

摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地 石油地质特征及勘探方向

马宏霞, 刘艳红, 张颖, 丁梁波, 王红平, 左国平, 张勇刚, 吴佳男

中国石油杭州地质研究院

摘要 针对摩洛哥—西撒哈拉具有相似构造和沉积特征的被动陆缘盆地,开展盆地演化、石油地质特征与资源潜力等方面的研究,并指出油气勘探方向。摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地经历前裂谷期、裂谷期和后裂谷期3期构造演化,发育多套烃源岩和储层、多种圈闭类型。最重要的烃源岩为后裂谷期侏罗系—白垩系海相泥岩,主要储层为侏罗系—白垩系碳酸盐岩和碎屑岩,圈闭类型以盐构造作用机制下形成的构造圈闭和构造-岩性圈闭为主。摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地可划分为3个主要成藏组合,侏罗系和白垩系—新近系成藏组合是最重要的成藏组合。侏罗系碳酸盐岩和白垩系阿尔布阶—塞诺曼阶油积砂岩是研究区当前的重点勘探领域;深水白垩系盐构造和斜坡扇形成的地层-岩性圈闭可能为未来的勘探潜力区。

关键词 被动陆缘盆地; 油气地质条件; 成藏组合; 资源潜力; 摩洛哥; 西撒哈拉

中图分类号:TE121.1

文献标识码:A

0 前言

西非北段盆地的海上油气勘探开始于20世纪60年代,但是长期未获得商业规模的发现。2000年之后,随着塞内加尔盆地海上相继发现Banda 1和Pelican 1油气田,摩洛哥—西撒哈拉海岸地区的油气勘探日渐活跃,Chevron、Eni、Repsol等国际知名油公司相继介入。同时,摩洛哥政府修订石油法,开具更具吸引力的财税条款,以吸引更多的国际油公司进入该地区勘探。截至目前,油气发现主要集中在塔法亚、索维拉和拉勃尔盆地,已发现可采储量仅为 $3\,920 \times 10^4$ t油当量,勘探和发现程度较低。受西非北段海岸盆地资料较少的限制,目前国内对于其形成演化、油气地质特征、资源潜力等方面的研究不够细致和深入,这无疑会制约国内油公司在西非北段盆地的勘探项目的评价和获取。本文主要针对摩洛哥—西撒哈拉具有相似构造和沉积特征的被动陆缘盆地,开展盆地演化、石油地质特征与资源潜力等方面的研究,提出油气勘探方向,以期国内油公司布局摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地提供借鉴和参考。

1 盆地演化

摩洛哥—西撒哈拉海岸地区自南向北发育塔法亚、苏斯、索维拉、杜卡拉和拉勃尔等5个盆地(图1)。

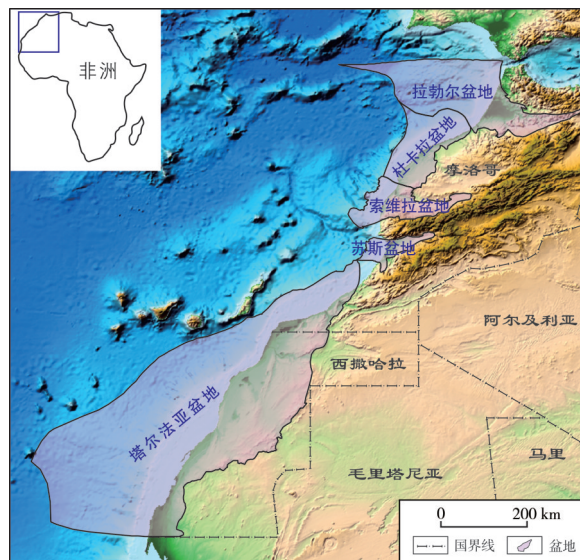


图1 摩洛哥—西撒哈拉海岸地区盆地位置图

Fig. 1 Basin location in Morocco–Western Sahara offshore areas

收稿日期:2021-12-24; 改回日期:2023-05-25

本文受中国石油天然气股份有限公司科学研究与技术开发项目“海洋油气勘探关键技术研究”(编号:2021DJ2403)资助

第一作者: 马宏霞, 硕士, 高级工程师, 主要从事层序地层与沉积学方面的研究工作。通信地址:310023 浙江省杭州市西溪路920号; E-mail: mahx_hz@petrochina.com.cn

塔尔法亚、苏斯、索维拉和杜卡拉盆地为被动陆缘盆地,具有相似的构造演化与沉积充填特征^[1-3];而拉勃尔盆地为前陆盆地。

摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地的形成与演化不仅受非洲板块与北美板块分离、北大西洋扩张的控制,而且受北非构造运动的影响,各盆地的演化具有明显相似性,可分为前裂谷期、裂谷期和后裂谷期等3个阶段,其中后裂谷期包含被动陆缘期和阿特拉斯造山运动期^[4-7](图2)。

1.1 前裂谷期

摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地前裂谷期一直持续整个古生代,为联合古陆演化时期。寒武纪—石炭纪早期,整个北非处于被动陆缘盆地演化阶段,发育古特提斯洋海相沉积。晚石炭世—二叠纪,非洲与劳亚大陆发生碰撞而形成潘吉亚大陆,古特提斯洋关闭。碰撞和挤压作用使北非大部分地区遭受明显的抬升和剥蚀(图2a)。

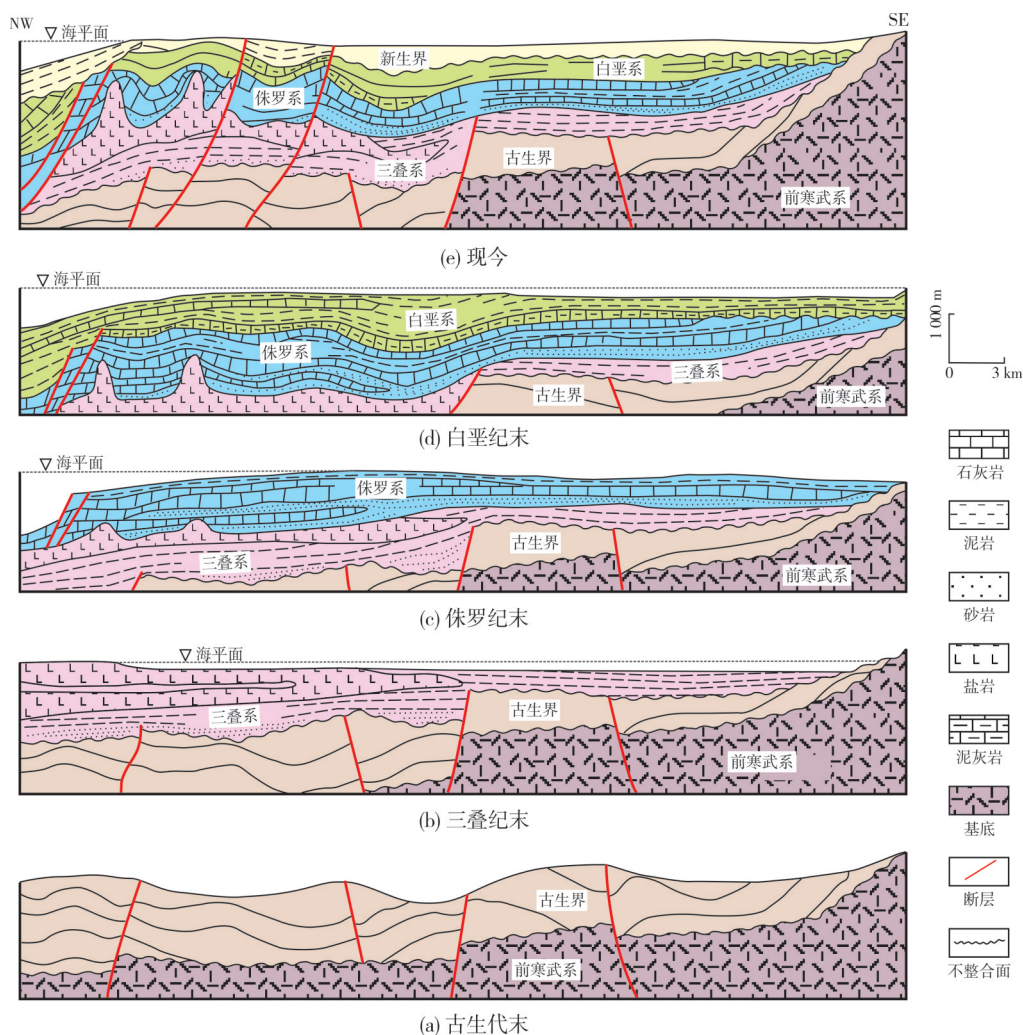


图2 摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地地质演化剖面

Fig. 2 Geological evolution sections of Morocco–Western Sahara passive continental margin basins

1.2 裂谷期

摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地裂谷期演化从三叠纪持续至早侏罗世。三叠纪早期,非洲板块与北美洲板块分离,北大西洋开始张裂,发育陆相—局限海沉积。晚三叠世,海水入侵,在摩洛哥—西撒哈拉海岸地区发育高盐度潟湖沉积环境,开始沉积巨厚的盐,并一直持续至早侏罗世裂谷作用结束(图2b)^[8]。

1.3 后裂谷期

摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地后裂谷期演

化从中侏罗世持续至今,分为被动陆缘期和阿特拉斯造山运动期。被动陆缘期(中侏罗世—白垩纪)盆地发生快速热沉降,北大西洋不断扩张,海平面呈现出周期性海侵和海退的特征,发育碳酸盐岩和碎屑岩沉积(图2c,2d)^[9]。阿特拉斯造山运动期(古近纪—新近纪),北非发生抬升和隆起,形成阿特拉斯山脉和褶皱构造(图2e),大量的陆源碎屑物质向摩洛哥—西撒哈拉海岸地区搬运,在深水区形成厚层硅质碎屑岩沉积。

2 油气地质特征

2.1 烃源岩

摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地主要发育6套烃源岩,分别为志留系热页岩、三叠系湖相烃源岩、中下侏罗统海相泥灰岩、上侏罗统牛津阶海相泥页岩、下白垩统阿普特阶—阿尔布阶的海相页岩以及上白垩统塞诺曼阶—土伦阶黑色泥页岩,侏罗系和白垩系是研究区主要烃源岩发育的层系。

志留纪早期全球进入间冰期,气候变暖、冰川融化,发生大规模海侵,形成了北非地区最重要的志留系Tanezzuft组海相热页岩烃源岩,其TOC高达12%。该套烃源岩也广泛分布于摩洛哥—西撒哈拉地区。邻区塞内加尔盆地的勘探实践已经证实^[10-12];该套烃源岩在三叠纪进入生油窗,干酪根类型为Ⅱ型和Ⅲ型,井上取样测得的TOC最大值达到2.4%。但在摩洛哥—西撒哈拉地区,目前针对这套烃源岩的勘探和认识程度很低。根据邻区及周边其他地区的研究成果推测,这套烃源岩在研究区同样具有较大的潜力,是值得进一步关注的领域。

三叠纪非洲板块与北美板块分裂,沿着北非海岸地区发育一系列裂谷盆地,这些裂谷盆地可发育优质湖相烃源岩,干酪根类型为Ⅰ型。三叠系湖相烃源岩在杜卡拉盆地已得到证实,TOC最高达2.5%。

随着非洲板块与北美板块的不断分离,在侏罗纪海水入侵北非地区,形成局限海沉积环境,发育2套烃源岩:中下侏罗统海相泥灰岩和上侏罗统牛津阶海相泥页岩。中下侏罗统海相泥灰岩是全区广泛发育的重要的烃源岩,其TOC可达10%,干酪根类型为Ⅱ型,目前大多已进入生气窗,塔尔法亚盆地海上Cap Juby油气田的轻质油可能来自该套烃源岩^[13-15]。上侏罗统牛津阶海相泥页岩的TOC最高

达4.5%,干酪根类型以Ⅱ型为主, R_o 值为0.7%~0.9%,已证实为索维拉盆地陆上Sidi Rhalem油气田的烃源岩。

白垩纪自阿普特期开始,全球气候显著变暖,发生全球范围内的大规模海侵,在摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地发育2套烃源岩:下白垩统阿普特阶—阿尔布阶海相页岩和上白垩统塞诺曼阶—土伦阶黑色泥页岩。由于区域构造和盐构造的影响以及同一盆地中热流传递的横向变化,这些烃源岩的成熟阶段可能因地而异。下白垩统阿普特阶—阿尔布阶海相页岩的TOC可达9%,干酪根类型以Ⅲ型为主,成熟度为未熟—低熟;在塔尔法亚盆地南部为未成熟,在埋藏更深海域可能已经成熟。上白垩统塞诺曼阶—土伦阶黑色泥页岩的TOC可达19%,干酪根类型为Ⅲ型,在摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地的沉积厚度可达380 m。

2.2 储层与盖层

摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地的陆上地区主要以古生界和三叠系砂砾岩储层作为主要的勘探目标,海上地区以盐上的侏罗系—白垩系碎屑岩储层和碳酸盐岩储层(图3,图4)为主。

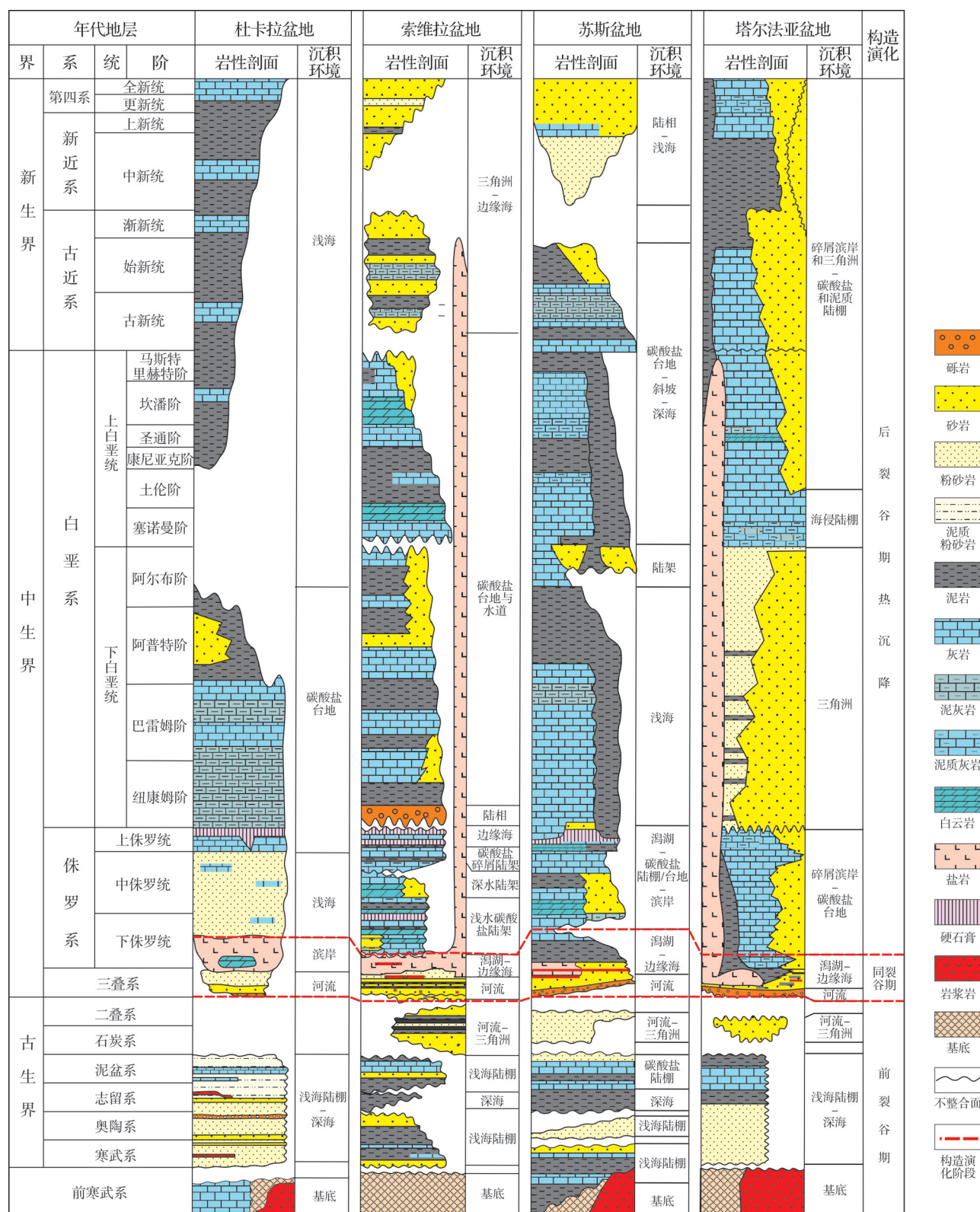
三叠系砂砾岩储层广泛分布于摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地,为河流沉积,孔隙度为10%~22%。

在侏罗系沉积期,摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地在盆地东部发育滨岸细粒碎屑岩沉积,向西转变为碳酸盐台地和浅海沉积(图4a),碳酸盐建造为该时期储层的主要沉积类型。侏罗系主要发育3套储层:①中下侏罗统生物礁碳酸盐岩储层,孔隙度为10%。②上侏罗统碳酸盐岩储层。索维拉盆地主要发育该套储层,埋深为1 500~3 500 m,储层厚度一般在5~30 m之间,孔隙度为5%~20%;渗透率为 $(2\sim80)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,局部地区受硬石膏的影响储层非常致密。塔尔法亚盆地的钻井证实发育上侏罗统礁滩相裂缝型灰岩储层(稠油),主要分布于该盆地西部的碳酸盐台地^[16-17],孔隙度一般为7%~20%,最高可达25%,局部地区岩溶作用可导致物性更好。③中侏罗统砂岩储层,孔隙度可达30%,这在苏斯盆地得到证实,但是测试结果为水层。

早白垩世,由于海平面下降,在塔尔法亚盆地陆架区广泛沉积了河流—三角洲沉积(图4b)。塔

尔法亚盆地地下白垩统砂岩累计厚度达 300 m, 三角洲砂岩孔隙度为 20%~25%, 最高达 30%; 在深水区

发育海底浊积扇, 浊积砂岩孔隙度为 10%~35%。但是在苏斯盆地、索维拉盆地以及杜卡拉盆地, 由于



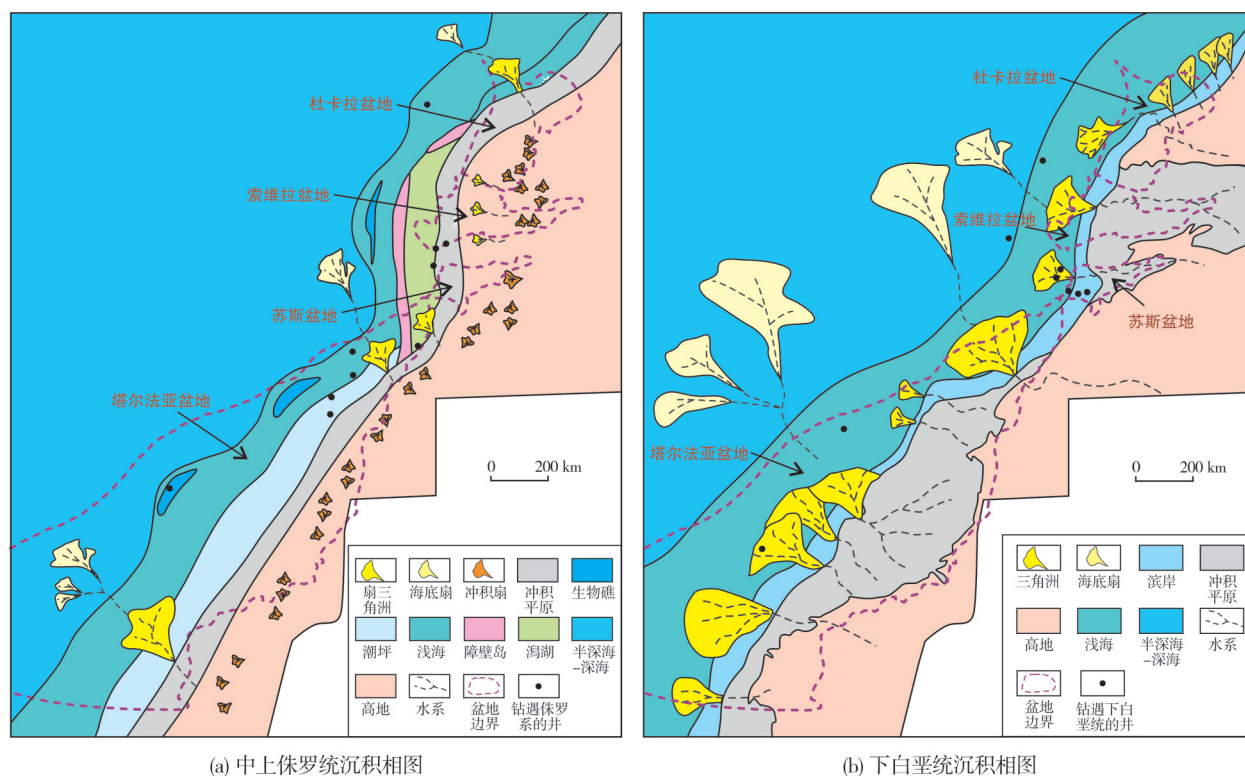


图4 摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地中上侏罗统、下白垩统沉积相图

Fig. 4 Facies distribution maps of Middle-Upper Jurassic and Lower Cretaceous in Morocco-Western Sahara passive continental margin basins

碎屑物质的输入较少,碎屑岩储层分布比较局限。上白垩统塞诺曼阶—土伦阶由于全球海侵事件的影响,在摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地以浅海碳酸盐岩沉积为主。

摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地发育多套盖层。三叠系页岩和盐岩是下伏裂谷期河流相储层的良好盖层。上侏罗统一下白垩统泥岩和蒸发岩为全区发育的良好的盖层。上白垩统一新近系的泥岩也能形成有效的盖层,尤其对一些地层圈闭而言。

2.3 圈闭

摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地发育多种圈闭类型:裂谷期形成断背斜圈闭或断块圈闭;盐作用机制下形成构造圈闭和构造-岩性圈闭,例如发育于盐枕和盐底劈之上的宽缓背斜以及盐岩刺穿遮挡圈闭;生物礁或掀斜断块等古地形高地在压实作用下发育的披覆背斜,以及古近系—新近系三角洲内铲状同生断层形成的圈闭(图5)。其中,盐作用机制下形成的圈闭是研究区重要的圈闭类型。另外,在地层上倾尖灭、地层超覆以及碳酸盐建造形成的岩性圈闭也是重要的圈闭类型^[18-20]。

3 油气资源潜力评价与勘探方向

综上所述,摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地烃源岩发育,储盖组合良好,含油气层系多,有必要进一步对其资源潜力和勘探潜力开展评价。油气资源评价方法可以划分为类比法、成因法、统计法和专家综合法等4大类^[21-22]。本文主要以成藏组合作为油气资源潜力评价的基本单元,利用类比法对摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地的油气资源潜力进行评价。成藏组合指相似地质背景下的一组远景圈闭或油气藏,它们在油气充注、储盖组合、圈闭类型和结构等方面具有一致性。划分成藏组合的核心为储盖组合,烃源岩不是划分成藏组合的必须条件^[23-26]。

根据成藏组合的划分原则,结合构造演化、储盖组合特征,将摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地按地质年代从老到新共划分为3个成藏组合:三叠系一下侏罗统成藏组合、侏罗系成藏组合、白垩系—新近系成藏组合。三叠系一下侏罗统成藏组合的储层为三叠系河流相砂岩,盖层为上三叠统一下侏罗统盐岩。侏罗系成藏组合的主要储层为台地相碳酸盐岩,主要分布于摩洛哥—西撒哈拉被动

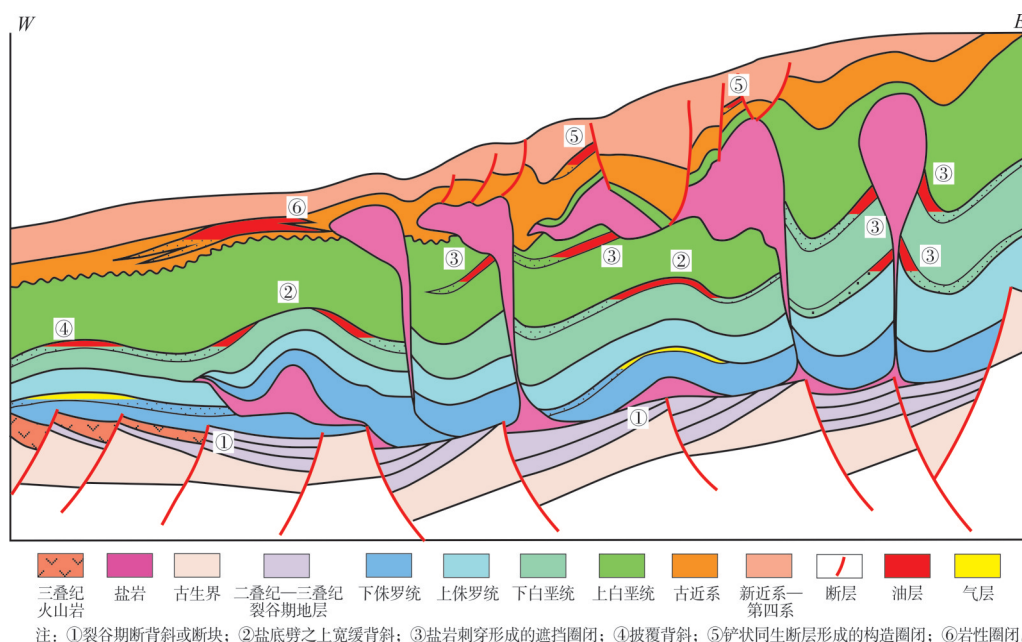


图5 摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地圈闭类型图

Fig. 5 Trap type model in Morocco–Western Sahara passive continental margin basins

陆缘盆地中西部,次要储层为滨岸相砂岩;盖层为上侏罗统海相泥岩或膏岩。白垩系—新近系成藏组合的储层主要为三角洲砂岩和浊积砂岩,次要储层为碳酸盐岩;盖层主要为同期沉积的海相泥岩。

根据成藏组合特征,利用类比法估算摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地待发现预测可采资源量:石油为 $11\,480\times 10^4\text{ t}$,凝析油为 $3\,656\times 10^4\text{ t}$,天然气为 $3\,240.08\times 10^8\text{ m}^3$,合计 $39\,396\times 10^4\text{ t}$ 油当量(表1)。从表1可以看出,在所有盆地中,塔尔法亚盆地勘

探潜力最大。侏罗系成藏组合中的碳酸盐岩储层以及白垩系—新近系成藏组合中的阿尔布阶—塞诺曼阶浊积砂岩是研究区当前的重点勘探层位和领域,摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地深水区的白垩系盐构造和斜坡扇形成的构造—岩性圈闭可能为未来的勘探潜力区。但是,研究区盐岩的运动可能会导致砂岩储层远离盐构造核心区域,储层与圈闭的有效性将是研究区油气勘探评价需要关注的重点。

表1 摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地待发现预测资源量统计表

Table 1 Statistics of predicted resources to be discovered in Morocco–Western Sahara passive continental margin basins

盆地	面积/ 10^4 km^2	成藏组合	原油/ 10^4 t	凝析油/ 10^4 t	天然气/ 10^8 m^3	油气当量/ 10^4 t	资源丰度/ $(\text{t}\cdot\text{km}^{-2})$
塔尔法亚盆地	33.280	三叠系—下侏罗统成藏组合	10 122	3 248	2 826.33	34 202	1 027.70
		侏罗系成藏组合					
		白垩系—新近系成藏组合					
索维拉盆地	7.100	三叠系—下侏罗统成藏组合	854	266	211.83	2 870	404.23
		白垩系—新近系成藏组合					
		侏罗系成藏组合					
杜卡拉盆地	3.700	三叠系—下侏罗统成藏组合	476	140	190.59	2 198	594.05
		侏罗系成藏组合					
		白垩系—新近系成藏组合					
苏斯盆地	1.096	三叠系—下侏罗统成藏组合	28	2	11.33	126	114.96
		侏罗系成藏组合					
		白垩系—新近系成藏组合					

4 结 论

(1) 摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地主要经历了前裂谷期、裂谷期和后裂谷期3个阶段, 发育多套烃源岩和储层、多种圈闭类型。最重要的烃源岩为侏罗系海相泥灰岩和泥页岩以及白垩系海相页岩和黑色泥页岩; 主要储层为盐上的侏罗系—白垩系碎屑岩和碳酸盐岩储层; 圈闭类型以盐构造作用机制下形成的构造圈闭和构造—岩性圈闭为主。

(2) 根据成藏组合的划分原则, 在摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地划分出3个主要成藏组合, 通过类比法得到总的待发现预测可采资源量: 石油为 $11\,480 \times 10^4 \text{ t}$, 凝析油为 $3\,656 \times 10^4 \text{ t}$, 天然气为 $3\,240.08 \times 10^8 \text{ m}^3$, 合计 $39\,396 \times 10^4 \text{ t}$ 油当量。

(3) 摩洛哥—西撒哈拉被动陆缘盆地含油层系多, 勘探潜力大, 未来最有潜力的勘探区为塔尔法亚盆地。侏罗系碳酸盐岩、白垩系阿尔布阶—塞诺曼阶砂岩储层是重点的勘探领域; 深水白垩系盐构造和斜坡扇形成的构造—岩性圈闭也可能成为未来的勘探潜力区。

参 考 文 献

- [1] 童晓光, 关增森. 世界石油勘探开发图集(非洲地区分册)[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.
TONG Xiaoguang, GUAN Zengmiao. Atlas of petroleum exploration and development of the world: African region volume [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002.
- [2] 李国玉, 金之钧. 新编世界含油气盆地图集[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005.
LI Guoyu, JIN Zhijun. New world Atlas of oil and gas basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2005.
- [3] 关增森, 李剑. 非洲油气资源与勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007.
GUAN Zengmiao, LI Jian. African oil and gas resource and exploration [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007.
- [4] 熊利平, 王骏, 殷进垠, 等. 西非构造演化及其对油气成藏的控制作用[J]. 石油天然气地质, 2005, 26(5): 641–646.
XIONG Liping, WANG Jun, YIN Jinyin, et al. Tectonic evolution and its control on hydrocarbon accumulation in West Africa [J]. Oil & gas geology, 2005, 26(5): 641–646.
- [5] BUMBY A J, GUIRAUD R. The geodynamic setting of the Phanerozoic basins of Africa [J]. Journal of African earth sciences, 2005, 43(1/3): 1–12.
- [6] BADALINI G, REDFERN J, CARR I D. A synthesis of current understanding of the structural evolution of north Africa [J]. Journal of petroleum geology, 2002, 25(3): 249–258.
- [7] 熊利平, 刘延莉, 霍红. 西非海岸南、北两段主要含油气盆地油气成藏特征对比[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(4): 410–419.
XIONG Liping, LIU Yanli, HUO Hong. Comparison of the hydrocarbon accumulation patterns of petroliferous basins between the north and south parts of the West African coast [J]. Oil & gas geology, 2010, 31(4): 410–419.
- [8] BROUGHTON P, TREPANIÉR A. Hydrocarbon generation in the Essaouira Basin of western Morocco [J]. AAPG bulletin, 1993, 77(6): 999–1015.
- [9] 于开财, 李胜利, 于兴河, 等. 裂谷盆地深层石油地质特征与油气成藏条件[J]. 地学前缘, 2010, 17(5): 289–294.
YU Kaicai, LI Shengli, YU Xinghe, et al. Geological characteristics of rift basin's deep buried strata and conditions of petroleum reservoir formation [J]. Earth science frontiers, 2010, 17(5): 289–294.
- [10] 张永忠, 何顺利, 甯波, 等. 毛里塔尼亚海岸盆地石油地质特征及勘探远景[J]. 海洋石油, 2007, 27(2): 26–29.
ZHANG Yongzhong, HE Shunli, NING Bo, et al. Petroleum geology and exploration prospect of Mauritania Coastal Basin [J]. Offshore oil, 2007, 27(2): 26–29.
- [11] 刘延莉. 塞内加尔盆地油气地质特征及勘探潜力[J]. 地质与资源, 2014, 23(2): 197–201, 196.
LIU Yanli. The petroleum geology and prospective analysis of the Senegal Basin [J]. Geology and resources, 2014, 23(2): 197–201, 196.
- [12] 徐汉梁, 单玄龙, 高璇, 等. 西非塞内加尔盆地重油成藏条件及富集规律[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(16): 211–215, 220.
XU Hanliang, SHAN Xuanlong, GAO Xuan, et al. Heavy oil accumulation condition and enrichment regularity of Senegal Basin in West Africa [J]. Science technology and engineering, 2014, 14(16): 211–215, 220.
- [13] JARVIS J, FISH P, GARWOOD T. Morocco's Tarfaya deep-water prospects encouraging [J]. Oil and gas journal, 1999, 97(33): 90–94.
- [14] VICTORIA F S, RALF L, SABINE H, et al. Petroleum source rocks of the Tarfaya Basin and adjacent areas, Morocco [J]. Organic geochemistry, 2011, 42(3): 209–227.
- [15] BROWNFIELD M E, CHARPENTIER R R. Assessment of the undiscovered oil and gas of the Senegal Province, Mauritania, Senegal, the Gambia, and Guinea-Bissau, northwest Africa [R]. Reston: USGS, 2003: 1–25.
- [16] 邹才能, 张光亚, 陶士振, 等. 全球油气勘探领域地质特征、重大发现及非常规石油地质[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(2): 129–145.
ZOU Caineng, ZHANG Guangya, TAO Shizhen, et al. Geological features, major discoveries and unconventional petroleum geology in the global petroleum exploration [J]. Petroleum exploration and development, 2010, 37(2): 129–145.
- [17] 江文荣, 李允, 蔡东升, 等. 非洲油气勘探区战略选择建议[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(3): 388–392.
JIANG Wenrong, LI Yun, CAI Dongsheng, et al. Recommendations on strategic selection of exploration areas in Africa [J]. Petroleum exploration and development, 2006, 33(3): 388–392.
- [18] 徐志诚, 吕福亮, 范国章, 等. 西非海岸盆地深水油气地质特征和勘探前景[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(5): 1–5.
XU Zhicheng, LÜ Fuliang, FAN Guozhang, et al. Deepwater petroleum geology and exploration potential of West Africa

- coastal basins[J]. *Petroleum geology and recovery efficiency*, 2012, 19(5): 1–5.
- [19] 岳来群, 吴裕根, 殷进垠, 等. 阿尤恩盆地沉积特征、构造背景及油气资源[J]. *海洋地质前沿*, 2013, 29(6): 13–22.
- YUE Laiqun, WU Yugen, YIN Jinyin, et al. Sedimentology, tectonics and petroleum potential of El Aaiun Basin in West Africa[J]. *Marine geology frontiers*, 2013, 29(6): 13–22.
- [20] 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.
- [21] 赵文智, 胡素云, 沈成喜, 等. 油气资源评价的总体思路和方法体系[J]. *石油学报*, 2005, 26(增刊1): 12–17.
- ZHAO Wenzhi, HU Suyun, SHEN Chengxi, et al. Philosophy and methodology of oil and gas resource assessment[J]. *Acta petrolei sinica*, 2005, 26(S1): 12–17.
- [22] 童晓光, 张光亚, 王兆明, 等. 全球油气资源潜力与分布[J]. *石油勘探与开发*, 2018, 45(4): 727–736.
- TONG Xiaoguang, ZHANG Guangya, WANG Zhaoming, et al. Distribution and potential of global oil and gas resources[J]. *Petroleum exploration and development*, 2018, 45(4): 727–736.
- [23] 童晓光, 李浩武, 肖坤叶, 等. 成藏组合快速分析技术在海外低勘探程度盆地的应用[J]. *石油学报*, 2009, 30(3): 317–323.
- TONG Xiaoguang, LI Haowu, XIAO Kunye, et al. Application of play quick analysis technique in oversea basins with low-degree exploration[J]. *Acta petrolei sinica*, 2009, 30(3): 317–323.
- [24] 童晓光. 论成藏组合在勘探评价中的意义[J]. *西南石油大学学报(自然科学版)*, 2009, 31(6): 1–8.
- TONG Xiaoguang. A discussion on the role of accumulation association in the exploring evaluation[J]. *Journal of Southwest Petroleum University (science & technology edition)*, 2009, 31(6): 1–8.
- [25] 谢寅符, 马中振, 刘亚明, 等. 以成藏组合为核心的油气资源评价方法及应用: 以巴西坎波斯(Campos)盆地为例[J]. *地质科技情报*, 2012, 31(2): 45–49.
- XIE Yinfu, MA Zhongzhen, LIU Yaming, et al. Method of play cored oil and gas resource assessment and application: taking Campos Basin in Brazil as an example[J]. *Geological science and technology information*, 2012, 31(2): 45–49.
- [26] 王红平, 徐志诚, 于兴河, 等. 西非海岸盆地油气成藏组合及资源潜力[J]. *海相油气地质*, 2019, 24(3): 39–47.
- WANG Hongping, XU Zhicheng, YU Xinghe, et al. Reservoir-forming assemblages and resource potential of oil and gas of coastal basins in West Africa[J]. *Marine origin petroleum geology*, 2019, 24(3): 39–47.

编辑:黄革萍

Petroleum geological characteristics and exploration direction in Morocco–Western Sahara passive continental margin basins

MA Hongxia, LIU Yanhong, ZHANG Ying, DING Liangbo, WANG Hongping, ZUO Guoping, ZHANG Yonggang, WU Jianan

Abstract: Focusing on the passive continental margin basins with similar structural and sedimentary characteristics in Morocco and Western Sahara offshore areas, this paper conduct research on basin evolution, petroleum geological characteristics, and resource potential, and point out the direction of oil and gas exploration. Morocco–Western Sahara passive continental margin basins are composed of Aaiun Tarfaya Basin, Souss Trough, Essaouira Basin and Doukkala Basin. These basins experienced three stages of tectonic evolution, including pre-rift stage, rift stage and post-rift subsidence stage. The pre-rift stage is characterized by the passive continental margin evolution from Cambrian to Early Carboniferous and uplift from Late Carboniferous to Permian. Rifting commenced in Triassic and continued to Early Jurassic. The Triassic and Lower Jurassic terrestrial–marginal marine strata are separated from Paleozoic strata by the Hercynian unconformity. The post-rift stage prevailed from Middle Jurassic to present day, which can be divided into thermal subsidence period of Middle Jurassic to Cretaceous and uplift period of Paleogene to Neogene. Multiple sets of source rocks, reservoirs and a variety of trap types are developed due to the basin structural evolution and sea level change. The most important source rock is post-rift Jurassic–Cretaceous marine mudstone, and the main reservoir is Jurassic–Cretaceous carbonate rock and clastic rock reservoirs. The trap types are mainly structural traps and structural–lithologic traps formed under the salt tectonics mechanism. Three main reservoir forming assemblages are divided in the Moroccan–Western Sahara passive continental margin basins, with the Jurassic and Cretaceous–Neogene reservoir forming assemblages being the most important. Jurassic carbonate rock and Cretaceous Albian–Cenomanian turbidite sandstone are the current key exploration fields in this area. Stratigraphic lithologic traps formed by Cretaceous salt tectonics and slope fan in deep water area may be the future exploration potential area.

Key words: passive continental margin basins; petroleum geological conditions; reservoir forming assemblages; resource potential; Morocco; Western Sahara

MA Hongxia, First author: MSc, Senior Engineer, mainly engaged in research on sequence stratigraphy and sedimentology. Add: PetroChina Hangzhou Research Institute of Geology, No. 920 Xixi Rd., Hangzhou, Zhejiang 310023, China