

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2019022201

南大西洋两岸盆地海相烃源岩特征与控制因素

贾怀存, 康洪全, 管红, 孟金落, 孔令武, 逢林安

中海油研究总院有限责任公司, 北京 100028

摘要:南大西洋两岸盆地漂移期层系油气资源十分丰富,通过对两岸重点盆地漂移期主力烃源岩发育层位、生烃潜力、识别特征和分布范围对比分析,明确两岸发育早、晚两套主力海相烃源岩。其中,晚期的赛诺曼—土仑阶海相烃源岩分布范围较广。整体上,两岸北段和赤道段盆地漂移期主力烃源岩地化指标优于中段和南段盆地,西非一侧海域盆地烃源岩地化指标优于南美一侧盆地。在对重点钻井的矿物元素化验分析、沉积相和古地理分析基础之上,总结了局限海湾的古地理背景和沉积相带类型控制优质海相烃源岩发育程度和分布范围的规律,并进一步指出南大西洋两岸北段和赤道段盆地漂移期成熟生烃灶平面分布范围内的深水沉积砂体是主要有利勘探方向,以找油为主,中段含盐盆地内紧邻盐微盆的漂移期深水沉积砂体勘探潜力次之。

关键词:烃源岩;生烃潜力;油气勘探;漂移期;南大西洋

中图分类号:P618.130.2 **文献标识码:**A

Characteristics and controlling factors of marine source rocks in the basins on the two sides of South Atlantic

JIA Huaicun, KANG Hongquan, GUAN Hong, MENG Jinluo, KONG Lingwu, PANG Lin'an

CNOOC Research Institute Co., Ltd., Beijing 100028, China

Abstract:Oil and gas resources are rich in drifting stages in the basins on both sides of South Atlantic. Comparative researches on main marine source rocks, including hydrocarbon generation potential, seismic facies and distribution patterns suggest that there are 2 sets of main source rocks, of which the upper is more widely distributed. In a general perspective, the geochemical indexes of main source rocks in the north and Equatorial South Atlantic basins are better than those in the central basins, while the source rocks in South American basins are also better than those in West African basins. Study of typical well data, sedimentary facies and paleogeography of main marine source rocks suggest that high-quality marine source rocks are mainly distributed in confined bays and related sedimentary facies. The first priority of exploration targets should be the deep-water deposited sandstones intercalated in the matured marine source rocks. The sandstones deposited in the drifting stages close to the salt mini-basin are also recommended.

Key words:source rock; generation potential; hydrocarbon exploration; drift sequence; South Atlantic

南大西洋两岸盆地漂移期(被动大陆边缘期)层系油气资源十分丰富,油气可采储量达 1888 亿桶油当量。储量主要分布在两岸的几个重点盆地,如南美东海岸的大坎波斯盆地(包括桑托斯、坎波斯和埃斯皮里图桑托盆地)、塞尔西培盆地和圭亚那苏里南盆地以及西非海域的毛塞几比盆地、利比里亚—塞拉利昂盆地、科特迪瓦盆地、下刚果盆地和西南非海岸盆地。近几年又接连在该领域获得多个大的油气发现,使得该领域继续成为世界油气勘探热点。如 2007 年在西非科特迪瓦盆地发现的 Jubilee 油田 2P

可采储量达 11 亿桶,在南美一侧的圭亚那苏里南盆地发现的 Liza 油田可采储量也在 10 亿桶以上。虽然两岸重点盆地的漂移期层系是油气勘探热点,但是国内外对漂移期的研究主要是集中在深水沉积储层预测,油气富集规律以及近几年对西非海相烃源岩生烃机理研究等方面^[1-10]。前人对两岸重点盆地漂移期主力烃源岩发育层位、生烃潜力、主力烃源岩热演化程度、优质烃源岩识别特征和分布范围等特征均不清楚,因此开展两岸重点盆地漂移期海相烃源岩生烃潜力和控制因素研究,可以进一步利于该

资助项目:国家“十三五”科技重大专项“西非—南美海域重点区油气地质评价及关键技术研究”(2017zx05032-001)

作者简介:贾怀存(1983—),男,高级工程师,主要从事海外油气勘探研究工作, E-mail: jiahc2012@sina.com

收稿日期:2019-02-22; **改回日期:**2019-03-26. 文凤英编辑

领域油气资源规模的预测,同时对油公司在该领域油气勘探部署也具有指导意义。

1 区域地质背景

南大西洋两岸盆地是典型的被动大陆边缘盆地,根据大洋转换断层分布特征、盆地区域结构、地层的充填演化特征,具体可以将两岸盆地从北往南划分为4段:受转换断层强烈控制的北段、夭折裂谷继承发育的赤道段、富含盐的中段和富火山岩的南段^[11-13]。其中,毛塞几比盆地属于受转换断层强烈控制的北段,其演化与北大西洋形成有关。圭亚那-苏里南盆地、利比里亚-塞拉利昂和科特迪瓦盆地属于赤道段,塞尔西培盆地、大坎波斯盆地和下刚果盆地属于富含盐岩的中段,西南非海岸盆地属于富火山岩的南段。

两岸盆地具有相似的构造和沉积演化过程,主要经历了裂谷期、过渡期和漂移期(被动大陆边缘期)。受北大西洋的形成演化影响,北段的毛塞几比

盆地裂谷期形成时间早,持续时间长,从侏罗纪一直持续到早白垩世的阿尔布期。由于在南大西洋形成时,赤道段裂开时间较晚,裂陷作用持续至早白垩世阿尔布期。而富含盐的中段和南段盆地裂谷期主要为早白垩巴列姆期—阿普特早期。裂谷阶段的断陷期地层充填以河流—三角洲相砂砾岩和泥岩为主,裂谷发育早期的拗陷阶段主要沉积湖相碳酸盐岩。过渡期为早白垩世的阿普特期—阿尔布期,同时受局部海侵影响,两岸盆地的沉积环境由陆相逐步转变为局限海的过渡环境,沉积了一套厚层盐岩。其中,毛塞几比盆地、圭亚那-苏里南盆地、科特迪瓦等盆地过渡期盐岩不发育,以沉积海相泥岩为主。进入到阿尔布期以后,伴随着南美大陆与非洲板块的裂离,两岸盆地彻底拉开,发生大规模海侵,盆地构造演化进入到漂移阶段(被动大陆边缘阶段),以沉积巨厚海相泥岩、深水沉积砂岩为主。同时,在晚白垩世赛诺曼—土仑期,由于发生全球范围的大洋缺氧事件,两岸盆地沉积了一套富含有机质海相泥岩,是两岸漂移层系重要的海相烃源岩^[14-20]。



图1 南大西洋两岸盆地分布图

Fig.1 Distribution map of basins on both sides of South Atlantic

2 南大西洋两岸盆地海相烃源岩特征

2.1 海相烃源岩发育层位

通过对南大西洋两岸重点盆地漂移期主力烃源岩生烃潜力对比分析,发现两岸发育漂移早期和漂移中期 2 套主力烃源岩,其中漂移早期包括塞尔西培盆地地下白垩统的巴列姆—阿普特阶海相泥岩和西南非盆地的阿尔布阶海相泥岩,漂移中期为上白垩统赛诺曼—土仑阶海相泥岩。漂移早期烃源岩分布较为局限,漂移中期烃源岩分布范围较广(表 1)。

西非一侧的下刚果盆地、科特迪瓦盆地、利比里亚—塞拉利昂和毛塞几比盆地以及南美一侧的大坎波斯盆地(包括桑托斯盆地、坎波斯盆地和埃斯皮里图桑托盆地)、圭亚那-苏里南盆地等 8 个盆地的漂移期主力烃源岩均为赛诺曼—土仑阶海相泥岩。

而对于西非一侧的西南非海岸盆地和南美一侧的塞尔西培盆地,由于地温梯度相对较低(普遍小于 3°C/100m),同时,这两个盆地赛诺曼—土仑阶地层埋深也相对较浅,一般小于 2500m(图 2),因此,赛诺曼—土仑阶烃源岩成熟度普遍较低。因此,这两个盆地的漂移期主力烃源岩分别为埋藏较深的巴列姆—阿普特阶海相泥岩和阿尔布阶海相泥岩。

表 1 南大西洋两岸重点盆地漂移期主力烃源岩分布层位对比

Table 1 Correlation of source rocks in basins on the two sides of South Atlantic

地区	盆地名称	年代	TOC/%	S1+S2/(mg/g)	HI/(mg/g)	有机质类型
南美一侧	桑托斯	赛诺曼—土仑阶	0.6~1.8	1~10	普遍小于 400	II ₂ —III
	坎波斯	赛诺曼—土仑阶	0.6~2	0.5~6	普遍小于 250	II ₂ —III
	埃斯皮里图桑托	赛诺曼—土仑阶	1~3	1~40	160~400	II ₂ —III
	塞尔西培	阿尔布阶	3~7	10~20	500	II 型为主
	圭亚那苏里南	赛诺曼—土仑阶	1.9~6	—	400~800	II ₁
西非一侧	西南非	巴列姆-阿普特	普遍小于 3.8	0.4~16.6	普遍小于 400	II—III
	下刚果	晚白垩	2~4	5~25	270~540	II ₁
	科特迪瓦	赛诺曼—土仑阶	3.6~7	—	409~780	II ₂ —III
	利比里亚—塞拉利昂	赛诺曼—土仑阶	2.2~3.8	8.9~14.4	336~424	II ₁
	毛塞几比	赛诺曼—土仑阶	3~8.72	—	372~996	II ₁

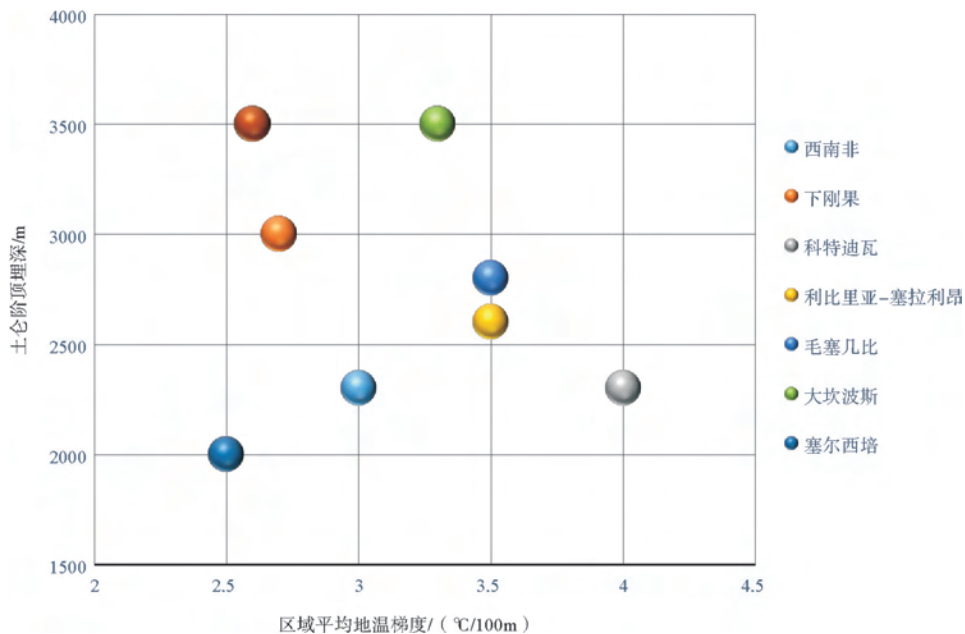


图 2 南大西洋两岸重点盆地地温梯度与土仑阶顶埋深交会图

Fig.2 Cross plot of geothermal gradient vs the depth of the top of Turinian

2.2 地化指标与生烃潜力

北段和赤道段盆地主力烃源岩生烃潜力优于中段和南段盆地。整体上,南大西洋两岸北段和赤道段的5个盆地(包括西非北段的毛塞几比、利比里亚—塞拉利昂、科特迪瓦盆地和南美的圭亚那—苏里南和塞尔西培盆地)主力烃源岩 TOC 为 3.8%~8.7%,HI 为 500~996mg/g,干酪根类型以 II₁ 型为主,主要生油。而利比里亚-塞拉利昂盆地的 Ap-

1 钻井揭示的赛诺曼—土伦阶海相泥岩主要位于砂岩储层较为发育的三角洲前缘亚相,揭示的泥岩地化指标相对较差,中段和南段的5个盆地主力烃源岩 TOC 一般都小于 4%,HI 为 250~589mg/g,OI 为 50~350 mg/g,干酪根类型以 II 型和 II₂ 型为主,油气兼生。巴西桑托斯、坎波斯和埃斯皮里图桑托盆地赛诺曼—土伦阶烃源岩地化指标最差,海相泥岩的 TOC 一般小于 3%,HI 为 250~400mg/g (图 3 和 4)。

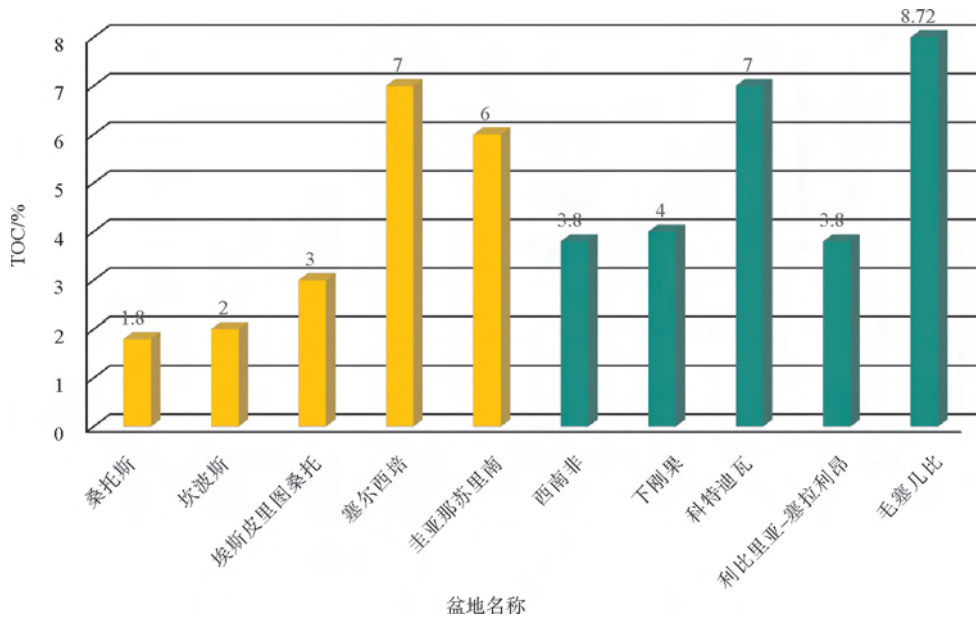


图 3 两岸重点盆地漂移期主力烃源岩有机质丰度(TOC)柱状图

Fig.3 Distribution of TOC in main marine source rocks in side basins, South Atlantic

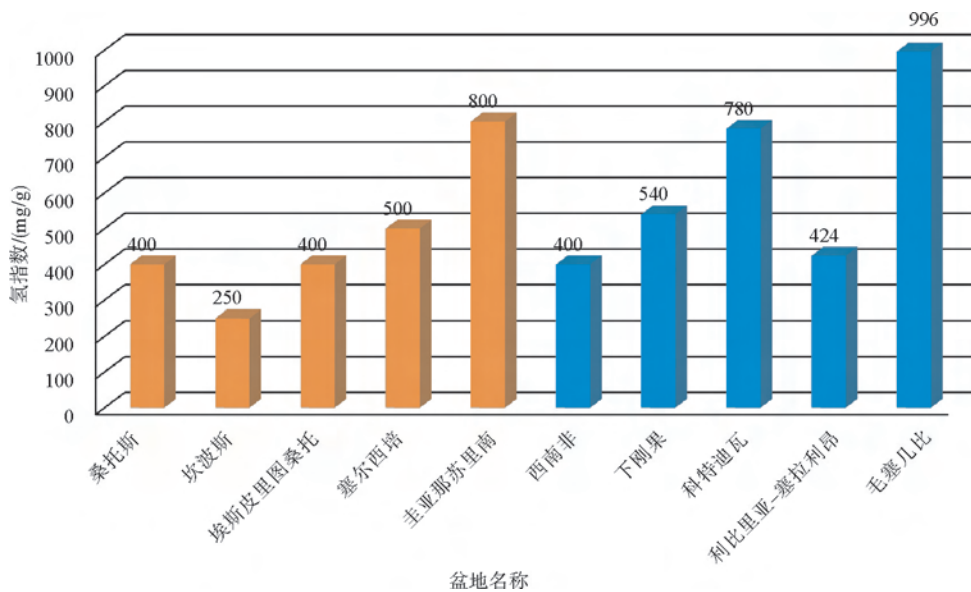


图 4 两岸重点盆地漂移期主力烃源岩氢指数(HI)柱状图

Fig.4 Distribution of HI in main marine source rock in the side basins, South Atlantic

西非一侧海域盆地海相烃源岩地化指标,干酪根类型等生烃潜力明显优于南美一侧盆地。西非一侧重点盆地海相烃源岩生烃潜力属于好—很好的烃源岩,赛诺曼—土仑阶的海相泥岩 TOC 指标普遍相对较高,一般大于 3.8%,如毛塞几比盆地赛诺曼—土仑阶海相泥岩 TOC 最高可达 8.7%,生烃潜力属于很好的烃源岩。而南美一侧除了北部的圭亚那—苏里南盆地和塞尔西培盆地外,多数盆地漂移期海相烃源岩 TOC 指标相对较低,如巴西桑托斯、坎波斯和埃斯皮里图桑托等 3 个盆地海相泥岩的 TOC 值均小于 3%,而桑托斯盆地赛诺曼—土仑阶海相泥岩的 TOC 只有 1.8%,生烃潜力相对较差。

2.3 海相烃源岩热演化程度

北段和赤道段盆地漂移期烃源岩生排烃期早,中南段晚。盆地模拟表明,北段和赤道段盆地漂移期主力烃源岩在古新世—始新世开始大规模生排烃,而中段和南段盆地则在中新世开始大规模生排

烃。如塞尔西培盆地漂移早期烃源岩在 60MaBP (古新世)时,海相泥岩热演化程度(R_o)达到 0.7%,开始大规模生排烃。西非科特迪瓦盆地在 50MaBP (始新世) R_o 达到 0.7%并开始大规模生排烃。巴西大坎波斯盆地和西非下刚果盆地均是在 20Ma (中新世)时 R_o 才达到 0.7%,明显晚于北段和赤道段大规模生排烃时间。

整体上,两岸盆地主力烃源岩热演化程度处于生油高峰期,盆地模拟表明主力烃源岩热演化程度 R_o 普遍为 0.7%~1.2%。另外,下刚果盆地 M-1 井实测上白垩统赛诺曼—土仑阶 Mardingo 组海相泥岩 R_o 为 0.7%~0.8%。在南美一侧的桑托斯盆地盐微盆、圭亚那—苏里南盆地西北部,西非一侧的利比里亚—塞拉利昂盆地和西南非盆地局部深埋区达到高成熟阶段,如西南非盆地南部的奥兰治次盆,盆地模拟海相烃源岩 R_o 大于 2.0%,已经进入生裂解气演化阶段(图 5)。

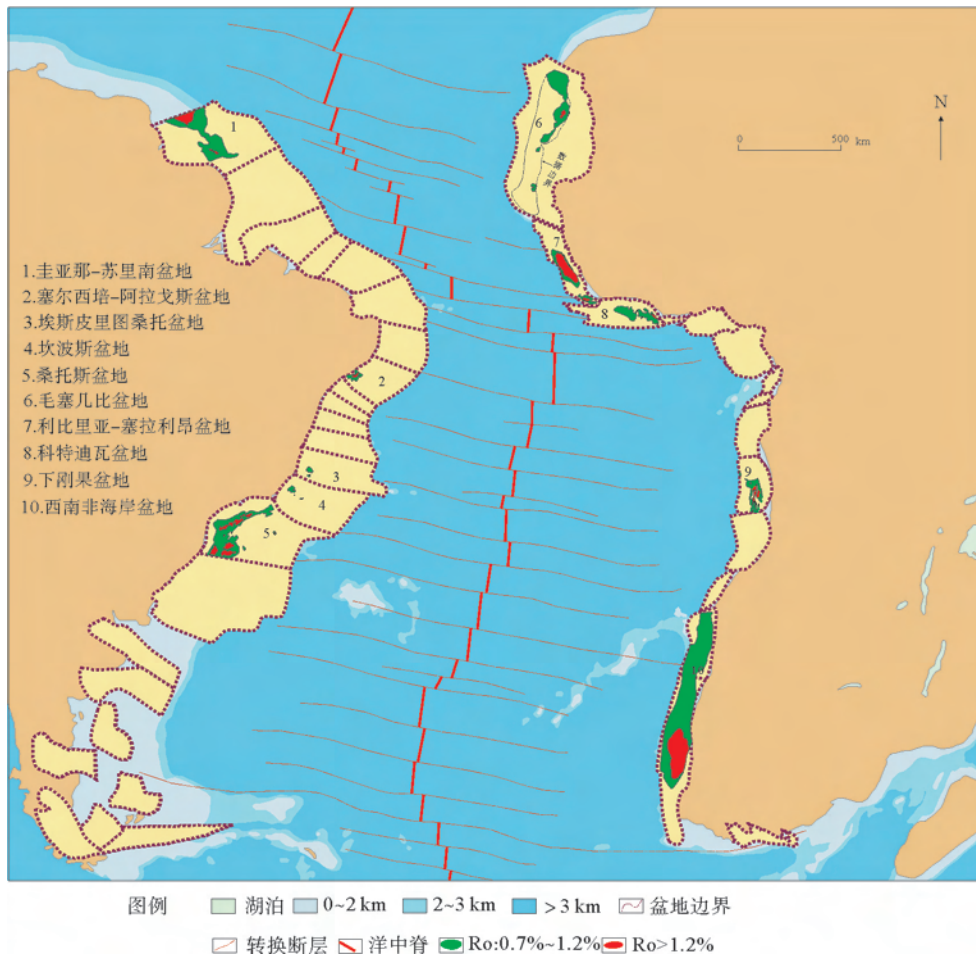


图 5 南大西洋两岸盆地漂移期主力烃源岩热演化程度分布图

Fig.5 Distribution of marine source rock R_o in side basins, South Atlantic

2.4 两岸盆地海相烃源岩地震相识别特征

在两岸 10 个重点盆地中有超过 10 余口钻井钻

遇了漂移期主力烃源岩,根据烃源岩层段岩性组合特征和地震反射结构,总结出两岸漂移期主力烃源岩发育 3 种类型地震反射特征(图 6)。


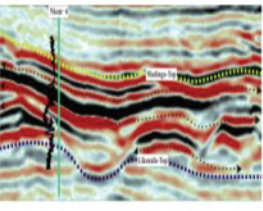

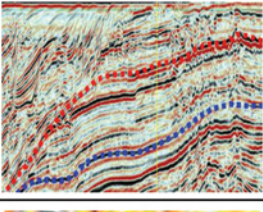

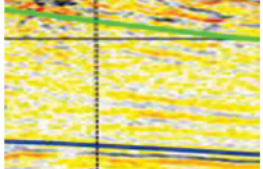
类型	典型岩性剖面	岩性描述	地震剖面	地震相特征	代表井或盆地	沉积相
I		厚层泥岩为主,夹薄层泥质粉砂岩、粉砂质泥岩与泥质灰岩		低频连续强振幅	(1) 下刚果盆地NKSM-4井、M-1井、SANM-1井和Ma-1井 (2) 科特迪瓦盆地A-1井 (3) 利比里亚-塞拉利昂盆地Apalis-1井 (4) 毛塞几比盆地Fan-1井 (5) 圭亚那-苏里南盆地 (6) 塞尔西培盆地	外浅海
II		大套泥灰岩与泥岩互层为主,夹白云岩、灰岩和薄层粉砂岩		中低频连续中弱振幅	下刚果盆地L-1井	混积内浅海
III		厚层泥岩为主,夹杂薄层砂岩		低频低连续弱振幅	(1) 埃斯皮里图桑托盆地B-186井, (2) 西南非盆地Murombe-1井	外浅海-半深海

图 6 南大西洋两岸重点盆地漂移期主力烃源岩地震相特性

Fig.6 Seismic facies of main marine source rock in side basins

I类:低频连续强振幅反射特征,岩性组合以厚层泥岩为主,夹薄层泥质粉砂岩、粉砂质泥岩与泥质灰岩。在下刚果盆地、科特迪瓦盆地、利比里亚-塞拉利昂盆地、毛塞几比盆地、圭亚那-苏里南盆地和塞尔西培盆地漂移期烃源岩均发育此类地震相特征。其中下刚果盆地的 M-1 井在赛诺曼—土仑阶 Madingo 组烃源岩层段钻遇 340m 厚的海相泥岩夹薄层泥质灰岩,地震相为低频连续强振幅反射。科特迪瓦盆地的 A-1 井也在土仑阶烃源岩层段钻遇了约 230m 厚的海相泥岩夹薄层砂岩、泥灰岩,地震反射特征为低频连续强振幅反射。

II类:中低频连续中弱振幅反射特征,岩性组合为大套泥灰岩与泥岩互层为主,夹白云岩、灰岩和薄层粉砂岩。下刚果盆地的 L-1 井在 Madingo 组钻遇了约 430m 厚的大套泥岩与泥灰岩互层,其中泥岩厚 200m,泥灰岩 230m。地震反射特征为中低频连续中弱振幅。

III类:低频弱连续弱振幅反射特征,岩性以厚层泥岩为主。南美的埃斯皮里图桑托盆地和西南非海岸盆地均钻遇了此类地震相特征。其中,埃斯皮

里图桑托盆地的 B-186 井在上白垩统钻遇 1400m 厚的海相泥岩,仅在赛诺曼—土仑阶底部约 150m 厚的海相泥岩层段有机质最为富集,地震反射特征为低频弱连续弱振幅。

3 海相烃源岩发育控制因素及有利勘探方向

(1) 局限海湾的古地理背景是优质海相烃源岩发育的主要控制因素。晚白垩世土仑期,西非和南美板块尚未完全分离,加之威尔维斯火山脊的阻挡,南大西洋赤道段整体处于半封闭的局限海湾沉积环境,而富含盐岩的中段大坎波斯盆地和南段西南非海岸盆地则为开阔海环境。同时,这种局限的海湾环境水体与外界交换不畅,表现为缺氧的强还原条件,利于有机质保存。下刚果盆地的 M-A 井矿物化学元素分析表明,磷元素主要富集在富含有机质的赛诺曼—土仑阶 Madingo 组,指示该时期古海洋生产力高,利于形成富有机质泥岩。

(2) 沉积相带类型和展布特征控制了优质海相

烃源岩分布范围。在下刚果盆地上白垩统 Madingo 组沉积时期,靠近滨岸带的混积内浅海亚相的 L-1 井揭示沉积地层以泥岩与泥灰岩互层为主,地震相特征表现中低频连续中弱振幅,属于 II 类地震相特征,海相烃源岩生烃潜力一般。而位于外浅海相带的 M-1 井揭示赛诺曼—土仑阶烃源岩层段厚度超过 300m,岩性以大套厚层泥岩为主,夹杂薄层泥质灰岩,地震相特征为低频连续强振幅反射,属于 I 类反射特征,烃源岩生烃潜力好。而位于外浅海一半深海沉积相带内,沉积地层岩性以大套厚层泥岩为主,地震反射特征为中弱振幅、中低频、连续,属于 III 类反射特征,烃源岩生烃潜力相对较差。

(3) 基于对大西洋两岸漂移期烃源岩生烃潜力、古地理背景和沉积相带类型综合分析,优选出两类有利勘探方向,分别为 I 类:北段和赤道段的 5 个盆地(包括毛塞几比盆地、利比里亚-塞拉利昂盆地、科特迪瓦盆地、圭亚那-苏里南盆地和塞尔西培盆地),在晚白垩世土仑期,这 5 个盆地整体上属于大型的局限海湾环境,优质海相烃源岩沉积最有利。II 类:中段含盐盆地(包括埃斯皮里图桑托盆地、坎波斯盆地、桑托斯盆地、下刚果盆地),在主力烃源岩沉积期(晚白垩世土仑期)主要为开阔海的沉积环境,海相泥岩有机质富集程度一般。其中,北段和赤道段 5 个盆地的主力烃源岩的干酪根类型、生烃潜力均优于中段含盐盆地。

由于漂移期油气藏和漂移期烃源岩灶纵向上具有很好的叠合关系,因此,I 类盆地的有利勘探方向为漂移期成熟生烃灶平面分布范围内的深水沉积砂体,主要位于后期有断裂活动的陆坡区,该类型储集体通过陆坡区大断层沟通漂移期已成熟的烃源岩,且烃源岩类型为倾油型,主要以找油为主。同时,漂移期广泛沉积的海相泥岩可以是很好的盖层。II 类盆地的有利勘探方向为紧邻盐微盆的漂移期深水沉积砂体,盐侧翼和盐活动相关断层是其主要运移通道,且已经在南美的桑托斯盆地 Mzula 气田和西非下刚果盆地 Mohm 油田等多个油田已经证实,但由于盆地漂移期主力烃源岩类型为油气兼生,所以以找油和天然气为主。

4 结论

(1) 南大西洋两岸盆地漂移期发育两套主力海相烃源岩,漂移早期烃源岩主要在西南非盆地和南美一侧的塞尔西培盆地,漂移期的赛诺曼—土仑期烃源岩分布范围较广。

(2) 整体上,两岸北段和赤道段盆地漂移期主力烃源岩地化指标优于中—南段盆地,北段和赤道段盆地烃源岩生排烃期早,以生油为主,中—南段盆地生排烃期相带较晚,油气兼生。西非一侧海域盆地烃源岩地化指标优于南美一侧盆地。

(3) 明确两岸盆地漂移期海相烃源岩主要存在 3 种地震相类型,其中第 I 类地震相类型烃源岩生烃潜力较大。

(4) 局限海湾的古地理背景是优质海相烃源岩发育的主要控制因素,沉积相带类型和展布特征控制了优质海相烃源岩平面分布范围。

(5) 南大西洋两岸北段和赤道段盆地漂移期成熟生烃灶平面分布范围内的深水沉积砂体是最主要有利勘探方向,以找油为主。中—南段盆地内紧邻盐微盆的漂移期深水沉积砂体勘探潜力次之,以找油和天然气为主。

参考文献 (References)

- [1] 胡湘瑜. 西非被动大陆边缘盆地群大油气田形成条件与成藏模式[J]. 现代地质, 2013, 27(1): 133-142. [HU Xiangyu. Major oil and gas fields formation conditions and accumulation models of west African passive continental margin basins[J]. Geoscience, 2013, 27(1): 133-142.]
- [2] 熊利平, 邬长武, 郭永强, 等. 巴西海上坎波斯与桑托斯盆地油气成藏特征对比研究[J]. 石油实验地质, 2013, 35(4): 419-425. [XIONG, Liping, WU Changwu, GUO Yongqiang, et al. Petroleum accumulation characteristics in Campos and Santos Basins, offshore Brazil [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(4): 419-425.]
- [3] 刘静静, 邬长武, 丁峰. 南大西洋两岸含盐盆地类型与油气分布规律[J]. 石油实验地质, 2018, 40(3): 372-380. [LIU Jingjing, WU Changwu, DING Feng. Basin types and hydrocarbon distribution in salt basins in the South Atlantic [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2018, 40(3): 372-380.]
- [4] 孙自明. 下刚果-刚果扇盆地沉积-构造演化与油气勘探领域[J]. 现代地质, 2016, 30(6): 1303-1310. [SUN Ziming. Sediment-tectonic evolution and petroleum exploration domains of Lower Congo- Congo Fan Basin [J]. Geoscience, 2016, 30(6): 1303-1310.]
- [5] 郑应钊, 何等发, 马彩琴, 等. 西非海岸盆地大油气田形成条件与分布规律探析[J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2011, 41(6): 1018-1024. [ZHENG Yingzhao, HENG Dengfa, MA Caiqin, et al. The forming factors and distribution rules of giant oil and gas fields in the coastal basins of West Africa [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2011, 41(6): 1018-1024.]
- [6] 刘祥冬, 李江海. 西非被动大陆边缘盆地盐构造对油气的控制作用[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(2): 196-202. [LIU Xuandong, LI Jianghai. Control of salt structure on hydrocarbons

- in the passive continental margin of West Africa[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2011, 38(2):196-202.]
- [7] 张凤廉, 屈红军, 张功成, 等. 西非科特迪瓦盆地深水油气地质特征及成藏主控因素[J]. *地质科技情报*, 2017, 36(5):112-117. [ZHANG Fenglian, QU Hongjun, ZHANG Gongcheng, et al. Petroleum geological features and main controlling factors of hydrocarbon accumulation in deepwater areas of Cote D'Ivoire Basin, West Africa[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2017, 36(5):112-117.]
- [8] Marcelo de Araujo Carvalho, João Graciano Mendonça Filho, Taissa Rêgo Menezes. Palynofacies and sequence stratigraphy of the Aptian-Albian of the Sergipe Basin, Brazil [J]. *Sedimentary Geology*, 2006, 192:57-74.
- [9] Nivaldo Destro. Release fault: A variety of cross fault in linked extensional fault systems, in the Sergipe-Alagoas Basin, NE Brazil[J]. *Journal of Structural Geology*, 1995, 17(5):615-629.
- [10] Simone Walter, Achim D Herrmann, Peter Bengtson. Stratigraphy and facies analysis of the Cenomanian-Turonian boundary succession in the Japarutuba area, Sergipe Basin, Brazil[J]. *Journal of South American Earth Sciences*, 2005, 19:273-283.
- [11] 康洪全, 贾怀存, 程涛, 等. 南大西洋两岸含盐盆地裂谷层序油气地质特征与油气分布特征对比[J]. *地质科技情报*, 2018, 37(4):113-119. [KANG Hongquan, JIA Huaicun, CHENG Tao, et al. Compared analysis of petroleum geology and hydrocarbon accumulation of rift sequence in salt basins on both sides of South Atlantic Ocean [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2018, 37(4):113-119.]
- [12] 秦雁群, 张光亚, 梁英波, 等. 南大西洋深水油气分布特征、聚集规律与勘探方向[J]. *天然气地球科学*, 2016, 27(2):229-240. [QIN Yanqun, ZHANG Guangya, LIANG Yingbo, et al. Distribution characteristics, accumulation rules and exploration directions of deep water hydrocarbon in South Atlantic [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2016, 27(2):229-240.]
- [13] 袁圣强, 吴时国, 马玉波, 等. 南大西洋深水盆地的构造沉积演化及含油气系统[J]. *天然气地球科学*, 2008, 19(2):216-221. [YUAN Shengqiang, WU Shiguo, MA Yubo, et al. Tectono-sedimentary evolution and petroleum systems of the deep-water basin along South Atlantic ocean margin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2008, 19(2):216-221.]
- [14] 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. [YANG Yongcai, SUN Yumei, LI Youchuan, et al. Distribution of the source rocks and mechanisms for petroleum enrichment in the conjugate basins on the south atlantic passive margins: cases studies from the Santos and Namibe basins [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2015, 35(2):157-167.]
- [15] 孙涛, 王建新, 孙玉梅, 等. 西非塞内加尔盆地海相优质烃源岩控制因素讨论[J]. *海洋石油*, 2017, 37(4):41-46, 52. [SUN Tao, WANG Jianxin, SUN Yumei, et al. Discussion on controlling factors of excellent marine sources rocks in Senegal basin, West Africa [J]. *Offshore Oil*, 2017, 37(4):41-46, 52.]
- [16] 杨永才, 张树林, 孙玉梅, 等. 西非宽扎盆地烃源岩分布及油气成藏[J]. *海洋地质前沿*, 2013, 29(3):29-36. [YANG Yongcai, ZHANG Shulin, SUN Yumei, et al. Source rock distribution and petroleum accumulation in Kwanga Basin, West Africa [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2013, 29(3):29-36.]
- [17] 康洪全, 程涛, 贾怀存, 等. 中-新生代大陆边缘盆地海相烃源岩生烃特征[J]. *石油学报*, 2017, 38(6):649-657. [KANG Hongquan, CHENG Tao, JIA Huaicun, et al. The hydrocarbon generation characteristic of marine source rock in Mesozoic continental margin basins [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2017, 38(6):649-657.]
- [18] 曹军, 钟宁宁, 邓运华, 等. 下刚果盆地海相烃源岩地球化学特征、成因及其发育的控制因素[J]. *地球科学与环境*, 2014, 36(4):87-98. [CAO Jun, ZHONG Ningning, DENG Yunhua, et al. Geochemical characteristics, origin and factors controlling formation of marine source rock in Lower Congo basin [J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2014, 36(4):87-98.]
- [19] 孔令武, 赵红岩, 赵佳奇, 等. 西非塞拉利昂-利比里亚盆地深水岩性油气藏成藏特征[J]. *海洋地质前沿*, 2018, 34(11):26-32. [KONG Lingwu, ZHAO Hongyan, ZHAO Jiaqi, et al. Geological characteristic of oil and gas accumulation in the Sirra Lone-Liberia Basin, West Africa [J]. *Marine Geology Frontiers*, 2018, 34(11):26-32.]
- [20] 刘剑平, 潘校华, 马君, 等. 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(4):67-74, 8. [LIU Jianping, PAN Xiaohua, MA Jun, et al. Geological characteristics and oil-gas significance of Namibia Basin, South of Walvis Ridge on passive continental margin of West Africa as compared with basins in the North [J]. *China Petroleum Exploration*, 2007(4):67-74, 8.]