

赤道几内亚里奥穆尼盆地石油地质特征及勘探方向

吕福亮, 徐志诚, 范国章, 邵大力, 毛超林

(中国石油杭州地质研究院)

摘要 位于赤道几内亚的里奥穆尼盆地是裂谷盆地与被动大陆边缘盆地叠加的中—新生代复合型含油气盆地。盆地的构造演化经历了裂谷期、过渡期和漂移期三个阶段。盆地地层以过渡期盐岩层为界, 盐下为裂谷期层序, 盐上为漂移期层序。盆地生储盖组合可以划分为上、中、下三套, 中组合最为有利。盐下裂谷期圈闭类型以断块圈闭和背斜圈闭为主, 盐上漂移期以盐构造相关圈闭、地层圈闭和复合圈闭为主。盆地内油气成藏主要受盐构造、重力滑脱构造、断层和储层的控制。盆地中带的最有利勘探区带为盐构造发育区和重力滑脱区, 盆地外带最有利的勘探区带为具有有效油源通道的有利圈闭和有效储层发育区。上白垩统桑托阶—坎佩尼阶—马斯特里赫特阶油积砂岩是盆地当前最现实的勘探目标。

关键词 赤道几内亚; 里奥穆尼盆地; 石油地质特征; 生储盖组合; 油气勘探

中图分类号: TE122.11 **文献标识码**: A

里奥穆尼盆地(Rio Muni Basin)位于西非赤道几内亚沿海, 面积约 $2 \times 10^4 \text{ km}^2$, 主体部分位于海上, 是一个裂谷盆地与被动大陆边缘盆地叠加的中—新生代复合型含油气盆地。盆地北部以卡里比(Kribi)转换断裂带与杜阿拉盆地分界, 南部以阿森松(Ascension)转换断裂带与加蓬海岸盆地分界, 东部为前寒武纪基底, 西部大致以 2 500 m 水深线为界(图 1)。盆地的油气勘探始于 1968 年, 1997 年前以陆上和浅水陆架区的勘探为主, 一直没有大的油气发现。从 1997 年开始进行深水区的勘探, 1999 年在深水区发现了 Ceiba 油田, 最大产能达 12 400 bbl/d。之后, Hess 公司于 2002 年先后发现了 Okume 油田和 G-13 含油气构造。到 2009 年底, 盆地共发现油气田 13 个, 油气可采储量(2P 可采储量)共约 $6.73 \times 10^8 \text{ bbl}$ 油当量^①。里奥穆尼盆地目前已经成为西非油气勘探的热点地区。但是由于盆地进行油气勘探的时间较晚, 且盆地大部分位于海上, 因此到目前为止盆地的勘探程度还较低, 对于盆地整体的石油地质特征还缺乏系统的研究。

本文综合各方面的资料, 对里奥穆尼盆地的地

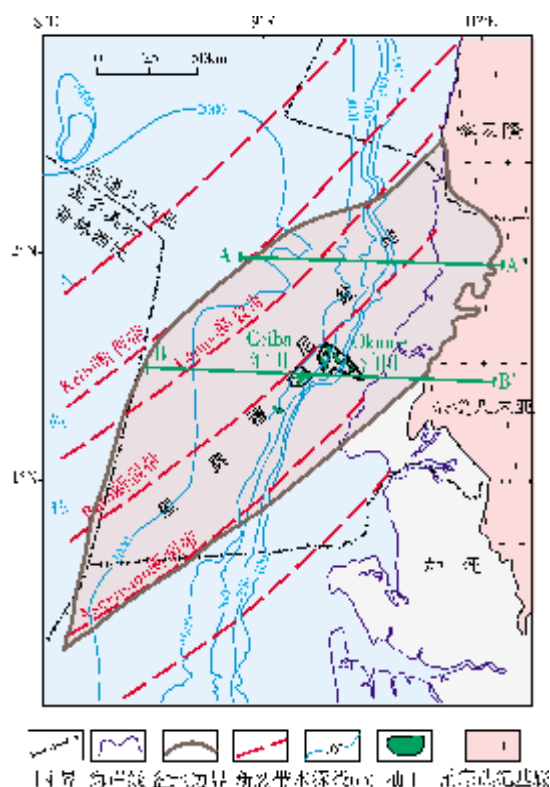


图 1 里奥穆尼盆地位置图(据文献①修改)

收稿日期: 2010-07-23

吕福亮: 1963 年生, 高级工程师, 1989 年中国石油大学(北京)硕士毕业, 主要从事石油地质综合研究工作。通讯地址: 310023 杭州市西溪路 920 号; 电话: (0571)85224985

① IHS. IHS basin monitor-Rio Muni Basin[R]. IHS. 2009.

质背景和石油地质特征进行了研究,并在此基础上提出了油气勘探方向,这对于开拓非洲油气勘探开发新领域、进行区块优选具有重要意义。

1 盆地地质背景

1.1 盆地构造特征及演化

里奥穆尼盆地位于赤道附近、大西洋大陆边缘的主转换带与阿普第盐盆之间,盆地的形成受

控于卡里比和阿森松两条转换断裂带(图1)。这样的构造背景致使里奥穆尼盆地的构造和地层既具有西非被动大陆边缘型特点,又具有几内亚湾北部转换带类型特征^[1-2]。根据里奥穆尼盆地的结构特征,总体上可将其分为三个带:内带、中带和外带。内带从盆地陆上到陆架坡折,为阶地隆起区;中带从陆架坡折到陆壳/洋壳分界线,为重力滑塌区;外带从陆壳/洋壳分界线一直到盆地西部边界,为盆底扇和浊积水道发育区^[3](图2)。

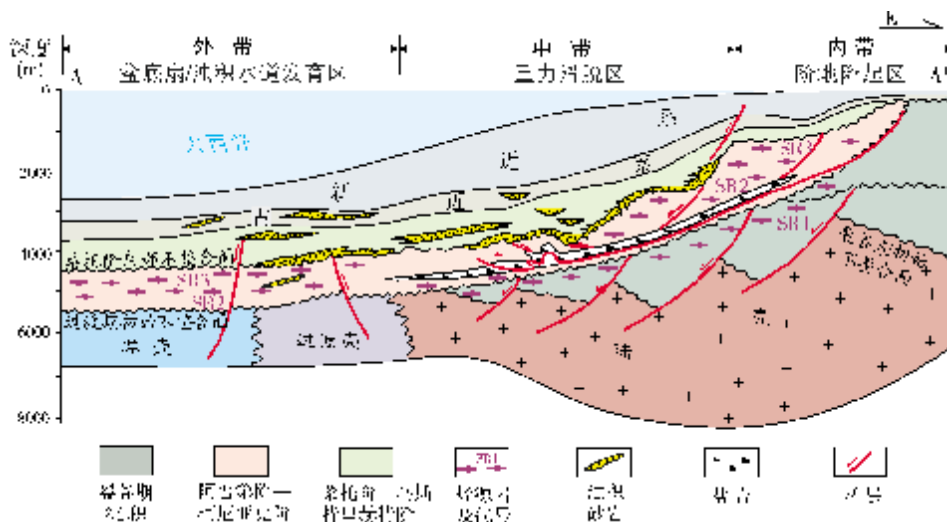


图2 里奥穆尼盆地地质剖面示意图(据文献[3]修改)

A—A'剖面位置见图1

里奥穆尼盆地的形成与中生代以来南大西洋张裂和后期的持续扩张作用有关,是冈瓦纳大陆解体和南大西洋扩张形成的大陆裂谷和被动大陆边缘盆地叠加的复合盆地。盆地的构造演化可分为裂谷期、过渡期和漂移期三个阶段^[4-6](图3)。

裂谷期(早白垩世纽康姆期—阿普第早期) 这一阶段受裂谷作用影响,盆地内产生了一系列平行于现代海岸线的向海倾斜的阶梯状大断层,并形成了基底隆起、半地堑和倾斜断块等构造。

过渡期(早白垩世阿普第中—晚期) 在这一时期西非沿海盆地普遍发育一套蒸发盐岩沉积。在里奥穆尼盆地,它们主要分布于盆地的中带。过渡期盐岩的沉积对盐下和盐上层序均具有重要作用,它们既可以构成盐下储层的良好盖层,又对盐上圈闭的形成具有控制作用。

漂移期(早白垩世阿尔必期—现在) 该阶段的演化可进一步分为早期重力变形阶段(阿尔必期—

柯尼亚克期)、盆地反转和褶皱阶段(晚白垩世桑托期—马斯特里赫特期)和晚期重力变形阶段(古近纪和新近纪)^[6](图3)。从阿尔必期开始,受重力不稳定性及盐层发育的影响,陆架边缘区和陆坡区发育一系列重力变形构造,且其离岸近端(东部)具有旋转断块特点,远端(西部)受盐运动影响常形成盐隆、盐底辟、盐刺穿等构造,Ceiba油田(位于盆地中带)的形成与盐构造有关。从桑托期开始,区域构造运动导致了断层的复活和盆地反转,盆地内沉积地层发生原地褶皱,裂谷期构造也发生反转。从古近纪开始,受区域构造抬升的影响,盆地内发生了晚期重力变形作用^[6-7]。在整个漂移期,受盆地东部构造抬升的影响,陆架坡折和盆地沉降中心逐渐由东向西迁移。

1.2 盆地地层

在里奥穆尼盆地,前白垩纪地层目前仅有极少量

一套, 为下白垩统纽康姆阶—阿普第阶下部烃源岩(SR1); 盐上三套, 由下向上依次为下白垩统阿普第阶上部—阿尔必阶下部烃源岩(SR2)、上白垩统赛诺曼阶—土伦阶烃源岩(SR3)及古新统烃源岩(SR4)(图3)。

SR1 为湖相页岩, 干酪根类型为 I—II 型, TOC 含量平均值为 6%, 从晚白垩世开始生烃, 分布局限。

SR2 为海相页岩和微晶灰岩, 干酪根类型为 I—II 型, TOC 含量平均值大于 3%, 分布广泛, 为主力烃源岩。在桑托阶被剥蚀前, SR2 在盆地中西部的大部分地区已经成熟, 到晚白垩世其热演化程度逐渐升高, 到现今已进入生气阶段。

SR3 为海相页岩, 干酪根类型以 II 型为主, TOC 含量平均为 3%~5%, 分布广泛, 是重要烃源岩。在晚白垩世, 盆地大部分地区 SR3 已进入低熟或成熟阶段。

SR4 为古新统海相页岩, 它是第三系主要烃源岩, 干酪根类型为 II—III 型, TOC 含量平均值为 1%~2%, 总体上还处于未成熟阶段^[3]。

2.2 储层和盖层

里奥穆尼盆地发育盐上和盐下多套储层(图3)。盐上的最主要储层是桑托—坎佩尼—马斯特里赫特阶浊积砂岩, 这是当前的产油层。另外, 阿尔必阶高能碳酸盐岩沉积物(主要包括鲕粒灰岩)及台地内部的硅质碎屑岩也可能构成潜在储层。在下刚果盆地, 阿尔必阶储层是主要储层之一^[4]。此外, 中新统浊积砂岩也可能构成潜在的储层^[8]。盐下潜在的储层主要为裂谷期巴列姆阶三角洲相和湖泊相砂岩。在相邻的加蓬盆地, 巴列姆阶储层是主要储层之一^[9]。

在里奥穆尼盆地, 盖层主要为阿普第阶盐岩和各时期发育的页岩。

2.3 生储盖组合

根据里奥穆尼盆地烃源层、储层及盖层的发育特征, 我们将白垩系—第三系划分为下、中、上三套生储盖组合(图3)。其中, 中组合包括 SR2 和 SR3 两套烃源岩, 储层包括阿尔必阶和桑托阶—坎佩尼阶—马斯特里赫特阶储层, 这套组合在研究区内分布广、保存好, 且近年来发现的油田均位于该组合

内, 因而是目前最具有勘探潜力的一套组合。下组合位于盐层之下, 深度大, 目前钻遇较少, 但从邻区加蓬盆地和下刚果盆地的勘探结果来看, 可以作为潜在的勘探目标。上组合储盖条件良好, 但生油岩成熟度较低, 如果下部油源可以沿断裂往上运移成藏, 也有一定的勘探前景。

2.4 圈闭与运移

盐下裂谷期圈闭类型以断块圈闭和背斜圈闭为主, 而盐上漂移期圈闭类型以盐构造相关圈闭、地层圈闭和复合圈闭为主^[10]。

总体上油气以沿断层的垂向运移为主, 盐下下白垩统油气可以沿盐刺穿构造运移到盐上储层, 也可能沿连通砂体侧向运移; 盐上白垩系油气可能自生自储, 古近系油气可能自生自储或沿断层垂向运移。

2.5 典型油气藏解剖

Ceiba 油田 油田位于盆地中带, 水深 670~800 m, 于 1999 年 10 月发现, 2000 年 11 月投产, 原油可采储量 1.75×10^8 bbl, 天然气可采储量 0.13×10^8 bbl 油当量。油田圈闭类型为盐隆背景上的构造—地层复合圈闭(图4), 圈闭的主体部分为盐底辟造成的中央背斜, 背斜的东北部和西南部被中新统下切谷削截。油田储层为坎佩尼阶浊积水道砂岩, 水道复合体的北东向和南西向被中新统下切谷充填泥岩所遮挡。Ceiba-1 井钻遇总厚为 226 m 的坎佩尼阶砂岩储层, 其中含 90 m 的油层, 储层的顶底深度约 2 240 m(不包括水深); 储层平均孔隙度达 26%, 平均渗透率达 $860 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均含油饱和度达 63%; 该井试油最大流量达 12 400 bbl/d, 为 31°API 原油^[2]。

Okume 油田 油田由 Okume、Oveng 和 Elon 等多个油藏组成, 水深 50~800 m, 主体部分位于盆地中带。油田于 2001 年 6 月发现, 2006 年 12 月投产, 原油可采储量约 3×10^8 bbl, 天然气可采储量约 1×10^8 bbl 油当量。油田圈闭类型为岩性圈闭, 主要储层为坎佩尼阶下切谷充填砂岩, 砂岩孔隙度为 32%~36%。各油田的单个规模不大, 彼此孤立, 单个子油田往往具有多个不统一的油水界面。钻井揭示的油层一般厚约 30~35 m, 油柱高度一般为 100~150 m^①。

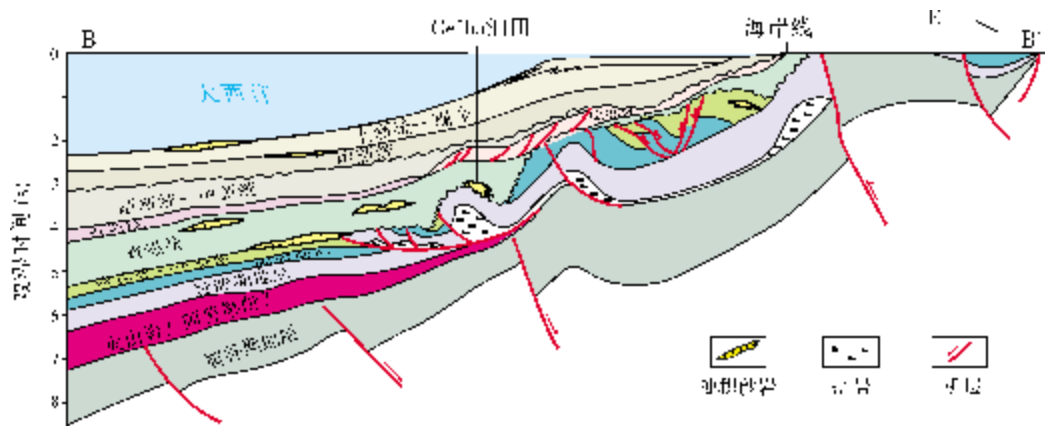


图4 里奥穆尼盆地过 Ceiba 油田地质剖面(据文献[2]修改)

B—B' 剖面位置见图 1

3 油气勘探方向

3.1 成藏主控因素

在里奥穆尼盆地,油气成藏主要受盐构造、重力滑脱构造、断层和储层的控制。

盐构造对油气成藏的控制主要表现为三个方面:首先,对于盐下层,盐层可以作为良好的区域性盖层;其次,对于盐上层,盐运动可以改变上覆地层产状而控制圈闭的形成,每一个盐构造就可能是一个潜在的油气圈闭,如 Ceiba 油田;再次,盐体的运动可以形成盐刺穿构造或产生一些开启的断裂或裂缝为油气运移提供通道。

重力滑脱构造对油气成藏的控制主要表现为两个方面:第一,在陆架边缘和陆坡区,重力滑脱构造与盐构造一起控制了圈闭的形成;第二,重力滑脱产生了一系列断层,为油气运移提供了通道。

断层对油气成藏的控制也表现为两个方面:一是形成各类与断层相关的圈闭;二是为油气运移提供通道。

储层对油气成藏的控制作用主要表现为储层性质及分布特征直接决定了油气藏的分布,如 Okume 油田。在里奥穆尼盆地目前发现的储层主要为浊积砂岩,在这种背景下寻找有效储层发育部位、探明有效储层的分布特征对于油气勘探具有重要意义。

3.2 油气勘探方向

在里奥穆尼盆地的三个带中,内带位于陆上和

陆架区,勘探时间最早,但一直没有大的发现,主要原因一是缺乏储层或储层物性差,二是一些地区缺乏盖层,三是部分地区烃源岩过成熟^[1]。中带位于陆架边缘和陆坡区,盐构造和重力滑脱构造发育,因而圈闭发育状况和油气运移条件良好,再加上三套生储盖组合在中带均有可能发育,因而中带成藏条件最好,目前盆地内发现的油田主要位于中带也证实了这一点。在中带,油气勘探方向主要是寻找盐构造发育区和重力滑脱区。在盆地外带,盐构造趋于消亡,圈闭类型以岩性圈闭、地层圈闭、披覆背斜和断背斜为主,储层主要为浊积砂岩,油源主要通过深大断裂向上运移,因此外带的勘探方向主要是寻找具有有效油源通道的有利圈闭和有效储层发育区。

根据里奥穆尼盆地的勘探结果,目前发现的油气均位于上白垩统桑托阶和坎佩尼阶,因此桑托阶—坎佩尼阶—马斯特里赫特阶是当前最现实的勘探目的层系,浊积砂岩储层是最主要的勘探目标。另外从邻区加蓬盆地、下刚果盆地和杜阿拉盆地的勘探结果来看,下白垩统裂谷期储层和阿尔必阶储层是重要的勘探目的层,而中新统浊积砂岩储层为潜在的勘探目的层。

4 结 论

(1) 里奥穆尼盆地的构造演化主要经历了裂谷期、过渡期和漂移期三个阶段,地层以过渡期盐岩层为界,盐下为裂谷期层序,盐上为漂移期层序。

(2) 盆地共发育四套烃源岩,其中盐下一套,盐上三套;储层包括裂谷期三角洲—湖泊相砂岩及漂

移期海相碳酸盐岩和浊积砂岩;盆地生储盖组合可以划分为上、中、下三套,中组合是最有利的一套组合。

(3)盆地内油气成藏主要受盐构造、重力滑脱构造、断层和储层的控制。

(4)盆地中带和外带是有利勘探区,中带的油气勘探要寻找盐构造发育区和重力滑脱区,而外带的油气勘探是要寻找具有有效油源通道的有利圈闭和有效储层发育区;上白垩统桑托阶—坎佩尼阶—马斯特里赫特阶浊积砂岩储层是当前最现实的勘探目标。

参考文献

- [1] Jonathan P T. Structure and evolution of an obliquely sheared continental margin: Rio Muni, West Africa[J]. *Tectonophysics*, 2003, 374:41-55.
- [2] Paul Dailly. Exploration and development of Ceiba Field, Rio Muni Basin, Southern Equatorial Guinea[J]. *The leading Edge*, 2002, 10:1140-1146.
- [3] Michael E B, Ronald R C. Geology and Total Petroleum Systems of the West-Central Coastal Province, West Africa[R]. U.S.. Geological Survey Bulletin, 2207-B, 2006:1-60.
- [4] Edwards J D, Santogrossi P A. 离散或被动大陆边缘盆地[M]. 梁绍全, 梁红, 译. 北京:石油工业出版社, 2000: 115-193.
- [5] 熊利平, 王骏, 殷进垠, 等. 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): 641-645.
- [6] Steve R L, Munday S, Bray R. Regional geology and geophysics of the eastern Gulf of Guinea (Niger Delta to Rio Muni)[J]. *The Leading Edge*, 2002, 10:1112-1117.
- [7] Jonathan P T. Gravity-driven structures and rift basin evolution: Rio Muni Basin, offshore equatorial, West Africa[J]. *AAPG Bulletin*, 1995, 79(8):1138-1158.
- [8] Katrina C, Gabor C T, Molnar J. Comparison of depositional sequences and tectonic styles among the West African deep-water frontiers of western Ivory Coast, southern Equatorial Guinea and northern Namibia[J]. *The Leading Edge*, 2002, 10:1102-1111.
- [9] 李莉, 吴慕宁, 李大荣. 加蓬含盐盆地及邻区油气勘探现状和前景[J]. *中国石油勘探*, 2005(3): 57-66.
- [10] RPS Energy. Structural and stratigraphic development and source rock maturation history [EB/OL]. (2007-07-30) [2010-03-05] <http://www.equatorialoil.com/FLYERS/RIO%20MUNI%202007.pdf>.
- [11] Ross D, Hempstead N. Geology and hydrocarbon potential of Rio Muni area, Equatorial Guinea[J]. *Oil and Gas Journal*, 1993, 91(35):96-100.

编辑:金顺爱

Petroleum Geology and Exploration Directions in Rio Muni Basin, Equatorial Guinea

Lü Fuliang, Xu Zhicheng, Fan Guozhang, Shao Dali, Mao Chaolin

Abstract: Rio Muni Basin in Equatorial Guinea is a Meso-Cenozoic sedimentary basin. The tectono-stratigraphic evolution of the basin is divided into a number of separate stages: the rifting stage (Neocomian through Mid-Aptian), the transitional stage (Mid-Late Aptian) and the drifting stage (Albian through Late Tertiary). Major source rocks are Late Aptian to Early Albian marine shales, and the proved reservoirs are Santonian and Campanian turbidites. Fault blocks and transpressional anticlines are main trap types during rifting phase whereas salt-related anticlines, stratigraphic traps and combination traps are main trap types during post-rifting phase. Salt-related structures, gravity glides and slumps, faults as well as reservoirs control hydrocarbon accumulation in Rio Muni Basin. The most favorable exploration areas are in the middle zone of the basin where salt-related structures, gravity glides and slumps are developed while the outer zone, the most favorable exploration areas are the ones which comprise favorable traps, effective reservoirs and good migration pathways. The Upper Cretaceous Santonian-Maastrichtian Turbidites are the most promising exploration targets.

Key words: Rio Muni basin; Petroleum geology; Exploration direction; Source-reservoir-caprock assemblage; Equatorial Guinea

Lü Fuliang: male, Senior Geologist. Add: PetroChina Hangzhou Institute of Geology, 920 Xixi Rd., Hangzhou, Zhejiang, 310023 China