

文章编号:1672-9854(2009)-03-0046-07

## 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

刘祚冬, 李江海

(北京大学地球与空间科学学院)



刘祚冬

**摘 要** 西非被动边缘含油气盐盆地包括西非安哥拉—喀麦隆段的加蓬盆地、下刚果盆地、宽扎盆地等。认为这些盐盆地从构造、沉积相、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及随后南大西洋的张开。盆地演化划分为前裂谷阶段( $J_3$ 前)、同裂谷阶段( $J_3-K_1$ )、过渡阶段( $K_1$ )和后裂谷阶段( $K_2-Q$ )。由于Tristan热点活动以及热带干旱气候的相互作用,过渡阶段发育厚层阿普特阶盐层,将盆地分为盐上、盐下两套油气系统,控制了油气纵向上的分布。盐盆地以上侏罗统—下白垩统特富湖相Ⅰ型烃源岩、森诺曼阶—赛诺统缺氧环境下形成的Ⅱ型海相烃源岩为主要源岩;大型深水油积扇体为储层,油气通过同生断层及盐窗等疏导通道运聚至构造圈闭、盐层顺层滑脱引起的拱张圈闭以及一些岩性圈闭中,这些有利的成藏条件相匹配形成了巨大规模油田。

**关键词** 西非;被动大陆边缘;盐盆地;盆地演化;油气地质特征

**中图分类号**:TE111.2 **文献标识码**:A

**刘祚冬** 1984年生。现为北京大学地球与空间科学学院、北京大学石油与天然气研究中心在读硕士生。主要从事全球油气勘探研究。通讯地址:100871 北京大学颐和园路5号

西非被动大陆边缘油气盆地以喀麦隆火山带和鲸鱼海岭为界,划分赤道部分(主要是尼日利亚三角洲盆地)、安哥拉—喀麦隆盐盆地以及鲸鱼海岭南部(纳米比亚盆地)。除了北部的尼日利亚三角洲盆地,西非被动边缘盐盆地也是近几年勘探的热点地区,近20年来油气勘探取得重大突破。1990—2008年,全球新发现井的油气总探明储量为 $5\,553.06 \times 10^8$  bbl油当量<sup>[1]</sup>,其中石油(包括凝析油)的总探明储量为 $2\,491.28 \times 10^8$  bbl油当量,天然气储量为 $1\,837.06 \times 10^{12}$  ft<sup>3</sup>。安哥拉—喀麦隆盐盆地占3.6%,为 $202.37 \times 10^8$  bbl油当量,其中绝大多数来自下刚果盆地<sup>①-③</sup>。非洲西部被动大陆边缘盆地的油气潜力巨大,正成为世界上重要的油气盆地区之一。南大西洋洋盆拉张过程中,受板块构造、地幔柱以及气候等因素影响,各个盆地存在差异。在认识区域构造演化背景基础上,从

整体认识油气富集成藏因素规律非常必要。本文在调研新资料的基础上,通过地质演化对比,分析油气地质特征,探讨区域油气成藏的主控因素。

### 1 盆地演化

加蓬盆地、下刚果盆地、宽扎盆地位于非洲西部被动大陆边缘(图1),各个盆地之间以构造隆起为界限进行划分。

这一系列盆地的演化受控于南大西洋张开的影晌。三叠纪,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直至阿普特期南大西洋洋壳增生的结束,标志着南美东岸以及非洲西岸被动陆缘的最终形成<sup>[2]</sup>。

结合南大西洋的形成,可以将盆地发育阶段分

收稿日期:2009-04-21

① IHS. IHS basin monitor-lower congo[R]. 2009.

② IHS. IHS basin monitor-Gabon basin[R]. 2009.

③ IHS. IHS basin monitor-kwanza basin[R]. 2009.

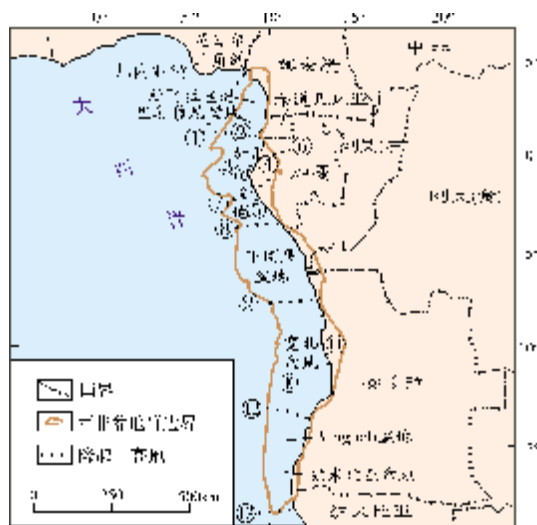


图1 非洲西部被动大陆边缘盆地及大油气田分布

- ① 喀麦隆火山岩; ② 圣胡安卡布隆起; ③ 北加蓬盆地;  
④ 内加蓬盆地; ⑤ 南加蓬盆地; ⑥ 兰巴雷内地垒;  
⑦ 恩科米断裂带; ⑧ 卡萨雷高地; ⑨ 安布里什隆起;  
10 外宽扎盆地; 11 内宽扎盆地; 12 本格拉高地; 13 鲸鱼海岭

成前裂谷阶段、同裂谷阶段、过渡阶段以及漂移阶段<sup>[3]</sup> (图2)。其中,对盆地油气成藏最重要的是同裂谷阶段和漂移阶段。

前裂谷阶段 晚侏罗世之前,西非构造稳定,以隆升剥蚀作用为主,局部接受拗陷型沉积<sup>[4]</sup>,也被称作克拉通阶段。

同裂谷沉积阶段 (早白垩世贝利阿斯通期—早阿普特期) 冈瓦纳大陆西北部和南部的两支陆内裂谷分别向南、北延伸,交汇并穿过赤道地区<sup>[5]</sup>。这一裂谷带进一步发育形成了从南到北一系列的裂陷盆地,宽扎盆地、下刚果盆地、加蓬盆地就是这个时期形成的。同裂谷时期,盆地发育以北西向断裂和断陷。尼欧克姆期—巴雷姆期从河流相沉积过渡为厚层湖相三角洲及页岩沉积。

过渡阶段 (阿普特期—阿尔布期) 阿普特早期,这些裂陷盆地受到准平原化。在夷平的裂陷盆地之上沉积一套海相砾岩。南大西洋完全张开,海水入侵。但是由于鲸鱼海岭区的存在,对阿普特期的海水起阻挡作用,南方来的海水呈周期性地侵入裂谷系的安哥拉—喀麦隆部分。这里地处于热带,气温高,蒸发量超过降雨量,因而中—晚阿普特期,在鲸鱼海岭以北的安哥拉—喀麦隆盆地,其陆相和海陆过渡地层之上形成一套巨厚的区域性分布的蒸发盐沉

积。它们主要由白云岩、硬石膏和石盐组成,厚达1 km,蒸发盐覆盖宽达250 km<sup>[2]</sup>,在阿普特期末期蒸发盐结束沉积,但是在局部地区,如宽扎盆地还有部分沉积。

后裂谷阶段 (阿尔布期—现今) 也称作漂移阶段。大西洋形成以后,北美洲和非洲分别向两侧漂移,但是整个大西洋洋盆的扩张速度逐渐减小。后裂谷期早期以海陆过渡相和海相沉积为主,阿普特期海侵之后,蒸发盐上沉积一套浅海碳酸盐沉积。森诺曼期早期,鲸鱼海岭被海水永久淹没,西非沿岸边缘成为广海环境。晚白垩世坎佩尼期—麦斯特里希特期,全球性海平面上升,海侵影响范围最广,海平面的快速上升,限制了陆源碎屑的流入,海底缺氧环境得以保持,有利沉积富有机质的海相页岩<sup>[7]</sup>。古新世,海平面下降,主要形成陆相沉积楔。渐新世,出现大幅度海退,西非陆上被剥蚀强烈,陆源物质被带到大陆架和深水盆地中,形成半深海—深海区浊积岩<sup>[8]</sup>,刚果扇就是这个时期形成的。随后,西非被动陆缘再一次发生伸展,形成了一系列铲式断层。含盐盆地中,由于上覆沉积厚度不同,在重力作用下,盐构造活动强烈,而向西倾斜的断层加剧了盐的滑脱作用<sup>[9-10]</sup>。沉积作用一直持续至今。

## 2 盐盆地演化的主控因素

地幔柱活动 地幔柱引起一系列构造运动,控制了被动陆缘盆地的发育。大约在130 Ma,Tristan热柱的出现造成地壳隆升,造成大规模玄武岩溢流,导致喀麦隆—安哥拉部分南部鲸鱼海岭<sup>[3,11]</sup>的形成。海岭的出现,造成北部盐盆地和南部纳米比亚盆地的差异。南侧来的海水受到海岭阻挡造成周期性海侵,在海岭北部形成了一系列盐盆地;海岭南部的地区缺乏类似海岭北部的封闭条件,尽管也有部分蒸发盐的存在,但是成因可能有所不同。同时,由于海岭南部受到了火山作用的影响,热沉降受到影响,同裂谷沉积和后裂谷沉积横向迁移幅度大。因此,本文研究的三个盐盆地与其南部的纳米比亚盆地从性质上分属于非火山型被动大陆边缘盆地和火山型被动边缘盆地,不可混淆。

应力作用 从南大西洋开始张裂直至阿尔布期,一直以斜向拉张为主,后由斜向伸展变为正向伸展<sup>[3,11-12]</sup>。此时,南大西洋已经扩张至赤道附近,因此赤道部分的盆地具有走滑性质,而加蓬

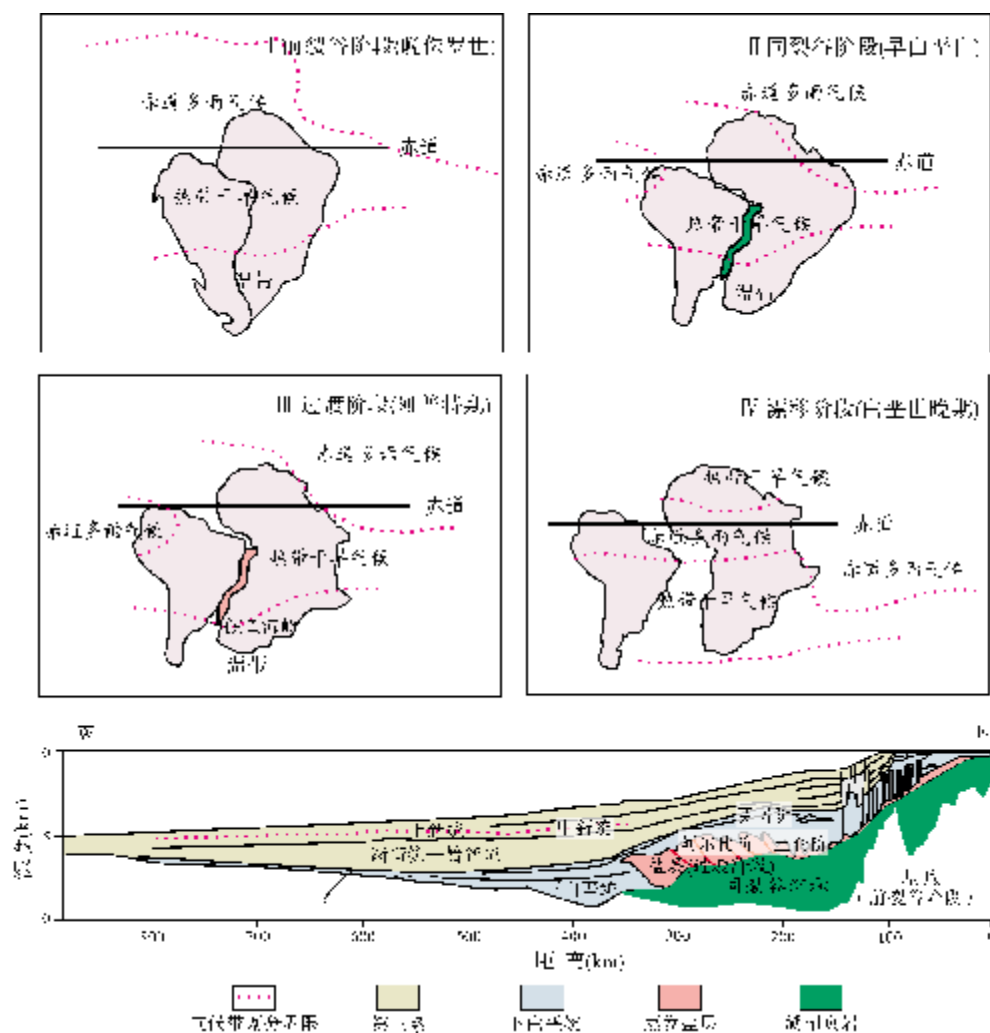


图2 西非被动大陆边缘演化和盆地剖面示意(修改自文献[6])

盆地北部的里奥穆尼盆地就具有从伸展盆地向转换盆地过渡的特点。因此,喀麦隆盐盆地的赤道部分与西非被动边缘的其他盆地从力学机制上有所不同。

**气候条件** 气候是影响非洲西部被动边缘盆地沉积建造发育的关键因素,安哥拉到喀麦隆的盐沉积还和干旱的气候相关<sup>[13]</sup>(图2)。渐新世,由于间冰期—冰期转变,安哥拉—喀麦隆部分(特别是刚果河流域)被强烈剥蚀,大量的碎屑物流入海域,形成刚果扇。由于非洲板块向北迁移,新近纪,喀麦隆—安哥拉部分气候更加温暖潮湿,区域剥蚀更明显,刚果扇的年沉积厚度达到了1600mm。快速抬升剥蚀、快速沉以及大量的沉积物,是后期形成大量盐构造圈闭以及烃源岩成熟的重要基础。

### 3 盆地石油地质特征概述

加蓬、下刚果和宽扎盆地是在大西洋张开的背景下共同发育的,它们有着共同的构造、岩性特征,其中最重要的一点是,它们均发育有数百米厚的蒸发岩。这些盐岩最大厚度可达1000m,纵向上将盆地分为盐上海相沉积层系和盐下非海相裂谷层系两部分,从而控制了盆地油气在纵向上的发育。

#### 3.1 下刚果盆地

下刚果盆地(图1)北部以卡萨雷高地为界,南部以安布里什隆起为界,绝大部分位于海上。近年来,该盆地不断发现世界级大油气田,至今共发现5个深层油气田。

盐下最重要的烃源岩是纽康姆阶—巴雷姆阶的 Bucomazi 组湖相页岩,有机质丰度高,成熟度适中,厚度可以达到 1500 m。Bucomazi 组页岩的下段和上段的 TOC 含量稍低,仅为 2%~3%,但是仍然具有生烃的潜力;中段 TOC 可以达到 5%以上,为 I 型干酪根,是非常好的生油母岩。下刚果吉拉索尔深水油田中有一套很重要的烃源岩便是 Bucomazi 组页岩<sup>[14]</sup>。主要储层包括含油性最高的下白垩统 Lucula 组砂岩以及 Toca 组碳酸盐岩。其中碳酸盐岩的孔隙度达到了 16%~20%,渗透率为  $600 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。盐上潜力烃源岩(图 3)为上白垩统 Iabe 组、始新统 Landana 组的一部分和中渐新统到中渐新统的源岩所含的 TOC 可以达到 5%。区域分布最广烃源岩候选层位,最有可能是土仑阶 Iabe 组层段内,因为在加蓬海岸盆地已知该层段是形成烃源岩的主要层段<sup>[15]</sup>。盐上储集层主要是阿尔布阶的碎屑岩与阿尔布阶和森诺曼阶硅质碎屑岩。溶解作用和白云石化作用提高了 Pinda 组碳酸盐岩的孔隙度和渗透率,它可以做为良好的储层。盆地深水区最主要储层为上渐新统一中新统河道充填浊积砂岩复合体,砂岩固结差,物性良好,它是近年来安哥拉发现的巨型油气田的主要产层。据统计,下刚果盆地中发现的与浊积岩相关的大型油气田,如 Girassol、Dalia 等,油气储量占盆地总储量的 57%。盐岩、Bucomazi 组页岩以及上覆的森诺曼阶页岩构成了盐下储集层的有效盖层。下刚果盆地的油气生成和运移主要集中在森诺曼期—古新世,现今仍然有部分油气生成。

### 3.2 宽扎盆地

宽扎盆地(图 1)位于安哥拉大西洋沿岸,其主体位于海上。北部以安布里什隆起与下刚果盆地分开,南部以阿普特阶盐岩分布的南部边界为界,东部以前寒武系基底为界,西部边界为大陆架边缘<sup>[16]</sup>。一系列同裂谷时期形成的基底高地划分,靠陆一侧称作内宽扎盆地,靠海一侧称作外宽扎盆地<sup>[17]</sup>。盐下烃源岩为阿普特阶湖相泥岩和滨海蒸发环境下沉积的页岩以及尼欧克姆阶—巴雷姆阶的河湖相页岩,烃源岩已成熟。下白垩统 Cuvo 组为宽扎盆地盐下优质储层<sup>[18]</sup>。

盐上烃源岩(图 3)为上白垩统湖相页岩以及下白垩统阿尔布阶微晶灰岩含量高的页岩。盐上烃源岩不具有区域成熟的条件,只有埋藏较深的层位才可能达到成熟,且外宽扎盆地的成熟期相对较晚。森

诺曼阶到土仑阶砂岩是宽扎地区最重要的储层。另外,下白垩统 Binga 组裂隙式碳酸盐岩也是盆地主要的储层。外宽扎盆地中第三系储集层,孔隙度为 20%,但是渗透率很低,仅为大约  $(1 \sim 5) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

除了盐岩,森诺曼期早期沉积的泥岩是碳酸盐岩储集层的良好盖层,而盐下也有泥页岩夹层为盖层。盐隆构造和残余盐构造为主要圈闭类型<sup>[19]</sup>,同时还存在岩性圈闭<sup>[20]</sup>。

总体上看,宽扎盆地的含油气性比其北部相邻盆地差。在晚白垩世坎潘期以及中新世,宽扎盆地连续经历了两次基底抬升。一方面可能造成了地壳减薄、热流降低;另一方面,如果隆升伴随着地幔上涌,那么其热流值相对较高,对油气的形成极为有利<sup>[21]</sup>。这种不确定因素加剧了判断宽扎盆地是否富集油气的难度。由于高地的分割,内外盆地可能为两套不同的含油气系统。内宽扎盆地受蒸发盐岩的控制,盐下曾发现几个油田;外宽扎盆地在近 15 年勘探有所进展<sup>[17]</sup>,三维地震工作量显著增加,但是成果并不是很理想。

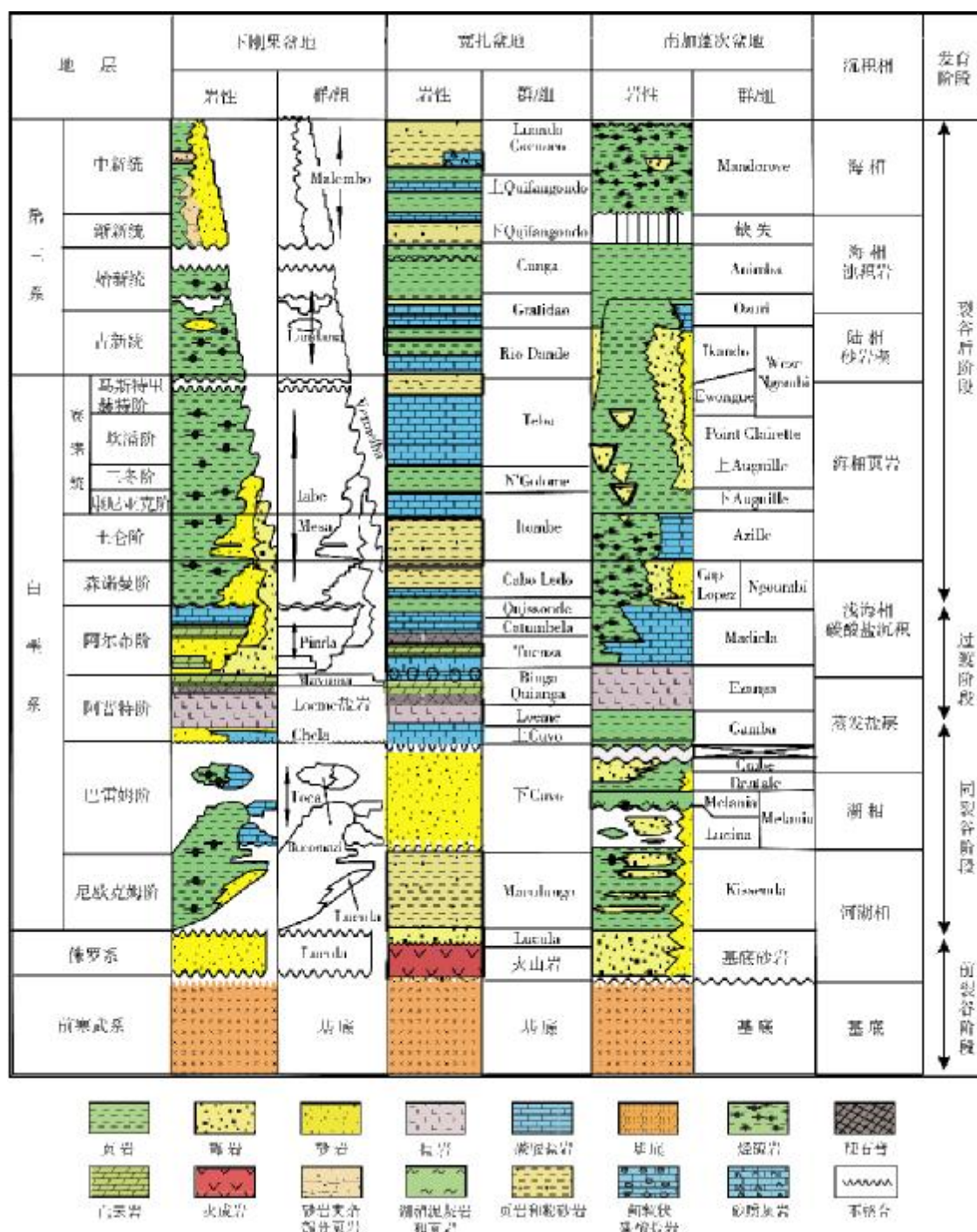
### 3.3 加蓬盆地

加蓬盆地(图 1)位于加蓬和赤道几内亚的海上和陆上以及喀麦隆海上的一小部分。它包含三个次盆地:位于南部的南加蓬次盆地、北部北加蓬次盆地以及内陆的内加蓬次盆地<sup>[22]</sup>。次级盆地之间分别以恩科米断裂带和兰巴雷内地垒为界,其中南加蓬次盆地和北加蓬次盆地是被动大陆边缘盆地,因而文中只对南、北加蓬次盆地进行讨论。

加蓬盆地油气富集于海上,油田受断裂作用和盐丘构造的影响,一般规模比较小,储量不大,属于中小油田<sup>[23]</sup>。现今发现的油气田中,盐下油气田多数发现于南次盆地中,而盐上层被动大陆盆地中的油田集中分布在北加蓬次盆地西部。

盐下烃源岩层段(图 3)主要为下白垩统 Kissenda 组和 Melania 组页岩。Melania 组属低能湖相环境沉积,广泛分布于南加蓬次盆地中,是主要的烃源层。TOC 平均为 6.1%,部分高达 20%,有机质为 I 型和 II 型为主; $R_o$  值达到 0.6~1.2。Kissenda 组的 TOC 含量为 1.5%~2%,有机质为 III 型为主, $R_o$  值大于 1 以上,产天然气的可能性比较大。最重要的储层为下白垩统 Gamba 组河流相和滨岸相砂岩以及 Dentale 组河流相和三角洲相砂岩。Melania 和 Lucina 组湖相浊积砂岩主要沉积在南加蓬次盆的海上部分。在埋深较浅



图3 西非被动大陆边缘重要含盐盆地剖面图<sup>[17]</sup>

处,孔隙度可以达到 10%~15%。下白垩统 Ezanga 组蒸发盐可达 800m 厚度,为盐下层优质盖层。

盐上层含油气系统最重要的烃源岩是上白垩统 Azille 组,TOC 含量平均 3%~5%,有机质类型主要由 I 型和 II 型干酪根组成。Azille 组从南到北分为三

部分,其中南部的 TOC 含量最高。另外在上白垩统 Auguille 组—Pointe Clairette 组的局部也含有与 Azille 组类似的优质烃源岩,但其分布范围小。下白垩统 Cap Lopez 组和 Madiela 组的 TOC 含量在安哥拉的海域中可以达到 10%。主要储层为森诺曼阶油

积岩,包括 Auguille 组—Pointe Clairette 组和 E-wongue 组的 Batanga 段。这是加蓬盆地中最为多产的储集层,在北次盆 Port Gentil 的海域中发育得最好。第三系砂岩以中新统砂岩发育最佳,沉积于深水区。森诺曼阶 Cap Iopez 组及古新世 Ozouri 组是较好的储集层。盐上层盖层主要为与储层同时期沉积的泥页岩,区域性的盖层为中新统海相泥页岩,但主要分布在加蓬海岸盆地海域。

#### 4 盆地石油地质特征对比分析

综合以上各盆地,西非被动陆缘盆地油气系统特征具有以下特点。

(1) 盆地石油地质特征相似。前裂谷时期地层为前寒武纪结晶基底,或者是古生代和早中生代内部凹陷盆地层序的残留物,与油气关系不大。同裂谷时期,下白垩统湖相沉积为一套广泛分布的优质烃源岩,TOC 含量为 5%~6%,I 型烃源岩。同时发育典型的非海相碎屑岩,河流相、湖相、三角洲相和浊积岩相砂岩有可能成为储层。具有过渡型性质的席状砂,比如下白垩统 Gamba 组、Chela 组、Cuvo 组上段都是优质储集层。漂移—过渡阶段主要发育厚层膏盐层、浅水碳酸盐岩以及泥灰岩。浅水碳酸盐岩是良好储层,如在安哥拉其孔隙度达到 13%。上覆缺氧环境下的海相沉积 TOC 含量高,属于 II 型烃源岩。后裂谷阶段,周期性海平面影响较为强烈,渐新世开始的全球海平面下降时期沉积了厚层的浊积扇层序,为盆地优质储层,在局部地层发育 III 型烃源岩。

(2) 安哥拉—喀麦隆这一段盆地的共同特征是在阿普特阶沉积了一套盐岩,对油气的分布和成藏具有重大影响,它控制了整个西非海岸地区的油气藏分布。第一,盐下烃源岩的有机质丰度好,类型好,潜力大,储层以砂岩、生物碎屑灰岩为主。盐上烃源岩有机质丰度中等,演化程度低,储层以浊积砂岩为主,储集物性较好,孔隙度为 15%~30%。第二,蒸发盐层基本上切断了盐下和盐上烃类运移的通道,其发育广泛,形成区域性的良好盖层。但在局部区域,由于盐向上运动产生垂向上的最大主应力,因此在盐构造的上方易形成断层<sup>[24]</sup>。盐构造相关的断裂和裂隙活动,也会导致幕式排烃过程的出现。第三,围绕盐构造,聚集了各类油气藏。如盐丘上方的背斜油气藏、地堑式断层簇阻挡的油气藏、砂体尖灭和透镜状砂体油气藏、盐栓遮挡的油气藏等<sup>[25]</sup>,其中非刺穿

盐隆或披覆构造规模相对较大,其他类型油气藏规模相对较小。晚白垩世和第三纪,盐岩的顺层滑脱形成了良好的拱张圈闭是西非被动大陆边缘盆地中最具有代表性的圈闭。同时盐层的高热导性导致盐下的烃源岩成熟期滞后,所以油气的生成、运移、聚集,从白垩纪一直持续至今<sup>[26]</sup>。另外,我们要注意到,现今发现的油气多来自盐上圈闭。既然盐下烃源岩的成熟度高,而盐下的油气是通过断层运移至盐上储层,那么盐下的油气有可能比盐上还要多。加之盐下储集层有着致密的盐层做为盖层,那么盐下就具有很大的勘探潜力。

#### 5 结论

(1) 研究区盆地的演化受控于石炭纪末泛大陆的裂解以及随后南大西洋的张开。盆地演化阶段包括:裂谷前阶段( $J_3$ 前)、同裂谷阶段( $J_3$ — $K_1$ )、过渡阶段( $K_1$ )和后裂谷阶段( $K_2$ — $Q$ )。

(2) 盆地演化主要受到热柱活动及古气候等因素影响。盆地以含厚层盐层为主要特征。盐层控制了安哥拉—喀麦隆部分含盐盆地油气分布,将盐盆地划分为上下两个油气系统。

(3) 这一系列含盐地层的石油地质特征非常相似。同裂谷阶段尼欧克姆阶—巴雷姆阶以及后裂谷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,控制了油气在垂向上的分布,有利于盆地的成藏,成为重力构造主要滑动面,也同时引起大量生长断层发育,使大量油气向上运移富集成藏;后裂谷阶段发育的海相页岩是盐上层序主要源岩,基底剥蚀的下白垩统非海相砂岩、过渡型席状砂岩、特别是第三纪深水浊积扇,常形成优质储层。此区域发育有利成藏圈闭,包括重力滑脱作用形成构造圈闭、盐底辟等,以及一些岩性圈闭。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。现今发现的油田主要集中在盐上层序中。

(4) 由于厚层盐层的存在,盐下在地震剖面上成像不清晰,因此安哥拉—喀麦隆一系列盐盆地盐下勘探程度一直较低。但是通过研究表明盐下烃源岩的成熟度高,油气有可能比盐上还富集。随着技术的提高,盐下部分将是重要勘探目的层。

致谢:本文得到了中国石油勘探开发研究院张映红博士、中海油杨甲明总地质师、杜树副总地质师的悉心指导。特此感谢!

## 参考文献

- [1] BP. Statistical review of world energy full report 2009 [EB/OL] (2009-07-07) <http://www.bp.com/productlanding.do?category>.
- [2] Uchupi E. The tectonic style of the Atlantic Mesozoic rift system [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 1989, 8(2-4): 143-164.
- [3] Dickson W G, Fryklund R E, Odegard M E, et al. Constraints for plate reconstruction using gravity data—implications for source and reservoir distribution in Brazilian and West African margin basins [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2003, 20(3-4): 309-322.
- [4] 刘剑平, 潘校华, 马君. 西非被动大陆边缘 Walvis Ridge 以南纳米比亚盆地的地质特征及油气意义——兼与 Walvis Ridge 以北盆地比较 [J]. *中国石油勘探*, 2007, 12(4): 67-74.
- [5] 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.
- [6] Scotese C R, Boucot A J, Mckerrow W S. Gondwanan palaeogeography and palaeoclimatology [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 1999, 28(1): 99-114.
- [7] 刘剑平, 潘校华, 马君. 西部非洲地区油气地质特征及资源概述 [J]. *石油勘探与开发*, 2008, 35(3): 378-384.
- [8] Dingle R V, Lord A R. Benthic ostracods and deep water-masses in the Atlantic Ocean [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1990, 80(3-4): 213-235.
- [9] Fort X, Brun J P, Chauvel F. Contraction induced by block rotation above salt (Angolan margin) [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2004, 21(10): 1281-1294.
- [10] Fort X, Brun J P, Chauvel F. Salt tectonics on the Angolan margin, synsedimentary deformation processes [J]. *AAPG Bulletin*, 2004, 88(11): 1523-1544.
- [11] Dalziel I W, Lawver L A, Murphy J B. Plumes, orogenesis, and supercontinental fragmentation [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2000, 178(1-2): 1-11.
- [12] Golonka J, Ford D. Pangean (Late Carboniferous–Middle Jurassic) paleoenvironment and lithofacies [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2000, 161(1-2): 1-34.
- [13] Dupr S, Bertotti G, Cloetingh S. Tectonic history along the South Gabon Basin: Anomalous early post-rift subsidence [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2007, 24(3): 151-172.
- [14] 吕福亮, 贺训云, 武金云, 等. 安哥拉下刚果盆地吉拉索尔深水油田 [J]. *海相油气地质*, 2007, 12(1): 37-42.
- [15] 譙汉生, 于兴河. 裂谷盆地石油地质 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004: 324-334.
- [16] 李国玉, 金之均, 等. 新编世界含油气盆地图集 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2005: 335-342.
- [17] Hudec M R, Jackson M P. Structural segmentation, inversion, and salt tectonics on a passive margin: Evolution of the Inner Kwanza Basin, Angola [J]. *GSA Bulletin*, 2002, 114(10): 1222-1244.
- [18] Burwood R. Angola, source rock control for Lower Congo Coastal and Kwanza Basin petroleum systems [J]. *Geological Society Special Publications*, 1999, 153: 181-194.
- [19] Robert P, Yapaudjian L. Early Cretaceous rift sediments of the Gabon–Congo margin: lithology and organic matter; tectonic and paleogeothermal evolution [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 1990, 10(1-2): 319-330.
- [20] Duval B, Cramez C, Jackson M P. Raft tectonics in the Kwanza Basin, Angola [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 1992, 9(4): 389-404.
- [21] Hudec M R, Jackson M P. Regional restoration across the Kwanza Basin, Angola: Salt tectonics triggered by repeated uplift of a metastable passive margin [J]. *AAPG Bulletin*, 2004, 88(7): 971-990.
- [22] 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, 10(3): 57-63.
- [23] 侯高文, 刘和甫, 左胜杰. 尼日尔三角洲盆地油气分布特征及控制因素 [J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(3): 374-378.
- [24] D L J. Structural styles in petroleum exploration [M]. Tulsa: OGC Publication, 1985: 382-402.
- [25] 刘晓峰, 解习农. 与盐构造相关的流体流动和油气运聚 [J]. *地学前缘*, 2001, 8(4): 343-349.
- [26] 杨川恒, 杜栩. 国外深水领域油气勘探新进展及我国南海北部陆坡深水油气勘探潜力 [J]. *地学前缘*, 2000, 7(3): 247-256.

编辑: 金顺爱

## Tectonic Evolution and Petroleum Geology Characteristics of Petroliferous Salt Basins Area Along Passive Continental Margin, West Africa

Liu Zuodong, Li Jianghai

**Abstract:** The passive continental margin of West Africa is becoming one of the most attractive areas for petroleum exploration. Based on the comparison and analysis of Gabon Basin, Lower Congo Basin and Kwanza Basin, the systematic petroleum characteristics were summarized. The history of these basins along the passive margin is controlled by the general framework of the opening of the South Atlantic Ocean, with the breaking up of the proto-continent Pangea. These basins have experienced four tectonic stages of pre-rift (before  $J_3$ ), syn-rift ( $J_3$ – $K_1$ ), transitional ( $K_1$ ) and post-rift ( $K_2$ – $Q$ ). Aptian salt, which relates to Tristan hot spot activity and arid climate at that time, controls vertical distribution of hydrocarbon, and separate the upper salt petroleum system from the lower one in these basins. Came-room–Angola salt basin group, in which Late Jurassic–Early Cretaceous deposition has deep lacustrine hydrocarbon-rich sources, and Cenomanian–Santonian and Cenozoic marine shale is also the main sources; transitional stage deposited very thick evaporate rocks which are the most important cap in these basins. The reservoirs are the Cenozoic turbidite rock and the common traps are salt-related structures and stratigraphic lithologic traps while syngenetic faults and salt windows serve as excellent channels for migration of hydrocarbon. All these conditions match with each other and favorable to form the large-scaled oil fields.

**Key words:** West Africa; Passive continental margin; Basin evolution; Salt Basin; Petroleum geology

**Liu Zuodong:** female, Master degree in progress at College of Earth and Space Science, Peking University, Beijing, 100871 China