

文章编号:0253-9985(2013)01-0112-08

南美板块北部边界作用对其含油气盆地的影响

程小岛^{1,2}, 李江海^{1,2}, 高危言^{1,2}

(1. 北京大学 地球与空间科学学院, 北京 100871; 2. 北京大学 石油与天然气研究中心, 北京 100871)

摘要:对比分析了南美板块北部演化史及其典型含油气盆地——马拉开波盆地和东委内瑞拉盆地的发育史,认为当南美板块北部早期处于被动陆缘发育阶段时,其含油气盆地沉积了优质的海相烃源岩;后期加勒比板块相对南美板块自西向东斜向俯冲,使南美北部盆地不同阶段演化时间具有先后顺序,即西部盆地构造演化先于东部盆地,盆地油气的成熟、运移和成藏也相应地具有一定的先后次序性。俯冲带来大量碎屑充填的前陆楔状体,为油气提供了良好的储层,油气沿挤压应力方向和俯冲产生的多种断层自北向南运移,并最终保存在构造圈闭中。此外,加勒比板块的斜向俯冲,使北部的逆冲断层兼具走滑性质,同时发育大量滑移断层,对油气的后期破坏较弱,有利于南美北部的油气保存。

关键词:构造演化;斜向俯冲;马拉开波盆地;东委内瑞拉盆地;南美板块北部

中图分类号:TE121.1

文献标识码:A

Impact of the northern South America Plate boundary evolution upon petroliferous basins

Cheng Xiaodao^{1,2}, Li Jianghai^{1,2} and Gao Weiyan^{1,2}

(1. School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China;

2. Institute of Oil and Gas, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: This article correlated the evolution history of the northern South America Plate and its typical petroliferous basins (Maracaibo Basin and East Venezuela Basin). In the early of evolution, the northern South America Plate was in the passive margin stage when quality marine source rocks were deposited in these petroliferous basins. In the late of evolution, the east-to-west oblique subduction of the Caribbean Plate under the South American Plate resulted in the sequential tectonic evolution of the petroliferous basins in northern South America. i. e. tectonic evolution of the basin in the west was prior to that in the east. Correspondingly, the generation, migration and accumulation of hydrocarbons obeyed similar order to that of basins. The subduction resulted in the formation of many clastic-filled wedges, which are wonderful reservoirs. Hydrocarbons migrated from north to south along compression stress direction and faults and were eventually preserved within structural traps. Moreover, the oblique character of subduction brought certain strike-slip properties to the thrust faults. Many strike-slip faults were developed and imposed little late damages to the accumulation of oil and gas, leading to better preserve conditions for the oil and gas in northern South America.

Key words: tectonic evolution, oblique subduction, Maracaibo Basin, East Venezuela Basin, northern South America Plate

南美洲的油气资源一向为世界瞩目的焦点,自1990年至2010年底,南美石油已探明储量从占

全球石油储量7.1%上升到17.3%,其中截止2010年底,南美北部委内瑞拉地区石油已探明储

收稿日期:2012-05-07;修订日期:2012-11-27。

第一作者简介:程小岛(1988—),女,硕士研究生,石油地质。

基金项目:国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(2009CB219302)。

量占南美地区总储量的 88.89%^[1],同时,南美北部发育目前世界上最大的重油聚集区奥里诺科重油带,可采储量约 $500 \times 10^8 \text{ t}$ ^[2]。一般认为,未来若干年内,南美洲将会是极具油气潜力的地区。

南美北部丰富的油气资源,主要分布在前陆盆地中,以东委内瑞拉盆地(East Venezuela Basin)和马拉开波盆地(Maracaibo Basin)最为典型。谢寅符、白国平和叶德燎等对南美洲盆地进行分类,对比了南美洲各类盆地储量,认为南美洲油气资源的分布极不均一,主要分布在次安第斯前陆盆地地区、北部墨西哥湾沿岸地区和巴西东海岸被动边缘盆地中,并总结了主要含油气盆地的石油地质特征^[3~10]。穆龙新和徐文明等研究了东委内瑞拉盆地和马拉开波盆地的石油地质特征和成藏条件,并分析其勘探开发潜力^[5,11]。本文主要从板块边界作用和盆地演化的角度,对比两个典型盆地的发育史,同时结合两个盆地的构造特征及石油地质特征,分析南美板块北部边界活动对油气资源富集的影响。

1 区域地质概况

南美板块北邻加勒比板块(Caribbean Plate),

西邻科科斯板块(Cocos Plate)和纳兹卡板块(Nazca Plate),主要发育弧间盆地、前陆盆地和拉分盆地3种类型的盆地^[8,10]。弧间盆地主要有上(中、下)马格达雷那盆地(Upper/Middle/Lower Magdalena Basin);前陆盆地自西向东包括:马拉开波盆地、亚诺斯-巴雷纳斯盆地(Llanos-Barinas Basin)和东委内瑞拉盆地;拉分盆地自西向东包括:瓜希腊盆地(Guajira Basin)、法尔肯盆地(Falcon Basin)、邦纳尔盆地(Bonaire Basin)和多巴哥盆地(Tobago Basin)(图1)。

白垩纪末至新近纪,太平洋板块向南美大陆俯冲,科迪勒拉山脉(Cordillera)迅速隆升,在南美西北部哥伦比亚境内分为3个分支,即东科迪勒拉山、中科迪勒拉山和西科迪勒拉山,在分支山脉之间及两侧发育北北东向分布的弧间盆地^[10]。古新世,加勒比板块向南美板块斜向俯冲,在南美板块北部地区形成重要的两组断裂系:①东西向南加勒比变形带,可以理解为加勒比板块向南美板块俯冲而成的增生楔^[16],变形带上发育叠瓦式逆冲断层,呈海湾状展布;②东西向右旋走滑断层系(如El Pilar断层),以该断层系为界,北部发育拉分盆地,南部发育前陆盆地。

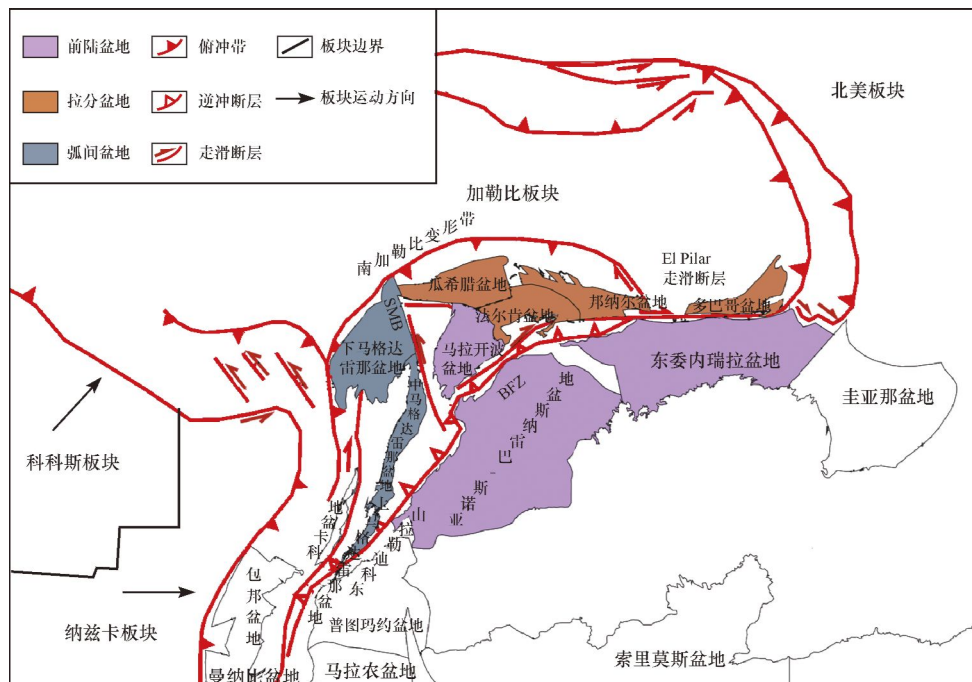


图1 南美北部构造及盆地类型分布(已修改)^[12~15]

Fig. 1 Distribution of structures and sedimentary basins in northern South America

SMB. Santa Marta-Bucaramanga 走滑断层;BFZ. Bocono 走滑断层

表 1 南美北部主要含油气盆地可采储量

盆地名称	盆地类型	石油可采储量/(10 ⁶ 桶)	天然气可采储量/(10 ⁶ m ³)	油气可采储量/(10 ⁶ 桶)
东委内瑞拉盆地	前陆盆地	77 514. 73	23 219. 22	100 733. 95
马拉开波盆地	前陆盆地	64 257. 41	11 650. 88	75 908. 29
亚诺斯-巴雷纳斯盆地	前陆盆地	8 303. 72	1 541. 82	9 845. 54
中马格达雷那盆地	弧间盆地	2 669. 20	633. 03	3 302. 23
多巴哥盆地	拉分盆地	45. 74	2 062. 59	2 108. 33
上马格达雷那盆地	弧间盆地	1 104. 18	209. 72	1 313. 90
下马格达雷那盆地	弧间盆地	83. 53	353. 52	437. 05

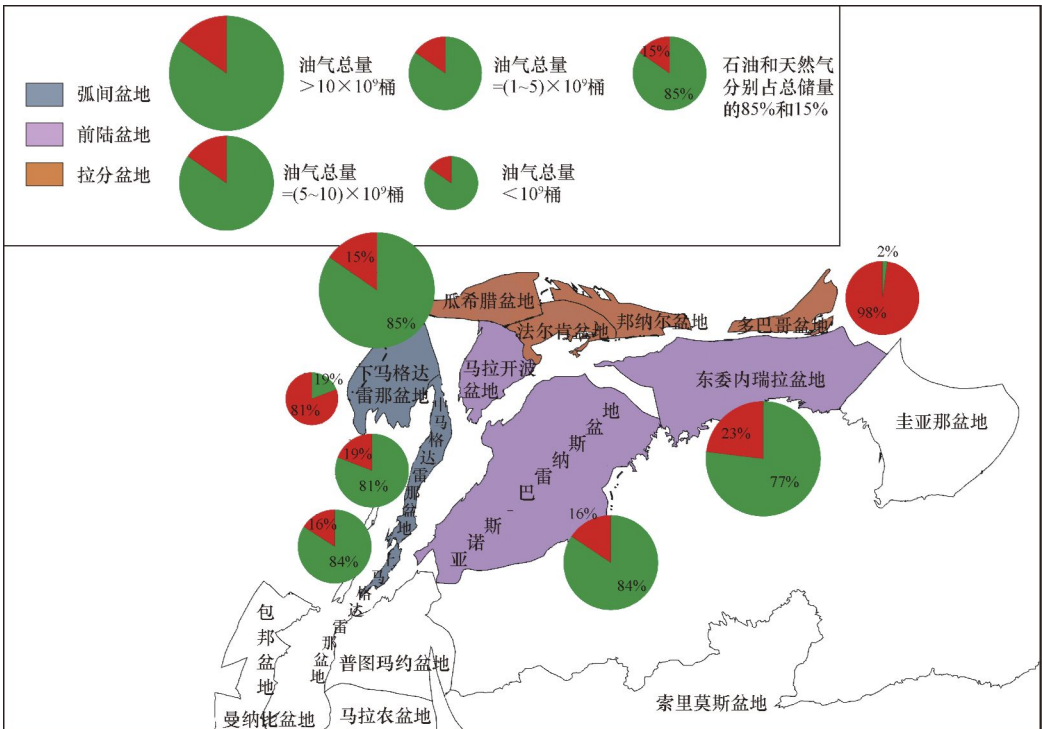


图 2 南美北部含油气盆地储量规模和油气结构

Fig. 2 Scales and structures of reserves in the petroliferous basins of northern South America

南美北部油气资源主要分布在前陆盆地中,其中东委内瑞拉盆地和马拉开波盆地油气资源最为集中。弧间盆地虽有油气分布,但储量远不及前陆盆地。而拉分盆地中仅有少量油气分布,集中在多巴哥盆地(表 1;图 2)。

2 构造演化与马拉开波、东委内瑞拉盆地发育

2.1 南美板块北部构造演化史

南美板块北部的演化主要分为两个阶段(图

3):①中生代裂谷和被动陆缘发育阶段;②新生代加勒比板块沿南美北缘自西向东斜向运动阶段^[17]。

早侏罗世,北美、墨西哥、尤卡坦板块(Yucatan Plate)以及古巴和非洲的部分构成泛大陆的一部分。随后泛大陆裂解,南北美板块分离,至晚侏罗世南北美板块之间形成了宽 1 800 km 的原加勒比海(Proto-Caribbean seaway)^[18-20]。白垩纪,整个南美板块北部都处于被动陆缘发育阶段,此时沉积了广阔的碳酸盐岩台地和海相页岩,这些细粒且高有机质含量的碳酸盐岩和页岩成为南美北部最主要的优质烃源岩^[21-22]。古新世时期,加勒比

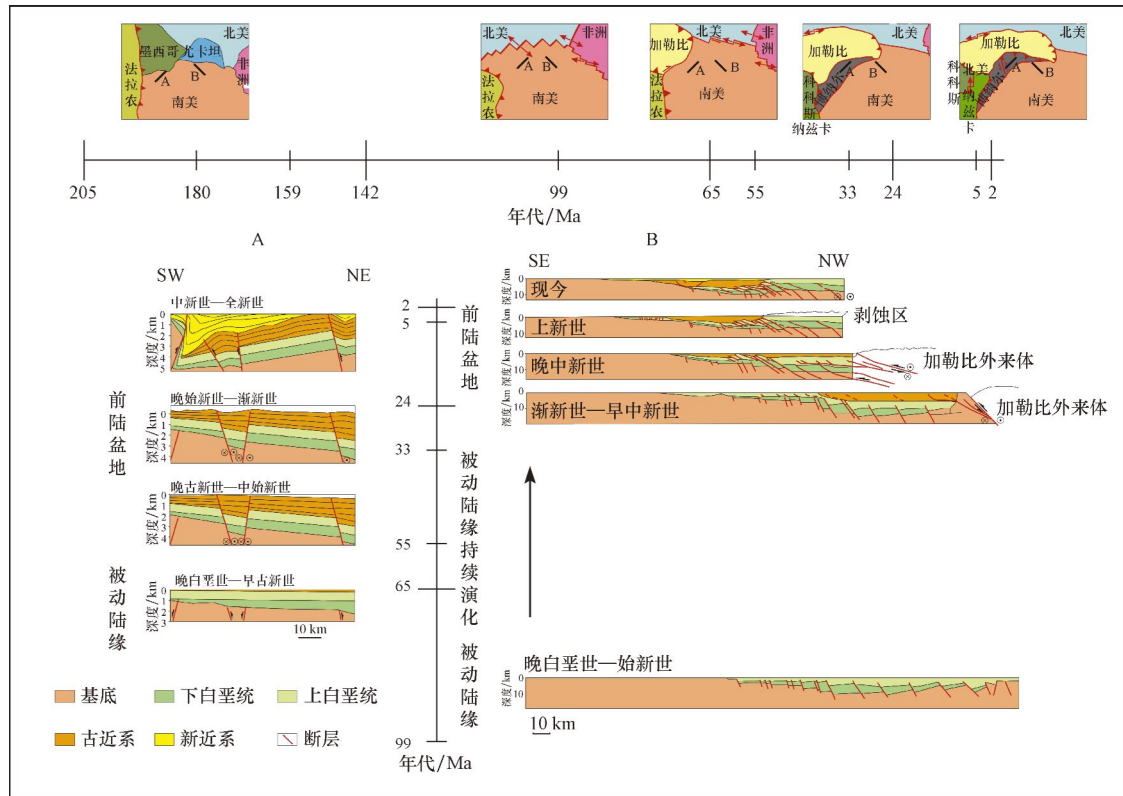


图3 南美板块北部构造演化与马拉开波盆地(A)、东委内瑞拉盆地(B)演化对比^[16,24] (己修改)

Fig.3 Evolution correlation of the northern South America Plate with the Maracaibo Basin (A) and the East Venezuela Basin (B)^[16,24]

板块开始北东向运动,直至始新世与北部古巴板块相撞,变为向东运动^[16]。随着加勒比板块开始向南美板块俯冲,马拉开波盆地结束被动陆缘阶段进入前陆盆地阶段,开始接受前陆盆地相碎屑岩沉积^[22]。到晚渐新世,东委内瑞拉盆地也进入前陆盆地阶段,并沉积了近 3 000 m 的巨厚碎屑岩。

加勒比板块持续东移,沿加勒比和南美板块边缘形成一系列盆地,自西向东盆地越来越年轻。

2.2 盆地构造演化史

马拉开波盆地与东委内瑞拉盆地发育历史类似,都经历了3个阶段,即裂谷阶段、被动陆缘沉积阶段和前陆盆地阶段。

2.2.1 马拉开波盆地演化史(图3A)

裂谷阶段(晚侏罗世),主要发育北—北东向线性正断层控制的箕状地堑^[23-24]。

被动陆缘沉积阶段(白垩纪),全盆地接受台

地相碳酸盐岩沉积,构造变形不发育,热沉降贯穿始终。此阶段沉积碳酸盐岩厚度的变化及分布受控于下伏前白垩纪构造,如位于盆地东南的梅里达(Merida)穹隆的基底地形^[15]。

前陆盆地阶段,晚白垩世至早古新世,纳兹卡板块与西哥伦比亚的弧—陆碰撞,使科迪勒拉山脉隆升,结束了马拉开波盆地被动边缘环境。晚古新世至早始新世,加勒比板块向南美板块的斜向俯冲,标志着马拉开波盆地进入前陆盆地发育阶段,受俯冲影响,在盆地北部和东北部沉积向西增厚的河流—三角洲碎屑楔状体,成为全盆最主要的储层。同时,盆地北部和东北部的烃源岩达到生油窗,并沿活化的侏罗纪北—北东向走滑断层向上向南运移。始新世中期,斜向碰撞引起的缩短导致加勒比推覆体前缘逆冲侵位。随着缩短量的增加,到晚始新世至渐新世,盆地抬升并大部暴露于地表遭受剥蚀,形成区域性的不整合。自新近纪以来,大规模的挤压作用引起西北部佩里哈山脉(Sierra de Perija)和东南部梅里达安第斯山脉

(Merida Andes) 的隆升,形成马拉开波向斜,盆地沉积中心移至中南部,中南部的烃源岩达到生烃高峰,并向北运移^[22]。

2.2.2 东委内瑞拉盆地演化史(图3B)

裂谷阶段(晚侏罗世—早白垩世),裂谷初期并未发生重大快速的沉降作用,主要的构造形式是剪切断裂,并没有大规模拉张作用^[25-28]。

被动陆缘沉积阶段(晚白垩世—始新世),整个东委内瑞拉盆地沉积了富含有机质的海相页岩、石灰岩和燧石等,为这一阶段最大海侵的沉积

产物,沉积厚度由北向南逐渐减薄,北部最厚沉积接近5 km^[25-28]。与马拉开波盆地相同,该时期沉积的海相碎屑岩是全盆最重要的烃源岩。

前陆盆地阶段(晚渐新世—现今),盆地主要受走向滑动和挤压-扭压滑动作用。加勒比板块相对南美板块持续向东运动,使盆地北部地区持续构造变形至今。构造表现为雁列背斜、南西-北东向逆断层和北西-南东向滑移断层^[9]。垂向上,盆地内沉积由海相页岩和碳酸盐岩,变为厚层的三角洲-河流相砂岩,该厚层砂岩是油气聚集的良好场所。

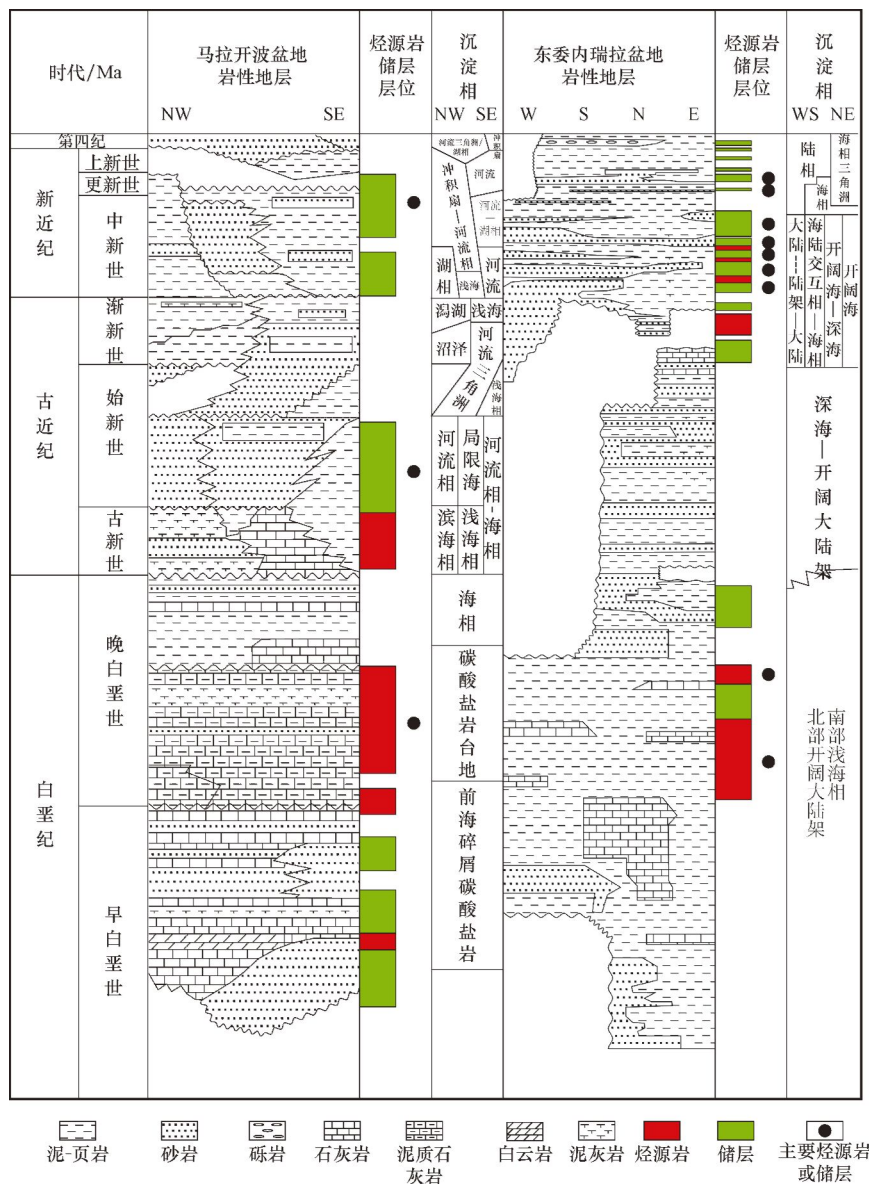


图4 马拉开波盆地与东委内瑞拉盆地烃源岩时代与储层时代对比柱状图^[17,22] (已修改)

Fig. 4 Source rock age and reservoir age correlations between the Maracaibo Basin (left) and the East Venezuela Basin (right) ^[17,22]

2.3 盆地构造演化对比

马拉开波盆地与东委内瑞拉盆地的发育历史,与南美板块北部演化史相吻合;由于马拉开波盆地地理位置位于东委内瑞拉盆地西侧,所以马拉开波盆地不同阶段演化起始时间、烃源岩成熟、油气运移及成藏等各个阶段都先于东委内瑞拉盆地。

南美板块北部被动陆缘阶段沉积广阔的碳酸盐岩台地和海相页岩,成为两个盆地的优质烃源岩,是油气生成的良好先天条件。南美板块受加勒比板块碰撞以来,在马拉开波盆地和东委内瑞

拉盆地北部沉积向南减薄的河流-三角洲相碎屑岩,是主要的油气储层。

烃源岩的成熟度受盆地构造演化影响,北部先于南部达到生油窗。油气运移的方向受构造制约,主要沿挤压应力方向运移。油气运移的通道主要为逆冲断层、逆冲相关的走滑断层以及不整合面,油气垂向或向盆内运移。加勒比板块运动方向由北东转为东,使南美北部逆冲断层兼具走滑性质,同时发育大量滑移断层,大大削弱了对油气的破坏作用,使两个盆地的油气在后期得以较好保存。

东委内瑞拉盆地的演化仅受加勒比板块斜向

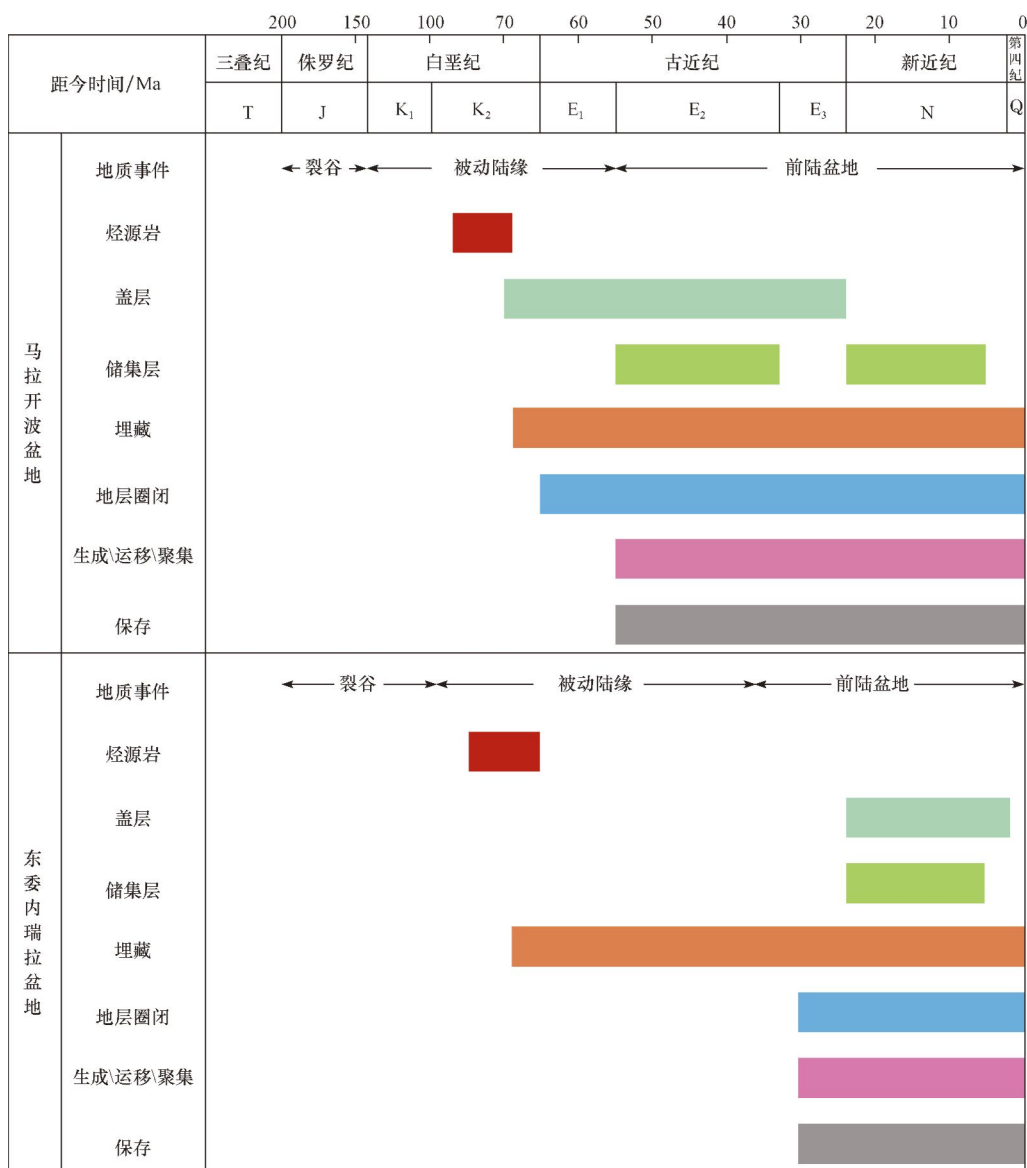


图5 马拉开波盆地与东委内瑞拉盆地油气系统对比^[2] (已修改)

Fig. 5 Petroleum system chart of the Maracaibo Basin and the East Venezuela Basin^[2]

俯冲的影响,只发育一套油气系统。马拉开波盆地的演化史较东委内瑞拉盆地更为复杂,除受加勒比板块作用影响外,新近纪佩里哈山脉和梅里达安第斯山脉的隆升,使早期构造发生倒转,盆地南部成为新的沉积中心,南部烃源岩开始成熟、运移,形成第二套油气系统。

3 盆地石油地质特征

马拉开波盆地与东委内瑞拉盆地的主力烃源岩均为晚白垩世被动陆缘沉积阶段形成的海相页岩和碳酸盐岩,属Ⅱ型干酪根,总有机碳含量高,平均有机碳含量达2%~6%^[12](图4)。此时期沉积的页岩和碳酸盐岩也是南美北部大多数含油气盆地的烃源岩。

两盆地的储层均为前陆盆地时期沉积的碎屑岩地层,马拉开波盆地的油气主要集中在始新统和中新统河流相储集层中,东委内瑞拉盆地则是渐新统和中新统陆相-海陆交互相储层油气最富集(图4)。

马拉开波盆地东北部深埋的烃源岩最早于古新世达到生油窗,到晚始新世-渐新世已生成绝大部分油气。中新世后,沉积中心由东北部转为中南部,盆地烃源岩达到第二个生烃高峰。东委内瑞拉盆地烃源岩成熟较晚,中新世时盆地由北向南依次进入生油窗(图5)。

4 结论

油气的生成、运移和保存都与盆地的发育密切相关,大型油气藏的形成受控于盆地的演化以及板块边界的运动。结合南美板块北部边界作用和马拉开波盆地、东委内瑞拉盆地演化史,认为南美北部的油气富集可能有以下几点因素:

1) 白垩纪,南美板块北部处于被动陆缘发育时期,所沉积的深水页岩和浅水碳酸盐岩为烃源岩的最主要来源。古新世开始,随着加勒比板块北东-东向运动,南美北部边界由离散型变为聚敛型,马拉开波盆地和东委内瑞拉盆地依次进入前陆盆地发育时期,马拉开波盆地东北部和东委内瑞拉盆地北部沉积了碎屑充填的河流-三角洲前陆楔状体,是良好的储集层。

2) 油气的生成运移受盆地构造演化影响,南

美北部烃源岩由北向南依次进入生油窗,油气的运移受构造制约,沿挤压应力方向,沿正断层、逆断层、走滑断层及区域不整合面向上或向南运移至储层。

3) 由于加勒比板块相对南美板块斜向俯冲,使北部的逆冲断层兼具走滑性质,同时发育大量滑移断层,削弱了对油气的破坏作用,有利于南美北部油气的后期保存。

4) 加勒比板块自西向东运动,使南美北部含油气盆地不同阶段演化时间具有先后顺序,西部盆地的演化先于东部盆地,因此盆地油气的成熟、运移和成藏也具有一定的先后次序性。

参 考 文 献

- [1] British Petroleum. BP Statistical Review of World Energy[R]. 2011. <http://www.bp.com>.
- [2] 穆龙新,韩国庆,徐宝军. 委内瑞拉奥里诺科重油带地质与油气资源储量[J]. 石油勘探与开发, 2009, (36) 6: 784 - 789.
Mu Longxin, Han Guoqing, Xu Baojun. Geology and reserve of the Orinoco heavy oil belt, Venezuela[J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(6): 784 - 789.
- [3] Mann P, Gahagan L, Gordon M B. Tectonic setting of the world's giant oil and gas fields//[C]. Halbouty M T. Giant oil and gas fields of the Decade 1990-1999. Tulsa: AAPG Memoir, 2003, 78: 15 - 105.
- [4] 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]. 中国石油勘探, 2009 (1): 65 - 73.
Xie Yinfu, Zhao Mingzhang, Yang Fuzhong, et al. Primary types of sedimentary basins and petroleum geological characteristics of typical basins in Latin America[J]. China Petroleum Exploration, 2009 (1): 65 - 73.
- [5] 甘克文. 世界含油气盆地地图说明书[M]. 北京: 石油工业出版社, 1992: 1 - 109.
Gan Kewen. An Explication for the sedimentary basin and Petroleum distribution map of the World[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1992: 1 - 109.
- [6] 李国玉, 金之钧. 世界含油气盆地图集[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005: 669 - 735.
Li Guoyu, Jin Zhijun. World atlas of oil and gas basins[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2005: 669 - 735.
- [7] 白国平, 秦养珍. 南美洲含油气盆地和油气分布综述[J]. 现代地质, 2010, (24) 6: 1102 - 1111.
Bai Guoping, Qin Yangzhen. Synopsis of petroliferous basins and petroleum distribution in South America[J]. Geoscience, 2010, (24) 6: 1102 - 1111.
- [8] 叶德燎, 徐文明, 陈荣林. 南美洲油气资源与勘探开发潜力

- [J]. 中国石油勘探, 2007(2): 70-75.
- Ye Deliao, Xu Wenming, Chen Ronglin. Oil-gas resources and exploration and development potential of South Africa[J]. China Petroleum Exploration, 2007(2): 70-75.
- [9] 吴因业, 邹才能, 胡素云, 等. 全球前陆盆地层序沉积学新进展[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(4): 606-614.
- Wu Yinye, Zou Caineng, Hu Suyun, et al. New advances in sedimentology and sequence stratigraphy of foreland basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(4): 606-614.
- [10] 杨福忠, 魏春光, 尹继全, 等. 南美西北部典型含油气盆地构造特征[J]. 大地构造与成矿学, 2009, (33)2: 230-235.
- Yang Fuzhong, Wei Chunguang, Yin jiquan, et al. Structural characteristics of typical oil-bearing basins in Northwest of South America[J]. Geotectonica Et Metallogenia, 2009, (33) 2: 230-235.
- [11] 徐文明, 叶德燎, 陈荣林. 委内瑞拉油气资源及勘探开发潜力分析[J]. 石油实验地质, 2005, (7)5: 473-477.
- Xu Wenming, Ye Deliao, Chen Ronglin. Analysis on the Potential of Hydrocarbon Resources and Exploration and Production in Venezuela[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, (7) 5: 473-477.
- [12] Monod B, Dhont D, Hervouët Y. Orogenic float of the Venezuelan Andes[J]. Tectonophysics, 2010, 490: 123-135.
- [13] Roure F, Colletta B, Tonit B D, et al. Within-plate deformations in the Maracaibo and East Zulia basins, western Venezuela[J]. Marine and Petroleum Geology, 1997, 14(2): 139-163.
- [14] Aitken T, Mann P, Escalona A, et al. Evolution of the Grenada and Tobago basins and implications for arc migration[J]. Marine and Petroleum Geology, 2011, 20: 235-258.
- [15] Mann P, Escalona A, Castillo M V. Regional geologic and tectonic setting of the Maracaibo supergiant basin, western Venezuela[J]. AAPG Bulletin, 2006, 90(4): 445-477.
- [16] Ladd J, Truchan M, Talwani M, et al. Seismic reflection profile across the southern margin of the Caribbean//[C]. Bonini W, Hargraves R, Shagam R. The Caribbean-South American plate boundary and regional tectonics. Geological Society of America Memoir. 1984, 162: 153-159.
- [17] Summaa L L, Goodman E D, Richardson M, et al. Hydrocarbon systems of Northeastern Venezuela: plate through molecular scale-analysis of the genesis and evolution of the Eastern Venezuela Basin[J]. Marine and Petroleum Geology, 2003, (20): 323-349.
- [18] Pindell J, Barrett S. Geological evolution of the Caribbean region: a plate tectonic perspective//[C]. Dengo G, Case J. The Caribbean region: The Geology of North America, Geological Society of America. 1990: 405-432.
- [19] Bartok P. Pre-breakup geology of the Gulf of Mexico-Caribbean: Its relation to Triassic and Jurassic rift systems of the region[J]. Tectonics, 1993, (12): 441-459.
- [20] Mann P. Caribbean sedimentary basins: Classification and tectonic setting from Jurassic to present//[C]. Mann P. Caribbean basins. Sedimentary basins of the world. Amsterdam: Elsevier Science. 1999, (4): 3-31.
- [21] Cooper M, Addison F, Alvarez R, et al. Basin development and tectonic history of the Llanos basin, Colombia//[C]. Tankard A, Suarez S, Welsink H. Petroleum basins of South America. AAPG Memoir, 1995, 62: 659-665.
- [22] Escalona A, Mann P. An overview of the petroleum system of Maracaibo Basin[J]. AAPG Bulletin, 2006, 90(4): 657-678.
- [23] Maze W. Jurassic La Quinta formation in the La sierra de perija, northwestern Venezuela: geology and tectonic environment of red beds volcanic rocks//[C]. Bonini W, Hargraves R, Shagam R. The Caribbean-South American plate boundary and regional tectonics. Geological Society of America Memoir, 1984, 162: 263-282.
- [24] Lugo J, Mann P. Jurassic-Eocene tectonic evolution of Maracaibo Basin, Venezuela//[C]. Tankard A, Suarez S, Welsink H. Petroleum basins of South America. Tuls: AAPG Memoir, 1995, 62: 699-725.
- [25] Erlich R, Barrett S. Petroleum geology of the Eastern Venezuela Basin//[C]. Macqueen R W, Leckie D A. Foreland basins and fold belts. Tuls: AAPG Memoir, 1992, 55: 341-362.
- [26] 蒋宜勤, 高岗, 柳广弟, 等. 塔城盆地石炭系烃源岩特征及其生烃潜力[J]. 石油实验地质, 2011, 33(4): 427-431.
- Jiang Yiqin, Gao Gang, Liu Guangdi, et al. Characteristics and hydrocarbon-generating potential of Carboniferous source rock in Tacheng Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(4): 427-431.
- [27] 李坤. 塔里木盆地卡塔克隆起古生界油气运移体系与成藏演化[J]. 石油实验地质, 2011, 33(4): 364-371.
- Li Kun. Hydrocarbon migration system and accumulation evolution in Paleozoic, Katake Uplift, Tarim Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(4): 364-371.
- [28] 顾忆, 赵永强, 贾存善, 等. 塔里木盆地阿瓦提坳陷油气资源潜力分析[J]. 石油实验地质, 2012, 34(3): 257-269.
- Gu Yi, Zhao Yongqiang, Jia Cunshan, et al. Analysis of hydrocarbon resource potential in Awati Depression of Tarim Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(3): 257-269.