

阿尤恩盆地沉积特征、构造背景及油气资源

岳来群¹, 吴裕根¹, 殷进垠², 黄定华³

(1 国土资源部油气资源战略研究中心, 北京 100034; 2 中国石化集团海外中心, 北京 100083;
3 中国地质大学, 武汉 430074)

摘要:阿尤恩盆地成盆受控于非洲板块和南美板块,也曾受到北美板块的强烈影响,后期又受到阿特拉斯山系等造山运动影响。阿尤恩盆地成岩、成藏过程复杂,多期次叠加。自泛非构造运动以来,阿尤恩盆地沉积连续,不同层系中均发育有机质含量高的地层,为优质烃源岩;不同层系均发育有厚度大、分布稳定的碎屑岩,孔隙度、渗透率高,亦发育有碳酸盐岩台地、生物礁等,为优质的储集层;不同层系中的页岩、盐岩等,均可成为优质的盖层。烃源岩、储集层、盖层等配置好。目前阿尤恩盆地油气资源勘探开发投入较西非其他盆地少,但只要加强生、储、盖层配置研究,有针对性地开展地质勘探,在油气资源开发中采用先进技术等,未来将具勘探潜力与经济价值。

关键词:阿尤恩盆地; 油气资源; 沉积特征; 构造背景; 开发

中图分类号:P736.21;TE5 **文献标识码:**A

西非海岸为典型的被动陆缘,可划分为几类被动陆缘盆地^[1],均发育有巨厚的碎屑沉积。以尼日尔三角洲以南的海岸盆地资料相对较多^[2-7],而专注于西非海岸北段的阿尤恩盆地研究较少。

阿尤恩(El Aaiun)盆地亦称塔尔法雅(Tarfaya)盆地^[8],位于摩洛哥南部,面积 332 808 km²,其中陆上 114 940 km²,海上 217 868 km²;其东邻廷杜夫盆地(Tindouf basin),西部边缘位于离岸 20~50 km 的现代陆棚坡折处(水深约 1 000 m)(图 1),向南延至毛里塔尼亚,已经完成地震工作 4 万多平方千米,多数钻井见油气显示^[9];其北侧的索(苏)维拉(Essaouira)盆地多年

前就已经开发了数个小油田^[10,11]。西非含油气盆地的形成、演化及其成烃、成藏等与非洲大陆的演化、大西洋的形成和持续扩张等关系密切,显生宙后的构造背景基本一致。与西非宽扎、尼日尔三角洲等沉积盆地相比,阿尤恩盆地石油地质勘探虽进展缓慢,但油气资源潜力也颇具吸引力^[12]。

1 沉积特征

1.1 前寒武系

阿尤恩盆地基底为混合岩化、花岗岩化程度不同的前寒武系(太古界)^[13],分布广泛,厚度 3 000~7 000 m,变质时代约为早、中元古代,广泛分布于北非,原岩为一套太古界碎屑岩、火山岩、侵入岩等。与阿尤恩盆地紧邻的西北非前寒武系克拉通约在 800~850 Ma 之前裂解为海洋,

收稿日期:2013-01-17

基金项目:国家财政专项“东亚地区油气地质综合研究与区域优选研究”(GT-YQ-QQ-2008-1-01)部分成果

作者简介:岳来群(1958—),男,博士,教授级高工,主要从事区域地质调查、油气资源勘探等工作。

E-mail:yuelq2000@163.com

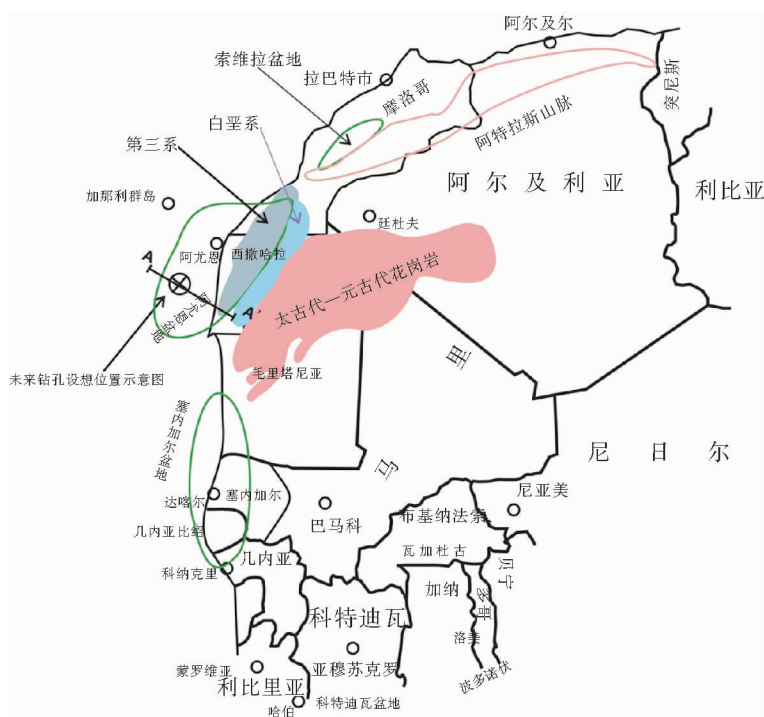


图 1 西非阿尤恩盆地位置示意图

Fig. 1 The position of EI Aaiun basin in west africa

约 600 Ma 该海洋闭合^[14]、隆升,此后一直为稳定的克拉通环境。

1.2 古生界

阿尤恩盆地古生界发育,以陆源(海陆交互相)碎屑沉积为主,靠近内陆区则发育有冰川及河流相沉积。层位上,下古生界发育一套浅海陆棚相砂岩、页岩、泥岩等碎屑岩(图 2)。其中,寒武系为陆相粗粒碎屑岩,奥陶系为海相介壳灰岩、页岩和砂岩。志留纪全球海平面上升,发生了全球性缺氧事件,西非阿尤恩—撒哈拉一带也发生海侵,沉积了含沥青页岩和粉砂岩(Tannezuft 组)、含笔石黑色页岩、细砂岩等,有机质丰度高,生烃潜力大,尤以下志留统含沥青页岩最为重要^[15-17],为西非、北非^[18]一带重要的烃源层(系)之一。阿尤恩盆地上古生界为海陆交互相环境,发育一定厚度的富含有机质的黑色页岩和薄煤层、砂岩等,是重要的烃源岩。其中,泥盆系为页岩、砂岩及生物礁等碳酸盐岩;石炭系底部为页岩、砂岩和薄层灰岩,上部为不发育的河流相沉积,含煤层。晚海

西运动(约石炭纪—二叠纪)的热效应使得古生界烃源岩趋于成熟甚或过成熟。

阿尤恩盆地古生界中的砂岩、灰岩等是重要的储集层。下古生界以海陆交互相、河流相砂砾岩、砂岩、页岩等为主。据目前美国等公布的“页岩气热”分析,阿尤恩盆地尤为发育的下志留统黑色页岩也是重要的储集层,目前美国所获得的页岩气商业性水平井分段压裂开发成就表明,下志留统海相页岩也是重要的目标层之一。上古生界中,泥盆系为浅海台地相灰岩;局部发育的石炭系为孔隙度高的河湖相沉积;二叠系亦为河流相,其局部发育磨拉石建造的砾岩沉积,巨厚的二叠系砾岩层成生于大规模展布的冲(洪)积扇环境,角砾及胶结物来自于隆起的古地块^[19]。泥盆系、石炭系、二叠系均可成为良好的储集岩。上古生界储层物性可能由于海西期构造运动所引发的破裂、风化(喀斯特)作用等而得以优化。

古生界盖层主要为页岩,除下志留统页岩外,多横向不稳定,不同层系中发育的页岩则可能具有一定的区域性封盖能力。

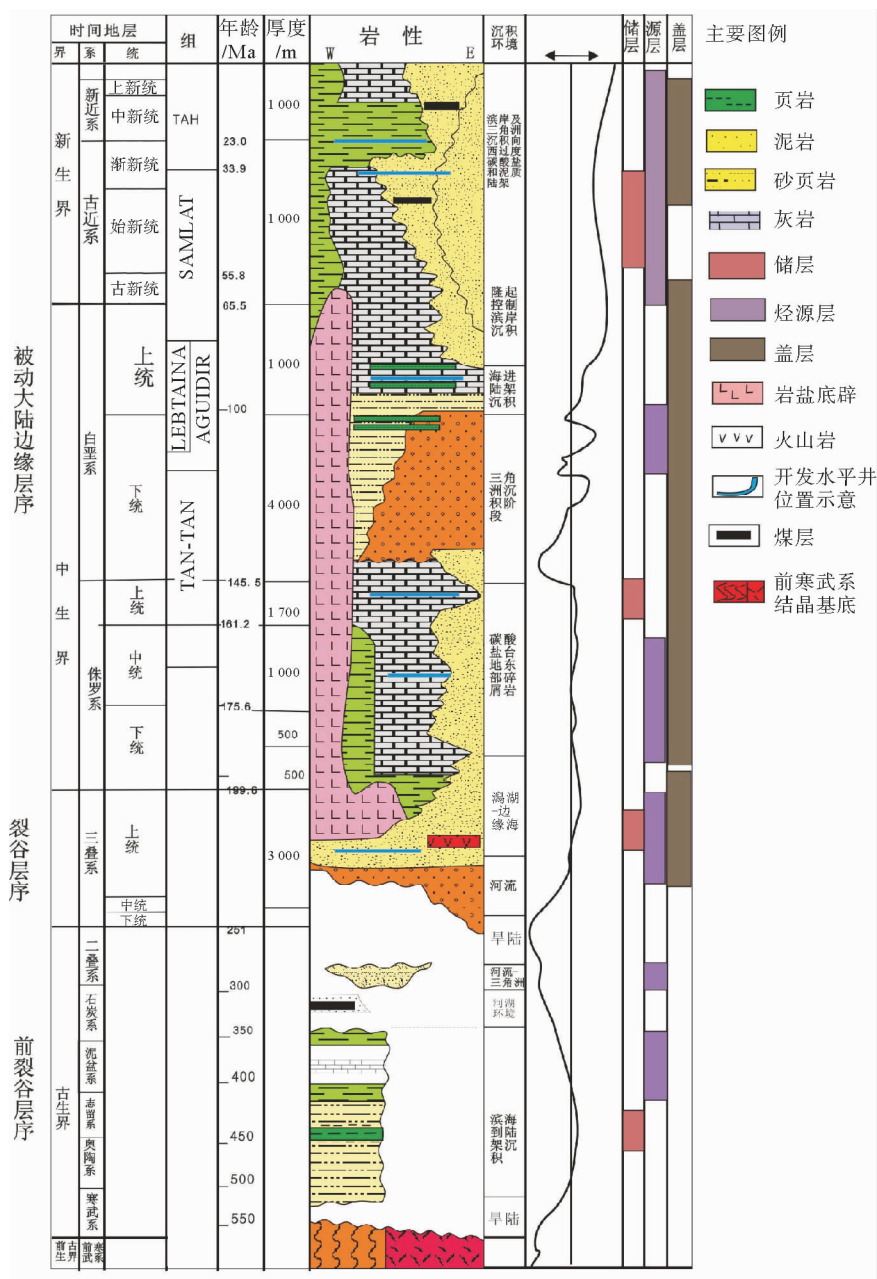


图 2 阿尤恩盆地综合地层柱状

Fig. 2 Comprehensive lithostratigraphic and petroleum column of EI Aaiun Basin

1.3 中生界

阿尤恩盆地中生界厚度大,沉积环境复杂,可形成良好的烃源岩、储集岩和盖层。

(1) 三叠系 三叠纪为河湖、潟湖、海陆交互相等环境,沉积了一套红色砾岩、砂岩和页岩,盆地北部沉积厚度约 1 500 m,南部逾 10 000 m。三叠系烃源岩主要为富含有机质的湖相页岩,广泛分布于盆地的断陷(次)盆(半地堑)中,总有机

碳含量(TOC)为 0.1%~0.5%,属于分布局限、但潜力很大的烃源岩;储层主要为砂岩、砾岩等,孔隙度达 10%,在半地堑内快速堆积的厚层含砾粗砂岩(厚度>100 m)的孔隙度可达 25%;盖层主要为页岩、蒸发岩以及页岩、蒸发岩互层,是好的盖层。

(2) 侏罗系 阿尤恩盆地下侏罗(里阿斯)统与上三叠统整合接触^[13-20]。里阿斯世(J₁)自早到晚表现为明显的海进过程。早里阿斯世(J₁₁₋₂)沉

积环境主要为陆相蒸发盆地、河口三角洲和滨海、浅海等,局部发育有碳酸盐岩台地和生物礁(多位于现代海岸线外10~60 km处)。碳酸盐岩台地西侧为开阔海洋,以深海沉积为主。中里阿斯世页岩成生于非洲、美洲板块裂解初期的海进期,富含有机质的潟湖相页岩是有潜力的烃源岩。晚里阿斯世(J_{13})沉积环境主要为浅海陆棚、深海陆棚,其页岩为重要的烃源岩,TOC值为1.47%~2.49%,属Ⅱ型干酪根, S_2 值为8~14 mg/g,氢指数(HI)>400 mg/g,镜质体反射率(R_o)为0.7%。下、中里阿斯统储集岩主要为砂岩和灰岩,其中砂岩孔隙度达10%,而灰岩储集物性很好,孔隙度4%~6%;上里阿斯统储集岩主要为砂岩和灰岩,砂岩储层发育于盆地东部,礁相碳酸盐岩型储层发育于近大西洋一侧(图2中“岩性栏”左侧)的宽广陆棚、鲕粒层、碳酸盐岩砾石层和介壳滩、礁滩灰岩等均发育良好孔隙,平均孔隙度4%~11%,后期溶蚀作用可进一步提高孔隙度及溶洞(缝)连通性。下、中里阿斯统盖层主要为页岩和蒸发岩,上里阿斯统盖层主要为页岩,均对其所覆盖的储层形成局部或区域性盖层。

中侏罗世(J_2)(道格世)沉积环境主要为浅海陆棚,局部海侵可为陆坡环境,初始裂开的南大西洋两岸都发育有富有机质碎屑沉积^[21]。道格统烃源岩主要为页岩、泥质灰岩,盆地西北部近海区泥质灰岩 TOC 值为1.47%~2.49%,以Ⅱ型干酪根为主, S_2 值为8~14 mg/g,氢指数(HI)>400 mg/g。道格统储层主要为砂岩、灰岩,砂岩储层为浅海相,道格统礁体、鲕粒滩储层沿进积型陆棚边缘发育,或者在向盆地方向的陆棚边缘断层下降盘内发育。一些钻井中已钻遇优质碳酸盐岩储层(孔隙度为5%~11%),且已开采出优质轻油^[10]。盆地中一些最具潜力的储层形成于以礁、鲕粒滩坝展布的碳酸盐岩台地,由于后期喀斯特作用,局部孔隙度可达25%。

晚侏罗世(J_3)(麻姆世, J_3)沉积环境主要为深海陆棚,早期(牛津期)发育含菊石页岩和泥灰岩^[22]。镜下薄片鉴定可知,灰岩生物碎屑文石重结晶现象普遍,文石的矿物晶体、晶型特征有助于形成连通的孔隙,因而使储层物性趋好。麻姆统层内的页岩构成下伏储层的盖层。

(3) 白垩系 早白垩世(纽科姆期),阿尤恩

盆地沉积环境与晚侏罗世相近,但海侵范围扩大,盆地东部为河流相、三角洲相沉积以及深切谷碎屑和远陆棚相泥岩、页岩沉积;西部表现为具深海盆特征的碳酸盐岩及粉砂岩、泥岩、页岩,其更远西侧发育碳酸盐岩滩和生物礁,即生物礁形成于陆棚远边缘。盆地东部的下白垩统坦坦组(Tan-Tan Formation)沉积环境主要为滨海湖泊、河口三角洲(图2),由河流相砂岩向三角洲前缘方向过渡为浅海相碎屑岩且最终变为深水浊积岩,在三角洲前缘深切谷发育有深海相(浊流)薄层细粒碎屑岩沉积。阿尤恩盆地贝里阿斯晚期、欧特里期发生小规模的海退,河口三角洲相粗碎屑沉积向舌缘方向拓展,沉积速率加快,覆盖了侏罗系碳酸盐岩台地。此后转为持续地海侵,于赛诺曼—土伦期海侵范围达到最大,沉积物再以细粒碎屑、碳酸盐岩为主,由泥灰岩、富含有机质的沥青页岩、白垩和含燧石及磷结核的泥质灰岩组成。

阿尤恩盆地下白垩统具有重要的生烃潜力。东部下白垩统下部的烃源岩多为含褐煤的泥页岩,其 TOC 平均为1.3%;西部下白垩统主要为海相页岩,TOC 值为0.6%~3.2%。阿尤恩盆地下白垩统累计厚度可达300 m,为好的储层,目前,在不考虑此地页岩气藏商业性开发的情况下,其储层物性由西向东逐渐变好,即越靠近东部物源区因岩石结构趋粗而储集能力趋好。三角洲相砂岩层近顶部孔隙度为20%~25%,最高达30%;浊积岩具有10%~35%的孔隙度。下白垩统页岩对下伏的上、中侏罗统储层均形成盖层。

阿尤恩盆地上白垩统为重要的烃源岩。晚白垩世早期的海侵形成了分布广、富含有机质的泥岩、页岩和泥质碳酸盐岩陆棚,仅在盆地东部边缘地带仍有河流相的碎屑注入。阿尤恩盆地上白垩统阿古伊迪尔组(Aguidir Formation)沉积环境为深水陆棚(图2)。阿尔比—阿普提期、赛诺曼—土伦期海水持续加深,水体更为还原、滞留,沉积了大套含沥青黑色页岩,邻近的塔尔法亚(Tarfaya)盆地^[23-28]甚至藏南盆地^[29]黑色页岩也十分发育,表明此时期缺氧、滞留的海洋环境是全球性的。上白垩统赛诺曼阶页岩的 TOC 值平均为4%,氢指数(HI)接近500 mg/g,干酪根为Ⅱ型和Ⅲ型,其余上白垩统均以Ⅱ型浮游生物成因的有机质为主,氢指数高达600~700 mg/g。土伦

阶及其上覆的页岩 TOC 值趋低,均具有大的生烃潜力。上白垩统砂岩、灰岩可以作为储集岩,分布广泛的海相砂岩孔隙度为 12%~25%,钻孔内已见油显示;赛诺曼阶灰岩显现残余油斑,马斯特里赫特阶泥质灰岩中曾开采出石油。上白垩统页岩对下伏的中、上侏罗统及下白垩统储层构成局部的层内盖层和可能的半区域性盖层。

1.4 新生界

阿尤恩盆地新生界沉积厚度较大,发育有良好的烃源岩、储集岩和盖层。古新统萨姆拉特组(Samlat Formation)沉积环境主要为海相三角洲(图 2)。始新统、渐新统的绿色页岩则为半深海,TOC 值为 0.6%~4.6%,有机质未成熟。新近系中新统塔赫组(Tah Formation)沉积环境为海相三角洲(图 2)。烃源岩为中新统绿色、灰色页岩,生烃潜力大。古近系发育有优质砂岩储层,包括盆地西部的渐新统河流—三角洲砂体。海上钻井钻遇始新统碳酸盐岩且见油斑。中新统、上新统为优质砂岩储层,盆地西部中新统底部的砂岩、砾岩孔隙度为 20%~30%。古近系页岩可能对下伏的中、上侏罗统及白垩系储层构成半区域性盖层;新近系页岩对下伏的砂岩储层形成盖层,尤其是在盆地西部的海上地区。

阿尤恩一带新生代受到阿尔卑斯造山运动的直接影响。始于始新世末的海退,一直延续到中新世,限制了陆缘碎屑向海洋方向的堆积。渐新世碳酸盐岩不甚发育,所形成的泥岩、页岩及致密砂岩是天然气藏的重要(潜在)储层。

2 构造背景

阿尤恩盆地地质构造背景较复杂。阿尤恩盆地邻近西北非最为古老的沉积(基底),受到非洲、南美洲、北美洲三大板块共同作用,应力复杂;侏罗纪末、白垩纪为大西洋初始阶段,发育有大套的碎屑岩、碳酸盐岩。阿特拉斯—撒哈拉海西期造山作用等使得该区域沉降、隆升转换频繁,地层不整合面发育,局部发育盐底辟等构造,局部中生界、新生界遭受剥蚀,加大了油气勘探的难度。

2.1 早古生代

阿尤恩盆地早古生代以垂直运动为主,多为河流、冰川相等碎屑沉积。阿尤恩盆地地史演化时间长,显生宙沉积受控于基底晚元古代以来多次活动的伸展性断裂,呈 NNE—SSW 走向展布。寒武纪、奥陶纪的泛非运动使得非洲直至晚志留世隆起、拗陷相间发育,局部遭到剥蚀,局部拗陷、海侵而接受沉积,形成了下古生界重要的烃源岩。加里东运动晚期的断层作用有利于半地堑发育,沉降区发育有广阔、平坦的碎屑堆积,形成好的储集层。晚志留世阿尤恩一带发生急速隆升回返,局部发育次一级的凹陷,形成分布广泛的碎屑容纳空间。早古生代发育好的生储盖配置,是阿尤恩盆地有别于西非海岸其他被动陆缘盆地的特色之一。

2.2 晚古生代

泥盆纪非洲北缘与劳亚大陆西南缘碰撞、拼贴,阿尤恩盆地局部持续隆升遭受剥蚀。海西运动早期(约早石炭世)非洲北部与北美洲开始分离,原始大西洋约在摩洛哥西北部开始形成,北美洲和欧洲之间渐成约 300 km 宽的浅海(北大西洋雏形)(图 3 之上图)。约 3 亿年前左右(晚石炭世柯列夫雅金期),非洲北部、北美、欧洲之间发育了一些深大断裂构造,阿尤恩盆地的边界断层与索维拉盆地的断层性质相同,均为拉张走滑,晚古

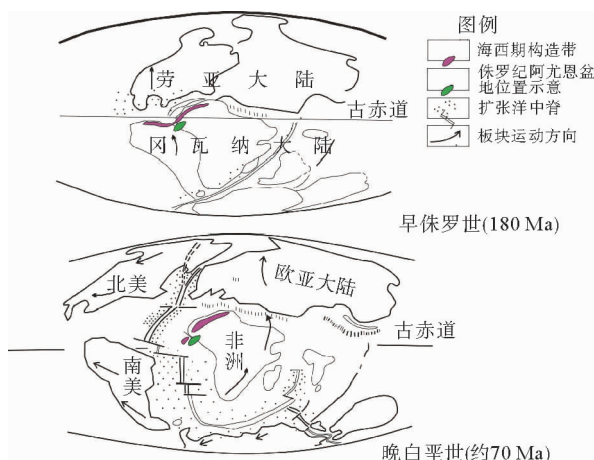


图 3 侏罗纪白垩纪非洲与南美洲分布示意图

Fig. 3 The sketch position map of Africa and South America in Jurassic and Cretaceous

生代之后均形成半地堑式盆地^[30,31]。伴随有强烈的岩浆活动,摩洛哥一带火山活动强烈。海西运动晚期(晚石炭世)西北非阿特拉斯一带褶皱上升,发育有 NNE—SSW 向构造,局部下古生界泥岩变质。二叠纪阿尤恩盆地分异强烈。强烈的裂谷作用与大范围的隆升剥蚀相邻(间)发育,形成了 NNE—SSW 向构造带和展布较广的不整合面,该类不整合面对油气田的分布控制作用明显,成为古生界油气藏和中、新生界油气藏(油气体系)的重要界面。

2.3 中生代

早、中三叠世阿尤恩盆地总体上处于剥蚀状态,富含有机质湖相黑色页岩与粗粒碎屑岩互层,局部发育蒸发岩及潟湖相含蒸发岩的泥质砂岩等。晚三叠世,非洲西北部与北美洲的裂解由裂谷进入被动陆缘阶段,摩洛哥、撒哈拉一带构造活动加剧^[32],晚三叠世末随着北大西洋裂解的加剧,古河流将基底、古生界的碎屑输送到迅速沉降的近岸半地堑内。较大规模的海进与较小规模的海退交相出现,总体上为海进沉积序列发育。

侏罗纪,阿尤恩一带发生大规模的张裂构造,形成了一系列中生界裂谷盆地(图3)。里阿斯世(J_1)为南大西洋扩张初期,阿尤恩一带主要以火山碎屑、河湖相碎屑沉积为主;道格世(J_2)、麻姆世(J_3)南大西洋扩张加速,海平面上升,为典型的被动陆缘构造背景,铲状断层、正断层等构造发育,局部盐岩上涌(底辟),少见沉积间断,沉积厚度从盆地东部边缘滨海相的几米到西部的 10 km 以上,其中碳酸盐岩发育。碳酸盐岩沉积于浅水(内陆架)的高能环境中(鲕粒滩),或代表低能沉积环境(深海泥晶相),反映出冈瓦纳大陆裂解和原始大西洋初始海侵之后所发生的平静、有规律性的沉降。

早白垩世,盆地基底中发育的 NNE—SSW 向断裂再次强烈活动^[33]。晚阿普提期(约 110 Ma)西非一带已为近岸浅海陆棚(≤ 300 m),发生了包括大西洋、新特提斯洋在内的全球性海侵^[34,35],海洋生物繁盛,陆源碎屑供应充足、富含有机质。阿尔比—土仑期(约 112.0~88.5 Ma)发育富含有机质的黑色页岩。局部海陆交互相的

陆源碎屑中见蜥脚亚目类化石,显示出陆上温暖、干旱的环境,恰如当今的纳米比亚^[36]一带。晚白垩世赛诺曼期(97.0~90.4 Ma),阿尤恩盆地发生构造反转^[37]及冲断,复而海侵,于土仑期(90.4~88.5 Ma)海进规模达到最大,此时南大西洋已呈现代之状的南大西洋洋盆^[38],发育有广海环境的黑色页岩、粉砂岩等,部分含钙质,富含有机质的黑色页岩是优质烃源岩。较大的海退发生于马斯特里赫特期(74.0~65.0 Ma),表现为广布的席状粗砂岩和局部老地层的剥蚀。席状砂岩在大多数钻井中都可钻遇,且在邻近的塞内加尔和几内亚比绍境内见有露头;海退使得局部赛诺曼期到坎潘期(97.0~74.0 Ma)形成的古陆坡遭削截。晚白垩世的应力方向与海西构造主应力方向(即阿特拉斯造山带方向)正交,形成了阿尤恩盆地 NW—SE 向构造带,该构造带控制了中新生界油气田的分布。

中生代,南大西洋成型,为重要的油气藏形成期。阿尤恩盆地的演化均属于拉张构造,盆地长轴呈 NEE—SWW 走向延伸,侧向(NNW—SSE 向)张开^[39-41]。

2.4 新生代

新生代大西洋继续扩张。古新世—早始新世(65.0~50.0 Ma)阿特拉斯一带侏罗纪伸展环境下快速堆积的碎屑回返、隆升^[42],阿尤恩盆地继续着伸展、拗陷等变形^[43,44],生物繁盛,形成了古新统一早始新统烃源岩。在始新世、渐新世和中新世(56.5~23.3 Ma)甚或更晚所发生的阿尔卑斯(比利牛斯)构造运动是影响西北非包括阿尤恩盆地演化的主要因素,位于阿尤恩盆地之北的阿特拉斯造山带地层继续反转、隆升^[45,46]、褶皱和改造作用,地层剥蚀加快,古生界、中生界轻微变形,进而促使下伏含烃岩层中的烃再次运移或散失。

此外,渐新世和中新世(35.4~5.2 Ma),阿尤恩盆地邻近区域发生大规模的岩浆(火山)活动,形成了加纳利群岛(Canary Islas)及塞内加尔佛得角(Cabo Verde)。热事件有利于有机质的成熟,此乃阿尤恩一带新近纪烃源岩也发育的条件之一。古近纪—新近纪渐新世(65.0~23.3 Ma)海平面持续下降、侵蚀导致白垩纪形成的陆棚大

范围削蚀,形成海底峡谷,后普遍被新生界充填、覆盖(图 4),局部发育好的盖层,沿水底深切谷形成小的区块式生储盖配置,加大了区内油气资源潜力。

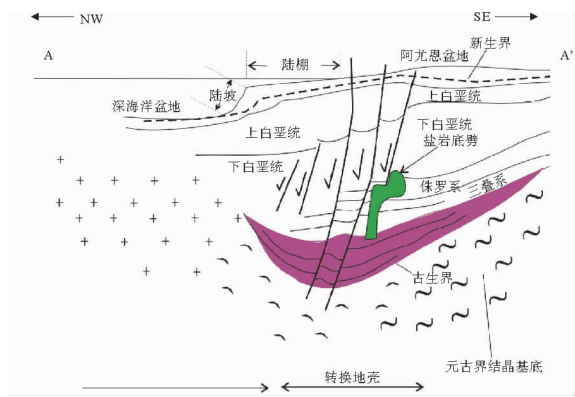


图 4 阿尤恩盆地剖面示意图

Fig. 4 Schematic cross-section showing the hypothetical westward extension of EI Aaiun

新生代,阿尔卑斯运动,大西洋持续扩张,阿尤恩盆地及油藏生储盖配置定型。

3 对未来勘探的认识

3.1 区域性目标认识

未来阿尤恩盆地海上、陆上均是油气资源颇具潜力的区域。在大地构造层面,阿尤恩盆地与加拿大东部某些盆地成因相近,近几年有学者用雷达等物探新方法^[47]对于阿特拉斯山一带沉积盆地进行了详细的探测、分析,研究表明,华力西运动末期(P—T)该区沉积特征、石油成藏可与加拿大新斯科舍(Nova Scotia)的米纳斯油气盆地(Minas Basin)对比,推测阿特拉斯山系及延伸带两侧山前盆地也具有一定的油气资源远景。阿尤恩盆地自身地质特征确也揭示出好的油气勘探开发远景,典型的大西洋型被动陆缘演化使得西非海岸海进、海退转换频繁,自寒武纪以来阿尤恩一带多套烃源岩、储集岩、盖层交互发育,在阿尤恩市西南方约 200 km 处(图 1)配置较好,是未来重要的目标区之一。与西非海岸中段、南段等的盆地相比较,阿尤恩盆地海陆交互的寒武系可以作为好的储集岩,海

相志留系笔石页岩可以是好的烃源岩;而中段毛里塔尼亚、塞内加尔一带仅在少量钻孔中发现局域性志留系,所出露的陆相三叠系可以为好的储集岩、烃源岩;尼日尔三角洲及其以南的沉积盆地其烃源层、储集层、盖层及其相互间配置大多与侏罗纪之后的碎屑沉积及构造演化有关。即北段的阿尤恩盆地等具有较长的地质演化史,具有多套生储盖配置。

3.2 垂向目标认识

基于地层资料,在持续获得有价值的二维、三维地震资料后,可以得出更为丰富的认识。在阿尤恩西南一带几千平方千米水深 50~250 m 的海域,第四系软泥层厚约 10~100 m,自上而下新近系为疏松的碎屑岩、泥灰岩,古近系为细砂岩、泥岩、灰岩,上白垩统为灰岩、砂岩等,或可作为未来的重点勘探施工区。新生界、白垩系、侏罗系、二叠系、石炭系、志留系等均发育有好的烃源岩。新近系、古近系、白垩系、上侏罗统、上三叠统、二叠系、石炭系、泥盆系、奥陶系、寒武系等发育有多套砂岩、灰岩、生物礁等(图 2),岩层产状稳定、缓倾,是好的储集岩。以水平井分段压裂等“页岩气”开发视角分析,志留系笔石页岩(泥)岩也是好的储集层。新生界泥岩、三叠系蒸发岩、志留系页岩等是好的盖层。横向上,由于大西洋总体上的拉张,海平面振荡趋升,粗碎屑岩及砂体、页岩、碳酸

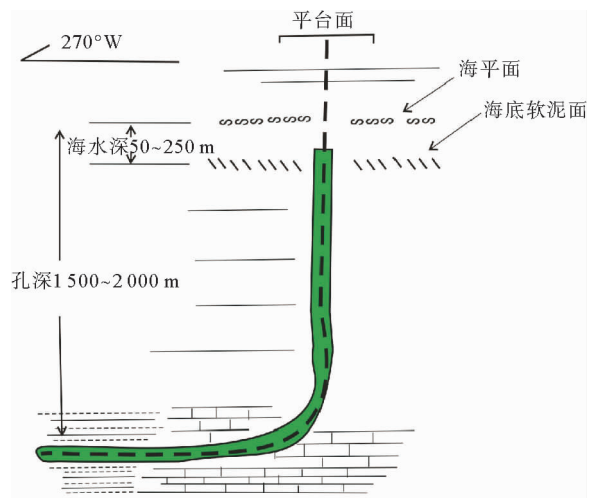


图 5 阿尤恩盆地钻遇泥页岩地层水平井理想图

Fig. 5 Schematic diagram of future horizontal drilling in EI Aaiun Basin

盐岩等呈渐变关系,因而,可选择多层系作为勘探目的层,且适宜于以水平井压裂等进行油气开发(图5)。综上所述,该区域未来勘探远景广阔。

4 结论

与西非其他盆地相比,阿尤恩盆地成盆的大地构造动力因素复杂,成岩期次多,沉积厚度巨大;其新生界、中生界、古生界具有较好的生烃、成藏潜力,但生、储、盖配置等是问题的关键。

(1) 阿尤恩盆地古生界沉积虽有一定的局限性,且厚度不均,但生储盖配置较好,有别于西非海岸其他被动陆缘盆地,是深部寻找古生界油气藏的有利区域。海西期阿特拉斯造山作用对于阿尤恩盆地古生界成藏具有一定的负面作用。

(2) 阿尤恩盆地中生界发育,展布广阔,生物礁、黑色页岩等均为好的烃源岩,碎屑岩为好的储集岩;蒸发岩之下的碎屑岩也是颇具远景的储集岩。

(3) 阿尤恩盆地古近系、新近系展布有一定的局限性,沉积厚度大,发育有富含有机质的泥岩、页岩,也具有较好的油气勘探潜力。

(4) 阿尤恩盆地及至西撒哈拉一带的近岸沙漠区、近岸海域均为未来颇具油气资源潜力的勘探区域,且推测天然气开发前景优于原油。

由于本文所基于的资料因成文年代不一,部分资料中地层的划分等似已“过时”,如白垩纪仍为“二分”等。又因本研究的重点是阿尤恩盆地油气资源潜力以及未来勘探开发重点、层系,当不便陷于基础性资料中地层单位的新、旧等划分、对比细节,此即为尊重资料,也避免了因二分变三分亦或三分改二分等可能导致的含混。本文里阿斯世(J_1)、道格世(J_2)、麻姆世(J_3)以及白垩纪等的划分依旧,汉译名称以国际地层时代对比表中的“地质时代表^[20]”为准。

致谢:本研究得到北非、西非、南美东部油气地质综合研究与区域优选项目组的支持与帮助,在此谨致谢意!

参考文献:

[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.

[2] Broucke O, Temple F, Rouby D, et al. The role of deformation Processes on the geometry of mud-dominated turbiditic systems, Oligocene and Lower Middle Miocene of the Lower Congo basin (West African Margin)[J]. Marine and Petroleum Geology, 2004, 21: 327-348.

[3] Hudec M R, Jackson M P A. Regional restoration across the Kwanza Basin, Angola: Salt tectonics triggered by repeated uplift of a metastable passive margin[J]. AAPG, 2004, 88(7): 971-990.

[4] 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.

[5] Harris N B, Freeman K H, Pancost R D, et al. The character and origin of lacustrine source rocks in the Lower Cretaceous synrift section, Congo Basin, West Africa [J]. AAPG, 2004, 88(8): 1 163-1 184.

[6] Corredor F, Shaw J H, Bilotti F. Structural styles in the deep-water fold and thrust belts of the Niger Delta [J]. AAPG, 2005, 89(6): 753-780.

[7] Turner P, Rosendahl B R, Wilson P G. Structure and evaluation of an obliquely sheared continental margin; Rio Muni, West Africa [J]. Tectonophysics, 2003, 374: 41-55.

[8] Einsele G, von Rad U. Facies and paleoenvironment of Lower Cretaceous sediments at DSDP Site 397 and in the Aaiun Basin (Northwest Africa) [R]// von Rad U, et al., Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Vol. 47, Part 1. Washington: U. S. Government Printing Office, 1979: 559-578.

[9] 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.

[10] 甘克文, 李国玉, 张亮成. 世界含油气盆地图集 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1982: 24-25.

[11] Broughton P, Trepanier A. Hydrocarbon generation in the Essaouira basin of western Morocco. [J]. AAPG, 1993, 77(6): 999-1 015.

[12] Jarvis J. Morocco's Tarfaya deepwater prospects encouraging [J]. Oil and Gas Journal, 1999, 16: 90-94.

[13] 楚旭春, 范本贤. 非洲地质图 [M]. 北京: 地图出版社, 1982: 1-54.

[14] Black R, Cabry R, Moussine-Pouchkine A, et al. Evidence for late Precambrian plate tectonics in West Africa [J]. Nature, 1979, 278: 223-227.

[15] Klitzsch E. Die Gotlandium-Tranagression in der Zentral-Sahara [J]. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 1968, 117: 492-501.

[16] Boote D R D, Clarke-Lowes D D, Traut M W. Palaeozoic petroleum systems of North Africa [M]// MacGregor D S, Moody R T J, Clark Lowes D D. Petroleum Geology of

- North Africa. London: Geological Society of London Special Publications, 1998, 132: 7-68.
- [17] Luning S, Craig J, Loydell D K, et al. Lower Silurian "hot shales" in North Africa and Arabia: regional distribution and depositional model[J]. *Earth Science Review*, 2000, 49:121-200.
- [18] Luning S, Lydell D K, Sutcliffe O, et al. Silurian-Lower Devonian black shales in Morocco: Which are the organically richest horizons[J]. *Journal of Petroleum Geology*, 2000, 23(3):293-311.
- [19] Baudon C, Fabuel-Perez I, Redfern J. Structural style and evolution of a Late Triassic rift basin in the Central High Atlas, Morocco: controls on sediment deposition[J]. *Geological Journal Special Issue*, 2009, 44: 677-691.
- [20] 王鸿祯,李光岑. 国际地层时代对比表[M]. 北京:地质出版社,1990.
- [21] Legarrata L. Evolution of a Callovian-Oxfordian carbonate margin in Neuquen basin of West-Central Argentina: facies, architecture, depositional sequences and global sea-level changes[J]. *Sediment. Geol.*, 1991, 70:209-240.
- [22] Renz O, Imlay R, Lancelot Y, et al. Ammonite-rich Oxfordian limestones from the base of the continental slope off Northwest Africa [J]. *Eclogae Geol Helv*, 1975, 68 (2):431-448.
- [23] Tantawy A A. Calcareous nannofossil biostratigraphy and paleoecology of the cenomanian turonian transition at Tazra, Tarfaya Basin, southern Morocco[J]. *Cretaceous Res*, 2008, 29(5/6): 995-1 007.
- [24] Thiry M. Palaeoclimatic interpretation of clay minerals in marine deposits: an outlook from the continental origin [J]. *Earth-Sci. Rev.*, 2000, 49(1-4): 201-221.
- [25] Trappe J. Microfacies zonation and spatial evolution of a carbonate ramp: marginal Moroccan phosphate sea during the Paleogene. *Geol. Rundsch.*, 1992, 81(1): 105-126.
- [26] Tsikos H, Jenkyns H C, Walsworth-Bell B. et al. Carbon-isotope stratigraphy recorded by the Cenomanian-Turonian oceanic anoxic event: correlation and implications based on three key localities[J]. *J. Geol. Soc.*, 2004, 161: 711-719.
- [27] Turgeon S C, Creaser R A. Cretaceous oceanic anoxic event 2 triggered by a massive magmatic episode[J]. *Nature*, 2008, 454:323-326.
- [28] Ulicny D, Hladikova J, Hradecka L. Record of sea-level changes, oxygen depletion and the delta-C-13 anomaly across the Cenomanian-Turonian boundary, Bohemian Cretaceous Basin[J]. *Cretaceous Res.*, 1993, 14(2):211-234.
- [29] 岳来群,李永铁,史晓颖. 西藏古错—岗巴盆地下白垩统黑色页岩地质特征及其油气资源意义[J]. *古地理学报*, 2006, 8(3):307-316.
- [30] Hafid M. Triassic-early Liassic extensional systems and their Tertiary inversion, Essaouira Basin (Morocco)[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2000, 17: 409-429.
- [31] Le Roy P, Pique A. Triassic-Liassic Western Moroccan synrift basins in relation to the central Atlantic opening [J]. *Marine Geology*, 2001, 172: 359-381.
- [32] Frizon de Lamotte D, Leturmy P, Missenard Y, et al. Mesozoic and Cenozoic vertical movements in the Atlas system (Algeria, Morocco, Tunisia): An overview[J]. *Tectonophysics*, 2009, 475: 9-28.
- [33] Mbina Mounguengui M, Lang J, Guiraud M, et al. Sedimentary dynamics and structural geology of pre-rift deposits of the interior basin of Gabon[J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2002, 35:315-329.
- [34] Benshili K. Lias-Dogger du Moyen-Atlas plisse (Maroc.) Sedimentologie, biostratigraphie et evolution paleogeographique[J]. *Docum. Lab. Geol. Lyon*, 1989, 106: 1-285.
- [35] 岳来群,史晓颖,王鸿祯. 北喜马拉雅地区下白垩统海底扇沉积环境[J]. *古地理学报*, 2003, 5(4):391-403.
- [36] Jacobs L L, Mateus O, Polcyn M J, et al. Cretaceous paleogeography, paleoclimatology, and ammonite biogeography of the low and mid-latitude South Atlantic Ocean[J]. *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 2009, 180(4):333-341.
- [37] Keeley M, Massoud M S. Tectonic controls on the petroleum geology of N. E. Africa [C] // MacGregor D S, Moody R T J, Clark-Lowes D D. *Petroleum Geology of North Africa*. London: Geological Society, Special Publications, 1988, 132:265-281.
- [38] Uchupi E. The tectonic style of Atlantic Mesozoic rift system[J]. *Journal of African Earth Sciences*, 1989, 8(2-4): 143-164.
- [39] Laville E, Petit J P. Role of synsedimentary strike-slip faults in the formation of Moroccan Triassic basins[J]. *Geology*, 1984, 12(7):424-427.
- [40] Manspeizer W. Triassic Liassic basins and climate of the Atlantic passive margins [J]. *Geologische Rundschau*, 1982, 71: 895-917.
- [41] Mattis A F. Nonmarine Triassic sedimentation, central High Atlas Mountains, Morocco[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1977, 47:107-119.
- [42] Arbolea M L, Teixell A, Charroud M, et al. A structure transect through the High and Middle Atlas of Morocco [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2004, 39:319-327.
- [43] Brede R, Hauptmann M. Plate tectonics and intracratonic mountain ranges in Morocco: the Mesozoic-Cenozoic development of the Central High Atlas and the Middle Atlas [J]. *Geologische Rundschau*, 1992, 83(1):127-141.
- [44] Bosworth W, Guiraud R, Kessler L G. Late Cretaceous (ca. 84 Ma) compressive deformation of the stable platform

of northeast Africa (Egypt): far-field stress effects of the “Santonian event” and origin of the Syrian arc deformation belt [J]. *Geology*, 1999, 27: 633-636.

[45] Wildi W. The orogenic belt of the Rif (Morocco) and the Tell (Algeria, Tunisia) -structure, stratigraphy, paleogeographic and tectonic evolution from the Triassic to the Miocene[J]. *Revue De Geologie Dynamique Et De Geographie Physique*. 1983, 24(3): 201-297.

[46] Bracene R, de Lamotte D F. The origin of intraplate deformation in the Atlas system of western and central Algeria; from Jurassic rifting to Cenozoic Quaternary inversion [J]. *Tectonophysics*, 2002, 357(1-4): 207-226.

[47] Fabuel-Perez I, Redfern J. Sedimentology of an intra-montane rift-controlled fluvial dominated succession: the Upper Triassic Oukaimeden Sandstone Formation, Central High Atlas [J]. *Morocco Sedimentary Geology*, 2009, 218: 103-140.

SEDIMENTOLOGY, TECTONICS AND PETROLEUM POTENTIAL OF EL AAIUN BASIN IN WEST AFRICA

YUE Laiqun¹, WU Yugen¹, YIN Jinyin², HUANG Dinghua³

(1 Strategic Research Center of Oil & Gas Resources, MLR, Beijing 100034, China;

2 Exploration and Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China;

3 China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Coastal sedimentary basins in West Africa are originally formed on a typical passive continental margin. Most of them are rich in petroleum resources. The El Aaiun Basin is located in the southern Morocco, of which the tectonic position is different from others in West Africa. In the beginning, the El Aaiun Basin was not only controlled by the movement of African and South American plates, but also North American plate. In the later stage, it was influenced by the Atlas Saharien orogeny. Since the Pan-African orogeny, however, the El Aaiun Basin has remained stable in tectonics, in spite of local volcanic activities. There filled with huge detrital and carbonate rocks as well as halite formations in the basin. Source rocks of hydrocarbon and reservoirs are widely developed. It seems that there are uncertainties in petroleum exploration in the basin for the time being, it remain as an attractive target for oil explorations as long as the studies aiming at source, reservoir and cap rocks are accelerated. Moreover, the use of advanced technology for deep-sea exploration will certainly help the exploration in the basin.

Key words: El Aaiun Basin; petroleum resources; sedimentary characteristics; tectonic background; development