

王妍心, 蒲仁海. 西非纳米贝盆地构造-沉积演化与油气勘探潜力[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(2): 62-69.

西非纳米贝盆地构造-沉积演化与油气勘探潜力

王妍心, 蒲仁海*

(西北大学大陆动力学国家重点实验室, 地质学系, 西安 710069)

摘要: 西非纳米贝 (Namibe) 盆地是世界上极少数没有油气勘探的地区, 以收集到的西非纳米贝盆地区域基础地质和相邻含油气盆地资料为依据, 运用石油地质综合分析方法研究分析认为, 纳米贝盆地构造-沉积演化经历了前裂谷阶段 (P-J₂)、裂谷阶段 (J₃-K₁ 巴雷姆期)、过渡阶段 (K₁ 阿普特期) 和被动陆缘期 (K₁ 阿普特晚期-现今) 4 大阶段; 盆地发育 3 套潜在烃源岩, 其中早白垩世巴雷姆期湖相页岩最重要; 发育裂谷晚期、漂移早期和漂移晚期 3 套储集层; 过渡单元层序早白垩世阿普特期厚层页岩为区域性盖层, 晚白垩世-新生代漂移层序存在多套局部盖层; 发育构造-地层圈闭与地层圈闭, 断层与不整合面为主要油气运移疏导体系, 存在下白垩统成藏组合和上白垩统-渐新统与中新统成藏组合 2 类潜在成藏组合, 揭示出油气勘探前景广阔。

关键词: 西非; 纳米贝盆地; 构造-沉积演化; 油气地质; 勘探潜力; 成藏组合

中图分类号: P618.13; TE122.1

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2020.021

0 引言

西非被动大陆边缘是目前全球海洋深水油气勘探的热点地区之一^[1-2], 也是世界油气的重要产区。被动大陆边缘是大洋岩石圈扩张形成的拉伸断裂所控制的陆壳向洋壳过渡带上的稳定区域^[3-4], 海域被动陆缘是当今全球油气勘探的主产区, 主要分布在滨大西洋两岸、环印度洋滨岸和环北极陆架区域^[2-5], 其中被称为海洋油气勘探“金三角”的滨大西洋区域的墨西哥湾、巴西东部陆缘与非洲西部海岸集中了当前世界大约 84% 的海洋深水油气勘探^[6-9]。冈瓦纳古陆解体演化控制发育了大西洋两岸具有共轭关系的被动大陆边缘盆地群, 大西洋两岸盆地呈规律性的配对出现^[4, 7], 巴西东部大陆边缘的桑托斯盆地和西非海岸的纳米贝 (Namibe) 盆地是南大西洋被动大陆边缘共轭盆地^[4, 10]。桑托斯盆地油气勘探始于 20 世纪 30 年

代, 至 20 世纪末未有重要发现^[1]。2004 年以来桑托斯盆地开展盐下油气勘探, 已经取得了 Lula 油田 (2006 年, 可采储量 9.74 亿 m³)^[11]、Carioca 油田 (2007 年, 可采储量 1.51 亿 m³)、Iara 油田 (2008 年, 可采储量 3.22 亿 m³)^[11]、Jupiter 油田 (2008 年, 可采储量 3.04 亿 m³)^[11]、Sapinhua 油田 (2008 年, 可采储量 2.86 亿 m³)^[11]、Cernambi 油田 (2009 年, 可采储量 2.66 亿 m³)^[11]、Corcovado 油田 (2009 年, 可采储量 1.45 亿 m³)^[11]、Libra 油田 (2010 年)^[12]、Franco 油田 (2010 年, 可采储量 9.17 亿 m³)^[11]、Carara 油田 (2012 年)^[13]、1-KPGL-001D-SPS 油田 (2013 年)^[14]、Sagitario 井 (2014 年, 盐层下钻遇优质石油)^[15]、3-RJS-735/735A 井 (2015 年)^[16]、3-RJS-742A 井 (2016 年)^[17] 等一系列巨型深水油气重大突破。构造演化对成盆和油气成藏有明显的控制作用^[10, 18], 位于大西洋非洲西部海岸的纳米贝盆地与巴西东部海岸桑托斯盆地处于相似的构造演化历程, 推测纳米贝盆地亦具有良好的油气地质条件和资源前景。

纳米贝 (Namibe) 盆地位于中-南部非洲西海岸, 油气地质勘探程度极浅。盆地在 1998 年共完成二维地震采集 8 400 km, 其中包括邻近的安哥拉盆地的测线; 2008 年, 在纳米贝盆地中部钻探了盆地仅有 1 口钻井 Kunene-1, 水深 856 m, 没有油气显示。

收稿日期: 2020-03-14

资助项目: “十三五”国家科技重大专项 (2008ZX05025-006)

作者简介: 王妍心 (1995-), 女, 在读硕士, 主要从事油气地质综合研究工作. E-mail: 497880324@qq.com

* 通讯作者: 蒲仁海 (1962-), 男, 博士, 教授, 主要从事油气地质与地球物理方面的研究工作. E-mail: perenhai@126.com

参照邻区宽扎盆地及共轭关系的桑托斯盆地, 纳米贝可能具有良好的油气地质条件, 亟需开展纳米贝盆地油气潜力分析的研究工作。本文在调研西非纳米贝(Namibe)盆地基础地质、油气地质资料和相邻含油气盆地资料的基础上, 运用石油地质综合分析方法, 系统分析纳米贝盆地的构造-沉积演化过程, 分析盆地油气地质条件, 揭示其油气勘探潜力, 助推该盆地油气勘探工作进程, 为油公司在本区从事油气勘探提供一定地质依据。

1 地质背景

纳米贝(Namibe)盆地属被动大陆边缘盆地, 位于非洲西部海岸中南部, 整体为一个狭长的、长条形南北走向的盆地, 面积为 46 857 km², 其中陆上面积 7 615.2 km², 海域面积 39 242.1 km²。盆地 95% 的面积位于安哥拉, 5% 的面积位于纳米比亚。北边以 Benguela 高地与宽扎盆地为邻, 南边以瓦尔威斯脊(Walvis ridge)为界和西南非海岸盆地相连, 东部为非洲大陆前寒武系结晶岩系, 西边濒临大西洋, 与巴西东部桑托斯盆地隔洋相望^[10, 19]。盆地内发育一系列平行海岸线的断裂, 将盆地内分割为 2 个半地堑夹一个高地的格局(图 1)。

2 盆地构造-沉积演化

纳米贝(Namibe)盆地是伴随着冈瓦纳大陆的解体和大西洋的持续扩张形成的, 盆地演化阶段可大致分为前裂谷期、裂谷期、过渡期和被动陆缘期 4 个阶段, 盆地内可识别出 4 个构造-沉积地层单元, 其间由 3 个大型不整合分开。

2.1 前裂谷阶段(P-J₂)

非洲大陆中、新生代的历史是冈瓦纳大陆分离、裂谷形成和板块漂移的历史, 位于西非海岸的纳米贝盆地的形成与这一过程密切相关。二叠纪劳亚大陆(Laurasia)和冈瓦纳大陆(Gondwana)拼合形成了全球范围的超级大陆——联合古陆(Pangea), 超级大陆在三叠纪早期达到全盛^[20]。在晚侏罗世前, 西非与南美均处于西冈瓦纳大陆的内部, 以剥蚀作用为主。纳米贝盆地基底为前寒武系结晶岩系, 下古生界、上古生界奥陶系和石炭系未被钻穿。下二叠统为 Dwyka 组冰碛岩, 中二叠统为过渡相—海相 Prince Albert 组粉砂岩, 上二叠统—中侏罗统为 Etjo

组陆相风成砂岩沉积。早侏罗世晚期 183 Ma Karoo (卡鲁)地幔热柱强烈活动^[21], 中侏罗世末期发育大规模火山活动, 陆上盆地内还有厚度超过 370 m 的侏罗系玄武岩。

2.2 裂谷阶段(J₃—K₁ 巴雷姆期)

晚侏罗世, 非洲大陆与南美大陆从最南端向北逐步发生裂谷作用。131 Ma 位于西冈瓦纳大陆南部的 Tristan 地幔热柱开始活动, 组成西冈瓦纳大陆的南美板块与非洲板块进一步裂解分离, 纳米贝盆地内有大量溢流玄武岩喷发。大陆裂谷作用于 126 Ma 到达瓦尔威斯脊(Walvis Ridge)南侧, 于 118 Ma 到达贝努埃海槽, 纳米贝地区裂谷作用在巴雷姆期末结束。上侏罗统岩性为粉砂岩和页岩, 下白垩统底部延续上侏罗统沉积。早白垩世早期为河流相沉积, 至早巴雷姆期为厚层湖相三角洲沉积及地堑沉积中心的细粒泥页岩沉积, 晚巴雷姆—早阿普特期为湖相三角洲沉积及咸水—半咸水湖相页岩沉积, 局部地区火山活动增强导致火山岩大量发育, Kunene-1 井钻遇巴雷姆阶火山碎屑岩(图 2)。

2.3 过渡阶段(K₁ 阿普特期)

早阿普特期, 西非纳米贝地区裂谷阶段结束, 开始形成初始洋壳, 受南侧瓦尔威斯脊(Walvis Ridge)火山岩带形成的横向地形高阻挡的影响, 在 Walvis Ridge 北侧形成了海水循环受限的局限环境, 在南大西洋两侧的西非宽扎—刚果—加蓬盆地、南美边缘桑托斯盆地、坎波斯盆地沉积等区域了厚度巨大、区域性分布的阿普特阶蒸发岩(Aptian Salt)(图 2)。由于裂谷裂开的不均一性及处于跟南侧开放海盆沟通位置等因素的影响, 纳米贝盆地内阿普特阶可能不发育蒸发岩或局部发育蒸发岩, 纳米贝盆地主要为海水循环受限的局限缺氧环境下陆源海相泥页岩和粉砂岩等细粒碎屑岩, Kunene-1 井钻遇阿普特阶粉砂岩。

2.4 漂移期(K₁ 阿普特晚期—现今)

也称为被动陆缘期, 从早白垩世末期的阿普特晚期起至今, 以洋壳开始出现、洋中脊不断扩张、洋底增生及边缘热沉降为特征, 主体为海相沉积。早期层序为上阿普特—塞诺曼阶地层沉积, 主要由海相泥岩地层层序组成, 内含富有机质的烃源岩。被动大陆边缘晚期层序为晚白垩世土仑期—现今的地层层序, 是盆地沉积的主体, 为广海环境, 发

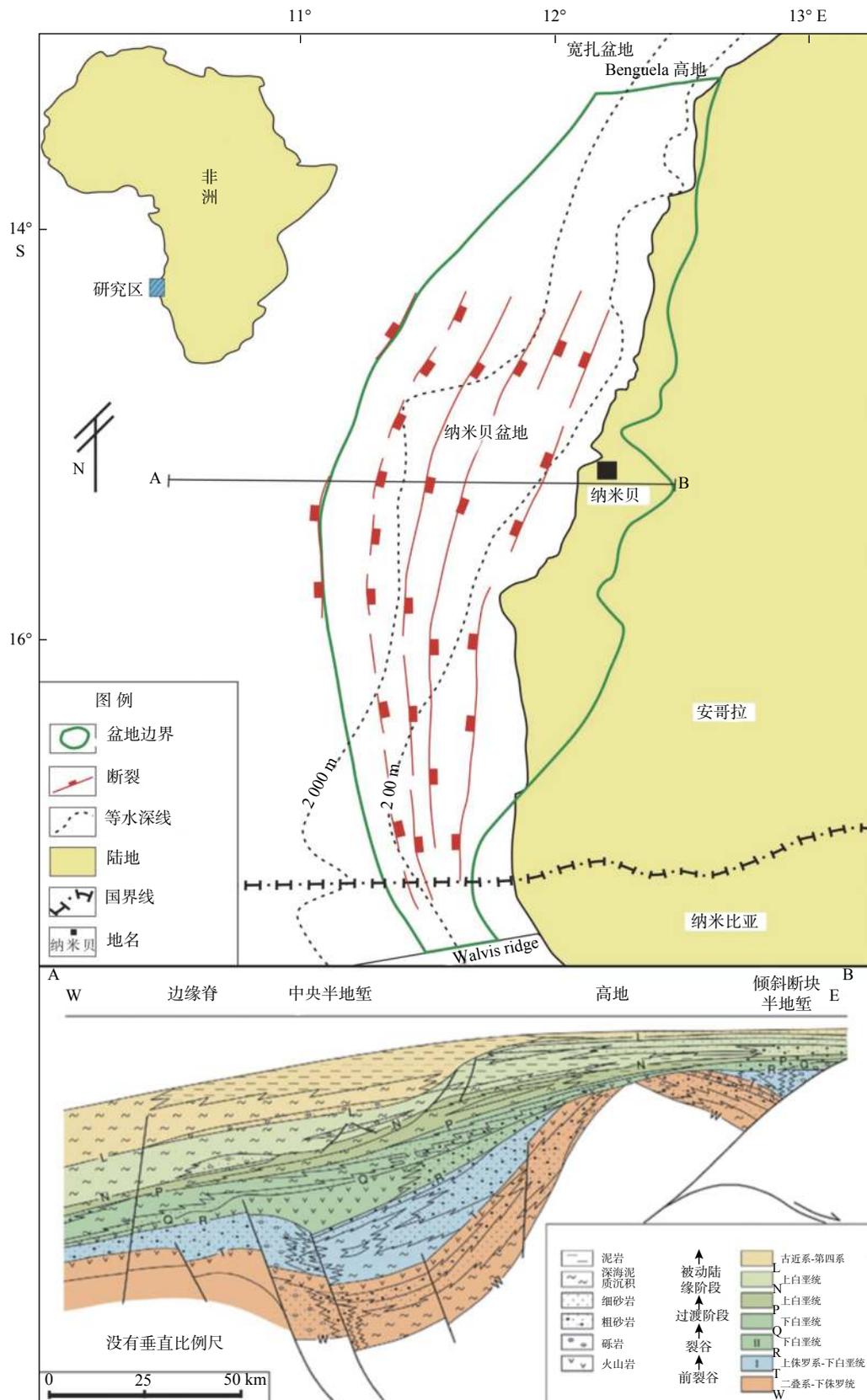
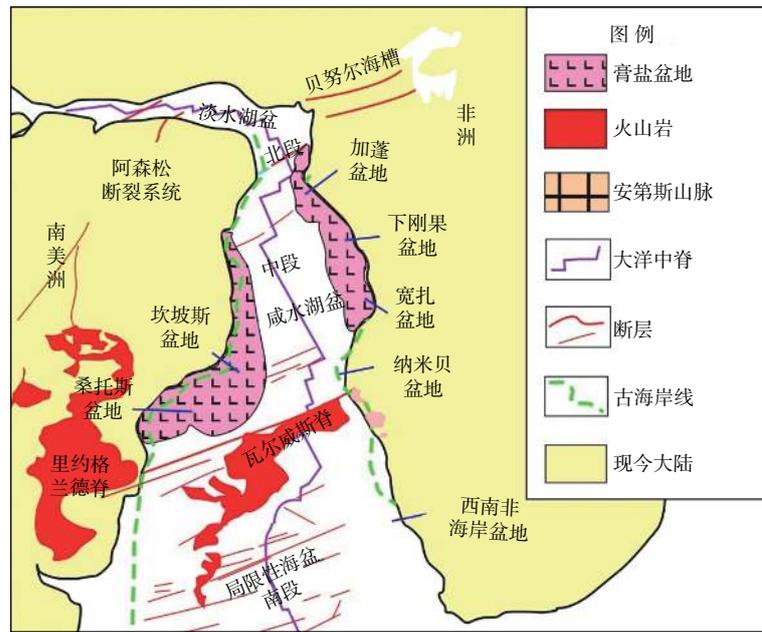


图 1 纳米贝盆地地质简图^[19-20]

Fig.1 Sketch geological map of Namibe Basin in West Africa margin^[19-20]

育一系列海进—海退旋回。纳米贝边缘的横剖面也表现出被动陆缘期地层中发育了大量重力滑动

构造。古近纪和新近纪以海相页岩和浊积岩沉积为特征。

图 2 南大西洋早白垩世古地理重建图^[3-4]Fig.2 Early Cretaceous palaeogeography of South Atlantic^[3-4]

3 油气勘探潜力分析

纳米贝(Namibe)盆地主体处于海上深水区,勘探难度大且勘探程度极低,是世界上极少数几乎没有勘探的地区。纳米贝盆地经历了与西非被动大陆边缘其他盆地类似的演化历程,西非的构造-沉积演化对区域油气生、储、盖条件具有重要的控制作用^[18]。类比纳米贝盆地北侧宽扎盆地和具共轭关系的桑托斯盆地,认为纳米贝盆地具备生成油气的地质条件。但由于盆地资料有限,仅有 Kunene-1 井唯一 1 口钻井,对该盆地油气地质条件的认识有一定的推测性,勘探风险大。

3.1 烃源岩

西非纳米贝盆地发育 3 套重要潜在烃源岩,分别为早白垩世巴雷姆期湖相页岩、早白垩世阿普特期陆源海相泥页岩与粉砂岩和晚白垩世阿尔布期-塞诺曼期-土伦期海相泥页岩。1)南大西洋区域西非加蓬-下刚果-宽扎盆地和巴西东部陆缘桑托斯-坎波斯盆地在早白垩世裂谷期发育巨型古湖泊,缺氧背景下沉积湖相富含有机质黑色页岩, I 型干酪根, TOC 约 1%~6%, 生油, 成熟, 为世界级富生油源岩^[3,9,21], 推测纳米贝盆地早白垩世巴雷姆期湖相页岩应该具有较好烃源条件, 是盆地内最具潜力的烃源岩; 2) 纳米贝盆地过渡阶段早白垩世阿普特期发育厚层陆源海相泥页岩与粉砂岩, 在 Kunene-

1 井揭示了盆地阿普特阶粉砂岩。其北邻宽扎盆地发育海相黑色泥质灰岩, TOC 为 6.3%, 推测纳米贝盆地阿普特期泥页岩与粉砂岩具有作为烃源岩的潜力; 3) 纳米贝盆地晚白垩世阿尔布期-塞诺曼期-土伦期发育海相泥页岩, Kunene-1 井揭示了盆地阿尔布阶泥岩。晚白垩世塞诺曼期-土伦期全球处于缺氧环境, 南大西洋发育优质烃源岩, 如巴西桑托斯盆地发育缺氧深水海相页岩, II-III 干酪根, TOC 为 0.2%~6.7%, 低成熟-成熟, 生油; 西非加蓬盆地发育海相页岩, TOC 一般超过 3.0%, II-III 和 III 型干酪根, 成熟。推测纳米贝盆地晚白垩世阿尔布期-塞诺曼期-土伦期在全球缺氧背景下发育的相对稳定、有一定厚度海相泥页岩亦是盆地重要的潜在烃源岩之一。

3.2 储集层

盆地内储层还未经证实, 通过与跟纳米贝盆地具有类似构造演化历程的南大西洋诸盆地类比, 分析认为纳米贝盆地主要发育 3 套潜在储集层: ①裂谷晚期早白垩世欧特里夫期-巴雷姆期砂岩湖相三角洲砂岩、砾岩储集层, 北邻宽扎盆地早白垩世巴雷姆期-阿普特早期发育 Cuvo 组砂岩储集层, 孔隙度平均值为 10%^[8]; 巴西东缘桑托斯盆地早白垩世巴雷姆期-阿普特早期发育湖相介壳石灰岩为主的碳酸盐岩储集层, 已取得 Lula 油田^[11]、Iara 油田^[11]、Jupiter 油田^[11]、Sapinhoa 油田^[11] Corcovado 油

田^[11]、Libra 油田^[12]、Franco 油田^[11]、Carara 油田^[13]、I-KPGL-001D-SPS 油田^[14]、Sagitario 油田^[15]、3-RJS-735/735A 井^[16]等深水油气重大发现。②漂移早期晚白垩世—始新世浊积砂岩储集层,晚白垩世南美大陆和非洲大陆东西向裂解漂移,在其陆缘发育众多浊积砂岩储集体,西非加蓬盆地发育浊积砂岩,孔隙度达24%,渗透率达 $700 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ^[8];巴西桑托斯盆地发育浊积扇砂岩,孔隙度16%~21%,绿泥堵塞孔隙通道导致渗透率较低^[22];纳米贝盆地该期浊积砂岩具备成为储集层的潜力。③漂移晚期

渐新统一中新统海相水道与海底扇浊积砂岩储集层,纳米贝盆地与宽扎盆地相邻,渐新统一中新统大陆边缘性质相似,宽扎盆地内渐新统一中新统的 Quifangondo 组砂岩是宽扎盆地被证实的主要储层,孔隙度为4%~25%,渗透率为 $18 \sim 37 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ^[8],推测纳米贝盆地该套地层亦有作为储集层的潜力(表1)。

3.3 盖层

类比南大西洋诸盆地,从已有的资料分析,纳

表1 南大西洋阿普特盐盆主要油气生储盖条件简表^[1, 8, 18, 21]

Table 1 Main hydrocarbon source, reservoir and cap conditions in the Aptian salt basin of the South Atlantic Ocean

地区	代表盆地	烃源岩		储层			盖层		
		时代	构造阶段	特征	时代	构造阶段	特征	时代	构造阶段
加蓬盆地	早白垩世巴雷姆期*	裂谷晚期	微咸水湖相页岩, TOC含量平均为6.1%, 最高可达20%; I型干酪根, 生油, Ro为0.5%~1.0%。	早白垩世阿普特早期	裂谷晚期	砂岩, 孔隙度为10%~30%, 渗透率最高达 $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$	早白垩世巴雷姆期	裂谷晚期	湖相页岩
	晚白垩世土仑阶	漂移早期	海相页岩, TOC一般>3.0%, II-III和III型干酪根, 成熟	晚白垩世—始新世	漂移早期	浊积砂岩, 孔隙度达24%, 渗透率达 $700 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$	晚白垩世—古新世	漂移早期	海相页岩
西非陆缘	早白垩世巴雷姆期*	裂谷晚期	微咸水湖相页岩, II型干酪根, TOC>2%, 成熟	早白垩世巴雷姆期—阿普特早期	裂谷晚期	湖相石英砂岩, 孔隙度平均值为10%	早白垩世阿普特期—阿尔必早期	过渡期	膏盐层
	早白垩世阿普特晚期	过渡期	海相黑色泥质灰岩, TOC为6.3%	早白垩世阿尔必期	过渡期—漂移早期	灰质砂岩和灰岩, 孔隙度2%~14%, 其渗透率 $(0.1 \sim 100) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 因裂缝局部渗透率达 $12 \mu\text{m}^2$	晚白垩—新生代	世漂移期	海相泥岩和泥灰岩
	始新世	漂移早期	海相页岩, TOC>3.6%	渐新世—早中新世	漂移晚期	海相砂岩, 孔隙度4%~25%, 渗透率 $(18 \sim 37) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$			
纳米贝盆地	早白垩世巴雷姆期	裂谷晚期	湖相页岩	早白垩世欧特里夫期—巴雷姆期	裂谷晚期	湖相三角洲砂岩、砾岩	早白垩世阿普特期	过渡期	陆源海相泥页岩和粉砂岩
	早白垩世阿普特期	过渡期	陆源海相泥页岩和粉砂岩	晚白垩世—始新世	漂移早期	浊积砂岩	晚白垩—新生代	漂移期	海相泥页岩
	晚白垩世阿尔布期—塞诺曼期	漂移早期	海相页岩	渐新世—中新世	漂移晚期	海相水道与海底扇浊积砂岩			
巴西东部陆缘	早白垩世巴雷姆期*	裂谷晚期	微咸水湖相黑色页岩, 主要为I型干酪根, TOC为2.0%~6.0%, HI为900 mg HC/g TOC, 生油, 成熟	早白垩世巴雷姆期—阿普特早期	裂谷晚期	湖相介壳石灰岩为主	早白垩世阿普特期	过渡期	膏盐层
	晚白垩世塞诺曼期—马斯特里赫特期	漂移早期	缺氧深水海相页岩, II-III型干酪根, TOC为0.2%~6.7%, 低成熟—成熟, 生油	晚白垩世—始新世	漂移早期	浊积扇砂岩, 孔隙度为16%~21%, 渗透率为 $(1.5 \sim 15) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$	晚白垩—新生代	漂移期	海相泥页岩

米贝盆地最有可能提供区域性盖层的是过渡单元层序早白垩世阿普特期厚层页岩和粉砂岩, 封盖其下的油藏中的烃类进一步向上运移。同时, 晚白垩世—新生代漂移层序内海相页岩都有潜力作为有效盖层(表 1)。

3.4 圈闭

纳米贝盆地主要发育地层-构造复合圈闭和地层圈闭, 地层圈闭主要为地层尖灭、进积和退积沉积楔、三角洲扇体和河道、深水扇和河道等。构造圈闭主要包括掀斜断块、四面倾斜闭合背斜和滚动背斜。盆地内圈闭多以地层-构造复合圈闭的形式出现。

3.5 油气运移与成藏组合

纳米贝盆地内油气运移通道主要为断层和不整合面疏导体系, 断层为短距离垂向运移通道, 不整合面为长距离侧向运移通道。纳米贝盆地存在 2 类潜在油气成藏组合——下白垩统成藏组合和上白垩统—渐新统与中新统成藏组合。

主要为下白垩统巴列姆阶—阿普特阶构造—地层成藏组合, 烃源岩为白垩系巴列姆阶湖相泥页岩, 储层为过渡期巴雷姆阶砂岩储集层, 盖层阿普特阶泥页岩和古新统, 圈闭类型为断块、断背斜和构造—地层复合圈闭, 生烃可能发生在晚白垩世, 生成的烃类沿广泛发育的断层和不整合面疏导体系向储层运移, 形成下白垩统成藏组合, 是盆地内最重要潜在油气成藏组合(图 3)。

其次为上白垩统—渐新统—中新统地层-构造成藏组合, 烃源岩为漂移层序内晚白垩世阿尔布期—塞诺曼期海相页岩, 储集层为渐新统—中新统海相浊积水道与海底扇砂岩储集层, 盖层为新生代海相页岩。圈闭类型为滚动背斜、生长断层、地层圈闭、地层-构造圈闭等, 生烃和运移主要发生在新近纪以来, 是盆地内另一较为重要油气成藏组合。

4 油气成藏控制因素分析

4.1 构造-沉积演化对烃源岩发育的控制

纳米贝盆地裂谷作用较北边盆地宽扎盆地、下刚果盆地以及加蓬盆地略早些, 受横向 Walvis Ridge 阻挡的阿普特阶的局限水体环境时间大体一致, 局限环境下发育早白垩世巴雷姆期湖相页岩重要潜在烃源岩。同时, 纳米贝盆地位于南边, 此阶段沉积环境的闭塞性比北边其他盆地要差一些, 导致巴雷姆期湖相页岩烃源岩品质可能会差一些。晚白垩世早期塞诺曼—土伦阶西非海岸基本均处于漂移期的海相沉积环境, 受全球高海平面缺氧环境的影响, 烃源岩具有相似的特征, 控制发育了纳米贝盆地晚白垩世阿尔布期—塞诺曼期—土伦期全球缺氧背景下的海相泥页岩潜在烃源岩。

4.2 边缘结构控制发育浊积储集体与构造-地层圈闭

从大陆边缘结构上看, 纳米贝盆地与北部宽扎—下刚果—加蓬盆地十分相似, 也是火山岩型被动大

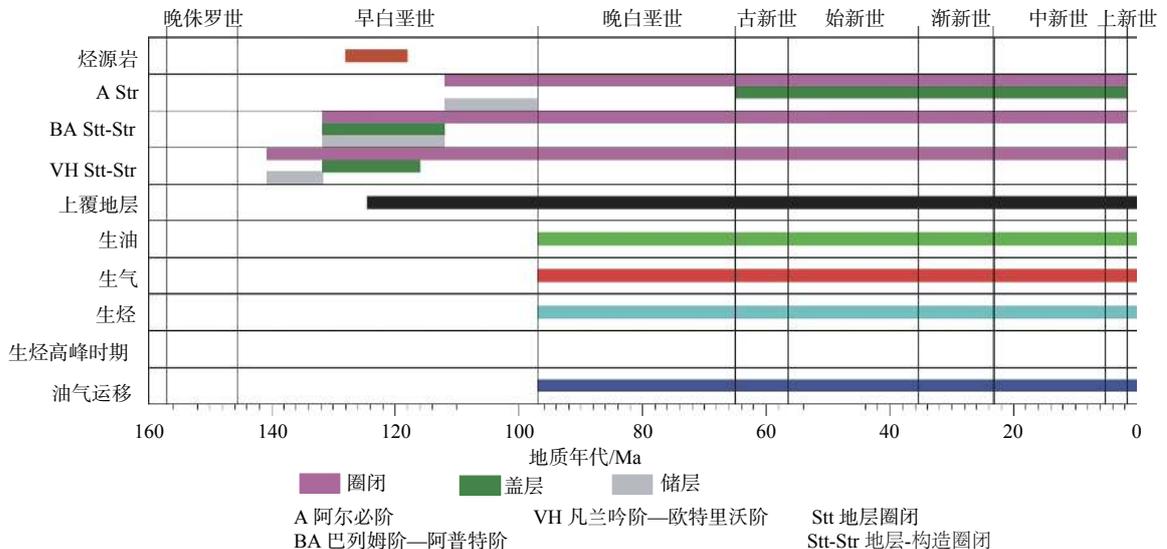


图 3 纳米贝盆地油气成藏事件图

Fig.3 Geological events and hydrocarbon accumulation of Namibe Basin

陆边缘,由减薄了的陆壳、过渡洋壳和洋壳构成,发育陆架、斜坡、陆隆等构造单元,形成发育历史相似。漂移期地层层序中发育了大量重力滑动构造,发育规模巨大的滚动背斜和掀斜构造,这些重力滑动构造对后期浊流沉积的控制和构造-地层圈闭的形成起重要的作用,纳米贝盆地区具备了形成大型油气圈闭的构造条件。

5 结论

(1) 纳米贝(Namibe)盆地构造-沉积演化经历了4大阶段,分别为前裂谷阶段(P-J₂)、裂谷阶段(J₃-K₁ 巴雷姆期)、过渡阶段(K₁ 阿普特期)和被动陆缘期(K₁ 阿普特晚期-现今)。

(2) 纳米贝盆地发育3套潜在烃源岩,其中下白垩统巴雷姆期局限环境湖相泥页岩为最主要潜在烃源岩;发育3套潜在储集层:裂谷晚期早白垩世欧特里夫期-巴雷姆期砂岩湖相三角洲砂岩与砾岩、漂移早期晚白垩世-始新世浊积砂岩储集层、漂移晚期渐新统-中新统海相浊积水道与海底扇砂岩储集层。过渡单元层序早白垩世阿普特期厚层页岩和粉砂岩为区域性盖层。

(3) 纳米贝盆地主要发育地层-构造复合圈闭和地层圈闭,发育断层垂向和不整合面侧向油气运移疏导体系,存在下白垩统成藏组合和上白垩统-渐新统与中新统成藏组合等2类潜在油气成藏组合。

(4) 构造-沉积演化对控制了裂谷期早白垩世巴雷姆期湖相页岩烃源岩和晚白垩世阿尔布期-塞诺曼期-土伦期全球缺氧背景下的海相泥页岩烃源岩发育。边缘结构控制了浊积储集体与构造-地层圈闭发育,提供了重要的油气成藏要素。纳米贝盆地勘探程度极低,认识程度尚浅,油气勘探风险较大。

参考文献:

- [1] 张功成, 屈红军, 张凤廉, 等. 全球深水油气重大新发现及启示[J]. 石油学报, 2019, 40(1): 1-34, 55.
- [2] 朱伟林, 崔早云, 吴培康, 等. 被动大陆边缘盆地油气勘探新进展与展望[J]. 石油学报, 2017, 38(10): 1099-1109.
- [3] 冯杨伟, 张功成. 被动大陆边缘构造演化对深水区烃源岩形成的控制[J]. 海相油气地质, 2017, 22(1): 14-24.
- [4] MOULIN M, ASLANIAN D, UNTERNEHR P. A new starting point for the South and Equatorial Atlantic Ocean[J]. Earth Science Reviews, 2010, 98(1/2): 1-37.
- [5] 冯杨伟, 屈红军, 张功成. 印度东部大陆边缘克里希纳-戈达瓦里盆地油气分布规律[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2016, 46(3): 408-414.
- [6] 林卫东, 陈文学, 熊利平, 等. 西非海岸盆地油气成藏主控因素及勘探潜力[J]. 石油实验地质, 2008, 30(5): 450-455.
- [7] SETON M, MILLER R D, ZAHIROVIC S, et al. Global continental and ocean basin reconstruction since 200 Ma[J]. Earth Science Reviews, 2012, 113(3/4): 212-270.
- [8] 张功成, 屈红军, 冯杨伟, 等. 深水油气地质学概论[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [9] 张功成, 米立军, 屈红军, 等. 全球深水盆地群分布格局与油气特征[J]. 石油学报, 2011, 32(3): 1-6.
- [10] 杨永才, 孙玉梅, 李友川, 等. 南大西洋被动陆缘共轭盆地烃源岩分布与油气富集规律: 以巴西桑托斯盆地和西非纳米贝盆地为例[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2015, 35(2): 157-167.
- [11] 赵喆, 张光亚, 梁涛, 等. 2012年世界油气勘探新发现及发展趋势[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(1): 39-44.
- [12] 金焕东, 吴谋远. 中外石油巨头联合体中标巴西最大盐下油田中国海外油气投资呈现新特点[J]. 国际石油经济, 2014, 22(增刊1): 19-20.
- [13] 本刊. 2012年世界前30大油气新发现排名[J]. 国际石油经济, 2013, 21(6): 92.
- [14] 本刊. 2013年世界前30大油气新发现排名[J]. 国际石油经济, 2014, 22(6): 94.
- [15] 中国石化新闻网. 巴西证实盐下桑托斯盆地超深水区域石油发现[EB/OL]. http://www.sinopecnews.com.cn/news/content/2014-05/22/content_1409714.shtml, 2014-05-22.
- [16] 中国石化新闻网. 巴西证实桑托斯盆地C1井有油气存在[EB/OL]. http://www.sinopecnews.com.cn/news/content/2015-03/26/content_1501912.shtml, 2015-03-26.
- [17] 中华人民共和国国土资源部. 巴西在桑托斯盆地获得新油气发现[EB/OL]. http://www.geoglobal.mlr.gov.cn/zx/kcykf/xfx/201605/t20160527_5626813.htm, 2016-05-27.
- [18] 冯杨伟, 屈红军, 张功成, 等. 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[J]. 海相油气地质, 2010, 15(3): 45-51.
- [19] 朱伟林, 陈书平, 王春修, 等. 非洲含油气盆地[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [20] SCOTESE C R, BOUCOT A J, MCKERROW W S. Gondwanan palaeogeography and palaeoclimatology[J]. Journal of African Earth Sciences, 1998, 28(1): 99-114.
- [21] 范玉海, 屈红军, 张功成, 等. 世界主要深水含油气盆地烃源岩特征[J]. 海相油气地质, 2011, 16(2): 27-33.
- [22] 朱伟林, 白国平, 胡根成. 南美洲含油气盆地[M]. 北京: 科学出版社, 2012.

TECTONO-SEDIMENTARY EVOLUTION AND PETROLEUM POTENTIAL OF NAMIBE BASIN AT THE PASSIVE CONTINENTAL MARGIN OF WEST AFRICA

WANG Yanxin, PU Renhai*

(State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China)

Abstract: The Namibe Basin lies on the passive continental margin of West Africa, which is a specific large basin in the world without oil and gas exploration activities so far. Based on collected materials on basic regional geology and hydrocarbon geology from adjacent basins, using integrated petroleum geological approaches, the potentials of oil and gas in the basin are studied in this paper. The study shows that the Namibe basin has experienced four tectono-sedimentary evolution stages: pre-rift stage (P-J₂), rift stage (J₃-K₁ Barremian), transitional stage (K₁ Aptian) and passive continental margin stage (K₁ late Aptian- nowadays). There are 3 sets of source rocks, predominated by the early Cretaceous Baram lacustrine shale; There occur 3 sets of reservoirs in late rift, early drift and late drift stages respectively. The thick transitional sequence of Lower Cretaceous Aptian shale is an effective regional cap rock, in addition to several local caprocks in the Late Cretaceous-Cenozoic drift sequence. Structural and stratigraphic traps dominate the basin. Faults and unconformity boundaries are the main paths for migration. There occur two possible source-reservoir-cap assemblages in the Lower Cretaceous and Upper Cretaceous-Oligocene-Miocene respectively, with great oil and gas exploration prospect.

Key words: West Africa; Namibe Basin; tectonic-sedimentary evolution; petroleum geology; hydrocarbon exploration potential; accumulation