

文章编号:0253-9985(2010)04-0410-10

西非海岸南、北两段主要含油气盆地 油气成藏特征对比

熊利平,刘延莉,霍红

(中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:西非海岸主要含油气盆地是典型的大陆裂谷和被动陆缘盆地的叠合盆地,具有相同的区域构造演化背景,但是,由于南、北两段板块演化的过程不同,导致了盆地形成发育时期、构造演化特征、沉积充填特征的较大差异,形成了南、北两段油气地质条件、成藏特征、油气富集程度的极大差异。西非北段盆地的形成主要与北大西洋的裂开和非洲与北美板块的分离有关,同时也受北非构造演化的控制,盆地演化早期分异强烈,没有形成统一的沉积中心,晚期进入整体拗陷阶段,受阿特拉斯造山运动的影响,地形高差大,沉积厚度向海上快速增厚。而中段和南段盆地的形成主要与南大西洋的形成和非洲与南美洲板块的分离有关,盆地演化早期形成了统一的盆地,具有相似的沉积序列和地层发育特征,其沉积中心位于中部的加蓬和下刚果盆地,第三纪进入盆地的分异期,沿西非海岸发育一系列三角洲、扇三角洲沉积体系,从北向南规模逐步减小,有尼日尔三角洲和刚果扇盆地等。通过重点探讨西非南、北两段主要含油气盆地形成演化特征及对油气成藏的控制作用,对比分析南、北两段主要含油气盆地油气成藏特征,为中石化海外在西非战略选区提供依据。

关键词:油气成藏;演化特征;含油气盆地;西非海岸

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Comparison of the hydrocarbon accumulation patterns of petroliferous basins between the north and south parts of the West African coast

Xiong Liping¹, Liu Yanli¹ and Huohong¹

(1. SINOPEC Petroleum Exploration and Production Research Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: The major petroliferous basins along West African coastline are typical superimposed basins of continental rift basins and passive continental margin basins, therefore sharing the same regional tectonic evolution background. However, due to the difference of plate evolution process between the south and north parts of the West African coast, the basins vary in their forming times, tectonic evolution characteristics, and deposition features, causing the basins in the south part significantly differs from that in the north in geological conditions, accumulation patterns and hydrocarbon abundance. The formation of basins in the north part is mainly connected with the breakup of the North Atlantic and the separation of the African from the North American plate. The structural evolution of North African also contributes to the formation of these basins. In the early stage of basin evolution, tectonic differentiation was strong and no unified depocenter formed. While in the late stage, the basins downwarped as a whole and were influenced by the Atlas Orogeny. As a result, they vary greatly in height differences and their sedimentary thickness quickly thickens seaward. The formation of basins in the south and middle parts is chiefly related to the formation of South Atlantic and the separation of the African plate from the South American plates. In the early stage of basin evolution, a unified basin with similar sedimentary sequence and strata characters formed and its depocenter was located in central Gabon and lower Gongo basin. In the Tertiary,

收稿日期:2009-10-20。

第一作者简介:熊利平(1964—),女,教授级高级工程师、博士,石油与天然气地质。

基金项目:中石化科技部项目“西非重点盆地油气资源潜力及目标评价”(JP06001)。

the unified basin began to differentiate and formed a series of delta and fan-delta depositional systems along the West African coast, such as the Niger delta basin and the Congo fan basin. However, the size or scale of these systems decreases progressively from north to south. This article is focused on the formation and evolution of the major petroliferous basins in the area and their controlling effects over the hydrocarbon accumulation. The comparative study can be used as a guide to screening of strategic petroleum provinces in West Africa.

Keywords: hydrocarbon accumulation, evolutionary characteristic, petroliferous basin, West African coast

西非海岸盆地群是典型的大陆裂谷和被动陆缘盆地。盆地的形成与中生代以来大西洋裂谷作用和持续扩张作用有关,是冈瓦纳大陆解体和大西洋扩张形成的大陆裂谷和被动陆缘盆地^[1~4]。西非海岸北段主要含油气盆地包括阿

尤恩、塞内加尔、利比里亚和阿比让盆地等;中段包括尼日尔三角洲盆地、加蓬海岸盆地、下刚果盆地和宽扎盆地;南段包括纳米比亚和西南非海岸盆地,以中段盆地群油气最为丰富(图1)。

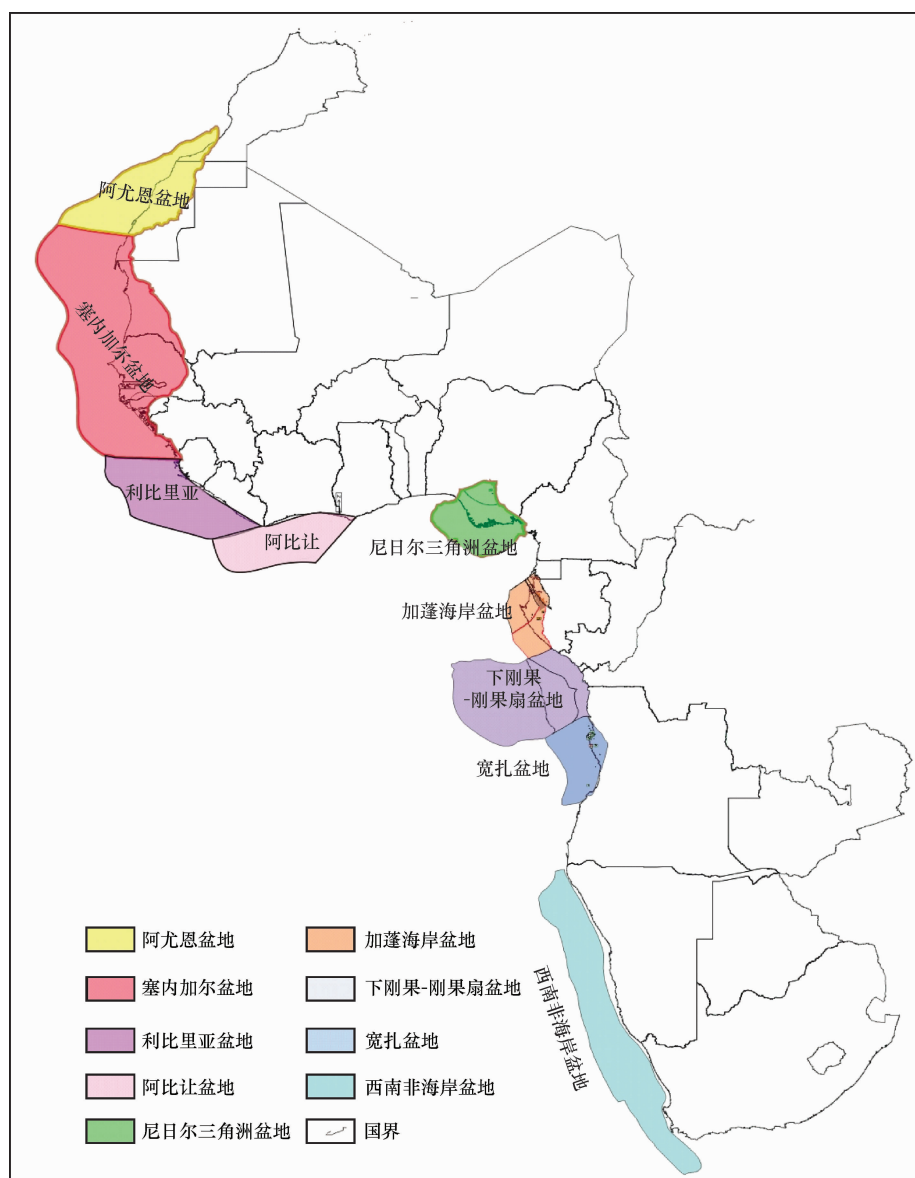


图1 西非海岸各盆地分布示意图

Fig. 1 Distribution of basins along the West African coast

北段盆地的形成主要与北大西洋的裂开和非洲与北美板块的分离有关,同时受北非构造演化的控制;而中段和南段盆地的形成主要与南大西洋的形成和非洲与南美洲板块的分离有关,因此,中段和南段盆地具有相同的大地构造环境,与北段盆地形成的大地构造环境有一定的差别,由此造成中南、北两段油气地质条件、成藏特征、油气富集程度的极大差异。

1 区域构造演化特征

西非板块演化始于晚三叠世—早侏罗世冈瓦纳大陆解体,据 Grand 等(1997)的研究,冈瓦纳大陆的解体与地幔深部低速层和热柱的活动有关,影响非洲板块形成和演化的热柱主要有8个^[5],其开始活动的时期差别较大。其中,与西非构造演化密切相关的热柱主要有两个,北部热柱(Camp)开始活动时期较早(T_3),导致北美板块与非洲板块分离。白垩纪早期,南部热柱(Tristan)开始活动,开始

了南美板块与非洲板块的裂解分离,开始西非构造演化的历史^[1~7],因此,西非主要含油气盆地的形成演化主要与北美板块、南美板块与非洲板块的分离及大西洋的形成和持续扩张有关。

由于西非南、北两段板块演化的历史不同,导致了盆地形成发育时期、演化特征、沉积充填特征的较大差异,形成了南、北两段油气地质条件、成藏特征、油气富集程度的极大差异。

2 盆地演化特征对比

北段盆地演化较中南段盆地早,北段盆地裂谷作用始于晚三叠世,盆地的演化不仅受北大西洋裂谷作用和北美与非洲板块的分离过程的控制,而且受三叠纪以前北非板块构造、沉积演化的控制;而中南段盆地演化较晚,始于侏罗纪晚期和白垩纪早期,其演化过程主要受南大西洋的裂谷作用和持续扩张作用控制(图2)。由于南、北盆地所处的构造环境的差异,形成不同演化阶段盆地特征的差异。

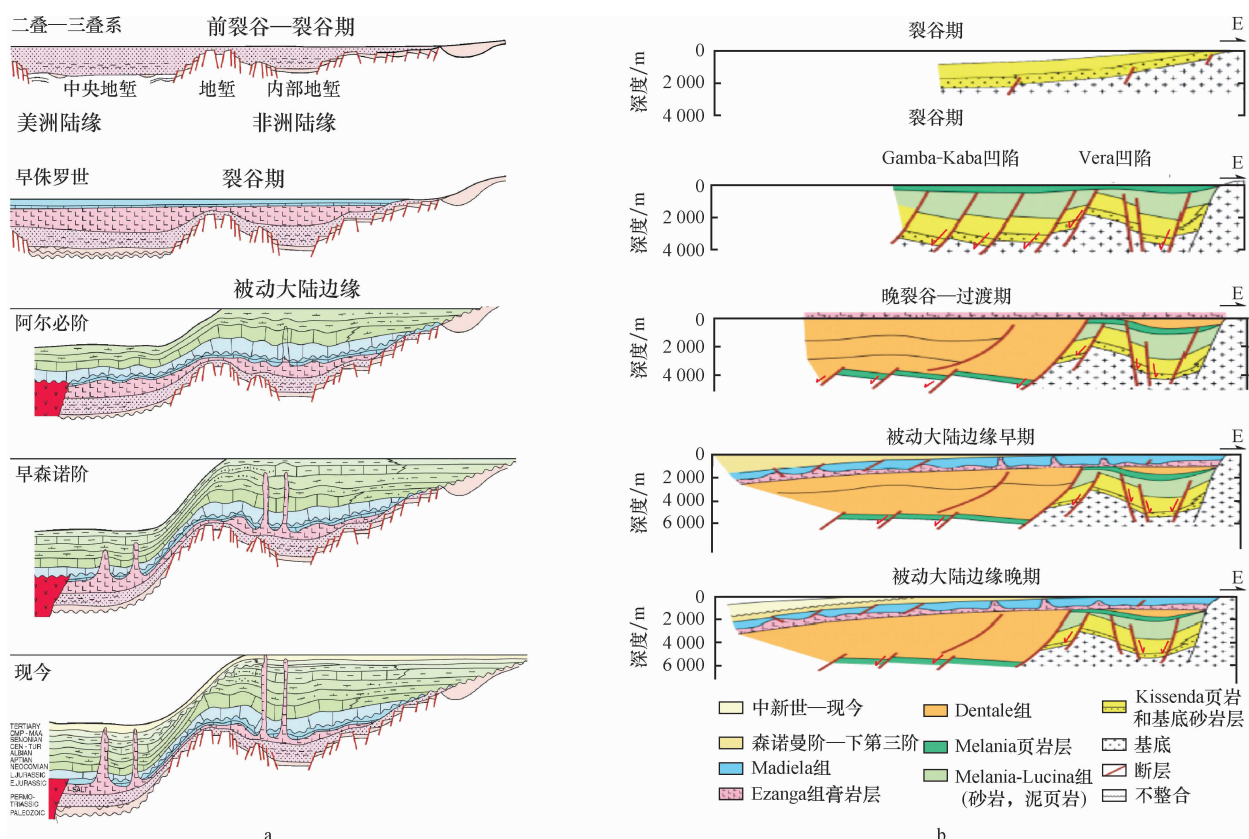


图2 西非北段及中南段盆地演化阶段(以赛内加尔盆地和南加蓬次盆为例)

Fig. 2 Evolutionary phases of basins in the north and middle-south parts of West Africa (taking the Senegale Basin and the South Gabon Sub-basin as examples)

a. 赛内加尔盆地南部; b. 南加蓬次盆

2.1 盆地演化阶段及沉积层序对比

西非北段区域构造演化主要与三叠系以后北美板块与非洲板块的分离和北大西洋的形成和持续扩张密切相关(据 Withjack 等和 Schlische)^[6]。西非北段盆地演化过程复杂,早期分异强烈,后期(K₁)进入整体沉降阶段。经历了晚三叠世之前的前裂谷期、晚三叠世—早侏罗世裂谷期和后期的被动陆缘 3 个主要阶段。

西非中南段盆地演化经历了 4 个阶段:晚古生代—早中生代大陆克拉通阶段(前裂谷阶段)、中—晚中生代以来的裂谷阶段、过渡阶段和中生代末—第三纪的被动大陆边缘阶段^[4]。与北段盆地演化阶段的主要差别是在裂谷阶段和被动陆缘阶段之间,经历了过渡阶段,形成了中南段广泛分布的 Aptian 盐岩——Aptian 盐盆,形成了中南段盆地良好的区域性盐层。

2.1.1 前裂谷阶段

北段盆地演化主要受北非构造体系和沉积体系的控制。前裂谷层序主要分布在西非北段,以残留沉积为特征(表 1;图 3)。西北非地区在前裂谷阶段经历了前海西期的伸展运动以及后期的加里东和海西造山运动的挤压、改造和破坏作用。前裂谷沉积包括前寒武系—泥盆系,根据地震资料解释,在塞内加尔盆地深海部分发育 5 000 m 以上前中生界地层,其中寒武系地层 1 200 m 左右,奥陶系砂岩约 1 400 m,志留系包含北非区域性分布的页岩优质烃源岩,泥盆系为 400 m 左右的砂

泥岩地层。从区域上看,西非北段志留系和北非志留系在沉积上具有相似的沉积环境,但由于后期剧烈的构造运动破坏,现今残存的志留系及以上前裂谷层序分布局限而且埋藏很浅。与之相比,中南段盆地前裂谷阶段相对较简单,在晚三叠世—早侏罗世 Pangea 大陆的解体,伴随着广泛大陆裂谷玄武岩喷发,因此,南段基本没有保存前裂谷层序。

2.1.2 裂谷阶段

北段盆地晚三叠世盆地进入裂谷发育阶段,与早期北大西洋开张伴随,产生了北北东—南南西向延伸断层,向西—北西下掉形成了半地堑。

西非北段三叠系裂谷盆地早期为河流相和泛滥平原相碎屑岩沉积,后期裂谷拉张作用使北段裂谷盆地可能受来自东面的 Tethys 洋和北面的原始大西洋海水的影响形成局限海环境,并在局部位置沉积了巨厚蒸发岩、湖相和泻湖相细粒碎屑岩(表 1;图 3)。蒸发岩的化学沉积作用持续到早侏罗世裂谷作用结束。这些裂谷期盐岩后期的构造运动形成了西非北段目前主要发现油气田的圈闭。

中南段盆地裂谷阶段发育较晚,南大西洋在阿普第晚期(早白垩世晚期)开始从南向北裂开,非洲和南美洲在土伦期最终分离。西非中段裂谷层序不整合上覆于前寒武纪基底之上,时代为纽康姆世(Neocomian)至巴雷姆期(Barremian),为一套非海相地层。由于纽康姆世末再一次发生了强烈的伸展,并形成了广泛的不整合面,发育了多个

表 1 西非南、北段盆地演化阶段对比				
Table 1 Comparison of evolutionary history of basins along the north and south parts of West African coast				
	盆地演化阶段			
	前裂谷阶段	裂谷阶段	过渡阶段	被动陆缘沉积阶段
北段	前裂谷阶段经历了前海西期的伸展运动以及后期的加里东和海西造山运动的挤压、改造和破坏作用。前裂谷沉积包括前寒武系—泥盆系	晚三叠世盆地进入裂谷发育阶段,早期为河流相和泛滥平原相碎屑岩沉积,后期局限海环境并在局部位置沉积了巨厚蒸发岩	缺少过渡阶段	白垩系前 Albian 阶主要沉积在西非北段,Albian 阶—晚白垩世早期以广海、碳酸盐台地和滨岸沉积为主;晚白垩世末期至现今则主要发育受物源控制的三角洲、扇三角洲、海底扇和浊积体等沉积体系
中、南段	南段基本没有保存前裂谷层序	中段早白垩世晚期进入裂谷发育阶段,主要为陆相沉积。南段的裂谷层序的沉积开始于晚侏罗世,南段裂谷层序的最大特点是火山岩发育	广泛分布的盐岩沉积	Albian 阶—晚白垩世早期以广海、碳酸盐台地和滨岸沉积为主;晚白垩世末期至现今则主要发育受物源控制的三角洲、扇三角洲、海底扇和浊积体等沉积体系

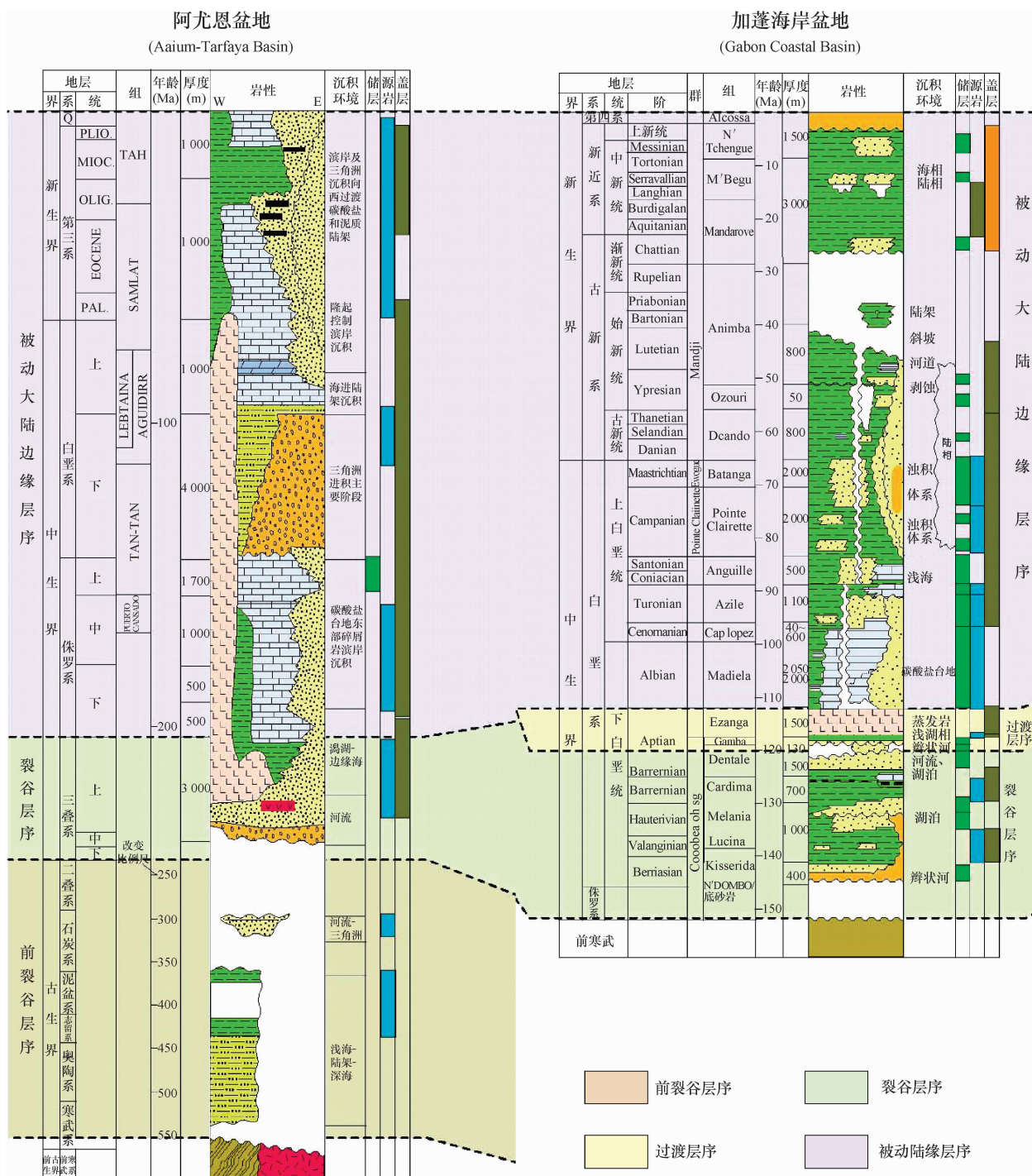


图3 西非北段阿尤恩盆地和南段加蓬海岸盆地充填特征和演化阶段对比

Fig. 3 Correlation of the filling characteristics and evolutionary stages between the Aaiun Basin in the north part and the Gabon Coastal Basin in the south part of West Africa

由断陷而形成的深湖,在不整合面之上沉积了湖相的含沥青的泥岩,形成了西非海岸盆地盐下最主要的一套优质烃源岩。

中段裂谷层序的发育程度在不同盆地也不尽相同。在下刚果盆地和加蓬海岸盆地最发育,而

在南、北的宽扎盆地和尼日尔三角洲盆地沉积岩的厚度小,勘探价值小。裂谷层序岩性和规模的这种变化是裂谷期南、北构造位置的不同和初期南部宽扎盆地火山活动的响应。由于非洲与南美之间的大陆裂开南早北晚,导致西非中段裂谷层序的发

育和规模自南向北缩减。在中部南段的宽扎盆地,大陆裂谷早期,火山活动强烈,在裂谷盆地内主要充填了广泛的火山岩及火山碎屑岩沉积。

南段西南非海岸盆地和纳米比亚盆地的裂谷层序的沉积始于晚侏罗世,南段裂谷层序的最大特点是火山岩发育,而且,由于离古特提斯洋较近,除裂谷典型的河流-湖泊沉积体系外,局部还发育海相沉积。

2.1.3 过渡阶段^[4]

北段盆地演化缺少过渡阶段,尽管在晚三叠一早侏罗世形成了一套较厚的盐岩、盐膏岩地层(图2;表1),但该套地层是在裂谷阶段后期形成的,分布范围受一定的限制,埋藏较深,后期变形强烈,构造复杂,盐下勘探难度大,前期主要以盐上勘探为主。

过渡层序是在裂谷作用阶段和后裂谷拗陷阶段(被动陆缘裂阶段)之间的过渡期沉积的地层。过渡层序分布在西非南段,是在早白垩世裂谷作用趋于结束时发生了区域性抬升(反弹挤压作用结果),形成了西非中段海岸裂谷盆地的反转和抬升剥蚀,之后在加蓬盆地-宽扎盆地的范围内形成了一个巨大的 Aptian 盐盆(盐盆还包括大西洋对岸的数个盆地),沉积了广泛分布的 Aptian 盐岩(图2;表1)。

在西非中段,盐下层序和盐层序被一非常明显的不整合面分开,不整合面被快速而广阔的海侵层序覆盖,其厚度大约 60 m,岩性为厚层的砂岩,但在局部地区相变为泥岩、钙质粉砂岩和白云岩。在加蓬盆地称之为 Gamba 组,下刚果盆地为 Chela 组,在宽扎盆地为 Grey Guuo 组。这套海相沉积超覆于前阿普第期裂谷沉积层序之上,其中的砂岩是横向分布不稳定的优质储层。上覆的蒸发岩层序由硬石膏、盐岩、钾岩和泥岩夹层组成,不同部位厚度差别较大,厚几十米到 800 m 或更厚。这套盐岩在南部宽扎盆地(Massive Salt)和下刚果盆地称为 Loeme 组,在南加蓬盆地称之为 Ezanga 组。该套地层为油气成藏提供了良好的区域性盖层,后期盐的构造活动形成了一系列与盐构造活动相关的构造,为油气成藏提供了良好的圈闭。

2.1.4 被动陆缘沉积阶段

被动陆缘沉积阶段以热沉降为特征。其沉积

建造发育在向海方向倾斜的陆架-陆坡上,包括早期的碳酸盐岩台地以及后期的三角洲、扇三角洲、海底扇以及浊积体沉积等海陆过渡相、海相碎屑岩沉积体系。

被动陆缘沉积层序包括侏罗纪至现今多个时代的地层。侏罗系被动陆缘沉积主要分布在西非北段的阿尤恩盆地和塞内加尔盆地,以碳酸盐台地沉积为主,碳酸盐岩的厚度可达数千米,滨岸碎屑岩沉积分布在碳酸盐台地以东。白垩系前 Albian 阶被动陆缘地层也主要沉积在西非北段,在塞内加尔盆地早期为碳酸盐岩沉积,后期为广海、滨海沉积,在阿尤恩盆地则以广海和三角洲、扇三角洲沉积为主。Albian 及以后南、北大西洋连为一体,西非被动陆缘的沉积主要受控于全球海平面的相对变化和物源。Albian 阶及上白垩统早期大西洋整体处于厌氧环境,形成了区域性分布的海相高有机质丰度的暗色页岩,同时在近海发育不同规模的碳酸盐台地相沉积和滨岸砂沉积^[7],以西非中段的下刚果盆地、加蓬海岸盆地和宽扎盆地最为发育,特别是下刚果盆地的 Pinda 组,是西非唯一具有规模储量的碳酸盐岩储层。Albian 阶-上白垩统碳酸盐岩在西非北段也有分布,以阿尤恩盆地最为发育。晚白垩世中、后期至现今西非沉积主要以发育大型三角洲、扇三角洲、海底扇和浊积体为特征,自下而上主要的沉积体系依次有加蓬海岸盆地的上白垩统的 Anguille 组及 Pointe Clairette 组浊积体,下刚果盆地始新世至现今的刚果扇,尼日尔三角洲盆地的始新世至现今的三角洲-浊积体系^[8]以及宽扎盆地、塞内加尔盆地和西南非海岸盆地 Orange 次盆的第三纪扇体。晚白垩世中后期至现今西非主要沉积体系沉积规模明显受物源控制,如尼日尔三角洲由于陆源物质的供应强度大,进入始新世之后形成了巨厚海陆过渡相的三角洲沉积,在下刚果盆地则形成了巨大的刚果扇沉积。

总之,前裂谷沉积主要分布在西非北段,裂谷层序的展布主要受裂谷发育的影响,在西非北段以三叠系一下侏罗统陆相和盐岩沉积为主,西非中段裂谷层序的沉积中心位于下刚果盆地和加蓬海岸盆地,宽扎盆地次之,南段则以火成岩发育为特点。过渡层序主要分布在西非中南段,以广泛分布的盐岩沉积为特征。被动陆缘层序包括侏罗纪至现今多个时代的地层,其中前 Albian 阶主要

表 2 西非南、北段盆地沉积充填及构造特征对比

Table 2 Correlation of the filling and tectonic characteristics of the basins in the south and north parts of West Africa

盆地	沉积充填特征	构造特征	主力勘探目标区
北段	没有形成统一的裂谷盆地,海上部分主要以中、新生界沉积为主,三叠晚期到侏罗纪早期形成了一套盐岩、盐膏岩沉积,厚度大,第三纪时期进入统一的沉降拗陷阶段,沉积地层向海上急速加厚	发育北北东-南南西向延伸断层,向西-北西下掉形成了半地堑。盐上构造与盐作用密切相关	陆上、盐上
中、南段	裂谷期和被动陆缘阶段的早期,形成了统一的裂谷盆地,其沉积、沉降中心位于中部的下刚果盆地和加蓬盆地。盆地的分异期是从第三纪渐新世开始,在西非中南段发育了一系列的三角洲、扇三角洲盆地,盆地规模向南逐步变小	发育一系列北西向断陷、断垒,东西相间排列。南北方向上以横向隆起各段错开,形成次级盆地。盐下发育断块、翘倾断块。盐上构造与盐作用密切相关	盐上、盐下

分布在西非北段,以碳酸盐岩发育为特点;Albian 阶一晚白垩世早期以广海、碳酸盐台地和滨岸沉积为主;晚白垩世末期至现今则主要发育受物源控制的三角洲、扇三角洲、海底扇和浊积体等沉积体系,形成了西非海岸一个富油气系统——第三系含油气盆地,如尼日尔三角洲盆地和刚果扇盆地。

2.2 盆地沉积充填特征对比

北段盆地裂谷期分异明显,没有形成统一的裂谷盆地,也没有形成统一的沉积、沉降中心,不同盆地沉积、沉降中心不同,而且不断向北、向西迁移;盆地陆上受北非板块古生界演化控制强烈,塞内加尔盆地发育有古生界志留、泥盆纪沉积,向北阿尤恩盆地陆上以三叠、侏罗纪沉积为主(图 3)。海上部分主要以中新生界沉积为主,三叠晚期到侏罗纪早期形成了一套盐岩、盐膏岩沉积,厚度大,但由于盆地范围窄,挤压变形强烈。北段盆地在第三纪时期进入统一的沉降拗陷阶段,但是北部由于受阿特拉斯造山作用的影响,地层高差大,沉积地层向海上急速加厚。

中、南段盆地裂谷期和被动陆缘阶段的早期,形成了统一的裂谷盆地,其沉积、沉降中心位于中部的下刚果盆地和加蓬盆地(图 3),形成了盐上、盐下白垩系两套主要的烃源岩系,为油气藏形成奠定了基础;盆地的分异期是从第三纪渐新世开始,由于南大西洋的裂谷作用是以“三岔裂谷”的形式打开,第三纪在三岔谷的中心位置(尼日尔三角洲地区)应力集中,拗陷作用强烈,向南逐渐减弱,在西非中南段发育了一系列的三角洲、扇三角洲盆地,盆地规模向南逐步变小,形成了盆地分异期沉积层序和成藏体系,主要有尼日尔三角洲盆地、刚果扇盆地等。

从盆地岩性、岩相特征分析,西非海岸盆地具有相似的沉积序列和岩性组合特征。裂谷阶段,西非南北段盆地均以陆相的河流、湖泊、三角洲沉积为主,形成了一套以陆相碎屑岩为主的沉积序列;在北段裂谷晚期发育有沼泽沉积,形成了晚三叠到早侏罗世的盐、膏岩沉积;在中南段尽管也发育了一套盐、膏岩沉积,但该套沉积是裂谷阶段与被动陆缘阶段的过渡期形成的沼泽沉积,二者在时代和盆地演化阶段上表现出明显的不同。进入被动陆缘阶段,盆地主要以碳酸盐岩沉积为主,形成了一套以海相沉积为主的沉积序列(图 3;表 2)。

2.3 构造特征对比

盆地北段由于受海西构造运动的影响,盆地具有很明显的北北东-南南西和北东-南南向构造特征,伴随着北大西洋开张,产生了北北东-南南西向延伸断层,向西-北西下掉形成了半地堑^[9]。由于膏盐地层的可塑性,受后期重力作用的影响,发生盐底辟作用,形成了一系列与盐活动相关的构造,这种构造在北部表现为强烈的挤压作用形成的规模较小紧闭褶皱,主要发育于盐上,是目前西非北段勘探的主要对象;盐下层序主要位于海上,埋藏深,勘探程度和认识程度低,难度大,潜力有限。

盆地中南段,由于受北北西向和北东东向基底断裂制约,在宽扎、下刚果和加蓬盆地发育为一系列北西向断陷、断垒,东西相间排列^[10,11];受北东东向转换断裂影响,断陷在南北方向上以横向隆起各段错开,形成次级盆地^[10-12]。

盐下裂谷期沉积断层发育,形成一系列从陆上向海方向的断阶,发育断块、翘倾断块等一系列与断层活动相关的构造。盐上被动陆缘阶段沉积厚

度大,盐岩层发育,向海方向逐渐加厚,几乎所有构造均与盐的活动有关,形成各种与盐的底辟作用有关的圈闭^[13]。另外,随着上覆沉积物的增厚,由于重力作用及盐的塑性流动,形成重力滑塌构造。

3 盆地油气地质条件对比

3.1 烃源岩特征对比

西非中南段与北段盆地的沉积、演化特征不同,因此,其烃源岩的发育特征、分布的层位也不尽相同(表 3)。

北段:以盐岩为界可以划分为盐下、盐上两套烃源岩。但是,目前的勘探工作主要集中在海上的盐上部分。盐上已证实的烃源岩主要有中上侏罗统、白垩系的页岩,由于盆地勘探程度有限,其区域分布特征尚不十分清楚;盐上第三系是一套潜在的烃源岩,其生烃潜力主要取决于源岩的成熟度。盐下烃源岩主要分布在盆地的陆上部分,主要包括两套,一套是广泛分布于北非地区的志留系烃源岩,另一套是三叠系的烃源岩。目前针对这两套烃源岩的勘探程度很低,推测具有较大的勘探潜力,是我们进一步关注的地区。

中、南段:主要烃源岩包括 3 套——盐下、盐上白垩系和第三系。这 3 套烃源岩已在西非中南部盆地发现了大规模的油气储量。其中,盐下烃源岩以白垩系纽卡姆期深湖-半深湖相泥页岩为主,有机质丰度高,类型好,成熟度适中,生烃潜力

大;盐上上白垩统烃源岩主为厌氧的海相页岩,有机质丰度高,类型好,其生烃的潜力取决于其成熟度;第三系烃源岩主要发育在第三系形成的三角洲、扇三角洲盆地,厚度大,有机质丰度较高,具有较大的生烃潜力。

3.2 储层特征对比

北段:盆地的陆上部分,以古生界和三叠系为勘探目标^[14],储层类型以志留、泥盆和三叠系砂岩储层为主;盆地的海上部分,以盐上的侏罗、白垩和第三系为勘探目标,储集层类型有碎屑岩储层,也有碳酸盐岩储层。

中、南段:盐下主要以白垩系砂岩为主要储层;盐上以白垩系和第三系砂岩为主要储层,碳酸盐岩储层较少,以碎屑岩储层为主。

对比南、北段储层发育特征,碳酸盐岩储层也应成为中南段盆地勘探重点关注的目的层系。

3.3 圈闭特征对比

北段盆地群的圈闭主要和三叠系盐运动有关,目前在北段发现的油气基本和这些盐构造有关,和西非中段的 Aptian 盐盆相比,北段的盐沉积的范围小,埋藏深,导致盐构造的数量少,类型单一,在一定程度上限制了北段的成藏。另外,岩性圈闭在北段可能具有相对重要的作用,如阿尤恩盆地的碳酸盐礁体和塞内加尔盆地的浊积砂体尖灭岩性圈闭。

表 3 西非南、北段盆地油气地质特征对比				
Table 3 A correlation of petroleum geological characteristics in the south and north parts of West Africa				
盆地	烃源岩	储层	圈闭	含油气系统
北段	盐上、盐下两套。盐上已证实的烃源岩主要有中-上侏罗统、白垩系的页岩。盐下烃源岩主要分布在盆地的陆上部分。这部分源岩尚未实施勘探	陆上以古生界和三叠系为勘探目标,以砂岩储层为主;海上以盐上的侏罗、白垩和第三系为勘探目标,储集层有碎屑岩,也有碳酸盐岩	圈闭主要和三叠系盐运动有关	主要有 3 套,包括古生界含油气系统、三叠系含油气系统和侏罗-白垩-第三系含油气系统
中、南段	3 套——盐下、盐上白垩系和第三系,盐下烃源岩以白垩系深湖-半深湖相泥页岩为主,生烃潜力大;盐上主要为上白垩统厌氧的海相页岩,其生烃的潜力取决于其成熟度;第三系烃源岩主要发育在第三系形成的三角洲、扇三角洲盆地,具有较大的生烃潜力	盐下主要以白垩系砂岩为主要储层;盐上以白垩系和第三系砂岩为主要储层,碳酸盐岩储层较少,以碎屑岩储层为主	3 种主要的圈闭样式:其一为盐下构造,主要以与断裂作用相关的构造有关;其二为盐上构造,主要为与盐岩构造活动和变形相关的构造;其三为同沉积构造	主要发育 3 套含油气系统,盐下含油气系统(以早白垩世为主)、盐上白垩系含油气系统和第三系含油气系统

南段盆地存在 3 种主要的圈闭样式:其一为盐下构造,包括掀斜断块、地堑和半地堑、披覆褶曲等与断裂作用相关的构造有关;其二为盐上构造,主要为与盐岩构造活动和变形相关的构造,如盐丘、盐背斜和底辟构造等;其三为同沉积构造,如尼日尔三角洲盆地的滚动背斜。目前已发现的油气藏基本上都属于这些类型。

3.4 含油气系统对比

北段:含油气系统主要有 3 套,包括古生界含油气系统、三叠系含油气系统和侏罗-白垩-第三系含油气系统。这 3 套含油气系统勘探程度差别较大,前期的勘探工作主要是针对侏罗-白垩-第三系含油气系统而开展的,其他两套含油气系统勘探程度较低,认识程度有限,是我们下步重点关注的含油气系统(表 4)。

中南段:主要发育 3 套含油气系统,盐下含油气系统(以早白垩世为主)、盐上白垩系含油气系统和第三系含油气系统。这 3 套含油气系统均已发现较大规模的储量^[15]。但是,不同盆地或同一盆地的不同区带,其主力的含油气系统不完全一致。尼日尔三角洲盆地以第三系含油气系统为主(表 4);加蓬盆地北加蓬次盆以盐上白垩系含油气系统为主,南加盆地次盆则以盐下含油气系统

为主;下刚果-刚果扇盆地 3 套含油气系统均有一定规模的发现;宽扎、纳米比亚和西南非海岸盆地均以盐下含油气为主,但不同盆地储集层有所不同。

4 结语

1) 西非北段盆地的形成主要与北大西洋的裂谷作用和持续扩张作用有关,其盆地的形成、演化,不仅受控于三叠纪非洲板块与北美洲板块的分离,同时受控于北非板块的构造演化。盆地的演化过程复杂,主要经历了前裂谷期、裂谷期和漂移期 3 个阶段,盆地的前裂谷期主要受控于北非板块构造演化,裂谷期主要受控于非洲板块与北美洲板块的分离作用,但这两个演化时期,盆地分异强烈,没有形成统一的盆地,晚白垩世进入漂移期,第三纪开始盆地进入整体的拗陷和沉降阶段。

2) 由于西非北段盆地早期分异强烈,因此,不同盆地、同一盆地的陆上和海上,沉积地层发育特征差异较大,油气地质条件和成藏条件各异。主要发育古生界、三叠系、侏罗系-白垩系-第三系等多套含油气系统,盆地的陆上部分以古生界、三叠系含油气系统为主,海上部分以侏罗系-白垩系-第三系含油气系统为主。

表 4 西非南、北段含油气系统对比
Table 4 Comparison of petroleum systems in the south and north parts of West Africa

盆地	含油气系统名称	源岩	储层	圈闭类型	盖层	备注
阿尤恩盆地	Tertiary-Tertiary (?)	第三系陆相页岩, TOC 值域 0.6%~4.6%	第三系河道砂岩, 孔隙度 20%~30%	与盐相关的构造为主要圈闭	同期泥页岩	次要
	中侏罗统 Lias/Dogger 阶-侏罗系/白垩系(·)	中侏罗统上 Liassic-Dogger 阶海相页岩, 干酪根类型 II/III, TOC 值域 0.5%~3.2%	侏罗系碳酸盐岩孔隙度 4%~25%, 白垩系砂岩孔隙度为 10%~35%	早白垩世到晚白垩世形成, 圈闭主要为与盐相关的碳酸岩礁体	侏罗系、白垩系和新生界蒸发岩和页岩	主要
尼日尔三角洲盆地	Akata-Agbada (!)	Akata 组开阔海-三角洲前渊页岩, 干酪根类型 II/III 型, TOC 值域 0.5%~4.4%	Agbada 组三角洲砂岩, 储层孔隙度 15%~40%	古新世至今, 以同生断层和滚动背斜为主	古新统至今三角洲页岩	主要
加蓬海岸盆地	Azile/Anguille-An-guille (!)	Azile/Anguille 海相页岩, 干酪根类型 II/III 型, TOC 值域 3%~5%	Aguille-Pointe Clairte 组浊积砂岩, 储层孔隙度 25%~30%	早白垩世晚期至今, 断块圈闭, 盐底辟圈闭	上白垩统和第三系海相页岩	北加蓬
	Melania/Kissenda-Dentale/Gamba (!)	Melania/Kissenda 湖相页岩, 干酪根类型 I/II/III 型, TOC 值域 0.6%~2.23%	Dentale/Gamba 三角洲砂岩, 储层孔隙度平均 20%	早白垩世晚期至今, 断块圈闭为主	下白垩统盐	

3) 西非中南段盆地的形成演化主要与白垩纪以来,南大西洋的形成和后期的持续扩张作用有关,经历了前裂谷期、裂谷期、过渡期和漂移期4个阶段,发育了盐下、盐岩和盐上3套层系,形成了盐上、盐下两套生储盖组合,由于盆地的形成南早北晚,因此,不同盆地两套生储盖组合的发育程度差别较大,南部宽扎和下刚果盆地盐下组合发育,是盆地主要的勘探目标,盐上烃源岩热演化程度低,勘探潜力有限,向北至加蓬盆地则发育盐上、盐下两套组合,其中南加蓬次盆以盐下组合为主,北加蓬次盆以盐上组合为主;北部尼日利亚三角洲盆地则以盐上、下第三系组合为主。

4) 西非中南段盆地由于裂谷期、过渡期和漂移期早期形成了统一盆地,其沉积沉降中心位于中部的加蓬和下刚果盆地,因此,盆地的沉积地层发育特征具有相似性,过渡期形成了 Aptian 期的盐膏盐沉积——统称为 Aptian 盐盆。晚白垩世末—第三纪进入盆地的分异期,形成了一系列规模不等的三角洲、扇三角洲和浊积沉积体系,形成西非中南段最富油气的含油气系统。

纳米比亚、西南非海岸盆地,由于早期裂谷作用强烈,火山活动强烈,盆地热流值高,有机质热演化程度高,盆地以气藏为主,具有一定的勘探潜力,但是,由于受西非天然气管输条件和市场的限制,勘探受到一定的限制。

总之,西非海岸盆地尽管具有相同的盆地类型和类似大地构造演化背景,但是,由于南、北段盆地的演化特征、充填和沉积特征有一定差别,导致盆地的油气地质条件、成藏条件和勘探潜力差别较大,因此,对比研究北段、中南段盆地的演化特征及其对油气成藏的控制作用,对深入研究盆地的油气地质特征、成藏主控因素和勘探潜力,提出西非海岸盆地中段是首要选区地,南、北两段盆地是重要的后备战略选区地。认为中段盆地的陆上和浅水甚至大部分深水区应重点关注油气田开发及资产转让项目,深水—超深水区勘探程度低,成藏条件好,是西非勘探开发最重要的选区。

参 考 文 献

- 1 刘和甫,李晓清,刘立群,等. 伸展构造与裂谷盆地成藏区带[J]. 石油天然气地质,2005,26(5):537~552
- 2 宋红日,窦立荣,肖坤叶,等. Bongor 盆地油气成藏地质条件及分布规律初探[J]. 石油天然气地质,2009,30(6):762~767
- 3 侯鸿斌,钱基. 海域油气的战略地位[J]. 石油天然气地质,2005,26(4):536
- 4 熊利平,王骏,殷进垠,等. 西非构造演化及对油气成藏的控制作用[J]. 石油天然气地质,2005,26(5):641~646
- 5 Arthur T J, Macgregor D S, Cameron N R. New themes and developing technology, Geological Society special publication 207 "Africa's petroleum systems: four tectonic 'Aces' in the past 600 million years" [J]. Petroleum Geology of Africa, 2003: 21~56
- 6 Withjack M O, Schlische R W, Olsen P E. Diachronous rifting, drifting, and inversion on the passive margin of central eastern North America: an analog for other passive margins [J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1998, 82: 817~835
- 7 Kolla V, Bourges P, Urruty JM, et al. Evolution of deep-water Tertiary sinuous channels offshore Angola (west Africa) and implications for reservoir architecture [J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 2001, 85(8): 1373~1405
- 8 Lambert A D O, Ibe A C, Daukoru E M. Petroleum source-bed evaluation of Tertiary Niger Delta (discussion and reply) [J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1984, 68(3): 387~394
- 9 Lehner P, De Ruiter P A C. Structural history of Atlantic Margin of Africa [J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1977, 61: 961~981
- 10 Mascle J, Brnhold B D, Renard V. Diapiric structures of Niger Delta [J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1973, 57(9): 1672~1678
- 11 Letouzey J. Evolution of salt-related structures in compressional settings [A]. In: Jackson M P A, Roberts D G, Snelson S, eds. Salt tectonics: a global perspective [C]. American Association of Petroleum Geologists, 1995, 65: 41~60
- 12 Lundin E R. Thin skinned extensional tectonics on a salt detachment, northern Kwanza Basin, Angola [A]. In: Jackson M P A, ed. Special issue: salt tectonics [C]. Marine and Petroleum Geology, 1992, 9(4): 405~411
- 13 Liro L M, Dawson W C. Reservoir systems of selected basins of the South Atlantic [A]. In: Mello M R, Katz B J, eds. Petroleum systems of South Atlantic margins, Memoir [C]. American Association of Petroleum Geologists, 2000, 73: 77~92
- 14 Lawrence S R. Prospects for petroleum in Late Proterozoic/Early Palaeozoic basins of southern-central Africa [J]. Journal of Petroleum Geology, 1989, 12(2): 231~242

(编辑 高 岩)