

孟金落, 康洪全, 贾怀存, 等. 埃斯皮里图桑托盆地盐上油气成藏特征及主控因素分析[J]. 海洋地质前沿, 2022, 38(7): 48-56.

MENG Jinluo, KANG Hongquan, JIA Huaicun, et al. Characteristics and main controlling factors of post-salt hydrocarbon accumulation in Espirito Santo Basin, Brazil[J]. Marine Geology Frontiers, 2022, 38(7): 48-56.

埃斯皮里图桑托盆地盐上油气成藏特征 及主控因素分析

孟金落¹, 康洪全², 贾怀存², 刘新颖²

(1 中国海油集团能源经济研究院, 北京 100011; 2 中海石油国际有限公司, 北京 100028)

摘要: 大坎波斯盆地是世界深水沉积勘探的热点盆地, 但针对其北段的埃斯皮里图桑托盆地盐上油气富集规律的系统研究尚未展开。为进一步指导埃斯皮里图桑托盆地盐上的油气勘探, 综合利用钻井、测井和地震资料, 对该盆地的油气成藏特征和主控因素进行了综合分析。研究表明: ①埃斯皮里图桑托盆地发育盐下湖相和盐上海相 2 套烃源岩, 且储层主要为盆地北部上白垩统一新近系深水水道砂岩; ②依据盐岩层滑脱变形的构造特征, 可将盐上构造格局划分为盐滑脱带、盐底辟带和盐推覆带; ③盐滑脱带成藏模式表现为盐下和盐上烃源岩生成的油气分别通过盐窗和盐相关断裂运移, 最终在盐滑脱形成的滚动背斜等圈闭中成藏; ④盐底辟带成藏模式表现为盐上烃源岩生成的油气通过盐相关断裂运移, 最终在盐底辟相关背斜和盐侧翼遮挡的圈闭中成藏; ⑤储层、盐相关铲式断层和盐岩活动是油气成藏的主控因素。

关键词: 埃斯皮里图桑托盆地; 盐上; 盐下; 构造分带; 成藏特征; 主控因素

中图分类号: P744.4; P618.13

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2021.117

0 引言

埃斯皮里图桑托盆地位于巴西东南部, 在大坎波斯盆地的最北段, 盆地的陆上和海域面积共约 $10.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。盆地北部为岩浆活动所形成的里约达斯高地, 南与坎波斯盆地相邻^[1-2]。坎波斯盆地盐上油气勘探已经取得巨大成功, 在上白垩统一新近系深水沉积体系中发现原油可采储量达 32.3 亿 t, 揭示了盐上勘探的巨大潜力^[3-5]。目前埃斯皮里图桑托盆地也已获得多个油气发现(图 1), 原油可采储量 2.06 亿 t, 天然气剩余证实和概算可采储量之和为 990 亿 m^3 , 但整体上以中小型油气田为主^[6], 制约该盆地盐上油气勘探的控制因素尚不明确。本文基于现有地震和钻井资料, 选定盆地主研究区,

收稿日期: 2021-04-21

资助项目: “十三五”国家科技重大专项“西非和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: 孟金落(1989—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事油气勘探方面的研究工作。E-mail: mengjl3@cnooc.com.cn

在盆地烃源岩、储层条件分析的基础上, 以盐上的构造分带为基本单元开展油气成藏特征和主控因素的综合研究, 以期有助于盆地未来的油气勘探。

1 区域地质概况

埃斯皮里图桑托盆地位于大西洋西侧巴西东南海域, 是南大西洋两岸典型的被动陆缘盆地之一。盆地的形成始于侏罗—白垩纪冈瓦纳大陆的裂解, 区域上构造演化和沉积充填经历了裂谷期、过渡期和漂移期 3 个阶段^[7-15], 分别对应着下部裂谷期、中部过渡期和上部漂移期 3 个沉积层序(图 2)。

(1) 裂谷期(140.7~118 Ma, 纽康姆期—晚阿普特期), 该时期构造特征表现为热底辟作用下形成的一系列正断层及与之相关的地垒和地堑, 陡坡带地层以河流、冲积扇等粗粒碎屑岩沉积为主, 缓坡带地层为河流-三角洲相砂岩, 其中巴雷姆期湖盆深处发育的厚层有机质页岩是裂谷期的优质烃源岩。

(2) 过渡期(118~110 Ma, 晚阿普特期—早阿尔

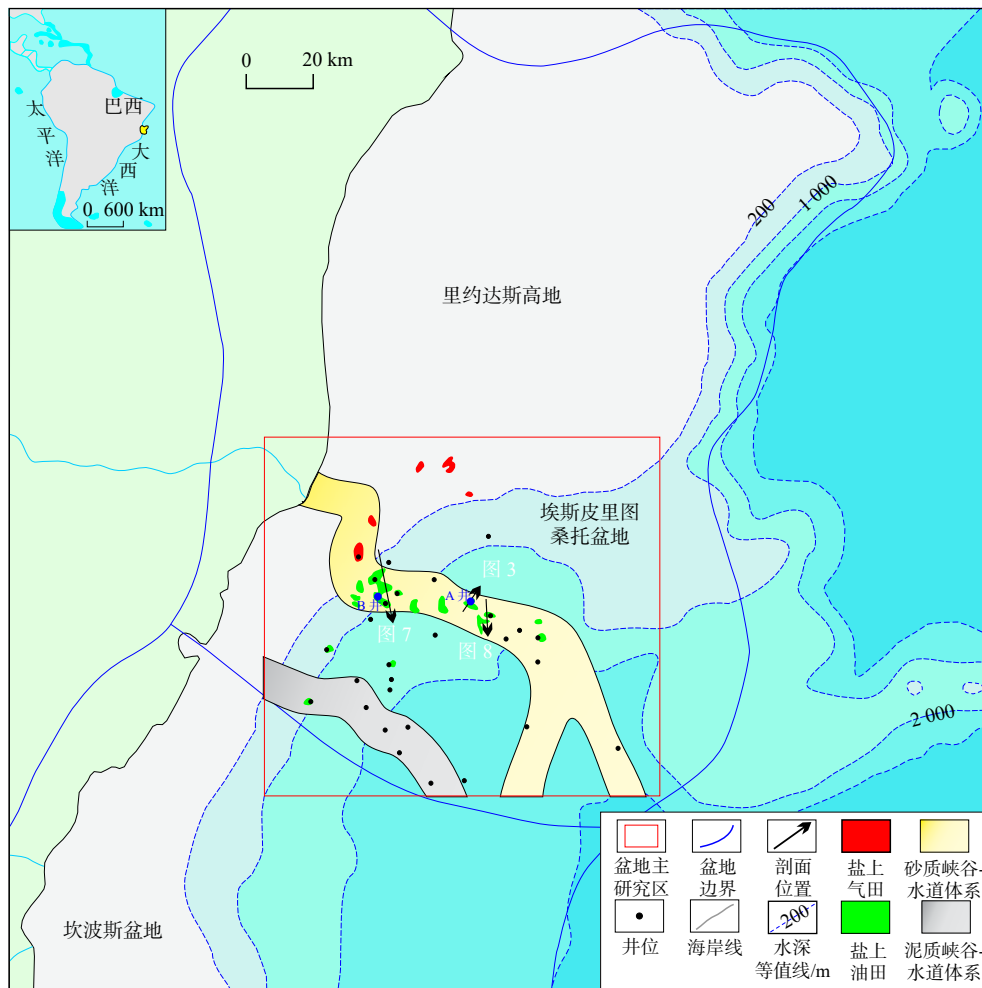


图 1 埃斯皮里图桑托盆地盐上油气勘探开发现状

Fig.1 Status of post-salt oil and gas exploration and development in the Espirito Santo Basin

布期), 陆内裂谷进一步演化, 南大西洋已完全裂开, 但由于南部 Walvis Ridge 的遮挡, 形成了半封闭的局限海环境, 沉积了一套巨厚的蒸发岩。

(3) 漂移期(110 Ma 至今), 发生于大西洋扩张后期, 逐渐张开加宽, 南美及西非大陆完全分离, 成为被动大陆边缘盆地。在盆地热沉降的大背景下, 沉积物负荷作用引起区域地层发生挠曲沉降, 同时盐岩在重力负载下向盆地内部滑脱, 形成了盐筏、盐枕、盐墙等一系列盐相关构造。漂移早期阿尔布阶以海相泥灰岩为主, 之后海平面突然上升, 沉积了赛诺曼阶海相泥岩, 成为漂移期重要的烃源岩, 漂移中晚期特别是晚白垩世以来沉积了大量的深水砂岩, 成为盆地漂移期重要的油气储层。

2 盐上构造分带

埃斯皮里图桑托盆地为典型的被动大陆边缘含盐盆地, 盐上上白垩统一新近系漂移期地层构造

变形主要受阿普特盐岩在漂移期地层的重力负载作用下发生滑脱变形^[16-20], 同时, 盐岩由于塑性流动也形成了不同的盐构造特征。根据盆地盐岩产状及变形, 可以将盐上漂移期地层系划分为 3 个带, 自西向东分别为: 盐滑脱带、盐底辟带和盐推覆带(图 3)。

(1) 盐滑脱带 该构造带盐岩在重力滑脱作用下向盆地内部滑动, 引起上覆地层伸展, 以发育正断裂体系为主。由于盐岩的滑动产生了大量盐筏构造以及与之相关的 NNE-SSW 向铲式正断层, 断层两侧地层横向差异大, 且下降盘由于同沉积作用沉积地层厚度较大。

(2) 盐底辟带 该构造带通常发育多种样式的盐底辟, 根据本地区盐岩纵向上底辟程度的不同分为低幅度盐枕底辟和高幅度盐刺穿底辟。低幅度盐枕底辟由于上拱幅度相对较低, 仅引起上覆地层的拱张变形, 在底辟顶部伴随一系列 Y 字型正断层, 形成放射状断裂体系; 高幅度盐刺穿底辟由于盐岩

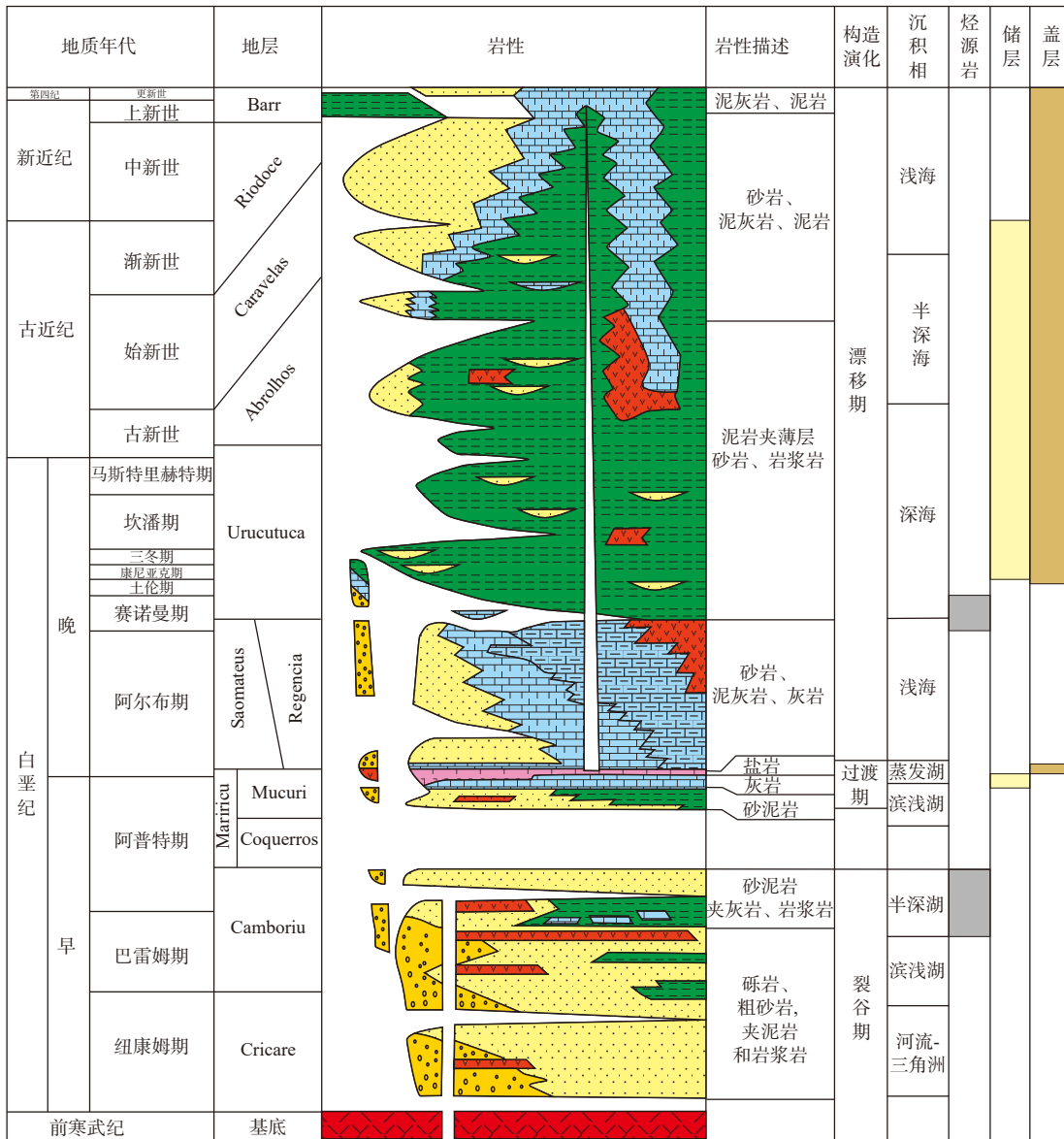


图2 埃斯皮里图桑托盆地地层综合柱状图

Fig.2 The comprehensive stratigraphic column of the Espirito Santo Basin

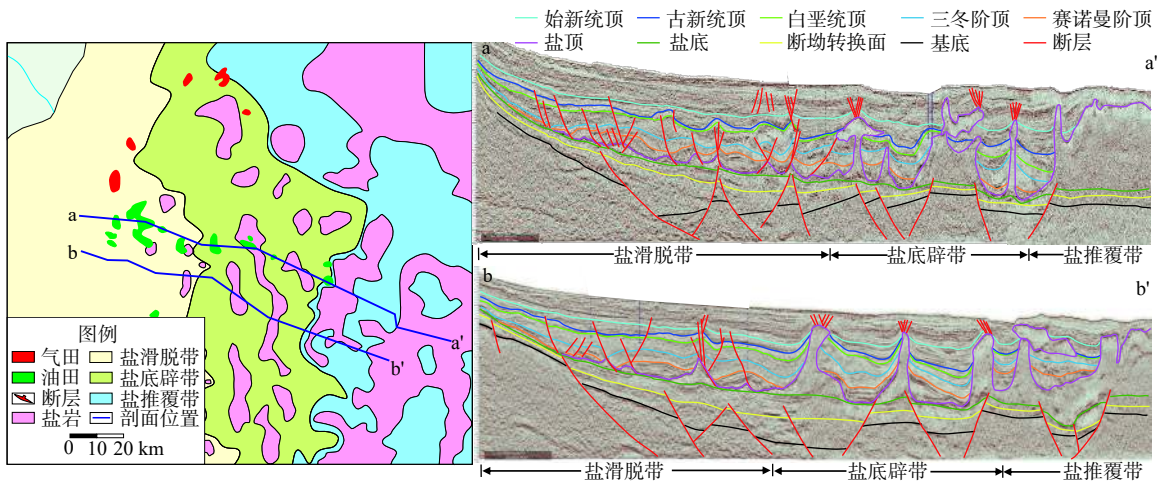


图3 埃斯皮里图桑托盆地漂移期地层构造单元划分

Fig.3 Tectono-stratigraphic division of the post-salt units during drift the period of the Espirito Santo Basin

上拱程度较大, 刺穿地层, 引起株状底辟两侧沉积地层伴随盐岩活动大幅度上倾, 顶部同样可形成放射状断裂体系。

(3) 盐推覆带 该构造带为重力滑脱构造的稳定挤压区, 盐岩以厚盐台或异地盐蓬^[17-18]的形式发育, 盐岩厚度大, 地层变形程度相对较小, 且上覆地层相对稳定。

3 油气成藏特征

3.1 烃源岩特征

受盆地构造演化及沉积充填的控制, 埃斯皮里图桑托盆地发育盐上和盐下 2 套主力烃源岩。盐下裂谷期湖相泥页岩总有机碳(TOC)一般 $>4\%$, 生烃潜量(S_1+S_2)大部分 $>10\text{ mg/g}$, 氢指数(HI)介于 $300\sim 1\,000\text{ mg/g}$, 有机质类型以 I-II₁ 型为主, 为一套优质的湖相烃源岩, 由于受到盆地北部岩浆活动的烘烤, 盆地地温梯度达到 $3.9\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$, 该套烃源岩在晚白垩世土仑期热演化已达到成熟-高成熟阶段, 开始大规模生油, 现阶段盆地深部地区该套烃源岩已进入生气阶段^[1-2]。盐上漂移期赛诺曼阶海相泥岩是盆地盐上漂移期地层的主力烃源岩, 该套烃源岩 TOC 介于 $1\%\sim 3\%$, S_1+S_2 介于 $2\sim 20\text{ mg/g}$,

HI 介于 $180\sim 420\text{ mg/g}$, 干酪根类型 II 型, 该套烃源岩成熟门限为 $2\,600\text{ m}$, 在古新世末开始成熟生油, 现今 R_o 为 $0.5\%\sim 0.8\%$, 仍处于生油阶段。

南部坎波斯盆地和桑托斯盆地的盐下烃源岩, 由于缺乏岩浆烘烤, 且上覆厚层盐层是良好的导热层, 导致坎波斯和桑托斯盆地盐下裂谷期烃源岩即使在埋深 $5\,000\text{ m}$ 处仍处于成熟生油阶段^[21-22], 已被证实是盐上深水砂岩油藏和盐下湖相碳酸盐岩油田的主要油源。

3.2 储层特征

对于盐上地层, 漂移期地层主要以深水扇沉积体系为主, 上白垩统一新近系深水浊积砂岩为盐上主力储层。从区域沉积特征来看, 自晚白垩世至古新世, 盆地北部发育 NW-SE 向展布的深海峡谷-水道沉积体系, 其中深水水道为主要沉积类型。深海峡谷-水道沉积体系发育于陆坡, 侵蚀能力强, 深切下伏地层, 从图 4 的地震剖面中可以看出清晰的 V-U 形轮廓, 内部以强振幅为主, 断续-乱岗状反射, 可识别出峡谷内发育的多期叠加水道。以 A 井为例, 水道单砂体的最大厚度达 17 m , 单井钻遇的砂岩累计厚度可达 170 m , 含砂率普遍约 38% (图 4), 而且储层物性较好, 单井平均孔隙度为 16% , 渗透率平均可达 $625\times 10^{-3}\text{ }\mu\text{m}^2$ 。

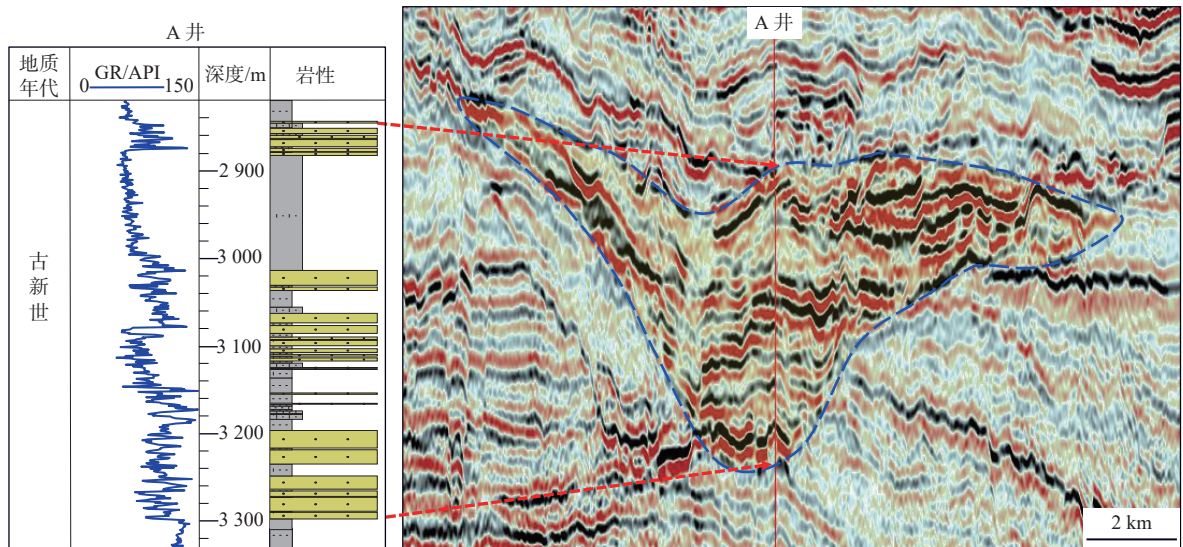


图 4 古新统深海峡谷-水道沉积

Fig.4 The Paleocene deep-sea canyon and channel sedimentation

3.3 圈闭发育特征

(1) 盐滑脱带 该构造带由于铲式正断层的发

育, 伴生了一系列滚动背斜, 该类背斜与深水水道砂岩相配合, 形成了一系列构造-岩性和构造圈闭, 成为盐滑脱带主要的圈闭类型和样式(图 5)。该类

型圈闭一般面积较大,构造幅度低。如G Central 油藏发育该类型圈闭,圈闭面积为23.4 km²,构造幅度只有90 m(表1)。

(2)盐底辟带 该构造带因低幅度盐枕底辟引起上覆地层发生拱张,与深水水道砂岩配合形成盐底辟顶部背斜圈闭,该类型圈闭较为普遍地发育于底辟带,圈闭规模受控于盐底辟规模。从已有油气发现来看,圈闭面积大致为4.5~12.4 km²,幅度为250~360 m。高幅度盐刺穿底辟多数刺穿晚白垩世—古近纪地层,在其侧翼形成盐岩遮挡的断块圈闭,该类型圈闭面积相对较大,已有油气发现的圈闭面积介于11.7~14.9 km²;圈闭幅度较高,一般为470~600 m,最高可近1 000 m(表1、图5)。

(3)盐推覆带 该构造带勘探程度较低,勘探效果比较差,圈闭类型主要是盐蓬遮挡作用形成的相关圈闭(图5)。

3.4 油气成藏模式

盐上海域漂移期地层油气发现主要集中在盐上滑脱带和盐底辟带,推覆带无油气发现。其中滑脱带发现储量约占盆地海域发现总储量的46%,底辟带约占54%。盐上滑脱带和底辟带具有不同的成藏模式。

(1) 盐滑脱带

主要成藏模式表现为盐下湖相和盐上海相混源供烃、盐相关断裂运移疏导、在盐滑脱形成的滚动背斜等构造-岩性圈闭中聚集成藏的特征。G油田群是当前埃斯皮里图桑托盆地已发现的最大油气田,位于盆地的盐滑脱带,储层为上白垩统水道砂岩;在盐滑脱作用下发育的沟通下伏烃源岩的大断层是油气运移的主要通道。从周边井取得的油样地球化学分析数据来看,油气来源具有“混源成

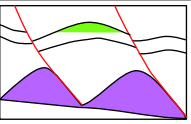
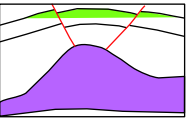
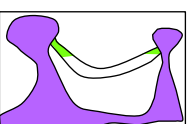
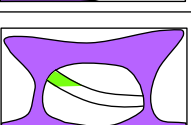
不同区带	构造应力机制	构造样式	圈闭类型	已有发现圈闭规模 (面积、幅度)	典型油田名称 (储量)
盐滑脱带	盐岩滑脱引起的地层伸展	盐筏滑动产生的相关铲式断层和滚动背斜		面积较大,幅度低,如G central 油田 23 km ² ,幅度约90 m	G 油田群 (可采:油 2 730 万 t, 气 193 亿 m ³)
盐底辟带	盐岩上拱引起地层的拱张	盐岩上拱形成的Y字型正断裂、背斜,少量异地盐		面积较小,幅度中等,已有发现圈闭面积 4.5~12.4 km ² ; 幅度 250~360 m	QUI (可采:油 740 万 t, 气 34.3 亿 m ³)
				面积中等,幅度高,已有发现圈闭面积 11.7~14.9 km ² 幅度为 470~600 m	PAC (可采:油 568 万 t)
盐推覆带	稳定挤压	厚盐台、异地盐蓬		勘探程度较低,勘探效果不理想,仅有1口井具油气显示	

图5 埃斯皮里图桑托盆地漂移期地层圈闭发育模式

Fig.5 Development model of post-salt stratigraphic traps of the Espirito Santo Basin

表1 埃斯皮里图桑托盆地海域盐上主要油气田充满度统计

Table 1 Statistics of fullness of major post-salt oil and gas fields of the Espirito Santo Basin

油气田名称	盐岩类型	层位	圈闭面积/km ²	圈闭高点	闭合幅度/m	烃柱高度/m	含烃面积/km ²	充满系数/%	
				TVDSS/m				垂向	面积
G Central	隐伏型	马斯特里赫特阶	23.4	3 210	90	50	9.5	56	41
QUI		马斯特里赫特阶	8.93	4 320	360	144	2.52	40	28
COC		古新统	12.4	3 320	355	225	6.21	63	50
PDM		古新统	4.5	3 055	285	145	2.84	51	63
PAC	刺穿型	三冬阶	14.89	4 580	470	379	10.49	81	70
BRI		三冬阶	11.7	3 700	600	551	8.4	92	72

注: TVDSS(True Vertical Depth Sub-sea)为平均海平面下垂直深度。

因”的特点;而 G 油田群中 B 井的埋藏史与成熟度模拟图(图 6)表明,盐上赛诺曼阶烃源岩处于成熟生油阶段,盐下裂谷期烃源岩处于过成熟生气阶段。因此分析认为,石油主要来自盐上海相烃源岩,该套烃源岩处于生油窗内,通过盐滑脱形成的断层向上运聚成藏;天然气主要来自盐下湖相烃源岩,通过断层和盐窗向上运聚成藏(图 7)。

对于其他含盐盆地,无论是巴西东南海域的

坎波斯盆地、桑托斯盆地还是西非一侧的下刚果和宽扎盆地,盐滑脱带都是漂移期成藏的有力区带^[3,9,21-25]。盐滑脱带的形成与上覆地层的重力滑脱作用有关,其构造位置往往对应下伏裂谷时期形成的构造坡折带,因此,沟通盐下-盐上地层的大断层一直存在,同时其构造位置也对应上覆陆棚-陆坡的沉积坡折带,而这些地区往往是深水砂岩储层发育的有利场所,因此在盐滑脱带滚动背斜等圈闭形成

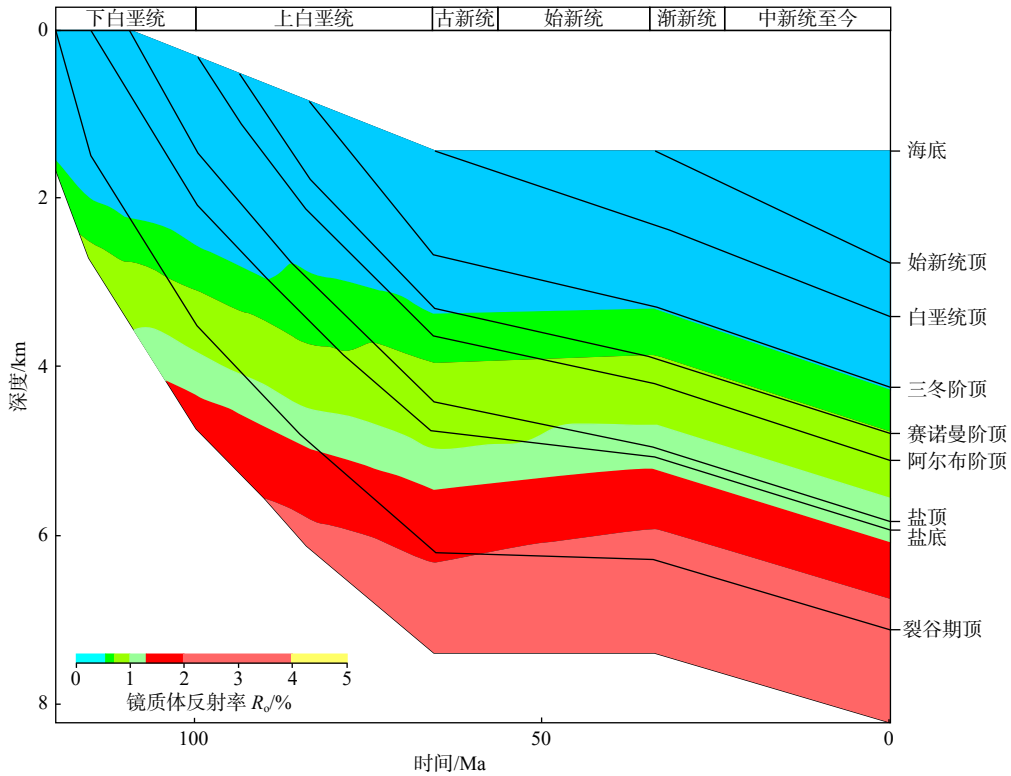


图 6 G 油田群 B 井的埋藏史与成熟度模拟图

Fig.6 Burial history and maturity simulation of Well B in group G Oilfield

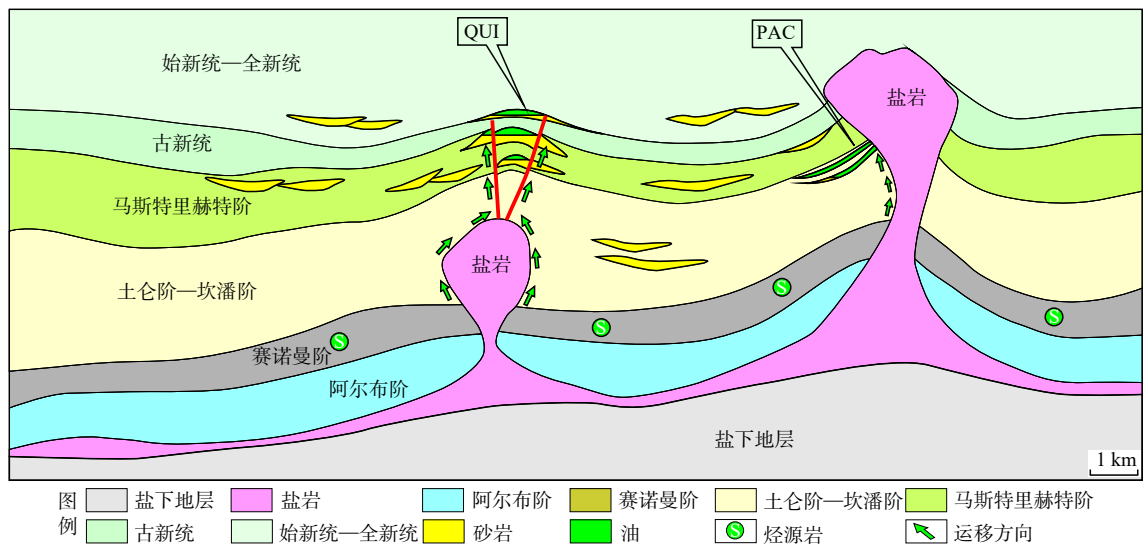


图 7 埃斯皮里图桑托盆地滑脱带成藏模式

Fig.7 Hydrocarbon accumulation model in the detachment zone of the Espirito Santo Basin

的背景下,由于储层的大规模发育以及断层的存在沟通了盐下烃源岩和盐上储层,使得盐滑脱带成为大西洋两岸最有利的盐上成藏区带。

(2) 盐底辟带

主要发育盐底辟相关的背斜(QUI 油田)和盐侧翼遮挡的构造-岩性圈闭(PAC 油田)2 种类型,储

层同样是上白垩统水道砂岩。由于底辟带盐岩底部坡度较缓,盐岩地层分布较为连续,盐窗基本不发育,盐下湖相烃源岩生成的油气难以突破盐岩层向上运移。因此,底辟带的油气主要来自盐上赛诺曼—土仑阶海相烃源岩,其中盐底辟及盐岩底辟活动作用下产生的相关断层是油气运移的主要通道(图 8)。

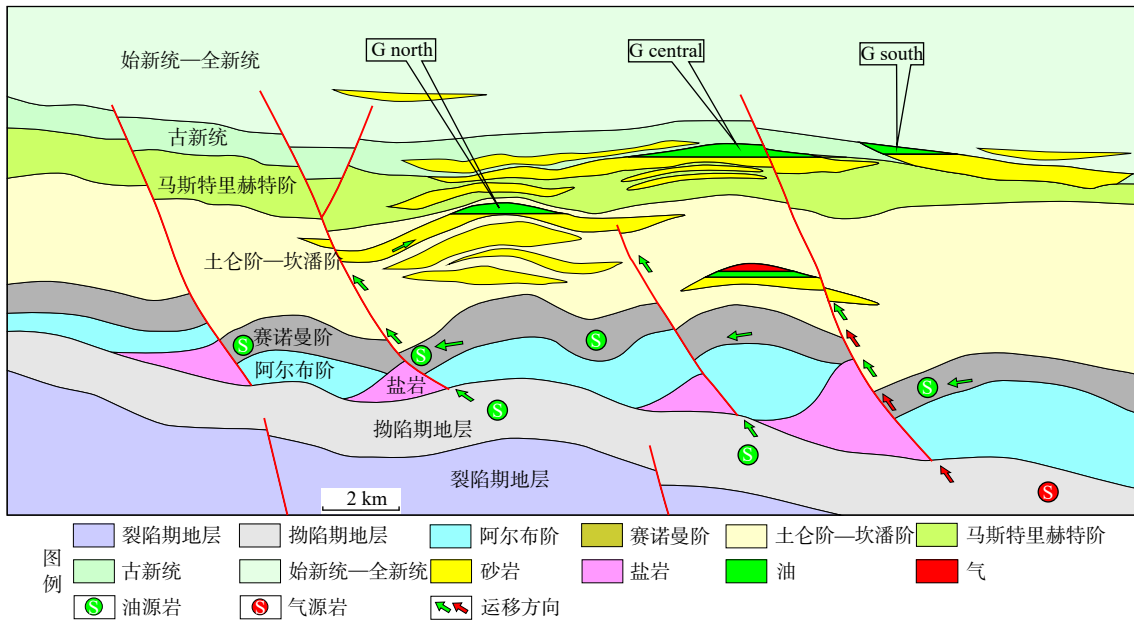


图 8 埃斯皮里图桑托盆地底辟带成藏模式

Fig.8 Hydrocarbon accumulation model in the diapir zone of the Espirito Santo Basin

南部坎波斯盆地底辟带尽管同样发育上述圈闭类型,但是由于盐上海相漂移期烃源岩普遍处于低成熟阶段,没有大规模生油,加之盐下烃源岩无法向上运移,坎波斯盆地底辟带漂移期没有油气发现。中大西洋塞内加尔盆地、毛塞几比盆地等深水地区由于裂谷系烃源岩不发育,在其盐底辟形成的圈闭中聚焦成藏的油气主要来源于进入成熟生油阶段的阿普特—阿尔布阶、赛诺曼—土仑阶的海相烃源岩^[26-27]。因此,含盐盆地底辟带油气成藏的关键因素是漂移期烃源岩是否进入了成熟生油阶段。

4 油气成藏的主控因素

4.1 储层展布控制了油气藏的平面分布特征

依据盆地已钻井及已有的油气发现分析结果,储层发育控制了油气的平面展布,也是漂移期油气成藏的主控因素。钻井揭示盐上上白垩统—古新统主力砂岩储层以及发现的油气田均集中在盆地北

部的砂质峡谷-水道体系中,而盆地南边古新统一渐新统中同样发育峡谷-水道沉积体系,但受控于该时期物源主要发育在盆地北部,所以南部主要为泥质沉积,因此多数钻井失利,无油气发现(图 1)。

大西洋两岸不同含盐盆地的宽度往往受控于裂谷期构造格局的演化。对于大坎波斯盆地而言,从南向北依次为桑托斯盆地、坎波斯盆地和埃斯皮里图桑托盆地,裂谷期盆地宽度自南向北逐渐变窄,深度逐渐加深^[28],从而影响到漂移期深水沉积砂岩在平面上的区带展布。南部桑托斯盆地、坎波斯盆地的陆坡角度相对较缓,因此盐底辟带横向上分布宽广,深水砂岩储层和已发现的盐上油气藏主要发育在盐底辟带^[3-4];北部埃斯皮里图桑托盆地陆坡倾角较大,盆地宽度狭窄,因此其盐滑脱带横向上相对较窄,所以漂移期深水砂岩储层可以一直向深海方向延伸到盐底辟带,从而有利于盐底辟带的油气成藏(图 8)。

4.2 盐相关铲式断层控制着油气的不同来源

对于埃斯皮里图桑托盆地以及大西洋两岸桑

托斯、坎波斯、宽扎、下刚果等含盐盆地来说, 盐滑脱区盐层厚度相对较薄且盐窗发育, 盐窗区刚好对应于铲式断层的发育位置, 使得该类断层作为运移通道沟通了下伏湖相烃源岩和上覆漂移期储层, 同时也为海相烃源岩生成的油气运移提供了有力通道, 有利于盐上漂移期成藏, 如 G 油田群; 而盐底辟区由于盐岩厚度较大, 盐窗不发育, 该类盐相关铲式断层也不发育, 因此, 其盐上成藏主要与漂移期海相烃源岩的品质和成熟度有关, 如 QUI 油田和 PAC 油田。

4.3 盐岩活动强度和期次控制了盐上油气纵向分布层位及圈闭油气充满度

按盐岩活动强度, 盆地发育隐伏型和刺穿型 2 种盐活动类型, 不同类型的盐活动对油气富集层位、圈闭规模和充满度等方面具有明显控制作用。

隐伏型盐活动表现为盐筏或低幅度底辟特征, 形成滚动背斜及盐拱相关背斜圈闭, 一般终止于赛诺曼—三冬阶, 对上覆深水水道展布不产生影响, 坎潘阶—古新统深水水道均能在其顶部或侧翼沉积。该类型盐活动形成的油气藏通常油气纵向分布层位较为广泛, 从三冬阶至古新统均有分布; 但由于该类型盐活动时间及强度较弱, 相关的圈闭一般在始新世末期定型, 油气主充注期为古新世—始新世, 充注时间较短, 油气藏油气充满度较低; 而且由于地层倾角变化幅度不及刺穿型盐活动, 故烃柱高度相对较低。如滑脱带 G Central 油田面积充满度为 41%, 烃柱高度为 55 m; 底辟带 QUI 油田面积充满度为 28%, 烃柱高度为 144 m(表 1)。

刺穿型盐活动一般形成盐侧翼遮挡圈闭, 地层倾角陡直, 该类型盐底辟活动时间早、持续时间长, 从晚白垩世土仑期开始活动, 除坎潘期有所减弱外, 持续活动至中新统后。较长的盐岩活动期有利于油气持续向圈闭充注。如底辟带的 PAC 油田, 刺穿型盐底辟活动持续至中新统后, 油田主充注期从马斯特里赫特期至中新世, 充注时间长, 烃柱高度达 379 m, 油田面积充满度达 70%(表 1)。

5 结论

(1) 深水水道砂岩是埃斯皮里图桑托盆地盐上的主力储层。依据盐岩滑脱变形将盐上划分为滑脱带、底辟带和推覆带。盐滑脱带发育滚动背斜等构造, 形成构造-岩性圈闭, 盐底辟带发育底辟背斜

圈闭和盐遮挡圈闭, 推覆带发育盐遮挡圈闭。

(2) 盐滑脱带成藏模式表现为盐下湖相和盐上海相混源供烃, 盐相关铲式断层运移, 在盐滑脱形成的滚动背斜等构造-岩性圈闭中聚集成藏的特征; 盐底辟带成藏模式表现为盐上供烃, 盐相关断裂运移, 在盐底辟相关的背斜和盐侧翼遮挡的构造-岩性圈闭中成藏。

(3) 综合分析认为, 储层、盐相关铲式断层、盐岩活动是油气成藏的主控因素。储层展布特征控制了油气藏平面的分布特征, 盐相关铲式断层控制着油气的不同来源, 盐岩活动强度和期次控制了盐上油气纵向分布层位及圈闭油气充满度。

参考文献:

- [1] 李全. 巴西埃斯皮里图桑托盆地深水油气勘探潜力初探[J]. 科技视界, 2014(27): 277-277.
- [2] 谢华锋, 周生友, 惠冠洲. 巴西圣埃斯皮里图盆地油气地质特征及勘探方向[J]. 石油实验地质, 2016, 38(6): 821-827.
- [3] 康洪全, 孟金落, 程涛, 等. 巴西坎波斯盆地深水沉积体系特征[J]. 石油勘探与开发, 2018, 45(1): 93-104.
- [4] 马中振, 谢寅符, 耿长波, 等. 巴西坎波斯(Campos)盆地石油地质特征与勘探有利区分析[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011, 41(5): 1389-1396.
- [5] 张申, 郭莉, 林卫东. 巴西坎波斯盆地油气地质特征与隐蔽油气藏[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(5): 705-712.
- [6] IHS Energy. Espinto Santo Basin[DB]. IHS database, 2018.
- [7] 邬长武. 南大西洋含盐盆地油气富集规律及勘探潜力[J]. 新疆石油地质, 2015, 36(1): 121-126.
- [8] 陶崇智, 殷进垠, 陆红梅, 等. 南大西洋被动陆缘盆地盐岩对油气成藏的影响[J]. 石油实验地质, 2015, 37(5): 614-618.
- [9] 康洪全, 程涛, 李明刚, 等. 巴西桑托斯盆地油气成藏特征及主控因素分析[J]. 中国海上油气, 2016, 28(4): 1-8.
- [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] 汪新伟, 孟庆强, 邬长武, 等. 巴西坎波斯盆地裂谷体系及其对盐下成藏的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(2): 193-202.
- [12] 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.
- [13] 刘子玉, 吕栋, 解东宁. 巴西东缘桑托斯盆地盐上碎屑岩系沉积特征及其演化规律[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(8): 1-8.
- [14] 孙旭东, 郑求根, 郭兴伟, 等. 巴西桑托斯盆地构造演化与油气勘探前景[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(2): 37-45.
- [15] 程涛, 陶维祥, 康洪全, 等. 下刚果盆地北部海域海相碳酸盐岩沉积储层特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2020, 40(2): 148-157.
- [16] 戈红星, JACKSON M P A. 盐构造与油气圈闭及其综合利用

- 用[J]. 南京大学学报(自然科学版), 1996, 32(4): 640-649.
- [17] 彭文绪, 王应斌, 吴奎, 等. 盐构造的识别、分类及与油气的关系[J]. *石油地球物理勘探*, 2008, 43(6): 689-698.
- [18] 贾承造, 赵文智, 魏国齐, 等. 盐构造与油气勘探[J]. *石油勘探与开发*, 2003, 30(2): 17-19.
- [19] 余一欣, 周心怀, 彭文绪, 等. 盐构造研究进展述评[J]. *大地构造与成矿学*, 2011, 35(2): 169-182.
- [20] 刘祚冬, 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.
- [21] 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.
- [22] 刘深艳, 胡孝林, 常迈. 西非加蓬海岸盆地盐岩特征及其石油地质意义[J]. *海洋石油*, 2011, 31(3): 1-10.
- [23] 温志新, 徐洪, 王兆明, 等. 被动大陆边缘盆地分类及其油气分布规律[J]. *石油勘探与开发*, 2016, 43(5): 678-688.
- [24] 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.
- [25] 孙自明, 何治亮. 裂谷与被动陆缘叠合盆地的盐构造与油气成藏: 以西非下刚果—刚果扇盆地和宽扎盆地为例[J]. *石油实验地质*, 2016, 38(3): 287-292.
- [26] 陈亮, 赵红岩, 韩文明, 等. 毛塞几比盆地外陆架-陆坡区阿尔比阶-土伦阶沉积特征及成藏体系[J]. *地质科技通报*, 2020, 39(4): 132-140.
- [27] 孙涛, 王建新, 孙玉梅. 西非塞内加尔盆地深水区油气地球化学特征与油气成藏[J]. *沉积学报*, 2017, 35(6): 1284-1292.
- [28] Perez-Gussinye M. A tectonic model for hyperextension at magma-poor rifted margins: an example from the West Iberia-Newfoundland conjugate margins[J]. *Geological Society London Special Publications*, 2013, 369(1): 403-427.

Characteristics and main controlling factors of post-salt hydrocarbon accumulation in Espirito Santo Basin, Brazil

MENG Jinluo¹, KANG Hongquan², JIA Huaicun², LIU Xinying²

(1 CNOOC Energy Economics Institute, Beijing 100011, China; 2 CNOOC International Limited, Beijing 100028, China)

Abstract: The Campos Basin in Brazil is well-known of deep-water sedimentary exploration in the world. However, no systematic study has been carried out on the post-salt hydrocarbon accumulation in the Espirito Santo Basin (ESB) in the northern part of the Campos Basin. To advance the post-salt oil and gas exploration, the characteristics of oil-gas accumulation and the main controlling factors in the ESB were scrutinized using drilling, logging, and seismic profiling. Results bring up the following 4 conclusions: ① Two sets of source rocks including pre-salt lacustrine and post-salt marine source rocks are developed. The reservoir is mainly composed of the Upper Cretaceous to Tertiary deepwater channel sandstone in the north of the basin. ② According to the detachment deformation of salt rock, post-salt formation can be divided into detachment zone, diapir zone, and nappe zone. ③ The hydrocarbon accumulation model of salt detachment zone shows that the hydrocarbon generated by pre-salt and post-salt source rocks migrate through salt windows and salt related faults, respectively, and finally form reservoirs in rolling anticlines and other traps formed by salt detachment. ④ The hydrocarbon accumulation model of salt diapir zone is that hydrocarbon generated by post-salt source rocks migrate through salt-related faults, and finally accumulated in anticlines related with salt diapirs and other traps blocked by salt flank. ⑤ Reservoir- and salt-related listric faults, and activities of salt-bearing rocks are the main controlling factors of hydrocarbon accumulation in the ESB.

Key words: Espirito Santo Basin; post-salt; pre-salt; structural zonality; hydrocarbon accumulation; main controlling factors