

加蓬海岸盆地南、北次盆成藏特征对比

邱春光¹, 刘延莉²

(1. 中海油研究总院, 北京 100027; 2. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: 加蓬海岸盆地属于被动大陆边缘盆地。盆地沉积盖层主要由白垩系、古近系和新近系组成, 沉积地层组合具有明显的三分性, 包括早白垩世盐下层系、早白垩世晚期阿普特期盐膏层和晚白垩世至新近纪盐上层系。根据目前的油气发现, 北加蓬主要富集盐上油气资源, 南加蓬主要富集盐下油气资源。从构造沉积背景、油气地质条件、油气发现规模、油气平面分布、油气勘探潜力5方面对南、北次盆进行对比, 分析南、北次盆的油气聚集差异, 结合勘探现状分析其勘探潜力, 并指出南加蓬次盆勘探难点为圈闭识别, 北加蓬次盆的勘探难点是砂体预测。

关键词: 加蓬海岸盆地; 盐下层系; 盐上层系; 圈闭识别; 砂体预测

中图分类号: TE122 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-8527(2012)01-0154-06

Comparative Study of North and South Sub-basins of
Gabon Coastal Basin

QIU Chun-guang¹, LIU Yan-li²

(1. CNOOC Research Institute, Beijing 100027, China;
2. Research Institute of Petroleum Exploration and Production, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: The Gabon coastal basin is the passive margin basin whose sedimentary cover includes the Cretaceous, the Paleogene and the Neogene. The sedimentary strata are divided into three parts: pre-salt strata, salt strata and post-salt strata. According to the exploration status, post-salt petroleum system is mainly located in the north of sub-basin and pre-salt petroleum system in the south of sub-basin. The paper compares the two sub-basins in the fields of the geology background, petroleum geology parameter, size and the exploration potential. The research result is that the key for the south sub-basin exploration is trap identification and the key for the north sub-basin exploration is sand prediction.

Key words: Gabon coastal basin; pre-salt strata; post-salt strata; trap identification; sand prediction

1 盆地概况

加蓬海岸盆地(Gabon coastal basin)是西非大西洋盆地群中的一个被动大陆边缘盆地, 盆地北部以方断层(Fang FZ)为界, 南部到马永巴(Mayumba)高地, 以马永巴断裂带(Mayumba FZ)为界^[1]。加蓬海岸盆地共分为4个构造单元: 内陆次盆、兰巴雷内高地、北加蓬次盆、南加蓬次盆。目前在内陆次盆内油气发现少, 对其油气地质有

如下认识: (1)裂谷期断陷地层不甚发育导致烃源岩分布局限且厚度薄; (2)盐盖层分布局限导致油气散失(地表可见大量油苗); (3)构造圈闭不发育。兰巴雷内凸起位于基底出露区, 不具备基本的油气地质条件。因此, 油气发现和勘探重点主要集中在南、北加蓬次盆。

2 盆地构造、沉积特征

加蓬海岸盆地主要经历了3期演化阶段: 裂

收稿日期: 2011-04-25; 改回日期: 2011-10-20; 责任编辑: 孙义梅。
基金项目: 国家科技重大专项项目(2011ZX05030-001)。
作者简介: 邱春光, 男, 工程师, 1979年出生, 矿产普查与勘探专业, 主要从事海外油气地质方面的研究工作。
Email: qiuchg@cnooc.com.cn。

谷期(早白垩世贝利阿斯期-巴雷姆期-阿普特早期)、过渡期(早白垩世阿普特期)、漂移期(早白垩世阿尔布期-新近纪)^[2]。裂谷早期-裂谷中期-裂谷晚期随着拉张作用的变化,由早至晚沉积环境上经历河流-湖泊-三角洲-河流演化序列,构成粗-细-粗的沉积旋回。白垩纪早期开始的裂谷早期在干燥的气候条件下,形成以冲积扇和河流相沉积为主的砂岩;早白垩世贝利阿斯至欧特里夫期的裂谷中期,边界断层控制沉积作用,盆地形成一个大而深的裂谷湖;裂谷晚期,巴雷姆晚期-阿普特早期的生长断层断裂运动,盆地沉降中心西移形成登泰尔(Dentale)凹陷,早期的凹陷如赛特卡马(Sette cama)凹陷、维阿(Vera)凹陷仍然为沉降中心,此时期为不对称的半地堑,在半地堑的不同构造部位,沉积体系和沉积相特征有较大的差别。漂移期的沉积充填具有典型被动大陆边缘盆地沉积充填样式^[3],主要受区域构造变化和海平面升降的控制,同时局部地区又受到盐丘和盐隆的控制。

盆地沉积盖层主要由白垩系和第三系地层组成^[4],最大沉积厚度约15 000 m。沉积地层组合具有明显的三分性,包括盐下层系、盐膏层和盐上层系。盐下层系为下白垩统的一部分,地层厚度4 500~7 500 m,以陆相碎屑岩为主,包括形成于裂谷阶段的下白垩统的基底砂岩(Basal sand)组、基辛达(Kissenda)组页岩、梅拉尼亚(Melania)组粉砂岩及页岩和登泰尔(Dentale)组三角洲沉积(图1);膏盐层为早白垩世晚期沉积的阿普特埃詹加(Ezanga)组膏盐层(图1),厚度一般为200~300 m,盐层内可划分出多个沉积旋回,是良好的区域性盖层;盐上层系为上白垩统上部一新近系沉积地层,地层厚度5 000~9 000 m,以海相沉积为主,包括形成于漂移阶段的马迪拉(Madiela)组-现代沉积(图1)。

3 油气地质条件对比

3.1 烃源岩特征

3.1.1 南加蓬次盆：盐下烃源岩

南加蓬次盆烃源岩包括巴列姆阶梅拉尼亚组湖相页岩、登泰尔组湖相泥页岩和凡兰吟阶基辛达组湖相页岩^[5]。

基辛达组页岩厚度500~700 m,TOC含量为0.6%~2.23%^[6],生烃潜力一般。干酪根由Ⅲ型和Ⅱ-Ⅲ型组成,其成熟区范围为南加蓬次盆南

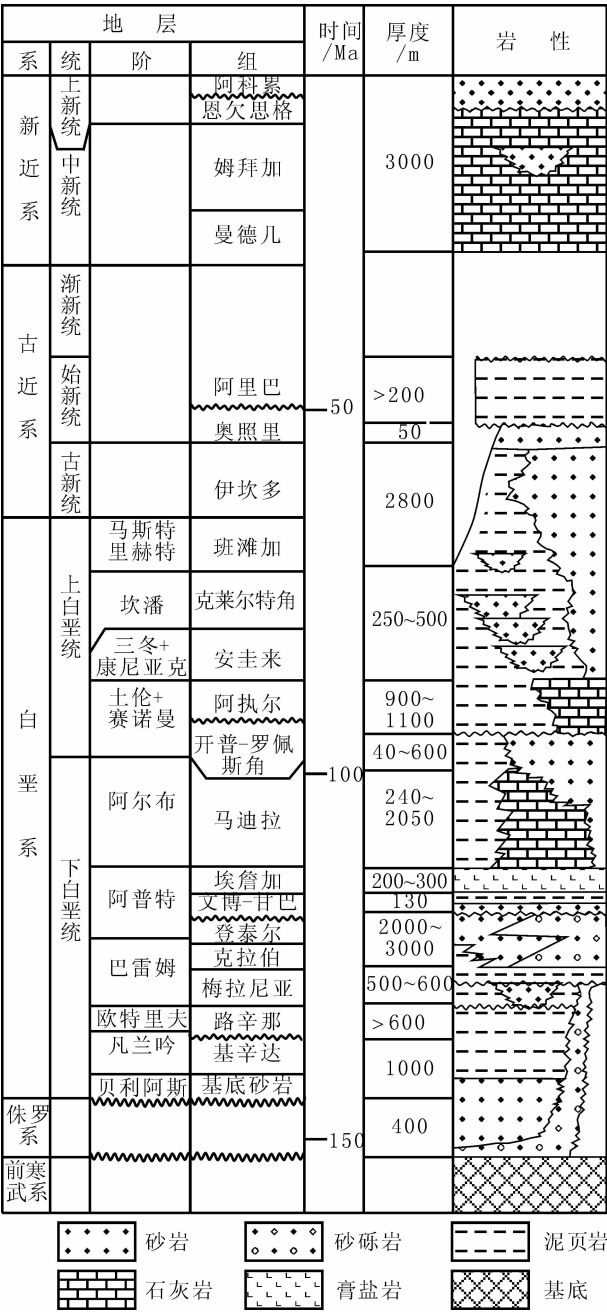


图1 加蓬海岸盆地地层柱状图
Fig.1 Stratigraphic column of Gabon coastal basin

部陆上,局部地区生气。

梅拉尼亚组页岩形成于低能的湖相环境,主要由纹层状含黄铁矿泥岩组成。梅拉尼亚组黑色页岩广泛分布于南加蓬次盆中,厚度平均在800~1 600 m,TOC含量平均为6.1%,最高可达20%^[7],生烃潜力好;有机质类型主要以I型(约50%)和I-II型为主, $R_o=0.5\% \sim 1.0\%$ 。晚白垩世土伦期是梅拉尼亚组烃源岩开始进入生、排烃的关键时期(图2)。

登泰尔组下部为湖相泥页岩发育段,有机质

类型为Ⅱ或Ⅰ型干酪根,有机碳含量可以高达2.5%,生烃指数为5~15 mg/g,属较好的烃源岩。在南加蓬次盆南部海上地区该套烃源岩已经成熟。

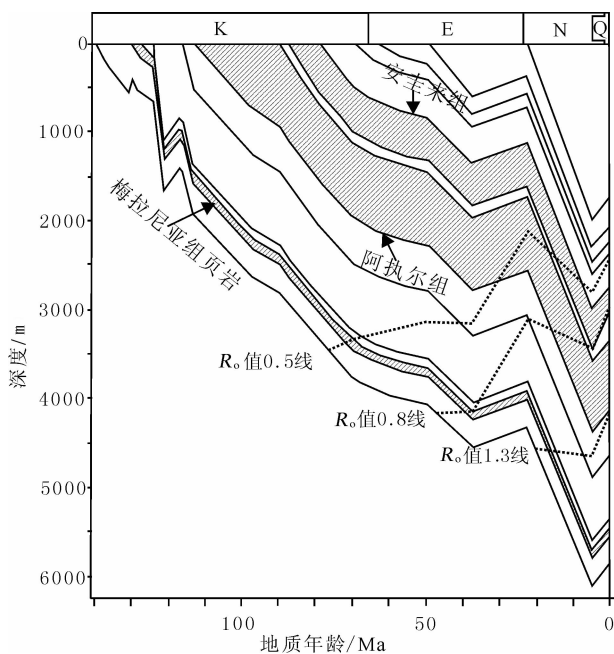


图2 加蓬海岸盆地某井埋藏史图

Fig. 2 Burial history of some well in the Gabon coastal basin

3.1.2 北加蓬次盆: 盐上烃源岩

北加蓬次盆烃源岩主要为土仑阶阿执尔 (Azile) 组和三冬 + 康尼亚克阶安圭来 (Anguille) 组海相页岩, 其次是局部分布的阿尔布阶马迪拉组和赛诺曼阶开普 - 罗佩斯角 (Cap Lopez) 组^[8-9]。

阿执尔组海相页岩广泛分布于北加蓬次盆让蒂尔港以西的海上区域, 其北加蓬次盆海上的南部地区有机质类型主要为Ⅰ - Ⅱ型干酪根, 中北部地区以Ⅱ - Ⅲ和Ⅲ型为主, TOC 含量平均为3%~6%, 生烃指数335~877.3 mg/g, 中北部较南部稍低。该组烃源岩是北加蓬次盆的主力烃源岩, 在中新世成熟 (图2)。

安圭来组海相页岩分布广泛, TOC 含量一般超过3.0%, 生烃潜力一般超过10 mg/g, 生烃指数远远大于400 mg/g^[3], 具有较大的生烃潜力。

3.2 储层特征

南加蓬次盆盐下层系以阿普特阶甘巴 (Gamba) 组砂岩和登泰尔组砂岩为主力储层, 局部地区有基底砂岩储层。北加蓬次盆盐上层系以三冬 + 康尼亚克阶的安圭来组、坎潘阶克莱尔特角 (Pointe Clairette) 组碎屑岩为主。

3.2.1 南加蓬次盆

甘巴组和登泰尔组砂岩组成比较复杂, 相邻

井段岩相岩石类型有较大的差异, 说明其沉积时具有多物源的特点^[6]。甘巴组和登泰尔组砂岩以细砂岩为主, 少数为中砂岩和极细砂岩, 砂岩的分选好 - 中等^[7]。不同的岩相碎屑矿物和成岩矿物组成也有所差别, 大多数为长石石英砂岩, 部分为岩屑石英砂岩。甘巴组砂岩作为南加蓬最主要的目的层, 砂体厚度10~50 m, 埋深浅, 物性好, 砂岩孔隙度为25%~30%, 渗透率最高可达 $5\,000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 如拉比 (Rabi) 油田埋藏深度1\,050 m左右, 砂岩孔隙度一般在30%, 渗透率在 $100 \times 10^{-3} \sim 1\,000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

基底砂岩: 辫状河道砂岩, 分选磨圆差, 孔隙度0~20%, 渗透率 $1 \times 10^{-3} \sim 100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。其平面分布特征受控于裂谷地堑, 该地堑西侧以断层与基底出露分隔, 地堑内部有一系列的转换断层控制地堑内高地。

3.2.2 北加蓬次盆

北加蓬次盆盐上储层主要包括砂岩、灰岩、白云岩3类。砂岩储层是主要储集层类型, 包括三冬 + 康尼亚克阶的安圭来组、坎潘阶克莱尔特角组和马斯特里赫特阶班滩加 (Batanga) 组, 北加蓬次盆某区块岩屑相中碎屑组分以石英为主, 石英含量>90%, 长石次之, 含量<10%, 岩屑含量少; 填隙物杂基以泥质为主, 含量<25%, 碳酸盐岩胶结为主, 少量硅质胶结, 反映成分成熟度高。岩屑颗粒主要粒径<0.24 mm, 为粉细砂岩; 分选性较好, 磨圆度为次棱 - 次圆, 多为颗粒支撑^[9-10]。

区域上砂岩储层的孔隙度高达34%, 渗透率高达 $700 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 其分布受控于与第三枢纽带相关的断层带或陡崖。目前已经证实的盐上储层分布在北加蓬次盆西侧。

3.3 盖层特征

南加蓬次盆: 阿普特期的盐岩为区域性的盖层。埃詹加组的盐层为高品质盖层, 其厚度大小直接影响烃类从盐下储层向盐上储层的运移, 只有在盐层不发育或盐层比较薄能形成盐窗时才可能发生运移。在盐下层系靠近基底出露区, 局部地区登泰尔组泥页岩可以成为基底砂岩的有效盖层。

北加蓬次盆: 盖层为与储层同期沉积的泥页岩。从盖层分布情况分析, 大致以第三枢纽带为界。以东为陆棚区, 由于后期抬升剥蚀较为严重, 盖层在大部分地区遭到破坏; 以西的沉积区盖层条件较好。

3.4 圈闭特征

南加蓬次盆：主要的圈闭类型有构造圈闭和复合圈闭等。在断层带附近，断层的作用易形成断层圈闭；在白垩系顶部不整合面附近，受不整合遮挡、盐封盖以及砂体的侧向尖灭，可形成岩性-地层圈闭。

北加蓬次盆：圈闭类型以台地边缘大的陡崖和断层带控制下的岩性-构造为主，广泛分布于北加蓬次盆。同时部分构造型圈闭的形成主要与阿普特期盐岩活动有关，盐隆和盐底辟有利于圈闭的形成。

3.5 含油气系统特征

由于南、北次盆的发育特征和沉积特征不同，形成盐上层系和盐下层系两套不同的含油气系统。

3.5.1 南加蓬次盆：盐下含油气系统

盐下含油气系统包括下白垩统-下白垩统和

下白垩统-基底砂岩成藏组合。
(1)下白垩统-下白垩统成藏组合
烃源岩为梅拉尼亚湖相页岩、基辛达页岩，该套烃源岩一般在阿尔布期达到生烃高峰，生成的油气运移至甘巴组砂岩、登泰尔组砂岩，与埃詹组蒸发岩盖层或者致密层形成良好的生储盖组合(图3)。盐下层系圈闭的形成与生烃期具有良好的匹配关系。盐下层系裂谷期圈闭形成于早白垩世，盐上层系与盐有关的圈闭在晚白垩世开始形成，到新近纪定型。裂谷期下白垩统烃源岩在早白垩

世末期开始生油，晚白垩世进入大量生油阶段。
(2)下白垩统-基底砂岩成藏组合
该成藏组合为断块和基底砂岩共同作用形成的复合油气藏，这种油气藏分布范围有限，目前主要分布于恩科米断裂带南侧陆缘部位。2006—2009年在南加蓬次盆陆上发现了几个油气田，成藏模式如图3所示。源岩为圈闭周边深部凹陷内的梅拉尼亚组泥页岩；储层为基底砂岩和基辛达组砂岩；盖层为梅拉尼亚组泥页岩；运移方式为断层侧向、垂向运移；圈闭类型为构造圈闭、复合圈闭。
3.5.2 北加蓬次盆：盐上含油气系统
以阿执尔组海相页岩为源岩，在中新世达到生烃高峰，生成的油气通过盐刺穿、断层和不整合面，运移至安圭来组砂岩和班滩加组砂岩储层，层间页岩为局部盖层，形成构造油气藏、岩性构造复合型或岩性油气藏，其构造-复合油气藏的规模较大。该种类型的油气藏主要发育在北加蓬次盆，也是加蓬海上油气藏的主要类型。由于生烃高峰在中新世以后，圈闭主要形成期在晚白垩世-渐新世，含油气系统的关键时刻是中新世末或上新世初，因此，该套油气系统具有良好的配置关系。

4 油气发现规模对比

截至2009年底，南加蓬次盆已有油气发现47个(表1)，原油地质储量为5 115.9 MMbbl，原油

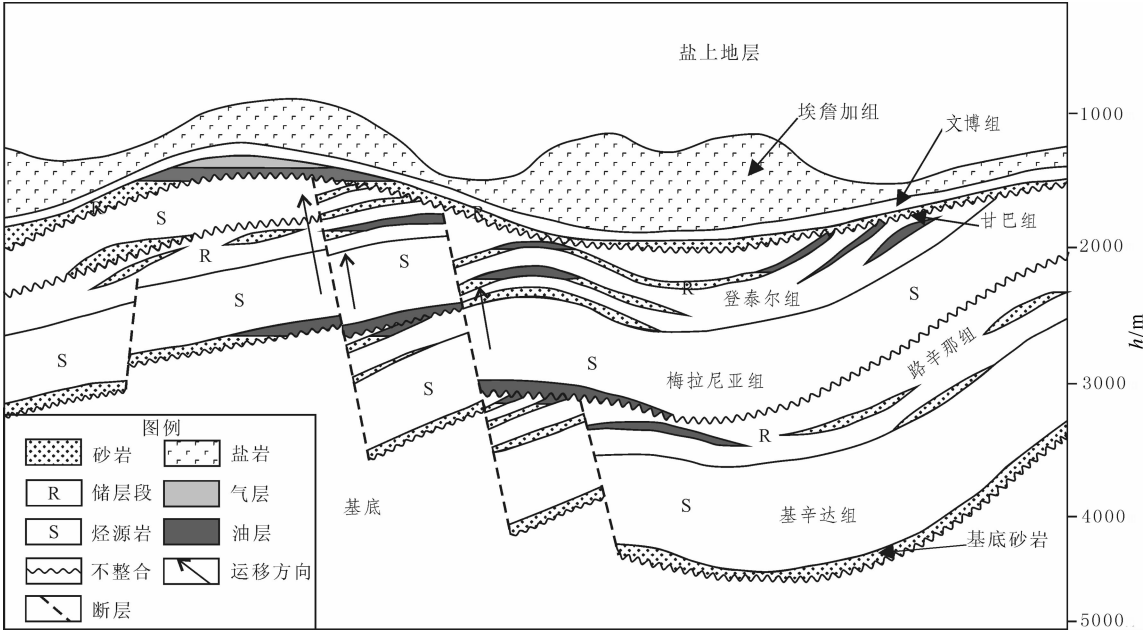


图3 南加蓬次盆盐下油藏模式图
Fig. 3 Pre-salt reservoir model in the southern sub-basin of Gabon

表 1 油气地质特征及油气规模对比表
Table 1 The comparison in the geology and hydrocarbon scale

构造单元	烃源岩	储层	盖层	圈闭	油气配置关系	油气发现个数/个	原油原始地质储量/MMbbl	液态烃 2P 可采储量/MMboe	平均单个油气发现可采储量/MMboe	最大单个油气发现可采储量/MMbbl
北加蓬次盆	海相泥页岩,成熟范围主要集中在北加蓬海上	海相三角洲-浊积砂岩,砂体横向发育受盐构造控制,非均质性强,预测难度大	层间盖层,连续性一般	与盐有关的岩性、岩性-构造复合圈闭	好	101	6 574.38	2 444.4	24.4	350
南加蓬次盆	湖相泥页岩,分布范围大	裂谷期河流-三角洲相砂岩;过渡期甘巴组分布范围广泛,厚度薄	区域盖层,封堵性好	盐下构造圈闭,识别难度大	好	47	5 115.9	2 499.76	56.8	923

注: MMboe. 百万桶油当量; MMbbl. 百万桶.

2P 可采储量为 2 194.45 MMbbl, 天然气 2P 可采储量为 1 770.8 Bcf (10 亿立方英尺), 共计液态烃的 2P 可采储量为 2 499.76 MMboe. 平均单个油气发现的 2P 可采储量为 56.8 MMboe.

截至 2009 年底, 北加蓬次盆已有 101 个油气发现(表 1), 原油地质储量为 6 574.38 MMbbl, 原油 2P 可采储量为 2 238.53 MMbbl, 天然气 2P 可采储量为 1 194.13 Bcf, 共计液态烃 2P 可采储量为 2 444.4 MMboe. 平均单个油气发现的 2P 可采储量为 24.4 MMboe.

从现今油气发现的情况来看, 南加蓬次盆盐下构造圈闭的平均规模要大于北加蓬次盆盐上复合圈闭的平均规模. 盐下单个圈闭的油气最大规模为 923 MMbbl, 盐上为 350 MMbbl.

5 油气分布特征

南、北加蓬次盆的油气发现集中在北东向恩科米主断裂两侧. 分析其形成原因为: 北东向构造影响了断层带两侧的沉积, 进而影响了油气成藏的物质基础, 同时该组断层对于沟通油源也起到一定作用, 整体上北东向调节带对油气的成藏起明显的控制作用.

由于裂谷盆地中构造的分割性和陆相地层岩相的不稳定性使烃的远距离横向运移难以实现, 油气垂向运移是裂谷盆地的主要运移方式. 裂谷盆地(盐下)油田分布于南加蓬次盆赛特卡马凹陷、维阿凹陷和甘巴地垒. 油气藏受裂谷构造和裂谷断层复活形成的构造圈闭控制, 主要分布在生油凹陷周缘(图 4).

被动大陆边缘盆地(盐上)油田集中分布在北

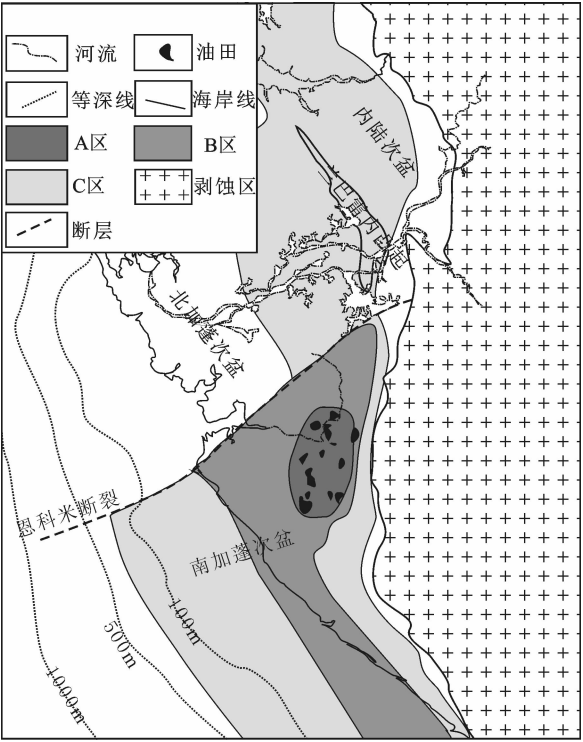


图 4 加蓬海岸盆地盐下勘探区带划分图

Fig. 4 Pre-salt prospect area in Gabon coastal basin

加蓬次盆大西洋挠曲带以西(图 5), 盐上成熟烃源岩中心及其周缘. 盐底辟构造与海相浊积和三角洲砂体配合, 对油气聚集成藏起控制作用.

6 油气勘探潜力

根据盐下烃源岩和储层的配置关系, 结合圈闭发育情况, 认为南加蓬次盆盐下油气系统的勘探潜力按照由大到小可分为 A、B、C 3 个区带. A 区: 位于南加蓬次盆中部, 发育基辛达组和梅

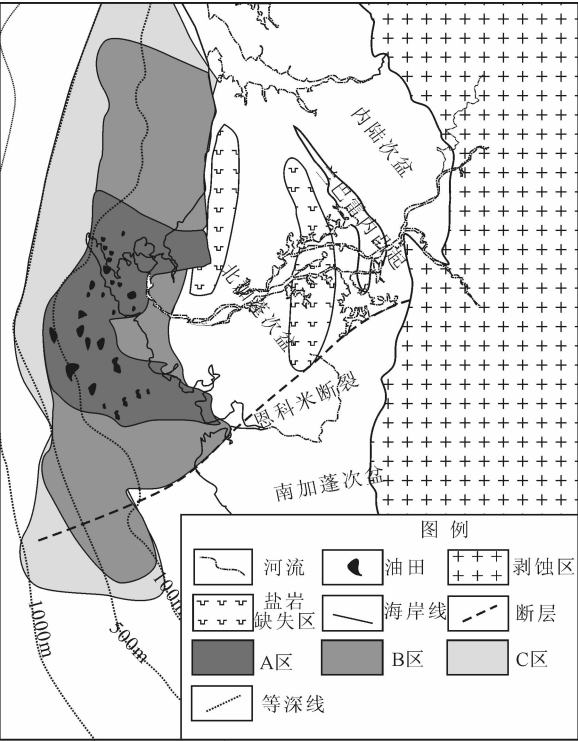


图 5 加蓬海岸盆地盐上勘探区带划分图
Fig. 5 Post-salt prospect area in Gabon coastal basin

拉尼亚组深湖相页岩，且处于生油窗内，甘巴组和登泰尔组两套砂岩储层发育。在剖面位置上该区带位于构造陡坡带，利于圈闭形成和油气聚集。B 区：位于南加蓬次盆，有优质的源岩和储层匹配，目前没有大油气田发现，但很有勘探潜力^[11]，需要落实圈闭位置。此外在盆地西侧靠近基底方向，有基底砂岩的勘探潜力。C 区：位于南加蓬西侧和东部盆缘附近，东侧盆缘有一定的源岩和储层基础，但是后期抬升剥蚀严重，盐下地层很薄(图 4)，油气保存条件非常差，勘探风险大；西侧有烃源岩，但储层情况不明朗。所以，C 区属于有一定勘探潜力，但勘探风险很大的区域。

北加蓬盐上油气组合也可分为 A、B、C 3 个区(图 5)。A 区：有良好的烃源岩和已经明确的浊积体储层且存在同期页岩盖层封堵，有油气田证实。B 区：有良好的烃源岩，从构造部位看，可发育储层，预测有浊积体和同期盖层。该区勘探潜力较大。C 区：烃源岩较好，但不能落实储层，具有一定的勘探潜力。

7 结 论

加蓬海岸盆地经历了裂谷期、过渡期和漂移

期，其中南加蓬次盆发育盐下裂谷期地层，主要为盐下含油气系统；北加蓬次盆发育盐上漂移期地层，主要为盐上含油气系统。南、北次盆两套油气系统的成藏主控因素可以归纳为：北加蓬盐上“断崖控储，盐控圈闭，构造、圈闭控油”；南加蓬盐下“相控烃、控储，盐控盖，构造、圈闭控油”。

北加蓬次盆深水盐上安圭来组成藏组合在现今发现油田的南北两侧存在推测的浊积体系，而且在成熟的烃源岩分布范围内成藏条件好，具有盐上成藏勘探潜力。

南加蓬次盆西部、南部陆上及近海地区，有优质的烃源岩和储层匹配，目前虽未发现大油气田，但有一定的勘探潜力。

参考文献：

[1] Gill J, Cameron D. 3D revives an old play—an Aptian subsalt discovery, Etame Field, Offshore Gabon, West Africa [J]. The Leading Edge, 2002, 21: 1147–1151.

[2] Giudicelli C B, Alabert F G, Massonnat G J, et al. Anguille Marine, A Deep-sea Fan Reservoir Offshore Gabon: From Stochastic Modelling Toward History Matching [M]. Washington: SPE Annual Technical Conference & Exhibition, 1992: 371–384.

[3] Katz B J, Dawson W C, Liro L M, et al. Petroleum systems of the Ogooué Delta, offshore Gabon [M]. AAPG Memoir, 2000, 73: 247–256.

[4] Leprevost Y, Lefevre P. Tele-operation of Anguille Central Production Platform Offshore Gabon: A Step Toward PLATINE-unmanned Offshore Field Research Project [M]. Houston: Annual Offshore Technology Conference, 1989: 609–612.

[5] Penfield G T. Gabon, West Africa: high-resolution aero gravity survey predicts drilling success [J]. Petroleum Frontiers, 2000, 17 (4): 67–72.

[6] Kou L C. Lower Cretaceous lacustrine source rocks in northern Gabon: effect of organic facies and thermal maturity on crude oil quality [J]. Organic Geochemistry, 1994, 22(2): 257–273.

[7] Teisserenc P, Villemin J. Sedimentary basin of Gabon—geology and oil systems [J]. AAPG Memoir, 1990, 48: 117–199.

[8] 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): 641–646.

[9] 刘延莉, 邱春光, 熊利平. 西非加蓬盆地沉积特征及油气成藏规律研究 [J]. 石油实验地质, 2008, 30(4): 352–356.

[10] 熊利平, 刘延莉. 西非海岸南、北两段主要含油气盆地油气成藏特征对比 [J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(4): 410–419.

[11] 白国平, 秦养珍. 南美洲含油气盆地和油气分布综述 [J]. 现代地质, 2010, 24(6): 1102–1111.