

许晓明, 张英德, 饶勇, 等. 阿根廷海域重点盆地油气地质条件对比及勘探方向[J]. 海洋地质前沿, 2022, 38(4): 1-9.

XU Xiaoming, ZHANG Yingde, RAO Yong, et al. Comparative studies of petroleum geological conditions in key basins offshore Argentina and exploration recommendations[J]. Marine Geology Frontiers, 2022, 38(4): 1-9.

阿根廷海域重点盆地油气地质条件对比及勘探方向

许晓明, 张英德, 饶勇, 王伟, 盖海洋

(中国海洋石油国际有限公司, 北京 100027)

摘要: 阿根廷油气资源丰富, 并且油气财税条款较为优越, 与国外大型油公司和中国油公司均有油气勘探资产合作, 适合我国海外油气勘探投资。阿根廷海域 13 个盆地以转换断层为界, 可划分为南部盆地群和北部盆地群, 南部、北部盆地群在早期裂谷盆地的基础上分别逐渐演化为前陆盆地和被动大陆边缘盆地。南北盆地群由于盆地类型不同、构造演化不同, 导致其构造特征、地层充填特征和油气成藏条件等方面具有一定的差异性特征。通过对阿根廷海域南部前陆盆地群和北部被动大陆边缘盆地群构造演化、地层充填、烃源岩条件、储层条件和圈闭条件对比研究, 对阿根廷海域盆地石油地质特征有了进一步的认识, 指出南部的盆地成藏条件要优于北部被动大陆边缘盆地。分析表明, 南部盆地群中的马尔维纳斯前陆盆地为剩余有利勘探区, 该盆地勘探程度低, 已证实具有油气发现, 推测盆地中南部为有利构造带, 或许将成为阿根廷未来的勘探热点。

关键词: 阿根廷海域; 前陆盆地; 构造特征对比; 石油地质条件; 勘探方向

中图分类号: P744.4; P597

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2021.004

0 引言

阿根廷位于南美洲最南端, 东濒大西洋, 南与南极洲隔海相望, 西同智利接壤, 北接玻利维亚、巴拉圭、乌拉圭, 面积 277.7 万 km², 仅次于巴西^[1-2]。到目前为止, 阿根廷共有 7 个盆地有油气发现, 即库约盆地、内乌肯盆地、圣豪尔赫盆地、麦哲伦盆地、马尔维纳斯盆地、北福克兰盆地和福克兰高地, 石油储量为 22 亿 t, 凝析油 1.4 亿 t, 天然气为 2.6×10¹² m³^[3]。阿根廷海域共有 13 个盆地(图 1), 探井和评价井仅 218 口, 勘探程度低, 其中 5 个盆地有油气发现, 即圣豪尔赫盆地、麦哲伦盆地、马尔维纳斯盆地、北福克兰盆地和福克兰高地, 石油储量为 1.2 亿 t, 凝析油为 0.2 亿 t, 天然气为 5.1×10¹¹ m³。除了麦哲伦盆地(阿根廷境内称为 Austral, 智利境

内称为 Magallanes)已有油气田开发, 其他 4 个盆地已发现油气田均未开发(图 1)。在南美洲 13 个国家中, 虽然目前阿根廷海域已发现油气可采储量小于委内瑞拉、巴西和特立尼达-多巴哥, 但其油气财税条款较为优越, 石油和天然气投资内部收益率占南美洲第 5 位, 高于委内瑞拉和特立尼达-多巴哥, 适合我国海外油气勘探开发投资^[3-4]。

前人在对阿根廷及南美洲开展研究工作时, 更加关注其陆上的内乌肯盆地、库约盆地, 对海域盆地的研究较少。本文通过分析阿根廷海域 13 个盆地的地质特征, 开展构造、沉积充填特征及油气成藏地质条件对比, 分析了该海域的油气勘探潜力, 指出了未来的勘探方向, 以期为中国油公司在该地区开展油气勘探工作提供依据。

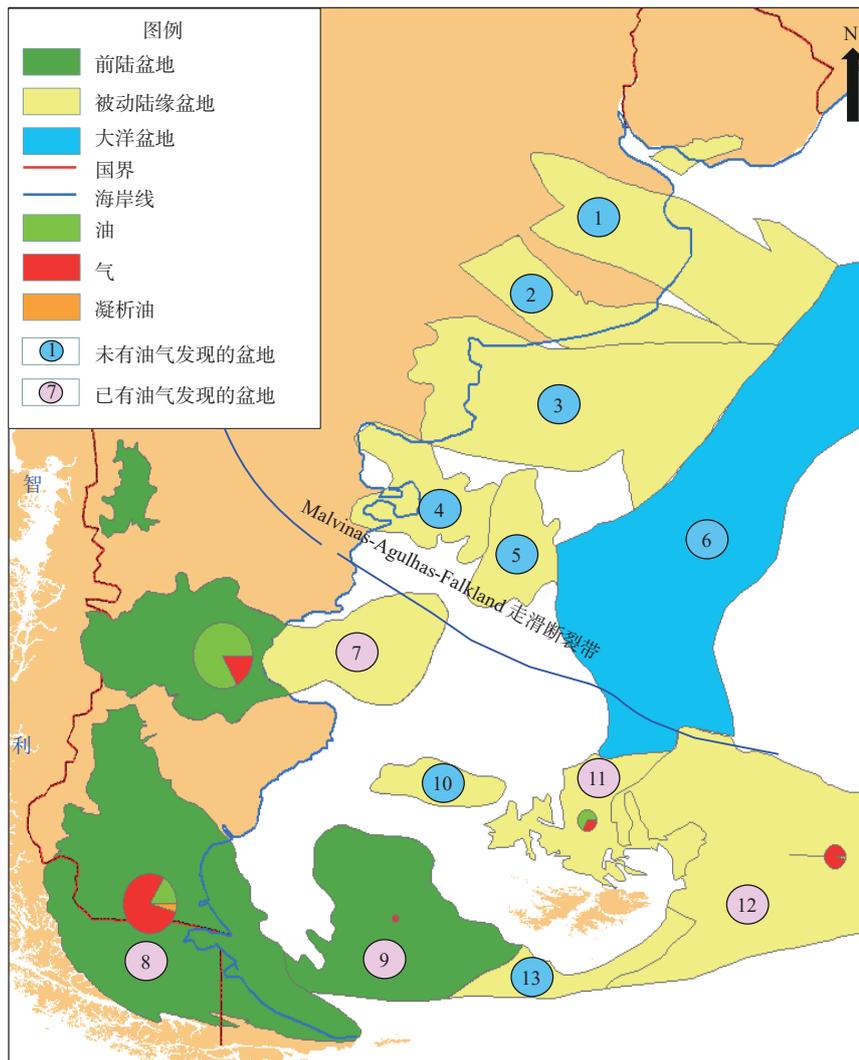
1 区域构造背景

阿根廷所在的南美洲陆块在古生代经历了盘古大陆的拼合, 中生代经历了晚三叠世—晚侏罗世冈瓦纳大陆的解体和早白垩世南大西洋的开启, 新生代经历了太平洋板块俯冲造山与 Scotia 海的

收稿日期: 2021-01-04

资助项目: “十三五”国家科技重大专项“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: 许晓明(1980—), 女, 博士, 高级工程师, 主要从事海外油气勘探地质方面的工作。E-mail: xuxm2@cnooc.com.cn



①塞拉多盆地(Salado); ②克拉莫科盆地(Claromeco); ③科罗拉多盆地(Colorado); ④瓦尔德斯盆地(Valdes); ⑤罗森盆地(Rawson); ⑥阿根廷深水洋盆(Argentina); ⑦圣豪尔赫盆地(San Jorge); ⑧麦哲伦盆地(Austral); ⑨马尔维纳斯盆地(Malvinas); ⑩圣朱利安盆地(San Julian); ⑪北福克兰盆地(North Falkland); ⑫福克兰高地(Falkland Plateau); ⑬南福克兰盆地(South Falkland)

图1 阿根廷海域主要盆地及已发现油气分布饼图^[3]

Fig.1 Key basins and distribution map of discovered oil and gas in the offshore Argentina^[3]

打开等(图2)^[5]。这一系列板块离散、汇聚俯冲以及洋壳形成的大地构造演化,控制了南美陆块内部及周缘各盆地的形成与发展,也控制了南美陆块内部及周缘盆地侵入岩基底和地层展布特征。

1.1 古生代板块拼接

古生代晚石炭世—晚二叠世,欧亚大陆和冈瓦纳大陆之间的 Rheic 洋逐渐消减至消失,最终使2个大陆拼合在一起,各大陆之间拼贴碰撞逐渐形成了广阔的盘古泛大陆,阿根廷所在的南美板块位于其南部。二叠纪以来,在盘古泛大陆逐渐拼合的过程中,Patagonia 地块向北拼贴缝合形成了现今南美板块锥形,沿着 Patagonia 地块的北部拼合带,发育了 La Esperanza 火山岩分布区,形成阿根廷海域

盆地最早的结晶基底。此时的阿根廷海域仅科罗拉多盆地开始发生裂陷,但规模小,裂陷分布范围极其有限^[5-7]。

1.2 三叠纪—晚侏罗世冈瓦纳大陆解体

随着大西洋中部的打开、新洋壳的快速形成和火山的阶段性活动,南美和非洲板块与南极、澳大利亚板块分离,阿根廷东南部的 Weddell 海形成,北美板块和非洲西北部海岸开始离散,标志着冈瓦纳大陆开始解体^[8-9]。随着北美板块向西北漂移,北美板块与南美板块之间逐渐离散。此时南美板块向南漂移,阿根廷海域发育了一系列 NNW—SSE 走向的陆内裂谷盆地,如圣豪尔赫盆地、麦哲伦盆地、马尔维纳斯盆地等(图2a)。

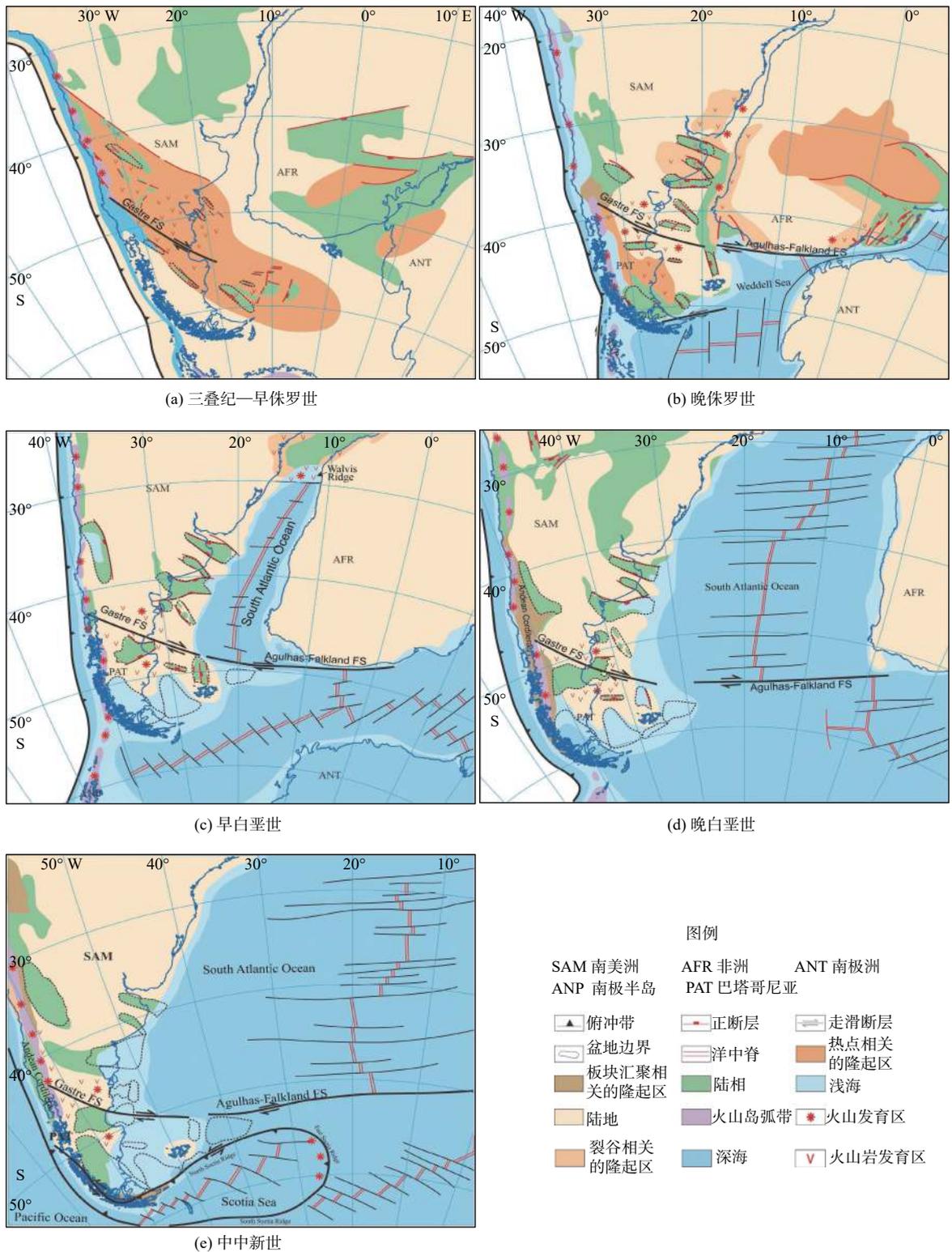


图 2 中生代以来南美洲构造及沉积演化史图^[5]

Fig.2 Tectonic and sedimentary evolution of South American since Mesozoic^[5]

1.3 早白垩世南大西洋开启

南大西洋自南向北依次打开, 最早打开的时间为晚侏罗世 150.5 Ma(图 2b), 主要的打开时间发生于早白垩世 139.5~120 Ma。随着南大西洋的拉开,

阿根廷东部海域形成了一系列被动大陆边缘盆地, 如塞拉多盆地、克拉莫科盆地、科罗拉多盆地、瓦尔德斯盆地和罗森盆地(图 2c)。在南大西洋拉开和洋壳的形成过程中, 伴随着强烈而广泛的岩浆活动, 形成了广泛分布的火山岩省, 影响了阿根廷海

域盆地的沉积充填,同时期沉积了大量的凝灰岩和火山岩沉积物^[10-11]。

1.4 晚白垩世—中新世太平洋板块俯冲和 Scotia 海拉开

晚白垩世,阿根廷西侧的安第斯挤压构造活动开始,在中新世—上新世达到高峰期,形成了持续至今的安第斯山脉隆升造山(图 2d),此时麦哲伦盆地和圣豪尔赫盆地陆上受到安第斯挤压影响,逐渐演变为前陆盆地^[12-13]。中新世,阿根廷海域南部的 Scotia 海逐渐拉开,Scotia 海北部和南美板块边界缝合碰撞并发生走滑调整,在南美板块南部形成逆冲褶皱带(图 2e)。该逆冲褶皱隆升,形成马尔维纳斯盆地的南部边界,对该盆地的沉积和构造都产生了巨大的影响,受走滑与俯冲作用影响,盆地逐渐演变为走滑前陆盆地。在此期间, Malvinas-Agulhas-Falkland 走滑断裂带以北的海域盆地受到南大西洋打开的进一步影响,逐渐进入被动大陆边缘盆地的漂移期。

经历了 4 期构造演化阶段,现今的阿根廷沉积盆地整体可以分为 2 类,西部陆上为前陆盆地,东部海域为被动大陆边缘盆地。南部海域的马尔维纳斯盆地比较特殊,受到南部 Scotia 海北部和南美板块边界缝合碰撞并发生走滑调整,中新世以后逐渐演化为前陆盆地。海域 13 个盆地以 Malvinas-Agulhas-Falkland 走滑断裂带为界,可划分为南部盆地群和北部盆地群,南部盆地群以圣豪尔赫盆地、麦哲伦盆地和马尔维纳斯盆地 3 个前陆盆地为代表,北部盆地群以塞拉多盆地和科罗拉多盆地等被动大陆边缘盆地为代表(图 1)。南北盆地群由于盆地类型不同、构造演化不同,导致其构造特征、地层充填特征和油气成藏条件等方面具有一定的差异。

2 构造及地层充填对比

2.1 构造特征对比

在盆地构造演化和结构特征方面,南部盆地群和北部盆地群具有“早期相似、晚期各异”的特点。早期均经历了陆内裂谷演化阶段;晚期,南部盆地群在早期裂谷盆地的基础上逐渐演化为前陆盆地,而北部盆地群在早期裂谷盆地的基础上逐渐演化为被动大陆边缘盆地。

晚侏罗世—早白垩世早期为阿根廷海域盆地裂陷发育期,盆地均受到了冈瓦纳大陆裂解及南大西洋打开的影响,发育了一系列地堑或半地堑式裂谷,形成了垒-堑相间的构造格局。早白垩世晚期—晚白垩世时期为阿根廷海域盆地拗陷发育期,盆地都经历了稳定的热沉降拗陷期,部分裂谷期断层再次活动,并伴随发育一些规模较小的调节性正断层,区域上主要发育了与断裂相关的构造体系。

晚白垩世晚期之后,由于受安第斯造山运动和中新世 Scotia 板块走滑与俯冲作用双重影响,南部盆地群逐渐演化成典型前陆盆地,麦哲伦盆地前陆特征最为典型,圣豪尔赫盆地陆上部分的前陆构造特征也较为明显^[14]。由于 Nazca 板块自西向东沿南美洲板块的西侧持续俯冲,麦哲伦盆地受到挤压作用由西向东强度逐渐减弱,自西向东发育冲断带、前渊带和斜坡带。而马尔维纳斯盆地主要受到了来自 Scotia 板块的走滑与俯冲作用,逐渐演化成走滑前陆盆地,由南向北挤压强度逐渐减弱,依次发育冲断带、前渊带和斜坡带。北部盆地群由于距离西部安第斯造山带以及南部的 Scotia 板块都有一定距离,几乎未受到安第斯造山运动和南部 Scotia 板块的影响,但受到南大西洋打开的进一步影响,在热沉降阶段之后逐渐演化为被动大陆边缘漂移期阶段。

2.2 地层充填特征对比

构造演化上的差异性导致北部盆地群和南部盆地群在地层充填特征方面也存在差异性,主要表现在地层沉积厚度、沉积演化以及火山活动对沉积物的影响 3 个方面。

(1) 盆地地层厚度具有“南(南部盆地群)厚北(北部盆地群)薄”的特点。北部盆地群沉积地层厚度薄,整体在地震剖面上的时间厚度仅为 1~3 s,推测地层厚度不大于 4.5 km;同时,受南大西洋打开的影响,SDR 特征明显,成藏物质基础较差。而南部盆地群受到安第斯造山带俯冲挤压和 Scotia 板块走滑挤压双重影响,盆地内发育前渊带,沉积厚度大,马尔维纳斯盆地沉积厚度超过 7 km,麦哲伦盆地沉积厚度超过 8 km,成藏物质基础较好^[15-17]。

(2) 沉积演化存在差异性。总的来说,阿根廷海域盆地经历了由陆相沉积逐渐演化为海相和半深海相沉积过程。早期裂谷期以火山岩和火山碎屑岩沉积充填为主,局部受到了海侵的影响,在非

常局限的区域沉积了海相碎屑岩。后期南部前陆盆地群受安第斯造山运动影响, 西侧发生隆升, 自西向东主要发育了陆相碎屑岩和海陆过渡相碎屑岩沉积; 北部盆地群受南大西洋海侵的影响, 主要发育海相泥岩沉积, 推测局部可能发育浊流沉积^[18-19]。

(3) 火山活动影响具有“北强南弱”的特点。阿根廷海域盆地在裂谷期由于受到冈瓦纳大陆裂解作用影响, 南美洲南部以及非洲南部火山活动频繁(以 Karoo 为典型代表)。北部盆地群离阿根廷 Parana 火山省及南大西洋洋壳较近, 受到火山活动影响较大, 盆地地层中发育多期喷出岩, 且地层中 SDR 特征明显; 南部盆地群多以凝灰岩发育为主, 火山发育期次少, 但总的来说, 火山活动对阿根廷海域盆地的储层带来较大的影响, 储层是这些盆地的主要勘探风险之一。

3 石油地质条件对比

3.1 烃源岩条件

由于阿根廷海域盆地裂谷期受到强烈火山活动影响, 裂谷期地层主要为火成岩及火山碎屑岩, 同时期湖相烃源岩不发育。截至目前, 阿根廷海域仅在南部 3 个前陆盆地中有钻井揭示了下白垩统断拗转换期发育的烃源岩, 北部盆地未有钻井揭示下白垩统烃源岩。这套下白垩统湖相或海相泥岩为南部 3 个前陆盆地的主力烃源岩, 其中湖相烃源岩以圣豪尔赫盆地下白垩统 D-129 组为典型代表, 海相烃源岩以麦哲伦盆地下白垩统的 Palermo Aike 组海相泥岩为典型代表。

圣豪尔赫盆地下白垩统 D-129 组湖相烃源岩总有机碳(TOC)为 1%~3%, 最高可达 7%; 生烃潜力(S_1+S_2)为 1~20 mg HC/g; 氢指数(HI)为 100~500 mg HC/g TOC, 氧指数(OI)为 10~50 mg CO₂/g TOC, 有机质类型为 II 型(图 3)。在 seismic 剖面上, 该套地层表现为低频连续平行强反射的典型湖相烃源岩地震相特征, 主要分布在盆地的中部凹陷区。该套烃源岩在晚白垩世开始生烃, 生烃门限约为 2 000 m, 烃源岩成熟度自盆地中心向四周逐渐降低^[20]。

麦哲伦盆地下白垩统 Palermo Aike 组海相黑色页岩及同期泥岩沉积为该盆地的主力烃源岩。其 TOC 为 0.6%~2%, 最高可达 6%, 有机质类型为 II、III 型。该套烃源岩从白垩纪之后开始生烃, 受安第斯造山运动影响, 盆地前渊带沉积加厚, 加速了烃源岩成熟, 烃源岩成熟度自西向东逐渐降低, 现今已到了成熟-过成熟演化阶段。文献资料表明, 该套烃源岩分布范围可达 30 km 宽, 平行于安第斯山脉展布, 盆地已发现的油气田主要来自于这套烃源岩的贡献, 具有很好的生烃能力^[21-24]。

海域北部盆地群勘探程度较低, 目前未有钻井揭示下白垩统烃源岩。由于在烃源岩主要发育时期的巴列姆期, 北部盆地群经历了一次短暂的沉积间断, 可能影响和制约了该时期烃源岩的发育。

3.2 储层条件

阿根廷海域北部盆地群中的塞拉多盆地、瓦尔德斯和罗森盆地钻井均未揭示储层, 科罗拉多盆地有井钻遇了漂移期海陆过渡相砂岩储层, 孔隙度平均为 10%~15%^[5], 由于未有油气发现, 相关资料较少。南部 3 个前陆盆地主力储层为白垩系砂岩, 占

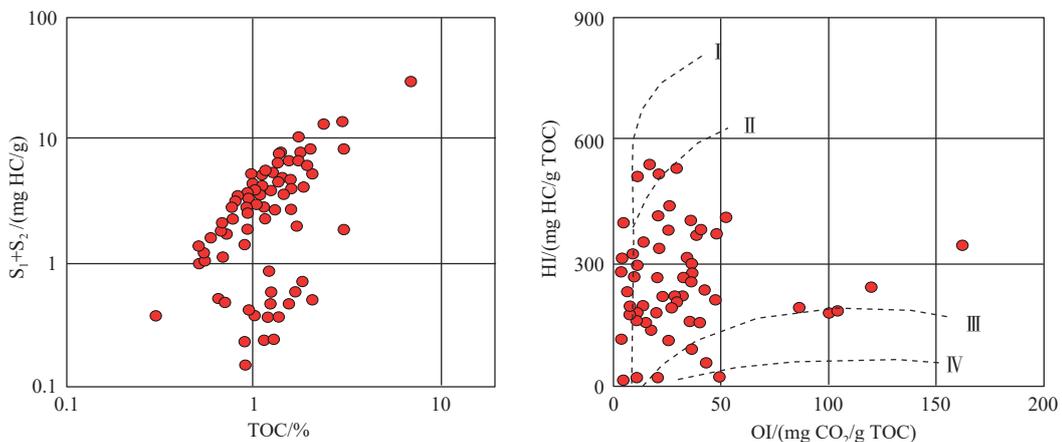


图 3 圣豪尔赫盆地下白垩统 D-129 组烃源岩地球化学特征^[20]

Fig.3 Geochemical characteristics of the D-129 Formation in the Lower Cretaceous from San Jorge Basin^[20]

已发现油气储量的94%,其中,下白垩统油气占已发现油气储量的52%,上白垩统油气占已发现油气储量的42%^[3]。

圣豪尔赫盆地主力储层为白垩纪拗陷期发育的河流-三角洲相砂岩,在白垩系4套储层中以上白垩统CR组和ET组为主力储集层,占总发现油气储量的83%,但由于受到凝灰岩发育的影响,整体砂岩薄,横向不连续,给勘探开发带来一定的风险。盆地陆上储量最大的El Tordillo油田,CR组为主力产层,埋藏浅,孔隙度为10%~30%,平均孔隙度为15%;渗透率为 $(1\sim 150)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$,平均渗透率为 $(40\sim 50)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$;单砂体厚度约为5m,且横向不连续。油田由100多个小型油气田构成,共钻井1000多口,采收率仅为22%^[25-27]。

麦哲伦盆地和马尔维纳斯盆地主力含油气储层为下白垩统Springhill组,为一套断拗转换期的三角洲-滨浅海相砂岩,砂岩发育广泛。马尔维纳斯盆地钻井揭示砂岩厚度可达100m,砂岩物性较好,孔隙度为12%~32%,渗透率最高可达 $6\mu\text{m}^2$ 。在

麦哲伦盆地, Springhill组占总发现油气储量的95%;在马尔维纳斯盆地,油气发现均位于Springhill组^[5,28]。总的来看,相对于圣豪尔赫盆地,麦哲伦和马尔维纳斯盆地储层不论是砂体厚度还是横向连续性都要好一些。

3.3 圈闭条件

由于北部盆地群和南部盆地群经历的构造演化不同,导致盆地发育的圈闭类型也不同。在裂谷发育时期,不论是南部盆地群还是北部盆地群均具有地堑-地垒系统的地质结构特征,此时盆地主要发育断背斜、断块圈闭(图4)。随着安第斯造山运动和Scotia板块的俯冲挤压,南部前陆盆地群具有隆升挤压的地质结构特征,主要以发育背斜圈闭、断背斜圈闭、披覆背斜及地层圈闭为主,如麦哲伦盆地、马尔维纳斯盆地和圣豪尔赫盆地陆上^[29]。北部被动大陆边缘盆地群构造活动比较平静,断裂体系不发育,推测塞拉多盆地和科罗拉多盆地漂移期主要以岩性地层圈闭为主。

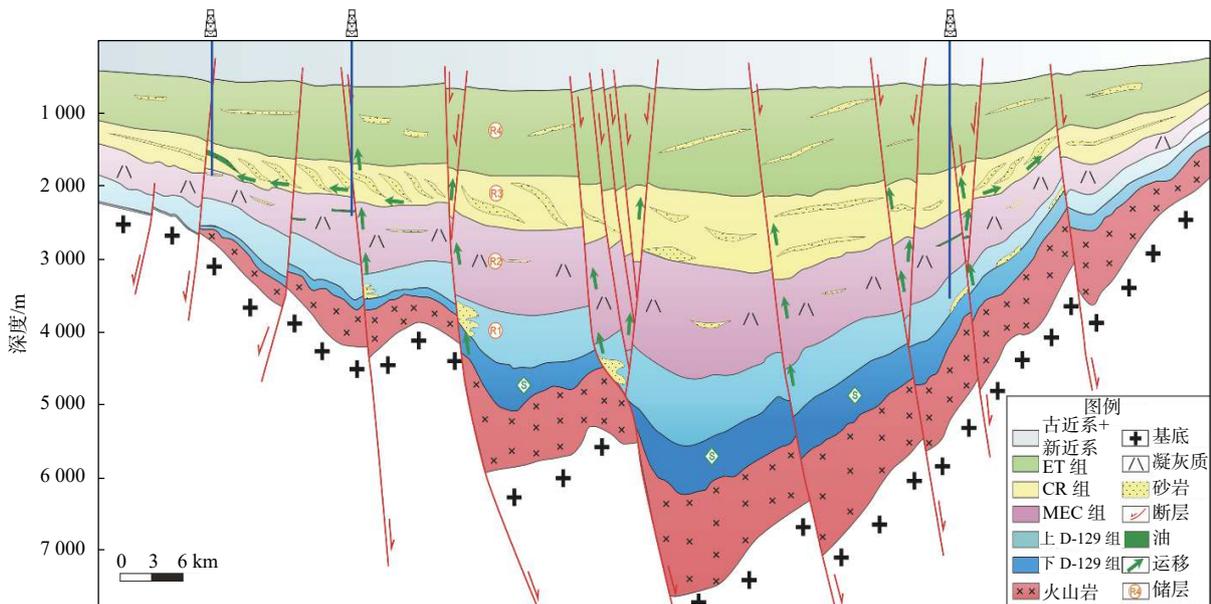


图4 圣豪尔赫盆地成藏模式

Fig.4 Hydrocarbon accumulation model of the San Jorge Basin

4 勘探潜力对比分析

通过对阿根廷海域北部被动大陆边缘盆地群和南部前陆盆地群构造演化、地层充填、烃源岩、储层和圈闭条件的对比分析,综合评价认为南部盆地群成藏条件要好于北部盆地群,勘探潜力也优于北部盆地群,主要体现在3方面。

(1)南部前陆盆地群地层沉积厚度大,成藏基础好于北部盆地群。北部盆地地层厚度薄,SDR特征明显,而南部盆地地层厚度大,马尔维纳斯盆地南部地层厚度最大可达7km,其成藏物质基础明显优于北部盆地。

(2)南部前陆盆地含油气系统均已证实,而北部盆地群几十口探井中,钻探地层包括古生界、中生界和新生代,均未证实有烃源岩存在,推测这些

盆地在主力烃源岩发育时期经历了短暂的沉积间断, 而错过了有利的时机。南部 3 个前陆盆地有井钻遇了下白垩统断拗转换期的烃源岩, 有机质丰度中等—好, 已达到成熟—高成熟演化阶段, 具有一定的生烃潜力。3 个盆地均已有油气发现, 含油气系统已得以证实。

(3) 南部前陆盆地大型构造圈闭发育, 更易于形成大型油气田。前陆盆地受到西侧和南侧双重俯冲挤压作用, 在基底卷入的逆断层之上形成了众多褶皱构造, 是构造圈闭发育的有利区, 油气在这些构造内聚集成藏形成了诸多大中型油气田。而北部被动陆缘盆地构造活动弱, 断层不发育, 构造圈闭不发育, 同时, 岩性圈闭也缺乏深大断裂沟通成熟烃源岩, 成藏风险较高。

在南部麦哲伦、圣豪尔赫和马尔维纳斯 3 个前陆盆地中, 含油气系统均有井证实。麦哲伦盆地勘探程度较高, 且盆地海域大部分区域已被外方公司占据, 搜索剩余构造圈闭难度较大, 新机会较少。圣豪尔赫盆地海域含油气系统证实, 但海域储层受到凝灰岩发育的影响, 储层薄, 横向连续性差, 且缺乏形成大型构造圈闭的条件, 整体认为潜力小, 风险大。相对而言, 马尔维纳斯盆地勘探程度较低, 最大沉积厚度超过 7 km, 具备成藏的物质基础, 并且盆地含油气系统已有钻井证实。

马尔维纳斯盆地探井仅 17 口, 已有油气发现可采储量为 $1.75 \times 10^7 \text{ m}^3$, 天然气占 94%, 待发现资源量为 $2.07 \times 10^7 \text{ m}^3$ 。已有钻井揭示下白垩统海相泥岩, 厚度可达 150 m, TOC 为 3%~8%, II 型干酪根。在盆地南部该套烃源岩已成熟, 晚白垩世开始生烃, 中新世达到生烃高峰。该盆地已发现油气储层为下白垩统海陆过渡相 Springhill 组砂岩, 主要分布在盆地中南部, 厚度可达 100 m, 储集物性好^[5,30], 孔隙度为 14%~30%, 渗透率为 $(15 \sim 300) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 最高 $2\,250 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 但储层横向非均质性强。除此之外, 还有古生界基底古潜山砂岩、中白垩统砂岩、古近系海底扇砂体等潜在储层。盆地的圈闭类型以地层圈闭和挤压背斜构造圈闭为主。根据生烃灶分布范围和储层分布区带初步分析后推测, 盆地中南部为有利构造带, 或许将成为阿根廷未来的勘探热点。

5 结论与建议

(1) 阿根廷经历了“古生代地块拼合—中生代 2

次解体—新生代俯冲”的构造演化过程, 形成了现今“西前陆—东被动陆缘”的盆地分布格局。三叠纪—晚侏罗世冈瓦纳大陆解体, 南美和非洲板块与南极、澳大利亚板块分离, 东南角 Weddell 海形成, 阿根廷发育了 NNW—SSE 走向的陆内裂谷盆地; 早白垩世, 南大西洋自南向北打开, 南美板块与非洲板块裂离, 在东部海域形成一系列被动大陆边缘盆地; 晚白垩世, 安第斯带的挤压构造活动开始, 在中新世—上新世达到高峰期, 形成了西部陆上一系列弧后前陆盆地。

(2) 阿根廷海域 13 个盆地以 Malvinas-Agulhas-Falkland 走滑断裂带为界划分为北部 6 个盆地和南部 7 个盆地, 通过南北盆地差异性分析认为南部盆地成藏条件和勘探潜力均优于北部盆地。

(3) 通过对南部 3 个前陆盆地勘探程度、地层特征以及成藏条件对比分析, 初步优选出南部马尔维纳斯前陆盆地为剩余有利勘探区。马尔维纳斯盆地具有较好的成藏物质基础, 该盆地中南部为有利构造带, 此区域值得进一步开展相关研究工作, 或将成为阿根廷未来的勘探热点。

参考文献:

- [1] 朱伟林, 白国平, 胡根成, 等. 南美洲含油气盆地[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 48-120.
- [2] YRIGROYEN M R. The history of hydrocarbons exploration and production in Argentina[J]. *Journal of Petroleum Geology*, 1993, 16(4): 371-382.
- [3] IHS Energy Group. International petroleum exploration and production database[DB]. IHS Energy Group, 2021.
- [4] 周晓东, 李晓. 智利南部麦哲伦盆地油气勘探前景及投资环境分析[J]. *中外能源*, 2007, 12(6): 25-30.
- [5] Tellus. Exploration opportunity screening southern Atlantic[DB]. Fugro Robertson Limited, 2007.
- [6] MILLER H, ADAMS C, ACENOLAZA F G, et al. Evolution of exhumation and erosion in western West Gondwanaland as recorded by detrital zircons of late Neoproterozoic and Cambrian sedimentary rocks of NW and Central Argentina[J]. *International Journal of Earth Sciences*, 2011, 100: 619-629.
- [7] MACDONALDA D, GOMEZ-PEREZA I, FRANZESE J, et al. Mesozoic break-up of SW Gondwana: implications for regional hydrocarbon potential of the southern South Atlantic[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2003, 20: 287-308.
- [8] KONIG M, JOKAT W. The Mesozoic breakup of the Weddell Sea[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2006, 111: 1-28.
- [9] MARKSI K M, STOCK J M. Evolution of the Malvinas Plate South of Africa[J]. *Marine Geophysical Researches*, 2001, 22: 289-302.
- [10] FRANKE D, NEBEN S, LADAGE S, et al. Margin segmenta-

- tion and volcano-tectonic architecture along the volcanic margin off Argentina/Uruguay, South Atlantic[J]. *Marine Geology*, 2007, 244: 46-67.
- [11] FITZGERALD M G, MITCHUM R M, ULIANA M A, et al. Ecolution of the San Jorge Basin, Argentina[J]. *AAPG Bulletin*, 1990, 74(6): 879-920.
- [12] 据亮, 张光亚, 温志新, 等. 南美西部次安第斯弧后前陆盆地分段特征[J]. *新疆石油地质*, 2011, 32(4): 431-441.
- [13] SCHWARTZ T M, FOSDICK J C, GRAHAM S A. Using detrital zircon U-Pb ages to calculate Late Cretaceous sedimentation rates in the Magallanes-Austral Basin, Patagonia[J]. *Basin Research*, 2017, 29: 725-746.
- [14] RODRIGUEZ J F R, LITTKER R. Petroleum generation and accumulation in the Golf San Jorge Basin, Argentina: a basin modeling study[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2001, 18: 995-1028.
- [15] BERNHARDT A, JOBE Z R, LOWE D R. Stratigraphic evolution of a submarine channelelope complex system in a narrow fairway within the Magallanes foreland basin, Cerro Toro Formation, southern Chile[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2011, 28: 785-806.
- [16] BARISTEAS N, ANKA Z, PRIMIO R D, et al. New insights into the tectono-stratigraphic evolution of the Malvinas Basin, offshore of the southernmost Argentinean continental margin[J]. *Tectonophysics*, 2013, 604: 280-295.
- [17] TASSONE A, LODOLO E, MENICHETTI M, et al. Seismostratigraphic and structural setting of the Malvinas Basin and its southern margin (Tierra del Fuego Atlantic offshore) [J]. *Geologica Acta*, 2008, 6(1): 55-67.
- [18] BEILINSON E, GASPARINI G M, TOMASSINI R L, et al. The Quequen Salado river basin: geology and biochronology of the Mio-Pliocene boundary in the southern Pampean plain, Argentina[J]. *Journal of South American Earth Sciences*, 2017, 76: 362-374.
- [19] ZAHID K M, BARBEAU D L. Provenance of eastern Magallanes foreland basin sediments: heavy mineral analysis reveals Paleogene tectonic unroofing of the Fuegian Andes hinterland[J]. *Sedimentary Geology*, 2010, 229: 64-74.
- [20] SYLWAN C A, RODRÍGUEZ J F, STRELKOV E E. Petroleum systems of the Golfo San Jorge Basin, Argentina[C]//*Instituto Argentino del Petróleo y del Gas*, 2008: 53-77.
- [21] 田纳新, 陈文学, 殷进垠, 等. 安第斯山前典型前陆盆地油气成藏特征及主控因素[J]. *新疆石油地质*, 2011, 32(6): 692-695.
- [22] 汪伟光, 童晓光, 张亚雄, 等. 南大西洋重点被动大陆边缘盆地油气地质特征对比[J]. *海外勘探*, 2012, 3: 62-69.
- [23] 谢寅符, 赵明章, 杨福忠, 等. 拉丁美洲主要沉积盆地类型及典型含油气盆地石油地质特征[J]. *海外勘探*, 2009, 1: 65-73.
- [24] 田纳新, 姜向强. 南美重点盆地油气地质特征及资源潜力[J]. *石油实验地质*, 2017, 39(6): 825-833.
- [25] 田纳新, 姜向强, 惠冠洲. 阿根廷圣豪尔赫盆地油气成藏特征及有利区预测[J]. *石油实验地质*, 2015, 37(2): 205-210.
- [26] UMAZANO A M, BELLOSI E S, VISCONTI G, et al. Mechanisms of aggradation in fluvial systems influenced by explosive volcanism: an example from the Upper Cretaceous Bajo Barreal Formation, San Jorge Basin, Argentina[J]. *Sedimentary Geology*, 2008, 203: 213-228.
- [27] 田纳新, 惠冠洲, 姜向强, 等. 阿根廷重点盆地油气资源潜力评价[J]. *石油地质与工程*, 2014, 28(4): 1-6.
- [28] 马中振, 谢寅符. 南美西缘前陆盆地油气差异聚集及控制因素分析[J]. *石油实验地质*, 2014, 36(5): 597-604.
- [29] NAVARRETE C R, GIANNI G M, FOLGUERA A. Tectonic inversion events in the western San Jorge Gulf Basin from seismic, borehole and field data[J]. *Journal of South American Earth Sciences*, 2015, 64: 486-497.
- [30] FOSCHI M, CARTWRIGHT J A. South Malvinas/Falkland Basin: hydrocarbon migration and petroleum system[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2016, 77: 124-140.

Comparative studies of petroleum geological conditions in key basins offshore Argentina and exploration recommendations

XU Xiaoming, ZHANG Yingde, RAO Yong, WANG Wei, GAI Haiyang
(CNOOC Research Institute Ltd., Beijing 100028, China)

Abstract: Argentina is rich in oil and gas resources and superior in fiscal and tax terms. Large foreign oil companies and Chinese oil companies cooperate with Argentina in oil and gas exploration, which is suitable for China's overseas oil and gas exploration investment. The 13 basins in the Argentine offshore can be divided into the southern basin group and the northern basin group by transformation faults. The southern basins gradually evolved into foreland basin on the basis of the early rift basin, while the northern basins gradually evolved into passive continental margin basin on the basis of the early rift basin. Due to different basin types and tectonic evolution, the northern and southern basins have different characteristics in structural characteristics, sedimentary characteristics and hydrocarbon accumulation conditions. We have known more and more about the petroleum geological conditions of the Argentine offshore basins through the comparison research on tectonic evolution, hydrocarbon, reservoir, seal, trap and hydrocarbon distribution features of the northern and southern basins. The study shows that the petroleum geological conditions in southern foreland basins are better than the northern passive continental margin basins. Further analysis indicates that the Malvinas Basin has relatively good exploration potential because of its lower exploration degree, proven petroleum system. It is assumed that the central and southern part of Malvinas Basin with favorable structural belts, may be the petroleum exploration focus in the future.

Key words: Argentina offshore; foreland basin; comparison of structure characteristics; petroleum geological conditions; exploration direction