藏条件相匹配,形成的油田规模巨大、储层物性好^[14],现今发现的油气田主要集中在盐上层序中。

3 勘探潜力与有利区带

在研究区域构造演化背景基础上,整体认识油气富集成藏规律非常必要。南大西洋洋盆在拉张过程中,由于受板块构造、地幔柱和气候等因素影响,各盆地有利区带存在一定差异^[15]。含盐盆地从构造、沉积相和油气分布上都具有垂向上的分段性,盆地演化受控于石炭纪末泛大陆裂解和随后南大西洋的张裂,勘探证实包括里奥穆尼盆地在内的西非被动大陆边缘盆地油气潜力巨大,已逐步成为重要的油气勘探区。

西非部分盆地存在盐下和盐上含油气系统,在盐下含油气系统中已经获得重要的油气发现。而里奥穆尼盆地勘探程度比较低,虽然已获得一些油气发现,并钻了一定数量的探井,但是大部分井集中在盆地的中带,且钻穿阿普特盐层的探井很少。盐下为盆地演化的裂谷期,发育的非海相泥页岩是盆地最好的烃源岩,烃源岩均已成熟,河流—三角洲沉积砂体是良好储集层,盐岩为盆地中带的区域盖层,总体上石油地质条件较好,具备形成油气藏基础和条件。相邻盆地类似的盐下已发现了油气藏,且成为主力的含油气层系。

由此可见,里奥穆尼盆地中深层勘探潜力较大,尤其是已获得油气发现的盆地中带的盐下裂谷期成藏组合,油气勘探潜力巨大,尽管地处深水区,勘探目的层埋藏也比较深,但随着油气勘探开发技术的快速发展和深水勘探技术的日渐成熟,奥穆尼盆地中深层必将成为该盆地油气勘探的主战场。

4 结论

(1)里奥穆尼盆地主要成盆期是中生代白垩纪,为离散大陆边缘盆地,盆地演化包括裂谷、过渡—早期漂移和裂后被动大陆边缘 3 个阶段。裂谷期主要充填河流、湖泊和三角洲沉积层序,阿普特阶盐岩后主要充填海相沉积层序。

(2)盆地主要发育 2 套烃源岩,裂谷期湖相泥页岩和过渡—漂移期海相泥页岩。裂谷期烃源岩为优质烃源岩,主要分布在盆地的内带和中带;过渡—漂移期烃源岩是盆地的重要烃源岩,全区均有分布,已发现的油气主要围绕 2 套烃源岩生烃中心分布。

(3)油气主要分布在盆地中带,盐构造和重力滑动构造是油气成藏的主控因素,重力滑动作用产生的逆冲构造和反转构造是油气运移的有利指向,也是油气勘探的重点目标区。

(4)因基础资料收集有限,研究有一定局限性,因此,在进行油气勘探时,应继续加强综合研究和评价工作,以最大限度地降低勘探风险,提高海外油气勘探成功率。

参考文献:

- [1] 吕福亮,徐志诚,范国章,等.赤道几内亚盆地石油地质特征及勘探方向[J].海相油气地质,2011,16(1):45-50.
- [2] 温志新,童晓光,张光亚,等.巴西被动大陆边缘盆地群大油气田形成条件[J].西南石油大学学报(自然科学版),2012,34(5):1-9.
- [3] Jonathan P. T. Structure and evolution of an obliquely sheared continental margin: Rio Muni, West Africa[J]. Tectonophysics, 2003, 374:41-55.
- [4] Aslanian D, Moulin M, Olivet J, et al. Brazilian and African passive margins of the central segment of the south Atlantic Ocean: Kinematic constraints[J]. Tectonophysics, 2009, 468:90-125.
- [5] Binks R M, Fairhead J D. A plate tectonic setting for Meso-

- zoic rifts of west and central Africa[J]. Tectonophysics, 1992, 213:141-151.
- [6] Brito Neves B B de. Main stages of the development of the sedimentary basins of south America and their relationship with the tectonics of supercontinents[J]. Gondwana Research, 2002, 5:157-196.
- [7] Uchupi E. The tectonic style of the Atlantic Mesozoic rift system[J]. Journal of African Earth Sciences, 1989, 8(2-4): 143-164.
- [8] 马中振, 谢寅符, 耿长波, 等. 巴西坎波斯盆地石油地质特征与勘探有利区分析[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(5):1 389-1 396.
- [9] 索书田. 重力滑动构造[J]. 地球科学, 1983, 22(3):11-22.
- [10] 李万程. 重力滑动构造的成因类型[J]. 煤田地质与勘探, 1995, 23(1):19-24.
- [11] 吴 婵, 胡望水, 李 涛, 等. 西非里奥姆尼盆地的构造演化及其构造层特征[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2011, 8(2):17-19.
- [12] 李 涛, 胡望水, 胡 芳, 等. 里奥穆尼盆地重力滑脱构造发育特征及演化规律[J]. 石油天然气学报, 2012, 34(4): 1-5.
- [13] 童晓光. 论成藏组合在勘探评价中的意义[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2009, 31(6):1-8.
- [14] 汪伟光, 童晓光, 张亚雄, 等. 南大西洋重点被动大陆边缘盆地油气地质特征对比[J]. 中国石油勘探, 2012, 17(3): 62-69.
- [15] 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.

TECTONIC EVOLUTION AND PETROLEUM EXPLORATION PROSPECT IN RIO MUNI BASIN, EQUATORIAL GUINEA

FU Zhifei, JIANG Xiongying, XIAO Ying, WANG Guangtao, LI Chunlei, ZHANG Wei

(Data processing and interpretation center of Geo-COSL, Binhai New Area, Tianjin 300451, China)

Abstract: Tectonic evolution and reservoir forming conditions of the Rio Muni Basin, Equatorial Guinea are studied in this article using the methods of prototype basin analysis, seismic data interpretation and petroleum geological analysis. The results show that the tectonic evolution of the region can be divided into three stages: rifting, transition-drifting and passive continental margin formation. The basin is mainly filled with Cenozoic and Mesozoic sediments. There are two suites of Cretaceous hydrocarbon source rocks developed: lacustrine argillutite during the rifting stage and marine argillutite during the transition-early drifting stage. Hydrocarbon accumulation is mainly related to salt structure and gravity sliding. Oil and gas are mainly accumulated in the middle zone with excellent reservoir forming conditions, which is low in exploration degree.

Key words: tectonic evolution; gravity sliding; reservoir combination; hydrocarbon distribution; exploration prospect; Rio Muni Basin