

陆-陆碰撞对南亚地区油气的控制作用

吴义平,潘校华,田作基,法贵方,李富恒,侯平

(中国石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:南亚地区主体为印度板块,裂谷期(4 570~166 Ma)时为东冈瓦纳大陆的一部分,自晚侏罗世(166 Ma)经过从南向北的长距离漂移,从始新世(49 Ma)开始,该板块向欧亚板块俯冲,早-中中新世(16 Ma)至今喜马拉雅山脉和印度-缅甸山脉快速隆升,形成了5个构造单元。前晚白垩世板块北部被动边缘型沉积被破坏,而东、西两侧和南缘沉积遭受抬升剥蚀程度较小,油气保存条件较好,板块内部在裂谷期仅发生微弱的沉降,晚碰撞期烃源岩未成熟。油气主要富集在沿着印度板块边缘分布的被动大陆边缘、前陆盆地、弧前-弧后盆地和夭折裂谷系中,以中、新生代沉积为主,典型的油气运聚模式依次为复合砂体运聚模式、构造褶皱-冲断运聚模式、断-坳垂向运聚模式和断裂-岩性运聚模式。

关键词:陆-陆碰撞;构造演化;构造单元;运聚模式;油气富集规律;印度板块

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Control of continent-continent collision on hydrocarbon generation in South Asia

Wu Yiping, Pan Xiaohua, Tian Zuoji, Fa Guifang, Li Fuheng, Hou Ping

(1. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China)

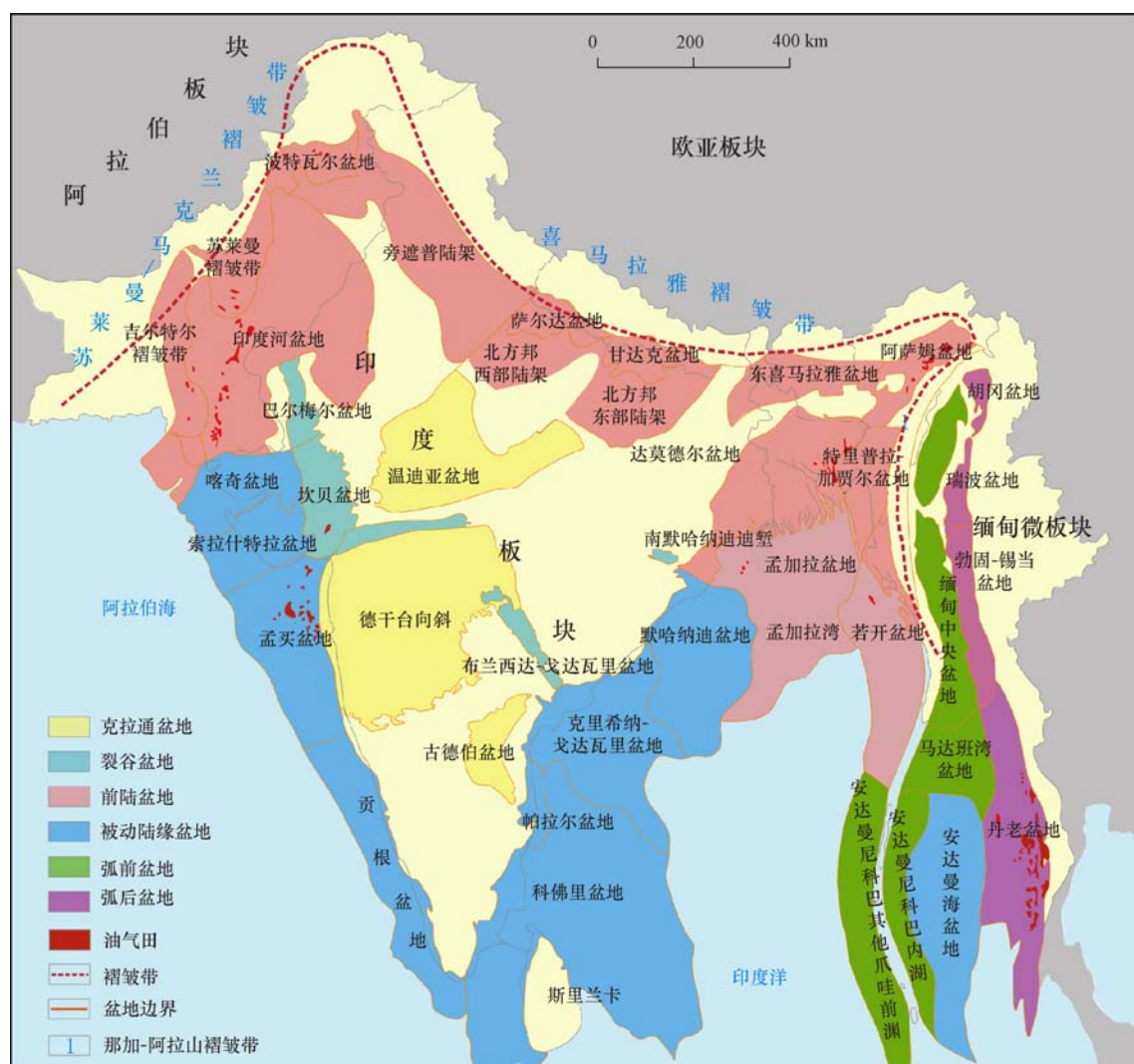
Abstract: The main body of the South Asian region is the Indian Plate, which was a part of the East Gondwanaland during the Rift Period (4570–166 Ma) and then drifted from south to north for a long distance after the Late Jurassic (166 Ma). Since the Eocene (49 Ma), the Plate began subducting towards the Eurasian Plate, causing the Himalayas and India-Myanmar Mountains rapidly uplifting from the Early Miocene (16 Ma) to the present and the formation of five tectonic units. The passive margin sedimentary in northern Indian Plate had been destroyed in the pre-Late Cretaceous, while the east, west and southern parts of the Plate were subjected only to minor elevation and denudation, therefore hydrocarbons there were better preserved. During the Rift Period, the interior of the Plate only experienced weak subsidence, and during the late Collision Period, hydrocarbon source rocks were immature. Hydrocarbons were mainly concentrated in the passive continental margin, the foreland basins, the fore/back arc basins and the aborted rift systems along the edge of the Indian Plate, with the Meso-Cenozoic sedimentary rocks as the main reservoirs. Typical hydrocarbon migration and accumulation patterns are thought to be the composite sandbody's pattern, fold-thrust pattern, the fault-depression pattern and the fault-lithological pattern.

Key words: continent-continent collision, tectonic evolution, tectonic unit, migration and accumulation pattern, hydrocarbon accumulation pattern, Indian Plate

南亚地区主体为印度板块,现今构造格局是由于侏罗纪以来印度板块向北快速漂移,并以低角度注入欧亚板块内所形成的^[1-3]。由于东、西两侧向北挤入的速度和距离均不相同,导致东西构造结外侧的物质大量向南逃逸,而产生走滑断裂活动和板块挤出及碰撞期岩浆成矿作用^[4]。喜马拉雅褶皱带的陆-陆碰撞模式是以收缩作用为主导的渐进式陆内变形演化模式^[5]。本文论述了该碰撞模式对南亚地区圈闭的形成、沉积体系和烃源岩的分布控制作用,提出了典型的油气运聚模式。

1 区域构造演化及分区

印度板块三面被阿拉伯板块、欧亚板块、缅甸微板块所包围,总面积约 $448 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。板块北部为喜马拉雅碰撞带,东西两面分别为苏莱曼-马克兰褶皱带、那加-阿拉山褶皱带(图1)。自晚元古代以来,印度板块经历了内克拉通裂谷阶段(裂谷期)、被动大陆边缘阶段(漂移期)、弧岛阶段(早碰撞期)和前陆阶段(晚碰撞期)4个演化阶段形成了49个沉积盆地。板

图1 南亚地区大地构造位置及沉积盆地和油气田分布^[6]Fig. 1 Geotectonic locations and distribution of sedimentary basins and oil & gas fields of South Asia^[6]

块内部多为元古宙克拉通沉积盆地和古生代裂谷沉积盆地,板块边缘则多为中、新生代沉积盆地,局部为新生代沉积盆地;板块北部、缅甸微板块为新生代沉积盆地。

1.1 裂谷期(4 570 ~ 166 Ma)

元古宙晚期,位于稳定的东冈瓦纳大陆(包括印度、澳大利亚、南极洲)的印度板块发生微弱但持续的沉降,主要沉积了白云岩、白云质砂岩、海绿石砂岩、有机质页岩和蒸发岩,在奥陶纪—石炭纪发生沉积间断。二叠纪—中、晚侏罗世冈瓦纳大陆开始分裂^[7],沿印度板块地壳薄弱地带发生差异性升降运动,形成了一些陆内裂谷。由于大规模的冰川活动,裂谷内沉积了海相冰碛地层,如波特瓦尔盆地和印度河盆地。板块西北部、板块东部地区下部为冰碛和冰水沉积的碎屑岩,上部为浅海相碎屑岩、灰岩和页岩,横向上在抬升区渐变为克拉通陆相沉积环境(图2)。

1.2 漂移期(166 ~ 49 Ma)

晚侏罗世—早白垩世,印度板块经历了从南半球

向北半球的长距离漂移,引起板块内部气候和沉积环境的变化,以火山活动为代表,其东侧边缘开始接受裂谷—漂移期的沉积。晚白垩世之前,板块北部处于北特提斯域的被动陆缘区,在板块西部陆棚沉积了白垩统 Sembar 组和 Goru 组海相泥岩和灰岩,东部陆棚则沉积了 Uttatur 群碳酸盐岩、砂岩和泥岩,该沉积环境持续到晚白垩世海退砂岩沉积。晚白垩世,特提斯洋逐渐闭合^[2],印度板块西部相对于主板块向南发生左旋剪切运动(图3),导致了西部裂谷的发育和夭折,从而形成坎贝盆地和喀奇地堑。此时在板块东部孟加拉湾海底开始形成,印度板块边界接受复理石沉积(图2)。

1.3 早碰撞期(49 ~ 16 Ma)

从始新世到中中新世,印度板块开始向欧亚板块俯冲^[3]。印度板块持续向北运动和逆时针旋转,在渐进式陆内变形模式作用下,在北部被动陆缘一侧形成近东西向朝南突出的弧形主碰撞带——喜马拉雅弧形褶皱带(图3),并发育一系列逆冲断裂^[2],向东斜向俯

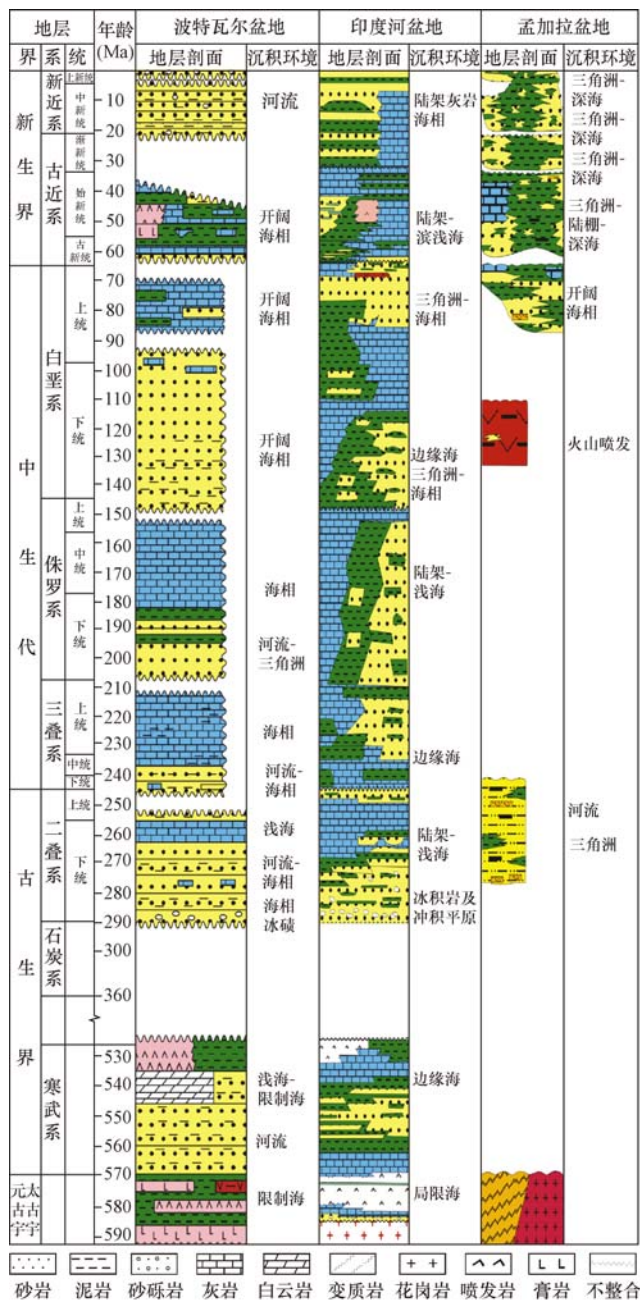


图2 南亚地区沉积剖面

Fig. 2 Sedimentary profiles of South Asia

冲到缅甸微板块之下,形成一条具向西逆冲堆叠造山极性的那加-阿拉山挤压转换造山带,向西斜向俯冲到阿拉伯板块之下形成阿莱曼挤压转换造山带^[5]。印度板块盛行的由南向北沉积物搬运方向发生反转,板块陆棚间歇性发生碳酸盐岩台地建造(图2)。沿着中缅地块消减带,海沟开始形成,发育一系列弧前-弧后盆地,早先的混合沉积被页岩和灰岩所替代。印度板块西部边缘的微板块斜向聚合,导致逆冲断层和区域性隆起^[5],形成了一系列逆断层及压性花状构造,比如印度河盆地的 Jacobad 隆起和 Sargodha 隆起。

1.4 晚碰撞期(16~0 Ma)

早中新世到中中新世,喜马拉雅山脉和印度- 甸

山脉快速隆升,大量沉积物输入形成孟加拉和尼科巴冲积堆。晚中新世,沿着褶皱带汇聚的陆相沉积物超越碳酸盐岩建造。早上新世右旋走滑断裂作用显著,中缅地块的顺时针旋转(图3),近东西向挤压造山作用加强,形成逆断层和南北向狭长背斜构造(图3)。原印度河、Narmada 河、恒河、布拉马普特拉河、Megna 河、钦敦江和伊洛瓦底江发育广阔的三角洲(图2),部分三角洲至今仍然保持高速增长,在上新世-更新世后期形成了孟加拉湾深海扇^[8]。

2 构造演化对油气的控制作用

依据区域构造特点将南亚板块划分为5个构造区:陆内克拉通台地、被动陆缘区、夭折裂谷系、前陆盆地、弧前-弧后带(图1)。以收缩作用为主导的渐进式陆-陆碰撞模式控制了5个构造区圈闭的发育。裂谷期和漂移期在板块西部陆内裂谷中发育一系列伸展构造;早碰撞期在板块结合部位形成了一系列逆断层及压性花状构造;晚碰撞期在板块边缘厚层的中新统到上新统沉积楔形成各种重力滑脱构造,如滚动背斜和逆冲推覆构造。地层圈闭主要与岩礁、砂岩尖灭、地层不整合、海底扇朵体或斜坡水道复合体有关^[9],油气运移通道主要是深大断裂、逆冲断层、逆掩断层和连通砂体。

该碰撞作用对沉积体系的分布和油气运聚具有重要影响(表1)。印度板块北部的前晚白垩世被动边缘型沉积在碰撞期被破坏,而东西两侧和南缘受挤压碰撞影响小,被动陆缘型沉积则较厚,后期遭受抬升剥蚀程度较小,油气保存条件较好,板块内部在裂谷期仅发生微弱的沉降。

2.1 被动大陆边缘区复合砂体运聚模式

在印度西海岸和东海岸发育8个被动大陆边缘盆地。该区沉积厚度巨大,各种类型砂体发育^[10],生烃凹(洼)陷富集,具有形成大油气田群的条件^[11]。如克里希纳-戈达瓦里盆地的有利圈闭为上二叠统低渗透层遮挡圈闭和断层圈闭、碎屑岩楔状体、上侏罗统不整合圈闭、白垩系砂岩透镜体、下始新统背斜圈闭、中新统-更新统逆牵引背斜、侵蚀水道遮挡圈闭及滚动背斜。构造反转形成的低幅度背斜及在此之上发育的大型海底扇砂岩上倾尖灭或侵蚀水道遮挡圈闭是有利勘探领域^[12]。

2.2 前陆盆地构造褶皱-冲断运聚模式

受印度板块A型俯冲碰撞影响,在板块边缘形成了15个前陆盆地。该区油气主要富集在板块西北部 and 东部,构造褶皱-冲断作用对油气富集成藏起着决定性的作用^[13-14],宽缓的斜坡有大量的岩性圈闭和成

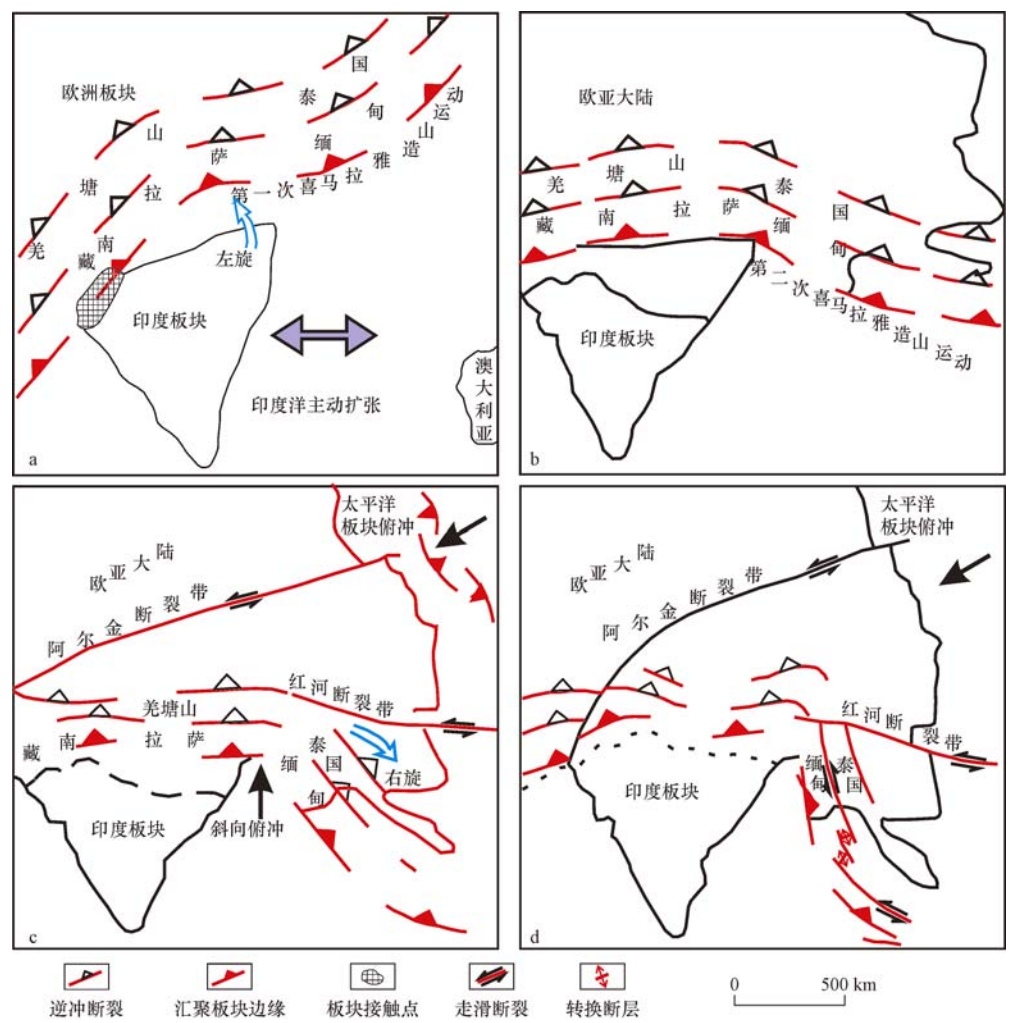


图 3 南亚地区构造演化模式

Fig. 3 Tectonic evolution patterns of South Asia

a. 漂移末期(65 ~ 49 Ma); b. 早碰撞期(49 ~ 16 Ma); c. 晚碰撞期(16 ~ 11 Ma); d. 隆升期(11 ~ 0 Ma)

表 1 南亚地区不同构造单元成藏特征

Table 1 Reservoir characteristics of the different tectonic units in South Asia

构造区	被动陆缘	前陆盆地区	夭折裂谷系	弧前-弧后盆地	克拉通台地
构造背景	张裂大型边缘	微板块斜向聚合	Deccan Trap 玄武岩喷发	主动陆缘沟弧盆体系	稳定的冈瓦纳大陆
成盆阶段	漂移期-晚碰撞期	早碰撞期	漂移期	早碰撞期	前裂谷期
作用过程	拉张	A 型俯冲扩张-挤压碰撞-碰撞造山	伸展断层发育	B 型俯冲扩张-挤压-大陆边缘岛弧造山	拉张-挤压
成藏条件	海相-海陆过渡相层序生储盖	海相和陆相层序生储盖	下部冰碛相,上部三角洲-浅海相	海相和陆相层序生储盖	由陆相过渡到海相层序
有利成藏带	低幅度背斜、海底扇、水道砂体、三角洲、台地礁	断块、礁体、挤压背斜、峡谷扇	断裂和走滑反转构造、岩性	断块和断全带、继承性隆起、斜坡带	继承性隆起、大型斜坡带
实例	克里希纳-戈达瓦里盆地	印度河盆地	坎贝盆地	马达班盆地	无

排成带的穹隆构造,既可形成坳陷带的深盆地,又可形成斜坡带油气的大规模聚集^[15]。如印度河盆地构造样式简单,油气运移方向单一^[16],古新世以前主要以形成断块气藏为主(巴丁地区),古新世以来形成了碳酸盐礁体以及众多的挤压背斜圈闭、断背斜和古近系及新近系海底峡谷扇等油气藏。

2.3 弧前-弧后盆地断-坳垂向运聚模式

在早碰撞期由于印度板块向缅甸微板块的 B 型俯冲作用,造成缅甸微陆块现今向西凸的东西分带、南北走向的弧形构造格局^[9],在缅甸西部形成了南北向分布的 9 个弧前、弧后盆地和 1 个裂谷盆地。该区油气藏以

- dochina land & tectonic evolution of the lithosphere Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1998, 72(2): 113–125.
- [4] 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 等. 印度-亚洲碰撞大地构造[J]. *地质学报*, 2011, 85(1): 1–33.
- Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Li Haibing, et al. On the tectonics of the India-Asia collision[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2011, 1(85): 1–33.
- [5] 崔文军. 喜马拉雅碰撞带的构造演化[J]. *地质学报*, 1997, 71(2): 105–112.
- Cui Wenjun. Tectonic evolution of the Himalayan collision zone[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1997, 71(2): 105–112.
- [6] IHS Basin Monitor[DB/OL]. <http://maps.ihs.com/basin-monitor-ordering-service/far-east>, Information Handling Services, 2009.
- [7] 路甬祥. 魏格纳给我们的启示——纪念大陆漂移学说发表一百周年[J]. *科学中国人*, 2012, 17: 14–21.
- Lu Yongxiang. A lesson that Wegener gave us—commemorating the centenary of the continental drift doctrine[J]. *Scientific Chinese*, 2012, 17: 14–21.
- [8] Alam M, M Alam M, Curry J R, et al. 孟加拉湾盆地沉积地质与区域构造格架和盆地充填史关系综述[J]. *海洋地质*, 2009, (4): 23–42.
- Alam M, Alam M M, Curry J R, et al. Relationship between sedimentary geology & regional tectonic framework of the Bay of Bengal basin and its filling history[J]. *Marine Geology*, 2009, (4): 23–42.
- [9] 王平, 邹德江, 武新民. 缅甸伊洛瓦底盆地油气地质特征[J]. *西部探矿工程*, 2011, 23(8): 64–67.
- Wang Ping, Zou Dejiang, Wu Xinmin. Petroleum geologic characteristics of Burma Irrawaddy basin[J]. *West China Prospecting Engineering*, 2011, 8: 64–67.
- [10] 孙辉, 范国章, 吕福亮, 等. 孟加拉湾缅甸若开盆地上新统斜坡水道复合体沉积特征[J]. *沉积学报*, 2010, 22(2): 69–73.
- Sun Hui, Fan Guozhang, Lü Fuliang, et al. Sedimentary characteristics of Pliocene Slope channel complexes in the Rakhine basin, Offshore Myanmar[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 22(2): 69–73.
- [11] 张功成, 米立军, 吴时国, 等. 深水区——南海北部大陆边缘盆地油气勘探新领域[J]. *石油学报*, 2007, 28(2): 15–21.
- Zhang Gongcheng, Mi Lijun, Wu Shiguo, et al. Deepwater area—the new prospecting targets of northern continental margin of South China Sea[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2007, 28(2): 15–21.
- [12] 张功成. 南海北部陆坡深水区构造演化及其特征[J]. *石油学报*, 2010, 31(4): 528–533.
- Zhang Gongcheng. Tectonic evolution of deep-water area of northern continental margin in South China Sea[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2010, 31(4): 528–533.
- [13] 金之钧, 汤良杰, 杨明慧, 等. 陆缘和陆内前陆盆地主要特征及含油气性研究[J]. *石油学报*, 2004, 25(1): 8–18.
- Jin Zhijun, Tang Liangjie, Yang Minghui, et al. Geological characteristics and hydrocarbon potential between epicontinental and foreland basins[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2004, 25(1): 8–18.
- [14] 刘和甫. 前陆盆地类型及褶皱-冲断层样式[J]. *地学前缘*, 1995, 2(3): 59–68.
- Liu Hepu. Types of foreland basins and their styles of fold-thrust[J]. *Earth Science Frontiers*, 1995, 2(3): 59–68.
- [15] 康竹林, 翟光明. 中国的前陆盆地与油气聚集[J]. *石油学报*, 1995, 16(4): 2–4.
- Kang Zhulin, Zhai Guangming. Foreland basins & hydrocarbon accumulation in China[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1995, 16(4): 2–4.
- [16] 林卫东. 印度河盆地含油气系统特征与成藏模式[J]. *天然气工业*, 2008, 28(8): 19–21.
- Lin Weidong. Petroleum system and accumulation model in Indus Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2008, 28(8): 19–21.
- [17] 李红, 曹永斌, 王新云. 缅甸 D 区块石油地质特征及勘探潜力[J]. *石油天然气地质*, 2011, 32(2): 265–272.
- Li Hong, Cao Yongbin, Wang Xinyun. Petroleum geologic characteristics and exploration potential of Block D in Burma[J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(2): 265–272.
- [18] 朱光辉, 谢晓军, 邱春光. 弧后走滑拉张盆地石油地质特征与油气勘探——以缅甸 Andaman 海域马达班湾盆地为例[J]. *中国海上油气*, 2010, 22(4): 225–231.
- Zhu Guanghui, Xie Xiaojun, Qiu Chunguang. Petroleum geology and exploration potential in back-arc strike slip and extension basins: a case of Moattama Bay basin in Andaman sea, Myanmar[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2010, 22(4): 225–231.
- [19] 薛良清, 杨福忠, 马海珍, 等. 南苏门达腊盆地中国石油合同区块成藏组合分析[J]. *石油勘探与开发*, 2005, 32(3): 130–134.
- Xue Liangqing, Yang Fuzhong, Ma Haizhen, et al. Petroleum play analysis of the PetroChina contract blocks in the South Sumatra Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2005, 32(3): 130–134.
- [20] 窦立荣, 肖坤叶, 胡勇, 等. 乍得 Bongor 盆地石油地质特征及成藏模式[J]. *石油学报*, 2010, 32(3): 379–386.
- Dou Lirong, Xiao Kunye, Hu Yong, et al. Petroleum geology and a model of hydrocarbon accumulations in the Bongor Basin, the Republic of Chad[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2010, 32(3): 379–386.
- [21] 李明义, 岳湘安, 江青春, 等. 海拉尔-塔木察格盆地中部断陷输导体系类型及其控藏作用[J]. *石油与天然气地质*, 2012, 33(3): 407–416.
- Li Mingyi, Yue Xiang'an, Jiang Qingchun, et al. Migration system types and their control on hydrocarbon accumulation in central fault depressions of Hailar-Tamtsag Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33(3): 407–416.
- [22] 尤丽, 李才, 张迎朝, 等. 珠江口盆地文昌 A 凹陷珠海组储层碳酸盐胶结物分布规律及成因机制[J]. *石油与天然气地质*, 2012, 33(6): 883–889.
- You Li, Li Cai, Zhang Yingzhao, et al. Distribution and genetic mechanism of carbonate cements in the Zhuhai Formation reservoirs in Wenchang-A sag, Pear River Mouth Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33(6): 883–889.
- [23] 李凤君, 姜振学, 付广, 等. 裂谷盆地高效大中型气田形成的断裂输导条件[J]. *中国石油大学学报*, 2009, 33(1): 28–32.
- Li Fengjun, Jiang Zhenxue, Fu Guang, et al. Transporting condition of faults required in formation of large and medium gas fields with high efficiency in rift basin[J]. *Journal of China University of Petroleum*, 2009, 33(1): 28–32.
- [24] 窦立荣, 潘校华, 田作基, 等. 苏丹裂谷盆地油气藏的形成与分布兼与中国东部裂谷盆地对比分析[J]. *石油勘探与开发*, 2004, 25(1): 255–261.
- Dou Lirong, Pan Xiaohua, Tian Zuji, et al. Hydrocarbon formation and distribution of rift basins in Sudan—a comparative analysis of them with rift basins in East China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2004, 25(1): 255–261.
- [25] Curiale J A, Covington G H, Shamsuddin A H M, et al. Origin of petroleum in Bangladesh[J]. *AAPG Bulletin*, 2002, 86(4): 625–652.