

文章编号:1672-9854(2010)-03-0045-07

## 西非被动大陆边缘构造—沉积演化 及其对生储盖的控制作用

冯杨伟<sup>1</sup>, 屈红军<sup>1</sup>, 张功成<sup>2</sup>, 朱立军<sup>3</sup>, 范玉海<sup>1</sup>, 关利群<sup>1</sup>, 雷露<sup>1</sup>

(1 大陆动力学国家重点实验室, 西北大学地质学系; 2 中国海洋石油总公司研究总院)

(3 中国海洋石油(中国)有限公司勘探部)



冯杨伟

**摘要** 西非海岸属典型的被动大陆边缘, 经历了前裂谷、裂谷和被动陆缘等三个演化阶段, 北段与中南段盆地裂谷作用的时间和方式不同。在由构造—沉积控制的盆地发展演化过程中发育三套主力烃源岩, 即裂谷期盐下湖相页岩、被动陆缘期盐上海相页岩以及浅海相—三角洲相页岩; 发育裂谷期湖相碎屑岩、被动陆缘期碳酸盐岩、滨岸砂岩、浊积体和三角洲砂岩等多套储层。阿普特盐岩为主要的区域盖层, 形成了裂谷期的断块、断背斜、盐岩构造以及与被动陆缘期同生长断层相关的滚动背斜等众多构造和圈闭。

**关键词** 西非; 含油气盆地; 陆缘盆地; 构造演化; 烃源岩; 储集层; 控制作用

**中图分类号**: TE111.3 **文献标识码**: A

**冯杨伟** 1987年生, 现为西北大学大陆动力学国家重点实验室、地质学系在读硕士研究生。主要从事沉积学与储层地质学方面的研究。通讯地址: 710069 陕西省西安市太白北路 229 号

西非地区是非洲大陆的主要油气富集区之一<sup>[1-2]</sup>, 位于非洲大西洋边缘地带, 长达 1 万余千米, 面积  $656 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。共分布有 28 个国家, 其主要产油国包括尼日利亚、安哥拉、加蓬、刚果(布)、刚果(金)、赤道几内亚、喀麦隆和南非等 8 个国家<sup>[3]</sup>(图 1)。西非被动大陆边缘诸盆地是目前油气勘探的重点和热点地区<sup>[4-6]</sup>。本文在大量调研资料的基础上, 分析总结西非的构造—沉积演化特征, 并探讨其对区域油气生储盖及成藏的控制作用。

### 1 地质背景

西非海岸盆地属典型的被动大陆边缘盆地, 它在中新生代联合大陆发生裂解过程中, 跟北美板块与南美板块和非洲板块的裂谷作用及持续扩张作用有关, 是冈瓦纳大陆解体和大西洋扩张形成的被动陆缘盆地<sup>[1,7-11]</sup>。

非洲西部被动大陆边缘盆地从北向南分为三段: 北段主要包括阿尤恩—塔尔法亚盆地和塞内加尔盆地; 中段包括尼日尔三角洲盆地、加蓬盆地、下

刚果盆地、Rio Muni 盆地和宽扎盆地; 南段主要包括纳米比亚盆地和西南非海岸盆地。其中中段盆地群油气最为丰富, 各盆地间一般以构造隆起或地形高作为分隔<sup>[2,7,11-13]</sup>(图 1)。

### 2 构造—沉积演化

西非构造—沉积演化经历了三个阶段: 前裂谷阶段(古生代—早中生代)、裂谷阶段(中—晚中生代)和被动陆缘阶段(中生代末—第三纪)<sup>[10,14-15]</sup>(图 2)。西非海岸盆地的发育均经历了上述三个阶段, 但是由于北段与中、南段盆地裂谷作用的时间和方式不同, 造成盆地的演化特征和油气地质条件大相径庭。西非北段盆地沉积较中、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分离过程的控制, 而且受三叠纪以前北非板块构造和沉积演化的控制; 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<sup>[8,11-13]</sup>。

收稿日期: 2009-12-21

本文为国家科技重大专项(项目编号 2008ZX05025-06)的部分成果



被动陆缘期北大西洋从南到北开张, 导致了早侏罗世的海相沉积和从裂谷作用到热沉降的变化。

通过对大量的资料分析,发现西非被动陆缘盆地中储层所含的油气通常由储层下部更老的烃源岩

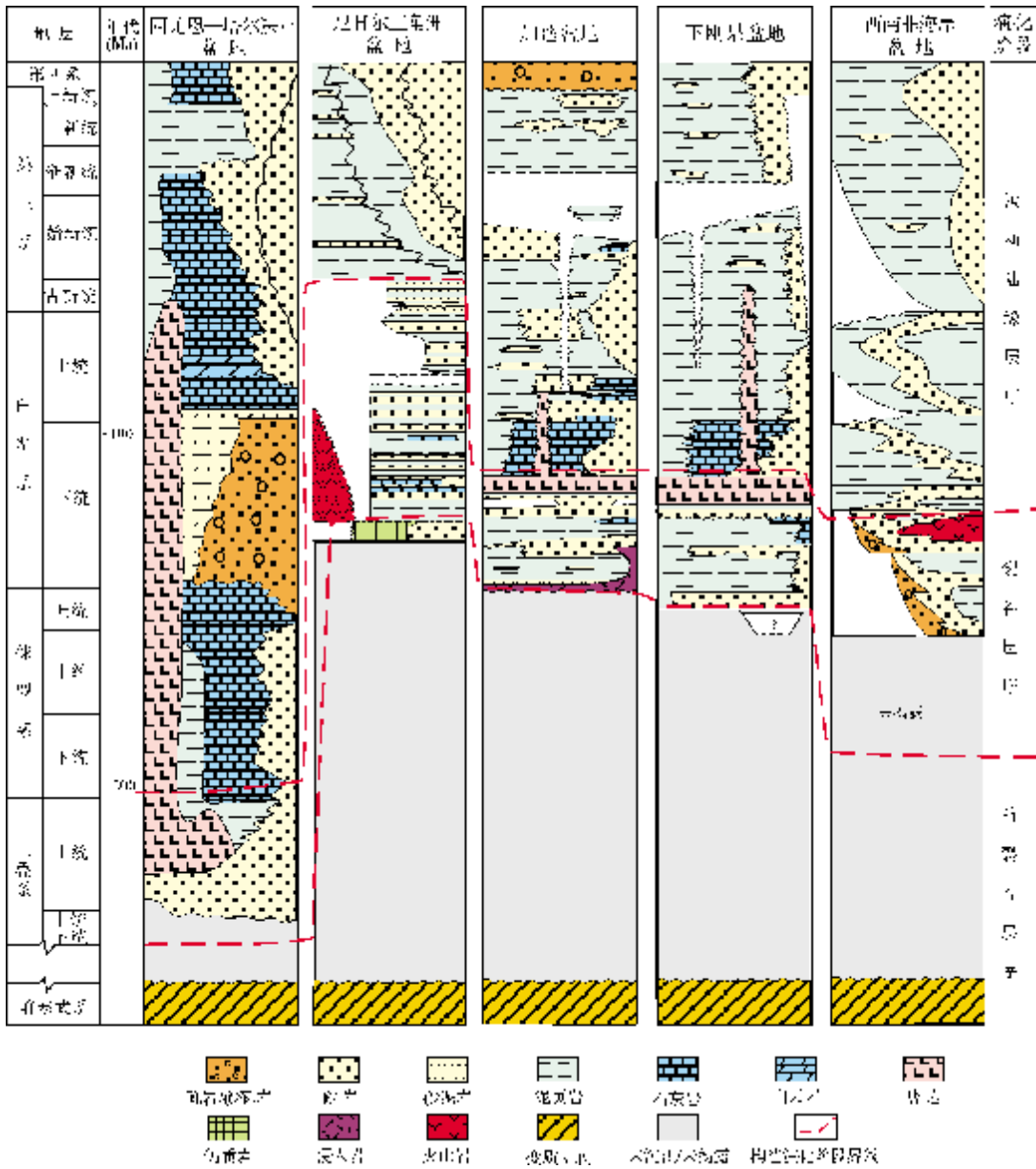


图2 西非被动大陆边缘盆地构造-沉积演化图(据文献[4-5,12,15-17])

产生。认为目前西非的绝大部分油气来自三套烃源岩(表1),即裂谷期盐下白垩统湖相页岩(Ⅱ—Ⅲ型,TOC值1%~5.9%,低成熟—成熟)、被动陆缘期盐上上白垩统—第三系早期盐上浅海或半深海相及开放海陆架内或斜坡盆地海相页岩(Ⅱ型,TOC值3%~10%,低成熟)以及第三系盐上海相—三角洲相(或前三角洲斜坡)泥页岩(Ⅱ型,TOC值3%~10%,未成熟—低成熟)。最重要的烃源岩是裂谷期盐下湖相页岩或泥岩以及被动陆缘期盐上局部海相泥页岩,

其中以裂谷期的烃源岩为主<sup>[1,17,21-27]</sup>。

3.2 储层

通过对大量的资料分析,发现西非被动陆缘盆地主要发育裂谷期盐下侏罗系、下白垩统和被动陆缘期盐上上白垩统和第三系等两大储集体系。裂谷期盐下侏罗系和下白垩统为河流—三角洲相和滨浅海相砂岩储层,孔隙度10%~29%;被动陆缘期盐上上白垩统为滨岸砂、潮道等多种类型的砂体以及碳

表1 西非被动大陆边缘主要烃源岩特征(据文献[1, 17, 21-27])

	盆地	构造期次	时代	岩相岩性	烃源岩类型特征	成熟度
西非北段	阿尤恩—塔尔法亚盆地	裂谷后期	中晚侏罗世	泥质灰岩	Ⅱ—Ⅲ型, TOC 值为 1.47%~2.49%, $R_o > 0.7\%$	成熟
		被动陆缘期	早白垩世	湖相页岩	Ⅱ—Ⅲ型, TOC 值为 1%~5.9%	未成熟—低成熟
	塞内加尔盆地	前裂谷期	志留纪	海相页岩	Ⅱ—Ⅲ型, TOC 值 1%~5.5%	未成熟—低成熟
		前裂谷期	晚二叠世	湖相页岩	Ⅱ—Ⅲ型, TOC 值 2%~3.5%	低成熟
西非中段	尼日尔盆地	裂谷期	晚白垩世	湖相页岩	I—Ⅱ型, TOC 值 0.1%~50%(煤)	未成熟—低成熟
	Rio Muni 盆地	裂谷早期	早—中侏罗世	湖相页岩	I—Ⅱ型, TOC > 5%	高成熟—过成熟
		裂谷晚期	早白垩世	湖相页岩	Ⅱ—Ⅲ型, TOC 值 2%~4%	高成熟—过成熟
		被动陆缘期	晚白垩世—第三纪	海相页岩	Ⅱ型, TOC > 3%, $R_o < 0.5\%$	低成熟
	加蓬盆地	裂谷期	早白垩世	湖相泥岩	Ⅱ—Ⅲ型, TOC 值 1.5%~2%	成熟
		裂谷晚期—被动陆缘期	早白垩世—早第三纪	海相页岩	Ⅱ—Ⅲ型, TOC 值 3%~5%	成熟
	下刚果盆地	裂谷期	早白垩世	湖相泥岩	Ⅱ型, TOC > 20%	低成熟
		被动陆缘期	晚白垩世—第三纪	海相页岩	Ⅱ型, TOC 值 4%~10%	低成熟
	宽扎盆地	裂谷早期	早白垩世	湖相泥岩	Ⅱ型, TOC > 2%	成熟
		裂谷晚期	晚白垩世	海相泥页岩	TOC > 6%	未成熟—低成熟
		被动陆缘期	晚白垩世—早第三纪	海相泥岩	TOC > 3.6%	低成熟
	纳米比亚盆地	裂谷晚期	晚白垩世	海相页岩	不清楚	不清楚
西非南段	西南非海岸盆地	裂谷期	早侏罗世	湖相页岩	TOC 值 1.6%~2.6%	成熟
		裂谷期	早白垩世	湖相页岩	Ⅱ型, TOC 值 1.3%~1.6%, $R_o > 0.7\%$	成熟

酸盐岩储层,孔隙度 8%~35%;第三系储层是西非最重要的储层段,主要为浊积砂,也有滨岸—三角洲相砂岩,孔隙度 15%~50%<sup>[13, 16-17, 21-23, 26-27]</sup>。从油气产出的岩性来看,油气主要产于砂岩储层中,碳酸盐岩储层居于次要地位(表 2)。

### 3.3 盖层

西非海岸盆地广泛发育的蒸发盐岩层是盆地的区域性盖层。由于其良好的封闭性,盐岩的分布特征控制了油气藏的分布,形成了盐下和盐上两套生储盖组合<sup>[16-22]</sup>。

## 4 区域构造—沉积演化对生储盖的控制

西非被动大陆边缘的演化和不同阶段的构造特征,控制了西非海岸盆地群的盆地结构、规模和沉积充填特征,而西非油气的分布和富集与这些盆地的

规模以及沉积充填特征有密切的关系。

裂谷早期阶段由于裂谷形成时间及其区域构造背景的不同,不同地区裂谷盆地的规模、沉积充填特征和残留沉积盖层体积有很大的区别。西非中段是裂谷盆地最发育的地区,该区多数裂谷盆地的形成始于白垩纪初,为受北北西向和北东东向基底断裂制约的一系列北西向断陷、断垒,东西相间排列。其中西非中段的加蓬、下刚果等盆地发育若干个较大规模的地堑和半地堑,生储盖组合齐全,这些地堑的深度大,沉积厚度富含有机质的泥页岩,同时在该泥页岩的上下层系中均发育厚层砂岩,裂谷晚期的盐岩对其起封盖作用<sup>[1-24, 51, 72-24, 26-31]</sup>。北段的阿尤恩—塔尔法亚盆地、塞内加尔盆地的裂谷期,沉积湖相泥页岩烃源岩,储集层主要为三叠系的陆相碎屑岩。其厚度在海上相对较大,往陆地方向减薄,但断陷发育时间短,而且断陷内盐岩厚度较大,生储层薄,成藏条件较差<sup>[17, 24, 26-31]</sup>。南段



表 2 西非被动大陆边缘主要储层特征(据文献[13,16-17,21-23, 26-27])

地区	盆地	构造期次	储层时代	沉积相	储层岩性	孔隙度 (%)	渗透率 ( $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ )
西非北段	阿尤恩—塔尔法亚盆地	被动陆缘期	晚侏罗世	浅海陆架相	Puerto Cansado 组碳酸盐岩沉积体	7~25	—
	塞内加尔盆地	被动陆缘期	始新世末—中新世	深水浊积扇	碎屑岩	50±	—
			古新世—始新世	陆架相	页岩、石灰岩、泥灰岩	30~50	—
			晚白垩世	边缘海相	砂岩	15~35	—
			侏罗纪—早白垩世	陆架相	碳酸盐岩	10~23	—
西非中段	尼日尔三角洲盆地	被动陆缘期	始新世—上新世	三角洲前缘	砂岩	22~32	500~1000
			始新世—上新世	深水浊积扇	浊积水道砂、席状砂	15~37	>1
	Rio Muni 盆地	被动陆缘期	晚白垩世	浅海—半深海浊积水道和浊积扇	浊积砂岩	20~35	1~1000
	加蓬盆地	裂谷晚期	早白垩世晚期	河流相	Gamba砂岩	10~29	50~1000
		裂谷晚期	早白垩世晚期	河流—三角洲相	Dentale砂岩	10~30	50~5000
		被动陆缘期	晚白垩世—古近纪	深水浊积扇	浊积砂体	10~24	5~700
	下刚果盆地	被动陆缘期	早白垩世末期	滨浅海相	碳酸盐岩	—	—
			晚白垩世早期	潮坪相	砂岩	8~35	300~1550
			古新世、始新世、中新世	深水浊积扇	浊积岩	16~23	50~139
		裂谷期	侏罗纪—白垩纪	陆相和湖相	碎屑岩	1~30	1~700
	宽扎盆地	被动陆缘期	渐新统一早中新统	滨岸—三角洲相	砂岩	4~25	18~37
		被动陆缘期	早白垩世末期	蒸发台地相	碳酸盐岩	5~15	1~1000
		被动陆缘期	早白垩世晚期	过渡带、蒸发台地相	裂缝性鲕粒灰岩和白云岩	2~14	0.1~100
			早白垩世晚期	滨浅海相	砂岩	平均 10	7~20
西非南段	纳米比亚盆地	裂谷晚期	早白垩世早期	海相至过渡相	砂岩	10~13	0.1~438
		裂谷早期	早白垩世中期	滨浅海相	砂岩	1~20	0.1~100
	西南非海岸盆地	被动陆缘期	晚阿普特期—晚赛诺曼期	滨浅海相	砂岩	9~26	79~296
		裂谷晚期	巴雷姆期	沙漠	风成砂岩	1~20	0.1~767
		裂谷早期	凡兰吟期—欧特里夫期	河流三角洲相或湖相	砂岩	10~15	0.1~438

为受火山作用影响的下白垩统裂谷层序,烃源岩的热演化过高,以气为主<sup>[14, 17, 24, 26-32]</sup>。

裂谷晚期阶段的阿普特盐层对西非油气成藏组合有重要的控制作用。一是区域性良好盖层对盐下裂谷层序油气的保存作用,使加蓬盆地和下刚果盆地等盐下裂谷层序油气富集;二是盐岩构造对漂移期潮道分布和浊积砂体沉积有明显的控制作用,这些大型构造也形成了大型圈闭,有利于形成优越的

生储盖组合<sup>[1,4,19-22,28-31]</sup>。

被动陆缘阶段的沉积是西非海岸盆地的主体,它们是在大西洋开裂之后形成的。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相以及其上的海相碎屑岩沉积。主体为三角洲、扇三角洲、海底扇以及浊积体沉积,受构造-沉积的影响,发育掀斜构造、泥底劈和生长断层等,在含盐的盆地还发育盐岩构造及相

关的圈闭<sup>[1-2,4-5,17,19-24, 27-32]</sup>。总体上和裂谷层序相比,其分布的面积广,厚度大,生储盖组合条件也较好。北段盆地的第三系是一套潜在的烃源岩,以盐上的侏罗系、白垩系和第三系为勘探目标,储集层类型既有碎屑岩储层,也有碳酸盐岩储层。中、南段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。中、南段盆地盐上晚白垩世最高海平面及缺氧环境下沉积的区域性厚层海相页岩是重要的烃源岩,有机质丰度高,类型好;第三系烃源岩沉积厚度大,有机质丰度较高,具有较大的生烃潜力<sup>[1-2,4-5,17,22-24, 26-32]</sup>。

另外,区域构造-沉积演化决定着盆地的发育规模,而盆地油气和盆地的规模有明显的正相关性。西非地区早期裂谷阶段形成的陆内裂谷体系控制了非洲大陆的主要大型河流,如尼日尔河、刚果河等。这些河流携带大量碎屑入海后形成了巨大规模的三角洲和扇体,这些碎屑沉积物是区域性的良好储集层,同时这些厚层沉积负载有利于烃源岩成熟。

## 5 结 论

(1)西非被动大陆边缘构造-沉积演化经历了前裂谷、裂谷和被动陆缘等三个阶段,由于北段与中、南段盆地裂谷作用的时间和方式不同,造成盆地的演化特征和油气地质条件大相径庭。

(2)在由构造-沉积控制的盆地演化各个阶段中,发育有以下地层:裂谷期盐下湖相页岩和被动陆缘期盐上海相泥页岩烃源岩;裂谷期湖相碎屑岩和被动陆缘期海相碳酸盐岩、滨岸砂岩、浊积体和三角洲砂岩等多套储层;裂谷期阿普特阶蒸发盐岩区域性盖层。西非海岸盆地群的生储盖条件各异,对油气的富集和分布产生了不同的控制作用。

### 参 考 文 献

- [1] 熊利平. 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, 25(6):25-29.
- [2] 李旭. 西非地区的石油地质特征[J]. 石油天然气学报, 2006, 28(3):230-231.
- [3] 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.
- [4] 刘剑平,潘校华,马君,等. 西部非洲地区油气地质特征及资源概况[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(3):378-384.
- [5] 刘祚冬,李江海. 西非被动大陆边缘含油气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.
- [6] 童晓光,张湘宁. 跨国油气勘探开发国际研讨会论文集[M]. 北京:石油工业出版社, 2006.
- [7] 童晓光,关增森. 世界石油勘探开发图册:非洲地区分册[M]. 北京:石油工业出版社, 2002.
- [8] Lehner P, De Ruiter P A C. Structural history of Atlantic margin of Africa[J]. AAPG Bulletin, 1977, 61(7):961-981.
- [9] Edwards J D, Santogrossi P A. 离散或被动大陆边缘盆地[M]. 梁绍红,梁红,译. AAPG Memoir 48, 北京:石油工业出版社, 2000.
- [10] Vysotsky V I, Isaev E N, Klestchov K A, et al. Map of world oil and gas potential (Scale 1:15 000000) explanatory note [M]. Moscow: VNIIZarubezhgeologia, 1994.
- [11] 邓荣敬,邓运华,于水,等. 西非海岸盆地群油气勘探成果及勘探潜力分析[J]. 海洋石油, 2008, 28(3):11-19.
- [12] 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, 3:57-63, 68.
- [13] Watts A B, Stewart J. Gravity anomalies and segmentation of the continental margin offshore West Africa [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1998, 156:239-252.
- [14] 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, 20:309-323.
- [15] Sunday W P. Regional geology of Africa[M]. Berlin:Springer, 1991.
- [16] Brice S E, Cochran M D, Pardo G, et al. Tectonics and sedimentation of the South Atlantic rift sequence: Cabana, Angola[C]// Watkins. Studies in continental marine geology. AAPG Memoir, 1982, 34:5-18.
- [17] 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.
- [18] Uchupi E. The tectonic style of the Atlantic Mesozoic rift system[J]. Journal of African Earth Sciences, 1989, 8(2-4):143-164.
- [19] Fort X, Brun J P, Chauvel F, et al. Salt tectonics on the Angolan margin, syn-sedimentary deformation processes[J]. AAPG Bulletin, 2004, 88(11):1423-1544.
- [20] Hudec M R, Jackson M P A. Structural segmentation, inversion, and salt tectonics on a passive margin: Evolution of the Inner Kwanza Basin, Angola[J]. Geological Society of America, 2002, 114(10):1222-1244.
- [21] Belmonte Y, Hirtz P, Wenger R. The salt basins of the Gabon and the Congo (Brazzaville), in salt basins around Africa [M]. London: Institute of Petroleum, 1965.
- [22] Brink A H. Petroleum geology of Gabon basin[J]. AAPG Bulletin, 1974, 58(2):216-235.
- [23] Davison I. Central Atlantic margin basins of North West Africa: Geology and hydrocarbon potential (Morocco to Guinea) [J]. Journal of African Earth Sciences, 2005, 43:254-274.
- [24] Jackson M P A, Cramez C, Fonck J M. Role of subaerial vol-

- canic rocks and mantle plumes in creation of South Atlantic margins: implications for salt tectonics and source rocks [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2000, 17:477-498.
- [25] Harris N B, Freeman K H, Pancost R D, et al. The character and origin of latchstring source rocks in the Lower Cretaceous synrift section, Congo Basin, West Africa [J]. *AAPG Bulletin*, 2004, 88(11):1163-1184.
- [26] 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, 20:309-322.
- [27] 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.
- [28] Burke K, Mac Gregor D S, Cameron N R. Africa's petroleum system: Four tectonic 'Aces' in the past 600 million years——Petroleum geology of Africa: New themes and developing technologies [C]. London: Geological Society, 2003, 207:21-60.
- [29] Schiefelbein C F, Cameron N C, Zumberge J E, et al. Geochemical comparison of crude oil along the South Atlantic margins [C]//Mello M R, Katz B J. Petroleum systems of south Atlantic margins. AAPG Memoir, 2000, 73:15-26.
- [30] Katz B J, Dawson W C, Liro L M, et al. Petroleum systems of the Goose Delta, offshore Gabon [C]//Mello M R, Katz B J. Petroleum systems of South Atlantic margins. AAPG Memoir, 2000, 73:247-256.
- [31] Cole G A, Yu A, Ormerod D, et al. Predicting oil charge types and quality in the deepwater offshore lower Congo Basin, Angola [J]. *AAPG Bulletin*, 1998, 82:190-200.
- [32] Muntingh A. Geology prospects in Orange Basin offshore western South Africa [J]. *Oil and Gas Journal*, 1993, 25: 106-109.

编辑:金顺爱

## Tectonic-Sedimentary Evolution and its Control on Source-Reservoir-Cap Rocks in Passive Continental Margin, West Africa

Feng Yangwei, Qu Hongjun, Zhang Gongcheng,  
Mi Lijun, Fan Yuhai, Guan Liqun, Lei Lu

**Abstract:** Hydrocarbon resource is rich in West Africa. The coast region along West Africa belongs to typical passive continental margin, which experienced three evolution stages, i.e. the pre-rifting stage during Late Paleozoic-Early Mesozoic (continental craton stage) time, the rifting stage since Middle-Late Mesozoic time and the passive continental margin stage by the end of Mesozoic-Tertiary time. Genesis of the rift in the northern part is different with that in middle-southern part of the basin in rifting time and ways. During the evolutionary process of the basin that was controlled by the regional tectonic-sedimentary development, three main sets of source rocks and several sets of reservoir rocks developed. The source rocks include the pre-salt lacustrine shale in the rifting stage and the post-salt marine shale and the marine-delta shale in the passive continental margin stage. The reservoir rocks are the lacustrine clastic rock in the rifting stage, and carbonate rock, shoreside sandstone, turbidite and deltaic sandstone in the passive continental margin stage. The Aptian salt rock acts as the main regional cap and various structures and traps form, such as fault-blocks, fault-anticlines, salt structures, rolling anticlines, growth fault and others, which control the hydrocarbon enrichment and distribution in the coast region.

**Key words:** Petroliferous basin; Passive continental margin; Tectonic evolution; Source rocks; Aptian salt rocks; Reservoir; West Africa

Feng Yangwei: male, Master degree in progress at The State Key Laboratory of Continental Dynamics and Department of Geology, Northwest University. Add: 229 Taibai Bei Rd., Xi'an, Shannxi, 710069 China