

# 喀麦隆里奥—德雷盆地 泥岩底辟构造与油气分布规律

袁井菊, 丁一萍, 苏玉山, 陈占坤, 哈里

(中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083)

**摘要:**里奥—德雷(Rio del Rey)盆地位于喀麦隆境内、尼日尔三角洲(Niger Delta)东北缘, 油气资源十分丰富, 已有 30 余年油气勘探开发历史。古新世以来发生的长期海退和三角洲沉积作用, 形成了现今的里奥—德雷被动大陆边缘盆地, 其主要发育 3 个地层单元, 自下而上分别为阿卡塔(Akata)组、阿格巴达(Agbada)组和贝宁(Benin)组。在三角洲进积推进过程中, 由于大陆边缘的重力作用和三角洲泥岩的塑性推覆作用, 由陆向海、自北向南形成了 3 个构造区, 即伸展构造区、泥岩底辟构造区和逆冲推覆构造区。其中, 在泥岩底辟构造区形成了许多与泥岩底辟或泥岩脊相关的辟顶背斜、断背斜构造圈闭或辟边岩性遮挡圈闭, 现今已发现的大型油气田主要与这些圈闭有关。同时, 泥岩底辟的活动也形成了储集和运移方面的优势条件, 促使油气在泥岩底辟构造区富集高产。因此, 未来泥岩底辟构造区以及及与泥岩底辟相关的圈闭仍然是里奥—德雷盆地进一步寻找勘探潜力的主要地区。

**关键词:**泥岩底辟; 泥岩脊; 构造圈闭; 油气分布规律; 里奥—德雷盆地; 喀麦隆

中图分类号: TE121.2

文献标识码: A

## Mud shale diapir structure and hydrocarbon distribution in the Rio del Rey Basin of Cameroon

YUAN Jingju, DING Yiping, SU Yushan, CHEN Zhankun, KHALID Abuganaya

(SINOPEC Petroleum Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The Rio del Rey Basin is located in Cameroon and the northeast of the Niger Delta. It is rich in oil and gas resources, and has more than 30 years of oil and gas exploration and development history. Long-term regression and delta sedimentation since the Eocene have formed the present Rio del Rey passive continental margin basin. Three stratigraphic units developed, including the Akata, Agbada and Benin formations respectively from bottom to top. In the process of delta progradation, the extensional, shale diapir and toe thrust tectonic zones were formed from north to south and also from onshore to offshore because of the gravity action of continental margin and the plastic over-thrusting of deltaic mudstone. In the mudstone diapir tectonic zone, many diapir anticlines or faulted-anticlines and lithologic traps related to mudstone diapirs or mudstone ridges have been formed. The large oil and gas fields that have been discovered to date are mainly related to these traps. At the same time, the activity of mudstone diapirs also provided superior conditions of reservoir and migration, which promoted the oil and gas enrichment and high yield in the diapir tectonic zone. Therefore, the mudstone diapir tectonic zone and the traps associated with mudstone diapirs are still the main targets for further exploration potential in the Rio del Rey Basin.

**Key words:** shale diapir structure; shale ridge; structural trap; hydrocarbon distribution law; Rio del Rey Basin; Cameroon

喀麦隆里奥—德雷(Rio del Rey)盆地油气资源十分丰富, 已有 30 余年油气勘探开发历史。本文较系统地介绍和分析了里奥—德雷盆地的构造特征, 特别是泥岩底辟构造与油气分布的规律, 期为该地区的油气勘探开发提供指导。

### 1 里奥—德雷盆地地质概况

根据 IHS 数据库对盆地的划分, 里奥—德雷盆地位于尼日尔三角洲(Niger Delta)盆地的东北缘, 严格来讲应称为尼日尔三角洲盆地次盆, 是尼日尔

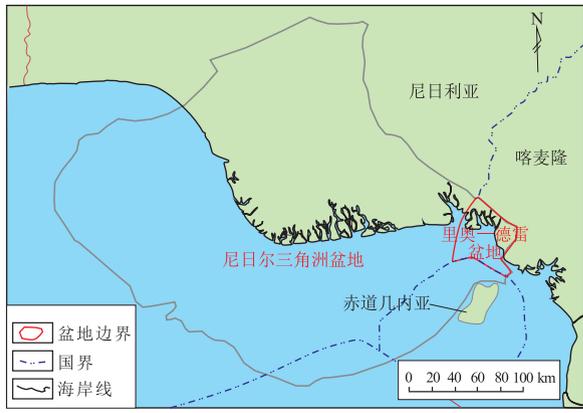


图1 里奥—德雷盆地位置  
据 IHS(2015)。

Fig.1 Location of the Rio del Rey Basin

三角洲盆地位于喀麦隆境内的那一部分<sup>[1-2]</sup>,水深0~60 m,面积约2 500 km<sup>2</sup>,因其在喀麦隆重要的油气勘探开发地位,又被单独称为里奥—德雷盆地(图1)。其构造演化特征与尼日尔三角洲盆地非常一致,是古新世以来至现今一直持续发育的新生代三角洲盆地。里奥—德雷盆地内地层发育也与尼日尔三角洲盆地相同,自下而上发育3套地层:阿卡塔(Akata)组泥岩、阿格巴达(Agbada)组砂—泥岩和贝宁(Benin)组砂岩,均为穿时地层单元,发育时代为古新世—现代。

盆地内的主要油气发现位于中部阿格巴达组。其沉积厚度大,为长期海退型三角洲前缘沉积,由多套进积韵律的砂泥交互层组成,其中砂岩非常发育,孔隙度一般为19%~35%,渗透率0.5~10 μm<sup>2</sup>,属于高孔—高渗的优质储集层。交互的泥岩作为层间盖层,与砂岩一起形成优质配套的储—盖组合,单砂层厚度一般在5~50 m,层间泥岩厚度约30~60 m。下部阿卡塔组是所有油气发现的主要烃源岩,由厚层海相泥岩以及浊积砂岩和粉砂岩组成,为前三角洲和浅海陆架沉积,有机质丰富,内部偶尔在局部地区发育浊积砂岩。上部贝宁组平行不

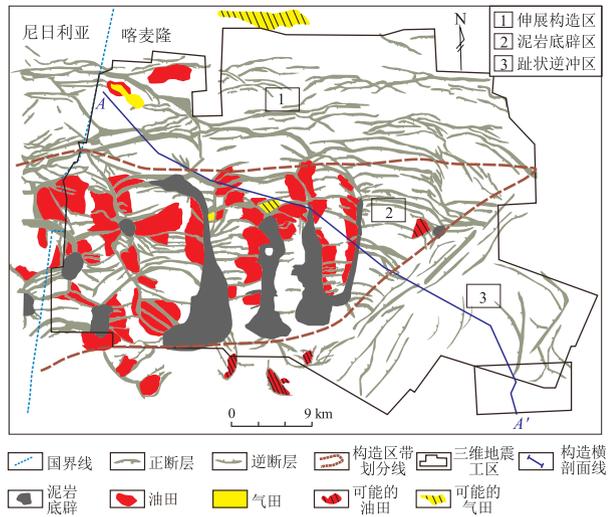


图2 里奥—德雷盆地已发现油气田构造区带划分

Fig.2 Oil-and-gas fields and tectonic division in the Rio del Rey Basin

整合于下伏的阿格巴达组之上,全部由砂岩及红层组成,埋藏较浅,上部泥岩盖层不发育,在贝宁组只获得少量次生气藏和天然沥青。

## 2 盆地构造特征与区带划分

里奥—德雷盆地的形成与冈瓦纳大陆裂解和南大西洋、赤道大西洋张开有关<sup>[2]</sup>。自古新世以来长期海退形成了现今的被动大陆边缘盆地,由于大陆边缘的重力作用和三角洲泥岩的塑性推覆作用,从盆地向海,也即自北向南,依次形成了伸展构造区、泥岩底辟区和趾状逆冲推覆区(图2)。

笔者通过约2 500 km<sup>2</sup>面积的三维地震资料构造、断层解释与成图,识别三维地震剖面上不同带的典型构造特征和构造样式,划分出3个构造区的边界(图3)。伸展构造区以发育生长断层、滚动背斜构造及反向正断层为特征,下降盘地层厚度明显大于上升盘地层厚度,同时由于下降盘地层的重力牵引作用,形成滚动背斜构造<sup>[3-6]</sup>;泥岩底辟区以发育泥岩底辟(包括刺穿泥底辟和非刺穿泥底

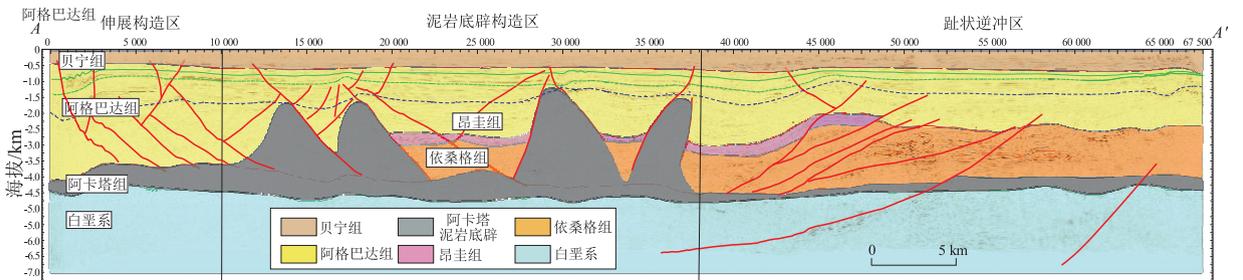


图3 里奥—德雷盆地北西—南东向区带划分地震剖面  
剖面A-A'位置见图2。

Fig.3 NW-SE oriented seismic profile showing tectonic zones in the Rio del Rey Basin

辟)、泥底辟上部穹隆与垮塌正断层构造、泥岩脊及侧向超覆地层构造为特征,在泥岩底辟或泥岩脊之间形成迷你/微盆地,地层在泥岩底辟或泥岩脊翼部沉积形成上超,当微盆地被填平补齐之后,后期地层则披覆于泥岩底辟穹隆之上,形成披覆构造;趾状逆冲推覆区以发育叠瓦状逆冲冲断层和褶皱构造为特征,是深海陆坡区和深海平原受重力滑动作用而产生的挤压前沿变形带,结果是塑性阿卡特组泥岩地层被推覆逆冲到老地层上面,形成叠瓦状褶皱构造<sup>[7-11]</sup>。

### 3 油气田分布规律与成藏模式

根据 IHS(2015)数据库统计,里奥—德雷盆地迄今为止已发现 68 个油气田,其中 43 个位于中部泥岩底辟构造区,占已发现油气田的 63%。该数据说明泥岩底辟构造区是里奥—德雷盆地主要油气田分布区。同时,根据油气田与盆地构造区带叠合平面图(图 2)可以看出,在泥岩底辟构造区已发现油气田主要围绕着泥岩底辟分布。纵向上油气发现层位从上至下主要位于阿格巴达组 S0、S1、S4 和 S5 等砂岩组中。

油气成藏模式主要为下生上储式。前期勘探和研究证实,盆地主要产层阿格巴达组油源来自于阿卡特组泥岩。自中新世以来,三角洲地层快速大量沉积并伴随着泥岩底辟活动形成断裂和相关构造,此时埋藏较深的阿卡特组已进入生烃门限,巨大的地层压力使得油气沿着断层或活动底辟边部向阿格巴达组运移,加上阿格巴达组内部层间泥岩盖层的封盖作用,在高部位的辟顶背斜、断背斜、断块构造圈闭或辟边岩性遮挡圈闭中聚集成藏。

油气成藏模式可主要归纳为 2 种类型:一种是高陡泥岩底辟刺穿式,泥岩底辟刺穿了 S5 或更上

部地层,主要形成辟顶断背斜或辟边断块油藏(图 4);另一种是低缓泥岩底辟隐伏未刺穿式,主要发育在伸展构造区向泥岩底辟的过渡区,泥岩底辟未刺穿 S5 地层,上部构造主要受生长断层及其反向断层控制,在断层的上、下盘形成的断鼻或断背斜中聚集成藏(图 5)。

泥岩底辟为何对油气分布具有如此重要的控制作用,笔者认为可以从该区泥岩底辟成因和泥岩底辟对油气成藏的影响 2 个方面来探讨。

首先,从泥岩底辟成因角度分析。部分学者认为泥岩底辟形成的主要动力是由于上覆负荷差异,两侧压迫泥岩,中央释放上拱,产生泥岩底辟<sup>[12-16]</sup>。另有部分学者认为,底辟发育的背景是因为断层,由于断裂区产生许多潜在的薄弱面,为塑性物质上辟突入形成应力环境<sup>[17]</sup>。从里奥—德雷盆地区域地质背景可知,在晚白垩世—始新世早期断层不发育,底辟的形成并未受断层太大影响。从地震剖面泥岩底辟两侧地层的厚度差异及地震上超的特征

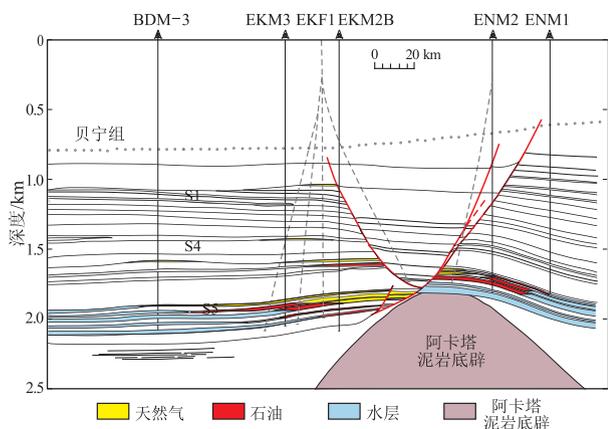


图 5 里奥—德雷盆地泥岩底辟未刺穿式成藏模式  
Fig.5 Hydrocarbon accumulation model with unpierced shale diapir in the Rio del Rey Basin

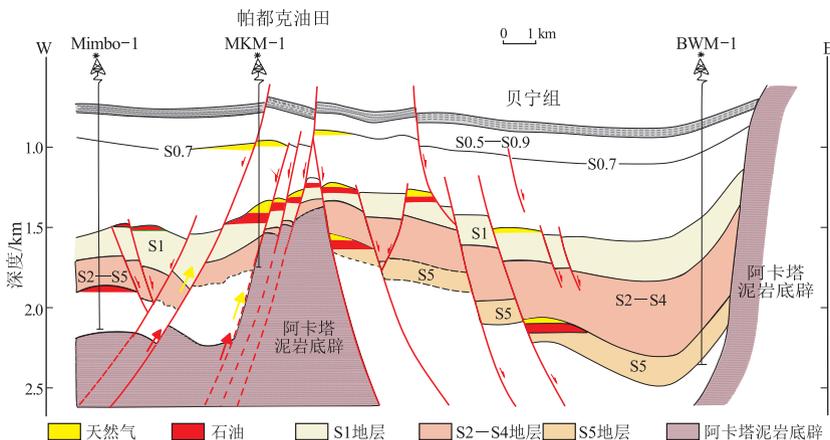


图 4 里奥—德雷盆地泥岩底辟刺穿式成藏模式

Fig.4 Hydrocarbon accumulation model with pierced shale diapir in the Rio del Rey Basin

可以看出,在下部阿卡特组泥岩主要突入的阿格巴达组地层整个沉积阶段,泥岩底辟一直伴随着活动,并控制了两侧地层沉积厚度差异。泥岩底辟上突刺穿层位从 S5 至 S0.7 不等,有的甚至活动至今,刺穿了现今仍在沉积的贝宁组(如图 4 右侧的阿卡特泥岩底辟)。这些现象表明,该区泥岩底辟主要为同生构造性质。

其次,从泥岩底辟对油气成藏的影响方面来分析。储集条件方面,王芝尧等<sup>[18-20]</sup>对相似地区实验室底辟模型的研究表明,在底辟发育位置,由于动力因素较强,主要沉积大颗粒砂质沉积物,泥质沉积物较少,储层条件优越。圈闭条件方面,由于底辟的上突,顶部地层中产生许多环底辟的放射状断层(图 2),形成辟顶背斜或断背斜构造圈闭;同时在侧翼,由于塑性泥岩在上拱过程完成后,内部饱含的流体排出,形成较为致密的泥岩,是良好的侧向遮挡条件,可形成辟边岩性遮挡圈闭。运移条件方面,底辟上升通道和上升过程中形成的侧向断层,均可作为沟通下部阿卡特烃源岩和上部阿格巴达储层的通道,增强油气垂向输导能力<sup>[21-25]</sup>,促使油气富集高产。如帕都克油田,为泥岩底辟顶部断背斜构造圈闭,单井日产高达 6 000 桶(图 4)。

由于圈闭、储层和运聚条件如此优越,因此形成了泥岩底辟构造区油气聚集的优势。

## 4 结论

里奥—德雷盆地是一个长期海退形成的三角洲盆地,拥有厚层前三三角洲泥岩和多套三角洲前缘砂体,生、储、盖条件都非常优越。自北向南可划分为 3 个构造区带:伸展构造区、泥岩底辟构造区和趾状逆冲推覆构造区。其中,泥岩底辟区与现今已发现油气田紧密相关,63%的油气田位于底辟周围,并与底辟形成的圈闭有关。由于底辟活动形成的圈闭、储集和运移 3 个方面的优势条件,促使油气在底辟构造区富集高产。因此,未来泥岩底辟构造区以及与泥岩底辟相关的圈闭,仍然是里奥—德雷盆地进一步寻找勘探潜力的主要地区。

### 参考文献:

- [1] 邓荣敬,邓运华,于水,等.尼日尔三角洲盆地油气地质与成藏特征[J].石油勘探与开发,2008,35(6):755-762.  
DENG Rongjing, DENG Yunhua, YU Shui, et al. Hydrocarbon geology and reservoir formation characteristics of Niger Delta Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2008, 35(6):755-762.
- [2] 许晓明,于水,骆宗强,等.澳大利亚西北大陆架与尼日尔三

角洲、坎波斯盆地油气地质条件的对比研究[J].石油实验地质,2010,32(1):28-34.

- XU Xiaoming, YU Shui, LUO Zongqiang, et al. The comparison research of hydrocarbon geologic conditions in the Australian north west shelf, Niger Delta Basin and the Campos Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010, 32(1):28-34.
- [3] 侯高文,刘和甫,左胜杰.尼日尔三角洲盆地油气分布特征及控制因素[J].石油与天然气地质,2005,26(3):374-378.  
HOU Gaowen, LIU Hefu, ZUO Shengjie. A study of distribution characteristics of petroleum in Niger Delta Basin and their controlling factors [J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(3):374-378.
- [4] 刘新福.尼日尔三角洲油气分布特征[J].河南石油,2003,17(S1):1-3.  
LIU Xinfu. Hydrocarbon distribution in Nigeria Delta [J]. Henan Petroleum, 2003, 17(S1):1-3.
- [5] 李磊,王英民,张莲美,等.尼日尔三角洲坡脚逆冲带沉积样式及构造控制[J].地球科学(中国地质大学学报),2008,33(5):643-650.  
LI Lei, WANG Yingmin, ZHANG Lianmei, et al. Sedimentary patterns and structural control across toe thrust belts, Niger Delta [J]. Earth Science (Journal of China University of Geosciences), 2008, 33(5):643-650.
- [6] 雷振宇,卜德智,杜社宽,等.准噶尔盆地西北缘扇体形成特征及油气分布规律[J].石油学报,2005,26(1):8-12.  
LEI Zhengyu, BIAN Dezhi, DU Shekuang, et al. Characteristics of fan forming and oil-gas distribution in west-north margin of Junggar Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(1):8-12.
- [7] 印森林,唐勇,胡张明,等.构造活动对冲积扇及其油气成藏的控制作用:以准噶尔盆地西北缘二叠系—三叠系冲积扇为例[J].新疆石油地质,2016,37(4):391-400.  
YIN Senlin, TANG Yong, HU Zhangming, et al. Controls of tectonic activity on alluvial fan deposits and hydrocarbon accumulation: a case study of Permian and Triassic alluvial fans in northwestern margin of Junggar Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2016, 37(4):391-400.
- [8] 印森林,吴胜和,陈恭洋,等.同生逆断层对冲积扇沉积构型的控制作用:以准噶尔盆地西北缘三叠系下克拉玛依组为例[J].地学前缘,2016,23(1):218-228.  
YIN Senlin, WU Shenghe, CHEN Gongyang, et al. The controlling effect of contemporaneous reverse faults on alluvial fan depositional architecture: a case study of Triassic Lower Karamay Formation at the northwestern margin of the Junggar Basin [J]. Earth Science Frontiers, 2016, 23(1):218-228.
- [9] 肇玉石,盛春祥.大民屯凹陷泥岩底辟构造的初步分析[J].石油地球物理勘探,1985,20(1):58-65.  
ZHAO Yushi, SHENG Chunxiang. The outline of shale diapire in Damintun Depression [J]. Oil Geophysical Prospecting, 1985, 20(1):58-65.
- [10] 冯福国,宋立珩.幔流底辟构造:环西太平洋盆地热动力学分析[J].地球科学(中国地质大学学报),1996,21(4):383-394.  
FENG Fukai, SONG Liyan. Mantle diapir: West Pacific Basin thermal structure dynamics analysis [J]. Earth Science (Journal of China University of Geosciences), 1996, 21(4):383-394.

- [11] 王振峰,何家雄,解习农.莺歌海盆地泥—流体底辟带热流体活动对天然气运聚成藏的控制作用[J].地球科学(中国地质大学学报),2004,29(2):203-210.  
WANG Zhenfeng, HE Jiexiong, XIE Xinong. Heat flow action and its control on natural gas migration and accumulation in mud-fluid diapir areas in Yinggehai Basin [J]. Earth Science (Journal of China University of Geosciences), 2004, 29(2): 203-210.
- [12] 官少波,王彦.莺歌海盆地中央底辟带油气成藏条件分析[J].石油与天然气地质,2000,21(3):232-235.  
GONG Shaobo, WANG Yan. Analysis on hydrocarbon pool-forming condition of central diapiric zone in Yinggehai Sea Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21(3): 232-235.
- [13] 熊小峰,徐新德,郭潇潇,等.莺歌海盆地天然气乙烷碳同位素异常成因分析[J].特种油气藏,2016,23(4):85-89.  
Xiong Xiaofeng, Xu Xinde, Guo Xiaoxiao, et al. Ethane carbon isotope anomaly genesis of natural gas in Yinggehai Basin [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2016, 23(4): 85-89.
- [14] 龚再升.中国近海含油气盆地新构造运动与油气成藏[J].地球科学(中国地质大学学报),2004,29(5):513-517.  
GONG Zaisheng. Neotectonics and petroleum accumulation in offshore Chinese basins [J]. Earth Science (Journal of China University of Geosciences), 2004, 29(5): 513-517.
- [15] 代寒松,洪亮,张明军,等.南图尔盖盆地 Doshan 地区底辟构造的发现及勘探意义[J].石油与天然气地质,2013,34(4):528-532.  
DAI Hansong, HONG Liang, ZHANG Mingjun, et al. Discovery of diapir structure and its significances for exploration in Doshan area, south Turgai Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(4): 528-532.
- [16] 郝雪峰,尹丽娟.陆相断陷盆地油气差异聚集模式探讨:成藏动力、输导、方式的关系[J].油气地质与采收率,2014,21(6):1-5.  
HAO Xuefeng, YIN Lijuan. Discussion on hydrocarbon differential accumulation mode in continental rift basins: relationship of dynamics, conduit and pattern [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(6): 1-5.
- [17] 何斌,徐义刚,王雅玫,等.北京西山房山岩体岩浆底辟构造及其地质意义[J].地球科学(中国地质大学学报),2005,30(3):298-308.  
HE Bin, XU Yigang, WANG Yamei, et al. Magmatic diapir of Fangshan pluton in the Western Hills, Beijing and its geological significance [J]. Earth Science (Journal of China University of Geosciences), 2005, 30(3): 298-308.
- [18] 王芝尧,钱茂路,苏俊青,等.泥岩底辟成因及对油气成藏的影响:以尼日尔 Termit 盆地底辟区为例[J].油气地质与采收率,2016,23(1):39-45.  
WANG Zhirao, QIAN Maolu, SU Junqing, et al. Genesis of mud diapir and its impact on hydrocarbon reservoiring: a case study of diapir penetration in Niger Termit Basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2016, 23(1): 39-45.
- [19] 何家雄,夏斌,张树林,等.莺歌海盆地泥底辟成因、展布特征及其与天然气运聚成藏关系[J].中国地质,2006,33(6):1336-1344.  
HE Jiexiong, XIA Bin, ZHANG Shulin, et al. Origin and distribution of mud diapirs in the Yinggehai Basin and their relation to the migration and accumulation of natural gas [J]. Geology in China, 2006, 33(6): 1336-1344.
- [20] 韩光明,李绪深,童传新,等.莺歌海盆地中央底辟带油气垂向运移通道研究[J].海相油气地质,2013,18(3):62-69.  
HAN Guangming, LI Xushen, TONG Chuanxin, et al. Study of vertical pathways of hydrocarbon migration in central diapir zone, Yinggehai Basin [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2013, 18(3): 62-69.
- [21] 刘延莉,徐向华.墨西哥湾盆地油气分布规律及成藏主控因素分析[J].石油实验地质,2014,36(2):200-205.  
LIU Yanli, XU Xianghua. Petroleum distribution rules and controlling factor analysis of Gulf of Mexico Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(2): 200-205.
- [22] 韩彧,黄娟,赵雯.墨西哥湾盆地深水区油气分布特征及勘探潜力[J].石油实验地质,2015,37(4):473-478.  
HAN Yu, HUANG Juan, ZHAO Wen. Distribution features and exploration potential of oil and gas in a deepwater area of the Gulf of Mexico Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2015, 37(4): 473-478.
- [23] 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.  
TIAN Naxin, JIANG Xiangqiang, HUI Guanzhou. Petroleum accumulation characteristics and favorable exploration area prediction in San Jorge Basin, Argentina [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2015, 37(2): 205-210.
- [24] 谢华锋,周生友,惠冠洲.巴西圣埃斯皮里图盆地油气地质特征及勘探方向[J].石油实验地质,2016,38(6):821-827.  
XIE Huafeng, ZHOU Shengyou, HUI Guanzhou. Petroleum geology characteristics and exploration directions in Espirito Santo Basin, Brazil [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2016, 38(6): 821-827.
- [25] 代寒松,洪亮,张明军,等.南图尔盖盆地 Doshan 地区底辟构造的发现及勘探意义[J].石油与天然气地质,2013,34(4):528-532.  
DAI Hansong, HONG Liang, ZHANG Mingjun, et al. Discovery of diapir structure and its significances for exploration in Doshan area, South Turgai Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(4): 528-532.

(编辑 韩彧)